انرژی: مدیریت، عرضه و بهینه‌سازی مصرف

نویسنده : دکتر کلایو بگز

سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور

انرژی:

مدیریت، عرضه و بهینه‌سازی مصرف

مترجمان:

دکتر امیرعباس صدیقی، حسین فرخ مآل

بگز، کلایو *Beggs, Clive*
بازیافت گرمای اتلافی/[کلایوبگز]؛ ترجمه امیرعباس صدیقی، حسین فرخ مآل.-- تهران: نزهت: نگاه شرقی سبز، ۱۳۸۴.
۴۶۲ ص. ۷۰۰۰۰ ریال: *ISBN: 964-7873-25-5*
عنوان اصلی: *Energy: managment, supply and Conservation, 2002*
فهرستنویسی بر اساس اطلاعات فیپا.
۱. انرژی -- ذخیره. ۲. انرژی -- مصرف. ۳. ساختمان‌ها -- ذخیره انرژی. ۴. ساختمان‌ها -- مصرف انرژی. الف. صدیقی، امیرعباس، مترجم. ب. فرخ مآل، حسین، مترجم. ج. عنوان.
۲ب۸ب/*TJ*۱۶۳/۳ ۶۵۸/۲۶ ۱۳۸۴
کتابخانه ملی ایران ۸۴-۱۵۳۹۸م

عنوان ..... انرژی: مدیریت، عرضه و بهینه‌سازی مصرف
مترجمان ..... دکتر امیر عباس صدیقی، حسین فرخ مآل
ناشر ..... نگاه شرقی سبز
چاپ اول ..... تابستان ۱۳۸۴
تیراژ ..... ۳۰۰۰ جلد
لیتوگرافی، چاپ و صحافی ..... مؤسسه انتشارات نزهت
قیمت ..... ۷۰۰۰۰ ریال
شابک ۹۶۴-۷۸۷۳-۲۵-۵

آدرس ناشر: تهران، خیابان ولیعصر، بالاتر از سه راه توانیر، شماره ۱۲۳۹
طبقه دوم، واحد ۵، تلفن: ۸۸۷۷۵۲۰۰ فاکس: ۸۸۸۷۹۵۶۵

فهرست

صفحه

عنوان

بخش اول: انرژی و محیط زیست

۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ سیاست‌ها و نفع شخصی ۵
۱-۳ انرژی چیست؟ ۶
۱-۳-۱ واحدهای انرژی ۹
۱-۳-۲ قوانین علم ترمودینامیک ۱۰
۱-۴ مصرف انرژی وتولید ناخالص داخلی *GDP* ۱۱
۱-۵ موضوعات زیست محیطی ۱۶
۱-۵-۱ گرم شدن کره زمین ۱۶
۱-۵-۲ شدت کربن عرضه انرژی ۲۰
۱-۵-۳ انتشار دی اکسیدکربن ۲۱
۱-۵-۴ تحلیل لایه اوزون ۲۲
۱-۵-۵ اقدامات بین‌الدّولی ۲۴
۱-۵-۶ اعتبارات و مالیاتهای کربن ۲۵
۱-۶ مصرف انرژی ۳۱
۱-۷ ذخائرانرژی ۳۲

عنوان صفحه

بخش دوم: شرکتهای برق و عرضه انرژی

۲-۱ مقدمه ۳۸
۲-۲ انرژی اولیه ۳۹
۲-۳ انرژی تحویلی ۴۱
۲-۴ عرضه الکتریسیته ۴۱
۲-۴-۱ قیمت‌های الکتریسیته ۴۵
۲-۴-۲ تعرفه‌های الکتریسیته ۴۸
۲-۵ گاز طبیعی ۵۴
۲-۵-۱ تولید، انتقال و توزیع گاز طبیعی ۵۷
۲-۵-۲ مشکلات دیماند پیک ۵۸
۲-۵-۳ تعرفه‌های گاز ۵۹
۲-۶ نفت کوره ۶۰

بخش سوم: رقابت در عرضه انرژی

۳-۱ مقدمه ۶۴
۳-۲ مفهوم رقابت ۶۵
۳-۳ رقابت در صنعت عرضه الکتریسیته ۶۶
۳-۴ تجربه الکتریسیته انگلستان ۷۰
۳-۴-۱ تکامل بازار الکتریسیته انگلستان ۷۴
۳-۴-۲ تجربه کالیفرنیائی ۷۶
۳-۵ رقابت در بازار گاز ۷۹
۳-۶ مدیریت بار الکتریسیته ۸۰
۳-۷ بخش عرضه و بخش تقاضا ۸۲
۳-۸ مدیریت بخش تقاضا ۸۴
۳-۸-۱ تجربه ایالات متحده امریکا ۸۶

صفحه

عنوان

۳-۸-۲ تجربه بریتانیا ۸۹

بخش چهارم: تکنیکهای تجزیه و تحلیل انرژی ۹۵

۴-۱ مقدمه ۹۶

۴-۲ مصرف انرژی سالیانه ۹۶

۴-۳ شاخص‌های عملکرد همگن شده ۹۸

۴-۴ تجزیه و تحلیل وابسته به زمان انرژی ۱۰۶

۴-۵ تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی ۱۰۹

۴-۵-۱ متغیر مستقل منفرد ۱۱۰

۴-۵-۲ ضرائب همبستگی ۱۱۴

۴-۵-۳ تجزیه و تحلیل چند متغیره‌ای ۱۱۷

۴-۶ *CUSUM* ۱۱۸

بخش پنجم: ممیزی‌ها و مساحی‌های انرژی ۱۲۷

۵-۱ مقدمه ۱۲۸

۵-۲ انواع مُمیزی انرژی ۱۳۰

۵-۲-۱ هزینه‌های مُمیزی ۱۳۲

۵-۳ چرا انرژی هدر می‌رود؟ ۱۳۳

۵-۴ مُمیزی‌های انرژی ابتدائی ۱۳۴

۵-۴-۱ قبوض الکتریسیته ۱۳۶

۵-۴-۲ گاز طبیعی ۱۳۹

۵-۴-۳ مازوت ۱۴۰

۵-۴-۴ سوخت جامد ۱۴۰

۵-۴-۵ گرمایش ۱۴۱

۵-۴-۶ ثبت کردن‌های در محل ۱۴۱

عنوان صفحه

۵-۴-۷ تجزیه و تحلیل اطلاعات ۱۴۱
۵-۵ مُمیزی‌های جامع انرژی ۱۴۸
۵-۵-۱ کنتور فرعی موقتی و قابل حمل ۱۵۰
۵-۵-۲ تخمین مصرف انرژی ۱۵۱
۵-۶ مساحیهای انرژی ۱۵۳
۵-۶-۱ مشخصه‌های مدیریتی و عملیاتی ۱۵۴
۵-۶-۲ عرضه انرژی ۱۵۵
۵-۶-۳ تأسیسات و دستگاهها ۱۵۶
۵-۶-۴ مصالح ساختمان ۱۵۷
۵-۷ پیشنهادات ۱۵۸
۵-۸ گزارش مُمیزی ۱۵۹

بخش ششم: ارزیابی سرمایه گذاری پروژه

۶-۱ مقدمه ۱۶۲
۶-۲ هزینه‌های ثابت و متغیر ۱۶۳
۶-۴ نرخهای بهره ۱۶۵
۶-۴ زمان برگشت سرمایه‌گذاری ۱۶۷
۶-۵ متدهای جریان نقدینگی تنزیلی ۱۶۸
۶-۵-۱ متد ارزش حال خالص ۱۶۹
۶-۵-۲ متد نرخ برگشت داخلی ۱۷۴
۶-۵-۳ شاخص سودآوری ۱۷۶
۶-۶ فاکتورهای تأثیرگذار بر تجزیه و تحلیل ۱۷۷
۶-۶-۱ ارزش واقعی ۱۷۸

صفحه

عنوان

بخش هفتم: نظارت، هدف‌گذاری و پرهیز از اتلاف انرژی ۱۸۲

۷-۱ مفهوم نظارت و هدف‌گذاری ۱۸۳

۷-۲ نظارت و هدف‌گذاری کامپیوتری ۱۸۵

۷-۳ نظارت و جمع‌آوری اطلاعات ۱۸۵

۷-۳-۱ اطلاعات از قبوض ۱۸۶

۷-۳-۲ اطلاعات از کنتورها ۱۸۷

۷-۴ اهداف انرژی ۱۸۹

۷-۵ گزارش دهی ۱۹۲

۷-۶ تکنیکهای گزارش‌دهی ۱۹۲

۷-۶-۱ جداول رده‌بندی ۱۹۴

۷-۶-۲ تکنیکهای نموداری ۱۹۶

۷-۷ تشخیص تغییرات در کاربری انرژی ۱۹۸

۷-۸ پرهیز از اتلاف ۱۹۹

۷-۹ علل اتلاف قابل پرهیز ۲۰۱

۷-۱۰ الویت‌بندی .....

بخش هشتم: گرمایش با انرژی کارآمد ۲۰۴

۸-۱ مقدمه ۲۰۶

۸-۲ رفاه حرارتی ۲۱۰

۸-۳ از دست رفتن گرمای ساختمان ۲۱۲

۸-۳-۱ مقادیر U ۲۲۱

۸-۳-۲ محاسبات از دست دادن گرما ۲۲۹

۸-۴ محاسبات انرژی گرمایشی ۲۳۶

۸-۵ گرمایش متناوب ۲۳۸

۸-۶ گرمای تشعشعی .....

عنوان صفحه

۸-۶-۱ گرمایش تشعشعی ۲۳۸
۸-۶-۲ شیشه‌کاری با خاصیت جذب و انتشار پائین ۲۳۹
۸-۷ گرمایش زیرسطحی و دیواری ۲۴۰
۸-۸ عایق‌بندی لوله‌کشی ۲۴۲
۸-۸-۱ اتلاف گرمای لوله‌کشی ۲۴۲
۸-۸-۲ اقتصادیات عایق‌بندی لوله‌کشی ۲۴۶
۸-۹ دیگهای بخار (بویلرها) ۲۴۸
۸-۹-۱ اتلاف از دودکش ۲۵۰
۸-۹-۲ دیگر تلفات حرارتی ۲۵۱
۸-۹-۳ زیرآب زدن بویلر ۲۵۲
۸-۹-۴ بویلرهای چگالشی ۲۵۲

بخش نهم: بازیافت گرمای اتلافی

۹-۱ مقدمه ۲۵۶
۹-۲ مبدلهای حرارتی بازیاب ۲۵۸
۹-۳ تئوری مبدل حرارتی ۲۶۱
۹-۳-۱ مفهوم تعداد واحدهای انتقال (*NTU*) ۲۶۶
۹-۴ سیستمهای گردان ۲۷۰
۹-۵ مبدلهای حرارتی بازیافتی ۲۷۵
۹-۶ پمپ‌های حرارتی ۲۸۲

بخش دهم: توان و حرارت همزمان

۱۰-۱ مفهوم توان و حرارت همزمان ۲۹۲
۱۰-۲ کارآیی سیستم *CHP* ۲۹۵
۱۰-۳ سیستمهای *CHP* ۲۹۷

صفحه

عنوان

۱۰-۳-۱ موتورهای احتراق داخلی ۲۹۷
۱۰-۳-۲ توربین‌های گازی ۲۹۷
۱۰-۳-۳ توربین‌های بخار ۲۹۸
۱۰-۴ سیستمهای *CHP* کوچک ۳۰۰
۱۰-۵ برنامه‌های گرمایشی منطقه‌ای ۳۰۲
۱۰-۶ کاربردهای *CHP* ۳۰۳
۱۰-۷ هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی ۳۰۵
۱۰-۸ استراتژیهای اندازه بندی تأسیسات *CHP* ۳۰۵
۱۰-۹ جنبه‌های اقتصادی *CHP* ۳۰۷

بخش یازدهم: تهویه مطبوع و تهویه مکانیکی "انرژی کارآ" ۳۱۸
۱۱-۱ تأثیرات تهویه مطبوع ۳۲۲
۱۱-۲ سیستم‌های تهویه مطبوع ۳۲۶
۱۱-۳ سیستمهای سرماسازی ۳۲۹
۱۱-۴ مشکلات شیوه طراحی سنتی ۳۳۰
۱۱-۴-۱ ضعفهای طراحی ساختمان ۳۳۱
۱۱-۴-۲ ضعفهای سیستم سرماسازی ۳۳۳
۱۱-۴-۳ ضعفهای سیستم هوا ۳۳۵
۱۱-۵ شیوه‌های جایگزین ۳۳۶
۱۱-۶ سرماسازی کارآمد از نظر انرژی ۳۳۶
۱۱-۶-۱ تبخیرکننده‌ها ۳۳۷
۱۱-۶-۲ کندانسورها ۳۳۸
۱۱-۶-۳ کمپرسورها ۳۳۹
۱۱-۶-۴ تجهیزات انبساطی ۳۴۱
۱۱-۶-۵ بازیافت گرما ۳۴۱

عنوان صفحه

۱۱-۷ جداسازی سرمایش محسوس و هوادهی ۳۴۲
۱۱-۷-۱ تهویه ۳۴۵
۱۱-۸ ذخیره حرارتی سازه ۳۴۵
۱۱-۹ ذخیره حرارتی یخی ۳۴۷
۱۱-۹-۱ استراتژیهای کنترل ۳۴۸
۱۱-۹-۲ سیستمهای ذخیره حرارتی یخی ۳۵۲
۱۱-۹-۳ اندازه‌بندی سیستمهای ذخیره یخ ۳۵۳
۱۱-۱۰ سرمایش تبخیری ۳۶۰
۱۱-۱۱ سرمایش خشک ۳۶۳
۱۱-۱۱-۱ کاربرد خورشیدی سرمایش خشک ۳۶۶

بخش دوازدهم: خدمات الکتریکی انرژی کارآمد

۱۲-۱ مقدمه ۳۷۰
۱۲-۲ ضریب توان ۳۷۱
۱۲-۲-۱ تأثیرات یک ضریب توان ضعیف ۳۷۳
۱۲-۲-۲ تصحیح ضریب توان ۳۷۵
۱۲-۳ موتورهای الکتریکی ۳۷۷
۱۲-۳-۱ اندازه‌بندی موتور ۳۷۸
۱۲-۴ موتورهای با سرعت متغیر *(VSD)* ۳۷۹
۱۲-۴-۱ مبانی عملیاتی *VSD* ۳۸۳
۱۲-۵ مصرف انرژی روشنائی ۳۸۴
۱۲-۵-۱ روشنائی روز ۳۸۵
۱۲-۵-۲ تعاریف روشنائی ۳۸۵
۱۲-۶ طراحی روشنائی مصنوعی ۳۹۰
۱۲-۶-۱ متوسط روشنائی *(E_{av})* ۳۹۱

صفحه

عنوان

۱۲-۶-۲ لومن‌های طراحی روشنائی (ø) ۳۹۱
۱۲-۶-۳ ضریب بهره‌گیری (UF) ۳۹۱
۱۲-۶-۴ ضریب نگهداری (MF) ۳۹۲
۱۲-۷ روشنائی انرژی کارآمد ۳۹۹
۱۲-۷-۱ لامپ‌ها ۴۰۰
۱۲-۷-۲ کلید کنترل ۴۰۳
۱۲-۷-۳ کنترلهای روشنائی ۴۰۴
۱۲-۷-۴ تعمیر و نگهداری ۴۰۵

بخش سیزدهم: طراحی ساختمان کم انرژی بر و آفتاب ۴۰۸
۱۳-۱ مقدمه ۴۱۰
۱۳-۲ گرمایش غیرفعال خورشیدی ۴۱۳
۱۳-۲-۱ تکنیکهای کسب مستقیم ۴۱۴
۱۳-۲-۲ تکنیکهای کسب غیر مستقیم ۴۱۶
۱۳-۲-۳ تکنیکهای کسب مجزا ۴۱۷
۱۳-۲-۴ سیستمهای ترموسیفون ۴۱۸
۱۳-۳ گرمایش خورشیدی فعال ۴۲۱
۱۳-۴ فتوولتائیک‌ها ۴۲۲
۱۳-۵ سرمایش غیر فعال ۴۲۳
۱۳-۵-۱ تکنیکهای سایه‌بان‌دهی ۴۲۴
۱۳-۵-۲ شیشه بندی کنترل خورشیدی ۴۲۷
۱۳-۵-۳ پنجره بندی پیشرفته ۴۲۹
۱۳-۵-۴ تهویه طبیعی ۴۳۵
۱۳-۵-۵ جرم حرارتی ۴۳۷
۱۳-۵-۶ هوادهی شبانه ۴۳۷

عنوان صفحه

۱۳-۵-۷ ترمودک ۴۳۸
۱۳-۶ شکل ساختمان ۴۴۰
۱۳-۷ عملکرد ساختمان ۴۴۵

ضمیمه ۱: روز- درجات ۴۵۳
الف ۱-۱: روز- درجات گرمایشی ۴۵۴
الف ۱-۲ تغییر درجه حرارت پایه ۴۵۷
الف ۱-۳ روز- درجات سرمایشی ۴۵۷

ضمیمه ۲: دیاگرام فشار ـ انتالپی برای *R۲۲* ۴۵۹

ضمیمه ۳: نمودار سایکرومتریک *CIBSE* ۴۶۱

بخش اول

انرژی و محیط زیست

جوامع در کشورهای توسعه یافته با این فرض که انرژی هم به وفور در دسترس بوده و هم نسبتاً ارزان است، بنا گردیده. اگرچه، تاوان‌های محیط زیستی مرتبط با تداوم در استفاده از سوختهای فسیلی وجود داشته و این هزینه‌ها سبب برآوردی مجدد از روش استفاده از انرژی گردیده است. این بخش از کتاب جستاری است از مصرف جهانی انرژی و پیامد آن بر محیط زیست.

۱-۱ مقدمه

آنهائی که در کشورهای توسعه یافته زندگی می‌کنند انرژی را بمثابه کمکی بلاعوض می‌پندارند. اگرچه، ما ممکن است درک صحیحی از ماهیت آن نداشته باشیم، لیکن مطمئناً می‌دانیم که چگونه از آن استفاده کنیم. در حقیقت، پیش از این جامعه‌ای که این چنین نظیر ما متکی بر انرژی بوده باشد هرگز وجود نداشته است. برای لحظه‌ای تعداد لوازم و ابزارآلات برقی که در طی روز استفاده می‌کنیم را تجسم کنید؛ لامپ‌ها، ماشینهای لباسشوئی، تلویزیونها، رادیوها، کامپیوترها و بسیاری دیگر از اقلام ضروری همگی نیازمند تأمین مناسب الکتریسیته جهت کارکرد خود می‌باشند. تصور نمائید زندگی بدون برق چگونه می‌نمود. زندگی کاری و زندگی شخصی هر دو می‌توانست بسیار متفاوت باشد. در واقع، جامعه متکی بر کامپیوترهای پیشرفته ما از حرکت باز می‌ایستاد؛ بهره‌وری ما بصورت چشمگیری سقوط می‌کرد، و تولید ناخالص داخلی (*GDP*)، بطور فزاینده‌ای کاهش می‌یافت؛ واقعیتی، که در قطع برقی که کالیفرنیا را در سال ۲۰۰۱ به زانو درآورد، تجلی می‌کند(۱). همانگونه نیز اگر عرضه نفت متوقف شود بافت جامعه ما سریعاً متلاشی خواهد شد. آنهائی که در انگلستان زندگی می‌کنند احتمالاً وقایع سپتامبر سال ۲۰۰۰ را بیاد می‌آورند، وقتیکه تعداد نسبتاً اندکی از "تظاهرکنندگان سوخت" موفق به توقف کامل عرضه سوخت به پمپ‌بنزینهای انگلستان گردیدند، درنتیجه در عرض چند روز اقتصاد باز ایستاد؛ مردم قادر به عزیمت به محل کار خود نبودند و سوپرمارکت‌ها خالی از مواد غذائی شدند. آنهائی که در انگلستان هستند و حافظه‌شان یاری می‌کند ممکن است بیاد داشته باشند که چگونه تلفیقی از تظاهرکنندگان

معادن ذغال سنگ، کارکنان برق و افزایش قیمت نفت خام در دهه ۱۹۷۰ انگلستان را به توقف کشاند؛ قطع برق معمولی می‌نمود، محدودیت سرعت وسائط نقلیه اعمال شد، و نهایتاً دولت مجبور به ارائه هفته کاری سه روزه جهت صرفه‌جوئی درانرژی گردید. بوضوح، اگرچه اغلب انرژی را کمکی بلاعوض می‌پنداریم، لیکن انرژی ارزان و در دسترس از ضروریات در اداره هر به اصطلاح جامعه پیشرفته صنعتی است. بنابراین درک طبیعت انرژی، عرضه آن، و بهره‌گیری از آن موضوع مهمی است، چرا که بدون آن ما در جهان توسعه یافته با آینده‌ای مبهم روبرو خواهیم شد.

بر برخی از شما که این کتاب را مطالعه می‌کنید، ممکن است جامعه‌ای که در حال توصیف آن هستیم بنظر بیگانه رسد. آنان که در کشورهای در حال توسعه زندگی می‌کنند بسیار آگاهند که انرژی منبع بسیار محدودی است. در بسیاری از کشورهای فقیرتر، تأمین برق فقط به شهرهای بزرگ صورت می‌گیرد، و حتی با این حال قطع برق معمول است. این نه فقط کیفیت زندگی را برای کسانی که در این کشورها زندگی می‌کنند، کاهش می‌دهد، بلکه بهره‌وری را نیز نقصان داده و متعاقباً داشتن یک تولید ناخالص داخلی (*GDP*) پائین را مسلم می‌کند. اگر شما در یکی از این کشورهای فقیر زندگی می‌کنید در اکثریت هستید، اکثریتی از جمعیت جهان که اقلیتی از انرژی آن را مصرف می‌کنند. این درواقع یک تضاد فاحش است. یک سوم از جمعیت جهان در جامعه‌ای مصرفی زندگی می‌کنند که به سهولت، بسیار اتلاف انرژی می‌نمایند، درحالیکه دو سوم دیگر جمعیت در کشورهائی زیست می‌کنند که اغلب قادر به تأمین انرژی کافی برای رشد اقتصادی خود نیستند. این مطلب در نمونه‌ای مانند ایالات متحده امریکا که تقریباً ۲۶٪ انرژی دنیا را مصرف کرده (۲)، در حالیکه فقط ۴/۴٪ از جمعیت دنیا را داراست، تجلی می‌کند.

نابرابری بین کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه واقعی است و باید سبب نگرانی عمده کلیه جهانیان گردد. متأسفانه، سیاست نفع شخصی اغلب بسیار قویتر و نافذتر از نوع‌دوستی عمل کرده و شکاف بین ملل ثروتمند و فقیر در سالهای اخیر گسترده‌تر گردیده است. اگرچه، زمانی که با حقایق ناخوشایند در رابطه با عدم مساوات بین ملل فقیر و غنی روبرو می‌شویم، پاسخ معمول ما بر این فرض استوار است که مسئله بسیار بزرگتر از آنست که قابل حل باشد، و باید فراموشش کرد. بهرحال همه ما دارای مسائل و نیازهای عمده تری هستیم که باید نگران آنها باشیم. البته این پاسخ بسیار قابل درکی است. لیکن، فراموش کردن مسئله بدین معنا نیست که مرتفع خواهد شد. در حقیقت واقعیتی است که به نسبت رشد اقتصادی کشورهای در حال توسعه، نیاز به انرژی آنها نیز شامل آن رشد می‌گردد(۳). این سبب افزایش فشار بر منابع رو به افول سوختهای فسیلی زمین

شده و کلاً افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی جوی را سبب می‌گردد. به یادآوری‌اش می‌ارزد که به خاطر داشته باشیم زمین جای نسبتاً کوچکی است و آلودگی جوی مرزهای ملی را محترم نمی دارد. در حقیقت، موضوعاتی نظیر تغییرات آب و هوائی و بدهی‌های کشورهای جهان سوم اکنون در تقابل با رفاه و امنیت کشورهای توسعه یافته‌اند. این احساس خطر از تغییرات آب و هوائی عامل پنهان راه اندازی مجموعه نشستها و گردهمائی‌های زیست محیطی دولتی در اواخر قرن بیستم می‌باشد. به بیان تاریخ، کنفرانسهای مونترال، ریو و کیوتو منحصر بفرد بودند، بدین جهت که پیش از این هرگز این تعداد کشورها در نشستی با یکدیگر به بحث درباره پیامد انسانها بر محیط زیست نپرداخته بودند. بواقع، می‌توان صادقانه اظهار داشت که هرگز پیش از این در تاریخ جهان این همه در نشستی به بحث درباره آب و هوا گرد نیامده بودند! مجموعاً این نشستها منجر به صدور پروتکل‌هائی شد که اهدافی را جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و لایه اوزون تعریف کرد، و حکومتهای جهان را مجبور به برآورد مجدد سیاستهایشان در رابطه با تأمین انرژی و مصرف آن نمود. موافقتنامه‌های جمعی امضاء شده در این کنفرانسها به درجات متفاوت بر ملل امضاء کننده تأثیرگذارده و به روشهای متنوع خودنمائی کردند. برای مثال، در انگلستان بخش اعظمی ازتأمین برق از ذغال سنگ که دارای مقدار زیادی کربن است به گاز طبیعی که بسیار کمتر حاوی کربن می‌باشد، تغییر کرد. در صنعت ساخت و ساز به اصطلاح "ساختمانهای سبز" برآمدند که بطور غیرمؤثر (مستقیم) هوادهی و تهویه می‌شوند (بخش ۱۳ را ملاحظه کنید) بااین قصد که مصرف انرژی را بحداقل رسانده و استفاده از سردکننده‌های مضر را حذف کنند. به علاوه این کنفرانسهای متعدد دولتی پر سروصدا بدین معنی بود که توجه به انرژی و کاربرد آن اکنون در صدر هشیاری جامعه است.

به سبب توجه عامه مردم به میزان مصرف انرژی اغلب تأمین انرژی که خود یک بخش بزرگ و مهم از اقتصاد جهان است را فراموش می‌کنند. برای مثال صنعت انرژی انگلستان دارای ارزشی معادل ۵٪ تولید ناخالص داخلی *(GDP)* است و ۴٪ از نیروی کار صنعتی را در اختیار دارد (اطلاعات ۱۹۹۹) (۴) که یکی از بزرگترین صنایع انگلستان است. بخش عرضه انرژی هم چنین دارای ماهیتی فرا ملیتی است. برای نمونه، نفت خام به کلیه نقاط جهان حمل می‌شود، که به تنهائی در سال ۱۹۹۹ روزانه جمعاً ۴۱/۰۴۸ میلیون بشکه را شامل می‌شد (۲). همینطور مقدار زیادی از گاز طبیعی نیز بوسیله لوله روزانه ضمن طی مسافات طولانی و گذشتن از مرزهای بین‌المللی انتقال یافته، و نیروی برق نیز بین ملل مختلف و بر مبنای روز تجارت می‌شود. بامنظور کردن حجم

صنعت عرضه تأمین انرژی، ماهیت فرا ملیتی آن، و اهمیتش بر اقتصاد جهان، تعجب برانگیز نخواهد بود که بسیاری از گروهها منافع خود را در مصرف انرژی یافته و اغلب این به برخورد با آنهائی که دارای نگرش زیست محیطی می‌باشند، می‌انجامد.

۱-۲ سیاست‌ها و نفع شخصی

هر تحقیق جدی راجع به موضوع عرضه انرژی و بهینه سازی مصرف آن به فوریت عدم امکان جدائی وجوه "فنی" موضوع از "سیاستی" که آنرا احاطه کرده را آشکار می‌سازد. این به دلیل تنیده شدن هر دو در یکدیگر است؛ یک منبع انرژی در دسترس سنگ بنای هر اقتصادی است و سیاستمداران نیز بسیار علاقمند به چگونگی عملکرد اقتصادها هستند. سیاستمداران علاقمند راه‌حلهای کوتاه مدت بوده و تمایلی به ارائه مواردی که سبب عدم معروفیت و شهرت آنان گردد، ندارند. همچنین بسیاری از احزاب سیاسی بر اعانات واصله از مؤسسات تجاری اتکاء دارند. متعاقباً اغلب سیاست نفع شخصی در تقابل با معیارهای جمعی و گروهی است. برای مثال، در بسیاری کشورها (اگرچه نه همه آنها)، سیاستمدارانی که مبادرت به ارائه سیاستهائی در جهت دریافت عوارض ترافیکی و یا افزایش قیمت بنزین می‌نمایند با سوء شهرت مواجه شده و چه بسا از مناصب خود رانده می‌شوند. در نتیجه، معیارهائی که در نظر اول کاملاً منطقی بنظر می‌رسند به سبب سیاست نفع شخصی مطرود و متروک می‌گردند. البته بسیار ساده است که سیاستمداران را به ریا و دوروئی شماتت کرد، زمانیکه این واقعیت نادیده انگاشته شود که هر کدام از ما بعنوان یک فرد نیز اغلب مقصر و گناهکاریم. یک شهر بزرگ سریع‌الرشد که مشکلات تراکم ترافیکی را داراست به عنوان یک مورد لحاظ کنید؛ زمانهای سفر طولانی و کیفیت هوا نامطلوب است. بطور واضح کیفیت زندگی آنان که در شهر زندگی می‌کنند به سبب ترافیک جاده‌ها مصیبت بار است. راه‌حل واضح است. مردم نیاز به استفاده از اتومبیلهایشان را متوقف و موکول به حمل و نقل عمومی کنند. اگر این موضوع مورد پرسش قرار گیرد، رانندگان اتومبیل احتمالاً موافق خواهند بود که شهر بیش از حد متراکم بوده و باید در جهت کاهش وسائط نقلیه در جاده‌ها تدابیری اندیشید. اگرچه وقتی پیشنهاد گردد که آنها بعنوان یک فرد باید استفاده از اتومبیل خودشان را متوقف کنند آنگاه نفع شخصی بر منطق فائق خواهد آمد؛ اعتراضات بلند خواهد شد، برخی اوقات خشونت بار، که چنین اقدامی بسیار شدید بوده و آزادی فردی را به مخاطره می‌اندازد. از این رو ما فقط می‌توانیم این نتیجه‌گیری را نمائیم که برای سیاستمداران به تنهائی ناممکن است که تحولی در "سیاستهای

انرژی" بدون تغییر در افکار عمومی پدید آورند. از بسیاری جهات حقیقتی است که بگوئیم ما رهبرانی را داریم که لایق آنها هستیم.

مثال ترافیک جاده‌ای که در بالا مورد بحث واقع شد نمودار خوبی از تضاد مابین منطق و نفع شخصی است، که اغلب در درون افراد متجلی است. اگر چه، دقیقاً همان تناقض اغلب بوضوح در سطح دولتی و بین‌المللی هویدا است. زمانیکه پای مباحث محیط زیستی به میان می‌آید اغلب دولتها از اجرای سیاستهای مناسب امتناع می‌ورزند زیرا چه بسا انجام آنها امکان محدودیت در رشد اقتصادی را سبب گردند.آنانی که دلواپس مباحث محیط زیستی هستند ایده تقدم منافع ملی بر سلامت محیط زیست کره زمین ممکن است بنظرشان بی معنی برسد. چه بسا، این موضوع به آن سادگی که در نظر اول متبادر می‌گردد نیست. بین مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی *(GDP)* پیوند استواری وجود دارد. بدون عرضه انرژی ارزان و سهل الوصول رشد اقتصادی بسیاری از ملتها محدود خواهد شد. متعاقباً، هرگونه کاهش در تولید ناخالص داخلی *(GDP)* به سبب اعمال کنترلهای محیط زیستی برای ساکنین کشورهای فقیرتر بسیار دردناکتر خواهد بود تا همان نسبت کاهش در کشورهای توسعه یافته. در واقع در بسیاری از کشورهای فقیرتر، اعمال نظر کشورهای توسعه یافته در رابطه با کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای، مزورانه بنظر می‌رسد؛ بالاخره ملل پیشرفته امریکای شمالی و اروپای غربی صرفاً از طریق تولید انبوه ثروتمند شدند و از قرن هیجدهم کشورهای توسعه یافته حجم انبوهی از انرژیهای اولیه را مصرف نموده و سطوح بالائی از آلودگی‌ها را تولید کرده‌اند. بنابراین در اواخر قرن بیستم زمانیکه مشکلات عدیده محیط زیستی پدیدار شدند همین کشورها رو به همسایگان فقیرتر خود کرده و بنام "محیط زیستی بودن" انتظار محدودیت رشد اقتصادی آنها را داشتند، تعجب برانگیز نخواهد بود که بسیاری در جهان در حال توسعه اینگونه برخورد را آمرانه و متکبرانه پندارند. بنابراین، به آن تعداد از ما در کشورهای توسعه یافته مربوط شود که برخورد خود را در رابطه با مصرف انرژی اصلاح نموده و الگویی در راهبری آنها باشیم.

۱-۳ انرژی چیست؟

قبل از بحث در رابطه با تولید و مصرف جهانی انرژی، شاید عاقلانه باشد که برخی از اصول فیزیکی مربوط به مطالعه انرژی را مرور کنیم. ما همگی با کلمه انرژی آشنایی داریم، لیکن بطور تعجب آور تعداد اندکی از مردم ماهیت واقعی آنرا درک می‌کند. در محاوره روزانه کلمه انرژی

بسیار ولنگارانه استفاده می‌شود؛ اغلب کلماتی مانند کار، توان، سوخت و انرژی مترادف استفاده شده و متناوباً ناصحیح. برای فیزیکدان یا مهندس، انرژی یک کلمه بسیار مشخصی است که شاید بهترین توصیه آن به یک مثال معنی یابد.

تصور کنید جرمی به وزن یک کیلوگرم که به اندازه یک متر، از سطحی که ابتدائاً بر آن مستقر بوده بالابرده شود. به سهولت قابل درک است که جهت بالابردن وزنی به فاصله یک متر،کسی یا ماشینی باید کاری انجام داده باشد. به تعبیری دیگر کاری در سیستم اعمال شده که جرم را از سطح تحتانی به سطح فوقانی ارتقاء داده است. این کار مقدار انرژی است که در سیستم القاء شده است. بنابراین زمانیکه وزن در وضعیت بالاست، در سطح بالاتری از انرژی نسبت به زمانیکه در کف بوده قرار دارد. در واقع این مثال اساس سیستم بین‌المللی را شکل می‌دهد، واحد انرژی، "ژول" را می‌توان بشرح ذیل تعریف کرد.

یک ژول *(J)* کار حاصل از نیروئی به قدرت یک نیوتن *(N)* است که بر جسمی وارد شده و آن را به اندازه یک متر *(m)* در جهت نیرو به حرکت درآورد.

و

یک نیوتن *(N)* نیروی لازمی است جهت افزایش یا کاهش سرعت یک جسم یک کیلوگرمی در یک متر بر ثانیه در هر ثانیه.

مقدار نیوتن لازم جهت شتاب دهی به یک جسم از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$F=m\times a \qquad (۱-۱)$$

در اینجا m جرم جسم (kg)، و a شتاب آن (m/s^2). فرض کنیم که شتاب به نسبت جاذبه برابر است با $۹/۸۱ m/s^2$، جرمی بوزن یک کیلوگرم نیروئی برابر با $۹/۸۱ N$ بکار خواهد گرفت $(۱kg\times ۹/۸۱ m/s^2)$. بنابراین نیروی لازم جهت ارتقاء یک متری آن $۹/۸۱ J$ خواهد بود.

اگر جرم یک کیلوگرمی رها شود، در فاصله یک متری به جای نخستین خود خواهد افتاد. با انجام این عمل انرژی پتانسیلی که در جرم یک کیلوگرمی زمانی که در سطح بالا قرار داشته ذخیره گردیده بود، رها خواهد شد. توجه داشته باشید که انرژی رها شده برابر خواهد بود با کاری که وزن را بالا برده بود. به این دلیل است که کلمه کار برخی اوقات بجای انرژی کاربرد دارد. شاید یک وجه مطلوب از نگرش به انرژی لحاظ کردن آن بعنوان "کار ذخیره شده" باشد. از این رو، انرژی

پتانسیل معرف کاری است که پیشاپیش انجام شده وبرای مصرف آینده انبارگردیده یاذخیره شده است. انرژی پتانسیل رامی‌توان ازطریق ذیل محاسبه کرد:

$$\text{انرژی پتانسیل} = m \times g \times h \qquad (۱-۲)$$

در اینجا mجرم جسم (kg)، gشتاب با احتساب جاذبه $(۹/۸۱ m/s^۲)$ و hعبارتست از ارتفاعی که جسم بالا برده شده است (m).

جسم در حال افتادن به جهت حرکت آن دارای انرژی خواهد بود و این انرژی را انرژی جنبشی گویند. انرژی جنبشی یک جسم، متناسب با جرم آن و مربع سرعت آن است. انرژی جنبشی را می‌توان از طریق زیر محاسبه کرد:

$$\text{انرژی جنبشی} = ۰/۵ \times m \times V^۲ \qquad (۱-۳)$$

در اینجا V سرعت جسم است (m/s).

ما می‌توانیم ببینیم که در خلال زمانه افتادن جرم، انرژی پتانسیل آن کاهش می‌یابد، در حالیکه انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد، اگرچه حاصل جمع هردو شکل از انرژی باید در خلال افتادن ثابت باشد. فیزیکدانان و مهندسین این حالت ثبات را در "قانون بقای انرژی" اظهار می‌دارند که مجموعه مقدار انرژی در سیستم باید در همه حال یکسان باشد.

باید توجه داشت که مقدار انرژی مصرف شده جهت بالا بردن وزن، کاملاً مستقل از زمانی است که جهت بالا بردن وزن مصروف شده است. چه وزن دریک ثانیه بالا برده شده باشد یا یک روز بهرحال تفاوتی درانرژی که در سیستم اعمال شده، نمی کند. اگرچه مطمئناً تأثیری بر "توان" شخص یا ماشین انجام دهنده کار دارد. وضوحاً، هرچه مدت بالابری کوتاه‌تر باشد، بالابر باید قدرتمندتر باشد. نتیجتاً توان به عنوان نرخ تولید یا مصرف انرژی است یا به تعبیری دیگر نرخی است که معرف کار انجام پذیرفته است. واحد بین‌المللی(SI) قدرت، وات (W) است. بنابراین، یک ماشین توانی برابر با یک وات نیاز دارد اگر انرژی برابر با یک ژول دریک ثانیه مصرف کند (یک وات برابر است با یک ژول بر ثانیه). به تعبیر الکتریکی یک وات انرژی رها شده دریک ثانیه بایک جریان یک آمپری در گذر از مقاومتی یک اهمی معادل است.

بدیهی است که اگر دو سطح سخت رابه یکدیگر بسائیم، کار لازم جهت فائق آمدن بر اصطکاک، تولید حرارت می‌کند. همچنین، مشخص است که الکتریسیته می‌تواند جهت انجام کار مکانیکی توسط بهره گیری از یک الکتروموتور، مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین انرژی فرمهای مختلف بخود می‌گیرد (انرژی الکتریکی، کار مکانیکی و حرارت) و می‌تواند براحتی تبدیل به این فرمهای متعدد گردد. برای مثال، یک سوخت فسیلی می‌تواند سوزانده شده و تولید انرژی حرارتی دریک نیروگاه برق بنماید. انرژی حرارتی تولید شده سپس توسط یک توربین تبدیل به انرژی مکانیکی شده، که درپی آن انرژی الکتریکی از طریق ژنراتور تولید می‌شود. نهایتاً، الکتریسیته به منازل و کارخانجات توزیع می‌شود که می‌تواند به کار مکانیکی از طریق الکتروموتورها، گرما از طریق المانهای مقاومتی و روشنائی از طریق لامپهای الکتریکی مبدل شود.

۱-۳-۱ واحدهای انرژی

بدلائل گوناگون (بسیار بیش از آن که بتوان در اینجا متذکر شد)، مجموعه غریبی از واحدهای انرژی ظهور کرده اند. کتابها،مقالات و گزارشات درانرژی عباراتی نظیر "کیلووات ساعت"، "ترمز"، "ژول"، "کالری"، "معادل تن نفت" و بسیاری دیگر را ذکر می‌کنند. این موارد مسئله را برای خواننده پیچیده تروغامض‌تر کرده است. بنابراین این بخش معرفی برخی از واحدها که بیشتر مورد استفاده‌اند، را شامل می‌گردد.

کیلووات ساعت (kWh)

کیلووات ساعت (kWh) مشخصاً یکی از واحدهای مؤثر انرژی است که عموماً در صنعت عرضه برق و به نسبتی کمتر در صنعت عرضه گاز بکار گرفته می‌شود و به مقدار انرژی مصرفی در یک ساعت توسط وسیله‌ای که دارای نرخ قدرت یک کیلووات (kW) است اطلاق می‌شود.

$$۱kWh = ۳/۶ \times ۱۰^{۶} \text{ ژول}$$

واحد حرارتی انگلیسی (BTU، British Thermal Unit)

واحد حرارتی انگلیسی (BTU) یک واحد انرژی سلطنتی قدیمی است، که هنوز بسیار مورد استفاده می‌باشد وعلی‌الخصوص درایالات متحده امریکاپرطرفداراست.

$$۱BTU = ۱/۰۵۵ \times ۱۰^{۳} \text{ ژول}$$

ترم Therme

ترم واحدی است که ازصنعت عرضه گاز برخاسته است وآن برابربا ۱۰۰۰۰۰ *BTU* است.

۱ *Therme* = ۱/۰۵۵×۱۰^۸ ژول

تن معادل نفت *Tonne of oil equivalent (toe)*

"**تن** معادل نفت" (*toe*) واحدی از انرژی است که در صنعت نفت مورد استفاده قرارمی‌گیرد.

۱*toe* = ۴/۵×۱۰^۱۰ ژول

بشکه

بشکه، واحد دیگری از انرژی است که درصنعت نفت استفاده دارد. ۷/۵ بشکه دریک (*toe*) موجوداست.

بشکه ۱ = ۶ × ۱۰^۹ ژول

کالری

در صنعت غذائی کالری معمولاً بیشترین واحد انرژی مورد استفاده است. درحقیقت مقدارانرژی گرمائی لازم است، که درجه حرارت یک گرم ازآب رایک درجه سانتیگراد بالا می‌برد.

کالری ۱ = ۴/۲×۱۰^۳ ژول

۱-۳-۲ قوانین علم ترمودینامیک

ترمودینامیک مطالعه حرارت و کار است، وتبدیل انرژی ازفرمی‌به فرمی‌دیگر.درواقع سه قانون ترمودینامیک وجوددارد، اگرچه قسمت عمده ترمودینامیک براساس دوقانون اول استوار است.

قانون اول ترمودینامیک

اولین قانون ترمودینامیک به قانون بقای انرژی نیز معروف است و بیان می‌دارد که انرژی در یک سیستم نه می‌تواند خلق شود ویا نابود گردد. در عوض انرژی یا از فرمی به فرم دیگر تبدیل شده و یا از سیستمی به سیستم دیگر انتقال می‌یابد. عبارت "سیستم" می‌تواند به هر چیزی از یک شیئی ساده تا یک ماشین پیچیده اطلاق گردد. اگر قانون اول در یک موتور حرارتی بمانند توربین گازی جائی که انرژی گرمائی به انرژی مکانیکی تبدیل می‌گردد، بکاربسته شود، آنگاه به ماخواهد

گفت فارغ از مراحل متعدد فرآیند، مجموع مقدارانرژی در سیستم باید در همه حال ثابت باقی بماند.

قانون دوم ترمودینامیک

در حالیکه قانون اول ترمودینامیک به کمیت انرژی موجود در یک سیستم اشاره دارد، هیچ چیزی در ارتباط با مسیری که در آن جریان دارد بیان نمی‌کند. قانون دوم است که با مسیر طبیعی فرآیندهای انرژی ارتباط دارد. برای مثال، برطبق قانون دوم ترمودینامیک، حرارت همیشه فقط از یک جسم گرم به یک جسم سرد جریان دارد. از سوی دیگر شرح می‌دهد که چرا بسیاری از فرآیندهای طبیعی بنحوی که هست اتفاق می‌افتد. برای نمونه، آهن همیشه زنگ می‌زند، زنگ هرگز آهن خالص نمی شود. این بدان جهت است که کلیه فرآیندها در جهان هستی به سمتی که بی نظمی و هرج و مرج افزایش می‌یابد، پیش می‌روند. آهن بوسیله ذوب سنگ آهن در ریخته گری تولید می‌شود، فرآیندی که مستلزم استفاده ازمقدارزیادی ازانرژی گرمائی است. لذا، زمانیکه آهن زنگ می‌زند به وضعیت "انرژی پائین" برمی‌گردد. هر چند که درک این مطلب مشکل است، بی‌نظمی به کمیت درآمده و نام "آنتروپی" به آن داده شده است. آنتروپی را می‌توان جهت به کمیت درآوردن کار مفیدی که می‌توان در یک سیستم اعمال کرد، مورد بهره گیری قرارداد. به عبارت ساده، هرچه سیستم ازهم پاشیده ترباشد انجام کارمفیددرآن مشکل تراست.

در یک متن مهندسی قانون دوم ترمودینامیک است، که این واقعیت که یک موتور حرارتی هرگز نمی‌تواند با بازدهی ۱۰۰٪ باشد را تأیید می‌کند. مقداری ازانرژی گرمائی حاصل از سوخت به اجسام سردتر اطراف منتقل می‌شود، با این احتساب که به انرژی مکانیکی تبدیل نخواهد شد.

قانون سوم ترمودینامیک

قانون سوم ترمودینامیک در ارتباط با صفرمطلق است ($-۲۷۳^{\circ}C$) و به سادگی بیان می‌دارد که کاهش درجه حرارت هر سیستمی به صفر مطلق غیرممکن است.

۱-۴ مصرف انرژی وتولید ناخالص داخلی GDP

در مقدمه این بخش عنوان شده بود که حذف سیاست از هر مبحث از مطالعه انرژی غیرممکن است و این برای آنست که تولید ناخالص داخلی (GDP) هرکشوری در رابطه با مصرف انرژی آنست. شاید بهترین وجه نمایش این رابطه، نظری ازدید تاریخی برمصرف انرژی است. جدول

۱-۱ نشان دهنده تقریبی متوسط مصرف روزانه مردم درجوامع تاریخی مختلف است.

از جدول ۱-۱ می‌توان دیدکه مصرف انرژی سرانه به نسبت پیشرفته شدن و صنعتی شدن جوامع افزایش یافته است (تقریباً بطور تصاعدی). اولین انسانها جمع‌آوری کنندگان ساده‌ای بودند که با میوه‌های وحشی، دانه‌ها و سبزیجات گذران زندگی می‌کردند. اگرچه، بمحض اینکه مردم شروع به شکارکردن نموده و در مناطق کمترمساعد زندگی کردند، آنها آموختندکه چگونه ازآتش برای پخت و پز و گرمایش استفاده کنند.همانگونه که زمان پیش می‌رفت،جوامع توسعه یافتند؛ اول کشاورزی و سپس فعالیتهای صنعتی آمدند؛ ذوب کردن وکارکردن بافلزات وافزایش تجارت کالاو مواد نیز متداول شدند. با این پیشرفتهای اجتماعی و تکنولوژیکی، افزایش مصرف انرژی همراه شد؛ ساختمانها به گرمایش نیاز داشتند، غذا به پختن نیاز داشت و فرآیندهای تولیدی به سوخت نیازمند گردیدند. تخمین زده می‌شود که مصرف انرژی سرانه از تقریباً ۴۰۰۰ کیلوکالری درروز، در عصر شکار، به تقریباً ۲۱۰۰۰ کیلوکالری در روز، در اروپای قبل ازانقلاب صنعتی افزایش یافت(۵). انقلاب صنعتی ابتدا در اروپا و سپس در امریکای شمالی به افزایش سریع مصرف انرژی سرانه در خلال قرن نوزدهم منجر شد. جمعیتها بسرعت رشد کرده ودرشهرها وشهرستانهای بزرگ تمرکز یافتند. تولید انبوه معمول گشت و با آن نقل وانتقال کالا، مواد خام ومردم بیشترشدند. این افزایش چشمگیر در مصرف انرژی در خلال قرن بیستم با بیشتر و بیشتر صنعتی شدن جوامع ادامه یافت، بطوریکه درکشورهای پیشرفته تکنولوژیکی همانند امریکا مصرف انرژی سرانه تقریباً روزانه به ۲۵۰۰۰۰ کیلوکالری رسید (۵).

جدول ۱-۱ چشم اندازتاریخی مصرف انرژی سرانه(۵)

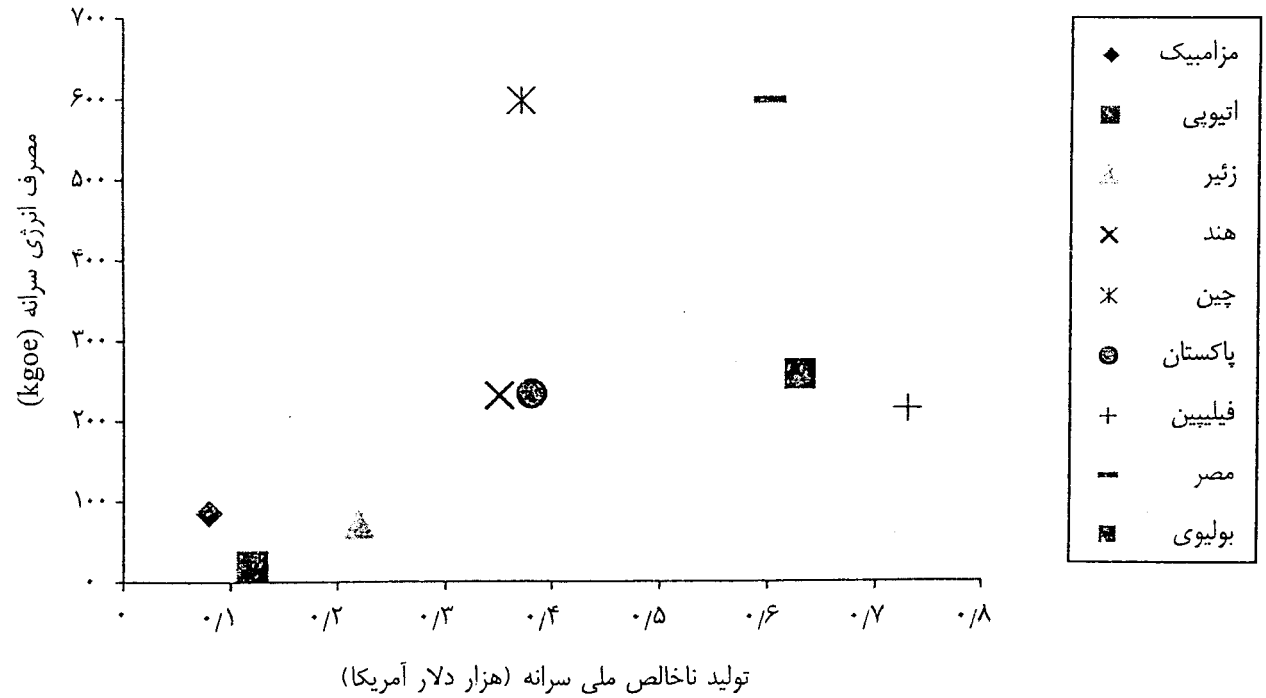
زمان و مکان	نوع جامعه	مشخصات	گمانه مصرف انرژی‌سرانه‌روزانه
ابتدائی	جمع‌آوری‌کنندگان	جمع‌آوری میوه‌های وحشی، دانه‌ها و سبزیجات	۲۰۰۰k Cal (۸/۲MJ)ض
یک میلیون سال قبل ازمیلاد	شکارچیان - جمع‌آوری‌کنندگان	جمع‌آوری میوه‌های وحشی وغیره، شکارکردن وپختن غذا	۴۰۰۰k Cal (۱۶/۴MJ)
۴۰۰۰ سال قبل از میلاد، خاورمیانه	کشاورزان ساکن	کاشت‌محصول و داشت حیوانات	۱۲۰۰۰k Cal (۴۹/۲MJ)
۱۵۰۰ سال بعد از میلاد، اروپا	کشاورزی وصنایع کوچک	جامعه کشاورزی وصنایع خاص تولید فلز، شیشه و غیره	۲۱۰۰۰k Cal (۸۸/۲MJ)
۱۹۰۰سال‌بعدازمیلاد، اروپا	جامعه صنعتی	صنایع بزرگ، تولید انبوه، شهرهای‌وسیع	۹۰۰۰۰k Cal (۳۷۸MJ)
۱۹۹۰سال‌بعدازمیلاد، امریکا،اروپای‌غربی‌وغیره	جامعه پیشرفته صنعتی	جامعه‌مصرفی،حمل‌ونقل‌عمومی، بسیاری‌از ابزارجانشین کارگر	۲۵۰۰۰۰k Cal (۱GJ)

از مرور تاریخی فوق روشن می‌گردد که ارتباط محکمی بین سرانه مصرف انرژی ورشد اقتصادی وجود دارد. به عبارت ساده، جوامع کشاورزی کمترتوسعه یافته بمراتب انرژی کمتری از رقبای پیشرفته صنعتی خود مصرف می‌کنند. شکلهای ۱-۱ و ۱-۲ نشانگراطلاعاتی است که از گزارش توسعه جهانی[1] برای سال ۱۹۹۰ توسط بانک جهانی استنتاج شده است (۶). این شکلهانشان دهنده ارتباط بین تولید ناخالص داخلی سرانه ومصرف انرژی بترتیب برای بعضی از کشورهای فقیرتر و ثروتمندتر جهان هستند. اگرچه مصرف انرژی تحت تأثیر فاکتورهائی مانند تمرکز جمعیت، آب و هوا و محل قرار دارد، در شکل‌های ۱-۱ و ۱-۲ می‌توان دید که برای بیشتر کشورها، بویژه کشورهای در حال توسعه هنوز یک ارتباط محکمی بین تولید ناخالص داخلی و مصرف انرژی وجود دارد، باید کلاً اظهار داشت که در بیشترین جوامع مصرف انرژی و رشد اقتصادی گرایش به حرکت در موازات یکدیگر دارند.

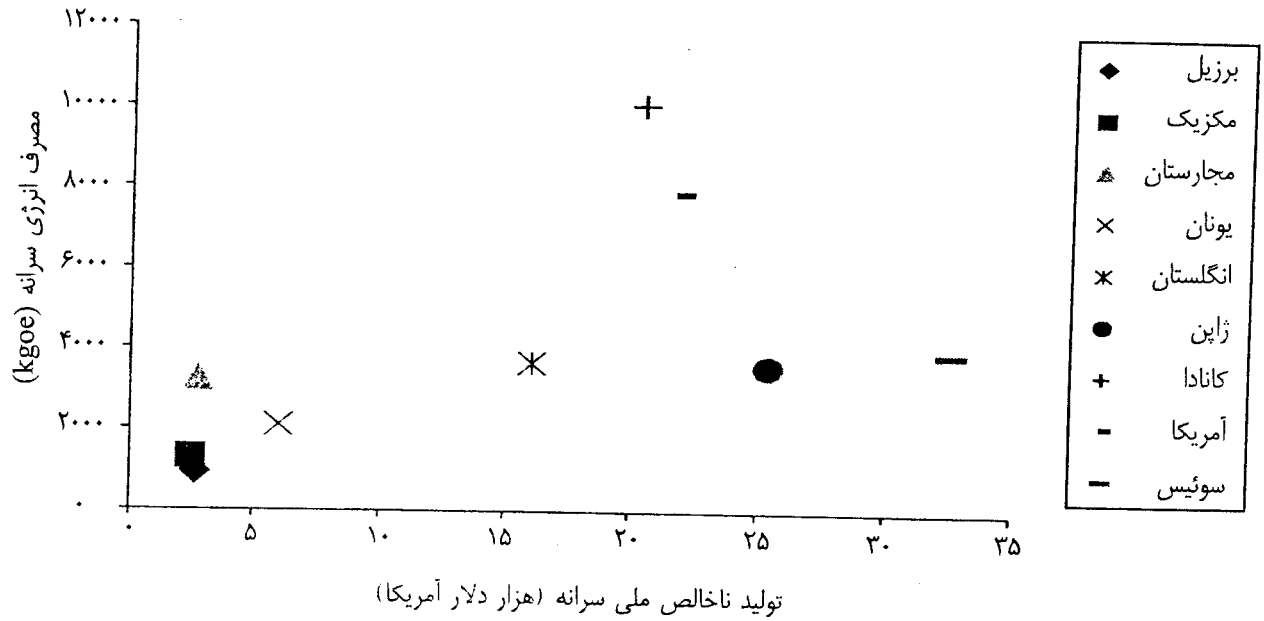
اگر چه ارتباط تاریخی محکمی بین تولید ناخالص داخلی ومصرف انرژی وجود داشته است، در

1- *World Development Report*

سالهای اخیر یک انفصال ارتباط دربسیاری از کشورهای پیشرفته‌تر پدید آمده است. مشاهده شده است که از دهه ۱۹۷۰ در این کشورها افزایش *GDP* با افزایش نرخ مثبتی از مصرف انرژی همراه نگردیده است. در واقع، در انگلستان و تعدادی دیگر از کشورهای اروپائی، مصرف انرژی وضعیتی ثابت یافته و نسبتاً در سالهای اخیر یکسان باقی مانده است(۵). بخشی از وقوع این پدیده به سبب قبول تکنولوژیها و صرفه‌جوئی جدیدتر انرژی و بخشی به سبب جایگزینی بسیاری از صنایع تولیدی انرژی بر با صنایع تکنولوژی بالا و بخش خدمات است که بسیار کمتر انرژی مصرف می‌کنند. اگرچه، از یک دید جهانی، ساده انگاری است که این حرکت به سمت بخش خدمات را صرفه‌جوئی در انرژی بپنداریم، زیرا درواقعیت این کشورها بطور مؤثر صنایع تولید انبوه و سنگین خود رابه بخشهای دیگری از جهان، جائی که هزینه‌های دستمزد پائین تراست صادر کرده‌اند. در واقع شواهدی در دست است که بسیاری ملل "مصرفی" پیشرفته بسادگی صنایع پرمصرف "کثیف" خود را به کشورهائی که قوانین زیست محیطی بسیارضعیف‌تری دارند صادرمی‌کنند، درنتیجه آلودگی محیط زیست بصورت غیرقابل توجیهی افزایش می‌یابد.



نمودار ۱-۱ *GNP* سرانه درمقابل مصرف انرژی بعضی ازکشورهای فقیرتر (۶)



نمودار ۱-۲ *GNP* سرانه درمقابل مصرف انرژی دربعضی ازکشورهای ثروتمندتر (۶)

نسبت انرژی مصرفی به *GDP* بعنوان شدت انرژی یک اقتصاد شناخته می‌شود و آن میزانی است از ستاده یک اقتصاد در مقایسه با داده‌های انرژی آن، مؤثراً میزانی از راندمانی که انرژی مصرف می‌شود. کشورهای تولید کننده با زیر ساختارهای قدیمی یا نسبتاً فرسوده مانند بسیاری از کشورهای اروپای شرقی و شوروی سابق اغلب شدت انرژی بسیار بالائی را ارائه می‌دهند، در حالیکه کشورهای فراصنعتی با بازدهی انرژی بیشتر دارای شدت انرژی بسیار پائین‌تر هستند. رابطه بین زیرساختار و شدت انرژی بواقع بسیارقوی است. در کشورهای درحال توسعه، توسعه زیرساختاری به رشدصنایع تولیدی با شدت انرژی منجر می‌شود. دراقتصادهای صنعتی، شدت انرژی قویاً تحت تأثیر بازدهی زیرساختاری و کالاهای سرمایه‌ای نظیر نیروگاهها، وسائط نقلیه موتوری، امکانات تولیدی و لوازم مورد نیاز مصرف‌کننده نهائی است. بازدهی انرژی کالای سرمایه‌ای در عوض، تحت تأثیر قیمت انرژی به نسبت هزینه کارگروهزینه سرمایه استقراضی است. اگر هزینه‌های انرژی نسبت به دیگر هزینه‌ها بالا باشد، آنگاه بسیار محتمل است که سرمایه‌گذاری درتکنولوژیهای "با صرفه در انرژی" صورت خواهد پذیرفت. برعکس، اگر قیمتهای انرژی پائین باشند، آنگاه انگیزه کمی برای سرمایه‌گذاری و بواقع تحقیقات در تکنولوژیهای "با صرفه در انرژی" وجود خواهد داشت(۷). درحالیکه شدت انرژی قویاً تحت تأثیر قیمت انرژی است، همچنین تحت تأثیر فاکتورهائی است که مستقیماً از تغییر قیمت تأثیرپذیر نیستند برای مثال،

تحولات در تکنولوژی و تغییرات در ساختار تجارت جهانی توان تأثیر بر شدت انرژی را دارا است. موقعیت جغرافیائی دارای تأثیرشدیدی است؛ کشورهای شمالی سرد نشان ازشدت انرژی بالا دارند. فاکتورهای دیگرشامل تغییرات درمد وسلیقه انسانهاست. برای نمونه، اگررفتن به سر کار با دوچرخه توسط تعداد کافی از مردم معمول شود، آنگاه امکان تأثیر این موضوع برشدت انرژی یک اقتصاد وجود خواهد داشت. خلاصه، فاکتورهای بسیاری هستند که شدت انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

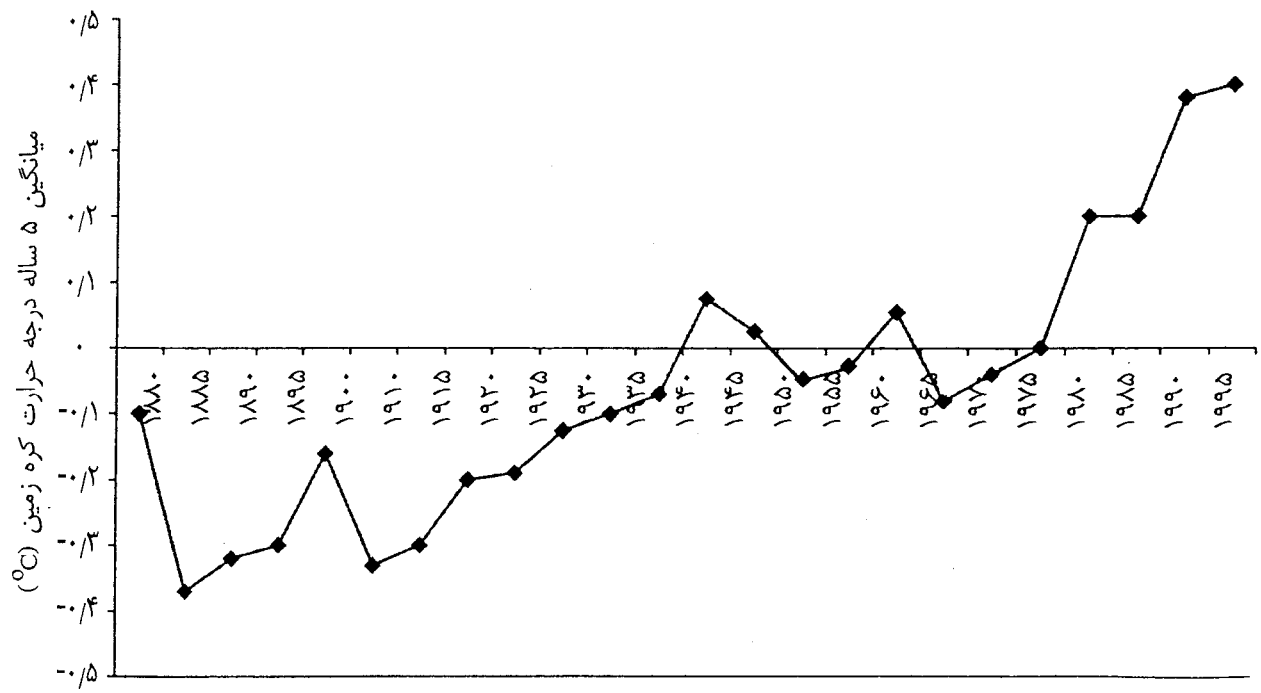
۱-۵ موضوعات زیست محیطی

کره زمین باآزمایش‌های بسیاری ازمشکلات زیست محیطی روبروست، اگرچه آنها بسیار جالبند، لیکن ماوراءحیطه این کتاب هستند. بهرحال به سبب ملاحظات زیست محیطی، بویژه دریافت تهدیدگرم شدن کره زمین، تأثیراتی است که سیاست انرژی بسیاری از کشورها را شکل می‌دهد، و لازم است که موضوع بابرخی جزئیات مورد بحث واقع شود. درک تهدید تغییرات آب و هوائی درصدر دیگر موضوعات است که در راستای مصرف انرژی تغییرات نگرشی و رفتاری پدیدآورده است. اگرچه مجادلات علمی بسیاری برماهیت واقعی و دامنه تهدیدات دوگانه گرم شدن کره زمین و تحلیل لایه اوزون وجود دارد، این واقعیت پابرجاست که این تهدیدات چه حقیقی یا تخیلّی، توسط بسیاری از دولتهابعنوان یک واقعیت پذیرفته شده. بااین نتیجه که سیاستهای انرژی هم درسطح ملی وهم سطح بین‌المللی هم اکنون تحت یک دستورالعمل زیست محیطی تدوین می‌گردند. اهمیت دارد که درکی ازموضوعات زیست محیطی بجا و مناسب داشت و نادیده گرفتن حقایق مربوط به پیامدهای زیست محیطی متعجبانه بطورگسترده میان سیاستمداران، خبرگان و جامعه بطور اعم وجود دارد. مفاهیمی بمانند گرم شدن کره زمین وتحلیل لایه اوزون اغلب گیج کننده و مغشوش است. در واقع بعضی از افراد به روش زندگی زیست محیطی سبز تعهد دارند لیکن زمانیکه به علم محیط زیست می‌رسند افکاربسیارآشفته ونامشخصی را آشکار می‌کنند. بنابراین این بخش منحصراً درمعرفی حقایق مرتبط نگاشته شده وبشرح موارد مناسب و وابسته به گرم شدن کره زمین وتحلیل لایه اوزون می‌پردازد.

۱-۵-۱ گرم شدن کره زمین

شواهد روبه رشد علمی وجود دارد که انتشار گاز گلخانه‌ای معلول فعالیتهای بشر، دارای

تأثیری بر آب و هوای کره زمین می‌باشد. شواهد اظهار می‌دارد که آب و هوای کره زمین تقریباً ۰/۷°C ازاواخرقرن نوزدهم گرمترشده است (۸)، وروند این گرم شدن درحال افزایش است. درکل جهان، دهه ۱۹۹۰ گرمترین سالهای ثبت شده بودند، هفت سال از ۱۰ سال این دهه بعنوان گرمترین سالها به ثبت رسیده‌اند (۹و۸). درحقیقت، درسال ۱۹۹۸ درجه حرارت کره زمین گرمترین ازسال ۱۸۶۰ بود (۸) و بیستمین سال متوالی بادرجه حرارت بالاتراز حد معمول سطح کره زمین، بود (۸). شکل ۱-۳ رشد منظم درجه حرارت کره زمین رانمایش می‌دهد.



نمودار ۱-۳ میانگین تغییر دمای کره زمین (۹)

این موضوع مورد قبول عامه است که رشد سریع دمای کره زمین که در خلال بخش انتهائی قرن بیستم تجربه شد، بخشی از آن به سبب آلودگی آتمسفر منجر از فعالیتهای بشر بوده که اثر گاز گلخانه‌ای کره زمین را شتاب می‌بخشد. اثر گاز گلخانه‌ای پدیده‌ای طبیعی است که لازمه حفظ گرمایش کره زمین است. به سبب گازهای منتشره در بالای آتمسفر، تشعشعات موج بلند مادون قرمز ساطع شده از سطح کره زمین احاطه می‌شوند. آتمسفر زمین نسبتاً بدون مانع اجازه عبور تشعشعات خورشیدی موج کوتاه را می‌دهد. اگرچه بخشی از تشعشعات موج بلند تولیدی توسط سطح گرم کره زمین جذب شده، لیکن سپس به سبب گازهای گلخانه‌ای در آتمسفر به سمت پائین منتشر می‌شود. در این راستا یک تعادل انرژی پدید می‌آید، که ضامن گرمتر بودن کره زمین از آن

حدی که باید باشد، است. بدون اثر گلخانه‌ای حدس زده می‌شود که سطح کره زمین حدود $۳۳^{\circ}C$ سردتر می‌بود. بنابراین اثرگلخانه‌ای لازمه بهداشت فردی جمعیتهاست، اگرسطوح گازگلخانه‌ای بالاتراز حد نرمال آن باشد، گرمای مازاد بوجود آمده می‌تواند تهدیدی برای تحمل پذیری کره زمین گردد. گازهای طبیعی گلخانه‌ای عمده، پدیده آمده درآتمسفرزمین بخارآب و CO_2 می‌باشند. ازاینهابخارآب است که بیشترین اثرات گلخانه‌ای رادارا است. در حالیکه توده CO_2 بشدت تحت تأثیرفعالیتهای انسانی است، بخارآب آتمسفر تقریباً بطور کامل توسط شرایط آب و هوائی و نه فعالیت بشر، معین می‌گردد. فعالیت بشر مسئول تولید تعدادی دیگر از گازهای گلخانه ای قوی است، شامل متان، اکسید ازت، کلروفلوروکربن (*CFCs*) و هیدروکلروفلوروکربن (*HCFCs*). از اواخر قرن هیجدهم به بعد، تجمع گازهای گلخانه‌ای "تولیدی انسان" بطورمرتب افزایش یافته است (بجز *C FCs* و *HCFCs* که اولین بار در دهه ۱۹۳۰ معرفی شدند). جدول ۱-۲ سطوح مختلف گازهای گلخانه‌ای پیش از صنعتی شدن و سال ۱۹۹۰ را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که هر گازی بمقدار قابل توجهی در غلظت آتمسفری افزایش یافته است. برای مثال، غلظت CO_2 از $۲۸۰ppm$[1] در میانه قرن هیجدهم به حدوداً $۳۵۳ppm$ در سال ۱۹۹۰ رشد داشته است؛ ازدیادی برابر با ۲۶٪ که منجر به افزایشی با نرخ جاری ۰/۵٪ در سال گردیده است (۱۰). در حقیقت، صاحبنظران بین‌المللی در خصوص تغییرات آب و هوایی (*IPCC*)[2] پیش بینی می‌کنند که دو برابر شدن CO_2 در آتمسفر تا سال ۲۰۵۰ بوقوع خواهد رسید. و منجر به افزایش متوسطی از دمای کره زمین بین $۱/۵^{\circ}C$ و $۴/۵^{\circ}C$ خواهد شد (۱۰ و ۱۱).

هر چند که CO_2 تنها گاز "تولیدی بشر" است که بیشترین تأثیر را در گرمایش عمومی زمین دارد (افزون بر ۵۰٪)، لیکن بدان معنا نیست که از قویترین گازهای گلخانه‌ای است. برای نمونه گاز متان حدوداً ۲۱ برابر از CO_2 قویتر است. به عبارتی دیگر، گاز متان دارای پتانسیل نسبی گرمایش زمین (*GWP*)[3] ۲۱ در مقایسه به CO_2 که ۱ است، می‌باشد. شگفت‌آور اینکه *CFC*-۱۱ دارای یک *GWP* حدوداً ۳۵۰۰ و *CFC*-۱۲ دارای یک *GWP* تقریباً ۷۳۰۰ می‌باشند (۱۰)، که *CFCs* را قویترین گازهای گلخانه‌ای می‌سازد. *CFC*ها اولین بار در دهه ۱۹۳۰ معرفی شدند و بصورت سرمازاها، حلال و پیش‌رانه افشانه‌ها مورد استفاده قرار گرفتند، تا اینکه در میانه دهه ۱۹۹۰

1- *Part Per million*

2- *Intergovernmental Panel on Climate Change*

3- *Global Warming Potential*

جمع‌آوری گردیدند. آنها بسیار باثبات بوده و در بالای آتمسفر برای مدت زمان قابل توجهی باقی می‌مانند این زمان برای CFC-۱۲ تابیش از ۱۳۰ سال می‌باشد. با در نظرگرفتن اینکه آنها هم چنین از تحلیل برندگان قوی لایه اوزون می‌باشند، تعجب آور نیست که کنترل و حذف CFCها یکی از اهداف عمده زیست محیطی دردهه ۱۹۹۰ شده است.

جدول ۱-۲ تأثیرات گازهای گلخانه‌ای مختلف در گرمایش زمین (۱۲)

گاز گلخانه‌ای	معادل هر ملکول CO_2	تجمع در قبل ازسال ۱۸۰۰	تجمع در سال ۱۹۹۰	نرخ رشد (سال ٪)	عمرآتمسفری (سالها)
CO_2	۱	۲۸۰ *ppmv*	۳۵۳ *ppmv*	۰/۵۰	۵۰-۲۰۰
گازمتان	۲۱	۰/۸*ppmv*	۱/۷۲ *ppmv*	۰/۹۰	۱۰
CFC۱۲	۷۳۰۰	۰/۰ *ppmv*	۴۸۴ *pptv*	۴	۱۳۰
CFC۱۱	۳۵۰۰	۰/۰ *ppmv*	۲۸۰ *pptv*	۴	۶۵
اکسیدازت	۲۹۰	۲۸۸*ppbv*	۳۱۰ *ppbv*	۰/۲۵	۱۵۰

گستره احتمال وقوع گرمایش زمین درنتیجه تجمع گازهای گلخانه‌ای یکی ازموارد جدی مجادله علمی است. مرکزهادلی ۱ اداره هواشناسی انگلستان پیش بینی می‌کند، تحت سناریو "روند فعلی"، هوای کره زمین در حدود $3°C$ برای ۱۰۰ سال آینده گرم خواهد شد (۱۲)، که در تعامل با پیش‌بینی $IPCC$ که حدود $1/5°C$ تا $4/5°C$ رشد درجه حرارت راتاسال ۲۰۵۰ تخمین زده، می‌باشد. درحالیکه تغییرات آب وهوائی بعنوان جدی‌ترین تهدید زیست محیطی که دنیای امروز باآن روبروست، مورد موافقت جمعی است، ماهیت دقیق تغییرات آب و هوائی هنوز قابل بحث است. پیش بینی شده است که با روند فعلی گرمایش زمین، سطح دریاها تا سال ۲۰۸۰ بیش از ۴۰۰ *mm* بالا خواهد آمد (۱۲) و این به سبب اثرات تلفیقی انبساط حرارتی اقیانوسها و آب شدن یخهای قطبی است. این جان میلیونها انسان را به خطرمی‌اندازد، بویژه با اضافه کردن ۸۰ میلیون مردمی که باسیل در بخشهای پست جنوب و جنوب شرقی آسیا مورد تهدید قراردارند (۱۲). محتمل است که به سبب افزایش دما، خشکسالی اتفاق خواهد افتاد، وآفریقا، خاورمیانه و هند همگی کاهش قابل توجهی دربرداشت محصول غلات را تجربه خواهند کرد(۱۲). افزایش خشکسالی بدان معنی خواهد بود که تا سال

۲۰۸۰ بیش از ۳ میلیارد از انسانها از افزایش کم آبی رنج خواهند برد، انتظار می‌رود شبه قاره هند، خاورمیانه و شمال افریقابدترین تأثیرها را داشته باشند. خنده‌دار است که فقیرترین کشورها، آنهائی که کمترین تأثیر را در گرمایش زمین داشته‌اند، احتمالاً ضربه‌پذیری بیشتری نسبت به تأثیرات آب وهوائی راخواهند داشت.

۱-۵-۲ شدت کربن عرضه انرژی

شدت کربن، مقیاسی است از میزان CO_2 که برای هر واحد از انرژی تولیدی در آتمسفر رها شده است. بدین سبب تماماً بستگی به نوع سوخت مورد مصرف دارد. برای مثال، الکتریسیته تولیدی از نیروگاههای هسته‌ای هیچ CO_2ای منتشرنمی کنند، درجائی که الکتریسیته تولیدی نیروگاههای ذغال سنگی شدت کربن بالائی را دارا هستند. نمودار ۱-۳ نشاندهنده شدت کربن نسبی برای الکتریسیته تولید شده از سوختهای مختلف است.

در حالیکه منابع انرژی تجدید شونده مانند باد، خورشید و برق آبی هیچ CO_2 پخش نمی‌کنند، کربن موجود در سوختهای فسیلی بسیار متفاوت است. از نمودار ۱-۳ می‌توان مشاهده کرد که الکتریسیته تولیدی در یک نیروگاه ذغال سنگی متعارف حدوداً ۲/۴ برابر بیشتر CO_2 از یک نیروگاه سیکل ترکیبی گازی $CCGT$[1] ایجاد می‌کند(۱۳). در واقع، نشان داده شده است که شدت کربن برق توزیعی ثابت نبوده، بلکه تفاوت چشمگیری در رابطه بازمان ونوع نیروگاه دارد(۱۴). برای نمونه، در انگلستان ویلز، شدت کربن در پائین‌ترین حد خود در شب تابستان می‌باشد، زمانیکه حجم زیادی از برق از نیروگاه اتمی تولید می‌شود. امکان نائل آمدن به کاهش قابل ملاحظه‌ای در شدت کربن، بسهولت با تبدیل سوختی مانند ذغال سنگ که دارای شدت کربنی بالا است به سوختی با شدت بسیار پائین مانند گاز طبیعی، میسر می‌باشد. این در حقیقت اتفاقی است که در خلال دهه ۱۹۹۰ در انگلستان، که در آن جایگزینی عمده‌ای از ذغال سنگ به گاز طبیعی بعنوان سوخت انتخابی تولید الکتریسیته رخ داد، بوقوع پیوست.

1- Combined Cycle Gas Turbine

جدول ۱-۳ انتشار CO_2 بازای هر kWh انرژی الکتریسیته توزیعی
(تدوین شده از اطلاعات مؤسسه تحقیقات ساختمان) (۱۱)

سوخت اولیه	kg از CO_2 برای هر GJ از انرژی اولیه (kg/GJ)	متوسط بازدهی ناخالص نیروگاه برق (٪)	kg از CO_2 برای هر GJ از انرژی الکتریسیته توزیعی (kg/GJ)	kg از CO_2 برای هر GJ از انرژی الکتریسیته توزیعی (kg/kWh)
ذغال سنگ	۹۰/۷	۳۵	۲۵۹/۱	۰/۹۳
نفت	۶۹/۳	۳۲	۲۱۶/۶	۰/۷۸
گاز $(CCGT)$	۴۹/۵	۴۶	۱۰۷/۶	۰/۳۹

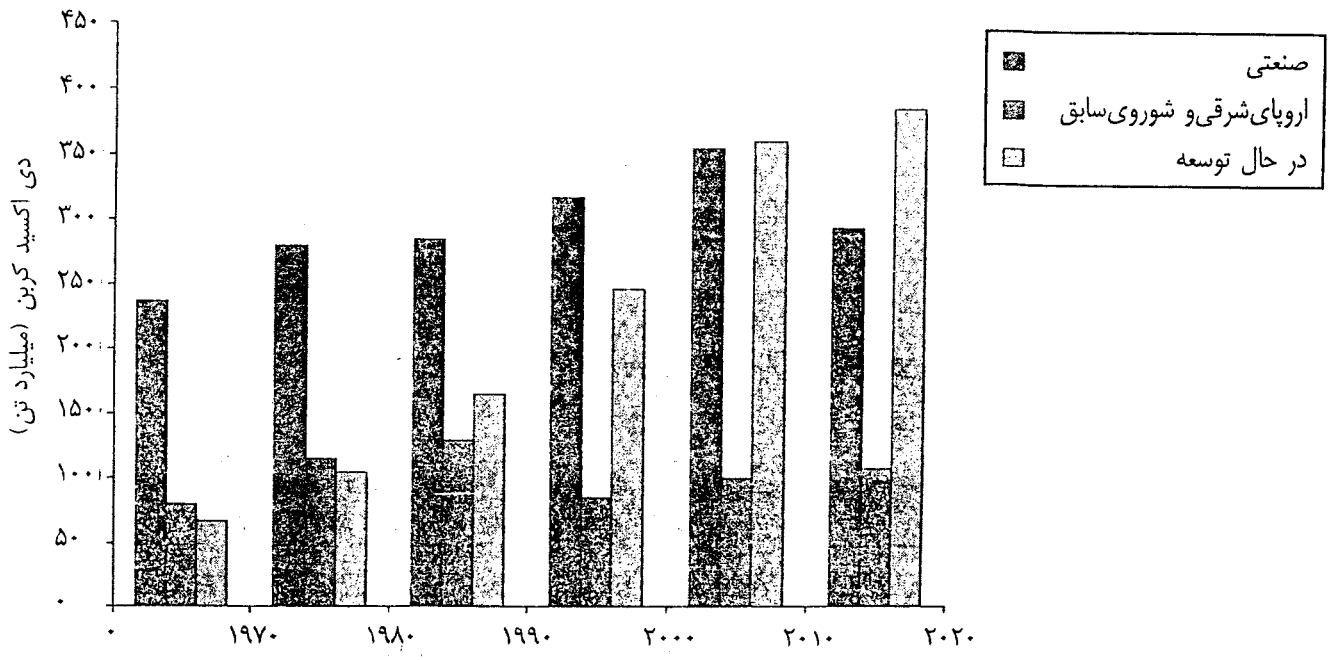
بدین سبب که شدت کربن بطورتام بستگی به نوع سوخت مورداستفاده دارد، درعرصه مناطق و هم چنین زمان، متفاوت است. درخلال دهه ۱۹۹۰ ذغال سنگ بعنوان یک منبع انرژی دراروپای غربی اهمیت کمتری یافت، واین بامتوقف شدن تولید لیگنیت درآلمان وذغال سنگ سخت در انگلستان ظهور یافت (۷). برای مثال، در انگلستان و ویلز انتقال از ذغال سنگ به گاز طبیعی که با مقررات‌زدائی صنعت عرضه الکتریسیته همراه شد، بدین معنابودکه مصرف ذغال سنگ از ۶۵ میلیون تن معادل نفت $(mtoe)$ در سال ۱۹۸۹ به فقط ۳۵/۶ $(mtoe)$ نزول کرد. این منجر به ۴۵٪ کاهش درشدت کربن انگلستان از ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۸ شد (۱۵) درمقابل درایالات متحده امریکادرخلال دهه ۱۹۹۰ استفاده گسترده ازذغال سنگ درمولدهای الکتریسیته تداوم یافت ودرنتیجه شدت کربن برای اروپای غربی به سطح پائین‌تری ازامریکای شمالی درسالهای اخیرنزول کرد (۷).

۱-۵-۳ انتشار دی اکسیدکربن

تخمین زده شده است که انتشار جهانی گاز CO_2 به حدود ۹/۸ میلیارد تن در سال تا ۲۰۲۰ به ۷۰٪ بالای سطوح سال ۱۹۹۰ خواهد رسید(۳). در جهان صنعتی پیش بینی شده است که نشرگاز CO_2 از ۲/۹ میلیارد تن در ۱۹۹۰ به ۳/۹ میلیارد تن در سال ۲۰۲۰ افزایش خواهد یافت (نمودار ۱-۴ را ملاحظه کنید)(۳). بهرحال پیش بینی شده که گازهای منتشره کنونی با رشد کمتری در مقایسه با زمان مصرف انرژی "اولیه" روبرو هستند، و عمدتاً به سبب افزایش استفاده از گاز طبیعی نسبت به ذغال سنگ در جهان توسعه یافته است. درحالیکه در کشورهای صنعتی پیش بینی شده که نفت

بعنوان منبع غالب انتشار گاز CO_2 به سبب افزایش استفاده از اتومبیل باقی خواهد ماند.

در ۱۹۹۰ گازهای منتشره از کشورهای توسعه یافته تقریباً دو برابر بیشتر از کشورهای در حال توسعه بودند(۳). پیش‌بینی شده است که تا سال ۲۰۱۰ انتشارگاز CO_2 در کشورهای در حال توسعه بر کشورهای صنعتی افزونی خواهد گرفت (نمودار ۱-۴ را ملاحظه کنید)(۳). پیش بینی رشد سریع انتشار CO_2 درکشورهای درحال توسعه به سبب نرخ بالای رشد اقتصادی است که انتظار می‌رود و هم چنین وابستگی سنگینی که کشورهای درحال توسعه آسیائی به ذغال سنگ دارند. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که چین و هند به تنهائی عمده‌ترین مصرف کننده جهانی ذغال سنگ تا سال ۲۰۲۰ محسوب خواهند شد (۳).



نمودار ۱-۴ انتشارجهانی گازدی اکسید کربن منطقه‌ای (۳)

۱-۵-۴ تحلیل لایه اوزون

اوزون O_3 در آتمسفر زمین نقش حیاتی حفاظت سطح زمین از تشعشع ماوراء بنفش (UV) را اجرا می‌کند که درغیراینصورت برای زندگی انسان وحیوانات بسیار مضر خواهد بود. استراتوسفر لایه‌ای است به کلفتی حدوداً ۳۵ کیلومتر و حد زیرین آن درارتفاعی از۸ تا ۱۶ کیلومتر قرار دارد. اوزون در استراتوسفر با جذب تشعشع ماوراء بنفش خورشیدی توسط مولکولهای اکسیژن (O_2) تولید می‌شود، این تولید از طریق یک سلسله فعل وانفعالات فتوشیمیائی است(۱۶).

اوزون تولید شده هم تشعشع ماوراء بنفش خورشیدی و هم تشعشع موج بلند خارج شونده از زمین را جذب می‌نماید. درحین انجام، اوزون در استراتوسفر دوباره مبدل به اکسیژن می‌شود. بنابراین، فرآیند هم مستمر و هم گذراست، بدین معنی که اوزون متداوماً خلق شده ونابود می‌گردد. فرآیند بستگی به مقداربرخورد تشعشع خورشیدی به زمین دارد، نتیجتاً سطوح اوزون در استراتوسفرقویاً تحت تاثیرفاکتورهائی نظیرارتفاع، عرض جغرافیائی وفصل است.

در اواخردهه ۱۹۷۰ برای اولین بار "حفره‌ای" درلایه اوزون بالای قطب جنوب کشف گردید(۱۷). مشاهدات در چند دهه آشکارساخته که هرسپتامبرواکتبرتا ۶۰٪ ازتجمع اوزون بالای قطب جنوب تحلیل می‌رود(۱۷). علاوه براین، نازک شدن مداوم اوزون استراتوسفری هم درنیمکره شمالی و هم در نیمکره جنوبی مشاهده شده است، رکورد پائین‌ترین سطوح اوزون جهانی در سالهای ۱۹۹۲ و ۱۹۹۳ به ثبت رسیده است. متوسط فقدان اوزون درسرتاسر جهان جمعاً حدود ۵٪ ازنیمه دهه ۱۹۶۰، با بیشترین فقدان که دربهار و زمستان هرسال بوقوع می‌پیوندد (۱۷).این ضایعات لایه اوزون منجر به رسوخ سطوح بالائی ازتشعشعات ماوراء بنفش به سطح زمین شده است. افزایش تشعشعات ماوراء بنفش به تعدد بیماریهای سرطان پوست، آب مروارید وتضعیف سیستمهای ایمنی بدن انجامیده است.

تقصیر وخامت اخیرو سریع لایه اوزون برگازهای فرارنظیر *CFC*ها واکسید ازت نهاده شده است. تا زمانهای اخیر *CFC*هابطوروسیعی در بسیاری از موارد نظیر پیش را نه افشانه‌ها، سرمازا، حلال‌ها و کفهای عایقی کاربرد داشتند. *CFC*ها، بویژه *CFC*-۱۱ و *CFC*-۱۲ علاوه براینکه گازهای گلخانه‌ای قوی هستند، همچنین تحلیل برنده مؤثراوزون می‌باشند. طول عمر *CFC*-۱۱ در استراتوسفر حدود ۶۵ سال است، درحالیکه برای *CFC*-۱۲ را حدود ۱۳۰ سال تخمین می‌زنند(۱۰). در سالهای اخیر، توافقات بین‌الدولی، بویژه پروتکل مونترال (۱۹۸۷)، تولید و استفاده از *CFC*ها را فازبندی نموده‌اند. در حالیکه *CFC*ها دارای عمر طولانی در استراتوسفر هستند لذا هر کاهشی در رهاسازی *CFC* تأثیر کمی در آینده نزدیک خواهد داشت. فازبندی *CFC*ها سبب اتکاء بیشتر بر *HCFC*ها بویژه *HCFC*-۲۲ شده است که اگر چه با اوزون بسیار سازگار است لیکن هنوز یک گاز گلخانه‌ای قوی است. تحت پروتکل مونترال *HCFC*-۲۲ نیز جهت خروج از تولید، زمان‌بندی شده است و بالنتیجه شرکتهای شیمیائی در حال توسعه نسل جدیدی از سرمازاهای سازگار با اوزون، می‌باشند. تحلیل اوزون سبب شده است که بسیاری از طراحان ساختمان در اروپا نیاز به ماشینهای سرمازای کمپرسوری برای تهویه ساختمانها را به زیر سؤال

ببرند که اکنون منجر به اخذ استراتژیهای تهویه غیرفعال مناسب در بسیاری از ساختمانهای جدید شده است (بخش ۱۳ را ملاحظه نمائید).

۱-۵-۵ اقدامات بین‌الدّولی

در دهه ۱۹۸۰ دولتهای گوشه و کنار جهان از برخی مشکلات زیست محیطی مرتبط با آلودگی آتمسفری آگاهی یافتند و اولین نشست از سلسله کنفرانسهای بین‌الدّولی با یک تلاش هماهنگ در راستای مقابله با مشکلات مشاهده شده، بر پا گردید. از بسیاری جهات پروتکل مونترال، تدوین شده و در سپتامبر ۱۹۸۷، نقطه عطفی در سیاست زیست محیطی جهانی است. کشورهای صنعتی پیشتاز پروتکل مونترال را با هدف محدود کردن انتشار گازهای مشخص تحلیل برنده اوزون مانند *CFC*ها (مثل *CFC-11, CFC-12, CFC-113, CFC-114, CFC-115*) و هالونها (مثل *Halon 1211, Halon 1301, Halon 2402*). در سپتامبر ۱۹۸۷ امضاء کردند. مقصود اصلی پروتکل، کاهش مصرف این گازهای مخرب اوزون تا ۵۰٪ زیر سطح ۱۹۸۶ تا سال ۱۹۹۹ بود(۱۶).

از زمان امضاء اولیه، پروتکل به طور متناوب مرور گردیده و به سبب توجه به لایه اوزون گستره پروتکل توسعه یافته و گازهای *HCFC* را نیز تحت پوشش داشته (مثل *HCFC-22,HCFC-142b,HCFC-141b*) و برنامه فازبندی خارج کردن آنها نیز شتاب گرفته است. در سال ۱۹۹۲ هیئت‌های امضاءکننده پروتکل موافقت کردند که شتابی ۱۰۰٪ به خروج *CFC*ها، تتراکلرید کربن و میتل کلروفرم تا اواخر ۱۹۹۵ و برای هالونها تا آخر سال ۱۹۹۳، بدهند (۱۸). این هیئت‌ها هم چنین موافقت به خارج کردن *HCFC*ها کردند به نحوی که نائل به کاهش ۹۰٪ تولید، سال ۲۰۱۰ و خروج کامل آن از بازار تا ۲۰۳۰ شوند، نمودند (۱۹). با تلاش هماهنگ سازمان یافته جهت مقابله با تحلیل اوزون کشورهای پیشرفته صنعتی جهان سپس توجهشان را به گرمایش زمین معطوف داشتند. در خلال سلسله نشستهایی به ویژه ریو در سال ۱۹۹۲ و کیوتو در سال ۱۹۹۷، این کشورها یک چارچوب بین‌المللی برای کاهش انتشار جهانی CO_2 و دیگر گازهای گلخانه‌ای فرموله کردند. در کنفرانس کیوتو در دسامبر ۱۹۹۷، ۱۶۰ کشور حضور یافتند که تعدادی از آنها کشورهای (*Annex I*) خوانده می‌شوند(که شامل ایالات متحده امریکا، کانادا، کشورهای اتحادیه اروپا (*EU*)، ژاپن، استرالیا و زلاندنو می‌باشند) توافق بر کاهش انتشار شش گاز گلخانه‌ای (CO_2، اکسید ازت، متان، گازهای هیدروفلورکربن (*HFC* ها)، پرفلوروکربن‌ها (*PFC* ها)و سولفورهگزافلوراید) با حداقل ۵٪ در مقایسه با سطوح سال ۱۹۹۰ بین ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ میلادی،

نمودند (۲۰).

بهرحال، اتحادیه اروپا قصد دارد که انتشار شش گاز گلخانه‌ای عمده را (از سطوح سال ۱۹۹۰) تا ۸٪ تا سال ۲۰۱۲ کاهش دهد (۲۲،۲۱). در راه رسیدن به این هدف اعضاء اتحادیه اروپا موارد مختلفی شامل تحکیم مقررات ساخت و ساز و معرفی مالیات کربن را اتخاذ کرده‌اند.

۱-۵-۶ اعتبارات و مالیاتهای کربن

در راستای انجام تعهدات خود تحت توافقنامه کیوتو تعدادی از کشورها، که شاخصهای آنها، هلند، سوئد، فنلاند، نروژ، دانمارک و انگلستان می‌باشند، مالیاتهای کربن را ارائه نموده‌اند. این مالیاتها جهت جریمه مصرف انرژی با شدت کربن بالا و برای تشویق استفاده از منابع تجدید شونده انرژی طراحی گردیده‌اند. برای مثال، انگلستان قانون تغییرات آب و هوایی را در سال ۲۰۰۱ با این قصد که سهم تولید انرژی را از منابع تجدید شونده از ۲٪ به ۱۰٪ تا سال ۲۰۱۰ افزایش دهد، ارائه نمود (۱۵). باری، بسیاری از اقتصاددانان در رابطه با بکارگیری مالیاتهای کربن شکاک بوده و در عوض ترجیح می‌دهند که یک نظام مجاز معاوضه‌پذیر انتشار گاز تدوین گردد. تحت پروتکل کیوتو، انعطاف پذیری تحت "مکانیزمهای کیوتو" ارائه گردید که به کشورها اجازه می‌دهد شراکت در معامله انتشار انجام دهند. بحث شده است که اجازه معامله پذیری، بر مالیاتهای کربن ارجح می‌باشد، زیرا بر خلاف مالیاتهای کربن، آنها شکلی از جیره‌بندی هستند که نائل شدن به اهداف را ضمانت می‌کنند. مجوزها همچنین کاربری بیشتری نسبت به ماهیت بین‌المللی مسئله کربن دارند چرا که یک نظام بین‌المللی مالیات کربن جهت اعمال، بسیار مشکل خواهد بود.

مفهوم معامله انتشار گازهای گلخانه‌ای ممکن است بر بسیاری عجیب بیاید. لذا شاید در این مقطع تمثیلی یاری دهنده خواهد بود. موردی را در نظر بگیرید که صاحب خانه‌ای صبح از جای برخیزد و دریابد که لوله ترکیده و آب گرفتگی بوقوع پیوسته است (۲۳). تصور کنید که این صاحب خانه بخصوص یک دفتر حقوقی پررونق را اداره می‌کند و همچنین در تعمیر لوله‌های ترکیده نیز بسیار خوب عمل می‌کند. بنابراین صاحب خانه با دو راهی روبرو می‌شود. او می‌تواند یک روزه سرکار نرفته و لوله را تعمیر کند، یا بجای آن، او می‌تواند یک لوله کش حرفه‌ای را جهت تعمیر لوله آسیب دیده اجیر کند.اگر صاحب خانه خودش لوله را ترمیم کند، آنگاه درآمد یک روز کاری را از دست می‌دهد؛ انتخاب بسیار ارزانتری است که یک لوله کش را اجیر نماید. با این واقعیت، صاحب خانه یک راه حل اقتصادی مدبرانه انتخاب کرده و لوله‌کشی را اجیر می‌کند. در نتیجه هر دو طرف

از این عمل بهره می‌برد، به لوله کش دستمزد پرداخت می‌شود و حقوق دان قادر خواهد بود که پول بیشتری با حضور در دادگاه بدست آورد. این تمثیل با اجازه معامله انتشار گاز گلخانه‌ای بسیار شباهت دارد، تا جایی که آنان اعتبارات یا اجازه نامه‌های انتشار گاز را خریداری می‌کنند در حقیقت به افراد دیگر مبلغی پرداخت می‌کنند که کمتر گاز گلخانه‌ای منتشر کنند، کسانی که ارزانتر از خودشان قادر به این کار هستند. بهر حال برای کار کردن یک برنامه معامله گاز گلخانه‌ای باید عاملی شرکت کنندگان را جهت انتشار گاز تحت فشار قرار دهد، بهمان طریقی که صاحب خانه مجبور به انجام آن شده که چنانچه لوله ترکیده بحال خود رها شده بود صدمات قابل ملاحظه‌ای را عارض می‌نمود. بنابراین در قلب هر برنامه معامله گازی باید اجباری نزد شرکت کنندگان جهت نائل آمدن به کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای، پدید آید، اجبار تحت پروتکل کیوتو، فشار بر کشورها جهت کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای است.

اگر چه مطرح نیست که از نظر جغرافیایی این کاهش کجا پدید آید. بنابراین برای کمپانیهای شرکت کننده این امکان هست که تمام یا بخشی از تعهدات خود را بدون هیچگونه صدمات جدی زیست محیطی مورد معامله قرار دهند. بر این امر می‌توان، با صدور مجوز که به دارنده آن اجازه می‌دهد مقدار معین از گاز گلخانه‌ای را انتشار دهد، نائل شد.

تدوین مقررات برای هر سیستم معامله انتشار گاز هنوز مستلزم کار بسیار زیاد است و مشکلات بین‌المللی عدیده‌ای وجود دارد که باید حل شوند و موضوعات فنی مرتبط با اداره کردن، تایید و اعمال چنین برنامه‌ای نیز کم نیستند. یکی از راههای ممکنه که امکان کارکرد چنین برنامه‌ای را میسر می‌سازد اجازه دادن به دارنده‌های مجوز برای فروش بخشی از ظرفیت مازاد خودشان است. برای مثال در سال ۱۹۹۰ انتشارات گازهای گلخانه‌ای در بسیاری از کشورهای (*FSU*[1]) بلوک شرق بالا بود. اگرچه از زمان فرو پاشی اتحاد جماهیر شوروی نزول چشمگیری در فعالیتهای اقتصادی این منطقه وجود داشته است با این نتیجه که سطوح گازهای منتشره در سال ۲۰۰۰ بسیار پائین‌تر از سال ۱۹۹۰ بوده است. تحت پروتکل کیوتو از روسیه و اوکراین خواسته شده است که انتشارات گازهای گلخانه خود را در سطوح انتشار ۱۰۰٪ سال ۱۹۹۰ ثابت نگهدارند. پیش بینی می‌شود که تا سال ۲۰۱۰ در این کشورها سطوح انتشار گازها هنوز زیر سطوح ۱۹۹۰ خواهد بود. متعاقباً، این کشورها حجم قابل ملاحظه‌ای از مجوزهای مازاد جهت فروش خواهند

1- *Former Soviet union*

داشت. کشورهای اروپای غربی ممکن است از نظر هزینه، خرید برخی از "ظرفیت مازاد" کشورهای بلوک شرق (FSU) را بجای کاهش انتشار CO_2 خودشان، مؤثر ببینند. ترجیحاً، کشورهائی با هزینه بالای زیر ساختاری و کارگری می‌توانند در فعالیتهای کاهش انتشار گا زکشورهایی با هزینهٔ پایین در زیر ساختار و کارگر، سرمایه‌گذاری کرده و اعتبار کاهش انتشار را برای خود ملحوظ دارند، بنابراین با فعالیت‌های ماوراء بهار خود متعاقباً اهداف کاهش انتشار خود راجبران خواهند کرد.

یکی از امتیازات ممکن مجوزهای انتشار گاز اینست که می‌توان آنها را جیره بندی کرد. مجوزهائی می‌توان صادر کرد که به گروههای درگیر در برنامه حق انتشار گاز، اجازه انتشار در سطوح سال ۱۹۹۰ را بدون هیچ هزینه‌ای، بدهد. اگر هر ساله بخشی از مجوزها بیرون کشیده شده و سپس یا مستقیماً و یا از طریق حراج بفروش رسند، مزایائی برای شرکت کنندگان در برنامه در جهت کاهش انتشار گاز ابداع خواهد شد. هم چنین اگر مجوزها قابل معامله بودند و بانکی کردن آنها مجاز می‌بود، آنگاه بازاری بوجود می‌آمد. هرچند لازم است که یک مرجع مرکزی واحد ایجاد شده تابتواند نظام را کنترل کرده وگروههائی که ازسهمیه خودشان تجاوز می‌کنند را جریمه کند.

جدول ۱-۴ مصرف جهانی انرژی بر اساس سوختهای مختلف برای سال ۱۹۹۹
(استخراج از آمار انرژی BP)

انرژی اولیه: مصرف سوخت (معادل میلیون تن نفت)	نفت	گاز طبیعی	ذغال‌سنگ	انرژی اتمی	هیدرو الکتریک	جمع	درصد کل(٪)
آمریکا	۸۸۸/۹	۵۶۱/۷	۵۴۶/۴	۱۹۷/۸	۲۷/۲	۲۲۲۲/۰	۲۵/۹۲
کانادا	۸۲/۹	۶۵/۴	۲۷/۸	۱۹/۰	۲۹/۶	۲۲۴/۶	۲/۶۲
مکزیک	۸۰/۸	۳۰/۶	۶/۰	۲/۶	۲/۸	۱۲۲/۸	۱/۴۳
کل‌آمریکای‌شمالی	۱۰۵۲/۶	۶۵۷/۷	۵۸۰/۲	۲۱۹/۴	۵۹/۶	۲۵۶۹/۴	۲۹/۹۷
آرژانتین	۲۰/۸	۳۰/۴	۰/۷	۱/۸	۱/۹	۵۵/۶	۰/۶۵
برزیل	۸۳/۲	۶/۴	۱۱/۷	۱/۰	۲۵/۲	۱۲۷/۵	۱/۴۹
شیلی	۱۱/۷	۳/۶	۴/۳	--	۱/۲	۲۰/۷	۰/۲۴
کلمبیا	۱۰/۶	۴/۷	۲/۱	--	۲/۹	۲۰/۳	۰/۲۴
اکوادور	۶/۰	۰/۱	--	--	۰/۶	۶/۷	۰/۰۸
پرو	۷/۴	۰/۵	۰/۵	--	۱/۲	۹/۵	۰/۱۱
ونزوئلا	۲۱/۹	۲۴/۱	۰/۳	--	۵/۲	۵۶/۵	۰/۶۰

ادامه جدول ۱-۴ مصرف جهانی انرژی بر اساس سوختهای مختلف برای سال ۱۹۹۹
(استخراج از آمار انرژی *BP*)

انرژی اولیه: مصرف سوخت (معادل میلیون تن نفت)	نفت	گاز طبیعی	ذغال‌سنگ	انرژی اتمی	هیدرو الکتریک	جمع	درصد کل(٪)
دیگر کشورهای آمریکای جنوبی	۵۵/۱	۹/۳	۰/۵	--	۶/۷	۷۱/۶	۰/۸۴
کل آمریکای جنوبی و مرکزی	۲۱۶/۷	۷۹/۱	۲۰/۱	۲/۸	۴۴/۹	۳۶۳/۴	۴/۲۴
اطریش	۱۲/۱	۷/۲	۳/۲	--	۳/۶	۲۶/۱	۰/۳۰
بلژیک و لوکزامبورگ	۳۲/۴	۱۳/۳	۶/۹	۱۲/۷	۰/۲	۶۵/۴	۰/۷۶
بلغارستان	۴/۹	۲/۸	۶/۶	۳/۹	۰/۲	۱۸/۶	۰/۲۲
جمهوری چک	۸/۲	۷/۷	۱۷/۱	۳/۴	۰/۲	۳۶/۷	۰/۴۳
دانمارک	۱۰/۶	۴/۵	۴/۷	--	++	۱۹/۹	۰/۲۳
فنلاند	۱۰/۷	۳/۳	۳/۶	۶/۰	۱/۱	۲۴/۶	۰/۲۹
فرانسه	۹۶/۴	۳۳/۹	۱۴/۲	۱۰۱/۹	۶/۶	۲۵۳/۰	۲/۹۵
آلمان	۱۳۲/۴	۷۲/۱	۸۰/۲	۴۳/۹	۲/۰	۳۳۰/۶	۳/۸۶
یونان	۱۸/۷	۱/۲	۸/۸	--	۰/۴	۲۹/۱	۰/۳۴
مجارستان	۷/۱	۹/۹	۳/۴	۳/۶	++	۲۴/۱	۰/۲۸
ایسلند	۰/۹	--	۰/۱	--	۰/۵	۱/۵	۰/۰۲
جمهوری ایرلند	۸/۳	۳/۰	۱/۶	--	۰/۱	۱۳/۱	۰/۱۵
ایتالیا	۹۴/۴	۵۶/۰	۱۱/۶	--	۲/۹	۱۶۵/۹	۱/۹۴
هلند	۴۰/۶	۳۴/۱	۷/۰	۱/۰	++	۸۲/۷	۰/۹۶
نروژ	۱۰/۱	۳/۲	۰/۷	--	۱۰/۵	۲۴/۴	۰/۲۸
لهستان	۱۹/۹	۹/۳	۶۱/۰	--	۰/۴	۹۰/۵	۱/۰۶
پرتغال	۱۵/۴	۲/۰	۳/۶	--	۱/۱	۲۲/۲	۰/۲۶
رومانی	۹/۵	۱۵/۵	۶/۷	۱/۳	۱/۶	۳۴/۵	۰/۴۰
اسلواکی	۳/۰	۵/۸	۴/۸	۳/۴	۰/۴	۱۷/۴	۰/۲۰
اسپانیا	۶۸/۴	۱۳/۵	۲۰/۵	۱۵/۲	۲/۶	۱۲۰/۲	۱/۴۰
سوئد	۱۶/۱	۰/۸	۲/۰	۱۸/۹	۶/۲	۴۳/۹	۰/۵۱
سوئیس	۱۲/۶	۲/۴	۰/۱	۶/۴	۳/۵	۲۵/۱	۰/۲۹
ترکیه	۲۹/۵	۱۰/۸	۲۷/۷	--	۳/۰	۷۱/۰	۰/۸۳
انگلستان	۷۹/۴	۸۲/۸	۳۵/۶	۲۴/۸	۰/۷	۲۲۳/۴	۲/۶۱
دیگرکشورهای اروپایی	۱۶/۳	۴/۶	۱۰/۱	۱/۲	۲/۷	۳۵/۰	۰/۴۱

ادامه جدول ۱-۴ مصرف جهانی انرژی بر اساس سوختهای مختلف برای سال ۱۹۹۹
(استخراج از آمار انرژی *BP*)

انرژی اولیه: مصرف سوخت (معادل میلیون تن نفت)	نفت	گاز طبیعی	ذغال‌سنگ	انرژی اتمی	هیدرو الکتریک	جمع	درصد کل(٪)
کل اروپا	۷۵۷/۹	۳۹۹/۷	۳۴۱/۸	۲۴۷/۶	۵۱/۵	۱۷۹۸/۹	۲۰/۹۹
آذربایجان	۶/۳	۵/۰	--	--	۰/۱	۱۱/۵	۰/۱۳
بلاروس	۶/۱	۱۳/۸	۰/۱	--	++	۲۰/۰	۰/۲۳
قزاقستان	۶/۰	۷/۱	۱۹/۸	--	۰/۶	۳۳/۶	۰/۳۹
لیتوانی	۳/۱	۲/۲	۰/۱	۲/۵	۰/۱	۸/۰	۰/۰۹
روسیه	۱۲۶/۲	۳۲۶/۴	۱۰۹/۴	۳۰/۹	۱۳/۸	۶۰۶/۸	۷/۰۸
ترکمنستان	۴/۵	۱۰/۲	--	--	--	۱۴/۷	۰/۱۷
اوکراین	۱۲/۳	۶۲/۶	۳۸/۵	۱۸/۶	۱/۰	۱۳۵/۰	۱/۵۷
ازبکستان	۷/۱	۴۴/۳	۱/۸	--	۰/۶	۵۳/۸	۰/۶۳
دیگر کشورهای شوروی سابق	۴/۷	۷/۱	۱/۰	۰/۶	۳/۱	۱۶/۴	۰/۱۹
کل شوروی سابق	۱۷۷/۳	۴۷۹/۷	۱۷۰/۷	۵۲/۶	۱۹/۳	۸۹۹/۸	۱۰/۵۰
ایران	۵۸/۴	۴۹/۵	۱/۰	--	۰/۴	۱۰۹/۳	۱/۲۸
کویت	۸/۶	۷/۸	--	--	--	۱۶/۴	۰/۱۹
قطر	۱/۱	۱۴/۳	--	--	--	۱۵/۴	۰/۱۸
عربستان سعودی	۶۰/۶	۴۱/۶	--	--	--	۱۰۲/۵	۱/۲۰
امارات متحده عربی	۱۳/۰	۲۸/۳	--	--	--	۴۱/۳	۰/۴۸
کشورهای‌دیگرخاورمیانه	۶۵/۰	۱۹/۱	۵/۷	--	۰/۳	۹۰/۱	۱/۰۵
کل خاورمیانه	۲۰۷/۰	۱۶۰/۶	۶/۷	--	۰/۷	۳۷۵	۴/۳۷
الجزایر	۸/۱	۲۰/۰	۰/۳	--	++	۲۸/۴	۰/۳۳
مصر	۲۷/۸	۱۲/۹	۰/۹	--	۱/۱	۴۲/۷	۰/۵۰
آفریقای جنوبی	۲۱/۸	--	۸۲/۱	۳/۵	۰/۳	۰۰۷/۷	۱/۲۶
دیگرکشورهای‌آفریقا	۵۸/۲	۱۴/۰	۶/۸	--	۴/۹	۸۳/۹	۰/۹۸
کل آفریقا	۱۱۵/۹	۴۶/۹	۹۰/۱	۳/۵	۶/۳	۲۶۲/۷	۳/۰۶
استرالیا	۳۸/۰	۱۷/۸	۴۵/۵	--	۱/۵	۱۰۲/۸	۱/۲۰
بنگلادش	۳/۲	۷/۵	۰/۲	--	۰/۱	۱۰/۸	۰/۱۳
چین	۲۰۷/۲	۱۹/۳	۵۱۲/۷	۳/۸	۱۶/۸	۷۵۹/۷	۸/۸۶

ادامه جدول ۱-۴ مصرف جهانی انرژی بر اساس سوختهای مختلف برای سال ۱۹۹۹
(استخراج از آمار انرژی *BP*)

انرژی اولیه: مصرف سوخت (معادل میلیون تن نفت)	نفت	گاز طبیعی	ذغال‌سنگ	انرژی اتمی	هیدرو الکتریک	جمع	درصد کل(٪)
چین هنگ‌کنگ *SAR*	۹/۳	۲/۴	۳/۹	--	--	۱۵/۶	۰/۱۸
هند	۹۵/۲	۲۱/۴	۱۵۴/۵	۳/۳	۷/۱	۲۸۱/۵	۳/۲۸
اندونزی	۴۶/۸	۲۴/۸	۱۰/۵	--	۰/۸	۸۲/۹	۰/۹۷
ژاپن	۲۵۷/۳	۶۷/۱	۹۱/۵	۸۲/۰	۸/۰	۵۰۵/۹	۵/۹۰
مالزی	۲۰/۳	۱۷/۱	۱/۲	--	۰/۴	۳۹/۰	۰/۴۵
نیوزیلند	۶/۳	۴/۷	۱/۲	--	۲/۰	۱۴/۱	۰/۱۶
پاکستان	۱۸/۲	۱۵/۶	۲/۱	†	۱/۸	۳۷/۷	۰/۴۴
فیلیپین	۱۸	†	۲/۹	--	۰/۷	۲۱/۶	۰/۲۵
سنگاپور	۲۸/۳	۱/۴	--	--	--	۲۹/۶	۰/۳۵
کره‌جنوبی	۹۹/۷	۱۶/۸	۳۸/۲	۲۶/۶	۰/۵	۱۸۱/۹	۲/۱۲
تایوان	۳۹/۹	۵/۶	۲۴/۹	۹/۹	۰/۸	۸۱/۱	۰/۹۵
تایلند	۳۵/۴	۱۵/۶	۷/۹	--	۰/۳	۵۹/۲	۰/۶۹
دیگر کشورهای آسیا پاسیفیک	۱۸/۶	۴/۴	۵۳/۱	--	۲/۵	۷۹/۶	۰/۹۳
کل آسیا پاسیفیک	۹۴۱/۷	۲۴۱/۵	۹۵۰/۲	۱۲۵/۶	۴۴/۳	۲۳۰۳	۲۶/۸۷
کل جهان	۳۴۶۹/۱	۲۰۶۵/۲	۲۱۵۹/۹	۶۵۱/۵	۲۲۶/۶	۸۵۷۲/۲	۱۰۰/۰۰
OECD	۲۱۷۸/۱	۱۱۳۵/۱	۱۰۷۰/۲	۵۶۵/۸	۱۱۸/۲	۵۰۶۷/۵	۵۹/۱۲
اروپای متحد۱۵	۶۳۵/۹	۳۲۷/۷	۲۰۳/۵	۲۲۴/۴	۲۸/۵	۱۴۲۰/۱	۱۶/۵۷
دیگر *EMEs*	۱۰۷۹/۸	۴۲۱/۷	۸۹۰/۸	۲۳/۳	۸۴/۲	۲۴۹۹/۴	۲۹/۱۶

* در این جدول، انرژی اولیه فقط شامل سوختهای تجاری می‌شود.

† اروپای مرکزی و شوروی سابق را شامل نمی‌شود.

† کمتر از ۰/۰۵

۱-۶ مصرف انرژی

اطلاعات مصرف جهانی انرژی برای سال ۱۹۹۹ در جدول ۱-۴ (صفحات ۳۱-۲۹ ملاحظه فرمائید) ارائه شده است. این اطلاعات با جزئیاتی مصرف انرژی براساس کشور به کشور و سوخت به سوخت را عرضه می‌دارد، از جدول ۱-۴ می‌توان مشاهده کرد که مصرف جهانی انرژی در سال ۱۹۹۹ تقریباً ۸۵۷۲*mtoe* بود. از این مجموعه تقریباً ۲۵/۹٪ در امریکا، ۱۶/۶٪ در اتحادیه اروپا و ۱۰/۵٪ در کشورهای بلوک شرق مصرف شده است. بواقع ۵۹/۱٪ از کل مصرف انرژی جهان در کشورهای *OECD* بوقوع پیوست. این نشانگر آنست که در حال حاضربخش عمده مصرف جهانی انرژی در کشورهای صنعتی انجام می‌پذیرد.

تنوع سوخت و در نتیجه شدت کربن از منطقه به منطقه بسیار متفاوت است. برای مثال در ایالات متحده امریکا نسبت مصرف ذغال سنگ به گاز طبیعی $\frac{۱}{۱/۰۳}$ است، درحالیکه در انگلستان این نسبت $\frac{۱}{۲/۳۳}$ است، در حالیکه در چین این نسبت فقط $\frac{۱}{۰/۰۴}$ بوده و در هند آن برابر $\frac{۱}{۰/۱۴}$ می‌باشد. این اعداد منعکس کننده این حقیقت است که اولاً در انگلستان درخلال دهه ۱۹۹۰ گرایش از ذغال سنگ به سمت گازطبیعی وجود داشته است، ثانیاً در چین و هند اتکاء سنگینی بر ذغال سنگ وجود دارد.

اداره اطلاعات انرژی (*EIA*[1]) در ایالات متحده امریکا پیش‌بینی می‌کند که در قرن بیست و یکم افزایش قابل توجهی درتقاضای انرژی وجود خواهد داشت و بیشترین آنها بر سوختهای فسیلی متکی خواهد بود(۳). این انتظار وقوع، عمدتاً به سبب رشد اقتصادی در اقتصادهای در حال توسعه آسیا و امریکای جنوبی است، در کشورهای در حال توسعه، انرژی و رشد اقتصادی به حرکت موازی گرایش دارند. توسعه اقتصادی یک فرآیند مرتبط با شدت انرژی است که نهایتاً استاندارد زندگی را ارتقاء بخشیده و دسترسی به الکتریسیته وحمل ونقل موتوریزه راتسهیل می‌کند. توسعه اقتصادی زیربنائی نیزسبب رشد درصنایع تولیدی انرژی برمی‌گردد.برخلاف کشورهای درحال توسعه، درکشورهای صنعتی پیشرفته ارتباط بین رشد اقتصادی ومصرف انرژی نسبتاً ضعیف است، با این توصیف که رشد تقاضای انرژی نسبت به رشد اقتصادی کندتراست. دراقتصادهای پیشرفته مصرف انرژی سرانه نشان ازثبوت نسبی دارد، چراکه ابزارو ادوات قدیمی انرژی براغلب یاوسائل برقی جدید با بازدهی بالاتر جایگزین می‌شوند. نهایتاً پیش بینی می‌شود که درصد رشد

1- *Energy Information Administration*

درتقاضای انرژی درکشورهای توسعه یافته درمقایسه باکشورهای درحال توسعه بطورقابل ملاحظه‌ای پائین‌ترخواهد بود.

EIA تخمین زده است که روند افزایش مصرف گازطبیعی دردهه ۱۹۹۰، درقرن بیست ویکم ادامه خواهد داشت (۳).این بدین سبب است که توجه به گازطبیعی بعنوان سوخت منتخب برای تولید الکتریسیته افزونی می‌یابد: گازطبیعی دارای شدت کربن بسیارپائین تری ازذغالسنگ است؛ گازطبیعی دارای فرایند تولید الکتریسیته بابازدهی بیشتری است؛ گازطبیعی آزاد ازدرگیریهای صنعتی است که اغلب درارتباط باتولید ذغال سنگ وجود دارد؛ وبسیارارزانتروسریعترمی‌شود نیروگاه گازی راساخت. پیش بینی میشودکه تقاضای نفت با افزایش استفاده ازحمل ونقل موتوریزه درکشورهای درحال توسعه رشد نماید.

۱-۷ ذخائرانرژی

یکی از عمده‌ترین دلواپسی‌های محیط زیستی‌ها و اقتصاددانان، نرخی است که ذخائرسوخت فسیلی "ارزشمند" درحال مصرف شدن هستند. تخمین زده شده است که نفت خام حداقل برای ۴۰ سال به فراوانی و ارزانی می‌تواند باقی بماند (۲۴).این تخمین "فرض دارد که حجم تولید ثابت باقی خواهد ماند، و می‌انگارد که نرخ تولید را با وجود کاهش ذخائر می‌توان حفظ کرد"(۲۴)؛ این فرضی است که بنظرخوشبینانه می‌رسد باتوجه به اینکه تقاضابرای نفت باید با رشد اقتصادی دردنیای درحال توسعه افزایش یابد. *EIA* بیان می‌دارد:

در سطح جهانی، نفت بعنوان یک منبع انرژی فائق در خلال دور نمای برآوردی (تا سال ۲۰۲۰) از سال ۱۹۷۰، باقی می‌ماند. نقش کلیدی نفت دربخش حمل ونقل است که در آن درحال حاضرهیچ منبع انرژی دیگری بعنوان رقیب جدی نیست (۳)

حتی اگرنفت تا اواسط قرن بیست یکم به همین فراوانی باقی ماند، مسّاحیهای زمین شناسی نشان می‌دهند که کشف ذخیره‌های بزرگ نفتی جدید بعید می‌نماید (۲۴).کشفیات جدیدنفت در آینده نسبت به آنهائیکه تاکنون کشف شده‌اند بسیارکوچکتر وکمترخواهند بود. به عبارتی دیگر، کاربرد قانون بازدهی نزولی محتمل خواهد بود. متعاقباً نیاز مبرمی به کشف منابع جدید سوخت جهت جایگزینی نفت بعنوان سوخت انتخابی حمل ونقل موتوریزه خواهد بود.

در حالیکه در رابطه با ذخائر نفت جهان مجادلات جدی وجود دارد، لیکن عموماً موافقت دارند که تولید مرسوم نفت در خارج ازخاورمیانه، قبل ازخاورمیانه روبه افول نهاده، واین دلالت بر اتکا

بیشتر بر نفت خاورمیانه خواهد داشت(۲). جدول ۱-۵ نشان دهنده منابع انرژی ثابت شده جهان در انتهای سال ۱۹۹۹ است. از این اطلاعات می‌توان مشاهده کرد که تقریباً ۶۵٪ منابع نفت ثابت شده درخاورمیانه واقع شده‌اند. بنابراین تعجب آور نیست همانگونه که منابع موجود تحلیل می‌روند بقیه جهان متکی برتأمین کنندگان نفت خاورمیانه خواهند شد.

جدول ۱-۵ منابع ثابت شده انرژی براساس نوع سوخت
(جمع‌آوری شده ازاطلاعات انرژی *BP*) (۲)

	نفت		گاز طبیعی		ذغال سنگ	
مجموع امریکای شمالی	۶۳/۹	۶/۱۸	۷/۳۱	۵	۲۵۶۴۷۷	۲۶/۱۰
کل آمریکای جنوبی و مرکزی	۸۹/۵	۸/۶۶	۶/۳۱	۴/۳۰	۲۱۵۷۴	۲/۲۰
کل اروپا	۲۰/۷	۲/۰۰	۵/۱۵	۳/۵۰	۱۲۲۰۳۲	۱۲/۴۰
کل شوروی سابق	۶۵/۴	۶/۳۲	۵۶/۷	۳۸/۷۰	۲۳۰۱۷۸	۲۳/۴۰
کل خاورمیانه	۶۷۵/۷	۶۵/۳۵	۴۹/۵۲	۳۳/۸۰	*n a*	*n a*
کل آفریقا	۷۴/۸	۷/۲۳	۱۱/۱۶	۷/۷۰	۶۱۶۰۵*	۶/۲۰*
کل آسیا پاسیفیک	۴۴/۰	۴/۲۶	۱۰/۲۸	۷/۰۰	۲۹۲۳۴۵	۲۹/۷۰
کل جهان	۱۰۳۴/۰	۱۰۰/۰۰	۱۴۶/۴۳	۱۰۰/۰۰	۹۲۲۶۰۶	۱۰۰/۰۰

* شامل خاورمیانه می‌شود.

احتمال می‌رود که با تحلیل ذخائر نفت جهان، گاز طبیعی جایگزین نفت خواهد شد، به جهت اینکه گاز توانائی تبدیل شدن به سوخت مایع راداشته که می‌تواند بمنظور سوخت موتوری با هزینه نسبی کم مورد استفاده قرارگیرد. *EIA* انتظار دارد که گاز طبیعی بعنوان منبع انرژی اولیه سریع‌ترین رشد را بین سال ۱۹۹۶ و ۲۰۲۰ داشته باشد(۳).

References

1. Campbell, D. (2001). Blackouts bring gloom to California. *The Guardian*, 19th January.
2. BP energy statistics, 2001, BP Website (www.bp.com/downloads/702/BPwebglobal.pdf) (March 2002).
3. International Energy Outlook 1999 (IEO99) (1999). World Energy Consumption. DOE/EIA-0484 (99).
4. Digest of United Kingdom Energy Statistics 2000 (2000). DTI.
5. Hill, R., O'Keefe, P. and Snape, C. (1995). *The future of energy use*. (Chapter 1), Earthscan.
6. World Development Report for 1990 produced by the World Bank.
7. International Energy Outlook 1999 (IEO99) (1999). Environmental Issues and World Energy Use. DOE/EIA-0484 (99).
8. WMO Annual Statement on the Global Climate, 1998, WHO Website (www.wmo.ch/web/Press/Press626.html) (March 2002).
9. NASA Goddard Institute for Space Studies, Global Temperature Trends 1998 Summation, NASA Website (www.giss.nasa.gov/research/observe/surftemp/1998.html) (March 2002).
10. Climate change: The IPCC scientific assessment (1990). WMO/UNP Intergovernmental panel on climate change.
11. May, R. Global Warming Needs Action (1998). *Energy Exploration and Exploitation*, **16**(1), 93–102.
12. Department of the Environment, Transport and the Regions (2000). Climate Change: Action to Tackle Global Warming.
13. Shorrock, L. D. and Henderson, G. (1990). Energy use in Buildings and Carbon Dioxide Emissions. BRE Report.
14. Beggs, C. B. (1996). A method for estimating the time-of-day carbon dioxide emissions per kWh of delivered electrical energy in England and Wales. *Building Services Engineering Research and Technology*, 17(3), 127–34.
15. Energy Information Administration, DOE, USA. September 2001, EIA Website (www.eia.doe.gov/emeu/cabs/uk.html) (March 2002).
16. Harrison, R. M. (1990). *Pollution: causes, effects and control* (Chapter 9). Royal Society of Chemistry.
17. Environmental Indicators: Ozone Depletion (1996). United States Environmental Protection Agency.
18. The Accelerated Phase out of Class I Ozone-Depleting Substances (1999). United States Environmental Protection Agency.
19. HCFC Phase out Schedule (1998). United States Environmental Protection Agency.
20. Energy in the 21st-century: The return of geopolitics? (1999). Highlight of the OECD Information Base, OECD, No. 17, May.
21. Greenhouse gases and climate change – Environment in EU at the turn of the century (Chapter 3.1) (2001). European Environment Agency.
22. Svendsen, G. T. (1998). Towards a CO_2 Market in the EU: the case of electric utilities. *European Environment*, 8(4), 121–8.
23. Kopp, R. and Toman, M. (2001). International Emissions Trading: A Primer: www.weathervane.rff.org/features/feature049.html. (12 July).
24. Campbell, C. J., Laherrère, J. H., George, R. L., Anderson, R. N. and Fouda, S. A. (1998). Preventing the next oil crunch. *Scientific American*, **278**(3), 59–77.

Bibliography

Climate change: The IPCC scientific assessment (1990). WMO/UNP Intergovernmental panel on climate change.

Harrison, R. M. (1990). *Pollution: Causes, effects and control.* (Chapter 9) Royal Society of Chemistry.

Hill, R., O'Keefe, P. and Snape, C. (1995). *The future of energy use.* (Chapter 1) Earthscan.

International Energy Outlook 1999 (IEO99) (1999). Environmental Issues and World Energy Use. DOE/EIA-0484 (99).

International Energy Outlook 1999 (IEO99) (1999). World Energy Consumption. DOE/EIA-0484 (99).

بخش دوم

شرکتهای برق و عرضه انرژی

هزینه‌های انرژی شدیداً تحت تأثیرسیاستهای شرکتهای برق وعرضه کنندگان سوخت می‌باشند. بنابراین داشتن درک مطلوبی ازبخش عرضه صنعت انرژی مهم است. این بخش به توضیح موضوعات بنیادی که مرتبط باعرضه سوخت وانرژی است پرداخته و اینکه چگونه شرکتهای برق هزینه‌های خود راتأمین می‌کنند راشرح می‌دهد.

۲-۱ مقدمه

این بخش قصد ندارد کتابی درارتباط بامشخصه‌های شیمیائی انواع سوختها باشد، یابواقع کاری برروی جوانب جغرافیائی عرضه انرژی انجام دهد، بلکه براساس نقطه نظرات مصرف کننده نهائی، کسیکه احتمالاً خریدار انرژی نیزهست، نوشته شده است. هدف این بخش شرح راههائی است که شرکتهای برق درآن فعالیت کرده وهم چنین برجسته نمودن موضوعات کلیدی است که عرضه سوخت وانرژی راتحت تأثیرقرارمی‌دهند.

زمانیکه موضوع عرضه انرژی رامورد تفحص قرارمی‌دهیم لازمست، فرآیندی که انرژی به مشتری تحویل می‌شود را، استنباط کنیم. به عبارت کلی، کلیه تأسیسات یکی یابیشترازسوختهای ذیل رامصرف می‌کند:

- ذغال سنگ
- نفت
- گازطبیعی
- برق

گازطبیعی و برق توسط شرکتهای خدماتی از طریق گسترش زیربنائی لوله و کابل به مشتریان تحویل می‌شود. در مقابل، ذغال سنگ و نفت در بازار آزاد خریداری شده وبه حمل مکانیزه و تأسیسات انباری نیازمندند. بنابراین هر "سوخت" دارای یک سری مختصات ومحدودیت‌های

خاص خود می‌باشد و این خصوصیات بطور مؤثر هم مصرف و هم هزینه‌های انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برخی سوخت‌ها، مانند گاز طبیعی در بسیاری مناطق به سبب عدم وجود خطوط لوله نزدیک، غیرقابل دسترس می‌باشند. دیگر سوخت‌ها، بمانند ذغال سنگ و نفت، کثیف و سخت حمل تصور می‌شوند و هم چنین فضای انبار کردن قابل ملاحظه‌ای نیاز دارند. در حالیکه تمام این فاکتورها هزینه‌های انرژی را متأثر می‌کنند، آشنائی با هزینه‌هائی که با هر نوع از سوخت در ارتباط است از اهم موارد است. هزینه‌های انرژی وسوخت رامی‌توان بصورت ذیل دسته‌بندی کرد:

- هزینه‌های مستقیم که با خرید سوخت مرتبطاند؛
- هزینه غیرمستقیم که با مصرف سوخت در ارتباط است؛ و
- هزینه‌های غیرمستقیم زیست محیطی

هزینه‌های مستقیم سوخت، مشخصاً آن هزینه‌هائی هستند که با خرید سوخت مرتبطاند. بمانند قیمت واحد انرژی وهزینه‌های حق انشعاب، وهزینه‌های غیرمستقیم آنهائی هستند که باحمل و انبارکردن سوخت‌هائی نظیر ذغال سنگ ونفت ارتباط دارند. هزینه‌های غیرمستقیم زیست محیطی نیز موجودند، لیکن مصرف کننده نهائی همیشه توجه به موجودیت آنها ندارد. هزینه‌های زیست محیطی می‌توانند بمانند یک مالیات زیست محیطی برمصرف سوخت فسیلی، شکلی ظاهری بخود گیرند، (بخش ۱ راملاحظه فرمائید). اگرچه، بیشتر اوقات هزینه‌های زیست محیطی باماهیتی متفاوت در درون دیگر هزینه‌ها مستتر می‌شوند. برای مثال، اگر یک شرکت تولید الکتریسیته نیاز به سرمایه‌گذاری گزاف در دستگاه سولفورزدایی برای تمیز کردن نیروگاه تولیدی خود داشته باشد، به ظن قوی این هزینه زیست محیطی مرتبط را، بصورت قیمت‌های بالاترانرژی از مشتریان خود دریافت خواهد نمود.

۲ـ۲ انرژی اولیه

سه نوع سوخت؛ نفت، ذغال سنگ و گاز طبیعی حاکم بر بازار انرژی اولیه جهان هستند. در ۱۹۹۹، ۴۰/۶٪ انرژی اولیه جهان از نفت، ۲۵٪ از ذغال سنگ، ۲۴/۲٪ از گاز طبیعی، ۲/۷٪ از برق آبی و ۷/۶٪ از انرژی هسته‌ای، تأمین می‌شد(۱). اگرچه در حال حاضر نفت منبع اصلی انرژی جهان است، لیکن مصرف در حال پیشی گرفتن از عرضه و ذخائر نفت شناخته شده رو به زوال‌اند.

تخمین زده شده است که با نرخ فعلی مصرف، منابع ارزان نفت قابل عرضه، حدوداً دریک مدت ۴۰ ساله به اتمام خواهند رسید (۲). درحالیکه، برخلاف نفت، ذخائر ذغال سنگ زمین در یک وضعیت بسیار سلامت‌تر هستند، با ذخائر جهانی ذغال سنگ آنتراسیت و بیتومینوس به تنهائی بالغ بر ۲۰۰ باربیش از مصرف سالیانه ذغال سنگ است (۱). بنابراین امکان دارد که هرکسی فرض کند که ذغال سنگ توانائی پرکردن خلائی که اززوال ذخائرنفت پدید می‌آید، راخواهد داشت. اگرچه این یک برداشت ساده انگارانه است، زیرانفت عمدتاً دربخش حمل ونقل مصرف شده و ذغال سنگ چنانچه دخل و تصرفی درماهیت آن نشود برای این منظورنامناسب است.هم چنین، ذغال سنگ به سبب تولید حجم زیادی ازدی اکسید کربن (CO_2) و دی اکسیدگوگرد (SO_2) در زمان سوختن، نامهربان بامحیط زیست انگاشته می‌شود. برخلاف آن گاز طبیعی هنگام سوختن تمیز و نسبتاً سهل در حمل است. متعاقباً، مصرف جهانی گازطبیعی در حال افزایش است. بعنوان مثال، درانگلستان مصرف گاز طبیعی از ۵۲/۴ میلیارد مکعب در سال ۱۹۹۰ به ۹۲ میلیارد مترمکعب در سال ۱۹۹۹ ارتقاء یافت (۱). گسترش بخش گاز طبیعی در انگلستان عمدتاً به سبب ساخت تعداد زیادی ازنیروگاههای برق سیکل ترکیبی توربین گازی دردهه ۱۹۹۰ می‌باشد. ارتقاء مصرف گاز انگلستان در تعامل با نزول فاحش مصرف ذغال سنگ، که در سال ۱۹۹۹ فقط ۳۵/۶ $mtoe$ در مقایسه با ۶۴/۹ $mtoe$ در سال ۱۹۹۰ بود، می‌باشد (۱). این سناریو در مناطق دیگر اروپا نیز برابری می‌کند. در فرانسه، برای مثال، تولید ذغال سنگ ۵۹٪ بین سالهای ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۹ سقوط کرد (۱) و در آلمان سقوط مزبور برابر با ۵۱/۳٪ بود (۱).

در شرایط جهانی مصرف انرژی، گاز طبیعی دارای سریع‌ترین رشد در سوخت‌های اولیه است. این عمدتاً به سبب ذخائر عظیم گاز طبیعی و هزینه تولید نسبتاً کم آنست. در کشورهای بلوک شرق سابق به تنهائی، ذخائر گاز ثابت شده ۵۶/۷ تریلیارد مترمکعب هستند (اطلاعات ۱۹۹۹)، این میزان برای تأمین نیازهای خودشان و کل اروپا با هم برای حداقل ۵۰ سال مکفی خواهد بود (۱). یکی از مزیت‌های مهم گاز طبیعی اینست که در مقایسه با سوختهای با شدت کربن بالا مانند نفت و ذغال سنگ بسیار تمیز می‌باشد. متعاقب معاهده ۱۹۹۷ کیوتوبسیاری ازکشورها درتلاش برای کاهش انتشار CO_2 با افزایش بهره گیری از گاز طبیعی هستند. در ضمن ادارهٔ گاز طبیعی به نسبت ذغال سنگ که باید استخراج شده و درگیر حمل‌ونقل گران نیز هست، ساده‌تر می‌باشد. نهایتاً، در بسیاری از نقاط جهان شرکتهای تولید الکتریسیته از ذغالسنگ رویگردان و به گاز طبیعی تغییر سوخت داده‌اند. امتیازی دیگر برای شرکتهای تولیدکننده اینست که نیروگاههای برق گازی از

تظاهرات صنعتی توسط معدنداران که نیروگاههای ذغالی با آن روبرو هستند، مصون می‌باشند.

۲-۳ انرژی تحویلی

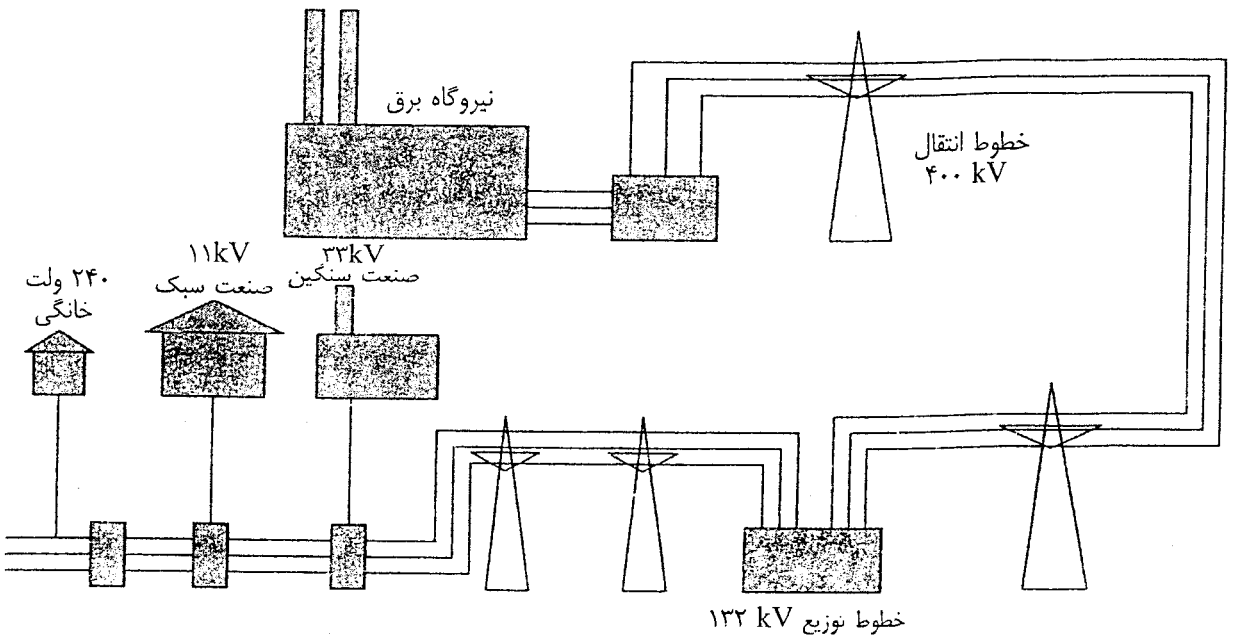
پی بردن به ارزش بین انرژی اولیه وانرژی تحویلی حائزاهمیت است. برای مثال، گازطبیعی سوخت اولیه‌ای است که می‌تواند باسوختن دریک نیروگاه برق، الکتریسیته تولید کند (یک سوخت ثانویه) یا بجای آن مستقیماً بعنوان یک سوخت اولیه توسط لوله به مشتری داده شود. برخلاف گاز، الکتریسیته همیشه یک سوخت "ثانویه" است، که ازیک منبع اولیه واغلب توسط یک فرآیند تبدیل بسیارنارکارآمد تولید شده است، بنابراین برای هرواحد ازالکتریسیته (kWh) که به یک مکان تحویل می‌شود، چندین واحد از انرژی اولیه باید مصرف گردد.

مبلغی که توسط مصرف کننده برای انرژی پرداخت می‌گردد معمولاً منعکس کننده دقیق هزینه تولید و قابل دسترس بودن کلی آن است. تولید الکتریسیته از گاز طبیعی در یک نیروگاه برق سیکل ترکیبی با بازدهی حرارتی ۴۷٪ رامورد ملاحظه قراردهید. مشاهده اینکه هزینه تولید الکتریسیته برای شرکت برق بالغ بر دو برابر قیمت گاز طبیعی است، مشکل نخواهد بود. بواقع، زمانیکه تمام فاکتورهای دیگر بمانند تعمیر و نگهداری، حمل‌ونقل و مدیریت نیز محسوب گردند، آنگاه هزینه الکتریسیته تحویلی بسیار بالاتر خواهد بود. در حقیقت، در انگلستان قیمت واحد الکتریسیته عموماً ۳ تا ۵ برابر قیمت گاز طبیعی است، که بستگی به نوع مصرف کننده دارد.

۲-۴ عرضه الکتریسیته

یک مدل کلی ازیک شبکه عرضه الکتریسیته در شکل ۲-۱ نشان داده شده است. کالای قابل فروش، الکتریسیته، ازمنابع انرژی اولیه گوناگونی درنیروگاههای برق تولید می‌شود. این نیروگاهها همگی به یک سری خطوط انتقال ولتاژ بالا وصل می‌شوند، که برای منتقل کردن الکتریسیته در مسافات طولانی استفاده می‌گردد. درنقاط مختلف سیستم، الکتریسیته از خطوط انتقال دریافت و به مشتریان توزیع می‌شود. این عمل مستلزم استفاده از یک شبکه توزیع محلی است که الکتریسیته را در ولتاژ کمتری $۳۳kV$ یا $۱۱kV$ به پست‌های محلی توزیع می‌کند، که در آن ولتاژ قبل از عرضه به مشتری بیشتر کاهش می‌یابد مثلاً به $۴۱۵V$ می‌رسد. نهایتاً، الکتریسیته به مشتری فروخته شده ومقدارمصرفی توسط کنتورثبت می‌گردد. به عبارتی وسیعتر، بخشهای گوناگون یک صنعت عرضه الکتریسیته رامی‌توان تحت عناوین ذیل دسته بندی کرد.

(I) فرآیند تولید: این فرآیند در نیروگاههای برق انجام می‌پذیرد و مستلزم تبدیل انرژی اولیه از سوختهای فسیلی به الکتریسیته می‌باشد. در مرحله تولید است که کلیه آلودگی‌های مرتبط با تولید الکتریسیته ایجاد می‌شوند. تولید الکتریسیته مشغله هزینه بر و پیچیده‌ای است، که مستلزم ساخت، راه‌اندازی و نگهداری نیروگاههای برق بزرگ و خرید، حمل و انبارکردن سوخت‌های اولیه است، به سبب اینکه الکتریسیته را نمی توان به سادگی ذخیره‌سازی کرد لذا شرکتهای تولیدکننده نیازمند داشتن ظرفیت یدکی مکفی بوده تا بر تقاضای پیک بالای برق که در خلال زمانهای خاص از سال رخ می‌دهد، فائق آیند. بنابراین نیروگاههای کوچکتر و با بازدهی کمتر بسیار بندرت مورد استفاده واقع می‌شوند و فقط زمانی فعالیت می‌کنند که تقاضا بر خطوط انتقال بالا است. این وضعیت بسیار غیراقتصادی است برای اینکه حتی با استفاده غیرمنظم از این نیروگاهها، هنوز آنها نیازمند تعمیر و نگهداری هستند. نتیجتاً، شرکتهای تولید کننده باید هزینه تعمیر و نگهداری نیروگاههای غیرفعال را با برق تولید شده از نیروگاههای فعال بپوشانند.



شکل ۲-۱ یک مدل شبکه عرضه الکتریسیته

(II) فرآیند انتقال: این فرآیندی است که الکتریسیته ازطریق خطوط انتقال درمسافات طولانی به اکناف یک منطقه یاکشورحمل می‌شود. خطوط انتقال تحت یک ولتاژ بسیار بالا کار می‌کنند. برای مثال، $۴۰۰kV$، دراین راستاکه اتلاف انرژی رابه حداقل برسانند. راه‌اندازی خطوط انتقال مستلزم ساخت وتعمیرونگهداری بخش عظیمی اززیرساختارهاست، که ممکن است برای

هزاران مایل، برخی اوقات برروی زمینهای بسیارناهموار، گسترده شده باشد. طبیعتاً در بهره‌گیری از چنین شبکه‌ای هزینه‌های سنگینی مستترند و این هزینه‌ها باید از فروش هر برقی که از این خطوط انتقال عبور می‌کند، بدست آید.

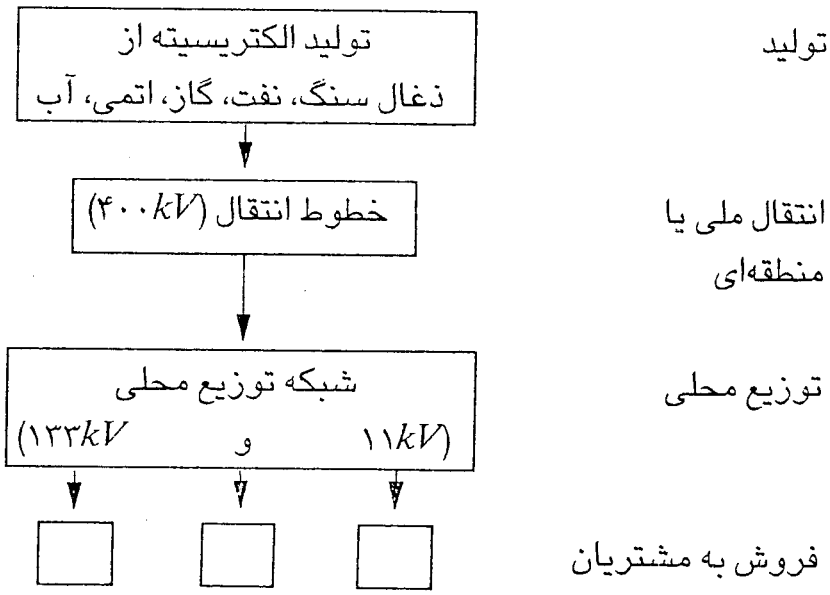
(III) **فرآیند توزیع**: زمانیکه الکتریسیته برای مسافتی طولانی باولتاژ بالامنتقل شد، آنگاه باید به مصرف کنندگان نهائی مختلفی توزیع شود. درنقاط مختلف خطوط انتقال، الکتریسیته به شبکه‌های توزیع محلی منتقل خواهد شد. این شبکه‌های توزیع، خطوط منطقه‌ای هستند که با ولتاژ پائین‌تر کار می‌کنند (مثلاً ۱۳۲kV و ۳۳kV)، که الکتریسیته را دراطراف یک شهریایک محله خاص توزیع می‌کنند. در خلال فرآیند توزیع ولتاژ الکتریسیته (از طریق بکارگیری پستها) بر اساس ولتاژ مورد درخواست مشتریان، پائین آورده می‌شود (مثلاً ۲۴۰ ولت، ۴۱۵ ولت یا ۱۱ کیلو ولت). بمانند خطوط انتقال، هزینه‌های مستتر در بکارگیری و تعمیر و نگهداری شبکه توزیع نیز باید از درآمد دریافتی از فروش الکتریسیته، جبران گردد.

(IV) **فرآیند فروش**: فرآیند فروش بمانند دیگرفرآیندها به سادگی قابل رویت نیست بدین سبب که درگیرهیچ سخت افزار مشهودی نمی‌باشد، لیکن دارای اهمیت کمتری نیز نیست. کلیه شرکتهای برق درجهت جذب مشتریان باید برای کالای خود بازاریابی کنند، وزمانیکه مشتریان یافته شدند، یک شرکت برق باید تمام انرژی مصرف شده را کنترل و ثبت کند، تا بتواند به مشتریان قبض داده و به جمع‌آوری درآمد بپردازد. بنابراین هزینه‌های اداری قابل ملاحظه‌ای دراداره کردن حساب مشتریان، وجود دارد. این هزینه‌ها معمولاً باتخصیص حق انشعاب ادواری برای هر مشتری تأمین می‌شود.

رابطه بین فرآیندهای مختلف در یک نمونه ازصنعت عرضه الکتریسیته در شکل ۲-۲نشان داده شده است.

اگر چه فرآیندهای مشروحه بالادرکلیه صنایع عرضه الکتریسیته معمول هستند، راهی که آنها در عمل به آن دست می‌زنند درگوشه وکنارجهان بطورقابل ملاحظه‌ای متفاوت است. دربرخی کشورها تمام فرآیندهای چهارگانه توسط یک شرکت برق که دارای ساختار سازمانی عمودی است، انجام می‌پذیرد که تولید، انتقال وتوزیع الکتریسیته به اضافه صدور قبوض مشتریان را در دست دارد. نمونه‌های شرکتهای برق با ساختار سازمانی عمودی در بسیاری از نقاط ایالات متحده

امریکا وجود دارند. در دیگر کشورها مانند انگلستان و ویلز ساختاری افقی وجود دارد که فرآیندهای گوناگون تقسیم شده، و تعدادی از شرکتهای خدماتی نقشهای مختلفی را در درون کل صنعت عرضه، ایفا می‌نمایند. برای مثال در انگلستان و ویلز، تولید الکتریسیته توسط تعدادی از شرکتهای تولیدی رقیب مانند برق ملی[1] و تولید برق[2]، انجام می‌شود. شرکت مستقل دیگر، شرکت خطوط ملی[3] است که کرایه استفاده ازخطوط خود راوضع می‌کنند و فرآیند انتقال رابانجام می‌رسانند. متعاقباً، شرکتهای برق منطقه‌ای مانند یورکشایر الکتریسیته و لندن الکتریسیته از شرکت خطوط ملی، الکتریسیته را خریداری کرده و بین مشتریان خود توزیع می‌کند. آنها هم چنین کنتورمشتریان خود را خوانده و برای الکتریسیته مصرفی قبض صادر می‌کنند. این استفاده از روش افقی می‌تواند منجر به مکانیزمهای تجاری بسیار پیچیده شود (بخش ۳ را ملاحظه فرمائید). بدون توجه به پیچیدگی ساختاری، حائزاهمیت است که فرآیندهای متشکله مشرحه بالا و هزینه‌های مربوط به آن فرآیندها درتمام جهان یکسان هستند. نتیجتاً تعرفه‌های صادره توسط کلیه شرکتهای خدماتی الکتریسیته منعطف به طرح یکسانی هستند.



نمودار ۲-۲ نمونه ساختار یک شبکه عرضه الکتریسیته

1- *National Power*

2- *Power Gen*

3- *National Grid Company*

۲-۴-۱ قیمت‌های الکتریسیته

از مباحث بخش ۲-۴ می‌توان مشاهده کرد که هزینه‌های بسیاری در تولید و عرضه الکتریسیته ایجاد می‌شود، و این هزینه‌ها باید از مصرف کننده نهائی بازیافت گردد. آن هزینه‌ها را می‌توان بشرح ذیل دسته بندی نمود:

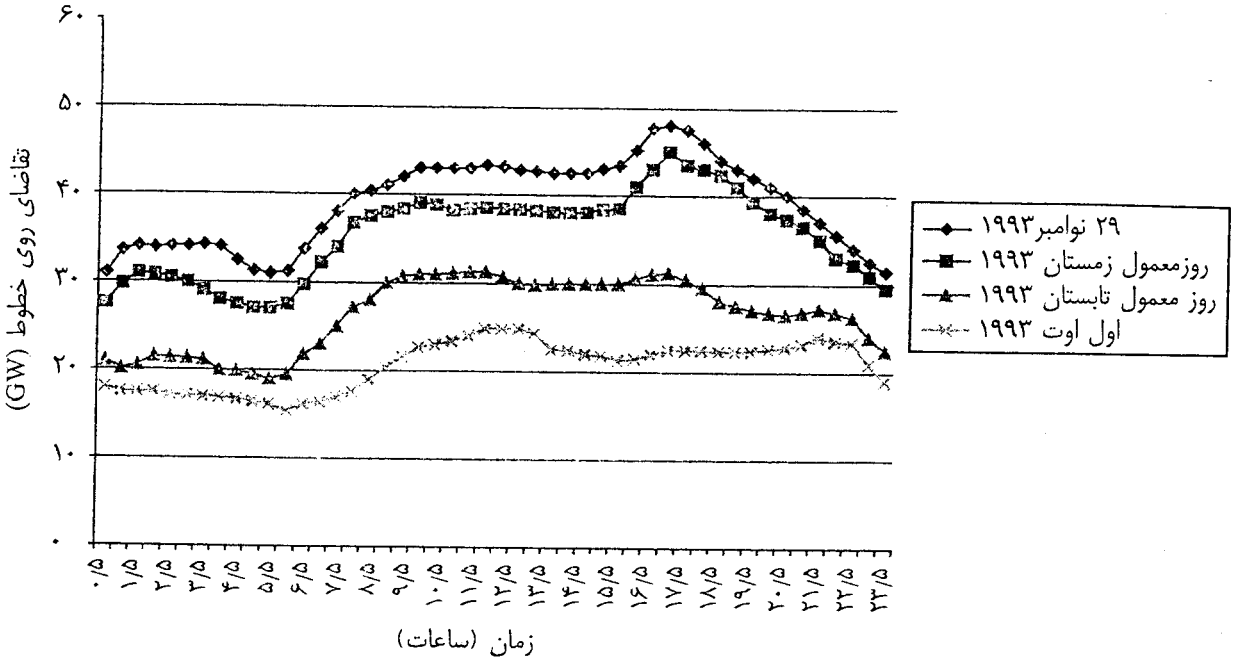
- هزینه خریداری انرژی اولیه وتبدیل آن به الکتریسیته؛
- هزینه انتقال الکتریسیته درمحدوده یک منطقه یا کشور؛
- هزینه توزیع الکتریسیته به مشتری؛
- هزینه مستتر در خواندن کنتور، صدور قبوض برق واداره کردن حسابهای مشتریان.

به جهت اینکه الکتریسیته را نمی توان ذخیره نمود، اندازه و هم چنین هزینه ساختار زیربنائی پشتیبانی کننده با حداکثر بار آتی بر روی سیستم تعیین می‌گردد، نه بامقدارانرژی‌ای که مصرف شده است نماهای تقاضای الکتریسیته در سال ۱۹۹۳ برای خطوط ملی در انگلستان و ویلز که در نمودار ۲-۳ ارائه شده است را ملاحظه فرمائید. از این نماها می‌توان مشاهده کرد که بیشترین تقاضا برای الکتریسیته در زمستان ۱۹۹۳ رخ داد، و به پیک $۴۸GW$ در حدود ۶ بعدازظهر روز ۲۹ نوامبر، رسید(۳). درحالیکه برای بیشترین اوقات سال تقاضا بطور قابل ملاحظه‌ای کم بود. در حقیقت در ساعت ۶ صبح روز اول اوت ۱۹۹۳ تقاضا برروی خطوط انتقال به حدود $۱۶GW$ نزول کرد که این کمترین در سال بود. تنها نتیجه‌ای که می‌توان ازاین مقایسه استنتاج کرد اینست که برای بیشترین اوقات درسال خطوط انتقال و توزیع، بسیارپائین ترازظرفیت حداکثر خودکارمی‌کنند. اگرچه مقدار قابل ملاحظه‌ای از ظرفیت تولید برای بیشتر سال بلااستفاده است، لیکن هنوز باید در حالت حاضر بخدمت نگهداری شده و در صورت افزایش نیاز به ولتاژ بالا بر روی خطوط، آماده استفاده باشد. در حقیقت، اگر ظرفیت مازاد در درون سیستم ساخته نشده باشد، زمانیکه تقاضای الکتریسیته به سطوح بالا افزایش یابد، یکی از دو مورد ذیل اتفاق خواهد افتاد:

۱- احتمال دارد ظرفیت کافی تولید برای پاسخ به نیاز موجود نباشد؛ یا
۲- احتمال دارد بار کابل‌های خطوط انتقال بیش از اندازه باشند.

اگرهریک ازاین موارد رخ دهد، قطعی برق اتفاق خواهد افتاد، که بشدت نامطلوب است. با این

وصف، شرکتهای برق باتصمیمی روبرو هستند، که یا



نمودار ۲-۳ نمای تقاضای الکتریسیته برای انگلستان و ویلز درسال ۱۹۹۳ (۳)

- نیروگاههای برق بیشتری بسازند وشبکه انتقال وتوزیع راتقویت کنند، که یک راه‌حل بسیار پرهزینه‌ای است؛ یا
- ترغیب مشتریان خود به عدم مصرف زیاد الکتریسیته، در زمانهائی که تقاضا بالا است.

با این انتخاب‌ها، تعجب آورنیست که بیشترین شرکتهای خدماتی الکتریسیته راه‌حل دوم را برمی‌گزینند. در عمل با اخذ قیمتهای بالا از مشتریانی که در زمانهای پیک تقاضا از الکتریسیته استفاده می‌کنند، عدم ترغیب از استفاده بالای الکتریسیته را بعمل می‌آورند. در اروپای شمالی، مقطع زمانی پیک تقاضای الکتریسیته در ماههای زمستان است، لیکن در ایالات جنوبی امریکا پیک تقاضا در خلال تابستان و به سبب افزایش استفاده از وسائل تهویه می‌باشد (۴). از این موارد می‌توان مشاهده کرد که شرکتهای برق با وضع قیمتهای متغیر بر روی تعرفه‌های مشتریان می‌توانند در تقاضا بر روی شبکه‌های خود، مؤثر باشند.

اگرچه تعرفه‌ها می‌توانند به عدم ترغیب مشتریان به مصرف بیانجامند، آنها هم چنین می‌توانند مصرف را تشویق کنند. نمودار ۲-۳ نشان می‌دهد که تقاضای الکتریسیته در اوقات روز بسیار بالاتر از شب هنگام است. نتیجتاً نیروگاههای تولیدی در شب زیر سطح بهینه کاربرد دارند. در یک

تلاش برای بهبود این وضعیت، شرکتهای برق اغلب الکتریسیته در شب هنگام را (غیرپیک) تحت نرخی باتخفیف ارائه می‌دهند تا انگیزه‌ای برای استفاده الکتریسیته مشتریان در اوقات غیرپیک باشد. این عمل در سطح جهان معمول است. بعضی شرکتهای برق حتی روز رابه ۳ تا ۴ بخش تقسیم کرده و نرخهای متفاوتی برای هر واحد انرژی در هر بخش، بسته بمیزان تقاضا بر روی شبکه، اعمال می‌کنند. شرکتهای برق هم چنین با استفاده از تعرفه‌ها، طراحان ساختمان را از زیاده‌روی در تأسیسات برقی با اعمال نرخهای مقدوریت، باز می‌دارند. زمانیکه ساختمانی احداث می‌گردد، شرکت برق محلی عموماً مجبور به تأمین الکتریسیته آن است. این عمل معمولاً مستلزم اتصال کابل برق جدید به ساختمان و احتمالاً مستلزم استقرار ترانسفورمر جدید یا پست برق می‌باشد. در برخی موارد، اگر تأسیسات احداثی بزرگ باشد، حتی ممکن است تقویت کل شبکه توزیع محلی لازم آید. هزینه سرمایه‌گذاری درگیر این اعمال توسط شرکت برق تأمین می‌شود. تعجب آورنیست که شرکت برق مهربانانه به مصرف کننده نهائی، کسیکه برآورد بیش از نیاز خود کرده، ننگرد، به سبب اینکه این عمل نتیجه در هزینه سرمایه‌گذاری بزرگی برای آنها دارد. بنابراین، یکی از راه‌حل‌ها، وضع یک نرخ مقدوریت عرضه بر روی تقاضای برق است (ظرفیت اسمی سیستم) که مصرف‌کننده نهائی خواستار آنست. این نرخ هر ماهه بر روی هر یک kW (یا یک kVA) از ظرفیت اسمی سیستم وصول می‌گردد. بوضوح عاملی بازدارنده و در جهت بیشتر محتاط کردن طراحان ساختمان است!

برخی شرکتهای برق مصرف مشتریان خود را براساس kW و kWh بجای kVA و $kVAh$ اندازه‌گیری کرده و قبض برق صادر می‌کنند. در مدرسه، فرا می‌گیریم که نیروی الکتریکی (با $Watts$ اندازه‌گیری شده) محصول ولتاژ (با $Volts$ اندازه‌گیری شده) و جریان (با $Amps$ اندازه‌گیری شده) است. بنابراین در نظر اول ظاهراً تفاوتی بین kW و kVA نیست، در حالیکه بین این دو، تفاوتی ظریف و بسیار مهم است. اگریک جریان الکتریکی از یک بار راکتیو عبور کند، مانند یک لامپ فلورسنت یا یک موتور القائی، جریان ازفاز خارج شده و افت می‌کند. این موضوع به تفصیل در بخش ۱۲ مورد بحث قرارگرفته است، لذا اینجا کافی است که ذکرکنیم، بارهای راکتیو برقی بیش از نیاز مصرف می‌کنند. بنابراین یک بار راکتیو بمانند یک موتور القائی، جریان بیشتری از آنچه که نرخ مفید قدرت آن است، خواهد کشید. نتیجتاً اگر یک شرکت برق براساس kW مصرف مشتریان را محاسبه کند، آنگاه باید یک قیمت اضافی برق راکتیو در $kVArh$ را نیز در نظر بگیرد. این روش تضمین می‌کند که شرکت برق در قبال هر آنچه که به مکان تأمین برق می‌کند هزینه اش رادریافت

کرده، و به سبب فاکتور برق ضعیف مشتری متضرر نمی شود.

۲-۴-۲ تعرفه‌های الکتریسیته

شرکتهای خدماتی برق تعرفه‌هائی به مشتریان خود می‌دهند که منعکس کننده هزینه‌های گوناگون مصرفی است. این تعرفه‌ها پیشاپیش صادرشده وبرای کلیه مشتریان استاندارد است. اگرچه تعرفه‌های یک شرکت متفاوت از شرکت دیگر است، لیکن آنها جهت در برگرفتن هزینه‌های مختلف ایجاد شده در تولید، انتقال، توزیع و فروش الکتریسیته، تدوین یافته‌اند.

تعرفه‌های خانگی احتمالاً ساده‌ترین نوع تعرفه‌های موجود الکتریسیته است. آنها به مشتریان خانگی و دیگر مشتریان کم مصرف ارائه می‌شوند، و معمولاً سه ماهه صادر می‌شوند، در ساده‌ترین شکل خود آنها شامل یک قیمت ثابت حق انشعاب اعلام شده برای هر سه ماه و یک قیمت واحد الکتریسیته استاندارد می‌باشند، همانگونه که درشکل ۲-۱ نشان داده شده است. نمونه کمتر پیچیده تعرفه ساده خانگی، عنوان قیمت‌های واحد الکتریسیته پیک و غیرپیک است که جهت ترغیب مشتریان به مصرف الکتریسیته در اوقات غیرپیک طراحی شده است. درانگلستان این تعرفه به "تعرفه اقتصاد هفت" شناخته می‌شود، یک نمونه مثال در جدول ۲-۱ نشان داده شده است.

برای مشتریان غیرخانگی بزرگتر با تقاضای زیر $۵۰kW$، معمولاً تعرفه‌های بلوک عرضه می‌شود. تعرفه‌های بلوک در تدوین شبیه تعرفه‌های خانگی بوده بااین استثناء که اولین بخش عمده انرژی مصرف شده، معمولاً یک بلوک تقریباً $۱۰۰۰kWh$ با نرخ واحد بالاتری قیمت‌گذاری می‌شود. برخی شرکتهای برق حتی ممکن است تعرفه‌های بابیش از یک بلوک عرضه کنند. و بمانند تعرفه خانگی، متغیرهای پیک و غیرپیک معمولاً ارائه می‌گردد. جدول ۲-۲ ساختاریک نمونه ازتعرفه بلوکی رانشان داده است.

برای مشتریان صنعتی و تجاری بزرگتر معمولترین نوع پیشنهادی تعرفه احتمالاً "تعرفه حداکثر تقاضا" است که به شکلهای مختلف توسط بسیاری ازشرکتهای برق سراسرجهان عرضه می‌گردد. جدول ۲-۳ نمونه‌ای از تعرفه "حداکثر تقاضائی" که یک شرکت خدماتی برق انگلیسی استفاده می‌کند را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۱ تعرفه‌های برق خانگی

تعرفه خانگی عمومی	
حق انشعاب فصلی	۸/۲۵ پاوند
قیمت واحد	P/kWh ۶/۵۳
تعرفه خانگی اقتصادهفت	
حق انشعاب فصلی	۱۰/۷۸ پاوند
قیمت واحد غیرپیک (۰۷/۳۰ - ۰۰/۳۰)	P/kWh ۲/۲۸
قیمت واحد پیک (همه اوقات دیگر)	P/kWh ۶/۸۹

جدول ۲-۲ تعرفه الکتریسیته بلوک

تعرفه بلوک عمومی	
حق انشعاب فصلی	۸/۶۹ پاوند
قیمت واحدبرای اولین kWh ۱۰۰۰مصرف شده	P/kWh ۸/۹۴
قیمت واحدبرای مازاد kWh مصرف شده	P/kWh ۶/۷۰
تعرفه بلوک اقتصاد هفت	
حق انشعاب فصلی	۱۱/۲۲ پاوند
قیمت واحد غیرپیک (۰۷/۳۰-۰۰/۳۰)	P/kWh ۲/۲۸
قیمت واحد پیک برای‌اولین kWh ۱۰۰۰ مصرف شده	P/kWh ۸/۹۴
قیمت واحد پیک برای مازاد kWh مصرف شده	P/kWh ۷/۰۵

تحت یک تعرفه ماکزیمم دیماند که در جدول ۲-۳ نشان داده شده است هزینه‌های اداری و صدور قبوض از طریق حق انشعاب ماهانه که ثابت و مستقل از قیمت الکتریسیته مصرفی است، تأمین می‌گردد. قیمت واحد، هزینه تأمین انرژی الکتریکی راپوشش داده و لذا هر kVAh از الکتریسیته مصرفی را شامل می‌شود. قیمت واحد معمولاً از دو بخش ساخته شده است؛ یک بخش بزرگتر که هزینه‌های تولید الکتریسیته راپوشش می‌دهد، و یک بخش کوچکتر، که هزینه‌های اجرائی مرتبط با انتقال و توزیع را می‌پوشاند. در راستای ترغیب مصرف الکتریسیته غیرپیک، یک قیمت واحد تخفیفی غیرپیک شبانه از ساعت ۰۰/۳۰ الی ۰۷/۳۰ عرضه می‌شود. این امر سبب تشویق مشتریان به تغییر زمان مصرف خود و لذا کاستن از تقاضا بر روی شبکه در خلال مقاطع زمانی پیک دیماند خواهد شد.

هزینه‌های سرمایه‌گذاری مرتبط با شبکه توزیع از طریق قیمت ماکزیمم دیماند تأمین می‌شود، که با جریمه کردن مشتریانی که دارای تقاضای برق بالا (در kW یا kVA) در خلال مقاطع زمانی که تقاضا برای الکتریسیته بالاست، وضع می‌گردد. درمورد تعرفه‌ای که در جدول ۲-۳ نشان داده شده است زمان "پیک دیماند برق" از اول نوامبر تا ۲۸ فوریه بطول می‌انجامد. در خلال این مدت یک نرخ تقاضا بر هر kVA تقاضای آنی پیک در هرماه بخصوص ثبت می‌گردد. در خلال ماههای سردتر دسامبر و ژانویه قیمت ۵/۴۰ پاوند برای هر kVA است. در حالیکه این قیمت به ۲/۷۰ پاوند برای هر kVA در خلال نوامبر و فوریه، نزول می‌کند. برای بقیه سال هیچ قیمتی برای دیماند وضع نمی گردد.

نرخ مقدوریت عرضه برای باز دارندگی مشتریان و طراحان ساختمان از درخواست بیش از اندازه برق برای تأسیساتشان، طراحی شده است. اگر یک مشتری ظرفیت عرضه مورد نیاز خود را بیشتر تخمین زده باشد، آنگاه شرکت برق هزینه اضافه‌تری راتحمیل خواهد کرد. اگر پیش‌بینی تقاضای بالای مشتری عملی نشود، آنگاه شرکت برق قادرنخواهد بود مبالغی راکه صرف کرده‌از طریق‌ماکزیمم‌دیماند یانرخهای‌هرواحد تأمین نماید.نیتجتاً،یک نرخ مقدوریت هرماهه برای‌هر kVA یا kW از ظرفیت‌تحویلی مورددرخواست وضع می‌شود، تا مشتریان زیاده‌خواه را جریمه نماید.

جدول ۲-۳ نمونه تعرفه ماکزیمم دیماند

	تعرفه
۱- نرخ ماهانه	۳۲/۰۰ پاوند
۲- نرخ مقدوریت عرضه هرماهه برای هر kVA از ظرفیت عرضه قابل نرخ گذاری	۱/۴۰ پاوند
۳- نرخ ماکزیمم دیماند هرماهه برای هر kVA از ماکزیمم دیماند ماهانه درماههای:	
دسامبر و ژانویه	۵/۴۰ پاوند
نوامبر و فوریه	۲/۷۰ پنس
۴- قیمتهای واحد برای تعرفه‌های ماکزیمم دیماند (P/kVh)	
برای هر واحد تحویلی	۶/۱۵ پنس
برای هر واحد تحویلی بین ساعات ۰۰/۳۰ الی ۰۷/۳۰ هر شب	۲/۶۵ پنس

جدول ۲-۴ نمونه تعرفه اوقات مختلف فصل

تعرفه	
۱- نرخ ماهانه	۳۲/۰۰ پاوند
۲- نرخ مقدوریت عرضه هرماهه برای هر kVA از ظرفیت عرضه قابل نرخ گذاری	۱/۴۰ پاوند
۳- نرخهای واحد زمستانی ($p/kVAh$) مشمول نوامبر تا مارس)	
(I) برای هر واحد تحویلی بین ساعت ۱۶و ۱۹ هرروزشامل دوشنبه‌ها تا جمعه‌ها	
الف) دسامبر و ژانویه	۳۰/۵۰ پنس
ب) نوامبر و فوریه	۱۷/۶۰ پنس
(II) برای هر واحد تحویلی بین ساعات ۸/۳۰ و ۲۰ هر روز شامل دوشنبه‌ها تا جمعه‌ها در خلال ماههای دسامبر تا فوریه به غیراز قیمتهائی که درنرخهای الف و ب (۱) بالا محاسبه شده‌اند.	۷/۴۵ پنس
(III) برای دیگر روزهای زمستان واحدهای تحویلی بین ۷/۳۰ و ۰/۳۰	۵/۳۰ پنس
(IV) برای شبهای زمستان واحدهای تحویلی بین ۰/۳۰ و ۷/۳۰	۲/۶۵ پنس
۴- نرخهای واحد تابستانی ($p/kVAh$) (مشمول آوریل تا اکتبر)	
(I) برای هر روز تابستان واحدهای تحویلی بین ۷/۳۰ و ۰/۳۰	۴/۵۰ پنس
(II) برای شب تابستان واحدهای تحویلی بین ۰/۳۰ و ۷/۳۰	۱/۹۰ پنس

متغیرهائی که برروی تعرفه ماکزیمم دیماند بالا شرح داده شده است تعرفه اوقات مختلف فصل است که در جدول ۲-۴ نشان داده شده است.

تحت تعرفه اوقات مختلف فصل، نرخهای مقدوریت و حق انشعاب ماهانه بمانند تعرفه ماکزیمم دیماند وضع شده‌اند. درحالیکه نرخهای تقاضاوجود ندارند ولی بجای آن نرخهای واحد منعکس‌کننده تقاضا بر روی شبکه شرکت برق می‌باشد، و مشتریانی که در خلال زمانهای پیک تقاضا، الکتریسیته مصرف می‌کنند را بسیار سنگین جریمه می‌کند.

متغیرهائی که بر روی تعرفه بالا شرح داده شده است رامی‌توان در سراسر جهان یافت. یک متغیر بدیع در فنلاند بوقوع پیوسته است، جائی که IVO بزرگترین عرضه کننده کشور، دارای یک

تعرفه سه بخشی است. این منعکس کننده ماهیت، و هزینه‌های تولید مرتبط بانوع نیروگاههای تولیدی لازم برای پاسخگوئی به نیاز، است (۵). تعرفه پایه به برق اتمی و آبی مربوط است، تعرفه میانی مربوط به تولید برق ذغالی است، و تعرفه پیک برپایه تولید برق از توربین گازی و نفتی است. در بسیاری نقاط گرمتر، مانند ایالات جنوبی ایالات متحده امریکا، تقاضای پیک درخلال ماههای تابستان و به سبب استفاده بیشینه از وسائل تهویه، پدید می‌آید. بنابراین شرکتهای برق در این مناطق نرخهای ماکزیمم دیماند را در ماههای تابستان وضع می‌کنند نه در خلال زمستان.

باید متذکر شد که در بسیاری کشورها به شکلی "مالیات ارزش افزوده" *(VAT)*[1] بر مصرف انرژی وضع شده است. اگراین مالیات دریک منطقه خاص یا کشوری اعمال شود، اهمیت دارد که زمان تخمین و تحلیل صورتحساب‌های انرژی الکتریکی مورد ملاحظه واقع شود.

بحث بالابیان می‌دارد که کل قیمت هر *kWh* یا *kVAh* پرداختی متوسط بیشتری، بمقدار زیاد بستگی به سوابق مصرف مشتری نهائی دارد، در حقیقت در برخی شرایط بطور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از نرخ واحد انرژی است که توسط شرکت برق قید گردیده است. مثال ۲-۱ تکنیکی را نشان می‌دهد که باید جهت محاسبه دقیق هزینه‌های انرژی الکتریکی مورد استفاده قرار گیرد. گیریم که ظرفیت حداکثر عرضه اعلام شده ساختمان هتل ۶۵۰ *kW* وتعرفه ماکزیمم دیماند نشان داده شده در جدول ۲-۳اعمال می‌شود، هزینه سالانه الکتریسیته و همچنین یک قیمت متوسط برای هر واحد *(kVAh)* الکتریسیته مصرفی (بدون احتساب *(VAT)* را تعیین کنید.

1- Value Added tax

مثال ۲-۱

اطلاعات مصرف ماهانه الکتریسیته برای ساختمان یک هتل در یک سال تقویمی بشرح ذیل است:

ماه	واحدهای پیک الکتریسیته *kVAh*	واحدهای غیر پیک الکتریسیته *kVAh*	ماکزیمم دیماند ماهانه *kVAh*
ژانویه	۲۲۳۴۷۵	۶۳۰۳۱	۵۹۲
فوریه	۲۱۴۷۱۸	۵۷۰۷۶	۵۵۲
مارس	۱۸۶۸۴۵	۴۶۷۱۱	۴۷۶
آوریل	۱۸۵۵۱۳	۴۰۷۲۲	۴۷۱
مه	۱۷۴۱۰۳	۳۳۱۶۲	۴۲۷
ژوئن	۱۶۵۹۸۸	۲۷۰۲۱	۳۸۱
ژوئیه	۱۶۳۱۸۱	۲۴۳۸۳	۳۶۵
اوت	۱۵۰۰۸۹	۲۶۴۸۶	۳۷۲
سپتامبر	۱۶۴۷۴۶	۳۱۳۸۰	۴۱۰
اکتبر	۱۷۴۹۸۳	۴۱۰۴۵	۴۵۲
نوامبر	۱۸۹۷۵۲	۴۷۴۳۸	۴۸۶
دسامبر	۲۲۲۹۵۲	۵۵۷۳۸	۶۲۳
جمع	۲۲۱۶۳۴۵	۴۹۴۱۹۳	۸۰۹۰

راه‌حل

نرخ مبنا	محاسبه	هزینه (£)
حق انشعاب ماهانه	£۳۲×۱۲	۳۸۴
نرخ محدودیت عرضه	۱۲ × kVA هر ۶۵۰kVA @ £ ۱/۴۰	۱۰۹۲۰
نرخهای ماکزیمم دیماند	۶۲۳kVA @ £ ۵/۴۰	۳۳۶۴/۲۰
دسامبر- ژانویه	۵۹۲kVA @ £ ۵/۴۰	۳۱۹۶/۸۰
نوامبر	۴۸۶kVA @ £ ۲/۷۰	۱۳۱۲/۲۰
فوریه	۵۵۲kVA @ £ ۲/۷۰	۱۴۹۰/۴۰
نرخهای انرژی		
نرخ پیک	$kVAh$ پنس‌به‌ازاءهر ۶/۱۵@۲۲۱۶۳۴۵$kVAh$	۱۳۶۳۰۵/۲۲
غیرپیک	$kVAh$ پنس‌به‌ازاءهر ۲/۶۵@۴۹۴۱۹۳ $kVAh$	۱۳۰۹۶/۱۱
هزینهٔ سالیانهٔ الکتریسیته		۱۷۰۰۶۸/۹۳

پس به ازاء هر $kVAh$ ۶/۲۷۴= $\frac{۱۷۰۰۶۸/۹۳×۱۰۰}{(۲۲۱۶۳۴۵+۴۹۴۱۹۶۳)}$ =متوسط قیمت واحد الکتریسیته

۲-۵ گاز طبیعی

شرکتهای خدماتی گاز مشابه شرکتهای خدماتی الکتریسیته هستند تا آنجا که هر دو عرضه مستقیم انرژی به ساختمانهاازطریق لوله‌ها یا کابلها را بعهده دارند. بنابراین هر دو نوع شرکت خدماتی باید ساخت، اجراوتعمیرونگهداری شبکه‌های انتقال وتوزیع بزرگی راانجام دهند. به علاوه هردونوع شرکت خدماتی باید بمشتریان خود قبض داده وحسابهای مشتری رانیز نگهدارند. اگرچه، برخی تفاوتهای مؤثر و مشخص بین این دو "سوخت" وجود دارند.

جدول ۲-۵ ترکیب گاز طبیعی

اجزاء تشکیل دهنده	درصد به حجم (٪)
متان، CH_4	۹۲/۶
اتان، C_2H_6	۳/۶
پروپان، C_3H_8	۰/۸
بوتان، C_4H_{10}	۰/۳
ازت، N_2	۲/۶
دی اکسیدکربن، CO_2	۰/۱

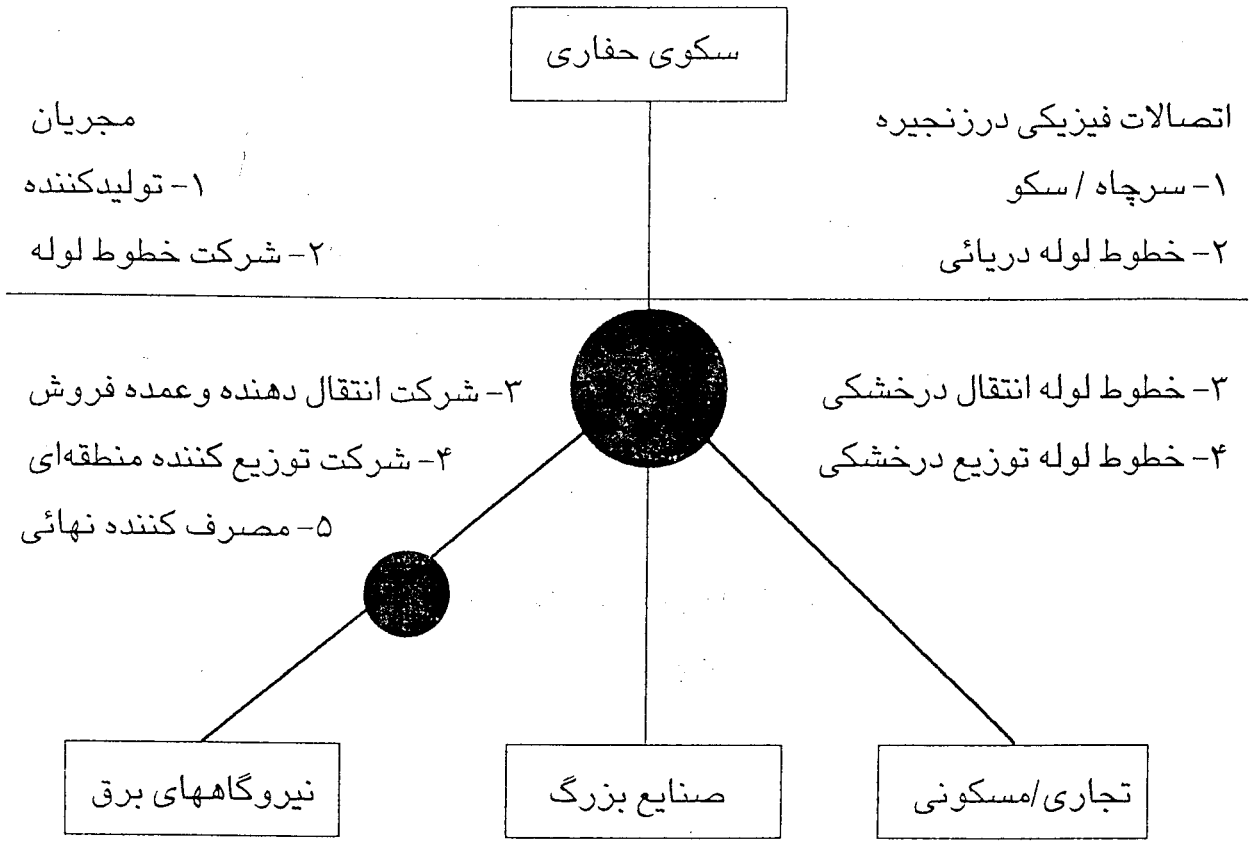
از ایستاب و کرافت (۱۹۹۰) بازدهی انرژی برای مهندسین و تکنولوژیست‌ها، گروه لانگ من ۱۹۹۰، چاپ دوباره با مجوز شرکت آموزش پیرسون

- برخلاف الکتریسیته، گاز طبیعی یک سوخت اولیه است که باید بابرخی ابزار از زمین استخراج شود.
- گاز طبیعی را می‌توان بمقدار زیاد انبار کرد، در حالیکه الکتریسیته را نمی توان؛ و
- برخلاف الکتریسیته، که در تمام فصول سال بدان نیاز است. بازار برای گاز طبیعی بسیار فصلی و بستگی به هوا دارد.

گاز طبیعی تقریباً تماماً از متان تشکیل شده (جدول ۲-۵ را ببینید) و دارای یک ارزش حرارتی تقریباً MJ/m^3 ۳۸/۶؛ چگالی آن حدود kg/m^3 ۰/۷۳ است. بدینسان دارای یک چگالی انرژی پائین در مقایسه با نفت است. یک مترمکعب از گاز طبیعی تقریباً حاوی یک هزارم انرژی، حجم یکسانی از نفت خام است. متعاقباً، حمل و نقل گاز طبیعی فرآیندی مشکل و پرهزینه است، که مستلزم شبکه‌های عظیمی از خطوط لوله‌های با قطر بالاست. بنابراین حمل‌ونقل گاز معمولاً توسط خطوط لوله فشار بالا انجام می‌پذیرد، اگرچه گاز را می‌توان مایع نمود و سپس باکشتی حمل کرد. هر دو روش معمولاً مستلزم حجم وسیعی از تأسیسات ذخیره‌سازی نزدیک به مشتریان در راستای ایجاد تعادل در نوسانات تقاضا است.

نمودار۲-۴ نشان دهنده نمونه‌ای از زنجیره عرضه برای گاز تولید شده از یک سکوی دریائی است (۷). از سکوی حفاری، گاز بوسیله خطوط لوله دریائی به یک ایستگاه در خشکی فرستاده

می‌شود. ازآنجا، یا از طریق خطوط لوله انتقال به خدمت بازار داخلی ارسال، یا از طریق خطوط لوله انتقال بین‌المللی به دیگر کشورها منتقل می‌شود. در برخی مراحل قبل از عرضه نهائی به مصرف‌کنندگان داخلی، مصرف کنندگان صنعتی بزرگ یا تولیدکنندگان الکتریسیته، گاز به خطوط لوله توزیع منطقه‌ای منتهی می‌شود.



نمودار ۲-۴ زنجیره گاز (۷)

عرضه زنجیره‌ای گاز متنوع بوده و بستگی به موقعیت محلی دارد و اغلب مستلزم تعداد زیادی از کارگزاران است. تولیدکنندگان گاز الزاماً ممکن است شرکتهائی که دارنده خطوط لوله دریائی هستند، نباشند؛ متشابهاً شرکت انتقال دهنده ممکن است درگیر توزیع نهائی در مناطق نباشد. بنابراین همانگونه که گاز در طول یک زنجیره جریان می‌یابد، احتمال دارد مالکیت آن نیز چندین بار تغییر کند.

۲-۵-۱ تولید، انتقال و توزیع گاز طبیعی

زنجیره گاز در نمودار ۲-۴ نشان می‌دهد که تعدادی فرآیندهای مشخص درگیر آوردن محصول نهائی به مشتری هستند:

(I) خطوط لوله کلکتور گاز: این خطوط لوله، حوزه تولید را به خطوط انتقال وصل می‌کند و ممکن است در زیردریا و یا روی زمین کشیده شده باشد آنها گاز تصفیه نشده را که معمولاً دارای کیفیت فروش نیستند، حمل می‌کنند. گاز تصفیه نشده ممکن است "خشک" یا "تر" باشد. خطوط لوله کلکتور برای گاز خشک که نسبتاً از مایع خالی است، بسیار شبیه دیگر خطوط انتقال خواهد بود. "گازتر" حاوی مقدار معتنابهی مایع است؛ اگر قرار باشد چنین گازی حمل شود آنگاه باید برای جلوگیری از صدمه زدن به خطوط تصفیه شود.

(II) تصفیه گاز: زمانیکه گاز طبیعی استخراج می‌شود، تقریباً همیشه با ناخالصیهائی مانند آب، گازهای اسیدی، ازت و هلیوم مخلوط است (۷).در راستای جلوگیری از خوردگی خطوط انتقال، این ناخالصیها باید گرفته شوند. این فرآیند معمولاً در یک تأسیسات تصفیه گاز در خشکی انجام می‌پذیرد.

(III) انتقال گاز: خطوط لوله انتقال گاز تضمین کننده لاینقطع عرضه گاز تحت فشار معین از خطوط لوله کلکتور به نقاط مختلف حمل است. این نقاط حمل معمولاً ورودیهای به سیستمهای خدماتی توزیع محلی می‌باشند. به عبارتی ساده‌تر، خطوط لوله انتقال به سادگی می‌تواند اتصالی بین دو نقطه باشد. اگر چه، بسیار عادی است که خطوط لوله انتقال چندین نقطه در طول مسیرشان را تأمین می‌کنند، همانگونه که در مورد خطوط لوله روسیه مصداق دارد، که چندین کشور اروپائی را سرویس می‌دهد. در خطوط لوله انتقال لازم است که فشار گاز را در مقاطع معینی با استفاده از کمپرسورها تقویت کرد.

(IV) آمیختن: براساس محتوای هیدروکربن و ازت گازها، محتوای حرارتی گازهای طبیعی از منابع مختلف ممکن است متفاوت باشد. بسیاری از وسائل گازی بگونه‌ای طراحی شده‌اند که با یک نوع گاز سوخته و نمی‌توانند گازی با ارزش حرارتی متفاوت را بسوزانند. نتیجتاً، ایستگاههای مخلوط کن لازم است تا گازهای مختلف را مخلوط کرده و آمیخته‌ای که دارای ارزش حرارتی قابل تحمل وسائل مصرف کننده نهائی است، پدید آورد.

۲-۵-۲ مشکلات دیماند پیک

در اروپا و امریکای شمالی، جائی که گاز طبیعی عمدتاً برای گرم کردن محیط استفاده می‌شود، تقاضا بشدت تحت تأثیر درجه حرارت هوای بیرون است. بنابراین سیستمهای انتقال و توزیع گاز باید بر اُفت و خیزهای بزرگ در تقاضای فصلی فائق آیند، در حالیکه هنوز یک عرضه مداوم به مشتریان را حفظ می‌کند. اطمینان از اینکه کلیه خطوط لوله گاز بخوبی بالای فشار آتمسفر نگهداری می‌شوند دارای اهمیت ویژه است، که هوا در داخل سیستم نفوذ نکرده باشد؛ در غیر اینصورت ممکن است مخلوطی بالقوه انفجاری پدید آید. در راستای فائق آمدن بر نوسانات تقاضا، شرکتهای خدمات گاز می‌توانند تعدادی از استراتژیهای جایگزین را به خدمت گیرند.

- آنها می‌توانند یک زیر بنای انتقال که به اندازه کافی بزرگ بوده و حداکثر تقاضای احتمالی را تأمین نماید، بسازند.
- آنها ذخائر بزرگی از گاز را می‌توانند نزدیک مشتریان در زمان تقاضای کم ذخیره کنند، و برای برداشت در زمانی که تقاضا بالا است، آماده بنمایند.
- آنها می‌توانند تعرفه‌های عرضه قطع شدنی با نرخهای واحد تخفیفی ارائه دهند. اگر چه تحت این نوع تعرفه شرکت خدماتی، عرضه گاز به مشتریان در زمانی که تقاضا به سطح بالا ارتقاء می‌یابد را تضمین نمی‌کند.

اولین راه‌حل مستلزم هزینه کردن سرمایه زیادی در زیربنا است؛ زیربنائی که بطور اجتناب ناپذیری برای بیشتر اوقات زیر کارکرد بهینه بوده، با این نتیجه که افزایش هزینه‌های تولید و انتقال را بدنبال خواهد داشت. دومین راه‌حل سعی در متعادل نمودن بار تولید و انتقال داشته و همچنین معیاری از ایمنی در مقابل اختلال در عرضه را تدارک می‌کند. اگر چه، آن حتماً مستلزم هزینه کردن سرمایه در تأسیسات ذخیره‌سازی است. سومین راه‌حل مستلزم هزینه کردن هیچ سرمایه‌ای نیست و در شرکتهای خدماتی بسیار معمول است. با ارائه یک عرضه با اختلال به مشتریان بزرگ، شرکت خدماتی عرضه گاز در خلال زمان‌های پیک، تقاضا را تضمین نمی‌کند، عرضه‌های با اختلال در سازمانهایی که قادر به تغییر سوخت خود، مانند نفت، در زمانی کوتاه بوده و لذا قادر به کاهش تقاضای پیک بر روی شبکه خدماتی گاز باشند، معمول است. در عوض، مشتریانی که یک عرضه با اختلال را می‌گزینند تعرفه ممتاز دریافت می‌دارند. در عمل، تلفیقی از هر سه راه‌حل بکار

گرفته شده تا بار عرضه شرکت خدماتی را متعادل کند.

۲-۵-۳ تعرفه‌های گاز

عرضه گاز طبیعی به مشتریان متفرقه شامل هزینه‌هائی است که باید توسط شرکتهای مختلف درگیر برآورده شود. اینها را می‌توان بشرح زیر دسته بندی کرد:

- هزینه جمع‌آوری، فرآیند و حمل گاز "در خشکی"؛
- هزینه حمل گاز از طریق خطوط لوله انتقال؛ و
- هزینه‌های درگیر در بازاریابی، صدور قبوض و اداره حسابهای مشتریان.

یکی از مؤثرترین فاکتورها در تعیین قیمتی که مشتریان برای گاز می‌پردازند حق‌العمل حملی است که عرضه کنندگان گاز باید برای استفاده از خطوط لوله انتقال بپردازند. این حق‌العمل حمل انعکاس دهنده هزینه‌های واقع شده در شبکه ساخت، راه‌اندازی و انتقال است، و عموماً توسط طول خطوط لوله و نرخ حداکثر جریان گاز در خلال زمانهای پیک تقاضا، تعیین می‌گردد.

تعرفه‌های گاز بسیار ساده‌تر از آنهائی است که برای الکتریسیته اعمال می‌شود. بنظر می‌رسد آنها یک طرح ثابتی از نرخها را دنبال می‌کنند، متذکراً: یک نرخ ثابت انشعاب فصلی و یک نرخ برای هر واحد *(kWh)* گاز تأمین شده. نرخهای واحد معمولاً یک نرخ حمل و نقل را نیز در برمی‌گیرد. برای مشتریان کم مصرف‌تر نرخهای واحد عموماً ثابت هستند. برای مشتریان پرمصرف‌تر، نرخ واحد معمولاً با افزایش مصرف گاز، کاهش پیدا می‌کند. جدول ۲-۶ یک نمونه تعرفه گاز برای مشتریان کم مصرف‌تر را نشان می‌دهد.

باید متذکر شد که در بسیاری کشورها بر روی گاز مصرفی *VAT* وضع شده است. یک تغییر بر روی این تعرفه گاز در جدول ۲-۶ نشان داده شده که مقدمه‌ای از یک نرخ واحد بالاتر برای اولین "بلوک" از گاز مصرفی است، در روشی مشابه با یک تعرفه بلوک الکتریسیته.

مشتریان پرمصرف‌تر تمایل دارند که تعرفه‌های ماهیانه دریافت دارند که نرخ واحد با افزایش مصرف، کاهش می‌یابد. آنها هم چنین دارای حق انتخاب مذاکره در قراردادهای عرضه با اختلال یا ثابت هستند. نرخهای واحد مرتبط با یک عرضه با اختلال پایین‌تر از نرخهای عرضه ثابت بوده و بنابراین آنها طرح جاذبی برای برخی از مشتریان هستند. قراردادهای عرضه با اختلال را می‌توان

با یک متغیر زمان قطع، به انحاء مختلف مذاکره کرد، تعجب آور نیست، هر چه زمان مجاز قطع گاز طولانی‌تر، قیمت واحد گاز پائین‌تر خواهد بود. با یک قرارداد یا تعرفه عرضه با اختلال به مشتری اخطار کوتاه مدت داده می‌شود که عرضه گاز قطع خواهد شد و بنابراین باید آماده تغییر به سوخت دیگری باشد.

جدول ۲-۶ نمونه تعرفه گاز برای مشتریان کم مصرف‌تر

نرخ انشعاب هر فصل	۹/۵۷ پاوند
نرخ واحد برای هر kWh عرضه شده	p/kWh ۱/۵۲

جدول ۲-۷ سوختهای نفتی و ترکیبات آنها

ردیف	نفت‌گرمایشی خانگی C	گازوئیل D	نفت‌کوره سبک E	نفت‌کوره متوسط F	نفت‌کوره سنگین G
چسبندگی ردوود شماره یک در ۱۰۰ ثانیه	--	۳۵	۲۲۰	۹۵۰	۳۵۰۰
چگالی در ۱۶° سانتیگراد (kg/l)	۰/۷۹	۰/۸۵	۰/۹۴	۰/۹۷	۰/۹۸
نقطه ریزش $(°C)$	--	-۶/۷	۱۷/۰	۲۱/۰	۲۱/۰
ارزش ناخالص حرارتی (MJ/l)	۳۵/۵	۳۸/۷	۴۰/۸	۴۱/۶	۴۱/۷

از ایستاپ و کرافت (۱۹۹۰) بازدهی انرژی برای مهندسین و تکنولوژیستها، گروه لانگ من ۱۹۹۰، چاپ درباره با مجوز مؤسسهٔ آموزشی پیرسون و پورگس و پورگس (۱۹۷۶) مرجع گرمایشی، هوادهی و تهویه، نیونس ـ باترورس

۲-۶ نفت کوره

برخلاف گاز و الکتریسیته، نفت تحت یک تعرفه عرضه نمی‌گردد، بلکه باید در بازار آزاد خریداری شود. این بدان معنی است که قیمت نفت می‌تواند بی نهایت متغیر باشد. جائی که امکانش هست می‌ارزد که از مشعل‌های دو سوخته در دیگهای بخار استفاده برد، که چنانچه قیمت نفت بسیار ترقی کرد، بعنوان یک جایگزین بتوان از گاز طبیعی استفاده نمود.

انواعی از سوختهای نفتی از نفت گرمایش خانگی رقیق گرفته تا نفتهای غلیظ سنگین درجه‌بندی شده، در بازار وجود دارند، رتبه‌بندی سوختهای نفتی معمولاً براساس چسبندگی آنها صورت می‌پذیرد (همانگونه که در جدول ۲-۷ نشان داده شده است).

برخلاف گاز و الکتریسیته، که نسبتاً بسهولت قابل حمل هستند، استفاده از نفت کوره محدودیتهائی را ایجاد می‌کند. بنابراین لحاظ کردن تأسیسات مورد نیاز ذخیره و حمل اهمیت دارد، بدان جهت که می‌تواند بر تدارکات خرید تأثیر گذار بوده و هم چنین بر مصرف انرژی اثرمند. حجم ذخیره‌سازی نسبت به نرخهای مصرف متوسط و پیک باید مورد ملاحظه قرار گیرد. نفتهای با درجه سنگین‌تر نیاز به حرارت‌دهی جهت آسان‌ریزی دارند، بنابراین می‌ارزد که کاهش حجم را لحاظ کرده که بتوان گرم نگهداشت، بدان سبب که زیانهای نگهداری را کاهش داد. در حالیکه تأمین ذخیره کافی برای حدود ۳ هفته عملیات معمول است (۹)، در تأسیساتی که دارای یک عرضه با اختلال گاز هستند احتمالاً لازم است که ظرفیت بیشتری برای ذخیره سازی احداث کنند.

تانکهای ذخیره سازی که سوختهای نفتی سنگین‌تر در آنها گرم نگه داشته می‌شود باید بخوبی ایزوله شده باشند تا پرت نگهداری را بحداقل برسانند. علاوه بر این، قیمت پائین‌تر نفتهای با درجه سنگین‌تر را باید در مقابل با هزینه‌های اضافی مرتبط با حمل و نگهداری نفت در درجه حرارت ریزش محسوب داشت. برای مثال، برای نفت کوره ردیف G درجه حرارت $55^{\circ}C$ برای پمپ کردن لازم است.

References

1. BP energy statistics 2001, BP Website (www.bp.com/downloads/702/BPwebglobal.pdf) (March 2002).
2. Campbell, C. J., Laherrère, J. H., George, R. L., Anderson, R. N. and Fouda, S. A. (1998). Preventing the next oil crunch. *Scientific American*, **278**(3), 59–77.
3. Seven Year Statement (1994). The National Grid Company.
4. Wendland, R. D. (1987). Storage to become rule, not exception. *ASHRAE Journal*, May.
5. Electricity supply in the OECD (1992). *International Energy Agency/OECD.*
6. Eastop T. D. and Croft D. R. (1990). *Energy efficiency for engineers and technologists.* Longman Scientific & Technical.
7. Natural gas transportation: Organisation and regulation. (1994). International Energy Agency/OECD.
8. Porges, J. and Porges, F. (1976). *Handbook of heating, ventilating and air conditioning.* Newnes-Butterworths.
9. Energy audits and surveys (1991). CIBSE Applications Manual AM5.

Bibliography

Eastop, T. D. and Croft, D. R. (1990). *Energy efficiency for engineers and technologists.* (Chapter 9), Longman Scientific & Technical.

Economic use of electricity in buildings (1995). Fuel Efficiency Booklet 9. Department of the Environment.

Energy audits and surveys (1991). CIBSE Applications Manual AM5.

Yuill, D. (1985). Understanding electricity costs. *Energy Manager's Workbook*, **2** (Chapter 2), Energy Publications.

بخش سوم

رقابت در عرضه انرژی

در این بخش مفهوم رقابت در بخش انرژی، برای صنایع عرضه گاز و الکتریسیته هر دو مورد آزمایش قرار گرفته و تجربه مقررات زدایی الکتریسیته در انگلستان و ایالات متحده امریکا به تفصیل مورد بحث قرار خواهد گرفت. نقش بالقوه مدیریت بخش تقاضا نیز مورد تفحص واقع شده و مقایساتی بین تجارب در انگلستان و امریکا انجام می‌شود.

۳-۱ مقدمه

بطور سنتی مرسوم بوده است که شرکتهای خدمات الکتریسیته و گاز، بدون در نظر گرفتن مالکیت (مالک دولتی یا خصوصی)، طبیعتاً انحصاری هستند، که تحت لوایح قانونی کنترل می‌شوند. این انحصاری بودن، بخشی به سبب هزینه‌های زیربنایی بالای مرتبط با انتقال و توزیع گاز و الکتریسیته پدید آمده و بخشی از این جهت که مدیریت و کنترل شرکتهای خدماتی که تولید - عرضه، انتقال و توزیع برق و گاز را به عهده دارند آسان‌تر بود. بواقع مشکل است. تصور دیگری بجز انحصاری بودن را داشت، با توجه به اینکه بیشترین ساختمانها فقط یک اتصال فیزیکی به لوله گاز و دیگر اتصالی به یک کابل برق دارند. بهرحال، در حالیکه شرکتهای خدماتی انحصارطلب جهت اداره و کنترل نسبتاً آسان هستند، مانع از رقابت در بازار انرژی می‌باشند.نتیجتاً، ممکن نیست حجم بزرگی از انرژی را بهمان روش که دیگر کالاها تجارت می‌شوند، خرید و فروش کرد.

در سالهای اخیر بسیاری دولتها در سراسر جهان شروع به تفحص در رادحل‌های جایگزین نموده‌اند که رقابت را در صنایع عرضه گاز و الکتریسیته مربوطه وارد کند. این امر به سبب پیشرفتهای مختلف تکنیکی و مالی که در اواخر دهه‌های ۱۹۸۰و ۱۹۹۰ بوقوع پیوست، ممکن شد. انگلستان در صف مقدم پیشگامان مقررات زدایی از شرکتهای خدماتی بوده است، و بخش خدماتی خود را تماماً بازسازی نموده است. در خلال دهه ۱۹۹۰ انگلستان ابتدا صنعت عرضه الکتریسیته و سپس صنعت گاز خود را با یک فرآیند پیچیده و طولانی مقررات زدایی کرد، که تا این زمان هنوز در جریان است. ماهیت ریشه‌ای این تغییرات به گونه‌ای است که در بسیاری موارد انگلستان برای بقیه جهان یک "مطالعه آزمایشی" شده است. بدنبال رهبری انگلستان تعدادی از کشورها منجمله ایالات

متحده آمریکا صنایع عرضه الکتریسیته خود را (حداقل در بخشی) مقررات زدایی کرده‌اند و در حال توسعه بازارهای تجاری جدید انرژی هستند. علاوه بر بورس مبادلات الکتریسیته انگلستان (گروه الکتریسیته)،چهار گروه دیگر در اروپا تاکنون موجودیت یافته‌اند، تبادل برق آمستردام[1] (آلمان، بلژیک و هلند را پوشش می‌دهد)، گروه اسپانیا، گروه سوئیس و گروه شمال در اسکاندیناویا (فنلاند، سوئد و نروژ را پوشش می‌دهد) (۱).

۳-۲ مفهوم رقابت

یک سازمان که برای گرمایش ساختمانهایش از نفت استفاده می‌کند را در نظر بگیرید. تحت شرایط معمول سازمان دارای انتخابی خواهد بود که از میان عرضه کنندگان سوخت در حال رقابت نفت بخرد. سازمان می‌تواند برای یک قرارداد دو جانبه عرضه با هر یک از این عرضه کنندگان مذاکره کند. اگر یک عرضه کننده قیمتش خیلی گران می‌شد، آنگاه سازمان می‌توانست براحتی روی گردانده و از عرضه کننده دیگر نفت بخرد. اگر تقاضای عمومی برای سوخت نفت بالا رود، آنگاه عرضه کنندگان قادر خواهند بود قیمتهایشان را افزایش دهند. بالعکس، اگر تقاضا پائین بیاید آنگاه قیمت نفت نیز پائین خواهد آمد. بنابراین یک بازار رقابتی در سوخت نفتی موجود است که انعکاس دهنده تقاضا برای نفت در هر مقطع زمانی است. مثل هر کالایی دیگر، قیمت نفت به سبب اینکه مشتریان قادر به روی آوردن به عرضه کنندگان مختلف هستند، در نوسان خواهد بود. علاوه بر این، سوبسید متقاطع[2] برای یک گروه از مشتریان توسط گروه دیگری از مشتریان وجود ندارد. هر قرارداد عرضه سوخت بصورت جداگانه بین طرفین مربوطه مذاکره می‌شود.

حالا همان سازمان را در حال خرید الکتریسیته تحت یک تعرفه از شرکت برق مورد ملاحظه قرار دهید. از آنجائیکه الکتریسیته از طریق کابلهای تحت مالکیت شرکت برق عرضه شده است، مشتری انتخابی جهت جایگزین کردن عرضه کننده نداشته و سازمان مجبور به خرید الکتریسیته تحت یک قیمت ثابت از شرکت برق است.در نتیجه:

- رقابتی وجود ندارد: از آنجائیکه قیمتهای الکتریسیته توسط شرکت برق تثبیت شده است مشتری در یک موقعیت ضعیف است.

1- *Amesterdam Power Exchange*

2- *Cross-Subsidy*

● بازاری وجود ندارد:تحت یک تعرفه، قیمتهای الکتریسیته تثبیت شده‌اند، با این نتیجه که قیمتها بدرستی انعکاس دهنده نوسانات در تقاضای الکتریسیته نیستند.اگرچه بسیاری از تعرفه‌ها در حقیقت دارای عوامل کاهش قیمت در زمان غیر پیک هستند لیکن اینها تحت بهترین شرایط هم حتی شاخصی بی‌اهمیت از تقاضای بازار می‌باشند.

● پتانسیل سوبسید متقاطع وجود دارد: ممکن است شرکت برق تصمیم به ارائه قیمتهای الکتریسیته پائین‌تر به مشتریان صنعتی بزرگ خود بگیرد، و برای جبران برخی از درآمد از دست رفته اقدام به افزایش نرخهای تعرفه مشتریان خانگی و تجاری کوچک‌تر خود نماید.این عمل "سوبسید متقاطع" خوانده شده و این در واقع بدین معنی است که یک گروه از مشتریان به گروه دیگر سوبسید می‌دهند.

زمانیکه این سناریوانحصارطلبی ممکن است مناسب شرکتهای برق باشد، و لیکن نفعی برای مشتریان ندارد. شرکتهای برق در موقعیت مستحکمی هستند و پتانسیل قیمتهای تصنعی الکتریسیته بالا وجود دارند.عدم رقابت نهایتاً منتهی می‌شود به:

● صنایع تولیدی قیمت بالائی برای انرژی می‌پردازند، در نتیجه هزینه واحد تولید افزایش یافته و صنایع کمتر رقابت‌پذیر می‌شوند.

● شرکتهای برق با تورم پرسنلی روبرو شده و کم بازدهی می‌شوند.

بنابراین به آسانی می‌توان مشاهده کرد که چرا بسیاری دولتها در حال تجدید نظر در وضعیت انحصاری شرکتهای برق مربوط به خودشان با هدف ایجاد یک بازار انرژی رقابتی می‌باشند.

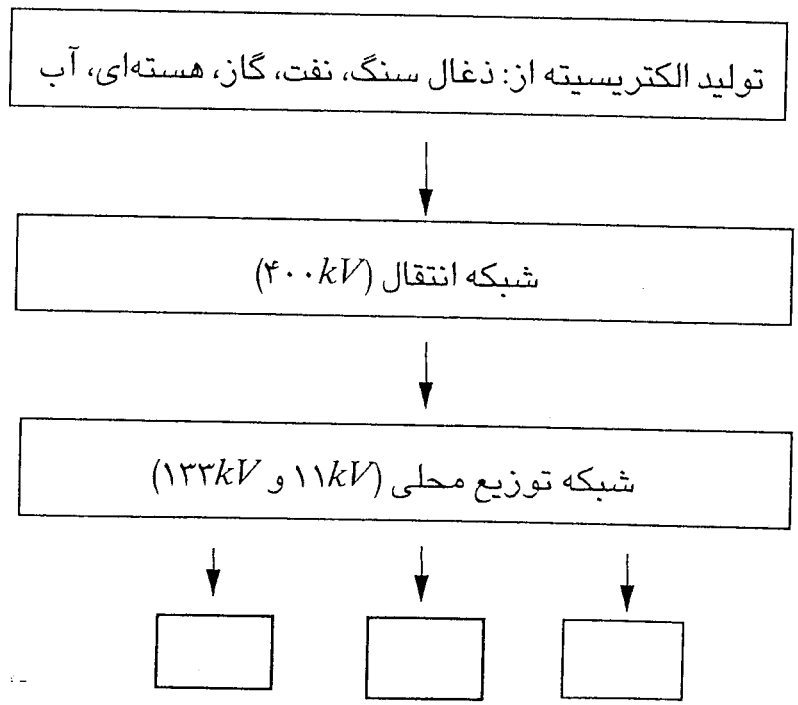
۳-۳ رقابت در صنعت عرضه الکتریسیته

در حالیکه در بیان، مطلوبیت ایجاد رقابت در بازار انرژی، آسان می‌آید، در عمل نائل شدن به یک بازار رقابتی واقعی میان شرکتهای برق مشکل است.شبکه‌های خدماتی، گاز باشند یا الکتریسیته، تمایل به انحصاری بودن داشته و معمولاً مناسب رقابت نیستند. و این بدان سبب است که ایجاد دو یا بیشتر از دو شبکه‌های رقابتی انتقال/توزیع بطور سرسام‌آوری گران و غیر عملی است. با این فرض، ساده‌ترین و آسان‌ترین راه سازمان دهی به تشکیلات، داشتن یک ساختار

سازمانی تلفیقی عمودی است که شرکت خدماتی واحدی مسئول تدارک عرضه باشد. نمودار ۳-۱ نشان دهنده ساختار یک نمونه صنعت عرضه الکتریسیته تلفیقی عمودی است.

در یک صنعت عرضه الکتریسیته تلفیقی عمودی، شرکتهای خدماتی مختلف دارای انحصار در مناطق مجاز خود هستند در درون منطقه مجاز، یک شرکت خدماتی مسئول تولید،انتقال، توزیع و عرضه الکتریسیته به همه مشتریان خود خواهد بود. مشتریان در منطقه مجاز شرکت خدماتی مجبور به خرید الکتریسیته خودشان از شرکت برق منطقه‌ای هستند. شرکتهای خدماتی تلفیقی عمودی می‌توانند هم بخشهای خصوصی و هم بخشهای عمومی موجود باشند. وضعیت انحصاری آنها صرفاً از موقعیت فیزیکی نشأت گرفته، که مانع رقابت بوده و بدان معنی است که شرکت خدماتی دارای یک بازار حفاظت شده است. تحت این سناریو چنانچه شرکت خدماتی بطور جدی کنترل نشود قیمتهای انرژی می‌تواند به آسانی متورم شود.

یک شرکت برق به تنهائی تولید، انتقال، توزیع و فروش الکتریسیته به مشتریان را بر عهده دارد



نمودار ۳-۱ یک تلفیق عمودی صنعت عرضه الکتریسیته

در راستای ترغیب رقابت در صنعت عرضه الکتریسیته لازم است بازاری برای این محصول ایجاد شود که انعطاف‌پذیر بوده و در عین حال با قوام کافی برای فائق آمدن بر نوسانات در تقاضا باشد. این بازار باید:

- به شرکتهای عرضه الکتریسیته و تولیدکنندگان مختلف اجازه رقابت با یکدیگر را در فروش مستقیم الکتریسیته به مشتریان بدهد.
- به مشتریان اجازه مذاکره برای انعقاد قرارداد عرضه الکتریسیته با عرضه کنندگان مختلف،بدهد.
- شفاف باشد، تا که تولید کنندگان،عرضه کنندگان و مشتریان بتواند مطلوبیت و مساوات در بازار را مشاهده کنند.
- یک بازار بورس پدید آورد که بدرستی انعکاس دهنده تقاضا برای انرژی و هزینه تولید، هردو باشد. این بورس آنگاه شاخص بازار از هزینه واقعی تولید در هر مقطع زمانی می‌باشد.
- تسهیل یک بازار آتی در تجارت الکتریسیته.

زمانی که نکات بالا در یک بازار نرمال محصول نسبتاً سهل‌الوصول است، در بازاری که الکتریسیته خرید و فروش می‌شود بسادگی نائل شدنی نیستند. این بدان دلیل است که الکتریسیته را نمی‌توان ذخیره کرد و فقط زمانی که آنرا می‌توان مصرف کرد، باید تولید شود.هر بازار بالقوه‌ای در الکتریسیته باید بطور کامل پاسخگوی محدودیت‌های فیزیکی یک سیستم عرضه الکتریسیته باشد. بالنتیجه بنظر می‌رسد یک بازار رقابتی واقعی در الکتریسیته بسیار پیچیده‌تر از یک بازار نرمال محصولات باشد.

غیر ممکن است با یک ساختار سازمانی تلفیق عمودی صنعت عرضه الکتریسیته، به یک بازار رقابتی نائل شد. بجای آن ساختار تلفیق افقی لازم است. ارائه یک تلفیق افقی صنعت عرضه الکتریسته، که در آن نقشهای تولید،انتقال و توزیع همگی از یکدیگر گسسته شده‌اند، کلید آسان‌سازی رقابت است. با جداسازی نقشها ممکن است رقابت بین تولیدکنندگان پدید آوریم، کسانی که آنگاه باید با مناقصه در یک بورس برای حق تأمین الکتریسیته به شبکه انتقال، به رقابت پردازند. اگر شرکت انتقال دهنده با رفتاری مستقل و منصفانه عمل کند، قدرت خرید در کمترین هزینه[1]، امکان تشکیل هر کارتلی باید از بین برود. سپس برای تولیدکنندگان مستقل برق جدید امکان ورود به بازار و رقابت با تولیدکنندگان موجود، خواهد بود. این منجر به یک کاهش هزینه مشتری برای هر واحد از انرژی الکتریسیته تولید شده، خواهد شد.نمودار ۳-۲ ساختار یک نمونه

1- Least cost

تلفیق افقی صنعت عرضه الکتریسیته را نشان می‌دهد.

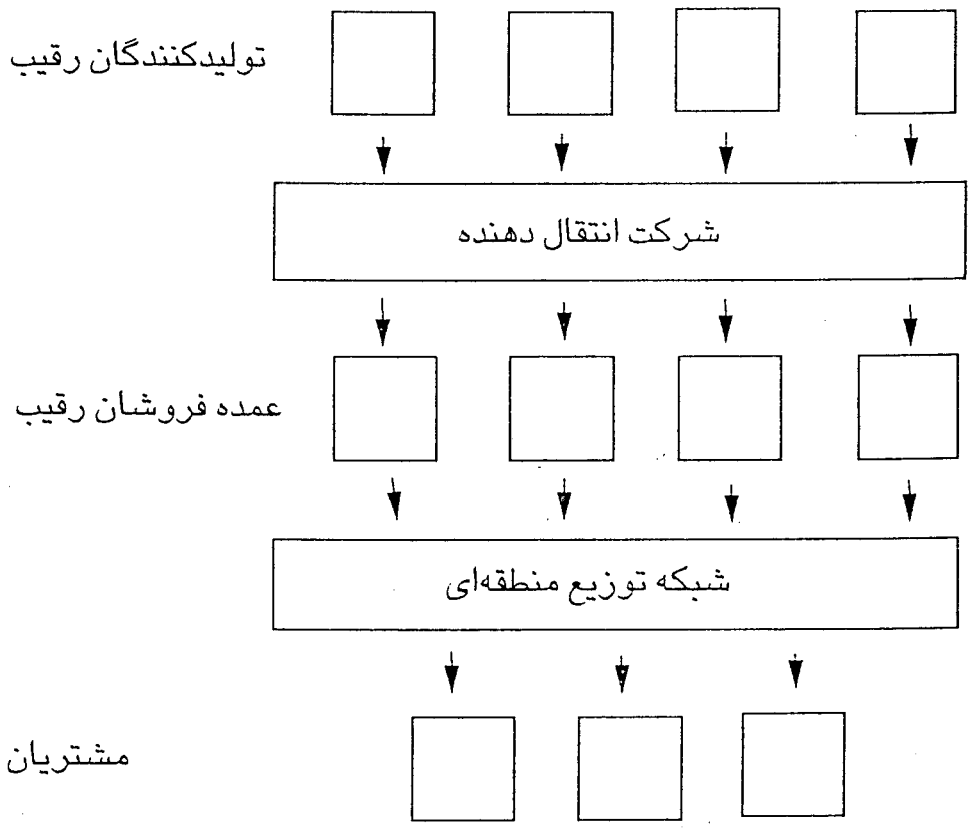
هنگامیکه بورس مطرح شده در بالا رقابت بین تولیدکنندگان راتسهیل می‌کند، بخودی خود گزینه‌ای از عرضه کنندگان رقیب را به مشتری ارائه نمی‌دهد.در راستای تحقق این امر مشتری باید مجاز به مذاکره در قراردادهای عرضه با تک‌تک عرضه کنندگان انرژی باشد. این امر با اجازه دادن به عرضه کنندگان عمده فروش دست دوم الکتریسیته جهت خرید الکتریسیته با حجم بالا از شبکه انتقال و فروش مستقیم آن به مشتری، دست یافتنی است.تحت این موافقتنامه مشتری از شرکتهای عرضه کننده رقیب الکتریسیته می‌خرد، شرکتهائی که بابت استفاده از سیمهای کمپانیهای توزیع مربوطه مبلغی را پرداخت می‌کنند. این نرخ "اجاره سیم" سپس به مشتری منتقل شده و درقیمت واحد الکتریسیته پرداختی منظور خواهد شد. در جهت اطمینان از انجام رقابت راستین، نرخ اجاره سیم باید برای کلیه عرضه کنندگان بالقوه الکتریسیته شفاف و برابر باشد. این نرخها معمولاً تحت برخی ابزار از مکانیسم کنترل کننده قانونی، تثبیت می‌شوند.

این بحث نشان می‌دهد که آسان سازی رقابت در یک صنعت عرضه الکتریسیته، با بسیاری مرزبندیهای متمایز مستلزم ایجاد ساختار پیچیده‌ای است. درواقع، یک تضاد منافع تفکیک‌ناپذیر بین الزامات مالی و مهندسی یک ساختار تلفیق افقی وجود دارد. شرکت انتقال دهنده ابتدائاً علاقمند به تدارک انرژی الکتریکی کافی از تولیدکنندگان در جهت برآوردن دیماند آنی بر روی شبکه خود، می‌باشد. شرکت مزبور در جستجوی تدارک این انرژی از ارزان‌ترین تولیدکنندگان برق است و علاقه خاصی در قراردادهای عرضه منحصر بفرد ندارد. بالعکس مشتریان، عمده فروشان و تولیدکنندگان بنحو اولی علاقمند در مذاکره قراردادهائی هستند که عرضه مطمئن را تضمین کرده و بنابراین توجهی به نیاز شرکت انتقال دهنده در برآورد دیماند آنی، ندارند. ارضاء این نیازهای متضاد مستلزم ایجاد یک مکانیزم پیچیده مناقصه، قیمت گذاری و واگذاری است. ماهیت ویژه این مکانیزم‌ها و بازدهی کاربرد آنهاست که تعیین کننده نهائی موفقیت یا شکست هر بازار الکتریسیته است.

علاوه بر مکانیسم‌های پیچیده مالی و واگذاری لازمه برای بر پایی بازار، عرضه کنندگان نیازمند دانستن زمان واقعی مصرف الکتریسیته مشتریان (غیرخانگی) قراردادی خود می‌باشند. این مستلزم نصب کنتورهای هوشمندی است که مصرف الکتریسیته را هر نیم ساعت اندازه‌گیری کرده، و بتوان بطور اتوماتیک و از راه دور آن را خواند. اطلاعات از این کنتورها به مراکز پخش راه دور منتقل شده، که اطلاعات مربوطه، به تمام طرفهای درگیر در قرارداد عرضه فرستاده می‌شود،

1- Lea

مشتریان قراردادی امکان خرید یا اجاره دستگاه کنتور را داشته، لیکن نصب و نگهداری این کنتورها باید توسط کارگزاران تأیید شده انجام گیرد.



نمودار ۳-۲ یک تلفیق افقی صنعت عرضه الکتریسیته

۳-۴ تجربه الکتریسیته انگلستان

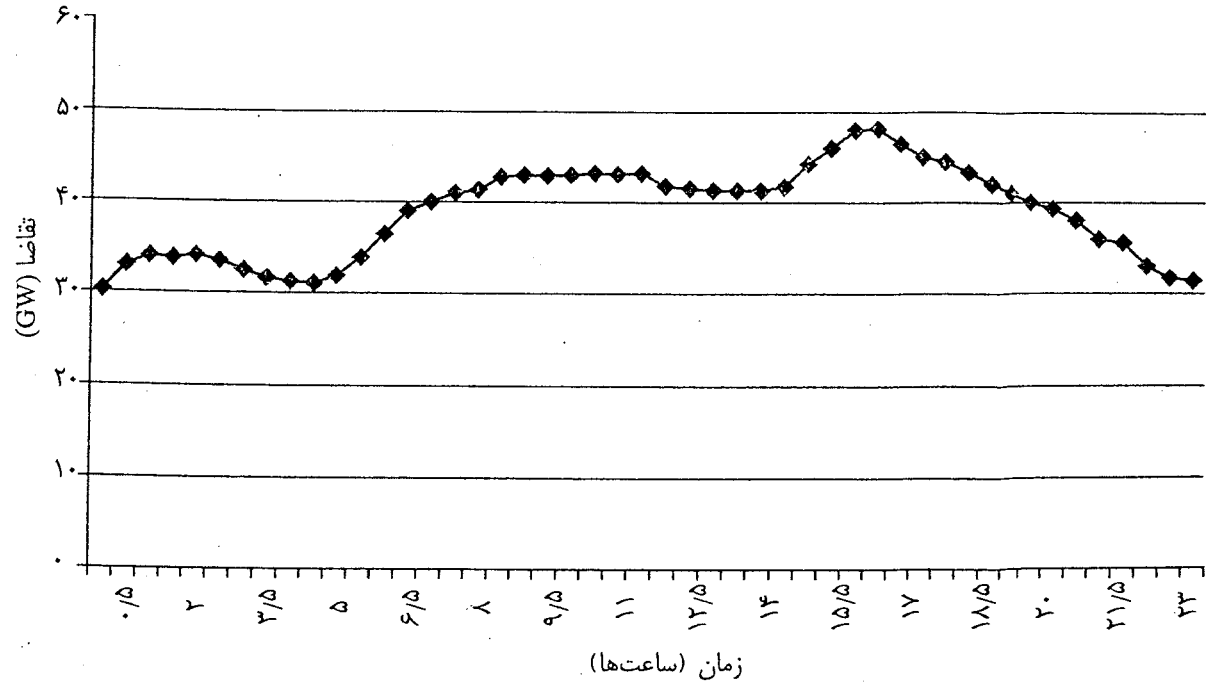
رقابت در عرضه الکتریسیته هنوز در دوران نوزادی است و بسیاری پروتکل‌ها هنوز به طور جدی به انجام نرسیده‌اند. بیشترین بازارهای نیروی الکتریسیته که در سراسر جهان وجود دارند فقط چند سالی از عمرشان می‌گذرد و حتی بازار انگلستان در سال ۱۹۹۰ تأسیس گردیده است و هنوز تحت اصلاحات عمده می‌باشد. این امر تشریح مقررات عمومی‌که برای کلیه بازارهای الکتریسیته کاربرد داشته باشد را، مشکل می‌کند. در غیاب اساسنامه‌ای مستدل، از آنجائیکه این الگوئی برای برنامه‌های مقررات‌زدائی بعدی در بخشهای مختلف جهان خواهد بود. ارزشمند است که نگاهی ظریف به تحولات بازار رقابتی الکتریسیته در انگلستان و ویلز (قسمت اعظم بریتانیا) بیندازیم.

در ۱۹۹۰ در انگلستان و ویلز یک بورس روزانه که بنام گروه الکتریسیته شناخته می‌شد، ایجاد

گردید. گروه توسط شرکت شبکه ملی NGC[1] اداره می‌شد، که مالک و مجری شبکه انتقال در انگلستان و ویلز بود. هر روز صبح شرکتهای تولیدی رقیب مناقصات خود را برای سری‌های تولیدی گوناگون روز عملیاتی بعد به NGC ارائه می‌دادند. هر مناقصه شامل یک قیمت پیشنهادی بود که شرکت تولید کننده تحت آن آمادگی عملیاتی واحدهای تولیدی مختلف را برای روز بعد اعلام می‌نمود. همچنین یک اعلامیه از نیروگاههای تولیدی حاضر بخدمت برای روز بعد را شامل می‌شد. زمانیکه تولیدکنندگان مناقصات خود را به گروه عرضه داشتند، NGC پیش بینی دیماند خود را برای روز بعد بررسی می‌کند، و برحسب قیمت، (کمترین قیمت اول) هر واحد تولیدی را رتبه بندی کرده، که نهایتاً یک برنامه منسجم تدوین می‌شد. این برنامه سپس در حدود ساعت ۳ بعدازظهر منتشر می‌گردید که شرکتهای تولیدکننده را از واحدهای تولیدی مورد نیاز برای روز بعد مطلع می‌ساخت. از آنجائیکه اغلب در سیستم ظرفیت مازاد قابل ملاحظه‌ای بود، هرکدام از واحدهای تولیدی که قیمت پیشنهادی‌اش خیلی بالا بود یا در حالت انتظار می‌ماند و یا از گروه کنار گذاشته شده و مجبور به متوقف کردن تولید می‌شد.

از آنجا که الکتریسیته را نمی‌توان ذخیره کرد، لازم است که کنترلرهای شبکه انتقال ملی قادر به آوردن روی خط (یا کاستن ازبار) ظرفیت اضافی تولید در زمان خیلی کوتاه بوده و برنوسانات دیماند فائق آیند. نمودار ۳-۳ نمائی از دیماند شبکه ملی برای پیک روزهای هفته اوقات زمستان را نشان می‌دهد، ۲۹ نوامبر ۱۹۹۳. این نمودار نشان می‌دهد که دیماند در آن روز بطور قابل ملاحظه‌ای در مقطع ۲۴ ساعته تغییر کرد. جهت تفوق بر افزایش تقاضا، واحدهای تولیدی در هنگام لزوم می‌بایست بر روی خطوط آورده شدند، لیکن مطابق، با رتبه بندی آنها، در برنامه منسجم روزانه گروه باید می‌بود. به عبارتی دیگر، نیروگاههائی که قیمتی پائین در مناقصه داشتند اول روی خط آورده می‌شدند، در حالیکه واحدهای گرانتر قبل از آنکه مجاز به تولید باشند، باید تا زمان افزایش تقاضا منتظر می‌ماندند. بالنتیجه قیمت گروه برای هر نیم ساعت در خلال روز متفاوت بود. زمانی که تقاضا بالا بود، عموماً بدنبال آن هم چنین قیمت گروه بالا می‌بود. بدین طریق قیمت گروه انعکاس دهنده تقاضا بر روی شبکه انتقال بود

1- National Grid company (NGC)



نمودار ۳-۳ دیماند تجربه شده توسط شبکه ملی ۲۹ نوامبر ۱۹۹۳

قیمت مناقصه‌ای که برای روی خط آوردن گرانترین واحد تولیدی در جهت برآوردن تقاضا در هر نیم ساعت مشخص ارائه می‌گردید بعنوان "حدقیمت سیستم" *(SMP)*[1] شناخته می‌شد. برای مثال، اگر بالاترین قیمت مناقصه دریافتی در گروه برای نیم ساعت از ۱۱ تا ۱۱/۳۰ ۲/۵ *P/kWh* بود، آنگاه *SMP*، ۲/۵*P/kWh* می‌بود. اهمیت دارد که یادآور شویم *SMP* است که مبنای قیمت نهائی گروه برای هر نیم ساعت معین می‌شود و نه قیمتهای مناقصه ارائه شده توسط واحدهای تولیدی، و تمام تولیدکنندگان بر روی خط در آن نیم ساعت مشخص "قیمت خرید گروه" *(PPP)*[2] را دریافت می‌دارند.

شرکتهای عرضه الکتریسیته و مشتریان بزرگ خریداری کننده از گروه می‌باید "قیمت فروش گروه" *(PSP)*[3] را می‌پرداختند. تعجب‌آور نیست که *PSP* همیشه بزرگتر از *PPP* است، این تفاوت جهت پوشاندن هزینه‌های اجرائی گروه است. گروه الکتریسیته در انگلستان و ویلز وجود یک بازار رقابتی بین تولیدکنندگان را مقدور ساخته، و به مجموعه بازار نشانه‌ای از هزینه‌های واقعی تولید الکتریسیته در هر زمان مشخص را، ارائه داده است. در حالیکه یک گروه الکتریسیته رقابت بین

1- *System Marginal Price*

2- *Pool Purchase Price*

3- *Pool Selling Price*

تولیدکنندگان مختلف را تسهیل می‌کند، بخودی خود مکانیسمی برای ترغیب یک بازار رقابتی بین مشتریان را تدارک نمی‌نماید. در جهت دستیابی به این مهم، شرکتهای عرضه کننده عمده فروش الکتریسیته دست دوم باید مجاز به خرید الکتریسیته از شبکه انتقال و فروش مستقیم آن به مشتریان باشند. این عرضه کنندگان عمده فروش مذاکره قراردادهای دوجانبه با شرکتهای تولیدکننده برای خرید الکتریسیته با حجم زیاد در نرخهای ثابت را تحت یک سری از قراردادهای توفیری[1] (بعداً در این پاراگراف تشریح می‌شود) انجام داده، و سپس به مشتری تحت یک قیمت معین می‌فروشند. این شرکتهای عرضه کننده با خرید حجم زیاد الکتریسیته از تولیدکنندگان در یک قیمت پائین و فروش آن به مشتریان با قیمت بالاتر، پول می‌سازند. این عمل ریسک مالی قابل ملاحظه‌ای داشته و شرکتهای عرضه کننده باید قراردادهائی را مذاکره کنند که سود آنها را تضمین کند. در حالیکه، قیمت گروه بویژه در زمستان می‌تواند بسیار بی‌ثبات باشد، این بی‌ثباتی عامل ریسک را برای شرکتهای عرضه‌کننده افزایش می‌دهد، اگر آنها از گروه خریداری کنند، با این ثمره که احتمال از دست دادن پول وجود دارد، چنانچه آنها در قیمتی بالا خریداری کرده و مجبور به فروش در قیمتی پائین باشند. این بی ثباتی فطری گروه همچنین برنامه‌ریزی آتی را مشکل می‌سازد. در تلاشی برای محصور کردن ریسک قیمتهای بالای گروه، شرکتهای عرضه کننده قراردادهای توفیری را با هر یک از شرکتهای تولیدی برمی‌گزینند. قراردادهای بین شرکتهای عرضه کننده و تولیدکننده خارج از گروه اجرا می‌گردد و اجرا شدن آنها مشابه طریقی است که "قراردادهای مدت‌دار" در بازارهای کالای جهانی معامله می‌شوند. تحت یک نمونه قرارداد توفیری یک شرکت عرضه کننده قراردادی با یک تولیدکننده خاص در خرید الکتریسیته تحت قیمتی ثابت برای مقطع زمانی مشخص (معمولاً بر پایه بلوک پنج باره روزانه) منعقد می‌کند(۳). این حصاری است در مقابل بی ثباتی گروه، و تولیدکنندگان و عرضه کنندگان هر دو را قادر می‌سازد که ریسک مالی آتی درگیر در تولید و فروش الکتریسیته را با اطمینانی چند، پیش بینی کنند. این قراردادهای توفیری بازار الکتریسیته را مستحکم می‌کند. آنها قراردادهای توفیری خوانده می‌شوند زیرا پرداختها توسط کارگزاران دخیل جهت بهینه کردن تفاوت بین قیمت گروه و قیمت قرارداد توافق شده، انجام می‌پذیرد. تحت این سیستم، اگر قیمت گروه به پائین‌تر از قیمت قرارداد نزول کند، شرکت عرضه کننده بازای تفاوت بین دو قیمت، اجرت‌المثل تولیدکننده را جبران می‌کند و بالعکس،

1-Contracts for differences

اگر قیمت گروه بالای قیمت قرارداد باشد. قیمت بیشترین الکتریسیته خرید و فروش شده پیشاپیش توسط قراردادهای توفیری تثبیت می‌شود. بنابراین قسمت اعظم الکتریسیته‌ای که در انگلستان و ویلز مبادله می‌شود، خارج از گروه الکتریسیته خریداری می‌گردد.

۳-۴-۱ تکامل بازار الکتریسیته انگلستان

گروه الکتریسیته مشروحه در بخش ۳-۴ مبنایی برای دیگر گروههای مبادلاتی که در خلال دهه ۱۹۹۰ در اروپا ایجاد گردیدند،شده است.اگر چه در بریتانیا،در خلال اواخر دهه ۱۹۹۰ دلواپس‌هایی اظهار گردید که سیستم گروه:

- شرکتهای تولید کننده بزرگ را حمایت می‌کند، در واقع گمان می‌رفت که این شرکتها به طرقی قادر به کنترل قیمت گروه هستند
- مانع ورود معامله‌گران مستقل جدید انرژی به داخل بازار است.
- مانع مذاکرات دو طرفه قراردادهای عرضه الکتریسیته بین کارگزاران مختلف است.

نکته آخر مقوله مهمی است. در بیشتر معاملات تجاری مشتری می‌تواند قیمتی را که برای خرید یک محصول ترجیح می‌دهد، بیان کرده و این بر قیمت کل بازار دارای تاثیر است.و لیکن، تحت سیستم گروه قیمت بازار (همان قیمت گروه) تماماً توسط فروشندگان تعیین می‌شد (شرکتهای تولید کننده). بنابراین می‌توان به جهاتی فقط بعنوان نیمه بازاری به گروه نگریست(۴).

در نتیجه دلواپسی‌های اظهار شده بالا، بریتانیا بطور کامل آرایش مبادله الکتریسیته خود را در سال ۲۰۰۰ بازسازی کرده و نظم جدید مبادله الکتریسیته *(NETA)*[1] را معرفی کرد(۵). این نظم جدید گروه تمرکز یافته کهنه را به نفع یک نگرش "بازار آزاد"[2] برانداخت بازاری که اجازه می‌داد یک سری از "بورسهای برق"[3] (بازارهای کالای الکتریسیته) احداث شوند، با این امید که بورسها و کارگزاران بازارهای دو جانبه کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت خلق کنند. قصد بر این بود که قیمت واقعی الکتریسیته بهمان طریق که بورسهای کالا، قیمت دیگر محصولات مبادلاتی را تثبیت

1- New Electricity Trading Arrangement *2- Free Mraket*

3- Power Exchanger

می‌کنند. از طریق بورس برق رسمیت یابد در هر حال، زمانیکه بورس برق توان تسهیل مبادله انرژی با حجم بالا را دارد، راهی که بتوان الزامات مهندسی فیزیکی *NGC* (مجریان شبکه انتقال)را برآورده ساخت وجود ندارد، کسانیکه نیاز به پیش بینی دقیق دیماند بر روی شبکه شان در هر لحظه از زمان را دارند. به سبب عدم توان ذخیره سازی الکتریسیته، *NGC* باید ظرفیت تولیدی بیشتر را بهنگام افزایش تقاضا، بر روی خط آورد، در غیر اینصورت قطع برق رخ خواهد داد. بوضوح، هیچ بورس کالایی توان حل این مشکل را به تنهایی ندارد! لذا آرایشهای *NETA* جهت اجرای موازی با بورسهای برق جدید، طراحی گردید، تا هر زمان که یک قرارداد دو جانبه بین یک تولید کننده و یک عرضه کننده امضاء شد، آنها ملزم به مطلع کردن *NGC* (یا نمایندگیهای رسمی آن) از مقدار الکتریسیته مورد مبادله و مدت زمان قرارداد، باشند. باید متذکر شد که طرفین ملزم به مطلع کردن *NGC* از قیمت پرداختی برای الکتریسیته، نیستند. هم چنین کلیه شرکتهای تولید کننده و عرضه کننده ملزم به مطلع کردن پیشاپیش *NGC* از سطوح عملیاتی مورد انتظارشان برای روز بعد هستند.لذا تا ساعت ۱۱ روز قبل از مبادله، تولیدکنندگان و عرضه‌کنندگان هر دو باید پیش بینی دیماند خودشان را به *NGC* برای روز آینده و بر مبنای دقیقه به دقیقه، ارائه دهند. آنها این کار را انجام می‌دهند زیرا کلیه کارگزاران از مقدار الکتریسیته‌ای که برای عرضه یا خرید در روز بعد، قرارداد بسته‌اند، آگاه شوند. با بسته شدن بازار (۳/۵ ساعت قبل از زمان واقعی) تولید کنندگان و عرضه کنندگان باید پیش بینی‌های دیماند نهایی خود را به *NGC* ارائه نمایند. بدین طریق *NGC* می‌تواند بطور مؤثر شبکه انتقال را اداره کرده و هر تولید کننده را از نیروگاه تولیدی که برای روز بعد لازم خواهد بود، آگاه نماید.

در تئوری گزارشات دیماند پیش بینی شده توسط شرکت‌کننده‌های عرضه کننده باید دقیقاً با گزارشات تولید پیش‌بینی شده توسط شرکتهای تولیدکننده مطابقت داشته باشد. در واقعیت این مطلب هرگز بوقوع نمی‌پیوندد زیرا پیش بینی دقیق دیماند الکتریسیته بر مبنای روزانه مشکل است.تعداد فاکتورهای زیادی مصرف الکتریسیته را متأثر می‌کند، شامل هوا و برنامه تلویزیون. از آنجا که متغیرهای بسیاری مصرف الکتریسیته را تحت تاثیر قرار می‌دهند، لذا اجتناب‌ناپذیر است که دیماند واقعی الکتریسیته با دیماند پیش بینی شده توسط شرکتهای عرضه کننده متفاوت باشد. این بدان معنی است که *NGC* باید نیروگاههای تولیدی اضافی را جهت هماهنگی با تغییرات حاصله از معیارهای پیش بینی شده، در زمانی کوتاه بر روی خط آورد(یا از خط بگیرد).البته این مسئله مخارج اضافی بر شرکتهای تولیدی تحمیل می‌کند. کسانیکه یا باید نیروگاه بیشتر بر روی

خط آورده یا نیروگاه تولیدی را که برای عملیات برنامه‌ریزی کرده‌اند، بخوابانند.این هزینه‌های نامتعادل (هزینه‌های تحمیلی به سبب عدول از قراردادهای عرضه دو جانبه)توسط *NGC* از طریق یک سلسله پیشنهادات و مناقصات پیچیده‌ای که توسط تولید کنندگان و عرضه کنندگان بعمل می‌آید، مورد محاسبه قرار می‌گیرد.بدین روش *NETA* فقط قیمت واحد الکتریسیته را تعیین می‌نماید که در حد قیمت‌ها مورد مبادله واقع می‌شود (خارج از بورس‌های برق). با این نظر که هزینه نامتعادل الکتریسیته از قیمت الکتریسیته با حجم بالا بیشتر است، لذا تولیدکنندگان و عرضه‌کنندگان هر دو به پیش بینی تقاضای تخمینی ترغیب مناسب می‌شوند.

از بحث بالا مشهود است که در جهت رفع محدودیتهای مهندسی یک شبکه انتقال و تسهیل در یک بازار محصول الکتریسیته، آرایشات تجاری بسیار پیچیده باید تنظیم گردد.با این فرض قابل فهم است که چرا رقابت در بخش عرضه الکتریسیته در تکامل آهسته بوده است. بواقع، تا همین جا هم بدون پیشرفتهای سریع اخیر در تکنولوژی اطلاعات *(IT)* عموماً و اینترنت خصوصاً، غیر ممکن می‌نمود. بدون این پیشرفتهای تکنولوژی اطلاعات *(IT)*، انتقال سریع حجم وسیعی از اطلاعات مرتبط با فرآیند مناقصه به طرفهای درگیر در یک بورس برق، غیر ممکن می‌نمود.

۳-۴-۲ تجربه کالیفرنیائی

از بحث در قسمت ۳-۴-۱ روشن است که امکان‌سازی یک بازار رقابتی در الکتریسیته فرآیندی بسیار پیچیده است. در حقیقت صنعت عرضه الکتریسیته از چنان اهمیتی برخوردار است که اگر فرآیند مقررات زدائی به اشتباه رود، می‌تواند اثری مخرب بر مجموعه اقتصاد داشته باشد.با این ذهنیت، تجربه صنعت عرضه الکتریسیته کالیفرنیائی باید درسی آموزنده به همه قانون گزارانی که ممکن است مقررات زدایی بخش خدماتی الکتریسیته خود را مورد ملاحظه قرار می‌دهند، باشد. در ژانویه ۲۰۰۱ بخشهای بزرگی از ایالات کالیفرنیا، نه بخاطر هیچ صدمه تکنیکی بلکه در نتیجه مستقیم انگاره‌های ضعیف قانونی، متحمل قطع برق عمده شدند(۶).

در ۱۹۹۶، مجمع کالیفرنیا رای به مقررات زدایی صنعت عرضه الکتریسیته ایالتی و تجزیه آن چیزی که تصور می‌شد یک انحصار قانونی دولتی است، داد(۷). قبل از مقررات زدائی ایالت دارای یک صنعت عرضه الکتریسیته تلفیقی عمودی بود. با تعدادی از شرکتهای خدماتی برق سرمایه دار خصوصی که مالک و مجری نیروگاههای برق، شبکه‌های انتقال شبکه‌های توزیع خود بودند. با

مقررات‌زدائی، یک سازمان غیرانتفاعی، تبادل برق کالیفرنیا[1] *(CPE)* تأسیس شد و تغییرات ذیل پدید آمد:

- کنترل عملیاتی شبکه‌های انتقال به تنها یک مجری سیستم مستقل کسیکه مسئول مدیریت سیستم گردید، سپرده شد.
- شرکتهای خدماتی برق با مالکیت خصوصی، بمانند ادیسون[2] جنوب کالیفرنیا و الکتریک و گاز[3] پاسیفیک مجبور به فروش بیشترین نیروگاههای خود به دیگر شرکتهای خصوصی آزاد، شدند. این عمل، شرکتهای برق عمده را مجبور به خرید عمده الکتریسیته از طریق *CPE* نمود.
- *CPE* به عنوان یک بازار عمده محصولات عمل کرد، که از طریق آن همه الکتریسیته ایالت خرید و فروش می‌شد، بنابراین یک فرآیند حراجی، قیمت عمده فروشی نیروی الکتریکی را تعیین می‌نمود.

در حالیکه شرکتهای خدماتی برق با مالکیت خصوصی، مالکیت و کنترل شبکه‌های توزیع را بازستادند.

با پدید آوردن این تغییرات، قانون‌گذاری کالیفرنیا یک مدل کلاسیک برای یک صنعت عرضه الکتریسیته مقررات زدائی شده رقابتی، ایجاد نمود. در حالیکه دو فاکتور حساس وجود داشت که اثری شگرف بر حوادثی که متعاقباً بروز می‌کرد، گذاردند:

۱- زمانیکه مقررات زدائی، شرکتهای خدماتی برق را مجبور به خرید برق خود از بازار آزاد و پرداخت قیمتهای بازار، می‌کرد، از منتقل کردن هرگونه افزایش هزینه عمده فروشی الکتریسیته به مشتریان آنها نیز حداقل تا ۳۱ مارس ۲۰۰۲ ممانعت بعمل می‌آورد (۷).

۲- به سبب نگرانیهای زیست محیطی مقامات ایالتی از ساخت نیروگاههای جدید برق جلوگیری می‌کردند. برای ۲۰ سال یا بیشتر، با وجود این حقیقت که تقاضا برای الکتریسیته در ایالت حدود ۲٪ در سال در حال رشد بوده است. هیچ افزایش قابل توجهی در ظرفیت تولیدی کالیفرنیا صورت

1- California Power Exchange

2- Southern California Edison

3- Pacific Gas and Electric

نپذیرفت(۷).

این دو فاکتور حساس عواقب وخیمی برای کالیفرنیا عموماً و برای صنعت عرضه الکتریسیته خصوصاً؛ دربرداشتند. کاری که قانون‌گذاران ایالتی انجام داده بودند این بود که شرکتهای خدماتی برق را مجبور به خرید عمده الکتریسیته از بازار آزاد نمودند، که می‌توانست بسیار بی‌ثبات باشد، در حالیکه درهمان زمان قیمتی که شرکتهای خدماتی برق می‌توانستند به مشتریان خود الکتریسیته بفروشند را، بطور مؤثر تثبیت کردند. شکست این استراتژی با این واقعیت که مقدار اندکی ظرفیت تولیدی اضافی در سیستم موجود بود، چند برابر شد. بدون ظرفیت اضافی فشار رقابتی کمی جهت نگهداشتن قیمتهای عمده فروشی در سطحی پائین وجود داشت. در نتیجه در خلال تابستان ۲۰۰۰، زمانی که دیماند برای برق به نقطه پیک رسید، شرکتهای خدماتی برق اضطراراً نیازمند برق از شرکتهای تولید کننده و عمده فروشان الکتریسیته، کسانیکه بسرعت قیمتهایشان را بالا بردند، شدند. قیمتهای الکتریسیته با حجم بالا رشدی صعودی کرد، متوسط قیمت الکتریسیته‌ای که از *CPE* خریداری می‌شد از حدود ۳۰ دلار برای هر *MWh* در ژانویه ۲۰۰۰ به ۳۳۰ دلار در ژانویه ۲۰۰۱ ارتقاء یافت (۸). در حقیقت، در دسامبر ۲۰۰۰ قیمت به نقطه اوجی برابر با ۱۴۰۰ دلار برای هر *MWh* رسید (۷). عدم توانائی در اخذ این هزینه‌های تورم یافته از مشتریان خود، شرکتهای خدماتی برق، نه چندان تعجب آور، شروع به از دست دادن پول کردند. آنها بسرعت بی‌پول شدند، با اعلام بزرگترین شرکتهای خدماتی برق، ادیسون جنوب کالیفرنیا و الکتریک و گاز پاسیفیک، که تا ژانویه ۲۰۰۱ مجموعه زیانهای آنها بالغ بر ۹ میلیارد دلار می‌شد (۷). بواقع، الکتریک و گاز پاسیفیک در آوریل ۲۰۰۱ اعلام ورشکستگی کرد(۹). مشکلات مالی شرکتهای خدماتی برق دارای دو نتیجه مستقیم بود:

۱- بانکها بسیار بی میل شدند که پول بیشتری به شرکتهای خدماتی برق تشنه نقدینگی، شرکتهائی که به سرعت ورشکسته می‌شدند، وام دهند.

۲- شرکتهای تولیدکننده و عمده فروشان نیز میلی به فروش الکتریسیته به شرکتهای خدماتی برق که به وضوح در مصائب مالی بودند، نداشتند.

در رویاروئی با چنین ضررهای مالی و تمایل به از دست ندادن پول بیشتر، شرکتهای خدماتی برق تنها راه عملی در دسترسشان را برگزیدند: آنها خرید الکتریسیته را متوقف کرده و ایالت

کالیفرنیا متحمل قطع برقهای عمده شد. مقامات ایالتی سپس مجبور به دخالت شده و سعی در جمع وجور کردن قضیه و اصلاح امور پرداختند.

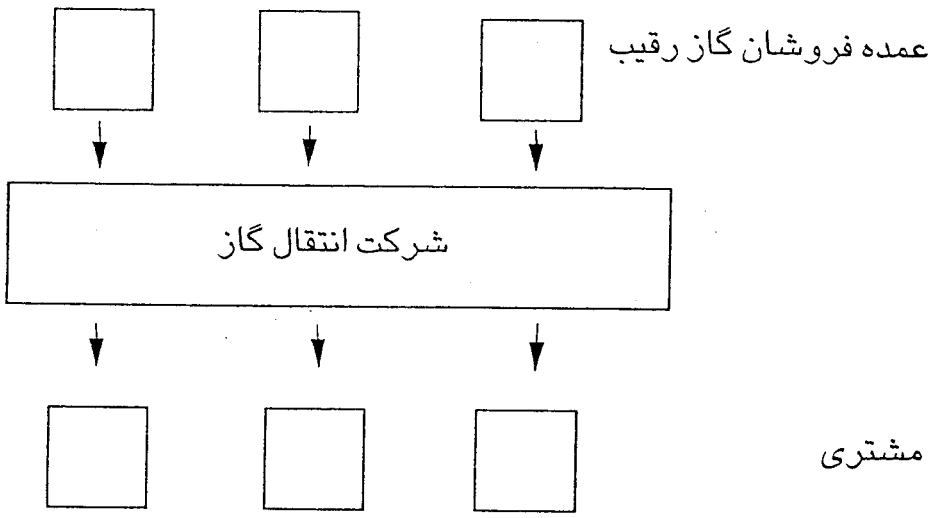
در حوادث تأسف باری که در کالیفرنیا بوقوع پیوست، اگر تمام موضوعات دخیل در مقررات زدائی پیشاپیش نقادی نشوند آشکارا مسائل عمده‌ای را که می‌تواند اتفاق بیفتد را روشن می‌کند. بطور شفاف، تلفیقی از یک کمبود در ظرفیت تولید و یک بازار آزاد عمده فروشی، چیزی را که در حقیقت یک کارتل انرژی است، و یک دستورالعمل برای فاجعه، تسهیل کرد.

۳-۵ رقابت در بازار گاز

از بسیاری جهات امکان‌سازی رقابت در بازار گاز شبیه بازار الکتریسیته است. بمانند عرضه الکتریسیته، تلفیق افقی ساختار، کلید یک بازار گاز رقابتی است. اگرچه، تعدادی تفاوتهای بنیادی وجود دارند که مبادلات در گاز طبیعی را بسیار ساده‌تر از مبادلات الکتریسیته می‌سازند:

- گاز طبیعی تولید نمی‌شود: آن از چاههای نفت و گاز در دریا و یا خشکی پمپاژ شده و به حمل کنندگان مجاز کسانیکه آن را به مشتری می‌فروشند. فروخته می‌شود (شرکتهای عرضه کننده عمده فروش).
- برخلاف الکتریسیته، گاز طبیعی را می‌توان به مقدار محدود ذخیره کرد.
- تقاضا برای گاز طبیعی بسیار فصلی است.

با احتساب تفاوتهای بین ماهیت گاز و الکتریسیته، یک مدل تلفیق افقی نسبتاً ساده جهت تسهیل یک بازار رقابتی در گاز لازم است (همانگونه که در نمودار ۳-۴ نشان داده شده است). به سبب اینکه فقط سه کارگزار درگیر این فرآیند هستند و همچنین به جهت اینکه گاز را می‌توان ذخیره کرد، مجموعه ساختار برای کنترل و عملیات بسیار ساده‌تر از یک صنعت عرضه الکتریسیته می‌باشد. بهرحال در راستای اطمینان از عملیات اجرائی سیستم در یک قالب مطلوب و منصفانه، اهمیت دارد که شرکت انتقال گاز نرخهای حمل برابر از همه عمده فروشان دریافت کند و کلیه نرخها باید شفاف باشند.



نمودار ۳-۴ تلفیق افقی صنعت عرضه گاز

تحت یک ساختار تلفیقی افقی عرضه گاز، هر یک از مشتریان در مذاکره قراردادهای دوجانبه عرضه با عمده فروشان مختلف رقیب، آزاد هستند. قیمتی که مشتری می‌پردازد برابر است با قیمتی که عرضه کننده برای گاز در "سر ساحل" پرداخته به اضافه هزینه حمل ونقل، به اضافه سود عرضه کننده. اگر چه، قیمت پرداختی توسط مشتری عمدتاً تحت تأثیر هزینه گاز در "سر ساحل" است.

متعادل نمودن عرضه و تقاضا بر روی شبکه انتقال بر مبنائی مستدام، مسئولیت و وظیفه شرکت انتقال گاز است. اگر گاز بسیار زیادی به شبکه وارد شود، آنگاه باید در حفره‌های زیرزمینی یا تانکهای گاز ذخیره گردد. بالعکس، اگر مقدار کمی به شبکه وارد شود، آنگاه گاز از تأسیسات ذخیره سازی شده مورد بهره‌برداری قرار خواهد گرفت. بنابراین عرضه‌کنندگان باید مطمئن باشند گازی که آنها وارد شبکه می‌کنند تقریباً برابر گاز مصرفی مشتریانشان باشد. اگر در هر دو مورد تا حد زیادی اشتباه محاسبه داشته باشند، آنگاه شرکت انتقال دهنده جریمه‌ای بر آنها وضع خواهد کرد.

۳-۶ مدیریت بار الکتریسیته

از مباحث در بخش ۳-۴ می‌توان دید که هزینه واقعی تولید الکتریسیته بر اساس تقاضای بر روی شبکه متغیر است و از طریق بهره‌گیری از مکانیسم‌های قیمتی بمانند "گروه" ارائه قیمت الکتریسیته واقعی در هر زمان ممکن می‌شود. تحت این سناریو زمانی که الکتریسیته مصرف شده

است بعنوان مقدار مصرفی الکتریسیته اهمیت می‌یابد. آن مشتریانی که قادر به تنظیم بار الکتریکی خودشان هستند می‌توانند در وضعیت خوبی جهت کاهش هزینه‌های انرژی باشند.

توانائی در تنظیم بار الکتریکی نه تنها هزینه‌های الکتریکی مشتریان را کاهش می‌دهد، بلکه آنها را قادر به مذاکره قراردادهای عرضه الکتریسیته رقابتی، بیشتر می‌نماید. اگر یک مشتری بالقوه تمایل به مذاکره یک قرارداد عرضه دارد، نیازمند تأمین اطلاعاتِ ذیل به عرضه‌کننده بالقوه خواهد بود:

- مصرف سالیانه الکتریسیته به kWh
- ماکزیمم دیماند به kW
- فاکتوربار

فاکتور بار برای هر زمان مشخص نشانگر درصد زمانی است که، تأسیسات یا لوازم در خلال آن زمان کار می‌کنند. بروش ذیل می‌توان آنرا محاسبه کرد:

$$\text{فاکتوربار} = \frac{\text{انرژی مصرفی } (kWh)}{\text{مقطع زمان } (h) \times \text{ماکزیمم دیماند } (kW)} \times ۱۰۰$$

جدول ۳-۱ نمونه فاکتورهای بار برای کاربردهای مختلف (۱۰)

نوع سازمان	فاکتور بار
عملیات ۲۴ ساعته	۰/۷-۰/۸۵
سیستم ۲ شیفتی	۰/۴۵-۰/۶
سیستم تک شیفتی	۰/۲۵-۰/۴
مجتمع هتل مدرن	۰/۵-۰/۶
بیمارستان	۰/۶-۰/۷۵
خرده فروشی	۰/۳-۰/۴
تجارت اغذیه واشربه	۰/۳-۰/۵

جدول ۳-۱ برخی نمونه فاکتورهای بار را که برای انواع گوناگونی از سازمانها که ممکن است

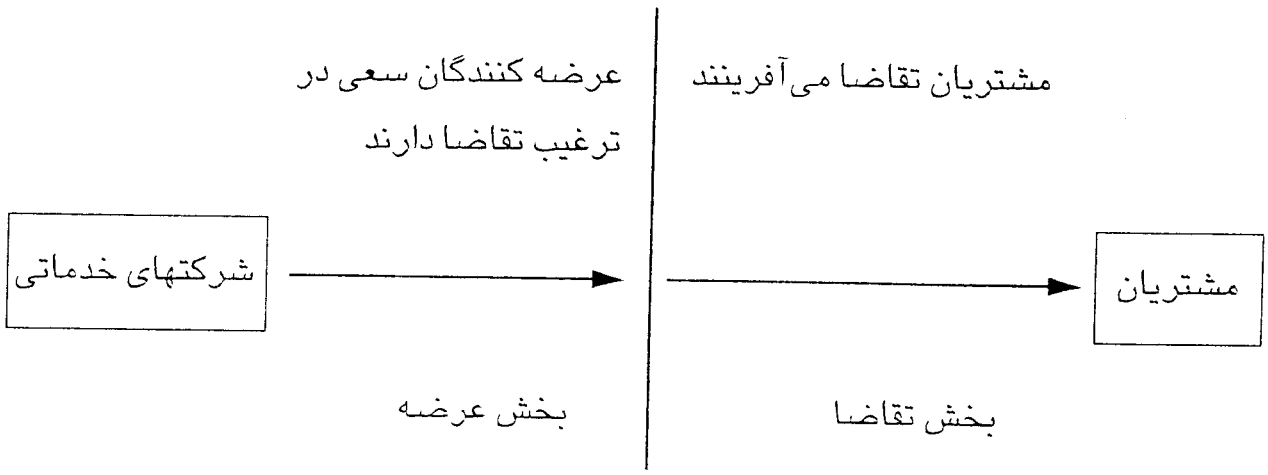
انتظار داشته باشیم، نشان می‌دهد، (۱۰). ساختمانهائی نظیر دفاتر تجاری با تهویه مطبوع، با یک پیک روزانه بالا و شبانه پائین از تقاضا، نمایشگر یک فاکتور بار پائین (ضعیف)است.از سوئی دیگر کارخانجاتی که با سیستم شیفت ۲۴ ساعته کار می‌کنند نمایشگر یک فاکتور بار بالا(خوب) خواهند بود.

از دید شرکتهای خدماتی برق سازمانهایی که دارای فاکتور بار بالائی هستند مشتریان بالقوه مطلوب‌تری می‌باشند،زیرا برای مقدار معینی از سرمایه گذاری در ابزار تولید و توزیع، آنها انرژی الکتریکی بیشتری خواهند خرید. مشتریانی که دارای فاکتورهای بار بالا هستند بنابراین باید انتظار داشته باشند که مذاکره قراردادهای عرضه بهتری را نسبت به آنهائیکه با فاکتورهای بار پائین هستند انجام دهند.این امر منفعت بالقوه بزرگی را برای مشتریان قراردادی که دارای توان تغییر بار از روز به شب با استفاده از تکنولوژیهائی نظیر انبار برودتی (بخش ۱۱ را ببینید) هستند، پدید می‌آورد. این باید بخصوص برای ساختمانهای اداری صادق باشد که در غیر اینصورت فاکتور بار بسیار ضعیفی را نشان خواهند داد.

۳-۷ بخش عرضه و بخش تقاضا

عبارت کلی برای عملیاتی که شرکتهای خدماتی انجام می‌دهند "بخش عرضه"، در که در آن مصرف انرژی توسط مشتریان است "بخش تقاضا" اطلاق می‌شود، بدینگونه نامگذاری شده زیرا مشتریان تقاضائی برای انرژی خلق می‌کنند که سپس توسط شرکتهای خدماتی عرضه می‌شود. این مفاهیم در نمودار ۳-۵ نمایش داده شده است.

مورد یک شرکت خدماتی الکتریسیته که باری اضافی بر روی سیستم خود در خلال اوقات روز در ماههای زمستان را تجربه می‌کند، ملاحظه فرمائید. شرکت قادر به تأمین افزایش تقاضا با تأسیسات تولیدی موجود نیست و بنابراین با انتخابی روبروست که یا نیروگاههای برق بیشتر بسازد یا مشتریان را تشویق به مصرف کمتر الکتریسیته نماید و لذا تقاضای الکتریکی را در خلال روز کاهش دهد.



نمودار ۳-۵ مفهوم جانب عرضه و جانب تقاضا

راه‌حل اول یک "اقدامات بخش عرضه" است زیرا راه‌حل تماماً منعطف به شرکت خدماتی می‌باشد (در بخش عرضه) و راه‌حل دوم از آنجائیکه راه‌حل مشکل عطف به مشتری است، "اقدامات بخش تقاضا" گفته می‌شود راه‌حل بخش تقاضا را می‌توان با معرفی یک تعرفه الکتریسیته که پیشنهاد نرخهای واحد پائین‌تر به مشتریانی که آمادگی تغییر مصرف الکتریسیته از روز به شب را دارند، داده شده، بدست آورد. از طریق این روش از مدیریت بر بخش تقاضا، برای شرکتهای خدماتی امکان بهره‌برداری با بازدهی از منابعشان وجود داشته و لذا مقدار معتنابهی صرفه‌جوئی در هزینه حاصل می‌شود. بنابراین اقدامات بخش تقاضا درباره دخالت مستقیم در مصرف الکتریسیته مصرف کننده نهائی توسط شرکت خدماتی است، در جهتی که برنامه‌ریزی زیر ساختاری شرکت خدماتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

بطور سنتی شرکتهای خدماتی الکتریسیته تمایل به اتکا بر اقدامات بخش عرضه جهت شکل دادن به کسب خودشان داشته‌اند. این بدان معنی است که شرکتهای خدماتی سعی در تأثیرگذاری بر طریقی که مشتریانشان از بخش عرضه، الکتریسیته مصرف می‌کنند، داشتند، و زیر ساختاری در جهت برآوردن تقاضای پیش بینی شده تدارک دیده‌اند. ولیکن، در سالهای اخیر، در بریتانیا و ایالات متحده امریکا هر دو، علاقمندی افزون در استفاده از اقدامات بخش تقاضا بوجود آمده است.

۳-۸ مدیریت بخش تقاضا

مفهوم مدیریت بخش تقاضا *(DSM)*[1] (برخی اوقات "برنامه‌ریزی حداقل هزینه" اطلاق می‌شود) ابتدائاً در ایالات متحده امریکا در خلال دهه ۱۹۸۰ عنوان گردید، که در آن از آن زمان نیروئی نفوذمند شد. در بعضی قسمتهای ایالات متحده امریکا تقاضا می‌تواند در خلال ماههای تابستان به سبب استفاده از وسائل تهویه هوا،بیش از ۴۰٪ افزایش یابد(۱۱). همچنین مخالفت قانونی سخت از طرف اعضاء هیئت خدمات عمومی‌نسبت به ساخت نیروگاههای برق جدید وجود دارد. بسیاری از شرکتهای خدماتی برق ایالات متحده امریکا که با این شرایط روبرو شده بودند برنامه‌های *DSM* را جهت تشویق مشتریان به صرفه‌جوئی انرژی، ارائه دادند، و بسیاری را تا حد امکان به تغییر بار روزانه به شبانه ترغیب کردند. در ایالات متحده امریکا برنامه‌های *DSM* شامل اقداماتی مانند پشتیبانی مالی برای مطالعات امکان سنجی، مشاوره رایگان در تکنیک‌ها، وامهای سرمایه‌ای در جهت هزینه کردن لوازم جدید، و حتی توزیع رایگان لامپهای روشنائی کم‌مصرف به مشتریان، می‌شد. بسیاری شرکتهای خدماتی در ایالات متحده امریکا دریافتند که ترغیب مشتریانشان به صرفه‌جوئی انرژی اقتصادی‌تر است از اینکه مجبور به ساخت تأسیسات تولیدی جدید شوند. یک نمونه آزمایشی از این موضوع الکتریسیته و گاز پاسیفیک است که در ۱۹۸۵ اعلام نمود قصد ساخت یک نیروگاه برق جدید از طریق بهینه سازی مصرف بمیزان *MW* ۱۰۰۰، را دارد. به عبارتی دیگر آنها قصد داشتند از طریق بهبود بیشتر بازدهی انرژی که می‌توانست پیک دیماند آنها را حدود *MW* ۱۰۰۰ کاهش دهد، به این موضوع دست یابند (۱۲).

تجزیه و تحلیل ساده مصرف انرژی، عواید وسیع ترغیب صرفه‌جوئی انرژی در برابر ساخت تأسیسات تولیدی جدید را نشان می‌دهد. اگر فرض شود که یک نمونه نیروگاه برق حرارتی دارای راندمانی برابر ۳۵٪ است، آنگاه مجموع انرژی اولیه صرفه‌جوئی شده از طریق بهینه‌سازی یک *kWh* از انرژی الکتریکی تحویلی برابر است با:

$$\text{انرژی اولیه صرفه‌جوئی شده} = \frac{۱}{۰/۳۵} = ۲/۸۶ kWh$$

از اینجا روشن می‌شود که در موضوعات مربوط به بهینه‌سازی مصرف انرژی تشویق

1- *Demand side management*

مشتریان به استفاده بهینه از انرژی الکتریکی بیشتر منطقی است.با این همه، در جهت ترغیب شرکتهای خدماتی به قبول یک استراتژی بهینه سازی مصرف انرژی، منطق تجاری هم باید وجود داشته باشد. در اواخر دهه ۱۹۸۰ برق آبی انتاریو کانادا[1] تخمین زد که برآورد الزامات دیماند پیک از طریق اقدامات بخش عرضه (ساخت نیروگاه تولیدی جدید و تقویت شبکه‌های انتقال و توزیع) چهار برابر بیش از بکارگیری اقدامات بخش تقاضا، هزینه روی دست شرکت خدماتی خواهد گذارد(۱۳). یافته‌های برق آبی انتاریو توسط رزنفلد و دلامورنیر پشتیبانی شد(۱۴). کسانیکه در ۱۹۸۵ نشان دادند هزینه ساخت ظرفیت تولیدی جدید برای هر kW جدید، ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ دلار است، که در مقایسه با حداکثر ۴۰۰ دلار برای هر kW الکتریسیته صرفه‌جویی شده‌ای که می‌توانست با استفاده از یک سیستم انبار یخ حاصل شود، بسیار ضعیف می‌نمود. بنابراین به روشنی در جهت منافع شرکتهای خدماتی تلفیق عمودی است، بمانند آنانیکه در بسیاری از نقاط ایالات متحده آمریکا و اروپا وجود دارند که ایجاد تکنولوژیهای DSM را ترغیب کنند. به این دلیل، بسیاری از شرکتهای خدماتی در ایالات متحده آمریکا پیشنهاد مقدار قابل توجهی تشویق مالی به کاربران ساختمان در جهت احداث تکنولوژیهایی به مانند لوازم روشنایی کم انرژی و انبار برودتی، می‌دهند(۱۲).

اگرچه DSM یک نیروی نفوذمند در ایالات متحده امریکا، کشور مبدأ شده است، ولیکن بریتانیا در قبول آن آهسته بوده است. بریتانیا آنگونه که در بعضی نقاط ایالات متحده امریکا هست از کمبود ظرفیت تولیدی رنج نمی‌برد، همچنین برخلاف بسیاری ایالتهای ایالات متحده امریکا پیک زمستانی تجربه می‌کند. به علاوه، در انگلستان و ویلز صنعت عرضه الکتریسیته تلفیقی عمودی به آن زیادی که در ایالات متحده امریکا هنوز هست، نیست. بنابراین مقایسه سازی بین دو کشور بسیار سخت است. بهرحال، با وجود وضوح تفاوتها بین صنایع عرضه الکتریسیته در ایالات متحده امریکا و انگلستان و ویلز، شرکتهای توزیع منطقه‌ای در بریتانیا اخیراً علاقمند به DSM شده‌اند، از آنجائیکه متدی است که آنها می‌توانند بطور قابل توجهی تقاضا بر روی کابلها و ترانسفورمرها راکاهش داده،و بنابراین هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌گذاری خودشان را کاهش‌دهند.

به سبب ماهیت پیچیده صنعت عرضه الکتریسیته تلفیق افقی بریتانیا، نقش DSM در بریتانیا تا

1- *Ontario Hydro of Canada*

حدودی مبهم است. در تئوری، این معرفی گسترده *DSM* باید شامل:

- ایجاد یک کاهش در سوخت سوزانده شده در نیروگاههای برق.
- سبب به تعویق افتادن هزینه‌های مالی و سرمایه‌ای ساخت نیروگاه برق جدید.
- سبب کاهشی در ضایعات توزیع.
- منجر به امکان تعویق افتادن تقویت توزیع.
- سبب کاهشی در ضایعات انتقال.
- منجربه امکان‌تعویق افتادن تقویت انتقال مرتبط با نیروگاههای برق جدید و بارهای افزایشی.
- منتهی به کاهشی در انتشار $NO2, SO2, CO_2$ از نیروگاههای برق شود.

در حالیکه در نگاه اول بنظر می‌رسد کلیه نکات بالا نشان دهنده مواردی محکم جهت اجرای سیاستهای *DSM* در بریتانیا است، تحلیل بیشتر، در اعتبار بیان بالا شک برمی‌انگیزد. در تئوری کلیه کارگزاران در صنعت عرضه الکتریسیته بریتانیا از معرفی *DSM* منتفع می‌شوند. لیکن، به سبب تفکیک صنعت بنابر تلفیق افقی، ایجاد و هماهنگی یک سیاست *DSM* مؤثر مشکل است. بطور مثال، چه کسی برای یک سیاست *DSM* هزینه خواهد کرد؟ آیا شرکتهای توزیع منطقه‌ای برای سیاستی که با دلیل، بیشترین منافع را به تولیدکنندگان و *NGC* می‌دهد، هزینه خواهد کرد؟ همچنین برای تولیدکنندگان رقیب ایجاد *DSM* مشکل است، زیرا آنها بازار تخصیصی نداشته و دارای تأثیر مستقیم کمی بر مصرف کننده نهائی هستند. همچنین ساختار بازار الکتریسیته چنان است که هر کدام از تولیدکنندگان همیشه در جستجوی تولید هرچه بیشتر الکتریسیته هستند، از آنجائیکه ظرفیت مازاد در سیستم وجود دارد، و هر تولیدکننده از قیمتهای الکتریسیته بالاتر زمانی که تقاضا بالاست، منتفع می‌شود، نفع به تولیدکنندگان از طریق کاربرد یک سیاست *DSM* در کمترین کلام مشکوک است، بنابراین برای موفقیت *DSM* در بریتانیا باید شرکتهای توزیع منطقه‌ای و مشتریانشان هردو نفع ببرند.

۳-۸-۱ تجربه ایالات متحده امریکا

تشکیلات تحقیق انرژی به مرکزیت ایالات متحده مؤسسه تحقیق نیروی الکتریکی *(EPRI)*[1]

1- Electrical Power Research Institute

DSM را بشرح ذیل تشریح می‌کند:

برنامه‌ریزی، اجرا و نظارت بر فعالیتهای خدماتی بگونه‌ای طراحی شده که مصرف الکتریسیته مشتری را به طرقی که تغییرات مطلوب در شکل، بار ایجاد خواهد کرد، تحت تأثیر قرار می‌دهد(۱۵).

در ایالات متحده امریکا، برنامه‌های *DSM* اغلب توسط اعضا هیئت خدمات عمومی[1]، کسانیکه قصد بر کمترین ساخت نیروگاه تولیدی جدید دارند، آغاز شده است. شرکتهای خدماتی ملزم به ارائه، روش عملیاتی پیشنهادی که کم هزینه‌ترین انتخاب برای عرضه الکتریسیته به مشتریان است، به این اعضاء هستند. بنابراین کاهش دادن تقاضا بجای ساختن نیروگاههای برق بیشتر، وظیفه شرکتهای خدماتی است. در بعضی ایالتهای ایالات متحده امریکا، شرکتهای خدماتی حتی برای اجرای برنامه‌های *DSM* پاداش دریافت می‌دارند.

اگرچه برنامه‌های *DSM* در ایالات متحده امریکا در نتیجه نگرانی‌های اجتماعی و فشارهای قانونی نشأت گرفته است، لیکن نفع بالقوه برای شرکتهای خدماتی است که چنین برنامه‌هائی را راه انداخته‌اند. در ایالات متحده امریکا شرکتهای خدماتی مجاز به جبران هزینه‌های برنامه *DSM* از طریق افزایش قیمتهای الکتریسیته هستند. در نتیجه، شرکتهای خدماتی حد بالاتر دریافتی از اقدامات بخش تقاضا در مقابل اقدامات بخش عرضه خواهند داشت. این منجر به کاربرد برنامه‌های *DSM* در امریکای شمالی در مقیاس وسیعی شده است. بسیاری از شرکتهای خدماتی امریکایی شمالی بیش از ۵٪ از کل درآمد خودشان را در *DSM* هزینه می‌کنند. جدول ۳-۲ سطوح سرمایه‌گذاری و صرفه‌جوئی انرژی هدفمند برای برخی برنامه‌های *DSM* را که توسط انواعی از شرکتهای خدماتی امریکای شمالی انجام شده را نشان می‌دهد (۱۶).

اگرچه برخی از برنامه‌های *DSM* مندرج در جدول ۳-۲ تأثیر هزینه‌ای خود را محقق ننموده‌اند، بسیاری از شرکتهای خدماتی گزارش کرده‌اند که برنامه‌های *DSM* آنها در مجموع هزینه‌ها، ارزانتر بودن خود را، زمانی که با پیشگیری هزینه‌ها در بخش عرضه مقایسه می‌شوند، اثبات نموده‌اند. این یافته‌ها حتی در شرایط و که در آن شرکت خدماتی یک ظرفیت تولید اضافی داشته، نیز کاربرد داشته است.

زمانیکه یک سیاست *DSM* معرفی می‌شود شرکت خدماتی از هزینه‌های تولید، ضایعات شبکه

1- *Public utility commissioners*

و برخی هزینه‌های اداری پیشگیری می‌کند، و ممکن است از هزینه کردن سرمایه در تقویت شبکه و گسترش ظرفیت تولیدی جلوگیری نماید باید درنظر گرفت که شرکت برق، به علت اجرای برنامه‌های *DSM* الکتریسیته کمتری می‌فروشد، بنابراین در معرض از دست دادن درآمد است. جهت پیشگیری از این وضعیت شکلی از مکانیسم تعادل باید تدارک شود که عدم از دست دادن درآمد شرکت خدماتی را تضمین کند. در ایالات متحده امریکا این مکانیسم تعادلی توسط یک تنظیم کننده، کسیکه افزایش در تعرفه‌های کلیه مشتریان را تأیید می‌کند، مطابق اعلام شرکت خدماتی که هر مشتری یک کاهش کلی در هزینه‌های انرژی دریافت می‌دارد تهیه می‌شود(۱۷).

جدول ۳-۲ نمونه‌هایی از مخارج در *DSM* شرکت‌های خدماتی امریکای شمالی

شرکت خدماتی	مخارج جاری (میلیون دلار)	پس انداز هدف *GWh*	پس انداز *MW* هدف	پس انداز *MW* از درصد پیک پیش بینی شده	سال هدف برای پس انداز کردن
BC هیدروی	۶۶	۴۴۹۱	۱۲۶۶	۹/۴	۲۰۰۰
هیدروکبک	۲۵۱	۹۲۸۹	۵۰۶۵	۱۳/۲	۲۰۰۰
هیدرومانیتوبا	۸	۹۳۱	۲۵۵	۴/۷	۲۰۰۰
انتاریو هیدرو	۳۷۷	۱۴۹۱۱	۵۲۰۰	۱۶/۰	۲۰۰۰
ادیسون،کنسالید	۷۶	۷۱۲۰	۲۵۰۰	۲۲/۵	۲۰۰۸
فلوریدا *P&L*	۶۶	۲۸۰۰	۱۸۸۴	۸/۷	۱۹۹۹
لانگ آیلند	۳۳	۲۸۴۰	۸۹	۱۱/۴	۲۰۰۸
برق نوادا	۵	۱۹۰	۱۴۷	۵/۲	۲۰۰۷
ایالت نیویورک	۲۵	۲۷۹۰	۸۴۶	۱۸/۹	۲۰۰۴
نیاگاراموهاک	۳۷	۲۶۸۰	۸۴۹	۱۲	۲۰۰۸
اورنج،راک	۸	۱۹۱	۱۲۲	۷/۶	۲۰۰۸
پاسیفیک *G&E*	۱۲۰	۵۷۶۰	۲۲۷۰	۱۱/۱	۲۰۰۱
روچستر *G&E*	۷	۸۷۶	۱۸۶	۱۰/۷	۲۰۰۹
کالیفرنیای جنوبی	۱۰۷	۵۱۷۰	۲۷۸۰	۱۱/۲	۲۰۰۹
برق ویسکنسین	۴۰	۱۲۶۰	۲۹۰	۵/۶	۲۰۰۰

در سالهای اخیر صنعت عرضه الکتریسیته در ایالات متحده امریکا تحت بازسازی عمده در

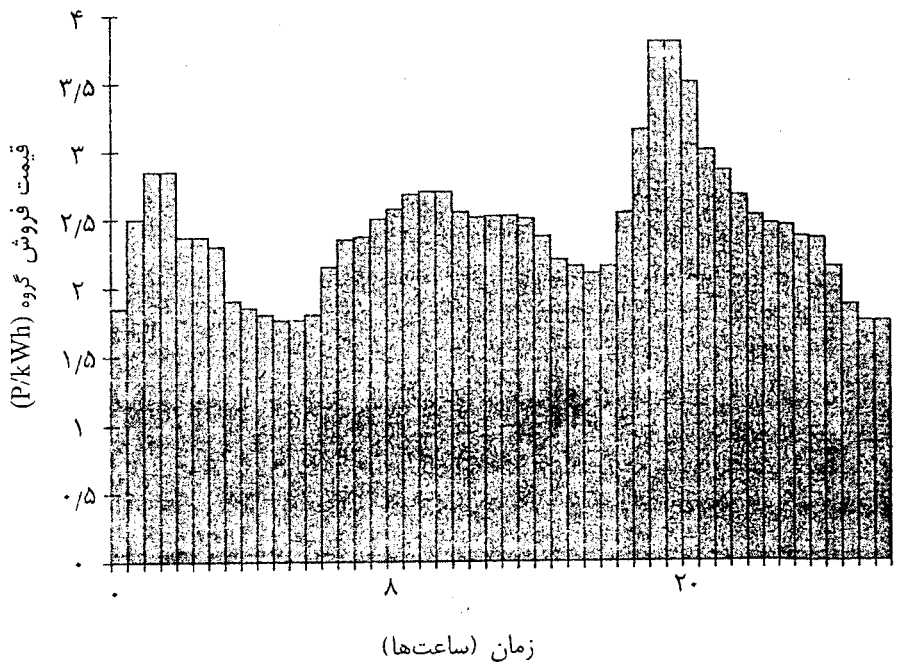
جهت تسهیل تجارت عمده فروشی در الکتریسیته بهمان منوال صنعت بریتانیا، بوده است (۱۸). با وجود عدم اطمینانی که این تحول را احاطه کرده، این صنعت در ایالات متحده امریکا در سال ۱۹۹۹ گزارش کرد که مجموعاً ۸۴۸ شرکت خدماتی الکتریسیته برنامه‌های *DSM* را داشتند و از این تعداد ۴۵۹ برنامه *DSM* بزرگ منجر به یک صرفه‌جوئی انرژی ۵۰/۶ میلیارد *kWh*، شد (۱۹).

۳-۸-۲ تجربه بریتانیا

برخلاف امریکای شمالی، که در آن برنامه‌های *DSM* معمول شد، *DSM* در بریتانیا هنوز در دوران نوزادی خود است. تحت صنعت عرضه الکتریسیته دولتی قدیمی، یکی از چند نمونه سیاست *DSM* در بریتانیا معرفی تعرفه‌های اقتصاد ۷ بود، که در ارتباط با بخاری‌های شب ذخیره بکار گرفته شد. برای سالهای طولانی، تحت سیستمی که کارخانه‌های برق ملی بوده‌اند، بخاریهای شب ذخیره مورد بازاریابی شدید واقع شدند، اهداف اصل عبارتند از:

- نائل آمدن به بهره‌برداری بهینه از نیروگاه تولیدی کشور.
- بکارگیری شبکه توزیع الکتریسیته با بازدهی بیشتر.
- ارتقاء درآمد مفید برای هیئت الکتریسیته منطقه‌ای با فروش بخاریهای شب ذخیره به عموم.

بازاریابی بخاریهای شب ذخیره سیاستی کاملاً موفق و شاید زیادی موفق بود. تجزیه و تحلیل گزارش قیمت گروه برای یک روز معمول هفته در دسامبر ۱۹۹۲ (نمودار ۳-۶ را ببینید) نشان می‌دهد که قیمت فروش گروه برای برخی اوقات شب در حقیقت بیشتر از قیمت اوقات روز (ساعات اداری) است. این بدلیل ظرفیت تولیدی مورد نیاز در اوقات شب جهت تأمین بخاریهای شب ذخیره بود. این قیمت فروش بالای اوقات شب گروه در قیمت پرداختی توسط مشتریان تعرفه‌ای منعکس نمی‌شد، معمولاً بین یک سوم یا نیمی از قیمت روزانه، برای مشتریان خانگی "اقتصاد ۷" و مشتریان تجاری تعرفه ماکزیمم دیماند هر دو، در نظر گرفته می‌شد. در مورد "اقتصاد ۷" قیمت غیر پیک بگونه‌ای بود که با سیستم حرارت مرکزی گازی در بازار خانگی رقابت کند. در نتیجه استفاده کنندگان از بخاریهای شب ذخیره توسط دیگر مشتریانی که قیمتهای روزانه بالاتر می‌پرداختند، در حقیقت یارانه دریافت می‌کردند.



نمودار ۳-۶ قیمت فروش متوسط روزهای هفته گروه دسامبر ۱۹۹۲

بازاریابی مستمر بخاریهای شب ذخیره بدان معنی بود که در برخی نقاط بریتانیا شبکه‌های توزیع منطقه‌ای پیک‌های شبانه بالائی را تجربه می‌کردند. این مسائلی را سبب گردید و منجر به بازاریابی تعدادی از شرکتهای توزیع منطقه‌ای (کسانیکه عرضه کننده الکتریسیته نیز بودند) برای تعرفه‌های خانگی غیر پیک انعطاف‌پذیر شد. این تعرفه‌های غیرپیک انعطاف‌پذیر برای جایگزینی تعرفه انعطاف‌ناپذیر قدیمی "اقتصاد ۷" طراحی شده بودند و به مشتریان پیشنهاد ۱۰ ساعت الکتریسیته غیر پیک در مقایسه با مقطع ۷ ساعتی قدیمی می‌دادند (۲۰). یک نمونه از این تعرفه‌های انعطاف‌پذیر در جدول ۳-۳ نشان داده شده است که از آن می‌توان دید که شرکت خدماتی سعی دارد بهره‌برداری مؤثرتر از اوقات کم مصرف در نمودار دیماند روزانه بریتانیا بنماید، که عموماً به زمانهائی که قیمتهای الکتریسیته پائین هستند، مربوط می‌شود.

این تعرفه‌های انعطاف‌پذیر دارای امتیازاتی برای شرکت‌های توزیع منطقه‌ای هستند. آنها بسیاری از زمانهای غیرپیک را از جای شبانه سنتی شان، به اوقات روز و عصر تغییر دادند، تا از اوقات کم مصرف در دیماند روزانه بتوان بهره‌برداری کرد. آنها هم چنین دارای انعطاف‌پذیری فطری هستند که شرکت خدماتی را مجاز به کنترل دقیق زمانهای شروع و پایان مقاطع غیرپیک می‌نماید، و اجازه می‌دهد که اینها از روزی به روز دیگر متفاوت باشند. شرکتهای توزیع منطقه‌ای

دو منفعت عمده از این تعرفه‌های انعطاف‌پذیر دریافت می‌کنند:

۱ـ آنها به بهره‌برداری بهتری از شبکه‌های توزیع خودشان نائل شده، و از هزینه کردن در تقویت شبکه پرهیز می‌کنند.

۲ـ اگر آنها هم چنین یک شرکت عرضه کننده هستند، شرکت توزیع منطقه‌ای می‌تواند از تولیدکنندگان در زمانهائی که قیمتها پائین هستند الکتریسیته خریده، و به مشتریان خود به قیمت تعرفه استاندارد برای مصارف گرمایشی بفروشند. نتیجتاً، آنها دارای حوزه وسیعتر برای افزایش حد سود خود در تجارت عرضه می‌باشند.

انجام تعرفه‌های انعطاف‌پذیر نظیر آنچه در بالا مشخص شد مستلزم نصب لوازم اندازه‌گیری پیچیده است، که قادر به ثبت مصرف الکتریسیته در اوقات مختلف روز باشد، و هم چنین توانائی دریافت علامتهای تغییر از شرکت خدماتی مربوطه برای فعال کردن زمان غیرپیک در روی کنتور را داشته باشد. برای نائل آمدن به این موقعیت در بازار مصرف کنندگان خانگی، شرکتهای خدماتی که‌این تعرفه‌ها را عرضه می‌کنند باید از یک سیستم رادیوئی تغییر از راه دور استفاده‌کنند.

اگر موضوع بخاریهای شب ذخیره را کنار بگذاریم، پیشرفت *DSM* در بریتانیا بطریق اولی در گرو شرکتهای توزیع منطقه‌ای، کسانیکه مشکلات شبکه را تجربه می‌کنند، است(۲۱و۲۲). از آنجائیکه چگونگی منفعت تجاری آنها روشن نیست، موقعیت تولیدکنندگان نسبت به *DSM* تردیدآمیز است، بنابراین تصور می‌شود منافع بالقوه *DSM* در بریتانیا در گرو قادرسازی شرکتهای توزیع به بهینه کردن شبکه‌های موجود آنهاست.

شرکتهای الکتریسیته همیشه در جستجوی به حداکثر رساندن برگشت سرمایه گذاری خودشان در ابزار تولید، انتقال و توزیع هستند. در گذشته، افزایش تقاضای الکتریسیته این اطمینان را پدید می‌آورده است که هر زمان یک سیستم نیازمند تقویت در جهت نگهداری امنیت عرضه بوده، سرمایه‌گذاری می‌توانست از طریق افزایش فروش الکتریسیته مستهلک شود. پیش از مقررات‌زدائی، صنعت عرضه الکتریسیته به امید به حداکثر رساندن فروش به طور جدی مصرف الکتریسیته را تشویق می‌کرد. اگرچه، این وضعیت تغییر کرد. بازار الکتریسیته در بریتانیا بازار بالغی است. فروش الکتریسیته پایدار مانده است و پیش بینی رشد نیز پائین است. در برخی نقاط فروش الکتریسیته ثابت یا حتی در حال نزول است. شرکتهای توزیع برای تأمین مالی تقویت سیستم امیدی به افزایش فروش ندارند. تحت این سناریو *DSM* یک انتخاب مهم شده است که شرکتهای توزیع باید لحاظ کنند.

جدول ۳-۳ تعرفه "گرمائی" الکتریسیته شرق میدلند اول مه ۱۹۹۲ (۲۰)

شنبه و یکشنبه	دوشنبه تا جمعه	عرضه غیر پیک در دسترس برای ۱۰ ساعت
۰۰-۸	۰۰-۷	۵ ساعت مستمر در خلال شب
۱۳-۱۷/۳۰	۱۳-۱۶/۳۰	۳ ساعت مستمر در خلال بعدازظهر
۱۷/۳۰-۲۲	۱۷/۳۰-۲۲	۲ ساعت مستمر در خلال عصر
	۳/۹۰ پاوند	نرخ فصلی انشعاب
		نرخهای واحد:
	۲/۹۰ *P/kWh*	غیر پیک
	۷/۶۴ *P/kWh*	پیک

از جایگاه تولیدکنندگان رقیب در بریتانیا، بعید است که *DSM* پشتیبانی زیادی بدست آورد. قیمتهای الکتریسیته زمانی که تقاضا بالاست، گرایش به بالا بودن دارند. بنابراین کلیه تولیدکنندگان از تقاضای بالا منتفع می‌شوند. از دیدگاه تولیدکنندگان، *DSM* بعنوان یک رقیب تلقی می‌شود زیرا فروش الکتریسیته را کاهش می‌بخشد.

برنامه‌های *DSM* جهت اجرا هزینه پولی دربردارند، بویژه اگر آنها مستلزم دادن وام به مشتریان جهت خرید لوازم تغییر بار یا صرفه‌جوئی انرژی، باشند. بنابراین شرکتهای خدماتی نیازمند برخی مکانیسم‌های جبران هزینه‌های سرمایه گذاری خود هستند. در ایالات متحده امریکا شرکتهای خدماتی مجاز به افزایش قیمتهای تعرفه به کلیه مشتریان خود برای پرداخت برنامه‌های *DSM* می‌باشند. در عمل مشتریان معمولی شرکتهای خدماتی به آن دسته از مشتریانی که از اقدامات *DSM* منتفع می‌شوند، یارانه پرداخت می‌کنند. در بریتانیا مقامات قانون گذار این نوع برخورد در پرداخت برای *DSM* را اجازه نمی‌دهند، زیرا هم بازار را غیرعادی نموده و هم غیرمنصفانه برای مشتریان دارای حق امتیاز است. بواقع، بنظر می‌رسد مقامات قانون‌گذار در بریتانیا مخالف قبول گسترده چنین برنامه‌هائی هستند. بر این مبنا که آنها یارانه متقاطع بین مشتریان را ارائه می‌دهند. بنابراین شرکتهای توزیع باید هزینه‌های برنامه *DSM* را از طریق مشتریانی که مستقیماً از آن سود می‌برند، جبران کنند.

بخش چهارم

تکنیکهای تجزیه و تحلیل انرژی

اطلاعات انرژی برای ساختمانها یا از طریق مُمیزی و یا در نتیجه برنامه‌های نظارتی مستمر امکان جمع‌آوری دارد. اما، این اطلاعات بخودی خود نسبتاً غیرقابل استفاده‌اند، مگر آنکه آنها به شیوه مناسبی تفسیر شوند. بنابراین تجزیه و تحلیل بر روی هر اطلاعات خام جمع‌آوری شده باید انجام پذیرد تا جهات و نقاطی که بهینه سازی را می‌توان بعمل درآورد، شناسائی شود. تکنیکهای تجزیه و تحلیل مختلفی وجود دارند که در جهت تفسیر اطلاعات انرژی، می‌توان بکار گرفت. این بخش تکنیکهای تجزیه و تحلیل اطلاعات را که معمولاً در مدیریت انرژی مورد مصرف قرار می‌گیرند معرفی می‌کند.

۴-۱ مقدمه

تنوعی گسترده از تکنیکهای تجزیه و تحلیل عددی و آماری وجود دارند که می‌توان در جهت درک اینکه چرا انرژی بروشی خاص مصرف می‌شود، بکار گرفت. برخی تکنیکهای تحلیلی بسیار ساده هستند و می‌توان با حساب سرانگشتی ساده انجام داد، در حالیکه دیگر تکنیکها پیچیده‌تر بوده و ممکن است نیازمند استفاده از نرم‌افزار کامپیوتری باشند. منظور این بخش معرفی تکنیکهای تجزیه و تحلیل متفاوت و شرح تئوری و عملی هر کدام از آنهاست.

۴-۲ مصرف انرژی سالیانه

احتمالاً ساده‌ترین تحلیلی که می‌توان بکار گرفت، اینست که آمار مصرف انرژی سالیانه و هزینه‌های مربوطه را جزء جزء نموده و درصد آنها را مشخص کرد. این تکنیک مفیدی است که قادر می‌سازد مصرف کلی انرژی یک ساختمان را به راحتی و سرعت محاسبه کرد. تحلیل مصرف انرژی سالیانه باید بروش ذیل انجام پذیرد:

(*I*) تبدیل کلیه اطلاعات مصرف انرژی به واحدهای استاندارد (معمولاً *kWh*) با استفاده از فاکتورهای تبدیل استاندارد نشان داده شده در جدول ۴-۱ و ارزشهای ناخالص حرارتی نشان داده

شده در جدول ۴-۲.

(II) برای کل مصرف و هزینه هر نوع انرژی باید مصارف و هزینه‌ها بصورت جزء جزء درآمده و درصد آنها مشخص شوند. سپس میانگین هزینه برحسب *(kWh)* برای هر نوع سوخت ارائه شود.

(III) تدوین یک جدول شبیه به مثال نشان داده شده در جدول ۴-۳ نمایانگر مصرف کل انرژی سالیانه، هزینه و تجزیه درصدی هر نوع از سوخت، می‌باشد.

جدول ۴-۱ فاکتورهای تبدیل انرژی

به	ضرب در فاکتور	از
kWh	۲۹/۳۰۶	*Therms*
kWh	۰/۲۷۷۸	*MJ*
kWh	۲۷۷/۷۷۸	*GJ*

جدول ۴-۲ نمونه ارزش ناخالص حرارتی سوختها (۱)

نمونه ارزش ناخالص حرارتی	نوع سوخت
۱*kWh*	الکتریسیته
۱/۰۱ *Therms*/۱۰۰ ft^3	گاز طبیعی
۳۸ *MJ/litre*	گازوئیل (کلاس *D*)
۴۲ *MJ/litre*	مازوت سنگین (کلاس *G*)
۲۷-۳۰ *GJ/tonne*	ذغال سنگ
۹۲/۶ *GJ*/m^3	پروپان
۴۹/۳ *GJ*/m^3	بوتان

جدول ۴-۳ جدول ورودی انرژی سالیانه برای ۱۹۹۸/۹۹

نوع انرژی	واحدهای خریداری‌شده	مصرف (kWh)	مصرف ٪	ارزش (پاوند £)	ارزش ٪	P/kWh
الکتریسیته	۶۱۵۰۰ kWh	۶۱۵۰۰	۲۶	۳۰۷۵	۵۲/۵۸	۵
گاز	۱۴۶۸۰۰ kWh	۱۴۶۸۰۰	۶۲	۲۲۳۱/۳۶	۳۸/۱۶	۱/۵۲
کلاس D نفت	۲۷۰۰ litres	۲۸۵۰۰	۱۲	۵۴۱/۵۲	۹/۲۶	۱/۹۰
جمع	—	۲۳۶۸۰۰	۱۰۰	۵۸۴۷/۸۸	۱۰۰	۲/۴۷(میانگین)

(IV) تولید نمودارهای شبیه آنهائی که در نمودار ۴-۱ نشان داده شده است، جهت نمایش گرافیکی انرژی و هزینه مربوطه هر نوع از انرژی.

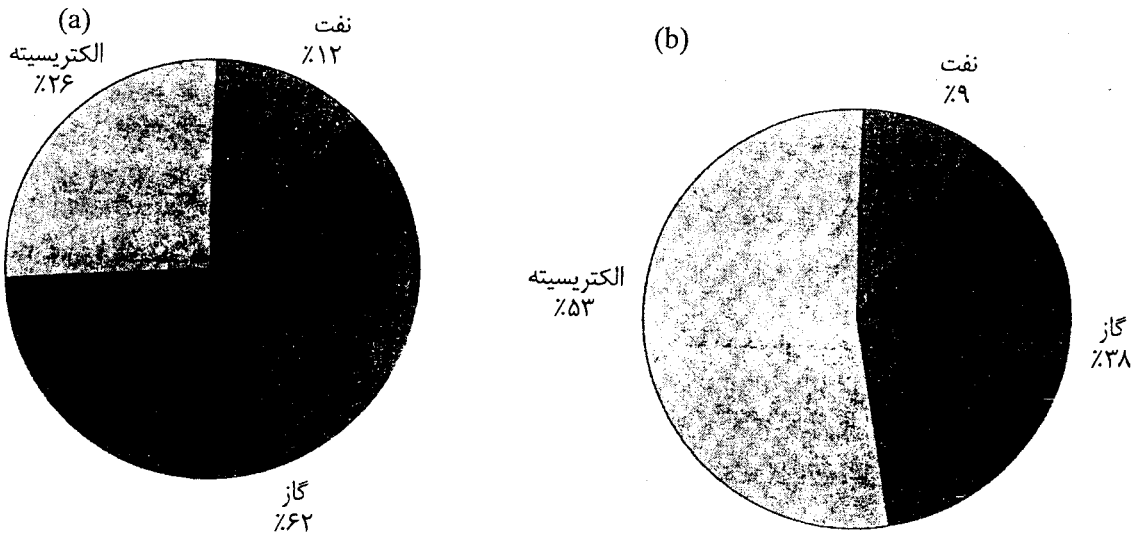
(V) که در آن اطلاعات ادواری انرژی در دسترس باشند، جهت شناخت روندها باید مقایسه‌ها انجام پذیرد. همانگونه که در جدول ۴-۴ بنمایش در آمده است.

یادآوری آن مهم است که اگرچه تجزیه و تحلیل ساده مشروحه بالا ممکن است تجزیه قیمت انرژی و شناخت روندهای احتمالی را تولید کند، هیچ جائی برای فاکتورهای متغیری نظیر آب و هوا درنظر گرفته نشده است، که ممکن است عملکرد انرژی تأسیسات را تحت تأثیر قرار دهد.

بنابراین باید بعنوان یک تکنیک تحلیلی نسبتاً خام نگریسته شود، و هنگام مقایسه عملکرد انرژی یک ساختمان با ساختمانی دیگر نباید بکار گرفته شود. اگر مقایسه بین ساختمانها لازم است آنگاه برخورد تحلیلی پیچیده‌تری مانند آنکه در بخش ۴-۳ تشریح شده است، لازم می‌باشد.

۴-۳ شاخص‌های عملکرد همگن شده

نشان خوبی از عملکرد انرژی یک ساختمان خاص را اغلب می‌توان با مقایسه ساده مصرف واقعی انرژی سالیانه و هزینه‌ها با ساختمانهائی مشابه در نوع و عملکرد، بدست آورد. اگرچه، تعدادی مشکلات تفکیک‌ناپذیر وجود دارند که در زمان مقایسه عملکرد انرژی ساختمانی با ساختمان دیگر نوع مشابه در یک مکان متفاوت باید مدنظر قرار گیرد.



نمودار ۴-۱ مصرف انرژی *(a)* و هزینه‌ها *(b)*

جدول ۴-۴ تغییرات در مصرف انرژی سالیانه

٪ تغییر	مصرف *(kWh)*	سال
موجود نمی‌باشد	۲۰۱۴۵۶/۴	(پایه) ۱۹۹۴/۹۵
-۱/۹	۱۹۷۵۶۲/۲	۱۹۹۵/۹۶
+۰/۹	۲۰۳۲۱۶/۲	۱۹۹۶/۹۷
+۹/۴	۲۲۰۴۰۳/۵	۱۹۹۷/۹۸
+۱۷/۵	۲۳۶۸۰۰/۰	۱۹۹۸/۹۹

- ساختمانها ممکن است ابعاد مختلف داشته باشند.
- دو موقعیت مکانی ممکن است دارای اختلاف آب و هوائی باشند. این بر مقدار انرژی مصرفی دو ساختمان تأثیر خواهد گذاشت.
- دو ساختمان ممکن است در معرض آب و هوای متفاوتی باشند، که در از دست دادن گرمای ساختمان تأثیر خواهد داشت.
- دو ساختمان ممکن است ساعات عملیاتی مختلفی را تجربه می‌کنند.

در راستای فائق آمدن بر این مسائل تفکیک‌ناپذیر، لازم است با دخالت دادن متغیرهائی نظیر آب و هوا و الگوهای اشغال، اطلاعات مصرف انرژی ساختمان را تصحیح کرد. مفهوم شاخص عملکرد

همگن شده (*NPI*)[1] برای پرداختن به این مسائل شکل گرفت. *NPI*ها عملکرد انرژی ساختمانهای مشخصی را جهت مقایسه با دیگر ساختمانهای مشابه در نوع و عملکرد، مقدور می‌سازند. آنها همچنین عملکرد کلی انرژی یک ساختمان در مقایسه با انرژی استاندارد "معیار" برای انواع ساختمانها را میسر می‌نمایند (جدول ۴-۶ را ببینید).

بسیاری کشورهای سراسر جهان برای انواع مختلف ساختمان معیار انرژی ملی دارند. این معیارها توسط تجزیه و تحلیل آماری، از نتایج مُمیزی‌های مصرف انرژی اندازه‌گیری شده، تعیین می‌گردد. معیارهای انرژی معمولاً به kWh/m^2 از مساحت سطح در هر سال، ذکر می‌شود، اگر چه برخی ترجیح می‌دهند که به kWh/m^3 از حجم ساختمان در هر سال، استفاده کنند. معیارها، راهنمای مفیدی فراهم می‌کنند که بتوان ساختمانها را اندازه‌گیری نمود. باید ذکر کرد که طراحی معیارها، زمانی که الویتها را ایجاد می‌کنیم راهنمائی سودمندی فراهم می‌کنند. و آنها نباید به عنوان ارزش‌های مطلق تلقی شوند. در راستای تعیین پتانسیل واقعی برای بهینه سازی عملکرد انرژی در یک تأسیسات خاص، لازم است مُمیزی‌های دقیق انرژی بیشتری انجام گیرد. همچنین اهمیت دارد بیاد داشته باشیم که شاخص‌های عملکرد فقط مقایسه بین انواع مشابه ساختمان را مجاز می‌دارد. برای مثال، در مقایسه عملکرد انرژی یک مدرسه و یک بیمارستان امتیاز چندانی نیست.

معیارهای دقیق انرژی که می‌توان در کشورهای مختلف بکار گرفت، با آب و هوای حاکم و ماهیت ساخت و ساز مورد استفاده، بوضوح بطور گسترده متنوع خواهد بود. معهذا، این اصول که بنیان تولید *NPI*هاست، مشابه بوده و توان کاربرد جهانی دارد. برای تسهیل در رجوع، در این کتاب معیارهای انرژی و اطلاعات کاربردی بریتانیا جهت نمایش فرآیند، استفاده شده‌اند. در بریتانیا، عملکرد انرژی ساختمان بصورت ذیل رتبه بندی شده است.

- **خوب**: عموماً کنترل‌ها و نظام مدیریت انرژی خوب بوده، اگرچه صرفه‌جوئی بیشتر انرژی اغلب ممکن است.
- **نسبتاً رضایت‌بخش**: کنترلها و نظام مدیریت انرژی قابل قبول بوده، لیکن صرفه‌جوئی چشمگیر انرژی باید حاصل آید.

1- Normalized Performance Indicator

● **ضعیف:** مصرف انرژی غیرالزامی‌بالاست و اقدام عاجل باید بعمل آید تا وضعیت را اصلاح بخشد. صرفه‌جوئیهای قابل توجه انرژی باید از معرفی اقدامات بازدهی انرژی حاصل آید (۱).

ساختمانهائی که عملکرد "ضعیفی" نشان می‌دهند مستعدترین عرضه کنندگان بهترین فرصت‌های مدیریت انرژی هستند، لیکن بهینه سازی انرژی باید برای آن ساختمانهائی که بعنوان "خوب" رتبه بندی شده‌اند، نیز ممکن باشد.

این طبقه بندی‌های وسیع می‌تواند شامل بیشترین ساختمانها بمنظور عملکرد انرژی باشد. فرآیندی که از طریق آن *NPI* را می‌توان معین کرد و عملکرد انرژی ساختمان را طبقه بندی نمود بر پایه متد *CIBSE* (۱) بوده و بشرح ذیل می‌باشد:

(I) مشخص کردن کل مصرف انرژی ساختمان به واحدهای استاندارد همانگونه که در بخش ۴-۲ تشریح شده است.

(II) تعیین مصرف انرژی سالیانه برای گرمایش فضا. این عمل یا بوسیله کنتور جدا (بخش ۵ را ببینید) یا با استفاده از تکنیکهای تحلیلی مشروحه در بخش ۴-۵، معین می‌گردد. اگر انجام این عملیات میسر نیست، اطلاعات تجزیه درصدی نشان داده شده در جدول ۴-۵ بعنوان یک تخمین تقریبی می‌تواند بکار برده شود.

جدول ۴-۵ نسبت سوخت مصرفی برای گرمایش فضا و آب گرم تولیدی که مرتبط با گرمایش فضا انگاشته می‌شود(۱).

نوع ساختمان	نسبت سوخت مصرفی برای گرمایش فضا و آب گرم مرتبط با گرمایش فضا (٪)
مدرسه	۷۵
خانه سالمندان ـ بیمارستان	۵۰
دیگر ساختمانهای مراقبتهای بهداشتی	۷۵
آموزش عالی	۷۵
اداره	۷۵
بدون استخر ـ سالن ورزشی	۷۵
با استخر ـ سالن ورزشی	۶۵
استخر شنا	۵۵
گالری ـ موزه ـ کتابخانه	۷۰
کلیسا	۹۰
هتل	۶۰
آژانس ـ بانک	۷۵
فضای تفریحی	۷۵
زندان	۶۰
ساختمان خدمات اورژانس، آمادگاه، دادگاه	۷۵
کارخانه	۸۰

(III) زمانیکه اطلاعات خام مصرف انرژی گرمایشی فضای سالیانه مشخص گردد، سپس باید با کاربرد ضرایب ذیل اصلاح متغیرهای هوا و معرض انجام شود:

$$\text{ضریب آب و هوا} = \frac{\text{استاندارد روز ـ درجات گرمایشی سالانه}}{\text{روز ـ درجات گرمایشی سالیانه که ساختمان تجربه کرده است}}$$

در بریتانیا استاندارد تعداد سالیانه روز ـ درجات گرمایشی ۲۴۶۲ در نظر گرفته شده است

(ضمیمه یک را برای شرحی از روز ـ درجات ببینند). این مقدار در کشور یا منطقه خاص مورد ملاحظه متفاوت خواهد بود. ضرایب معرض بشرح ذیل هستند:

ضریب معرض	معرض
۱/۱	(مرکز شهر) محفوظ
۱/۰	(روستائی/شهری) معمولی
۰/۹	(زمین تپه‌ای / ساحلی) بی حفاظ

(IV) گام بعدی اضافه کردن انرژی مصرفی غیرگرمایشی به مصرف انرژی گرمایش فضای تصحیح شده است که مصرف انرژی "تصحیحی بی زمان" خام را بدست می‌دهد.

(V) این مقدار مصرف انرژی سالیانه "تصحیحی بی زمان" خام سپس باید در ضریبی جهت تصحیح برای "ساعات مصرف" ساختمان ضرب شود تا مصرف انرژی سالیانه همگن شده را بدست دهد. این می‌تواند بشرح ذیل انجام شود:

$$\text{ضریب ساعات مصرف} = \frac{\text{ساعات مصرف استاندارد سالیانه}}{\text{ساعات مصرف واقعی سالیانه}}$$

مقادیر ساعات مصرف استاندارد سالیانه برای بریتانیا در جدول ۴-۶ نشان داده شده است.

(VI) مصرف انرژی سالیانه همگن شده باید بر مساحت سطح ساختمان تقسیم شده تا *NPI* بدست آید. از مساحت سطح مورد استفاده در این محاسبه باید مساحاتی که سرمایش و گرمایش به آنها داده نمی‌شود کاملاً مستثنی شوند.

(VII) نهایتاً، *NPI* حاصله را با معیارهای داده شده در جدول ۴-۶ مقایسه کرده و عملکرد انرژی ساختمان را رتبه بندی کنید.

مثال ۴-۱ تکنیک بکار رفته در محاسبه یک شاخص عملکرد همگن شده برای ساختمان یک کتابخانه را نمایش می‌دهد.

مثال ۴-۱

ساختمان یک کتابخانه در یک موقعیت شهری واقع شده است، که ۲۱۱۵ روز ـ درجات

گرمایشی در هر سال تجربه می‌کند. این ساختمان برای ۲۴۰۰ ساعت در سال استفاده می‌شود، و ۹۴۰۰۰۰ kWh گاز طبیعی و ۲۸۰۰۰ kWh الکتریسیته مصرف می‌کند. اگر مساحت سطح مدرسه ۴۸۰۰ مترمربع باشد، NPI آنرا محاسبه و عملکرد انرژی آنرا مشخص نمائید.

راه‌حل

انرژی الکتریکی مصرفی = ۲۸۰۰۰ kWh

گاز مصرفی = ۹۴۰۰۰۰ kWh

کل انرژی مصرفی = ۲۸۰۰۰+۹۴۰۰۰۰ =۹۶۸۰۰۰ kWh

جدول ۴-۵ نشان می‌دهد که ۷۰٪ گاز مصرفی می‌تواند ارتباط مستقیم با گرمایش فضا داشته‌باشد.

جدول ۴-۶ معیارهای (kWh/m^2 در هر سال) مصرف انرژی سالیانه برای انواع مختلف ساختمان

نوع ساختمان	ساعات مصرف استاندارد در هرسال	محدوده عملکردرضایت بخش (kWh/m^2)
مهد کودک	۲۲۹۰	۳۷۰-۴۳۰
بدون استخر ـ مدرسه ابتدائی	۱۴۰۰	۱۸۰-۲۴۰
با استخر ـ مدرسه ابتدائی	۱۴۸۰	۲۳۰-۳۱۰
بدون استخر - دبیرستان	۱۶۶۰	۱۹۰-۲۴۰
با استخر - دبیرستان	۲۰۰۰	۲۵۰-۳۱۰
سالن ورزشی- دبیرستان	۳۶۹۰	۲۵۰-۲۸۰
بدون خوابگاه - مدرسه ویژه	۱۵۷۰	۲۵۰-۳۴۰
با خوابگاه - مدرسه ویژه	۸۷۶۰	۳۸۰-۵۰۰
رستورانها	---	۴۱۰-۴۳۰
ساختمانهای عمومی	---	۳۴۰-۴۷۰
غذا فروشی سرپائی	---	۱۴۵۰-۱۷۵۰
محلهای خدماتی بزرگراهها	---	۸۸۰-۱۲۰۰
فروشگاههای‌بزرگ‌زنجیره‌ای(تهویه‌مکانیکی)	---	۵۲۰-۶۲۰

ادامه جدول ۴-۶ معیارهای (kWh/m^2 در هر سال) مصرف انرژی سالیانه برای انواع مختلف ساختمان

نوع ساختمان	ساعات مصرف استاندارد در هرسال	محدوده عملکردرضایت بخش (kWh/m^2)
* دیگر مغازه‌های غیر غذائی	---	۲۸۰-۳۲۰
*(تهویه مکانیکی) سوپر مارکتهای بزرگ	---	۷۲۰-۸۳۰
*(تهویه مکانیکی) بدون‌نانوائی- سوپرمارکت	---	۱۰۷۰-۱۲۷۰
*(تهویه مکانیکی) با نانوائی - سوپر مارکت	---	۱۱۳۰-۱۳۵۰
* عمومی- مغازه مواد غذائی کوچک	---	۵۱۰-۵۸۰
میوه و سبزی - مغازه مواد غذائی کوچک	---	۴۰۰-۴۵۰
دانشگاه	۴۲۵۰	۳۲۵-۳۵۵
مدارس آموزش عالی	۳۲۰۰	۲۳۰-۲۸۰
بالای ۲۰۰۰ مترمربع - دفاتر با تهویه مطبوع	۲۶۰۰	۲۵۰-۴۱۰
زیر ۲۰۰۰ مترمربع - دفاتر با تهویه مطبوع	۲۴۰۰	۲۲۰-۳۱۰
بالای ۲۰۰۰ مترمربع - دفاتر با تهویه طبیعی	۲۶۰۰	۲۳۰-۲۹۰
زیر ۲۰۰۰ متر مربع - دفاتر با تهویه طبیعی	۲۴۰۰	۲۰۰-۲۵۰
مراکز کامپیوتری	۸۷۶۰	۳۴۰-۴۸۰
استخر شنا	۴۰۰۰	۱۰۵۰-۱۳۹۰
با استخر - مرکز ورزشی	۵۱۳۰	۵۷۰-۸۴۰
بدون استخر - مرکز ورزشی	۴۹۱۰	۲۰۰-۳۴۰
کتابخانه	۲۵۴۰	۲۰۰-۲۸۰
هتل کوچک	---	۲۴۰-۳۳۰
هتل متوسط	---	۳۱۰-۴۲۰
هتل بزرگ	---	۲۹۰-۴۲۰
بانکها	۲۲۰۰	۱۸۰-۲۴۰
گالری هنر - موزه	۲۵۴۰	۲۲۰-۳۱۰
سینما	۳۰۸۰	۶۵۰-۷۸۰
تئاتر	۱۱۵۰	۶۰۰-۹۰۰

* بر اساس مناطق فروش

بنابراین:

انرژی مصرفی برای گرمایش فضا = ۹۴۰۰۰۰ × ۰/۷۰ = ۶۵۸۰۰۰ kWh

با بکاربردن ضرایب آب و هوا و در معرض بودن:

انرژی مصرفی تصحیح شده برای گرمایش فضا = $۶۵۸۰۰۰ \times \frac{۲۴۶۲}{۲۱۱۵} \times ۱/۰ = ۷۶۵۹۵۵/۶ kWh$

مصرف انرژی غیرگرمایشی = ۹۶۸۰۰۰ − ۶۵۸۰۰۰ = ۳۱۰۰۰۰ kWh

بنابراین:

کل مصرف انرژی تصحیح شده = ۳۱۰۰۰۰ + ۷۶۵۹۵۵/۶ = ۱۰۷۵۹۵۵/۶ kWh

و اصلاح کردن برای اشغال (استفاده از اطلاعات جدول ۴-۶)

انرژی مصرفی سالیانه همگن شده = $۱۰۷۵۹۵۵/۶ \times \frac{۲۵۴}{۲۴۰۰} = ۱۱۳۸۷۱۹/۷ kWh$

بنابراین:

$$NPI = \frac{۱۱۳۸۷۱۹/۷}{۴۸۰۰} = ۲۳۷/۲ \ kWh/m^2$$

بر طبق جدول ۴-۶ عملکرد انرژی برآورد شده برای ساختمان کتابخانه رضایت بخش است. به عبارتی دیگر، ساختمان بطور منطقی خوب عمل می‌کند، لیکن هنوز می‌تواند صرفه‌جوئی چشمگیر انرژی بدست آید.

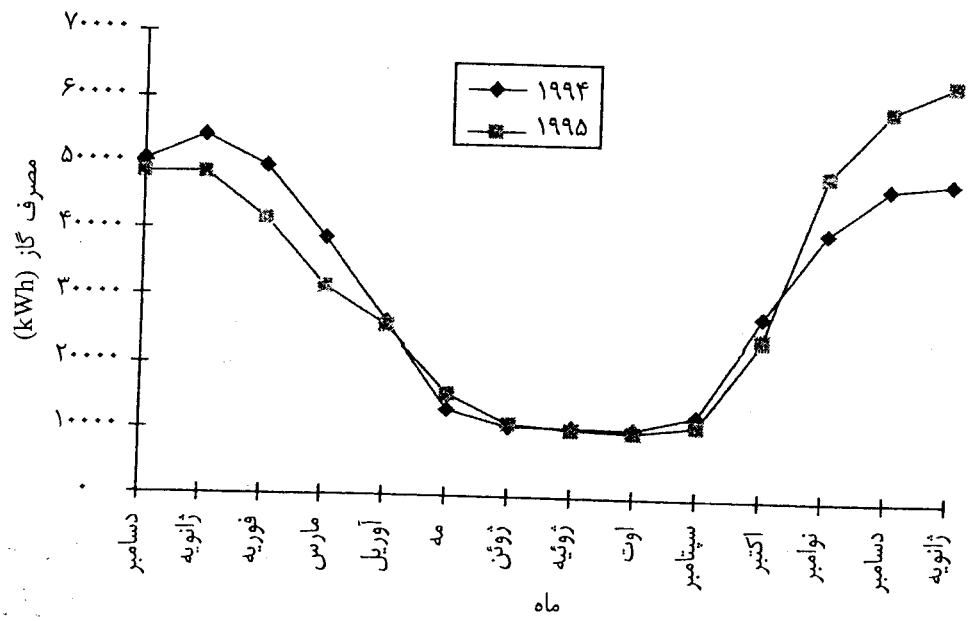
۴-۴ تجزیه و تحلیل وابسته به زمان انرژی

اگر اطلاعات انرژی مکفی جمع‌آوری گردد امکان تولید یک نمودار ساده که در آن مصرف انرژی در برابر زمان ترسیم شده، هست (نمودار ۴-۲ را ببینید). از طریق این نوع تجزیه و تحلیل ساده "وابسته به زمان" امکان شناسائی روندهای عمومی و الگوهای فصلی مصرف انرژی وجود دارد. از آنجائیکه شناخت سریع استثنائات از نرم را مقدور می‌سازد، این می‌تواند گرانبها بودنش را ثابت کند، اگر چه ابزاری مفید است، لیکن درک محدودیتهای این تکنیک اهمیت دارد، که بهترین

کاربرد آن بعنوان ابزاری مقایسه‌ای است و نه مطلق.

مورد ساختمان اداری ارائه شده در نمودار ۴-۲ را ملاحظه کنید. نمودار وابسته به زمان مصرف گاز ماهانه برای سالهای ۱۹۹۴ و ۱۹۹۵ را نشان می‌دهد. از نمودار می‌توان مشاهده کرد که:

- مصرف انرژی در خلال ماههای ژانویه، فوریه و مارس ۱۹۹۵ بطور مستمر کمتر از زمان مشابه در ۱۹۹۴ بود.
- مصرف پایه بار حدود ۱۰۵۰۰ kWh در ماه است. این به احتمال یقین گاز مصرفی در تولید آب گرم خانگی و بخش اغذیه و اشربه است.
- بنظر می‌رسد مصرف انرژی در خلال ماههای نوامبر و دسامبر ۱۹۹۵ و ژانویه ۱۹۹۶ در مقایسه با ارقام مشابه ۱۹۹۴ که افزایش چشمگیری داشته است. این نشان دهنده عدم کنترل در سیستم گرمایشی است، که امکان دارد در نتیجه دست کاری ابزار کنترل توسط یکی از اپراتورها در اواخر ماه اکتبر پدید آمده باشد.



نمودار ۴-۲ مصرف گاز ساختمان اداری

اگر چه انرژی مصرفی در ژانویه، فوریه و مارس ۱۹۹۵ بطور مستمر پایین‌تر از زمان مشابه در ۱۹۹۴ بوده است، لیکن باید متذکر شویم که این می‌توانسته به سبب دلایل مختلفی که برخی بشرح

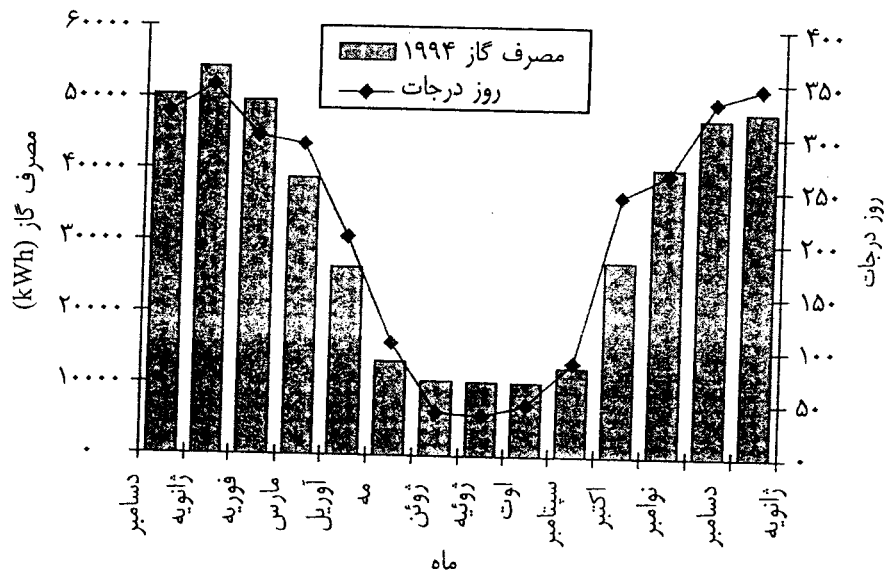
ذیل هستند، باشد:

- بهینه کردن عملیات اجرائی
- هوای گرمتر در ۱۹۹۵ در مقایسه با ۱۹۹۴
- ساعات کمتر کارکرد پرسنل در دفتر. احتمالاً در خلال این زمان در ۱۹۹۴ دفتر در طول تعطیلات آخر هفته به سبب حجم کاری زیاد، باز بوده است.

از نمودار ۴-۲ شناخت دقیق اینکه چرا مصرف انرژی در ژانویه، فوریه و مارس ۱۹۹۵ پایین‌تر از زمان مشابه در ۱۹۹۴ است، امکان‌پذیر نیست. در جهت انجام این مهم تکنیکهای تحلیلی پیشرفته‌تری لازم هستند (بخش ۴-۵ را ببینید). با وجود این، استفاده از یک نمودار زمانی میسر است که در مقابل زمان، بیش از یک متغیر را ترسیم کرد، بمانند نمودار ۴-۳، که در آن مقادیر انرژی گازی مصرفی برای ۱۹۹۴ به موازات اطلاعات روز - درجه مربوطه ترسیم شده است.

با تدوین نمودارهای زمانی بمانند نمودار ۴-۳ ممکن است به موارد ذیل نائل آئیم.

- شناسائی الگوهای تناوبی که بارهای فصلی را نشان می‌دهند. همانگونه که کل روز - درجه ماهانه افزایش می‌یابد، همچنین گاز مصرفی نیز باید افزایش یابد.
- شناسائی روندهای عمومی‌که انعکاس دهنده تغییرات در مصرف انرژی است. این روندها ممکن است از تغییرات دربار یا بازدهی برخاسته باشند، یا احتمالاً آنها ممکن است به سبب تغییرات در عملیات اجرائی پدید آمده باشند.
- شناسائی یک بار پایه ثابت، که این انرژی، زمانی که نیروگاه در حداقل بار کار می‌کند، مصرف می‌شود. برای مثال، در نمودار ۴-۳ یک بار پایه حدود kWh ۱۰۵۰۰ در ماه برای ژوئن، ژوئیه و اوت زمانی که هیچ گرمایش فضائی لازم نیست، پدید می‌آید. احتمالاً این بار پایه نشان دهنده تولید آب گرم خانگی و گاز مصرفی بخش اغذیه و اشرابه است



نمودار ۴-۳ مقایسه گاز مصرفی و روز - درجات برای ۱۹۹۴

- شناسائی عدم وجود یک الگوی شفاف. این معمولاً نشانگر سیستمی است که از عدم کنترل مناسب رنج می‌برد.
- شناسائی مقاطع زمانی که مصرف انرژی خیلی پائین یا خیلی بالاست، که ممکن است به سبب تغییرات غیرمعمول در عملیات تأسیسات در ماه خاصی باشد. باید همیشه بخاطر داشته باشیم که غیر معمولها ممکن است به علت ثبت غلط اطلاعات ورودی انرژی پدید آیند.

بیشترین فرمهای مدیریت انرژی ساختمان از اطلاعات ماهانه استفاده می‌کنند. بنابراین پیشنهاد می‌شود که اطلاعات بر مبنای ماههای تقویمی تدوین شود، زیرا تحلیل اطلاعات استخراجی از مقطع زمانی ۴ یا ۵ هفته‌ای ممکن است سبب اشتباه گردد. زمانی که از ماههای تقویمی استفاده می‌کنید، یک یا دو روز اختلافی که بین ماههای متوالی رخ می‌دهد را می‌توان معمولاً نادیده گرفت.

۴-۵ تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی

تجزیه و تحلیلی رگرسیون خطی تکنیکی آماری است که رابطه بین متغیرها را معین کرده و به کمیت درمی‌آورد. ابزاری از مدیریت انرژی است که بطور وسیع مورد استفاده واقع شده و تدوین معادلات استاندارد را برای انرژی مصرفی، اغلب از اطلاعاتی که بدون کاربرد این روش بی ارزش

هستند، مقدور می‌سازد.

از بخش ۴-۴ روشن می‌شود که اگرچه تحلیل "وابسته به زمان" ابزار مقایسه‌ای مفیدی است، لیکن محدودیتهای خودش را نیز دارد؛ شناسائی اینکه چرا روندهای خاصی بوقوع می‌پیوندند یا در حقیقت روندهای متصوره بطور کلی واقعاً وجود دارند، را مشکل می‌سازد. تجزیه و تحلیل رگرسیون بر این مشکل با حذف عامل "زمان" از فرآیند تحلیل، فائق آمده و بجای آن بر متغیرهائی که انرژی مصرفی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، تمرکز می‌یابد. تکنیکی است چندکاره که می‌تواند برای تجزیه و تحلیل کردن انواع وسیعی از فرمها مورد استفاده قرار گیرد. زمانی که بعنوان ابزار مدیریت انرژی بکار گرفته می‌شود، متغیرهائی که معمولاً مورد مقایسه قرار می‌گیرند عبارتند از:

- گاز مصرفی در مقابل تعداد روز -درجات گرمایشی تجربه شده.
- گاز مصرفی در مقابل تعداد واحدهای تولیدی.
- الکتریسیته مصرفی در مقابل تعداد واحدهای تولیدی.
- آب مصرفی در مقابل تعداد واحدهای تولیدی.
- الکتریسیته مصرفی برای روشنائی در مقابل ساعات اشغال.

تجزیه و تحلیل رگرسیون بستگی بسیار زیادی بر کیفیت اطلاعات مورد استفاده دارد. بنابراین باید با احتیاط برخورد شود. اگر تحلیلی غیبت یک رابطه چشمگیر ($P<۰/۰۵$) بین دو متغیر را نشان می‌دهد، این الزاماً بدان معنی نیست که رابطه‌ای وجود ندارد چشمگیری نتایج بستگی به کمیت و کیفیت اطلاعات مورد مصرف، و در حقیقت بستگی به متغیرهای مورد استفاده در تجزیه و تحلیل دارد. جدول ۴-۷ مجموعه‌ای از متغیرها که می‌توانند بر مصرف آب و انرژی تأثیر گذارند، را نشان می‌دهد.

۴-۵-۱ متغیر مستقل منفرد

یک مورد که مصرف گاز ماهانه یک ساختمان اداری (یک متغیر وابسته) و تعداد روز-درجات گرمایشی تجربه شده (یک متغیر مستقل) بر روی یک نمودار در مقابل هم ترسیم شده‌اند، ملاحظه کنید. از آنجائیکه بخوبی قابل فهم است که از دست دادن گرمای ساختمان در مقابل سردتر شدن درجه هوای بیرون ساختمان افزایش می‌یابد، منطقی است که انتظار نوعی رابطه بین این دو را

داشته باشیم. این رابطه در حقیقت خطی است و امکان بدست آوردن یک معادله برای بهترین برازش خط مستقیم از طریق نقاط اتصال روی نمودار میسر می‌باشد. بهترین برازش خط مستقیم از حاصل جمع مربعهای فواصلی که از خط مستقیم نقاط اطلاعاتی مختلف بدست آمده، تعیین می‌گردد. زمانی که تدوین شد، این معادله خطی می‌تواند برای پیش بینی انرژی مصرفی آتی مورد استفاده واقع گردد. به علاوه، می‌تواند بعنوان یک معادله استاندارد اجرائی برای منظورهای نظارتی و هدف گذاری انرژی کاربرد داشته باشد (بخش ۷ را ببینید).

جدول ۴-۷ فاکتورهائی که مصرف انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

فاکتورهای ممکنه	وظیفه انجام شده	کالا
ساعات تاریکی	روشنائی برای ایمنی محیط بیرون	الکتریسیته
تعداد شناگران	آماده‌سازی استخر شنا	آب
(به سبب تبخیر و آب کشیدن)		
لباسهای شنا)		
روز ـ درجات گرمایشی	گرمایش فضا	گاز
روز ـ درجات سرمایشی	تهویه مطبوع	الکتریسیته
مقدار بخار تولیدی	ایجاد بخار در دیگ بخار تأسیسات	نفت
حجم هوای تحویلی	کمپرسور هوا	الکتریسیته
تن - مایل حمل شده	وسائط حمل و نقل کالا	گازوئیل‌برای‌جاده
حجم تولید	فرآیند تولید	سوخت برای بخار

معادله مشابه برای یک نمودار خط مستقیم می‌تواند بشرح ذیل ارائه گردد:

$$y=c+mx \qquad (۴-۱)$$

که در آن y متغیر وابسته است (مثل مصرف انرژی)، x متغیر مستقل است (مانند تعداد روز - درجات)، c مقداری است که در آنجا خط مستقیم محور y را قطع می‌کند، و m شیب خط مستقیم است.

اگر خط مستقیم $y=c+mx$ بهترین برازش برای یک سری نقاط نمونه آماری است:

$$(x_1,y_1).(x_2,y_2)...(x_n,y_n)$$

می‌توان نشان داد که

$$cn+m\Sigma x=\Sigma y \qquad (۲-۴)$$

و

$$c\Sigma x+m\Sigma x^2=\Sigma xy \qquad (۳-۴)$$

که در آن n تعداد نقاط آماری است.

این معادلات بعنوان معادلات نرمال مسئله شناخته می‌شوند و می‌توان آنها را برای ایجاد مقادیر c و m همانگونه که در مثال ۴-۲ نشان داده شده است بکار برد.

مثال ۴-۲

ساختمان یک بیمارستان را درنظر بگیرید که در خلال یک برنامه نظارتی، نمونه آماری ذیل را ایجاد می‌کند:

روز درجات تجربه شده هر ماه (x)	۷۲، ۸۸، ۹۵، ۱۰۶، ۱۶۹، ۲۰۴، ۲۴۴، ۲۶۵، ۲۹۰، ۲۹۸، ۳۳۲، ۳۴۵
گاز مصرفی هرماه (GJ) (y)	۴۸۲، ۵۲۰، ۶۳۴، ۵۷۰، ۶۷۱، ۸۶۰، ۹۰۳، ۹۴۰، ۱۰۰۷، ۱۲۱۰، ۱۰۲۰، ۱۱۳۱

بنابراین:

X	Y	X^2	XY
۷۲	۴۸۲	۵۱۸۴	۳۴۷۰۷
۸۸	۵۲۰	۷۷۴۴	۴۵۷۶۰
۹۵	۶۳۴	۹۰۲۵	۶۰۲۳۰
۱۰۶	۵۷۰	۱۱۲۳۶	۶۰۴۲۰
۱۶۹	۶۷۱	۲۸۵۶۱	۱۱۳۳۹۹
۲۰۴	۸۶۰	۴۱۶۱۶	۱۷۵۴۴۰
۲۴۴	۹۰۳	۵۹۵۳۶	۲۲۰۳۳۲
۲۶۵	۹۴۰	۷۰۲۲۵	۲۴۹۱۰۰
۲۹۰	۱۰۰۷	۸۴۱۰۰	۲۹۲۰۳۰
۲۹۸	۱۲۱۰	۸۸۸۰۴	۳۶۰۵۸۰
۳۳۲	۱۰۲۰	۱۱۰۲۲۴	۳۳۸۶۴۰
۳۴۵	۱۱۳۱	۱۱۹۰۲۵	۳۹۰۱۹۵
Σ ۲۵۰۸	۹۹۴۸	۶۳۵۲۸۰	۲۳۴۰۸۳۰

بنابراین، معادلات نرمال، می‌شوند:

$$\left.\begin{aligned} ۱۲\,c+۲۵۰۸\,m=۹۹۴۸ \\ ۲۵۰۸\,c+۶۳۵۲۸۰\,m=۲۳۴۰۸۳۰ \end{aligned}\right\}$$

و

بنابراین

$$c=\frac{۹۹۴۸-۲۵۰۸\,m}{۱۲}$$

در نتیجه

$$۲۵۰۸\,\frac{(۹۹۴۸-۲۵۰۸m)}{۱۲}+۶۳۵۲۸۰\,m=۲۳۴۰۸۳۰$$

$$m=۲/۳۵۵$$

بنابراین

و $c=۳۳۶/۷۳$

بنابراین معادله بهترین برازش خط مستقیم برابر است با:

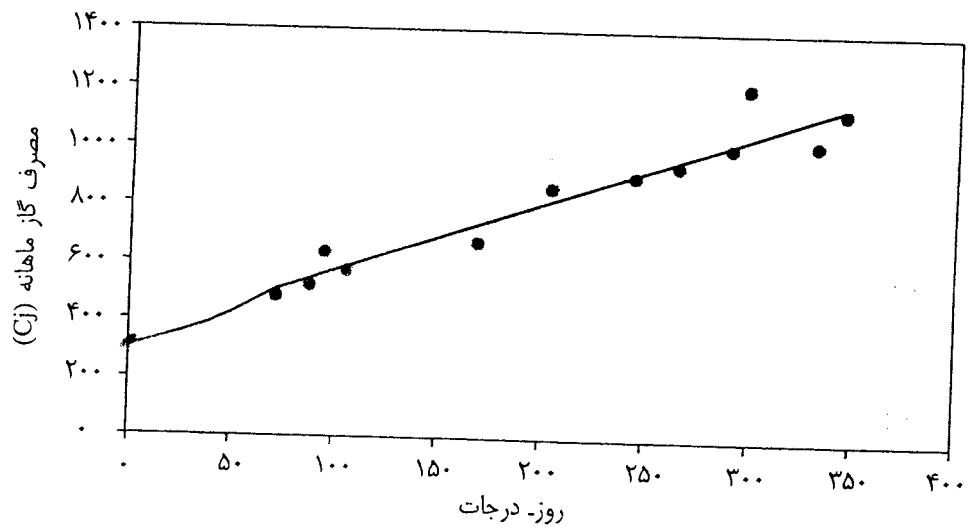
$$y=۳۳۶/۷۳+۲/۳۵۵x$$

از این معادله، می‌توان مشاهده کرد که بار پایه بطور تئوری برای ساختمان $۳۳۶/۷۳GJ$ است. نمودار منجر از تجزیه و تحلیل رگرسیون در نمودار ۴-۴ نشان داده شده است.

منحنی رگرسیون خطی در نمودار ۴-۴ نشان می‌دهد که حتی زمانیکه در یک ماه خاص روز - درجاتی برابر صفر تجربه کنیم، ساختمان هنوز $۳۳۶/۷GJ$ گاز مصرف می‌کند. این دلالت دارد بر اینکه بطور تئوری مصرف گاز بار پایه ماهانه برای بخش اغذیه و اشربه و تولید آب گرم $۳۳۶/۷GJ$ است، و اینکه مصرف بار پایه سالیانه در حدود $۴۰۴۰/۴GJ$ ($۱۶\times ۳۳۶/۷GJ$) می‌باشد.

۴-۵-۲ ضرائب همبستگی

روش تجزیه و تحلیل رگرسیون مشروحه در بخش ۴-۵-۱ قادر می‌سازد یک بهترین برازش خط مستقیم برای یک سری نمونه آماری، معین گردد. اگرچه، در برخی شرایط نقاط نمونه آماری ممکن است بسیار پراکنده باشند، با این نتیجه که معادله بدست آمده امکان دارد مفهومی‌نداشته باشد. بنابراین تعیین مقدار مطلوبیت ارتباط بهترین برازش خط با نمونه آماری حائز اهمیت است. این را می‌توان با محاسبه ضریب همبستگی پیرسون انجام داد (۳)، که نشانی از معتبر بودن خط ترسیم شده، بدست می‌دهد. ضریب همبستگی پیرسون، ارزشی است بین صفر تا یک، با ارزش یک، که معرف همبستگی ۱۰۰٪ است. می‌توان ضریب همبستگی پیرسون (r) را با استفاده از معادله (۴-۴) معین کرد.



نمودار ۴-۴ تجزیه و تحلیل رگرسیون برای ساختمان بیمارستان

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{[\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2]}} \qquad (۴-۴)$$

که در آن x و y ارزشهای X و Y هستند، و $\bar{x}$، $\bar{y}$ متوسط ارزشهای x و y می‌باشند.

مثال ۴-۳ چگونگی امکان محاسبه ضریب همبستگی را نشان می‌دهد.

مثال ۴-۳

برای اطلاعاتی که در مثال ۴-۲ ارائه شده ضریب همبستگی را تعیین کنید.

	x	y	$(x-\bar{x})$	$(y-\bar{y})$	$(x-\bar{x})(y-\bar{y})$	$(x-\bar{x})^2$	$(y-\bar{y})^2$
	۷۲	۴۸۲	-۱۳۷	-۳۴۷	۴۷۵۳۹	۱۸۷۶۹	۱۲۰۴۰۹
	۸۸	۵۲۰	-۱۲۱	-۳۰۹	۳۷۳۸۹	۱۴۶۴۱	۹۵۴۸۱
	۹۵	۶۳۴	-۱۱۴	-۱۹۵	۲۲۲۳۰	۱۲۹۹۶	۳۸۰۲۵
	۱۰۶	۵۷۰	-۱۰۳	-۲۵۹	۲۶۶۷۷	۱۰۶۰۹	۶۷۰۸۱
	۱۶۹	۶۷۱	-۴۰	-۱۵۸	۶۳۲۰	۱۶۰۰	۲۴۹۶۴
	۲۰۴	۸۶۰	-۵	۳۱	-۱۵۵	۲۵	۹۶۱
	۲۴۴	۹۰۳	۳۵	۷۴	۲۵۹۰	۱۲۲۵	۵۴۷۶
	۲۶۵	۹۴۰	۵۶	۱۱۱	۶۲۶۱	۳۱۳۶	۱۲۳۲۱
	۲۹۰	۱۰۰۷	۸۱	۱۷۸	۱۴۴۱۸	۶۵۶۱	۳۱۶۸۴
	۲۹۵	۱۲۱۰	۸۹	۳۸۱	۳۳۹۰۹	۷۹۲۱	۱۴۵۱۶۱
	۳۳۲	۱۰۲۰	۱۲۳	۱۹۱	۲۳۴۹۳	۱۵۱۲۹	۳۶۴۸۱
	۳۴۵	۱۱۳۱	۱۳۶	۳۰۲	۴۱۰۷۲	۱۸۴۹۶	۹۱۲۰۴
Σ	۲۵۰۸	۹۹۴۸	۰	۰	۲۶۱۶۹۸	۱۱۱۱۰۸	۶۶۹۲۴۸

بنابراین

$$r=\frac{۲۶۱۶۹۸}{\sqrt{(۱۱۱\,۱۰۸\times۶۶۹\,۲۴۸)}}=۰/۹۶$$

جدول ۴-۸ حداقل قابل قبول ضرائب همبستگی برای تعدادی از نمونه‌های آماری را نشان می‌دهد.

از جدول ۴-۸ می‌توان مشاهده کرد که ضریب همبستگی در مثال ۴-۳ بسیار خوب است.

جدول ۴-۸ ضرائب همبستگی حداقل (۴)

ضرائب همبستگی حداقل	تعداد نمونه‌های آماری
۰/۷۶۷	۱۰
۰/۶۴۱	۱۵
۰/۵۶۱	۲۰
۰/۵۰۶	۲۵
۰/۴۶۴	۳۰
۰/۴۲۵	۳۵
۰/۴۰۲	۴۰
۰/۳۸۰	۴۵
۰/۳۶۲	۵۰

۴-۵-۳ تجزیه و تحلیل چند متغیره‌ای

اغلب مصرف انرژی می‌تواند تحت تأثیر تعداد متغیرهای مختلف باشد. در چنین زمانی ارتباط بین را می‌توان بوسیله معادله ذیل شرح داد:

$$y=c+m_1x_1+m_2x_2+...+m_n\,x_n \qquad (۵-۴)$$

که در آن $x_1, x_2, ..., x_n$ متغیرهائی هستند که y را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

مثالهای که در آن متغیرهای چندگانه می‌توانند مصرف انرژی را تحت تأثیر قرار دهند:

- یک ساختمان کارخانه: که در آن مصرف انرژی با حجم تولید و ساعات تاریکی تجربه شده تحت تأثیر است؛ یا
- یک ساختمان اداری با تهویه مطبوع: که در آن مصرف انرژی با روز ـ درجات سرمایشی و ساعات تاریکی تجربه شده تحت تأثیر است.

حل تجزیه و تحلیل چند متغیره‌ای با محاسبات دستی مشکل است. بنابراین استفاده از

متخصص نرم‌افزار کامپیوتر که می‌توان برای تعیین رابطه آماری بین متغیرها بکار گرفت، توصیه می‌شود.

Min tab & EViews

۶-۴ CUSUM[1]

تجزیه و تحلیل رگرسیون قادر می‌سازد ارتباط بین مصرف انرژی و متغیرهائی مانند روز - درجات گرمایشی برای یک مقطع زمانی معین، ایجاد شود. آن را می‌توان جهت ایجاد خط پایه‌ای برای معادله استاندارد اجرائی، که در مقابل آن مصرف انرژی بعدی را می‌توان اندازه‌گیری کرد، بکار گرفت. یک تکنیک که می‌توان برای برآورد مصرف انرژی بکاربرد تحت عنوان *CUSUM* شناخته شده، که سرواژه‌ای است برای "روش جمع مرکب انحراف" (۵ و ۲) و معیاری است از انحراف تدریجی از الگوی مصرف استاندارد. محاسبه آن آسان بوده و مستلزم حاصل جمع مرکب تفاوتهای بین مصرف انرژی واقعی و مصرف انرژی هدف گذاری شده، یا خط پایه، می‌باشد. ارزشهای خط پایه باید از معادله استاندارد اجرائی محاسبه گردد که از طریق تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده در خلال یک مقطع زمان نظارتی قبل از انجام هرگونه مداخله، بدست می‌آید.

در راستای ترسیم یک *CUSUM* گام‌های ذیل باید برداشته شود:

(I) یک نمودار پراکندگی از دو متغیر تحت ملاحظه (مشابه همان که در نمودار ۴-۴ نشان داده شده است) برای مقطع زمانی "خط پایه" ترسیم کرده و یک معادله استاندارد اجرائی به شکلی که در بخش ۴-۵-۱ شرح داده شده، بدست آورید.

(II) این معادله استاندارد اجرائی را برای محاسبه مصرف انرژی تخمینی برای هرماه، استفاده کنید (شامل مقطعی که توسط خط پایه و هرماه مورد مطالعه بعدی تحت پوشش قرار می‌گیرد).

(III) برای هر نقطه آماری (برای هر ماه)، مصرف تخمینی را از مصرف واقعی کسر نمائید.

(IV) برای هر نقطه آماری، جمع مرکب انحراف از مصرف تخمینی را بدست آورید؛ این ارزش *CUSUM* برای هر نقطه آماری را بدست می‌دهد.

(V) ارزشهای *CUSUM* در مقابل زمان را ترسیم کنید.

1- Cumulative Sum deviation method

فرآیند *CUSUM* در مثال ۴-۴ نمایش داده شده است، که مصرف گاز برای یک ساختمان اداری برای یک مقطع زمانی بالغ بر ۴۴ ماه را نشان می‌دهد

مثال ۴-۴

مُمیزی انرژی یک ساختمان اداری برای مقطع زمانی اوت ۱۹۸۹ تا دسامبر ۱۹۹۰، اطلاعات گاز مصرفی بشرح ذیل را تولید کرد:

روز-درجات گرمایشی	گاز مصرفی *(kWh)*	ماه	سال
۱۸	۱۵۴۹۰	اوت	۱۹۸۹
۳۶	۲۳۷۰۰	سپتامبر	
۱۰۹	۵۵۶۷۳	اکتبر	
۱۹۹	۹۴۳۸۲	نوامبر	
۲۳۹	۱۰۶۶۸۳	دسامبر	
۲۴۷	۱۱۰۷۴۵	ژانویه	۱۹۹۰
۲۱۰	۹۶۴۵۸	فوریه	
۲۰۷	۹۵۹۰۳	مارس	
۱۹۵	۹۳۲۶۵	آوریل	
۱۱۷	۶۰۰۴۵	مه	
۵۸	۳۲۲۶۷	ژوئن	
۲۴	۱۸۸۴۹	ژوئیه	
۱۲	۱۲۴۳۵	اوت	
۶۰	۳۲۷۷۵	سپتامبر	
۹۵	۴۳۹۲۴	اکتبر	
۲۰۱	۹۵۰۱۲	نوامبر	
۲۸۰	۱۲۹۵۰۵	دسامبر	

برنامه نظارتی بعدی، گاز مصرفی برای مقطع زمانی ژانویه ۱۹۹۱ تا مارس ۱۹۹۳ را بشرح ذیل یافت:

روز-درجات گرمایشی	گاز مصرفی *(kWh)*	ماه	سال
۳۰۸	۱۴۰۰۲۲	ژانویه	۱۹۹۱
۳۳۸	۱۸۰۰۳۴	فوریه	
۲۱۴	۱۱۸۵۲۴	مارس	
۲۰۱	۱۱۲۰۴۵	آوریل	
۱۰۸	۶۴۰۴۵	مه	
۶۷	۳۷۷۲۴	ژوئن	
۲۴	۱۸۴۹۰	ژوئیه	
۲۱	۱۷۰۴۵	اوت	
۳۵	۲۲۴۸۳	سپتامبر	
۱۴۰	۶۶۲۷۵	اکتبر	
۲۱۹	۱۰۱۰۴۰	نوامبر	
۲۶۲	۱۲۰۵۰۰	دسامبر	
۳۲۳	۱۴۴۲۴۰	ژانویه	۱۹۹۲
۲۷۱	۱۲۳۱۴۰	فوریه	
۲۳۲	۹۱۵۰۰	مارس	
۱۹۵	۷۸۰۴۱	آوریل	
۹۶	۴۱۰۰۴	مه	
۳۹	۲۰۵۴۹	ژوئن	
۱۸	۱۳۴۶۱	ژوئیه	
۲۶	۱۶۰۶۲	اوت	
۶۱	۲۸۷۴۰	سپتامبر	
۱۰۳	۴۴۴۶۷	اکتبر	
۱۹۷	۷۷۲۰۶	نوامبر	
۲۹۰	۱۱۲۴۴۲	دسامبر	
۲۶۰	۹۸۹۵۰	ژانویه	۱۹۹۳
۲۵۳	۹۸۳۹۹	فوریه	
۲۵۰	۹۷۷۶۰	مارس	

با توجه به اطلاعات بالا یک ترسیم *CUSUM* برای ساختمان ایجاد کنید.

راه‌حل

با استفاده از تکنیک رگرسیون خطی مشروحه در بخش ۴-۵-۱ معادله استاندارد اجرائی برای مقطع زمانی خط پایه عبارتست از:

گاز مصرفی ماهانه = ۷۷۴۴/۷ + (۴۲۷/۱۶ × (روز-درجات))

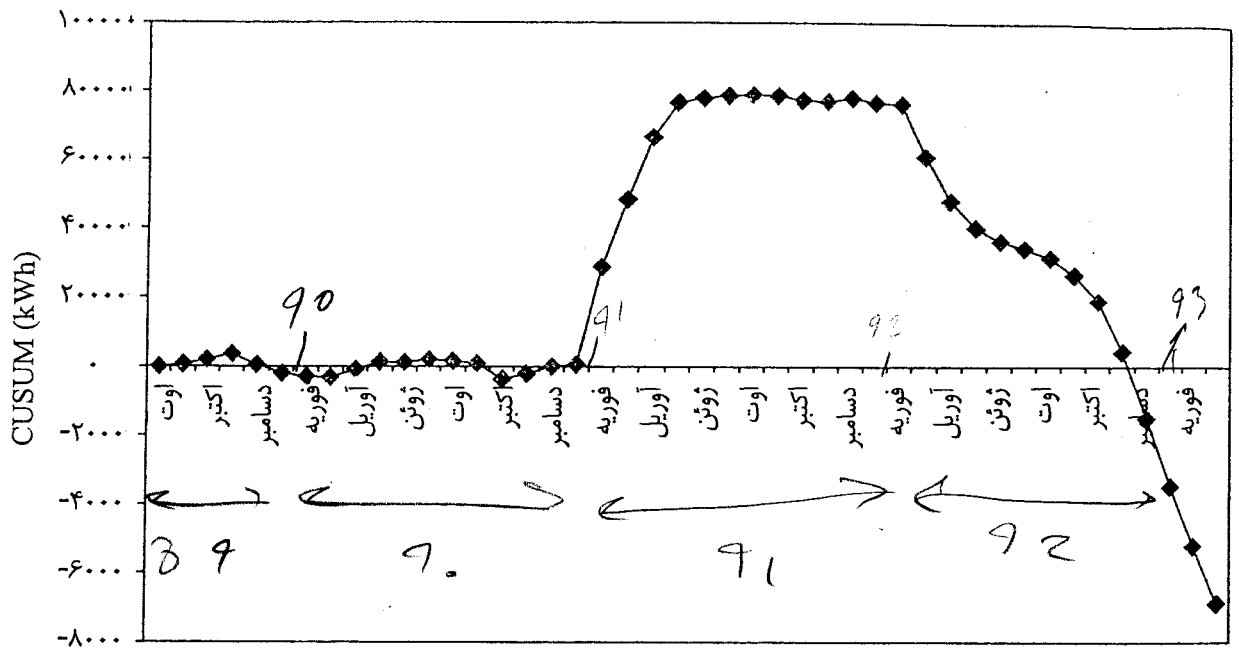
زمانی که این ایجاد شد، تولید نتایج *CUSUM* میسر است. همانگونه که در جدول ۴-۹ نشان داده شده است. همانگونه که در نمودار ۴-۵ نشان داده شده است، از نتایج مندرج در جدول ۴-۹، ایجاد ترسیم *CUSUM* ممکن است.

یک بررسی اجمالی از نمودار *CUSUM* در نمودار ۴-۵ آشکار می‌سازد که دو اتفاق عمده در خلال مقطع زمان نظارتی بوقوع پیوست، یکی در فوریه ۱۹۹۱، زمانی که مصرف انرژی بطور چشمگیری افزایش یافت، و دیگری در فوریه ۱۹۹۲ زمانی که شروع به کاهش نمود. در حقیقت بررسی‌های بیشتر آشکار نمود که:

جدول ۴-۹ محاسبه *CUSUM*

سال	ماه	گازمصرفی *(kWh)* (۱)	روز-درجات گرمایشی (۲)	گازمصرفی هدف‌گذاری‌شده *(kWh)* (۳)	تفاوت(۳-۱) *(kWh)* (۴)	*CUSUM* *(kWh)* (۵)
۱۹۸۹	اوت	۱۵۴۹۰	۱۸	۱۵۴۳۴	۵۶	۵۶
	سپتامبر	۲۳۷۰۰	۳۶	۲۳۱۲۲	۵۷۸	۶۳۴
	اکتبر	۵۵۶۷۳	۱۰۹	۵۴۳۰۵	۱۳۶۸	۲۰۰۲
	نوامبر	۹۴۳۸۲	۱۹۹	۹۲۷۴۹	۱۶۳۳	۳۶۳۵
	دسامبر	۱۰۶۶۸۳	۲۳۹	۱۰۹۸۳۵	-۳۱۵۲	۴۸۳
۱۹۹۰	ژانویه	۱۱۰۷۴۵	۲۴۷	۱۱۳۲۵۲	-۲۵۰۷	-۲۰۲۴
	فوریه	۹۶۴۵۸	۲۱۰	۹۷۴۴۸	-۹۹۰	-۳۰۱۴
	مارس	۹۵۹۰۳	۲۰۷	۹۶۱۶۶	-۲۶۳	-۳۲۷۷
	آوریل	۹۳۲۶۵	۱۹۵	۹۱۰۴۰	۲۲۵	-۱۰۵۲
	مه	۶۰۰۴۵	۱۱۷	۵۷۷۲۲	۲۳۲۳	۱۲۷۰
	ژوئن	۳۲۲۶۷	۵۸	۳۲۵۲۰	-۲۵۳	۱۰۱۸
	ژوئیه	۱۸۸۴۹	۲۴	۱۷۹۹۶	۸۵۳	۱۸۷۰
	اوت	۱۲۴۳۵	۱۲	۱۲۸۷۱	-۴۳۶	۱۴۳۵
	سپتامبر	۳۲۷۷۵	۶۰	۳۳۳۷۴	-۵۹۹	۸۳۶
	اکتبر	۴۳۹۲۴	۹۵	۴۸۳۲۵	-۴۴۰۱	-۳۵۶۵
	نوامبر	۹۵۰۱۲	۲۰۱	۹۳۶۰۳	۱۴۰۹	-۲۱۵۶
	دسامبر	۱۲۹۵۰۵	۲۸۰	۱۲۷۳۴۹	۲۱۵۶	۰
۱۹۹۱	ژانویه	۱۴۰۰۲۲	۳۰۸	۱۳۹۳۰۹	۷۱۳	۷۱۳
	فوریه	۱۸۰۰۳۴	۳۳۸	۱۵۲۱۲۴	۲۷۹۱۰	۲۸۶۲۳
	مارس	۱۱۸۵۲۴	۲۱۴	۹۹۱۵۶	۱۹۳۶۸	۴۷۹۹۱
	آوریل	۱۱۲۰۴۵	۲۰۱	۹۳۶۰۳	۱۸۴۴۲	۶۶۴۳۳
	مه	۶۴۰۴۵	۱۰۸	۵۳۸۴۷	۱۰۱۶۷	۷۶۶۰۰
	ژوئن	۳۷۷۲۴	۶۷	۳۶۳۶۴	۱۳۶۰	۷۷۹۶۰
	ژوئیه	۱۸۴۹۰	۲۴	۱۷۹۹۶	۴۹۴	۷۸۴۵۳
	اوت	۱۷۰۴۵	۲۱	۱۶۷۱۵	۳۳۰	۷۸۷۸۳

	سپتامبر	۲۲۴۸۳	۳۵	۲۲۶۹۵	-۲۱۲	۷۸۵۷۱
	اکتبر	۶۶۲۷۵	۱۴۰	۶۷۵۴۷	-۱۲۷۲	۷۷۲۹۹
	نوامبر	۱۰۱۰۴۰	۲۱۹	۱۰۱۲۹۲	-۲۵۲	۷۷۰۴۷
	دسامبر	۱۲۰۵۰۰	۲۶۲	۱۱۹۶۶۰	۸۴۰	۷۷۸۸۸
۱۹۹۲	ژانویه	۱۴۴۲۴۰	۳۲۳	۱۴۵۷۱۶	-۱۴۷۶	۷۶۴۱۱
	فوریه	۱۲۳۱۴۰	۲۷۱	۱۲۳۵۰۴	-۳۶۴	۷۶۰۴۷
	مارس	۹۱۵۰۰	۲۳۲	۱۰۶۸۴۵	-۱۵۳۴۵	۶۰۷۰۲
	آوریل	۷۸۰۴۱	۱۹۵	۹۱۰۴۰	-۱۲۹۹۹	۴۷۷۰۳
	مه	۴۱۰۰۴	۹۶	۴۸۷۵۲	-۷۷۴۸	۳۹۹۵۵
	ژوئن	۲۰۵۴۹	۳۹	۲۴۴۰۴	-۳۸۵۵	۳۶۱۰۰
	ژوئیه	۱۳۴۶۱	۱۸	۱۵۴۳۴	-۱۹۷۳	۳۴۱۲۷
	اوت	۱۶۰۶۲	۲۶	۱۸۸۵۱	-۲۷۸۹	۳۱۳۳۹
	سپتامبر	۲۸۷۴۰	۶۱	۳۳۸۰۱	-۵۰۶۱	۲۶۲۷۷
	اکتبر	۴۴۴۶۷	۱۰۳	۵۱۷۴۲	-۷۲۷۵	۱۹۰۰۲
	نوامبر	۷۷۲۰۶	۱۹۷	۹۱۸۹۵	-۱۴۶۸۹	۴۳۱۴
	دسامبر	۱۱۲۴۴۲	۲۹۰	۱۳۱۶۲۰	-۱۹۱۷۸	-۱۴۸۶۴
۱۹۹۳	ژانویه	۹۸۹۵۰	۲۶۰	۱۱۸۸۰۶	-۱۹۸۵۶	-۳۴۷۲۰
	فوریه	۹۸۳۹۹	۲۵۳	۱۱۵۸۱۵	-۱۷۴۱۶	-۵۲۱۳۶
	مارس	۹۷۷۶۰	۲۵۰	۱۱۴۵۳۴	-۱۶۷۷۴	-۶۸۹۱۰



نمودار ۴-۵ نمودار *CUSUM*

● در فوریه ۱۹۹۱ ساعت زمانی نصب شده بر روی سیستم گرمایشی اشتباه میزان شده بود، لذا گرمایش تا ساعت ۲۲ ادامه داشت و منتهی به یک افزایش چشمگیر در گاز مصرفی شد. این مسئله در ماه مه ۱۹۹۱ شناسائی و اصلاح شد، در نقطه‌ای که رسم *CUSUM* به شیبی مشابه آنچه که در خلال زمان خط پایه تجربه شده بود. برگشت.

● در فوریه ۱۹۹۲ پنجره‌های قدیمی یک جداره در ساختمان اداری با پنجره‌های دو جداره تعویض شد، لذا منجر به کاهش در مصرف انرژی گردید. هم چنین باید متذکر شد که:

● در خلال ماههای تابستان دامنه شیب خط *CUSUM* به سبب کاهش تقاضا در گرمایش، کمتر شد.

● خط پایه باید همیشه یک خط افقی از مبدأ صفر باشد. این به وضوح به آن سبب است که بهترین برازش خط مستقیم برای نمونه‌های آماری بوقوع پیوسته در خلال مقطع زمانی خط پایه است. نمونه‌های واقعی در خلال این مدت احتمال دارد از ارقام خط پایه تخمینی منحرف شوند، لیکن رسم *CUSUM* همیشه در اطراف صفر نوسان خواهد کرد.

● هرچه خط *CUSUM* دامنه شیب نزولی بزرگتری داشته باشد، فرآیند دارای بازدهی انرژی بیشتری است.

References

1. Energy audits and surveys. (1991). CIBSE Applications Manual AM5.
2. Waste avoidance methods. (1995). Fuel Efficiency Booklet 13, Department of the Environment.
3. Campbell, M. J. and Machin, D. (1999). *Medical statistics: a commonsense approach.* Appendix 1. John Wiley and Sons.
4. Measurement of energy consumption: CIBSE Building Energy Code Part 4. (1982). CIBSE.
5. Harris, P. (1985). Monitoring consumption and setting targets. *Energy Manager's Workbook,* 2 (Chapter 2), Energy Publications.

Bibliography

Contract energy management. (1991). CIBSE Applications Manual AM6.

Eastop, T. D. and Croft, D. R. (1990). *Energy efficiency for engineers and technologists* (Chapters 7 and 9). Longman Scientific & Technical.

Energy audits and surveys. (1991). CIBSE Applications Manual AM5.

Harris, P. (1985). Monitoring consumption and setting targets. *Energy Manager's Workbook,* 2 (Chapter 2), Energy Publications.

Moss, K. J. (1997). *Energy Management and Operating Costs in Buildings* (Chapter 10). E&FN Spon.

بخش پنجم

ممیزی‌ها و مساحی‌های انرژی

قبل از اینکه بتوان هر گونه اقدامات صرفه‌جوئی انرژی در درون یک سازمان اتخاذ نمود، در ابتدا لازم است از طریق یک فرآیند مُمیزی اطلاعات جامع انرژی جمع‌آوری گردد. این بخش بر اعمال مُمیزی انرژی تمرکز کرده و روشهای درگیر را تشریح می‌کند. تفاوتهای بین ممیزهای ابتدائی، هدف‌گذاری شده و جامع مورد بحث قرار گرفته و روشهای مرتبط با هر نوع بزرگنمائی می‌شود. موضوع مساحی‌های انرژی نیز مورد بحث واقع می‌شود.

۵-۱ مقدمه

شباهت فزاینده‌ای بین حرفه پزشکی و زمینه مدیریت انرژی وجود دارد. اگر بیماری با یک شکوه پزشکی خود را نزد دکتری معرفی کند، دکتر در ابتدا باید بطور دقیق وضعیت بیمار را قبل از اتخاذ قدمهای بعدی، مشخص کند. دکتر باید با پرسیدن سؤالات آگاهانه از بیمار اطلاعات کسب کند، احتمالاً آزمایشاتی انجام دهد، در راستای تشخیص ناراحتی دانش و تخصص خود را بکار گیرد و نهایتاً درمان را تجویز کند. در رفتاری مشابه، قبل از اینکه بتوان هر گونه مشکلات انرژی را درمان کرد در ابتدا لازم است وضعیت کنونی مصرف انرژی هر تأسیسات یا سازمانی را معین نمود و سپس به تشخیص مسائل موجود همت گمارد. در جهت انجام این مهم باید یک مُمیزی انرژی اتخاذ شده و تجزیه و تحلیل بر روی اطلاعات جمع‌آوری شده انجام گیرد.

یک مُمیزی انرژی عبارتست از ایجاد مطالعه امکان‌سنجی و به کمیت درآوردن ورودیهای مختلف انرژی به، و جریان داخلی، یک تأسیسات یا سازمان در خلال زمانی معین. هدف کلی یک مُمیزی انرژی عبارتست از شناخت کارآمد و اقدامات "هزینه مؤثر" انرژی که هزینه‌های عملیاتی را کاهش خواهد داد. مُمیزی‌های انرژی می‌تواند فرمهای مختلفی به خود بگیرد، لیکن معمولاً فرآیند، درگیر جمع‌آوری اطلاعات از قبوض انرژی و کنتورهاست، و انجام مساحی‌ها از تأسیسات، دستگاهها و ساختمانهاست، همینطور جمع‌آوری اطلاعات از مدیران و سایر کارکنان سازمان می‌باشد. فرآیند مُمیزی باید راههای ارتقاء بازدهی عملیاتی یک سازمان و کاهش هزینه‌های نگهداری آنرا شناسائی کند. به علاوه، فرآیند باید به حل مشکل رفاهی ساکنین که ممکن است

موجود باشد، کمک نماید. یک مُمیزی انرژی باید بعنوان یک زیربنا نگریسته شود که بر روی آن هر برنامه مدیریت انرژی دیگر ساخته می‌شود. برنامه‌های مدیریت انرژی (به جزئیات در بخش ۷ بحث شده است) مستلزم نظارت مستمر و هدف‌گذاری مصرف انرژی است. قبل از اینکه بتوان هدف‌گذاری نمود، یا نظارت مؤثر اتخاذ کرد، اهمیت دارد که موارد ذیل را ایجاد کرد:

- مصرف انرژی خط پایه؛
- الگوهای اجرائی و عملیات کاری مورد استفاده؛
- وضعیت ساختمانها، تأسیسات و دستگاه‌های سازمان؛ و
- فرصت‌های مدیریت انرژی، که منجر به کاهش هزینه‌های انرژی می‌گردد.

این اطلاعات را فقط می‌توان با اجرای یک مُمیزی کامل انرژی از تأسیسات یک سازمان، به دست آورد.

یک مُمیزی انرژی باید آن مواردی که نیاز به عملکرد مستقیم فوری دارند، همینطور آن مواردی که نیازمند بررسی‌های دقیق بیشتری هستند را، شناسائی کند. هم‌چنین باید اطلاعاتی که می‌توان برای توجیه سرمایه‌گذاریهای آتی از آنها استفاده کرد را، تولید کرده، و در درون سازمان آگاهیهای عمومی‌نسبت به موضوعات صرفه‌جوئی انرژی را ارتقاء دهد. منافع مالی فراهم آمده برای یک سازمان از طریق مُمیزی انرژی هم مستقیم و هم غیرمستقیم هر دو وجود دارند. عواید مستقیم بسیار واضح‌اند؛ با کاهش مصرف انرژی می‌توان به صرفه‌جوئیهای هزینه انرژی نائل آمد، یا به سادگی با تغییر نوع سوخت یا تعرفه این کار را کرد. منافع غیرمستقیم وضوح کمتری دارند. کاهش هزینه‌های نگهداری از بهره‌گیری بهینه تأسیسات و کاهش ساعات عملیات، منجر خواهد شد. هم‌چنین، بهره‌گیری بهینه از تأسیسات احتمالاً نتیجه در حذف ظرفیت مازاد تأسیسات و نهایتاً کاهش هزینه سرمایه‌گذاری، دارد.

فرآیند مُمیزی باید "فرصت‌های مدیریت انرژی" را شناسائی کند، که زمانیکه اجرا گردید به عواید مالی برای یک سازمان منجر خواهد شد. ابعاد این منافع مالی الزاماً بستگی به سطح سرمایه‌گذاری ندارد. در بسیاری مواقع صرفه‌جوئیهای هزینه‌ای عمده را می‌توان از طریق اعمال اقدامات بدون هزینه و یا کم‌هزینه بدست آورد مانند:

- تغییر یک تعرفه انرژی؛
- دوباره برنامه‌ریزی فعالیتهای تولیدی جهت بهره‌گیری از تعرفه‌های ترجیحی؛
- تنظیم کنترلهای موجود تا عملیات اجرائی تأسیسات هماهنگ با نیازهای واقعی ساختمان یا فرآیند تولید باشند؛
- اجرای سیاستهای مراقب و نگهداری‌های صحیح، که کارکنان را تشویق به پرهیز از اعمالی که سبب هدر دادن انرژی می‌شود، می‌نماید؛
- سرمایه‌گذاری در اقلام کوچک سرمایه‌ای به مانند ترموستات‌ها و کلیدهای زمانی.

اگرچه از طریق اقدامات کم هزینه، به بسیاری موارد می‌توان نائل آمد، لیکن برخی اوقات اتخاذ اقدامات سرمایه بر بیشتر الزامی است، به مانند جابجائی تأسیسات مستهلک یا احداث یک سیستم مدیریت ساختمان (*BMS*)[1]. به سبب میزان سرمایه درگیر در چنینی اقداماتی، تصمیمات سرمایه‌گذاری در آنها معمولاً توسط مدیران ارشد اتخاذ می‌گردد (بخش ۶ را ملاحظه کنید). در این وضعیت نتایج یک مُمیزی انرژی می‌تواند برای توجیه سرمایه‌گذاری مورد استفاده قرار گیرد.

۵-۲ انواع مُمیزی انرژی

اگر چه تنوع گسترده‌ای وجود دارد، مُمیزی انرژی را می‌توان عمدتاً به مُمیزی‌های ابتدائی، هدف‌گذاری شده و جامع رتبه بندی کرد. هر نوع با سطح دقت درگیر و عمق تجزیه و تحلیل اتخاذی متمایز شده‌اند. انتخاب نوع مُمیزی مناسب برای تأسیسات مورد نظر اهمیت دارد. مُمیزی‌های جامع درگیر مساحیهای انرژی دقیق از تأسیسات، دستگاهها و مصالح ساختمانها بوده، که فرآیندی گران و زمان بر است. بنابراین آنها نباید دست کم گرفته شوند. اغلب بهتر است مساحیهای دقیق بر زمینه‌های مسئله‌سازی که با یک مُمیزی انرژی ابتدائی نمایان شده‌اند، تمرکز یابد، در غیر اینصورت پول و زمان زیادی را می‌توان هدر داد. با انجام یک مُمیزی ابتدائی و بکارگیری روشمند یک سری تکنیک‌های تحلیلی ساده اغلب شناسائی مسائل عمده انرژی بدون نیاز به مساحیهای انرژی دقیق و گران، میسر است.

مُمیزی‌های ابتدائی انرژی در صدد ایجاد مقدار و هزینه هر نوع از انرژی مورد مصرف در یک

1- Building Management System.

تأسیسات یا در یک سازمان می‌باشند. آنها نسبتاً سریع هستند و برای تعیین پتانسیل پروژه طراحی شده‌اند؛ مُمیزی‌ها و مساحیهای دقیق‌تر انرژی را همیشه می‌توان در صورت لزوم بعداً به کار گرفت. مُمیزیهای ابتدائی در آغاز درگیر دریافت اطلاعات از قبوض انرژی و خواندن کنتورها برای یک مقطع زمانی خاص هستند، که اغلب به آخرین سال مالی مربوط می‌شود. به سبب اینکه این چنین ممیزی‌ها در آغاز به گرد آوردن اطلاعات از قبوض و صورت حسابها می‌پردازند، برخی اوقات مفید است که مُمیزی‌های ابتدائی را بعنوان مُمیزی‌های مالی انرژی بپنداریم.

مُمیزی‌های انرژی هدف گذاری شده اغلب از مُمیزی‌های ابتدائی منجر می‌شوند. آنها اطلاعات و تحلیل دقیق از پروژه‌های خاص هدف‌گذاری شده تدارک می‌کنند. برای مثال، یک سازمان ممکن است تأسیسات روشنائی یا دیگ‌های بخار خود را با نگرش ارتقاء کیفیت این دستگاهها، هدف قرار دهد. بنابراین مُمیزی‌های هدف‌گذاری شده درگیر مساحیهای دقیق اقلام مورد هدف و تحلیل جریانات انرژی و هزینه‌های مرتبط با این اهداف، می‌شوند. آنها باید پیشنهاداتی را در رابطه با اقدام اتخاذی ارائه دهند.

مُمیزی‌های جامع انرژی اطلاعات دقیق در ورودیهای انرژی به، و جریانات انرژی داخل، یک تأسیسات یا سازمان را، تدارک می‌کنند. آنها باید طرحهای دقیق عملیاتی پروژه انرژی را تولید کنند. چنین مُمیزی‌هائی درگیر مساحیهای دقیق انرژی بوده و ممکن است مستلزم بکارگیری نرم‌افزار شبیه‌سازی پیچیده کامپیوتری انرژی نیز باشند.

در حالیکه کارکنان داخلی توان انجام مُمیزی‌ها را دارند، آنها عموماً یا توسط مشاوران انرژی متخصص یا شرکتهای خدماتی انرژی انجام می‌شوند. شرکتهای خدماتی انرژی از طریق قراردادهای اجرائی پول می‌سازند، که صرفه‌جوئیهای هزینه‌ای انرژی سازمانها را در مقابل حق‌المشاوره تضمین می‌کنند. در شرکتهای خدماتی انرژی نفع عمده در خود مُمیزی مستتر نیست، بلکه در احداث و مدیریت تأسیسات بر طبق پیشنهادات آنها نهفته است. بعضی شرکتها ممکن است حتی ترتیب تأمین مالی چنین پروژه‌هائی را بدهند. زمانی که شرکت خدماتی انرژی را به کار می‌گیریم مهم است بخاطر داشته باشیم که آنها دارای نفع نهادینه‌ای از ماحصل هر مُمیزی انرژی بوده و ممکن است که آنها کاملاً بیطرفانه عمل نکنند. در مقابل، مشاوران انرژی، مستقل هستند و بنابراین باید نظر واقعی ارائه دهد.

۵-۲-۱ هزینه‌های مُمیزی

مُمیزی‌های انرژی می‌توانند تعهدات گرانی باشند. جدول ۵-۱ اطلاعات حاصله توسط کمیسیون انرژی کالیفرنیا برای هزینه انجام یک مُمیزی انرژی در ایالات متحده امریکا را نشان می‌دهد (۱).

از جدول ۵-۱ می‌توان مشاهده کرد که هر چه مُمیزی پیچیده‌تر باشد، هزینه‌های درگیر بیشتر خواهند بود. بنابراین انتخاب مناسب سطح مُمیزی برای هر کاربرد خاص اهمیت دارد.

هزینه‌های مُمیزی تحت تأثیر پیچیدگی تأسیسات تحت ملاحظه هستند. برای مثال مُمیزی تأسیسات پیچیده‌ای نظیر بیمارستانها یا دانشگاهها به نسبت مدارس هزینه برتر هستند. عمر تأسیسات هم ممکن است در هزینه مؤثر باشد. برای مثال، اگر یک سیستم مکانیکی پیچیده بوده و نقشه‌های زمان ساخت آن یا در دسترس نبوده و یا تاریخ گذشته باشند، آنگاه ممیزان انرژی ممکن است نقشه‌های شمائی ایجاد کنند. این می‌تواند بسیار زمان بر بوده و به وضوح هزینه‌های مُمیزی را به طور زیادی افزایش دهد. با در نظر داشتن هزینه دخیل، اهمیت دارد که سازمانها با آمادگی پیشاپیش برای مُمیزی، به ممیزان خود را یاری کنند و تیم مُمیزی را تا حد امکان با اطلاعات مرتبط، تدارک نمایند. صورتحساب‌های انرژی، فاکتورهای سوخت، کنتورخوانی‌ها و یادداشت‌های عملیاتی، یا هر سیستم مرتبط دیگر یا نقشه‌های ساختمان مجموعاً، باید گردآوری شود. سازمانها هم‌چنین باید تیم مدیریتی خود را مطلع کنند که یک مُمیزی انرژی در حال انجام است و ترتیبی برای ملاقات ممیزان با مدیران کلیدی و دیگر کارکنان مرتبط، اتخاذ کند.

جدول ۵-۱ هزینه‌های مُمیزی انرژی در ایالات متحده امریکا

نوع مُمیزی انرژی	نمونه هزینه (نرخ دلار ۱۹۹۷) (فوت مربع / $)
مُمیزی ابتدائی	هر متر مربع ۰/۳۳۳ $-۰/۱۴۴ $
مُمیزی هدف‌گذاری شده	(پروژه‌های روشنائی) هر متر مربع۰/۷۷۸ $-۰/۳۳۳ $
	(پروژه‌های کنترل و *HVAC*) هر متر مربع ۱/۰۰ $-۰/۵۵۶ $
مُمیزی جامع	(کمتر از ۴۵۰۰ متر مربع)هر متر مربع ۵/۵۵۶ $-۲/۰۰ $
	(بیش از ۲۲۵۰۰ متر مربع) هر متر مربع ۱/۳۳۳ $ کمتر از

۵-۳ چرا انرژی هدر می‌رود؟

قبل از نگاهی دقیق به فرآیندهای دخیل در مُمیزی انرژی، شاید نگاه کوتاهی به دلائلی که چرا انرژی در بسیاری از سازمانها هدر می‌رود، ارزشمند باشد. انرژی اغلب به هدر می‌رود به سبب:

- طراحی ضعیف ساختمانها و تأسیسات. ساختمانها ممکن است ضعیف عایق بندی شده که این منجر به هزینه‌های بالای گرمایش فضا می‌شود، یا امکان دارد کانالهای مکانیکی تهویه کوچک بوده، لذا برق مصرفی پروانه هواکش بالاست.
- سیستمهای کنترل ناکافی. سیستمهای گرمایشی ممکن است بدون هیچ کنترل شروع بهینه‌ای، نصب شده باشند.
- ابزار کنترلی ضعیف. کنترلرهای ساعتی ممکن است نادرست میزان شده باشند لذا ساختمانها زمانی که در استفاده نیستند، گرم می‌شوند.
- عملیات تأسیساتی با بازدهی پائین، اغلب برخاسته از بکارگیری تکنولوژی قدیمی یا تاریخ گذشته بوده، موقعیتی که اغلب با عملیات نگهداری ضعیف، بدتر می‌شود.
- عملیات اجرائی و کاری ضعیف، چراغها اغلب زمانی که باید خاموش باشند، در ساختمانها روشن می‌مانند.

در حالیکه دلائل هدر رفتن انرژی چند فاکتوره است، برخی دلائل عمده به شرح ذیل هستند:

- طراحان ساختمان صورتحسابهای انرژی را نمی‌پردازند. فرآیند طراحی پیوندی تنگاتنگ با فرآیند ساخت و ساز دارد، و طراحان معمولاً راه‌حل‌هائی را انتخاب می‌کنند که هزینه سرمایه‌ای کمتری نیاز داشته باشد، و لیکن این راهها معمولاً به هزینه‌های در گردش بالاتری منجر می‌شوند. این وضعیت با این حقیقت که بودجه‌های ساخت و ساز یک تأسیسات و گرداندن آن معمولاً به کلی جدا هستند، بدتر می‌شود.
- انرژی مصرفی به عنوان یک بخشش پنداشته می‌شود. بیشترین ساکنین و استفاده‌کنندگان از ساختمان صورتحسابهای انرژی را نمی‌پردازند. آنها دلواپس راحتی شخصی خودشان هستند و بخصوص علاقمند نیستند بدانند که چه مقدار انرژی در نائل آمدن به محیطی راحت، مصرف می‌شود.
- بیشترین سازمانها دارای فرهنگ بازدهی انرژی نیستند.

- در بسیاری کشورها هزینه انرژی در مقایسه با هزینه‌های کارگری پائین است.

لیست بالا نشان می‌دهد که بیشترین هرز روی انرژی از مدیریت عملیاتی و استراتژیک ضعیف و هم‌چنین از یک عدم فرهنگ صرفه‌جوئی انرژی میان کارکنان، برمی‌خیزد. اغلب می‌توان بدون هزینه کردن و به سهولت با بهینه کردن روشهای نگهداری و تشویق عملیات کاری مناسب، صرفه‌جوئی انرژی کرد. این اغلب به مراقبت و نگهداری صحیح نسبت داده می‌شود و مستلزم اقدامات ساده‌ای نظیر ترغیب پرسنل به خاموش کردن چراغها زمانی که مورد نیاز نیستند، می‌باشد. به اجرا درآوردن روشهای نگهداری مطلوب نیز اهمیت دارد. برای مثال، اگر فیلترهای داخل سیستم انتقال هوای کانالی بطور مرتب تعویض نشوند، کثیف شده و در نتیجه انرژی مصرفی پروانه هواکش افزایش می‌یابد. تخمین زده شده است صورتحسابهای انرژی سازمانها را می‌توان تا حدود ۲۰٪ از طریق کاربرد عملیات مدیریت انرژی خوب، کاهش داد(۲). بنابراین اهمیت دارد که وجوه انسانی و مدیریتی مصرف انرژی در هر مُمیزی انرژی تحت بررسی قرار گیرند. بدون یک فرهنگ مدیریتی پشتیبان، صرفه‌جوئی انرژی پایدار در هر سازمانی مشکل است.

۵-۴ مُمیزی‌های انرژی ابتدائی

مُمیزی‌های ابتدائی سعی در به کمیت درآوردن و ارزش‌گذاری هر نوع انرژی ورودی به یک تأسیسات یا سازمان در یک مقطع زمانی را دارند. آنها هم چنین باید که در آن انرژی در داخل سازمان مصرف می‌شود، را شناسائی کنند. فرآیندهای عمده دخیل در چنین مُمیزی عبارتند از:

- جمع‌آوری اطلاعات
- تجزیه و تحلیل اطلاعات
- ارائه اطلاعات
- اولویت بندی و ارائه پیشنهادات.

در شروع هر فرآیند مُمیزی گردآوری اطلاعات ابتدائی درباره موقعیت جغرافیایی تأسیسات خاص مورد نظر به اضافه هر مشخصات متمایز مرتبط از قبیل ارتفاع و جهت، اهمیت دارد. اطلاعات آب و هوای محلی و اطلاعات روز ـ درجه در برگیرنده زمان مُمیزی نیز باید جمع‌آوری

گردد. این اطلاعات بعنوان میزانی که مصرف انرژی تأسیسات را می‌توان نسبت به آن اندازه‌گیری کرد، عمل خواهد نمود. در رابطه با تأسیسات تولیدی هم چنین جمع‌آوری اطلاعات در مورد خروجی تولید در خلال زمان مُمیزی لازم خواهد بود، زیرا این تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر مصرف انرژی خواهد داشت.

احتمالاً تنها منبع پراهمیت اطلاعات انرژی، قبض انرژی است. بنابراین بسیار مهم است که تیم مُمیزی کلیه قبوض انرژی مربوطه برای زمان انتخاب شده مُمیزی را داشته باشند. با جمع‌آوری اطلاعات از قبوض، امکان ایجاد تصویری روشن از الگوی مصرف انرژی و هزینه‌های مربوطه به یک تأسیسات با ورودیهای انرژی متنوع، میسر است. به علاوه، کل مبلغ صرف شده در انرژی را می‌توان از قبوض تعیین نموده، سپس بالاترین حدی که در نهایت می‌توان از طریق اقدامات مدیریت انرژی، صرفه‌جوئی انرژی کرد را نشان داد.

زمانی که از قبوض انرژی و سوخت اطلاعات جمع‌آوری می‌کنید، مطمئن شدن از اینکه کلیه برگه‌های قبوض خدماتی در خلال زمان مُمیزی جمع‌آوری شده، و نه آنهائیکه پرداخت آنها در زمان مُمیزی انجام پذیرفته، اهمیت دارد. هم چنین گردآوری کلیه قبوض یا یادداشتهای زمان تحویل مربوط به نفت، سوخت جامد یا گاز مایع برای مقطع مُمیزی، مهم است. به سبب اختلاف زمانی بین تحویل و مصرف، هم چنین امکان دارد وارد کردن تحویل‌هایی که قبل از شروع زمان ممیزی بوقع پیوسته، الزامی باشد. بعلاوه لازم است کلیهٔ مقادیر و نقاط تدارک کننده از قبض‌ها قابل شناسائی بوده تا به حساب کلیه ورودیهای انرژی وارد شود.

کنتور خواندنهای تخمینی باید شناسائی شوند، زیرا اینها می‌توانند به اطلاعات انحرافی بیانجامند. در راستای فائق آمدن بر مسائل مرتبط با خواندنهای تخمینی، قبوض اضافه‌تری باید جمع‌آوری گردد که ماههای مشابه قبض تخمینی را پوشش داده است، لیکن برای سالهای قبل از زمان مُمیزی باشد. این اطلاعات واقعی سپس می‌تواند با اطلاعات تخمینی جهت ایجاد اطلاعات حقیقی برای زمان مُمیزی، مقایسه گردد. که در آن امکان‌پذیر است، اطلاعات استخراجی از قبوض باید بوسیله اطلاعات گرد آمده از کنتور خوانی مستقل در زمان مُمیزی، تأیید شود.

اگر اطلاعات قبض ناکافی و یا در دسترس نباشد، آنگاه مراجعه به شرکتهای خدماتی یا تدارک کنندگان سوخت جهت کمک لازم خواهد بود.

اگرچه برای بیشترین تأسیسات شناسائی نقاط کنتور شرکتهای خدماتی انرژی نسبتاً ساده خواهد بود، در مجتمع‌های بزرگ ممکن است داشتن حساب کلیه کنتورها مشکل باشد. خدمات برق،

گاز، سوخت ممکن است از منابع متنوعی بیایند و این در قبوض منعکس خواهد شد. محوطه یک سوپرمارکت بزرگ را که دارای تأمین الکتریسیته $۱۱kV$ به مجتمع اصلی و یک ورودی تأمین $۴۱۵V$ جدا به پمپ بنزین دورتر که در همان محوطه و در تملک یک خرده فروش است را مورد ملاحظه قرار دهید. برای هر دو نوع تأمین جداگانه صورتحساب صا در شده، و ممکن است تحت تعرفه‌های مختلف باشند. دو نوع تأمین الکتریسیته حتی ممکن است از شرکتهای برق مختلفی ارسال شوند!

تجزیه و تحلیل ابتدائی قبوض انرژی اغلب در شناسائی هر ناهنجاری که بررسی بیشتر را طلب می‌کنند، می‌توانند بسیار مفید باشند. اگر یک ساختمان نسبتاً کوچک در یک محوطه به اندازه یکی از همسایگان بزرگترش گاز مصرف می‌کند، آنگاه آشکار می‌شود که چیزی اشتباه است. آنگاه می‌توان بررسی‌های بیشتر اتخاذ کرد، که ممکن است آشکار کند که مصرف گاز بالا به سبب تأسیسات گرمایشی در ساختمان کوچکی که شب هنگام زمانی که ساختمان خالی است، کار می‌کند، باشد.

با توجه به اینکه جمع‌آوری اطلاعات از قبوض برای فرآیند مُمیزی حیاتی است، اهمیت دارد که قبوض انرژی قابل درک باشند. هم چنین درک خصوصیات انواع مختلف سوخت و خدمات آب، برق، گاز... دارای اهمیت است، زیرا اینها می‌توانند تأثیری بر مصرف انرژی خود فرآیند مُمیزی داشته باشند.

۵-۴-۱ قبوض الکتریسیته

ماهیت واقعی تعرفه‌های الکتریسیته و قراردادهای عرضه به جزئیات در بخش ۲ مورد بحث واقع شد. در ادامه این بخش ما فقط تعرفه‌های ماکزیمم دیماند ماهانه را مورد ملاحظه قرار خواهیم داد، زیرا بسیاری از سازمانهای متوسط و بزرگ تعرفه‌هائی با ماهیت مشابه استفاده می‌کنند. نمودار ۵-۱ یک قبض ساده الکتریسیته، که بسیاری از ویژگیهائی که معمولاً در صورتحسابهای ماهانه الکتریسیته مندرج است، را نشان می‌دهد.

قبض الکتریسیته ماهانه نشان داده شده در نمودار ۵-۱ حاوی اطلاعات ذیل است:

- تاریخ خواندن کنتور
- نرخ حق انشعاب ماهانه، که در نمودار ۵-۱، ۳۰ پاوند است.

● کنتورخوانی‌های قبلی و فعلی با تعداد واحدهای عرضه شد. اینها معمولاً به دو سری کنتورخوانی تقسیم می‌شوند، واحدهای روزانه (نرخ پیک) و واحدهای شبانه (نرخ غیرپیک). تفاوت بین خواندنهای قبلی و فعلی، واحدهای مصرفی الکتریسیته در آن مقطع زمانی، از کنتورخوانی قبلی است. با برخی کنتورها احتمال دارد یک عدد ثابت در قبض شامل شود با حاصل ضرب کارکرد کنتور و این عدد ثابت تعداد واقعی واحدهای تأمین شده به $kVAh$ یا $kWAh$ را بدست می‌دهد.

● نرخهائی برای هر واحد از انرژی الکتریکی مصرفی. اینها معمولاً برای روز هنگام و شب هنگام متفاوت هستند. در نمودار ۵-۱ نرخ پیک برای هر $۶/۰۵kVAh$ پنس است و نرخ غیرپیک برای هر $۲/۶۰kVAh$ پنس می‌باشد. برخی اوقات بلوکهائی از واحدهای مصرفی با نرخهای متفاوت اخذ می‌شود. بعضی تعرفه‌ها یک نرخ واحد بالاتر برای اولین $۱۰۰۰kVAh$ یا $kVAh$ مصرفی وضع می‌کنند.

تاریخ خواندن کنتور		خواندنهای کنتور	
	واحدهای مصرف شده	قبلی	فعلی
	۲۲۹۳۱	۲۲۴۵۲۰	۲۴۷۴۵۱
	۹۸۲۸ (شب)	۱۷۴۷۰۲ (شب)	۱۸۴۵۳۰ (شب)
۳۰۰ *kVA*	**ماکزیمم‌دیماند سالیانه**	۲۷۰ *kVA*	**ماکزیمم‌دیماند این‌ماه**

نرخ ٪	مالیات	مبلغ‌بدون مالیات	نرخ	تعداد واحدها یا *kVA*	شرح نرخ
۱۷/۵۰	۵/۲۵	۳۰/۰۰	£۳۰/۰۰		نرخ ماهانه
۱۷/۵۰	۷۴/۰۳	۴۲۳/۰۰	£۱/۴۱	۳۰۰/۰	نرخ مقدوریت
۱۷/۵۰	۲۵۲/۷۹	۱۴۴۴/۵۰	۵/۳۵	۲۷۰/۰	نرخ ماکزیمم دیماند
۱۷/۵۰	۲۴۲/۷۸	۱۳۸۷/۳۲	۶/۰۵*P*	۲۲۹۳۱	نرخ واحد
۱۷/۵۰	۴۴/۷۲	۲۵۵/۵۳	۲/۶۰*P*	۹۸۲۸	واحدهای شب هنگام
	۶۱۹/۵۷	۳۵۴۰/۳۵	جمع £۴۱۵۹/۹۲	جمع	

نمودار ۵-۱ صورت حساب الکتریسیته ماهانه

● یک نرخ ماکزیمم دیماند ماهانه برابر هر *kVA* یا *kW* از دیماند برق پیک واقع شده در خلال ماه صورتحساب. نرخهای ماکزیمم دیماند برای جریمه کردن مصرف کنندگان، آن کسانیکه تقاضاهای سنگین بر شبکه در خلال زمانهای پیک تحمیل می‌کنند، طراحی شده است. آنها در طول سال تفاوت می‌کنند؛ در کشورهای شمالی به مانند بریتانیا، آنها در بالاترین قیمت خود در دسامبر و ژانویه و در پائین‌ترین یا نبود کامل، در خلال تابستان هستند. در کشورهای گرم که در آن دستگاههای تهویه مستمراً مورد استفاده قرار می‌گیرند، وضعیت بالعکس است بالاترین نرخهای

تقاضا در تابستان اعمال می‌شود. نرخهای دیماند اغلب درجه بندی شده و برای اوقات مختلف سال با نرخهای متفاوت اعمال می‌شود. نمودار ۵-۱ یک ماکزیمم دیماند ۲۷۰ kVA را نشان می‌دهد، که همه آن ۵/۳۵ پاوند برای هر kVA نرخ گذاری شده است.

- ظرفیت عرضه، که برای آن یک نرخ مقدوریت ماهانه اعمال می‌شود. در نمودار ۵-۱ ظرفیت عرضه قابل نرخ‌گذاری ۳۰۰ kVA است، که همه آن ۱/۴۱ پاوند برای هر kVA هر ماه نرخ‌گذاری شده است.
- مالیات (VAT) در روی صورتحساب به اضافه مجموعه بدهی عمده مشتری، درج شده است.

۵-۴-۲ گاز طبیعی

قبوض گاز طبیعی عموماً از پیچیدگی کمتری نسبت به همتایان الکتریسیته‌ای خود برخوردارند. نمودار ۵-۲ یک مثال نمونه از قبض گاز ماهانه را نشان می‌دهد.

قبض گاز در نمودار ۵-۲ شامل اطلاعات ذیل است:

- تاریخ خواندن کنتور یا تخمین
- ارزش حرارتی گاز ($39/6 MJ/m^3$ در نمودار ۵-۲)؛
- خواندنهای فعلی و قبلی با مقدار گاز مصرفی، اغلب به فوت مکعب، متر مکعب یا kWh (و برخی اوقات به ترمز $Therms$) ارائه می‌شود.
- قیمت واحد هر kWh گاز طبیعی (۱/۵۲۰ kWh پنس در نمودار ۵-۲)؛
- یک نرخ ثابت حق انشعاب ماهانه یا فصلی (۹/۴۵ پاوند هر kWh در نمودار ۵-۲).
- مالیات (VAT) در روی صورتحساب به اضافه مجموعه بدهی عمده مشتری، درج شده است.

قیمت واحد گاز طبیعی ممکن است ثابت باشد مانند نمودار ۵-۲، یا احتمال دارد بر اساس حجم گاز مصرفی متغیر باشد. به علاوه برخی تأسیسات بزرگ ممکن است تلفیقی از عرضه‌های ثابت و با اختلال داشته باشند که احتمال دارد جداگانه قبض شود.

۳۹/۶	ارزش‌حرارتی (MJ/m^3)	۱۶/۰۳/۲۰۰۰	تاریخ‌خواندن کنتور	۰۳/۰۴/۲۰۰۰ تاریخ صورتحساب

هزینه‌ها	گاز مصرفی		خواندن‌کنتور	
	kWh	متر مکعب	فوت‌مکعب	قبلی	فعلی
۱۶۳/۷۰	۱۰۷۷۰	۹۷۹/۱	۳۴۶	۲۸۲۵	۳۱۷۱

۹/۴۵ حق انشعاب

۳۰/۳۰ £۱۷۳/۱۵با۱۷/۵(*VAT*)

نرخ واحد ۱/۵۲۰پنس/kWh

£۲۰۳/۴۵ **جمع**

نمودار ۵-۲ نمونه صورتحساب گاز

۵-۴-۳ مازوت

مازوت، بصورت حجمی اندازه‌گیری می‌شود که با درجه حرارت متغیر است. بنابراین فاکتورهای حمل برای مازوت باید مقدار تصحیح شده به شرایط استاندارد ۱۵/۵ درجه سانتیگراد را قید کنند (۳). هم‌چنین باید تاریخ حمل، شماره رجوع یادداشت حمل، قیمت واحد برای هر لیتر استاندارد، و مالیات مندرج در روی صورتحساب را قید کنند. شامل بودن ارزش حرارتی نفت نیز ممکن است، اگر چنین نیست، این باید از عرضه کننده گرفته شود. این نکته آخر اهمیت دارد زیرا ارزش حرارتی با نوع مازوت مصرفی، تغییر می‌کند.

۵-۴-۴ سوخت جامد

قبوض سوخت جامد عموماً وزن تحویلی و هزینه را قید می‌کنند. لیکن همیشه اطلاعات در ارزش حرارتی را منظور نمی‌دارند. این اطلاعات را معمولاً می‌توان از عرضه کننده بدست آورد. سوختهای جامد توانائی پدید آوردن مسائل خاصی را برای مُمیزان انرژی دارا هستند زیرا آنها اغلب انبار می‌شوند، و لذا برآورد کوتاه مدت دقیق از مصرف سوخت جامد کاری مشکل است.

۵-۴-۵ گرمایش

در بسیاری نقاط اروپای شمالی ساختمانها و تمام شهرها متکی بر گرمایش تولید شده در نیروگاه‌های تولید ترکیبی هستند. گرمایش معمولاً بصورت آب با فشار بالا یا فشار متوسط در یک شاه لوله گرمایش منطقه‌ای تأمین شده و به تک تک ساختمانها از طریق مبدلهای حرارتی انتقال می‌یابد. مصرف انرژی گرمایشی توسط کنتورهای حرارتی ثبت می‌شوند، که میزان جریان آب، درجه حرارت آبی که به تأسیسات وارد و خارج می‌شود را ثبت می‌کنند، آنگاه انرژی مصرفی رابه kWh معین می‌نمایند. ذکر اینکه دقت کنتورهای حرارتی می‌تواند تحت تأثیر تغییرات درجه حرارت و میزان جریان آب قرار گیرد، اهمیت دارد. در میزانهای پائین جریان آب یا که در آن تفاوتهای جزئی درجه حرارت به وقوع می‌پیوندد، اشتباهات کنتور می‌تواند چشمگیر باشد.

۵-۴-۶ ثبت کردن‌های در محل

در مجموعه تأسیسات بزرگتر، بخصوص آنهائیکه یک مدیر انرژی در استخدام دارند، اغلب این مورد که ثبت‌های انرژی مجموعه نگهداری شده، دیده می‌شود. اینها می‌توانند منبع اطلاعاتی مهمی برای یک سیستم مُمیزی بوده ومی توانند تأیید کننده اطلاعات جمع‌آوری شده از قبوض انرژی باشند. بویژه، ثبت خواندنهای کنتور فرعی بخصوص می‌تواند مفید باشد، زیرا آنها اطلاعات دقیق در رابطه با جریانهای انرژی را بدست می‌دهند. اگرچه، زمانیکه اطلاعات جمع‌آوری شده از کنتورهای فرعی را مورد استفاده قرار می‌دهید، دانستن که در آن کنتورها واقع شده و اطلاع از اینکه چه چیزی را اندازه‌گیری می‌کنید، اهمیت دارد. به این واقعیت که کنتورهای فرعی همیشه نسبت به کنتورهای اصلی در درجه دوم هستند، باید پی برد. به عبارتی دیگر، انرژی مصرفی ثبت شده توسط یک کنتور فرعی همیشه بخشی از آن چیزی است که توسط کنتور اصلی ثبت شده است و نه انرژی مصرفی بیشتر. عدم شناخت این مورد به اشتباهات عمده منجر خواهد شد. راهی خوب برای اجتناب در این اشتباهات، تهیه نمودار شمائی است که موقعیتهای خاص کلیه کنتورهای اصلی و کنتورهای فرعی را نشان دهد. به علاوه، باید بخاطر داشت که ثبت‌های کنتور اغلب حاوی اشتباهاتی است (بخش ۷ را ببینید). بنابراین در تأیید کنتور خوانی‌ها باید جانب احتیاط را داشت.

۵-۴-۷ تجزیه و تحلیل اطلاعات

تکنیکهای تجزیه و تحلیل اطلاعات مورد مصرف در مُمیزی‌های انژری به جزئیات در بخش ۴

بحث شده‌اند. برای یک مُمیزی ابتدائی انرژی، تحلیلها باید محدود به آن تکنیکهائی باشد که ممیز را قادر به تعیین موارد ذیل بنماید:

- چه مقدار انرژی مصرف شده است؛
- چه نوع از انرژی مصرف شده است؛
- کاربری تأسیسات در مقایسه با دیگر تأسیسات مشابه؛ و
- مشخصه کاربری ساختمان.

با استفاده از تکنیکهای تجزیه درصدی (شرح داده شده در بخش ۴-۲)، تکنیک *NPI* (شرح داده شده در بخش ۴-۳) و تکنیک رگرسیون خطی (مشروحه در بخش ۴-۵) می‌توان به این نتایج نائل آمد.

زمانی که کلیه اطلاعات انرژی جمع‌آوری و تحلیل شد، نیازمند مقایسه با معیارهای مختلف تأسیسات مشابه هستند. جدول ۵-۲ *NPI*های انواع مختلف ساختمان در بریتانیا به اتفاق تجزیه درصدی برای نمونه‌ای از مصرف انرژی را ارائه می‌نماید (۳). مثال ۵-۱ چگونگی تجزیه و تحلیل برای یک مُمیزی انرژی ابتدائی که ممکن است انجام پذیرد را نمایش می‌دهد.

مثال ۵-۱

یک مُمیزی انرژی ابتدائی از یک ساختمان اداری با تهویه مطبوع ۵۰۰۰ متر مربعی اطلاعات انرژی ذیل را حاصل کرده است:

ماه	روز - درجات گرمایشی	گاز مصرفی (kWh)	هزینه گاز (£)	الکتریسیته مصرفی (kWh)	هزینه الکتریسیته (£)
ژانویه	۲۶۷	۹۰ ۰۱۰	۱۰۸۰/۱۲	۶۸ ۲۱۴	۳۹۵۶/۴۱
فوریه	۲۹۸	۹۷ ۱۶۰	۱۱۶۵/۹۲	۶۰ ۳۱۲	۳۴۳۷/۷۸
مارس	۲۵۰	۸۷ ۰۵۸	۱۰۴۴/۷۰	۵۹ ۶۴۵	۳۲۸۰/۴۸
آوریل	۱۷۶	۷۱ ۳۲۰	۸۵۵/۸۴	۶۵ ۰۴۵	۳۳۸۲/۳۴
مه	۶۹	۴۷ ۲۰۰	۵۶۶/۴۰	۸۹ ۲۳۴	۴۵۵۰/۹۳
ژوئن	۳۰	۳۸ ۶۴۵	۴۶۳/۷۴	۱۰۵ ۹۳۲	۵۲۹۶/۶۰
ژوئیه	۱۲	۳۳ ۸۴۰	۴۰۶/۰۸	۱۱۹ ۲۳۷	۵۹۶۱/۸۵
اوت	۲۰	۳۴ ۴۰۰	۴۱۲/۸۰	۱۰۳ ۲۴۷	۵۲۶۵/۶۰
سپتامبر	۵۰	۴۴ ۰۵۰	۵۲۸/۶۰	۸۸ ۲۳۵	۴۵۸۸/۲۲
اکتبر	۲۰۸	۸۰ ۹۲۰	۹۱۱/۰۴	۶۵ ۰۲۳	۳۴۴۶/۲۲
نوامبر	۲۱۵	۷۸ ۵۸۰	۹۴۲/۹۶	۶۱ ۵۶۷	۳۴۴۷/۷۵
دسامبر	۳۳۷	۱۰۶ ۶۴۰	۱۲۷۹/۶۸	۷۰ ۱۲۴	۴۱۳۷/۳۲
جمع	۱۹۳۲	۸۰۴ ۸۲۳	۹۶۵۷/۸۸	۹۵۵ ۸۱۵	۵۰۷۵۱/۵۰

با توجه به اینکه ساختمان اداری در مرکز شهر واقع شده و برای ۲۵۶۰ ساعت در سال اشغال شده است، با استفاده از تحلیل عملی، مصرف انرژی ساختمان را مشخص می‌سازد.

راه‌حل

مصرف سالیانه انرژی و تجزیه هزینه‌ای انرژی در نمودار ۵-۳ نشان داده شده است. از نمودار می‌توان مشاهده کرد که اگرچه حدود ۴۶٪ از انرژی مصرفی، گاز طبیعی است، ولیکن فقط ۱۶٪ از هزینه‌های انرژی را شامل می‌شود.

ارقام هزینه و مصرف انرژی خام برای هر متر مربع بشرح ذیل هستند.

سوخت	انرژی مصرفی سالیانه در هر متر مربع m^2	هزینه انرژی سالیانه در هر متر مربع m^2
گاز طبیعی	۱۶۰/۹۶۵kWh در هر متر مربع	پاوند ۱/۹۳ هر متر مربع
الکتریسیته	۱۹۱/۱۶۳ kWh هر متر مربع	پاوند ۱۰/۱۵ هر متر مربع

با استفاده از متدولوژی مشروحه در بخش ۴-۳، NPI را می‌توان به شرح ذیل مشخص کرد:

انرژی الکتریکی مصرفی = ۹۵۵۸۱۵ kWh

گاز مصرفی = ۸۰۴۸۲۳ kWh

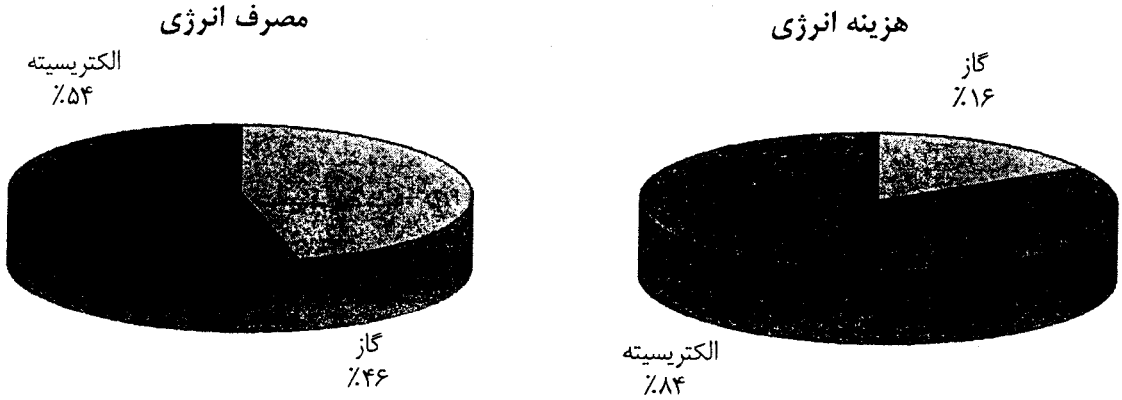
کل انرژی مصرفی = ۹۵۵۸۱۵+۸۰۴۸۲۳= ۱۷۶۰۶۳۸ kWh

جدول ۵-۲ ارقام تجزیه انرژی و شاخصهای عملیاتی همگن شده برای انواع مختلف ساختمان در بریتانیا

غیره نامشخص(٪)	غیره‌مشخص شده(٪)	تهویه مطبوع(٪)	تهویه(٪)	روشنائی(٪)	آبگرم مصرفی(٪)	گرمایش فضا(٪)	NPI رضایت‌بخش (kWh/m2)	نوع ساختمان
۶	(استخر)۲۲	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	۹	۲۰	۴۳	۱۹۰-۲۴۰	مدرسه با استخر شنای سرپوشیده
۷	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	۱۲	۲۵	۵۶	۲۵۰-۳۱	مدرسه‌بدون‌استخرسرپوشیده
	(بخش‌اغذیه‌واشربه)۴۰	دردسترس‌نیست	۵	۱۵	۱۵	۲۵	۴۱۰-۴۳۰	رستوران
۱۶	(بخش‌اغذیه‌واشربه)۱۱	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	۱۲	۱۸	۳۸	۳۴۰-۴۷۰	خانه عمومی
دردسترس‌نیست	(بخش‌اغذیه‌واشربه)۳۰	دردسترس‌نیست	۷	۹	۳۲	۲۲	۸۸۰-۱۲۰۰	محوطه خدماتی بزرگراه
۱	(بخش‌اغذیه‌واشربه)۷۰	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	۱	۲۴	۴	۱۴۵۰-۱۷۵۰	دکه غذا فروشی
۳	(سرما سازی)۵۰	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	۱۱	۲	(شامل‌تهویه)۲۳	۱۱۳۰-۱۳۵۰	سوپرمارکت با نانوائی
دردسترس‌نیست	(مصرف الکتریکی)۱۲	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	۲۰	۸	۶۰	۲۳۰-۲۹۰	ساختمان اداری (تهویه طبیعی)
دردسترس‌نیست	(ماشینهای اداری)۱	۲۹	دردسترس‌نیست	۱۶	۶	۴۸	۲۵۰-۴۱۰	ساختمان اداری (تهویه مطبوع)
دردسترس‌نیست	(پروانه‌ها،پمپها،غیره)۱۱	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	۱۱	۳	۷۵	۲۰۰-۳۴۰	مرکز ورزشی بدون‌استخرشنا
دردسترس‌نیست	(گرمایش‌آب‌استخر)۳۳	دردسترس‌نیست	۴۵	۱۱	۳	۱۰	۱۰۵۰-۱۳۹۰	استخرشنا
۶	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	۶	دردسترس‌نیست	۸۸	۸۸-۱۶۹	ساختمان کلیسا

ادامه جدول ۵-۲ ارقام تجزیه انرژی و شاخصهای عملیاتی همگن شده برای انواع مختلف ساختمان در بریتانیا

غیره نامشخص(٪)	غیره‌مشخص شده(٪)	تهویه مطبوع(٪)	تهویه(٪)	روشنائی(٪)	آبگرم مصرفی(٪)	گرمایش فضا(٪)	NPI رضایت‌بخش (kWh/m2)	نوع ساختمان
۱۱	دردسترس‌نیست	۱۱	دردسترس‌نیست	۱۸	دردسترس‌نیست	۶۰	۲۸۰-۲۰۰	کتابخانه‌ها، موزه‌ها و گالریهای هنری
۱۲	(بخش‌اغذیه‌واشربه)۱۸	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	۹	۱۱	۵۰	۴۲۰-۲۹۰	هتل بزرگ
۱۰	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	۱۹	۴	۶۷	۲۴۰-۱۸۰	بانک (بدون تهویه مطبوع)
دردسترس‌نیست	(دستگاه پروژکتور)۳	دردسترس‌نیست	۱۵	۲	۳	۷۷	۷۸۰-۶۵۰	سینما
۵	(بخش‌اغذیه‌واشربه)۷	دردسترس‌نیست	۵	۱۳	۵	۶۵	۷۷۰-۶۳۱	سالن بینگو
۱۰	(بخش‌اغذیه‌واشربه)۱۰	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	۱۰	۲۵	۴۵	۶۸۹-۵۵۰	زندان
۸	(بخش‌اغذیه‌واشربه)۲	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	۶	۴	۸۰	۳۸۱-۳۱۱	دپو حمل و نقل
۲	(بخش‌اغذیه‌واشربه)۱	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	۹	۵	۸۴	۳۰۰-۲۱۹	دادگاه حقوقی
۱۰	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	۱۵	۳	۷۲	۳۶۹-۲۶۱	کارخانه (بدون انرژی فرآیند)
دردسترس‌نیست	(بروت)۸۲	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	۱۰	دردسترس‌نیست	۸	۶۷۵-۵۰۰	سردخانه
۱۰	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	دردسترس‌نیست	۸	۲	۸۰	۲۶۹-۱۵۰	انبارها



نمودار ۵-۳ هزینه انرژی و تجزیه‌های هزینه

از جدول ۵-۲ (صفحات ۱۴۶-۱۴۵ را ببینید) می‌توان مشاهده کرد که ۷۵٪ از گاز مصرفی را می‌توان مستقیماً به گرمایش فضا ربط داد.

بنابراین

مصرف انرژی گرمایشی فضا = ۱۷۶۰۶۳۸×۰/۷۵=۱۳۲۰۴۷۸/۵ kWh

با کاربرد ضرائب آب و هوائی و در معرض بودن:

مصرف انرژی گرمایشی فضای تصحیح شده = $\frac{۱۳۲۰۴۷۸/۵\times۲۴۶۲\times۱/۰}{۱۹۳۲}$ = ۱۶۸۲۷۲۱/۶ kWh

مصرف انرژی غیرگرمایشی = ۱۷۶۰۶۳۸-۱۳۲۰۴۷۸/۵=۴۴۰۱۵۹/۵ kWh

بنابراین

کل مصرف انرژی تصحیح شده = ۴۴۰۱۵۹/۵+۱۶۸۲۷۲۱/۶=۲۱۲۲۸۸۱/۱ kWh

و اصلاح کردن برای اشغال (استفاده از اطلاعات جدول ۴-۶):

مصرف انرژی سالیانه همگن شده = ۲۱۲۲۸۸۱/۱×$\frac{۲۶۰۰}{۲۵۶۰}$=۲۱۵۶۰۵۱/۱ kWh

بنابراین

$$NPI=\frac{۲۱۵۶۰۵۱/۱}{۵۰۰۰}=۴۳۱/۲۱\ kWh/m^۲$$

به سبب اینکه NPI محاسبه شده $۴۳۱/۲۱ kWh/m^۲$، بالاتر از حد بالای محدوده رضایت بخش ($۴۱۰ kWh/m^۲$ در جدول ۵-۲) برای یک ساختمان اداری با تهویه مطبوع است، می‌توان فرض داشت که کاربرد انرژی ساختمان اداری ضعیف است.

با استفاده از متدولوژی مشروحه در بخش ۴-۵ امکان انجام یک تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی از اطلاعات گاز هست. زمانی که چنین تحلیلی انجام گرفت معادله عملیاتی ذیل را حاصل می‌نماید، که سپس ممکن است بعنوان معادله عملیات استاندارد برای یک برنامه آتی نظارتی و هدف‌گذاری شده مورد استفاده قرار گیرد (بخش ۷ را ببینید).

مصرف گاز ماهانه kWh = ۳۱۵۲۱/۷۵+(۲۲۰/۷۸۸×درجات ـ روز)

این معادله نشان می‌دهد که مصرف گاز بار پایهٔ ماهانه $۳۱۵۲۱/۷۵ kWh$ است.

۵-۵ مُمیزی‌های جامع انرژی

در تحلیلی که در مثال ۵-۱ ارائه شده روشن است که مقدار قابل ملاحظه‌ای اطلاعات مفید می‌توان از مُمیزی انرژی ابتدائی بدست آورد. اگرچه بدون بررسی‌های بیشتر تعیین که در آن در ساختمان اداری انرژی مصرف می‌شود، ممکن نیست. در راستای انجام این امر یک مُمیزی جامع‌تر لازم است. تکنیکهای تحلیلی مورد استفاده برای مُمیزی‌های جامع انرژی لزوماً تشابه بسیاری با آنهائیکه جهت مُمیزی‌های ابتدائی کاربرد دارند، را دارا می‌باشد، لیکن سطح دقت بسیار بالاتر است. مُمیزی‌های جامع مستلزم اتخاذ مساحیهای انرژی دقیق بوده و اغلب آنها نصب کنتور فرعی در جهت تعیین دقیق جریان انرژی بخشهای مختلف را طلب می‌کنند. مثال ۵-۲ منافع مُمیزی که می‌توان از نصب کنتورهای فرعی گسترده حاصل نمود را نمایش می‌دهد.

مثال ۵-۲

از طریق نصب کنتورهای فرعی در ساختمان اداری در مثال ۵-۱، ایجاد اطلاعات ذیل میسر

گردیده است:

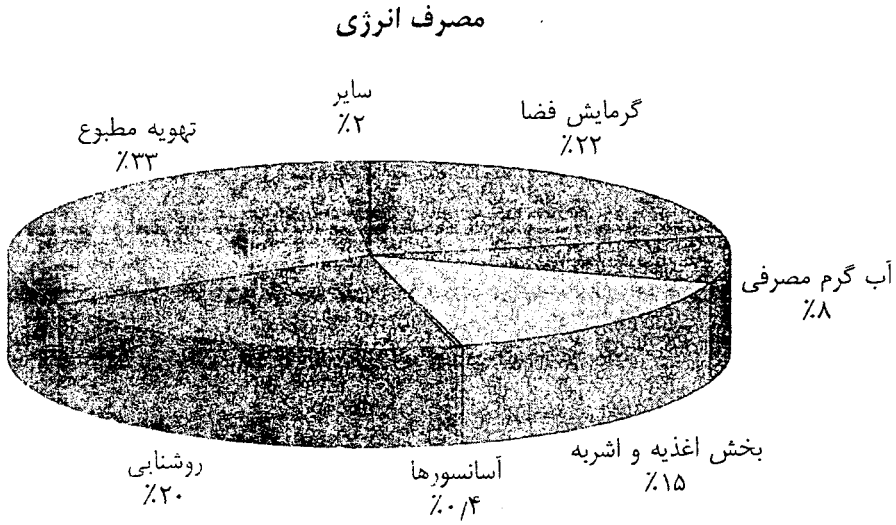
ماه	گرمایش فضا (kWh)	آب‌گرم مصرفی (kWh)	بخش‌اغذیه و اشربه (kWh)	آسانسورها (kWh)	روشنائی (kWh)	تهویه مطبوع (kWh)	غیره (kWh)
ژانویه	۵۴۰۷۵	۱۳۲۲۹	۲۲۶۹۶	۶۲۰	۴۴۰۱۶	۲۱۲۳۱	۲۳۴۸
فوریه	۶۱۸۵۶	۱۲۹۲۴	۲۲۳۸۰	۶۱۰	۴۱۰۸۲	۱۶۵۶۶	۲۰۵۴
مارس	۵۲۸۸۸	۱۱۹۷۸	۲۲۱۹۱	۶۲۷	۳۳۷۴۶	۲۳۶۵۹	۱۶۱۴
آوریل	۳۸۵۳۷	۱۱۳۴۸	۲۱۴۳۵	۶۳۱	۲۴۹۴۲	۲۷۷۳۴	۱۱۷۳۸
مه	۱۲۸۴۱	۱۱۶۶۳	۲۲۶۹۶	۶۳۶	۱۹۰۷۴	۶۸۰۱۳	۱۵۱۱
ژوئن	۲۳۹۵	۱۲۲۹۳	۲۳۹۵۷	۶۴۰	۱۴۶۷۲	۸۸۷۱۳	۱۹۰۷
ژوئیه	۴۲۷	۱۱۶۶۳	۲۱۷۵۰	۶۲۵	۱۵۱۱۲	۱۰۱۱۶۸۱	۱۸۱۹
اوت	۶۷۲	۱۰۷۱۷	۲۳۰۱۱	۶۲۱	۱۹۰۷۴	۸۱۹۰۹	۱۶۴۳
سپتامبر	۱۴۴۲۰	۹۴۵۷	۲۰۱۷۴	۶۱۵	۲۶۴۱۰	۵۹۶۵۵	۱۵۵۵
اکتبر	۴۲۵۰۷	۱۱۳۴۸	۲۲۰۶۵	۶۳۰	۳۲۷۱۹	۳۰۱۳۴	۱۵۴۱
نوامبر	۴۳۵۹۱	۱۱۹۷۸	۲۳۰۱۱	۶۳۲	۴۲۵۴۹	۱۶۶۱۱	۱۷۷۵
دسامبر	۶۷۸۶۸	۱۳۵۵۴	۲۵۲۱۷	۶۲۸	۴۵۴۸۳	۲۱۹۲۹	۲۰۸۳
جمع	۳۹۲۰۷۷	۱۴۲۱۶۳	۲۷۰۵۸۳	۷۵۱۵	۳۵۸۸۷۷	۵۵۷۸۳۵	۳۱۵۸۹

از این آمار، انجام یک تحلیل جامع مصرف انرژی سالیانه در هر یک از زیرمجموعه‌ها ممکن است (نمودار ۵-۴ را ببینید).

مثال ۵-۲ فرضیهٔ جسورانه‌ای عنوان می‌کند که کنتورهای فرعی گسترده در ساختمان اداری برای منظورهای مُمیزی نصب شده‌اند. در حالیکه چنین امری میسر است لیکن انتخاب گرانی خواهد بود. بنابراین اغلب بهتر است تکنیکهای دیگری برای تخمین هر یک از جریانات انرژی اتخاذ گردد. در برخی وضعیت‌ها امکان دارد با کسر کردن خواندنهای کنتور فرعی از خواندنهای کنتور اصلی، جریانات انرژی را معین کرد. اگرچه، دیگر وضعیتها استفاده از مهارت و قضاوت اعضاء تیم مُمیزی را جهت تخمین جریانات انرژی، طلب می‌کنند.

۵-۵-۱ کنتور فرعی موقتی و قابل حمل

از ابتدای یک پروژه ممیزی ممکن است روشن گردد که نصب کنتورهای فرعی اضافی اطلاعات مفید فراوانی را در رابطه با جریانات انرژی داخل یک تأسیسات حاصل خواهند نمود. برای مثال با جایگزینی کنتورهای فرعی در سمت ورودی انرژی و کنتور گرمایشی در سمت خروجی، تعیین بازدهی هر یک از تأسیسات میسر می‌باشد. هم چنین کنتورهای فرعی باید هر عدم تعادلی بین مصرف ثبت شده توسط کنتورهای اصلی و مجموعه ثبت شده توسط کنتورهای فرعی را روشن نماید. اگر کنتورهای فرعی به نظر لازم رسیدند، آنگاه هزینه‌های اضافی معمولاً برای اجزاء تأسیسات یا مساحتهای با بارهای بالا، می‌توانند توجیه شوند، بویژه در وضعیتهائی که اطلاعات کمی از مصرف انرژی جاری وجود دارد.



نمودار ۵-۴ تجزیه انرژی مصرفی برای ساختمان اداری

فرآیند ارزیابی کردن کنتورهای فرعی اضافی برای یک تأسیسات می‌تواند کمبود در کنتورهای موجود تأسیسات موردنظر را نیز روشن نماید. برای مثال، ممکن است چند ساختمان فقط توسط یک کنتور برق خدمت رسانی شوند. در چنین وضعیتی ممکن است ارزش داشته باشد نصب کنتورهای فرعی دائمی را مورد ملاحظه قرار داده زیرا اینها هر برنامه مدیریت انرژی آتی را پشتیبانی خواهند کرد. هم چنین کنتور دائمی زمانی که ارزانتر از کرایه، نصب و برداشتن دستگاه کنتور موقتی است، باید مورد ملاحظه قرار داد. نصب کنتورهای دائمی یا موقتی مستلزم قطع عرضه برق است، که در بسیاری موارد رضایت بخش نیست. در عوض استفاده از کنتورهای قابل حمل که نیاز به قطع برق ندارند ارزش‌مند است. نمودارهای تقاضای الکتریسیته را می‌توان با

استفاده از کنتورهای قابل حمل گیره دار نظارت کرد و جریانات حرارتی لوله‌های آب را می‌توان با استفاده از ترمومترهای الکترونیکی گیره‌دار و کنتورهای جریان اولتراسونیک قابل حمل، معین کرد.

۵-۵-۲ تخمین مصرف انرژی

در بسیاری موقعیتها نصب کنتورهای فرعی گسترده یا غیرعملی بوده و یا بصورتی بازدارنده گران هستند و از طرفی لازم است مصرف انرژی اجزاء مختلف تأسیسات و دستگاهها را تخمین زد. تخمین دقیق مصرف انرژی دستگاهها می‌تواند فرآیندی مشکل باشد که فقط متکی بر مهارت و تشخیص است. با وجود این، می‌توان با استفاده از معادله (۵-۱) به سادگی یک حد بالا برای انرژی مصرفی تعیین نمود.

$$\text{مصرف انرژی سالیانه}(kWh)=\frac{Q_{out}}{\eta}\times T_h \qquad (۵-۱)$$

که در آن Q_{out} برق خروجی تأسیسات است (kW)، η بازدهی تأسیسات است، و T_h تعداد ساعات عملیاتی در سال می‌باشد.

در حالیکه معادله (۵-۱) ممکن است یک حد بالای مصرف انرژی در تأسیسات را بدست دهد، مصرف واقعی انرژی عملیاتی را نشان نمی‌دهد. با نظارت بر مصرف واقعی انرژی تأسیسات برای یک مقطع زمانی کوتاه با کاربرد کنتورها، و سپس با حاصلضرب متوسط بار اندازه‌گیری شده، در زمان عملیاتی سالانه می‌توان بر این مشکل چیره شد، از آنجائیکه جریان را می‌توان با استفاده از یک کنتور قابل حمل گیره‌دار اندازه‌گیری کرد. در مورد لوازم الکتریکی این می‌تواند فرآیند نسبتاً ساده‌ای باشد

جدول ۵-۳ بازدهی فصلی برای سیستم‌های گرمایشی آبی

بازدهی فصلی	نوع سیستم
۵۲	بخاری گازی با مخزن سیلندری
۵۶	بویلر نفت یاگازسوز با مخزن سیلندری
۸۰	مخزن آب گرم با گرم کننده شناور با استفاده از الکتریسیته غیرپیک
۶۲	بخاری چند شعله گازی
۶۰	گرمایش منطقه‌ای با گرماده محلی
۵۶	گرمایش منطقه‌ای با گرماده مرکزی و توزیع

انرژی مصرفی گرمایش فضا را می‌توان با استفاده از متدهای روز - درجه و از دست دادن گرمای مشروحه در بخش ۸، تخمین زد. انرژی مصرفی در تولید آب گرم مصرفی، اگر آب سرد ورودی اندازه‌گیری شود، با استفاده از معادله (۵-۲) می‌توان معین کرد.

$$\text{مصرف انرژی سالیانه } (kWh)=\frac{m_{cf}\times C_p\times(t_s-t_{cf})}{\eta_s\times ۳۶۰۰} \qquad (۵-۲)$$

که در آن m_{cf} حجم آب سرد ورودی مصرفی سالیانه است (kg)، C_p ظرفیت ویژه حرارتی آب است (مثلاً $۴/۱۹kJ/kgK$)، t_s درجه حرارت مخزن آب گرم است (مثلاً $۶۰^\circ C$)، t_{cf} درجه حرارت آب سرد ورودی است (مثلاً $۱۰^\circ C$)، و η_s بازدهی فصلی سیستم است.

بازدهی فصلی برای سیستم‌های تولید آب گرم مصرفی مختلف در جدول ۵-۳ داده شده است.

اگر مصرف آب سرد ورودی معلوم نیست آنگاه ممکن است انرژی مصرفی در تولید آب گرم را با استفاده از معادله (۵-۳) (۴) تخمین زد.

$$\text{مصرف انرژی سالیانه}=(kWh)=۰/۰۲۴\times q_{hws}\times A_f\times N_w \qquad (۵-۳)$$

که در آن q_{hws} میانگین برق لازمه است $(W/m^۲)$، A_f مساحت سطح است $(m^۲)$، و N_w تعداد روزهای کاری است. برق لازم (q_{hWs}) را می‌توان با استفاده از جدول ۵-۴ معین نمود. انرژی مصرفی در روشنائی را می‌توان به سادگی با شمارش تعداد وسائل روشنائی و با توجه به

ظرفیت‌های برق مربوط به آنها، تخمین زد. برای همه لامپ‌ها بجز لامپ‌های بافیلامان تنگستنی، باید مقادیر قابل قبولی برای پرت سیستم کنترل در نظر گرفته شود. (بخش ۱۲ را ببینید). در بیشترین ساختمانها انرژی مصرفی روشنائی در محدوده W/m^2 ۲۰-۱۰ قرار دارد (۳).

جدول ۵-۴ میانگین برق لازمه برای آب گرم مصرفی (۳)

میانگین برق لازمه (W/m^2) (q_{hws})	نوع ساختمان
۲/۰	اداری (۵ روز اشغال)
۲/۰	اداری (۶ روز اشغال)
۰/۴	مغازه (۵ روز اشغال)
۱/۰	مغازه (۶ روز اشغال)
۹/۰	کارخانه (۵ روز اشغال: یک شیفتی)
۱۱/۰	کارخانه (۶ روز اشغال: یک شیفتی)
۱۲/۰	کارخانه (۷ روز اشغال: چند شیفتی)
۱/۰	انبار
۱۷/۵	ساختمانهای مسکونی
۸/۰	هتل‌ها
۲۹/۰	بیمارستانها
۲/۰	آموزشی

۵-۶ مساحیهای انرژی

مساحیهای انرژی بخش مکملی از فرآیند مُمیزی هستند. آنها ممیزان را قادر به درک جریانات انرژی در داخل تأسیسات و شناسائی هرز روی انرژی می‌نماید. مساحیها می‌تواند جامع باشند، نگاهی عمقی به کلیه وجوه مصرف انرژی یک تأسیسات؛ و یا اینکه هدفمند باشد، که در این مورد آنها فقط موارد خاص معینی را پوشش می‌دهند. عمده اهداف هر مساحی انرژی باید شامل موارد ذیل باشد:

- تعیین کاربری انرژی یک تأسیسات، یا در مورد مساحی هدف گذاری شده، اقلام مورد هدف

تأسیسات و دستگاهها.

- شناسائی و به کمیت درآوردن عمده جریانات انرژی
- شناسائی و به کمیت درآوردن صرفه‌جوئیهای دست یافتنی در هزینه انرژی.
- ارائه پیشنهادات با برآورد هزینه‌ای جهت دست یافتن به صرفه‌جوئیهای هزینه‌ای انرژی.
- دادن پیشنهادات در مدیریت انرژی آتی تأسیسات.

مساحیهای انرژی، به استثناء مساحیهای هدف‌گذاری شده خاص، باید کلیه وجوه مربوط به مصرف انرژی یک سازمان یا یک تأسیسات را پوشش دهند. این مستلزم مساحیهای دقیق موارد ذیل خواهد بود:

- مشخصه‌های عملیاتی و مدیریتی یک تأسیسات یا یک سازمان
- تأمین انرژی به تأسیسات مختلف یک سازمان
- استفاده از انرژی داخل یک تأسیسات
- کارگاه و دستگاههای درون یک تأسیسات
- مصالح ساختمانهای یک سازمان.

۵-۶-۱ مشخصه‌های مدیریتی و عملیاتی

فرهنگ مدیریتی داخل یک سازمان می‌تواند تأثیر بسزائی بر مصرف انرژی داشته باشد. پس بنابراین تعیین ساختار مدیریتی و اجرائی مربوط به تدارک و مصرف انرژی اهمیت دارد. بویژه، شناخت واضح مراکز هزینه اهمیت دارد، که در آن مدیران برای هزینه‌های اجرائی پاسخگویند را می‌توان برای مصرف انرژی مستقلاً مسئول دانست. عملیات نگهداری نیز می‌تواند تأثیر مستقیمی بر مصرف انرژی داشته باشد، لذا تدوین تناوب و کیفیت روشهای نگهداری و شناسائی اقدامات جدید نگهداری که توان بهینه‌سازی کاربری انرژی تأسیسات در دستگاهها را دارند، مهم است.

در مرحله مُمیزی، مسّاحیهای عملیات اجرائی درون یک سازمان یا تأسیسات اهمیت دارد. اطلاعات دقیق باید از فاکتورهائی به مانند موارد ذیل گردآوری گردد:

- استفاده از فضا یا ساختمان خاص.

- خدمات مکانیکی یا الکتریکی درون یک ساختمان.
- شمار و نوع ساکنین. توجه خاص باید به هر کدام از مشخصات ویژه ساکنین مبذول گردد. برای مثال، در اطاقهای حاوی سیگاری‌ها، پنجره‌ها اغلب باز هستند در نتیجه هزینه‌های گرمایش فضا افزایش می‌یابد.

- الگوهای اشغال ساختمان یا فضا.
- شرایط زیست محیطی درون یک ساختمان یا فضا که شامل درجه حرارت هوا، درجه حرارت منجر از خشکی هوا، رطوبت نسبی و سطوح روشنائی خواهد شد.
- عملیات اجرائی اقلام عمده تأسیسات و دستگاهها.

دانستن موضوعات فوق درکی خوب از چگونگی و چرائی انرژی مصرف شده در یک تأسیسات را به ممیز خواهد داد. توجه خاص باید به شرایطی که عملیات اجرائی واقعی از آنچه که توسط مدیریت یک سازمان دیکته شده، ولیکن تخطی شده است، مبذول گردد. برای مثال، اگر اطاقهائی که قرار است تا $21^{\circ}C$ گرم شوند، در حقیقت تا $23^{\circ}C$ گرم شده‌اند، آنگاه انرژی با گرمایش زیاد فضاها هدر رفته است.

۵-۶-۲ عرضه انرژی

شناخت تعرفه‌ها و قراردادهای عرضه‌ای که هر سازمانی تحت آنها انرژی خود را خریداری می‌کند، مهم است. این مهم تیم مُمیزی انرژی را در تعیین اینکه آیا یک سازمان خاص انرژی را در یک قیمت پائین می‌خرد یا خیر، قادر خواهد ساخت. اگر یک سازمان قیمتی بالاتر از آنچه که لازم است برای انرژی خود می‌پردازد، آنگاه ممیز باید پیشنهاد تغییر تعرفه یا عرضه‌کننده سوخت را بدهد.

به سبب اینکه معمولاً تعرفه‌ها شامل برخی اشکال از نرخ دیماند هستند، اهمیت دارد که یک ارگان تعرفه الکتریسیته مطلوبی که مناسب نمودار بار خودش باشد، انتخاب نماید. بنابراین فرآیند مُمیزی باید شامل یک مساحی از نمودار بار الکتریکی یک تأسیسات باشد. برای بارهای نسبتاً کوچک ممکن است محسوب داشتن خواندنهای کنتور در ابتدا و انتهای یک مقطع زمانی انتخابی، با اتخاذ میان خوانیهائی در خلال اوقات روز، شب هنگام و در تعطیلات آخر هفته کفایت کند، این

شاخص خوبی از زمانی که انرژی الکتریکی مصرف می‌شود را بدست می‌دهد و باید ممیز را در پیشنهاد تعرفه‌ای مناسب یاری دهد. برای بارهای الکتریکی بزرگتر، مساحی دقیق نمودار بار، اهمیت دارد. بر این کار می‌توان با استفاده از کنتور قابل حمل جهت تعیین دیماند و مصرف در مقاطع ۳۰ دقیقه‌ای در یک مدت زمان مشخص شده، نائل آمد. هر کدام از پیک‌های بزرگ در بار باید شناسائی شده و بررسی‌های بیشتر در جهت شناخت علت آنها به عمل آید.

با عرضه الکتریسیته، تعیین ضریب توان یک تأسیسات اهمیت دارد. بسیاری اجزاء دستگاهها، به مانند لامپهای فلورسنت و موتورهای الکتریکی، ضریب قدرت ضعیفی تولید می‌کنند (مثلاً یک جداکننده جریان و ولتاژ که آنها را از فاز یکدیگر خارج کند). این منجر به صورتحسابهای الکتریسیته بیشتر از حد انتظار می‌شود. اگر فاکتورهای قدرت ضعیفی در یک تأسیسات یافته شوند آنگاه ممکن است لحاظ کردن نصب دستگاه اصلاح ضریب توان ارزشمند باشد (بخش ۱۲ را ببینید).

۵-۶-۳ تأسیسات و دستگاهها

اقلام اساسی تأسیسات، به مانند دیگهای بخار و سردکننده‌ها، انرژی را از شکلی به شکل دیگر تبدیل می‌کنند. در انجام آن انرژی هدر می‌رود. برای مثال، در دیگهای بخار بیشتر گرمای تولیدی توسط فرآیند احتراق، همراه گازهائی که از دودکش خارج می‌شوند اجازه فرار یافته و می‌توانند هدر روند. هر چه بازدهی اجزاء تأسیسات بالاتر باشد، انرژی کمتر هدر می‌شود. بنابراین اقلام عمده تأسیسات در دستگاهها جهت تعیین بازدهی عملیاتی آنها باید مساحی گردند. هم چنین اهمیت دارد که شبکه‌های توزیع لوله‌ای مربوط به آنها نیز مساحی شده زیرا که این شبکه‌ها هم چنین می‌توانند یک منبع عمده هرز انرژی باشند.

موضوعات انرژی گرمایشی و سرمایشی با بازدهی بالا با برخی جزئیات در بخش‌های ۸ و ۱۱ مورد بحث قرار می‌گیرند، بنابراین موضوعات مرتبط با مساحی یک تأسیسات فقط بصورت مختصر در اینجا مطرح می‌شود. در رابطه با دیگهای بخار لازم است که آنها تنظیم شوند تا از دست دادن گرمای گاز خروجی به حداقل برسد. این مستلزم نمونه‌گیری مقدار CO_2 و O_2 گازهای دودکش است و تنظیم دستگاه مشعل به گونه‌ای که O_2 مازاد به حداقل برسد، در حالیکه هنوز در عملکرد احتراق کامل اطمینان داریم. به علاوه، شناخت اینکه آیا بازیافت حرارت گاز دودکش ممکن است یا خیر اهمیت دارد.

بازده تأسیسات سرمایشی توسط ضریب عملیاتی (COP)[1] اندازه‌گیری می‌شود. هر چه COP بالاتر، بازدهی ماشین بیشتر است. COP با بار سرمایشی و شرایط هوای خارج متغیر است. اگر متوسط COP باید معلوم گردد، بنابراین لازم است انرژی ورودی و خروجی در یک مقطع زمانی اندازه‌گیری شود. باید به الگوی عملیاتی تأسیسات سرمایشی و هم چنین چگونگی کنترل آن توجه داشت، زیرا این موضوع بسیاری نکات درباره عملیات تأسیسات به ممیز خواهد گفت. اگر دیگهای بخار و سردکننده‌ها هر دو با هم در یک زمان کار کنند، این می‌تواند نشانگر جدال دو سیستم با یکدیگر باشد. اگر این مورد هست، آنگاه ابزار و آلات کنترل سیستم به تنظیم نیاز خواهند داشت. امکان سنجی بازیافت گرما از گازهای کندانسور گرم نیز باید بررسی شود.

در بسیاری تأسیسات به سبب کیفیت ضعیف یا ناکافی عایق‌بندی بیشترین انرژی از طریق آب گرم، آب سرد شده و لوله‌کشی‌های توزیع بخار، هدر می‌رود. بنابراین سیستم‌های لوله کشی باید جهت تعیین کیفیت عایق بندی و هم‌چنین شناسائی هر نشتی بازرسی شوند.

مساحیهای تأسیسات باید این واقعیت را که لوازم مکانیکی دارای عمر کاری پایان یافتنی هستند و اینکه اغلب بازدهی، زمانی که تأسیسات قدیمی می‌شوند، به شدت کاهش می‌یابد را در نظر بگیرند. بنابراین یکی از مهمترین نتایج چنین مساحی باید پیشنهادی برای جایگزینی برنامه‌ریزی شده تأسیسات قدیمی‌تر باشد. در بسیاری موقعیتها از نظر هزینه بسیار مؤثرتر است که بجای تعمیرات، تأسیسات قدیمی را تبدیل یا بازسازی نمود.

۵-۶-۴ مصالح ساختمان

در حالیکه موضوع از دست دادن حرارت از طریق مصالح ساختمان به جزئیات در بخش ۸ پوشش داده شده است، کلماتی چند بر روی این موضوع ارزش دارد. توجه به سن، ابعاد، شکل و جهت ساختمانهای درون یک تأسیسات اهمیت دارند، زیرا همه اینها فاکتورهائی هستند که مصرف انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بویژه مساحاتی که بیشترین از دست‌دهی گرما را دارند باید شناسائی شوند. در که در آن مصالح ساختمان دارای یک ارزش U بالا باشند همیشه بیشترین از دست‌دهی گرما رخ خواهد داد (بخش ۸ را ببینید). اگر نقشه‌های زمان ساخت موجود باشند، اینها می‌توانند جهت تعیین مقادیر U بنیادین مورد استفاده واقع شوند. هم چنین استفاده از

1- *Coefficient of Performance*

حرارت‌سنج مادون قرمز قابل حمل می‌تواند بسیار مفیدباشد، زیرا این شناسائی سریع مساحاتی، با از دست‌دهی گرمای بالا را مقدور می‌سازد.

زمانی که ساختمانها مساحی می‌شوند، باید درک گردد که مقدار متنهابهی از حرارت می‌تواند بوسیله تهویه مازاد از دست برود (بخش ۸ را ببینید). این بویژه در مورد مستغلات کهنه‌تر با سیستم‌های پنجره‌بندی قدیمی صدق می‌کند. بنابراین باید توجه خاص به هر چارچوب درب و یا پنجره‌ای که نامناسب نصب شده، یا هر فضائی که پنجره‌ها و درهایی رو به خارج برای مقطعی از زمان باز می‌مانند، مبذول داشت.

۵-۷ پیشنهادات

فرآیند مُمیزی انرژی باید پیشنهادسازی‌ها را مقدور سازد، که منجر به صرفه‌جوئی هزینه خواهد شد. اگر چه ماهیت دقیق این پیشنهادات بستگی به کاربرد خاص موردنظر خواهد داشت، آنها می‌توانند به طور گسترده به مانند موارد ذیل دسته بندی شوند:

(I) کاهش هزینه‌های انرژی با مذاکره تعرفه‌ای: الکتریسیته و گاز یا از طریق تعرفه‌های منتشر شده و یا توسط مذاکره قراردادهای عرضه، تأمین می‌شوند. کلیه تعرفه‌ها و قراردادهای عرضه مناسب هر سازمانی نبوده و برخی بهتر از سایرین هستند. بنابراین امکان کاهش هزینه‌های انرژی به سهولت با تغییر تعرفه یا مذاکره یک قرارداد عرضه پرمنفعت‌تر، محتمل است.

(II) نگهداری و عملیات کاری خوب: انرژی را اغلب می‌توان بدون هزینه کردن سرمایه و به سادگی با بهینه‌سازی روشهای نگهداری و اجرای عملیات کاری مناسب صرفه‌جوئی کرد.

(III) تنظیم و تعمیرات جزئی سیستم‌ها: انرژی اغلب با قدیمی شدن سیستم‌ها هدر می‌رود، زیرا اجزاء سیستم مستهلک شده و یا صدمه می‌بینند. هم چنین کنترلهای مرتبط با این سیسستم‌ها اغلب نامناسب بوده و یا ضعیف سوار شده‌اند و در نتیجه که سیستم‌ها بی بازدهی عمل می‌کنند. صرفه‌جوئی‌های چشمگیر انرژی را می‌توان از طریق سرمایه‌گذاری متعادل در تعمیرات جزئی و تنظیم مجدد ماشین‌آلات بی بازدهی، به دست آورد.

(IV) سرمایه‌گذاری: در بسیاری اوقات شرایط ضعیف تأسیسات و زیرساختار، عملاً نوسازی را بیهوده می‌سازد. تحت این شرایط به سرمایه گذاریهای عمده جهت بازسازی تأسیسات موجود، نیاز است. در این صورت، اغلب ارزیابی مجدد و ضعیف جهت تعیین احتمال مطلوبیت بیشتر

جایگزین کردن یا نکردن یک تأسیسات، ارزشمند است. یک تأسیسات بویلر موجودمی تواند با یک تأسیسات ترکیبی حرارت و برق (*CHP*)[1] جایگزین شود، آنگاه نیاز به خرید نیروی الکتریکی را کاهش می‌دهد. چنین اقداماتی معمولاً مستلزم سرمایه‌گذاری بزرگ و بنابراین مستلزم ارزیابی مالی محتاطانه می‌باشد.

۵-۸ گزارش مُمیزی

فرآیند مُمیزی باید فرصتهای مدیریت انرژی بالقوه را شناسائی کند. از آنجائیکه بهره‌برداری از این فرصتها اغلب مستلزم هزینه کردن سرمایه است، نهایت تلاش باید در بررسی آن اقداماتی که بیشترین صرفه‌جوئیهای هزینه‌ای را حاصل خواهند کرد، مبذول گردد. به آن فرصتهای مدیریت انرژی که منجر به صرفه‌جوئیهای کمتر می‌شوند باید اولویت پائین داد. بهر حال، کلیه فرصتهای مدیریت انرژی، که توسط فرآیند مُمیزی شناسائی شدند باید به روشنی در گزارش نهائی مُمیزی به همراه محاسبات منافع هزینه‌ای و توجیه آنها، درج گردد.گزارش نهائی مُمیزی باید شامل موارد ذیل باشند:

- شرحی از تأسیسات، شامل نقشه‌های احداثات، جزئیات ساخت و ساز، ساعات عملیات، لیست‌های دستگاهها و هر مواد مرتبط و جریانات محصول.
- شرحی از تعرفه‌ها و قراردادهای خدماتی مختلف مورد استفاده.
- ارائه کلیه اطلاعات انرژی جمع‌آوری شده، به همراه هر تجزیه و تحلیل مرتبط.
- یک گزارش دقیق از فرصتهای مدیریت انرژی، به همراه محاسبات تحلیلی منافع هزینه‌ای پشتیبانی کننده.
- یک طرح عملیاتی مدیریت انرژی برای عملیات آتی تأسیسات. این ممکن است شامل یک برنامه اجرائی زمان‌بندی شده برای فرصتهای مدیریت انرژی پیشنهادی و برنامه‌ای برای نظارت و هدف‌گذاری انرژی در حال انجام تأسیسات باشد.

اگرچه گزارش مُمیزی باید حاوی اطلاعات با جزئیات تکنیکی باشد، اهمیت دارد بخاطر بسپاریم

1- Combined Heat and Power

که هدف نخستین آن انتقال یافته‌های عمده مُمیزی به مدیریت ارشد سازمان و بسیاری از کسانی که احتمال دارد درک ناچیزی از مسائل انرژی داشته باشند، می‌باشد. بنابراین شامل کردن یک خلاصه گزارش مدیریتی که مختصر چکیده‌ای از گزارش و عمده یافته‌ها و پیشنهادات را بزرگنمائی می‌کند، توصیه می‌شود.

References

1. How to hire an energy auditor to identify energy efficiency projects. (2000). California Energy Commission. January.
2. Aspects of energy management. (1995). General Information Report 12, Department of the Environment. May.
3. Energy audits and surveys. (1991). CIBSE Applications Manual AM5.
4. Measurement of energy consumption: CIBSE Building Energy Code Part 4. (1982). CIBSE.

Bibliography

Capehurst, B. L., Turner, W. C. and Kennedy, W. J. (1997). *Guide to energy management* (Chapter 2). The Fairmont Press, Prentice Hall.

Eastop, T. D. and Croft, D. R. (1990). *Energy efficiency for engineers and technologists* (Chapter 9). Longman Scientific & Technical.

Energy audits and surveys (1991). CIBSE Applications Manual AM5.

Energy audits for buildings, Fuel Efficiency Booklet 1 (1993). Department of the Environment.

How to hire an energy auditor to identify energy efficiency projects (2000). California Energy Commission. January.

Moss, K. J. (1997). *Energy management and operating costs in buildings* (Chapter 9). E & FN Spon.

Thumann, A. and Mehta, P. D. (1997). *Handbook of energy engineering* (Chapter 3). The Fairmont Press, Prentice Hall.

بخش ششم

ارزیابی سرمایه گذاری پروژه

توجیه کردن هر پروژه سرمایه گذاری با انجام یک ارزیابی مالی دارای اهمیت است. موارد مالی مرتبط با سرمایه گذاری در پروژه‌های صرفه‌جوئی انرژی در این بخش بررسی می‌شوند. بویژه، تکنیکهای جریان نقدینگی تنزیلی "ارزش فعلی خالص" و "نرخ برگشت داخلی" ارائه شده و بحث می‌گردند.

۶-۱ مقدمه

زمانی که یک بهبود بازدهی انرژی یا پروژه مدیریت انرژی را برنامه‌ریزی می‌کنیم، هزینه‌های درگیر همیشه باید مورد ملاحظه قرار گیرند، بنابراین بمانند دیگر سرمایه گذاریها، طرح‌های مدیریت انرژی باید احتمال برگشت هر سرمایه صرف شده‌ای را نشان دهند. مورد یک مشاور انرژی کسیکه به مدیریت ارشد یک سازمان توصیه می‌کند که در خرید تأسیسات بویلر جدید باید سرمایه صرف کرد را مورد بررسی قرار دهیم، حتماً، مدیریت سازمان موارد ذیل را سئوال می‌کند:

- هزینه طرح چه مقدار خواهد بود؟
- صرفه‌جوئی حاصل از این طرح چقدر است؟

البته، اینها سؤالات غیرمنطقی نیستند، چرا که در درون هر سازمان علل پراهمیت متعددی وجود دارندکه هر کدام مستلزم تأمین مالی بوده و این وظیفه مدیریت ارشد است که سرمایه را جائی صرف کند که بیشترین برگشت حاصل می‌آید. در راستای تصمیم‌سازی درباره هر رده عملیاتی، مدیریت نیاز به توانائی در برآورد کلیه هزینه‌های درگیر در یک پروژه و تعیین برگشت بالقوه آن دارد. اگر چه این واقعاً به آن روشنی که در نظر اول ممکن است ظاهر گردد، نیست. ارزش سرمایه‌ای تأسیسات یا دستگاهها معمولاً با گذشت زمان کاهش می‌یابند و اغلب همانگونه که قدیمی‌تر می‌شوند مستلزم نگهداری بیشتر هستند. اگر پول از بانکی جهت تأمین مالی یک پروژه

وام گرفته شده است، آنگاه برای وام بهره باید پرداخته شود. تورم نیز ارزش هر صرفه‌جوئی انرژی آتی که ممکن است حاصل آید را تحت تاثیر قرار خواهد داد. بنابراین اهمیت دارد که فرآیند ارزیابی هزینه، کلیه این فاکتورها را جایز دانسته، با هدف تعیین اینکه کدام یک از سرمایه‌گذاری‌ها باید اتخاذ گردد، که حداکثر منافع حاصل آید. بدین منظور شماری از تکنیکهای ارزیابی مالی و حسابداری توسعه یافته‌اند که مدیران را در تصمیم سازی صحیح و هدفمند کمک می‌کنند. این تکنیکهای ارزیابی مالی هستندکه در این بخش معرفی و بحث می‌شوند.

۶-۲ هزینه‌های ثابت و متغیر

زمانی که هزینه‌های بالقوه درگیر در یک پروژه ارزیابی می‌شوند، درک تفاوت بین هزینه‌های ثابت و متغیر مهم است. هزینه‌های متغیر آنهائی هستند که مستقیماً با خروجی یک تأسیسات خاص یا فرآیند تولید، تغییر می‌کنند، مانند هزینه‌های سوخت. هزینه‌های ثابت آن هزینه‌هائی هستند که وابسته و مرتبط به خروجی فرآیند یا تأسیسات نیستند، به مانند اجاره محل و بیمه. بنابراین مجموع هزینه‌های هر پروژه‌ای جمع هزینه‌های ثابت و متغیر است. مثال ۶-۱ چگونگی تلفیق هر دو هزینه‌های متغیر و ثابت در تشکیل هزینه عملیاتی کل را نشان می‌دهد.

مثال ۶-۱

مجموعه هزینه یک ژنراتور دیزلی را که در یک مقطع بالغ بر ۵ سال کار می‌کند، معین کنید. فرض کنید که هزینه سرمایه‌گذاری ژنراتور ۱۵۰۰۰ پاونداست، خروجی یا تولید سالیانه ۲۱۹MWh است، و هزینه‌های نگهداری ۵۰۰ پاوند در هر سال می‌باشد. هزینه تولید هر واحد الکتریسیته ۳/۵ kWh/ پنس است.

راه‌حل

شرح	نوع هزینه	محاسبه	مبلغ (£)
هزینه سرمایه‌ای ژنراتور	ثابت	دردسترس‌نیست	۱۵۰۰۰/۰۰
تعمیر و نگهداری سالیانه	ثابت	£۵۰۰×۵	۲۵۰۰/۰۰
هزینه سوخت	متغیر	۲۱۹۰۰۰×۰/۰۳۵	۷۶۶۵/۰۰
		جمع مبالغ=	۲۵۱۶۵/۰۰

از مثال ۶-۱ می‌توان مشاهده کرد که هزینه‌های ثابت ۶۹/۵٪ از جمع هزینه را تشکیل می‌دهند. در حقیقت، خروجی الکتریسیته سالیانه ۲۱۹ MWh وانمود می‌کند که تأسیسات بایک متوسط خروجی ۵۰ kW عمل می‌کنند. اگر این خروجی به یک متوسط ۷۰ kW افزایش می‌یافت، آنگاه هزینه سوخت ۱۰۷۳۱ پاوند می‌شد، همچنین هزینه‌های ثابت به ۶۲٪ از کل هزینه‌ها نزول می‌کرد. بوضوح، هزینه متوسط هر واحد تولیدی با افزایش خروجی، کاهش می‌یابد.

مفاهیم هزینه‌های ثابت و متغیر را می‌توان برای تعیین نقطه سر به سر یک پروژه پیشنهادی استفاده کرد. نقطه سر به سر را می‌توان با استفاده از معادله (۶-۱) تعیین نمود.

$$UC_{util} \times W_{av} \times n = FC + (UC_{prod} \times W_{av} \times n) \qquad (۱-۶)$$

که در آن UC_{util} هزینه واحد هر kWh از انرژی خریداری شده است $(£/kWh)$، UC_{prod} هزینه واحد هر kWh از انرژی تولیدی است $(£/kWh)$، FC هزینه‌های ثابت است $(£)$، W_{av} متوسط برق خروجی (یا مصرف) (kW) است، و n مقدار ساعات عملیاتی است (h).

مثال ۶-۲

فرض می‌کنیم الکتریسیته خریداری شده از یک شرکت برق محلی متوسط هزینه ۶/۱ p/kWh دارد، نقطه سر به سر برای ژنراتور مشروحه در مثال ۶-۱ را معین کنید، زمانیکه:

(I) متوسط خروجی ۵۰ kW است؛

(II) متوسط خروجی ۷۰ kW است.

راه‌حل

(I) فرض کنیم که متوسط خروجی ژنراتور ۵۰ kW است.

$$۰/۰۶۱ \times ۵۰ \times n = (۱۵۰۰۰ + ۲۵۰۰) + (۰/۰۳۵ \times ۵۰ \times n)$$

بنابراین $n = ۱۳۴۶۱/۵$ ساعت

(II) فرض کنیم که متوسط خروجی ژنراتور ۷۰kW است.

$$۰/۰۶۱\times۷۰\times n=(۱۵۰۰۰+۲۵۰۰)+(۰/۰۳۵\times۷۰\times n)$$

ساعت $n=۹۶۱۵/۴$ بنابراین

بروشنی افزایش متوسط خروجی ژنراتور بطور چشمگیری زمان سر به سر پروژه را کاهش می‌دهد. این به سبب بهره‌گیری بهینه از سرمایه صرف شده (ژنراتور) است.

۶-۴ نرخهای بهره

در جهت تأمین مالی پروژه‌ها، اغلب سازمان‌ها از بانک‌ها و یا دیگر مؤسسات اعتباری پول قرض می‌گیرند. پروژه‌هائی که بدین طریق تأمین مالی می‌شوند، به سبب اینکه نرخهای بهره برای وام دریافتی باید پرداخته شود. نسبت به پروژه‌هائی که از نقدینگی خود سازمان تأمین مالی می‌شوند، هزینه بیشتری دارند. بنابراین اهمیت دارد که چگونگی محاسبات نرخهای بهره را بدانیم. نرخهای بهره توسط مؤسسات وام دهنده می‌تواند به دو طریق محاسبه شود: بهره ساده و بهره مرکب.

(I) بهره ساده: اگر بهره ساده بکار گرفته شد، آنگاه نرخها به عنوان درصد ثابتی از سرمایه قرض گرفته شده محاسبه می‌شوند. یک درصد بهره ثابتی برای هر سال وام در نظر گرفته شده و بازپرداخت‌ها با استفاده از معادله (۶-۲) محاسبه می‌شود.

$$TRV=LV+(\frac{IR}{۱۰۰}\times LV\times P) \qquad (۶-۲)$$

که در آن TRV کل ارزش بازپرداختی (£)، LV ارزش وام اولیه (£)، IR نرخ بهره (٪)، و P زمان بازپرداخت است (سالها).

(II) بهره مرکب: بهره مرکب معمولاً سالیانه محاسبه می‌شود (اگرچه این مورد الزامی نیست). مبلغ بهره بعنوان درصدی از وام معوقه در انتهای هر مقطع زمانی محاسبه می‌شود. از آنجائیکه

وام معوقه حاصل جمع مبالغ پرداخته و بهره تا آن مقطع زمانی است مرکب نامیده می‌شود. ارزش کل بازپرداخت را می‌توان با استفاده از معادله (۶-۳) محاسبه کرد.

$$TRV=LV\times(1+\frac{IR}{100})^{p} \qquad (۳-۶)$$

تکنیکهای درگیر در محاسبه بهره ساده و مرکب در مثال ۶-۳ نشان داده شده است.

مثال ۶-۳

یک شرکت ۵۰۰۰۰ (£) جهت تأمین مالی احداث یک دیگ بخار قرض می‌کند. اگر نرخ بهره ۹/۵٪ در سال باشد و زمان بازپرداخت ۵ سال در نظر گرفته شود، ارزش کل بازپرداخت و ارزش بازپرداخت ماهانه، را با مفروضات زیر تعیین کنید.

(*I*) بهره ساده بکار گرفته شده است؛

(*II*) بهره مرکب کاربرد داشته است.

راه‌حل

(*I*) با فرض بهره ساده:

$$\text{کل بازپرداخت}=50000+(\frac{9/5}{100}\times 50000\times 5)=73750/00 \ (£)$$

$$\text{بازپرداخت ماهانه}=\frac{73750/00}{(5\times 12)}=1229/17 \ (£)$$

(*II*) با فرض بهره مرکب:

$$\text{بازپرداخت در انتهای سال اول}=50000+(\frac{9/5}{100}\times 50000)=54750/00 \ £$$

و

$$\text{بازپرداخت در انتهای سال دوم}=54750+(\frac{9/5}{100}\times 54750)=59951/25 \ £$$

مشابه بالا، بازپرداخت‌های در انتهای سال سوم، چهارم و پنجم را می‌توان محاسبه کرد.

بازپرداخت در انتهای سال سوم=۶۵۶۴۶/۶۲ £

بازپرداخت در انتهای سال چهارم=۷۱۸۸۳/۰۵ £

بازپرداخت در انتهای سال پنجم=۷۸۷۱۱/۹۴ £

دیگر اینکه، معادله (۶-۳) رامی توان جهت تعیین ارزش بازپرداخت بهره مرکب استفاده کرد.

$$\text{ارزش کل بازپرداخت}=۵۰۰۰۰\times(۱+\frac{۹/۵}{۱۰۰})^{۵}=۷۸۷۱۱/۹۴\ £$$

$$\text{بازپرداخت ماهانه}=\frac{۷۸۷۱۱/۹۴}{(۵\times۱۲)}=۱۳۱۱/۸۷\ £$$

می‌توان مشاهده کرد که با استفاده از بهره مرکب، وام‌دهنده ۴۹۶۲£ اضافه‌تر بازیافت می‌کند. تعجب‌آور نیست که معمولاً وام دهندگان بهره مرکب در وام‌ها اعمال می‌کنند.

۶-۴ زمان برگشت سرمایه‌گذاری

احتمالاً ساده‌ترین تکنیکی که می‌توان جهت ارزیابی یک طرح به کار گرفت، تجزیه و تحلیل برگشت سرمایه‌گذاری است. زمان برگشت را می‌توان بدین شرح تفسیر کرد «مدت زمان لازم عملیاتی برای کل صرفه‌جوئیهای خالص قبل از استهلاک، برابر با هزینه سرمایه‌گذاری پروژه»(۱). در تئوری، زمانی که مقطع برگشت سرمایه‌گذاری به پایان رسید، کلیه هزینه‌های سرمایه‌ای پروژه بازیافت خواهد شد و هر صرفه‌جوئی هزینه اضافی حاصله را می‌توان بعنوان سود خالص دید. بوضوح، هرچه زمان برگشت کوتاه‌تر باشد، پروژه جذاب‌تر می‌شود. حداکثر مدت زمان مجاز برگشت سرمایه عموماً با فرهنگ تجاری مربوطه متغیر است. در برخی کشورها، زمانهای برگشت سرمایه بیش از ۵ سال قابل قبول انگاشته شده، در حالیکه در دیگر کشورها، بعنوان مثال در بریتانیا، سازمانها عموماً زمانهای برگشت را کمتر از ۳ سال اعمال می‌کنند.

با استفاده از معادله (۶-۴) زمان برگشت سرمایه را می‌توان محاسبه کرد.

$$PB=\frac{CC}{AS} \qquad (۴-۶)$$

که در آن PB زمان برگشت سرمایه (سالها)، CC هزینه سرمایه‌ای پروژه (£)، و AS صرفه‌جوئی هزینه خالص سالیانه حاصله است (£).

صرفه‌جوئی هزینه خالص سالیانه (AS) صرفه‌جوئی هزینه‌ای است که بعد از برآورده ساختن کلیه هزینه‌های عملیاتی، حاصل می‌شود.

مثال ۶-۴

انتظار می‌رود یک تأسیسات حرارت و برق ترکیبی جدید (CHP) صورتحسابهای انرژی سالیانه یک شرکت را تا ۸۱۰۰ پاوند کاهش دهد. اگر هزینه سرمایه‌ای تأسیسات بویلر جدید ۳۷۰۰۰ پاوند باشد، و هزینه‌های نگهداری و عملیاتی سالیانه ۷۰۰ پاوند باشند، چه مدت زمانی را برای برگشت سرمایه پروژه توقع خواهیم داشت؟

راه‌حل

$$PB=\frac{۳۷۰۰۰}{۸۱۰۰-۷۰۰}=۵/۰ \text{ سال}$$

۶-۵ متدهای جریان نقدینگی تنزیلی

متد برگشت سرمایه تکنیکی ساده است که می‌توان بسهولت در تدارک یک ارزیابی سریع یک طرح بکار گرفت. اگرچه شماری از ضعفهای عمده را داراست:

- متد برگشت سرمایه، صرفه‌جوئیهائی که بعد از پایان یافتن مقطع برگشت سرمایه انباشته می‌شوند را، لحاظ نمی‌کند.
- متد برگشت سرمایه، این حقیقت که به پول سرمایه‌گذاری شده با گذشت زمان باید بهره تعلق گیرد را، لحاظ نمی‌دارد. به عبارت ساده یک مؤلفه ارزش زمانی در جریانات نقدینگی مستتر است. لذا یک ۱۰۰ پاوندی امروز ارزش بیشتر از ۱۰۰ پاوند ۱۰ سال آتی دارد.

در راستای فائق آمدن بر این ضعفها، بر پایه این واقعیت که به پول سرمایه‌گذاری شده در بانک بهره سالیانه تعلق خواهد گرفت. شماری از تکنیکهای جریان نقدینگی تنزیلی توسعه یافته‌اند، دو تکنیکی که معمولاً بیشترین کاربرد را دارند متدهای «ارزش حال خالص» و «نرخ بازگشت داخلی» هستند.

۶-۵-۱ متد ارزش حال خالص

متد ارزش حال خالص این واقعیت که یک صرفه‌جوئی نقدینگی (اغلب یک جریان نقدینگی خوانده می‌شود) ۱۰۰۰ پاوندی در سال دهم یک پروژه از یک جریان نقدینگی ۱۰۰۰ پاوندی در سال دوم کمتر ارزش خواهد داشت را مورد ملاحظه قرار می‌دهد. متد ارزش حال خالص بر این امر با به کمیت درآوردن اثر زمان بر هر جریان نقدینگی آتی خاص، فائق می‌آید. این عمل با معادل‌سازی هر جریان نقدینگی آتی با ارزش حال امروز، انجام می‌پذیرد، به عبارتی دیگر تعیین ارزش حال هر جریان نقدنیگی آتی است. ارزش حال (*PV*) با استفاده از نرخ بهره فرضی، که معمولاً یک نرخ تنزیلی خوانده می‌شود، تعیین می‌گردد. تنزیل فرآیندی مخالف مرکب سازی است. مرکب سازی ارزش آتی جریانات نقدینگی حال را تعیین می‌کند، در حالیکه تنزیلی ارزش حال جریانات نقدینگی آتی را معین می‌سازد. در جهت درک مفهوم ارزش حال، موردی که در مثال ۶-۴ تشریح شده را ملاحظه کنید. اگر به جای نصب یک سیستم جدید *CHP*، شرکت ۳۷۰۰۰ پاوند را دریک بانک با نرخ بهره سالیانه ۸٪ سرمایه‌گذاری می‌کرد، آنگاه:

(£)پاوند ۳۹۹۶۰/۰۰=(۰/۰۸×۳۷۰۰۰)+۳۷۰۰۰=ارزش مبلغ سرمایه‌گذاری شده در پایان سال اول

و

(£) پاوند ۴۳۱۵۶/۸۰=(۰/۰۸×۳۹۹۶۰)+۳۹۹۶۰=ارزش مبلغ سرمایه‌گذاری شده در پایان دوم

ارزش سرمایه‌گذاری با اضافه شدن بهره مرکب رشد خواهد کرد، تا اینکه بعد از n سال ارزش مبلغ سرمایه‌گذاری خواهد بود:

$$FV=D\times(1+\frac{IR}{100})^n \qquad (۶-۵)$$

جائیکه FV ارزش آتی سرمایه‌گذاری است (£)، و D ارزش سپرده اولیه (یا سرمایه‌گذاری) است (£). لذا پس از ۵ سال ارزش آتی سرمایه‌گذاری خواهد بود:

$$FV=۳۷۰۰۰\times(1+\frac{8}{100})^5=۵۴۳۶۵/۱۴ \text{ پاوند (£)}$$

لذا در ۵ سال ۳۷۰۰۰ پاوند سرمایه‌گذاری اولیه، ۱۷۳۶۵/۱۴ پاوند بهره انباشت خواهد کرد و ۵۴۳۶۵/۱۴ پاوند ارزش خواهد یافت. و یا اینکه، هم چنین می‌توان گفت که ۵۴۳۶۵/۱۴ پاوند در یک زمان ۵ ساله ارزش کنونی‌اش ۳۷۰۰۰ پاوند است. (با فرض یک نرخ بهره سالیانه (۸٪). به عبارتی دیگر ارزش حال ۵۴۳۶۵/۱۴ پاوند در زمانی ۵ ساله، اکنون ۳۷۰۰۰ پاوند است. ارزش حال مبلغی پول در هر زمان مشخص در آینده را می‌توان با معادله (۶-۶) تعیین نمود.

$$PV=S\times(۱+\frac{IR}{۱۰۰})^{-n} \qquad (۶-۶)$$

که در آن PV ارزش حال S در n سال زمانی است (£)، و S ارزش جریان نقدینگی در n سال زمانی است (£). متد ارزش حال خالص ارزش حال تمام جریانات نقدینگی سالیانه (مثلاً هزینه‌های سرمایه‌ای و صرفه‌جوئیهای خالص) ایجاد شده یا انباشت شده در طول عمر یک پروژه را محاسبه کرده و آنها را تجمیع می‌کند. هزینه‌ها بعنوان یک مقدار منفی و صرفه‌جوئیها بعنوان یک مقدار مثبت ارائه می‌شود. جمع کلیه ارزشهای حال بعنوان ارزش حال خالص (NPV)[1] شناخته می‌شود. هر چه ارزش حال خالص بالاتر، پروژه پیشنهادی جذاب‌تر است.

ارزش حال یک جریان نقدینگی آتی را می‌توان با استفاده از معادله (۶-۶) تعیین کرد. اگرچه معمول است در زمان محاسبه ارزش حال، یک فاکتور تنزیل (DF)[2] بکار گرفت فاکتور تنزیل بر اساس یک نرخ تنزیل فرضی است (مثل نرخ بهره) و می‌توان با استفاده از معادله (۶-۷) آنرا تعیین کرد.

$$DF=(۱+\frac{IR}{۱۰۰})^{-n} \qquad (۷-۶)$$

محصول یک جریان نقدینگی خاص و فاکتور تنزیل، ارزش حال است.

$$PV=S\times DF \qquad (۸-۶)$$

مقدار فاکتورهای تنزیل مختلف برای یک سری از نرخهای تنزیل (نرخهای بهره) در جدول ۶-۱

1- *Net Persent Value* 2- *Discount Factor*

نشان داده شده است. مثال ۶-۵ فرآیند درگیر در تحلیل یک ارزش حال خالص را نمایش می‌دهد.

جدول ۶-۱ فاکتور تنزیل محاسبه شده

سال	نرخ تنزیل ٪ (یا نرخ بهره ٪)							
	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶
۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
۱	۰/۹۸۰	۰/۹۶۲	۰/۹۴۳	۰/۹۲۶	۰/۹۰۹	۰/۸۹۳	۰/۸۷۷	۰/۸۶۲
۲	۰/۹۶۱	۰/۹۲۵	۰/۸۹۰	۰/۸۵۷	۰/۸۲۶	۰/۷۹۷	۰/۷۶۹	۰/۷۴۳
۳	۰/۹۴۲	۰/۸۸۹	۰/۸۴۰	۰/۷۹۴	۰/۷۵۱	۰/۷۱۲	۰/۶۷۵	۰/۶۴۱
۴	۰/۹۲۴	۰/۸۵۵	۰/۷۹۲	۰/۷۳۵	۰/۶۸۳	۰/۶۳۶	۰/۵۹۲	۰/۵۵۲
۵	۰/۹۰۶	۰/۸۲۲	۰/۷۴۷	۰/۶۸۱	۰/۶۲۱	۰/۵۶۷	۰/۵۱۹	۰/۴۷۶
۶	۰/۸۸۸	۰/۷۹۰	۰/۷۰۵	۰/۶۳۰	۰/۵۶۴	۰/۵۰۷	۰/۴۵۶	۰/۴۱۰
۷	۰/۸۷۱	۰/۷۶۰	۰/۶۶۵	۰/۵۸۳	۰/۵۱۳	۰/۴۵۲	۰/۴۰۰	۰/۳۵۴
۸	۰/۸۵۳	۰/۷۳۱	۰/۶۲۷	۰/۵۴۰	۰/۴۶۷	۰/۴۰۴	۰/۳۵۱	۰/۳۰۵
۹	۰/۸۳۷	۰/۷۰۳	۰/۵۹۲	۰/۵۰۰	۰/۴۲۴	۰/۶۳۱	۰/۳۰۸	۰/۲۶۳
۱۰	۰/۸۰۴	۰/۶۷۶	۰/۵۵۸	۰/۴۶۳	۰/۳۸۶	۰/۳۲۲	۰/۲۷۰	۰/۲۲۷
۱۱	۰/۸۲۰	۰/۶۵۰	۰/۵۲۷	۰/۴۲۹	۰/۳۵۰	۰/۲۸۷	۰/۲۳۷	۰/۱۹۵
۱۲	۰/۷۸۸	۰/۶۲۵	۰/۴۹۷	۰/۳۹۷	۰/۳۱۹	۰/۲۵۷	۰/۲۰۸	۰/۱۶۸
۱۳	۰/۷۷۳	۰/۶۰۱	۰/۴۶۹	۰/۶۸	۰/۲۹۰	۰/۲۲۹	۰/۱۸۲	۰/۱۴۵
۱۴	۰/۷۵۸	۰/۵۷۷	۰/۴۴۲	۰/۳۴۰	۰/۲۶۳	۰/۲۰۵	۰/۱۶۰	۰/۱۲۵
۱۵	۰/۷۴۳	۰/۵۵۵	۰/۴۱۷	۰/۳۱۵	۰/۲۳۹	۰/۱۸۳	۰/۱۴۰	۰/۱۰۸
۱۶	۰/۷۲۸	۰/۵۳۴	۰/۳۹۴	۰/۲۹۲	۰/۲۱۸	۰/۱۶۳	۰/۱۲۳	۰/۰۹۳
۱۷	۰/۷۱۴	۰/۵۱۳	۰/۳۷۱	۰/۲۷۰	۰/۱۹۸	۰/۱۴۶	۰/۱۰۸	۰/۰۸۰
۱۸	۰/۷۰۰	۰/۴۹۴	۰/۳۵۰	۰/۲۸۰	۰/۱۸۰	۰/۱۳۰	۰/۰۹۵	۰/۶۹
۱۹	۰۶۸۶	۰/۴۷۵	۰/۳۳۱	۰/۲۳۲	۰/۱۶۴	۰/۱۱۶	۰/۰۸۳	۰/۰۶۰
۲۰	۰/۶۷۳	۰/۴۵۶	۰/۳۱۲	۰/۲۱۵	۰/۱۴۹	۰/۱۰۴	۰/۰۷۳	۰/۰۵۱

مثال ۶-۵

با استفاده از تکنیک تحلیلی ارزش حال خالص و با فرض یک نرخ تنزیلی سالیانه ۸٪ برای هر پروژه، شایستگی مالی دو پروژه پیشنهادی نشان داده شده در جدول ذیل را ارزیابی کنید.

پروژه ۲	پروژه ۱	
۳۰۰۰۰/۰۰	۳۰۰۰۰/۰۰	(£)هزینه‌سرمایه‌ای‌سال
(£)صرفه‌جوئی‌سالیانه‌خالص	(£)صرفه‌جوئی‌سالیانه‌خالص	سال
+۶۶۰۰/۰۰	+۶۰۰۰/۰۰	۱
+۶۶۰۰/۰۰	+۶۰۰۰/۰۰	۲
+۶۳۰۰/۰۰	+۶۰۰۰/۰۰	۳
+۶۳۰۰/۰۰	+۶۰۰۰/۰۰	۴
+۶۰۰۰/۰۰	+۶۰۰۰/۰۰	۵
+۶۰۰۰/۰۰	+۶۰۰۰/۰۰	۶
+۵۷۰۰/۰۰	+۶۰۰۰/۰۰	۷
+۵۷۰۰/۰۰	+۶۰۰۰/۰۰	۸
+۵۴۰۰/۰۰	+۶۰۰۰/۰۰	۹
+۵۴۰۰/۰۰	+۶۰۰۰/۰۰	۱۰
		کل صرفه‌جوئی خالص
+۶۰۰۰۰/۰۰	+۶۰۰۰۰/۰۰	**در پایان سال دهم**

راه‌حل

برای تعیین ارزشهای حال سالیانه جریانات نقدینگی سالیانه، همانگونه که در جدول ذیل نشان داده شده است، باید در فاکتورهای تنزیلی برای یک نرخ ۸٪ ضرب شوند.

سال	فاکتور تنزیلی برای ۸٪ (a)	پروژه ۱ (£)صرفه‌جوئی خالص (b)	پروژه ۱ (£)ارزش حال (a×b)	پروژه ۲ (£)صرفه‌جوئی خالص (c)	پروژه ۲ (£)ارزش حال (a×c)
۰	۱/۰۰۰	−۳۰ ۰۰۰/۰۰	−۳۰ ۰۰۰/۰۰	−۳۰ ۰۰۰/۰۰۰	−۳۰ ۰۰۰/۰۰
۱	۰/۹۲۶	+۶ ۰۰۰/۰۰	+۵ ۵۵۶/۰۰	+۶ ۶۰۰/۰۰	+۶ ۱۱۱/۶۰
۲	۰/۸۵۷	+۶ ۰۰۰/۰۰	+۵ ۱۴۲/۰۰	+۶ ۶۰۰/۰۰	+۵ ۶۵۶/۲۰
۳	۰/۷۹۴	+۶ ۰۰۰/۰۰	+۴ ۷۶۴/۰۰	+۶ ۳۰۰/۰۰	+۵ ۰۰۲/۲۰
۴	۰/۷۳۵	+۶ ۰۰۰/۰۰	+۴ ۴۱۰/۰۰	+۶ ۳۰۰/۰۰	+۴ ۶۳۰/۵۰
۵	۰/۶۸۱	+۶ ۰۰۰/۰۰	+۴ ۰۸۶/۰۰	+۶ ۰۰۰/۰۰	+۴ ۰۸۶/۰۰
۶	۰/۶۳۰	+۶ ۰۰۰/۰۰	+۳ ۷۸۰/۰۰	+۶ ۰۰۰/۰۰	+۳ ۷۸۰/۰۰
۷	۰/۵۸۳	+۶ ۰۰۰/۰۰	+۳ ۴۹۸/۰۰	+۵ ۷۰۰/۰۰	+۳ ۳۲۳/۱۰
۸	۰/۵۴۰	+۶ ۰۰۰/۰۰	+۳ ۲۴۰/۰۰	+۵ ۷۰۰/۰۰	+۳ ۰۷۸/۰۰
۹	۰/۵۰۰	+۶ ۰۰۰/۰۰	+۳ ۰۰۰/۰۰	+۵ ۴۰۰/۰۰	+۲ ۷۰۰/۰۰
۱۰	۰/۴۶۳	+۶ ۰۰۰/۰۰	+۲ ۷۷۸/۰۰	+۵ ۴۰۰/۰۰	+۲ ۵۰۰/۲۰
			NPV=+۱۰ ۲۵۴/۰۰		*NPV*=+۱۰ ۸۶۷/۸۰

می‌توان مشاهده کرد که در طول عمر بالغ بر ۱۰ سال ارزش حال خالص برای پروژه ۱ ۱۰۲۵۴/۰۰ پاوند است. در حالیکه برای پروژه ۲ ۱۰۸۶۷/۸۰ پاوند است. بنابراین پروژه ۲ طرح ارجح است.

تمامی اعتبار متد ارزش حال خالص بستگی به یک پیش‌بینی واقعی از نرخهای بهره آتی دارد، که اغلب می‌تواند غیرقابل پیش‌بینی باشد. بنابراین دوراندیشانه است نرخ تنزیل را اندکی بالای نرخ بهره‌ای که سرمایه برای پروژه را قرض می‌کنیم، در نظر گرفته شود. این اطمینان خواهد داد که تحلیل کلی کمی بدبینانه است، لذا در مقابل بی‌ثباتی فطری در پیش‌بینی صرفه‌جوئیهای آتی عمل می‌کند.

۶-۵-۲ متد نرخ برگشت داخلی

از مثال ۶-۵ می‌توان مشاهده کرد که هر دو پروژه یک ارزش حال خالص مثبت در طول ده سال در یک نرخ تنزیلی ۸٪ برگشت داده‌اند. در حالیکه اگر نرخ تنزیل کاهش پیدا می‌کرد زمانی به نقطه‌ای می‌رسید که ارزش حال خالص صفر می‌شد. واضح است در جهت دست‌یابی به یک ارزش حال خالص صفر، نرخ تنزیلی که باید بکار گرفته شود برای پروژه ۲ از پروژه ۱ بالاتر خواهد بود. این بدان معنی است که متوسط نرخ برگشت برای پروژه ۲ بالاتر از پروژه ۱ است، در نتیجه پروژه ۲ پیشنهاد بهتری است. نرخ تنزیلی که یک ارزش حال خالص صفر را حاصل می‌کند بعنوان نرخ برگشت داخلی خوانده می‌شود (*IRR*)[1]. هرچه نرخ برگشت داخلی بالاتر باشد، پروژه جذاب‌تر خواهد بود.

مثال ۶-۶ چگونگی انجام یک تحلیل نرخ برگشت داخلی را نشان می‌دهد.

مثال ۶-۶

یک پروژه پیشنهادی، سرمایه‌گذاری اولیه ۲۰۰۰۰ پاوندی می‌طلبد. جریانات نقدینگی حاصله از پروژه در جدول ذیل نشان داده شده‌اند.

سال	جریان نقدینگی (£)
۰	-۲۰ ۰۰۰/۰۰
۱	+۶ ۰۰۰/۰۰
۲	+۵ ۵۰۰/۰۰
۳	+۵ ۰۰۰/۰۰
۴	+۴ ۵۰۰/۰۰
۵	+۴ ۰۰۰/۰۰
۶	+۴ ۰۰۰/۰۰

با توجه به اطلاعات جریان نقدینگی بالا نرخ برگشت داخلی برای پروژه را تعیین کنید.

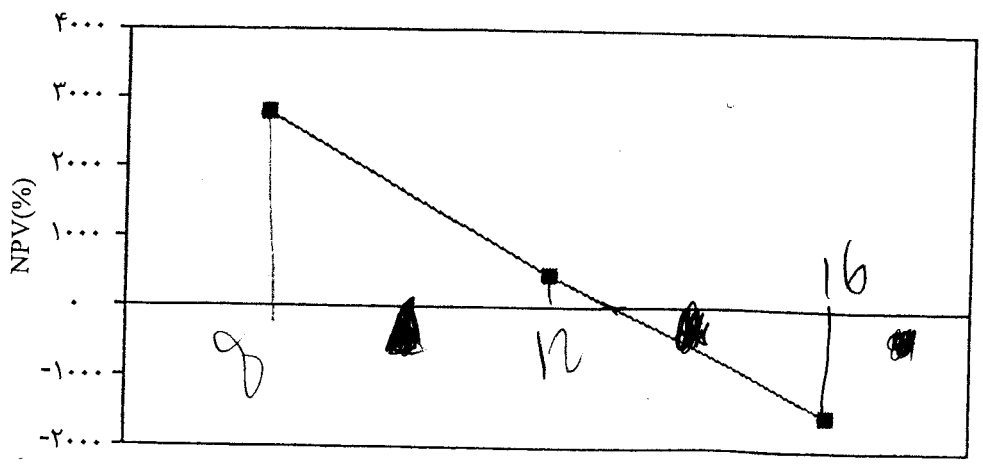
1- Internal Rate of Return

راه‌حل

ارزش حال خالص باید برای یک سری از نرخهای تنزیلی همانگونه که ذیلاً نشان داده شده است، محاسبه شود.

سال	جریان نقدینگی (£)	نرخ تنزیل ۸٪		نرخ تنزیل ۱۲٪		نرخ تنزیل ۱۶٪	
		فاکتور تنزیلی	ارزش حال (£)	فاکتور تنزیلی	ارزش حال (£)	فاکتور تنزیلی	ارزش حال (£)
۰	-۲۰۰۰۰	۱/۰۰۰	-۲۰۰۰۰	۱/۰۰۰	-۲۰۰۰۰	۱/۰۰۰	-۲۰۰۰۰
۱	۶۰۰۰	۰/۹۲۶	۵۵۵۶	۰/۸۹۳	۵۳۵۸	۰/۸۶۲	۵۱۷۲
۲	۵۵۰۰	۰/۸۵۷	۴۷۱۳/۵	۰/۷۹۷	۴۳۸۳/۵	۰/۷۴۳	۴۰۸۶/۵
۳	۵۰۰۰	۰/۷۹۴	۳۹۷۰	۰/۷۱۲	۳۵۶۰	۰/۶۴۱	۳۲۰۵
۴	۴۵۰۰	۰/۷۳۵	۳۳۰۷/۵	۰/۶۳۶	۲۸۶۲	۰/۵۵۲	۲۴۸۴
۵	۴۰۰۰	۰/۶۸۱	۲۷۲۴	۰/۵۶۷	۲۲۶۸	۰/۴۷۶	۱۹۰۴
۶	۴۰۰۰	۰/۶۳۰	۲۵۲۰	۰/۵۰۷	۲۰۲۸	۰/۴۱۰	۱۶۴۰
		NPV=۲۷۹۱		*NPV*= ۴۵۹/۵		*NPV*=-۱۵۰۸/۵	

بروشنی می‌توان دید نرخ تنزیلی که منجر به ارزش حال خالص صفر می‌شود در جائی بین ۱۲٪ و ۱۶٪ قرار گرفته است. نرخ برگشت داخلی دقیق را می‌توان با ترسیم ارزشهای حال خالص بر روی یک نمودار همانگونه که در نمودار ۶-۱ نشان داده شده است، پیدا کرد.



(٪) نرخ تنزیل

نمودار ۶-۱ ارزش حال خالص در مقابل نرخ تنزیل

نمودار ۶-۱ نشان می‌دهد که نرخ برگشت داخلی برای پروژه ۱۲/۹۳٪ است. در نگاه اول متدهای ارزش حال خالص و نرخ برگشت داخلی هر دو به نظر خیلی شبیه‌اند، و در برخی وجوه واقعاً چنین است. لیکن تفاوت عمده‌ای بین این دو وجود دارد. متد ارزش حال خالص اساساً یک ابزار مقایسه‌ای است، که مقایسه شماری از پروژه‌ها را مقدور می‌سازد، درحالیکه متد برگشت داخلی جهت برآورد اینکه آیا یک پروژه بتنهائی نائل به یک نرخ برگشته مورد هدف خواهد شد یا خیر، طراحی شده است.

۶-۵-۳ شاخص سودآوری

تکنیک دیگری که می‌توان جهت ارزیابی کارآیی مالی پروژه‌ها بکار گرفت شاخص سودآوری است. شاخص سودآوری را می‌توان بطرق ذیل تعریف کرد:

$$\text{شاخص سودآوری} = \frac{\text{جمع صرفه‌جوئیهای خالص تنزیلی}}{\text{هزینه‌های سرمایه‌ای}} \qquad (۶-۹)$$

هر چه شاخص سودآوری بالاتر، پروژه جذاب‌تر خواهد بود. کاربرد شاخص سودآوری در مثال ۶-۷ نمایش داده شده است.

مثال ۶-۷

تعیین کنید شاخص سودآوری برای پروژه‌های مشخص شده در مثال ۶-۵.

راه‌حل

$$\text{شاخص سودآوری: پروژه ۱} = \frac{۴۰۲۵۴/۰۰}{۳۰۰۰۰/۰۰} = ۱/۳۴۲$$

$$\text{شاخص سودآوری: پروژه ۲} = \frac{۴۰۸۶۷/۸۰}{۳۰۰۰۰/۰۰} = ۱/۳۶۲$$

بنابراین پروژه ۲ یک طرح بهتری از پروژه ۱ است.

۶-۶ فاکتورهای تأثیرگذار بر تجزیه و تحلیل

اگرچه مثالهای ۶-۵ و ۶-۶ اصول بنیادی مرتبط با تحلیل مالی پروژه‌ها را نمایش می‌دهد، آنها ملاحظات مهم ذیل را جایز نمی‌دادند:

- ارزش سرمایه‌ای تأسیسات و دستگاهها عموماً در طول زمان مستهلک می‌شوند.
- تورّم عمومی با گذشت زمان ارزش صرفه‌جوئیها را کاهش می‌دهد. برای مثال ۱۰۰ پاوند پس‌انداز شده در یک سال زمانی از ۱۰۰ پاوند پس‌انداز شده در ۱۰ سال زمانی، ارزش بیشتری خواهد داشت.

استهلاک سرمایه‌ای یک قطعه از دستگاهها را می‌توان تحت عنوان ارزش اسقاطی آن در پایان زمان تحلیلی مورد ملاحظه قرار داد. مثال ۶-۸ این نکته را نمایش می‌دهد.

مثال ۶-۸

در یک ساختمان کارخانه پیشنهاد نصب یک دستگاه بازیافت حرارت شده است. هزینه سرمایه‌ای نصب دستگاه ۲۰۰۰۰ پاوند و ارزش اسقاطی پس از ۵ سال ۱۵۰۰ پاوند است. اگر صرفه‌جوئیهای انباشت شده توسط دستگاه بازیافت حرارت بدانگونه است که ذیلاً تشریح شده، ارزش حال خالص بعد از ۵ سال را، با فرض یک نرخ تنزیلی ۸٪، تعیین کنید.

اطلاعات:

سال	۱	۲	۳	۴	۵
صرفه‌جوئی (£)	۷۰۰۰	۶۰۰۰	۶۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰

راه‌حل

سال	فاکتور تنزیلی برای ۸٪ (a)	هزینه سرمایه‌ای (£) (b)	صرفه‌جوئیهای خالص (£) (c)	ارزش حال (£) (a)×(b+c)
۰	۱/۰۰۰	-۲۰۰۰۰/۰۰		-۲۰۰۰۰/۰۰
۱	۰/۹۲۶		+۷۰۰۰/۰۰	+۶۴۸۲/۰۰
۲	۰/۸۵۷		+۶۰۰۰/۰۰	+۵۱۴۲/۰۰
۳	۰/۷۹۴		+۶۰۰۰/۰۰	+۴۷۶۴/۰۰
۴	۰/۷۳۵		+۵۰۰۰/۰۰	+۳۶۷۵/۰۰
۵	۰/۶۸۱	+۱۵۰۰/۰۰	+۵۰۰۰/۰۰	+۴۴۲۶/۵۰
				NPV=+۴۴۸۹/۵۰

روشن است که در یک ۵ ساله طول عمر، ارزش حال خالص پروژه ۴۴۸۹/۵۰ پاوند است. اگر ارزش اسقاطی دستگاه مورد ملاحظه واقع نمی‌شد، ارزش حال خالص پروژه فقط ۳۴۶۸/۰۰ پاوند می‌بود.

۶-۶-۱ ارزش واقعی

تورّم را می‌توان به عنوان «نرخ افزایش در متوسط قیمت کالاها و خدمات» تعریف کرد (۱). در بریتانیا، تورّم بصورت شاخص قیمت خرده فروشی (*RPI*)[1] اظهار می‌شود، که از طرف دولت تعیین گردیده و انعکاس دهنده متوسط تورّم برای یک سری از محصولات است. به سبب تورّم ارزش واقعی جریانات نقدینگی با زمان کاهش می‌یابد. ارزش واقعی یک مقدار پول (S) که در n سال زمانی تحقق می‌یابد را می‌توان با استفاده از معادله (۶-۱۰) معین نمود.

$$RV=S\times(1+\frac{R}{100})^{-n} \qquad (۶-۱۰)$$

1- *Retail Price Index*

که در آن RV ارزش واقعی S تحقق یافته در n سال زمانی (£)، S ارزش جریان نقدینگی در n سال زمانی (£)، و R نرخ تورّم است (٪).

زمانی که اثر تورّم بر یک پروژه را ارزیابی می‌کنید، به مانند فاکتور تنزیل استفاده از فاکتور تورّم نیز عملی معمول است. فاکتور تورّم را با استفاده از معادله (۶-۱۱) می‌توان معین نمود.

$$IF=(1+\frac{R}{100})^{-n} \qquad (۱۱-۶)$$

محصول یک جریان نقدینگی خاص و فاکتور تورم، ارزش واقعی جریان نقدینگی است.

$$RV=S\times IF \qquad (۱۲-۶)$$

کاربرد فاکتورهای تورّم در مثال ۶-۹ مورد ملاحظه واقع شده است.

مثال ۶-۹

ارزش حال خالص برنامه بازیافت انرژی در مثال ۶-۸ را دوباره محاسبه کنید، با فرض اینکه نرخ تنزیل در ۸٪ باقی بماند و نرخ تورّم ۵٪ باشد.

راه‌حل

به سبب تورّم؛

نرخ تورّم - نرخ تنزیل =نرخ بهره واقعی

۳٪=۵-۸=نرخ بهره واقعی:بنابراین

سال	مقدار سرمایه‌گذاری (£)	صرفه‌جوئیهای واقعی خالص (£)	فاکتور تورّم برای ۵٪	صرفه‌جوئیهای واقعی خالص (£)	فاکتورتنزیل واقعی‌برای ۳٪	ارزش حال (£)
۰	-۲۰۰۰۰/۰۰		۱/۰۰۰	-۲۰۰۰۰/۰۰	۱/۰۰۰	-۲۰۰۰۰/۰۰
۱		+۷۰۰۰/۰۰	۰/۹۵۲	+۶۶۶۴/۰۰	۰/۹۷۱	+۶۴۷۰/۷۴
۲		+۶۰۰۰/۰۰	۰/۹۰۷	+۵۴۴۲/۰۰	۰/۹۴۳	+۵۱۳۱/۸۱
۳		+۶۰۰۰/۰۰	۰/۸۶۴	+۵۱۸۴/۰۰	۰/۹۱۵	+۴۷۴۳/۳۶
۴		+۵۰۰۰/۰۰	۰/۸۲۳	+۴۱۱۵/۰۰	۰/۸۸۸	+۳۶۵۴/۱۲
۵	+۱۵۰۰/۰۰	+۵۰۰۰/۰۰	۰/۷۸۴	+۵۰۹۶/۰۰	۰/۸۶۳	+۴۳۹۷/۸۵
					NPV=	+۴۳۹۷/۸۸

مثال ۶-۹ نشان می‌دهد زمانی که فرض بر تورم ۵٪ است، ارزش حال خالص پروژه از ۴۴۸۹/۵۰ به ۴۳۹۷/۸۸ پاوند کاهش می‌یابد. این قابل انتظار است، زیرا تورّم عمومی همیشه ارزش آتی سودهای انباشت شده توسط یک پروژه را می‌فرساید.

References

1. Eastop, T. D. and Croft, D. R. (1990). *Energy efficiency for engineers and technologists* (Chapter 2). Longman Scientific & Technical.

Bibliography

Capehurst, B. L., Turner, W. C. and Kennedy, W. J. (1997). *Guide to energy management* (Chapter 4). The Fairmont Press, Prentice Hall.

Eastop, T. D. and Croft, D. R. (1990). *Energy efficiency for engineers and technologists* (Chapter 2). Longman Scientific & Technical.

Investment appraisal for industrial energy efficiency (1993). Good Practice Guide 69. DOE.

Moss, K. J. (1997). *Energy Management and Operating Costs in Buildings* (Chapter 8). E & FN Spon.

Sizer, J. (1979). *An Insight into Management Accounting* (Chapter 8). Pelican.

Thumann, A. and Mehta, P. D. (1997). *Handbook of energy engineering* (Chapter 2). The Fairmont Press, Prentice Hall.

بخش هفتم

نظارت، هدف‌گذاری و پرهیز از اتلاف انرژی

مفهوم نظارت و هدف‌گذاری در این بخش بحث شده و تکنیکهائی برای جمع‌آوری و تحلیل اطلاعات انرژی تشریح گردیده است. تنوعی از تکنیکهای گزارشی نیز ارائه شده است. موضوع پرهیز از اتلاف انرژی مورد بحث واقع شده، و نمونه‌های عملی در چگونگی تشخیص و حذف اعمال اتلاف انرژی داده شده است.

۷-۱ مفهوم نظارت و هدف‌گذاری

مشخص نمودن مصرف انرژی موجود یک تأسیسات یا سازمان از طریق یک مُمیزی انرژی میسر است (بخش ۵ را ببینید). اگرچه، این فقط تصویری از مصرف انرژی گذشته را تولید می‌کند. در راستای استمرار کنترل مصرف انرژی متعاقب، لازم است یک برنامه نظارت آغاز کنیم، اگرچه با لذاته فقط ارزش محدودی دارد، زیرا به سادگی مصرف انرژی را ثبت می‌کند. در نائل شدن به بهینه سازی در کاربرد انرژی یک برنامه هدفمند، که در آن هدفها مشخص شده، باید فرآیند نظارت را همراهی کرده و بهینه‌سازی‌های برنامه‌ریزی شده را عملی کند. مؤلفه‌های کلیدی یک برنامه نظارت و هدف‌گذاری ($M\&T$)[1] به شرح ذیل‌اند (۱).

- ایجاد مراکز حساب انرژی (EAC_s)[2] در درون یک سازمان. اینها ممکن است بخشها، فرآیندها یا مراکز هزینه‌ای باشند. مدیران عملیاتی باید برای مصرف انرژی EACها که آنها مسئولیتش را دارند، مسئول باشند.
- ایجاد معیارهای کاربری انرژی استاندارد برای هر یک از EACها. کاربری انرژی استاندارد، مصرف انرژی را به یک متغیر، به مانند روز ـ درجات یا خروجی تولید مرتبط می‌کند. کاربری استاندارد از طریق تحلیل رگرسیونی اطلاعات انرژی گذشته، ایجاد می‌شود (بخش ۴ را ببینید) و آن خط پایه‌ای را برای ارزیابی کاربری انرژی آتی، تدارک می‌نماید.

1- *Monitoring and Targeting*

2- *Energy Account Centers*

● نظارت بر مصرف انرژی برای هر یک از *EAC*ها در درون یک سازمان. این عمل مستلزم تدوین دستورالعملهائی جهت اطمینان از جمع‌آوری منظم اطلاعات انرژی موثق، می‌باشد.

● ایجاد اهداف انرژی برای هر یک از *EAC*ها. به صرفه‌جوئیهای هزینه‌ای انرژی فقط اگر بهینه‌سازی در کاربری استاندارد عملی شده باشد می‌توان نائل آمد. بنابراین اهداف دست‌یافتنی که کاربری استاندارد را بهینه می‌کنند، باید تعیین گردند.

● گزارشهای مدیریت انرژی باید برای هر یک از *EAC*ها بر پایه‌ای منظم تولید شوند. این گزارشها تدارک کننده انگیزش برای بهینه سازی کاربری انرژی هستند، و هم چنین باید هر بهینه‌سازی حاصل آمده را به کمیت درآورند.

اهمیت دارد که هر برنامه پیشنهادی *M&T* مناسب با نیازهای سازمان وابسته طراحی شوند. از دید انرژی مدارانه، سازمانها را می‌توان در تنوعی از طرق مشخص کرد. یک متد رتبه‌بندی مناسب شامل شمار محوطه‌های تحت پوشش و سطح کنتوربندی به مانند موارد ذیل است (۱).

● یک محوطه با کنتور برق مرکزی؛
● یک محوطه با کنتور فرعی؛
● چند محوطه با کنتور برق مرکزی؛
● چند محوطه با کنتور فرعی.

محوطه‌های منفرد با کنتور برق مرکزی احتمالاً بعنوان تنها یک *EAC* بهترین تلقی می‌شوند، در حالیکه ارائه کنتور فرعی چنین محوطه‌هائی را قادر می‌سازد که با جزء جزء شدن به شماری از *EAC*های جدا از هم تبدیل شوند. که در آن سازمانها دارای شماری از مستغلات پراکنده و هر کدام با کنتورهای برق مرکزی هستند، محوطه‌ها باید بعنوان *EAC*های مستقل تلقی گردند. اگر سازمانها دارای مستغلات چندگانه، و هر کدام حاوی کنتور فرعی باشند، آنگاه باید تقسیم هر محوطه به شماری از *EAC*های جداگانه میسّر باشد.

۷-۲ نظارت و هدف‌گذاری کامپیوتری

زمانی که یک برنامه *M&T* راانجام می‌دهید استفاده از نرم‌افزار کامپیوتری که بطور خاص

برای این موارد طراحی شده‌اند، توصیه می‌شود. کامپیوترها نباید بعنوان جایگزینی برای مدیر انرژی نظاره شوند، بلکه صرفاً بعنوان ابزاری است که باعث می‌شود حجم وسیعی از اطلاعات در مدت زمانی کوتاه جمع‌آوری و تحلیل گردند. شماری از مجموعه نرم‌افزارهای مدیریت انرژی، با درجات مختلفی از پیچیدگی بطور تجاری در دسترس هستند (که بحث آن فراتر از حجم این کتاب است). آنها تماماً دارای مشخصات عمومی ذیل هستند:

- امکان ذخیره اطلاعاتی، که قادر به انبار کردن و سازمان دادن به کمیت عظیمی از اطلاعات جمع‌آوری شده در یک مدت زمان طولانی است.
- توانائی ثبت اطلاعات انرژی برای کلیه خدمات گوناگون، شامل اطلاعات برگرفته هم از کنتورها و هم از صورتحساب‌ها.
- توانائی انجام تعرفه‌های برق پیچیده. تعرفه‌ها از کشوری به کشور دیگر فرق می‌کنند، و به همان نسبت که رقابت در درون بخش خدمات نفوذ می‌نماید پیچیدگی تعرفه‌ها نیز در حال افزایش است.
- توانائی در انجام دیگر متغیرها به مانندروز ـ درجات و اطلاعات تولید.
- امکان تحلیل اطلاعاتی. این با تلفیقی از نرم‌افزار تحلیل آماری و نرم‌افزار مدیریت انرژی، نائل شدنی است.
- امکان گزارش دهی، که قادر به تولید سریع گزارشهای مدیریت انرژی است.

در رابطه با مجموعه‌های نرم‌افزاری مدیریت انرژی پیشرفته‌تر، اتصال نرم‌افزار با سیستم‌های مدیریت ساختمان (*BMS*)[1] میسر بوده، تا اطلاعات انرژی را بتوان بصورت اتوماتیک و بطور منظم (مثلا بر اساس ساعت) ثبت کرد.

یکی از بزرگترین امتیازات سیستمهای کامپیوتری امکانات ذخیره اطلاعاتی آنها است که قادر می‌سازد اطلاعات ادواری و اطلاعاتی که از منابع بسیاری جمع‌آوری شده در زمانی کوتاه مقایسه گردند. این امکانات بویژه در زمانی که هزینه‌های انرژی محوطه را بر اساس خدمات مقایسه می‌کنیم، مفید بوده و مدیران انرژی را در برآورد سریع کاربری نسبی *EAC*های مختلف، قادر

1- *Building Management Systems*

می‌سازد. بدین طریق EACهائی که زیر کاربری استاندارد هستند را می‌توان به سرعت شناسائی کرد و اقدامات اصلاحی به عمل آورد.

۷-۳ نظارت و جمع‌آوری اطلاعات

یک عنصر مکمّل هر برنامه $M\&T$ جمع‌آوری اطلاعات است. متعاقباً صحت یک برنامه مُمیزی انرژی یا هر گونه $M\&T$ بستگی به جمع‌آوری اطلاعات در ورودی اطلاعات کیفی مطلوب دارد. در راستای ضمانت صحّت، اقدامات جمع‌آوری اطلاعات متقن باید ایجاد گردد، لیکن به دلائل مختلف، مشکلاتی می‌تواند رخ نماید. اگر اطلاعات ناچیزی به کار گرفته شود، هر تحلیلی بی‌معنی خواهد بود. بنابراین بیشترین سیستمها حداقل ۱۲ سری از اطلاعات را قبل از توان انجام هر تحلیل پر محتوا نیاز دارند. در مقابل، اگر اطلاعات اضافی جمع‌آوری گردد، فرآیندهای گردآوری و تحلیل را به کندی کشانده، و به یک سیستم $M\&T$ پیچیده و غامض منجر خواهد شد. در برخی وضعیت‌ها اطلاعات جمع‌آوری شده از منابع مختلف ممکن است که در تضاد با یکدیگر بوده، مقایسه‌ها را بسیار مشکل سازند. برای مثال ممکن است صورتحسابهای برقی گردآوری شود که اوقات مختلف زمانی را شامل می‌شود. علاوه بر این، زمانی که کنتورها غلط خوانده شوند و هم چنین زمانی که خوانده‌ها غیرصحیح ثبت شوند، وقوع اشتباهات محتمل است.

۷-۳-۱ اطلاعات از قبوض

در بیشترین کاربردها، قبوض انرژی نخستین منبع اطلاعات انرژی هستند.گردآوری اطلاعات از قبوض مستلزم مقابله صورتحسابهای مختلف برق و سوخت و استخراج اطلاعات مربوطه و وارد کردن اطلاعات به یک کامپیوتر می‌باشد. زمانی که قبوض جابجا می‌شوند مشکلات سربر می‌آورند. بنابراین ایجاد اقدامات جمع‌آوری مناسب اهمیت داشته، که ورود اطلاعات با کیفیت مرغوب به داخل سیستم کامپیوتری را تضمین کند.

اگرچه قبوض یک منبع بسیار مهم از اطلاعات هستند، در بسیاری از صنایعی که فرآیند طولانی‌تری دارند استفاده از قبوض ماهانه برق، ناکافی انگاشته می‌شود. این بدان سبب است که اطلاعات تأمینی توسط صورتحسابها در جزئیات غیرمکفی و هم چنین فرآیند جمع‌آوری اطلاعات بسیار کند بوده،که بالقوه انرژی بیشتری هدر می‌دهد.بنابراین در وضعیتهائی که اطلاعات قبض به تنهائی ناکافی انگاشته شود، لازم است سیستمهای جمع‌آوری اطلاعات با جزئیات بیشتر

ایجادگردد.

۷-۳-۲ اطلاعات از کنتورها

خواندن کنتورها منبع مفید دیگری از اطلاعات انرژی است. در تئوری خواندن کنتورها باید کار نسبتاً ساده‌ای باشد، لیکن متأسفانه در عمل شماری از مشکلات می‌توانند پدید آیند. برخی از اشتباهات معمول که ممکن است پدید آید به شرح ذیل هستند (۱).

- ارقام ممکن است در ترتیبی غلط ثبت شوند.
- ارقام بسیاری ممکن است در ثبت خوانده‌ها، وارد شوند.
- خوانده ثبت شده ممکن است با یک فاکتور ۱۰ یا حتی ۱۰۰، غلط باشد.
- خواندنها ممکن است پس از ثبت شدن، گم شوند.
- ممکن است کنتور دیگری اشتباهاً خوانده شود.
- کنتورها ممکن است اصلاً خوانده نشوند.
- بدنویسی ممکن است در زمان ثبت خواندنها، بکار رود.

جای شگفتی نیست، خواندنهای کنتور بد ثبت شده می‌تواند منجر به هدر دادن بسیار زمان و تلاش گردد. بنابراین خواندنهای کنتور همیشه باید تأیید شوند. بررسی‌های تأییدی باید شامل موارد ذیل باشند (۱):

- بررسی شود که شمار صحیحی از ارقام ثبت شده است.
- بررسی شود که خواندنیهای فعلی از خواندنهای قبلی بزرگتر باشند.
- بررسی شود که خواندنها در محدوده مصرف انرژی قابل پیش‌بینی هستند.
- تاریخ خواندنهای کنتور بررسی شود.

چنانچه یک کنتور خوانی در یکی از آزمایشات بالا با شکست مواجه شود، محتمل‌ترین منبع این تناقض اشتباه مجری خواهد بود، اگرچه اشتباه همیشه نمی‌تواند به مجری نسبت داده شود. برای مثال، ممکن است یک کنتور عوض شده باشد، یا بدلائل ناشناخته، ممکن است یک مقطع زمانی

وجود داشته باشد که مصرف انرژی به طور غیرمعمول بالاست. بنابراین ایجاد یک سیستم تأیید اطلاعات متقن، که بمحض آگاهی از اشتباه بالقوه، کاربر سیستم را هشیار کند، اهمیت دارد. تأییدیه می‌تواند یا زمان وارد کردن خواندنها، یا در مراحل اولیه تحلیل اطلاعات، انجام پذیرد.

خواندن کنتورها توسط فرد و نوشتن شماره‌ها با دست فرآیند زمان‌بری است که مستعد اشتباهات است. با ظهور سیستمهای هوشمند کنتورخوانی، امکانات گوناگونی در مقابل خواندنهای انسانی وجود دارند. برای مثال، واحدهای ضبط اطلاعات را می‌توان بکار گرفت. واحدهای کامپیوتری قابل حمل کوچکی وجود دارند، که خواندنهای کنتور را می‌توان مستقیماً به آن وارد کرد. اطلاعات گردآوری شده از این طریق را می‌توان بعداً به کامپیوتر شخصی بزرگتر جهت تحلیل انتقال داد. هم‌چنین واحدهای ضبط اطلاعات را می‌توان به گونه‌ای برنامه‌نویسی کرد که در زمان ورود، اطلاعات را تأیید نمایند. لذا واحدهای ضبط اطلاعات کیفیت خواندن کنتور توسط فرد را بهینه ساخته، لیکن آنها هنوز مستلزم بازدید یک مجری از همه کنتورهای مربوطه است، که فرآیندی است که پرسنل بسیاری را درگیر می‌کند. با استفاده از کنتورهای با خروجی پالس امکان خواندن کنتور از راه دور و به صورت اتوماتیک انجام‌پذیر است. کنتورهای با خروجی پالس یک علامت الکترونیکی که می‌توان توسط یک کامپیوتر *M&T* بصورت اتوماتیک نظارت کرد، ارسال می‌دارد. هم چنین بسیاری *BMS*ها دارای توانائی نظارت بر مصرف انرژی بوده و اطلاعات را می‌توان به یک کامپیوتر *M&T* یا از طریق "*ASCII*" یا فایلهای برگه‌ای انتقال داد.

در وضعیت‌هائی که کنتورهای موجود قادر به تأمین کافی اطلاعات دقیق در مصرف انرژی نیستند، ممکن است نصب کنتور فرعی اضافی لازم آید (بخش ۵ را ببینید) این باید کیفیت کلی هر برنامه *M&T* را بهینه ساخته و منجر به افزایش صرفه‌جوئیهای انرژی گردد. چرا که، کنتور اضافی می‌تواند گران باشد و هم چنین می‌تواند به یک افزایش معتنابهی در کمیت اطلاعاتی که باید جمع‌آوری و فرآوری گردد، بیانجامد. بنابراین هر کنتور اضافی باید توجیه داشته که صرفه‌جوئیهای بالقوه هزینه‌ای انرژی تحت الشعاع هزینه‌های نصب واقع نشود.

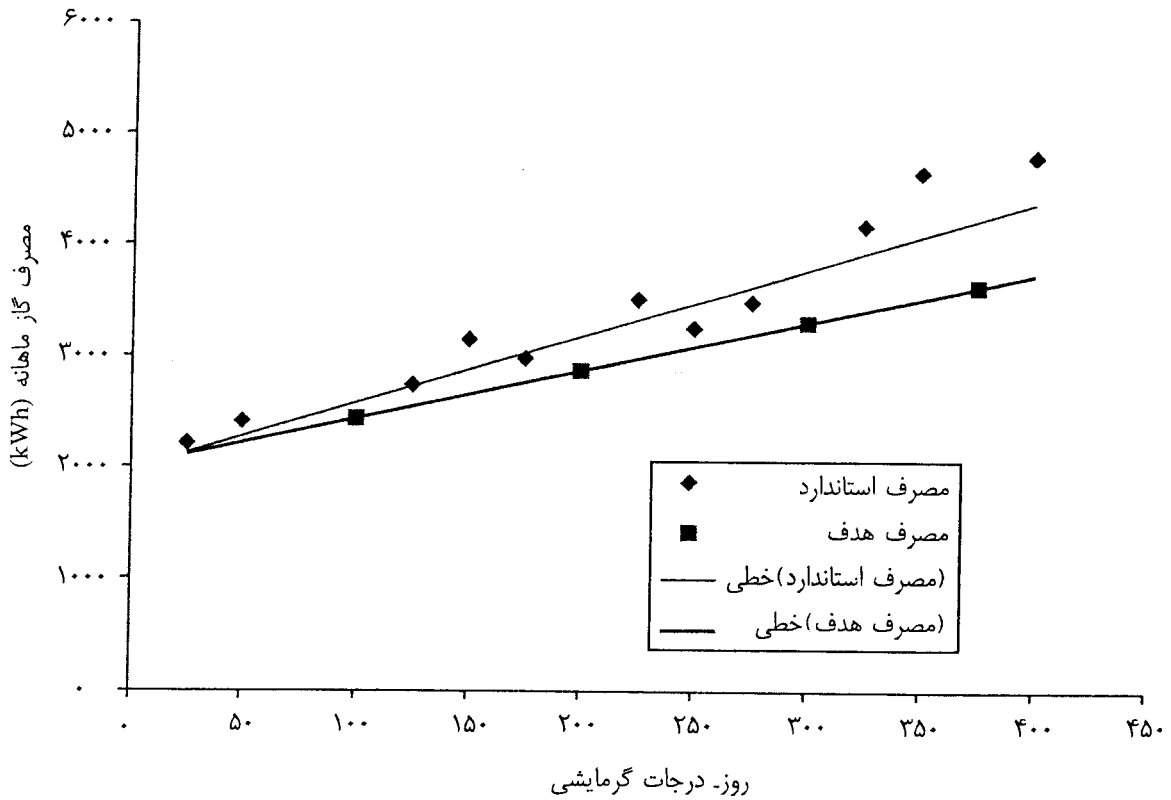
۷-۴ اهداف انرژی

در ابتدای هر برنامه *M&T* اهمیت دارد که اهداف انرژی تعیین گردد. ابتدائاً، این باید کاربریهای استاندارد انرژی‌ای باشد که برای *EAC*های مربوطه ایجاد گردیده است (۲). کاربری استاندارد را می‌توان از طریق تحلیل اطلاعات مصرف انرژی گذشته تعیین نمود (بخش ۴ را ببینید). اگر این

اطلاعات موجود نیستند، آنگاه لازم خواهد بود یک فرآیند مُمیزی جهت ایجاد کاربریهای استاندارد انرژی موثق برای *EAC*های مربوطه، اتخاذ گردد.

در حالیکه کاربری استاندارد انرژی معمولاً به عنوان یک هدف اولیه کاربرد دارد، متعاقباً اهداف انرژی باید بهینه‌سازیها در کاربری استاندارد را ارائه کنند. یکی از راههای ایجاد یک هدف بهینه، ترسیم یک بهترین برازش خط مستقیم از طریق حاشیه پائین‌تر نقاط بر روی یک نمودار پراکندگی است (نمودار ۷-۱ را ببینید). در نگاه اول این ممکن است چیز عجیبی جهت انجام به نظر برسد، لیکن نقاط بر روی حاشیه پائین‌تر یک نمودار پراکندگی، نائل شدن تاریخی به حداقل مصرف انرژی را ارائه نموده و بنابراین باید هدف دست یافتنی باشد. به عبارتی دیگر یک خط مستقیم از طریق نقاط پائین‌تر، ارائه دهنده چیزی است که می‌توان در عمل به آن نائل آمد و یک هدف ایده آل انرژی را تشکیل می‌دهد.

اهداف انرژی باید بر پایه‌ای منظم ارزیابی مجدد شوند. این عمل را می‌توان مشابه طریقی که در بالا تشریح شد، با تعریف بهترین کاربری ادواری به عنوان هدف به انجام رساند، یا هدف را بر مبنای یک طرح عملیاتی توافق شده که برای نائل شدن به صرفه‌جوئیهای انرژی، طراحی شده است، بنا نمود. هر دو این متدها این مزیت را دارا هستند که بر اساس اطلاعات واقعی بنیان شده‌اند لذا باید دست یافتنی باشند. روشی اختیاری‌تر، و احتمالاً نازل‌تر، تعیین اهداف بر اساس بهینه کردن درصدی در کاربری انرژی فعلی است. بی توجه به روش انتخابی، تمام اهداف باید در واقع دست یافتنی باشند در غیر اینصورت آنها اعتبار خود را ازدست خواهند داد. هم چنین آنها باید به طور منظم بازنگری شوند، تا تأکید بر کاهش مصرف انرژی تداوم یابد.



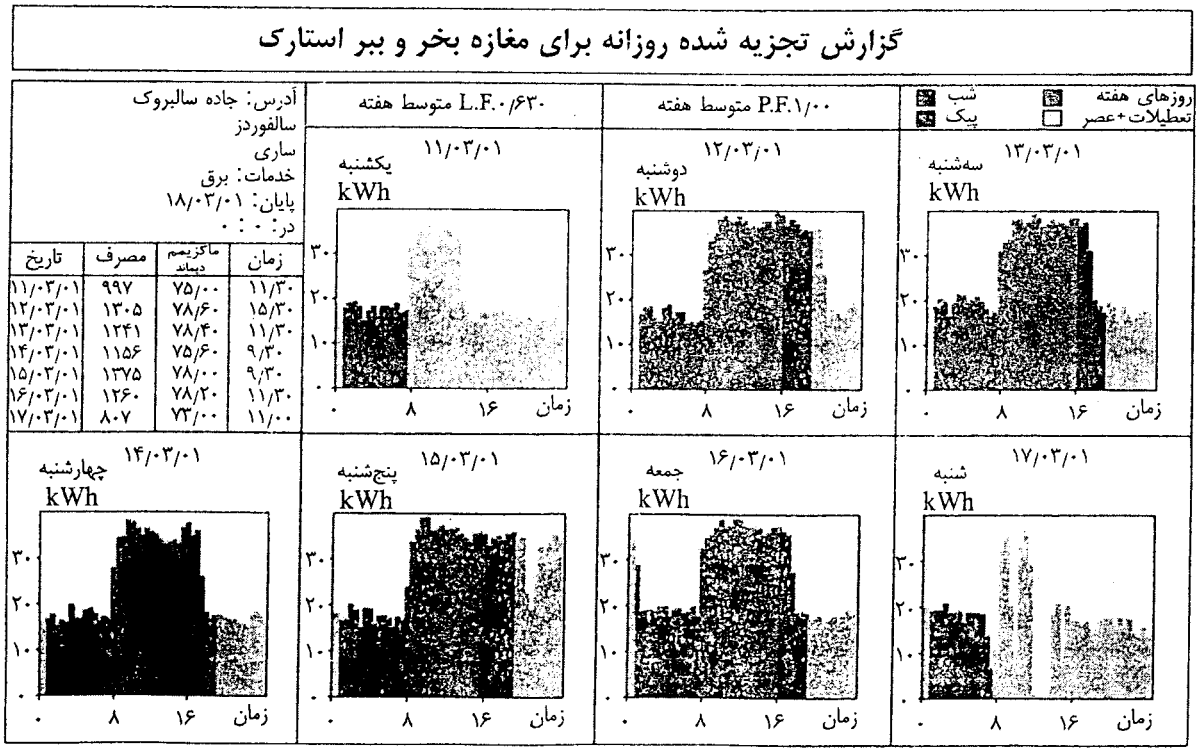
نمودار ۷-۱ منحنی هدف مبتنی بر بهترین کاربری تاریخی

۷-۵ گزارش دهی

یکی از خروجی‌های عمده هر برنامه *M&T* تولید گزارشات مدیریت انرژی است. این گزارشات نقش حیاتی در تبادل اطلاعات کلیدی به مدیران ارشد و اجرائی را بازی می‌کنند، بنابراین شیوه‌هایی هستند که عملیات اجرائی در درون یک سازمان بر مبنای آنها آغاز می‌گردد. در راستای اطمینان از اتخاذ عملیات مناسب در به حداقل رساندن عملیات هرزدهی، گزارشات باید تا حد امکان ساده بوده و باید آن محدوده هائی که هرز روی انرژی رخ می‌دهد را، روشن کنند. گزارشات باید بطور منظم منتشر شوند که عملیات هدر دادن انرژی به سرعت شناسائی شده و اجازه تداوم برای مدتی طولانی نیابند. گزارشات باید دقیق و کاربردی بوده، و منطبق بر یک چارچوب استاندارد باشند که توسط یک کامپیوتر به صورت اتوماتیک تولید شوند. این کار زمان آماده‌سازی را به حداقل می‌رساند، و هم چنین مدیران را با اطلاعاتی که تبادل می‌شود، آشنا می‌سازد. نمودار ۷-۲ یک مثال از گزارش مصرف الکتریسیته هفتگی را نشان می‌دهد که توسط یک برنامه کامپیوتری *M&T* تولید شده است.

بیشترین برنامه‌های *M&T* خواستار انتشار هفتگی یا ماهانه گزارشات هستند. گزارشات ماهانه معمولاً قابل اعمال در سازمانهای بزرگ با محوطه‌های متعدد بوده، در که در آن گزارشات هفتگی بیشتر مناسب تأسیسات پیچیده با مصرف انرژی بالا می‌باشند. در کاربردها که در آن مصرف انرژی بطور خاص بالاست، گزارشات ممکن است روزانه تهیه شوند. اگر مقاطع گزارش‌دهی خیلی طولانی باشد، بسیار محتمل است قبل از اینکه مدیران متوجه مسئله شده باشند و اتخاذ اصلاحات عملی نموده باشند، انرژی بی‌جهت به هدر رفته باشد. باری، اگر مقاطع گزارش‌دهی خیلی کوتاه باشد این به یک سیستم *M&T* بسیار پیچیده منتهی خواهد شد که مستلزم مورد ملاحظه قرار دادن بسیاری اطلاعات نامربوط می‌گردد.

مقصد نخستین از گزارشات مدیریت انرژی برقراری ارتباط مؤثر با مدیران ارشد و اجرائی است. بنابراین آنها باید به گونه‌ای تنظیم شوند که مناسب نیازهای خوانندگان خود باشند، از آنجائیکه مدیران مختلف درون سازمان سطوح متفاوتی از گزارش را خواستارند. مدیران اجرائی ممکن است نیازمند گزارشات هفتگی باشند، در حالیکه مدیران ارشد ممکن است فقط خواستار یک گزارش سه ماهه باشند. نمودار ۷-۳ ارتباط بین تناوب گزارش دهی و مناصب مدیریتی را نشان می‌دهد.



نمودار ۷-۲ گزارش مصرف الکتریسیته هفتگی

یکی از معایب بزرگ تولید شمار زیادی از گزارشات منظم این است که آنها می‌توانند مدیران اجرائی را در آنچه که بنظر ممکن است اطلاعات نامربوط بیاید، غرقه کنند. راه خوبی برای رد شدن از کنار این مشکل، اتخاذ یک سیستم گزارش‌دهی استثنائات است، که در آن گزارشات فقط زمانی که کاربری انرژی به خارج از محدوده‌های معین از قبل تعیین شده بیفتد، تولید می‌شوند. این سیستم دارای مزیت بزرگی است که مدیران فقط زمانی که کاربری انرژی یا ضعیف یا خیلی خوب است، گزارش دریافت می‌کنند. علاوه بر این هر کسی که درگیر فرآیند گزارش دهی است بار کار کمتری خواهد داشت.

تناوب گزارش				سطح
		فصلی	سالیانه	مدیریت ارشد
	ماهیانه		سالیانه	رئیس دپارتمان
هفتگی			سالیانه	مدیر *EAC*
هفتگی	ماهیانه	فصلی	سالیانه	مدیر انرژی

نمودار ۷-۳ ارتباط بین مناصب مدیریتی و تناوب گزارش.

جدول ۷-۱ جدول رده‌بندی مصرف الکتریکی فروشگاه

فروشگاه	مساحت سطح (m^2)	واحدهای الکتریکی مصرفی (kWh)	هزینه الکتریسیته (£)	واحدهای الکتریکی در هر m^2 (kWh/m^2)	متوسط هزینه هر واحد (p/kWh)
کرو	۶۵۶۰	۹۱۹۰۶	۴۳۷۴/۷۲	۱۴/۰۱	۴/۷۶
چستر	۱۲۰۰۰	۱۴۹۸۴۵	۶۹۶۷/۷۹	۱۲/۴۹	۴/۶۵
لیدز	۱۳۶۰۰	۱۶۹۴۰۰	۶۸۶۰/۷۰	۱۲/۴۶	۴/۰۵
بینگلی	۶۰۷۰	۷۳۶۷۷	۵۰۴۶/۸۷	۱۲/۱۴	۶/۸۵
مکلزفیلد	۶۴۶۰	۷۴۸۲۳	۳۱۶۵/۰۱	۱۱/۵۸	۴/۲۳
هادرزفیلد	۹۴۷۰	۱۰۸۶۴۰	۵۴۴۲/۸۶	۱۱/۴۷	۴/۰۱
استاک‌پورت	۱۰۸۰۰	۱۲۳۸۹۲	۴۹۴۳/۲۹	۱۱/۴۷	۳/۹۹
دانگستر	۱۲۵۰۰	۱۳۲۳۴۵	۵۴۲۶/۱۵	۱۰/۵۹	۴/۱۰
اشبورن	۵۷۸۰	۵۹۵۳۴	۲۳۹۳/۲۷	۱۰/۳۰	۴/۰۲
برنلی	۷۵۴۰	۷۴۹۴۳	۳۰۵۰/۱۸	۹/۹۴	۴/۰۷
هالیفاکس	۷۸۰۰	۷۲۵۱۳	۲۸۰۶/۲۵	۹/۳۰	۳/۸۷
استوک	۸۶۷۰	۷۲۳۴۲	۳۳۳۷/۶۵	۸/۶۹	۴/۴۳

۷-۶ تکنیکهای گزارش‌دهی

شماری از تکنیکهای گزارش‌دهی وجود دارند که می‌توانند مدیران انرژی را در ارتباط مؤثر با مدیران عملیاتی یاری دهند. اینها شامل تهیه جداول رده‌بندی و تنوعی از تکنیکهای نموداری هستند.

۷-۶-۱ جداول رده‌بندی

جداول رده‌بندی می‌توانند بطور خاص طریقی مؤثر از انتقال اطلاعات کاربری انرژی باشند. زمانی که شماری از EACهای مشابه را با یکدیگر مقایسه می‌کنیم، آنها دارای بیشترین منفعت هستند. مثال ۷-۱ این فرآیند را نشان می‌دهد.

مثال ۷-۱

یک خرده فروشی زنجیره‌ای دارای ۱۲ فروشگاه است. جدول ۷-۱ یک جدول رده بندی از مصرف انرژی الکتریکی ماهیانه و هزینه کلیه ۱۲ فروشگاه را نشان می‌دهد.

از جدول رده‌بندی، دو موضوع روشن می‌شود:

- فروشگاه در کرو به نظر می‌رسد در مقایسه با فروشگاه‌های هم اندازه در بینگلی، برنلی و مکلزفیلد یک مصرف الکتریسیته بالای غیرمعمولی را داراست. بنابراین بررسیهای بیشتر جهت شناسائی دلیل مصرف الکتریسیته بالا، مورد نیاز است.
- فروشگاه در بینگلی مبلغ زیادی برای الکتریسیته خود می‌پردازد، که بیان کننده لزوم تغییر تعرفه است.

اگر یک سازمان دارای شماری از *EAC*های غیرمشابه است آنگاه مقایسه مستقیم با جدول رده‌بندی بی معنی است. اگر *EAC*ها بر اساس انحراف از کاربری هدف درجه‌بندی شده با شند. همانگونه که در جدول ۷-۲ نشان داده شده است، جداول رده بندی هنوز می‌توانند بطور مؤثر بکار گرفته شوند.

از جدول ۷-۲ روشن است که از نظر مصرف انرژی، دپارتمان جغرافی ضعیف عمل می‌کند، در حالیکه دپارتمان مهندس مکانیک نسبتاً خوب عمل می‌نماید.

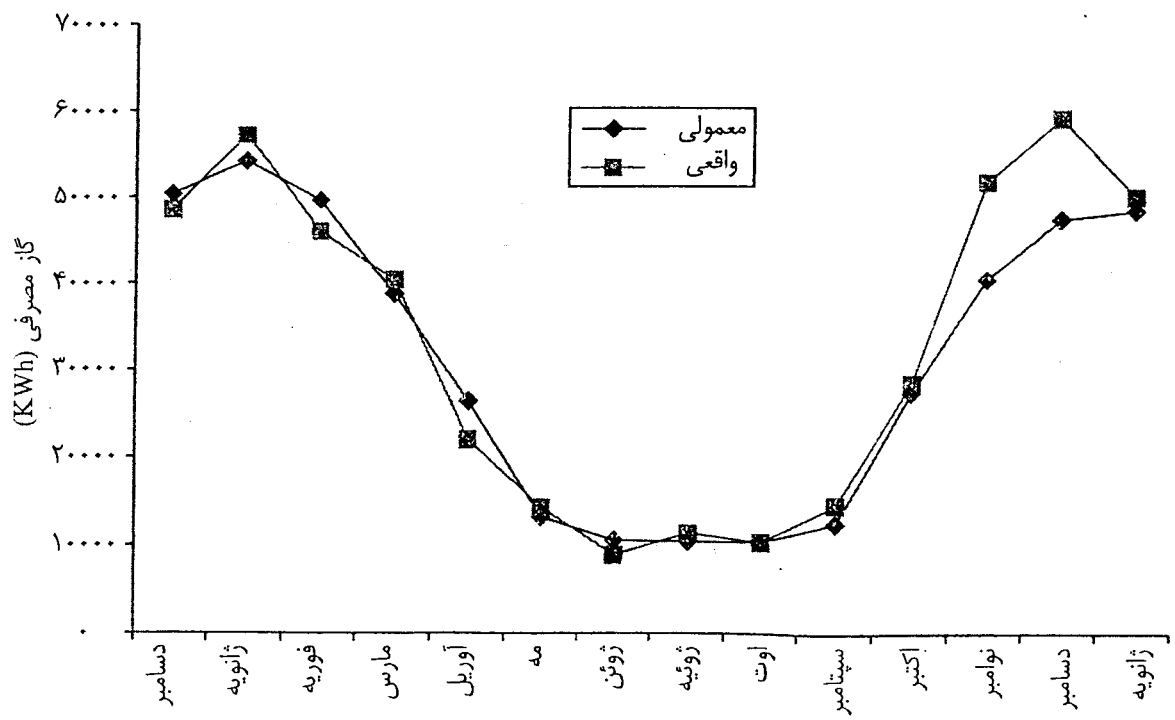
جدول ۷-۲ جدول رده بندی مصرف الکتریکی برای دپارتمان‌های مختلف دانشگاه

انحراف از هدف (٪)	عدول ازهدف (*kWh*)	هزینه الکتریسیته (£)	مصرف هدف (*kWh*)	واحدالکتریکی مصرفی (*kWh*)	*EAC*
+۱۲/۳۶	+۱۲۹۶	۵۶۵/۴۴	۱۰۴۸۴	۱۱۷۸۰	دپارتمان جغرافی
+۶/۳۸	+۲۴۰۳	۱۹۲۲/۶۹	۳۷۶۵۳	۴۰۰۵۶	دپارتمان مهندس برق
+۴/۱۷	+۲۰۳۳	۲۴۴۰/۰۳	۴۸۸۰۱	۵۰۸۳۴	دپارتمان‌مهندسی‌راه‌وساختمان
-۰/۹۹	-۸۹	۴۲۶/۸۶	۸۹۸۲	۸۸۹۳	دپارتمان حقوق
-۱/۷۷	-۳۲۵۰	۸۶۷/۲۲	۱۸۳۸۱۷	۱۸۰۵۶۷	دپارتمان شیمی
-۴/۷۶	-۳۶۰۰	۳۴۵۶/۱۹	۷۵۶۰۴	۷۲۰۰۴	دپارتمان‌مهندسی‌مکانیک

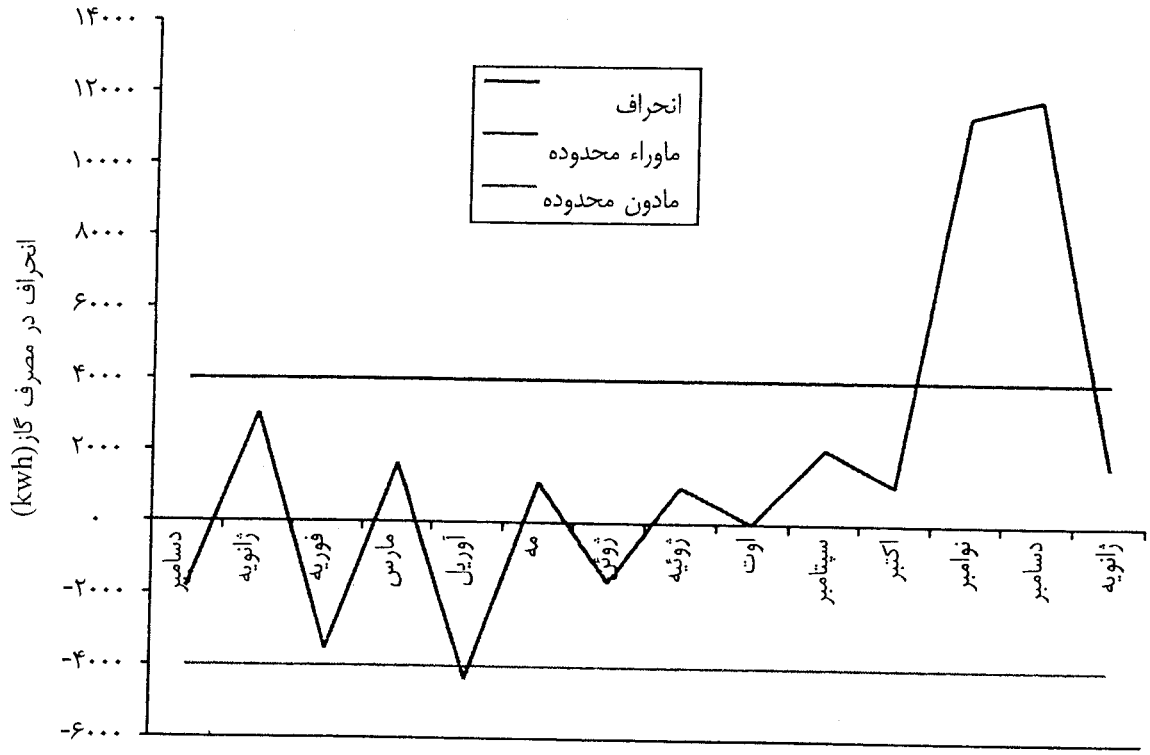
۷-۶-۲ تکنیکهای نموداری

تکنیکهای نموداری، اگر صحیح به کار گرفته شوند، می‌توانند ابزاری فوق‌العاده در تبادل اطلاعات به مدیران باشند. اگرچه پیروی از کلیه تکنیکهای نموداری ساده نیست و برخی می‌توانند بسیار منحرف کننده باشند. برای مثال، در حالیکه نمودار پراکندگی یک ابزار تحلیلی فوق‌العاده است (بخش ۴ را ببینید)، لیکن یک ابزار ارتباطی ضعیف است به سبب اینکه هیچ ثبت ادواری مصرف انرژی را به دست نمی‌دهد. از آنجائیکه آشنا شدن مدیران ارشد و عملیاتی با تکنیکهای تحلیل انرژی میسر نخواهد بود، اهمیت دارد که نمودارهای کاربری انرژی از نوعی باشند که بسادگی توسط متخصصین غیر انرژی درک گردند.

شماری از تکنیکهای نموداری وجود دارند که می‌توان جهت ارائه مصرف انرژی ادواری بکار گرفت. از اهم بطور خاص، نمودار هنجار، نمودار انحراف، و نمودار *Cusum* هستند. نمودار هنجار یک ترسیم تسلسلی از مصرف انرژی واقعی است که بر روی یک ترسیم از مصرف مورد هدف کشیده شده است (نمودار ۷-۴ را ببینید). بعنوان ابزاری تحلیلی ارزش کمی دارد، لیکن می‌تواند برای بزرگنمائی استثنائات و تبادل آنها به مدیران بسیار نافع باشد. به سبب اینکه نمودارهای هنجار یک ثبت ادواری از مصرف انرژی را ارائه می‌دهند، مدیران ارشد و عملیاتی آنها را نسبتاً ساده در فهم می‌یابند.



نمودار ۷-۴ نمودار هنجار برای مصرف گاز

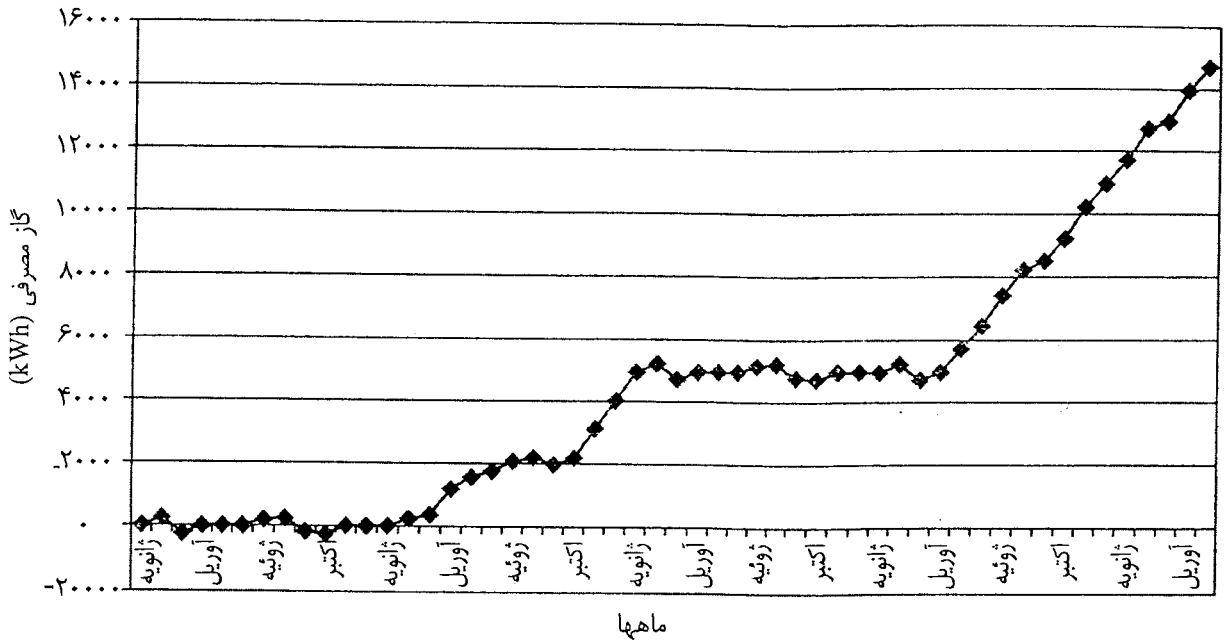


نمودار ۷-۵ نمودار انحراف برای مصرف گاز

نمودارهای انحراف تفاوت بین مصرف انرژی واقعی و مورد هدف را ترسیم می‌کنند. (نمودار ۷-۵) را ببینید. اگر، در هر ماهی، مصرف انرژی ماوراء مقدار مورد هدف باشد، آنگاه مصرف به عنوان یک مقدار مثبت ترسیم می‌شود؛ متقابلاً اگر مصرف واقعی پائین‌تر از مصرف مورد پیش بینی است، مقدار منفی رجعت می‌کند. زمانی که یک نمودار انحراف تهیه می‌کنید مفید است بر روی نمودار محدوده‌های عملیات نرمال را نشان دهید، از آنجائیکه این عمل به تشخیص بین زمینه‌های معمول و انحرافات جدی از هنجار کمک می‌کند. نمودارهای انحراف بخصوص در بزرگنمائی مشکلات خوب هستند، لذا اقدامات اصلاحی را می‌توان اتخاذ نمود. آنها هم چنین می‌توانند در تدارک گزارشهای استثنائات دقیق کاربرد داشته باشند.

مفهوم *Cusum* به جزئیات در بخش ۴ بحث شد. نمودارهای *Cusum* جمع مرکب انحراف مصرف انرژی واقعی از مصرف پیش‌بینی شده یا مورد هدف را ترسیم می‌کنند. بدین منوال آنها زمانیکه به شناسائی روندها و تشخیص مشکلات می‌پردازند، ابزاری مفید هستند. هم چنین آنها زمانی که اثرات هر اقدام اصلاحی اتخاذ شده را برآورد می‌کنیم، نافع اند. در حالیکه نمودارهای *Cusum* ابزار تشخیص سودمندی هستند، آنها اگر بطور کامل تشریح نشوند می‌توانند در درک

مشکل باشند. احتیاط شرط لازم است در اطمینان از اینکه مدیران آنچه در یک نمودار *Cusum* تبادل می‌شود را درک کنند. نمودار ۷-۶ یک نمونه نمودار *Cusum* را نشان می‌دهد.



نمودار ۷-۶ نمودار *Cusum* برای مصرف گاز

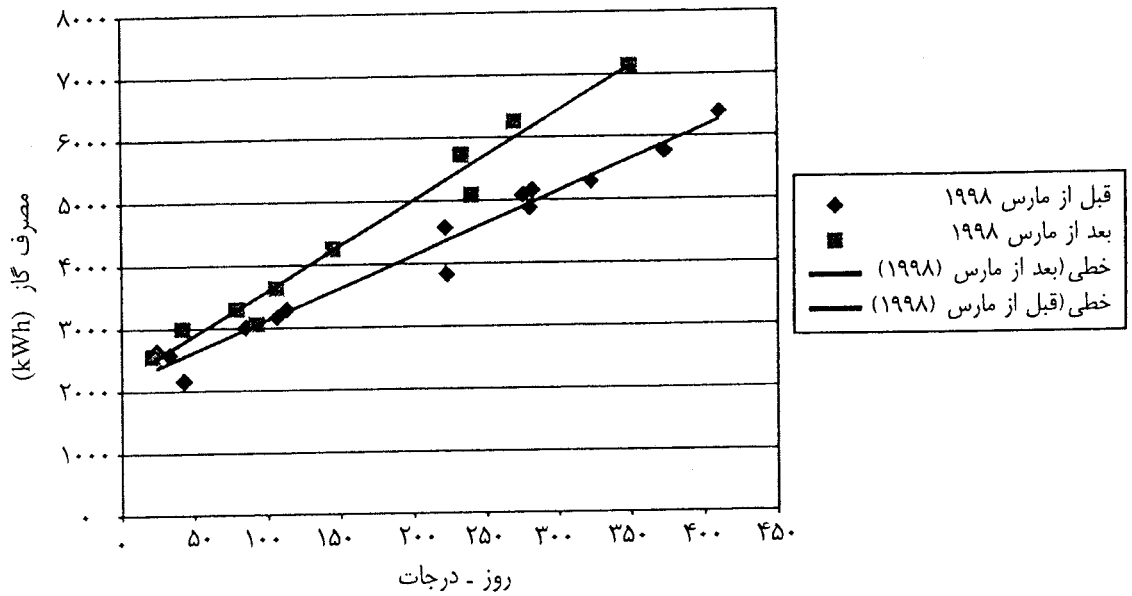
۷-۷ تشخیص تغییرات در کاربری انرژی

نمودارهای *Cusum* در زمان اینکه چرا هدر دادن انرژی بوقوع می‌پیوندد، خصوصاً سودمندند. این اصولاً به سبب این است که آنها تاریخ هر تغییری در کاربری انرژی را شناسائی می‌کنند. و این می‌تواند در شناخت زمان وقوع اولین مشکل به طور خاص یاری دهنده باشد، و این کمک به شناخت دقیق مشکل کرده، آنگاه تحلیل بیشتر می‌توان جهت تعیین علت آن اتخاذ کرد. استفاده تشخیصی از *Cusum* در مثال ۷-۲ نمایش داده شده است.

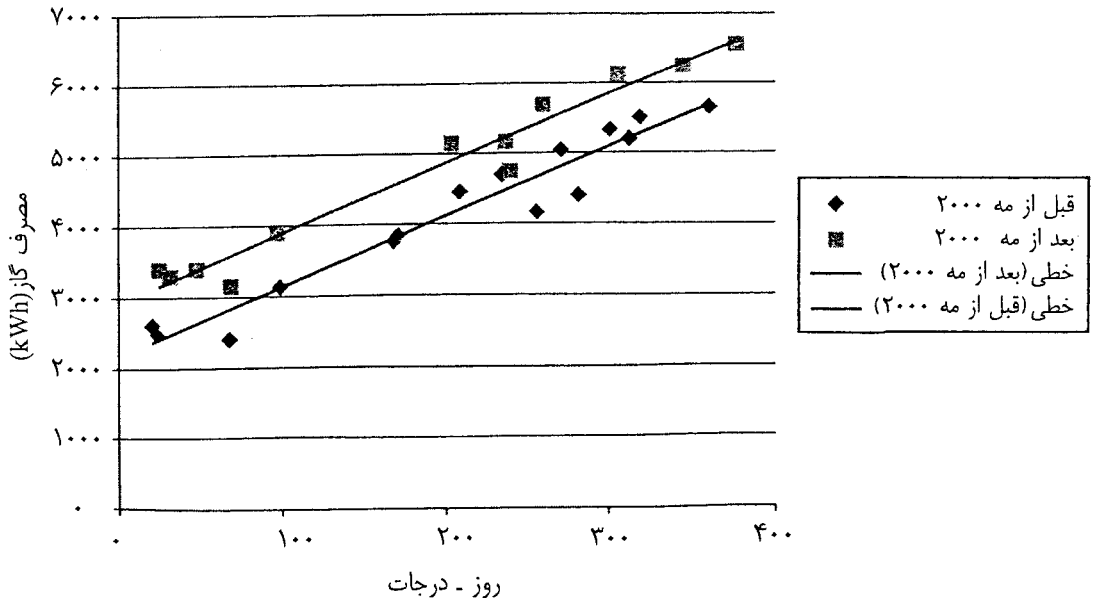
مثال ۷-۲

نمودار ۷-۶ یک ترسیم *Cusum* از مصرف گاز برای یک ساختمان مسکونی برای مقطع زمانی ژانویه ۱۹۹۷ تا مه ۲۰۰۱ را نشان می‌دهد. ترسیم *Cusum* نشان می‌دهد که برای مقطع زمانی ژانویه ۱۹۹۷ تا فوریه ۱۹۹۸ مصرف انرژی واقعی با کاربری استاندارد انرژی مطابقت دارد. در حالیکه، حدود مارس ۱۹۹۸ اتفاقی رخ داد که کاربری انرژی ساختمان را به طور چشمگیری به بدتر

شدن سوق داد و کاربری ضعیف تا فوریه ۱۹۹۹ زمانی که مشکل اصلاح شد، ادامه یافت. در ماه مه ۲۰۰۰ دوباره مصرف انرژی چرخشی شدید به بدتر شدن بخود گرفت و این مورد تا پایان مقطع تجزیه و تحلیل لاینحل باقی ماند.



نمودار ۷-۷ خطوط کاربری قبل و بعد از مارس ۱۹۹۸، نشان دهنده این است که کاهش کاربری به سبب یک مورد مرتبط با آب و هواست.



نمودار ۷-۸ خطوط کاربری قبل و بعد از مه ۲۰۰۰ نشان می‌دهد که کاهش کاربری به سبب یک افزایش در بار پایه است.

در راستای تعیین اینکه چرا تغییر در کاربری در مارس ۱۹۹۸ بوقوع پیوست، نیاز است تحلیل رگرسیونی برای مقاطع زمانی قبل و بعد از حادثه انجام شود. نمودار ۷-۷ نتایج تحلیل رگرسیونی را نشان می‌دهد.

از نمودار ۷-۷ روشن است که تغییری در شیب منحنی بهترین برازش خط مستقیم وجود دارد که نشان می‌دهد که افزایش در مصرف انرژی مرتبط با آب و هواست. نقطه‌ای که هر دو خط بر روی محور Y قطع می‌کنند یکسان بوده، نشان دهنده این است که مصرف بار پایه افزایشی نداشته است. توضیحات احتمالی برای افزایش در کاربری مرتبط با آب و هوا می‌تواند شامل موارد ذیل باشد:

- افزایشی در کلید کنترل درجه حرارت فضا.
- افزایشی در میزان هوادهی. اگر ساختمان یک سیستم هوای گرم با کانال مرکزی داشته باشد، این وضعیت می‌تواند بوقوع بپیوندد اگر دریچه‌های مخلوط کن هوای تازه در روی بخشهای جابجا کننده هوای اصلی اشتباهاً تنظیم شده باشند.

اکنون افزایش در مصرف انرژی که در ماه مه ۲۰۰۰ اتفاق افتاد را مورد ملاحظه قرار دهید. نمودار ۷-۸ ترسیم تحلیل رگرسیونی برای مقاطع زمانی قبل و بعد از این تاریخ را نشان می‌دهد. می‌توان دید که شیب در بهترین برازش خط مستقیم یکسان است. این نمایشگر این است که افزایش در مصرف انرژی، موضوع مرتبط با آب و هوا نیست، بلکه به بیان دقیق‌تر به علت افزایش چشمگیر در بار پایه بوده است، که می‌توانسته به علت تنظیم غلط ترموستات روی مخزن ذخیره آب گرم در ساختمان بوده باشد.

۷-۸ پرهیز از اتلاف

پرهیز اتلاف مفهومی است ساده که می‌تواند سبب صرفه‌جوئیهای هزینه‌ای بزرگ انرژی بدون سرمایه گذاریهای چشمگیر باشد.همانگونه که عبارت بیان می‌کند پرهیز از اتلاف در جستجوی به حداقل رساندن تلفات انرژی قابل پرهیز است. برنامه‌های پرهیز از اتلاف باید در اجرا سریع و ارزان باشند، از آنجائیکه هدف مشخص آنها حذف اتلاف است که می‌توان به سهولت از آن پرهیز کرد.

بر خلاف هدر دادن مواد اولیه که معمولاً نسبتاً آسان شناسایی می‌شوند تعیین که در آن انرژی هدر می‌رود به این سادگیها نیست و معمولاً شناسائی آن نیازمند کار کارشناسی قابل ملاحظه‌ای است. اغلب این مورد که حجم زیادی از انرژی می‌تواند در طول مدت زمان طولانی هدر رود بدون اینکه کسی توجه وقوع هرز روی باشد بوقوع می‌پیوندد. مورد گرمکن‌های برقی حفاظت از برفک را مورد ملاحظه قرار دهید. آنها در زمستان روشن می‌شوند تا صفحه ادوات کنترل و دیگر اقلام دستگاه را از صدمات برفک محافظت کنند. در حالیکه آنها ممکن است در زمستان روشن شوند اغلب این مورد که با اتمام هوای سرد آنها خاموش نمی‌شوند به چشم می‌خورد. در نتیجه آنها در تمام سال روشن می‌مانند بدون آنکه کسی متوجه شود مشاهده آن کار مشکلی نیست که اگر چیزی شبیه به این باندازه کافی زودتر شناسایی شود صرفه‌جوئیهای انرژی بیشتری می‌توان پدید آورد. تشخیص زود الزامی است و برنامه پرهیز از هرزدهی که قبلاً در این بخش کاربرد بسیاری از تکنیکها را تشریح کرد این امر را آسان می‌نماید.

۷-۹ علل اتلاف قابل پرهیز

اگرچه تأسیسات و سازمانها ممکن است کاملاً با یکدیگر متفاوت باشند بسیاری از علل اتلاف قابل پرهیز در بیشترین کاربردها عمومی و مشترک هستند. این علل عام شامل موارد ذیل می‌باشند (۲)

- وسایل حفاظت از برفک متناوباً برای مقاطع طولانی زمانی که هیچ خطری از صدمات برفک وجود ندارد روشن باقی می‌مانند. گرمکنهای زیر سطحی اغلب در خلال بهار و تابستان بدون هیچ اثر محسوسی روشن می مانند. شبیه به آن سیم پیچهای پیش گرمکن در واحدهای جابجا کننده هوا اغلب در تمام اوقات کار می‌کنند بدون اینکه اپراتورهای سیستم از مسئله آگاه باشند.
- عمل نکردن کلیدها اغلب می‌تواند علت عمده هدر دادن انرژی باشد. اغلب کلیدها برای روشن و خاموش کردن اتوماتیک دستگاهها به کار گرفته می‌شوند. اگر به هر دلیلی یک کلید در وضعیت روشن اشکال پیدا کند آنگاه دستگاه اغلب بدون متوجه شدن و برای مدتی بسیار زیاد، مداوماً کار خواهد کرد.
- کنترلهای زمانی اغلب می توانند به مصرف مازاد انرژی بیانجامند. کنترلهای زمانی برای خاموش کردن دستگاه بعد از یک مقطع زمان عملیاتی از پیش تعین شده طراحی شده‌اند. اگر آنها

عمل نکنند یا اهمیتی به آنها داده نشود یا در واقع اگر آنها سهواً غلط تنظیم شوند آن می‌تواند به کار کرد بیش از اندازه تأسیسات منجر شده و انرژی اضافی زیادی بی جهت مصرف گردد.

● اغلب عدم کنترل مناسب منجر به مصرف بالای انرژی غیر الزامی می‌گردد.اقلامی از دستگاههای روشنایی و پروانه‌های هواکشها اغلب دارای کنترلهایی به جز کلیدهای دستی نیستند چنین اقلامی آمادگی روشن ماندن مداوم را دارند.بخاطر داشته باشید کارکنان و مجریان اگر چه در روشن کردن وسایل و دستگاهها سریع هستند ولیکن اغلب خاموش کردن آنها را زمانی که نیازی به آنها نیست به فراموشی می‌سپارند.

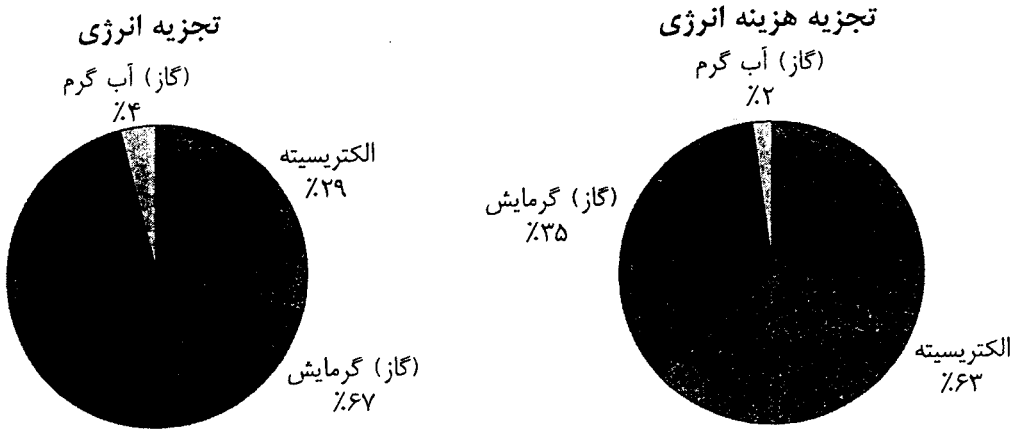
● نشتی آب یا بخار از لوله‌ها اغلب برای مدتی طولانی بدون متوجه شدن ادامه می‌یابد زیرا آنها معمولاً دور از دید واقع می‌شوند.

● شیرها و دریچه‌های کنترل کننده اگر بطور مطلوب نظارت و کنترل نشوند می‌توانند منجر به هرزدهی بیش از حدّ انرژی گردند سیستمهای جابجا کننده هوا اغلب دریچه‌های تنظیم شونده جهت تغییر حجم هوای تازه و هوای دوباره جریان یافته را بکار می‌گیرند. در حالیکه اگر یک دریچه در حالت هوای کاملاً تازه برای مدتی طولانی در خلال سردی هوا باقی بماند انرژی بسیاری در گرم کردن حجم زیادی از هوای سرد به هدر خواهد رفت.

● با سیستم‌های تهویه مطبوع به سبب تنظیم نامطلوب کنترل‌ها انرژی زیادی می‌تواند تلف گردد. اگر درجه خنک‌کنندگی زیر درجه گرما دهی تنظیم شود آنگاه سیم پیچهای خنک کنندگی و گرمادهی در یک زمان باهم به کار خواهند افتاد و به جنگ یکدیگر خواهند رفت. این می‌تواند بدون آگاهی ساکنین ساختمان اتفاق بیفتد و همیشه به مصرف انرژی اضافی می‌انجامد.

باید متذکر شد که بیشترین علل اتلاف انرژی که در بالا لیست شده است به سبب تنظیم نامناسب کنترل کار نکردن کنترل یا استفاده از کنترلهای ناکافی است. اینها خرابیهایی هستند که می‌توان با هزینه نسبتاً کمی اصلاحشان کرد.

طریقی مطلوب جهت شناسایی و حل مشکلات اتلاف انرژی ایجاد چک لیستهایی است که فضاهای دارای مسائل مشترک را شناسایی کند. همچنین چک لیستها می‌توانند در الویت‌بندی اقدامات صرفه‌جویی انرژی یاری دهنده باشند. آنها باید با اقدامات صرفه‌جویی شفاف‌تر و ساده‌تر آغاز کرده و در جهت آن مواردی که ناشناخته‌تر بوده و ممکن است نیازمند هزینه کردن سرمایه باشند توسعه دهند.



نمودار ۷-۹ واحد کارخانه: تجزیه انرژی و هزینه سالیانه

۷-۱۰ الویت‌بندی

اقدامات صرفه‌جوئی بالقوه انرژی باید الویت‌بندی شود. این مستلزم شناسائی کردن و به کمیت در آوردن هزینه‌های انرژی بوده و آن اقداماتی که بزرگترین صرفه‌جوئیهای بالقوه را عرضه می‌کنند بزرگنمائی شوند. تاریخ مملو از برنامه‌های است که به سبب مد بودن و یا به تصور شیک بودن آغاز شدند و در طولانی مدت ثابت شد که غیر مؤثرند و نهایتاً عملی احمقانه محسوب گشتند. معمولاً چنین برنامه‌های عنوان می‌شوند زیرا فردی در مرحله برنامه‌ریزی بدرستی دست آوردهای بالقوه را به کمیت در نیاورده است. بسیار بندرت اقدامات پیش پا افتاده‌ای هستند که بهترین برگشت را حاصل می‌کنند.

یکی از راهها جهت الویت بندی زمینه‌های فعالیت ایجاد جدول رده بندی است که در بخش ۷-۵-۱ مورد بحث واقع شد. این قادر می‌سازد آن *EAC*هائی که بیشترین بررسی ضروری را نیاز دارند شناسائی شوند. زمانیکه اقدامات را الویت بندی می‌کنید اهمیت دارد که مصرف انرژی و هزینه انرژی هر دو را برآورد کند. مورد یک ساختمان کارخانه با سیستم گرمایشی گاز سوز را لحاظ نمائید که تجزیه‌های هزینه و انرژی سالیانه آن در نمودار ۷-۹نشان داده شده است.

از نمودار۷-۹ می‌توان مشاهده کرد که اگرچه استفاده از انرژی الکتریسیته ۲۹٪ از کل انرژی مصرفی است هزینه انرژی الکتریسیته معرف ۶۳٪از جمع کل صورتحساب انرژی یعنی ۱/۷ برابر مخارج گاز بود. متعاقباً الویت ترجیحاًباید به کاهش‌مصرف الکتریسیته‌و نه مصرف گاز داده‌شود.

References

1. Computer-aided monitoring and targeting for industry, Good Practice Guide 31 (1995). Department of the Environment.
2. Waste avoidance methods, Fuel Efficiency Booklet 13 (1995). Department of the Environment.
3. Stark energy information systems (2001). http://www.stark.co.uk/, 16 July.

Bibliography

Computer-aided monitoring and targeting for industry, Good Practice Guide 31. (1995). Department of the Environment.

Eastop, T. D. and Croft, D. R. (1990). *Energy efficiency for engineers and technologists*, (Chapter 9). Longman Scientific & Technical.

Energy audits and surveys (1991). CIBSE Applications Manual AM5.

Moss, K. J. (1997). *Energy Management and Operating Costs in Buildings*, (Chapter 10). E & F. N Spon.

Monitoring and targeting in large manufacturing companies, Good Practice Guide 91. (1994). Department of the Environment.

Waste avoidance methods, Fuel Efficiency Booklet 13 (1995). Department of the Environment.

بخش هشتم

گرمایش با انرژی کارآمد

این بخش عملکرد مطلوب در طراحی و کارکرد سیستمهای گرمایشی ساختمان را مطرح می‌کند و شامل بخشی از انواع سیستم‌های گرمایشی است که باید برای کاربردهای خاص انتخاب گردند، می‌شود. علاوه بر این، مفهوم از دست‌دهی گرمای ساختمان بحث می‌گردد، و متدلوژیهایی برای پیش بینی کردن هزینه‌های انرژی گرمایشی و بهینه‌سازی بهره‌برداری از تأسیسات را، ارائه می‌نماید.

۸-۱ مقدمه

برای آنهائی که در اقلیمهای معتدل، خنک یا سرد زندگی می‌کنند، تدارک گرمایش کافی برای بخش اعظمی از سال در جهت حفظ رفاه و سلامتی، الزامی است، در حالیکه ممکن است برخی گرمایش مرکزی خوب را لوکس تعبیر کنند، یک مطالعه بیماریهای مسری که اخیراً در چند کشور اروپایی انجام پذیرفت، فاش ساخت که میزان مرگ و میر در میان کسانی که دارای عمر بالای ۵۰ سال هستند متناسب با میزان سرمائی است که تجربه می‌کنند(۱). در حقیقت، در انگلستان و ویلز یک افزایش ۲٪ در فوت برای هر یک درجه سانتیگراد، زیر درجه حرارت $19^{\circ}C$ هوای بیرون، وجود دارد (۲). در نتیجه، میزان مرگ و میر مرتبط با هوا در بریتانیا با تخمین وقوع ۴۰۰۰۰ مرگ بیشتر، در خلال ماههای زمستان هر سال جزو بالاترین‌ها در اروپاست،(۱). یک فاکتور عمده جانبی در ایران وضعیت تأسف‌بار، شرایط ضعیف بسیاری از خانه‌های موجود در بریتانیاست (۳،۱).

علاوه بر حفظ سلامت مناسب ساکنین ساختمان، گرمایش مکفی ساختمانهای عمومی، تجاری و صنعتی جهت تشویق عملیات کاری با بازدهی و بهره‌وری بالا، الزامی است. اگر افراد سرد و ناراحت باشند، خوب کار نخواهند کرد و لذا بازدهی کارافت خواهد نمود. واضح است که از نظر اقتصادی غلط است که در هزینه‌های سوخت کمی صرفه‌جوئی کنیم و در تولید مقدار زیادی ببازیم.

اگر چه یک ساختمان ممکن است به راحتی گرم شود، همیشه بدان معنی نیست که با بازدهی گرم می‌شود. در بسیاری ساختمانها حجم بزرگی از انرژی حرارتی روزانه به سبب تلفیقی از

طراحی ضعیف و عملیات اجرائی و نگهداری بد، تلف می‌شوند. بطور کلی، حرارت می‌تواند با هر ترکیبی از موارد ذیل تلف شود:

- سیستمهای گرمایشی ضعیف طراحی شده، که اغلب اشتباهاً برای کاربردهای خاص انتخاب شده‌اند.
- پوششهای ساختمان، ضعیف طراحی و عایق بندی شده.
- سیستمهای گرمایشی ضعیف عایق بندی شده.
- راه اندازی و نگهداری ضعیف تأسیسات بویلر.
- کنترلهای ضعیف.
- عملیات اجرائی ضعیف.

در جهت درک دلائل اینکه چرا گرما چنین بسادگی در ساختمانها تلف می‌شود، ارزش دارد که مورد شبستان کلیسائی قدیمی با سقفی بلند که نگهداری آن نیز ضعیف بوده را مورد ملاحظه قرار دهیم، که توسط یک سیستم رادیاتور آب گرم با درجه حرارت پائین *(LTHW)*[1] که از یک بویلر نفت سوز سرویس می‌گیرد، گرم می‌شود. بگذارید فرض کنیم که ساختمان برای جلسات و مناسبات اجتماعی، عمدتاً در عصرها و تعطیلات آخر هفته مورد استفاده قرار می‌گیرد.بدون پرداختن به جزئیات زیاد، شماری از راههای ممکنه در اینکه سیستم گرمایشی امکان دارد صرفه‌جو نباشد، به شرح ذیل وجود دارند.

- پوشش ساختمان احتمالاً به صورت ضعیفی عایق‌بندی شده لذا گرما به خصوص در شبهای سرد زمستان، به سهولت به خارج انتقال یافته و از دست خواهد رفت.
- پوشش ساختمان احتمالاً به خوبی درزگیری نشده و لذا مقادیر زیادی از هوای گرمایش شده از طریق درزهای اطراف چارچوب درب‌ها و پنجره‌ها، از دست خواهد رفت.
- در شبستان کلیسا هوای گرم شده توسط رادیاتورها به فضای سقف بلند برخواهد خواست، و لایه‌ای از هوا گرم خواهد شد. در نتیجه، کبوترانی که احتمال دارد در فضای سقف باشند گرم

1-Low Tempretare Hot Water

خواهند شد، در که در آن حضّار در سالن احتمالاً احساس سرما کرده و ناراحت خواهند بود.

● لوله‌کشی‌های از بویلر به رادیاتورها ممکن است بخوبی عایق‌بندی نشده باشند. اگر لوله‌ها از فضاهای گرمایش نشده به مانند فضاهای خالی کف یا در اطاق بویلر عبور کنند، این به از دست دادن گرمای عمده منجر خواهد شد.

● احتمالاً بویلر به صورت ضعیفی نگهداری می‌شود، در نتیجه مقداری از حرارت که برای گرم کردن آب است همراه گازهای احتراقی دود شده و از دست می‌رود.

● از آنجائیکه سیستم قدیمی است، احتمال دارد که کنترلهایش کافی نباشد. برای مثال، سیستم ممکن است که دارای ساعت زمانی باشد که بویلر و پمپ را در یک زمان هر روز روشن می‌کند، چه شبستان اشغال شده باشد یا خیر. دیگر اینکه، ترموستات در فضای شبستان ممکن است برای درجه حرارت بسیار بالا تنظیم شده باشد، لذا شبستان بیش از حد گرم می‌شود و حضار ناراحت می‌گردند. اینکه حضار در ساختمان بجای کم کردن ترموستات، پنجره‌ها را باز کنند، غیر معمول نیست. به طور کلی، اغلب این گونه است که حضار در ساختمان آن کسانی نیستند که صورت حسابهای سوخت را می‌پردازند.

مثال شبستان کلیسائی که بطور ضعیف گرم شده، نمایشگر چهار نکته مهم است:

۱ـ لازم است زمانی که یک سیستم گرمایش را طراحی می‌کنیم نگرشی جامع اتخاذ نمائیم. مصالح ساختمان و سیستم گرمایشی مکانیکی به یک میزان اهمیت دارند.

۲ـ انتخاب سیستم گرمایشی مناسب برای کاربرد موردنظر اهمیت دارد.

۳ـ داشتن یک سیستم کنترل کافی دارای اهمیت است.

۴ـ طراحی کردن و نصب یک سیستم گرمایشی عالی مورد مصرفی ندارد، اگر کارکنان و استفاده‌کنندگان از ساختمان درکی از چگونگی استفاده صحیح آن را ندارند.

۸-۲ رفاه حرارتی

زمانی که فردی در یک اطاق است، اعضاء و جوارح حیاتی او تحت یک درجه حرارت $۳۷/۲^{\circ}C$ از طریق مجموعه پیچیده‌ای از مکانیزمهای انتقال حرارت فعالیت می‌کنند. فرد به هوائی که او را احاطه کرده از طریق جابجائی، و به هر سطح سردی در داخل اتاق از طریق تشعشع، حرارت از دست خواهد داد. در حالیکه سطوح گرم در داخل اطاق سبب کسب حرارت توسط فرد از طریق

تشعشع خواهند شد. اطاقی را مورد ملاحظه قرار دهید که هوای $21^{\circ}C$ آن توسط رادیاتورهای نصب شده بر دیوار که دارای یک سطح با درجه حرارت $70^{\circ}C$ هستند، حفظ می‌شود. ساکنین اطاق به هوای اطراف از طریق جابجائی گرما از دست خواهند داد، زیرا سطح البسه آنها در حدود $30^{\circ}C$ خواهد بود. هم چنین آنها با تشعشع به بسیاری از سطوح سرد در اطاق که بیشترین آنها در درجه حرارتی کمتر از $21^{\circ}C$ هستند، حرارت از دست خواهند داد. در همان زمان از طریق تشعشع از رادیاتورهای گرم حرارت کسب خواهند کرد. ساکنین هم چنین با تبخیر از طریق تنفس کردن و تعریق گرما از دست خواهند داد. مقدار کمی گرما نیز از طریق پاها و با رسانش از دست خواهد رفت. نهایتاً، یک تعادل حرارتی پیچیده پدید می‌آید، که درجه حرارت مرکزی بدنهای ساکنین را در $37/2^{\circ}C$ حفظ می‌نماید. اگر به هر دلیلی یک فرد سردش یا گرمش بشود، به عبارتی دیگر ناراحت باشد، آنگاه بدن آنها اعمال غیراختیاری در جهت حفظ حرارت مرکزی اتخاذ خواهد کرد. یک چنین مکانیسمی تعریق است، که تحت شرایط گرم افزایش یافته، لذا وقوع تبخیر خنک‌کنندگی افزایش می‌یابد. اگر فردی راحت نیست، او می‌تواند هم‌چنین گامهای اختیاری جهت اصلاح وضعیت اتخاذ نماید. برای مثال، لباسهای اضافی می‌تواند درآورده شود یا پوشیده شود. معادله ۸-۱ تعادل حرارتی بین بدن انسان و محیط اطراف را بیان می‌دارد(۴). باید متذکر شد که رسانش از معادله (۸-۱) حذف شده است زیرا در بیشترین وضعیتهای معمول قابل چشم‌پوشی است.

$$M\text{-}W=Q_e \pm Q_c \pm Q_r + S \qquad (۸-۱)$$

که در آن M نرخ سوخت و ساز است (W)، W نرخی است که انرژی در کار مکانیکی صرف می‌شود (W)، Q_c میزان انتقال حرارت از طریق جابجائی است (W)، Q_r میزان انتقال حرارت از طریق تشعشع است (W)، Q_e میزان از دست‌دهی حرارت با تبخیر است (W)، و S میزانی است که حرارت در بدن ذخیره می‌شود (W).

غذا که توسط بدن هضم شده به انرژی تبدیل می‌شود. برخی از این انرژی جهت انجام کار مکانیکی صرف می‌گردد، لیکن بیشترین آن حرارت تولید می‌کند. در حقیقت، تحت شرایط نرمال، حرارت بیشتری توسط بدن از آنچه که نیاز واقعی آن برای حفظ درجه حرارت مرکزی است، تولید می‌شود. بنابراین حرارت از بدن بطرق جابجائی، تشعشع و تبخیر از دست می‌رود. بدن انسان هم چنین می‌تواند با جابجائی و تشعشع تحت شرایط گرم، حرارت کسب کند. باید در نظر داشت که

غیرممکن است با تبخیر بتوان کسب حرارت نمود، زیرا که همیشه این یک مکانیسم خنک‌کنندگی است.اگر شخصی تمرینات یا کار مکانیکی انجام دهد، آنگاه میزان سوخت و ساز افزایش یافته و بدن نیازمند دفع کردن حرارت بیشتر است، در غیر اینصورت گرما زده خواهد شد. در نتیجه، در سالنهائی مانند سالن ورزشی، که در آن تمرین جدّی انجام می‌پذیرد، لازم است جهت جبران برای افزایش میزان حرارت تولیدی بدن انسان یک درجه پائین‌تر در سالن داشت. جدول ۸-۱ حرارت تولیدی برای یک سری از نرخهای کار، به همراه درجه حرارت سالن پیشنهاد شده را نشان می‌دهد.

رفاه حرارتی ساکنین ساختمان می‌تواند تحت تأثیر فاکتورهای زیست محیطی و شخصی باشد. فاکتورهای شخصی را می‌توان به عنوان آن متغیرهائی که مستقیماً به شخص ارتباط پیدا می‌کند، تعریف کرد. آنها شامل موارد ذیل‌اند:

- فعالیت: هر چه سطح فعالیت شخص بالاتر باشد، حرارت بیشتری خارج می‌شود.
- البسه: هر چه مقدار البسه پوشیده شده بیشتر باشد، از دست دادن حرارت کمتر است.
- سن: میزان سوخت و ساز باسن کاهش می‌یابد.
- جنسیت: میزان سوخت و ساز در حال استراحت خانمها حدوداً ۱۰٪ پائین‌تر از آقایان است.
- سلامتی: بیماریها توانائی بدن در حفظ درجه حرارت مرکزی در $37/2^{\circ}C$ را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

این فاکتورهای رفاه شخصی همیشه باید در زمان طراحی سیستمهای گرمایشی برای کاربردهای خاص مورد ملاحظه قرار گیرند. برای مثال، به سبب اینکه میزان سوخت و ساز افراد مسن از افراد جوان‌تر کمتر است، اهمیت دارد که درجه حرارت هوا را در سطحی بالاتر از حد طبیعی در مکانهای اقامتی برای افراد مسن، حفظ نمود. همچنین، زمانی که سالن انتظار یک ایستگاه قطار را طراحی می‌کنید، که در آن مسافران درگذر ممکن است لباسهای زمستانی در بر داشته باشند، توصیه می‌شود درجه حرارت هوا در درجه پائین‌تری از، بگوئیم یک دفتر، جائی که معمولاً البسه سبک پوشیده می‌شود، حفظ گردد.

جدول ۸-۱ تولید مناسب گرما و درجه حرارت‌های منجر از خشکی

خروجی گرمای مناسب برای هر فرد (W)	درجه حرارت خشک مورد نیاز اطاق ($°C$)	نمونه کاربرد	نوع کار
۱۰۰	۲۰/۰	اداره	کار سبک
۱۱۰	۲۰/۰	بانک	پیاده‌روی آهسته
۱۵۰ *	۱۶/۰	کارخانه	کار سبک نشسته
۲۰۰ *	۱۳/۰	کارخانه	کار سنگین

* با فرض یک درجه حرارت خشک $15°C$

پارامترهای زیست محیطی که رفاه حرارتی راتحت تأثیر دارند عبارتند از: درجه حرارت هوا، میانگین درجه حرارت تابشی، رطوبت نسبی و سرعت باد. این پارامترها، بطرق مختلف، انتقال گرما را توسط جابجائی، تشعشع و تبخیر تحت تأثیر قرار می‌دهند. انتقال حرارت جابجائی توسط درجه حرارت هوا و سرعت هوا تحت تأثیر قرار می‌گیرد. این موضوع بطور مستمر انجام می‌پذیرد، اگر چه در بیشترین ساختمانها نامحسوس بوده به سبب اینکه سرعتهای هوا پائین هستند (مثلاً پائین ۰/۱ m/s). برای محسوس بودن، سرعتهای هوا باید از حدود ۰/۲ m/s بگذرند.انتقال حرارت تابشی بین پوست/البسه و آن سطوحی که توسط بدن انسان مشاهده می‌شود، رخ می‌دهد. بنابراین بطور جدی توسط میانگین درجه حرارت تابشی (t_r) سطوح داخل اطاقها، تحت تأثیر قرار می‌گیرد. برای اطاقهای مکعبی شکل، حدود میانگین درجه حرارت تابشی در مرکز اطاق را می‌توان از معادله ذیل تعیین نمود:

$$t_r=\frac{a_1.t_1+a_2.t_2+a_3.t_3+...+a_n.t_n}{a_1+a_2+a_3+...+a_n} \qquad (۲-۸)$$

که در آن t_r میانگین درجه حرارت تابشی است ($°C$)، a_1، a_2، ...، a_n مساحت سطح تشکیل دهنده اطاق هستند. (m^2) و t_1، t_2، ...، t_n درجه حرارتهای سطح تشکیل‌دهنده اطاق می‌باشند. (m^2).

از دست دادن حرارت تبخیری با رطوبت نسبی هوا، و سرعت هوا کنترل می‌شود. اگر شرایط بسیار رطوبتی است، بمانند کشورهای مناطق حاره، آنگاه از دست‌دهی گرما بصورت تبخیر پائین

خواهد بود، زیرا هر تعریقی که انجام پذیرد قادر به تبخیر نیست. اگر، چنانچه، هوا خشک باشد آنگاه تبخیر بفوریت انجام پذیرفته و بدن خنک می‌شود. خنک‌کنندگی تبخیری یک مکانیزم انتقال حرارت مهم در درجه حرارت هوای بالا ۲۵°C می‌شود. در درجه حرارت هوای بالای ۲۹°C تقریباً تمامی گرما از بدن توسط تبخیر دفع می‌شود(۶).

آسایش حرارتی توسط شماری از فاکتورهای زیست محیطی، بویژه میانگین درجه حرارت تابشی، درجه حرارت هوا و سرعت هوا معین می‌گردد. لذا اهمیت دارد که این فاکتورها در زمان طراحی ساختمانها لحاظ گردند. مفهوم درجه حرارت منجر از خشکی (t_{res}) برای مجاز ساختن این ملاحظات، توسعه یافت. درجه حرارت منجر از خشکی به شرح ذیل تعریف می‌شود:

$$t_{res} = \frac{t_r + t_a . \sqrt{10 Va}}{1 + \sqrt{10 V_a}} \qquad (۳-۸)$$

که در آن V_a سرعت هوا است (m/s)، و t_a درجه حرارت هوا می‌باشد. ($°C$).

در حالیکه، در بیشترین ساختمانها، به سبب اینکه سرعت هوا پائین ۰/۱ m/s است، معادله ۸-۳ را می‌توان به صورت ذیل ساده نمود.

$$t_{res} = 0/5 t_r + 0/5 t_a \qquad (۴-۸)$$

معادله ۸-۴ به ما می‌گوید زمانی که در حفظ یک محیط زیست راحت در داخل ساختمانها، می‌کوشیم. میانگین درجه حرارت تابشی به اندازه درجه حرارت هوا اهمیت دارد این تشریح می‌کند که چرا در برگشت به یک خانه گرم نشده بعد از چند روز غیبت، در اطاقها احساس سردی و ناراحتی خواهیم کرد، حتی با روشن بودن سیستم گرمایش و بحد نصاب رسیدن درجه حرارت هوا، هنوز هم این چنین خواهد بود. درجه حرارت هوا ممکن است قابل قبول باشد، لیکن درجه حرارت منجر از خشکی هنوز پائین خواهد بود زیرا مصالح ساختمان هنوز سرد هستند.

۸-۳ از دست رفتن گرمای ساختمان

زمانی که ساختمانی تا یک درجه حرارت داخلی ثابت، گرم می‌شود، تعادلی پدید می‌آید که نیروی گرمایش داخل ساختمان برابر میزانی است که گرمایش از ساختمان خارج می‌شود. لذا

جهت حفظ یک محیط داخلی مناسب خروجی هر سیستم گرمایشی باید برابر و یا بیشتر از اثر ترکیبی از دست رفتن گرمایش از طریق مصالح ساختمان و هواکش‌ها باشد. از دست دادن گرمایش مصالح عمدتاً با رسانش از طریق دیوارها، پنجره‌ها، سطح زمین و سقف‌ها صورت می‌گیرد. اتلاف از طریق هواکش‌ها از بین رفتن گرمایش با جابجائی است و زمانی که هوای گرم از ساختمانی رفته و با هوای سرد جایگزین می‌شود، اتفاق می‌افتد. تقریب خوبی از گرمادهی مصالح را می‌توان با استفاده از معادله عمومی ذیل معین کرد:

$$Q_f = U \times A \times (t_{ai} - t_{ao}) \qquad (۵-۸)$$

که در آن Q_f میزان گرمادهی مصالح (W)، U ضریب انتقالی حرارتی (ارزش U) (W/m^2K)، A مساحت (m^2)، t_{ai} درجه حرارت هوای داخل $(°C)$، و t_{ao} درجه حرارت هوای خارج می‌باشد $(°C)$.

مشابه آن، اتلاف گرما از طریق تهویه را می‌توان با استفاده از معادله ذیل معین نمود:

$$Q_v = ۰/۳۳۳ \times n \times V \times (t_{ai} - t_{ao}) \qquad (۶-۸)$$

که در آن Q_v میزان اتلاف گرمای تهویه (W)، n تعداد دفعات تهویه (تغییر هوا در هر ساعت)، و V حجم است(m^3).

از معادله‌های (۸-۵) و (۸-۶) می‌توان مشاهده کرد که میزان اتلاف گرمای مصالح و تهویه هر دو مستقیماً متناسب با تفاوت بین درجه حرارت هوای داخل و خارج هستند. از آنجائیکه درجه حرارت هوای داخل باید در خلال زمستان در یک سطح ثابتی نگهداری شود، بنابراین از دست رفتن گرما با درجه حرارت هوای خارج متغیر است. بویلرها و گرمادهنده‌ها باید برای سناریوی بدترین وضعیت (مثلاً روزی بسیار سرد) طرّاحی شوند و قادر به حفظ درجه حرارت داخلی در نظر گرفته شده تحت این شرایط آب و هوائی شدید، باشند. زمانی که تحت شرایط به نسبت کم شدت‌تر کار می‌کنند (تحت شرایطی زیر بار کامل)، خروجی سیستم گرمایش را می‌توان با استفاده از کنترلها کاهش داد. جدول ۸-۲ نمونه شرایط در نظر گرفته شده برای هوای خارج زمستانی برای قسمتهای مختلف جهان را ارائه می‌دهد.

ساده‌ترین راه کاهش انرژی مصرفی توسط یک سیستم گرمایشی، ایجاد یک پوشش ساختمان

است که بخوبی عایق‌بندی شده و اینکه میزان تهویه در حداقل لازم برای زندگی سلامت، کنترل می‌شود. معمولاً نائل آمدن به این مورد مستلزم دقت و توجه هم در خلال مراحل طراحی و هم در ساخت و ساز بوده، که همراه با افزایش در هزینه کردن سرمایه می‌باشد. تعجب‌آور نیست، بسیاری بساز و بفروشهای نامطمئن انگیزه کمی در ساخت پوششهای ساختمانی که از نظر انرژی کارآ هستند، دارند زیرا معمولاً آنها نیستند که صورتحسابهای سوخت را می‌پردازند. بنابراین بیشترین کشورها دارای مقررات ساختمانی با درجات مختلفی از سخت‌گیری، جهت مجبور نمودن سازندگان ساختمان به انطباق با استانداردهای حداقل معینی از عایق‌بندی حرارتی، می‌باشند. معمولاً این استانداردها به صورت حداکثر مجاز مقادیر U برای شیشه‌کاری، دیوارها، سطوح کف و سقفهاست.

۸-۳-۱ مقادیر U

استانداردهای عایق حرارتی معمولاً به صورت مقادیر U اظهار می‌شوند. مقدار U یا انتقال حرارت، معیاری از میزان کلی انتقال حرارت، تحت شرایط استاندارد، از بخش خاصی از سازه است. واحد آن W/m^2K است و، از معادله (۸-۷) می‌توان مشاهده کرد که معکوس مقاومت حرارتی است. هرچه مقدار U یکی از اجزاء پائین‌تر باشد، کاربری عایق حرارتی آن بهتر است.

$$U=\frac{1}{\Sigma R} \qquad (۸-۷)$$

که در آن ΣR کل مقاومت حرارتی سازه است (m^2K/W).

مقاومت حرارتی هر لایه تشکیل‌دهنده هر سازه‌ای را می‌توان با استفاده از معادله (۸-۸) تبین نمود.

$$R=\frac{l}{\lambda} \qquad (۸-۸)$$

که در آن R مقاومت حرارتی لایه است (m^2k/W)، L ضخامت لایه است (m)، λ رسانش حرارتی است (W/mK).

جدول ۸-۲ درجه حرارتهای هوای خارج زمستانی در نظر گرفته شده برای نمونه شهرهای اطراف جهان

درجه حرارت طراحی ($^{\circ}C$) هوای خارج زمستانی	شهر	کشور
۶	پرت	استرالیا
۶	سیدنی	
-۷	بروکسل	بلژیک
-۳	شانگهای	چین
-۱۰	لیون	فرانسه
-۴	پاریس	
-۱۱	برلین	آلمان
-۹	هامبورگ	
-۱۳	مونیخ	
-۶	میلان	ایتالیا
۲	ناپل	
۱	روم	
۴	دهلی نو	هند
-۲	توکیو	ژاپن
-۱	کریس چروح	نیوزلند
۳	ولینگتون	
-۱۶	اسلو	نروژ
۲	بارسلونا	اسپانیا
-۲	مادرید	
-۱۳	استکهلم	سوئد
-۳	بیرمنگام	بریتانیا
-۲	گلاسگو	
-۲	لندن	

-۲/۵	منچستر	
-۲۰	شیکاگو	ایالات متحده امریکا
-۶	دالاس	
-۱۴	کانزاس سیتی	
۴	لس آنجلس	
۸	میامی	
۱	نیواورلئان	
-۹	نیویورک	
۳	سان فرانسیسکو	
-۹	سیاتل	
-۸	واشنگتن *DC*	

مجموع مقاومت حرارتی یک سازه جمع مقاومتهای کلیه لایه‌های منفرد، به اضافه مقاومتهای هر کدام از سطوح به انتقال حرارت می‌باشد. جدول ۸-۳ نمونه مقادیر رسانایی حرارتی برای تنوعی از مواد ساختمانی را ارائه می‌دهد.

نمودار ۸-۱ مکانیسمهای انتقال حرارت که در یک نمونه دیوار خارجی با یک جدار هوا انجام می‌شود را نشان می‌دهد. در حالیکه انتقال حرارت از طریق بخشهای سخت هر سازه با رسانش است، تشعشع و جابجائی است که انتقال حرارت در سطوح را کنترل می‌کند. مقاومت در انتقال حرارت یک سطح را می‌توان با استفاده از معادله (۸-۹) محاسبه کرد، که ضرائب انتقال حرارتی تشعشعی و جابجایی، و انتشاردهی سطح را به لحاظ می‌آورد.

جدول ۸-۳ رسانائی حرارتی مواد مختلف(۸)

مواد	تراکم (kg/m^3)	رسانائی حرارتی (W/mK)
آجرکاری (نمای بیرونی)	۱۷۰۰	۰/۸۴
آجرکاری (نمای داخلی)	۱۷۰۰	۰/۶۲
بتون‌ریزی (فشرده)	۲۱۰۰	۱/۴۰
بتون‌ریزی (سبک وزن)	۱۲۰۰	۰/۳۸
بلوک بتونی (سنگین وزن)	۲۳۰۰	۱/۶۳
بلوک بتونی (میان وزن)	۱۴۰۰	۰/۵۱
بلوک بتونی (سبک وزن)	۶۰۰	۰/۱۹
دیوار فیبری	۳۰۰	۰/۰۶
دیوار پیچی	۹۵۰	۰/۱۶
گچ (فشرده)	۱۳۰۰	۰/۵۰
گچ (سبک وزن)	۶۰۰	۰/۱۶
اندود خارجی	۱۳۰۰	۰/۵۰
روکش	۱۲۰۰	۰/۴۱
آسفالت	۱۷۰۰	۰/۵۰
کاشی	۱۹۰۰	۰/۸۴
ورق نئوپان	۶۵۰	۰/۱۴
پلی استایرن	۲۵	۰/۰۳۵
ورق پشم شیشه	۲۵	۰/۰۳۵
کف فنولیک	۳۰	۰/۰۴۰

$$R_s=\frac{1}{h_c+(E\times h_r)} \qquad (۹-۸)$$

که در آن R_s مقاومت سطح است (m^2K/W)، h_c ضریب انتقال جابجائی حرارت است (W/m^2K)، h_r ضریب انتقال تشعشعی حرارت است (W/m^2K) و E ضریب انتشار است.

ضریب انتقال حرارت جابجائی، میزانی است که حرارت از ـ یا ـ به یک متر مربع سطح به طریق جابجائی در $1^{\circ}C$ تفاوت بین سطح و مایع هم جوار (مثلاً هوا) انتقال می‌یابد. ضریب انتقال حرارت تشعشعی میزانی است از انتقال حرارت تشعشعی از یا به یک سطح یک متر مربعی از یک جسم سیاه، تقسیم بر تفاوت بین درجه حرارت میانگین سطح تشعشع‌زا و سطوح احاطه کننده. کلمه سیاه به جسمی اطلاق می‌شود که کلیه اجزاء انرژی با هر طول موجی را جذب کرده و بالعکس انرژی با هر طول موجی را منتشر می‌کند. نیروی انتشار یک جسم سیاه را می‌توان با استفاده از معادله (۸-۱۰) محاسبه کرد.

$$E_b=\sigma\times T^4 \qquad (۸-۱۰)$$

که در آن E_b توان انتشار است (W/m^2)، σ عدد ثابت استفان بولتزمن است $(۵/۶۷\times۱۰^{-8}\ W/m^2K^4)$، و T درجه حرارت مطلق جسم سیاه است (K).

البته جسمهای سیاه تئوریک هستند و مواد ساختمانی، انرژی با کلیه طول موجها را جذب و یا انتشار نمی‌دهند و بنابراین جسمهای سیاه نیستند. کلمه انتشاردهی برای توصیف نسبت نیروی انتشاردهی یک جسم غیرسیاه به آن چیزی که توسط یک جسم سیاه نشان داده می‌شود، می‌باشد. قدرت انتشار یک جسم سیاه برابر ۱ است، در حالیکه تمام اجسام دیگر کمتر از یک هستند. سطوح مات، از نوعی که توسط اکثر موادهای ساختمانی نشان داده می‌شود، دارای قدرت انتشار بالا هستند، در حالیکه سطوح فلزی درخشان دارای یک قدرت انتشاردهی پائین می‌باشند. سطوح با انتشار دهی بالا، منتشرکننده و جذب‌کننده‌های تشعشعی خوبی هستند، درحالیکه سطوح با انتشاردهی پائین اینگونه نیستند. جدول ۸-۴ مثالهائی از مقادیر انتشار برای مواد ساختمانی معمول را ارائه می‌دهد.

ضریب انتشار (E) که در معادله (۸-۹) به آن اشاره شده است برای انتشاردهی و ارتباط هندسی سطوح پخش کننده و جذب کننده هر دو را مجاز می‌دارد. فاکتور انتشاردهی با ترتیب هندسی خاص سطوح درگیر، متفاوت بوده، لیکن برای کاربرد در بیشترین ساختمانها می‌توان آنرا حدود ۰/۹ گرفت.

مقاومت حرارتی هر سطحی به شدت تحت تأثیر سرعت هوا است. اگرچه برای بیشترین کاربردهای ساختمانی، سرعتهای هوای اطاق از $۰/۱m/s$ بزرگتر نیست و لذا امکان تعیین نمونه

ارزشها برای تنوعی از سطوح وجود دارد (همانگونه که در جدول ۸-۵ نشان داده شده است). جدول ۸-۵ نمونه مقاومتهای سطح داخلی برای سطوح با انشاردهی بالا و پائین را ارائه می‌دهد.

مقاومت سطوح خارجی ساختمان تحت تأثیر سنگینی سرعت باد است. جدول ۸-۶ نمونه مقاومتهای خارجی سطح تحت حفاظ، معمولی و شرایط جدی را ارائه می‌دهد.

جداره‌های هوا در دیوارها و سقفها که هوادهی نمی‌شوند نسبت به انتقال حرارت مقاومت می‌نمایند. برای جداره‌های در دیوار با ضخامت تا حدود $۲۵mm$ مقاومت حرارتی افزایش می‌یابد.

جدول ۸-۴ نمونه مقادیر ضریب انتشار

انتشاردهی	سطح
۱	جسم سیاه
۰/۹۰-۰/۹۸	(غیر فلز) سیاه
۰/۸۵-۰/۹۵	بتون
۰/۸۵-۰/۹۵	رنگ سفید
۰/۲۰-۰/۳۰	(مات) آلومینیوم
۰/۰۲-۰/۰۵	(شفاف) آلومینیوم

از اسمیت فلیپس و سوئنی (۱۹۸۷) علوم محیط زیست (C) گروه لانگسن بریتانیا تجدید چاپ با اجازه مدرسه آموزش پیرسون.

جدول ۸-۵ نمونه مقاومتهای سطح داخلی (۸)

مقاومت سطح $m^۲K/W$			
ضریب‌انتشارپائین (E=۰/۰۵)	ضریب‌انتشار بالا (E=۰/۹۷)	جهت جریان گرما	اجزاء ساختمان
۰/۳۰	۰/۱۲	افقی	دیوارها
۰/۲۲	۰/۱۰	بطرف بالا	سقف یا بام‌ها
۰/۵۵	۰/۱۴	بطرف پائین	سقف یا کف‌ها

جدول ۸-۶ نمونه مقاومتهای سطح خارجی

اجزاء ساختمان	انتشاردهی سطح	مقاوت سطح (m^2K/W)		
		حفاظ دار	معمولی	شدید
دیوار	زیاد	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۳
	کم	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۰۳
		۰/۰۷		
سقف	زیاد	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۲
	کم		۰/۰۵	۰/۰۲

حفاظ دار: تا طبقه سوم در مراکز شهر اطلاق می‌شود.

معمولی: به بیشترین مناطق حومه و روستاها اطلاق می‌شود و از طبقه چهارم تا هشتم ساختمانهای بلند در مرکز شهرها؛

شدید: به محوطه‌های تپه‌ای و ساحلی اطلاق می‌گردد، و از طبقه پنجم به بالای مناطق روستائی و حومه و از طبقه نهم بالای مرکز شهرها.

از آن به بعد مقاومت حرارتی جداره هوا با وجود هر افزایش بیشتری در ضخامت تقریباً ثابت می‌ماند. انتقال حرارت از میان جداره هوا با جابجایی و تشعشع است. بنابراین انتشاردهی سطوح جداره به طور چشمگیری بر انتقال حرارت تأثیرگذار است. جدول ۸-۷ نمونه مقاومتهای حرارتی برای تنوعی از جداره‌های هوا را ارائه می‌دهد.

جدول ۸-۷ نمونه مقاومتهای حفره‌های هوای غیرقابل تهویه(۸)

مقاومت حرارتی (m^2K/W) برای جهت جریان حرارت ذکر شده				
نسبت پائین	نسبت بالا	افقی	انتشاردهی سطح	ضخامت جداره
۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	زیاد	۵ میلی‌متر
۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	کم	
۰/۲۲	۰/۱۷	۰/۱۸	زیاد	۲۵ میلی‌متر یا بیشتر
۱/۰۶	۰/۳۵	۰/۳۵	کم	

مثال ۸-۱ نشان می‌دهد که چگونه معادله واطلاعات بالا را می‌توان برای تعیین مقدار U یک دیوار خارجی به کار گرفت.

مثال ۸-۱

یک دیوار خارجی دارای سازه‌های ذیل است.

رسانایی حرارتی (W/mk)	ضخامت (mm)	اجزاء
۰/۵۰۰	۱۳	گچ
۰/۲۰۰	۱۰۰	(لایه داخلی) بلوک بتونی
در دسترس نیست	۵۰	جداره هوا
۰/۸۴۰	۱۰۲	(لایه خارجی) آجر

با فرض اینکه حفره هوا دارای یک مقاومت حرارتی $۰/۱۸m^2K/W$، مقاومت سطح داخلی $۰/۱۲۳m^2K/W$ است و مقاومت سطح خارجی $۰/۰۵۵m^2K/W$ می‌باشد، معین کنید:

(I) مقدار U دیوار را؛ و

(II) مقدار U دیوار را اگر حفره‌ها با کف عایق‌بندی پر شده باشد و رسانش حرارتی

$۰/۰۳۶ W/mK$ را داشته باشد.

راه‌حل

با استفاده از اطلاعات بالا و معادله (۸-۸) تعیین مقاومت کلی حرارت دیوار دوجداره بشرح ذیل میسّر است:

اجزاء	ضخامت (m)	رسانایی حرارتی (W/mK)	مقاومت حرارتی $(m^۲K/W)$
مقاومت سطح داخلی	*n.a.*	*n.a.*	۰/۱۲۳
گچ	۰/۰۱۳	۰/۵۰۰	۰/۰۲۶
(لایه داخلی) بلوک بتونی	۰/۱۰۰	۰/۲۰۰	۰/۵۰۰
جداره هوا	۰/۵۰	*n.a.*	۰/۱۸۰
(لایه خارجی) آجر	۰/۱۰۲	۰/۸۴۰	۰/۱۲۱
مقاومت سطح خارجی	*n.a.*	*n.a.*	۰/۰۵۵
		کل مقاومت =	۱/۰۰۵

(*I*) بنابراین:

مقدار U (دیوار موجود) $= \frac{۱}{۱/۰۰۵} = ۰/۹۹۵ \quad W/m^۲K$

(*II*) اگر جداره دیوار با کف پر شده باشد، آنگاه:

مقاومت حرارتی کف $= \frac{۰/۰۵}{۰/۰۳۶} = ۱/۳۸۹ \quad m^۲K/W$

از آنجایی که از این پس، مقاومت حرارتی $۰/۱۸ m^۲K/W$ برای هوای داخل حفره کاربرد ندارد، بنابراین:

مقاومت جدید حرارتی دیوار $= ۱/۰۰۵ + ۱/۳۸۹ - ۰/۱۸ = ۲/۲۱۴ \, m^۲K/W$

بنابراین:

$$\text{مقدار جدید } U = \frac{۱}{۲/۲۱۴} = ۰/۴۵۲ \quad W/m^۲K$$

از مثال ۸-۱ می‌توان مشاهده کرد که با پر کردن جداره با کف عایق‌بندی، امکان کاهش ارزش U دیوار تا ۵۴/۶٪ وجود داشته است.

۸-۳-۲ محاسبات از دست دادن گرما

اگر مقادیر U برای اجزاء مختلف مصالح یک ساختمان شناخته شده باشد، آنگاه امکان استفاده از معادلات (۸-۵) و (۸-۶) جهت تعیین، بالنسبه دقیق، طراحی زمستانه، نرخ از دست دادن گرمای روزانه و سپس اندازه نهائی بویلر و گرماده‌های تأسیسات وجود دارد. مثال ۸-۲ نشان می‌دهد که چگونه این محاسبات باید انجام پذیرد.

مثال ۸-۲

مساحت سطوح و مقادیر U اجزاء یک ساختمان بشرح ذیل هستند.

اجزاء	مساحت $(m^۲)$	ارزش U $(W/m^۲K)$
کف	۲۰۰	۰/۴۵
سقف	۲۰۰	۰/۲۸
شیشه تک‌جداره	۱۶	۵/۶۰
درب‌های خارجی	۸	۲/۰۰
دیوارهای خارجی	۲۱۶	۰/۶۰

اگر درجه حرارت داخلی طراحی شده $۲۱^\circ C$ و درجه حرارت خارجی طراحی شده $-۱^\circ C$ باشد نرخ از دست دادن گرمای روزانه طراحی شده را تعیین کنید. (با فرض اینکه ساختمان در هر ساعت ۳ تغییر هوا را تجربه می‌کند که حجم آن $۸۰۰ m^۳$ است).

راه‌حل

تحت شرایط طراحی زمستانه، اختلاف درجه حرارت بین داخل و خارج ۲۲ است. با در نظر گرفتن این، و با کاربرد معادله (۸-۵) ($Q_f=UA(t_{ai}-t_{ao})$ یعنی)، محاسبه نرخ از دست‌دهی گرما از طریق هر یک از اجزاء تشکیل‌دهنده سازه ساختمان میسر است.

اجزاء	مساحت (m^2)	ارزش U (W/m^2K)	اختلاف درجه حرارت ($°C$)	از دست دادن گرم (W)
کف ساختمان	۲۰۰	۰/۴۵	۲۲	۱۹۸۰/۰
سقف	۲۰۰	۰/۲۸	۲۲	۱۲۳۲/۰
شیشه تک‌جداره	۱۶	۵/۶۰	۲۲	۱۹۷۱/۲
درب‌های خارجی	۸	۲/۰۰	۲۲	۳۵۲/۰
دیوارهای خارجی	۲۱۶	۰/۶۰	۲۲	۲۸۵۱/۲
۸۳۸۶/۴ =اتلاف گرمای سازه				

با کاربرد معادله (۸-۶) تعیین از دست دادن گرمای هواکش میسّر است:

$$W \quad ۱۷۶۰۰=[۲۱-(-۱)]\times۸۰۰\times۳\times۰/۳۳۳۳=\text{اتلاف گرما از طریق تهویه}$$

اکنون:

اتلاف از طریق تهویه + اتلاف سازه = کل گرمای از دست داده شده

بنابراین

$$W \quad ۲۵۹۸۶/۴=۱۷۶۰۰+۸۳۸۶/۴=\text{کل گرمای از دست داده شده}$$

از یک نقطه نظر صرفه‌جویانه انرژی، یکی از مزایای انجام محاسبات یک طراحی از دست دادن گرمای روزانه این است که یک تجزیه اجزائی از، دست دادن نسبی گرما از ساختمان را بدست داده،

و قادر می‌سازد که آنها بسرعت و بسهولت ارزیابی شوند. از مثال ۸-۲ می‌توان مشاهده کرد که $۱۱۹۷۱/۲W$ از طریق شیشه تک جداره از دست می‌رود (یعنی ۷/۶٪ ازکل گرمای از دست رفته). در حالیکه، از دست دادن گرما از طریق تهویه $۱۷۶۰۰W$ می‌باشد که بیانگر ۶۷/۷٪ از کل گرمای از دست رفته است. با این مشخصه، نصب شیشه‌های دو جداره بدون کاهش تلفات حرارتی از طریق تهویه، کار بیهوده‌ای است.

گرچه، استفاده از معادلات (۸-۵) و (۸-۶) یک ارزش دقیق نسبی از طرّاحی از دست دادن گرمای روزانه زمستانی بدست می‌دهد، بخصوص در کاربردهائی که گرمایش تشعشعی مورد استفاده است، می‌تواند غیردقیق باشد. یک مدل برتر، که بطور تام انتقال حرارت تشعشعی را که در داخل فضای اطاق رخ می‌دهد، به حساب می‌آورد، توسط معادلات (۸-۱۱) و (۸-۱۲) توصیف شده است.

$$Q_f=F_۱\times\Sigma(AU)\times(t_c-t_{ao}) \qquad (۱۱-۸)$$

و

$$Q_v=F_۲\times ۰/۳۳۳\times N\times V\times(t_c - t_{ao}) \qquad (۱۲-۸)$$

و

$$Q_p=Q_f+Q_v \qquad (۱۳-۸)$$

که در آن Q_p خروجی تأسیسات حرارتی (W)، t_c درجه حرارت خشک در مرکز اطاق $(°C)$، و $F_۱$ و $F_۲$ نسبتهای درجه حرارت ویژه هستند.

نسبتهای درجه حرارت $F_۱$ و $F_۲$ بشرح ذیل توصیف شده‌اند:

$$F_۱=\frac{(t_{ei}-t_{ao})}{(t_c-t_{ao})} \qquad (۱۴-۸)$$

و

$$F_۲=\frac{(t_{ai}-t_{ao})}{(t_c-t_{ao})}$$

که در آن t_{ei} درجه حرارت محیط داخلی است$(°C)$.

درجه حرارت محیط داخلی یک مفهوم نظری است که جهت محاسبه انتقال حرارت جابجائی و

تشعشعی به سطح درونی یک دیوار رو به بیرون، از دیگر سطوح در یک اتاق، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در اقلیم‌های گرم و معتدل، می‌توان آنرا به شرح ذیل تعریف کرد:

$$t_{ei}=\frac{۱}{۳} \cdot t_{ai}+\frac{۲}{۳} \cdot t_m \qquad (۱۶-۸)$$

که در آن t_m درجه حرارت میانگین سطح اطاق است. $(°C)$.

CIBSE جداول ارزشهای $F_۱$ و $F_۲$ برای سیستمهای حرارتی مختلف را منتشر می‌کند. (۱۰). جداول ۸-۸، ۸-۹ و ۸-۱۰ ارزشهای $F_۱$ و $F_۲$ را برای یک سیستم هوای گرم تحت فشار، یک سیستم رادیاتور پانلی، و یک سیستم تشعشعی نواری با درجه حرارت بالا را نشان می‌دهند. در هر جدول ارزشهای $F_۱$ و $F_۲$ در مقابل دو متغیر $\Sigma (AU) / \Sigma (A)$ و $NV/3 \Sigma (A)$ ارائه شده است.

زمانیکه ارزشهای $F_۱$ و $F_۲$ برای هر سیستمی مشخص گردیده‌اند، امکان محاسبه درجه حرارت محیط داخلی و درجه حرارت میانگین سطح یک اطاق با استفاده از معادلات (۸-۱۷) و (۸-۱۸) میسّر است.

$$t_{ei}=[F_۱ \times (t_c - t_{ao})]+t_{ao} \qquad (۱۷-۸)$$

$$t_{ai}=[F_۲ \times (t_c - t_{ao})]+t_{ao} \qquad (۱۸-۸)$$

ترتیب مجدّد معادله (۸-۱۶) بدست می‌دهد:

$$t_m=\frac{۳}{۲} \cdot t_{ei} - \frac{۱}{۲} \cdot t_{ai} \qquad (۱۹-۸)$$

جدول ۸-۸ ارزشهای F_1 و F_2 برای ۱۰۰٪ گرمایش جابجائی، ۰٪ گرمایش تشعشعی (مثلاً سیستم حرارتی هوای گرم تحت فشار)(۱۰)

	$\Sigma(AU) / \Sigma(A)$							
	۰/۲		۰/۴		۰/۶		۰/۸	
$NV/3\Sigma(A)$	F_1	F_2	F_1	F_2	F_1	F_2	F_1	F_2
۰/۱	۰/۹۹	۱/۰۳	۰/۹۸	۱/۰۷	۰/۹۷	۱/۱۰	۰/۹۶	۱/۱۳
۰/۲	۰/۹۹	۱/۰۳	۰/۹۸	۱/۰۷	۰/۹۷	۱/۱۰	۰/۹۶	۱/۱۳
۰/۴	۰/۹۹	۱/۰۳	۰/۹۸	۱/۰۷	۰/۹۷	۱/۱۰	۰/۹۶	۱/۱۳
۰/۶	۰/۹۹	۱/۰۳	۰/۹۸	۱/۰۷	۰/۹۷	۱/۱۰	۰/۹۶	۱/۱۳
۰/۸	۰/۹۹	۱/۰۳	۰/۹۸	۱/۰۷	۰/۹۷	۱/۱۰	۰/۹۶	۱/۱۳
۱/۰	۰/۹۹	۱/۰۳	۰/۹۸	۱/۰۷	۰/۹۷	۱/۱۰	۰/۹۶	۱/۱۳
۱/۵	۰/۹۹	۱/۰۳	۰/۹۸	۱/۰۷	۰/۹۷	۱/۱۰	۰/۹۶	۱/۱۳
۲/۰	۰/۹۹	۱/۰۳	۰/۹۸	۱/۰۷	۰/۹۷	۱/۱۰	۰/۹۶	۱/۱۳
۳/۰	۰/۹۹	۱/۰۳	۰/۹۸	۱/۰۷	۰/۹۷	۱/۱۰	۰/۹۶	۱/۱۳
۴/۰	۰/۹۹	۱/۰۳	۰/۹۸	۱/۰۷	۰/۹۷	۱/۱۰	۰/۹۶	۱/۱۳

جدول ۸-۹ ارزشهای F_1 و F_2 برای گرمایش جابجائی ۷۰٪، گرمایش تشعشعی ۳۰٪ (مثلاً رادیاتورهای پانلی) (۱۰)

	$\Sigma(AU) / \Sigma(A)$							
	۰/۲		۰/۴		۰/۶		۰/۸	
$NV/3\Sigma(A)$	F_1	F_2	F_1	F_2	F_1	F_2	F_1	F_2
۰/۱	۱/۰۰	۱/۰۱	۰/۹۹	۱/۰۳	۰/۹۸	۱/۰۵	۰/۹۸	۱/۰۶
۰/۲	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۱/۰۲	۰/۹۹	۱/۰۴	۰/۹۸	۱/۰۶
۰/۴	۱/۰۰	۰/۹۹	۱/۰۰	۱/۰۱	۰/۹۹	۱/۰۲	۰/۹۹	۱/۰۴
۰/۶	۱/۰۱	۰/۹۷	۱/۰۰	۰/۹۹	۱/۰۰	۱/۰۱	۰/۹۹	۱/۰۳
۰/۸	۱/۰۱	۰/۹۶	۱/۰۱	۰/۹۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۱
۱/۰	۱/۰۲	۰/۹۵	۱/۰۱	۰/۹۶	۱/۰۱	۰/۹۸	۱/۰۰	۱/۰۰
۱/۵	۱/۰۳	۰/۹۲	۱/۰۲	۰/۹۳	۱/۰۲	۰/۹۵	۱/۰۱	۰/۹۷
۲/۰	۱/۰۴	۰/۸۹	۱/۰۳	۰/۹۰	۱/۰۳	۰/۹۲	۱/۰۲	۰/۹۳
۳/۰	۱/۰۶	۰/۸۳	۱/۰۵	۰/۸۵	۱/۰۵	۰/۸۶	۱/۰۴	۰/۸۸
۴/۰	۱/۰۷	۰/۷۸	۱/۰۷	۰/۸۰	۱/۰۶	۰/۸۱	۱/۰۶	۰/۸۳

جدول ۸-۱۰ ارزشهای F_1 و F_2 برای گرمایش جابجائی ۱۰٪، گرمایش تشعشعی ۹۰٪ (مثلاً سیستمهای تشعشعی با درجه حرارت بالا) (۱۰)

	$\Sigma(AU) / \Sigma(A)$							
	۰/۲		۰/۴		۰/۶		۰/۸	
$NV/3\Sigma(A)$	F_1	F_2	F_1	F_2	F_1	F_2	F_1	F_2
۰/۱	۱/۰۱	۰/۹۷	۱/۰۲	۰/۹۵	۱/۰۲	۰/۹۴	۱/۰۲	۰/۹۳
۰/۲	۱/۰۲	۰/۹۵	۱/۰۲	۰/۹۳	۱/۰۳	۰/۹۲	۱/۰۳	۰/۹۱
۰/۴	۱/۰۳	۰/۹۱	۱/۰۳	۰/۹۰	۱/۰۴	۰/۸۸	۱/۰۴	۰/۸۷
۰/۶	۱/۰۴	۰/۸۷	۱/۰۵	۰/۸۶	۱/۰۵	۰/۸۵	۱/۰۵	۰/۸۴
۰/۸	۱/۰۵	۰/۸۴	۱/۰۶	۰/۸۳	۱/۰۶	۰/۸۲	۱/۰۶	۰/۸۱
۱/۰	۱/۰۶	۰/۸۱	۱/۰۷	۰/۸۰	۱/۰۷	۰/۷۹	۱/۰۷	۰/۷۸
۱/۵	۱/۰۹	۰/۷۴	۱/۰۹	۰/۷۳	۱/۰۹	۰/۷۲	۱/۱۰	۰/۷۱
۲/۰	۱/۱۱	۰/۶۸	۱/۱۱	۰/۶۷	۱/۱۱	۰/۶۶	۱/۱۲	۰/۶۵
۳/۰	۱/۱۴	۰/۵۹	۱/۱۴	۰/۵۸	۱/۱۴	۰/۵۷	۱/۱۴	۰/۵۷
۴/۰	۱/۱۶	۰/۵۲	۱/۱۶	۰/۵۱	۱/۱۷	۰/۵۰	۱/۱۷	۰/۵۰

مثال ۸-۳ چگونگی کاربرد معادلات (۸-۱۱ و ۸-۱۲) در تعیین خروجی تأسیسات برای ساختمان نشان داده شده در مثال ۸-۲ را نمایش می‌دهد.

مثال ۸-۳

برای ساختمان توصیف شده در مثال ۸-۲، تعیین کنید خروجی تأسیسات حرارتی را اگر گرمایش ساختمان توسط موارد ذیل تأمین شود:

(*I*) یک سیستم حرارتی هوای گرم تحت فشار

(*II*) یک سیستم رادیاتور پانلی *LTHW*

(*III*) یک سیستم تشعشعی نواری با درجه حرارت بالا

فرض کنید درجه حرارت خشک داخلی طراحی شده $21^{\circ}C$ باشد و در کلیه موارد دیگر اطلاعات بدون تغییر از آنچه که مثال ۸-۲ نشان داده، می‌باشد.

راه‌حل

در راستای به کمیّت درآوردن F_1 و F_2 ارزشهای پارامترهای ذیل معین شده‌اند:

$$\Sigma(A)=۶۴۰\ m^2$$

$$\Sigma(AU)=۳۸۱/۲\ W/K$$

$$NV/۳=۸۰۰\ W/K$$

بنابراین

$$\frac{\Sigma(AU)}{\Sigma(A)}=۰/۶۰\ W\backslash m^2K$$

و

$$\frac{NV}{۳\Sigma(A)}=۱/۲۵\ W/m^2K$$

با نظری بر جداول ۸-۸، ۸-۹ و ۸-۱۰ مقادیر F_1 و F_2 بشرح ذیل یافته شدند:

F_2	F_1	نوع گرمایش	انتخاب
۱/۰۱۰	۰/۹۷۰	گرمایش هوای گرم تحت فشار	(I)
۰/۹۶۵	۱/۰۱۵	سیستم رادیاتور پانلی $LTHW$	(II)
۰/۷۵۵	۱/۰۸۰	سیستم تشعشعی نواری با درجه حرارت بالا	(III)

بنابراین با استفاده از معادلات (۸-۱۱) و (۸-۱۳):

(I) گرمایش هوای گرم تحت فشار:

$$Q_f=۰/۹۷\times۳۸۱/۲\times[۲۱-(-۱)]=۸۱۳۴/۸\ W$$

و

$$Q_v=۱/۱۰\times۰/۳۳۳\times۳\times۸۰۰\times[۲۱-(-۱)]=۱۹۳۶۰/۰\ W$$

بنابراین

$$Q_p=۸۱۳۴/۸+۱۹۳۶۰=۲۷۴۹۴/۸\ W$$

با کاربرد معادلات (۸-۱۷ و ۸-۱۹) امکان تعیین هوای داخلی و درجه حرارت محیط، و درجه حرارت میانگین سطح داخلی ساختمان موجود است.

$$t_{ei}=[۰/۹۷\times(۲۱-(-۱))]+(-۱)=۲۰/۳\ ^\circ C$$

$$t_{ai}=[۱/۰۱\times(۲۱-(-۱))]+(-۱)=۲۳/۲\ ^\circ C$$

$$t_m=\frac{۳}{۲}\times۲۰/۳-\frac{۱}{۲}\times۲۳/۲=۱۸/۹\ ^\circ C$$

بطور مشابه خروجی تأسیسات برای انتخاب *(II)* و *(III)* رامی توان با استفاده از متدولوژی بالا ایجاد نمود. خلاصه‌ای از نتایج محاسبات طرّاحی زمستانه برای انتخاب *(I)*، *(II)* و *(III)*، به اضافه نتایج حاصله از مثال ۸-۲ در جدول زیر ارائه گردیده است.

انتخاب	نوع گرمایش	Q_f *(W)*	Q_v *(W)*	Q_p *(W)*	t_{ai} *(°C)*	t_m *(°C)*	t_{ei} *(°C)*	t_c *(°C)*
مثال ۸-۲	نامشخص	۸۳۸۶/۴	۱۷۶۰۰/۰	۲۵۹۸۶/۴	۲۱/۰	*n.a.*	*n.a.*	*n.a.*
(I)	هوای گرم	۸۱۳۴/۸	۱۹۳۶۰/۰	۲۷۴۹۴/۸	۲۳/۲	۱۸/۹	۲۰/۳	۲۱/۱
(II)	رادیاتورهای پانلی	۸۵۱۲/۲	۱۶۹۸۳/۸	۲۵۴۹۶/۰	۲۰/۲	۲۱/۹	۲۱/۳	۲۱/۱
(III)	تشعشعی نواری با درجه حرارت بالا	۹۰۵۷/۳	۱۳۲۸۷/۹	۲۲۳۴۵/۲	۱۵/۶	۲۶/۳	۲۲/۸	۲۱/۰

مقایسه نتایج حاصله از مثالهای ۸-۲ و ۸-۳ نشان می‌دهد که استفاده از درجه حرارت خشک و ضرائب F_1 و F_2 دارای اثراتی چند در محاسبه کل خروجی تأسیسات می‌باشد. می‌توان مشاهده کرد که خروجی لازمه از سیستم تشعشعی نواری با درجه حرارات بالا تقریباً $5kW$ از سیستم

هوای گرم تحت فشار پائین‌تر است، و سیستم رادیاتوری در میان این دو می‌باشد. هم چنین باید توجه داشت که روش ساده، بر مبنای درجه حرارت هوای داخل، یک خروجی تأسیسات که در مقدار مشابه آنچه که برای سیستم رادیاتور پانلی $LTHW$ لازم بود، تولید می‌کند. حد اشتباه برای روش «درجه حرارت هوای داخل» که کمتر دقیق است، زمانیکه با سیستم هوای گرم مقایسه شده، ۵/۸-٪ بود و در حالیکه با سیستم تشعشعی نواری مقایسه گردید، ۱۴+٪ بود. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد در حالیکه روش ساده درجه حرارت هوای داخل برای سیستم‌های گرمایش رادیاتوری استاندارد دیواری قابل قبول است، روش F_1 و F_2 را باید زمانیکه سیستمهائی را طراحی می‌کنیم که یا ۱۰۰٪ جابجائی و یا تقریباً ۱۰۰٪ تشعشعی هستند، بکار گیریم.

۸-۴ محاسبات انرژی گرمایشی

معادلات ۸-۵، ۸-۶، ۸-۱۱ و ۸-۱۲ نشان می‌دهد که اتلاف گرمای ساختمان ارتباط مستقیم با اختلاف در درجه حرارت بین محیطهای داخلی و خارجی دارد. متعاقباً ساختمانهائی که زمستانهای سخت‌تری را تجربه می‌کنند، بدون تردید، در خلال ماههای زمستان انرژی گرمایشی بیشتری مصرف می‌نمایند. بنابراین می‌توان با استفاده از شیوه روز ـ درجه (ضمیمه ۱ را برای شرح کامل روز ـ درجات ببینید) هزینه‌های گرمایش سالیانه را پیش‌بینی کرد.

برای ساختمانی که مداوم گرم می‌شود و لیکن هیچ گرمای قابل توجه مستمری را تجربه نمی‌کند، مصرف انرژی گرمایشی سالیانه را می‌توان با استفاده از معادلات (۸-۲۰) یا (۸-۲۱) تعیین نمود.

$$E=\frac{Q_p}{(t_c-t_{ao})}\times D_{۱۵/۵}\times ۲۴\times\frac{۱}{\eta} \qquad (۲۰-۸)$$

که در آن E انرژی مصرف شده (kWh)، Q_p خروجی تأسیسات گرمایشی (kW)، $D_{۱۵/۵}$ شمار روز ـ درجات استاندارد (بر مبنای درجه حرارت پایه $۱۵/۵^{\circ}C$)، و η بازدهی فصلی سیستم گرمایشی است.

نمونه مقادیر η برای انواع مختلف تأسیسات دیگ بخار در جدول ۸-۱۱ نشان داده شده است. بعنوان یک جایگزین برای معادله (۸-۲۰)، امکان استفاده از معادله (۸-۲۱) جهت پیش‌بینی مصرف انرژی وجود دارد. اگرچه، به سبب اینکه معادله (۸-۲۱) درجه حرارت هوای داخل را بکار برده و

ارائه دهنده یک سیستم گرمایشی نامشخص است، نتایج محاسبه از آنهائی که با استفاده از معادله (۸-۲۰) معین شده، احتمالاً دارای دقت کمتری است. صرف نظر از این مورد، اگر ساختمانها بخوبی عایق‌بندی شده باشند و عمدتاً یک سیستم گرمایشی جابجائی مورد استفاده باشد. معادله (۸-۲۱) دارای دقت مناسبی است.

$$E=\frac{Q_p}{(t_{ai}-t_{ao})}D_{۱۵/۵}\times ۲۴\times\frac{۱}{\eta} \qquad (۸-۲۱)$$

زمانیکه سیستمهای گرمایشی ساختمان را طرّاحی می‌کنیم نادیده گرفتن هر گونه کسب گرمای داخلی در محاسبات طراحی روزهای زمستان عملی استاندارد و معمول است. در این روش سیستم گرمایشی به اندازه‌ای است که سناریو بدترین وضعیت را تحمل کند (یعنی در زمانی که کسب گرمای داخلی وجود ندارد). در واقع، اگر تأسیسات گرمایش بیش از اندازه باشد، کنترلهای گرمایشی باید درجه حرارت آب در جریان را، پائین آورده و ساختمان را از گرمایش اضافی محفوظ دارند. بهرحال، زمان انجام محاسبات پیش‌بینی انرژی احتمالاً اهمیت دارد در محاسبه روز درجه حرارت، کسب حرارت مستمر داخلی را مجاز داشت (مثلاً از روشنائی و وسائل)، به این امر می‌توان با اصلاح درجه حرارت پایه روز درجه از $۱۵/۵^{\circ}C$ به یک سطح مناسب، نائل آمد. جدول ۸-۱۲ فاکتورهای اصلاحی مختلف $Dd/D_{۱۵/۵}$ برای درجه حرارتهای پایه متفاوت را نشان می‌دهد.

جدول ۸-۱۱ بازدهی‌های فصلی تأسیسات گرمایشی (۱۱)

نوع سیستم	بازدهی وضعی (٪)
گرمایش مستمر فضا	
بویلرهای معمولی و کندانسوری با سیستم قابل تنظیم با شرایط آب و هوائی	۸۵
بویلر گاز یا نفت سوز تمام کنترل با سیستم رادیاتوری	۷۰
بویلر گاز یا نفت سوز تمام کنترل با سیستم رادیاتوری (کاربرد بویلرهای چند واحدی با کنترل کننده متناوب)	۷۵
گرمایش متناوب فضا	
بویلرهای معمولی و کندانسوری با سیستم قابل تنظیم با شرایط آب و هوائی	۸۰
بویلر گاز یا نفت سوز تمام کنترل با سیستم رادیاتوری	۶۵
بویلر گاز یا نفت سوز تمام کنترل با سیستم رادیاتوری (کاربرد بویلرهای چندواحدی با کنترل کننده متناوب)	۷۰

کسب حرارت داخلی را می‌توان در محاسبه روز ـ درجه با معین نمودن افزایش درجه حرارت به سبب کسب حرارت داخلی با استفاده از معادله (۸-۲۲) جایز دانست.

$$d=\frac{Q_g}{Q_p}\times(t_c-t_{ao}) \qquad (۸-۲۲)$$

که در آن d افزایش متوسط درجه حرارت است که می‌توان با کسب حرارت داخلی بتنهائی حفظ کرد (K) و Q_g کسب حرارت داخلی است (W).

درجه حرارت پایه جدید t_b را آنگاه می‌توان با استفاده از معادله (۸-۲۳) معین کرد.

$$t_b=t_c-d \qquad (۸-۲۳)$$

معادلات ۸-۲۰ و ۸-۲۱ فقط برای ساختمانهائی که بطور مستمر گرمایش می‌شوند، کاربرد دارند. اگر چه بیشترین ساختمانها بطور متناوب اشغال هستند و بطور مستمر گرمایش نمی‌شوند.

زمانی که ساختمانها بطور متناوب اشغال شوند ضروری است انرژی گرمایش اضافی لازم برای رساندن سازه ساختمان به درجه حرارت مورد نظر را جایز داشت. مقدار پیش گرمایش لازم بستگی به ظرفیت حرارتی ساختمان دارد.

جدول ۸-۱۲ نسبتهای $Dd/D_{۱۵/۵}$ برای درجه حرارت‌های پایه مختلف (۱۲)

$Dd/D_{۱۵/۵}$	درجه حرارت پایه ($^{\circ}C$)
۰/۳۳	۱۰
۰/۵۷	۱۲
۰/۸۲	۱۴
۰/۹۴	۱۵
۱/۰۰	۱۵/۵
۱/۰۶	۱۶
۱/۱۸	۱۷
۱/۳۰	۱۸

سازه‌های سنگین مستلزم مقاطع طولانی گرمایش بوده و زمانی که گرم شدند، بخوبی گرما را حفظ می‌کنند، درحالیکه سازه‌های سبک آمادگی گرم و سرد شدن سریع را دارند. بنابراین ملاحظه تام اثر اشغال متناوب بر مصرف انرژی بدون لحاظ کردن ظرفیت حرارتی ساختمان ناممکن است. رده‌بندی سازه‌های *CIBSE* بر مبنای ماند حرارتی در جدول ۸-۱۳ ارائه شده است. جایز داشتن گرمایش متناوب زمانی که روش روز ـ درجه را بکار می‌بریم لازم است فاکتورهای اصلاح را برای موارد ذیل تعریف کنیم:

- طول هفته کاری
- طول روز کاری
- عکس‌العمل ساختمان و تأسیسات

جداول ۸-۱۴، ۸-۱۵ و ۸-۱۶ برای این فاکتورهای اصلاحی ارزش‌ها را تنظیم کرده‌اند. مثال ۸-۴ نحوه محاسبه هزینه‌های گرمایش سالیانه برای یک ساختمان را نشان می‌دهد.

مثال ۸-۴

یک ساختمان اداری سه طبقه با زیربنای کل ۲۴۰۰ متر مکعب، ۵ روز هفته و ۸ ساعت در روز اشغال می‌شود. طراحی روزانه خروجی تأسیسات (مثلاً از دست دهی گرما) $۱۹۰ kW$ محاسبه شده است زمانی که درجه حرارت خارج $-۳°C$ است و درجه حرارت خشک $۲۱°C$ می‌باشد. ساختمان با یک سری از بویلرهای گازسوز چند واحدی که به یک سیستم گرمایشی متأثر از هوای گرم با بازدهی فصلی ۷۰٪ متصل شده، گرم می‌شود.

با فرض اینکه ساختمان در منطقه‌ای است که ۲۳۵۴ روز درجات در سال تجربه می‌کند، و اینکه هزینه گاز طبیعی $۱/۵p/kWh$ است، هزینه سوخت گرمایش سالیانه را معین کنید:

(*I*) هرگونه کسب حرارت داخلی را نادیده بگیرید. (با فرض درجه حرارت پایه $۱۵/۵°C$).

(*II*) کسب یک حرارت داخلی $۲۰ W/m^۲$ را مجاز دارید (از روشنائی‌ها و وسائل).

راه‌حل

(*I*) نادیده گرفتن هرگونه کسب حرارت داخلی: از جدول ۸-۱۴، فاکتور اصلاحی برای طول هفته کاری ۰/۸۵ است. از جدول ۸-۱۵، فاکتور اصلاحی برای طول روز کاری ۱/۰ است. از جدول ۸-۱۶ فاکتور اصلاحی برای عکس العمل ساختمان و تأسیسات ۰/۸۵ است.

جدول ۸-۱۳ رده بندی سازه‌های *CIBSE* بر مبنای ماند حرارتی (۱۲)

وزن	شرح ساختمان
خیلی سنگین	ساختمانهای چندطبقه با سفت کاری یا دیوارهای یکپارچه بتونی و تقسیمات داخلی با جداسازیهای محکم
سنگین	ساختمانهای با پنجره‌های بزرگ و مساحت قابل ملاحظه جداسازی شده یکپارچه و کفها
متوسط	ساختمانهای یک طبقه سفت کاری یا بتونی، تقسیمات داخلی توسط جداسازیهای یکپارچه.
سبک	ساختمانهای یک طبقه نوع کارخانه‌ای، با اندکی جداسازی یکپارچه یا بدون آن.

جدول ۸-۱۴ فاکتور اصلاحی برای طول هفته کاری (۱۳)

ساختمان سنگین وزن	ساختمان سبک وزن	روزهای اشغالی هر هفته
۱/۰	۱/۰	۷ روز
۰/۸۵	۰/۷۵	۵ روز

جدول ۸-۱۵ فاکتور اصلاحی برای طول روز کاری. فقط با استفاده متناوب کاربرد دارد (۱۳)

مقطع اشغال	ساختمان سبک وزن	ساختمان سنگین وزن
۴ ساعت	۰/۶۸	۰/۹۶
۸ ساعت	۱/۰	۱/۰
۱۲ ساعت	۱/۲۵	۱/۰۲
۱۶ ساعت	۱/۴۰	۱/۰۳

جدول ۸-۱۶ فاکتور اصلاحی برای عکس العمل ساختمان و تأسیسات (۱۳)

نوع گرمایش	سبک وزن	متوسط وزن	سنگین وزن
مداوم	۱/۰	۱/۰	۱/۰
متناوب ـ تأسیسات عکس العملی	۰/۵۵	۰/۷۰	۰/۸۵
متناوب ـ تأسیسات با یک زمان تاخیر طولانی	۰/۷۰	۰/۸۵	۰/۹۵

بنابراین:

$$\text{مصرف انرژی گرمایشی سالیانه} = \frac{۱۹۰}{[۲۱-(-۳)]} \times ۲۳۵۴ \times ۲۴ \times \frac{(۰/۸۵ \times ۱/۰ \times ۰/۸۵)}{۰/۷} = ۴۶۱۶۳۶/۲۱ kWh$$

و

$$\text{هزینه انرژی سالیانه} = \frac{۴۶۱۶۳۶/۲۱ \times ۱/۵}{۱۰۰} = ۶۹۲۴/۵۴ \text{ پاوند}$$

(II) مجاز دانستن برای یک کسب حرارت داخلی $۲۰ W/m^۲$:

$$\text{کل حرارت کسب شده} = \frac{۲۴۰۰ \times ۲۰}{۱۰۰۰} = ۴۸/۰ kW$$

با کاربری معادله (۸-۲۲)، افزایش درجه حرارت به سبب کسب حرارت به شرح ذیل می‌باشد:

$$d=\frac{۴۸}{۱۹۰}\times[(۲۱-(-۳)]=۶/۰۶\ ^{\circ}C$$

بنابراین، درجه حرارت جدید پایه نیز به شرح ذیل است:

$$t_b=۲۱-۶/۰۶=۱۴/۹۴\ ^{\circ}C$$

از جدول ۸-۱۲ این با مقدار $Dd/D_{۱۵/۵}$، ۰/۹۳۲ مطابقت دارد. بنابراین

مصرف‌انرژی‌گرمایش‌سالیانه=(مجازداشتن‌کسب‌حرارت)۴۶۱۶۳۶/۲۱×۰/۹۳۲=۴۳۰۲۴۴/۹۵kWh

بنابراین

$$\text{هزینه انرژی سالیانه}=\frac{۴۳۰۲۴۴/۹۵\times۱/۵}{۱۰۰}=۶۴۵۳/۶۷\ \text{پاوند}$$

علاوه بر پیش‌بینی هزینه‌های انرژی گرمایشی، همچنین استفاده از روش روز ـ درجه جهت ارزیابی اقدامات صرفه‌جوئی انرژی پیشنهادی، میسّر است. مثال ۸-۵ نحوه رسیدن به این امر را نشان می‌دهد.

مثال ۸-۵

یک ساختمان اداری دارای سقفی است که مقدار U در آن، $۱/۱W/m^۲K$ است. پیشنهاد شده است که عایق بندی اضافی در سقف نصب شود که مقدار U را به $۰/۲۵W/m^۲K$ کاهش دهد.

ساختمان اداری در منطقه‌ای واقع شده است که سالیانه ۲۳۵۰ روز ـ درجات را تجربه می‌کند. با فرض اینکه بازدهی سیستم گرمایشی ساختمان ۷۰٪ است، هزینه سوخت $۱/۵p/kWh$ و هزینه سرمایه‌ای نصب عایق‌بندی سقف ۲/۰ پاوند در هر متر مربع باشد، برگشت سرمایه را تعیین کنید.

راه‌حل

$$\text{صرفه‌جویی انرژی سالیانه}=(۱/۱-۰/۲۵)\times\frac{۲۳۵۰}{۱۰۰}\times\frac{۲۴}{۰/۷}=۶۸/۴۸۶\ kWh/m^۲$$

بنابراین

صرفه‌جوئی در هزینه انرژی سالیانه = $\frac{۶۸/۴۸۶ \times ۱/۵}{۱۰۰}$ = پاوند در هر مترمربع ۱/۰۳

زمان برگشت = $\frac{۲/۰}{۱/۰۳}$ = سال ۱/۹۴

۸-۵ گرمایش متناوب

محاسبات روز ـ درجه در بخش ۸-۴، نشان می‌دهد که استفاده متناوب از تأسیسات گرمایشی در مقایسه با گرمایش مداوم و مستمر منجر به مصرف انرژی بالاتر می‌گردد. این بدان سبب است که ساختمانهائی که بطور متناوب اشغال می‌شوند، به مانند ساختمانهای اداری، مستلزم گرم کردن سازه پس از خنک شدنی است که در طول شب و تعطیلات آخر هفته واقع می‌شود. بنابراین انرژی گرمایشی اضافی جهت پیش گرمایش ساختمان در صبحها لازم است، تا که دمای مصالح و بافت به درجه حرارتی که برای ساکنین مطلوب خواهد بود، بالا آورده شود. ساختمانهای با جرم حرارتی بالا پیش گرمایش بیشتری از ساختمانهای با یک جرم حرارتی پائین، نیاز دارند. اگرچه، زمانیکه به درجه حرارت لازمه گرمایش شوند، سازه‌های سنگین وزن حرارت خودشان را برای مدت طولانی‌تری از آنهائیکه سبک وزن هستند، حفظ می‌کنند.

جدول ۸-۱۷ نسبتهای پیشنهادی تأسیسات برای گرمایش متناوب (۱۰)

نسبت تأسیسات ($F_۲$)	ساختمان سبک وزن زمان پیش گرمایش (ساعات)	ساختمان سنگین وزن زمان پیش گرمایش (ساعات)
۱/۰	مداوم	مداوم
۱/۲	۶	خیلی طولانی
۱/۵	۳	۷
۲/۰	۱	۴
۲/۵	۰	۲
۳/۰	۰	۱

پیش گرمایش یک سازه ساختمان توسط کاراندازی سیستم گرمایش با تمام ظرفیت برای یک مقطع پیش گرمائی قبل از اشغال ساختمان، حاصل می‌آید. هر چه سازه ساختمان سنگین‌تر باشد، مقطع پیش گرمائی طولانی‌تر خواهد بود. مقطع پیش گرمائی را می‌توان با افزایش بیش از حد متعارف بویلر و تا نسبتی با گرمادهنده‌ها از نظر طول زمان کاهش داد. عموماً افزایش حد تأسیسات (مثلاً تأسیسات بویلر بیش از حد متعارف) در راستای کاهش مقطع پیش گرمائی، به عنوان یک اقدام در صرفه‌جوئی بیشتر انرژی لحاظ می‌گردد(۱۰). جدول ۸-۱۷ نسبتهای پیشنهادی تأسیسات برای گرمایش متناوب را ارائه می‌دهد، که باید به همراه معادله (۸-۲۴) جهت تعیین بار گرمایش پیک متناوب به کار رود. باید متذکر شد که اوقات پیش گرمائی در جدول با فرض استفاده از تأسیسات با یک زمان عکس‌العمل کوتاه، به مانند یک سیستم گرمایش هوای گرم، تدوین گردیده است. برای سیستمهای گرمایشی با عکس‌العمل آهسته بمانند گرمایش زیر[1]ـ سطحی مقطع پیش گرمایش طولانی‌تر خواهد بود.

$$Q_{pb}=F_{۲}\times Q_p \qquad (۸-۲۴)$$

که در آن Q_{pb} خروجی گرمایش پیک متناوب (kW یا W)، و $F_{۲}$ نسبت تأسیسات است. (مثلاً حداکثر خروجی تأسیسات/خروجی گرما ـ روز طراحی).

زمانیکه تأسیسات را بیش از حد متعارف می‌گیرید اهمیت دارد که بویلرها وگرمادهنده‌ها هر دو را مورد ملاحظه قرار دهید. اگر چه ظرفیت افزایش یافته بویلر، ممکن است زمان پیش گرمائی را کاهش دهد، می‌تواند منجر به کارکرد ضعیف پاره بار[2] و بازدهی فصلی پائین بویلر، گردد. باید بخاطر داشت که برای بیشترین زمان فصل گرمایش، درجه حرارت هوای بیرون به خوبی بالای شرایط طراحی زمستانه خواهد بود. لذا برای بیشترین اوقات سال بویلرها دارای ظرفیت مازاد فراوانی خواهند بود. بنابراین عاقلانه است که استفاده از بویلرهای چند واحده را مورد ملاحظه قرار داد.

اگر چه ممکن است افزایش ظرفیت بویلر قابل توصیه باشد، همیشه ضروری نیست گرمادهنده‌های منفرد را افزایش داد. این بدان سبب است که استراتژیهای جایگزین ذیل را می‌توان

1- Under-Floor *2- Part-load*

به کار گرفت:

- در ساختمانهائی که اشغال نمی‌باشند، میزان هوادهی طبیعی و مکانیکی را می‌توان در خلال اوقات شب کاهش داد. میزان هوادهی در خلال اوقات شب بطور طبیعی کاهش خواهد یافت زیرا درب‌ها و پنجره‌ها معمولاً بسته می‌مانند. با سیستمهای هوادهی مکانیکی هم چنین امکان کاهش بار هوادهی با چرخش مجدد کل هوا در خلال مقطع پیش گرمائی هست (مثلاً کاهش بخش هوای خارجی در تأمین هوای سیستم به صفر درصد).
- امکان افزایش درجه حرارت آب تأمینی به گرمادهنده‌ها در خلال مقطع پیش گرمائی وجود دارد.

هرچند، یک بیش از اندازه‌گی معقول برای گرمادهنده‌ها توسط *CIBSE* توصیه می‌شود، لیکن دلیل اقتصادی محکمی برای بیش از اندازه بودن قابل ملاحظه (مثلاً مازاد بر ۲۵٪) سطوح گرمادهنده‌ها، وجود ندارد (۱۰).

۸-۶ گرمای تشعشعی

اهمیت انتقال گرمای تشعشعی در ساختمانها اغلب درک نمی‌شود، در نتیجه اقدامات صرفه‌جوئی بالقوه انرژی تشعشعی اغلب نادیده انگاشته می‌شود. بنابراین بررسی برخی تکنیکهای صرفه‌جوئی انرژی تشعشعی که وجود دارد، ارزشمند است.

۸-۶-۱ گرمایش تشعشعی

معادله ۸-۴ نشان می‌دهد که رفاه اشغال کنندگان ساختمان بستگی به درجه حرارت میانگین تشعشعی به همان میزان که به درجه حرارت هوا دارد، مرتبط است. این واقعیت را می‌توان بعنوان امتیاز بزرگی در کاربری‌ها، که در آن یک ساختمان عایق‌بندی ضعیف شده و اینکه میزان هوادهی بالاست، به مانند کارگاه‌ها و کارخانه‌های قدیمی، به کار بست. در چنین کاربریهائی، اغلب گرمایش حجم عظیمی از هوا، که آنگاه سریعاً به خارج راه می‌یابد، بسیار گران می‌باشد. بسیار بهتر است که برخی فرمها از گرمایش تشعشعی را جهت گرم کردن اشغال کنندگان بکار گرفت. با استفاده از یک منبع گرمای تشعشعی با درجه حرارت بالا، ایجاد یک تعادل گرمائی که اشغال کنندگان را قادر به

احساس راحتی نموده درحالیکه هنوز هوا و بافت را در یک درجه حرارت پائین حفظ کنیم، میسّراست.

گرمایش تشعشعی بخصوص در کاربردهائی که سکونت بسیار متناوب بوده و اینکه اشغال کنندگان در وضعیتهای نسبتاً ثابت اسکان داده شده‌اند، بسیار مناسب است. یک ساختمان کلیسا نمونه‌ای سنتی از چنین کاربردی است. چنین ساختمانی برای یک مقطع نسبتاً کوتاهی در هر هفته اشغال می‌شود. به سبب اینکه سیستمهای گرمایش تشعشعی دارای واکنشی بسیار سریع بوده و به جای هوا، حضار را گرم می‌کنند، لذا آنان می‌توانند به سطح مطلوبی از آسایش، بدون هرگونه پیش گرمایش ساختمان نائل آیند. بدین دلیل و دیگر دلائل متذکره، سیستمهای گرمایش تشعشعی عموماً به جهت هزینه‌های پائین‌تر سرمایه‌گذاری و هزینه‌های پائین‌تر عملیاتی از دیگر سیستمهای مشابه، مورد ملاحظه‌اند (۱۳).

در راستای حصول سطوح بالائی از انتقال گرمای تشعشعی، لازم است گرمادهنده‌هائی که دارای درجه حرارتی بالا هستند، بیش از $100^{\circ}C$، را مورد استفاده قرار داد. برای دلائل رفاهی و ایمنی، این پانلهای گرمادهنده‌ها را باید در سطح بالا، بخوبی خارج از دسترسی هر اشغال کننده‌ای، جای داد.

۸-۶-۲ شیشه‌کاری با خاصیت جذب و انتشار پائین

اغلب شیشه کاری به عنوان یک نقطه ضعف حرارتی نگریسته می‌شود، زیرا گرما بسادگی از طریق شیشه از داخل به خارج منتقل می‌شود. این تصور من حیث‌المجموع، و نه بطور کامل صحیح است. اغلب فراموش می‌شود که از دست رفتن بیشترین گرمائی که از طریق پنجره‌ها رخ می‌دهد، در واقع به سبب این است که آنها سطوح تخت بزرگی با خاصیت جذب و انتشار بالا هستند که در مقایسه با سایر سطوح اطاق سرد می‌باشند.کلیه دیگر سطوح در اطاق، بخصوص سطوح گرمایش یافته، به مانند رادیاتورها و اجسام گرم، تشعشع موج بلند منتشر می‌کنند که به راحتی توسط شیشه سرد جذب می‌شود. بدین طریق بیشترین گرما از ساختمانها از دست می‌رود. به حداقل رساندن این مشکل با نصب شیشه‌های با خاصیت جذب و انتشار پائین که جذب تشعشع موج بلند را کاهش می‌دهد، میسراست. خاصیت جذب و انتشار پایین در خلال فرآیند تولید با کاربرد یک پوشش نازک میکروسکوپی (مثلاً به کلفتی $0/3-0/4\mu m$) از اکسید قلع آغشته به اتمهای فلورین (۱۴) به سطح جداره داخلی یک شیشه دوجداره، حاصل می‌گردد. این عمل به طور چشمگیری از

دست دادن تشعشعی گرما به جداره را کاهش داده و لذا مقدار U یک شیشه دو جداره معمولی را از حدود $۳W/m^۲K$ به $۱/۸W/m^۲k$ کاهش می‌دهد.

۸-۷ گرمایش زیرسطحی و دیواری

گرمادهی کارآمد ساختمانها بااستفاده از سیستمهائی که آب با درجه حرارت بسیار پائین رابکار می‌بندند، میسّر است. دو سیستم مؤثر با درجه حرارت پائین را که می‌توان استفاده کرد بشرح ذیل می‌باشند.

- گرمایش زیرسطحی، که جریان آب در درجه حرارتهای بین $۳۵°C$ تا $۵۹°C$ را بکار می‌برد.
- گرمایش دیواری، که جریان آب در درجه حرارتهای بین $۳۰°C$ تا $۴۰°C$ را استفاده می‌کند.

درجه حرارتهای پائین آب دخیل در این سیستم‌ها، بکارگیری منابع گرمائی جایگزین، بمانند پمپهای حرارتی با منبع زمینی، یا حتی انرژی خورشیدی را مقدور می‌سازد، به سبب اینکه سیستمهای گرمایش زیرسطحی و دیواری هر دو مستلزم سطوح وسیع گرمایش شده هستند، میانگین درجات حرارت تشعشعی اطاق افزایش می‌یابد. این کاهش درجه حرارت هوای داخل فضای اطاق را بدون تغییری در درجه حرارت خشک میسّر می‌سازد و درحالیکه هنوز یک محیط رفاهی را حفظ می‌کند، صرفه‌جوئی انرژی را مقدور می‌نماید.

حداکثر درجه حرارت مجاز سطح، تعیین کننده حداکثر درجه حرارت جریان آبی است که می‌توان در تأسیسات گرمایشی زیرسطحی و دیواری بکار برد. در مورد گرمایش زیرسطحی، اگر درجه حرارت سطح کف بالای $۲۹°C$ باشد ساکنین احساس ناراحتی می‌کنند. برای گرمایش دیواری حداکثر درجه حرارت مطمئن سطح حدود $۴۳°C$ می‌باشد، درحالیکه درجه حرارت ریختن برای گچ حدود $۴۵°C$ است.

سیستمهای گرمایش زیرسطحی برای فضاهای بلند مناسب‌ترین هستند، جائی که استفاده از سیستم هوای گرم یا رادیاتوری موسوم ممکن است به قشربندی هوا بیانجامد (مثلاً هوای گرم در فضای بالای اتاق حبس می‌گردد). استفاده از گرمایش زیرسطحی بر این مشکل فائق آمده و اینکه هوا در سطح زمین گرمترین باشد را تضمین می‌کند، که در آن احتمالاً حضار واقع شده‌اند. اغلب سیستمهای گرمایش زیرسطحی شامل حلقه‌ای به هم پیوسته از لوله‌های قابل انعطاف پلی اتیلن یا

پلی پروپیلن متقاطع که در زیر روکش کف، و بر روی سطح سازه، خوابانده شده است، می‌باشند(۱۵). معمولاً روکش از کف سازه توسط قطعات سخت عایق‌بندی، مجزا شده، که انتقال حرارت از طریق قطعات کاهش یافته و کمک به حفظ درجه حرارت روکش می‌نماید. ماهیت روکش مصرفی در سیستمهای گرمایش زیرسطحی از اهمیتی خاص برخوردار است، زیرا روکش به عنوان یک مقاومت حرارتی نسبت به انتقال حرارت از لوله به فضای اطاق عمل می‌کند، و هم چنین سیستم را با ماند گرمایشی تدارک می‌کند. روکش‌ها می‌توانند یا ماهیتاً سیمانی بوده و تقریباً قطری ۷۵ میلی متری داشته باشند، یا یک روکش سولفات کلسیم، که کاهش ضخامت را تا ۵۰ میلی‌متر مقدور می‌سازد. ظرفیت ویژه حرارتی و ماند حرارتی یک روکش کف بستگی به شماری از پارامترها به مانند ظرفیت خاص حرارتی، ضخامت روکش، چگالی روکش، رسانائی حرارتی، جاسازی لوله‌ها، و جریان آب و درجه حرارتهای برگشت، خواهد داشت. بنابراین پیش‌بینی دقیق چگونگی عملکرد واقعی هر کف معینی مشکل خواهد بود. به هر حال، برای یک روکش کف بتونی استاندارد به ضخامت ۶۵ میلی متر، با یک درجه حرارت جریان آب $60^{\circ}C$، تخمین زده شده است که روکش کف حدود ۳ ساعت برای گرمایش و ۳ ساعت برای از دست دادن آن زمان خواهد گرفت. در درجه حرارتهای پائین‌تر آب فرایند گرم شدن بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. فرآیند طولانی گرمایش زیرسطحی به سبب کندی در عکس العمل، مزیّتی را دارا نیست و لذا تنظیم آن را در مقابل تغییرات ناگهانی در محیط داخلی مشکل می‌سازد. بنابراین سیستمهای گرمایش زیرسطحی در کاربردهائیکه اشغال فضا بطور مداوم بوده و یا بخوبی تعریف شده و قابل پیش‌بینی است، مناسب‌ترین می‌باشند.

گرمایش دیواری در یک روال مشابه گرمایش زیرسطحی عمل می‌کند، با این تفاوت که کلاف لوله‌ها عموماً در موادی که دارای چگالی حرارتی بالا هستند بمانند یک روکش کف، قرار ندارند.در یک نمونه سیستم گرمایش دیواری لوله‌های متقاطع پلی اتیلن در سمت جداره هوای یک دیوار با روکش گچ، قرار داده شده‌اند. سیستم را می‌توان یا با یک دیوار گچی مرطوب، یا بطور دلخواه لوله‌ها را بصورت مکانیکی به دیوار گچی با استفاده از تخته متصل کرده و قطعه محکمی که آنگاه بتوان در دیوار ثابت نمود، و درآورد، بکار برد. یک لایه عایق‌بندی منعطف بمانند پشم شیشه باید بین لوله‌ها و دیوار سازه جای داد، تا که رسانش به سازه ساختمان به حداقل برسد. قابل توصیه است تا جایی که امکان دارد وسایل گرمایش دیواری بر دیواره‌های داخلی نصب شوند، تا که اتلاف گرما در حداقل باشد.

۸-۸ عایق‌بندی لوله‌کشی

مقدار معتنابهی از انرژی گرمائی می‌تواند از طریق لوله‌کشی عایق‌بندی نشده و یا ضعیف عایق‌بندی شده تلف گردد. بنابراین اهمیت دارد که از عایق بندی صحیح لوله کشی بخار و آب گرم مطمئن بود. یک سری از مواد عایق‌بندی در دسترس‌اند و اینها می‌توانند یا معدنی بوده، بر پایه کریستال یا بی‌شکل سیلیکون، آلومینیوم یا کلسیم، یا آلی، بر پایه پلیمرهای هیدروکربن به شکل لاستیکها یا رزین‌های قابل سفت شدن در مقابل حرارت/نرمش‌پذیر در مقابل حرارت باشند(۱۶). آنها می‌توانند نرمش‌پذیر و یا سخت باشند، هر دو نوع به صورت لوله‌های فرم داده شده در دسترس می‌باشند. جدول ۸-۱۸ برخی انواع معمول عایق بندی به همراه بعضی مشخصات حرارتی آنها را لیست کرده است.

جدول ۸-۱۸ رسانائیهای حرارتی مواد عایق‌بندی (۱۶)

مواد	چگالی (kg/m^3)	رسانائی حرارتی (W/mK)		
		۵۰°C	۱۰۰°C	۳۰۰°C
سیلیکات کلسیم	۲۱۰	۰/۰۵۵	۰/۰۵۸	۰/۰۸۳
لاستیک نیتریل منبسط شده	۶۵-۹۰	۰/۰۳۹	--	--
پشم معدنی (شیشه)	۱۶	۰/۰۴۷	۰/۰۶۵	--
پشم معدنی (سنگ)	۱۰۰	۰/۰۳۹	۰/۰۴۳	۰/۰۸۸
منگنز	۱۹۰	۰/۰۵۵	۰/۰۵۸	۰/۰۸۲
کف پلی‌ایزو سیانورات	۵۰	۰/۰۲۳	۰/۰۲۶	--

۸-۸-۱ اتلاف گرمای لوله‌کشی

در بخش ۸-۳-۱ اتلاف گرما از طریق سطوح تخت به مانند دیوارها و سقفها مورد بحث واقع شد. از آنجائیکه هندسه لوله‌کشی نسبت به سطوح تخت متفاوت است. زمانیکه اتلاف گرما از بخشهای مختلف لوله‌کشی را محاسبه می‌کنیم مستلزم نگرشی متناسب است. انتقال حرارت از طریق دیواره یک لوله را می‌توان با استفاده از (۸-۲۵) محاسبه کرد.

$$Q=\frac{2\pi\lambda(t_1-t_2)}{ln(r_2/r_1)} \quad (W \text{ برای هر متر طول}) \qquad (۸-۲۵)$$

که در آن λ رسانائی حرارتی دیواره لوله (W/mK)، r_1 شعاع داخلی لوله (m) و r_2 شعاع خارجی لوله (m) می‌باشد. مقاومت حرارتی دیواره لوله (هر واحد طول لوله) را می‌توان با معادله ذیل تعیین نمود:

$$R=\frac{ln(r_2/r_1)}{2\pi\lambda}\ (mK/W) \qquad (۲۶-۸)$$

همزمان با جریان مایعات گرم در یک لوله حرارت به دیواره لوله نیز انتقال پیدا می‌کند. میزانی که این حرارت انتقال می‌یابد بستگی به مقاومت حرارتی یک لایه نازک ساکن مایع بر روی سطح دیواره لوله دارد. میزان انتقال حرارت در حواشی این سطح داخلی از محدوده لایه را می‌توان بصورت ذیل اظهار داشت.

$$Q=h\times A\times\Delta t \qquad (۲۷-۸)$$

که در آن h ضریب انتقال حرارت سطح (W/m^2K)، A مساحت سطح (m^2)، و Δt تفاوت درجه حرارت بین سطح و حجم مایع می‌باشد.$(^\circ C)$

معادله (۸-۲۷) را می‌توان همچنین برای محاسبه انتقال حرارت از سطح خارجی یک لوله بکار برد. نتیجتاً؛ مقاومت سطح داخلی هر واحد طولی از یک لوله را می‌توان بصورت ذیل بیان کرد:

$$R_{so} \text{ یا } R_{si}\frac{1}{h\ .A}\ (mK/W) \qquad (۲۸-۸)$$

بنابراین مقاومت کل هر واحد طولی از یک نمونه لوله عایق بندی شده را می‌توان بصورت ذیل بیان داشت:

$$R_t=R_{si}+R_w+R_{ins}+R_{so} \qquad (۲۹-۸)$$

که در آن R_t کل مقاومت حرارتی لوله کشی در واحد طول (mK/W)، R_w مقاومت حرارتی دیواره لوله در واحد طول (mK/W)، R_{ins} مقاومت حرارتی عایق بندی در واحد طول (mK/W)، و R_{si} و R_{so}

مقاومتهای حرارتی سطح داخلی و خارجی عایق‌بندی در واحد طول هستند (mK/W).

زمانیکه مقاومت کلی لوله‌کشی معین شد، کل اتلاف حرارتی هر متر جابجائی را می‌توان با تقسیم کردن تفاوت درجه حرارت مایع و هوای محیط بر مقاومت کل محاسبه کرد.

$$Q=\frac{\Delta_t}{R_t}\ (W/m) \qquad (۳۰-۸)$$

مثال ۸-۵

از لوله‌ای، بخار مرطوب با $۲۰۰^{\circ}C$ در ساختمانی که دارای درجه حرارت هوای محیطی $۲۰^{\circ}C$ است عبور می‌کند. لوله دارای قطر داخلی ۵۳/۵ میلی‌متر، ضخامت دیواره ۳/۷ میلی متر است، و به یک ضخامت ۲۵ میلی متری عایق بندی شده است. رسانائی حرارتی مواد لوله $۴۶W/mK$ می‌باشد و رسانائی حرارتی مواد عایق‌بندی $۰/۰۳۳\ W/mK$ می‌باشد. با فرض اینکه ضرایب انتقال حرارت سطح داخلی و خارجی به ترتیب $۱۰۰۰۰\ W/m^{۲}K$ و $۱۰\ W/m^{۲}K$ هستند معین کنید:

(*I*) انتقال حرارت در هر متر طول لوله؛

(*II*) درجه حرارت سطح خارجی عایق‌بندی؛

(*III*) اتلاف گرما از یک لوله عایق‌بندی نشده، با فرض اینکه ضریب انتقال حرارت خارجی بدون تغییر بماند.

راه‌حل

(*I*) مقاومت کل لوله‌کشی در هر متر طول عبارتست از:

$$R_t=R_{si}+R_w+R_{ins}+R_{so}$$

و

$$R_{si}=\frac{۱}{۱۰۰۰۰\times\pi\times۰/۰۵۳۵}=۰/۰۰۰۵۹\ mK/W$$

$$R_{so}=\frac{۱}{۱۰\times\pi\times۰/۱۱۰۹}=۰/۲۸۷\ mk/W$$

$$R_w=\frac{ln(۳۰/۴۵/۲۶/۷۵)}{۲\times\pi\times۴۶}=۰/۰۰۰۴۵\ mK/W$$

$$R_{ins}=\frac{ln(۵۵/۴۵/۳۰/۴۵)}{۲\times\pi\times۰/۰۳۳}=۲/۸۹۱\ mK/W$$

از محاسبه بالا می‌توان مشاهده کرد که مقاومت دیواره لوله در مقایسه با مقاومت عایق‌بندی و سطح خارجی قابل چشم‌پوشی است. به علاوه ضریب انتقال حرارت برای سطح داخلی بسیار بالاست و لذا مقاومت سطح داخلی قابل چشم پوشی می‌باشد. بنابراین مقاومت حرارتی کل را می‌توان به صورت ذیل مفروض داشت:

$$R_t=R_{ins}+R_{so}=۳/۱۷۸\ mK/W$$

بنابراین

$$Q=\frac{(۲۰۰-۲۰)}{۳/۱۷۸}=۵۶/۶۴\ \ W/m$$

(II) درجه حرارت سطح را می‌توان با کاربرد معادله ذیل دریافت

$$\text{درجه حرارت قسمت بیرونی عایق‌بندی}=t_a+(R_{so}\times Q)=۲۰+(۰/۲۸۷\times۵۶/۶۴)=۳۶/۳\ ^\circ C$$

جائیکه t_a درجه حرارت هوای اطاق است ($^\circ C$).

(III) برای لوله عایق‌بندی نشده

$$R_t=R_{si}+R_w+R_{so}=۰/۰۰۰۵۹+۰/۰۰۰۴۵+۰/۲۸۷=۰/۲۸۸\ mK/W$$

بنابراین

$$\frac{Q(۲۰۰-۲۰)}{۰/۲۸۸}=۶۲۵\ W/mK$$

علاوه بر نمایش عملیات محاسبه اتلاف گرمای لوله‌کشی، مثال ۸-۵ نشانگر نفع بزرگی است که می‌توان از عایق بندی حاصل نمود، زیرا لایه عایق‌بندی ۲۵ میلی‌متری اتلاف گرما را از ۶۲۵ به ۵۶/۶W/m کاهش داد.

۸-۸-۲ اقتصادیات عایق‌بندی لوله‌کشی

بخوبی شناخته شده است که یکی از سهل‌ترین و موثرترین راههای پیشگیری از اتلاف انرژی عایق‌بندی مسیر لوله‌کشی است. باری، تعیین مقدار عایق‌بندی لوله‌کشی نیز آسان نمی‌باشد. هزینه سرمایه‌ای عایق‌بندی با ضخامت آن افزایش می‌یابد و صرفه‌جوئی مالی باید در مقابل هزینه سرمایه‌ای محاسبه گردد.بنابراین اقتصادی بودن ضخامت عایق‌بندی باید بر زمان برگشتی که برای سرمایه‌گذاری لازم است، حاکم شود همانگونه که در مثال ۸-۶ نشان داده شده است.

مثال ۸-۶

یک لوله فولادی، آب گرم با فشار بالای $۱۲۰^{\circ}C$ را در اطراف ساختمان یک کارخانه به چرخش درمی‌آورد. مالکان کارخانه پیشنهاد عایق‌بندی لوله با استفاده از پشم سنگ را دارند.با اطلاعات ذیل، ضخامت مطلوب عایق‌بندی و زمان ساده برگشت برای آن ضخامت را تعیین کنید.

اطلاعات:

قطر خارجی لوله = $۷۶/۶\ mm$

ضریب اتصال گرما برای سطح خارجی عایق‌بندی = $۱۰\ W/m^{۲}K$

رسانائی حرارتی عایق‌بندی = $۰/۰۳۷ W/mK$

درجه حرارت آب = $۱۲۰^{\circ}C$

درجه حرارت هوا در کارخانه = $۱۵^{\circ}C$

بازدهی دیگ بخار = ٪۷۰

قیمت هر واحد گاز = $۱/۵۲ p/kWh$

دیگ بخار ۲۵۰۰ ساعت در سال کار می‌کند.

هزینه‌های عایق بندی							
ضخامت عایق بندی (mm)	[۲۰]	[۲۵]	[۳۲]	[۳۸]	[۵۰]	[۶۰]	[۷۵]
هزینه هر متر طول (f/m)	۵/۰۰	۵/۵۸	۶/۶۴	۸/۰۱	۱۰/۵۷	۱۳/۴۴	۱۶/۶۸

با فرض اینکه زمان استهلاک دفتری عایق‌بندی ۵ سال باشد.

راه‌حل

فرض کنید که مقاومتهای حرارتی دیواره لوله و سطح داخلی لوله هر دو قابل چشم‌پوشی هستند.گیریم.

$X=$ ضخامت عایق‌بندی (mm)

حالا

$$R_{ins}=\frac{ln(r_۲/r_۱)}{۲\pi\lambda}=\frac{ln[(۳۸/۳+x)/۳۸/۳]}{۲\times\pi\times۰/۰۳۷}$$

و

$$R_{so}=\frac{۱}{hA}=\frac{۱}{۱۰\times\pi\times[(۷۶/۶+۲X)\times۱۰^{-۳}]}$$

و

$$R_t=R_{ins}+R_{so}$$

و

$$Q=\frac{\Delta t}{Rt}$$

بنابراین

$$Q=\frac{(۱۲۰-۱۵)}{R_{ins}+R_{so}}$$

و

$$\text{هزینه عملیاتی سالیانه}=\frac{Q\times۲۵۰۰\times۱/۵۲}{۰/۷\times۱۰۰}$$

و

$$\frac{\text{هزینه سرمایه‌ای}}{\text{زمان استهلاک دفتری}}+\text{هزینه سوخت سالیانه}=\text{هزینه سالیانه کل}$$

جدول ذیل را می‌توان از معادلات بالا تهیه کرد:

هزینه کل سالیانه (£/m)	هزینه سوخت سالیانه (£/m)	اتلاف گرما (W/m)	مقاومت خارجی (mK/W)	مقاومت عایق‌بندی (mK/W)	ضخامت عایق‌بندی (mm)
۱۳/۷۲	۱۳/۷۲	۲۵۲/۶۸	۰/۴۲	۰/۰۰	۰
۳/۷۴	۲/۷۴	۵۰/۴۷	۰/۲۷	۱/۸۱	۲۰
۳/۴۸	۲/۳۶	۴۳/۵۲	۰/۲۵	۲/۱۶	۲۵
۳/۳۴	۲/۰۱	۳۶/۹۹	۰/۲۳	۲/۶۱	۳۲
۳/۴۰	۱/۸۰	۳۳/۰۹	۰/۲۱	۲/۹۶	۳۸
۳/۶۲	۱/۵۱	۲۷/۸۳	۰/۱۸	۳/۵۹	۵۰
۴/۰۴	۱/۳۵	۲۴/۹۰	۰/۱۶	۴/۰۵	۶۰
۴/۵۲	۱/۱۹	۲۱/۸۵	۰/۱۴	۴/۶۷	۷۵

می‌توان مشاهده کرد که اقتصادی‌ترین ضخامت عایق‌بندی ۳۲ میلی‌متر است، زیرا این دارای کمترین هزینه سالیانه می‌باشد.

زمان برگشت برای عایق‌بندی ۳۲ میلی‌متری عبارتست از:

$$\text{زمان برگشت سرمایه} = \frac{۶/۶۲}{(۱۳/۷۲-۳/۳۴)} = ۰/۶۳۸ \text{ سال}$$

۸-۹ دیگهای بخار (بویلرها)

بیشترین سیستمهای گرمایشی، اگرچه نه همه آنها، دیگهای بخار را جهت تهیه آب داغ یا بخار بکار می‌گیرند. بنابراین بازدهی دیگ بخار دارای تأثیر مهمی بر هزینه‌های انرژی مرتبط با گرمایش می‌باشد. صرفه‌جوئیهای هزینه‌ای که می‌توان با بهینه‌سازی جامع بازدهی بویلر بدان نائل شد، ممکن است قابل ملاحظه باشد. اساساً یک دیگ بخار وسیله‌ای است که در آن سوخت فسیلی سوزانده شده و گرمای تولیدی به آب انتقال می‌یابد. هر چه این فرآیند انتقال گرما مؤثرتر باشد، دیگ بخار بازدهی بهتری دارد. بنابراین به حداکثر رساندن انتقال گرما و به حداقل رساندن اتلاف گرمای دیگ بخار مهم است. گرما از بویلرها به روشهای مختلفی می‌تواند تلف گردد. شامل

تلف شدن از دودکش، اتلاف تشعشعی و در مورد بویلرهای بخاری اتلاف زیر آب زدن[۱]. اگرچه همه این انواع هرز روی اثر چشمگیری بر مصرف انرژی بویلر دارد، دلیل عمده کارکرد ضعیف بویلر در مرحله طراحی اتفاق می‌افتد، که در آن ظرفیت بویلرها معمولاً بیش از حد متعارف و اغلب بویلرها نامناسب انتخاب می‌گردند.

تأسیسات بویلری که بیش از حد متعارف است در اکثر موارد تحت شرایط پاره ـ بار عمل خواهد کرد، که منجر به بازدهی فصلی پائین و هزینه‌های عملیاتی بالا، می‌شود.تخمین زده شده است که اگر یک تأسیسات بویلر متداول تا ۱۵۰٪ بیش از حد متعارف طراحی شده باشد، افزایش ۱۵٪ در مصرف انرژی می‌تواند پدید آید(۱۷). اگر تحت شرایط طراحی زمستانه بویلرها قادر به حفظ یک درجه حرارت هوای داخل بخوبی بالای درجه حرارت طراحی ($21^{\circ}C$) باشند، آنگاه می‌توان گفت که طراحی اندازه این بویلر بیش از حد مورد نیاز آن بوده است. دلایل بیش از حد متعارف بودن ظرفیت را می‌توان بطرق متعددی اظهار کرد؛ صورتحسابهای سوخت ممکن است بالاتر از حد انتظار باشند؛ کارکرد اضافی تأسیسات بویلر ممکن است تجربه شود؛ و در تأسیسات مجهز به بویلرهای چندواحدی، بخش بزرگی از بویلرها ممکن است هرگز مورد استفاده واقع نشوند.

با فرض اینکه برای بیشترین اوقات فصل گرمایش درجه حرارتهای هوای خارج معمولاً بخوبی بالای شرایط طراحی زمستانه می‌باشند، اهمیت دارد که هر تأسیسات بویلری به گونه‌ای طراحی شود که در پاره بار با بازدهی مطلوب کار کند. برای بیشترین انواع بویلر مرسوم، بازدهی به طور چشمگیری به زیر حدود ۳۰٪ از ظرفیت اسمی سقوط می‌کند (۱۸). بنابراین بویلرهای بزرگ در یک عدم مزیت هستند زیرا در اکثر مواقع کاملاً زیر ظرفیت اسمی‌شان کار می‌کنند. راهی ساده برای فائق آمدن بر این مشکل، نصب شمار زیادی از بویلرهای چند واحدی کوچک با یک کنترل کننده تناوب عملکرد است، که این امر بر استفاده از چند بویلر بزرگ رجحان دارد. این تضمین می‌کند که تحت شرایط پاره ـ بار، بویلرهائی که همیشه نزدیک حداکثر بازدهی خودشان کار می‌کنند حجم بزرگی از گرمایش را تأمین خواهند کرد. با احداث یک چنین تأسیسات چند بویلری، عاقلانه است که یک سیستم کنترل تناوب بویلر نصب گردد. این یک سیستم تمام اتوماتیک کنترل شده با ریزپردازنده‌هاست که عملیات مراقبت و روشن و خاموش کردن متناوب تأسیسات بویلر بر اساس

۱- *Blow down* (این عمل با باز کردن شیر در قسمت تحتانی بویلر و خارج نمودن آب گرم به همراه بخار صورت می‌پذیرد، این عمل زیر آب زدن بویلر خوانده می‌شود).

گرمای مورد نیاز را انجام می‌دهد. این از کار کردن بویلرهای بسیار در پاره ـ بار جلوگیری کرده و شمار بویلرهائی که در هر مقطع زمانی باید کار کنند را به حداقل می‌رساند.

تکنیک دیگری که می‌توان جهت اطمینان از راندمانهای خوب پاره ـ بار بکار گرفت استفاده از بویلرهائی با مشعل‌های قابل تنظیم است. این مشعل‌ها نسبت سوخت و هوا را جهت تأمین یک خروجی متغیر از ۲۰ الی ۳۰٪ تا ۱۰۰٪ تنظیم می‌کنند. در رابطه با بویلرهای بزرگ قابل تنظیم امکان ایجاد صرفه‌جوئیهای انرژی چشمگیری بانصب شتاب‌دهنده‌های متغیر بر روی دمنده‌های هوای احتراق، وجود دارد. موتورهای با سرعتهای متفاوت، همانکاری که مشخصه‌های عملیاتی دمنده‌های هوای احتراق با سرعت ثابت و سیستم‌های قابل تنظیم انجام می‌دهند را عملی می‌کنند، درحالیکه متوسط تقاضای الکتریکی موتور دمنده را تا حدود ۶۰٪ کاهش می‌دهند (۱۹).

۸-۹-۱ اتلاف از دودکش

کلیه بویلرها به حداقلی مقدار هوا برای اطمینان از انجام احتراق کامل سوخت و اینکه هیچ منواکسید کربنی تولید نشود، نیاز دارند. در عین حال اگر مقدار زیادی هوا اضافه شود آنگاه با گرم کردن هوای اضافی، که سپس از طریق دودکش می‌گریزد، حرارت تلف می‌گردد. بنابراین مقدار هوای احتراقی باید محدود به مقدار لازم برای اطمینان از اشتعال کامل سوخت باشد. در عمل مقداری هوای اضافه، حدود ۱۵٪ تا ۲۵٪ برای بویلرهای نفت سوز (۱۹)، و ۱۵٪ تا ۳۰٪ برای بویلرهای گاز سوز (۲۰) مورد نیاز است. مقدار حقیقی لازم برای بازدهی بهینه بویلر بستگی به سوخت مورد استفاده و نوع بویلر و مشعل دارد. اگر میزان جریان هوا به یک بویلر خیلی پایین باشد، آنگاه قسمتی از سوخت سوزانده نخواهد شد و هزینه‌های عملیاتی افزایش خواهد یافت. در مورد تأسیسات نفت سوز، احتراق ناقص دود تولید خواهد کرد که قابل مشاهده خواهد بود. برای تأسیسات ذغال سنگ سوز، احتراق ناقص منجر به کربن نیم سوز در خاکستر خواهد شد. بنابراین ضروری است که در کلیه اوقات نسبت صحیح سوخت به هوا حفظ گردد. با مشعل‌های جدید کنترل‌شده با ریزپردازنده‌ها، که به شیرهای سوخت و تنظیم کننده‌های هوا متصل شده‌اند، امکان انتخاب اتوماتیکی و حفظ نسبتهای مشخص سوخت به هوا برای سوختهای متنوعی، وجود دارد. این کنترل کننده‌ها بطور پیوسته سطح اکسیژن در گازهای دودکش را سنجش کرده و تأمین هوای احتراق را در جهت حفظ شرایط بهینه اصلاح می‌کنند.

اتلاف از دودکش نسبتاً بیشترین اتلاف حرارتی است که از بویلرها به وقوع می‌پیوندد. گازهای دودکش حاوی مقدار قابل ملاحظه‌ای گرمای محسوس و هم چنین گرمای نهان محصور در بخار

آب می‌باشد، تعیین کردن مقدار حرارتی که از طریق دودکش تلف می‌شود، توسط سنجش وجود O_2 یا CO_2 در گازهای دودکش میسر است. اگر کمی هوای اضافه در گازهای محترقه وجود داشته باشد، آنگاه درصد CO_2 بالا و درصد O_2 پائین خواهد بود. متقابلاً اگر مقدار زیادی هوای اضافه وجود داشته باشد، رابطه بالعکس خواهد شد. در یک نمونه بویلر دو جداره گازسوز، گازهای دودکش باید حاوی حدود ۹ تا ۱۰٪ CO_2 و ۳ تا ۵٪ O_2 باشند (۲۰)، درحالیکه برای یک بویلر نفت سوز محتوای CO_2 گازهای دودکش باید در حوالی ۱۳ تا ۱۴٪ باشند (۱۹). نمونه محتوای گاز دودکش O_2 و CO_2 برای کارکرد بهینه بویلر در جدول ۸-۱۹ ارائه گردیده است.

در رابطه با تأسیسات بویلر بزرگ افزایش بازدهی بویلر توسط پیش گرمایش هوای احتراقی میسر است. تخمین زده شده است که اگر درجه حرارت هوای احتراقی را $20^{\circ}C$ درجه بالا برد، بازدهی حرارتی یک بویلر را می‌توان تا حدود ۱٪ افزایش داد. (۱۹ و ۲۰). هر یک از منابع گرمائی ذیل را می‌توان جهت پیش‌گرمایش هوای احتراقی بویلر بکار برد:

- گرمای اتلافی از گازهای دودکش.
- بیرون کشیدن هوای با درجه حرارت بالا از سطح فوقانی اطاق بویلر.
- بازیافت گرمای اتلافی توسط بیرون کشیدن هوا از روی، یا از داخل پوشش بویلر.

۸-۹-۲ دیگر تلفات حرارتی

با بویلرهای پوسته و لوله، این امکان برای لوله‌های دودکش هست که توسط دوده یادیگر رسوبات کثیف شوند، و در نتیجه کاهش‌ی در مقدار حرارتیکه از گازهای داغ دودکش به آب انتقال می‌یابد، پدید آورند. این درجه حرارت گازهای دودکش را افزایش داده و منجر به اتلاف بیشتر گاز دودکش می‌گردد. بنابراین لوله‌های دودکش بویلر باید بطور مرتب تمیز شده تا افزایش درجه حرارت گاز دودکش را به حداقل برساند، زیرا تخمین زده شده است که یک افزایش $17^{\circ}C$ در درجه حرارت گاز دودکش سبب حدود ۱٪ کاهش در بازدهی می‌گردد(۱۹). هم چنین بازدهی بویلر می‌تواند بطور چشمگیری با جرم بستن طرف آب لوله‌های دودکش، کاهش یابد. بنابراین تصفیه آب باید در جهت جلوگیری از شکل گرفتن جرم به عمل آید.

حرارت می‌تواند از طریق سطح پوشش بویلرها تلف شود. این عموماً اتلاف تشعشعی خوانده می‌شود، اگرچه شامل حرارتی که با جابجائی تلف می‌گردد، نیز می‌شود. با بویلرهای مدرن معمولاً اتلاف تشعشعی بیشتر از ۱٪ حداکثر ظرفیت نیست. در بویلرهای قدیمی این مقدار ممکن

است، جائیکه عایق‌بندی در شرایط ضعیفی است، به بیش از ۱۰٪ برسد(۱۹ و ۲۰).

جدول ۸-۱۹ نمونه محتویات CO_2 و O_2 با حجم مورد انتظار در گاز دودکش (خشک مبنا) (۱۸)

	حداقل آتش		حداکثر آتش		
سوخت	$CO_2(\%)$	$O_2(\%)$	$CO_2(\%)$	$O_2(\%)$	$CO(ppm)$
ذغال‌سنگ	۱۱/۰	۸/۵	۱۴/۰	۵/۰	۲-۵۰۰
نفتهای سوختی	۱۱/۵	۵/۵	۱۳/۵	۳/۰	--
بوتان	۹/۴	۷/۰	۱۲/۰	۳/۰	۲-۴۰۰
پروپان	۹/۲	۷/۰	۱۲/۰	۳/۰	۲-۴۰۰
گاز طبیعی	۸/۰	۷/۰	۱۰/۰	۳/۳	۲-۴۰۰

۸-۹-۳ زیرآب زدن بویلر

با بویلرهای بخار لازم است مقدار کمی از آب مرتباً در جهت دفع لجن و حفظ سطوح قابل قبولی از جامدات حل نشدنی، بیرون زده شود. این فرآیند را زیرآب زدن می‌خوانند و آن از جرم بستن طرف آب لوله‌ها جلوگیری می‌کند. اگرچه ضروری است، لیکن زیرآب زدن یک اتلاف انرژی قابل ملاحظه‌ای را عرضه می‌کند و بایدسطح زیرآب زدن در حداقل نگهداری شده، درحالیکه هنوز سطح توصیه شده جامدات حل نشدنی را حفظ می‌کنیم.

امکان بازیافت گرمای تلف شده از فرآیند زیرآب زدن با جمع‌آوری بخار خروجی که در افت فشار شکل می‌گیرد از طریق شیر زیرآب زنی، وجود دارد. به سبب اینکه تقطیر تولید شده توسط فرآیند زیرآب زنی هم داغ و هم خالص، با هیچگونه جامدات حل نشدنی است، می‌توان آنرا مستقیماً بعنوان آب تأمینی به بویلر افزود، و مصرف انرژی را کاهش داد.

۸-۹-۴ بویلرهای چگالشی[1]

گازهای دودکش بویلر اغلب درجه حرارتی بالغ بر $200^{\circ}C$ درجه دارند و بدین ترتیب منبعی مناسب برای بازیافت گرمای اتلافی می‌باشد. مبدل‌های حرارتی را می‌توان در دودکش‌ها برای

1- *CONDENSING BOILER*

بازیافت گرمای محسوس و نهان از مواد داغ احتراقی نصب نمود. اگرچه، به سبب مشکلات خوردگی مرتبط با سوخت‌های دارای گوگرد، به مانند نفت کوره، بازیافت حرارت گاز دودکش عموماً فقط در بویلرهای گازسوز عملی می‌شود. بویلرهای گاز سوزی که مبدلهای حرارتی گاز دودکش را به عنوان بخش الحاقی دارند به نام بویلرهای چگالشی شناخته می‌شوند. اگر بدرستی استفاده شوند، بویلرها چگالشی می‌توانند به بازدهی‌های عملیاتی بالای ۹۰٪ نائل آیند(۱۸و ۲۱).

با یک بویلر چگالشی، مطلوب است که سیستم را بگونه‌ای عملیاتی کرد که درجه حرارت آب برگشتی تا حد امکان پائین باشد. این عمل، چگالش از گازهای دودکش را تضمین کرده و حداکثر حرارت بازیافتی از گازهای دودکش حاصل می‌گردد. اگر یک بویلر چگالشی به همراه کنترل کننده جبرانی هوا مورد استفاده واقع شود، بویلر در خلال بخش معتدل‌تر فصل هوا به حالت چگالشی درخواهد آمد. در تأسیسات چندتایی بویلر، معمولاً نصب فقط یک بویلر چگالشی مقرون به صرفه است. معمولاً این باید بویلر پیشاهنگ باشد، زیرا بالاترین راندمانها را ارائه می‌دهد. این اطمینان دهنده است که بهره‌برداری خوب انرژی تحت شرایط پاره ـ بار به وقوع خواهد پیوست.

References

1. Keating, W. R. and the Eurowinter Group (1997). Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe. *The Lancet*, 349, 1341–6.
2. Forecasting the nation's health (2000). Met Office Report, November.
3. Wilkinson, P. (2000). Social and environmental determinants of excess winter deaths in England, 1986–1996. Report for the Joseph Rowntree Foundation, July.
4. Edholm, O. G. (1978). *Man – hot and cold (Studies in Biology No. 97)* (Chapter 1). Arnold.
5. CIBSE Guide A1, Environmental criteria for design (1986).
6. Smith, B. J., Phillips, G. M. and Sweeney, M. (1987). *Environmental science* (Chapter 2). Longman Scientific and Technical.
7. CIBSE Guide A2, Weather and solar data (1982).
8. CIBSE Guide A3, Thermal properties of building structures (1980).
9. Smith, B. J., Phillips, G. M. and Sweeney, M. (1987). *Environmental science* (Chapter 1). Longman Scientific and Technical.
10. CIBSE Guide A9, Estimation of plant capacity (1983).
11. Moss, K. J. (1997). *Energy Management and Operating Costs in Buildings*, (Chapter 1). E & FN Spon.
12. CIBSE Guide B18, Owning and operating costs (1986).
13. Economic use of fired space heaters for industry and commerce, Fuel Efficiency Booklet 3 (1993). Department of the Environment.
14. Enhancing the built environment. Pilkington Plc. website.

15. CIBSE Guide B1, Heating (1986).
16. The economic thickness of insulation for hot pipes, Fuel Efficiency Booklet 8 (1994). Department of the Environment.
17. Hendrick, R. et al. (1992). Furnace sizing criteria for energy-efficient set back strategies. *ASHRAE Transactions*, **98**(Part 1), 1239–46.
18. Energy audits and surveys (1991). CIBSE Applications Manual AM5.
19. Economic use of oil-fired boiler plant, Fuel Efficiency Booklet 14 (1993). Department of the Environment.
20. Economic use of gas-fired boiler plant, Fuel Efficiency Booklet 15 (1994). Department of the Environment.
21. Condensing Boilers (1989). CIBSE Applications Manual AM3.

Bibliography

CIBSE Guide A1, Environmental criteria for design (1986).

CIBSE Guide A2, Weather and solar data (1982).

CIBSE Guide A3, Thermal properties of building structures (1980).

CIBSE Guide A9, Estimation of plant capacity (1983).

CIBSE Guide B1, Heating (1986).

CIBSE Guide B18, Owning and operating costs (1986).

Degree days, Fuel Efficiency Booklet 7 (1995). Department of the Environment.

Eastop, T. D. and Croft, D. R. (1990). *Energy efficiency for engineers and technologists* (Chapters 4 and 5). Longman Scientific & Technical.

Eastop, T. D. and Watson, W. E. (1992). *Mechanical services for buildings* (Chapter 3). Longman Scientific & Technical.

Edholm, O. G. (1978). *Man – hot and cold (Studies in Biology No. 97)* (Chapter 1). Arnold.

Economic use of fired space heaters for industry and commerce. Fuel Efficiency Booklet 3 (1993). Department of the Environment.

Economic use of oil-fired boiler plant, Fuel Efficiency Booklet 14 (1993). Department of the Environment.

Economic use of gas-fired boiler plant, Fuel Efficiency Booklet 15 (1994). Department of the Environment.

Levermore, G. J. (1992). *Building energy management systems* (Chapter 10). E & FN Spon.

Moss, K. J. (1997). *Energy Management and Operating Costs in Buildings* (Chapters 1 and 3). E & FN Spon.

Stoecker, W. F. and Jones, J. W. (1982). *Refrigeration and air conditioning* (Chapters 2 and 4). McGraw-Hill International Editions.

The economic thickness of insulation for hot pipes, Fuel Efficiency Booklet 8 (1994). Department of the Environment.

بخش نهم

بازیافت گرمای اتلافی

در بسیاری از کاربردها، پتانسیل بازیافت انرژی گرمائی وجود دارد که در غیر این صورت به هدر خواهد رفت. این بخش تکنولوژیهای مختلف بازیافت گرمای اتلافی را شرح داده و اصول تئوری ماوراء هر یک را می‌آزماید.

۹-۱ مقدمه

در بسیاری از کاربردها کاهش قابل ملاحظه هزینه‌های انرژی با استفاده از برخی لوازم بازیافت گرمای اتلافی، میسر است. اگرچه، قبل از سرمایه‌گذاری در چنین تکنولوژی ابتدا اهمیت دارد که برخی موارد عمومی ذیل را لحاظ کرد:

- آیا یک منبع مناسب اتلاف گرما وجود دارد؟ اگر پاسخ به این سؤال مثبت است، اثبات اینکه منبع قادر به تأمین مقداری مکفی از گرماست، و اینکه گرما دارای کیفیت مطلوب کافی برای ایجاد انتقال خوب گرماست، اهمیت دارد.
- آیا بازاری و یا مورد مصرفی برای گرمای تلف شده بازیافتنی وجود دارد؟ داشتن مورد مصرفی برای هر گرمای تلف شده‌ای که امکان بازیافت دارد، از اهمیت برخوردار است. در بسیاری از کاربری‌ها ممکن است تقاضا برای گرمائی که در دسترس است وجود نداشته باشد، در نتیجه مقدار زیادی از انرژی گرمائی دور ریخته می‌شود. در دیگر موقعیتها امکان وجود یک زمان وقفه طولانی بین تولید گرمای اتلافی و تقاضا برای گرما، هست. بنابراین گرمای اتلافی را نمی‌توان مورد بهره‌برداری قرار داد مگر اینکه برخی انواع ذخیره حرارتی را اختیار کرد.
- آیا جایگزین کردن یک وسیله بازیافت گرما واقعاً صرفه‌جوئی در انرژی اولیه یا کاهش هزینه‌های انرژی را به دنبال دارد؟ اغلب جایگزینی یک مبدل حرارتی، مقاومت جریانهای مایع را افزایش می‌دهد، که این امر منجر به بالا رفتن مصرف انرژی پمپ یا پروانه می‌گردد. بنابراین انرژی الکتریکی جایگزین انرژی گرمائی می‌شود، که ممکن است در یک بازدهی کمتر از ۳۵٪ تولید شود.
- آیا هر سرمایه‌گذاری در تکنولوژی بازیافت گرما، اقتصادی خواهد بود؟ لوازم بازیافت گرما

می‌توانند هزینه نصب گرانی داشته باشند. بنابراین ضروری است که زمان بازگشت سرمایه قبل از انجام هر گونه سرمایه‌گذاری، تعیین گردد.

در حالیکه سؤالات بالا ممکن است به نظر واضح برسند، پیدا کردن مواردی که برنامه‌ریزی و تجزیه و تحلیل ضعیف در مرحله طراحی منجر به تأسیساتی گردد که یا اثر دستگاه بازیافت گرما در حداقل است یا حتی هزینه‌های انرژی را افزایش داده، غیرمعمول نیست. موردی را که یک مبدل حرارتی در یک جریان خروجی هوای گرم در یک ساختمان نصب شده را مورد ملاحظه قرار دهید. جاسازی دستگاه سبب افزایش مقاومت جریانات هوا شده، و منجر به مصرف انرژی بالاتر در پروانه می‌گردد. اگر قیمت هر واحد الکتریسیته چهار برابر گاز باشد، آنگاه فقط برای نقطه سر به سر حتی، مبدل حرارتی باید چهار برابر افزایش در مصرف انرژی الکتریکی بازیافت نماید، که از افزایش مقاومت سیستم برخاسته است. هم چنین مقاطع زمانی طولانی ممکن است وجود داشته باشد که درجه حرارت هوای بیرون چنان است که مقدار کمی یا هیچگونه گرما را بتوان بازیافت نمود. به هر حال اگر، پروانه‌ها مداوماً کار کنند آنگاه انرژی الکتریکی افزایش یافته، برای مقداری کم یا هیچ مقداری از بازیافت صرف شده‌اند. با این وصف، شگفت‌آور نیست که بسیاری سیستمهائی که بازیافت انرژی خوانده می‌شوند، علیرغم اینکه به نظر می‌رسد انرژی صرفه‌جوئی می‌کنند، در حقیقت افزایش در مصرف انرژی اولیه و هزینه‌های انرژی، هر دو را پی دارند.

اگر تصمیمی استراتژیک جهت سرمایه‌گذاری در برخی انواع لوازم بازیافت گرما اتخاذ شود، آنگاه گام منطقی بعدی انتخاب مناسب‌ترین سیستم می‌باشد. تنوع وسیعی از تکنولوژیهای بازیافت گرما وجود دارند، که می‌توان در دسته‌بندیهای گسترده ذیل تقسیم‌بندی نمود:

- مبدل حرارتی بازیاب[1]: که در آن دو مایع دخیل در تبادل گرما، توسط یک مانع یکپارچه در تمام اوقات جدا شده‌اند.
- سیستمهای گردان[2]: که در آن یک مایع چرخان منفرد برای نقل و انتقال گرما بین جریانات سرد و گرم استفاده می‌شود.

1-Recuperative

2-Run - around coils

- مبدل حرارتی ذخیره‌ای [1]: که در آن سیالات داغ و سرد به طور یک در میان از عرض یک ساختار ماتریسی عبور می‌کنند.
- پمپ‌های حرارتی: که در آن یک سیکل تراکم بخار برای نقل و انتقال گرما بین جریانات داغ و سرد استفاده می‌گردد.

علاوه بر اینها، برخی تکنولوژیهای کم مصرف‌تر نیز وجود دارند، به مانند لوله‌های حرارتی، که در این کتاب پوشش داده نشده‌اند.

۹-۲ مبدلهای حرارتی بازیاب

در یک مبدل حرارتی بازیاب دو مایع دخیل در انتقال گرما در تمام اوقات توسط یک مانع یکپارچه جدا شده‌اند. این بدان معنی است که جابجائی و رسانش مکانیزمهائی هستند که انتقال حرارت را کنترل می‌کنند. بنابراین مقاومت حرارتی یک مبدل حرارتی را می‌توان بصورت ذیل بیان کرد:

$$R=\frac{1}{U}=\frac{1}{hi}+R_w+\frac{1}{h_o}+F_i+F_o \qquad (۹-۱)$$

که در آن R مقاومت حرارتی مبدل حرارتی است (m^2K/W)، R_w مقاومت حرارتی دیوار جداکننده است (m^2K/W)، h_i و h_o ضریب انتقال حرارت سطوح داخلی و خارجی هستند(W/m^2K)، F_i و F_o ضریب جرم گرفتگی داخلی و خارجی می‌باشند، و U ضریب کلی انتقال حرارت (مانند مقدار U) است (W/m^2K).

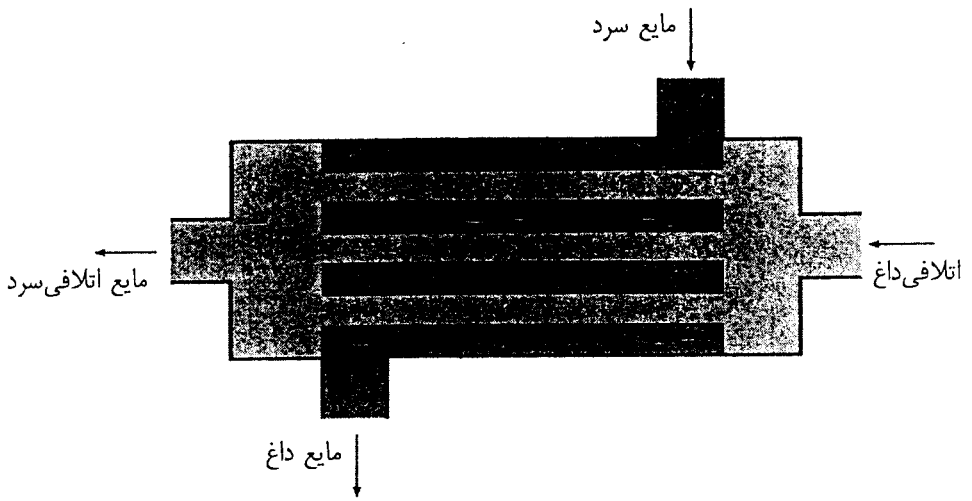
$$\frac{1}{U_{\text{کثیف}}}=\frac{1}{U_{\text{تمیز}}}+\text{ضرایب جرم گرفتگی} \qquad (۹-۲)$$

در عمل، اغلب مبدلهای حرارتی بزرگتر از حد مورد نیاز اختیار می‌شوند، که چنانچه اگر زمانی در کارکردشان دچار خطا شدند هنوز لازمه‌های طراحی را برآورده سازند. میزان طراحی بزرگتر

1-Regenerative

از حد نیاز، بوسیله ادغام فاکتورهای جرم گرفتگی در محاسبات اندازه‌بندی، حاصل می‌گردد.

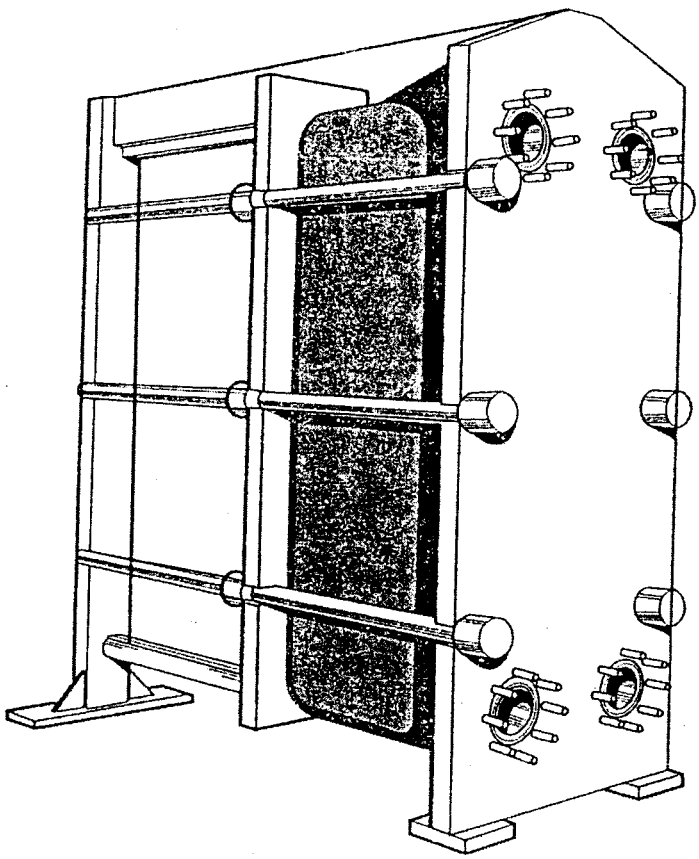
مبدلهای حرارتی بازیاب معمولترین نوع دستگاه مورد استفاده برای بازیافت گرمای اتلافی هستند. آنها فقط می‌توانند در کاربریهائی که جریانات داغ و سرد را می‌توان به نزدیک یکدیگر آورد، مورد استفاده قرار گیرند. اگر چه شکل دقیق یک مبدل حرارتی ممکن است با کاربرد خاص آن تغییر نماید، سه نوعی که بطور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند بشرح ذیل هستند.



شکل ۹-۱ مبدل حرارتی پوسته و لوله

الف) مبدل حرارتی پوسته و لوله: مبدلهای حرارتی پوسته و لوله شامل دسته‌ای از لوله‌هائی است که داخل پوسته‌ای سیلندری شکل قرار دارند که در آن دو مایع یکی از طریق لوله‌ها و دیگری از طریق پوسته (به همان گونه که در شکل ۹-۱ نشان داده شده است) در جریان می‌باشند، انتقال حرارت از طریق رسانایی از دیواره‌های لوله صورت می‌گیرد. اغلب صفحاتی جهت هدایت مایع در اطراف مبدل حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد که هم چنین تأمین کننده تقویت ساختاری برای لوله‌هاست.

ب) مبدل حرارتی صفحه‌ای: مبدلهای حرارتی صفحه‌ای شامل شمار زیادی از صفحات فلزی نازک (معمولاً فولاد ضد زنگ لیکن برخی اوقات تیتانیوم یا نیکل)، که به یکدیگر باگیره محکم شده‌اند و با واشرها آب‌بندی گردیده‌اند (شکل ۹-۲ را ببینید). صفحات نازک بطور عمودی قرار داده شده تا زمانی که آنها به هم بسته شدند، مسیرهای جریان بین صفحات پدید آید، و سطح مساحت بسیار وسیعی در میان آنها ایجاد شود که انتقال حرارت بتواند صورت پذیرد.



شکل ۹-۲ مبدل حرارتی صفحه‌ای

دریچه‌هائی در گوشه‌های هر یک صفحه قرار داده شده که جداکننده جریانهای مایع داغ و سرد بوده و آنها را به مسیرهای متناوب هدایت می‌کند تا اینکه هیچ اختلاط مایعی واقع نگردد. تمامی مبدل یک الگوی جریان معکوس را تجربه می‌کند. اگر واشرهای لاستیکی برای آب‌بندی نصب شده باشد، معمولاً حداکثر درجه حرارت عملیاتی حدود ۱۳۰ $^{\circ}C$ است لیکن اگر واشرهائی از فیبرهای پشم شیشه فشرده شده بکار رود این می‌تواند تا ۲۰۰ $^{\circ}C$ برسد(۱). مبدلهای حرارتی صفحه‌ای در سالهای اخیر به سبب اینکه کاملاً جمع و جور هستند متداول شده‌اند، و می‌توانند به سهولت براساس تغییرات آینده سیستم، گسترده یا فشرده شوند.

(ج) صفحه تخت بازیاب: صفحه تخت بازیاب شامل یک سری صفحه‌های فلزی (معمولاً آلومینیوم) جدا کننده جریانات هوا یا گاز داغ و سرد می‌باشند، که در یک ساختار جعبه‌ای شکل، پیچیده شده‌اند (شکل ۹-۳ را ببینید). صفحات در جهت جلوگیری از امتزاج جریانات در مایع آب‌بندی شده‌اند. آنها اغلب در تأسیسات تهویه مطبوع کانالی جهت بازیافت حرارت از جریان هوای

دودکش، بدون اینکه هیچگونه تداخلی انجام پذیرد، به کار می‌روند.

۹-۳ تئوری مبدل حرارتی

دو نوع از معمولترین اشکال جریان مبدل حرارتی، جریان ناهمسو و جریان همسو هستند. این الگوهای جریان به همراه نمودارهای درجه حرارت مشخصه آنها، در شکلهای ۹-۴ و ۹-۵ به ترتیب ارائه گردیده‌اند.

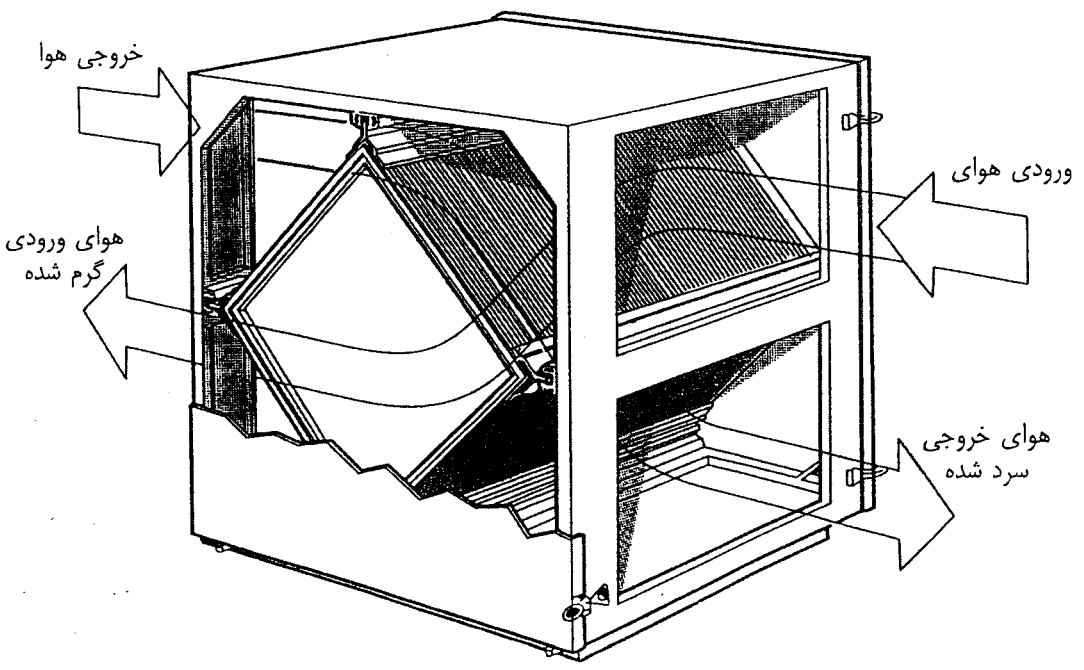
باید متذکر شد که تحت شرایط جریان همسو، جریان داغ همیشه گرمتر از جریان سرد است. تحت شرایط جریان ناهمسو ممکن است درجه حرارت خروجی مایع سرد بالاتر از درجه حرارت خروجی مایع داغ باشد.

معادلات عمومی که حاکم بر انتقال گرما در مبدلهای حرارتی بازیاب هستند به شرح ذیل‌اند:

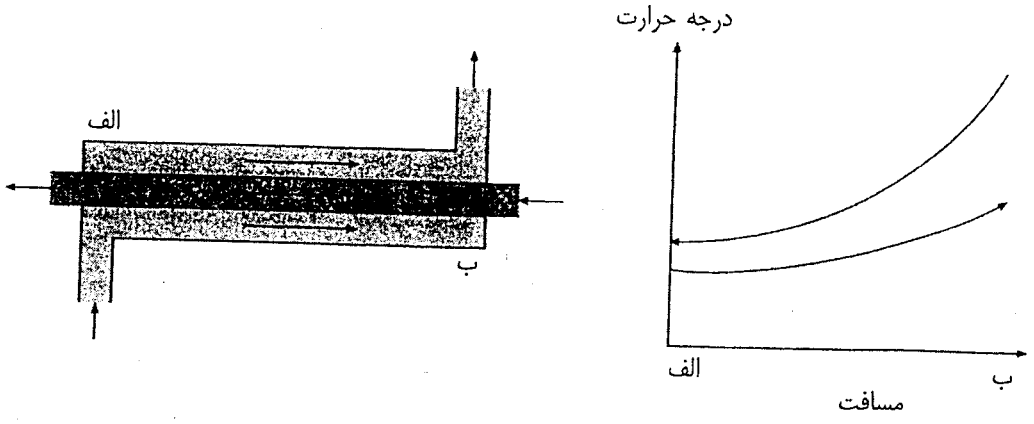
$$Q = \dot{m}_h C_h (t_{h1} - t_{h2}) = \dot{m}_c C_c (t_{c1} - t_{c2}) \qquad (۹-۳)$$

و

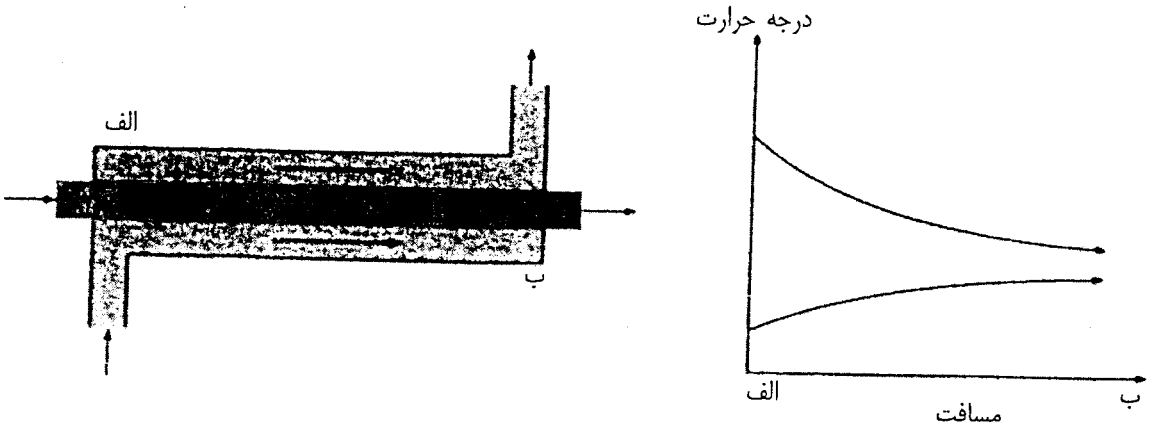
$$Q = UA_o (LMTD) K \qquad (۹-۴)$$



شکل ۹-۳ صفحه تخت بازیاب



شکل ۹-۴ مبدل حرارتی جریان ناهمسو



شکل ۹-۵ مبدل حرارتی جریان همسو

که در آن Q میزان انتقال گرما است (W)، $\dot{m}_c$ میزان جریان جرم مایع داغ است (kg/s)، $\dot{m}_c$ میزان جریان جرم مایع سرد است (kg/s). c_h گرمای ویژه[1] مایع داغ است (J/kgK)، c_c گرمای ویژه مایع سرد است (J/kgK)، t_{h1} و t_{h2} درجه حرارتهای ورودی و خروجی مایع داغ هستند $(°C)$، t_{c1} و t_{c2} درجه حرارتهای ورودی و خروجی مایع سرد می‌باشد $(°C)$، U ضریب انتقال حرارت کلی است (مانند ارزش U) (W/m^2K)، A مساحت سطح خارجی مبدل حرارتی است (m^2)، $LMTD$[2] اختلاف دمای متوسط لگاریتمی $(°C)$، و K عدد ثابتی است که بستگی به نوع جریان در مبدل حرارتی دارد (مثلاً K=۱ برای جریان ناهمسو و جریان همسو است و بنابراین اغلب نادیده انگاشته می‌شود).

1- *specific heat*

2- *Logarithmic mean temperature difference*

اختلاف دمای متوسط لگاریتمی ($LMTD$) را می‌توان به طریق ذیل تعیین نمود:

$$LMTD=\frac{\Delta t_1-\Delta t_2}{ln(\Delta t_1/\Delta t_2)} \qquad (۵-۹)$$

مثالهای ذیل نشان می‌دهد که چگونه می‌توان معادلات بالا را برای طراحی و تجزیه و تحلیل مبدلهای حرارتی بکار گرفت:

مثال ۹-۱

یک جریان پساب دارای نرخ جریان $۳/۵\ kg/s$ و درجه حرارتی برابر با $۷۰\ ^\circ C$ با یک ظرفیت حرارتی ویژه $۴۱۹۰\ J/kgK$ می‌باشد. گرمای بازیافتی از جریان اتلافی داغ برای پیش گرمایش آب ذخیره بویلر استفاده می‌شود. نرخ جریان آب ذخیره $۲kg/s$، درجه حرارت آن $۱۰\ ^\circ C$ و ظرفیت گرمائی ویژه آن $۴۱۹۰\ J/kgK$ می‌باشد. ضریب انتقال گرمای کلی مبدل حرارتی $۸۰۰\ W/m^۲K$ است. اگر درجه حرارت خروجی آب ذخیره $۵۰\ ^\circ C$ لازم باشد، و بر فرض اینکه هیچ اتلاف گرمایی از مبدل وجود ندارد، تعیین کنید:

(I) نرخ انتقال گرما

(II) درجه حرارت پساب خروجی و

(III) مساحت لازمه مبدل حرارتی.

راه‌حل

(I) حالا:

$$Q=\dot{m}_c C_c(t_{c1}-t_{c2})=۲\times۴۱۹۰\times(۵۰-۱۰)=۳۳۵۲۰۰\ W=۳۳۵.۲\ kW$$

(II) حالا

$$\dot{m}_h C_h(t_{h1}-t_{h2})=\dot{m}_c C_c(t_{c1}-t_{c2})$$

$$۳.۵\times۴۱۹۰\times(۷۰-t_{h2})=۲\times۴۱۹۰\times(۵۰-۱۰)$$

$$t_{h۲}=۴۷.۱۴^{\circ}C$$

(III) حالا، به سبب اینکه درجه حرارت خروجی آب بالای درجه حرارت خروجی پساب است، یک مبدل حرارتی جریان ناهمسو مورد نیاز است.

$$LMTD=\frac{\Delta t_{۱}-\Delta t_{۲}}{ln(\Delta t_{۱}/\Delta t_{۲})}=\frac{[(۷۰-۵۰)-(۴۷/۱۴-۱۰)]}{ln[(۷۰-۵۰)/(۴۷/۱۴-۱۰)]}=۲۷/۶۹^{\circ}C$$

حالا

$$Q=UA(LMTD)$$

بنابراین

$$A=\frac{۳۳۵۲۰۰}{۸۰۰\times۲۷/۶۹}=۱۵/۱۳\,m^{۲}$$

مثال ۹-۲

مبدل حرارتی جریان ناهمسو نشان داده شده در شکل ۹-۶ را مورد ملاحظه قرار دهید. با اطلاعات داده شده ذیل، میزان انتقال حرارت کلی مبدل حرارتی را تعیین کنید.

اطلاعات:

طول مبدل حرارتی = ۲ متر

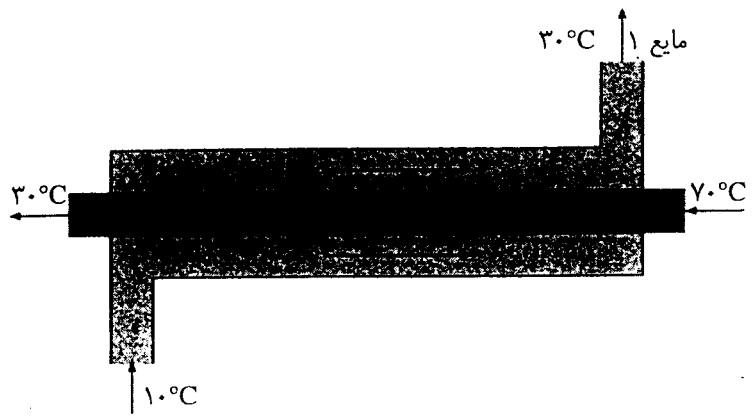
شعاع داخلی سطح مبدل حرارتی = ۱۰ میلی‌متر

سطح خارجی سطح مبدل حرارتی = ۱۱ میلی‌متر

رسانایی حرارتی سطح مبدل حرارتی = $۳۸۶\ W/mK$

ضریب انتقال حرارت مایع ۱ = $۵۰\ W/m^{۲}K$

ضریب انتقال حرارت مایع ۲ = $۹۰\ W/m^{۲}K$



شکل ۹-۶ مبدل حرارتی

راه‌حل

با تلفیق معادلات (۸-۲۶) و (۸-۲۸) می‌توان نشان داد که مجموع مقاومت حرارتی R_t، مبدل حرارتی برابر است با:

$$R_t=\frac{۱}{h.A_۱}\times\frac{ln(r_۲/r_۱)}{۲\pi k.l}\times\frac{۱}{h.A_۲}$$

که در آن k رسانایی حرارتی دیواره لوله (W/mK)، $r_۱$ شعاع داخلی لوله (m)، $r_۲$ شعاع خارجی لوله (m)، l طول لوله (m)، h ضریب انتقال حرارت $W/m^۲K$، و $A_۱$ و $A_۲$ مساحات سطح خارجی و داخلی هستند $(m^۲)$ و با استفاده از معادله (۸-۳۰) میزان انتقال حرارت کل را می‌توان به شرح ذیل اظهار داشت:

$$Q=\frac{\Delta t}{R_t}\ (W)$$

حالا

$$A_۱=۲\pi\times۰/۰۱۱\times۲=۰/۱۳۸\,m^۲$$

و

$$A_۲=۲\pi\times۰/۰۱\times۲=۰/۱۲۶\,m^۲$$

$$R_t=\frac{۱}{۹۰\times۰/۱۲۶}\times\frac{ln(۰/۰۱۱/۰/۰۱)}{۲\pi\times۳۸۶\times۲}\times\frac{۱}{۵۰\times۰/۱۳۸}$$

بنابراین

$$R_t=۰/۲۳۳\ W/K$$

و

$$LMTD=\frac{(۷۰-۳۰)-(۳۰-۱۰)}{ln[(۷۰-۳۰)/(۳۰-۱۰)]}=۲۸/۸۵\ ^\circ C$$

بنابراین

$$Q=\frac{۲۸/۸۵}{۰/۲۳۳}=۱۲۳/۸\ W$$

۹-۳-۱ مفهوم تعداد واحدهای انتقال (NTU[1])

در برخی وضعیت‌ها فقط درجه حرارت‌های ورودی و نرخ‌های جریان داغ و سرد شناخته شده‌اند. تحت این شرایط استفاده از متد $LMTD$ منجر به راه‌حل ریاضی پیچیده و طولانی خواهد شد. جهت تسهیل چنین محاسباتی متد تعداد واحدهای انتقال (NTU) توسعه یافت (۲ و ۳).

NTU بصورت نسبت تغییر درجه حرارت یکی از سیالات بخش بر میانگین نیروی محرک بین سیالات تعریف شده است، و می‌توان بشرح ذیل بیان نمود:

برای مایع داغ

$$NTU_h=\frac{(t_{h۱}-t_{h۲})}{(LMTD)K}=\frac{UA_{\circ}}{(mc)_h} \qquad (۹-۶)$$

برای مایع سرد

$$NTU_c=\frac{(t_{c۱}-t_{c۲})}{(LMTD)K}=\frac{UA}{(mc)_c} \qquad (۹-۷)$$

(برای مبدلهای حرارتی جریان ناهمسو جریان همسو از عدد K می‌توان چشم‌پوشی کرد)

1- Number of Transfer Units

معادلات (۹-۶) و (۹-۷) معمولا بصورت زیر بیشتر ساده می‌شوند:

$$NTU = \frac{UA_{\circ}}{(mc)_{min}} \qquad (۹-۸)$$

که در آن $(\dot{m}c)_{min}$ ظرفیت حرارتی حداقل است (kW/K).

نسبت ظرفیتهای حرارتی، R، بصورت زیر تعریف شده است.

$$R = \frac{(mc)_{min}}{(mc)_{max}} \qquad (۹-۹)$$

اگر هر دو مایع در مبدل حرارتی دارای ظرفیت حرارتی یکسان باشند آنگاه $R=۱$ است. از سوی دیگر زمانیکه یکی از سیالات دارای ظرفیت حرارتی بی‌نهایت است، مانند مورد بخار در حال تبخیر، آنگاه $R=۰$ است.

مفهوم مفید دیگر، بازدهی[1]، E، یک مبدل حرارتی است. بازدهی را می‌توان به عنوان انتقال حرارت واقعی تقسیم بر حداکثر ممکن انتقال حرارت سرتاسر مبدل حرارتی تعریف کرد، و می‌توان بشرح ذیل بیان داشت:

$$E = \frac{Q}{Q_{max}} = \frac{Q}{(mc)_{min}(t_{hmax} - t_{cmin})} \qquad (۹-۱۰)$$

استنتاج رابطه بین E، NTU و R برای کاربریهای انواعی از مبدلهای حرارتی میسر است. بیان ریاضی برای برخی کاربردهای معمول‌تر ذیلاً ارائه گردیده است:

(I) جریان همسو:

$$E = \frac{۱ - e^{[-NTU(۱+R)]}}{۱+R} \qquad (۹-۱۱)$$

1- *Effectiveness*

جریان ناهمسو:

$$E=\frac{۱-e^{[-NTU(۱-R)]}}{۱-Re^{[-NTU(۱-R)]}} \qquad (۱۲-۹)$$

اگر $R=۱$ باشد آنگاه بصورت زیر ساده خواهد شد:

$$E=\frac{NTU}{۱+NTU} \qquad (۱۳-۹)$$

(III) مبدل حرارتی که در یکسوی آن چگالش بخار صورت می‌گیرد:

$$E=۱-e^{[-NTU]} \qquad (۱۴-۹)$$

روش NTU برای تجزیه و تحلیل مبدل حرارتی در مثال ۹-۳ نشان داده شده است.

مثال ۹-۳

جریان آب آلوده‌ای از ساختمان یک کارخانه دارای درجه حرارت $۸۰^{\circ}C$، و نرخ جریانی برابر $۶kg/s$ و ظرفیت حرارتی ویژه kJ/kgK می‌باشد. آب تأمین ورودی به فرآیند تولید در $۱۰^{\circ}C$ است و دارای نرخ جریانی برابر با $۷kg/s$ و ظرفیت حرارتی ویژه $۴/۱۹kJ/kgk$ می‌باشد. پیشنهاد شده یک مبدل حرارتی جریان ناهمسو جهت بازیافت گرمای اتلافی نصب گردد. اگر مبدل حرارتی دارای یک مساحت کلی $۳۰m^{۲}$ و ضریب انتقال حرارت کلی $۸۰۰W/m^{۲}K$ باشد (با فرض اینکه هیچ گرمائی از مبدل حرارتی تلف نمی‌شود)، معین کنید:

(I) بازدهی مبدل حرارتی؛

(II) نرخ انتقال حرارت؛

(III) درجه حرارت خروجی جریان آب ورودی که مبدل حرارتی را ترک می‌کند.

راه‌حل

حالا

$$(\dot{m}c)_{min}=۶\times۴/۱۹=۲۵/۱۴\ kW/K$$

و

$$(\dot{m}c)_{max}=۷\times۴/۱۹=۲۹/۳۳\ kW/K$$

بنابراین

$$R=\frac{۲۵/۱۴}{۲۹/۳۳}=۰/۸۵۷$$

و

$$NTU=\frac{۳۰\times۸۰۰}{۲۵/۱۴\times۱۰۰۰}=۰/۹۹۵۰$$

(I) بنابراین

$$E=\frac{۱-e^{[-۰/۹۵۵(۱-۰/۸۵۷)]}}{۱-۰/۸۵۷e^{[-۰/۹۵۵(۱-۰/۵۸۷)]}}=۰/۵۰۶$$

(II) حالا

$$E=\frac{Q}{(\dot{m}c)_{min}(t_{hmax}-t_{cmin})}$$

بنابراین:

$$Q=۰/۵۰۶\times۲۵/۱۴\times[۸۰-۱۰]=۸۹۰/۴۶\ kW$$

(III) بنابراین:

$$۸۹۰/۴۶=۲۹/۳۳\times[t_{off}-۱۰]$$

بنابراین:

$$t_{off}=۴۰/۴\ ^{\circ}C$$

۹-۴ سیستمهای گردان

زمانیکه دو مبدل حرارتی بازیاب توسط یک مایع سومی که حرارت را مابین آنها انتقال می‌دهد، به هم متصل شوند، سیستم به عنوان سیستمهای گردان شناخته می‌شود. اغلب سیستمهای گردان جهت بازیافت گرمای اتلافی از جریانات هوای دودکش و پیش‌گرمایش هوای تأمینی ورودی، بکار گرفته می‌شوند، لذا از خطر تداخل آلودگی بین دو جریانات هوا پیشگیری می‌کنند. چنین سیستمی در شکل ۹-۷ نشان داده شده است. معمولاً سیستمهای گردان از مخلوطی از گلیکول/ آب بعنوان مایع عمل کننده که از خطر یخ‌زدگی در خلال زمستان جلوگیری می‌کند، بهره می‌برند.

سیستمهای گردان دارای مزیتی هستند که آنها را می‌توان در کاربردها، که در آن دو جریان مایع از نظر فیزیکی، برای استفاده از یک مبدل حرارتی بازیاب، دور هستند. بکار گرفت. در حالیکه این خصیصه معمولاً مزیتی محسوب می‌گردد، لیکن منجر به افزایش مصرف انرژی شده زیرا پمپی داخل سیستم وارد شده، و هم چنین ممکن است منجر به اتلاف گرما از مایع ثانویه گردد. این عایق‌بندی شبکه لوله‌کشی را اهمیت می‌بخشد، در غیر اینصورت اثربخشی سیستم به گونه‌ای غیرقابل قبول پائین خواهد آمد. با وجود این اشکالات، زمانی که با دیگر روشهای بازیافت گرمای اتلافی مقایسه می‌گردد، سیستمهای گردان نسبتاً برای نصب ارزان بوده زیرا آنها از سیم‌پیچیهای گرمایش هوا/آب استاندارد بهره می‌گیرند.

در مورد سیستم نشان داده شده در شکل ۹-۷ ظرفیت حرارتی $(\dot{m}c)$ مایع سرد برابر است با مایع داغ زیرا در مبدل حرارتی شبیه یکدیگرند. بنابراین:

$$(\dot{m}c)_h=(\dot{m}c)_c=(\dot{m}c)_s \qquad (۱۵-۹)$$

جائیکه $(\dot{m}c)_s$ ظرفیت حرارتی مایع ثانویه است (kW/K).

می‌توان نشان داد که:

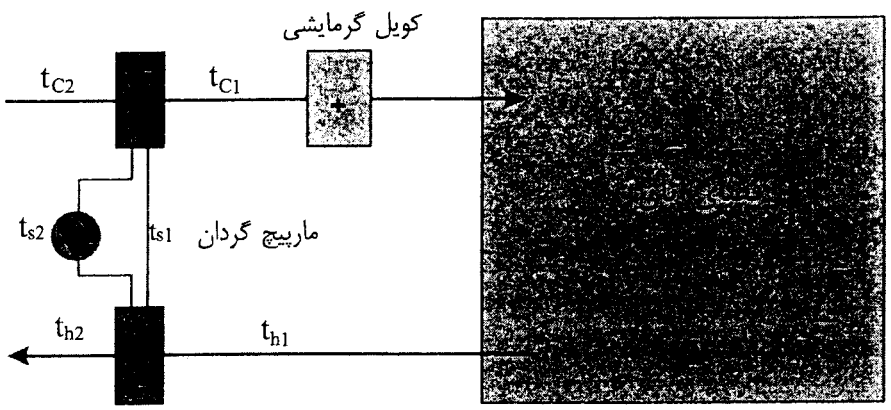
$$t_{s۱}=\frac{(t_{h۱}+t_{c۱})}{۲}$$

و

$$t_{s۲}=\frac{(t_{h۲}+t_{c۲})}{۲}$$

که در آن $t_{s۲}$ $t_{s۱}$ درجه حرارتهای جریان و برگشت جریان مایع ثانویه هستند $(°C)$، $t_{h۲}$ $t_{h۱}$ درجه حرارتهای جاری مایع داغ قبل و بعد از مبدل حرارتی می‌باشند $(°C)$، و $t_{c۲}$ ، $t_{c۱}$ درجه حرارتهای جریان مایع سرد قبل و بعد از مبدل حرارتی هستند $(°C)$. هم چنین انتقال حرارت کلی را می‌توان بشرح ذیل تعریف کرد.

$$Q=(UA)_{\circ}(t_{h۱}-t_{c۱})$$



شکل ۹-۷ سیستم مارپیچ گردان

و

$$Q=(UA)_h(t_{h۱}-t_{s۱})$$

$$=(UA)_h(t_{h۱}-\frac{(t_{h۱}+t_{c۱})}{۲})$$

که در آن $(UA)_{\circ}$ حاصلضرب U و A برای کل سیستم گردان است (W/K)، و $(UA)_h$ حاصلضرب U و A برای مبدل حرارتی در جریان داغ می‌باشد (W/K).

بنابراین:

$$(UA)_{\circ}(t_{h۱}-t_{c۱})=(UA)_h\frac{(t_{h۱}-t_{c۱})}{۲}$$

لذا

$$Q=\frac{(UA)_h(t_{h۱}-t_{c۱})}{۲}$$

و از آنجائیکه

$$Q=(\dot{m}\ c)\times(t_{c1}-t_{c2})$$

می‌توان نشان داد که:

$$Q=\frac{(UA)_h(t_{h1}-t_{c2})}{2+[(UA)_h/(mc)_c]} \qquad (۹-۱۶)$$

مثال ۹-۴

یک سیستم گردان به یک سیستم گرمایش و تهویه همانگونه که در شکل ۹-۷ نشان داده شده اضافه گردیده است. هوا در درجه حرارت $28°C$ به فضای اطاق وارد شده و در $20°C$ آن را ترک می‌کند. درجه حرارت هوای بیرون $1°C$- است. هوای وارد شده به فضا دارای یک نرخ جریان جرمی $3kg/s$ و یک میانگین ظرفیت ویژه $1/012kJ/kgK$ می‌باشد. حرارت ویژه مایع ثانویه $3/6kJ/kgK$ است، و:

$$(UA)_c=(UA)_h=5\ kW/K$$

با این اطلاعات، معین کنید:

(*I*) نرخ جریان جرم مورد نیاز مایع ثانویه؛
(*II*) درجه حرارت هوای ورودی به سیم پیچ گرمایشی هوای ورودی؛ و
(*III*) درصد صرفه‌جوئی انرژی بدست آمده با استفاده از سیستم گردان.

راه‌حل

(*I*) از معادله (۹-۱۵) می‌توان مشاهده کرد که:

$$(\dot{m}c)_c=(\dot{m}c)_s$$

بنابراین

$$\dot{m}s=\frac{3\times1/012}{3/6}=0/843\ kg/s$$

(*II*) حالا:

$$Q=\frac{(UA)_h(t_{h1}-t_{c2})}{2+[(UA)_h/(mc)_c]}$$

بنابراین

$$Q=\frac{5\times[20-(-1)]}{2+[5/(3\times1/012)]}=28/79\ kW$$

و از آنجائیکه

$$t_{c1}=t_{c2}+\frac{Q}{(mc)_c}$$

بنابراین

$$t_{c1}=-1+\frac{28/79}{(3\times1/012)}=8/48\ ^\circ C$$

(*III*) با سیستم گردان

$$Q=3\times1/012\times[28-8/48]=59/263\ kW$$

بدون سیستم گردان

$$Q=3\times1/012\times[28-(-1)]=88/044\ kW$$

بنابراین

$$\text{درصد صرفه‌جوئی}=\frac{(88/044-59/263)}{88/044}\times100=32/7\%$$

در حالیکه بدست آوردن عبارتی برای انتقال حرارت در یک سیستم گردان، زمانیکه ظرفیتهای حرارتی سیالات برابر هستند، نسبتاً ساده است، اما وقتیکه ظرفیتهای حرارتی دو مایع مختلف بوده، و هم چنین مبدلهای حرارتی متفاوت باشند، بسیار پیچیده‌تر می‌شود. بهرحال، می‌توان با استفاده از متد *NTU* بر این مشکل فائق آمد.

می‌توان نشان داد که برای یک سیستم گردان

$$\frac{1}{(UA)_o}=\frac{1}{(UA)_h}+\frac{1}{(UA)_c} \qquad (۹-۱۷)$$

و از معادله (۹-۸)

$$NTU=\frac{UA_o}{(mc)_{min}}$$

بنابراین

$$NTU=\frac{UA_h\times UA_c}{(mc)_{min}(UA_h+UA_c)} \qquad (۹-۱۸)$$

مثال ۹-۵ نشانگر چگونگی توان کاربرد متد NTU برای یک مسئله سیستم گردان می‌باشد.

مثال ۹-۵

در نظر است که یک سیستم گردان جهت بازیافت گرمای اتلافی از یک جریان گاز دودکش در $۲۵۰°C$، و پیش گرمایش جریان آبی در $۱۰°C$، نصب گردد. گاز دودکش دارای نرخ جریان جرمی برابر با $۴kg/s$ و برای آب برابر $۲kg/s$ می‌باشد. مبدلهای حرارتی منفرد به کار رفته در سیستم از نوع جریان ناهمسو می‌باشد. با فرض اطلاعات ذیل معین کنید:

(*I*) بازدهی کلی سیستم گردان؛ و

(*II*) درجه حرارت خروجی جریان آب.

اطلاعات:

ظرفیت حرارتی ویژه گاز دودکش = $۱/۲kJ/kgK$

ظرفیت حرارتی ویژه آب = $۴/۱۹kJ/kgK$

UA برای مبدل حرارتی گاز دودکش = $۵kW/K$

UA برای مبدل حرارتی آب = $۱۸kW/K$

راه‌حل:

(*I*) حالا

$$(\dot{m}c)_{min}=۴\times۱/۲=۴/۸\,kW/K$$

و

$$(\dot{m}c)_{max}=۲\times۴/۱۹=۸/۳۸\,kW/K$$

بنابراین

$$R=\frac{۴/۸}{۸/۳۸}=۰/۵۷۳$$

و

$$NTU=\frac{۵\times۱۸}{۴/۸\times(۵+۱۸)}=۰/۸۱۵$$

و از معادله (۹-۱۳)

$$E=\frac{۱-e^{(-۰/۸۱۵(۱-۰/۵۷۳))}}{۱-۰/۵۷۳\,e^{(-۰/۸۱۵(۱-۰/۵۷۳))}}=۰/۴۹۴$$

(*II*) حالا

$$E=\frac{Q}{(\dot{m}c)_{min}(t_{hmax}-t_{cmin})}$$

بنابراین

$$Q=۰/۴۹۴\times۴/۸\times[۲۵۰-۱۰]=۵۶۹/۱\,kW$$

بنابراین

$$۵۶۹/۱=۸/۳۸\times[t_{off}-۱۰]$$

بنابراین

$$t_{off}=۷۷/۹\,^{\circ}C$$

۹-۵ مبدلهای حرارتی بازیافتی

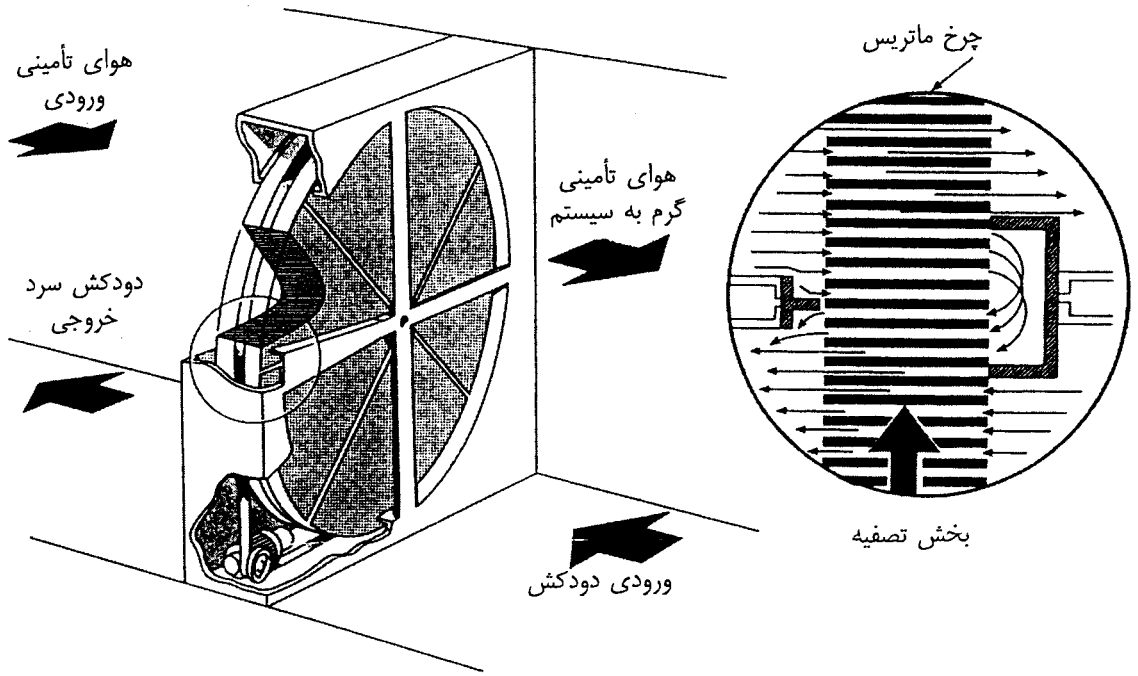
در یک مبدل حرارتی بازیافتی، ماده‌ایی با ساختاری ماتریسی داریم که به طور متناوب مایعی داغ و مایعی سرد از آن می‌گذرد، لذا گرما بین این دو در یک فرآیند تناوبی، انتقال می‌یابد.

معمولترین نوع مبدل حرارتی بازیافتی که استفاده می‌شود، چرخ حرارتی است که دارای ساختاری ماتریسی است که بر گردونه‌ای سوار شده، و به آهستگی در حدود ۱۰ دور در دقیقه از میان جریانات مایع داغ و سرد، می‌چرخد (همانگونه که در شکل ۹-۸ نشان داده شده است). مزیت عمده یک چرخ حرارتی در این است که مساحت بزرگی به نسبت حجم وجود دارد که منجر به هزینه نسبتاً کم هر واحد به ازاء سطح مساحت می‌شود.

ساختار ماتریس در یک چرخ حرارتی معمولاً یک سازه فلزی روباز از قبیل فولاد ضد زنگ یا سیم آلومینیومی بافته شده، یا صفحه موج دار (کرکره‌ای) آلومینیومی یا فولادی است(۱). برای استفاده در درجه حرارتهای بالاتر مواد سرامیکی لانه زنبوری استفاده می‌گردد. در حالیکه چرخهای حرارتی معمولاً فقط برای بازیافت گرمای محسوس به کار گرفته می‌شوند، امکان بازیافت انتالپی تبخیر از رطوبتی که در جریان داغ گذرا از یک چرخ حرارتی است، وجود دارد. این امر با پوشش دادن یک ماتریس غیرفلزی با یک ماده رطوبت‌گیر به مانند کلراید لیتیوم، نائل شدنی است(۱).

چرخ‌های حرارتی یقیناً دارای عیب بزرگی هستند، چرا که امکان تداخلی جریانی بین جریانات هوا، وجود دارد. این امر به مقدار قابل ملاحظه‌ای با اطمینان از اینکه مایع تمیزتر در بالاترین فشار نگهداشته شده باشد و همچنین با استفاده از یک دستگاه تصفیه، می‌تواند کاهش یابد. به بیشتر چرخ‌های حرارتی یک دستگاه تصفیه الحاق شده که اجازه می‌دهد بخش کوچکی از هوای تأمینی، آلاینده‌ها را از گردونه بزداید، لذا تداخلی جریانی را در حداقل نگه می‌دارد (مثلاً کمتر از ۰/۰۴ درصد)(۱).

اغلب چرخ‌های حرارتی جهت بازیافت گرما از سیستمهای تهویه اطاق به مانند آنچه که در شکل ۹-۹ نشان داده شده بکار گرفته می‌شوند.



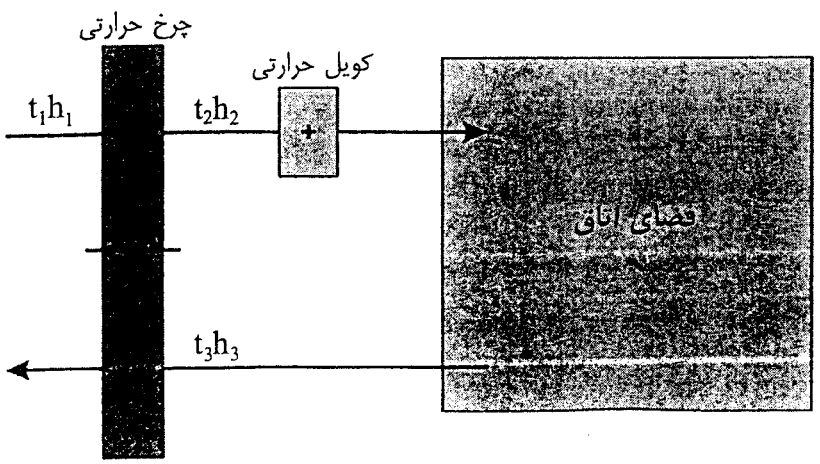
شکل ۹-۸ چرخ حرارتی

در این نوع از کاربرد بازدهی حرارتی، ηt را می‌توان به شرح ذیل تعریف کرد:

$$\eta t=\frac{t_2+t_1}{t_2+t_1} \qquad (۱۹-۹)$$

بطور مشابه بازده کلی (مجموعه انرژی)، ηx را می‌توان بشرح ذیل بیان داشت:

$$\eta_x=\frac{h_2+h_1}{h_2+h_1} \qquad (۲۰-۹)$$



شکل ۹-۹ کاربرد چرخ حرارتی

که در آن درجه t_1 t_2 و t_3 حرارتهای هوا هستند $(°C)$، و h_1 h_2 و h_3 انتالپیهای هوا هستند $(°C)$. در روشی مشابه با یک مبدل حرارتی بازیاب می‌توان نشان داد که برای یک چرخ حرارتی ارتباط بین (UA) و (hA) عبارتست از:

$$\frac{1}{(UA)_o}=\frac{1}{(hA)_h}+\frac{1}{(hA)_c} \qquad (۲۱-۹)$$

که در آن $(UA)_o$ حاصل ضرب انتقال حرارت کلی و مساحت سطح ماتریس است، $(hA)_h$ حاصل ضرب انتقال حرارت بین مایع داغ و مساحت سطح ماتریس می‌باشد، و $(hA)_c$ حاصل ضریب انتقال حرارت بین مایع سرد و مساحت سطح ماتریس بوده و از آنجائیکه مساحت ماتریس ثابت است، بنابراین:

$$U=\frac{h}{2} \qquad (۲۲-۹)$$

در ارتباط با مبدلهای حرارتی بازیاب و سیستمهای گردان، امکان استفاده از متد NTU جهت ساده کردن آنالیز چرخ‌های حرارتی وجود دارد. کیزو لندن (۴) فرمول تجربی ذیل را جهت توصیف کارآئی چرخ‌های حرارتی استخراج کرده‌اند.

$$E=E_c\times\left(1-\frac{1}{9[(\dot{m}c)_M/(\dot{m}c)_{min}]^{1.93}}\right) \qquad (۲۳-۹)$$

جائیکه

$$(\dot{m}c)_M=N\times M\times c_M \qquad (۲۴-۹)$$

N دور گردونه در ثانیه است، M جرم ماتریس است (kJ)، c_M ظرفیت حرارتی ویژه ساختار ماتریس است (HJ/kgK)، و؛

$$E_c=\frac{1-e^{[-NTU(1-R)]}}{1-Re^{[1-NTU(1-R)]}}$$ که در آن $$R=\frac{(\dot{m}c)_{min}}{(\dot{m}c)_{max}}$$ یا

$$E_c=\frac{NTU}{۱+NTU} \qquad \text{زمانیکه } R=۱$$

مثال ۹-۶

هوای دودکش از یک ساختمان کارخانه در درجه حرارتی برابر با $۳۵^{\circ}C$ است و دارای نرخ جریانی برابر با $۶kg/s$ و ظرفیت حرارتی ویژه $۱/۰۲۵kJ/kgK$ می‌باشد. هوای تازه ورودی به ساختمان $۱^{\circ}C-$ است، و دارای نرخ جریانی برابر با $۷kg/s$ و ظرفیت حرارتی ویژه $۱/۰۲۵kJ/kgK$ می‌باشد. پیشنهاد شده است که یک چرخ حرارتی بین جریانات هوا برای بازیافت گرمای اتلافی محسوس، نصب گردد. با فرض اطلاعات ذیل معین کنید:

(*I*) کارآئی چرخ حرارتی را

(*II*) میزان انتقال حرارت

(*III*) درجه حرارت خروجی هوای تازه‌ای که چرخ حرارتی را ترک می‌کند

(*IV*) درجه حرارت خروجی هوای تازه‌ای که چرخ حرارتی را ترک می‌کند اگر سرعت چرخش آن دو برابر باشد.

اطلاعات:

قطر چرخ = ۱/۲ متر

عمق چرخ = ۰/۴ متر

جرم چرخ = ۱۴۰ کیلوگرم

مساحت سطح به نسبت حجم = $۲۵۰۰m^۲/m^۳$

حرارت ویژه ساختار ماتریس = $۱/۳kJ/kgK$

سرعت چرخ = ۸ دور در دقیقه

ضریب انتقال حرارت برای هر یک از جریانات هوا = $۳۵W/m^۲K$

راه‌حل

$$\text{مساحت رویه چرخ}=\frac{\pi\times۱/۲^۲}{۴}=۱/۰۱۲\ m^۲$$

$$\text{حجم چرخ} = ۱/۱۳ \times ۰/۴ = ۰/۴۵۲ \quad m^۳$$

$$(I)$$

$$A = ۰/۴۵۲ \times ۲۵۰۰ = ۱۱۳۰ \quad m^۲$$

$$(\dot{m}c)_{min} = ۶ \times ۱/۰۲۵ = ۶/۱۵ \quad kW/K$$

$$(\dot{m}c)_{max} = ۷ \times ۱/۰۲۵ = ۷/۱۷۵ \quad kW/K$$

بنابراین

$$R = \frac{۶/۱۵}{۷/۱۷۵} = ۰/۸۵۷$$

و از معادله (۹-۲۱):

$$U = \frac{h}{۲} = \frac{۳۵}{۲} = ۱۷/۵ \quad W/m^۲K$$

بنابراین

$$NTU = \frac{UA_o}{(\dot{m}c)_{min}} = \frac{۱۱۳۰ \times ۱۷.۵}{۶.۱۵ \times ۱۰۰۰۰} = ۳/۲۱۵$$

بنابراین

$$E_c = \frac{۱ - e^{(-۳/۲۱۵(۱-۰/۸۵۷))}}{۱ - ۰/۸۵۷ e^{(-۳/۲۱۵(۱-۰/۸۵۷))}} = ۰/۸۰۳$$

و

$$(\dot{m}c) = N \times M \times c_M = \frac{۸}{۶۰} \times ۱۴۰ \times ۱/۳ = ۲۴/۲۷ \quad kW/K$$

بنابراین

$$E = ۰/۸۰۳ \times \left(۱ - \frac{۱}{۹[۲۴/۲۷ \div ۶/۱۵]^{۱/۹۳}}\right) = ۰/۷۹۷$$

(II) حالا

$$E=\frac{Q}{(\dot{m}c)_{min}(t_{hmax}-t_{cmin})}$$

بنابراین

$$Q=۰/۷۹۷\times۶/۱۵\times[۳۵-(-۱)]=۱۷۶/۴۶ \quad kW$$

(II) بنابراین

$$۱۷۶/۴۶=۷/۱۷۵\times[t_{off}-(-۱)]$$

بنابراین

$$t_{off}=۲۳/۶\ ^{\circ}C$$

(IV) اگر دور در دقیقه $N=۲\times۸=۱۶$ آنگاه

$$(\dot{m}c)_M=N\times M\times C_M=\frac{۱۶}{۶۰}\times۱۴۰\times۱/۳=۴۸/۵۳\ kW/K$$

بنابراین

$$E=۰/۸۰۳\times\left(۱-\frac{۱}{۹[۴۸/۵۳\div۶/۱۵]^{۱۰۹۳}}\right)=۰/۸۰۱$$

بنابراین

$$Q=۰/۸۰۱\times۶/۱۵\times[۳۵-(-۱)]=۱۷۷/۳۴\ kW$$

بنابراین

$$۱۷۷/۳۴=۷/۱۷۵\times[t_{off}-(-۱)]$$

بنابراین

$$t_{off}=۲۳/۷\ ^{\circ}C$$

از اینجا می‌توان مشاهده کرد که مقدار سود ناچیزی از دو برابر کردن سرعت چرخش چرخ حرارتی، حاصل می‌آید.

۹-۶ پمپ‌های حرارتی

یک پمپ حرارتی اساساً یک ماشین سردسازی بخار متراکم است که از یک منبع با درجه حرارت پائین به مانند هوا یا آب حرارت اخذ می‌کند، و آنرا برای استفاده در یک درجه حرارت بالاتر، ارتقاء می‌دهد. برخلاف یک ماشین سردسازی معمول، از حرارت تولیدی در کندانسور بهره‌گیری شده و در فضا تلف نمی‌شود. شکل ۹-۱۰ یک پمپ ساده حرارتی تراکم بخار را به همراه دیاگرام فشار بر انتالپی مربوطه نشان می‌دهد.

کارکرد سیکل سردسازی تراکم بخار توسط ضریب کارکرد (COP)[1] به کمیت درمی‌آید، که می‌توان به صورت ذیل بیان کرد:

برای یک ماشین سردسازی:

$$COP_{ref} = \frac{\text{خروجی مفید سردساز}}{\text{ورودی کار خالص}}$$

برای یک پمپ حرارتی:

$$COP_{hp} = \frac{\text{حرارت مفید برگشتی از سیکل}}{\text{ورودی کار خالص}}$$

COP سیکل تراکم بخار معمولاً به صورت نسبتی از تفاوتهای انتالپی بیان می‌گردد، لذا COP یک ماشین سردساز را می‌توان بصورت ذیل اظهار داشت (رجوع به شکل ۹-۱۰):

$$COP_{ref} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \qquad (۲۵-۹)$$

که در آن:

h = انتالپی ویژه سردساز (kJ/kg)

1- *Coefficient Of Performance*

لذا برای یک پمپ حرارتی:

$$COP_{hp}=\frac{h_۱-h_۳}{h_۲-h_۱} \qquad (۲۶-۹)$$

از این جا می‌توان نشان داد که:

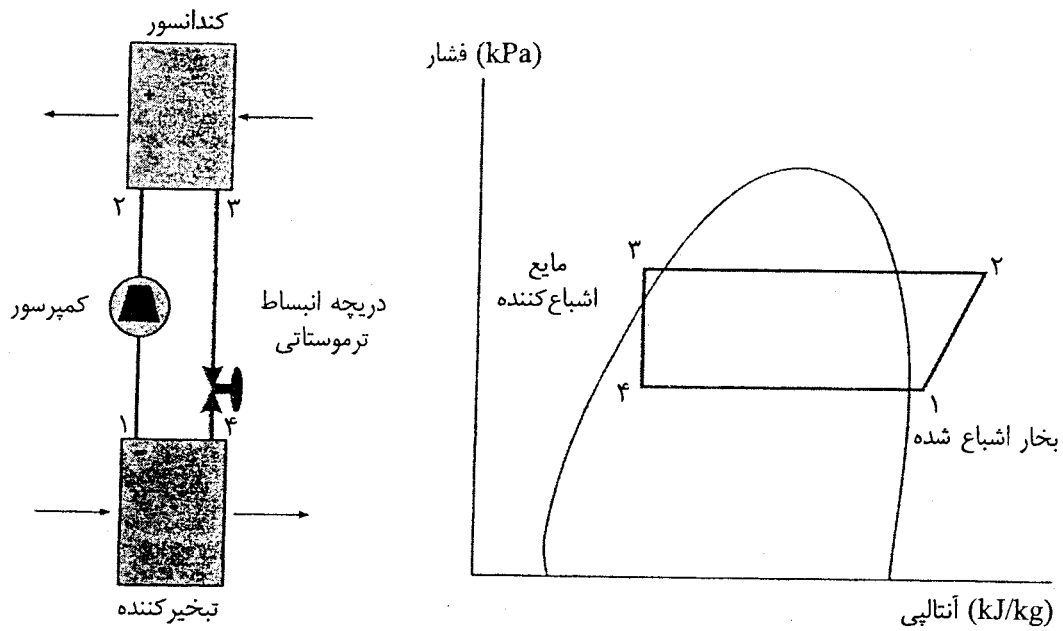
$$COP_{hp}=COp_{ref}+۱ \qquad (۲۷-۹)$$

برای یک پمپ حرارتی ایده‌آل حداکثر ممکن COP توسط رابطه سیکل کارنو داده شده است:

$$COP_{hp}=\frac{T_c}{T_c-T_e} \qquad (۲۸-۹)$$

که در آن T_e درجه حرارت مطلق تبخیر شدن (K)، و T_c درجه حرارت مطلق چگالش است (K).

در عمل، COP کارنو نشان داده شده در بالا را هرگز نمی‌توان بدست آورد، لیکن معادله کارنو نشان می‌دهد که هر چه تفاوت بین T_c و T_e بزرگتر باشد، COP پمپ حرارتی پائین‌تر خواهد بود. بنابراین پمپ‌های حرارتی بخوبی مناسب کاربردهائی هستند که درجه حرارتهای چگالش و تبخیر به یکدیگر نزدیک باشند، و این موردی است که زمان بازیافت حرارت از هوای دودکش در کاربردهای گرمایش و تهویه هوا، بوقوع می‌پیوندد. در نتیجه، پمپ‌های حرارتی اغلب در کاربردهای تهویه هوا استفاده می‌شوند. آنها هم چنین در که در آن نیاز برای رطوبت‌زدائی و گرمایش وجود دارد به مانند انبارها، که در آن وقوع رطوبت بالا ممکن است سبب مشکلات چگالش شده و به از بین رفتن کالای‌های قیمتی بیانجامد، متداول می‌باشند.



شکل ۹-۱۰ پمپ حرارتی تراکم بخار

ساختمانهای استخر شنا بطور خاص مناسب کاربرد پمپ‌های حرارتی هستند. در استخرهای شنا هوای در حال ترک سالن استخر بسیار مرطوب بوده و حاوی مقدار معتنابهی از گرمای نهان محصور در بخار آب می‌باشد. پمپ‌های حرارتی بویژه مناسب بازیافت انتالپی تبخیر از رطوبت در هوای دودکش می‌باشند. یک نمونه متداول از استفاده تلفیقی پمپ حرارتی با یک بازیاب صفحه تخت در شکل ۹-۱۱ نشان داده شده است. در این کاربری گرمای محسوس از هوای دودکش استخر شنا توسط بازیاب صفحه تخت کسب شده و برای پیش‌گرمایش جریان هوای تأمینی مصرف شده است. سپس تبخیر کننده پمپ حرارتی جریان هوای خروجی را رطوبت زدائی کرده و گرمای نهان بخار آب را بازیافت می‌نماید. سپس پمپ حرارتی این گرما (به اضافه کار ورودی توسط کمپرسور) را از طریق کندانسور برگشت داده و آنگاه هوای تأمین به استخر را گرم می‌کند.

مثال ۹-۷

پمپ حرارتی نشان داده شده در شکل ۹-۱۱ با سردساز $HCFC22$ کار می‌کند. با فرض اطلاعات ذیل، محاسبه کنید:

(*I*) *COP* پمپ حرارتی را

(*II*) انرژی الکتریکی مصرف شده برای هر یک *kW* از حرارت تولید شده.

اطلاعات:

درجه حرارت چگالش = $۵۰^{\circ}C$

درجه حرارت تبخیر = $۱۰^{\circ}C$

درجه حرارت بخار (در حال ترک کمپرسور) = $۸۰^{\circ}C$

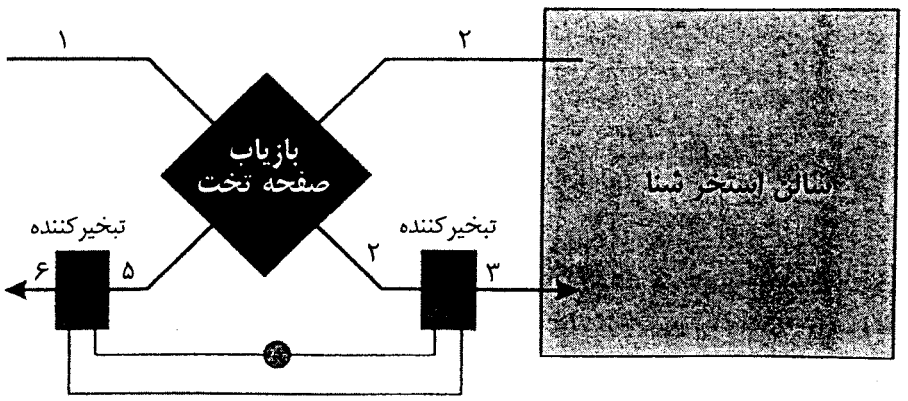
درجه حرارت مایع (در حال ترک کندانسور)= $۴۰^{\circ}C$

بازدهی مکانیکی و الکتریکی تلفیقی موتور = ٪۹۰

راه‌حل

با استفاده از نمودار انتالپی فشار (ضمیمه ۲ را ببینید) یا با استفاده از جداول ترمودینامیک برای *HCFC*۲۲ امکان ترسیم فرآیند سردسازی بشرح ذیل وجود دارد:

$$COP_{hp}=\frac{h_۲-h_۳}{h_۲-h_۱}=\frac{۳۴۶-۱۵۰}{۳۴۶-۳۱۵}=۶/۳۲۳ \qquad (I)$$



شکل ۹-۱۱ سیستم بازیافت حرارت برای یک ساختمان استخر شنا

$$\text{الکتریسیته مصرفی برای هر } kW \text{ تولیدی}=\frac{۱}{۶/۳۲۳\times۰/۹}=۰/۱۷۶\ kW \qquad (II)$$

مثال ۹-۸

برای تأسیسات پمپ حرارتی نشان داده شده در شکل ۹-۱۱ محاسبه کنید:

(*I*) گرمای خروجی پمپ حرارتی

(*II*) نرخ جریان جرمی سردساز لازمه در مدار پمپ حرارتی

(*III*) توان لازمه ورودی به موتور الکتریکی

(*IV*) انتالپی ویژه هوای در حال ترک سیم‌پیچ تبخیر کننده

اطلاعات:

نرخ جریان جرمی هوای تأمینی = $۶kg/s$ و

شرایط هوای در حالت ترک سالن استخر = $۲۹°C$ و ۷۰٪ اشباع

درجه حرارت هوای تأمین شده به سالن استخر = $۳۴°C$

شرایط هوای خارج = $۳°C-$ و ۱۰۰٪ اشباع

کارآیی بازیاب صفحه تخت = ۰/۷

راه‌حل:

ابتدا ورود هوای تازه بیرون به سیستم و گذر از بازیاب صفحه تخت رادر نظر بگیرید. که در دمای $۳°C-$ و ۱۰۰٪ اشباع به سیستم وارد می‌شود؛ از یک نمودار رطوبت‌سنجی (ضمیمه ۳ را ببینید) یا جداول رطوبت‌سنجی، می‌توان تعیین نمود که محتوای رطوبت جریان هوای ورودی $۰/۰۰۲۹kg/kg$ (هوای خشک) انتالپی ویژه $۴/۲kJ/kg$ می‌باشد.

حالا

$$\text{کارآئی یک بازیاب صفحه تخت} = \frac{\text{گرمای انتقال یافته}}{\text{حداکثر گرمای انتقال یافته تئوریکی}}$$

بنابراین، برای جریان هوای تأمینی، اگر حداکثر گرمای انتقال یافته تئوریکی بوقوع بپیوندد، آنگاه از $۱°C-$ به $۲۹°C$ و با محتوای رطوبتی ثابت $۰/۰۰۲۹kg/kg$ گرم خواهد شد. از نمودار یا جداول رطوبت‌سنجی بدست می‌آید که انتالپی ویژه هوا در $۲۹°C$ و $۰/۰۰۲۹kJ/kg$، $۳۶/۶kJ/kg$ می‌باشد.

بنابراین

۳۶/۶-۴/۲= حداکثر انتقال حرارت تئوریکی

بنابراین

$$\text{بازدهی} = \frac{\text{گرمای انتقال یافته}}{(۳۶/۶-۴/۲)}$$

بنابراین

$$\text{گرمای انتقال یافته}(h_۲-h_۱)=۰/۷(۳۶/۶-۴/۲)=۲۲/۶۸\ kJ/kg$$

بنابراین

$$h_۲-۴/۲=۲۲/۶۸\ kJ/kg$$

$$h_۲=۲۲/۶۸+۴/۲=۲۶/۸۸\ kJ/kg$$

با محتوای رطوبتی $۰/۰۰۲۹kg/kg$، $h_۲$ معادل با یک درجه حرارت هوای $۱۹/۳°C$ است. بنابراین کندانسور پمپ حرارتی باید درجه حرارت هوای تأمینی را از $۱۹/۳°C$ به $۳۴°C$ بالا ببرد، که در آن دما انتالپی ویژه $۴۱/۶kJ/kg$ می‌باشد.

(I)بنابراین

$$Q_{cond}=\dot{m}_{air}\times(h_۳-h_۲)=۶\times(۴۱/۶-۲۶/۸۸)=۸۸/۳۲\ kW$$

و از مثال ۹-۷ می‌توان مشاهده کرد که برای کندانسور

(II)

$$Q_{cond}=\dot{m}_{ref}\times(۳۴۶-۱۵۰)$$

بنابراین

$$\dot{m}_{ref}=\frac{۸۸/۳۲}{۳۴۶-۱۵۰}=۰/۴۵۱\quad kg/s$$

بنابراین

$$\text{توان الکتریکی ورودی به کمپرسور} = \frac{۰/۴۵۱(۳۴۶-۳۱۵)}{۰/۹} = ۱۵/۵۳۴\ kW$$

(IV) حالا جریان هوای دودکش از بازیاب صفحه تخت را درنظر بگیرید:

$$Q_{fpr} = \dot{m}_{air} \times (h_۲ - h_۱) = \dot{m}_{air} \times (h_۴ - h_۵)$$

بنابراین

$$Q_{fpr} = ۶ \times ۲۲/۶۸ = ۱۳۶/۰۸\ kW$$

حالا، هوائی که سالن استخر را ترک می‌کند دارای محتوای رطوبتی ۰/۰۱۸kg/kg و انتالپی ویژه $h_۴$) ۷۵/۱ kJ/kg می‌باشد.

بنابراین :

$$h_۵ = h_۴ - \frac{Q_{fpr}}{\dot{m}_{air}}$$

بنابراین

$$h_۵ = ۷۵/۱ - \frac{۱۳۶/۰۸}{۶} = ۵۲/۴۲\ kJ/kg$$

و از مثال ۹-۷

$$Q_{evap} = ۰/۴۵۱ \times (۳۱۵-۱۵۰) = ۷۴/۴۱۵\ kW$$

و

$$Q_{evap} = \dot{m}_{air} \times (h_۵ - h_۶)$$

بنابراین

$$h_۶ = ۵۲/۴۲ - \frac{۷۴/۴۱۴}{۶} = ۴۰/۰۲ kJ/kg$$

بسیاری تولیدکنندگان ماشینهائی تولید می‌کنند که دو منظوره بوده و هم به عنوان ماشین سردساز و هم پمپ حرارتی عمل می‌کنند. این ماشینها دارای کندانسورهای دو قلو با یک خنک‌شو با هوا، برای عملیات معمولی، و یک خنک شو با آب، برای موقعیت پمپ حرارتی هستند. اغلب آنها در ساختمانها نصب شده و به عنوان چیلرهای تهویه مطبوع عمل می‌کنند. زمانیکه در موقعیت پمپ حرارتی کار می‌کنند گرمای تلف شده از کندانسور بازیافت شده و برای تولید آب داغ خانگی برای ساختمان به مصرف می‌رسد. این در نگاه نخستین به عنوان یک اقدام صرفه‌جوئی انرژی سنتی به نظر می‌رسد. اگرچه با چنین اقدامات "صرفه‌جوئی انرژی"، باید محتاطانه برخورد کرد چرا که در چنین تولید آب گرم خانگی احتمال دارد که بالا بردن قابل ملاحظه فشار تراکم لازم آید. یا با این نتیجه که ممکن است *cop* به طور چشمگیری کاهش پیدا کند. همچنین زمانیکه ملاحظه شد قیمت واحد الکتریسیته معمولاً ۳ تا ۴ برابر گاز است، آنگاه اتخاذ چنین ماشین دو منظوره‌ای ممکن است آنگونه که در ابتدا به نظر می‌رسید، برترین انتخاب نباشد.

References

1. Cornforth, J. R. (1992). *Combustion Engineering and Gas Utilisation* (Chapter 7). E & FN Spon.
2. Eastop, T. D. and Croft, D. R. (1990). *Energy Efficiency for Engineers and Technologists* (Chapter 5). Longman.
3. Incropera, F. P. and De Witt, D. P. (1990). *Fundamentals of heat and mass transfer* (Chapter 11). John Wiley & Sons.
4. Kays, W. M. and London, A. L. (1984). *Compact Heat Exchangers*. Mc Graw-Hill.

Bibliography

Brookes, G. (1985). Assessing the scope for heat recovery. *Energy Manager's Workbook*, **2**, (Chapter 6). Energy Publications.

Cornforth, J. R. (1992). *Combustion Engineering and Gas Utilisation* (Chapter 7). E & FN Spon.

Eastop, T. D. and Croft, D. R. (1990). *Energy Efficiency for Engineers and Technologists* (Chapter 5). Longman.

McQuiston, F. C. and Parker, J. D. (1994). *Heating, ventilating, and air conditioning* (Chapter 14). John Wiley & Sons.

Ozisik, M. N. (1985). *Heat transfer: a basic approach* (Chapter 11). Mc Graw-Hill.

Stoecker, W. F. and Jones, J. W. (1982). *Refrigeration and air conditioning* (Chapter 2). Mc Graw-Hill, 2nd edition.

Thumann, A. and Mehta, D. P. (1997). *Handbook of energy engineering* (Chapter 5). The Fairmont Press (Prentice Hall), 4th edition.

بخش دهم

توان و حرارت همزمان

توان و حرارت همزمان[1]

این بخش موضوع توان و حرارت همزمان را بررسی می‌کند. ماهیت عمومی سیستمهای توان و حرارت همزمان بحث شده و مزایای اقتصادی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بویژه، استراتژی‌های تعیین اندازه تأسیسات *CHP* مورد سنجش واقع شده و مثالهایی از محاسبات طراحی عرضه می‌گردد.

۱۰-۱ مفهوم توان و حرارت همزمان

از یک دیدگاه انرژی مدارانه، تولید الکتریسیته در نیروگاههای حرارتی فرآیندی کاملاً اتلاف‌گر است. بیشترین نیروگاههای حرارتی متعارف بازدهی در حدود ۳۰ تا ۳۷ درصد را نشان می‌دهند(۱)، درحالیکه نیروگاههای جدیدتر سیکل ترکیبی گازی هنوز فقط به بازدهی در حدود ۴۷ درصد می‌رسند(۱). این بدان معنی است که بالغ بر ۵۰ درصد انرژی اولیه مصرف شده در فرایند تولید تلف گردیده و به الکتریسیته قابل توزیع تبدیل نمی‌گردد. این انرژی تلف شده به حرارت تبدیل شده که نهایتاً به محیط زیست برگشت می‌شود. هم چنین فرآیند تولید، مقادیر قابل ملاحظه‌ای از CO_2 را در آتمسفر رها می‌کند. محاسبه شده است که در بریتانیا ۰/۴۳ کیلوگرم از CO_2 برای هر یک kWh از انرژی الکتریکی توزیع شده، رها می‌شود (اطلاعات ۲۰۰۱)(۲).

روشی ساده برای درک عدم کارآیی سیکل تولید الکتریسیته، لحاظ کردن تئوری حداکثر بازده فرآیند است. اصول کارنو نشان می‌دهد که حداکثر بازدهی حرارتی تئوریکی هر سیکل موتور حرارتی را می‌توان بشرح ذیل تعیین کرد:

$$\eta_{camot} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

1- Combined heat and Power (CHP)

که در آن T_1 حداکثر درجه حرارت قابل دسترسی (K)، T_2 پائین‌ترین درجه حرارت قابل دسترسی است. (K)

برای مثال، اگر حداکثر درجه حرارت در یک سیکل K ۱۴۵۰ و حداقل درجه حرارت آب خنک کننده K ۲۸۵ باشد آنگاه حداکثر ممکن بازدهی سیکل عبارتست از:

$$\eta carnot = ۱ - \frac{۲۸۵}{۱۴۵۰} = ۰/۸۰۳ \ (\text{یا } ۸۰/۳ \٪)$$

در واقع این سطح از بازدهی به سبب درجه بالای بازگشت ناپذیری در فرآیند در عمل، تحقق‌پذیر نیست متعاقباً، بازدهی بدست آمده در نیروگاهها بسیار پایین‌تر از بازدهی تئوریکی کارنو بوده و بستگی به نوع محرک اولیه مصرفی دارد.

کارآیی عملیاتی پایین حاصله در خلال فرآیند تولید الکتریسیته منجر به تلف شدن مقدار زیادی از انرژی بصورت گرمای اتلافی می‌شود. با عنایت به منابع رو به زوال انرژی کره زمین،این چندان نظام قابل قبولی نیست. بسیار بهتر خواهد بود که گرمای اتلافی از فرآیند تولید را جمع‌آوری کرده و به مصرف گرم کردن ساختمانها رساند. با ترکیب فرآیندهای تولید الکتریکی و تولید گرما امکان ایجاد یک سیستم بسیار کارآمد که از انرژی اولیه استفاده بهینه می‌کند، وجود دارد. ترکیب فرآیندهای تولید الکتریکی و تولید گرما است که اساس مفهوم *CHP*، یا تولید همزمان را پدید می‌آورد. در یک تأسیسات متداول *CHP* مبدلهای حرارتی برای بازیافت گرمای اتلافی از گازهای دودکش و دیگر منابع در خلال فرآیند تولید الکتریسیته مورد استفاده واقع می‌شوند. بدین طریق اگر یک سیستم به صورت مطلوب بهینه باشد، امکان رسیدن به بازدهی کل در حدود ۸۰٪ میسر است (۳).

اندازه سیستمهای *CHP* از نیروگاههای بزرگ که تمامی شهرها را سرویس می‌دهند تا واحدهای کوچک *CHP* که ساختمانهای منفرد را خدمت رسانی می‌کنند، متفاوتند. سیستمهای بزرگتر *CHP* از توربینهای بخار یا گاز بهره می‌گیرند، درحالیکه سیستمهای کوچکتر معمولاً از موتورهای احتراق داخلی که گازسوز شده‌اند استفاده می‌کند. در خلال فرآیند تولید الکتریسیته گرمای اتلافی از گازهای دودکش، یا بخار مصرفی، و در مورد سیستمهای کوچک *CHP* از پوسته موتور نیز، بازیافت می‌شود. سیستمهای ترکیبی بزرگ اغلب گرمای بازیافت شده را برای تولید آب داغ برای مصرف برنامه‌های گرمایشی منطقه‌ای استفاده می‌کنند در حالیکه سیستمهای

کوچک *CHP* عموماً برای گرم کردن ساختمانهای منفرد استفاده می‌شوند.

برنامه‌های *CHP*، تولید محلّی الکتریسیته را مقدور ساخته، و بسیاری از گرمای اتلافی که معمولاً در نیروگاههای متداول بوقوع می‌پیوندد را، حذف می‌نماید. با استفاده از *CHP* موارد ذیل میسّر می‌گردد:

- بهینه سازی کارآیی انرژی ملی و حفظ منابع انرژی تجدیدناپذیر. این بویژه برای مللی که منابع سوخت فسیلی محدودی داشته و وابسته به انرژی وارداتی هستند، اهمیت دارد.
- هزینه انتقال انرژی الکتریکی را کاهش می‌دهد. انتقال الکتریسیته در مسافتهای طولانی مستلزم ساخت شبکه‌های انتقال هزینه‌بر می‌باشد (شامل کابلها، دکلها، ترانسفورمرها و کلیدهای سوئیچینگ). نیاز به اینها با استفاده از برنامه‌های *CHP* محلی کاهش می‌یابد. برنامه‌های محلی *CHP* هم چنین انرژی صرفه‌جویی می‌کنند زیرا آنها نیاز به انتقال الکتریسیته در مسافت‌های طولانی را برطرف می‌کنند. در مسافتهای طولانی حدود ۴ تا ۸ درصدی در قبال انتقال الکتریسیته اتلاف انرژی وجود دارد.
- کاهش در مقدار آلاینده‌های آتمسفری تولیدی، به سبب تبدیل کارآتر سوخت.

اگرچه *CHP* دارای مزایای بالقوه بسیاری است، شماری از مشکلات مرتبط با آن وجود دارند، که از استفاده گسترده آن ممانعت می‌کنند.

- تأسیسات *CHP* سرمایه‌گذاریهای قابل ملاحظه‌ای را طلب می‌کنند. که این امر یک ارزیابی مالی کامل از تقاضاهای انرژی آتی، قیمتهای سوخت و هزینه‌های نگهداری را الزامی می‌نماید. چنین ارزیابی ممکن است فقط در کوتاه مدت دقیق باشد، در نتیجه سازمانها که اغلب «مطمئن عمل» می‌کنند، بر سیستمهای متداولی که با آنها آشنایی دارند، متکی می‌شوند.
- باید تقاضایی برای گرما از هر تأسیسات *CHP* پیشنهادی وجود داشته باشد. اگرچه در بیشترین کاربریها امکان بهره‌گیری کامل از الکتریسیته تولیدی تأسیسات *CHP* وجود دارد، اغلب بهره‌گیری از گرمای تولیدی بسیار مشکل‌تر است. بیشتر انواع ساختمانها تقاضای گرما برای تمام سال را که لازمه بکارگیری موفق یک تأسیسات *CHP* است، دارا نیستند. برعکس بسیاری از انواع ساختمانها طالب خنک شدن برای بخش اعظمی از سال می‌باشند.

● اغلب، وجود تأسیسات پشتیبانی در تأسیسات *CHP* در جهت تضمین امنیت عرضه گرما و الکتریسیته، لازم است. این تأسیسات پشتیبانی به هزینه‌های سرمایه گذاری تأسیسات می‌افزاید.

با عنایت به سرمایه گذاری قابل ملاحظه مرتبط با برنامه‌های *CHP*، ضروری است که هرگونه کاربری پیشنهادی *CHP* و در جهت تعیین مطلوبیت آن، دقیقاً ارزیابی گردد. باید محتاطانه یادآور شد که بسیاری از برنامه‌هایی که صرفه‌جویی انرژی خوانده می‌شوند در عمل تعهدات سنگینی از کار درآمدند.

۱۰-۲ کارآیی سیستم *CHP*

امکان نمایش صرفه‌جوییهای انرژی ارزشمند سیستمهای *CHP* با مقایسه کردن انرژی اولیه مصرفی یک نمونه تأسیسات کوچک *CHP* با آنچه که توسط یک سیستم معمول که در آن گرما در یک بویلر تولید شده و نیروی الکتریکی از یک شرکت خدماتی خریداری می‌شود، و به مصرف می‌رسد، وجود دارد. مثال ۱۰-۱ موازنه انرژی برای دو سیستم انتخابی را نشان می‌دهد.

مثال ۱۰-۱

توان مورد نیاز یک ساختمان برابر با ۸۰*kWe* (یعنی ۸۰*kW* نیروی الکتریکی) و بار حرارتی مورد نیاز ۱۲۲*kW* می‌باشد. مالکان ساختمان در نظر دارند یک واحد *CHP* کوچک که از یک موتور احتراق داخلی گازسوز بهره می‌گیرد را، نصب کنند. مصرف انرژی اولیه و هزینه‌های انرژی واحد طرح *CHP* در مقایسه با یک سیستم متداول جداگانه را، مقایسه نمایید.

اطلاعات:

بازده فرآیندعرضهٔالکتریسیته‌متداول	= ٪۳۵
بازده تأسیسات بویلر متداول	= ٪۷۰
بازده مکانیکی واحد *CHP*	= ٪۳۲
بازده تولید الکتریسیته *CHP*	= ٪۹۵
بازده بازیافت گرمای واحد *CHP*	= ٪۶۸/۱۶
هزینه هر واحد گاز	=۰/۹ *P/kWh*
هزینه هر واحد الکتریسیته	=۵ *P/kWh*

راه‌حل

دو انتخاب بشرح ذیل مورد ملاحظه قرار می‌گیرند.

انتخاب اول: سیستم متداول

$$\text{توان ورودی سوخت اولیه برای تولید الکتریسیته} = \frac{۸۰}{۰/۳۵} = ۲۲۸/۶ \ kW$$

$$\text{توان ورودی به بویلرها} = \frac{۱۲۲}{۰/۷۰} = ۱۷۴/۳ \ kW$$

بنابراین $\text{مجموع توان ورودی اولیه} = ۲۲۸/۶ + ۱۷۴/۳ = ۴۰۲/۹ \ kW$

بنابراین $\text{بازدهی کلی سیستم} = \frac{۸۰ + ۱۲۲}{۴۰۲/۹} \times ۱۰۰ = ۵۰/۱٪$

و

$$\text{هزینه انرژی برای ۱ ساعت عملیات} = \frac{(۸۰ \times ۵) + (۱۷۴/۳ \times ۰/۹)}{۱۰۰} = ۵/۵۷£$$

انتخاب دوم: سیستم CHP

$$\text{توان ورودی سوخت به واحد } CHP = \frac{۸۰}{۰/۳۲ \times ۰/۹۵} = ۲۶۳/۲ kW$$

گرمای اتلافی تولید شده توسط یک واحد CHP از یک مبدل حرارتی با بازدهی ۶۸/۱۶٪ عبور داده می‌شود، بنابراین:

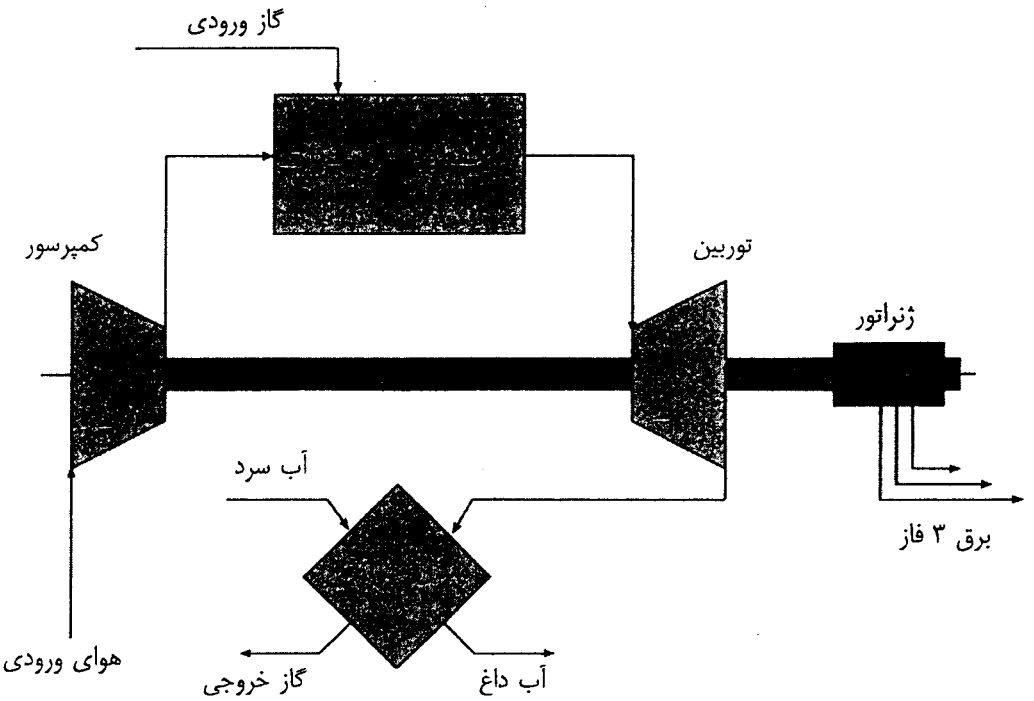
$$\text{توان حرارتی قابل بازیافت} = (۲۶۳/۲ \times (۱ - ۰/۳۲)) \times ۰/۶۸۱۶ = ۱۲۲/۰ \ kW$$

بنابراین $\text{بازدهی کلی سیستم} = \frac{۸۰ + ۱۲۲}{۲۶۳/۲} \times ۱۰۰ = ۷۶/۷٪$

و $\text{هزینه انرژی برای یک ساعت عملیات} = (۲۶۳/۲) \times ۰/۹ = ۲/۳۷£$

مثال ۱۰-۱ بوضوح نشان می‌دهد که پتانسیل صرفه‌جوییهای هزینه‌ای انرژی قابل ملاحظه‌ای

می‌شود. با تنظیم فشار بخار خروجی امکان کنترل نسبت گرما به نیروی تأسیسات *CHP* وجود داشته و لذا سیستمی بسیار انعطاف‌پذیر ایجاد می‌کند. فشارهای بخار پایین‌تر را می‌توان در تابستان زمانی که به گرمای کمتری نیاز هست، بکار گرفت، که منجر به بازدهی بالاتر تولید الکتریسیته می‌گردد. در زمستان زمانیکه درجه حرارتهای بالاتر مورد نیاز است، فشار بخار را می‌توان افزود. متعاقباً، نسبت گرما به توان توربین بخار طرحهای *CHP* می‌تواند متغیر بوده و از حدود ۳:۱ تا بیش از ۱۰:۱ باشد (۴).



شکل ۱۰-۱ دیاگرام کلی یک توربین گازی

بنابراین برای طرحهائی که نیازمند گرمای بالا برای تمام سال هستند، مناسب‌ترین می‌باشند. یک نمونه توربین بخار فشار بعد نظام *CHP* در شکل ۱۰-۲ نشان داده شده است.

به سبب اینکه یک بویلر جهت تولید بخار برای به حرکت درآوردن یک توربین بکار گرفته می‌شود، بنابراین طیف گسترده‌ای از سوختها، منجمله زباله را می‌توان مصرف کرد. در نتیجه توربینهای بخار راه‌حل خوبی برای طرحهای *CHP* ضایعات ـ به ـ انرژی که در آنها زباله سوزانده شده و گرمای حاصله بخار تولید می‌کند، می‌باشند. در کشورهای اسکاندیناوی سوزاندن ضایعات حاصله از صنعت چوب در جهت تولید بخار در طرحهای *CHP* امری معمول است.

۱۰-۴ سیستمهای *CHP* کوچک

واحدهای کوچک *CHP* به تنهایی راه‌حل متداولی برای بسیاری کاربریهای تجاری کوچک و متوسط می‌باشند. واحدهای کوچک *CHP* از یک موتور احتراق داخلی به عنوان محرک اولیه استفاده کرده، و عموماً از یک موتور، یک ژنراتور الکتریسیته، یک سیستم بازیافت گرما، یک دودکش و یک سیستم کنترل (همانگونه که در شکل ۱۰-۳ نشان داده شده است) تشکیل می‌شود.

در یک سیستم *CHP* کوچک، بازدهی بهینه با به حداکثر رساندن گرمای بازیافتی از موتور و گازهای دودکش، حاصل می‌آید.در تئوری، بیش از ۹۰٪ از گرمای تولید شده توسط فرآیند تولید را می‌توان بازیافت نمود. نائل شدن به این سطح از بازیافت گرما مستلزم استفاده از مبدلهای حرارتی متعدد است، که هزینه سرمایه گذاری را بالا می‌برد. بنابراین بازیافت حدود ۵۰ درصد از سوخت ورودی بعنوان گرمای مفید با درجه بالا، و بازیافت ۱۰ درصد بیشتر بعنوان گرمای با درجه پایین، معمول‌تر است (۳). گرمای با درجه بالا را می‌توان جهت تأمین آب گرم در حدود ۷۰ تا ۹۰ درجه سانتیگراد و گرمای با درجه پایین را برای عرضه آب در ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتیگراد، استفاده کرد(۳). بیشترین گرما از پوسته موتور بازیافت می‌شود که دارای درجه حرارتی در حدود $۱۲۰^{\circ}C$ می‌باشد، درحالیکه مابقی را می‌توان از گازهای دودکش که تا $۶۵۰^{\circ}C$ است، بازیافت نمود. گرمای محسوس و نهان هر دو را می‌توان از گازهای دودکش بازیابی نمود.

اگر چه بیشترین واحدهای *CHP* کوچک تأمین کننده آب گرم با درجه حرارت پایین *(LTHW)* در حدود ۷۰ تا ۸۰ درجه سانتیگراد می‌باشند، بطور یکسان امکان تأمین آب گرم با درجه حرارت متوسط *(MTHW)* (مثلاً ۹۰ تا ۱۲۰ درجه سانتیگراد) نیز وجود دارد. لذا به سبب درجه حرارتهای بالاتر آب دخیل، بازیافت گرما کاهش می‌یابد. بالعکس افزایش بازیافت گرما و متعاقباً کارآیی یک سیستم *CHP* کوچک، با کاهش درجه حرارت آب گرم تأمینی به زیر $۷۰^{\circ}C$ میسر است. از آنجا که بیشترین سیستمهای *CHP* کوچک جهت تولید آب‌گرم خانگی *(DHW)* که باید در بالای $۶۰^{\circ}C$ جهت جلوگیری از رشد باکتری لژیونلا ذخیره شود، مورد نیاز هستند، در عمل درجه حرارت آب جاری باید $۷۰^{\circ}C$ یا بالاتر باشد.

از طریق بهره‌گیری از *CHP* در ساختمانها، وجود دارد.

۱۰-۳ سیستمهای *CHP*

سیستمهای *CHP* می‌توانند از تأسیسات کوچک، که برای برآوردن نیازهای یک ساختمان منفرد، طراحی شده‌اند تا سیستمهای بزرگ که نیازهای توان الکتریکی و گرمایشی یک مجموعه شهری را برآورده می‌کنند متفاوت باشند. سیستمهای کوچک *CHP* از موتورهای احتراق داخلی بهره‌گیری کرده و بمنظور استفاده در کاربریهایی که نیاز الکتریکی آنها از *۱MWe* تجاوز نمی‌کند، مد نظر قرار گیرند. توربین‌های گازی در تأسیسات بزرگتر معمول هستند، درحالیکه توربین‌های بخاری اغلب در بزرگترین طرحها استفاده می‌شوند.

۱۰-۳-۱ موتورهای احتراق داخلی

موتورهای احتراق داخلی اغلب برای رانش سیستمهای کوچک *CHP* استفاده می‌شوند. نیروی مکانیکی حاصل از این نوع موتور برای راه اندازی ژنراتور استفاده شده و گرمای دودکش موتور، آب پوستهٔ موتور و روغن روان‌ساز بازیافت می‌شود. معمولاً واحدهای *CHP* کوچک در محدود *۱۵kWe* تا *۱MWe* خروجی الکتریکی کار می‌کنند. موتورهای خودرو اصلاح شده بیشترین سیستمهای بکار گرفته شده برای خروجی الکتریکی تا *۲۰۰kWe* هستند، در حالیکه موتورهای صنعتی ثابت پر سر و صداتر معمولاً برای خروجی‌های بالاتر استفاده می‌شوند(۳). موتورهای خودرو بکار گرفته شده معمولاً موتورهای کامیون اصلاحی بوده که به گازسوز تبدیل شده‌اند. این موتورها معمولاً در سرعت خیلی پایین‌تر و ثابت، بطور خاص *۱۵۰۰rpm*، از موتورهای خودرو نرمال کار می‌کنند. بنابراین طول عمر موتور یک نمونه محرک اولیه *CHP* بطور قابل ملاحظه‌ای طولانی‌تر از یک موتور خودرو معمولی است. در موتورهای گازی احتراق شمعی نسبت گرما به توان حدود ۱/۷:۱ است(۳)، در حالیکه موتورهای دیزلی احتراق تراکمی دارای نسبتهای نزدیک‌تر گرما به توان ۱:۱ می‌باشد.

۱۰-۳-۲ توربین‌های گازی

در جایی که امکان عرضه گاز طبیعی است، اغلب توربین‌های گازی بعنوان محرک اولیه برای سیستم‌های بزرگتر *CHP* استفاده می‌شوند. توربین‌های گازی هزینه سرمایه گذاری نسبتاً کمی

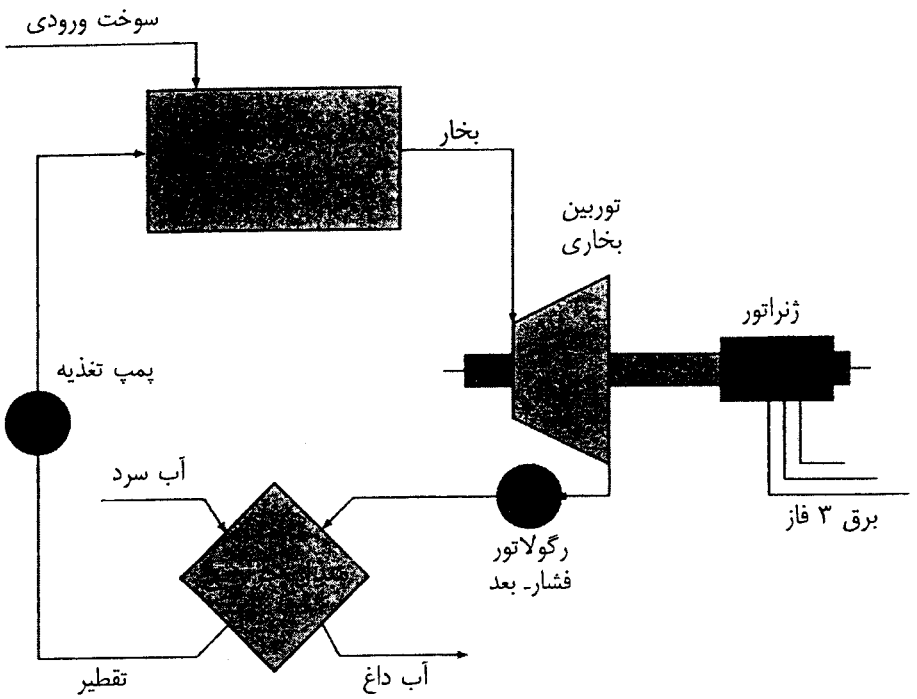
داشته و بادوام هستند. بازدهی مکانیکی پیک بار توربین‌های گازی در حدود ۳۰٪ است، که یک نسبت مناسب گرما به توان حدود ۳:۱ را بدست می‌دهد(۴). اگر چه، تحت شرایط پاره-بار بازدهی می‌تواند بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد. توربین‌های گازی معمولاً با گاز طبیعی سوخت دهی می‌شوند، لیکن نفت و خاکه ذغال سنگ نیز بطور موفقیت‌آمیزی بکار گرفته می‌شوند.

یک نمونه توربین گازی در ترکیب *CHP* در شکل ۱۰-۱ نشان داده شده است. یک کمپرسور هوا، توربین و ژنراتور بر روی یک محور منفرد سوار شده‌اند، که توربین محرک اولیه می‌باشد. توربین‌های گازی یک سیکل باز را بکار می‌گیرند که در آن هوا به داخل کمپرسور کشیده شده و در قبل از اینکه به داخل یک محفظه احتراقی که در آن گاز طبیعی سوزانده می‌شود، رانده شود، در یک فشار بالا متراکم گردیده و در حال ترک محفظه احتراقی گازهای محترقه فشرده شده از میان یک توربین و در درجه حرارتهای بین $900^{\circ}C$ تا $1200^{\circ}C$ (۴) عبور داده شده و بدین ترتیب یک ژنراتور را به حرکت درمی آورند. در حال خروج از توربین، گازهای احتراق داغ در $450^{\circ}C$ تا $550^{\circ}C$ (۴)، از یک مبدل حرارتی جهت بازیافت حرارت عبور می‌کنند

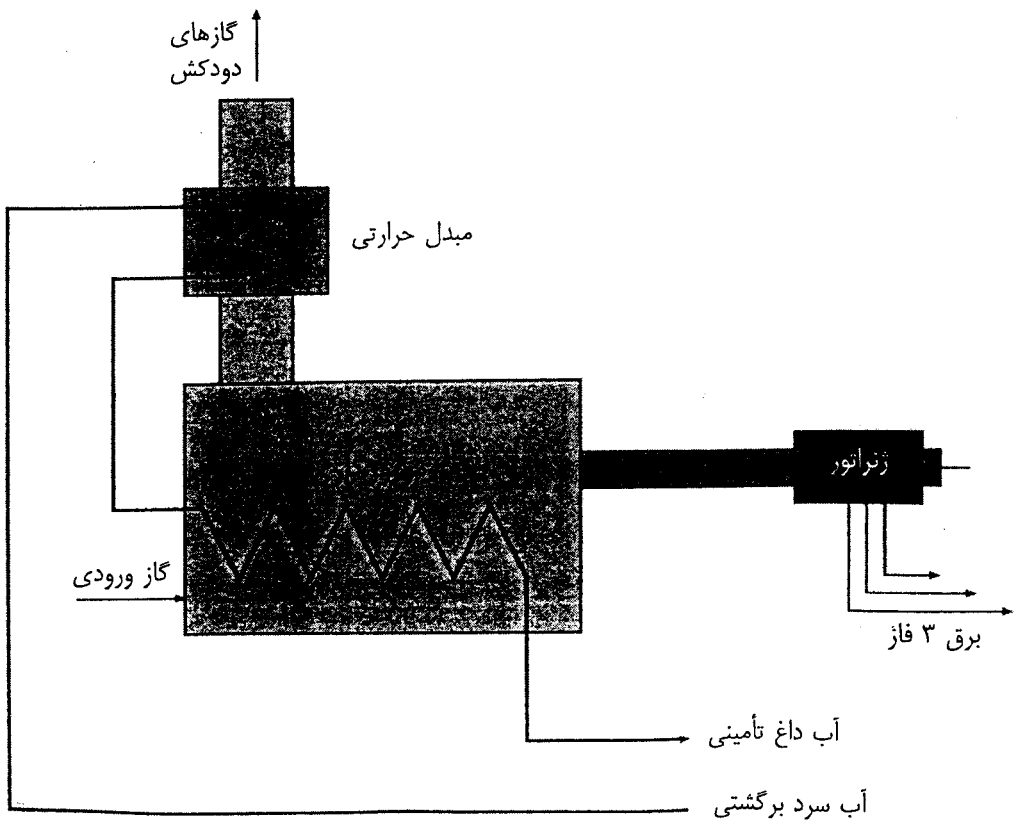
۱۰-۳-۳ توربین‌های بخار

توربین‌های بخار اغلب بعنوان محرک اولیه در تأسیسات بزرگتر *CHP* مورد استفاده قرار می‌گیرند. توربین‌های بخاری می‌توانند سیکلهای باز یا بسته را بکار برند، و آن بستگی دارد به اینکه آیا خود بخار بعنوان یک عامل گرمایش محل استفاده می‌شود یا خیر. در سیستم بسته، بخار با فشار بالا از یک بویلر، به شدت از توربینی گذرانده می‌شود، که در نتیجه یک ژنراتور را به چرخش درمی‌آورد. سپس گرما از بخار بوسیلهٔ گذراندن آن از یک کندانسور در راه برگشت به بویلر بازیافت می‌گردد. در سیستمهای باز بخار موجود در توربینی مستقیماً جهت برآورد نیازهای انرژی محل استفاده می‌شود. بنابراین توان تولید شده بوسیله توربین بخاری بستگی به اندازه‌ای که فشار بخار در گذار از توربین کاهش یافته، دارد. ساده‌ترین نظام سیکل باز سیستم فشار بعد[1] است، که یک تنظیم کننده فشار بعد از توربین را بکار می‌گیرد، تا که بخار، تحت فشار مورد نیاز مکان خارج گردد. با افزایش یافتن فشار بخار خروجی، درجه حرارت و خروجی گرما نیز افزایش می‌یابد. اگر چه این افزایش در خروجی گرما به قیمت کاهش خروجی توان که تمام

1- back-pressure



شکل ۱۰-۲ دیاگرام کلی توربین بخار فشار ـ بعد سیستم *CHP*



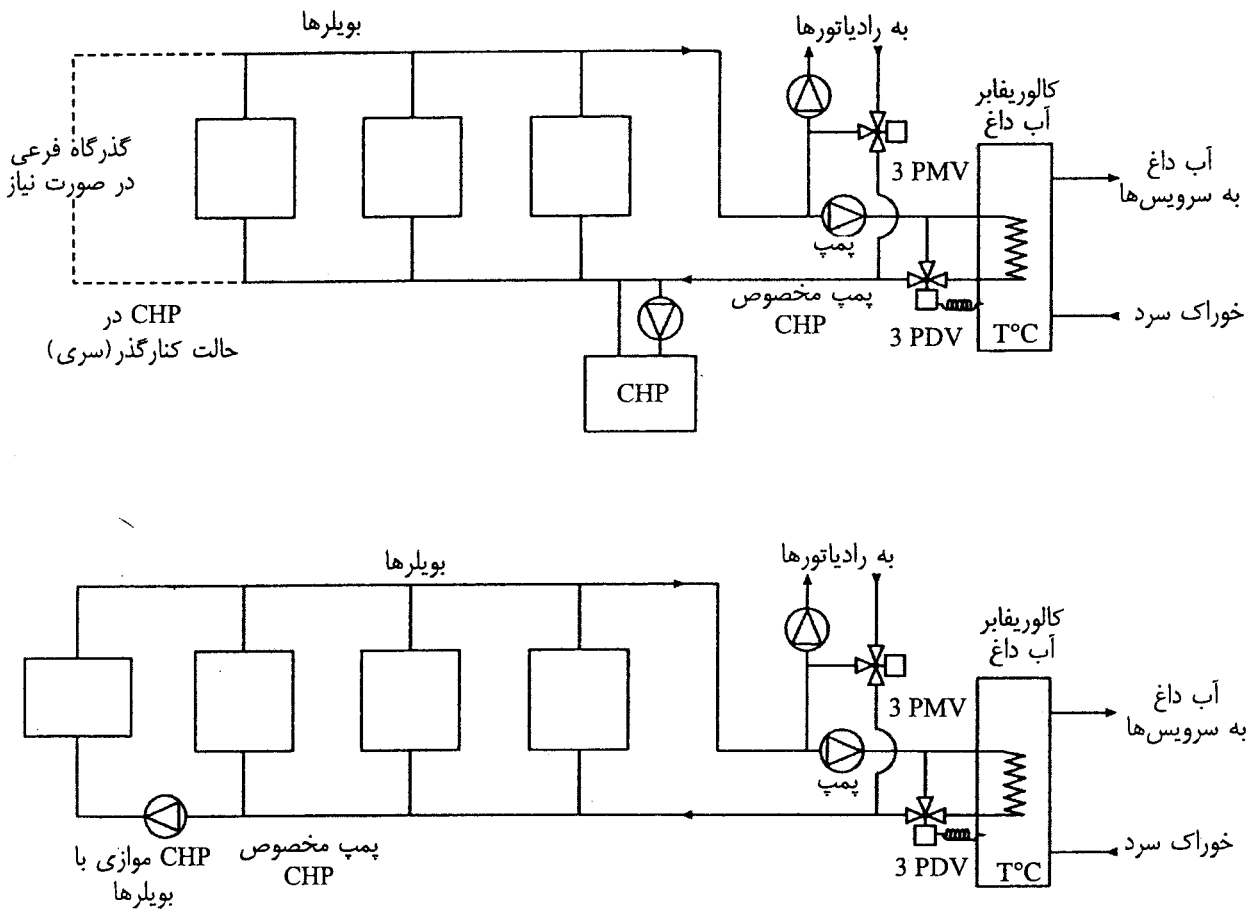
شکل ۱۰-۳ دیاگرام کلی یک واحد *CHP* کوچک

واحدهای *CHP* کوچک اغلب بصورت تلفیقی با بویلرها استفاده می‌شوند. در چنین سیستمهایی واحد *CHP* باید جوابگوی بار گرمایشی پایه بوده، درحالیکه بویلرها فقط در خلال مقاطع زمانی پیک دیماند مورد استفاده واقع می‌شوند. این، تلفیق واحد *CHP* کوچک با بویلرها را الزامی می‌کند، تا که هر دو بتوانند بطور مؤثر با یکدیگر کار کنند. در تأسیسات موجود، که در آن یک واحد *CHP* جایگزین برخی بویلرهای قدیمی می‌شود، عملی متداول است که واحد *CHP* را بطور سری به بویلرها اتصال داد که این عمل سبب حداقل ناهنجاری در سیستم‌های موجود می‌گردد. در تأسیسات جدید، واحدهای *CHP* اغلب بطور موازی با بویلرها اتصال می‌یابند. شکل ۱۰-۴ هر دو آرایش را نشان می‌دهد. بدون مد نظر بودن آرایش، الزامی است که واحد *CHP* بعنوان بویلر مقدم عمل کند، به سبب اینکه این کار ساعات کار کردن آن را به حداکثر می‌رساند.

بسیاری از واحدهای *CHP* کوچک یک امکانات نظارتی مداوم بعنوان بخشی از سیستم کنترل شان، در خود جای داده‌اند. این عمل نظارت بر نیازهای توان و گرمای ساختمان را مقدور ساخته، تا که عملیات بهینه تأسیسات حاصل آید. هم چنین سیستم را جهت ممیزی قادر گردانیده تا که برگشت سرمایه را بتوان محاسبه کرد.

۱۰-۵ برنامه‌های گرمایشی منطقه‌ای

بسیاری از واحدهای بزرگتر *CHP* با برنامه‌های گرمایشی منطقه‌ای جفت شده‌اند، برنامه‌هایی که در آن هزینه‌های لوله کشی و پمپاژ امری غالب است. در چنین برنامه‌هایی اهمیت دارد که قطرهای لوله و میزان‌های جریان آب با عملیاتی کردن درجه حرارت آب در پیک جریان حدود ۱۲۰°*C* و درجه حرارت آب برگشت ۷۰°*C*، کاهش یابد. که هزینه‌های اجرایی و سرمایه‌ای هر دو را کاهش می‌دهد. هم چنین تغییر درجه حرارت آب تأمینی به نسبت درجه حرارت هوای محیط عملی معمول بوده تا که اتلاف گرمای سیستم به حداقل برسد.



شکل ۱۰-۴ نظام لوله کشی *CHP*.

اگر *LTWH* در هر ساختمانی در برنامه گرمایشی منطقه‌ای مورد نیاز باشد، این نیاز می‌تواند با نصب مبدلهای حرارتی قابل کنترل از راه دور در هر ساختمان برآورده گردد. این عمل جداسازی هیدرولیکی بین آب گرمایشی منطقه و *LTHW* را حفظ کرده و کل سیستم را منعطف و ایمن می‌سازد. در اروپا، برنامه‌های گرمایشی منطقه‌ای با درجه حرارت متغیر و با مبدلهای حرارتی بسیار معمول هستند.

۱۰-۶ کاربردهای *CHP*

سیستمهای *CHP* مصرف کننده کارآمد انرژی اولیه هستند، چرا که گرمای اتلافی حاصل آمده در فرایند تولید برق جهت برآورده کردن نیازهای گرمایشی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. اگر از گرمای «اتلافی» نتوان بطور مؤثر بهره برد، بازدهی کلی بطور چشمگیری افت خواهد کرد، به

عبارتی ساده، نیازی به نصب یک سیستم *CHP* در کاربردی که دارای تقاضای گرما برای تمامی فصول سال نیست، نمی‌باشد. بنابراین سیستمهای *CHP* مناسب ساختمانهایی از قبیل مراکز تفریحی، استخرهای شنا، هتلها، بیمارستانها، و اماکن مسکونی، که همگی دارای نیاز مبرم به *DHW* برای بیشترین اوقات سال یا تمامی سال هستند، می‌باشند. ساختمانهای اداری عموماً نامناسب انگاشته می‌شوند، زیرا آنها اغلب برای بیشترین اوقات سال دارای یک بار سرمایشی هستند و فقط در خلال اوقات روز باز می‌باشند. لیکن اگر گرمای حاصله از یک واحد *CHP* جهت راه اندازی تأسیسات سرماسازی جذبی استفاده گردد، آنگاه *CHP* می‌تواند بعنوان یک انتخاب ممکن برای ساختمانهای اداری در نظر گرفته شود.

در حالیکه هزینه‌های اجرایی مرتبط با سیستمهای *CHP* پایین هستند، هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالاست. بنابراین مطلوب است که یک واحد *CHP* را در جهت نائل آمدن به بیشترین برگشت سرمایه نسبت به سرمایه‌گذاری اولیه تا حد امکان بکار گرفت. محاسبه گردیده که در راستای نائل شدن به یک برگشت سرمایه ساده ۳ تا ۴ ساله لازم است که یک واحد *CHP* بین ۴۵۰۰ و ۶۰۰۰ ساعت در سال کار کند(۳)، که برابر حدود ۱۲/۳ تا ۱۶/۵ ساعت کار برای هر روز از سال است. بسیار بهتر است که یک واحد *CHP* کوچکتر بجای بزرگتر اختیار کرد، چرا که این عمل کارکرد مداوم آنرا زمانیکه در حال کار است، تضمین می‌کند، و هر کمبودی در خروجی آن توسط بویلرهای پشتیبانی کننده و الکتریسیته خریداری شده، تأمین می‌گردد. بنابراین استفاده از واحد *CHP* جهت برآورده ساختن نیازهای بار گرمایی پایه، امری متداول است. بطور ایده آل یک واحد *CHP* باید قادر به تأمین بار گرمایی تمامی تابستان و قسمتی از بار زمستانه باشد. اگر چه ممکن است نسبتاً کم باشد (احتمالاً با یک نرخ خروجی فقط ٪۵۰-۳۳ از تقاضای گرمایشی پیک) امکان تأمین ٪۹۰-۶۰ از نیازهای گرمایی سالیانه یک ساختمان با یک واحد *CHP* وجود دارد، زیرا آن، بار گرمایی پایه را تأمین می‌نماید.

در شرایطی خاص، که در آن یک واحد *CHP* الکتریسیته بیشتری که بتوان در محل مصرف کرد، تولید می‌کند، امکان صدور توان به شرکت برق محلی هست. این بستگی به تمایل شرکت برق به خرید الکتریسیته دارد. هم چنین آن مستلزم نصب یک کنتور صدور برق می‌باشد. بنابراین برای تأسیسات *CHP* در مقیاس کوچک عموماً صدور الکتریسیته اقتصادی لحاظ نمی‌گردد. بنابراین واحدهای *CHP* کوچک باید به اندازه‌ای باشند که از حدود تأمین بار الکتریکی پایه تجاوز نکنند.

امکان استفاده از یک واحد *CHP* بعنوان ژنراتور آماده اگر ضرورت یابد، میسر است. اگر در

این جهت استفاده شد اندازه آن توسط بار الکتریکی غیر منتظره پیک مورد نیاز، تعیین خواهد شد. برای کارکرد عادی که تقاضا برای برق و حرارت کاهش می‌یابد ضروری است که تولید جهت تطابق با نیاز تعدیل شود، با این نتیجه که بازدهی تغییر نخواهد کرد. در چنین شرایطی احتمال دارد نصب دو واحد *CHP* کوچکتر بیشتر اقتصادی باشد.

۱۰-۷ هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی

هزینه‌های سرمایه‌ای و احداث تأسیسات *CHP* می‌تواند بطور چشمگیری بالاتر از هزینه‌های تأسیسات متداول بویلر باشد. یکی از هزینه‌های عمده که به سادگی می‌تواند نادیده انگاشته شود ضرورت تطابق زمانی سیستمهای *CHP* در توازن با شبکه توزیع شرکتهای برق محلی است، تا که شبکه و واحد *CHP* بتوانند در جهت برآورده ساختن نیاز الکتریکی پیک محل با یکدیگر کار کنند. این مستلزم احداث لوازم سوئیچینگ الکتریکی گرانقیمت است. برخلاف هزینه‌های سرمایه‌ای، هزینه‌های اجرایی مرتبط با *CHP* نسبتاً کم هستند و شامل هزینه‌های سوخت و تعمیرات و نگهداری می‌گردند. برای واحدهای *CHP* کوچک هزینه‌های تعمیر و نگهداری عموماً در محدوده ۰/۵ تا ۲/۰ پنس در هر *kWhe* از الکتریسیته تولید شده بوده (۳)، در حالیکه هزینه تعمیر و نگهداری برای سیستمهای بزرگتر کمتر است. نمونه هزینه‌های تعمیر و نگهداری و سرمایه‌ای برای واحد *CHP* در اندازه‌های مختلف در جدول ۱۰-۱ نشان داده شده است.

۱۰-۸ استراتژیهای اندازه بندی تأسیسات *CHP*

در راستای اندازه‌بندی صحیح یک تأسیسات *CHP* کسب هر چه بیشتر اطلاعات دقیق انرژی تا حد امکان برای کاربرد مورد نظر اهمیت دارد. بطور ایده آل این اطلاعات باید شامل موارد ذیل باشند:

- اطلاعات مصرف ماهانه الکتریسیته و انرژی گرمائی به *kWh*
- تقاضاهای بار پیک و پایه (به *kW*) برای الکتریسیته و گرما هر دو.
- مشخصات عملیاتی کاربرد معین.
- اطلاعات هزینه واحد برای الکتریسیته یا گاز (یا نفت).

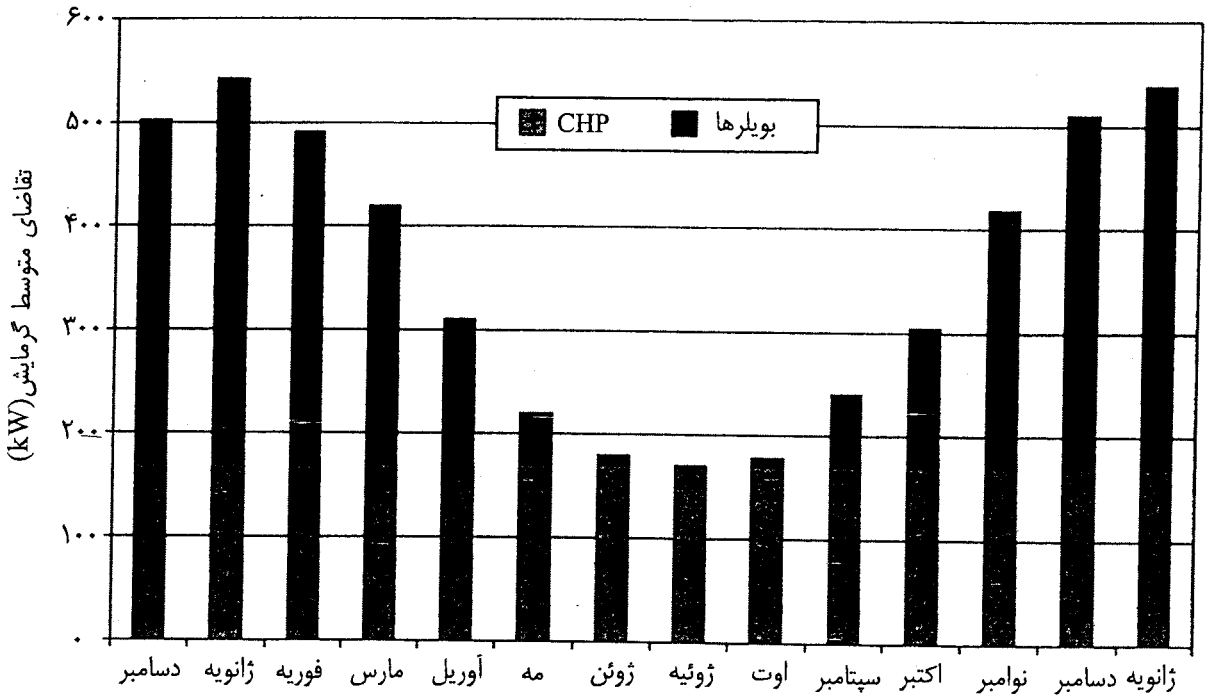
جدول ۱۰-۱ هزینه‌های نصب و تعمیر و نگهداری *CHP* (اطلاعات ۱۹۹۶) (۵)

هزینه تعمیر و نگهداری *(P/kWhe)*	هزینه سرمایه‌ای احداث *(£/kWe)*	اندازه موتور *CHP* *(kWe)*
۱/۰۴	۱۲۳۰	۴۵
۱/۰۲	۱۱۷۰	۵۴
۰/۹۸	۱۰۲۰	۹۰
۰/۹۵	۹۶۰	۱۱۰
۰/۸۹	۸۱۰	۱۶۷
۰/۸۵	۷۳۰	۲۱۰
۰/۷۹	۶۶۰	۳۰۰
۰/۷۳	۶۰۵	۳۸۴
۰/۶۲	۵۲۰	۶۰۰

به سبب اینکه اهمیت دارد یک تأسیسات *CHP* را بیش از اندازه نگیریم پیشنهاد می‌شود تا حد امکان کلیه اقدامات بدون هزینه و کم هزینه، اقدامات بهبود بازدهی انرژی را قبل از اندازه‌بندی تأسیسات مد نظر قرار گیرد. این مانع از افزایش بیش از اندازه واحد *CHP* شده و هزینه سرمایه‌ای احداث را کاهش می‌دهد.

زمانیکه اندازه یک واحد *CHP* را تعیین می‌کنیم معمولترین نوع نگرش، همانگونه که در شکل ۱۰-۵ نشان داده شده است، اندازه‌بندی واحد جهت برآورده کردن بار گرمایشی پایه می‌باشد، این اطمینان می‌دهد که واحد *CHP* می‌تواند برای تمامی سال کار کرده، لذا ضمانت می‌کند که مقطع زمانی برگشت سرمایه گذاری اولیه کوتاه باشد. آنگاه بویلرهای پشتیبان می‌توانند جهت برآورده کردن نیازهای گرمایشی بار پیک مورد استفاده قرار گیرند. یک واحد *CHP* که به این طریق اندازه‌بندی شده معمولاً الکتریسیته کمتری از نیازی که جهت برآورده ساختن تقاضای الکتریکی پایه است، تولید می‌کند و بنابراین انرژی الکتریکی اضافی باید از شرکت برق محلی برای تمامی سال خریداری شود. روش انتخابی دیگر، اندازه بندی واحد *CHP* جهت برآورده کردن بار پایه الکتریکی است. بدان معنی که برای قسمتی از سال گرما باید تلف شود زیرا گرمای تولید شده توسط واحد *CHP* بیش از نیاز بار پایه خواهد بود. اگرچه، با وجود تلفات گرما، این می‌تواند

اقتصادی‌ترین راه‌حل باشد چرا که ممکن است هزینه هر واحد الکتریسیته بیش از ۵ برابر هر واحد از گرما باشد.



شکل ۱۰-۵ استراتژی اندازه بندی بار گرمایی پایه برای تأسیسات *CHP*

۱۰-۹ جنبه‌های اقتصادی *CHP*

برای بیشتر کاربریهای *CHP* در مقیاس کوچک، سه فاکتور بر اقتصادی بودن آنها حاکم است. این فاکتورها عبارتند از:

- هزینه سرمایه‌گذاری تأسیسات
- پتانسیل تعداد ساعات عملیات در سال
- هزینه‌های نسبی الکتریسیته و گاز خریداری شده (یا نفت کوره).

اگر هر یک از این سه متغیر دلخواه نباشد، آنگاه یک برنامه *CHP* معین غیر اقتصادی می‌شود. با توجه به این که قیمتهای سوخت می‌تواند در نوسان باشد، نکته آخر دارای اهمیت ویژه است. اگر برای مثال، قیمت واحد الکتریسیته شبکه شهری افت کند یا قیمت گاز بالا رود، به نقطه‌ای خواهیم رسید که یک واحد *CHP* معین از اقتصادی بودن باز می‌ماند، فاکتورهای کم اهمیت‌تر دیگر که

امکان تأثیر در کارکرد اقتصادی یک برنامه *CHP* را دارا هستند عبارتند از:

- نسبت توان به گرمای یک تأسیسات *CHP* خاص؛
- تفاوت بین هزینه‌های تعمیر و نگهداری یک برنامه *CHP* و یک برنامه متعارف؛
- هزینه داشتن الکتریسیته شبکه شهری بعنوان یک سیستم پشتیبانی کننده در زمان خرابی و یا تعمیرات.

با درنظر داشتن این هزینه‌ها، اتخاذ یک بررسی کامل اقتصادی در هر برنامه پیشنهادی *CHP* اهمیت دارد. مثال ۱۰-۲ چگونگی امکان اتخاذ یک بررسی ساده را نشان می‌دهد.

مثال ۱۰-۲

یک ساختمان هتل دارای متوسط تقاضای الکتریکی *kWe* ۸۰ و یک متوسط گرمایش و آب گرم تلفیقی *kW* ۱۸۰ می‌باشد. متوسط فاکتور بار سالیانه برای ساختمان ۰/۷۵ است. تقاضای گرمایش و آب گرم در حال حاضر توسط دو بویلر گاز سوز و نیروی برق خریداری شده تأمین می‌شود. پیشنهاد گردیده یک تأسیسات *CHP* کوچک که با گاز کار کرده و دارای نسبت گرما به توان ۱/۷:۱ می‌باشد، نصب گردد. بویلرهای موجود تکمیل کننده خروجی گرما از واحد *CHP* خواهند بود. اگر هزینه اولیه تأسیسات *CHP*، ۷۶۰۰۰ پاوند باشد. زمان برگشت سرمایه ساده را تعیین کنید.

اطلاعات:

٪۷۰	= بازده بویلرهای موجود
۸۰ *kWe*	= خروجی نیروی برق واحد *CHP*
۲۸۶ *kW*	= ورودی نیروی گاز واحد *CHP*
۵ *P/kWh*	= قیمت واحد الکتریسیته
۰/۹ *P/kWh*	= قیمت واحد گاز
۱۰۰۰ پاوند در سال	= هزینه تعمیر و نگهداری تأسیسات موجود
۵۰۰۰ پاوند در سال	= هزینه تعمیر و نگهداری برنامه *CHP*

راه‌حل

مجموع ساعات در سال × فاکتور بار = ساعات عملیاتی سالیانه

ساعت ۶۵۷۰ = ۸۷۶۰ × ۰/۷۵ = ساعات عملیاتی سالیانه

لحاظ کردن برنامه فعلی:

$$\text{هزینه الکتریسیته} = \frac{۸۰\times۶۵۷۰\times۵}{۱۰۰} = ۲۶۲۸۰ \text{ پاوند}$$

$$\text{هزینه گاز} = \frac{۱۸۰\times۶۵۷۰\times۰/۹}{۰/۷\times۱۰۰} = ۱۵۲۰۴/۸۶ \text{ پاوند}$$

و

هزینه تعمیر و نگهداری = ۱۰۰۰ پاوند

بنابراین

هزینه سالیانه = ۲۶۲۸۰+۱۵۲۰۴/۸۶+۱۰۰۰

= ۴۲۴۸۴/۸۶ پاوند

لحاظ کردن برنامه *CHP* پیشنهادی :

متوسط نارسایی در تولید گرمای *CHP* = ۱۸۰−(۸۰ × ۱/۷) = ۴۴ *kW*

بنابراین

$$\text{هزینه سوخت سالیانه واحد } CHP = \frac{۲۸۶\times۶۵۷۰\times۰/۹}{۱۰۰} = ۱۶۹۱۱/۱۸ \text{ پاوند}$$

$$\text{هزینه سوخت سالیانه بویلر} = \frac{۴۴\times۶۵۷۰\times۰/۹}{۰/۷\times۱۰۰} = ۳۷۱۶/۷۴ \text{ پاوند}$$

و

هزینه تعمیر و نگهداری = ۵۰۰۰ پاوند

بنابراین

هزینه عملیاتی سالیانه = ۱۶۹۱۱/۱۸ + ۳۷۱۶/۷۴ + ۵۰۰۰ = ۲۵۶۲۷/۹۲ پاوند

حالا

$$\text{برگشت سرمایه} = \frac{\text{هزینه سرمایه‌ای}}{\text{صرفه‌جویی هزینه سالیانه}}$$

بنابراین

$$\text{برگشت سرمایه} = \frac{۷۶۰۰۰}{(۴۲۴۸۴/۸۶ - ۲۵۶۲۷/۹۲)}$$

$$= ۴/۵۱ \text{ سال}$$

در حالیکه تجزیه و تحلیل اتخاذ شده در مثال ۱۰-۲ برخی نشانه‌های اقتصادی بودن یک برنامه CHP را ارائه می‌دهد، روش بکار گرفته شده ساده بوده و دارای ضعفهای ذاتی متعددی است. فرض گردیده که تقاضاهای الکتریکی و گرمایشی ثابت بوده و به ترتیب $۸۰kWe$ و $۱۸۰kW$ می‌باشند. اما در واقعیت این گونه نخواهد بود. برای مقاطع طولانی در طی سال تقاضا بالاتر از این بوده، درحالیکه در دیگر اوقات پایین‌تر خواهد بود. این بدان معنی است که در خلال مقاطع زمانی که تقاضای الکتریکی بالاست (زمانی که تقاضای الکتریکی افزون بر kWe ۸۰ است)، الکتریسیته باید از شرکت‌های برق محلی خریداری شود. در حالیکه در خلال مقاطع زمانی که تقاضا کم است واحد CHP گرما و الکتریسیته‌ای تولید خواهد کرد که نمی‌توان مصرف نمود. در نتیجه تجزیه و تحلیل، تخمین اغراق‌آمیزی از صرفه‌جویی هزینه‌ای بالقوه نائل آمدنی با بکارگیری CHP بدست می‌دهد.

یک نگرش پیچیده‌تر که بر نارسایی‌های مشروحه فوق فائق می‌آید در مثال ۱۰-۳ نشان داده شده است.

مثال ۱۰-۳

یک مرکز ورزشی جدید ساخته می‌شود که بار گرمایی سالیانه پیش بینی شده $۲۶۰۰۰۰۰kWh$ و بار الکتریکی سالیانه $۸۳۰۰۰۰kWhe$ خواهد داشت. تقاضای گرمایشی پیک زمستانه و آب داغ $۱۰۰۰kW$ تخمین زده شده و تقاضای گرمای پایه $۳۵۰kW$ می‌باشد. تقاضای پایه الکتریکی $۱۳۰kWe$ است. تأسیسات مرکز ورزشی برای ۵۱۳۰ ساعت در سال کار خواهد کرد. با فرض اطلاعات ذیل مقرون به صرفه بودن سه برنامه پیشنهادی را بررسی نمائید.

(الف) برنامه‌ای متعارف که در آن بویلرها تمامی گرما را تولید کرده و الکتریسیته از شرکت برق خریداری شود.

(ب) یک برنامه *CHP* که در آن تأسیسات *CHP* به اندازه تأمین بار الکتریکی پایه انتخاب شده باشد.

(ج) یک برنامه *CHP* که در آن تأسیسات *CHP* به اندازه تأمین بار گرمایی پایه انتخاب شده باشد.

اطلاعات:

٪۷۰	= بازده بویلرها
٪۳۰	= بازده مکانیکی واحد *CHP*
٪۹۵	= بازده ژنراتور الکتریسیته *CHP*
٪۷۰	= بازده بازیافت گرمای واحد *CHP*
۰/۹ *P/kWh*	= قیمت هر واحد گاز
۵ *P/kWh*	= قیمت هر واحد الکتریسیته
۰/۱ *P/kWh*	= هزینه نگهداری بویلرها
۰/۹ *P/kWhe*	= هزینه تعمیر و نگهداری برنامه *CHP*

(هر *kW*) پاوند ۲۶/۵۰ = هزینه سرمایه‌ای برنامه منحصر به بویلر

(هر *kWe*) پاوند ۹۰۰ = هزینه سرمایه‌ای برنامه *CHP*

راه‌حل

(الف) لحاظ نمودن برنامه متعارف:

$$\text{هزینه الکتریسیته} = \frac{۸۳۰۰۰۰ \times ۵}{۱۰۰} = ۴۱۵۰۰ \text{ پاوند}$$

$$\text{هزینه گاز} = \frac{۲۶۰۰۰۰۰ \times ۰/۹}{۰/۷ \times ۱۰۰} = ۳۳۴۲۸/۵۷ \text{ پاوند}$$

و

$$\text{هزینه تعمیر و نگهداری} = \frac{۲۶۰۰۰۰۰ \times ۰/۱}{۱۰۰} = ۲۶۰۰ \text{ پاوند}$$

بنابراین

هزینه سالیانه = ۴۱۵۰۰+۳۳۴۲۸/۵۷+۲۶۰۰=۷۷۵۲۸/۵۷ پاوند

و

هزینه سرمایه‌ای = ۲۶/۵۰×۱۰۰۰=۲۶۵۰۰ پاوند

ب) لحاظ کردن برنامه *CHP*، اندازه‌بندی شده جهت تأمین بار الکتریکی پایه

$$\text{توان سوخت ورودی به واحد } CHP = \frac{۱۳۰}{۰/۳\times۰/۹۵} = ۴۵۶/۱۴kW$$

گرمای اتلافی تولید شده توسط واحد *CHP* از یک مبدل حرارتی با یک بازدهی ۷۰٪ عبور داده می‌شود، بنابراین:

$$\text{توان حرارتی قابل بازیافت} = (۴۵۶/۱۴\times(۱-۰/۳))\times۰/۷۰ = ۲۲۳/۵۱kW$$

بنابراین

الکتریسیته تولیدی سالیانه توسط واحد *CHP* = ۱۳۰×۵۱۳۰=۶۶۶۹۰۰ *kWhe*

و

گرمای تولیدی سالیانه توسط واحد *CHP* = ۲۲۳/۵۱×۵۱۳۰=۱۱۴۶۶۰۶/۳ *kWh*

بنابراین

$$\text{هزینه سوخت سالیانه واحد } CHP = \frac{۴۵۴/۱۴\times۵۱۳۰\times۰/۹}{۱۰۰} = ۲۱۰۵۹/۹۸ \text{ پاوند}$$

$$\text{هزینه سوخت سالیانه بویلر} = \frac{(۲۶۰۰۰۰۰-۱۱۴۶۶۰۶/۳)\times۰/۹}{۰/۷\times۱۰۰} = ۱۸۶۸۶/۴۹ \text{ پاوند}$$

و

$$\text{هزینه سالیانه الکتریسیته خریداری شده} = \frac{(۸۳۰۰۰۰-۶۶۶۹۰۰)\times۵}{۱۰۰} = ۸۱۵۵ \text{ پاوند}$$

و

$$\text{هزینه تعمیر و نگهداری} = \frac{(۰/۹\times۶۶۶۹۰۰)}{۱۰۰} = ۶۰۰۲/۱۰ \text{ پاوند}$$

بنابراین

هزینه عملیاتی سالیانه=۲۱۰۵۹/۹۸+۱۸۶۸۶/۴۹+۸۱۵۵+۶۰۰۲/۱۰

پاوند ۵۳۹۰۳/۵۷=

و

هزینه سرمایه‌ای برنامه *CHP*=۹۰۰×۱۳۰=۱۱۷۰۰۰ پاوند

بنابراین

میزان سرمایه افزایش یافته در مقایسه با برنامه (الف)=۱۱۷۰۰۰-۲۶۵۰۰

پاوند ۹۰۵۰۰=

و

صرفه‌جویی در هزینه عملیات سالیانه (در مقایسه با برنامه الف)=۷۷۵۲۸/۵۷-۵۳۹۰۳/۵۷=۲۳۶۲۵ پاوند

بنابراین

$$\text{دوره بازگشت سرمایه افزایش یافته} = \frac{۹۰۵۰۰}{۲۳۶۲۵} = ۳/۸ \text{ سال}$$

ج) لحاظ کردن برنامه *CHP*، اندازه بندی شده جهت تأمین بار گرمایی پایه:

$$\text{گرمای تولیدی برای هر } kWe \text{ از توان الکتریکی تولیدی} = \frac{۲۲۳/۵۱}{۱۳۰} = ۱/۷۱۹$$

بنابراین، نسبت حرارت به توان واحد *CHP* ۱/۷۱۹:۱ می‌باشد. با فرض اینکه واحد *CHP* به اندازه تأمین بار حرارتی پایه ۳۵۰*kW* انتخاب شده، آنگاه:

$$\text{توان الکتریکی خروجی از واحد } CHP = \frac{۳۵۰}{۱/۷۱۹} = ۲۰۳/۶۱ \, kW$$

متأسفانه از آنجاییکه متوسط تقاضای الکتریکی ساختمان فقط ۱۶۱/۷۹ *kWe* می‌باشد، واحد *CHP*، بیشتر از آنچه که بتواند توسط ساختمان مصرف شود، الکتریسیته تولید می‌کند. مگر اینکه

الکتریسیته را بتوان به شرکت برق محلی صادر کرد، والا واحد *CHP* یا باید کاهش اندازه یابد، یا خروجی آن بطور قابل ملاحظه‌ای باید تعدیل داده شود. با فرض اینکه که بتوان الکتریسیته را به قیمت *P/kWhe* ۳ صادر کرد، آنگاه:

$$\text{درآمد سالیانه حاصله از صدور الکتریسیته} = \frac{۳\times۵۱۳۰\times(۲۰۳/۶۱-۱۶۱/۷۹)}{۱۰۰}$$

$$\text{درآمد سالیانه حاصله از صدور الکتریسیته} = ۶۴۳۶/۱۰ \text{ پاوند}$$

و

$$\text{حرارت تولیدی سالیانه توسط واحد } CHP = ۳۵۰\times۵۱۳۰ = ۱۷۹۵۵۰۰\,kWh$$

$$\text{الکتریسیته تولیدی سالیانه توسط واحد } CHP = ۱۶۱/۷۹\times۵۱۳۰ = ۸۳۰۰۰۰\,kWhe$$

قابل ذکر: واحد *CHP* تمامی الکتریسیته برای ساختمان را تدارک می‌کند.

$$\text{توان سوخت ورودی به واحد } CHP = \frac{۲۰۳/۶۱}{۰/۳\times۰/۹۵} = ۷۱۴/۴۲\,kW$$

بنابراین

$$\text{هزینه سوخت سالانه واحد } CHP = \frac{۷۱۴/۴۲\times۵۱۳۰\times۰/۹}{۱۰۰} = ۳۲۹۸/۷۷ \text{ پاوند}$$

$$\text{هزینه سوخت سالیانه بویلر} = \frac{(۲۶۰۰۰۰۰-۱۷۹۵۵۰۰)\times۰/۹}{۰/۷\times۱۰۰} = ۱۰۳۴۳/۵۷ \text{ پاوند}$$

و

$$\text{هزینه تعمیر و نگهداری} = \frac{۰/۹\times(۲۰۳/۶۱\times۵۱۳۰)}{۱۰۰} = ۹۴۰۰/۶۷ \text{ پاوند}$$

بنابراین

$$\text{هزینه عملیاتی سالیانه} = ۳۲۹۸۴/۷۷+۱۰۳۴۳/۵۷+۹۴۰۰/۶۷-۶۴۳۶/۱۰$$

$$= ۴۶۲۹۲/۹۱ \text{ پاوند}$$

و

$$\text{هزینه سرمایه‌ای برنامه } CHP = ۹۰۰\times۲۰۳/۶۱$$

$$= ۱۸۳۲۴۹ \text{ پاوند}$$

بنابراین

۱۸۳۲۴۹-۲۶۵۰۰ = مخارج سرمایه‌ای افزایش یافته (در مقایسه با برنامه الف)

= ۱۵۶ ۷۴۹

و

۷۷۵۲۸/۵۷-۴۶۲۹۲/۹۱=صرفه‌جویی هزینه عملیاتی سالیانه(در مقایسه با برنامه الف)

پاوند ۳۱۲۳۵/۶۶=

بنابراین

$$\text{سال } ۵/۰۲ = \frac{۱۵۶۷۴۹}{۳۱۲۳۵/۶۶} = \text{دوره بازگشت سرمایه افزایش یافته}$$

مثال ۱۰-۳ بوضوح نشان می‌دهد که هر دو برنامه‌های *CHP* به صرفه‌جوییهای هزینه‌ای قابل توجهی در مقایسه با برنامه متعارف (الف) نائل می‌شوند. اگرچه، باید متذکر شد که در حالیکه برنامه (ج)، اندازه بندی شده جهت تأمین بار حرارتی پایه، بیشترین صرفه‌جوییهای هزینه‌ای سالیانه را ایجاد می‌کند، برنامه (ب) بنظر می‌رسد که بیشتر از دو پیشنهاد دیگر هزینه ـ مؤثر است. این بدلائل ذیل می‌باشد:

- هزینه سرمایه‌ای برنامه (ج) بسیار بالاتر از برنامه (ب) بوده؛ و
- بیشتر الکتریسیته تولیدی تحت برنامه (ج) به مصرف صحیح نمی‌رسد (بعنوان مثال در قبال دریافتی نسبتاً کمی صادر می‌شود).

بنابراین مثال ۱۰-۳ این تصمیم که بیش از اندازه بودن یک تأسیسات *CHP* غیر عاقلانه است را، تقویت کرده و ترجیح داشتن اندازه واحد *CHP* جهت تأمین بار پایه الکتریکی را، تأیید می‌کند.

References

1. Beggs, C. B. (1996). A method for estimating the time-of-day carbon dioxide emissions per kWh of delivered electrical energy in England and Wales. *Building Services Engineering Research and Technology*, 17, (Number 3), 127–134
2. Department of the Environment, Transport and the Regions (2001). Environmental Reporting – Guidelines for Company Reporting on Greenhouse Gas Emissions, www.detr.gov.uk/ environment/envrp/gas/ 05.htm, 8 May.
3. Department of the Environment (1989). Guidance notes for the implementation of small scale packaged combined heat and power. Good Practice Guide 1.
4. Department of the Environment (1992). Introduction to large-scale combined heat and power. Good Practice Guide 43.
5. Williams J., Griffiths, T. and Knight, I. (1996). Sizing chp for new hospitals. *Building Services Journal*, November, pp. 41–3.

Bibliography

Cost model: Combined heat and power system analysis (1997). *Building Services Journal*, January, pp. 17–19.

Department of the Environment (1989). Guidance notes for the implementation of small scale packaged combined heat and power. Good Practice Guide 1.

Department of the Environment (1992). Introduction to large-scale combined heat and power. Good Practice Guide 43.

Eastop, T. D. and Croft, D. R. (1990). *Energy efficiency for engineers and technologists*, (Chapter 8). Longman Scientific & Technical.

Williams, J., Griffiths, T. and Knight, I. (1996). Sizing chp for new hospitals. *Building Services Journal*, November, pp. 41–3.

بخش یازدهم

تهویه مطبوع و تهویه مکانیکی "انرژی کارآ"

انرژی بسیاری در ساختمانها از طریق بکارگیری نامناسب سیستم‌های تهویه مطبوع و هوادهی مکانیکی تلف می‌گردد. این وضعیت برخاسته از این است که اغلب طراحان ساختمان غافل از مواردی هستند که مرتبط به تهویه مطبوع بوده و هم چنین به سبب اینکه طراحان سیستم تهویه بیشتر علاقه‌مند در به حداقل رساندن هزینه‌های اولیه تا کاهش کلی در مصرف انرژی هستند. بهرحال شماری از تکنولوژیهای خلاق و جدید وجود دارند که داری ثپتانسیل‌کاهش چشمگیری در مصرف انرژی می‌باشند. این بخش موارد مرتبط با طراحی سیستم‌های تهویه مطبوع و هوادهی مکانیکی را مورد بحث قرار داده و برخی از این تکنولوژیهای نوین کم مصرف را معرفی می‌نماید.

۱۱-۱ تأثیرات تهویه مطبوع

در حدود ۴۰ سال گذشته، گرایش به سوی ساختمانهائی با نقشه بزرگ و عمق‌دار با پوششهای به شدت عایق‌بندی شده وجود داشته است. این گرایش با افزایش استفاده از کامپیوترهای شخصی و بکارگیری سطوح بالائی از روشنائی ادغام گردید. این بدان معنی است که بسیاری از ساختمانها بیش از حد گرم شده و لذا نیازمند سرمایش برای بخش اعظمی از سال هستند، حتی در کشورهائی که اقلیم‌های سرد را تجربه می‌کنند. در خلال سالها بویلرها بطور مرتب در اندازه کاهش یافته و استفاده از تهویه مطبوع و هوادهی مکانیکی افزایش پیداکرده است. هم‌چنین زمانیکه ملاحظه می‌گردد که بیشترین جمعیت کره زمین در کشورهائی که دارای اقلیم‌های گرم یا سوزان هستند، زندگی می‌کنند، درک اینکه تدارک سرمایش و هوادهی مطلوب یک موضوع جهانی بسیار بارزتر از تهیه گرمایش مناسب است، مشکل نمی‌باشد. متأسفانه بسیاری طراحان ساختمان از این حقیقت ساده آگاهی کامل ندارند، و نتیجتاً شمار زیادی از ساختمانها ضعیف طراحی شده برپا می‌شوند، که متکی بر سیستمهای تهویه مطبوع بزرگ در جهت حفظ یک محیط داخلی قابل تحمل می‌باشند.

سهم سرمایش مکانیکی در راستای کل مصرف جهانی انرژی نباید دست کم گرفته شود. در بریتانیا به تنهائی، تخمین زده شده است که تقریباً GWh ۱۰۰۰۰ از انرژی الکتریکی در سال توسط دستگاههای تهویه مطبوع مصرف می‌شود (۱). این تقریباً نمایانگر ۱۴٪ از کلیه انرژی الکتریکی مصرف شده در بخشهای تجاری و خدمات عمومی در بریتانیا می‌باشد. از این رقم حدود

$۵۸۵۳GWh$ به تنهائی توسط تأسیسات سرماسازی مصرف شده، و بقیه توسط هواکش‌ها، پمپ‌ها و دستگاههای کنترل مصرف می‌گردد(۲). در ایالات متحده امریکا انرژی مصرفی توسط دستگاههای تهویه مطبوع بسیار بالاتر است. در حقیقت، در بسیاری از ایالات جنوبی در ایالات متحده امریکا، تقاضای الکتریکی در خلال ماههای تابستان بین ۳۰ تا ۴۰ درصد و فقط به سبب استفاده از دستگاههای تهویه مطبوع افزایش می‌یابد (۳). در نتیجه این افزایش، شرکتهای برق در ایالات جنوبی ایالات متحده امریکا باید ظرفیتهای تولیدی اضافی جهت تأمین پیک تابستانه ایجاد کنند، اگرچه برای بیشتر اوقات سال این تأسیسات غیرفعال می‌مانند، که به روشنی یک وضعیت کاملاً غیراقتصادی است. مشکلاتی که شرکتهای برق در ایالات متحده امریکا با آنها روبرو هستند بمانند مشکلاتی است که بسیاری شرکتهائی که در اقلیمهای گرم سراسر جهان فعالیت می‌کنند، می‌باشد. در برخی کشورها، تقاضای الکتریکی در خلال ماههای تابستان چنان بالاست که مسؤولان با محدود کردن ظرفیت کابلهای برقی که به املاک و تأسیسات وارد می‌شوند، الکتریسیته را جیره‌بندی می‌کند. لذا با انجام این امر آنها مالکان و استفاده کنندگان ساختمانها را مجبور به بهره‌گیری از راه‌حلهای کم مصرف انرژی در طراحی می‌نمایند.

این یک برداشت عمومی غلط است که بیشترین انرژی مصرفی توسط تأسیسات تهویه مطبوع در ارتباط با کارکرد ماشینهای سردسازی است، بدینگونه نیست. در واقع انرژی بسیار بیشتری توسط تأسیسات جابجا کننده هوا مصرف می‌گردد. مطالعه‌ای اخیر از نمونه ساختمانهای اداری با تهویه مطبوع استاندارد در بریتانیا، پی برد که تأسیسات سردسازی ۱۳٪ از کل الکتریسیته مصرفی را مصرف کرده، در حالیکه پروانه‌ها، پمپ‌ها و کنترل‌ها ۲۶/۵٪ از کل انرژی الکتریکی مصرفی را صرف می‌کنند. در این نوع از ساختمان اداری حدود ۳۵٪ از هزینه‌های انرژی کل صرف راه‌اندازی سیستمهای تهویه مطبوع و هوادهی مکانیکی می‌گردیده است(۴). خلاصه‌ای از نتایج این مطالعه در جدول ۱۱-۱ ارائه گردیده است.

تأثیرات زیست محیطی دستگاههای تهویه مطبوع قابل ملاحظه است. تهویه مطبوع از نقطه نظری زیست محیطی فاجعه‌ای منحصر است. زیرا آن:

- می‌تواند مستقیماً در تحلیل اوزون آتمسفر از طریق نشت گازهای سردساز مضر، مؤثر باشد.
- تأثیر مستقیم برگرم شدن جهانی از طریق نشت سردسازها که گازهای گلخانه‌ای قوی

هستند.

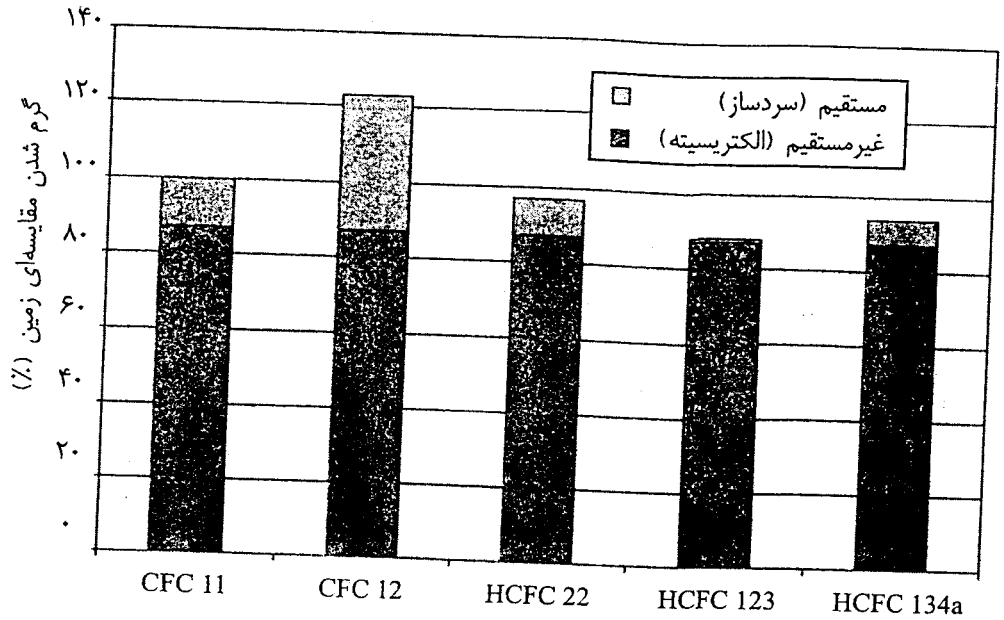
● مؤثر در گرم شدن جهانی با مصرف کردن مقادیر زیادی از الکتریسیته و بطور غیرمستقیم رهاسازی مقادیر عمده‌ای از CO_2 به داخل آتمسفر.

بحث کاملی در رابطه با مشکلات زیست محیطی ناشی از سردسازها فراتر از این کتاب است. با این وجود، شاید بحثی مختصر از موارد زیست محیطی در این جا مناسب باشد. تا سالهای اخیر، *CFC*ها و *HCFC*ها هر دو بطور گسترده بعنوان سردسازها مصرف می‌شدند. اگر چه *CFC*ها و *HCFC*ها بعنوان گازهای گلخانه‌ای قوی شناخته می‌شوند، اما بعنوان از بین برندگان قوی اوزون دارای معروفیت نیستند. در واقع، تهدید جدی به لایه اوزون بود که در ۱۹۹۵ تحت پروتکل مونترال منجر به خاتمه دادن تولید *CFC*ها شد(۵). از آن زمان اتکا سنگینی بر استفاده از *HCFC*۲۲ بعنوان یک جایگزین برای *CFC*ها شد. باجود اینکه *HCFCC*۲۲ نسبت به *CFC*۱۱ یا *CFC*۱۲ بیشتر دوستدار لایه اوزون می‌باشد، هنوز یک گاز گلخانه‌ای قوی است، و *GWP*، آن ۱۷۰۰ می‌باشد(۶). با این وجود، بر اساس پروتکل مونترال، *HCFC*ها هم با توقف کامل تولید تا سال ۲۰۳۰، کنار گذارده شدند(۷). متعاقباً، تولیدکنندگان مواد شیمیایی در حال حاضر در حال پدید آوردن نسل جدیدی از سردسازها می‌باشند، *HFC*ها جایگزین *CFC*ها و *HCFC*های قدیمی می‌گردند. متأسفانه، باوجود اینکه *HFC*ها دوستدار اوزون هستند هنوز گازهای گلخانه‌ای قوی هستند. با وجود این، تأثیر نسبی سردسازها در گرمایش جهانی اغلب اغراق‌آمیز است. افزایش گرمایش جهانی که با سردسازهای رها شده پدید آمده، نسبت به میزان انتشار غیرمستقیم CO_2 حاصل از مصرف الکتریکی ماشینهای سردساز، کمتر است. این بصورت نموداری در شکل ۱۱-۱ نشان داده شده است که نمایشگر تأثیر نسبی گرمایش جهانی حاصل از انتشار CO_2 در مقایسه با انواع متعددی از سرماسازهاست(۸).

از نمودار ۱۱-۱ می‌توان مشاهده نمود که تأثیر غیرمستقیم دستگاههای تهویه مطبوع در جهت گرم شدن زمین قابل ملاحظه است. برآورد شده است که در بریتانیا به تنهائی، ۴/۲ میلیون تن CO_2 در سال نتیجه مستقیم بکارگیری تأسیسات سردساز تهویه مطبوع، می‌باشد(۲). بنابراین تعجب‌آور نیست که دولتهای سراسر جهان طراحان ساختمان را جهت کاهش و یا حذف نیاز به سرمایش مکانیکی، تحت فشار قرار می‌دهند.

جدول ۱۱-۱ مصرف انرژی در ساختمانهای اداری مختلف بریتانیا

	تهویه مطبوع لوکس		تهویه‌مطبوع‌استاندارد		تهویه طبیعی باز		تهویه طبیعی سلولی	
	معمولی (kWh/m^2)	کاربردخوب (kWh/m^2)	معمولی (kWh/m^2)	کاربردخوب (kWh/m^2)	معمولی (kWh/m^2)	کاربردخوب (kWh/m^2)	معمولی (kWh/m^2)	کاربردخوب (kWh/m^2)
گرمایش و آب داغ (گاز یا نفت)	۲۰۱	۱۰۷	۱۷۸	۹۷	۱۵۱	۷۹	۱۵۱	۷۹
سرمایش مکانیکی	۴۱	۲۱	۳۱	۱۴	۲	۱	۰	۰
پروانه‌ها، پمپ‌ها و کنترلها	۶۷	۳۶	۶۰	۳۰	۸	۴	۶	۲
رطوبت زدایی	۲۳	۱۲	۱۸	۸	۰	۰	۰	۰
روشنایی	۶۰	۲۹	۵۴	۲۷	۳۸	۲۲	۲۳	۱۴
تجهیزات دفتری	۳۲	۲۳	۳۱	۲۳	۲۷	۲۰	۱۸	۱۲
آبدارخانه (گاز)	۹	۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰
آبدارخانه (الکتریسیته)	۱۵	۱۳	۶	۵	۵	۳	۳	۲
مصارف دیگر الکتریسیته‌ها	۱۵	۱۳	۸	۷	۵	۴	۴	۳
اتاق کامپیوتر(جایی‌که‌کاربرددارد)	۱۰۵	۸۷	۱۸	۱۴	۰	۰	۰	۰
جمع کل گاز یا نفت	۲۱۰	۱۱۴	۱۷۸	۹۷	۱۵۱	۷۹	۱۵۱	۷۹
جمع کل الکتریسیته	۳۵۸	۲۳۴	۲۲۶	۱۲۸	۵۸	۵۴	۵۴	۳۳



شکل ۱۱-۱ مقایسه تأثیر مستقیم و غیرمستقیم
انواع مختلف ماشینهای سردساز در راستای گرم شدن زمین (۸)

۱۱-۲ سیستم‌های تهویه مطبوع

این بخش قصد ندارد متنی در اصول طراحی تهیه مطبوع باشد، بلکه ترجیحاً بحثی از کاربرد تهویه مطبوع در ساختمانها است. قبل از بحث در جزئیات مواردی که مصرف انرژی در سیستم‌های تهویه مطبوع را تحت تأثیر قرار می‌دهد، ابتدا لازم است شرحی مختصر از ماهیت و کارکرد یک تأسیسات تهویه مطبوع معمول، ارائه گردد. باید متذکر شد که در این کتاب، جهت سهولت در عطف، کلمه تهویه مطبوع در سست‌ترین مفهوم جهت توصیف هر سیستمی که ماشین سردساز را جهت خنک کردن هوا در ساختمانها بکار می‌گیرد، استفاده شده است.

شکل ۱۱-۲ یک سیستم ساده تهویه مطبوع را نشان می‌دهد که نمایانگر بسیاری از خصوصیات عمومی است. سیستم، یک واحد جابجایی هوا را *(AHU)*[1] جهت دمیدن هوا با نرخ جریان حجمی ثابت از طریق کانال‌ها به فضای یک اطاق، بکار می‌گیرد. آنگاه هوای کهنه از فضای اطاق توسط یک کانال مکنده که از یک پروانه برگشت استفاده می‌کند، بیرون رانده می‌شود. در

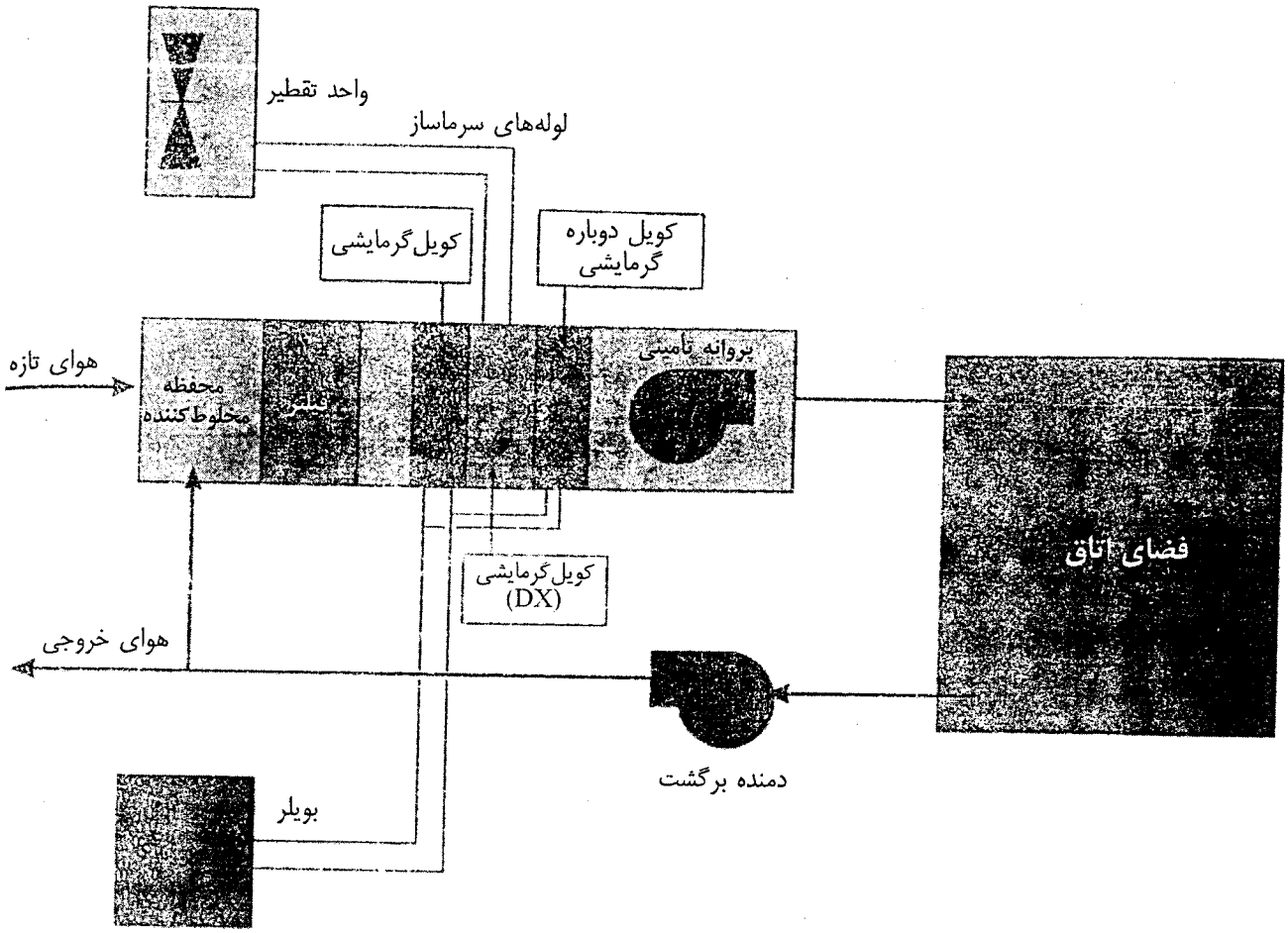
1- *Air Hadling Unit*

راستای صرفه‌جوئی انرژی، دوباره گردش دادن بخش زیادی از جریان هوای برگشتی (حدود ۷۰٪) با استفاده از دامپرهای مخلوط کننده موجود در *AHU*، عملی متداول است. هم چنین راندن هوا در طول کانال‌ها در سرعتهائی مازاد بر *5m/s*، عملی معمول است. این عمل کار کانال را در حداقل ممکن حفظ می‌کند. درجه حرارت فضای اطاق با تغییر دادن درجه حرارت هوای تأمینی ورودی کنترل می‌شود؛ در زمستان، هوا در یک درجه حرارت بالاتر از آنچه که در فضای اطاق هست، تأمین می‌گردد، درحالیکه در تابستان هوا در درجه حرارتی پائین‌تر از آنچه که در فضای اطاق است عرضه می‌شود. بدین روش می‌توان محیط راحتی را در فضای اطاق برای تمامی سال حفظ نمود.

AHU در شکل ۱۱-۲ مشتمل است بر:

- یک بخش دمپر مخلوط کننده جهت مخلوط کردن هوای تازه ورودی با هوای دوباره گردشی،
- فیلتری جهت تصفیه هوا
- یک کویل گرمایشی (معمولاً یک کویل آب داغ که از یک بویلر تغذیه می‌شود یا برخی اوقات برقی است)؛
- یک کویل سرمایشی جهت سردکردن و رطوبت زدائی هوا؛
- یک کویل بازگرمائی جهت کنترل دقیق درجه حرارت هوا و جبران سرمایش زیادی که توسط کویل سرمایشی ایجاد می‌شود؛ و
- یک پروانه سانتریفوژی جهت کشش هوا از طریق *AHU* و روانه کردن از طریق کانال‌ها

در مورد *AHU* نشان داده شده در شکل ۱۱-۲ یک کویل سرمایشی انبساط مستقیم *(DX)* برای سرمایش هوای تأمینی استفاده می‌شود. این کویل تبخیر کننده یک سیستم سرماساز است، و حاوی سرماساز مایع بوده که در یک درجه حرارت و فشار پائین جوشیده (مثلاً در $5^{\circ}C$ و *584kPa*) تا به بخاری در فشار پائین تبدیل شود. همانگونه که مایع می‌جوشد مقادیر معتنابهی گرما از جریان هوا می‌گیرد و لذا آنرا خنک می‌کند. در دیگر انتهای لوله‌های سرماساز به کویل *DX* یک واحد تقطیر قرار گرفته که متشکل از یک کمپرسور، یک کندانسور و یک پروانه است. گرمای کسب شده از جریان هوای تأمینی توسط کویل *DX* از طریق کندانسور به آتمسفر برگشت داده می‌شود.

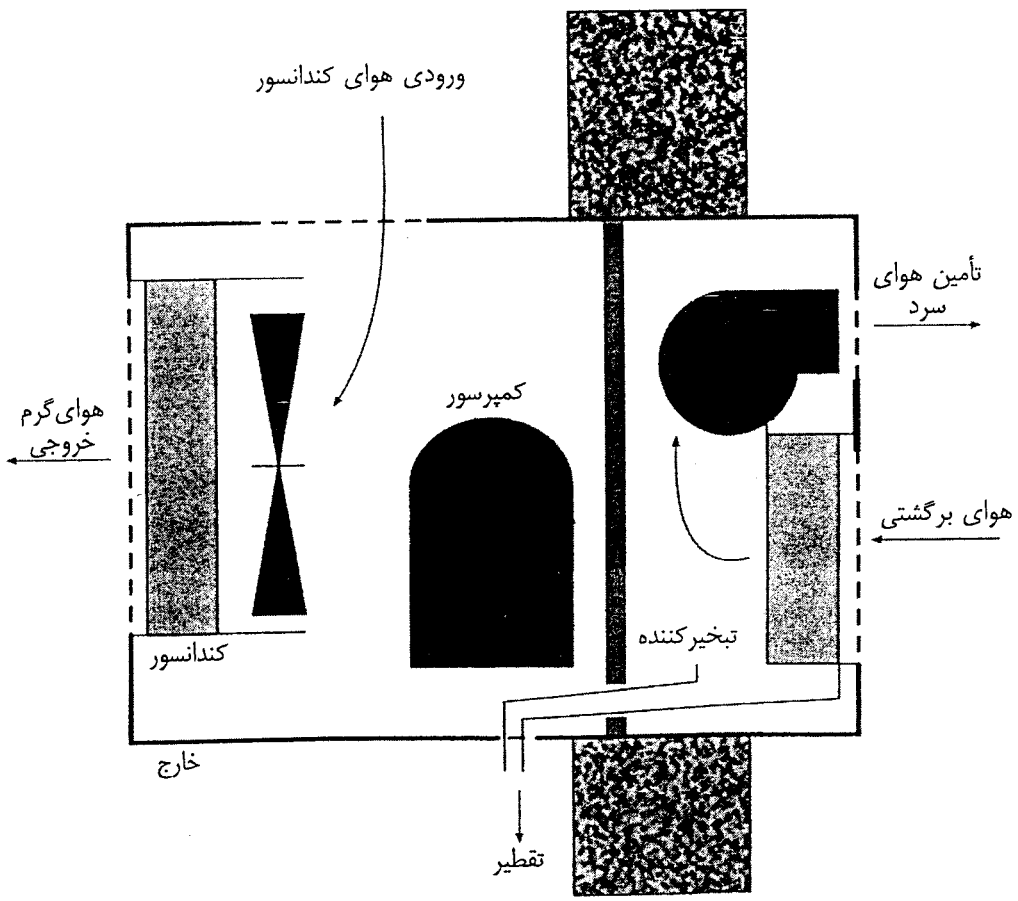


شکل ۱۱-۲ یک سیستم تهویه مطبوع کانال ساده با کویل سرمایشی انبساط مستقیم *(DX)*

سیستم نشان داده شده در شکل ۱۱-۲ عمومی بوده و نمونه‌ای از سیستمهای بسیاری است که در سراسر جهان یافت می‌شود. اگرچه برخی تفاوتها وجود دارند که قابل توجه می‌باشند. در بسیاری کاربردها در کشورهای گرم نیازی به گرمایش وجود ندارد، و لذا کویلهای گرمایشی برداشته شده و فقط کویل سرمایشی *DX* باقی می‌ماند. بطور مشابه ممکن است نیازی به تأمین هوای تازه نباشد که در آنصورت فیلتر و دامپر مخلوط کننده را می‌توان حذف کرد. مثالهای متعارف چنین سیستم‌های ساده‌ای سیستمهای «واحد درون دیواری» (شکل ۱۱-۳ را ببینید) و «واحد مجزا» (شکل ۱۱-۴ را ببینید) می‌باشند. این سیستمها گران نبوده و نگهداری آسانی دارند و بدون تعجب در بسیاری از کشورهای گرم متداول‌اند.

یکی از عمده معایب سیستمهای مشروحه بالا اینست که در تأسیسات بزرگتر، به واحدهای متعدد تقطیر نصب شده در خارج از ساختمانها، نیاز دارند. این می‌تواند هم نازیبا و هم غیرعملی،

باشد. لذا در بسیاری از ساختمانهای بزرگتر، یک راه‌حل ممتاز، نصب ماشین سردسازی مرکزی معروف به چیلر، جهت تولید آب سرد است، (مثلاً حدود $7°C$) که آنگاه می‌توان به شماری از AHUهای دور پمپ کرد (شکل ۱۱-۵ را ببینید). در این نوع سیستم هر AHUبجای یک کویل DX با یک کویل سرمایشی آب سرد مجهز شده است. کویل‌های سرمایشی آب سرد برتر ازکویلهای DX می‌باشند، زیرا آنها کنترل نزدیک‌تر درجه حرارت هوای تأمینی را تسهیل می‌کنند. هم چنین چیلرهای مرکزی دارای مزیت زیست محیطی نسبت به سیستمهای راه دور DX هستند، بدان حد که مدارهای سرمایشی کمتری جهت کنترل وجود دارند، که ریسک نشت سرماسازها را پائین‌تر می‌کند.



شکل ۱۱-۳ واحد تهویه مطبوع درون دیواری

چیلرها می‌توانند از کندانسورهای هوا خنک یا آب خنک بهره‌گیری کنند. کندانسورهای آب خنک کارآیی بیشتری از انواع هوا خنک دارند، لیکن معمولاً به یک برج خنک کننده نیاز است، و بنابراین یک خطر بالقوه آلودگی لژیونلا می‌باشند. بدین دلیل چیلرهای هوا خنک پرطرفدارتر از از

چیلرهای آب خنک شده‌اند، زیرا با وجود کارآیی کمتر، خطر سلامتی ندارند.

۱۱-۳ سیستمهای سرماسازی

بیشترین تأسیسات تهویه مطبوع متکی بر نوعی از ماشین سرماسازی تراکم بخاری جهت انتقال گرما از هوا می‌باشند. شکل ۱۱-۶ دیاگرام شماتیکی از یک سیستم سرماسازی تراکم بخاری تک مرحله‌ای ساده مشابه آنچه که در بسیاری از سیستمهای تهویه مطبوع یافت می‌گردد، را نشان می‌دهد.

سیکل سرماسازی تراکم بخاری، کارکردی بشرح ذیل دارد:

۱- سرماساز مایع کم فشار در تبخیرکننده جهت تولید بخار با فشار کم بجوش می‌آید. گرمای مورد نیاز جهت جوش آوری و بخار کردن مایع داخل تبخیرکننده از جریان هوا یا آب در حال گذر از جدار خارجی تبخیرکننده، کسب می‌شود.

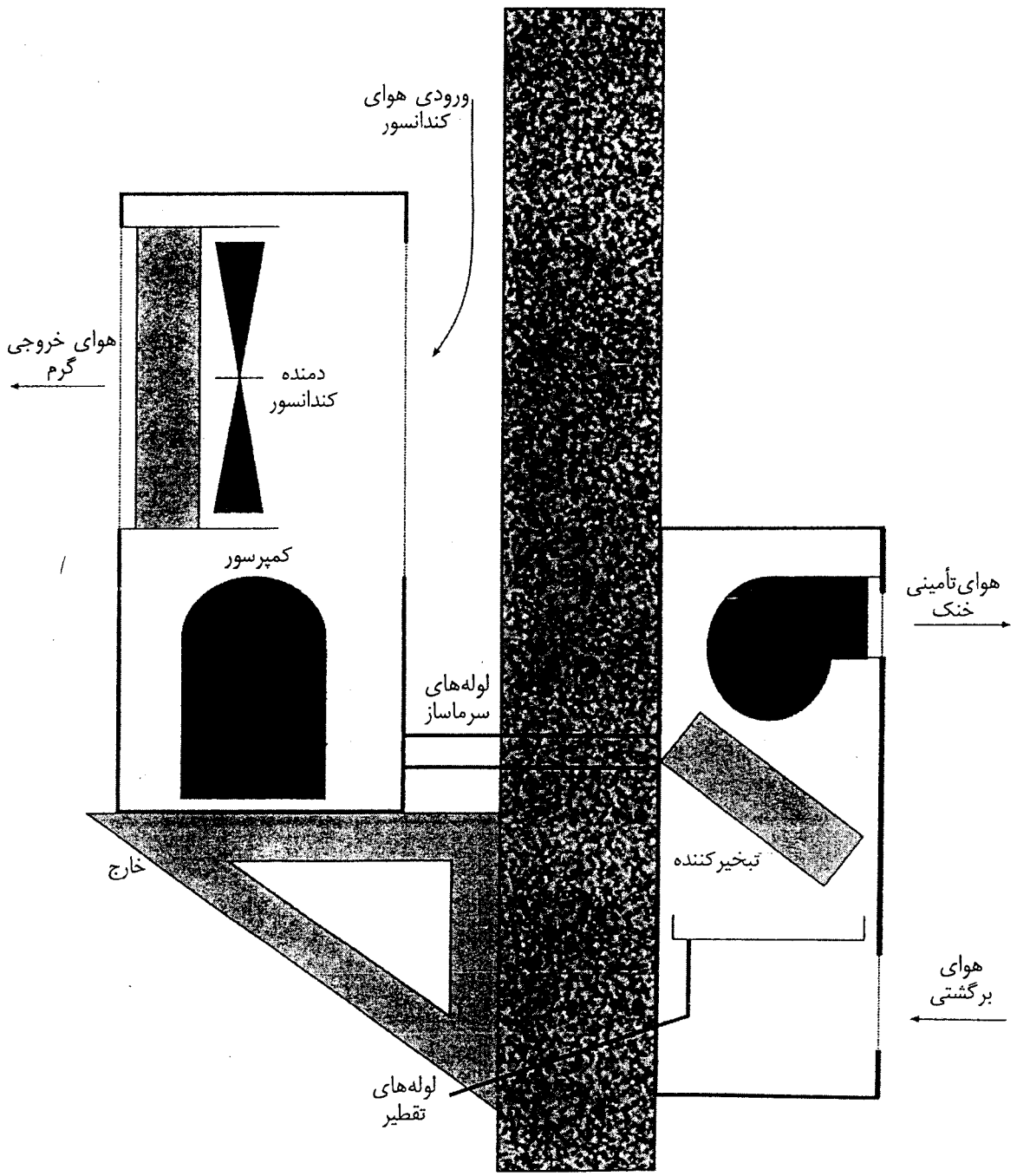
۲- پس از ترک تبخیرکننده، بخار سرماساز کم فشار به داخل کمپرسور وارد شده که در آنجا درجه حرارت و فشار آن هر دو بوسیله تراکم ایزونتروپیک ارتقاء می‌یابد.

۳- بخار سرماساز فشار بالا آنگاه از کندانسور عبور داده شده که در آنجا سرد و مایع می‌گردد. گرمای گرفته شده در کندانسور یا بطور مستقیم با بادگیری جدار خارجی کندانسور، یا بطور غیرمستقیم با استفاده از مایع ثانویه، که معمولاً آب و یک برج خنک کننده می‌باشد، در محیط زیست رها می‌شود.

۴- سرماساز مایع فشار بالا آنگاه از کندانسور به شیر انبساط عبور داده می‌شود، که در آنجا فشار آن پایین آورده شده، و حدود ۱۰٪ از مایع بخار می‌شود (به فوریت از یک مایع به یک بخار تبدیل می‌شود) لذا باقیمانده مایع را سرد می‌کند. مایع کم فشار سرد شده سپس به داخل تبخیرکننده جریان یافته و سیکل دوباره شروع می‌شود.

نقطه جوش سرماسازها با فشار متغیر است. در فشارهای پائین، سرماسازها در درجه حرارت پائین جوش می‌آیند (مثلاً $2^{\circ}C$)، درحالیکه در فشارهای بالاتر نقطه جوش سرماسازها بطور چشمگیری افزایش می‌یابد (مثلاً $35^{\circ}C$). بدین طریق سرماسازها را می‌توان بسهولت با تنظیم فشار سیستم در درجه حرارتهای متفاوت تبخیر و تقطیر کرد. از آنجائیکه درجه حرارتهای تبخیر

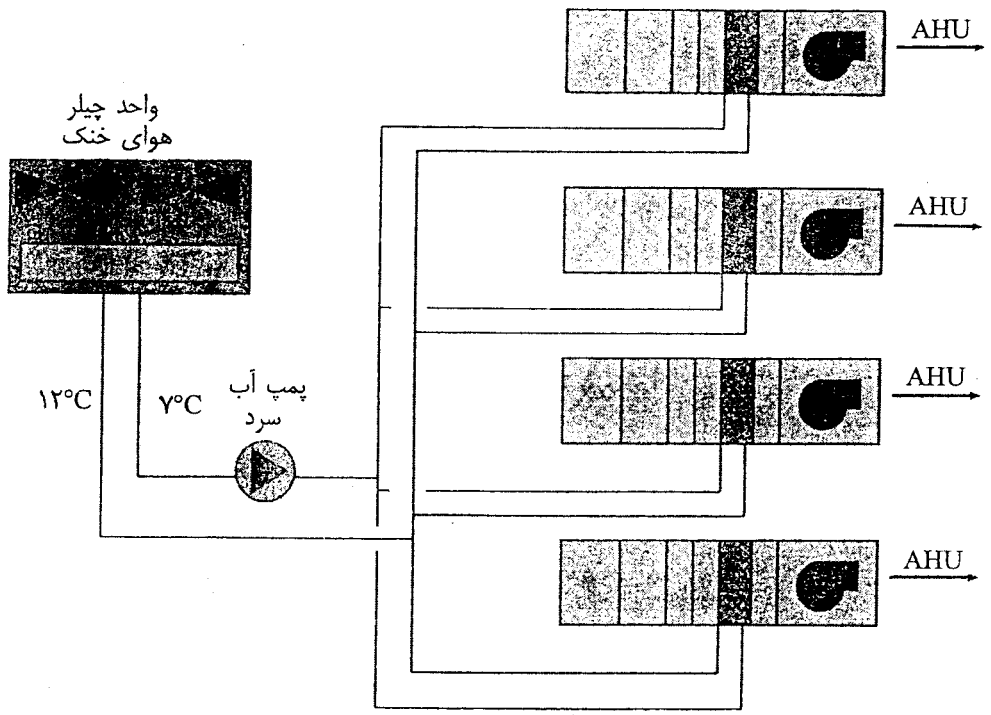
و تقطیر مرتبط با فشارهای خاص است، آنها معمولاً با استفاده از فشار سنجهای واقع شده در قبل و بعد از کمپرسور اندازه‌گیری می‌شوند.



شکل ۱۱-۴ یک سیستم تهویه مطبوع واحد مجزّا

شکل ۱۱-۷ نشانگر طرحی از سیکل تراکم بخار بر روی دیاگرام فشار/انتالپی می‌باشد. ظرفیت سرماسازی سیستم عبارتست از مقدار سرمایشی که تأسیسات می‌توانند حاصل کنند و آن

متناسب با طول خط بین نقاط ۴ و ۱ می‌باشد. نیروی وارده به سیستم از طریق رانش کمپرسور بوده، و توسط خط ۱ به ۲ ارائه شده است. خط ۲ به ۳ نشان دهنده دفع گرما در کندانسور است. خط ۳ به ۴ نمایش دهنده عبور سرماساز از شیر انبساط بوده و یک فرآیند انتالپی ثابت است. باید متذکر شد که گرمای دفع شده توسط کندانسور با مجموع انرژی ورودی در تبخیرکننده و در کمپرسور، برابر است. هم چنین باید توجه داشت که با کاهش فشار تقطیر، نیروی وارده از کمپرسور نیز کاهش می‌یابد.



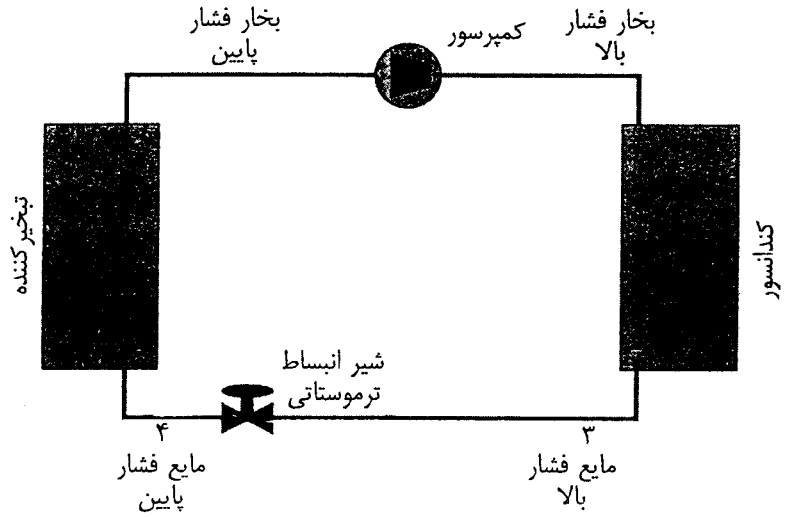
شکل ۱۱-۵ یک سیستم چیلر هوا خنک با واحدهای جابجا کننده هوا

"بازدهی کل" یک ماشین تراکم بخار معمولاً توسط COP توصیف می‌شود. COPیک ماشین سرماسازی، نسبت ظرفیت سرماسازی به ورودی نیرو در کمپرسور است. آنرا می‌توان بطریق ذیل اظهار کرد (با عطف به شکل ۱۱-۷):

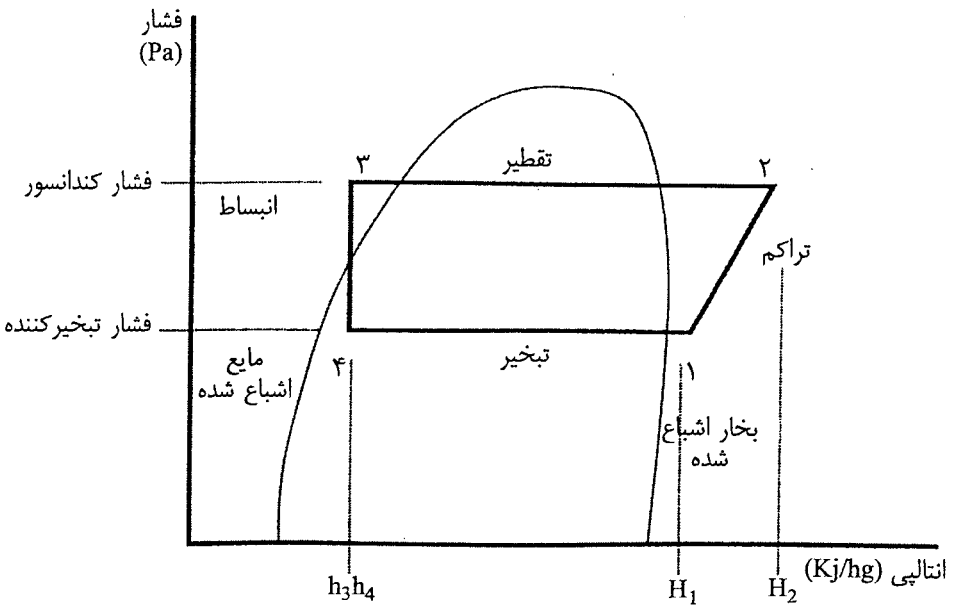
$$COP_{ref} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \qquad (۱-۱۱)$$

که در آن h انتالپی ویژه سرماساز است (kJ/kg).

هرچه COP بالاتر باشد، فرآیند سرماسازی کارآمدتر است. در بریتانیا، ماشینهای سرماسازی عموماً COPهائی در محدوده ۳-۲ را نشان می‌دهند (۲).



شکل ۱۱-۶ سیکل‌های سرماسازی تراکم بخار



شکل ۱۱-۷ نمودار فشار/انتالپی فرایند تراکم بخار

۱۱-۴ مشکلات شیوه طراحی سنتی

با بحث مختصری در ماهیت سیستمهای تهویه مطبوع و سرماسازی، طراحی کلی ساختمانهای با تهویه مطبوع باید مورد ملاحظه واقع شود. اینکه در ساختمانها طراحی تهویه

مطبوع به نوعی یک تفکر ثانویه است، موردی عمومی است. در بسیاری ساختمانها شکل و پوشش ساختمان بطور کامل مجزّای از سرویسهای مکانیکی طراحی می‌گردد. معمولاً از مهندسین تهویه مطبوع خواسته می‌شود سیستمهائی طراحی و نصب کنند که بدون اشکال در ساختمانها جایگزین شوند (مثلاً در پشت سقف کاذب و غیره): اغلب این سیستم‌ها نیازمند فائق آمدن بر نارسائی‌های محیطی بر اثر ضعف طراحی در پوشش ساختمان، می‌باشند.

نگرشی سنتی به تهویه مطبوع، مشابه آنچه که در بخش ۱۱-۲ توصیف گردیده است، اتخاذ سیستم نرخ جریان حجمی ثابت می‌باشد، اگرچه این شیوه طراحی، ضعفهای ذاتی بسیاری را داراست، که می‌توان کم و بیش بصورت ذیل دسته‌بندی کرد:

- ضعفهای طراحی ساختمان
- ضعفهای سیستم سرماسازی؛ و
- ضعفهای سیستم هوا

۱۱-۴-۱ ضعفهای طراحی ساختمان

ساختمانها باید در بسیاری از محیطهای سخت سرتاسر جهان بخوبی عمل کنند. در اقلیمهای کویری داغ از آنها خواسته می‌شود که ساکنین خود را خنک نگهدارند، درحالیکه در مناطق قطبی گرم نگهداشتن امری مهم است، بنابراین ساختمانها باید بگونه‌ای طراحی شوند که پوشش خارجی، تعدیل کننده اولیه اقلیم باشند و سرویسهای مکانیکی داخلی بعنوان تنظیم کننده نهائی نارسائی‌های پوشش خارجی ساختمان در نظر گرفته شوند این ممکن است بنظر واضح آید، لیکن بدان روشنی نیست که توسط بسیاری از طراحان ساختمان درک گردد. در تگزاس، که دارای اقلیمی خشک و گرم است، ساختمانهای اداری بسیاری که مزین به شیشه هستند، وجود دارند. اگر سیستم‌های بسیار بزرگ تهویه مطبوع جهت جبران پوشش نامطلوب ساختمان نمی‌بود، کار کردن در این ساختمانها، غیرقابل تحمل می‌نمود. این بظاهر وضعیت تمسخرآمیز به سه دلیل خاص بروز می‌کند.

۱- کارآیی انرژی اغلب دارای الویت کم می‌باشد؛ به حداقل رساندن هزینه‌های اولیه معمولاً جزو اولویت‌های نخستین است.

۲- طراحان حرفه‌ی اغلب جدای از یکدیگر کار می‌کنند، و دارای درک کمی از فیزیک ساختمان،

یا چگونگی عملکرد ساختمان در مواقع اشغال آن، می‌باشند.

۳- انگیزه زیادی جهت نگهداری وضعیت موجود وجود دارد. مهندسین طراح سرویس‌های ساختمان معمولاً مبلغی را دریافت می‌دارند که نسبتی ثابت از مجموع هزینه‌های سرمایه‌ای سرویس‌های ساختمان است. در نتیجه، انگیزه کمی برای کاهش ظرفیت سرویس‌های مکانیکی ساختمان وجود دارد. در راستای حذر کردن از ایجاد ساختمانهای اتلاف‌گر انرژی، قرارگیری کارآئی انرژی در صدر ذهن طراحان مهم است. تصمیمات حساسی که در مرحله طراحی اتخاذ می‌گردد دارای اثرات عظیمی هم بر روی هزینه‌های سرمایه‌ای و هم عملیاتی می‌باشد. اگر پوشش ساختمان تعدیل کننده آب و هوائی ضعیفی باشد آنگاه ساختمان کسب حرارت بالای تابستانه و از دست دهی گرمای بالای زمستانه را تجربه خواهد کرد که نصب بویلرهای بزرگ و چیلرهای سرماسازی را الزامی می‌نماید. اگرچه، این اقلام از دستگاهها ممکن است فقط در بار پیک چند ساعته در طول سال کار کنند، در نتیجه در بیشتر اوقات سال بدون کارآئی مناسب در پاره ـ بار کار خواهند کرد. بالعکس، اگر پوشش ساختمان بطور موفقیت‌آمیزی پیکهای تابستانه و زمستانه را کاهش دهد، آنگاه اندازه‌های تأسیسات را می‌توان بطور چشمگیری کاهش داد، که منجر به کارکرد تأسیسات نزدیک به ظرفیت اسمی شان برای بخش بزرگی از سال می‌گردد. روشن است که وضعیت اخیر بهره‌برداری بهتری از سرمایه نسبت به وضعیت قبلی می‌باشد.

۱۱-۴-۲ ضعفهای سیستم سرماسازی

استراتژی نصب تأسیسات سرماسازی جهت برآورده ساختن بار سرمایشی تابستانه ساختمانها اغلب منجر به تأسیسات مکانیکی بیش از اندازه بزرگ غیر کارآمد، در پاره بار، برای بخش عظیمی از سال‌می گردد. هم‌چنین از آنجائیکه کابلهای بزرگتر، ترانسفورمرها و سوئیچینگ‌ها باید در جهت برآمده ساختن ظرفیت پیک سرماسازی، نصب شوند، می‌تواند منجر به نصب تأسیسات الکتریکی بسیار بیش از اندازه شود. نه فقط چنین سیستمی هزینه سرمایه‌ای بالائی را داراست، بلکه از نظر عملیاتی نیز گران است زیرا الکتریسیته زمان پیک را مورد مصرف قرار می‌دهد. در کشورهای گرم هم چنین ممکن است باعث نرخهای مرتبط با دیماند بالای الکتریکی را نیز گردد. چیلرهای سرماسازی اغلب بیش از اندازه بزرگ می‌باشند زیرا:

- طراحان سیستم کسب حرارت پیک ساختمان را برای اطمینان از اینکه تأسیسات کوچکتر

نباشند، بیشتر تخمین می‌زنند.

● طراحان سیستم فرضیات طراحی را بکار می‌گیرند که بوضوح غیر واقعی است. برای مثال، در بیشتر ساختمانها بار سرمایشی واقعی بسیار کمتر از بار سرمایشی طراحی شده است. این اختلاف اصولاً بدین سبب است که طراحان کسب حرارت بسیار بالای لوازم اداری را مفروض می‌دارند که در عمل بندرت بوقوع می‌پیوندد.

● چیلرهای سرماسازی اغلب برای اقلیمهای داغ بمانند آنچه که در ایالات متحده یافت می‌شود، درجه بندی شده‌اند. لذا زمانیکه این ماشینها در موقعیتهای اقلیمی معتدل بمانند بریتانیا نصب شوند، کندانسورهای آنها بیش از اندازه بزرگ بوده و آنها حتی زمانیکه تحت شرایط بار پیک باشند، در پاره - بار عمل می‌کنند.

بیش از اندازه بزرگ بودن عمومی ماشینهای سرماسازی منجر به مجموعه کارآئی انرژی بسیار ضعیف می‌گردد. تخمین زده شده است که در تأسیسات سرماسازی در حال کار کرد در بریتانیا، متوسط چیلر هوا خنک دارای یک COP ناخالص حدود ۱/۹ می‌باشد، درحالیکه چیلرهای آب خنک متوسط ناخالص COP، ۳ را نشان می‌دهند (۲). این ارقام پائین، عمدتاً بخاطر طراحی بیشتر چیلرهای سرماسازی استفاده شده در بریتانیا، بطور مشخص ماشینهائی که شیر انبساط ترموستاتی استفاده کرده و نسبتاً فشار تقطیر ثابتی را تحت شرایط پاره - بار حفظ می‌کنند، می‌باشد. این ماشینها COPهای ضعیفی تحت شرایط پاره - بار نشان داده، که اسباب ناخرسندی است چرا که برای بیشتر اوقات سال تحت این وضعیت کار می‌کنند.

شماری از استراتژیهای طراحی جایگزین وجود دارند که می‌تواند جهت کاهش چشمگیر اندازهٔ تأسیسات سرماسازی و بهینه کردن هزینه‌های عملیاتی مورد استفاده قرار گیرند. این استراتژیهای عبارتند از:

● استفاده از یک پوشش ساختمان مدافعی در برابر آفتاب، تلفیقی از خصیصه‌هائی نظیر سایه‌بان خارجی و شیشه منعکس کننده آفتاب جهت کاهش بار سرمایشی پیک.

● استفاده از سازه سنگین حرارتی جهت جذب هم گرمای داخل و هم گرمای آفتاب در خلال مقاطع پیک.

● استفاده از تهویه شبانه جهت تخلیه سازه ساختمان از حرارت تجمع یافته در خلال

اوقات‌روز.

- استفاده از ذخیره حرارتی یخی جهت تغییر بخشی از بار سرمایشی اوقات پیک به شب هنگام.
- استفاده از استراتژی درجه حرارت شناور هوای داخلی، که افزایش درجه حرارتهای داخلی را در زمانی که شرایط بطور غیرمترقبه‌ای گرم است، مجاز می‌دارد.

۱۱-۴-۳ ضعفهای سیستم هوا

استراتژی بکارگیری یک سیستم تمام هوا جهت تهویه هوای اطاق دارای معایب عمده‌ای است که حمل و نقل حجمهای عظیمی از هوا را الزامی نموده و لذا ذاتاً ناکارآمد است. این مورد عمومی است که حجم بسیار بالائی از هوای تأمینی جهت خنک کردن محسوس فضای اطاق نسبت به مقداری که صرفاً برای هوادهی لازم می‌باشد، مورد نیاز است. در نتیجه تدارک سرمایش عمومی با استفاده از یک سیستم تمام هوا منجر به استفاده از پروانه‌های بزرگ و دستگاههای جابجا کننده مربوطه شده، و هم چنین سقف کاذب بزرگ (یا کف) جهت جادادن کانال بیش از اندازه بزرگ را می‌طلبد. اگر چه یک راه‌حل گران است، که منجر به افزایش مخارج انرژی و سرمایه می‌گردد، سیستمهای تمام هوا هنوز بسیار متداول می‌باشند، با وجود اینکه جایگزین ممتازی که آب سرد را جهت سرمایش محسوس بکار می‌گیرد، وجود دارد. یک چنین استراتژی جایگزینی، استفاده از سقف سرد برای سرمایش محسوس است، درحالیکه سیستم کانال را فقط بمنظور هوادهی در حالت رزرو دارد. این استراتژی منجر به کاهش زیادی در اندازه‌های کانال و پروانه می‌گردد.

دیگر عیب عمده نگرش حجم ثابت مشروحه در بخش ۱۱-۲ اینست که کانال هوا و اندازه‌های پروانه‌ها تحت شرایط پیک تابستانه تعیین می‌گردد که ممکن است فقط برای چند ساعتی در سال ماندگار باشد. برای بقیه سال پروانه‌ها حجمهای عظیمی از هوا را بدون مصرف به اطراف می‌رانند، با این نتیجه که مصرف انرژی در جابه جایی هوا زیاد می‌شود. بسیاری طراحان سیستم تهویه مطبوع جدل می‌کنند که سیستمهای حجم ثابت دارای توانایی بالقوه تدارک مقادیر زیادی از سرمایش مجانی در خلال فصول بهار و پاییز، می‌باشند. این متأسفانه یک درک ناصحیح است زیرا پروانه‌های بیش از اندازه بزرگ چنان مقادیر عظیمی از انرژی الکتریکی را مصرف می‌کنند که هر صرفه‌جوئی در انرژی سرمایشی را خنثی می‌کند. شاهد این مورد را می‌توانید در جدول ۱۱-۱ ملاحظه کنید، که در آن ساختمانهای با تهویه مطبوع تقریباً بیش از دو برابر انرژی الکتریکی

توسط سیستم‌های توزیع هوا در مقایسه با ماشینهای سرماسازی، مصرف می‌شود. یک استراتژی جایگزین که بر این مشکل فائق می‌آید گرفتن یک سیستم با حجم هوای متغیر است. که کمیت هوای در حال جابجائی با بار سرمایشی کاهش می‌یابد.

در سیستمهای هوای کانالی اندازه بندی کانالهای اصلی با فرض سرعتهای هوای $۴m/s$ تا $۷m/s$ عملی مرسوم است. طراحان، این سرعتهای نسبتاً بالای هوا را در جهت حفظ اندازه‌های کانال در یک حداقل، استفاده می‌کنند. متأسفانه، استفاده از چنین سرعتهای بالائی منجر به مقاومتهای زیاد سیستم می‌شود.

برق مصرفی پروانه در یک سیستم کانال هوا را می‌توان با استفاده از معادله (۱۱-۲) تعیین نمود.

برق پروانه،

$$W=\dot{V}\times\Delta p_{Total} \qquad (۲-۱۱)$$

که در آن $\dot{V}$ میزان جریان حجم هوای تخلیه شده توسط پروانه $\left(\frac{m^3}{s}\right)$، و Δp_{Total} مقاومت یا افت فشار کل سیستم است. (Pa)

از معادله (۱۱-۲) می‌توان مشاهده کرد که یک ارتباط خطی بین برق پروانه و مقاومت سیستم وجود دارد؛ هر چه مقاومت سیستم بالاتر، انرژی بیشتری توسط پروانه مصرف می‌گردد. مقاومت سیستم عبارت از جمع کل افت فشار ساکن سیستم و افت فشار متحرک سیستم، می‌باشد. بویژه فشار متحرک قویاً افت فشار در سرتاسر خمیدگی‌ها و زانوئی‌های کانال را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از معادله (۱۱-۳) می‌توان مشاهده کرد که افت فشار در سرتاسر لوازم کانال تابعی از مربع سرعت هوا می‌باشد.

افت فشار در سرتاسر اتصالات کانال:

$$\Delta p=k\times(۰/۵\rho V^2) \qquad (۳-۱۱)$$

که در آن k فاکتور اتلاف فشار متحرک برای اتصالات کانال، ρ چگالی هوا (kg/m^3)، V سرعت هوا (m/s)، و $(۰/۵\rho V^2)$ فشار متحرک می‌باشد (Pa).

با منظور کردن معادلات (۱۱-۲) و (۱۱-۳) مشاهده اینکه استفاده از سرعتهای بالای هوا (مثلاً در محدوده $5m/s$) منجر به نیروی برق بالائی برای پروانه‌ها و مصرف بالای انرژی می‌گردد، مشکل نیست. در حالیکه، اگر سرعتهای هوا به حدود $1m/s$ تا $2m/s$، که در برخی ساختمانهای کم مصرف انرژی بدینگونه است، کاهش یابد، آنگاه مصرف انرژی پروانه بطور چشمگیری نزول می‌کند.

۱۱-۵ شیوه‌های جایگزین

منتقدان برخورد سنتی در طراحی سیستمهای تهویه مطبوع که در بخش ۱۱-۴ مطرح گردید بسیاری نارساییهای آنرا مشخص نموده و اشاراتی بر شماری از راه‌حلهای ممکن دارند. استراتژیهای کم مصرف انرژی جایگزین متعددی وجود دارند که امکان اتخاذ آنها جهت فائق آمدن بر معایب روش متداول، هست. اگر چه که آنها دارای پیوستگی با یکدیگر می‌باشند. برای مراجعه ساده، این استراتژیهای جایگزین را می‌توان کم وبیش بصورت ذیل دسته بندی کرد:

- استفاده از لوازم غیرفعال مقاوم در برابر آفتاب و اقدامات هوادهی طبیعی جهت کاهش نیاز به تهویه مطبوع؛
- جداسازی سردسازی محسوس و نقش هوادهی به دو جزء جداگانه لیکن بعنوان سیستمهای مکمل یکدیگر.
- استفاده از سیستم‌های جریان حجم هوای متغیر و کم سرعت
- استفاده از جرم حرارتی ساختمانها جهت جذب گرمایی که سپس می‌توان به انواعی از تکنیکهای هوادهی آنرا دفع کرد.
- استفاده از تکنیکهای ذخیره حرارتی جهت تغییر بار سرمایشی پیک به شبانگاهان.
- استفاده از تکنیکهای هوادهی جابجائی.
- استفاده از سرمایش تبخیری؛ و
- استفاده از تکنیکهای سرمایشی خشک.

بسیاری از تکنیکهای صرفه‌جویی انرژی لیست شده در بالا در این بخش به جزئیات مورد بحث واقع می‌شود. برخی از تکنیکهایی که بطور خاص مرتبط با طراحی پوشش ساختمان می‌باشند

بطور اختصاصی در بخش ۱۳ مورد بحث هستند.

۱۱-۶ سرماسازی کارآمد از نظر انرژی

اگرچه شماری از استراتژیهای سرمایشی جایگزین در این بخش مورد بحث قرار گرفت، لیکن بسیاری کاربردها هستند که خواستار استفاده از تأسیسات سرماسازی متعارف می‌باشند. بنابراین درک فاکتورهایی که مصرف انرژی ماشینهای سرماسازی تراکم بخاری متعارف را تحت تأثیر قرار می‌دهند، الزامی است. فاکتورهای عمده مؤثر در کاربرد انرژی عبارتند از:

- درجه حرارتهای تبخیری و چگالشی مورد استفاده؛
- نوع سرماساز مورد استفاده؛
- نوع کمپرسور و کندانسور مورد استفاده؛
- روش یخزدایی مورد استفاده در تبخیرکننده؛ و کنترلهای سیستم.

هر کدام از این فاکتورها می‌توانند دارای تأثیر عمیقی بر روی مصرف انرژی کلی بوده و لذا ارزش بررسی بیشتر را دارا می‌باشند.

۱۱-۶-۱ تبخیرکننده‌ها

کارآیی سیستمهای تراکم بخار با افزایش درجه حرارت تبخیر، افزایش می‌یابد. عموماً، هر چه درجه حرارت تبخیر بالاتر استفاده شود، COP سیستم زیادتر بوده و مصرف انرژی پایین می‌آید. تخمین زده شده است که افزایش $1°C$ درجه حرارت تبخیر منجر به کاهش بین ۲٪ و ۴٪ در هزینه عملیاتی می‌شود (۹). بنابراین حفظ درجه حرارتهای تبخیر بالا تا که در آن از نظر عملی میسر است، مطلوب می‌باشد. حداکثر انتقال حرارت در سرتاسر تبخیرکننده باید حاصل آید تا از افت درجه حرارت تبخیر، جلوگیری شود. در عمل، با افزایش جریان مایع در سرتاسر تبخیرکننده، یا با افزایش مساحت سطح آن، می‌توان بدین امر نائل آمد. هم چنین، در راستای اطمینان از درجه حرارتهای تبخیر بالا لازم است که کنترل خوبی از سیستم بعمل آید.

در کاربردهای سرمایشی هوا که در آن تبخیرکننده ممکن است زیر صفر $°C$ کار کند فضای پره‌ها باید اجازه تجمع یخ را بدهد. در جهت حفظ یک جریان هوای مکفی از درون تبخیرکننده لازم

است که کویل را متناوباً یخزدایی کرد. تکنیکهای یخزدایی مستلزم استفاده از یک المنت حرارتی الکتریکی تعبیه شده در کویل بوده یا بالعکس کردن تناوب سیکل سرماسازی تا که تبخیرکننده بطور مؤثر مبدل به یک کندانسور داغ شود. در حالیکه برای کارکرد صحیح سیستم ضروری است، فرآیند یخزدایی می‌تواند یک منبع بالقوه اتلاف انرژی باشد. بنابراین اهمیت دارد که عمل یخزدایی فقط زمانیکه کاملاً ضروری است آغاز شود و اینکه گرمای یخزدایی بطور مساوی در کلیه فضای پره‌ها توزیع گردد. یخزدایی طولانی اتلاف‌گر انرژی بوده و بنابراین سیکل یخزدایی باید هر چه زودتر که میسر است متوقف گردد. سیستم‌های یخزدا اگر بطور صحیح مورد کنترل و نظارت نباشد می‌توانند بی جهت مقادیر زیادی از انرژی را تلف کنند.

۱۱-۶-۲ کندانسورها

درجه حرارت تقطیر می‌تواند تأثیر چشمگیری بر روی COP سیستم داشته باشد، درجه حرارتهای پائین تقطیر معمولاً منجر به هزینه‌های عملیاتی پائین‌تر می‌گردند. تخمین زده شده است که یک افت $1°C$ در درجه حرارت تقطیر، کاهش هزینه‌های عملیاتی حدود ۲ تا ۴ درصد را بدنبال دارد(۹). درحالیکه، اگر فشار تقطیر بطور گسترده‌ای در نوسان باشد، مشکلاتی می‌تواند در ماشینهائی که از شیرهای انبساط ترموستاتی بهره می‌گیرند بروز کند. این بدین سبب است که چنین شیرهائی قادر به کنترل مطمئن جریان سرماساز در تغییرت فشار پائین، نیستند. در جهت فائق آمدن بر این مشکل، این ماشینها اغلب برخی انواع کنترل فشار کندانسور را جهت ارتقاء، فشار کندانسور بطور مصنوعی، اختیار می‌کنند. این منجر به مصرف انرژی بالای غیرالزامی گشته، و اگر بجای آن وسائل الکترونیکی انبساط استفاده شود، می‌توان از این امر حذر کرد.

سه نوع سیستم کندانسور اصلی وجود دارند که بطور متعارف مصرف می‌شوند: کندانسورهای هوا خنک، کندانسورهای آب خنک و کندانسورهای تبخیری، که هر کدام آنها دارای خصوصیات مختص به خودش است. کندانسورهای هوا خنک بطور نسبی معمول‌ترین سیستم دفع حرارت می‌باشند. آنها عموماً شامل یک پروانه و مبدّل حرارتی لوله‌ای می‌باشند که بخار سرماساز تقطیر می‌شود. هوا بر روی مبدّل حرارتی توسط پروانه‌ها رانده می‌شود. کندانسورهای خوب طراحی شده، باید در درجه حرارتی که بالاتر از $14°C$ بالای درجه حرارت هوای محیطی نباشد، کار کنند(۱۰). در سیستم‌های بزرگتر هوا خنک، فشار کندانسور اغلب با خاموش کردن یا آهسته کردن پروانه‌ها کنترل می‌شود. اگرچه این عمل ناکارآمد است ولی در مصرف انرژی

توسط پروانه‌های کندانسور صرفه‌جوئی می‌کند. یکی از محاسن مهم کندانسورهای هوا خنک اینست که آنها خطر میکرب لژیونلا را ندارند

کندانسورهای آب خنک بسیار منسجم‌تر از رقبای هوا خنک خود هستند و شامل یک پوسته محتوی سرماساز، که از داخل آن لوله‌های پر آب عبور می‌کنند، می‌باشد. آب سرد کننده ثانویه از داخل این لوله‌ها به یک برج خنک کننده، که در آن گرما نهایتاً از طریق فرآیند سرکنندگی یک تبخیرکننده دفع می‌شود، جریان می‌یابد. در یک سیستم کارآمد، افزایش درجه حرارت آب عبوری از کندانسور بین درجه حرارت تقطیر و درجه حرارت آبی که کندانسور را ترک می‌کند و اختلاف باید $5°C$ باشد(۱۰).

سیستم‌های آب خنک بطور قابل ملاحظه‌ای کارآمدتر از سیستم‌های هوا خنک می‌باشند، که بترتیب، اولی نیازمند یک برج خنک کننده با میزان جریان هوای حدود $۰/۰۴m^3/s$ تا $۰/۰۸m^3/s$ در هر kW از حرارت دفع شده و دومی نیازمند $۰/۱۴m^3/s$ تا $۰/۲m^3/s$ برای انجام وظیفه مشابه می‌باشد (۱۱). اگرچه، خطر ازدیاد باکتری لژیونلا در برجهای خنک کننده اگر آنها مورد نظارت قرار نگرفته و مرتباً با مواد شیمیایی کشنده باکتری فرآوری نشوند، وجود دارد. به این دلیل کندانسورهای آب خنک در سالهای اخیر کم طرفدار شده‌اند.

کندانسورهای تبخیرکننده کم طرفدارتر از کندانسورهای آب خنک و هوا خنک می‌باشند. آنها شامل لوله‌های تقطیر سرماساز که جدار خارجی مرطوب داشته و هوا بر روی آنها رانده می‌شود، می‌باشند. تبخیر آب در خارج لوله‌ها میزان دفع گرما را افزایش داده لذا این نوع از کندانسور کارآمدتر از رقیب هوا خنک خود می‌باشد. اگرچه کندانسورهای تبخیری یقیناً یک ریسک لژیونلاّ را دارا هستند.

۱۱-۶-۳ کمپرسورها

کمپرسور تنها بخش یک سیستم تراکم بخار است که انرژی مصرف می‌کند. لذا درک صحیح فاکتورهائی که بر کارکرد کمپرسور تأثیرگذار هستند مهم است. کارآمدی یک کمپرسور را می‌توان به چندین طریق اظهار داشت. با درنظر گرفتن کل مصرف انرژی حساس‌ترین کارآئی، کارآئی ایزونتروپیک است، که بشرح ذیل عنوان می‌گردد:

$$\text{کارآیی ایزونتروپیک} = \frac{\text{توان ورودی "بدون اتلاف" ایده‌آل}}{\text{توان واقعی ورودی به شفت}} \times ۱۰۰ \qquad (۴-۱۱)$$

باید متذکر شد که کارآئی ایزونتروپیک ناکارآئی موتور و محرک را، که باید برای زمان تعیین کارآئی کلی یک کمپرسور مجاز داشته شود، به حساب نمی‌آورد. در بیشتر انواع کمپرسورها، علی‌الخصوص کمپرسورهای چرخشی و گریز از مرکزی، کارآئی‌ها بطور چشمگیری تحت کار کرد پاره - بار افت می‌کنند. کارآئی موتور کمپرسور نیز در پاره- بار کاهش می‌یابد. بنابراین عموماً، چنانچه کارآئی‌های بالا می‌باید حفظ شود، از کارکرد پاره - بار باید حذر گردد.

کارکرد پاره - بار دلیل اصل کارآئی ضعیف تأسیسات سرماسازی است. بسیاری از ماشینهای سرماسازی کمتر از ۲۰٪ ایام سال را تحت شرایط کارکرد طراحی اسمی خودشان، می‌گذرانند. در خلال بقیه سال در پاره - بار کار می‌کنند، که قسمتی به سبب درجه حرارتهای خنک‌تر محیط و قسمتی به سبب وظائف خنک کنندگی کاهش یافته، می‌باشد. مگر اینکه این شرایط پاره - بار در مرحله طراحی بطور صحیحی مجاز شده باشد، وگرنه COP کلی سیستم ضعیف خواهد بود. بنابراین اهمیت دارد کمپرسوری که کارآئی پاره - بار خوبی را نشان می‌دهد، انتخاب گردد. کمپرسورهای پیستونی چند سیلندری به کارآئی‌های پاره - بار منطقی نائل می‌آیند چرا که آنها قادر به تخلیه سیلندرها به ترتیبی که خروجی، گام به گام کاهش یابد، بوده هستند. (مثلاً ۷۵، ۵۰ و ۲۵٪). هم چنین محرکهای با سرعت متغیر را می‌توان استفاده کرد. اینها کنترل انعطاف‌پذیر خوبی ارائه داده و می‌توانند به کارآئی‌های منطقی بالای ۳۰٪ از بار - کامل نائل آیند. (۱۲).

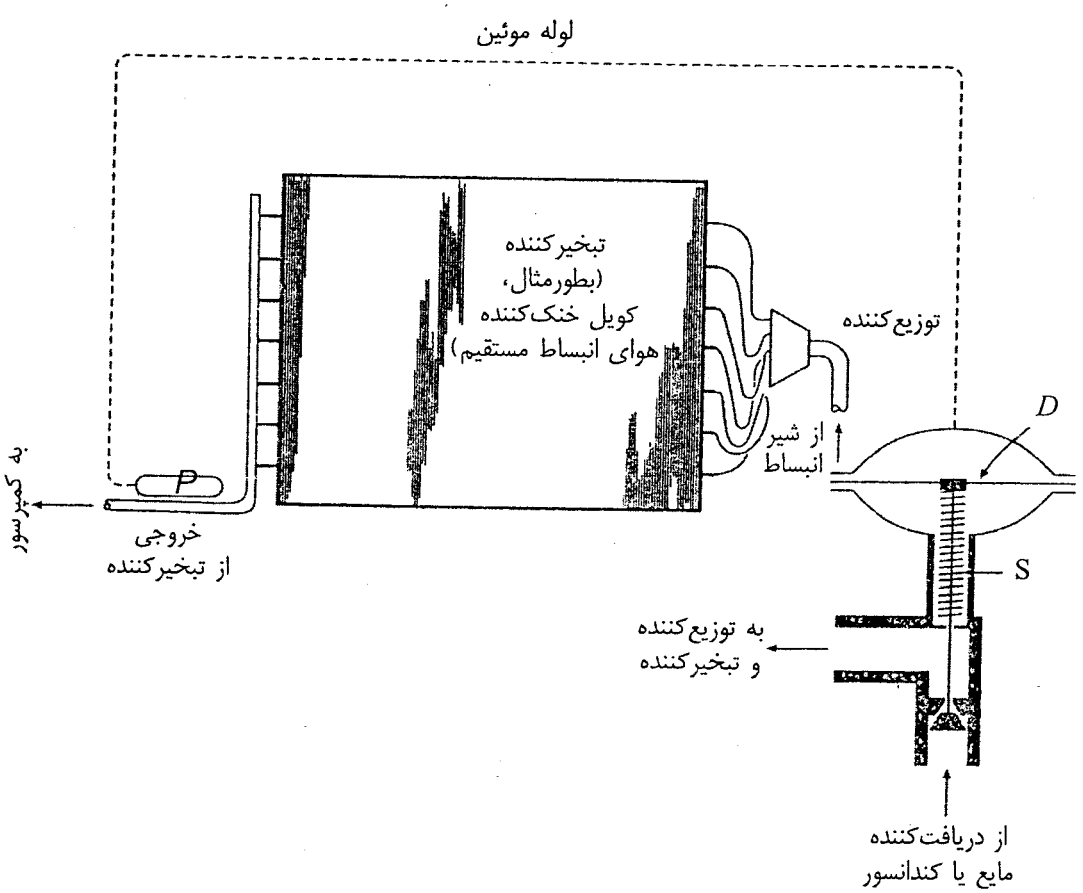
۱۱-۶-۴ تجهیزات انبساطی

در یک ماشین سرماسازی شیر انبساط جهت کاهش فشار مایع سرماساز در حال برگشت از فشار تقطیر به فشار تبخیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. هم چنین جریان مایع سرماساز به تبخیرکننده را کنترل می‌کند. لذا اهمیت دارد که شیرهای انبساط بطور صحیحی انتخاب و نصب گردند، زیرا کارکرد نامطلوب شیر انبساط می‌تواند به کارآئی کاهش یافته انرژی بیانجامد.

شیرهای انبساط ترموستاتی معمول‌ترین نوع لوازم تنظیم سرماساز مورد استفاده هستند. آنها جریان سرماساز در گذر از سیستم را با باز کردن و بسته نمودن یک دهانه کوچک با استفاده از سوزنی که به یک دیافراگم متصل است، تنظیم می‌کنند (همانگونه که در شکل ۱۱-۸ نشان داده شده است). دیافراگم به تغییرات فشار ایجاد شده در داخل یک محفظه شیشه‌ای کنترل که درجه حرارت سرماساز در حال ترک تبخیرکننده را احساس می‌کند، پاسخ می‌دهد. هم محفظه شیشه‌ای و هم شیر حاوی سرماساز می‌باشند. هم چنان که بار بر روی تبخیرکننده تغییر می‌کند، درجه

حرارت سرماساز در حال ترک تبخیرکننده نیز تغییر می‌یابد. محفظه شیشه‌ای کنترل، این تغییرات در درجه حرارت را احساس کرده و بطور اتوماتیک جریان سرماساز را جهت تغییرات باری تسهیل می‌کند.

عیب بزرگ شیرهای ترموستاتی اینست که نمی‌توانند با تغییرات زیاد فشار از قبیل فشارهائی که در زمان مجاز داشتن فشار تقطیر به شناور بودن با درجه حرارت هوای محیط، ایجاد می‌گردد، کنار آیند. فرآیند شیرهای انبساط ترموستاتی آمادگی کارکرد غیرمطلوب در زیر ۵۰٪ از ظرفیت اسمی خودشان را دارند (۱۳). بنابراین در ماشین‌های سرماسازی که از شیر انبساط ترموستاتی استفاده می‌کنند اغلب حفظ یک درجه حرارت تقطیر بالا در خلال شرایط درجه حرارت پائین محیط، الزامی است.



شکل ۱۱-۸ لوازم انبساط ترموستاتی

می‌توان از بحث در بخش ۱۱-۶-۲ مشاهده کرد که اگر اجازه افت فشار تقطیر داده شود، *COP* افزایش می‌یابد. بنابراین در تئوری، کارآئی سیستم باید زمانی که درجه حرارت محیط افت می‌کند،

بهتر شود. متأسفانه، به سبب مشخصات عملیاتی شیرهای انبساط ترموستاتی بهره‌گیری از این وضعیت امکان‌پذیر نمی‌باشد. لذا شیرهای انبساط ترموستاتی بطور ذاتی غیرکارآمد هستند. در سالهای اخیر تکنولوژی جایگزینی ظهور کرده که بر این مشکل فائق می‌آید. با استفاده از شیرهای انبساط الکترونیکی، امکان دارد همزمان با حفظ فشار تبخیر ثابت، فشار تقطیر افت کند. بی‌شباهت به شیرهای انبساط ترموستاتی متعارف، که بر اساس درجه گرمایش ویژه در تبخیرکننده کار می‌کنند، شیرهای انبساط الکترونیکی یک میکروپروسسوری دارند که بطور مدام موقعیت شیر، درجه حرارت مایع در تبخیرکننده، و درجه حرارت بخار در حال ترک تبخیرکننده را بررسی می‌کند. بنابراین آنها می‌توانند به سرعت پاسخگوی تغییرات دربار بوده و براساس فشارهای متغیر بالای بین کندانسور و تبخیرکننده نمی‌باشند. متعاقباً، امکان دارد تحت شرایط محیطی خاص (دمای پائین) اجازه داد که فشار تقطیر افت کرده و COP بهینه گردد.

۱۱-۶-۵ بازیافت گرما

ماشینهای سرماسازی تراکم بخاری بطور ساده نوع خاصی از پمپ حرارتی هستند. این بدان معنی است که آنها مقادیر عظیمی از گرمای اتلافی در کندانسور را دفع می‌کنند. در بسیاری کاربردها، از طریق کمی دقت نظر در مرحله طراحی، امکان بهره‌گیری سودمندانه از این گرمای اتلافی جهت کاهش هزینه‌های انرژی، وجود دارد. در تأسیسات سرماسازی، گرما را می‌توان به طرق ذیل بازیافت نمود؛

- تخلیه گاز کمپرسور، که عموماً در محدوده ۷۰ تا ۹۰ درجه سانتیگراد است، لیکن می‌تواند در برخی تأسیسات تا بالای $150^{\circ}C$ باشد؛ و
- کندانسور که عموماً ۱۰ تا ۳۰ درجه سانتیگراد بالای درجه حرارت محیطی است.

گرمای اتلافی با کیفیت بالا را می‌توان از گاز تخلیه شده کمپرسور بوسیله استفاده از یک مبدل حرارتی دی سوپرهیتر[1]، بازیافت نمود. این وسیله، گرما را از بخار با درجه حرارت بالا قبل از اینکه به کندانسور برسد، بازیافت می‌کند. در این مقطع از سیکل، بخار در بالاترین درجه حرارت خود بوده و بنابراین انتقال حرارت در بیشترین حد می‌باشد. قرارگیری دی سوپر هیترها در بالای

1- Desuper heater

کندانسورها مهم است چرا که به این ترتیب اگر بخشی از بخار سرمازا میعان شود، مایع می‌تواند به راحتی تخلیه شود.

هم چنین امکان بازیافت حرارت در کندانسور هست. اگر چه، به سبب اینکه درجه حرارتهای تقطیر باید بطور ایده‌آل در پایین‌ترین حد ممکن باشند، هر گرمای بازیافتی در اینجا بطور اجتناب ناپذیری در درجه حرارت نسبتاً پایینی خواهد بود. بهرحال کیفیت این گرما باید برای پیش گرمایش آب داغ خانگی کافی باشد. اگر درجه حرارتهای تقطیر بالاتر در نتیجه هر برنامه بازیافت گرمای پیشنهادی، متصور است، جهت اطمینان از عاید شدن منافع اقتصادی، تحلیل دقیقی باید اتخاذ گردد. بخاطر داشته باشید، بسیاری از برنامه‌های باصطلاح صرفه‌جویی انرژی در عمل هزینه‌های انرژی را افزایش داده‌اند.

۱۱-۷ جداسازی سرمایش محسوس و هوادهی

زمانی که تهویه مطبوع را مورد ملاحظه قرار می‌دهیم، امکان صرفه‌جویی مقادیر قابل توجهی از انرژی توسط جداسازی نقش‌های سرمایش محسوس و هوادهی به دو سیستم جداگانه، هست. هم چنین، این کار کاهش زیادی در اندازه‌های کانال و پروانه را مقدور می‌سازد. یک روش معمول جداسازی این دو نقش استفاده از یک سیستم کویل پروانه‌ای است، که آب سرد را از طریق مبدل حرارتی آبی/ هوایی (تلفیق پروانه‌های باز چرخشی) واقع شده در واحدهای داخل اطاق، به چرخش درمی آورد. اگر چه کویل‌های پروانه‌ای در بسیاری از کاربردها خوب عمل می‌کنند، اما فضای ارزشمند اطاق را اشغال کرده و هم چنین پرسروصدا می‌باشند. علاوه براین، آنها از پروانه‌های باز چرخشی بهره می‌گیرند که انرژی مصرف می‌کنند. یک شیوه جایگزین بدیع استفاده از سقفها یا ستونهای سرد غیرفعال می‌باشد، که شامل سطح سرد قرار داده شده در سطح بالای، داخل یک فضای اطاق می‌باشد. سقفها و ستونهای سرد سرمایش محسوس اطاق را انجام داده و انجام نقش هوادهی و سرمایش پنهان را به سیستم هوای کانالی واگذار می‌کنند.

سقفهای سرد توزیع باریکی دارند، و معمولاً شامل کویلی فلزی لوله‌ای شکلی هستند که به یک صفحه فلزی تخت متصل شده است. (همانگونه که در شکل ۱۱-۹ نشان داده شده است). آنها را می‌توان مستقیماً بر یک سازه کف بتونی استوار نموده، لذا احتیاج به یک سقف کاذب گرانقیمت را حذف می‌نماید. آنها معمولاً بگونه‌ای طراحی شده‌اند که میانگین درجه حرارت سطح حدود ۱۷ بوده، که در عمل با تأمین آب سرد در درجه پایین حدود $13^{\circ}C$ می‌توان به آن رسید. از آنجایی که

درجه حرارت‌های آب نسبتاً بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد، درجه حرارتهای تبخیر چیلر می‌تواند بالا باشد، و نتیجتاً COPهای سرماسازی بسیار خوبی حاصل می‌آید.

توان خنک کنندگی سقف‌های سرد با طراحی خاص مورد استفاده و شدت وقوع کوران هوا در سرتاسر مبدل حرارتی، متغیر است. عموماً خروجی حدود W/m^2 ۵۰ حداکثر مقداری است که می‌توان بدست آورد. این بدان معنی است که سقف‌های سرد برای کاربردهائی که کسب حرارت داخلی بسیار بالایی دارند، مناسب نمی‌باشند. گرما به سقف سرد از طریق جابجائی طبیعی و تشعشع منتقل می‌شود. حدوداً ۵۰٪ از انتقال حرارت، زمانی است که هوای گرم بالای فضای اتاق با سطح سرد برخورد می‌کند. مابقی انتقال حرارت توسط تشعشع از ساکنین اطاق و سایر سطوح گرم داخل فضای اتاق، انجام می‌پذیرد.

ظرفیت سرمایشی تشعشعی سقف‌های سرد دارای اهمیتی خاص است که ارزش اظهار نظر بیشتر را دارد. در رطوبتهای نسبی زیر ۷۰٪ آسایش حرارتی ساکنین ساختمان ابتدائاً توسط درجه حرارت هوای اطاق و درجه حرارت سطح اتاق، تعیین می‌شود. در جهت ارزیابی و به کمیت درآوردن آسایش حرارتی نسبی، برخی از شاخصهای آسایش حرارتی ارائه شده‌اند. اگرچه این شاخص‌های آسایشی مختصراً متفاوت از یکدیگر هستند، همگی در جستجوی به کمیت درآوردن انتقال حرارت جابجائی و تشعشعی به ـ و از ـ یک ساکن درون فضای اتاق، می‌باشند. متداولترین شاخصهای آسایش حرارتی مورد استفاده در بریتانیا درجه حرارت خشک می‌باشد. با داشتن سرعتهای هوای اطاق کمتر از m/s ۰/۱ (که معمولاً بدینگونه است)، درجه حرارت خشک را می‌توان بصورت ذیل بیان کرد:

$$t_{res} = ۰/۵t_a + ۰/۵t_r \qquad (۵-۱۱)$$

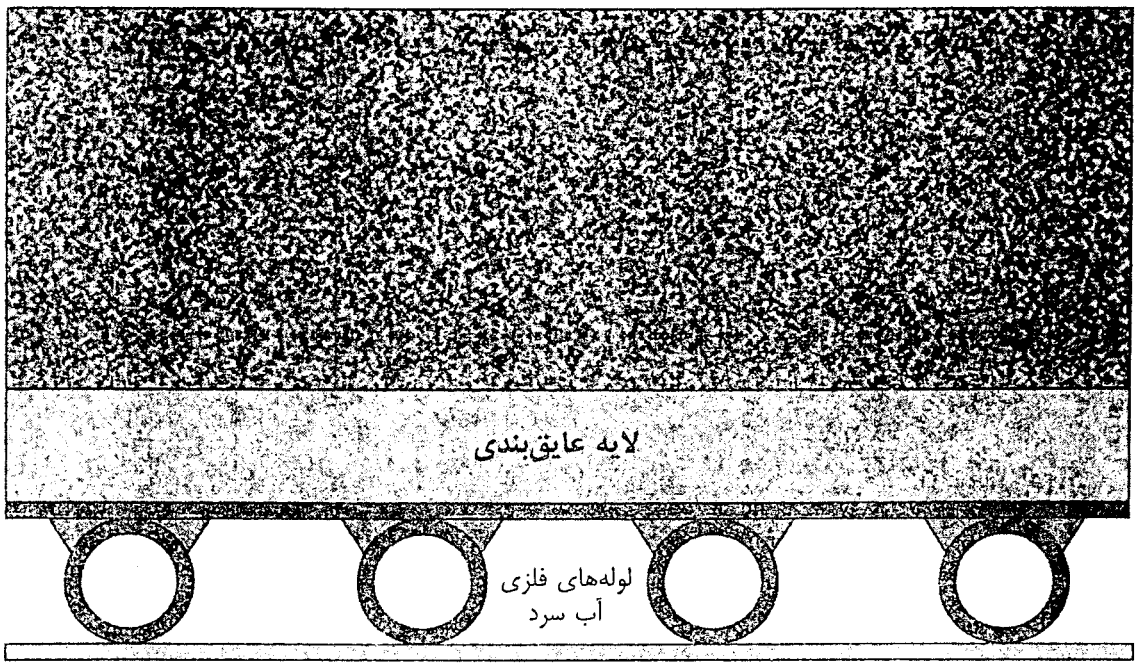
که در آن t_r درجه حرارت میانگین تشعشعی $(°C)$، و t_a درجه حرارت هوا است $(°C)$.

درجه حرارت میانگین تشعشعی، متوسط درجه حرارت سطح تمام سطوح قابل رؤیت در فضای اطاق می‌باشد و آن را می‌توان یا غیرمستقیم با استفاده از یک حرارت سنج گلوب یا از محاسبه درجه حرارتهای سطح، اندازه‌گیری کرد. برای بیشتر اطاقهای مکعب شکل، درجه حرارت میانگین تشعشعی در مرکز اطاق را می‌توان بصورت ذیل بیان داشت:

$$t_r = \frac{\sum(A_s \times t_s)}{\sum A_s} \qquad (۶-۱۱)$$

که در آن A_s مساحت سطح هر یک از اجزاء (m^2)، و t_s درجه حرارت سطح هر یک از اجزاء است $(°C)$.

با نصب مساحت سطح بزرگی از سقف سرد در $17°C$، امکان کاهش قابل توجه درجه حرارت میانگین تشعشعی اطاق وجود دارد. در نتیجه می‌توان به درجه حرارتهای هوا اجازه داد تا $23°C$ یا $24°C$ بدون هرگونه تأثیر منفی در آسایش نسبی افزایش یافته و در نتیجه در مصرف انرژی صرفه‌جوئی کرد.

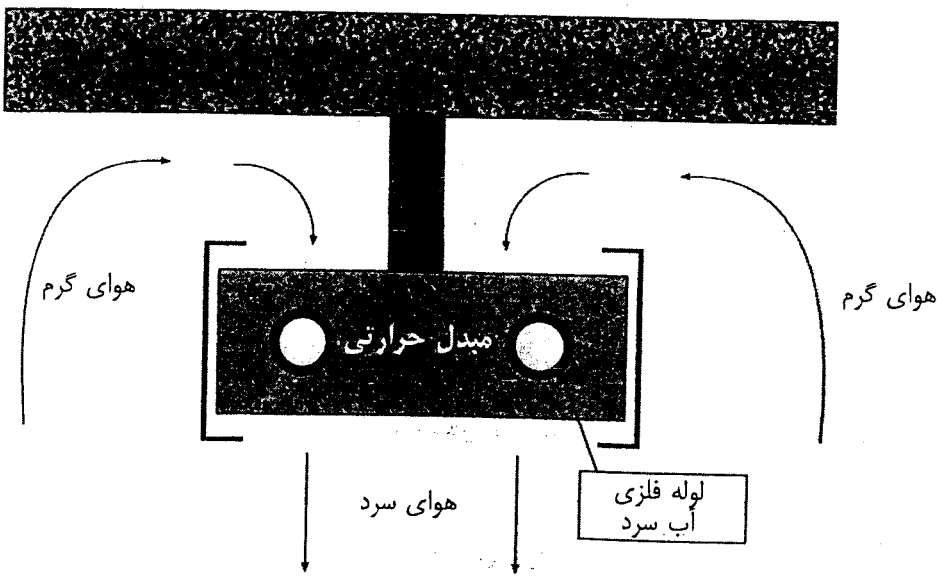


شکل ۱۱-۹ نمونه سقف سرد

تغییری در موضوع سقف سرد، سیستم ستون سرد غیرفعال است (شکل ۱۱-۱۰ را ببینید) ستون‌های سرد غیرفعال بر اساس اصولی مشابه سقف‌های سرد کار می‌کنند، لیکن آنها به بازده سرمایشی بسیار بالاتری می‌رسند. (مثلاً $185 W/m^2$) و ارائه دهنده سرمایش جابجائی بسیار بالاتری از سقف‌های سرد می‌باشند (مثلاً حدود ۸۵٪). اگرچه، این می‌تواند به سبب ایجاد کوران‌های نامناسب مشکلاتی ایجاد کند.

۱۱-۷-۱ تهویه

با بهره‌گیری از سقف‌ها یا ستونهای سرد، امکان رها کردن سیستم‌های کانالی و تمرکز انحصاری بر انجام تهویه و سرمایش پنهانی وجود دارد. معمولاً نیاز ساکنین اطاق به هوای تازه در محدوده $8\,l/s$ تا $12\,l/s$ برای هر نفر می‌باشد. اگرچه، زمانی که سقف‌ها یا ستونهای سرد را مورد استفاده قرار می‌دهیم سیستم هوادهی کانالی نیز باید تمام سرمایش پنهانی اطاق را بانجام برساند. در جهت انجام این امر معمولاً برای میزان هوادهی افزایش مختصری تا $18\,l/s$ برای هر نفر در نظر گرفته می‌شود(۱۴).



شکل ۱۱-۱۰ نمونه ستون سرد

با سقف‌ها و ستونهای سرد اطمینان از اینکه محتوای رطوبت هوای اطاق در سطح پائینی حفظ شود، اهمیت داشته، در غیر اینصورت احتمال وقوع تقطیر برروی سطح سرد وجود داشته و نهایتاً امکان شکل گرفتن "باران داخلی" میسر است. اطمینان از رطوبت زدائی هوای ورودی به تهویه اهمیت می‌بخشد، لذا درجه حرارت نقطه شبنم اطاق چند درجه‌ای پائین‌تر از درجه حرارت سطح سقفهای سرد باقی می‌ماند. شرایط هوای ایده‌آل برای یک اطاق دارای سقف سرد $24^{\circ}C$ و ۴۰٪ رطوبت نسبی می‌باشد.

۱۱-۸ ذخیره حرارتی سازه

اگرچه، بحث کاملی از نقش ذخیره حرارتی سازه در بخش ۱۳ نگاشته شده، شاید چند کلامی در

رابطه با موضوع در اینجا بی‌ربط نباشد. استفاده گسترده از سقفهای معلق و پوششهای کف در ساختمانها بدان معنی است که بگونه‌ای سازه‌های حرارتی سنگین وزن به سازه‌های حرارتی سبک وزن مبدل شده‌اند. این ساختمانهای با هدایت کم قادر به جذب حرارت زیادی نبوده و لذا درجه حرارتهای سطح روند افزایشی داشته، در نتیجه نیاز مبرمی به دفع حرارت کسب شده در حین تولید وجود دارد. این یکی از دلائل عمده‌ای است که چرا تهویه مطبوع بعنوان یک نیاز ضروری بسیاری از ساختمانهای اداری، شده است. بالعکس، اگر توده سازه ساختمان در معرض هوا باشد، آنگاه یک محیط با قابلیت هدایت بالا شکل می‌گیرد، و از ظرفیت حرارتی سازه می‌توان بطور مؤثری جهت برخورد با گرمایش اضافی بهره‌برداری نمود.

ایجاد یک محیط با هدایت بالا از طریق بمعرض گذاشتن توده سازه دارای تأثیراتی بر رفاه ساکنین است. می‌توان از بحث در بخش ۱۱-۷ مشاهده نمود که درجه حرارت خشک و نه درجه حرارت هواست که در زمان ایجاد آسایش محیطی مهم است. با بمعرض گذاردن توده یک ساختمان امکان کاهش درجه حرارت میانگین تشعشعی در داخل فضا میّسر بوده و لذا کاهش درجه حرارت خشک نیز وجود خواهد داشت، لذا اگر یک ساختمان اداری با پنجره‌های باز شونده و کف‌های بتونی در معرض هوا دارای درجه حرارت میانگین تشعشعی، برای مثال، $20^{\circ}C$ و درجه حرارت فضای $28^{\circ}C$ باشد، آنگاه درجه حرارت محسوس (درجه حرارت خشک) در فضا فقط $24^{\circ}C$ خواهد بود. در حالیکه درجه حرارت هوای داخلی $28^{\circ}C$ معمولاً به عنوان غیرقابل قبول منظور می‌گردد، درجه حرارت خشک $24^{\circ}C$ در روزهای داغ تابستان قابل تحمل محسوب خواهد شد.

در ساختمانهائی که توده حرارتی را جهت کنترل درجه حرارتهای داخلی بکار می‌گیرند، بمعرض گذاردن کفهای بتونی جهت ایجاد محیطی با هدایت بودن بالا عملی متعارف است، همانگونه که می‌توان در نمونه‌هائی بمانند ساختمان ملکه در دانشگاه دمونت‌فورت[1] (۱۵) و ساختمان الیزابت فرای[2] در دانشگاه انگلیای شرقی (۱۶) مشاهده نمود در حالیکه امکان ایجاد یک محیط با هدایت بالا، از طریق بمعرض گذاردن کفهای بتونی وجود دارد، سازه نیاز دارد که متعاقباً از گرمای جذب شده در طول زمان رهایی یابد، در غیر اینصورت درجه حرارت میانگین تشعشعی فضاهای اطاق بطور مستمر افزایش یافته تا که در آن شرایط غیرقابل قبول بشود. یکی از روشهای مؤثر که می‌توان گرما را از سازه ساختمان پاکسازی کرد، هوادهی شبانه است. هوادهی شبانه

1- De Montfort

2- Elizabeth Fry

مستلزم گذراندن هوای خنک بیرون از روی یا از زیر سطح بتون کف در معرض قرار گرفته است، تا که از حرارت تجمع یافته در خلال اوقات روز پاکسازی شود، این عمل را می‌توان یا توسط عوامل طبیعی یا ادوات مکانیکی انجام داد. ابتدائی‌ترین هوادهی شبانه بسادگی ممکن است مستلزم باز کردن پنجره‌ها در اوقات شب جهت تشدید کوران هوا باشد، در حالیکه در پیچیده‌ترین حالت ممکن است مستلزم یک سیستم اختصاصی هوادهی شبانه مکانیکی و استفاده از فضاهای خالی کف گردد.

زمانیکه یک برنامه هوادهی شبانه را ایجاد می‌کنیم اطمینان از اینکه تلفیق حرارتی خوبی بین هوا و جرم بتون کف بوقوع پیوسته، اهمیت دارد، در حالیکه بطور هم زمان اطمینان یا بیم که نیروی پروانه در حداقل نگهداری شده است. سیستمی که حاصل این مورد است سیستم کف بتونی مشبک ترمودک سوئدی[1] است (بخش ۱۳ را ببینید). سیستم ترمودک بطور مؤثر در بسیاری مکانها از مورد استفاده واقع شده است، در سرتاسر شمال اروپا و در بریتانیا (۱۶و۱۷) معرف ساختمانهائی است که هم از نظر حرارتی پایدار و هم انرژی کارآمد می‌باشند.

۱۱-۹ ذخیره حرارتی یخی

در سیستم کف بتونی در معرض قرار گرفته مشروحه در بخش ۱۱-۸، فرآیند سرمایش بطور مؤثر به شبانگاهان با استفاده از تکنیک ذخیره حرارتی غیرفعال تغییر بار یافته است. درحالیکه این می‌تواند بسیار مؤثر باشد، اما این سیستم محدود به کشورهای با اقلیم خنک است که در آن درجه حرارتهای شبانگاهی به اندازه کافی برای زدودن گرمای انباشته شده، پائین هستند. در اقلیمهای گرمتر این استراتژی غیر ممکن بوده و لذا یک روش جایگزین تغییر بار مورد نیاز است. یک تکنولوژی جایگزین، ذخیره حرارتی یخی است، که از الکتریسیته کم هزینه شبانگاهی برای تولید یک انبار سرد جهت استفاده در خلال اوقات روز استفاده می‌کند. این تکنیک مستلزم راه‌اندازی چیلرهای سرماساز در خلال ساعات غیرپیک جهت تولید یک انبار یخ می‌باشد. در خلال اوقات روز زمانیکه قیمت الکتریسیته بالا است، یخ جهت غلبه بر حرارت کسب شده توسط ساختمان یا فرآیند، ذوب می‌شود. مزایای عمده سیستم بشرح ذیل‌اند:

- هزینه‌های انرژی سرماسازی می‌تواند بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد، چرا که بخش قابل

1- Swedish Termodeck

توجهی از سرمایش با استفاده از الکتریسیته غیرپیک عملی می‌شود.

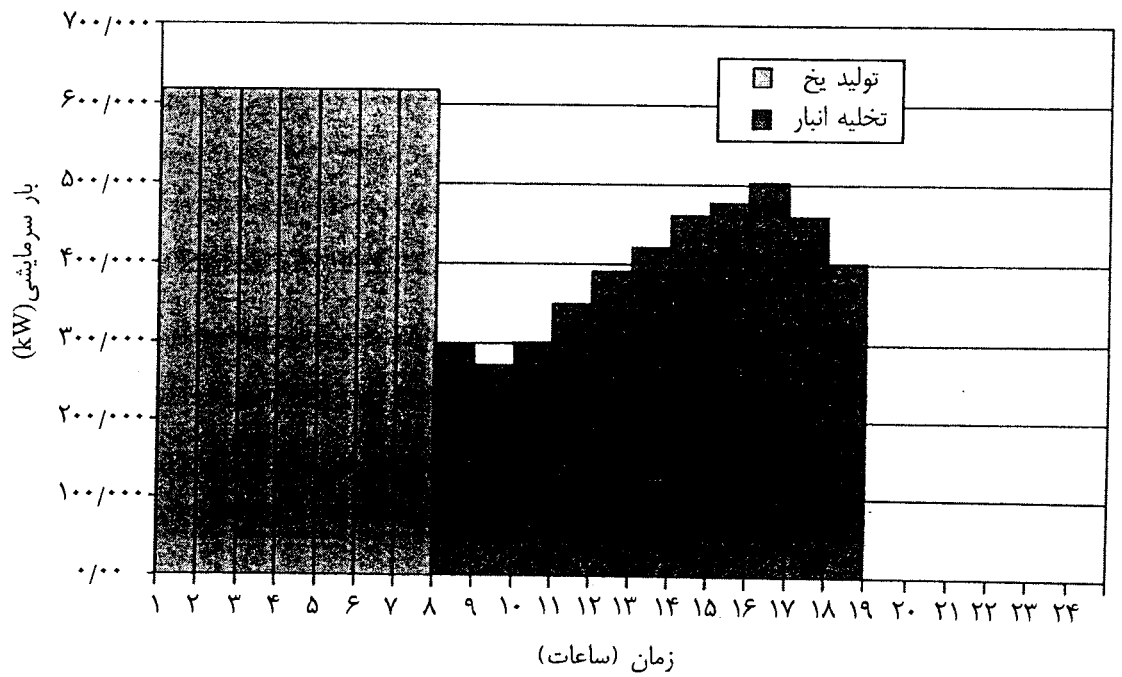
- اگر چیلرها و انبار یخ هر دو جهت برآورده ساختن نیازهای بار سرمایشی پیک ادغام گردند، هزینه سرمایه‌ای تأسیسات سرماسازی می‌تواند به نحو چشمگیری کاهش یابد.
- اگر انبار یخی با تأسیسات سرماسازی متعارف جفت گردد، آنگاه امکان راه‌اندازی مداوم چیلر در ۱۰۰٪ ظرفیت اسمی آن میسر بوده و لذا در یک روال کارآمد کار می‌کند.
- اگر انبار یخی با یک تأسیسات سرماسازی کنترل الکترونیکی ادغام شود، آنگاه امکان به حداقل رساندن مخارج انرژی سرماسازی هست. این بدان سبب است که تأسیسات سرماسازی در اوقات شب زمانی که درجه حرارتهای محیطی پائین بوده راه‌اندازی شده و لذا COPهای عملیاتی، بالا خواهد بود.
- هرگونه نرخهای حداکثر دیماند الکتریسیته که توسط سیستم ایجاد شود بطور قابل ملاحظه‌ای پائین‌تر از نرخهائی است که بوسیله تأسیسات سرماسازی متعارف ایجاد می‌شود.
- با نصب انبارهای یخ اضافی امکان افزایش ظرفیت کلی تأسیسات تهویه مطبوع موجود، بدون خرید چیلرهای جدید یا ارتقاء سیستمهای الکتریکی وجود دارد. سیستمهای ذخیره یخی، کاهش انتشار CO_2 را از طریق تغییر بار مقدور ساخته (۱۸) و هم چنین می‌تواند کمیت سرماساز مورد استفاده را کاهش دهد. سیستمهای ذخیره یخی معمولاً در ارتباط با تهویه مطبوع ساختمانهای عمومی و تجاری می‌باشند. اگرچه، سیستمهای ذخیره یخی هم چنین بطور موفقیت‌آمیزی در صنایع فرآوری که بارهای سرمایشی قابل پیش بینی و عظیمی را تجربه می‌کنند، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این نوع کاربرد اغلب این مورد که یک ماشین سرماسازی نسبتاً کوچک می‌تواند در یک مدت زمان طولانی مقدار زیادی یخ انبار کند، مشاهده می‌شود. آنگاه انبار یخ می‌تواند در یک مدت زمان نسبتاً کوتاهی جهت برآورده ساختن بار سرمایشی پیک ذوب گردد. بدین طریق ماشینهای سرماسازی کوچک را می‌توان جهت برآورده کردن بارهای سرمایشی بسیار حجیم استفاده کرد، در نتیجه صرفه‌جوئیهای بزرگ سرمایه‌ای می‌توان بر روی تأسیسات سرماسازی حاصل نمود. علاوه بر این، صرفه‌جوئیهای هزینه سرمایه‌ای را می‌توان بر روی کابلهای الکتریکی و سوئیچها، که در کاربردهای راه دور اهمیت ویژه دارند، انجام داد.

۱۱-۹-۱ استراتژیهای کنترل

سیستمهای ذخیره حرارتی یخی می‌توانند به شیوه‌های گوناگون با استراتژیهای کنترل عمده

نظیر ذخیره کامل، ذخیره جزئی و ذخیره تقاضا ـ محدود؛ کاربردی شوند.

(الف) ذخیره کامل: تحت یک استراتژی کنترل کامل ذخیره، با تولید یک انبار یخ توسط چیلرها در خلال مقاطعی که نرخهای الکتریسیته غیرپیک اعمال می‌شود. بار سرمایشی کل اوقات روز به شبانگاهان شیفت می‌شود، در خلال اوقات روز انبار یخ جهت برآورده ساختن بار سرمایشی ساختمان یا فرآیند، همانگونه که در شکل ۱۱-۱۱ نشان داده شده است، تخلیه می‌شود. از آنجائی که هزینه‌های انرژی بیشترین تأثیر را بر استراتژیهای کنترل دارد، ایراد بزرگ ذخیره کامل آن است که نیاز بیش از حد انرژی تأسیسات چیلر و انبار یخ در آن بیش از دیگر استراتژیهای کنترل می‌باشد. به سبب هزینه سرمایه‌ای باز دارنده بالا، ذخیره کامل بندرت استفاده می‌شود.



شکل ۱۱-۱۱ استراتژی ذخیره کامل

ب) ذخیره جزئی: ذخیره جزئی عبارتی کلی است که به استراتژیهای کنترل ذخیره یخی که نیازمند کارکرد تأسیسات چیلر و انبار یخی هر دو با هم جهت برآورده کردن بار سرمایشی اوقات روز هستند، اطلاق می‌شود. در خلال مقاطعی که ساختمان یا فرآیند صنعتی بار سرمایشی را تجربه می‌کند، انبار یخ و تأسیسات چیلر بطور هم زمان در جهت برآورده کردن بار سرمایشی کار می‌کنند. مزیت ذخیره جزئی اینست که انبار و تأسیسات چیلر هر دو بطور چشمگیری کوچکتر از مورد تأسیسات ذخیره کامل خواهند بود و لذا هزینه سرمایه‌ای پائین‌تر است. این، ذخیره جزئی را

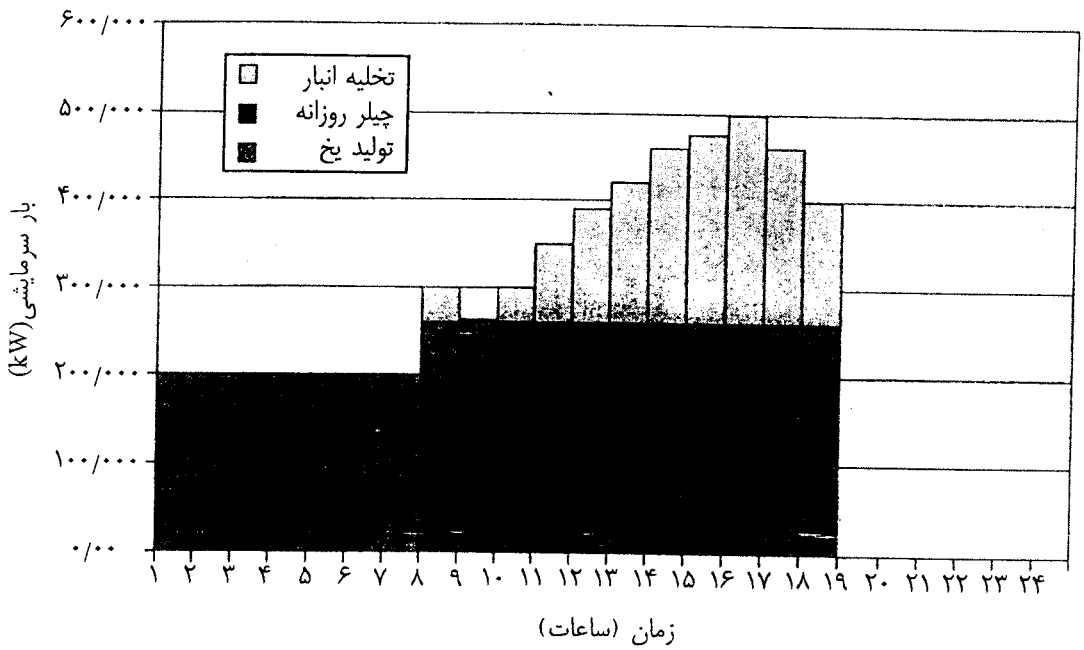
انتخابی بسیار پر طرفدار می‌سازد. عبارت چتر گونه ذخیره جزئی را می‌توان به دو زیر بخش مشخص و جدا تقسیم کرد، که مشخصاً اولویت چیلر و اولویت انبار می‌باشد.

تحت یک استراتژی کنترل اولویت چیلر، تأسیسات سرماسازی بطور مداوم در حین مقاطع هم تولید یخ و هم تخلیه انبار کار می‌کنند. در خلال اوقات روز تأسیسات سرماسازی سرمایش بار پایه را انجام داده و انبار یخ جهت بالا بردن ظرفیت سرماسازی تأسیسات چیلر استفاده می‌شود (شکل ۱۱-۱۲ را ببینید)، که در غیر اینصورت قادر به فائق آمدن بر تقاضای پیک نخواهد بود.

تحت یک استراتژی اولویت چیلر، امکان رسیدن به کاهش‌هائی در حدود ۵۰٪ در ظرفیت چیلر در مقایسه با تأسیسات سرماسازی متعارف وجود دارد. بنابراین هزینه سرمایه‌ای نصب یک انبار یخ می‌تواند در مقابل صرفه‌جوئی هزینه سرمایه‌ای برخاسته از کاهش ظرفیت چیلر، جبران شود.

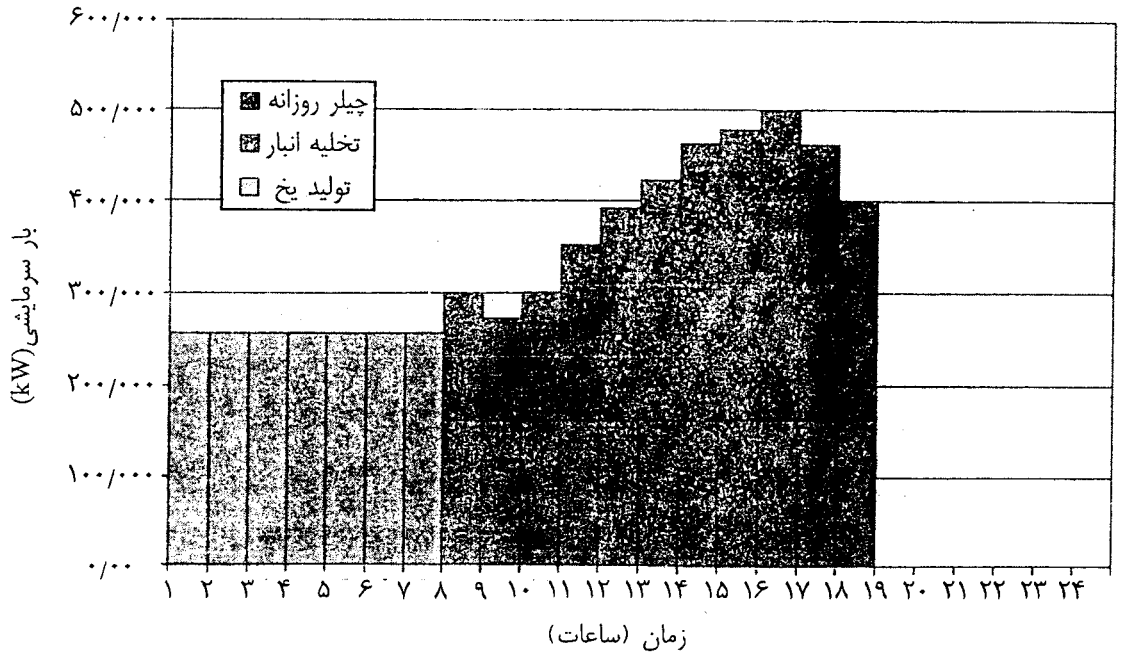
فلسفه نهان در استراتژی کنترل اولویت انبار برخلاف استراتژی اولویت چیلر است. تحت یک استراتژی اولویت انبار، به انبار یخ در مقابل چیلر در خلال اوقات روز اولویت داده می‌شود (شکل ۱۱-۱۳ را ببینید). هدف از این استراتژی به حداقل رساندن کار کرد تأسیسات سرماسازی در خلال مقاطعی است که قیمتهای الکتریسیته بالا می‌باشد. چیلر سرماسازی فقط جهت بالابردن انرژی سرماسازی توسط انبار یخ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ج) ذخیره تقاضا - محدود: هدف استراتژی کنترل تقاضا- محدود، محدود کردن تقاضای الکتریکی پیک با تغییر بار سرمایشی به خارج از مقاطعی است که تقاضای پیک بطور طبیعی بوقع می‌پیوندد (شکل ۱۱-۱۴ را ببینید). این بطور کلی مجموع ماکزیمم دیماند تأسیسات را کاهش داده و فاکتور بار کلی ساختمان را بهینه ساخته و مجری را زمانیکه مذاکرات قراردادهای تأمین الکتریسیته با شرکتهای برق فرا می‌رسد، در موقعیت استواری قرار می‌دهد.

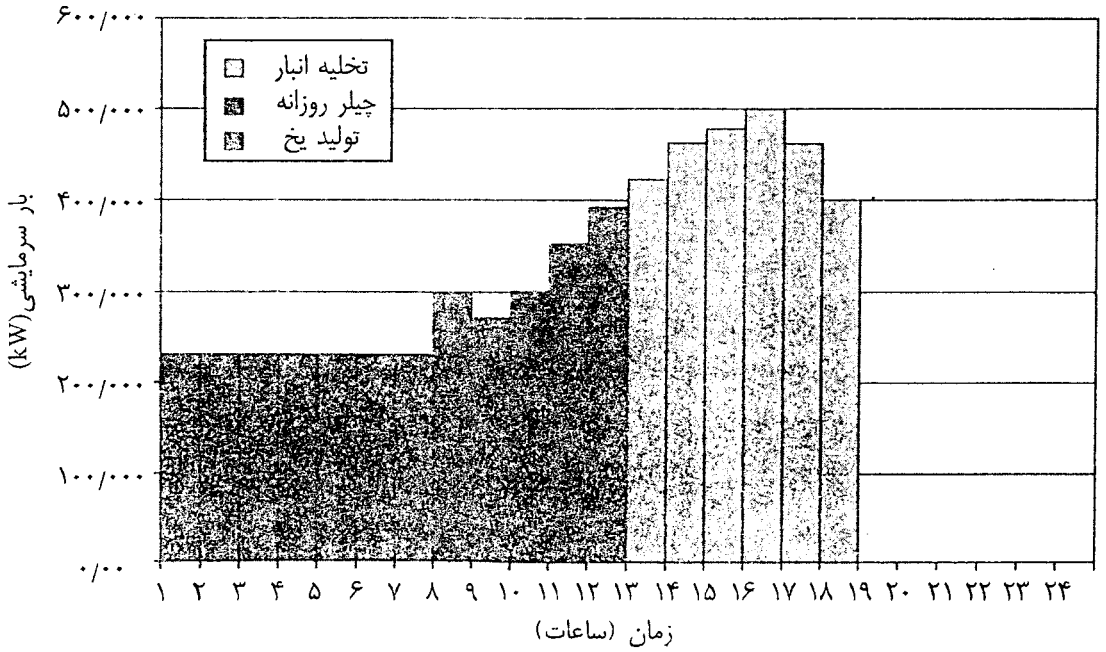


شکل ۱۱-۱۲ استراتژی اولویت چیلر

یک استراتژی کنترل تقاضا- محدود علی‌الخصوص در وضعیتهائی که کمپانی برق یک تعرفه الکتریسیته‌ای را عرضه می‌دارد که یا نرخهای واحد بالا و یا نرخهای دیماند بالا برای بخشی از اوقات روز (مثلاً از ۱۲ تا ۱۸) را داراست، مفید می‌باشد، همانگونه که اغلب این مورد در کشورهای گرم در خلال اوقات تابستان، وجود دارد. تحت این شرایط، در خلال مقطعی که نرخهای پیک اعمال می‌شود، بار سرمایشی باید بطور کامل توسط انرژی سرماسازی رها شده توسط انبار یخ، برآورده شود.



شکل ۱۱-۱۳ استراتژی اولویت انبار



شکل ۱۱-۱۴ استراتژی محدود کردن تقاضا

۱۱-۹-۲ سیستمهای ذخیره حرارتی یخی

بطور کلی سیستمهای ذخیره یخی به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند، سیستمهای ثابت و سیستمهای پویا. سیستمهای ثابت دارای خصوصیتی کلی است که یخ در همان مکانی که تولید

شده است ذوب می‌گردد. برخلاف سیستمهای ثابت که در آن یخ در کل عملیات "احداث" در همان کل باقی می‌ماند، در سیستمهای پویا، یخ، زمانیکه شکل گرفت، توسط برخی ابزار به محل دیگری منتقل می‌شود که با مایع عامل که معمولاً آب است تماس حاصل می‌کند.

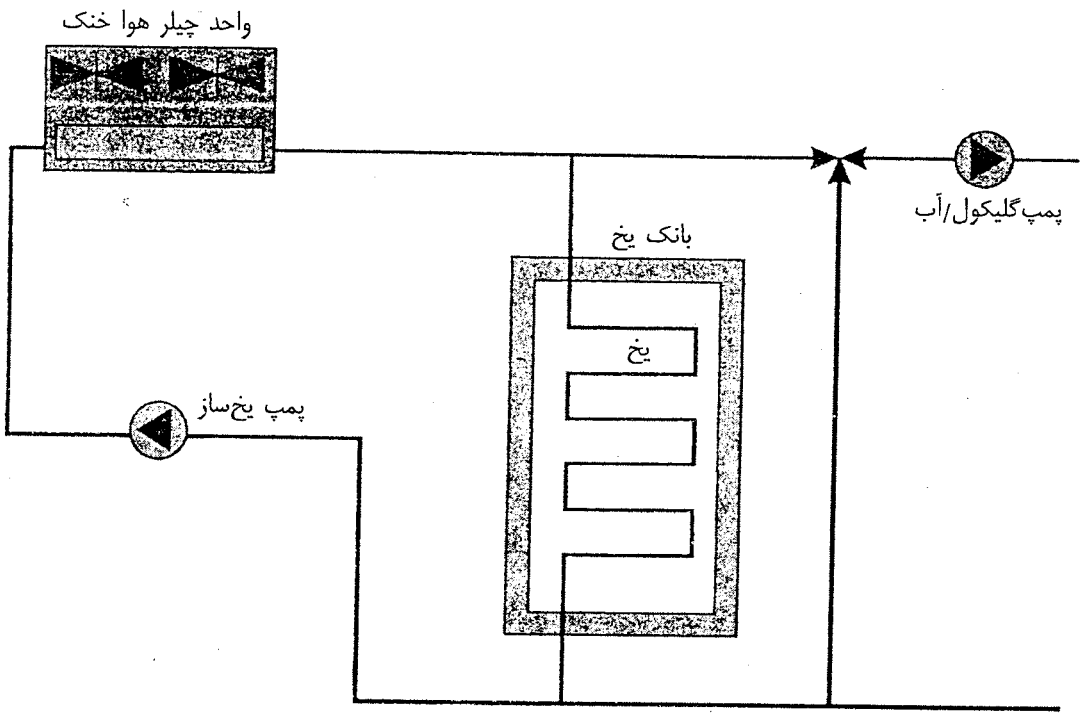
سیستم بانک یخی که در شکل ۱۱-۱۵ نشان داده شده است نمونه‌ای از یک سیستم یخ ثابت است و شامل یک تانک ذخیره آب عایق‌بندی شده است که حاوی دسته‌ای از لوله‌های کوچک و شناور می‌باشد. این لوله‌ها بطور یکنواخت در داخل حجم تانک و اغلب به شکل حلزونی یا مارپیچ، غوطه‌ور شده‌اند. در خلال تولید یخ، یک محلول آب/گلیکول، در درجه حرارت زیر صفر در داخل لوله‌ها به گردش درمی‌آید. این سبب می‌گردد که آب در تانک یخ زده و جامد شود. در خلال سیکل تخلیه، یخ توسط همان محلول آب/گلیکول، این بار با گردش کردن در درجه حرارتی بالای صفر درجه سانتیگراد، ذوب می‌گردد.

گسترده‌ترین سیستم پویای مورد استفاده، برداشت یخ است. برداشت یخ در صنایع نسبی برای سالهای بسیاری مورد استفاده قرار دارند. آنها شامل یک تانک عایق‌بندی شده بان، که در بالای آن شماری از صفحات تبخیرکننده سرماساز عمودی واقع شده‌اند، می‌باشد. آب قطره قطره بر سطح صفحات می‌چکد تا یخ بزند. بطور مثال، در خلال ۲۰ دقیقه یک لایه به ضخامت ۸ تا ۱۰ میلی متر از یخ می‌تواند ایجاد گردد. یخ با انتقال از تبخیرکننده و ریخته شدن به داخل تانک زیرین، برداشت می‌شود. این فرآیند با قطع جریان مایع سرماساز در صفحات تبخیرکننده و تغییر دادن آن به عبور گاز تخلیه داغ از آنها بگونه‌ای که درجه حرارت سطح آنها به حدود ۵ درجه سانتیگراد برسد، حاصل شدنی است. یک کلید فتوالکتریک می‌تواند زمانیکه یخ در مخزن به سطح مورد نیاز رسید، برای توقف تولید یخ مورد استفاده قرار گیرد. جهت تخلیه انبار یخ، آب سیستم درمخزن یخ به گردش در می‌آید. یک نمونه تأسیسات برداشت یخ در شکل ۱۱-۱۶ نشان داده شده است.

۱۱-۹-۳ اندازه‌بندی سیستمهای ذخیره یخ

محاسبات طراحی مورد استفاده در اندازه‌بندی سیستمهای ذخیره یخ بستگی دقیق به استراتژی کنترلی که اتخاذ گردیده، دارد (۱۹). اگر یک استراتژی کنترل اولویت چیلر اتخاذ شده آنگاه معادلات (۱۱-۷، ۱۱-۱۳) باید استفاده گردد. برای یک استراتژی اولویت انبار معادلات (۱۱-۱۶، ۱۱-۱۴) می‌باید بکار رود.

$$Q_{st}+Q_{ch}=Q_j \qquad (۱۱-۷)$$



شکل ۱۱-۱۵ سیستم بانک یخ

که در آن Q_{st} انرژی سرماسازی محبوس در انبار یخ (kWh)، Q_{ch} انرژی سرماسازی تولیدی توسط تأسیسات چیلر زمانیکه در طول روز کار می‌کند (kWh)، و Qj بار سرمایشی روزانه (انرژی) تحت شرایط طراحی است (kWh).

تحت یک استراتژی کنترل اولویت چیلر، نظر براینست که تأسیسات چیلر باید در طی روز در ظرفیت کامل کار کند. اگرچه، همیشه امکان نائل آمدن به این مورد نیست. تأسیسات چیلر اغلب برای بخشی از اوقات روز در زیر ظرفیت اسمی خودش کار خواهد کرد. در نتیجه، معادله (۱۱-۷) باید در تطابق با این امر تعدیل شود:

$$Q_{st}+Q_{ch}=Q_j+Q_{tt} \qquad (۱۱-۸)$$

که در آن Q_u انرژی سرمایشی مصرف نشده چیلر می‌باشد (kWh).

درجه حرارتهای تبخیر تجربه شده توسط تأسیسات سرماسازی در خلال تولید یخ بسیار پائین‌تر از آنهائی است که در خلال کارکرد روزانه حاصل می‌شود. متعاقباً، در خلال مقطع شارژ انبار، تأسیسات چیلر ظرفیت سرماسازی کاهش یافته‌ای را تجربه خواهند کرد بنابراین می‌توان اظهار کرد که:

$$Q_{ch}=P_r\times H \qquad (۹-۱۱)$$

و

$$Q_{st}=P_r\times K_r\times h \qquad (۱۰-۱۱)$$

که در آن P_r کار اسمی چیلر تحت عملیات روزانه (kW)، و Kr فاکتور کاهش برای یخ تولید چیلر، H مدت زمان کارکرد چیلر در اوقات روز (ساعات)، و h مدت زمان مقطع تولید یخ است (ساعات).

بنابراین

$$Q_{st}+Q_{ch}=P_r\times(H+K_r\times h) \qquad (۱۱-۱۱)$$

با تلفیق معادلات (۱۱-۸) و (۱۱-۱۱) می‌توان نشان داد که:

$$P_r=\frac{Q_j+Q_u}{H+K_r\times h} \qquad (۱۲-۱۱)$$

با تلفیق معادلات (۱۱-۸) و (۱۱-۹) می‌توان نشان داده که:

$$Q_{st}=Q_j+Q_u-H\times P_r \qquad (۱۳-۱۱)$$

برای بدست آوردن معادلات اندازه‌بندی تأسیسات برای یک استراتژی کنترل اولویت انبار، شیوه‌ای اندک متفاوت از آنچه که برای معادلات اولویت چیلر است، اتخاذ می‌گردد. مفهوم بار سرمایشی پیک (P_m) وارد معادلات می‌گردد.

بنابراین می‌توان اظهار داشت که:

$$Q_{st}=H\times P_r=H\times P_m-Q_v \qquad (۱۴-۱۱)$$

که در آن P_m بار سرمایشی پیک تجربه شده توسط ساختمان (kW) و Q_v ظرفیت انبار یخ می‌باشد (kWh).

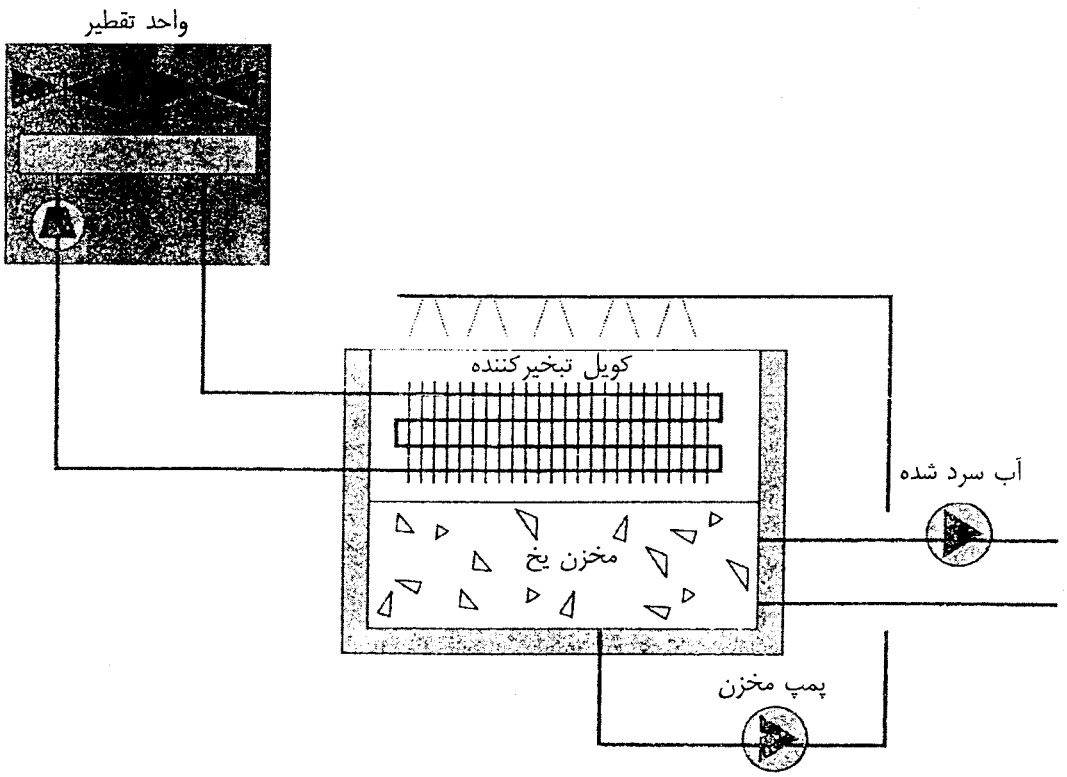
بنابراین

$$Q_{st}=H\times P_m-Q_v-H\times P_r \qquad (۱۵-۱۱)$$

با تلفیق معادلات (۱۱-۱۰) و (۱۱-۱۴) معادله ذیل تولید می‌شود:

$$P_r=\frac{H\times P_m-Q_v}{H+k_r\times h} \qquad (۱۶-۱۱)$$

فرآیند درگیر در اندازه‌بندی سیستمهای ذخیره حرارتی یخ در مثال ۱۱-۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱۱-۱۶ سیستم برداشت یخ

مثال ۱۱-۱

یک ساختمان اداری دارای یک بار سرمایشی پیک روزانه kWh ۵۲۱۰، و حداکثر کار سرمایش لحظه‌ای kW ۶۲۰ می‌باشد. با اطلاعات داده شده ذیل:

(I) اندازه انبار یخ و تأسیسات چیلر مورد نیاز برای اولویت چیلر، اولویت انبار و استراتژیهای کنترل انبار کامل، و برای سیستم متعارف فقط اندازه چیلر را تعیین نمائید.

(II) هزینه‌های روزانه برای انتخابهای مشخص شده در *(I)*؛ و

(III) هزینه‌های سرمایه‌ای سیستم برای انتخابهای مشخص شده در *(I)*.

اطلاعات:

ساعات	۰۰-۰۷	= مقطع غیر پیک الکتریسیته
ساعات	۰۷-۲۴	= مقطع پیک الکتریسیته
ساعات	۰۸-۱۸	= مقطع کارکرد تهویه مطبوع
	۳	= متوسط COP در طی روز
	۲/۲۵	= COP تولید یخ
	۰/۷۵	= فاکتور کاهش ظرفیت چیلر برای تولید یخ
p/kWh	۵/۵	= نرخ واحد پیک
p/kWh	۲/۵۷	= نرخ واحد غیرپیک
$£/kWh$	۲۵	= هزینه سرمایه‌ای انبار یخ
$£/kW$	۲۴۰	= هزینه سرمایه‌ای چیلر سرماسازی

قابل ذکر: فرض کنید انرژی سرماسازی یا ظرفیت انبار یخ مصرف نشده در فرآیند وجود ندارد.

راه‌حل

(I) سیستم متعارف فقط چیلر: انبار یخی وجود ندارد لذا چیلر باید دارای ظرفیت سرماسازی $۶۲۰kW$ باشد.

استراتژی کنترل ذخیره کامل: چیلر در خلال اوقات روز در حال کار نیست و لذا لازم است انبار یخ جهت برآورده کردن تمام بار سرمایشی روزانه عمل کند. بنابراین لازم است یک انبار یخ بزرگ در ۷ ساعت مقطع غیرپیک پدید آید.

بنابراین:

ظرفیت انبار یخ = ۵۲۱۰ kWh

و

$$\text{کار اسمی چیلر} = \frac{۵۲۱۰}{۷\times۰/۷۵} = ۹۹۲/۴\ kW$$

استراتژی کنترل اولویت چیلر: سیستم تهویه مطبوع اداره برای ۱۰ ساعت عملیاتی است.

بنابراین:

$$\text{کار اسمی چیلر} = \frac{۵۲۱۰}{۱۰+(۰/۷۵\times۷)} = ۳۴۱/۶kW$$

و

$$\text{ظرفیت انبار} = ۵۲۱۰-(۱۰\times۳۴۱/۶) = ۱۷۹۳/۶kWh$$

استراتژی کنترل اولویت انبار: کار سرمایشی پیک تابستانه ۶۲۰kW است. بنابراین:

$$\text{کار اسمی چیلر} = \frac{۱۰\times۶۲۰}{۱۰+(۰/۷۵\times۷)} = ۴۰۶/۶kW$$

و

$$\text{ظرفیت انبار} = (۱۰\times۶۲۰)-(۱۰\times۴۰۶/۶) = ۲۱۳۴/۴kWh$$

(II) سیستم متعارف فقط چیلر:

$$\text{هزینه انرژی روزانه} = \frac{۵۲۱۰\times۵/۵۰}{۳\times۱۰۰} = ۹۵/۵۲ \text{ پاوند}$$

استراتژی کنترل ذخیره کامل:

$$\text{هزینه انرژی روزانه} = \frac{۵۲۱۰\times۲/۵۷}{۲/۲۵\times۱۰۰} = ۵۹/۵۱ \text{ پاوند}$$

استراتژی کنترل اولویت چیلر:

$$\text{هزینه انرژی روزانه} = \frac{۱۷۹۳/۶\times۲/۵۷}{۲/۲۵\times۱۰۰} + \frac{(۱۰\times۳۴۱/۶)\times۵/۵۰}{۳\times۱۰۰}$$

پاوند ۸۳/۱۱=

استراتژی کنترل الویت انبار:

$$\text{هزینه انرژی روزانه} = \frac{۵/۵۰ \times (۵۲۱۰ - ۲۱۳۴/۴)}{۳ \times ۱۰۰} + \frac{۲۱۳۴/۴ \times ۲/۵۷}{۲/۲۵ \times ۱۰۰}$$

پاوند ۸۰/۷۷=

(III) سیستم متعارف فقط چیلر:

پاوند ۱۴۸۸۰۰=۲۴۰×۶۲۰=هزینه سرمایه‌ای نصب

استراتژی کنترل ذخیره کامل:

پاوند ۳۶۸۴۲۶=(۲۵×۵۲۱۰)+(۲۴۰×۹۹۲/۴)=هزینه سرمایه‌ای نصب

استراتژی کنترل اولویت چیلر:

پاوند ۱۲۶۸۲۴=(۲۵×۱۷۹۳/۶)+(۲۴۰×۳۴۱/۶)=هزینه سرمایه‌ای نصب

استراتژی کنترل اولویت انبار:

پاوند ۱۵۰۹۴۴=(۲۵×۲۱۳۴/۴)+(۲۴۰×۴۰۶/۶)=هزینه سرمایه‌ای نصب

خلاصه نتایج:

	سیستم متعارف فقط چیلر	اولویت‌چیلر	اولویت‌انبار	ذخیره‌کامل
کارچیلر *(kW)*	۶۲۰	۳۴۱/۶	۴۰۶/۶	۹۹۲/۴
ظرفیت انبار *(kWh)*	*n.a*	۱۷۹۳/۶	۲۱۳۴/۴	۵۲۱۰
هزینه سرمایه‌ای (پاوند)	۱۴۸ ۸۰۰	۱۲۶ ۸۲۴	۱۵۰ ۹۴۴	۳۶۸۴۲۶
هزینه روزانه پیک (پاوند)	۹۵/۵۲	۸۳/۱۱	۸۰/۷۷	۵۹/۵۱
زمان بازگشت سرمایه* (سال)	*n.a.*	-۴/۸۵	۰/۴۰	۱۶/۷۱

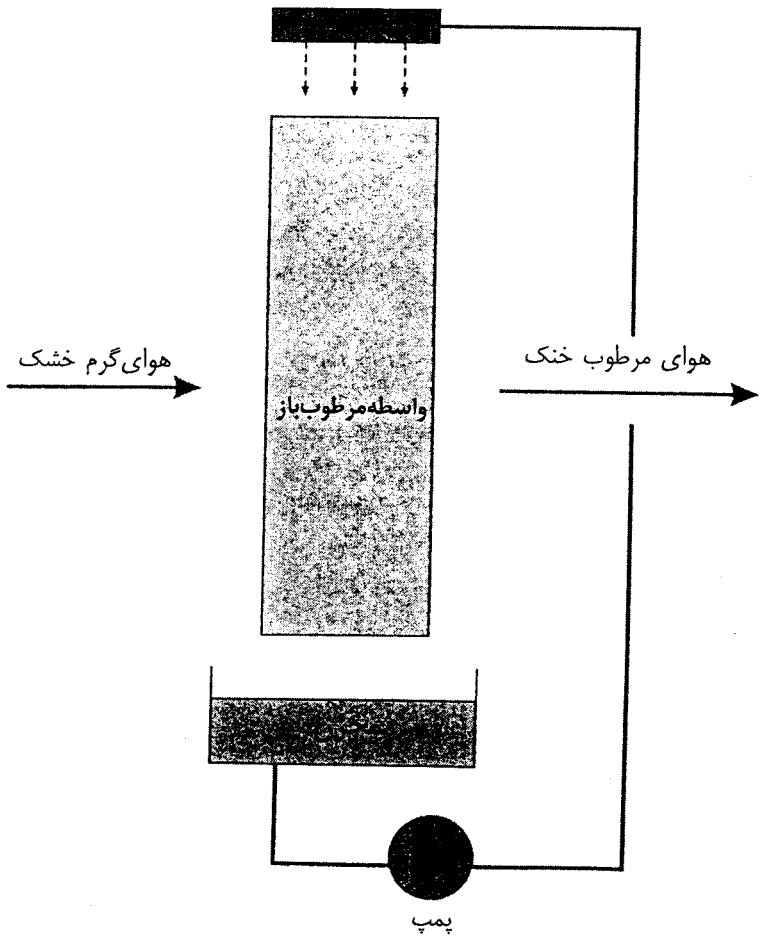
* فقط نشانگر مقاطع بازگشت سرمایه است، چرا که هزینه‌های روزانه محاسبه شده فقط برای روز تابستانه پیک اعمال می‌شود.

از نتایج نشان داده شده در مثال ۱۱-۱ می‌توان مشاهده کرد که انتخاب اولیه استراتژی کنترل دارای تأثیری عظیم بر اقتصادی بودن هر برنامه ذخیره یخ می‌باشد. با توجه به هزینه سرمایه‌ای بزرگ غیرمعمول مرتبط با سیستم ذخیره کامل تعجب آور نیست که این سیستمها بندرت نصبمی‌شوند. معمول‌ترین استراتژی مورد استفاده استراتژی اولویت چیلر است که همانند مثال ۱۱-۱، می‌تواند منجر به صرفه‌جوئیهای هزینه سرمایه‌ای و مقطع بازگشت سرمایه منفی باشد.

۱۱-۱۰ سرمایش تبخیری

تا بحال، بیشترین تکنیکهای سرمایشی مورد بحث در این بخش سیکل سرماسازی تراکم بخاری را جهت انجام سرمایش هوا مورد بهره‌برداری قرار داده‌اند. اگرچه شماری از تکنولوژی‌های جایگزین بمانند سرمایش تبخیری و سرمایش خشک وجود دارند که می‌توان جهت انجام سرمایش هوا مورد بهره‌برداری قرار داد. سرمایش تبخیری مستقیم شاید ساده‌ترین همهٔ تکنیکهای سرمایش هوا بوده و بی نهایت انرژی کارآمد است و متکی بر تبادل حرارت خنثی بین هوا و آب بوده که در آن هوا بطور محسوس سرد و رطوبت‌زدائی، می‌شود. بیشترین سیستمهای سرمایشی تبخیری مستقیم شامل یک ماتریس مشبک باز بوده که آب بر روی آن چکیده و از داخل آن هوا می‌تواند عبور کند (شکل ۱۱-۱۷ را ببینید). همانگونه که هوا از واسطهٔ مرطوب عبور

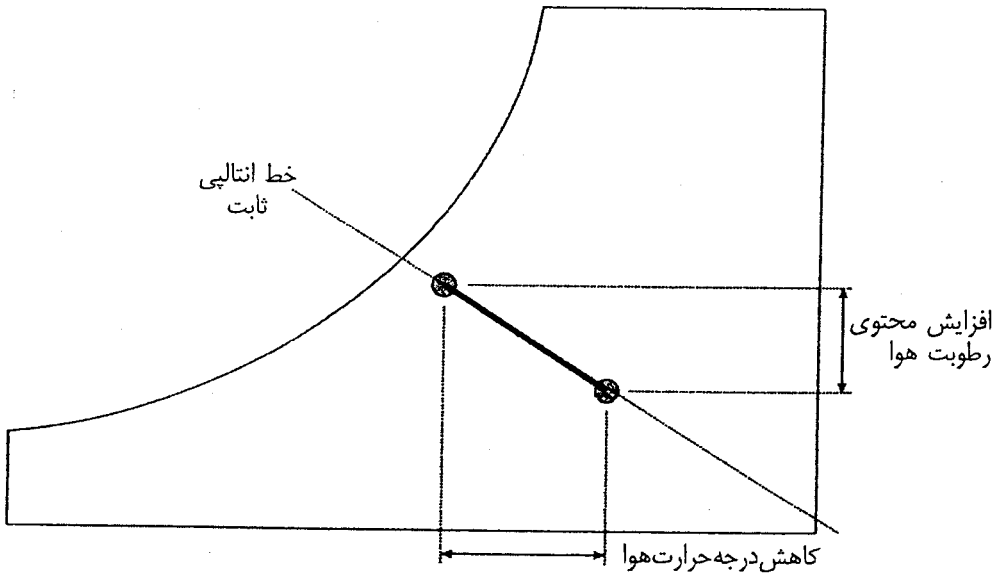
می‌کند، آب بخار شده و لذا هوا بیشتر مرطوب می‌شود. در جهت تبخیر آب، نیاز به یک پکیج انرژی حرارتی پنهان است؛ که این از جریان هوا اخذ می‌شود، در نتیجه هوا بطور محسوس خنک می‌گردد. شکل ۱۱-۱۸ فرآیند سرمایش تبخیری بر روی یک نمودار رطوبت‌سنج را نشان می‌دهد. باید متذکر شد که تمامی فرآیند خنثی بوده (نه حرارت کسب و نه حرارت از دست می‌دهد) و خط انتالپی ثابت بر روی نمودار رطوبت سنج را دنبال می‌کند، که به خط درجه حرارت ثابت حباب مرطوب نزدیک می‌شود. شکل ۱۱-۱۸ فرآیند سرمایش تبخیری بر روی یک نمودار رطوبت‌سنج را نشان می‌دهد



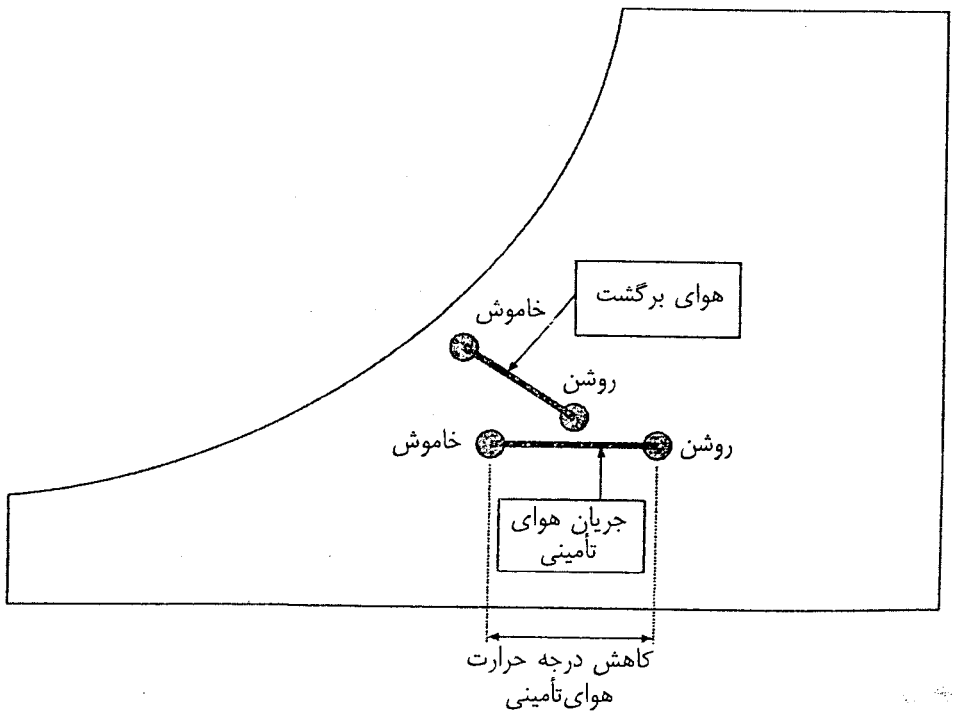
شکل ۱۱-۱۷ یک کولر تبخیری مستقیم

از آنجائیکه کولرهای تبخیری مستقیم عموماً راندمانهای حدود ۸۵ درصد نشان می‌دهند (۲۰)، مؤثر بودن سرمایش محسوس آنها بستگی بسیار زیادی بر خشک بودن هوای در حال ورود به کولر، دارد. اگر هوا خیلی خشک است، آنگاه سرمایش محسوس بسیار زیادی حاصل خواهد آمد.

بالعکس، اگر هوا دارای یک رطوبت نسبی بالاست، سرمایش محسوس بسیار کمی حاصل خواهد آمد. بنابراین تعجب‌آور نیست، سالیان متمادی کولرهای تبخیری بطور گسترده در کشورهای گرم خشک، که در آن اغلب آنها کولرهای کویری خوانده می‌شوند، مورد استفاده بوده‌اند. سرمایش تبخیری مستقیم بسیار مقرون به صرفه بوده و نیاز برای هر سرماساز غیردوستدار طبیعت را حذف می‌کند.



شکل ۱۱-۱۸ فرآیند سرمایش تبخیری مستقیم



شکل ۱۱-۱۹ فرآیند سرمایش تبخیری غیرمستقیم

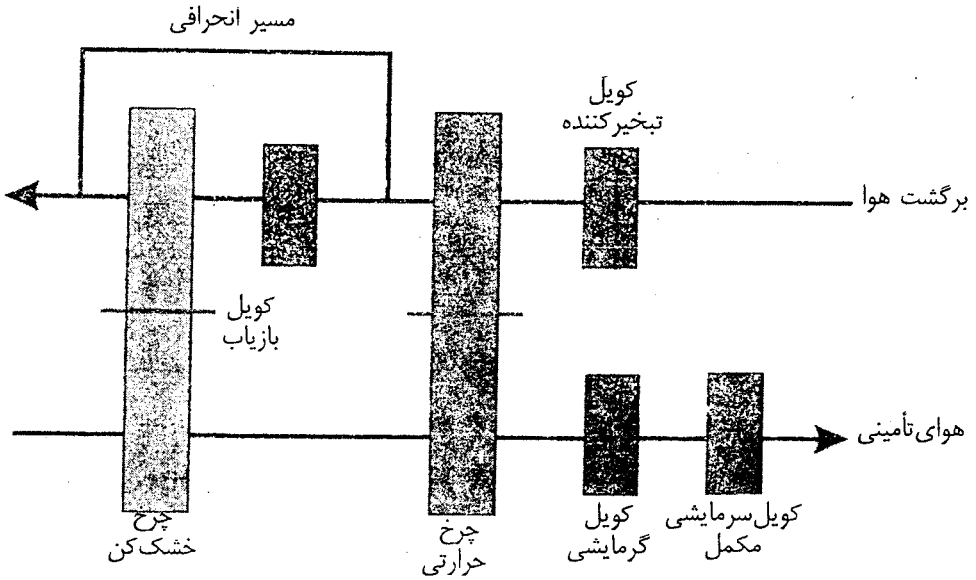
یک عیب عمده سرمایش تبخیری مستقیم اینست که بطور فاحشی رطوبت نسبی و محتوای نم هوای ورودی به فضای اطاق را افزایش داده، که ممکن است نهایتاً سبب ناراحتی ساکنین اطاق گردد. بر این مشکل می‌توان با عرضه یک مبدّل حرارتی جهت ایجاد یک سیستم سرمایش تبخیری غیرمستقیم، فائق آمد. با سیستم‌های غیرمستقیم، جاسازی یک کولر تبخیری در جریان هوای خروجی از اطاق ملحق شده به یک بازیاب حرارت صفحه تخت عملی استاندارد است. با استفاده از این نظام جریان هوای خروجی خنک لیکن مرطوب را می‌توان جهت خنک کردن محسوس جریان تأمینی هوای تازه ورودی استفاده نمود. باید متذکر شد که هیچ تبادل رطوبتی بین دو جریان هوا وجود ندارد و لذا هوای تأمینی، نسبتاً خشک باقی می‌ماند. شکل ۱۱-۱۹ فرآیند سرمایشی تبخیری غیرمستقیم را بر روی یک نمودار رطوبت سنج نشان می‌دهد. کولرهای غیرمستقیم تبخیری معمولاً به یک کارآئی حداقل ۶۰٪ نائل خواهند آمد و می‌توان به کارآئی بالائی تا ۸۵٪ نائل‌شد(۲۰).

۱۱-۱۱ سرمایش خشک

انتخاب دیگر در مقابل سیکل سرماسازی تراکم بخاری متعارف استفاده از یک سیکل محرک حرارتی می‌باشد. مدت زمان زیادی است که مشخص شده، مواد خشک کننده‌ای بمانند سیلیکون را می‌توان جهت رطوبت زدائی هوا استفاده کرد. چنین سیستمهائی هوای مرطوب را از روی سطوحی که با یک ماده خشک کننده پوشیده شده، عبور می‌دهند. در حین گذر هوا از روی این سطوح، مواد خشک کننده رطوبت را جذب نموده، لذا جریان هوا را رطوبت زدائی می‌کنند. در جهت برطرف کردن رطوبت جذب شده توسط سطح خشک کننده، خشک کننده باید بطور فیزیکی به داخل یک جریان هوای خشک داغ، رانده شود. در مورد سیستم خشک کننده چرخان (یکی از معمول‌ترین سیستمهای خشک کننده مورد استفاده) بخش مملو از رطوبت چرخ بطور آهسته در حدود ۱۶ دور در ساعت از جریان هوای مرطوب بر روی جریان هوای خشک داغ، که در آن دوباره آماده می‌شود، گردش می‌کند.

اخیراً سیستمهای سرمایشی خشکی، ابداع شده‌اند که یک چرخ خشک کن را با یک چرخ حرارتی در یک *AHU* منفرد، جهت تولید سیستمی که قادر به گرمایش، سرمایش و رطوبت زدائی هوا بدون نیاز و یا نیاز کم به سرماسازی متعارف می‌باشد، ادغام نموده‌اند (۲۱). چنین سیستمهائی در مقایسه با سیستمهای متعارف سرماسازی دارای پتانسیل کاهش هزینه‌های انرژی و آلودگی‌های زیست محیطی می‌باشند. از نظر زیست محیطی سیستم سرمایشی خشک دارای مزیتی است که در

آن مصرف انرژی الکتریکی جایگزین مصرف حرارت می‌شود، که CO_2 بسیار کمتری را تولید می‌کند.



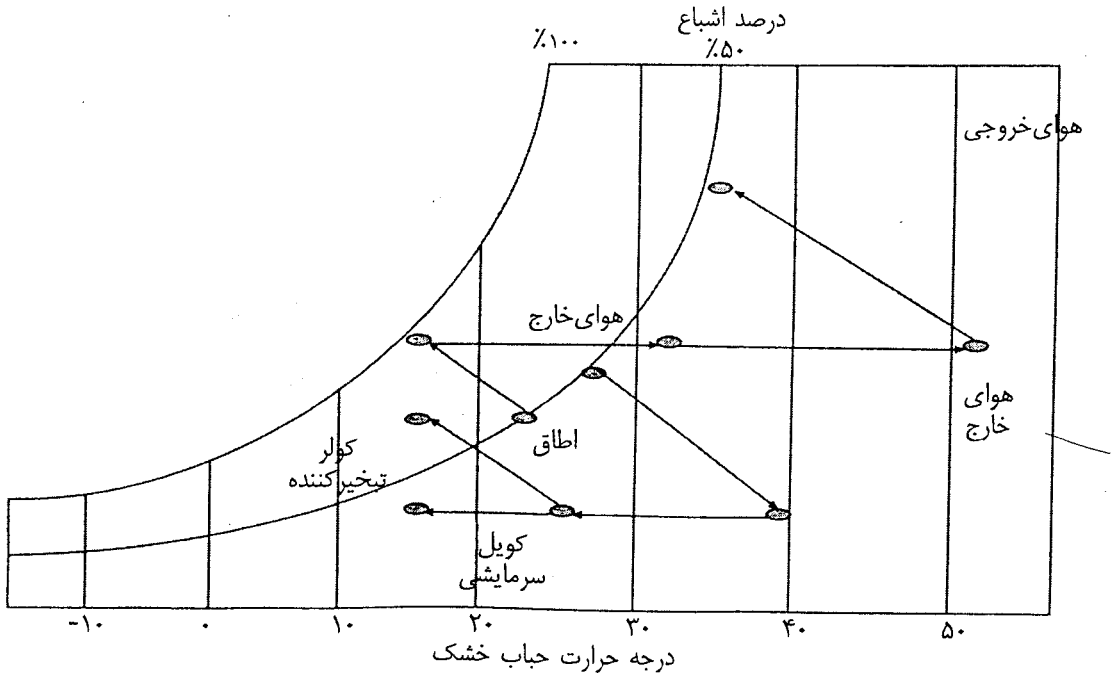
شکل ۱۱-۲۰ یک واحد نمونه جابجا کنندهٔ هوای سرد خشک

یک نمونه *AHU* سرمایشی خشک در شکل ۱۱-۲۰ نشان داده شده است و شامل یک چرخ حرارتی و یک چرخ خشک کننده است که بطور موازی قرار گرفته است. در جانب تأمین، اگر نیاز باشد بعد از چرخ حرارتی، یک کویل سرمایش مکمل یا یک کولر تبخیری، نصب می‌شود. هم‌چنین اگر نیاز شد، امکان قرار دادن یک کویل گرمایشی بعد از چرخ حرارتی برای استفاده در زمستان وجود دارد. یک کولر تبخیری در جریان هوای برگشت قبل از چرخ حرارتی قرار گرفته، تا که انتقال حرارت در سرتاسر چرخ حرارتی افزایش یابد. سیکل خشک یک سیکل گرمایی باز است؛ محرک سیکل، کویل گرمایشی بازیابی است که در جریان هوای برگشت بعد از چرخ حرارتی و قبل از چرخ خشک کننده، قرار گرفته است.

نمودار رطوبت سنج نشان داده شده در شکل ۱۱-۲۱ نمایشگر فرآیند سرمایشی رطوبت‌گیر و رطوبت‌زدائی است. در خلال اوقات تابستان هوای مرطوب گرم بعنوان مثال $26°C$ و $10/7g/kg$ محتوای رطوبت، از درون چرخ رطوبت‌گیر حرکت داده می‌شود تا که در $39°C$ و $7/3g/kg$ محتوی رطوبت، بیرون آید. خط فرآیند رطوبت‌سنج برای هوای در حال گذر از چرخ خشک‌کننده در جانب تأمین دارای شیبی حدوداً برابر با خط نسبت زمستانه اطاق ۰/۶ بر روی نمودار رطوبت سنج،

می‌باشد. جریان هوای تأمینی سپس از چرخ حرارتی که در آن در $23^{\circ}C$ بطور محسوس سرد می‌شود، عبور می‌کند. هوا سپس در یک DX کوچک یا کویل سرمایشی آب - خنک که در آن بطور محسوس در یک شرایط تأمینی $17^{\circ}C$ و محتوای رطوبت $7/3g/kg$، سرد شده، عبور می‌کند. باید متذکر شد که اگر کنترل رطوبت در فضا لازم نیست، آنگاه امکان جایگزین کردن کویل سرمایشی با یک کولر تبخیری با یک بازدهی همدمای حدود ۸۵٪، که در این مورد امکان تأمین هوا به فضای اطاق در $16/2^{\circ}C$ و محتوای رطوبت $10/2g/kg$، وجود دارد، می‌باشد.

در جانب برگشت، هوا از فضای اطاق در، برای مثال $22^{\circ}C$ و محتوای رطوبت $8/6g/kg$، از یک کولر تبخیری عبور کرده تا که داخل چرخ حرارتی در حدود $16/7^{\circ}C$ و محتوای رطوبت $10/8g/kg$، گردد. بدانسان که جریان هوای برگشت از چرخ حرارتی عبور می‌کند بطور محسوس در حدود $33^{\circ}C$ گرم می‌شود. جریان هوا سپس تا حدود $55^{\circ}C$ در جهت احیا کردن کویل خشک کننده، حرارت داده می‌شود. باید متذکر شد که در جهت صرفه‌جوئی انرژی، حدود ۲۰٪ از جریان هوای برگشت از کویل احیاگر و چرخ خشک کننده رد نمی‌شوند.



شکل ۱۱-۲۱ سیستم خشک کننده در حالت سرمایشی/رطوبت‌زدائی

در خلال اوقات زمستان بیشتر گرما برای جریان هوای تأمینی از گرمای بازیافتی از چرخ

حرارتی، می‌آید. اگرچه چرخ خشک کننده می‌تواند در تئوری بعنوان یک مبدل حرارتی اضافی استفاده شود، در عمل به سبب سرعت چرخشی پائین چندان مؤثر نبوده، و بنابراین معمولاً استفاده نمی‌شود. چنانچه گرمایش محسوس بیشتری نیاز باشد می‌توان بر این امر یا با قراردادن یک کویل گرمایشی در جریان هوای تأمینی بعد از چرخ حرارتی، یا با استفاده از رادیاتورها در داخل فضای اطاق، نائل آمد. علاوه بر این، یک کولر تبخیری در جانب تأمین ممکن است جهت رطوبت‌زدائی جریان هوای ورودی در صورت نیاز، مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

نشان داده شده است که استفاده از سرمایش خشک می‌تواند منجر به صرفه‌جوئیهای هزینه انرژی در محدوده ۱۴٪ تا ۵۰٪ که بستگی به کاربرد و بار سرمایشی دارد، گردد (۱۴). شگفت‌آور، برعکس سیستمهای سرماسازی متعارف، هزینه‌های عملیاتی در پائین‌ترین حد، زمانی که سیستمهای سرمایش خشک تحت بار جزئی کار می‌کنند، می‌باشند. (۱۴) هم‌چنین شایان ذکر است که سیستمهای سرمایش خشک بخوبی مناسب کاربردهائی که درجه حرارتهای هوای تأمینی پائین مورد نیاز است، نمی‌باشند. سرمایش خشک در کاربردهائی بمانند تهویه جابجائی، که در آن درجه حرارتهای هوای تأمینی نزدیک درجه حرارت هوای اطاق می‌باشند، مناسب‌ترین است. اگرچه امکان صرفه‌جوئیهای هزینه انرژی در کاربردهای "تمام هوا" وجود دارد، سیستمهای سرمایش خشک در تأسیساتی که حجم سرمایش محسوس توسط یک سیستم آب ـ مبنا، بمانند یک سقف سرد انجام می‌شود، بهترین کاربرد را داراست(۱۴).

۱۱-۱۱-۱ کاربرد خورشیدی سرمایش خشک

با یک سیکل گرما رانشی، سرمایش خشک توان بهره‌گیری از گرمائی که ممکن است از جهاتی تلف گردد را، دارد. بنابراین می‌تواند به کالکتورهای خورشیدی جهت تولید یک سیستم سرمایشی که در تئوری، باید بسیار دوستدار محیط زیست باشد، الحاق گردد. اگرچه، استفاده از انرژی خورشیدی محدودیتهائی را بر کاربرد سرمایش خشک تحمیل می‌کند. برای مثال، اگر نسبت کالکتورهای خورشیدی به مساحت سطح ساختمان ۱ به ۱۰ باشد، آنگاه گرمای میسور (در یک کاربرد شمال اروپائی) جهت نیرو بخشی به سیکل و با بستگی به اقلیم، نوع و جهت کالکتورهای خورشیدی، در محدوده $۲۵ W/m^2$ تا $۵۰ W/m^2$، خواهد بود (۲۲). بنابراین، اگر این گرمای خورشیدی بطور مؤثر مهار شود، سیستم سرمایش خشک باید به طریق صحیحی کاربردی می‌گردد. سیکل سرمایش خشک یک سیکل باز بوده و بدینگونه آن هوای مرطوب را در یک درجه

حرات بالا دفع می‌کند، که برای چرخش دوباره مناسب نیست.

درواقع، هرچه میزان جریان حجم هوای تأمینی به فضای اطاق بیشتر باشد، نیاز بـه نـیروی پروانه و انرژی گرمائی مصرف شده، بیشتری هست. بنابراین، اگر سرمایش خشک در یک کاربرد "تمام هوا" مورد استفاده قرار گیرد، بار گرمای احیائی بسیار عظیم خواهد بود، بسیار بـیشتر از انرژی خورشیدی که در دسترس است. بنابراین باید حجم اعـظم سـرمایش مـحسوس اطـاق بـا استفاده از یک سیستم آب ـ مبنا بمانند سقف سرد، با *AHU* خشک جهت رطوبت‌زدائی و تعدیل هوای تازه ورودی، انجام پذیرد. این استراتژی اندازه *AHU* و کار کانالی مرتبط را کاهش داده و قادر می‌سازد که انرژی خورشیدی سهم عمده‌ای بنا کند(۲۲).

References

1. Grigg, P. F. and John, R. W. (1991). Building services technologies to reduce greenhouse emissions. *Proceeding of CIBSE National Conference,* Canterbury, April, p. 231.
2. Calder, K. and Grigg, P. F. (1987). CO_2 impact of refrigeration used for air conditioning. BRE internal report.
3. Wendland, R. D. (1987). Storage to become rule, not exception. *ASHRAE Journal,* May.
4. Energy use in offices (1998). Energy Consumption Guide 19, Department of the Environment, Transport and the Regions.
5. The Accelerated Phase-out of Class I Ozone-Depleting Substances (1999). United States Environmental Protection Agency.
6. Climate Change: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Second Assessment Report (1995).
7. HCFC Phase out Schedule (1998). United States Environmental Protection Agency.
8. Calm, J. M. Global warming impacts of chillers (1993). *IEA Heat Pump Centre Newsletter,* **11**(3), 19–21.
9. Industrial Refrigeration Plant: Energy Efficient Operation and Maintenance (1992). Good Practice Guide 42, Department of the Environment.
10. The Economic Use of Refrigeration Plant, Fuel Efficiency Booklet 11 (1994). Department of the Environment.
11. Jones, W. P. *Air conditioning engineering,* (Chapter 9). Arnold.
12. Energy efficient selection and operation of refrigeration compressors (1994). Good Practice Guide 59, Department of the Environment.
13. Dossat, R. J. (1981). *Principles of refrigeration.* Wiley, p. 436.
14. Beggs, C. B. and Warwicker, B. (1998). Desiccant cooling: Parametric energy study. *Building Services Engineering Research and Technology,* **19**(2), 87–91.
15. Bunn, R. (1993). Learning curve. *Building Services Journal.* October, pp. 20–25.
16. Standeven, M., Cohen, R., Bordass, B. and Leaman, A. PROBE 14: Elizabeth Fry Building. *Building Services Journal.* April pp. 37–42.
17. Bunn, R. (1998). Cool desking. *Building Services Journal.* October, pp. 16–20.

18. Beggs, C. B. (1994). Ice thermal storage: impact on UK carbon dioxide emissions. *Building Services Engineering Research and Technology,* **15**(1), 11–17.
19. Beggs, C. B. and Ward, I. (1992). Ice Storage: design study of the factors affecting installations. *Building Services Engineering Research and Technology,* **13**(2), 49–59.
20. Evaporative cooling applications (1990). *ASHRAE Applications Handbook* (Chapter 50). ASHRAE.
21. Busweiler, U. (1993). Air conditioning with a combination of radiant cooling, displacement ventilation, and desiccant cooling. *ASHRAE Transactions,* p. 503–10
22. Beggs, C. B. and Halliday, S. (1999). A theoretical evaluation of solar powered desiccant cooling in the United Kingdom. *Building Services Engineering Research and Technology,* **20**(3), 113–117.

Bibliography

Beggs, C. B. and Ward, I. (1992). Ice storage: design study of the factors affecting installations. *Building Services Engineering Research and Technology,* **13**(2), 49–59.

Beggs, C. B. (1994). Ice thermal storage: impact on UK carbon dioxide emissions. *Building Services Engineering Research and Technology,* **15**(1), 11–17.

Beggs, C. B. and Warwicker, B. (1998). Desiccant cooling: parametric energy study. *Building Services Engineering Research and Technology,* **19**(2), 87–91.

Beggs, C. B. and Halliday, S. (1999). A theoretical evaluation of solar powered desiccant cooling in the United Kingdom. *Building Services Engineering Research and Technology,* **20**(3), 113–117.

Evaporative cooling applications. (1999). *ASHRAE Applications Handbook* (Chapter 50). ASHRAE.

Jones, W. P. *Air conditioning engineering*. Arnold.

Stoeker, W. F. and Jones, W. (1982). *Refrigeration and air conditioning*. McGraw Hill.

بخش دوازدهم

خدمات الکتریکی انرژی کارآمد

خدمات الکتریکی انرژی کارآمد

در ساختمانها انرژی بسیاری به سبب غفلت از خدمات الکتریکی تلف می‌گردد. این بخش اقدامات صرفه‌جوئی انرژی را که می‌توان بویژه در رابطه با خدمات الکتریکی ساختمانها بکار گرفت، بررسی می‌کند. علی الخصوص، روشنائی کم مصرف انرژی و استفاده از موتورهای رانشی با سرعتهای متغیر را مورد بحث قرار می‌دهد.

۱۲-۱ مقدمه

انرژی بسیاری در ساختمانها به علت طراحی و نگهداری ضعیف خدمات الکتریکی بی‌جهت اتلاف می‌شود. انرژی اتلافی از بدترین نوع است، یعنی انرژی الکتریکی گرانقیمت، که می‌تواند تا پنج برابر گرانتر از هزینه هر واحد گرما باشد. متأسفانه، اغلب اوقات طراحان ساختمان ناآگاه، بر استفاده از انرژی الکتریکی بیش از اندازه متمرکز می‌شوند و از مصرف انرژی حرارتی، که نسبتاً ارزان است، صرفنظر می‌کنند. نشان داده شده است که در یک نمونه ساختمان اداری با تهویه مطبوع استاندارد در بریتانیا، بطور متوسط ۳/۳۰ پاوند در مترمربع (مساحت سطح) در سال برای کارکرد پمپ‌ها و پروانه‌ها هزینه گردیده و ۲/۹۷ پاوند دیگر در متر مربع برای روشنائی خرج می‌شود(۱). درحالیکه رقم میانگین فقط ۱/۷۸ پاوند در متر مربع برای گرمایش و ۱/۷۱ پاوند در مترمربع برای سرمایش می‌باشد. (۱) این اعداد و ارقام نشان می‌دهند که در یک ساختمان اداری متوسط، مبلغ بسیار بیشتری برای کار انداختن پروانه‌ها، پمپ‌ها و روشنائی الکتریکی صرف می‌شود تا هزینه‌ای که برای راه اندازی بویلرها و تأسیسات سرماسازی خرج می‌گردد. لیکن شماری از تکنولوژیهای نسبتاً ساده وجود دارند که می‌توان جهت موتورهای رانشی و تأسیسات روشنائی جهت کاهش چشمگیر هزینه‌های انرژی بکار گرفت. آن هزینه‌های انرژی در این زمینه‌ها را که می‌توان بمقدار زیادی کاهش داد بروشنی از شواهد مطالعه ساختمان اداری بریتانیا که در شرایط خوب ساختمانهای دارای تهویه مطبوع استاندارد، فقط ۱/۶۵ پاوند در هر مترمربع در سال برای کارکرد پمپ‌ها و پروانه‌ها صرف شده و تنها ۱/۴۸ پاوند در هر متر مربع برای روشنائی

هزینه می‌شود، ملاحظه نمود (۱). در هر یک از موارد بالا این برابری می‌کند یا کاهش هزینه انرژی حدود ۵۰٪ زمانیکه با ساختمانهای اداری تهویه مطبوع معمولی مقایسه شود.

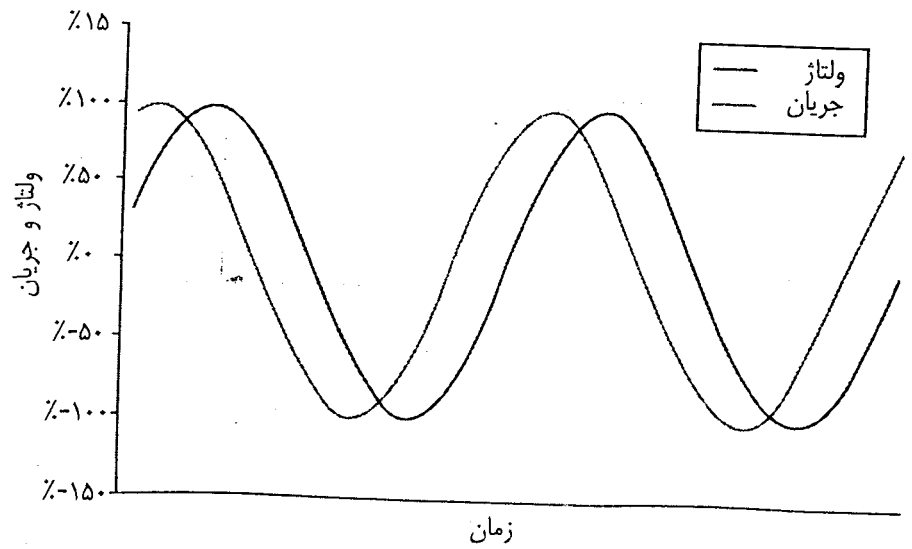
۱۲-۲ ضریب توان

موتورهای القائی الکتریکی و لامپ‌های فلورسنت مثالهای کلاسیک بارهای الکتریکی واکنشی (القائی) می‌باشند. بارهای الکتریکی راکتیو دارای اهمیت‌اند زیرا، برعکس بارهای مقاومتی بمانند لامپ نئون، آنها سبب می‌شوند که جریان با تغییر ولتاژ از فاز خارج شود (شکل ۱۲-۱ را ببینید). به عبارتی ساده، بدین معنی است که بخشی از لوازمی که ماهیتاً القائی هستند یک جریان بیشتری را از آنچه که بر اساس میزان قدرت مفید آنها انتظار می‌رود، دریافت می‌کنند. نهایتاً، مشتری است که باید برای این جریان اضافی بپردازد.

توان الکتریکی مصرف شده توسط یک بار مقاومتی را می‌توان بشرح ذیل تعیین نمود.

$$W=V\times I \qquad (۱-۱۲)$$

که در آن W توان (W)، V ولتاژ (V)، و I جریان می‌باشد (A).



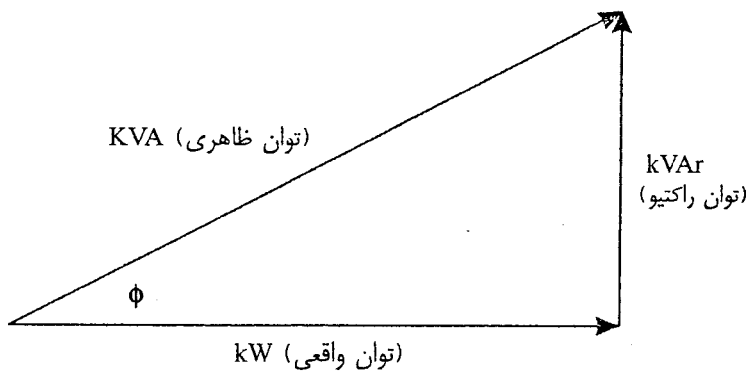
شکل ۱۲-۱ تأثیر یک بار القائی بر روی جریان و ولتاژ الکتریکی

معادله (۱۲-۱) توان مفید مصرفی را تعریف کرده، و در تمامی انواع بار مقاومتی که در آن جریان با ولتاژ هم فاز می‌باشد، کاربرد دارد. بهرحال، معادله (۱۲-۱) برای بارهای راکتیو که در آن جریان نسبت به ولتاژ تأخیر فاز دارد، عاری از حقیقت است. زیرا بارهای راکتیو توان بیشتری از آنچه که بتوان بطور مفید استفاده کرد، مصرف می‌کنند. بنابراین یک بار راکتیو، بمانند یک موتور القائی، جریانی بیشتر از آنچه که بعنوان میزان قدرت مفیدش انتظار می‌رود، دریافت خواهد کرد. اجزاء راکتیو بار مصرفی چیزی است که توان راکتیو خوانده می‌شود. در جهت تعیین توان ظاهری مصرف شده توسط یک بار واکنشی، توان حقیقی همانگونه که در شکل ۱۲-۲ نشان داده شده است، باید بصورت برداری به توان راکتیو اضافه شود.

بر مبنای شکل ۱۲-۲ باید متذکر شد که توان راکتیو در یک زاویه قائمه نسبت به توان حقیقی رسم می‌گردد. بنابراین توان ظاهری تابعی از توان حقیقی مصرف شده و توان راکتیو است، و می‌توان بصورت ذیل بیان داشت:

$$\text{توان ظاهری} = \frac{\text{توان حقیقی}}{COS\ \Phi} \qquad (۱۲-۲)$$

که در آن $COS\ \Phi$ ضریب توان است.



شکل ۱۲-۲ رابطه بین *kVAr, kVA, kW*

از شکل ۱۲-۲ و معادله (۱۲-۲) معلوم می‌شود زمانیکه جریان و ولتاژ با یکدیگر هم‌فاز هستند (مثل بار مقاومتی)، توان ظاهری برابر توان حقیقی است. در حالیکه این دو هم از فاز نباشند (مثل بار راکتیو) توان ظاهری مصرفی همیشه بزرگتر از توان حقیقی خواهد بود. در جهت تمایز بین

توان حقیقی و توان ظاهری، توان حقیقی براساس وات *(W)* یا کیلووات *(kW)* و توان ظاهری به ولت آمپر *(VA)* یا کیلوولت آمپر *(kVA)* اندازه‌گیری می‌گردد. بطور مشابه، توان راکتیو به ولت آمپر راکتیو *(VAr)* یا کیلوولت آمپر راکتیو *(kVAr)* اندازه‌گیری می‌شود. نسبت توان حقیقی به توان ظاهری بعنوان ضریب توان شناخته می‌شود. برای یک بار مقاومتی خالص ضریب توان ۱ خواهد بود، و برای یک بار القائی خالص ضریب توان ۰ خواهد بود.

$$\text{ضریب توان} = \frac{\text{توان حقیقی}}{\text{توان ظاهری}} \qquad (۳-۱۳)$$

۱۲-۲-۱ تأثیرات یک ضریب توان ضعیف

در بسیاری از ساختمانها و دیگر تأسیسات، بار الکتریکی کل به شدت تحت تأثیر وجود بارهای راکتیو بمانند موتورهای القائی و لامپ‌های فلورسنت که ایجاد یک ضریب توان کند، می‌باشد. در نتیجه ضریب توان ۰/۷ یا کمتر اغلب تجربه می‌شود. مثال ۱۲-۱ تأثیر چنین ضریب توان ضعیفی را نشان می‌دهد.

مثال ۱۲-۱

یک موتور الکتریکی تک فاز ۲۴۰ ولتی دارای توان حقیقی *۱/۸kW* بوده و یک ضریب توان ۰/۷ را نشان می‌دهد. تعیین کنید.

(I) جریان لازم برای رانش موتور.

(II) جریان لازم در صورتیکه ضریب توان ۱ می‌بود.

راه‌حل

$$\text{توان حقیقی } (W) = \text{توان ظاهری } (VA) \times \text{ضریب توان}$$

بنابراین

$$\text{جریان} = \frac{\text{وات}}{\text{ولت} \times \text{ضریب توان}}$$

(I)

$$\text{جریان} = \frac{۱۸۰۰}{۲۴۰ \times ۰/۷} = ۱۰/۷۱A$$

$$\text{جریان} = \frac{۱۸۰۰}{۲۴۰ \times ۱} = ۷/۵A \qquad (II)$$

مثال ۱۲-۱ نشان می‌دهد که هر چه ضریب توان پائین‌تر باشد، جریان بیشتری جهت تدارک توان مفید یکسانی لازم می‌باشد. جریان مازاد مورد نیاز حاصل از یک ضریب توان ضعیف، تأثیر غیرمستقیم در افزایش از دست‌دهی توان دارد. به سبب اینکه کابلها و دیگر انواع لوازمات، دارای یک مقاومت الکتریکی هستند، توان بصورت گرما، در زمان جاری شدن جریان برق، از دست می‌رود. از تلفات توان (یا I^2A) را می‌توان بصورت ذیل بیان کرد:

$$\text{تلفات توان} = I^2 \times R \qquad (۴-۱۲)$$

که در آن I جریان (A)، و R مقاومت است (Ω).

می‌توان مشاهده کرد که برای یک مدار با یک مقاومت ثابت، هر چه جریان بیشتر باشد، تلفات I^2R بیشتر است. علاوه بر افزایش جریانها و افزایش تلفات I^2R، یک ضریب توان ضعیف دارای تأثیر غیرمستقیم بر افزایش اندازه کلیه کلیدها، کابلها و ترانسفورمرها می‌باشد. مثال ۱۲-۲ این تأثیر را نشان می‌دهد.

مثال ۱۲-۲

ساختمانی با $۴۱۵V$ (خط به خط) ۳ فاز تأمینی دارای یک بار توان حقیقی $۲۱۰kW$ و یک ضریب توان ۰/۷ است. این تأسیسات را با تأسیسات مشابه‌ای که ضریب توان آن ۱ است، مقایسه کنید.

راه‌حل

$$\text{کل جریان} = \frac{۲۱۰۰۰۰}{۴۱۵ \times ۰/۷ \times \sqrt{۳}} = ۴۱۷/۴A$$

اگر در هر حال، ضریب توان ۱ می‌بود، آنگاه

$$\text{کل جریان} = \frac{۲۱۰۰۰۰}{۴۱۵ \times ۱ \times \sqrt{۳}} = ۲۹۲/۲A$$

تأثیر این کاهش در جریان برق در جدول ۱۲-۱ نشان داده شده است.

مثالهای ۱۲-۱ و ۱۲-۲ نشان می‌دهد که هر چه ضریب توان، پائین‌تر باشد، جریان دریافتی بیشتر و اندازه زیر ساختارهای مورد نیاز نیز بزرگتر می‌باشد. بنابراین، اگر یک مشتری دارای ضریب توان ضعیفی باشد شرکت برق باید الکتریسیته بیشتری از آنچه که بعنوان "توان حقیقی" به kW در کنتور الکتریسیته ثبت می‌شود، تأمین نماید. این بدان معنی است که به شرکت برق پرداخت کامل تمامی الکتریسیته‌ای که به مشتری تدارک می‌کند، انجام نمی‌پذیرد. شرکت‌های برق بر این مشکل با اتخاذ یکی از دو استراتژی ذیل فائق می‌آیند:

استراتژی ۱: نصب کنتورها، و ارائه تعرفه‌ها که مصرف الکتریسیته را در kVA و نه در kW ثبت می‌کند.

استراتژی ۲: استفاده از کنتورها و تعرفه‌ها که مصرف الکتریسیته در kW را ثبت کرده و یک نرخ اضافی برای تعداد واحدهای توان راکتیو $(kVAr)$ مصرف شده، وضع می‌کنند.

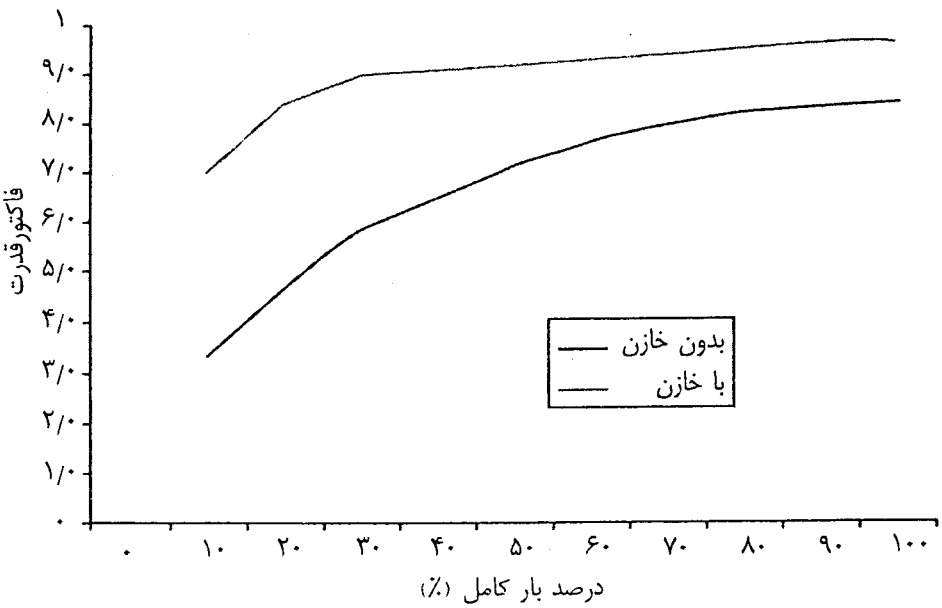
با استفاده از هریک از روشها یک شرکت برق می‌تواند از دریافت درآمد صحیح برای انرژی الکتریکی تدارک شده، مطمئن گردد.

۱۲-۲-۲ تصحیح ضریب توان

ساده‌ترین روش برای تصحیح یک ضریب توان ضعیف به حداقل رساندن مشکل در مرحله اول است، در بسیاری کاربردها یک ضریب توان ضعیف در نتیجه استفاده از موتورهای القائی، بوقوع می‌پیوندد. موتورهای القائی در ساختمانها معمول بوده و برای رانش پروانه‌ها و پمپ‌ها استفاده می‌شوند. بدین منوال آنها ضروری بوده و نمی‌توان از آنها اجتناب کرد. ضریب توان موتورهای القائی با بار موتور، متغیر است.

جدول ۱۲-۱ تأثیر ضریب توان ضعیف

۱= ضریب توان	۰/۷= ضریب توان	
۲۹۲/۲A	۴۱۷/۴A	کل جریان
۲۱۰kVA	۳۰۰kVA	توان ظاهری (kVA)
۳۵۰A	۴۵۰A	ظرفیت کلید
۳۰۰kVA	۴۰۰kVA	ظرفیت ترانسفورمر
۱۵۰mm^2	۲۴۰mm^2	اندازه کابل



شکل ۱۲-۳ تأثیر تصحیح ضریب توان در موتورهای القائی (۲)

موتورهائی که امکان دارد ضریب توان ۰/۸ در بار کامل داشته باشند، ممکن است ضریب توان نزدیک به ۰/۱ را در بار پائین داشته باشند، در نتیجه تقریباً ۹۰٪ کل جریان دریافتی ماهیتاً راکتیو خواهد بود(۲). بنابراین موتورها باید با احتیاط انتخاب شوند، زیرا موتور بزرگتری که بار کمتری داشته باشد یک ضریب توان پائین را ارائه خواهد داد. ضرایب توان ارائه شده توسط موتورهای کوچکتر بخوبی ضریب توان موتورهای بزرگتر نیستند. با وجود این معمولاً بهتر است که یک موتور کوچکتر بجای استفاده از یک موتور بزرگتر کم بار شده، برای انجام کار یکسان، انتخاب شود.

امکان تصحیح یک ضریب توان ضعیف با نصب خازنهائی وجود دارد. تأثیر خازنها بر یک

جریان متناوب مخالف آن چیزی است که یک بار راکتیو دارد. آنها سبب می‌گردند که جریان بر ولتاژ پیشی گیرد. با نصب خازنها در یک مدار الکتریکی امکان خنثی کردن اثر هر بار راکتیو و تصحیح یک ضریب توان ضعیف وجود دارد. خازنهای اصلاح ضریب توان را می‌توان یا در یک جعبه مرکزی قبل از پانل توزیع اصلی، یا جاسازی شده بر روی هر یک از دستگاهها، نصب کرد. عموماً ترجیح داده می‌شود که ضریب توان بارهای راکتیو را در خود هر یک از دستگاهها تصحیح نمود. این، دریافت جریان توسط لوازم را کاهش داده و لذا تلفات I^2R را در کلیه سیمهای منتهی به لوازم، کاهش می‌دهد. با جاسازی خازنها به یک موتور القائی امکان دارد که بطور چشمگیری ضریب توان را بهینه کرد. مثالی از این نوع در شکل ۱۲-۳ نشان داده شده، که در آن ارائه خازنها منجر به ثبوت واقعی ضریب توان با تمامی بارهای بالای ۵۰٪ از بار کامل گردیده است(۲).

در تأسیسات بزرگ احتمال دارد از نظر هزینه مؤثرتر باشد که یک جعبه مرکزی از خازنها را جهت اصلاح ضریب توان نصب نمود. امکان استفاده از خازنهائی که بطور اتوماتیک در جهت حفظ ضریب توان مطلوب، روشن و خاموش می‌شوند، وجود دارد.

۱۲-۳ موتورهای الکتریکی

موتورهای القائی در بسیاری از کاربردها بطور وسیع استفاده می‌شوند. پمپ‌ها، پروانه‌ها، کمپرسورها، بالابرنده‌ها و آسانسورها همگی توسط موتورهائی از انواع مختلف، قدرت دهی می‌شوند. بنابراین استفاده از موتورهای القائی در بیشتر ساختمانهای مدرن، ضرورت دارند. علاوه بر این، موتورهای الکتریکی اغلب پرهزینه‌ترین اقلام تأسیسات از نظر کاربری در بسیاری از ساختمانهای اداری هستند. بنابراین درک چگونگی مصرف انرژی الکتریکی توسط موتورهای القائی و بررسی امکان اقدامات صرفه‌جوئی انرژی، ارزشمند است.

کلیه موتورهای القائی دارای ناکارآمدیهای ذاتی می‌باشند. این تلفات انرژی شامل موارد ذیل هستند(۳):

- افت آهن، که مرتبط با دامنهٔ مغناطیسی ایجاد شده بوسیله موتور است. آنها در ارتباط با ولتاژ بوده و بنابراین برای هر نوع موتور و مستقل از بار، ثابت است.
- افت مس، (یا ضایعات I^2R) که ایجاد شده توسط مقاومت سیمهای مسی در موتور است. هر چه مقاومت کویل بیشتر باشد، گرمای بیشتری تولید شده و تلفات توان بیشتر می‌شود. این تلفات

متناسب با مربع جریان بار می‌باشند.

- تلفات اصطکاک که برای سرعت معینی ثابت بوده و مستقل از بار است.

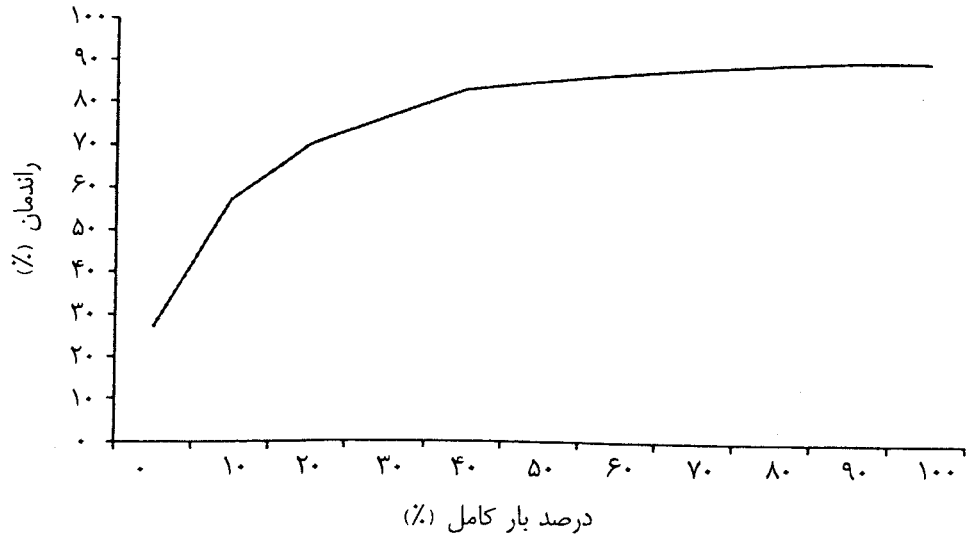
این تلفات را می‌توان به آنهائی که با بار موتور متغیر بوده و آنهائی که در هرباری ثابت هستند، تقسیم نمود. زمانی که یک موتور در بار کامل کار می‌کند، سهم بین این دو به ترتیب حدود ۷۰٪ و ۳۰٪ می‌باشد (۳).

تحت بار جزیی این سهم تغییر می‌کند؛ در بار پائین جریان دریافتی کوچک و تلفات I^2R پائین هستند. نتیجتاً، تلفات توسط آهن غالب بوده و از آنجائیکه آنها ناشی از مصرف جریان راکتیو است، ضریب توان نیز متعاقباً پائین است. حتی در بار کامل موتورهای القائی ضریب توان نسبتاً ضعیفی بطور نمونه حدود ۰/۸ را نمایش می‌دهند(۳).

۱۲-۳-۱ اندازه‌بندی موتور

اندازه‌بندی صحیح موتورهای الکتریکی برای عملکرد کارآمد آنها، حیاتی است، زیرا موتورهای بیش از اندازه بزرگ گرایش به نمایش ضرایب توان ضعیف و کارآئیهای پائین‌تر، دارند. بسته به اندازه و سرعت، احتمال دارد یک نمونه موتور استاندارد دارای یک بازدهی بار کامل بین ۵۵٪ و ۹۵٪ باشد (۲). عموماً، هر چه سرعت پائین‌تر، بازدهی پائین‌تر و ضریب توان پائین‌تر می‌باشد. بطور مثال موتورها راندمانهائی دارند که بطور منطقی تا حدود ۷۵٪ بار کامل، ثابت هستند. از آن به بعد آنها ممکن است حدود ۵٪ تا بار کامل در ۵۰٪، از دست بدهند، که بعد از آن بازدهی بسرعت می‌افتد (همانگونه که در شکل ۱۲-۴ نشان داده شده است) (۲).

از منحنی عملیات در شکل ۱۲-۴ می‌توان مشاهده کرد که امکان دارد موتوری را تا ۲۵٪ بزرگتر از اندازه گرفت، با این فرض که موتور در یک بار نسبتاً ثابت، کار کند، بدون آنکه بطور جدی بازدهی را متأثر نماید. اگر بار نوسان داشته و بندرت به ۷۵٪ بار کامل نائل آید، آنگاه هم بازدهی و هم ضریب توان موتور تحت تأثیر منفی قرار خواهند گرفت. در حقیقت ضریب توان گرایش به افت سریع‌تر از بازدهی، تحت شرایط بار جزئی، دارد. بنابراین اگر موتورها بیش از اندازه بزرگ باشند، نیاز به اصلاح ضریب توان بیشتر است. هم چنین بیش از اندازه بزرگ گرفتن موتورها هزینه سرمایه‌ای کلیدها و سیمهائی که به موتور خدمت می‌دهند را، افزایش می‌دهد.



شکل ۱۲-۴ رابطه بین بار موتور و بازدهی(۲)

۱۲-۴ موتورهای با سرعت متغیر *(VSD)*[1]

بیشترین موتورهای القائی مورد استفاده در ساختمانها به پروانه‌ها یا پمپ‌ها متصل هستند. روش سنتی نسبت به سیستمهای لوله کشی و کانالی بیش از اندازه گرفتن پمپ‌ها و و پروانه‌ها در مرحله طراحی بوده است، و سپس استفاده از شیرهای واسطه و دامپرها جهت کنترل میزان جریان با افزایش مقاومت سیستم، می‌باشد. در حالیکه محدودیتهای مکانیکی قادر به کنترل میزان جریان انتقالی توسط پروانه‌ها و پمپ‌ها می‌باشد (شکل ۱۲-۵ را ببینید)، محدودیت بخودی خود مقاومت سیستم را افزایش داده و منجر به افزایش تلفات انرژی می‌گردد. این وضعیت بسیار نامطلوب بوده و یکی از دلائل اصلی اینکه، چرا مصرف انرژی مرتبط با پروانه‌ها و پمپ‌ها بدین مقدار در بسیاری ساختمانها بالاست، می‌باشد(۱). یک روش جایگزین استفاده از شیرها و دامپرها، کنترل میزان جریان با کاهش سرعت موتور پروانه یا پمپ است. این استراتژی منجر به صرفه‌جوئیهای انرژی قابل ملاحظه، همانگونه که در مثال ۱۲-۳ نشان داده شده است، می‌گردد.

مثال ۱۲-۳

پیشنهاد شده است که از یک پروانه گریز از مرکز دمنده در یک سیستم هوادهی مکانیکی استفاده شود. نیاز به پروانه جهت انتقال یک میزان حجم جریان $۱/۸ m^3/s$ و مقاومت تخمینی

1- Variable speed Drives

سیستم $۵۰۰Pa$، می‌باشد. اگرچه، دمنده پیشنهادی انتقال $۲/۰۶m^3/s$ در مقابل یک مقاومتی از $۵۰۰Pa$ در حالیکه در یک سرعت $۱۴۴۰rpm$ کار می‌کند، را بعهده دارد. قدرت ورودی پروانه را تعیین نمائید، اگر:

الف) یک دامپر کنترل حجم جهت نائل آمدن به یک میزان حجم جریان $۱/۸m^3/s$ با افزایش مقاومت کل سیستم $۷۵۰Pa$، استفاده شود.

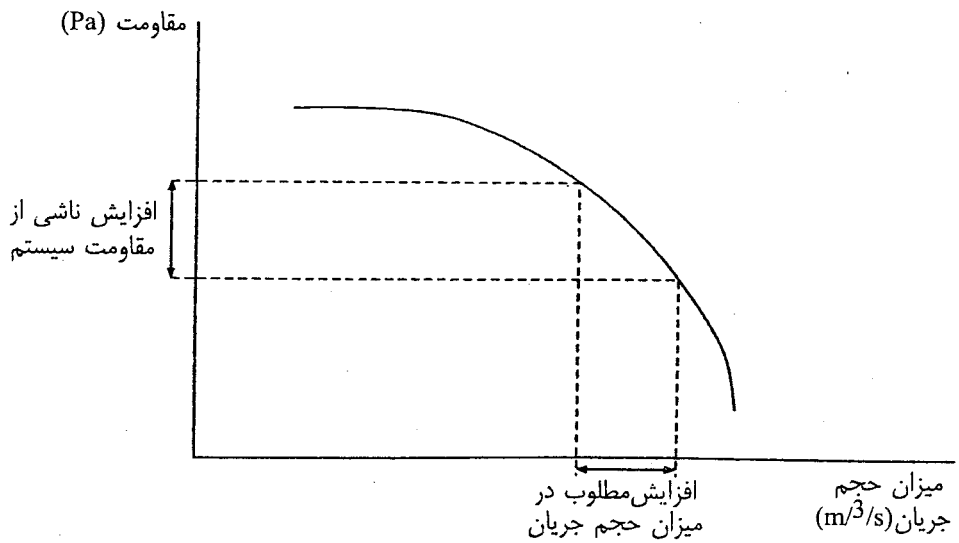
ب) سرعت دمنده در جهت انتقال $۱/۸m^3/s$ کاهش یافته است.

راه‌حل

الف) ورودی توان هوای ورودی به دمنده: $W=\dot{v}\times P_t$

که در آن $\dot{v}$ میزان حجم جریان هوا m^3/s و P_t مقاومت کل سیستم می‌باشد (P_a).

W_1 توان دمنده در زمان انتقال $۲/۰۶m^3/s$ در مقابل مقاومتی برابر $۵۰۰P_a$، و W_2 توان دمنده در زمان انتقال $۱/۸m^3/s$ در مقابل مقاومتی برابر $۷۵۰P_a$، باشد.



شکل ۱۲-۵ تأثیر یک دامپر کنترل حجم بر روی مقاومت سیستم

بنابراین

$$W_1=۲/۰۶\times۵۰۰=۱۰۳۰W$$

و

$$W_2 = ۱/۸ \times ۷۵۰ = ۱۳۵۰\ W$$

بنابراین

$$\text{افزایش در مصرف توان} = \frac{۱۳۵۰ - ۱۰۳۰}{۱۰۳۰} \times ۱۰۰ = ٪۳۱/۱$$

(ب) قوانین دمنده بیان می‌کند که:

$$\dot{\nu} \propto N$$

و

$$W \propto N^{۳}$$

که در آن V میزان جریان حجم هوا m^3/s N سرعت دمنده است (rpm)، و W توان هوای ورودی به دمنده می‌باشد (W).

N_1 سرعت دمنده در زمان انتقال $۲/۰۶ m^3/s$ در مقابل مقاومتی برابر $۵۰۰ p_a$، N_3 سرعت دمنده در زمان انتقال $۱/۸ m^3/s$، و W_3 قدرت پروانه در زمان انتقال $۱/۸ m^3/s$، باشد.

بنابراین

$$N_3 = ۱۴۴۰ \times \frac{۱/۸}{۲/۰۶} = ۱۲۵۸/۳\ rpm$$

$$W_۳ = ۱۰۳۰ \times \frac{۱/۸^{۳}}{۲/۰۶^{۳}} = ۶۸۷/۲\ W$$

بنابراین

$$\text{کاهش در مصرف توان } (W^1 \text{ در مقایسه با } W^3) = \frac{۱۰۳۰ - ۶۸۷/۲}{۱۰۳۰} \times ۱۰۰ = ٪۳۳/۳$$

در حالیکه

$$\text{کاهش در مصرف توان } (W^2 \text{ در مقایسه با } W^3) = \frac{۱۳۵۰ - ۶۸۷/۲}{۱۳۵۰} \times ۱۰۰ = ٪۴۹/۱$$

از مثال ۱۲-۳ می‌توان مشاهده کرد که:

- استفاده از دامپرهای کنترل حجم جهت تنظیم جریان هوا، بطور چشمگیری مصرف انرژی پروانه را افزایش می‌دهد. ابعاد دقیق این افزایش بستگی به مشخصه‌های خاص پروانه انتخاب شده، خواهد داشت.
- کاهش سرعت پروانه جهت تنظیم میزان جریان هوا منجر به صرفه‌جوئیهای انرژی پروانه می‌گردد.

صرفه‌جوئیهای توان پروانه را که می‌توان از طریق کاهش سرعتهای پروانه بدان نائل آمد قابل ملاحظه بوده، علی‌الخصوص زمانی که با افزایش توان پروانه که ناشی از استفاده از دامپرهای کنترل حجم است، مقایسه گردد، اگر سرعتهای پمپ و پروانه را بتوان کنترل کرد، در نتیجه امتیازات بزرگی قابل حصول است.

صرفه‌جوئیهای انرژی حاصله در مثال ۱۲-۳ نشانگر نوع صرفه‌جوئیهایست که می‌توان از طریق استفاده از *VSD*ها بر روی پروانه‌ها و پمپ‌ها، حاصل آورد. در بیشترین کاربردها، پتانسیل برای صرفه‌جوئی انرژی از طریق استفاده از *VSD*ها بر روی پمپ‌ها، پروانه‌ها و کمپرسورها قابل ملاحظه است. اکثر طراحان، مقاومتهای سیستم را بیش از حد تخمین زده تا اکثر پمپ‌ها و پروانه‌ها قبل از اینکه انتخاب واقعی پمپ و پروانه اتخاذ گردد، بطور نظری بیش از اندازه می‌باشند. در خلال فرآیند انتخاب، بدور از ذهن است که طراح محتاط، یک پروانه یا پمپی که منطبق بر مشخصات نظری محاسبه شده باشد، پیدا کند و لذا بزرگتر از اندازه که مطمئناً کار لازمه را انجام می‌دهد، انتخاب می‌شود. این استراتژی حافظ طراحی سیستم بوده و اطمینان می‌دهد که طراح، ناغافلانه پمپ‌ها و پروانه‌ها را کمتر از اندازه نگیرد. متأسفانه، هم چنین اطمینان می‌دهد که سیستم بیش از اندازه بزرگ است و در خلال فرآیند، دامپرهای کنترل حجم و دامپرها باید جهت کاهش میزان حجم جریان، استفاده گردند. متعاقباً، هزینه‌های سرمایه‌ای و فعالیتهای آتی سیستم افزایش افزونی می‌یابد. با استفاده از *VSD*ها امکان اطمینان از اینکه حتی اگر پروانه‌ها و پمپ‌ها بیش از اندازه باشند، مصرف انرژی افزایش افزونی نخواهد یافت، وجود دارد. این تأسیسات، *VSD*ها را یکی از کارآمدترین اقدامات هزینه مؤثر انرژی که می‌توان اتخاذ کرد، می‌سازد. تخمین زده شده است که برای *VSD*ها زمان برگشت سرمایه کمتر از ۲ سال، معمول است (۲).

علاوه بر صرفه‌جوئیهای انرژی حاصله از طریق استفاده از *VSD*ها بر سیستمهای جریان

ثابت، حتی صرفه‌جوئیهای بزرگتری را می‌توان با بکارگیری *VSD*ها بر روی سیستمهای با جریان حجم متغیّر، حاصل کرد. زمانیکه برنامه‌های بار و سیکلهای کاری گرمایش، تهویه مطبوع و سیستمهای هوادهی به جزئیات مورد آزمایش قرار گیرند، در می‌یابیم که در اکثر مواقع بسیار پائین‌تر از مشخصه‌های مورد نظر طراحی، کار می‌کنند. دلیل اصلی برای این مطلب اینست که طراحان سیستم در مرحله طراحی بیش از اندازه محتاط بوده‌اند. در نتیجه میزان حجم جریان ثابت بیش از اندازه زیاد، و سیستمها، با درجه حرارت متغیر طراحی شده‌اند. در حالیکه این روش در عمل کار می‌کند، صرف نظر از اینکه بار عملیاتی چه مقدار است، بدان معنی است که هزینه‌های اجرائی پمپ و پروانه ثابت و بالا بوده. یک روش جایگزین، حفظ درجه حرارت ثابت و میزان جریان متغیر است، تا که هزینه‌های عملیاتی پمپ و پروانه با کاهش بار عملیاتی، کاهش یابند. سیستم سنتی که این روش را اتخاذ کرده سیستم تهویه مطبوع *VAV* می‌باشد، سیستمی که *VSD*ها بطور ایده‌آل مناسب آنها هستند.

۱۲-۴-۱ مبانی عملیاتی *VSD*

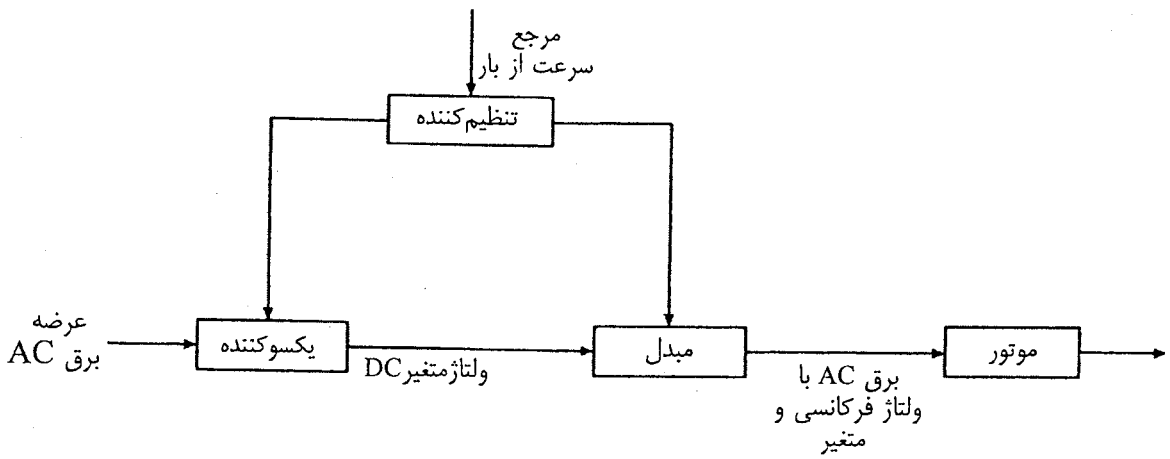
سیستمهای *VSD* مدرن الکترونیکی ورودی جریان متناوب را جهت میزان نمودن سرعت موتور، تنظیم می‌کنند. سیستمهای *VSD* الکترونیکی گوناگون در دسترس هستند. یکی از معمول‌ترین انواع، انتقال توان با فرکانس متغیر بوده، که توسط تغییر خروجی ولتاژ و فرکانس به کنترل سرعت نائل می‌آید. چنین انتقال نیروئی ولتاژ به موتور را به نسبت فرکانس خروجی در جهت اطمینان از اینکه نسبت ولتاژ به فرکانس نسبتاً ثابت باقی بماند، تنظیم می‌کند. تغییرات در سرعت موتور توسط میزان کردن ولتاژ و فرکانس به موتور، حاصل می‌آید. شکل ۱۲-۶ اجزا اساسی در یک سیستم *VSD* با انتقال نیروی فرکانس متغیر را نشان می‌دهد.

سیستمهای انتقال نیروی فرکانس متغیر شامل دو جزء اصلی، یک یکسو کننده و یک مبدل می‌باشند. یکسو کننده جریان متناوب استاندارد *(ac)* (مانند ۲۴۰ ولت و ۵۰ هرتز) را به یک جریان مستقیم قابل تنظیم *(dc)* تبدیل کرده، که سپس به مبدّل تغذیه می‌شود. مبدل تشکیل شده از سوئیچهای الکترونیکی است که نیروی *dc* را جهت تولید خروجی نیروی *ac* پالسی، روشن و خاموش می‌کند. این می‌تواند سپس جهت تولید فرکانس و ولتاژ مورد نیاز، کنترل شود. شاخصهای سوئیچینگ مبدل توسط یک تنظیم کننده تعدیل گردیده، تا که خروجی فرکانس را بتوان کنترل کرد.

مبدل، بخش حساس یک سیستم *VSD* است. یک نوع مبدّل مورد استفاده در حال حاضر مبدل تعدیل کننده عرض پالس *(PWM)* بوده، که یک ولتاژ ثابت *dc* را از یکسو کننده دریافت داشته و خروجی ولتاژ و فرکانس را تنظیم می‌کند. مبدل *PWM* یک شکل موج از جریانی که نزدیک به موج سینوسی خالص تأمین شده از منبع اصلی *ac* است، تولید می‌کنند.

۱۲-۵ مصرف انرژی روشنائی

انرژی مصرفی توسط روشنائی الکتریکی در بیشتر انواع ساختمان‌ها قابل ملاحظه است. جدول ۱۲-۲ نسبت کل انرژی مصرفی توسط روشنائی برای انواع مختلفی از ساختمان در بریتانیا را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲-۶ اجزاء یک انتقال توان با سرعت متغیر

اگرچه در بسیاری از ساختمانها انرژی مصرفی توسط سیستم گرمایش اغلب بیشتر از مصرف روشنائی است، لیکن هزینه‌های انرژی مرتبط با روشنائی اغلب بطور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از آن هزینه‌هائی است که با گرمایش مرتبط است (۱). امکان نائل آمدن به صرفه‌جوئیهای قابل ملاحظه هزینه انرژی از طریق طراحی و حفظ محتاطانه پروژه‌های روشنائی، وجود دارد. بطور متوسط، ساختمانهای اداری با تهویه مطبوع استاندارد و عملکرد خوب، هزینه روشنائی سالیانه ۱/۴۸ پاوند برای هر متر مربع را تجربه می‌کنند، که در مقایسه با قیمت معمول ۲/۹۷ پاوند برای هر مترمربع فضای کف، بسیار مطلوب است (۱).

۱۲-۵-۱ روشنائی روز

اگرچه تمرکز این بخش بر خدمات الکتریکی است، روشنائی روز مربوط به موضوع روشنائی مصنوعی می‌شود و لذا بحث مختصری در این جا شامل است. قابلیت روشنائی روز در کاهش هزینه‌های انرژی روشنائی نباید دست کم گرفته شود. روشنائی روز می‌تواند نقش قابل ملاحظه‌ای در روشنائی ساختمانها با کاهش اتکاء بر روشنائی مصنوعی، داشته باشد.

عوامل عمده تأثیرگذار بر روشنائی روز یک فضای داخلی، شامل عمق اطاق، اندازه و موقعیت پنجره‌ها، سیستم شیشه بندی، و هر گونه موانع خارجی، می‌باشند. این عوامل معمولاً بستگی به تصمیم‌سازیهای مرحله شروع طراحی دارد. از طریق برنامه ریزی مناسب در مراحل ابتدائی امکان ایجاد ساختمانی که علاوه بر انرژی کارآمد بودن، دارای یک نمای داخلی خوش منظر نیز باشد، وجود دارد. اگرچه، شیشه‌بندی می‌تواند محدودیتهای جدی در شکل و کاربری یک ساختمان اعمال‌کند. اگر تصمیم‌سازیهای طراحی در ارتباط با پنجره‌بندی ضعیف باشد، امکان خلق ساختمانی که در آن ساکنین ناراحت باشند، وجود داشته، و هم مصرف انرژی بالا می‌باشد. بنابراین شیشه‌بندی باید با احتیاط اعمال شود!

جدول ۱۲-۲ نمونه مصرف انرژی در روشنائی برای کاربردهای مختلف در بریتانیا (۵)

نوع ساختمان	نمونه درصد انرژی مصرف شده توسط روشنائی (٪)
بانک‌ها	۱۹
کارخانه‌ها	۱۵
هتل‌ها	۹
ادارات	۲۰-۱۶
مدارس	۱۲-۹
سوپرمارکت‌ها	۱۱

۱۲-۵-۲ تعاریف روشنائی

قبل از بحث عواملی که مصرف انرژی پروژه‌های روشنائی مصنوعی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، اهمیت دارد که در ابتدا مشخصه‌های کلامی درگیر را درک کرده، و چگونگی طراحی

پروژه‌های روشنائی را استنباط کنیم. اگرچه بحثی کامل در موضوع طراحی روشنائی ماوراء ابعاد این کتاب است.

زمانی که یک لامپ نئون روشن می‌شود، امواج درخشانی در تمام جهات منتشر می‌کند. واحد امواج درخشان در سیستم SI لومن (lm) می‌باشد. باید متذکر شد که لومن صرفاً یک مقیاس کمیت امواج درخشان است. آن راجع به جهات روشنائی بما چیزی نمی‌گوید. زمانی که یک لامپ در یک اسباب روشنائی با حباب انعکاس دهنده جای داده می‌شود، امواج درخشان از لامپ به یک جهت خاص هدایت خواهد شد (مثلاً بطرف پائین در مورد اسباب نصب شده در سقف). بنابراین شماری معین از لومن‌ها با شدت روشنائی معینی در یک جهت خاص متمرکز می‌شوند. شدت روشنائی، بدانگونه که کلمه اظهار می‌کند، شدت امواج درخشانی است در هر جهت زاویه دار سه بعدی مفروض و واحد SI آن شمع است (cd). "جهت زاویه دار سه بعدی" مفهوم مشکلی برای تعریف است؛ لیکن معمولاً بعنوان "**زاویه تمام**" بدان اشاره می‌شود و معادل سه بعدی یک زاویه دو بعدی است. استرادیان واحد SI **زاویه تمام** بوده و معادل سه بعدی رادیان است. بنابراین شمع می‌تواند بعنوان یک لومن برای هر استرادیان تعریف شود. بطور دقیق‌تر، یک شمع می‌تواند بعنوان شدت روشنایی از یک منبع تولید نور در ۵۴۰/۰۰۰/۰۰۰ MHZ و در یک شدت معین ۱/۶۸۳W در هر استرادیان، تعریف شود(۶).

تولیدکنندگان ابزار روشنائی از یک سیستم دیاگرامهای قطب مغناطیسی جهت شرح شدت روشنائی توزیعی از اسباب روشنائی استفاده می‌کنند. شکل ۱۲-۷ یک نمونه دیاگرام قطب مغناطیسی برای یک مقطع عرضی سرتاسری یک اسباب روشنائی نصب شده در سقف را نشان می‌دهد. باید متذکر شد که شدت روشنائی تولیدی توسط لامپ در تمام جهات یکسان نیست. برای مثال، در حالیکه شدت در یک جهت عمودی ۱۱۲cd برای هر klm از امواج لامپ است، شدت در ۴۰°C عمودی فقط ۸۸cd برای هر klm می‌باشد. معمولاً تولیدکنندگان ابزار روشنائی، شدت را در اصطلاح شمع برای هر klm از امواج لامپ نصب شده مشخص می‌کنند زیرا اغلب امکان استفاده از لامپهای گوناگون در هر اسباب روشنائی معین، می‌باشد.

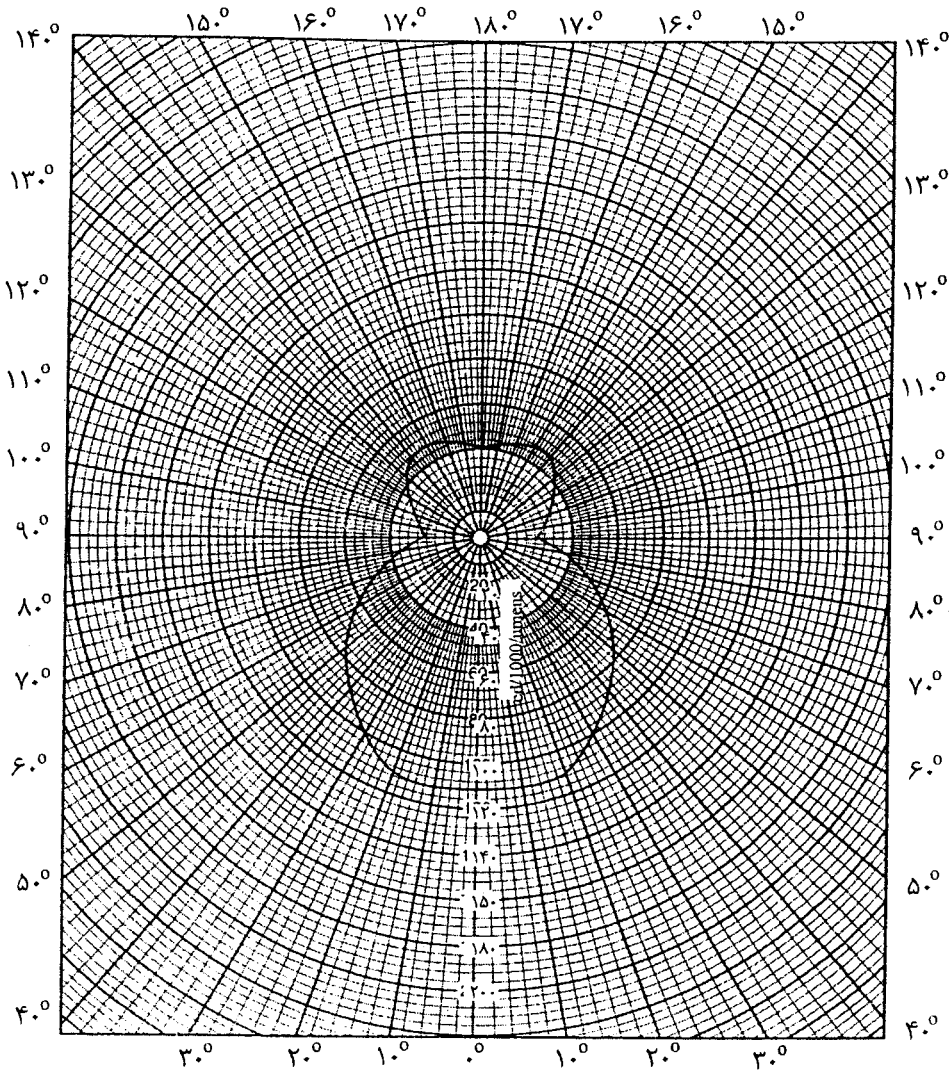
از نقطه نظر صرفاً کارکردی، چنان نیست که شدت روشنائی که از یک منبع نور می‌آید (مثلاً اسباب روشنائی) اهمیت دارد، بلکه ترجیحاً مقدار روشنائی که بر یک سطح خاص فرو می‌ریزد دارای اهمیت است. برای مثال، یک اطاق احتمال دارد فقط توسط نورافکنهائی که با درخشندگی بر روی اشیاء معینی می‌تابند، روشن شود در حالیکه دیگر نقاط اطاق در تاریکی نسبی رها می‌گردد.

اگر شخصی سعی در خواندن کتابی در منطقه‌ای از اطاق که بخوبی روشن نیست، نماید، او مشکلاتی را تجربه خواهد کرد. اگرچه ممکن است امواج درخشانی در اطاق باشند، مشکل اینست که مقدار بسیار کمی از آن بر روی صفحات کتاب فرو می‌ریزد. آنگاه شخص مشکلاتی را در خواندن تجربه می‌کند. بنابراین مقدار امواج درخشانی که بر یک سطح فرو می‌ریزد دارای اهمیت زیادی است. به آن بعنوان روشنائی اشاره می‌شود و دارای واحد *SI* لوکس *(lx)* است. یک لوکس بعنوان امواج روشنائی یک لومن که بر یک سطح دارای مساحتی برابر یک مترمربع فرو می‌ریزد، تعریف می‌شود. پروژه‌های روشنائی مصنوعی معمولاً بعنوان قابلیت تأمین شمار معینی از لوکس بر روی یک صفحه کاری افقی، مشخص می‌گردند. عموماً، هر چه کار پر مراجع‌تر باشد، سطح نیاز به روشنائی بالاتر است.

به سبب اینکه نور شکلی از انرژی تشعشعی است، قدرت روشن کردن یک سطح (روشنائی آن) بطور معکوس با مربع مسافت بین منبع نور و سطح تغییر می‌کند. به اصطلاح ساده، اگر مسافت افزایش یابد، روشنائی، با مربع مسافت کاهش می‌یابد. این رابطه بعنوان قانون مربع معکوس شناخته می‌شود. هم چنین، اگر یک سطح افقی از کنار روشنائی داده شود، چنانکه نور در یک زاویه غیر از ۹۰° به سطح برخورد کند، امواج روشنایی در دسترس بر روی سطح وسیعی از مساحت تقسیم شده، لذا روشنائی کاهش می‌یابد. بنابراین زاویه‌ای که نور به یک سطح برخورد می‌کند، اهمیت دارد.این اطلاعات را می‌توان با قانون مربع معکوس جهت ایجاد قانون کسینوس روشنائی تلفیق نمود، که می‌توان بشرح ذیل بیان کرد.

$$E_h = \frac{I\theta}{d^2} \times Cos\theta \qquad (۵-۱۲)$$

روشنائی بر روی یک سطح افقی



شکل ۱۲-۷ دیاگرام شدت قطب مغناطیسی

که در آن θ زاویه‌ای است که نور به سطح افقی برخورد می‌کند (مانند زاویه از جهت عمودی)(°)، $I\theta$ شدت روشنائی در جهت θ می‌باشد (cd)، و d فاصله صفحه از منبع نور است (m).

مثال ۱۲-۴ نشان می‌دهد چگونه قانون کسینوس را می‌توان با داده‌های محتوای دیاگرم قطب مغناطیسی نشان داده شده در شکل ۱۲-۷ بکار گرفت.

مثال ۱۲-۴

با استفاده از دیاگرام قطب مغناطیسی روشنائی نشان داده شده در شکل ۱۲-۷، روشنائی بر روی یک سطح افقی را تعیین کنید: (فرض کنید که اسباب روشنائی حاوی ۲ لامپ فلورسنت، هر

کدام با امواج روشنائی ۳۲۰۰ لومن lm) باشند.

(I) در یک نقطه (الف) ۳ متر مستقیماً زیر روشنائی.

(II) در یک نقطه (ب) ۲ متر بطرف راست نقطه (الف).

راه‌حل

(I) از شکل ۱۲-۷ می‌توان مشاهده کرد که شدت روشنائی در جهت عمودی $112cd$ برای هر klm از امواج لامپ است. بنابراین

$$\text{شدت روشنائی در جهت عمودی} = 112 \times (2 \times 3/2)$$

$$= 716/8 \quad cd$$

بنابراین

$$\text{روشنائی بر روی یک سطح افقی در نقطه (الف)} = \frac{716/8}{3^2} \times cos\theta = 79/6 \; lx$$

(II) نقطه (ب) را لحاظ می‌کنیم

$$tan\theta = \frac{2}{3} = 0/667$$

بنابراین

$$\theta = 33/69^\circ$$

و

$$d = \sqrt{(2^2 + 3^2)} = 3/606 m$$

از شکل ۱۲-۷ می‌توان مشاهده کرد که شدت روشنائی در $33/7^\circ$ از جهت عمودی $96cd$ در هر klm از امواج لامپ است. بنابراین

$$\text{شدت روشنائی در جهت عمودی} = 96 \times (2 \times 3/2)$$

$$= 614/4cd$$

بنابراین

$$\text{روشنائی بر روی سطح افقی در نقطه (ب)} = \frac{۶۱۴/۴}{۳/۶۰۶^۲} \times cos\ ۳۳/۶۹ = ۳۹/۳\ lx$$

۱۲-۶ طراحی روشنائی مصنوعی

عملکرد یک طرح روشنائی مصنوعی متأثر است از:

- بازدهی لامپ‌ها (یعنی خروجی نور در هر وات از توان الکتریکی مصرف شده).
- عملکرد روشنائی
- ترتیب قرار گرفتن تجهیزات روشنائی
- انعکاس سطح دکور و مبلمان
- استانداردهای نگهداری

تمامی این عوامل باید در زمانیکه هر طرح روشنائی را طراحی می‌کنیم، دخالت داده شوند. یک روش که غالباً مورد استفاده قرار گرفته و تمامی این عوامل را مورد ملاحظه قرار می‌دهد "روش طراحی لومن" می‌باشد. روش لومن قادر می‌سازد طرحهای روشنائی معمول را بسرعت و بسادگی طراحی نماید، و لذا بعنوان یک روش طراحی بطور خاص معمول هستند. این روش قادر می‌سازد شمار روشنائی‌ها برای هر فضای اطاق مستطیلی شکل با استفاده از معادله (۱۲-۶) تعیین گردد.

$$\text{تعداد تجهیزات روشنائی مورد نیاز } n = \frac{E_{av} \times A}{\Phi \times UF \times MF} \qquad (۱۲-۶)$$

که در آن n تعداد تجهیزات روشنائی مورد نیاز، A مساحت صفحه کاری در اطاق (مثلاً مساحت اطاق) (m^2)، E_{av} متوسط روشنائی مورد نیاز بر روی صفحه کاری (lx)، ϕ لومن‌های طراحی روشنائی برای هر اسباب روشنائی (lm)، UF ضریب بهره‌گیری تجهیزات روشنائی، و MF ضریب نگهداری می‌باشد.

هر کدام از اصطلاحات در معادله (۱۲-۶) مرتبط با لیست عواملی است که در ابتدای این بخش مشخص گردیده است. بهرحال، در جهت درک ارتباط هر کدام از اصطلاحات، برخی تفاسیر لازم

است.

۱۲-۶-۱ متوسط روشنائی (E_{av})

روشنائی مورد نیاز در یک اطاق بستگی به طبیعت مشاغلی که در فضای آن بعهده گرفته می‌شود، دارد. دقت دید در سطوح بالاتر روشنائی بهبود می‌یابد. هرچه کار محتاج دیدن بهتر باشد، سطح روشنائی مورد لزوم بر روی صفحه کاری بالاتر است. صفحه کاری معمولاً ارتفاع میز کار محسوب می‌گردد. جدول ۱۲-۳ سطوح مناسب روشنائی برای تنوعی از فعالیتها و فضاها را نشان می‌دهد.

۱۲-۶-۲ لومن‌های طراحی روشنائی (ϕ)

اصطلاح لومن طراحی روشنائی بطور ساده اشاره به مجموعه خروجی لومن لامپ‌های قرار گرفته در یک اسباب روشنائی خاص، دارد. باید متذکر شد که این خروجی لومن برای زمانی است که لامپ‌ها نو هستند. هم چنین اهمیت دارد قدردان باشیم که تولیدکنندگان وسائل روشنائی، اسباب‌های روشنائی تولید می‌کنند که امکان جادادن لامپ‌های متنوعی، که هر کدام امواج روشنائی مختلفی را منتشر خواهند کرد، را دارد. بنابراین نوع لامپ مورد استفاده در روشنائی باید مشخص شود.

۱۲-۶-۳ ضریب بهره‌گیری (UF)

ضریب بهره‌گیری را می‌توان بشرح ذیل بیان کرد

$$UF = \frac{\text{کل امواجی که به صفحه کاری می‌رسند}}{\text{کل امواج لامپ}} \qquad (۱۲-۷)$$

UF، امواج روشنائی مستقیمی که مستقیماً از منبع روشنائی به صفحه کاری می‌رسند و امواجی که از انعکاس از دیوارها و سقف به صفحه کاری می‌رسند، هر دو را بحساب می‌آورد. UF متأثر از ماهیت روشنائی مورد استفاده، انعکاس سطح اطاق، و ابعاد اطاق می‌باشد. جدول ۱۲-۴ یک نمونه‌سری داده‌های UF تولیدی توسط تولیدکننده‌ای برای اسباب روشنائی معینی را نشان می‌دهد.

جدول ۱۲-۳ استاندارد روشنائی مورد نیاز برای فعالیتهای مختلف (۷)

نمونه فعالیتها	روشنائی حفظ‌شده استاندارد (lx)
تونلهای کابل، تانکهای ذخیره داخل ساختمان، پیاده‌روها	۵۰
کریدورها، اطاقهای رختکن، انبارهای حجیم، سالن‌ها	۱۰۰
محل‌های بارگیری، داروخانه‌ها، اطاقهای فرمان، اطاقهای تأسیسات	۱۵۰
سرسراهای ورودی، نظارت برفرآیندهای اتوماتیک، بتون‌ریزی، دالانهای توربین، اطاقهای غذاخوری	۲۰۰
سالنهای کتابخانه، ورزشی و سوارکردن تجهیزات، فضاهای آموزشی، سالنهای سخنرانی	۳۰۰
فضاهای اداری عمومی، جمع‌کردن موتور، آشپزخانه، آزمایشگاهها، فروشگاههای خرده‌فروشی	۵۰۰
دفاتر نقشه کشی، بازرسی گوشت، فروشگاههای زنجیره‌ای	۷۵۰
بازرسی عمومی، جمع‌کردن وسائل الکترونیکی، اطاقهای ابزار و صفحه‌کنترلها، سوپرمارکت‌ها	۱۰۰۰
کار ظریف و بازرسی، خیاطی دستی، سوارکردن لوازم ظریف	۱۵۰۰
جمع کردن مکانیسم‌های ریز، بازرسی نهائی پارچه	۲۰۰۰

باید متذکر شد که انعکاس سطح اطاق و هندسه اطاق، هر دو در جدول ۱۲-۴ محسوب گردیده است. هندسه اطاق توسط شاخص اطاق که بشرح ذیل بیان می‌گردد، بحساب آورده شده است.

$$\text{شاخص اطاق} = \frac{L \times W}{H_m \times (L + W)} \qquad (۸-۱۲)$$

که در آن L طول اطاق (m)، W عرض اطاق است (m)، و H_m ارتفاع نصب می‌باشد (مثلاً ارتفاع بالای صفحه کاری) (m).

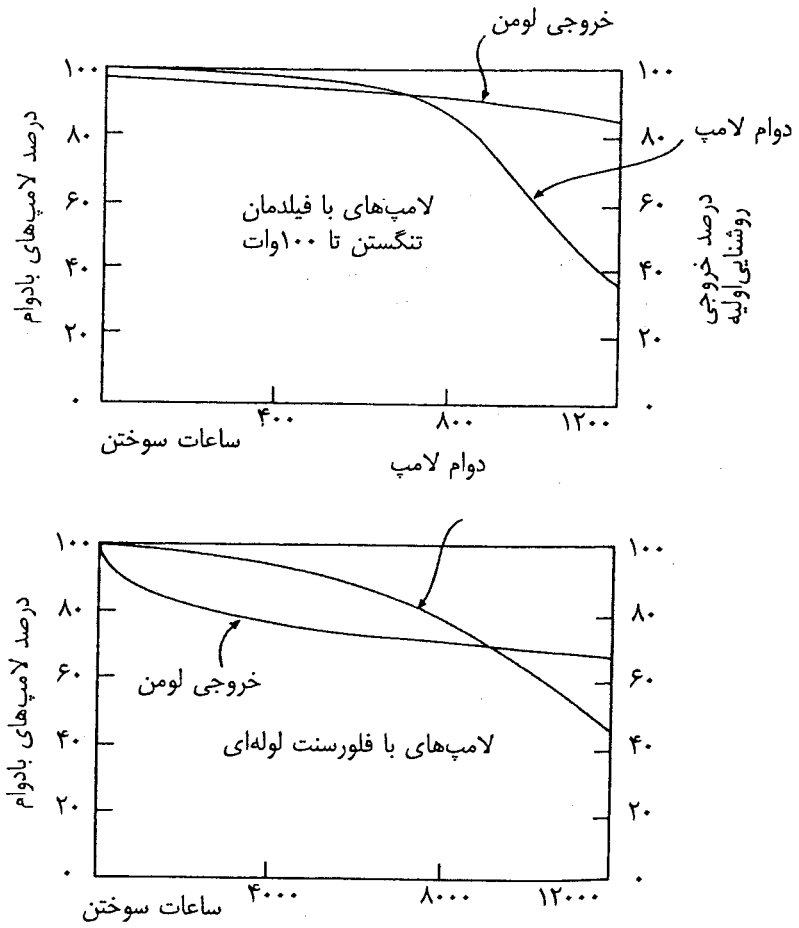
۱۲-۶-۴ ضریب نگهداری (MF)

روشنائی خروجی مؤثر از هر منبع روشنائی بازمان کاهش می‌یابد. این به سبب شماری از عوامل است:

- خروجی لامپ بازمان کاهش می‌یابد.
- انعکاس دهنده و تابانند روشنائی بمرور زمان کثیف می‌شوند.
- سطوح اطاق بمرور زمان کثیف می‌شوند.

برای جبران این افت در خروجی روشنائی، یک *MF* در روش طراحی لومن ارائه شده است. هم چنین *MF* برای این اساس که بمرور زمان هر کدام از لامپ‌ها سوخته و تا زمانی که آنها را تعویض کنند، دست نخورده باقی می‌مانند، ضریبی منظور داشته است.

دوام لامپ و خروجی لامپ هر دو بازمان افت می‌کنند. شکل ۱۲-۸ منحنی شاخصه‌های خروجی و دوام برای لامپ‌های فلورسنت و رشته‌ای تنگستن را نشان می‌دهد. می‌توان مشاهده کرد که دو نوع لامپ بسیار متفاوت عمل می‌کنند. خروجی لومن لامپ فلورسنت تا حدود ۱۰٪ در خلال ۵۰۰ ساعت اولیه کارکرد، افت می‌کند (۷). بعد از آن خروجی با سرعت کمتری کاهش می‌یابد. در مورد لامپ رشته‌ای تنگستن کاهش در خروجی نور بسیار تدریجی‌تر بوده، اگرچه دوام این نوع لامپ نسبت به لامپ فلورسنت بسیار کوتاه‌تر است.

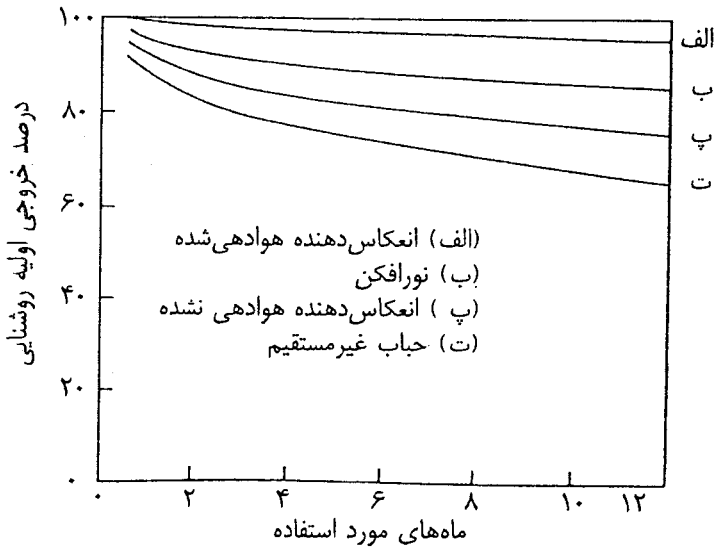


شکل ۱۲-۸ منحنی‌های خروجی و دوام لامپ (۷)

جدول ۱۲-۴ جدول فاکتور بهره‌گیری در روشنائی

		شاخص اطاق					
		۱/۰۰	۱/۲۵	۱/۵۰	۲/۰۰	۲/۵۰	۳/۰۰
انعکاس‌دهی اطاق	۵۰(۵۰)	۰/۵۰	۰/۵۴	۰/۵۷	۰/۶۱	۰/۶۳	۰/۶۵
(٪دیوار)(٪)سقف	۵۰(۳۰)	۰/۴۷	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۵۸	۰/۶۱	۰/۶۳
	۵۰(۱۰)	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۵۱	۰/۵۶	۰/۵۹	۰/۶۱

شدتی که اسباب‌های روشنائی کثیف می‌شوند بستگی بسیار زیادی بر نوع اسباب دارد. برای مثال، یک منبع روشنائی با هوا دهی، مورد استفاده بصورت تلفیق با یک مکنده، سبب جمع شدن غبار و کثافت از فضای اطاق بر روی حباب روشنائی شده در نتیجه احتمالاً سریع هم کثیف می‌شود. شکل ۱۲-۹ چگونگی کاهش خروجی نور با تجمع غبار برای انواع مختلفی از روشنائی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲-۹ افت در خروجی نور به سبب تجمع غبار(۷)

جداول ۱۲-۵، ۱۲-۶ و ۱۲-۷ ضرایب مختلف مرتبط با کاهش خروجی روشنائی را به کمیت درمی‌آورند. جدول ۱۲-۵ کارکرد لامپ در طول زمان را به دو روش به کمیت می‌آورد، ضریب نگهداری لومن *(LLMF)* نسبت لومنهای ابتدائی لامپ "باقی مانده" بعد از یک مقطع زمانی معین است، درحالیکه ضریب دوام لامپ *(LSF)* نسبتی از دوام لامپ‌ها (لامپ‌هائی که نسوخته‌اند) بعد از

یک زمان معین است (۸).

ضریب نگهداری روشنائی *(LMF)* که در جدول ۱۲-۶ به آن اشاره دارد اثر نظامهای نگهداری مختلف بر انواع مختلف روشنائی در محیطهای گوناگون را به کمیت در می‌آورد. اثر نظامهای مختلف پاکسازی در انعکاس سطح اطاق در جدول ۱۲-۷ با استفاده از یک ضریب نگهداری سطح اطاق *(RSMF)* به کیفیت درآمده است.

مثال ۱۲-۵ چگونگی امکان تعمیم یک ضریب نگهداری *MF* واقعی را در عمل نشان می‌دهد.

مثال ۱۲-۵

طرح روشنائی در یک فضای دفتری شامل ۶۰ وسیله روشنائی از نوع بستی با لامپهای فلورسنت (نوع سه فسفره) است. لامپها پس از هر ۶۰۰۰ ساعت کار، تعویض می‌شوند و اسبابهای روشنائی و سطوح اطاق هر ۱۲ ماه نظافت می‌گردند. تمیزی محیط داخل فضای دفتری معمولی بوده و امواج روشنائی توزیعی از منابع روشنائی ماهیتاً گسترده است.

جدول ۱۲-۵ ضرایب نگهداری لومن و دوام لامپ

نوع لامپ	فاکتور	ساعات کارکرد		
		۶۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۲۰۰۰
فلورسنت (سه فسفره)	*LLMF*	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۸۴
	LSF	۰/۹۹	۰/۸۵	۰/۷۵
هالوژن	*LLMF*	۰/۷۲	۰/۶۶	۰/۶۳
	LSF	۰/۹۱	۰/۸۳	۰/۷۷
سدیم (فشاربالا)	*LLMF*	۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۸۷
	LSF	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۸۹

جدول ۱۲-۶ ضریب نگهداری روشنائی *(LMF)*

نوع	نظافت با فاصله ۶ ماهه			نظافت‌بافاصله۱۲ماهه			نظافت‌بافاصله۱۸ماهه		
روشنائی	تمیز	معمولی	کثیف	تمیز	معمولی	کثیف	تمیز	معمولی	کثیف
بست‌خورده	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۹۳	۰/۹۸	۰/۸۳	۰/۹۱	۰/۸۷	۰/۸۰
توکار	۰/۹۲	۰/۸۷	۰/۸۳	۰/۸۸	۰/۸۲	۰/۷۷	۰/۸۵	۰/۷۹	*
نوربالا	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۸۱	*	۰/۸۱	*	*

* توصیه نمی‌شود.

جدول ۱۲-۷ ضریب نگهداری سطح اطاق *(RSMF)*

شاخص	امواج‌روشنائی	نظافت با فاصله ۱۲ ماهه			نظافت با فاصله ۲۴ ماهه		
اطاق	توزیعی	تمیز	معمولی	کثیف	تمیز	معمولی	کثیف
۲/۵-۵/۰	مستقیم	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۴
۲/۵-۵/۰	معمولی	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۸۵	۰/۸۹	۰/۸۵	۰/۸۱
۲/۵-۵/۰	غیرمستقیم	۰/۸۸	۰/۸۲	۰/۷۷	۰/۸۴	۰/۷۷	۰/۷۰

یک ضریب نگهداری مناسب برای تأسیسات رامعین کنید.

راه‌حل

از جدول (۱۲-۵) $LLMF=۰/۸۷$

$LSF=۰/۹۹$

از جدول (۱۲-۶) $LMF=۰/۹۸$

از جدول (۱۲-۷) $RSMF=۰/۸۸$

بنابراین $MF=۰/۸۷\times۰/۹۹\times۰/۹۸\times۰/۸۸=۰/۷۴$

زمانیکه یک سیستم روشنائی را طراحی می‌کنید اطمینان از اینکه روشنائی بر روی صفحه کار بطور یکنواخت توزیع شود، اهمیت دارد. اگر منابع روشنائی از یکدیگر فاصله بسیار داشته باشند، نقاط تیره‌ای بر روی صفحه کار پدید می‌آیند و این امر اهمیت عدم تغییر نسبت فضا به ارتفاع نسبت هر کدام از تجهیزات ویژه را نشان می‌دهد. از نسبت فضا به ارتفاع نصب، عنوان شده نشان می‌دهد. فضادهی اسمی برای اسباب‌های روشنائی را می‌توان با استفاده از معادله (۱۲-۹) معین نمود.

$$S = \sqrt{\frac{A}{n}} \quad \text{فضای اسمی بین اسباب‌ها} \qquad (۱۲-۹)$$

فرآیند درگیر در روش طراحی لومن در مثال ۱۲-۶ نمایش داده شده است.

مثال ۱۲-۶

یک فضای دفتری ۱۵×۹×۳ متر نیاز به روشنائی ۵۰۰ لوکس دارد. با اطلاعات داده شده ذیل یک سیستم روشنائی مصنوعی مناسب برای فضا طراحی کنید.

اطلاعات:

۸۰۰ mm	= ارتفاع صفحه‌کاری
۳۰۰۰ mm	= ارتفاع اسباب‌های روشنائی از سطح اطاق
۸۰۰۰ lm	= لومن‌های طراحی شده برای هر اسباب
٪۷۵	= ضریب نگهداری
٪۵۰	= ضریب انعکاس سقف
٪۵۰	= ضریب انعکاس دیوار
۱/۲:۱/۰	= نسبت حداکثر فضا به ارتفاع نصب

		شاخص اطاق					
		۱/۰۰	۱/۲۵	۱/۵۰	۲/۰۰	۲/۵۰	۳/۰۰
انعکاس اطاق	۵۰(۵۰)	۰/۵۰	۰/۵۴	۰/۵۷	۰/۶۱	۰/۶۳	۰/۶۵
(٪دیوار)(٪)سقف	۵۰(۳۰)	۰/۴۷	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۵۸	۰/۶۱	۰/۶۳
	۵۰(۱۰)	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۵۱	۰/۵۶	۰/۵۹	۰/۶۱

راه‌حل

ارتفاع نصب = ۳ − ۰/۸ = ۲/۲ m

با استفاده از معادله (۱۲-۶)

$$\text{شاخص اطاق} = \frac{۱۵\times۹}{۲/۲\times(۱۵+۹)} = ۲/۵۶$$

از آنجائیکه انعکاس سقف ۵۰٪، انعکاس دیوار ۵۰٪ و شاخص اطاق ۲/۵۶ می‌باشد.

بنابراین $UF = ۰/۶۳۲$

با استفاده از معادله (۱۲-۶)

$$n = \text{تعداد اسباب روشنائی مورد نیاز} = \frac{۵۰۰\times(۱۵\times۹)}{۸۰۰۰\times۰/۶۳۲\times۰/۷۵} = ۱۷/۸$$

از آنجائیکه داشتن ۰/۸ از یک اسباب روشنائی ممکن نیست، شمار روشنائی‌های مورد نیاز (n) باید ۱۸ باشد. با استفاده از معادله (۱۲-۹)

$$S = \text{فضای اسمی مابین اسباب‌های روشنائی} = \sqrt{((۱۵\times۹)/۱۸)} = ۲/۷۳۹m$$

بنابراین

$$\frac{\text{ارتفاع نصب}}{\text{فضا}} = \frac{۲/۷۳۹}{۲/۲} = ۱/۲۴۵$$

از آنجائیکه، نسبت فضادهی به ارتفاع نصب از حداکثر نسبت مجاز ۱÷۱/۲ تجاوز می‌کند. بنابراین، افزایش شمار اسباب‌ها الزامی است، گوئیم ۲۰.

بنابراین

$S=\sqrt{((۱۵\times۹)/۲۰)}=۲/۵۹۸\,m$ فضای اسمی مابین اسباب‌های روشنایی

بنابراین

۱÷۱/۱۸۱=۲/۲÷۲/۵۹۸=ارتفاع نصب ÷ فضادهی

این نسبت فضادهی به ارتفاع نصب قابل قبول می‌باشد. بنابراین

۲۰= تعداد اسباب‌های روشنائی مورد نیاز

و

۴ ردیف از ۵ اسباب روشنائی = سیستم طراحی پیشنهادی

۱۲-۷ روشنائی انرژی کارآمد

عوامل عمده‌ای که بر مصرف انرژی طرح‌های روشنائی تأثیرگذار هستند عبارتند از:

(I) خروجی نور هر وات از نیروی الکتریکی مصرف شده (اثربخشی لامپ)

(II) کارکرد منبع روشنائی

(III) تعداد منابع روشنائی و موقعیت آنها

(IV) انعکاس سطوح داخلی اطاق

(V) استانداردهای نگهداری و روشها

(VI) مدّت زمان کارکرد

(VII) تکنیکهای سوئیچینگ و کنترل مورد استفاده

درحالیکه نکات *(I)* تا *(IV)* بالا با کارآئیهای بنیادین هر احداثی سر و کار دارند، نکات *(V)* تا *(VII)* مرتبط با مدیریت و کارکرد تأسیسات هستند.

زمانیکه کل کارآئی انرژی منبع روشنائی را مورد ملاحظه قرار دهیم، نگاه مستقل به هر یک از اجزاء مستقل که با یکدیگر منبع روشنائی را شکل می‌دهند؛ یعنی لامپ، کلید کنترل و اسباب روشنائی، مفید است.

۱۲-۷-۱ لامپ‌ها

تنوع وسیعی از لامپ‌ها که می‌توان در طرحهای روشنائی مصنوعی بکار برد، وجود دارند. فلورسنت، لامپ رشته‌ای تنگستن، هالوژن تنگستن، هالوژن متال *(MBI)* و بخار سدیم فشار بالا *(SON)* جزو بسیاری از انواع لامپ‌های مورد استفاده عموم می‌باشند. شکل ۱۲-۱۰ مقایسه اثربخشی لامپ برای انواع گوناگونی از لامپ‌ها را نشان می‌دهد. اثربخشی تابندگی در لومن تولید شده هر وات از الکتریسیته مصرفی، تعریف می‌شود.

بوضوح می‌توان از شکل ۱۲-۱۰ مشاهده کرد که تفاوت گسترده‌ای در اثربخشی تابندگی بین انواع گوناگون لامپ‌ها وجود دارد. برای مثال، لامپ‌های فلورسنت دارای اثر بخشی حدود $۷۰ lm/w$ بوده، درحالیکه لامپ رشته‌ای تنگستنی اثربخشی حدود $۱۰ lm/w$ را نشان می‌دهند. واضح است که، لامپ فلورسنت از نظر مصرف انرژی بسیار کارآمدتر است. همچنین باید یادآور شد که اثر بخشی تابندگی هر نوع لامپی با افزایش توان ورودی، افزایش می‌یابد. درحالیکه این افزایش ممکن است در برخی انواع لامپ فقط مقدار کمی باشد (مانند لامپ‌های رشته‌ای تنگستنی و هالوژن تنگستنی)، در دیگر لامپ‌هابمانند لامپ‌های سدیمی فشار پائین و بالا *(SOX,SON)*، می‌تواند افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته باشد.

زمانیکه تأسیسات روشنائی مصنوعی جدید را طراحی می‌کنیم، نصب لامپ‌هائی که اثربخشی بالائی دارند، دارای اهمیت است. در تأسیسات قدیمی‌تر، ممکن است لحاظ نمودن تعویض اسباب‌های روشنائی موجود، ارزشمند بوده، تا که آنها بتوانند انواع لامپ‌های کارآمدتر جدیدتری را دربرگیرند. تعویض تأسیسات قدیمی‌تر با استفاده از لوازم مدرن اغلب می‌تواند منجر به صرفه‌جوئیهای انرژی قابل ملاحظه‌ای و شرایط دید بهتری نیز گردد. امکان بهینه‌سازی منابع روشنائی قدیمی‌تر، با کارآئی کمتر، با تعویض نورپخش‌کن‌های موجود با سیستم‌های انعکاس دهنده مدرن با هزینه نسبتاً کم، وجود دارد. اگرچه، برخی تغییرات، از قبیل تعویض کلیدهای کنترل موجود برای سهولت در استفاده از لامپ‌های کم انرژی، ممکن است بطور چشمگیری گران‌تر باشد.

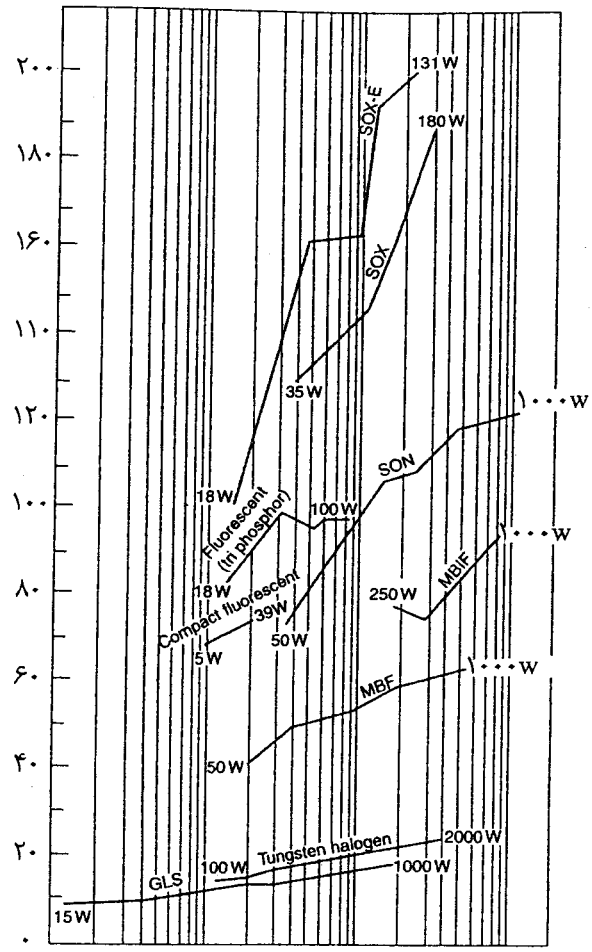
لامپ‌های رشته‌ای تنگستنی

اگرچه استفاده از لامپ‌های رشته‌ای تنگستنی وسیع است، آنها بویژه مشتریان غیرکارآمد انرژی بوده و باید تا حد امکان از آنان اجتناب کرد. آنها دارای اثربخشی در حدود ۸ تا ۱۵ *lm/w* (۹) بوده، که بیشترین انرژی الکتریکی تبدیل به گرما می‌شود، که می‌تواند به مشکلات گرمائی بیش از حد فضا بیانجامد. عمر لامپ کوتاه است و اکثر لامپهای رشته‌ای تنگستنی بعد از حدود ۱۰۰۰ ساعت استفاده، می‌سوزند(۷).

لامپ‌های فلورسنت کم مصرف

به سبب اینکه لامپ‌های رشته‌ای تنگستنی استاندارد چنین اثر بخشی‌های ضعیفی را نمایش می‌دهند، لامپ‌های فلورسنت کم مصرف بعنوان جایگزینی توسعه یافتند. در جائی که ممکن است، لامپ‌های تنگستن باید با لامپ‌های فلورسنت کم مصرف تعویض شوند. خروجی نور در این نوع قابل مقایسه با لامپ‌های تنگستنی بوده، لیکن فقط حدود ۲۰٪ از توانی که توسط لامپ‌های تنگستنی مورد نیاز است را مصرف می‌کنند (۸). همانگونه که عمر اسمی لامپ‌های فلورسنت کم مصرف در محدوده ۸۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ ساعت، ۸ برابر طولانی‌تر از لامپ‌های تنگستنی می‌باشد، هزینه‌های نگهداری بسیار اندک، البته با یک هزینه بالاتر اولیه را دارا می‌باشند.

لامپ‌های فلورسنت کم مصرف را می‌توان به دو دسته مشخص تقسیم نمود: آنهائی که با خود کلید کنترل داشته و آنهائی که نیازمند کلید کنترل جدا می‌باشند. از آنجائیکه طول عمر کلید کنترل معمولاً طولانی‌تر از طول عمر لامپ فلورسنت است، اغلب بهتر است که لامپ‌های با کلید کنترل جدا نصب نمود، زیرا که این روش هزینه مؤثرتر است. لامپ‌های کنترل سرخود گرانتر هستند، بطور خاص بعنوان یک جایگزین مستقیم برای لامپ‌های رشته‌ای تنگستن طراحی شده‌اند. بمانند تمامی لامپ‌های تخلیه‌ای، لامپ‌های فلورسنت ضریب ضعیفی را، اغلب تا حدود ۰/۵ نمایش می‌دهند. اگرچه این را می‌توان با استفاده از خازن اصلاح کرد.



لومن اولیه لامپ

کلید:

GLS لامپ رشته‌ای تنگستن

MBF تخلیه جیوه فشار بالا (فلورسنت)

MBIF تخلیه جیوه فشار بالا (هالوژن)

SON تخلیه سدیم فشار بالا

SOX تخلیه سدیم فشار پائین

شکل ۱۲-۱۰ اثربخشی‌های لامپ‌های مختلف(۹)

لامپ‌های فلورسنت

لامپ‌های فلورسنت در اکثر ساختمانها معمول بوده و اثر بخشی‌های در محدوده *lm/w* ۸۰ تا ۱۰۰ را نمایش می‌دهند(۹). بسته به نوع لامپ و بالاست (دستگاهی که جریان را در مدار ثبات می‌بخشد) مورد استفادهٔ آنها می‌توانند تا ۱۸ برابر طولانی‌تر از لامپ‌های رشته‌ای تنگستنی دوام یابند. در سالهای اخیر لامپ‌های فلورسنت با قطر ۲۶ میلی متر جایگزین لامپ‌های با قطر ۳۸ میلی

متر بعنوان استاندارد تأسیسات جدید گردیده‌اند. این لامپ‌های باریک‌تر تقریباً خروجی نور یکسانی بمانند لامپ‌های با قطر بزرگتر تولید کرده، لیکن حدود ۸٪ الکتریسیته کمتری مصرف می‌کنند(۱۰).

لامپ‌های هالوژنه

لامپ‌های *MBI* برای کاربردهای گوناگون وسیعی معمول شده‌اند و در محدوده گسترده‌ای از میزان‌های توان *W* ۲۰۰۰-۷۰ در دسترس می‌باشند. آنها اثربخشی‌هائی‌را در حدود *lm/w* ۱۰۰-۷۰، بسته به میزان توان‌شان نمایش می‌دهند(۹). لامپ‌های *MBI* بخصوص در کاربردهای صنعتی معمول می‌باشند.

لامپ‌های سدیم فشار بالا

لامپ‌های *SON* برای روشنائی محیطهای وسیع، بمانند کارخانجات و انبارها، که در آن اثربخشی بالای آنها (*lm/w* ۱۲۰-۷۰) می‌تواند تولید کننده یک طرح روشنائی انرژی کارآمد باشد. مفید هستند آنها هم‌چنین برای روشنائی محیطهای بیرونی، پارکینگ‌های ماشین و نورافشانی‌ها مفید می‌باشند. آنها در محدوده وسیعی از میزانهای توان از ۵۰ تا *W* ۱۰۰۰، تولید می‌شوند.

۱۲-۷-۲ کلید کنترل

به سبب ماهیت آنها، تمامی لامپ‌های تخلیه‌ای، بمانند لامپ‌های فلورسنت، نیازمند کلید کنترل برای کار کردن بوده، که شامل یک دستگاه استارت و بالاست می‌باشد. یک دستگاه استارت برای ایجاد اختلاف پتانسیل بالا بین الکترودهای لامپ مورد نیاز است، تا که یک تخلیه الکتریکی بوجود آید. استارترها می‌توانند از نوع درخشنده بوده که باید با تعویض هر دو یا سه لامپ عوض شوند، یا باید از نوع الکترونیک باشند. بالاست جهت کنترل جریان دریافتی توسط لامپ لازم است. اگر بالاست نصب نگردد، آنگاه جریان بمحض انجام گرفتن فرآیند یونیزه شدن بطور چشمگیری افزایش یافته درنتیجه باعث خسارت به سیم کشی و خود اسباب روشنائی می‌گردد.

علاوه بر بار لامپ، بالاست نیز الکتریسیته مصرف می‌کند. بنابراین نوع بالاست مورد استفاده دارای اثراتی بر کل مصرف انرژی است. بطور سنتی بالاست به شکل یک سیم پیچ ساساتی است که، شامل یک سیم مسی پیچیده شده بدور یک هسته فلزی می‌باشد. جاری شدن جریان در درون

سیم یک دامنه مغناطیسی ایجاد می‌کند که مانع رشد جریان بیشتر می‌شود. لذا جریان را برای سطح مطلوب خفه می‌کند. در حالیکه سیم پیچهای ساساتی معمول بخوبی کار می‌کنند، معمولاً در محدوده ۱۵ تا ۲۰ درصد از کل انرژی مصرفی، منجر به اتلاف انرژی اضافی می‌گردند. اخیراً بالاست‌های الکترونیکی فرکانس بالای جدیدی توسعه یافته‌اند. این بالاست‌ها در فرکانس‌های بین ۲۰ و ۴۰ kHz (۱۰) کارکرده، و می‌توانند به مکانیسم‌های استارت سریع جهت تسهیل در روشن شدن‌فوری، یا به استارت آرام که عمر لامپ را طولانی می‌کند، وصل شوند. بالاست‌های فرکانس بالا تا ۳۰٪ نیروی کمتری از سیم پیچهای ساساتی مصرف کرده و دارای مزیت اضافی در افزایش طول عمر لامپ می‌باشند (۱۰).

۱۲-۷-۳ کنترلهای روشنائی

استفاده مناسب از کنترلهای روشنایی می‌تواند منجر به صرفه‌جوئیهای قابل ملاحظه انرژی گردد. این صرفه‌جوئیها بطور عمده برخاسته از بهره‌برداری بهتر از روشنائی روز در دسترس و از خاموش کردن روشنائی الکتریکی در زمانی که یک محل خالی از ساکنین است، می‌باشد. بنابراین زمانیکه در حال طراحی یک استراتژی کنترل روشنائی برای هر کاربرد معینی هستیم، درک الگوی سکونت در مکان اهمیت داشته، زیرا تأثیرات عمیقی بر پتانسیل صرفه‌جوئیهای انرژی خواهد داشت.

چهار روش عمده که تأسیسات روشنائی را می‌توان با آنها کنترل کرد بشرح ذیل هستند:

- کنترل بر پایه زمان؛
- کنترل مرتبط با روشنائی روز؛
- کنترل مرتبط با سکونت
- کلیدهای موضعی.

سیگنالهای زمانی امکان دارد از کلیدهای ثابت محلی یا سیستمهای مدیریت ساختمان صادر گردد. این سیگنالها در زمانهای تنظیمی چراغها را روشن یا خاموش می‌کنند. شامل نمودن استفاده از کلیدهای موضعی اهمیت دارد تا بتوان درصورت نیاز ساکنین، روشنائی را برقرار کرد. سلولهای فتوالکتریک را می‌توان بسهولت جهت روشن یا خاموش کردن روشنائی یا برای کم نور

کردن استفاده نمود. نصب داخلی یا خارجی آنها میسر است. اگرچه تلفیق تأخیر اندازنده‌های زمانی در داخل سیستم کنترل، برای مثال، با رد شدن ابرهای سریع از فراز ساختمان، جهت پرهیز از کلید زدن سریع اهمیت دارد، با استفاده از یک سیستم کنترل فتوالکتریکی نور کم کن نصب شده داخلی، امکان اطمینان از اینکه مجموع روشنائی روز و روشنائی الکتریکی همیشه به سطح طراحی با احساس تمامی روشنائی در منطقه مورد کنترل رسیده و تنظیم خروجی روشنائی الکتریکی مطابق نیاز انجام می‌پذیرد، هست.

اگر روشنائی روز به تنهائی قادر به برآورده ساختن لازمه‌های طراحی باشد، آنگاه روشنائی الکتریکی را می‌توان خاموش کرد. پتانسیل صرفه‌جوئی انرژی کنترل نور، بیشتر از یک سیستم کلید فتوالکتریک ساده است. کنترل نور توسط ساکنین قابل قبولتر است. کنترل مرتبط با سکونت را می‌توان با استفاده از حس گرهای مادون قرمز، اکوستیک، اولتراسونیک یا ماکروویو حاصل کرد. این حس‌گرها زمانی که ساکنی را یافتند چراغها را روشن کرده، و پس از مقطع زمانی تنظیم شده‌ای، زمانیکه هیچ حرکتی از ساکنین دریافت ننمودند، خاموش می‌کنند. آنها طراحی شده‌اند که کلیدهای دستی را خنثی کنند و از وضعیتی که چراغها در مکانهای خالی روشن مانده جلوگیری نمایند. با این نوع از سیستم اهمیت دارد که یک تأخیر اندازنده زمانی در داخل آن تعبیه شود، چرا که اغلب ساکنین برای مقاطع کوتاهی بدون حرکت یا ساکت می‌مانند، و چنانچه در حرکت مداوم به اطراف نباشند، علاقمند نیستند که در تاریکی باشند.

سوئیچهای محلی باید در کاربردهائی که شامل محوطه‌های بزرگی هستند، استفاده شوند. سوئیچهای محلی به هریک از ساکنین، کنترل بر محیط قابل رؤیت شان را داده و هم چنین صرفه‌جوئیهای انرژی را تسهیل می‌نمایند. با استفاده از سوئیچهای محلی امکان خاموش کردن روشنائی مصنوعی در محیطهای مشخص ممکن شده، درحالیکه هنوز در دیگر محوطه‌ها که مورد نیاز است، کار می‌کند، وضعیتی که اگر روشنای برای تمامی یک محوطه از یک کلید منفرد کنترل شود، غیر ممکن می‌باشد.

۱۲-۷-۴ تعمیر و نگهداری

با گذشت زمان منابع روشنائی و سطوح اطاق کثیف شده، و خروجی لامپ کاهش می‌یابد. هم چنین لامپ‌ها می‌سوزند و نیاز به تعویض می‌یابند. نهایتاً کارکرد کلیه تأسیسات روشنائی با زمان کاهش می‌یابد. بنابراین انجام تعمیر و نگهداری مرتب در جهت اطمینان از اینکه یک

تأسیسات بطور کارآمد کار می‌کند، الزامی است. پاک کردن ساده لامپ‌ها و منابع روشنائی می‌تواند بطور قابل ملاحظه‌ای کارکرد روشنائی را بهبود بخشد. بنابراین در مرحله طراحی، نیازهای تعمیر و نگهداری باید همیشه مورد ملاحظه قرار گیرد. منابع روشنائی باید بسهولت برای تمیز کردن و تعویض لامپ قابل دسترسی باشند. تعویض یکباره لامپ‌ها باید برنامه‌ریزی گردد، تا که آنها در پایان عمر مفید خودشان تعویض شده، قبل از اینکه خروجی نور به تیره‌گی گرائیده و به سطح غیرقابل قبولی برسد. تمیز کردن لامپ‌ها و منابع روشنائی باید برمبنای یکسانی برنامه‌ریزی شود. در راستای بحداقل رساندن اختلال در امور کارکنان، تمیز کردن و تعویض لامپ برنامه‌ریزی شده می‌تواند در خلال مقاطع تعطیلات انجام گیرد.

References

1. Energy use in offices (1998). Energy Consumption Guide 19, Department of the Environment, Transport and the Regions.
2. Economic use of electricity in industry, Fuel Efficiency Booklet 9 (1994). Department of the Environment.
3. Guidance notes for reducing energy consumption costs of electric motor and drive systems (1995). Good Practice Guide 2. Department of the Environment.
4. Retrofitting AC variable speed drives (1994). Good Practice Guide 14. Department of the Environment.
5. Energy audits and surveys (1991). CIBSE Applications Manual AM5.
6. Smith, B. J., Phillips, G. M. and Sweeney, M. (1987). *Environmental Science* (Chapter 8). Longman Scientific and Technical.
7. CIBSE Code for interior lighting (1994).
8. Pritchard, D. C. (1995). *Lighting* (Chapter 7). Longman Scientific and technical, 5th edition.
9. Energy Management and Good Lighting Practices. Fuel Efficiency Booklet 12 (1993). Department of the Environment.
10. Energy Efficient Lighting in Buildings. Thermie Programme, Directorate-General for Energy. Commission of the European Communities.

Bibliography

Economic use of electricity in industry. Fuel Efficiency Booklet 9 (1994). Department of the Environment.

Energy Efficient Lighting in Buildings. Thermie Programme, Directorate-General for Energy. Commission of the European Communities.

Energy Management and Good Lighting Practices. Fuel Efficiency Booklet 12 (1993). Department of the Environment.

Guidance notes for reducing energy consumption costs of electric motor and drive systems. Good Practice Guide 2 (1995). Department of the Environment.

Pritchard, D. C. (1995). *Lighting*. Longman Scientific and technical, 5th edition.

Retrofitting AC variable speed drives. Good Practice Guide 14 (1994). Department of the Environment.

بخش سیزدهم

طراحی ساختمان کم انرژی بر و آفتاب

طراحی ساختمان کم انرژی بر و خورشیدی غیرفعال

این بخش به استفاده از تکنیکهای غیرفعال جهت کنترل محیط داخل ساختمانها می‌پردازد. از طریق استفاده از استراتژیهای غیرفعال، امکان ایجاد یک معماری که بیشتر بر پوشش ساختمان و کمتر بر استفاده از وسائل مکانیکی بعنوان تعدیل کننده اولیه اقلیم، اتکاء داشته باشد، وجود دارد. بویژه، اثر استراتژیهای کنترل محیطی غیرفعال بر طراحی و کارکرد ساختمانها بحث می‌گردد. هم چنین چند تکنولوژی فعال خورشیدی مورد بحث قرار می‌گیرد.

۱۳-۱ مقدمه

بطور مشخص بگوئیم عبارت غیرفعال، مهار کردن انرژی خورشید جهت گرمایش، سرمایش، هوادهی و روشنایی ساختمانها بدون استفاده از وسائل مکانیکی است. بمانند بسیاری از طبقه‌بندیهای مجازی این عبارت مقداری تحریف گردیده و اکنون یک عبارت کلی برای یک فلسفه طراحی است که در جستجوی ساختمانهای کم انرژی بر که موافق محیط طبیعی هستند، می‌باشد. بنابراین یک کلمه بهتر ممکن است معماری موافق اقلیم باشد، از آنجائیکه ساختمانهای ایجاد شده با این فلسفه طراحی پوشش خود را به عنوان تعدیل کننده اولیه اقلیم استفاده کرده و هر تأسیسات مکانیکی که نیاز باشد را به یک عامل کمکی تبدیل می‌کنند. این برخلاف عملیات برپاداشتن ساختمانهایی است که پوششهای غیر موافق در قرن بیستم داشتند، لذا یک محیط داخلی نامطلوب را ایجاد کرده، که می‌توانست فقط با استفاده از خدمات مکانیکی گسترده پابرجا بماند، در حالیکه تعریف دقیق عبارت معماری غیرفعال خورشیدی ممکن است قابل بحث باشد، شکی نیست که هدف عمده آن تولید ساختمانهای کم انرژی بر که تکنولوژی‌های نسبتاً ساده را بکار می‌گیرند، می‌باشد. در چنین ساختمانهایی توجه بر روی پوشش ساختمان است، در نتیجه ساختمانهای غیرفعال خورشیدی تمایل به نماهای پیچیده دارند، که مشخصه‌هایی نظیر سایه‌بان خارجی، پنجره‌های دلباز و روزنه‌های نورگیر را دارا هستند.

از آنجائیکه در کاربریهای مشخص و در برخی مکانها اتکاء عمده بر انرژی خورشیدی جهت

تدارک یک محیط راحت داخلی امکان‌پذیر است، در بیشتر ساختمانهای غیرفعال خورشیدی هنوز بعضی تأسیسات مکانیکی مورد نیاز می‌باشد. این تأسیسات مکانیکی را می‌توان استفاده کرد یا:

- جهت تکمیل تکنولوژی‌های غیرفعال به عنوان تعدیل کننده اقلیمی ثانویه، یا
- به عنوان یک تسهیل کننده که تکنولوژی‌های غیرفعال را جهت کارکرد به شیوه مطلوب قادر می‌سازد.

بنابراین بیشتر ساختمانهای غیرفعال خورشیدی در واقع پیوندهایی هستند که در آن تکنولوژی‌های غیرفعال در کنار لوازم مکانیکی جهت نائل آمدن به یک راه‌حل کم انرژی، استفاده می‌شوند. در شناسایی این حقیقت، عبارت جدید شیوه - مختلط زاده شده است. ساختمانهای شیوه- مختلط به سبب اینکه تلفیقی از هوادهی طبیعی و هوادهی مکانیکی را جهت حاصل آوردن اثر سرمایشی مطلوب استفاده می‌کنند، بدین نام خوانده می‌شوند (۱). استراتژی‌های شیوه- مختلط راه‌حل‌هایی تدارک می‌بینند که انعطاف‌پذیرتر از آنهایی که توسط استراتژی‌های غیرفعال صرف تولید می‌شود، را دارند. بنابراین آنها برای استفاده در ساختمانهای خاصی که استفاده نهائی ساختمان ممکن است در مرحله طراحی شناخته شده نباشد، مناسب‌تر هستند.

به سبب اینکه ساختمانهای غیرفعال خورشیدی در مقایسه با رقبای مکانیکی خود حاوی بخشهای متحرک کمتری هستند، وسوسه باور اینکه ساختمانهای غیرفعال در طراحی آسان‌تر و ساده‌تر هستند را قوت می‌بخشد. در حقیقت هیچ چیز نمی‌تواند تا این حد از واقعیت دور باشد. جهت خلق یک ساختمان غیرفعال، طراح باید دارای دانش و استنباط جامع از انتقال حرارت و علم مکانیک سیّالات باشد. برخلاف ساختمانهای مکانیکی، که از محرکهای سیستم شناخته شده و به سادگی کمیت‌پذیر مانند بویلرها و پروانه‌ها استفاده می‌کنند، ساختمانهای غیرفعال متغیرهای طبیعی را بعنوان محرکها، مانند تشعشع خورشیدی و باد، استفاده می‌نمایند. این بدان معنی است که تحلیلهای قابل ملاحظه‌ای در مرحله طراحی جهت اطمینان از اینکه یک طراحی بی‌نقص انجام می‌پذیرد، لازم است (یک طراحی که تحت شرایط مختلف اقلیمی بخوبی عمل می‌کند). اگر این انجام نپذیرد، مشکلات عدیده‌ای می‌تواند بروز کرده و اشتباهات هزینه‌بری می‌تواند پدید آید. برای مثال، ساختمانی که منحصراً توسط انرژی خورشیدی گرمایش می‌شود، امکان دارد در روزهایی که ابرهای سنگینی وجود دارند بطور ناراحت کننده‌ای سرد شود. یک مشکل عمده برای طراحان در

مرحله طراحی، پیش‌بینی اینست که چگونه ساختمانهایی که بصورت غیرفعال کنترل می‌شوند در کاربری عمل خواهند کرد. عدم پیش بینی عملکرد در مرحله طراحی می‌تواند دستورالعملی برای فاجعه باشد. بنابراین در مرحله طراحی احتیاط زیادی باید اتخاذ شود. در جهت کمک در طراحی ساختمانهای غیرفعال، اغلب مهندسین از ابزارهای پیچیده و قدرتمندی بمانند علم دینامیک سیالات کامپیوتری *CFD*[1] جهت پیش‌بینی دقیق اینکه چگونه چنین ساختمانهایی عمل خواهند کرد، استفاده می‌کنند. اگر چه، هزینه‌های درگیر در استفاده از *CFD* بالا بوده و اساتید فن نادر می‌باشند. در حقیقت، در برخی کاربردها هزینه بالای تجزیه و تحلیل به روش *CFD* و کمبود کلی اساتید فن در این زمینه موانع عمده در استفاده از تکنیکهای غیرفعال می‌باشند.

۱۳-۲ گرمایش غیرفعال خورشیدی

انرژی خورشیدی، منبع گرمایی تشعشعی است که زندگی همه موجودات نهایتاً بدان بستگی دارد. به وفور و حتی در عرضهای جغرافیایی نسبتاً شمالی، عرضه می‌شود. برای مثال عرض جغرافیایی 45° شمالی و 45° جنوبی را ملاحظه کنند (به ترتیب عرضهای جغرافیای مینیاپولیس در ایالات متحده و داندین در نیوزلند). در این عرضهای جغرافیایی شدت تابش خورشیدی در زمان ظهر در میانه زمستان بر روی شیشه‌بندیهای عمودی رو به جنوب $595 W/m^2$ می‌باشد(۲). با فرض اینکه بیشترین جمعیت کره زمین بین این عرضهای جغرافیایی زندگی می‌کنند، روشن می‌شود که پتانسیل جهانی بزرگی برای مهار کردن انرژی خورشیدی وجود دارد.

تکنیکهای گرمایشی غیرفعال خورشیدی بویژه برای کاربردهایی که درجه حرارتهای زمستانی پایین و آسمانهای صافی دارند مناسب می‌باشند. تحت این شرایط وفور تشعشعات خورشیدی قابل دسترسی در خلال اوقات روز می‌تواند پس از جمع‌آوری و ذخیره‌سازی برای استفاده در اوقات شبانه زمانی که بیشترین نیاز برای گرما هست،مصرف گردد. تکنیکهای گرمایش غیرفعال خورشیدی بطور موفقیت‌آمیزی در آمریکای شمالی در بسیاری از ساختمانهای متوسط و کوچک کاربرد داشته‌اند(۳). ساختمان مرکزی مؤسسه راکی مانتین در کلرادو، ایالات متحده، جهت تدارک گرمایش و آب داغ مورد نیاز از انرژی خورشیدی استفاده می‌کند.از طریق استفاده از انرژی خورشیدی و یک پوشش عایق‌بندی شده بالا، ساختمان قادر به

1-computational Fluid Dynamics

حفظ محیط داخلی قابل قبول بدون هیچ نوع گرمایش از نوع متداول، با وجود اینکه درجه حرارتهای هوای آزاد به کمی $-۴۰^{\circ}C$ را تجربه می‌کند، می‌باشد (۴). هم چنین تکنیک‌های گرمایشی غیرفعال خورشیدی بطور موفقیت‌آمیزی در اقلیمهای ابری‌تر و شمالی‌تر نیز کاربرد داشته‌اند. برای مثال مدرسه سنت جورج در والاسی، ساخته شده در ۱۹۶۱، مثالی از چنین ساختمانهایی در بریتانیا می‌باشد (۴). اگرچه، حقیقت است بگوییم که بهره‌گیری از انرژی خورشیدی در اقلیمهای معتدل و ابری شمال اروپا، از اقلیمهای جنوبی‌تر مشکل‌تر است.

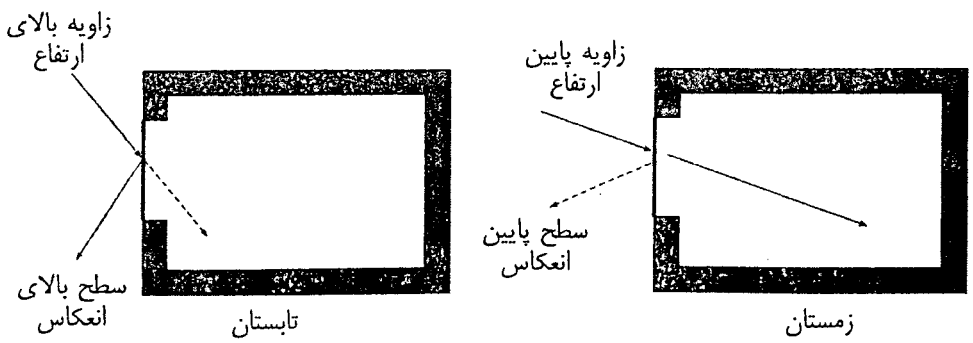
چهار روش اصلی گرمایش غیرفعال خورشیدی وجود دارند: سیستمهای کسب مستقیم؛ سیستمهای کسب غیر مستقیم؛ سیستمهای کسب مجزا؛ سیستمهای ترموسیفون (۵،۶). تمامی چهار تکنیک به راههای مختلف، هدفشان ذخیره کردن انرژی خورشیدی در خلال اوقات روز برای مصرف در شبانگاهان زمانی که درجه حرارتهای هوا پایین است، می‌باشد. همگی آنها درگیر استفاده از مواد با جرم بالا در سازه ساختمان جهت ذخیره گرما می‌باشند. در سیستم کسب مستقیم، تشعشعات خورشیدی مستقیماً از طریق مساحات وسیع شیشه بندی رو به جنوب وارد فضاهای اطاق‌ها می‌شوند. در سیستم کسب غیر مستقیم، تشعشعات خورشیدی توسط یک عامل ذخیره کننده گرما با جرم بالا دریافت شده، که فضای اطاق را از شیشه بندی رو به جنوب جدا می‌سازد. سیستم کسب مجزا ترکیبی است از دو سیستم نخست، بمانند گلخانه یا اطاق میانی، جهت جذب انرژی خورشیدی، که یک فضای خورشیدی جدایی را استفاده می‌کند، بالاخره، ترموسیفونها را می‌توان جهت ایجاد حرکت هوای گرم در اطراف ساختمانها بکار گرفت.

تمامی سیستمهای گرمایشی خورشیدی متکی بر استفاده از مساحات شیشه‌بندی وسیع جهت جذب تشعشعات خورشیدی هستند. شیشه تشعشعات خورشیدی با طول موج نسبتاً کوتاه در محدوده طول موج $۳۸۰-۲۵۰۰ nm$ را عبور می‌دهد، لیکن مانع تشعشعات در طول موج بالای $۲۵۰۰ nm$ می‌گردد. اگر چه شیشه اجازه ورود تشعشعات خورشیدی به فضاهای اطاق را می‌دهد اما اکثر مواقع مانع از تشعشعات با طول موج بلندی می‌شود که از سطوح اطاق زمانی که داغ هستند منتشر می‌شوند. این پدیده به اثرات گلخانه‌ای شناخته می‌شود (که نباید با اثرات گلخانه‌ای، مرتبط با گرمایش جهانی اشتباه شود) و به تجمع گرما در داخل فضاهای اطاق منجر می‌گردد. به سبب اثرات گلخانه‌ای، درجه حرارت در داخل فضاهای اطاق ارتقاء یافته تا که اتلاف گرما توسط رسانش و جابه جایی برابر با کسب گرما توسط تشعشع گردد.

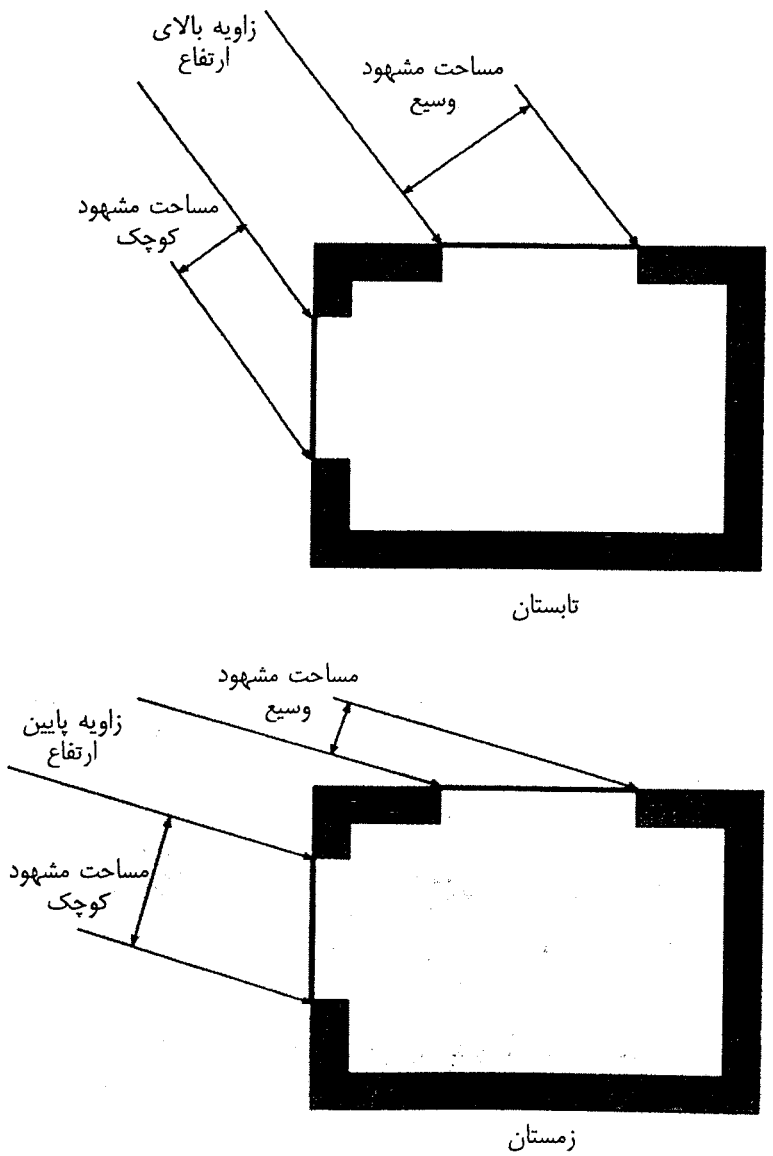
علاوه بر ایجاد اثرات گلخانه‌ای در داخل ساختمانها، شیشه بندی هم چنین یک نقش عمده‌ای در خود - تنظیمی کسب انرژی خورشیدی، بازی می‌کند زمانیکه زاویه برخورد کوچک است. شیشه

تشعشعات خورشیدی بسیار بیشتری در مقایسه با زمانیکه بزرگ است، عبور می‌دهد. زمانیکه زاویه برخورد بزرگ است بیشترین تشعشعات خورشیدی واقع شده منعکس می‌گردند، این کیفیت می‌تواند بطور مؤثر توسط طراحان ساختمان بکار گرفته شود. ساختمان ساده نشان داده شده در شکل ۱۳-۱ را ملاحظه کنید.در زمستان، زمانی که کسب گرمای خورشیدی بیشترین مزایا را دارا هستند، خورشید در آسمان پایین بوده و زاویه برخورد بر روی شیشه بندی عمودی،کوچک است. این انتقال نور خورشید از طریق شیشه را بحداکثر رسانده تا که امواج خورشیدی بطور عمیق در داخل فضای اطاق رخنه کنند. برعکس، در تابستان، زمانیکه کسب گرمای خورشیدی نامطلوب است، خورشید در آسمان بالا بوده و زاویه برخورد بر روی شیشه‌بندی عمودی بزرگ است، با این نتیجه که بیشترین تشعشعات خورشیدی منعکس می‌گردند. علاوه بر این، به سبب اینکه زاویه ارتفاعی خورشید در تابستان بسیار بالاتر است، پنجره‌های عمودی مساحت بظاهر بسیار کوچکتری در جهت تشعشعات خورشیدی در تابستان تا در قیاس با زمستان، ارائه می‌دارند. (شکل ۱۳-۲ را ببینید). در نتیجه شدت تابش بر شیشه‌بندی عمودی اغلب در تابستان بسیار پایین‌تر از زمستان است. باید متذکر شد که اگر روشناییهای افقی سقفی استفاده گردد وضعیت معکوس با بیشترین کسب گرمای خورشیدی در خلال ماههای تابستان تجربه می‌شود.

بیشترین تکنیکهای گرمایشی خورشیدی متکی بر مواد با جرم بالا جهت ذخیره کردن حرارت می‌باشند. مواد مختلفی را می‌توان جهت ذخیره کردن انرژی خورشیدی استفاده کرد، بتون، بلوک‌های آجری، تانکهای آب و حتی سنگها، تمامی جهت پر کردن نقش ذخیره کننده حرارتی استفاده شده‌اند. لزوماً، هر ماده‌ای که دارای ظرفیت ویژه حرارتی بالا بوده و یک رسانای خوب حرارتی است را می‌توان جهت این نقش بکار گرفت.



شکل ۱۳-۱ انعکاس تابش خورشید از شیشه بندی

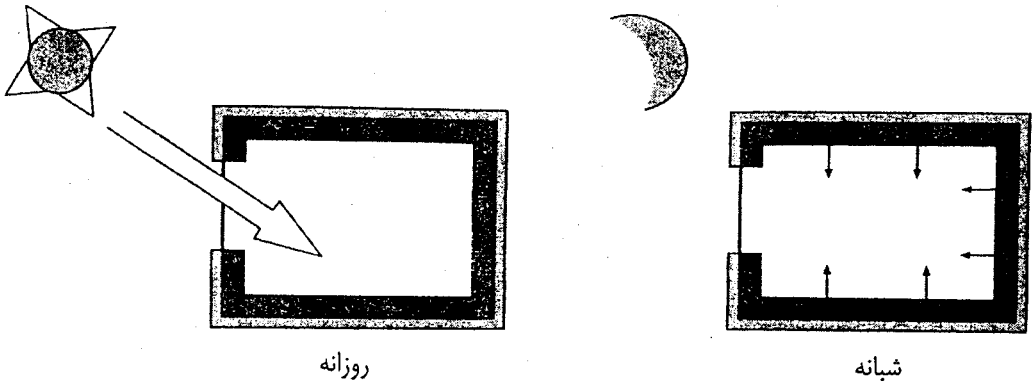


شکل ۱۳-۲ زاویه تابش خورشید و مساحت مشهود

۱۳-۲-۱ تکنیکهای کسب مستقیم

بهره‌گیری از کسب مستقیم خورشیدی احتمالاً ساده‌ترین روش گرمایش خورشیدی غیرفعال می‌باشد و آن مستلزم استفاده از فضای اصلی زندگی در داخل یک ساختمان بعنوان جاذب تابش خورشید است (همانگونه که در شکل ۱۳-۳ نشان داده شده است). در راستای بحداکثر رساندن مقدار تشعشعات خورشیدی جمع‌آوری شده در خلال ماههای زمستان، اطاقها باید مساحات وسیعی از شیشه‌بندی رو به جنوب را دارا باشند. کف اطاقها و دیوار اطاقها باید از مواد متراکم با یک ظرفیت ذخیره حرارتی بالا ساخته شده باشد. در خلال اوقات روز، تشعشعات موج کوتاه

توسط نمای داخلی با جرم بالا جذب گردیده، درحالیکه در عصر و شبانگاهان، گرما از سطوح گرم اطاق به ساکنین و هوا از طریق تشعشع و جابجایی منتقل می‌گردد. علاوه بر تسهیل در ذخیره سازی حرارت، در خلال روز جرم حرارتی در معرض، گرما را جذب کرده و لذا محیط داخلی را معتدل می‌نماید، تا که از بیش گرمایی پرهیز گردد. در جهت جلوگیری از رسانش و اتلاف گرما از مواد ذخیره کننده با جرم بالا، مواد عایق‌بندی باید همیشه بین نمای متراکم و خارج جاسازی شود. اگر چه استفاده از بتون یا بلوکهای آجری جهت حاصل آوردن جرم حرارتی معمول است، امکان استفاده از تانکهای آب در داخل ساختمان جهت ذخیره سازی گرما، وجود دارد. اگرچه، ادغام اینها در طراحی کل ساختمان مشکل بنظر می‌رسد.

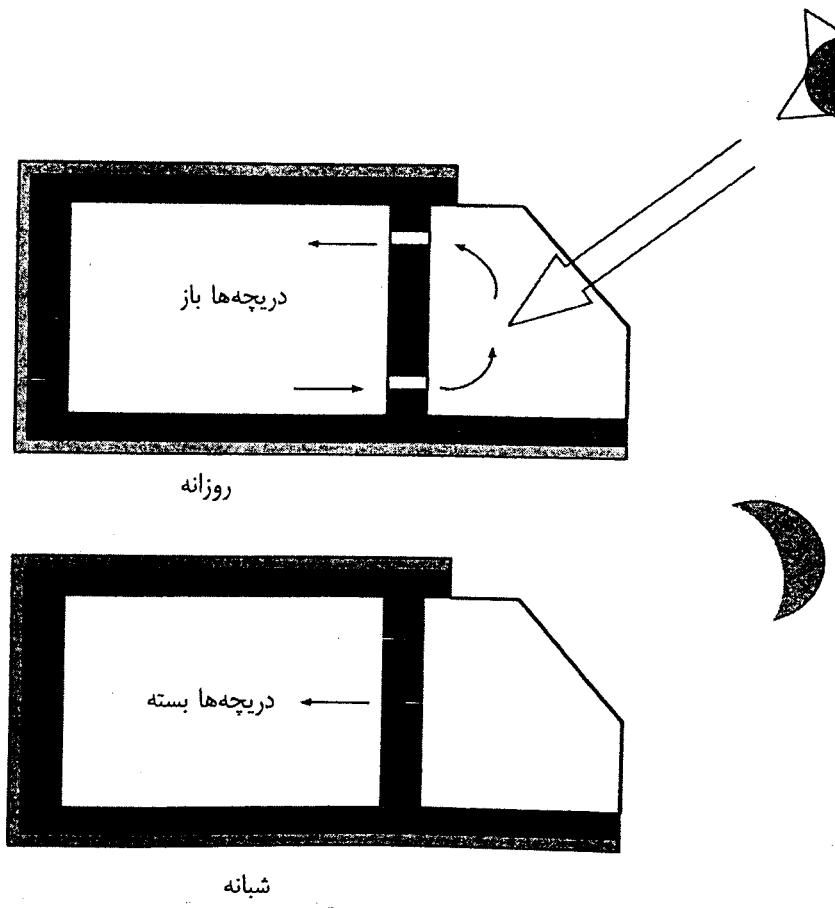


شکل ۱۳-۳ گرمایش خورشیدی کسب مستقیم

۱۳-۲-۲ تکنیکهای کسب غیر مستقیم

در یک سیستم کسب غیرمستقیم، یک عامل با جرم حرارتی بالا بین خورشید و فضای اطاق جاسازی می‌شود، هر انرژی خورشیدی که به جرم حرارتی برخورد می‌کند جذب گردیده لذا در خلال اوقات روز گرم می‌شود. در عصر و در شبانگاهان گرما به اطاقها انتقال می‌یابد. شکل ۱۳-۴ عملکرد یک چنین سیستم غیر مستقیمی را نمایش می‌دهد، دیوار ترومب، که شامل دیواری آجری تا $600\,mm$ ضخامت بوده، و مستقیماً در پشت یک نمای شیشه‌ای رو به جنوب واقع شده است. سطح رو به بیرون دیوار آجری معمولاً جهت بحداکثر رساندن جذب تشعشعات خورشیدی به رنگ سیاه رنگ‌آمیزی شده است. در خلال اوقات روز تشعشعات خورشیدی توسط دیوار آجری جذب شده، درنتیجه هوای بین دیوار و شیشه گرم می‌شود. این سبب می‌گردد که هوا از طریق منافذ در بالا و پایین دیوار و بداخل فضای اطاق بچرخش درآمده، لذا آن را گرم کند. در شب منافذ در

دیوار مسدود گردیده و دیوار انرژی گرمایشی را توسط تشعشع و رسانش به فضای اطاق منتقل می‌کند.



شکل ۱۳-۴ عملکرد دیوار ترومب

امکان افزایش مقدار تشعشع خورشیدی جمع‌آوری شده توسط یک دیوار ترومب با گذاردن یک صفحه منعکس کننده مستقیماً بر روی زمین و مقابل نمای خارجی، وجود دارد. این مواد تشعشع خورشیدی را بر روی دیوار ذخیره کننده حرارت منعکس کرده و لذا اثر بخشی آنرا افزایش می‌دهند.

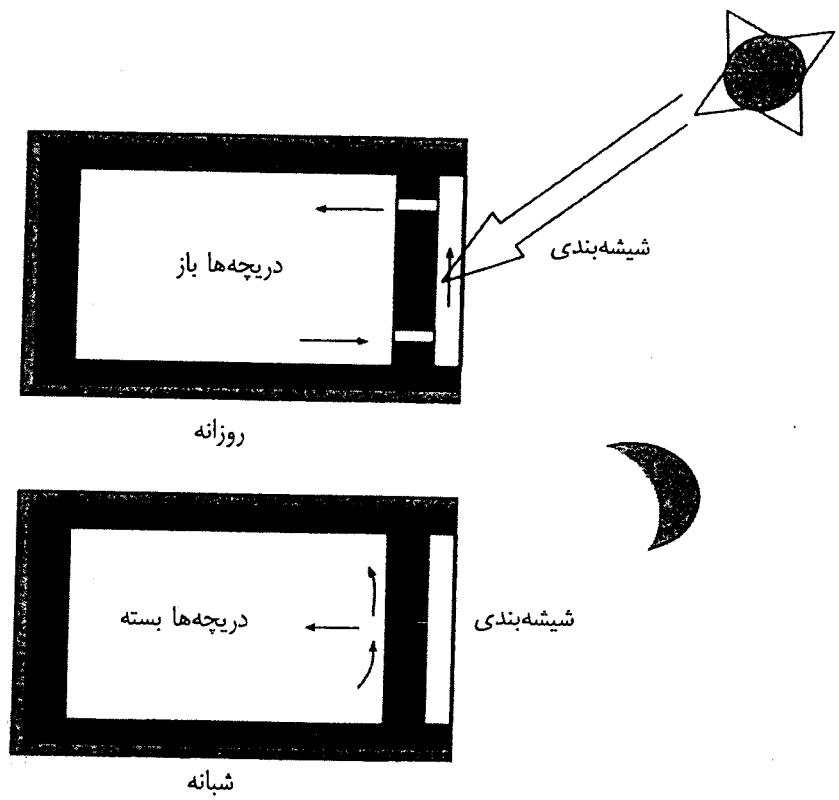
دیوارهای ترومب در اقلیمهای صاف سرد بمانند آن اقلیمهایی که در جنوب اروپا پیدا می‌شود، که مقادیر عظیمی از تشعشع خورشیدی را تجربه می‌کنند، بهترین کارکرد را دارد، آنها دارای اثر بخشی بسیار کمتری در اقلیمهای شمال اروپا جایی که اغلب پوشش ابر در زمستان گسترده است، می‌باشند.

تکنیک کسب غیر مستقیم دیگری، که در ایالات متحده استفاده شده است، برکه خورشیدی بامی[1] است. علاوه بر تدارک گرمایش غیرفعال در زمستان این سیستم می‌تواند هم چنین سرمایش در تابستان عرضه نماید. آن مستلزم ساخت یک برکه بر روی پشت بام مسطح است. در زمستان در خلال روز برکه انرژی خورشیدی را جذب می‌کند. در شب برکه گرم از طریق سازه بام گرما را منتقل می‌نماید و اطاقهای زیرین را توسط تشعشع گرم می‌کند. لازم است در زمستان هنگام شب برکه را با مواد عایق بندی متحرک پوشاند. در تابستان برکه را می‌توان جهت تدارک سرمایش غیرفعال استفاده نمود. در طول شب برکه با در معرض هوای شب قرار گرفتن خنک می‌شود و زمانیکه خنک شد، توده آب جهت جذب حرارت از فضای زیرین استفاده می‌گردد.

۱۳-۲-۳ تکنیکهای کسب مجزا

گرمایش خورشیدی کسب مجزا الزاماً ترکیبی از سیستمهای کسب مستقیم و غیر مستقیم و مستلزم ساخت یک اطاق خورشیدی جدا در جوار فضای اصلی زندگی است. در سیستم کسب مجزا، تشعشع خورشیدی وارد شده به اطاق خورشیدی در جرم حرارتی کف و دیوار پارتیشنی حفظ می‌گردد. سپس گرما از اطاق خورشیدی توسط رسانش از طریق دیوار مشترک در انتهای اطاق خورشیدی، و جابجایی از طریق منافذ یا درب‌ها در دیوار مشترک، به محل زندگی عبور می‌کند. یک مثال کلاسیک از یک سیستم کسب مجزا استفاده از یک گلخانه شیشه‌ای رو به جنوب در کنار یک خانه می‌باشد. یک نمونه سیستم کسب مجزا در شکل ۱۳-۵ نشان داده شده است.

1- *Solar roof*



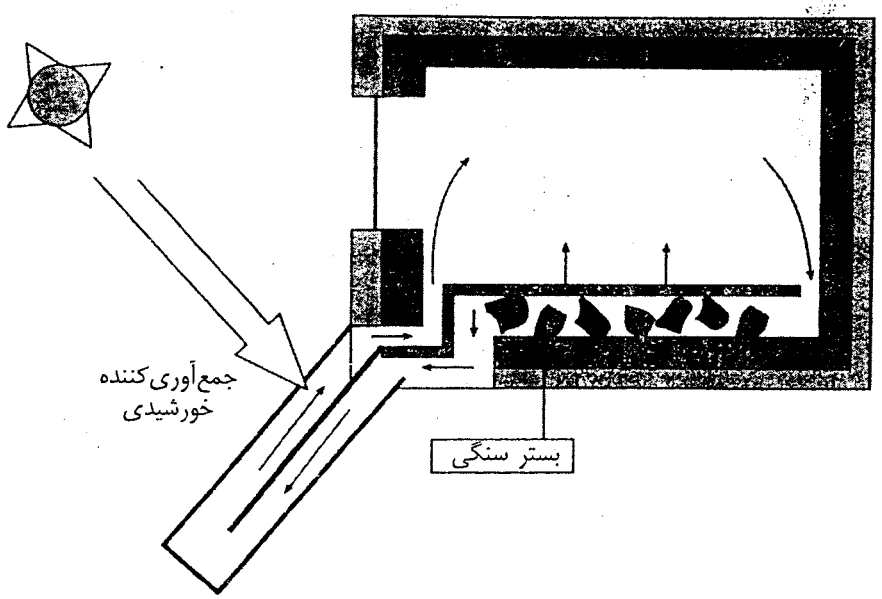
شکل ۱۳-۵ عملکرد یک سیستم کسب مجزا

۱۳-۲-۴ سیستمهای ترموسیفون

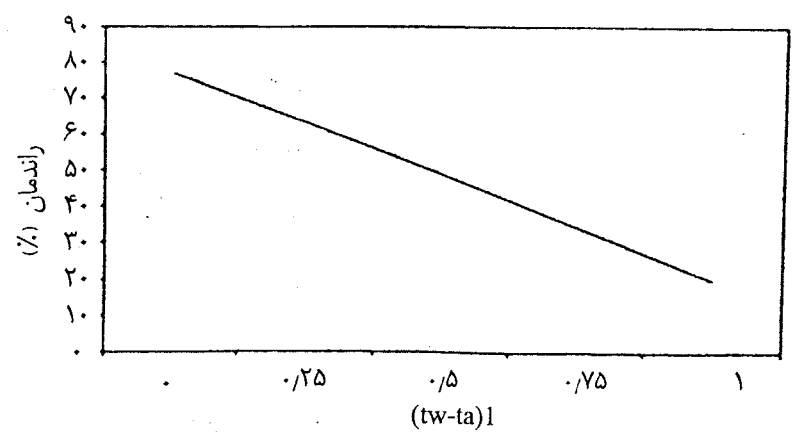
اگر یک کلکتور تخت خورشیدی حاوی آب یا هوا زیر یک مبدل حرارتی جاسازی شود، یک ترموسیفون خلق می‌گردد. همانگونه که مایع درون کلکتور خورشیدی گرم می‌شود،از تراکمش کاسته شده و فعال‌تر و شناور می‌گردد و سپس به مبدل حرارتی انتقال می‌یابد. در حینی که مایع داغ در درون مبدل حرارتی حرکت می‌کند سرد گردیده و لذا به کلکتور خورشیدی پائین، جایی که کل فرآیند دوباره آغاز می‌گردد، وارد می‌شود. با استفاده از ترموسیفون خورشیدی، امکان گرم کردن ساختمانها بصورت غیرفعال هست. در چنین سیستمی کلکتور خورشیدی رو به جنوب، در یک سطح پایین‌تر از فضای اطاق جاسازی می‌شود. هوای گرم کلکتورها جهت چرخش در اطراف یک کف کاذب که با سنگ پر شده است، هدایت می‌شود. در خلال اوقات روز هوای داغ تولید شده توسط کلکتور خورشیدی جهت گرم کردن سنگها استفاده می‌شود و در طی شب سنگها با جابه جایی حرارت خودشان را به فضای اطاق می‌دهند (همانگونه که در شکل ۱۳-۶ نشان داده شده است).

۱۳-۳ گرمایش خورشیدی فعال

از آنجائیکه تکنیکهای خورشیدی غیرفعال را می‌توان جهت گرم کردن ساختمانها بطور مؤثر استفاده کرد، آنها می‌توانند محدودیتهای جدی بر شکل کلی ساختمان اعمال کرده و بنابراین بطور کلی برای انواع ساختمانهای بزرگتر و پیچیده نامناسب می‌باشند.اگرچه، می‌توان بر بسیاری از محدودیتهای سیستمهای غیرفعال با اتخاذ یک سیستم فعال که از پمپ‌های آب داغ بهره‌گیری می‌کند، غالب شد. سیستمهای گرمایشی خورشیدی فعال می‌توانند مقرون به صرفه بوده، به شرطی که بطور صحیح کنترل شده و هزینه‌های عملیاتی پمپ یا پروانه در یک حداقلی نگهداشته شود.



شکل ۱۳-۶ یک سیستم ترموسیفون



شکل ۱۳-۷ کارآیی کلکتور آب خورشیدی

ساده‌ترین شکل کلکتور خورشیدی فعال احتمالاً کلکتور صفحه تخت است، که شامل یک لوله فلزی سیم پیچی شده متصل به یک صفحه فلزی و جا داده شده در یک جعبه جلو- شیشه‌ای است. در راستای بحداکثر رسانیدن جذب تابش خورشیدی، صفحه و لوله معمولاً به رنگ سیاه مات رنگ‌آمیزی می‌شوند. اتلاف رسانایی با جاسازی مواد عایق بندی در زیر صفحه بحداقل می‌رسد. آب در چنین کلکتوری گرم شده تا به درجه حرارت متعادلی برسد، که در آنجا تلفات از طریق رسانایی، جابجایی و تشعشع به هوای اطراف معادل با کسب انرژی تشعشعی خورشیدی گردد. خروجی گرمای کلکتور صفحه تخت خورشیدی را می‌توان با استفاده از معادله‌ها تل ویلیر معین نمود (۷).

$$Q=F((\tau\alpha)I-u(t_w-t_a)) \qquad (۱-۱۳)$$

که در آن Q میزان انتقال انرژی مفید $I,(W/m^2)$ شدت تشعشع خورشیدی $\tau,(W/m^2)$ ضریب انعکاس، α ضریب جذب، U ضریب انتقال کلی حرارت از صفحه به هوا $F,(W/m^2K)$ ضریب کارآیی کلکتور خورشیدی، t_w درجه حرارت میانگین آب $(^\circ c)$، و t_a درجه حرارت هوای محیط می‌باشد $(^\circ C)$.

کارآیی یک کلکتور خورشیدی، نسبت خروجی مفید گرما بر ورودی گرمای خورشیدی است.

$$\text{کارآیی}\ \eta=\frac{Q}{I} \qquad (۲-۱۳)$$

$$=F[(\tau\alpha)-\frac{U(t_w-t_a)}{I}] \qquad (۳-۱۳)$$

کارآیی یک کلکتور خورشیدی معمولاً توسط ترسیم کارآیی (η) در مقابل $(\frac{t_w-t_a}{I})$ بر روی یک نمودار عرضه می‌گردد (همانگونه که در شکل ۱۳-۷ نشان داده شده است).

مثال ۱۳-۱

آزمایشات انجام شده بر روی یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت آشکار می‌سازد که

$$F(\tau\alpha)= ۰/۸۱۸۸$$

و

$$FU=۷/۰۰۴۱$$

با این اطلاعات و فرض اینکه کلکتور در هوای $۱۲^{\circ}c$ واقع شده و $۴۰۰\ W/m^{۲}$ از تشعشع خورشید را دریافت می‌دارد، تعیین کنید کارآیی و خروجی کلکتور را وقتی که:

(I) آب را در یک درجه حرارت میانگین $۴۰^{\circ}C$ انتقال می‌دهد

(II) آب را در یک درجه حرارت میانگین $۵۰^{\circ}C$ انتقال می‌دهد.

راه‌حل

(I) در یک درجه حرارت میانگین آب $۴۰^{\circ}C$

$$\eta=F(\tau\alpha)-\frac{FU(t_w-t_a)}{I}$$

$$\eta=۰/۸۱۸۸-\frac{۷/۰۰۴۱\times(۴۰-۱۲)}{۴۰۰}=۰/۳۲۸۵$$

$$\eta=۳۲/۸۵٪$$

بنابراین

خروجی $Q=۴۰۰\times۰/۳۲۸۵=۱۳۱/۴\ W/m^{۲}$

(II) در یک درجه حرارت میانگین آب $۵۰^{\circ}C$

$$\eta=۰/۸۱۸۸-\frac{۷/۰۰۴۱\times(۵۰-۱۲)}{۴۰۰}=۰/۱۵۳۴$$

$$\eta=۱۵/۳۴٪$$

بنابراین

خروجی $Q=۴۰۰\times۰/۱۵۳۴=۶۱/۴\ W/m^{۲}$

مثال ۱۳-۱ نشان می‌دهد که کارآیی کلکتور خورشیدی بصورت چشمگیری با افزایش درجه حرارت میانگین آب، کاهش می‌یابد. این اشاره دارد که ارزش U ثابت نبوده و اینکه وابسته به درجه حرارت آب می‌باشد. در درجه حرارتهای بالاتر آب ارزش U به سبب افزایش اتلاف گرمای تشعشعی از کلکتور، افزایش می‌یابد

امکان بهبود قابل توجه کارآیی کلکتور خورشیدی با استفاده از کلکتورهای داخل لوله بدون هوا که در آن سطح کلکتور در یک لوله بدون هوا معلق می‌باشد، وجود دارد.در این نوع کلکتور سطح داخلی نیمه پایین لوله نقره اندود است تا که تشعشع خورشیدی بر سطح کلکتور تمرکز یابد.

درجه حرارتهای بالای آب را می‌توان با استفاده از کلکتورهای خورشیدی با منعکس دهنده‌های سهمی شکل یا نیمه مدور نقره اندود، که تشعشع خورشیدی از سطح کلکتور را متمرکز می‌کنند، حاصل نمود. هم چنین آنها اتلاف گرمای تشعشعی را از کلکتور کاهش می‌دهند. با این نوع از کلکتور اهمیت دارد که سطوح منعکس دهنده تمیز باشد، در غیر اینصورت کارآیی افت می‌کند.این بخصوص می‌تواند در محیطهای غبار آلود خشک، بمانند کویرها، مشکل آفرین باشد.

۱۳-۴ فتوولتائیک‌ها

امکان تولید الکتریسیته از نور توسط بهره‌گیری از یک فرآیند فتوالکتریک، وجود دارد. عبارت فتوالکتریک جهت توصیف هر اثری که از نور الکتریسیته تولید می‌کند، استفاده می‌شود. سه فرآیند اصلی فتوالکتریک وجود دارند: اثر انتشاردهی نور، اثر رسانائی نور و اثر فتوولتائیک. انتشاردهی نور، زمانیکه مواد در حضور نور الکترونها را منتشر می‌کنند، بوقوع می‌پیوندد. اثر رسانایی نور به پدیده‌ای اشاره دارد که بوسیله آن عبور یک جریان الکتریکی از داخل یک ماده در نتیجه تابش نور بر آن، افزایش می‌یابد. در حالیکه هر دو این فرآیندهای فتوالکتریکی در کاربردهای متخصصین مصرف دارد، این اثر فتوولتائیک است که جهت تولید الکتریسیته از نور خورشید بیشترین وسعت استفاده را دارا است، اثر فتوولتائیک، زمانیکه نور بر محدوده بین دو ماده فرو افتاده و سبب انتقال الکترونها از یک طرف محدوده به طرف دیگر می‌گردد، بوقوع می‌پیوندد. در نتیجه این انتقال الکترونها، یک ماده مازادی از الکترونها را بدست آورده و بطور منفی شارژ می‌شود، در حالیکه دیگری الکترونها را از دست داده و بطور مثبت شارژ می‌شود، بدین طریق یک تقاطع مثبت- منفی $(P\text{-}N)$ شکل می‌گیرد. عدم تعادل حاصله در الکترونهای طرفین تقاطع $P\text{-}N$ یک نیروی محرک تولید کرده، که زمانیکه به یک مداری، متصل گردد سبب جاری شدن

جریان می‌شود.

سلولهای فتوولتائیک برای نخستین بار در دهه ۱۹۵۰ در صنعت فضایی برای استفاده در ماهواره‌ها توسعه یافته لیکن علاقمندی در استفاده زمینی آنها با بحران انرژی اوائل دهه ۱۹۷۰ پدیدار گردید. از آن زمان رشد پایداری در استفاده زمینی آنها وجود داشته است، به طور عمده محدود به کاربردهای راه دور بوده جاییکه تأمین الکتریسیته کابلی بطور باز دارنده‌ای گران می‌باشد. در سالهای اخیر کاهش در هزینه‌های تولید سلولهای خورشیدی بدان معنی است که استفاده شهری از فتوولتائیک‌ها معمول‌تر شده است.

سلولهای فتوولتائیک شامل سلولهای الکترونیکی سخت، که با استفاده از لایه‌های نازک کریستال سیلیکون که بر روی آن فلز دیگری با استفاده از یک فرآیند نقش برجسته سوار شده، ساخته می‌شود (۸). یک سلول فتوولتائیک با یک مساحت $۱۰۰cm^۲$ باید حدود $۳/۵A$ آمپر تحت تابش شدید خورشید، تولید کند. تولید کنندگان دسته‌ای از سلولهای فتوولتائیک را تحت پوششهای شیشه‌ای جهت شکل دادن به صورت واحدها، بسته بندی می‌کنند. در داخل این واحدها، سلولهای منفرد بشکل سری و موازی جهت تولید ولتاژها و جریانهای مورد نظر، به یکدیگر متصل شده‌اند. به همین ترتیب، واحدهای فتوولتائیک را می‌توان جهت افزایش خروجی قدرت به شکل ردیفی بهم دسته کرد.

تولید کنندگان، واحدهای فتوولتائیک خود را تحت شرایط آزمایش استاندارد یک تابندگی خورشیدی $۱۰۰۰W/m^۲$ در یک درجه حرارت عملیاتی $۲۵°C$، که تقریباً برابر تشعشع خورشیدی است که توسط یک سطح افقی، در ظهر، در ماه ژوئن در عربستان سعودی، تجربه می‌شود، درمی‌آورند. باید متذکر شد که کارکرد واحدهای فتوولتائیک با افزایش درجه حرارت هوای محیط به بالای $۲۵°C$، افت می‌کند. این از اهمیت خاصی برخوردار است زیرا واحدهای فتوولتائیک اغلب در محیطهائی که بسیار گرمتر از $۲۵°C$ هستند، استفاده می‌شوند. محاسبه گردیده است که قدرت عملیاتی تا حدود $۰/۵\%$ برای هر $۱°C$ افزایش، کم می‌شود، لذا یک واحد $۱۰۰W$ (با ظرفیت اسمی در $۲۵°C$)زمانیکه در $۴۱°C$ کار می‌کند، در حقیقت فقط $۹۲W$ تولید خواهد نمود.

۱۳-۵ سرمایش غیر فعال

عبارت سرمایش غیر فعال عبارتی بسیار سست است، که می‌توان جهت شرح طیف وسیعی از تکنیکهای سرمایشی غیر فعال، که برخی مستقیماً از انرژی خورشیدی بهره می‌برند، بصورت

اشتراکی استفاده کرد. اگر چه واقعیتی است که بگوئیم سرمایش خورشیدی غیر فعال بیشتر دارای نقش دفاع ساختمان در مقابل انرژی خورشیدی است تا بهره‌برداری از آن. بسیاری ساختمانها، بویژه ساختمانهای تجاری بزرگ، در خلال ماههای تابستان، مشکلات بیش گرمایی دارند. اغلب علت این مشکلات ناشی از طراحی ضعیف پوشش ساختمان می‌باشد. بجای دفاع در مقابل کسب انرژی خورشیدی، بسیاری ساختمانها دارای پوششهایی هستند که بطور فعال اثر گلخانه‌ای را تشدید کرده، نصب سیستمهای تهویه مطبوع بزرگ را الزامی می‌نمایند. در عوض تکنیکهای غیرفعال بسیار گوناگونی از قبیل استفاده از سایه‌بان خورشیدی و هوادهی دودکشی وجود دارند که می‌توانند جهت پرهیز از بیش گرمایی بکار گرفته شوند. اگر چه، در بسیاری ساختمانها استفاده از این تکنیکها به تنهایی جهت حفظ یک محیط راحت کافی نبوده و لذا بکار گرفتن تأسیسات مکانیکی مکمل، جهت تدارک یک راه‌حل شیوه- مختلط، ضروری است. برای مثال، در حالیکه یک ساختمان هوادهی شده بطور طبیعی ممکن است عموماً سطوح پائینی از کسب گرما را تجربه کند، در مساحات مشخصی ممکن است کسب گرما بالا بوده و لذا احتمال دارد تهویه مطبوع لازم آید. بنابراین می‌توان ساختمانهای کم‌انرژی بری را پیدا کرد که مشخصه‌های غیر فعال و مکانیکی هر دو را نمایش می‌دهند.

۱۳-۵-۱ تکنیکهای سایه‌بان‌دهی

تا حد زیادی از بیش گرمایی در خلال ماههای تابستان، یا در واقع در هر بخشی از سال، بکارگیری سایه بان خورشیدی مکفی است. جلوگیری از ورود تشعشعات خورشیدی به یک ساختمان، بسیار بهتر است از سعی در مقابله با آن زمانیکه به پوشش ساختمان رخنه می‌کند. تکنیکهای سایه‌بان دهی را می‌توان عمدتاً به خارجی، داخلی و بین پنجره‌ای تقسیم بندی کرد. تکنیکهای سایه بان خارجی و به نسبت کمتری بین پنجره‌ای، از آنجاییکه هر دو آنها از رخنه تشعشعات خورشیدی به پوشش ساختمان جلوگیری می‌کنند، بهترین حفاظت را ارائه می‌دهند. استفاده از اقدامات سایه بان دهی داخلی، بمانند پشت دری‌ها، تأثیر کمتری دارند، زیرا اگر چه پشت دری‌ها ورودی تشعشعات خورشیدی را سد می‌کنند، اما گرم شده و در طول زمان با جابجایی و تشعشع، گرما را به فضای اطاق می‌دهند.

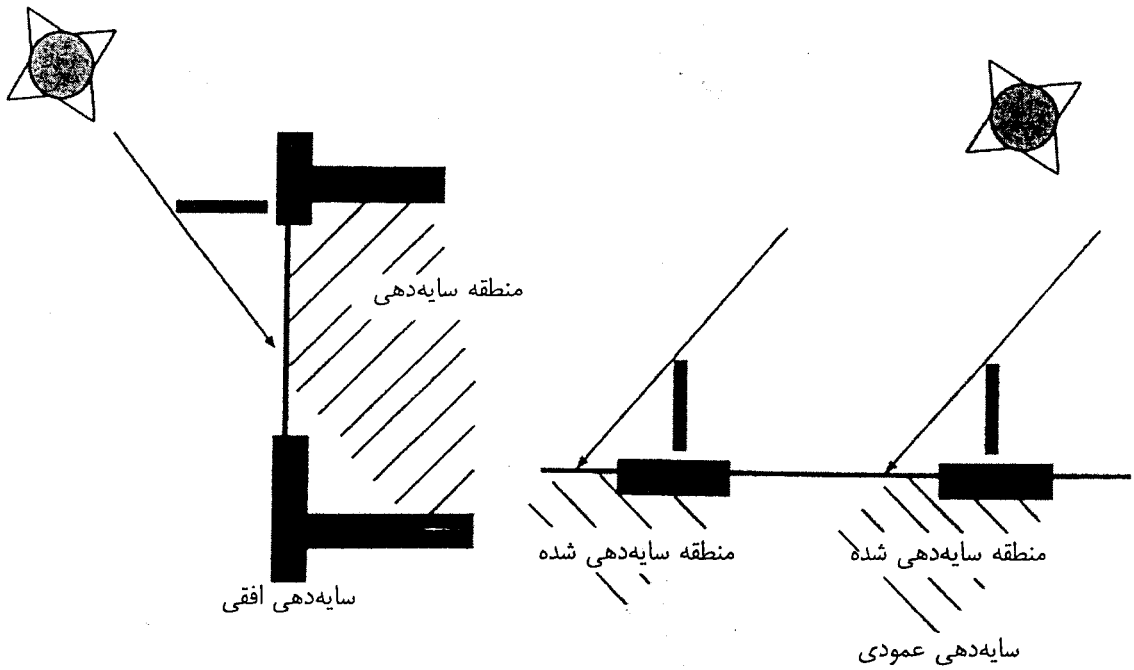
سایه‌بان خارجی می‌تواند در جلوگیری از کسب گرمای خورشیدی، بی‌نهایت مؤثر باشد. با استفاده از سایه‌بانهای خارجی، بمانند تیغه‌ها، سایه‌بان‌های پارچه‌ای بالکن‌ها یا حتی اجزاء سازه،

امکان نائل آمدن به اثر یک سایه دهی عمودی و یک سایه دهی افقی هر دو وجود دارد (همانگونه که در شکل ۱۳-۸ نشان داده شده است). اجزاء سایه دهی عمودی بویژه، می‌توانند بسیار مفید باشند زیرا خورشید در آسمان از شرق به غرب به شکل کمانی عبور می‌کند و بنابراین در بیشتر اوقات، مستقیماً در مقابل هیچ پنجره‌ای نیست. بهر حال، سایه بان خارجی دارای اشکالاتی است. سایه‌بان‌های خارجی و تیغه‌ها در معرض عناصر طبیعی بوده و بنابراین چنانچه درست حفاظت نشوند، می‌توانند سریعاً خراب شوند. علاوه بر این، در مکانهای مرکزی شهر آنها می‌توانند به محلی جهت تجمع کبوتران تبدیل گردند.

سایه‌بان داخلی معمولاً شکل افقی، عمودی یا پشت دری‌ها را بخود می‌گیرد که ساکنین می‌توانند کنترل کنند. اگر چه آنها در کاهش کسب انرژی خورشیدی آنی خوب هستند، آنها گرایش به گرم شدن و انتشار گرما به داخل فضای اطاق را دارند. حد واسط بین سایه‌بان خارجی و داخلی، استفاده از پشت دریهایی است که در فاصله هوایی بین دو شیشه یک پنجره دو جداره واقع می‌گردند (همانگونه که در شکل ۱۳-۹ نشان داده شده است). همانسان که پشت دریها گرم می‌شوند، گرما در جداره پنجره محبوس شده و بخش کمی از آن به فضای اطاق وارد می‌شود. در برخی طراحیهای پیشرفته پنجره، هوای گرم ایجاد شده در این جداره، بسته به اینکه آیا گرمایش یا سرمایش اضافی مورد نیاز است یا نه، به خارج یا به فضای اطاق تهویه می‌شود. (شکل ۱۳-۹ را بیند).

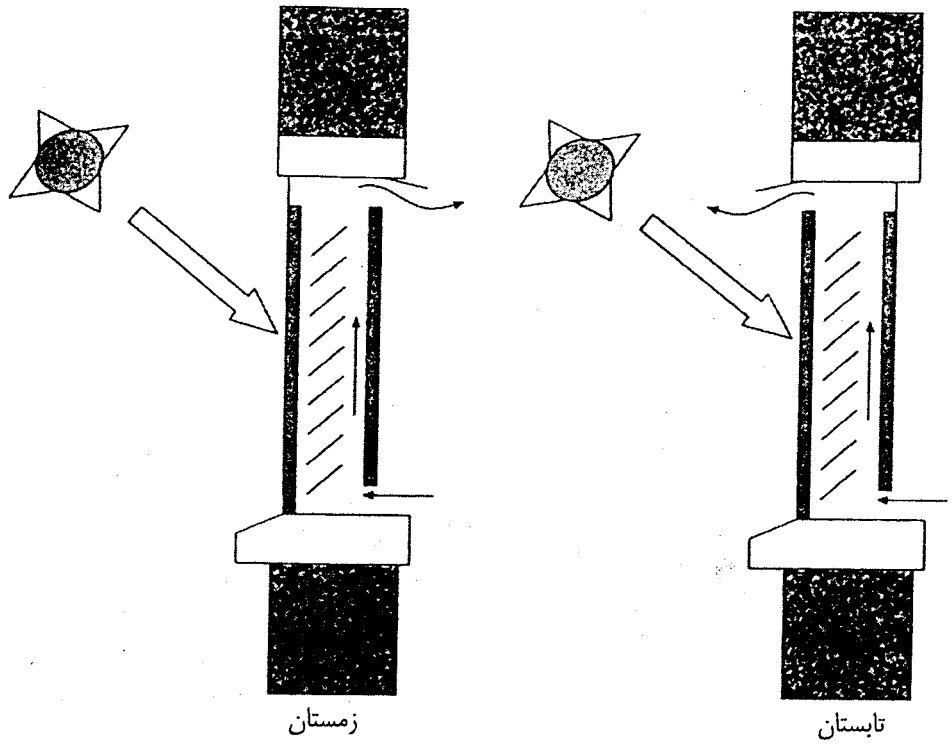
۱۳-۵-۲ شیشه بندی کنترل خورشیدی

شکل ۱۳-۱۰ تجزیه‌ای از جریانات انرژی به واز یک پنجره شیشه تخت ۶ میلی متری شفاف را ارائه می‌دهد. می‌توان مشاهده کرد که حدود ۷۸٪ از تشعشع خورشیدی برخورد کرده، مستقیماً از شیشه انتقال یافته، که چرا تابش آفتاب دارای چنین اثری بر ساکنین ساختمانها است، را توضیح می‌دهد. تقریباً ۷٪ از تشعشع برخورد کرده منعکس شده و شیشه ۱۵٪ دیگر را جذب می‌کند. گرمایی که جذب گردیده شیشه را گرم نموده و پس از مدت زمانی شیشه گرم شده، به داخل و به خارج هر دو، با تشعشع و جابجایی، حرارت منتشر می‌کند.

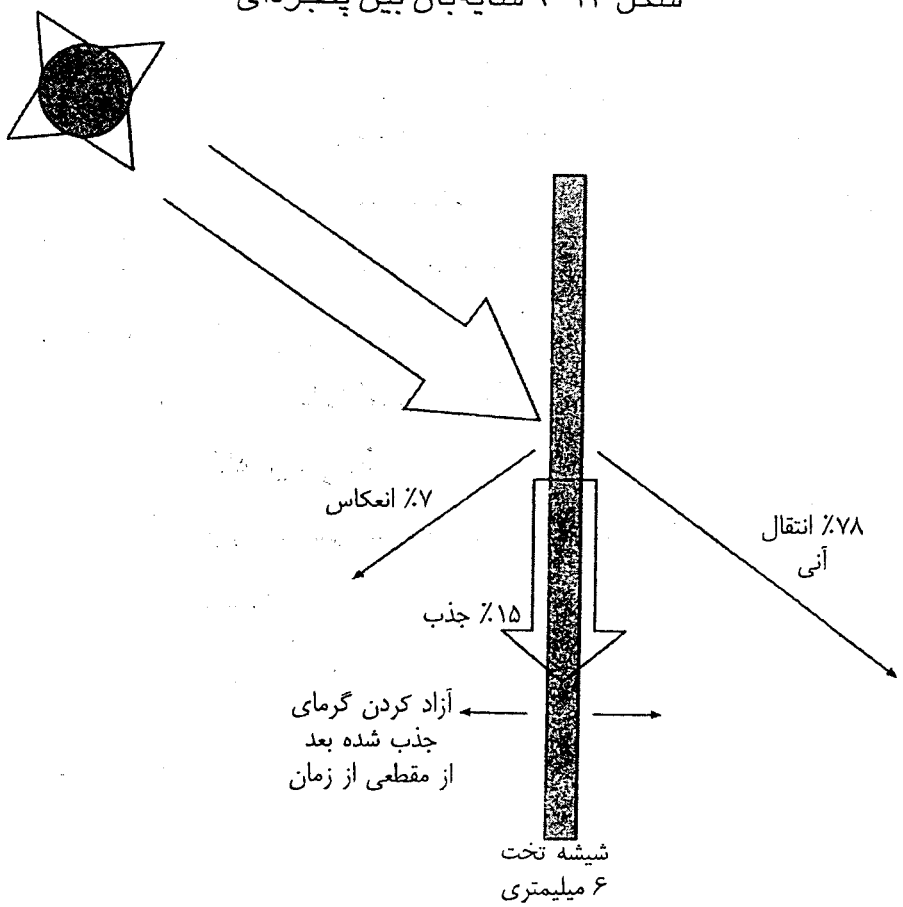


شکل ۱۳-۸ سایه بان افقی و عمودی خارجی

امکان کاهش چشمگیر کسب گرمای خورشیدی با استفاده از شیشه بندی کنترل خورشیدی، وجود دارد.این را می‌توان به دو دسته عمده، شیشه جذب تابش آفتاب و شیشه منعکس کننده تابش آفتاب. شیشه جذب تابش آفتاب تقسیم کرد. بدنه رنگی است، معمولاً برنزی، خاکستری، آبی یا سبز که از اکسید فلزات گوناگونی در ساخت آنها استفاده می‌کنند و مشابه شیشه‌های آفتابی معمول، با کاهش انتقال کلی تشعشعات آفتاب از طریق پنجره عمل می‌نماید. هم چنین در حین انجام، انتقال نور از پنجره را کاهش می‌دهد. شیشه جذب تابش آفتاب مشخصه‌های جذب بسیار بالاتری از شیشه شفاف معمولی نمایش می‌دهد، بطوریکه حتی تا ۷۰٪ از انرژی خورشیدی با شیشه رنگی برنزی جذب می‌شود(۹).



شکل ۱۳-۹ سایه‌بان بین پنجره‌ای



شکل ۱۳-۱۰ تشعشع، انعکاس و جذب برای شیشه تخت شفاف *6mm*

اگر چه، باید متذکر شد که در حالیکه بیشترین انرژی خورشیدی برخورد کرده جذب می‌شود، نهایتاً، با ورود بخشی از گرمای انتشار یافته به داخل ساختمان توسط شیشه دوباره انتشار می‌یابد. شیشه منعکس کننده آفتاب، همانگونه که اسم آن تداعی می‌کند،بسیار انعکاسی است. کیفیت انعکاس بالای شیشه با کاربرد لایه نازکی از اکسید فلز بر سطح خارجی، حاصل می‌آید. شیشه منعکس کننده آفتاب را می‌توان در رنگهای گوناگونی شامل نقره‌ای، برنزی، آبی، سبز و خاکستری تولید کرد. سطح آیینه‌ای شیشه، بسیاری از تشعشعات آفتاب که بر روی آن می‌افتد را منعکس می‌کند و در حذف انتقال تشعشع خورشیدی بسیار مؤثرتر از شیشه جذب تابش آفتاب است. تذکر اینکه این نوع از شیشه مقادیر زیادی از تشعشعات خورشیدی را منعکس می‌کند، اهمیت داشته و این می‌تواند در ساختمانهای مجاور، که اگر در مراحل طراحی احتیاط لازم اتخاذ نگردد، سبب مشکلاتی شده، و احتمالاً به بیش گرمایی بیانجامد.

۱۳-۵-۳ پنجره بندی پیشرفته

یکی از مشخصه‌های بسیاری از ساختمانهای پذیرای شیوه- مختلط استفاده از سیستمهای پنجره‌بندی پیچیده جهت کاهش کسب حرارتی خورشیدی است.پنجره‌ها در چنین ساختمانهایی اغلب جهت انجام برخی از وظایف تداخلی در ساعات خاصی بمانند موارد ذیل مورد نیاز می‌باشند:

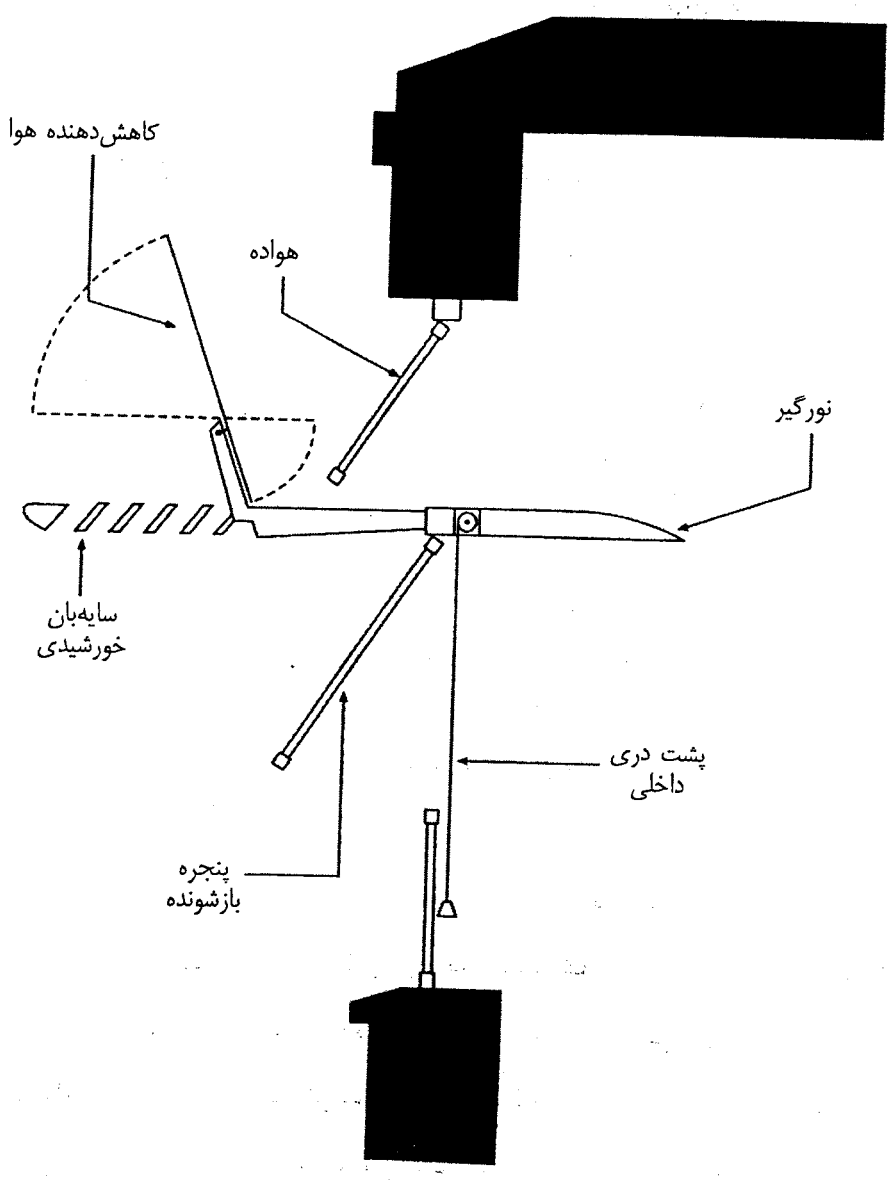
- امکان ورود روشنایی روز به ساختمان
- ارتقاء تهویه طبیعی
- بهبود گرمایش خورشیدی
- کاهش کسب گرمای خورشیدی
- جلوگیری از ورود سروصدا از خارج
- حفظ امنیت ساختمان

این وظایف معمولاً با نصب واحدهای پیچیده‌ای از پنجره، حاصل می‌آید، که برخی یا تمامی از موارد ذیل را شامل می‌شود:

- شیشه بندی کنترل خورشیدی (بمانند شیشه جذب یا انعکاس خورشیدی)

- سایه بان خارجی
- پشت دریهای داخلی یا میان پنجره‌ای
- پنجره‌ها یا دریچه‌های باز شونده.

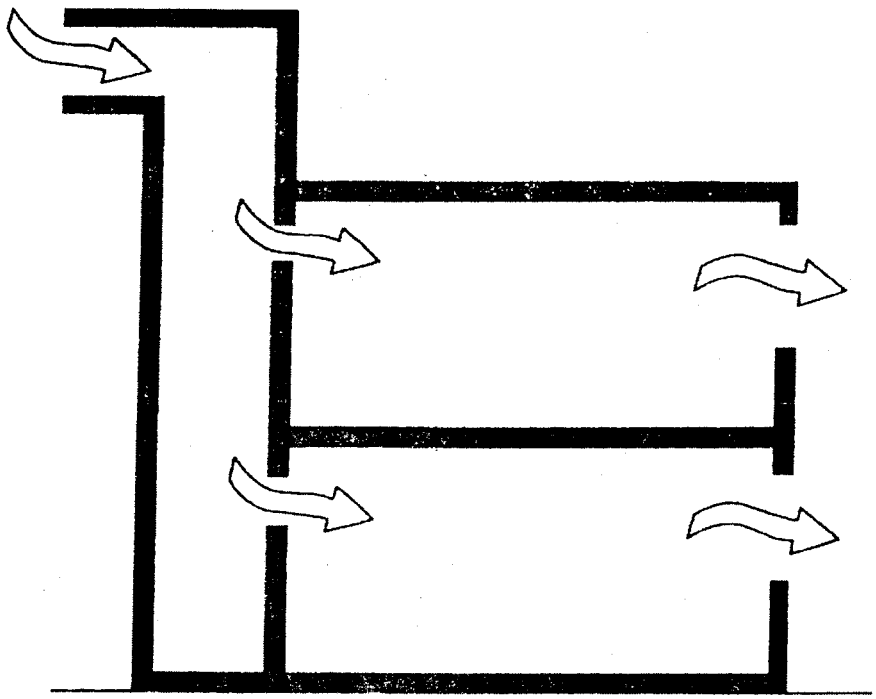
علاوه بر موارد بالا، بسیاری از سیستمهای پنجره‌بندی جهت بحداکثر رساندن روشنایی روز و بحداقل رساندن مصرف انرژی در روشنایی مصنوعی، از روزنه‌های نورگیر بهره می‌گیرند. شکل ۱۳-۱۱ یک نمونه سیستم پنجره‌بندی پیشرفته که ممکن است در یک ساختمان غیرفعال یا شیوه - مختلط پیدا شود را نشان می‌دهد. چنین سیستمهای پنجره‌بندی، پیچیده بوده و یک "چاقوی قلمی ارتش سوئیس" را تداعی می‌کنند. توجه به نقش مهمی که چنین پنجره‌هایی ایفا می‌کنند، اهمیت دارد، در بسیاری از ساختمانها با تهویه طبیعی پیشرفته، تمامی استراتژی کنترل محیط به عملکرد موفقیت‌آمیز این پنجره‌های پیچیده وابسته می‌باشد. اگر بهر دلیلی اینها نتوانند به آسانی عمل‌کنند، تمامی استراتژی تهویه دچار کاستی شده و محیط داخلی احتمالاً راحت نخواهد بود.



شکل ۱۳-۱۱ نمونه سیستم پنجره بندی پیشرفته

۱۳-۵-۴ تهویه طبیعی

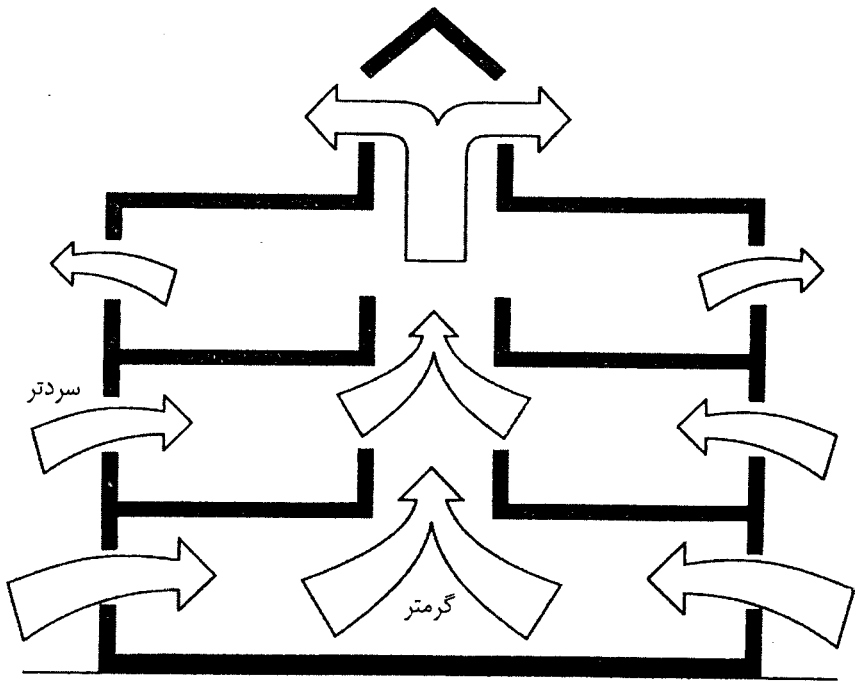
یکی از اجزاء کلیدی هر استراتژی سرمایشی غیرفعال، استفاده از تهویه طبیعی است، که می‌تواند به دو استراتژی اصلی تقسیم شود، تهویه - متقاطع و تهویه رانشی (دودکشی). از دو استراتژی، تهویه دودکشی عموماً قابل پیش‌بینی‌تر و مطمئن‌تر از تهویه- متقاطع می‌باشد. این بدین سبب است، که برخلاف تهویه - متقاطع،تهویه دودکشی به سرعت باد یا جهت باد، که هر دو می‌تواند بسیار متغیر باشد، بستگی ندارد. بنابراین استفاده از تهویه دودکشی در ساختمانهای کنترل شده بصورت غیرفعال بیشتر از تهویه متقاطع یافت می‌شود.



شکل ۱۳-۱۲ استفاده از بادگیر جهت ایجاد تهویه - متقاطع

تهویه متقاطع زمانیکه پنجره‌ها و درب‌ها در جوانب مخالف یک ساختمان قرار می‌گیرند و باز می‌شوند، بوقوع پیوسته، لذا فشار باد، هوا را از میان فضاهای اطاقها میراند. همانگونه که هوا از درون یک ساختمان عبور می‌کند گرما و آلاینده‌ها را گرفته و درجه حرارتش فزونی می‌یابد. این عرض فضای اطاق که می‌تواند بطور مؤثر تهویه - متقاطع شود را محدود می‌کند.پیشنهاد می‌گردد که عرض نقشه‌ای یک فضای تهویه - متقاطع شده نباید از ۵ برابر ارتفاع کف تا سقف بیشتر باشد(۱۰)، که معمولاً منجر به یک حداکثر عرض ۱۴ یا ۱۵ متر می‌گردد. در نتیجه، بنظر می‌رسد که تهویه - متقاطع محدود به ساختمانهایی است که دارای عرضهای نقشه‌ای باریک می‌باشند.

اگر چه تهویه - متقاطع معمولاً با استفاده از باز کردن پنجره‌ها حاصل می‌آید، در کشورهای کویری داغ،بادگیرها اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرند (همانگونه که در شکل ۱۳-۱۲ نشان داده شده است). بادگیرها، باد در سطح بالا را گرفته و به فضاهای مسکونی در ساختمان هدایت می‌کنند، لذا داخل ساختمان را خنک می‌کنند.بادگیرها می‌توانند بویژه در مناطقی که یک باد رایج در جهتی غالب می‌وزد، مؤثر باشند.



شکل ۱۳-۱۳ تهویه دود کشی

تهویه دودکشی متکی بر این حقیقت است که هم چنانکه هوا گرمتر می‌شود، تراکم آن کاهش یافته و شناورتر می‌گردد.همانسان که نام تداعی می‌کند، تهویه دودکشی درگیر خلق دودکشها یا حفره‌ها در ساختمانها با دریچه‌هایی در سطح بالا می‌باشد (همانگونه که در شکل ۱۳-۱۳ نشان داده شده است). همانگونه که هوا، به سبب کسب گرمای خورشیدی و داخل ساختمان گرمتر می‌شود، بیشتر شناور و منبسط می‌گردد و لذا از دودکشها بالا رفته، تا جاییکه در سطح بالای آنها دفع می‌گردد. در انجام این عمل کورانی ایجاد می‌شود که هوای تازه را در سطح پایین جهت جایگزینی هوای گرمی که جابجا شده است، جذب می‌کند. تهویه دودکشی دارای زیبایی خود - تنظیمی است زمانیکه کسب گرمای خورشیدی در بیشترین اندازه است، میزان جریان تهویه در بیشترین حد خواهد بود، و این به سبب نیروهای بالای انبساطی است.

اثر دودکشی توسط اختلاف فشار بین هوای ورودی در سطح پایین و هوای خروجی در سطح بالا، رانش می‌شود. این را می‌توان با استفاده از معادله (۱۳-۴) محاسبه کرد

$$\Delta\rho = gh(\rho_o - \rho_i) \qquad \text{اختلاف فشار} \qquad (۱۳-۴)$$

که در آن ΔP اختلاف فشار بین دریچه خروجی (Pa)، h اختلاف ارتفاع بین دریچه ورودی و دریچه خروجی (m)، ρ_i، ρ_o چگالی هوا در دریچه خروجی و (kg/m^3)، g شتاب جاذبه است $(۹/۸۱ m/s^2)$.

تراکم هوا در هر درجه حرارتی را می‌توان با استفاده از معادله (۱۳-۵) محاسبه نمود.

$$\rho_t, t \text{ چگالی هوا در درجه حرارت} = ۱/۱۹۱ \times \frac{(۲۷۳+۲۰)}{(۲۷۳+t)} \qquad (۱۳-۵)$$

که در آن چگالی هوا در $۲۰^\circ C$، $۱/۱۹۱ kg/m^3$ است.

می‌توان از معادله‌های (۱۳-۴) و (۱۳-۵) مشاهده کرد که نیروی شناوری بسته به موارد ذیل است:

- اختلاف ارتفاع بین دریچه‌های ورودی و خروجی؛ و
- اختلاف درجه حرارت بین هوای داخل و خارج

میزان جریان حجم هوای کشیده شده توسط اثر دودکشی را می‌توان با معادله ذیل تعیین نمود:

$$V = C_d A_n \sqrt{[(۲gh \times (\rho_o - \rho_t))/\rho_{av}]} \qquad (۱۳-۶)$$

که در آن V میزان جریان حجم هوا (m^3/s)، C_d ضریب تخلیه دریچه‌ها، A_n مساحت معادل دریچه‌ها (m^2)، ρ_{av} متوسط چگالی هوا می‌باشد (kg/m^3).

مساحت معادل دریچه‌ها An را می‌توان با استفاده از معادله (۱۳-۷) تعیین نمود.

$$\frac{۱}{(\Sigma An)^2} = \frac{۱}{(\Sigma Ain)^2} + \frac{۱}{(\Sigma A_{out})^2} \qquad (۱۳-۷)$$

که در آن $\sum A_{in}$ مجموع مساحت آزاد دریچه‌های ورودی (m^2) و $(\sum A_{out})$ مجموع مساحت آزاد دریچه‌های خروجی می‌باشد. (m^2)

مثال ۱۳-۲

یک مرکز خرید با استفاده از تهویه دودکشی خنک می‌شود. مرکز خرید دارای دریچه‌هایی در سطح پایین و در سطح پشت بام است. با اطلاعات ذیل تعیین کنید:

(I) اختلاف فشار رانشی تهویه دودکشی

(II) میزان جریان هوای تهویه

(III) توان خنک کنندگی ایجاد شده توسط تهویه دودکشی.

اطلاعات:

$۱۲m^۲$ = مساحت آزاد دریچه‌های فوقانی

$۶m^۲$ = مساحت آزاد دریچه‌های تحتانی

$۳۵\ m$ = اختلاف ارتفاع بین دریچه‌ها

$۳۲°C$ = میانگین درجه حرارت هوای داخلی

$۲۲°C$ = درجه حرارت هوای خارج

۰/۶۱ = ضریب تخلیه دریچه‌ها

راه‌حل

مساحت معادل دریچه‌ها بصورت ذیل محاسبه می‌گردد:

$$\frac{۱}{(\Sigma A_n)^۲}=\frac{۱}{۶^۲}+\frac{۱}{۱۲^۲}$$

بنابراین

$$\sum A_n=۵/۳۶۷\ m^۲$$

چگالی هوا در $۲۲°C$

$$\rho_{۲۲}=۱/۱۹۱\times\frac{(۲۷۳+۲۰)}{(۲۷۳+۲۲)}=۱/۱۸۳kg/m^۳$$

چگالی هوا در $32°C$

$$\rho_{۳۲}=۱/۱۹۱\times\frac{(۲۷۳+۲۰)}{(۲۷۳+۳۲)}=۱/۱۴۴kg/m^{۳}$$

(I) اختلاف فشار را می‌توان با استفاده از معادله (۱۲-۴) تعیین نمود.

$$\text{اختلاف فشار}=۹/۸۱\times۳۵\times(۱/۱۸۳-۱/۱۴۴)=۱۳/۴Pa$$

(II) میزان جریان حجم را می‌توان با استفاده از معادله (۱۲-۶) تعیین نمود.

$$\text{میزان جریان حجم}=۰/۶۱\times۵/۳۶۷\times\sqrt{[(۲\times۱۳/۴)\div(۰/۵\times(۱/۱۸۳+۱/۱۴۴))]}$$

$$=۱۵/۷۱m^{۳}/s$$

$$\text{توان خنک‌کنندگی}=(\dot{m}C_p\ (t_i-t_o) \qquad (III)$$

که در آن $\dot{m}$ جرم میزان جریان هوا (kg/s)، C_p ظرفیت حرارتی ویژه هوا و $(۱/۰۲۵kJ/kgK)$ t_o, t_i، درجه حرارتهای داخلی و خارجی می‌باشند $(°C)$.

بنابراین

$$\text{توان خنک کنندگی}=۱۵/۷۱\times[۰/۵\times(۱/۱۸۳+۱/۱۴۴)]\times۱/۰۲۵\times(۳۲-۲۲)$$

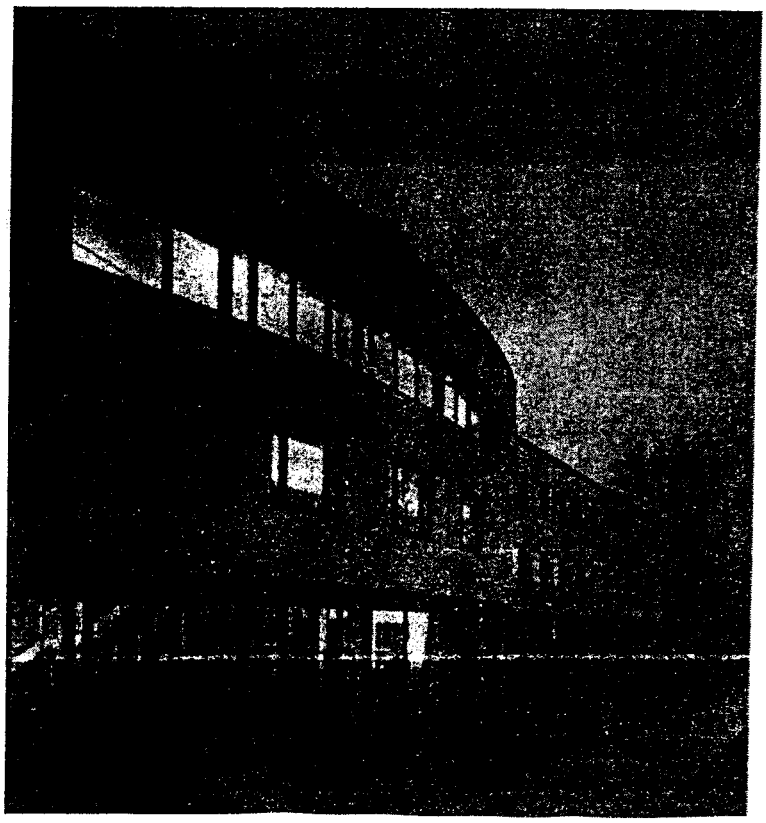
$$=۱۸۷/۳۶kW$$

زمانیکه تهویه دودکشی را بکار می‌گیریم اهمیت دارد به خاطر داشته باشیم که اثر دودکشی هر چه در ساختمان بالاتر رویم نقصان می‌یابد، زیرا اختلاف ارتفاع کم می‌شود. بنابراین اندازه دریچه ورودی هوا باید با بالا رفتن یک ساختمان در جهت حفظ میزان جریان حجم یکسان در هر سطح طبقه، افزایش یابد. به سبب اینکه اثر دودکشی بطرف سطح فوقانی یک ساختمان کاهش می‌یابد، اغلب لحاظ کردن یک روش جایگزین تهویه در طبقات بالاتر، ارزش دارد.

شکل ۱۳-۱۴ ساختمان ملکه در دانشگاه دمونت فورت، لیستر(۱۱)

۱۳-۵-۵ جرم حرارتی

در خلال دهه ۱۹۹۰ در اروپا و بریتانیا نسل جدیدی از ساختمانهای کم انرژی بر ساخته شده، که استفاده گسترده‌ای از سطوح سنگین حرارتی نموده‌اند. دو نمونه از بهترین مثالهای این ساختمانها، ساختمان ملکه دانشگاه دمونت فورت، لیستر (۱۰و۱۱) (شکل ۱۳-۱۴ را ببینید) و ساختمان الیزابت فرای در دانشگاه انجلیای شرقی می‌باشند (شکل ۱۳-۱۵ را بینید). این ساختمانها جرم حرارتی را بعنوان یک بخش جدایی‌ناپذیر از استراتژی کنترل محیطی خودشان جهت ایجاد یک محیط داخلی با پایداری حرارتی، استفاده می‌کنند.



شکل ۱۳-۱۵ ساختمان الیزابت فرای در دانشگاه انجلیای شرقی(۱۲)

جرم حرارتی را می‌توان در ساختمانها جهت انجام سه نقش جدا، لیکن مرتبط بکار گرفت:

- جرم را می‌توان به پوشش ساختمان جهت ایجاد سکون حرارتی، که تغییرات شدید محیط خارجی را تعدیل می‌نماید، افزود.
- جرم در معرض را می‌توان جهت ایجاد یک محیط با مطلوبیت بالا که از نظر حرارتی پایدار باشد، به نمای داخلی اضافه نمود.
- جرم را می‌توان یا جداگانه یا به سازه ساختمان جهت خلق یک انبار حرارتی که می‌تواند جهت خنک کردن ساختمانها استفاده گردد، افزود.

یکی از موارد منحصر بفرد بسیاری از ساختمانهای جرم بالا/کم انرژی بر استفاده آنها از جرم در معرض جهت ایجاد یک محیط داخلی با مطلوبیت بالا است. در بیشترین ساختمانها استفاده گسترده از سقف معلق و مفروش کردن بطور مؤثر سازه‌های سنگین حرارتی را بگونه‌ای به سازه‌های سبک تبدیل نموده، محیط داخلی با مطلوبیت پایین که در جذب انرژی گرمایی ضعیف می‌باشد را پدید آورده است. درجه حرارتهای سطح در چنین ساختمانهایی گرایش به افزایش داشته، و رهایی از کسب گرما، بمحض وقوع آن را الزامی می‌سازد. این یکی از دلایل عمده ایست که چرا تهویه مطبوع در این چنین ساختمانهای اداری یک نیاز شده است. بهرحال، با در معرض قرار دادن جرم سازه ساختمان امکان ایجاد یک محیط با مطلوبیت بالا وجود داشته، که بطور موفقیت‌آمیزی می‌توان جهت مقابله با بیش گرمایی از آن بهره گرفت.ایجاد یک محیط با مطلوبیت بالا دارای تأثیراتی بر راحتی ساکنین می‌باشد.

از مباحث در بخشهای ۸-۲ و ۱۱-۷ می‌توان مشاهده نمود که درجه حرارت خشک و نه درجه حرارت هوا است که در راحتی انسان حیاتی است. در صورتی که سرعت هوای اتاق کمتر از $۰/۱ m/s$ باشد،درجه حرارت خشک را می‌توان بصورت ذیل بیان داشت:

$$\text{درجه حرارت خشک } t_{res}=۰/۵t_a+۰/۵t_r \qquad (۸-۱۳)$$

که در آن t_r درجه حرارت میانگین تشعشعی $(°C)$، و t_a درجه حرارت هوا می‌باشد $(°C)$.

با در معرض قرار گرفتن جرم سازه ساختمان امکان خلق محیطی با مطلوبیت بالا وجود داشته

و لذا حرارت میانگین تشعشعی و درجه حرارت خشک فضای داخلی را کاهش داد. با فرض اینکه درجه حرارت خشک متوسطی از مجموع درجه حرارت هوا و درجه حرارت میانگین تشعشعی باشد، امکان جایز دانستن افزایش درجه حرارت هوای داخلی در تابستان بدون هیچ ناراحتی محسوس به ساکنین وجود داشته، در صورتیکه درجه حرارت میانگین تشعشعی در یک درجه حرارت پایین‌تری از آنچه که در یک ساختمان معمولی با سقف معلق هست، حفظ گردد.

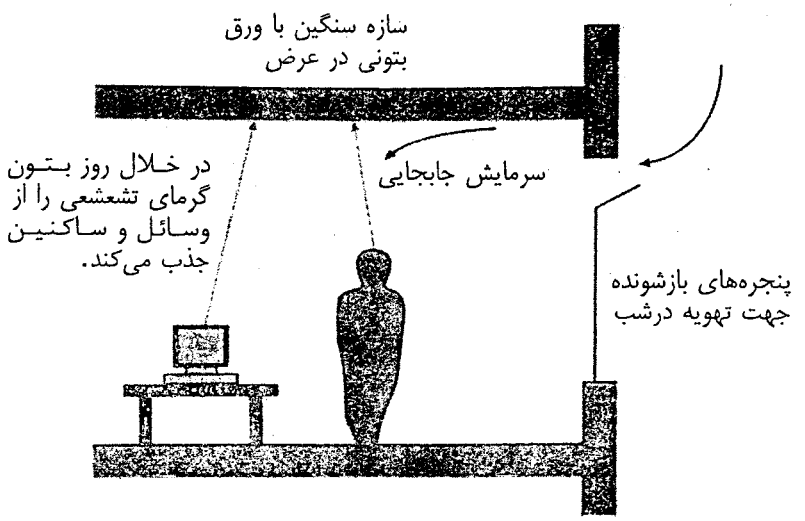
در زمینه ظرفیت ذخیره کردن حرارتی، کف‌ها به نسبت زیاد با اهمیت‌ترین جزء داخل هر ساختمانی می‌باشند. یک پوسته با عمق $۵۰mm$ بتون در معرض می‌تواند حدود $۳۲Wh/m^{۲}{}^{\circ}C$ ذخیره کرده، که اگر بطور صحیح بهره‌برداری شود، که پتانسیل قابل ملاحظه‌ای جهت تدارک سرمایش به آن می‌دهد.

ساختمانهای با یک پوشش جرم بالا در کاهش کسب گرمای خورشیدی پیک بسیار خوب هستند، زیرا جرم سکون حرارتی ساختمان را افزایش می‌بخشد. با دیوارهای سنگین آجری فاصلهٔ زمانی بین برخورد شعاع خورشید به نمای خارجی و رسانش حرارت به داخل اغلب به بیش از ۱۲ ساعت می‌رسد. بنابراین تأثیر کلی کاهش درجه حرارت داخلی روزانه بوده، لذا کسب گرمای پیک را بحداقل می‌رساند. این باعث کاهش ظرفیت مورد نیاز در هر تأسیسات تهویه مطبوعی که می‌باید نصب گردد، می‌شود.

۱۳-۵-۶ هوادهی شبانه

از آنجائیکه استفاده از ورقهای بتونی کف در معرض قرار گرفته ممکن است منجر به محیطی با مطلوبیت بالا گردد، اگر سازه متفاوباً از گرما زدوده نشود، می‌تواند مشکلاتی ایجاد کند. این بدین سبب است که درجه حرارت میانگین تشعشعی، همانگونه که کف‌ها گرمای بیشتر و بیشتر جذب می‌کنند، بطور مرتب تا که شرایط غیر قابل قبول گردد، افزایش خواهد یافت. یک روش مؤثر با هزینه کم که توسط آن گرما را می‌توان از سازه ساختمان زدود، هوادهی شبانه است. از نظر ظرفیت حذف گرما، زمانیکه اختلاف در درجه حرارت بین داخل یک ساختمان و محیط خارج کم است، هوادهی در خلال اوقات روز در کمترین تأثیر خود می‌باشد. در ساختمانهای سنگین وزن هوادهی شبانه بسیار مفیدتر است، زیرا اختلافات درجه حرارت بسیار بیشتر از خلال اوقات روز می‌باشد. بنابراین، با هوادهی شبانه امکان خنک سازی سازه ساختمان وجود داشته، و قادر می‌سازد ساکنین و دستگاههای گرما را به ورقهای بتونی کف در معرض قرار گرفته، ساطع کنند.

هوادهی شبانه، مستلزم عبور دادن هوای خنک خارج از رو یا زیر ورقهای بتونی کف در معرض بوده تا انتقال حرارت خوبی بوقوع پیوندد. این می‌تواند توسط عوامل مکانیکی یا طبیعی انجام پذیرد. در ابتدایی‌ترین وضعیت، هوادهی شبانه ممکن است به سادگی با باز نمودن پنجره‌ها در شب ایجاد شود (شکل ۱۳-۱۶ را ببینید)، در حالیکه یک روش پیچیده‌تر ممکن است مستلزم تخصیص یک سیستم هوادهی شبانه مکانیکی و استفاده از کف‌های کاذب باشد(شکل ۱۳-۱۷ را ببینید). اگر کف‌های کاذب در ارتباط با یک برنامه هوادهی شبانه استفاده شوند، آنگاه ورقهای بتونی خنک می‌توانند جهت پیش- خنک کردن هوای تأمینی قبل از ورود به فضای اتاق، استفاده گردند. علاوه بر این، استفاده از یک کف کاذب بهره‌گیری از یک هوادهی بصورت جابجایی را، جایز می‌دارد.



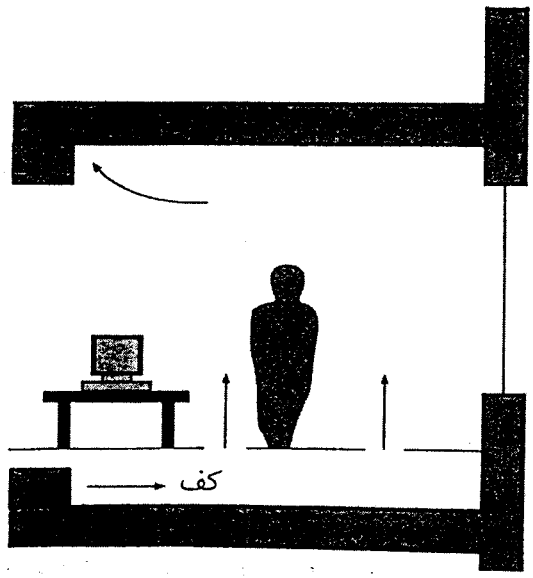
شکل ۱۳-۱۶ طرح ساده هوادهی شبانه که در آن پنجردها در خلال شب باز هستند

۱۳-۵-۷ ترمودک[1]

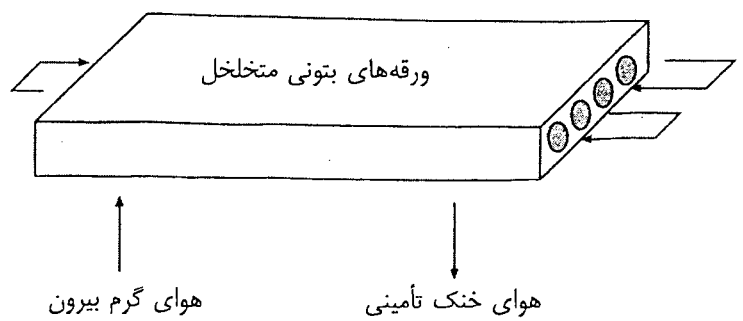
زمانی که یک طرح هوادهی شبانه را ایجاد می‌کنیم اطمینان از تبادل حرارتی خوب بین هوا و جرم کف بتونی اهمیت داشته، و هم چنین نیروهای پروانه را در یک حداقلی نگه‌می‌دارد. سیستمی که به این هدف بخوبی نائل می‌آید سیستم ورقهای بتونی متخلخل کف ترمودک سوئدی می‌باشد. سیستم ترمودیک بطور موفقیت‌آمیزی در بسیاری از مکانها در سرتاسر اروپای شمالی و در بریتانیا، یا بطور مشخص در ساختمان الیزابت فرای (۱۲) و ساختمان کتابخانه کیمبرلین در

1- *Termodeck*

دانشگاه دمونت فورت (۱۳) مورد استفاده قرار گرفته است. سیستم ترمودک ارتباط خوب حرارتی بین هوا و جرم ساختمان را با فشردن هوای مطبوع از درون سوراخهای مرکزی مختص ورق‌های بتونی کف، تضمین می‌نماید (همانگونه که در شکل ۱۳-۱۸ نشان داده شده است). با ایجاد اتصال عمودی بین راههای هوا بین سوراخهای مرکزی، امکان پدید آوردن یک مدار عبور ۳ یا ۵ تایی که امکان عبور هوای تأمینی را داده، میسر شده لذا انتقال خوب حرارت را تضمین می‌کند. در خلال مقاطعی که سرمایش مورد نیاز است، هوای خارج در درجه حرارت محیطی از درون سوراخهای مرکزی ورق بتونی برای تقریباً ۲۴ ساعت از روز دمیده می‌شود. در خلال شب ورق بتونی تا حدود ۱۸ تا ۲۰ درجه سانتی گراد خنک شده، تا که در خلال اوقات روز هوای تازه ورودی توسط ورق بتونی قبل از ورود به فضای اتاق پیش ـ خنک گردد. هم چنین با در معرض قراردادن بخش زیرین ورق بتونی امکان دارد گرمای ساطع شده از ساکنین و لوازم داخل فضا جذب گردد.



شکل ۱۳-۱۷ طرح هوادهی شبانه که در آن هوای مطبوع از طریق کف کاذب ارائه می‌گردد.



شکل ۱۳-۱۸ سیستم ترمودک

سیستم ترمودک بطور خاص ارزش توجه را دارد، زیرا ساختمانهایی بدون نیاز به هر نوع سرمایشی را تولید کرده که از نظر حرارت بی نهایت پایدار و راحت هستند. مثال ساختمان الیزابت فرای این حقیقت را بخوبی ارائه می‌دهد. در مطالعه اخیر از ساختمانهای کم انرژی بر در بریتانیا (۱۴)، عملکرد ساختمان الیزابت فرای چشمگیر بود. این ساختمان به بالاترین میزان آسایش نائل آمد، از آنجائیکه هم زمان یکی از کم مصرف‌ترین مشتریان انرژی بود، مصرف انرژی الکتریکی آن در سال ۱۹۹۷ فقط $۶۱kWh/m^۲$ بود و مصرف گاز معمول در آن سال $۳۷kWh/m^۲$ بود(۱۲) که در مقایسه با مقادیر مشابه $۱۲۸kWh/m^۲$ و $۹۷kWh/m^۲$ تعیین شده در راهنمای ۱۹ مصرف انرژی برای عملکرد خوب ساختمانهای اداری تهویه مطبوع در بریتانیا، بسیار مطلوب است(۱۵).

۱۳-۶ شکل ساختمان

تصمیم در جهت بهره‌گیری از یک استراتژی کنترل محیطی غیرفعال می‌تواند محدودیتهای جدی بر شکل کلی ساختمان اعمال نماید. برای مثال، اگر هوادهی طبیعی در جهت انگیزش تحرک هوا مورد استفاده قرار می‌گیرد، بطور اجتناب ناپذیری به ایجاد یک ساختمان با طرح باریک می‌انجامد، مگر اینکه پاسیو یا دودکشهای هوادهی مرکزی استفاده گردد. این بدین سبب است که ساختمانهای غیرفعال قرار است که نسبت به اقلیم باشند. بنابراین هر چه یک فضای داخلی از یک سطح خارجی دورتر باشد، شانس کمتری برای مهار کردن منابع طبیعی محیط خارج وجود دارد. هم چنین استفاده از استراتژی گرمایشی غیر فعال خورشیدی منجر به یک ساختمان با طرح لیکن با مساحات بزرگی از شیشه‌بندی رو به جنوب، باریک شده. بدین دلیل، طرحهای گرمایشی غیر فعال خورشیدی گرایش به محدود شدن به ساختمانهای متوسط و کوچک اندازه را دارند. استفاده از گرمایش غیر فعال خورشیدی بطور مؤثر در ساختمانهای با طرح عمق زیاد بسیار مشکل بوده، چرا که چنین ساختمانهایی گرایش به بیش گرمایی برای قسمت اعظمی از سال داشته و لذا ابتداعاً نیاز به محافظت در مقابل کسب گرمای خورشیدی را دارند.

به سبب اینکه عموماً ساختمانهای عمومی و تجاری مشکلات گرمایی را تجربه می‌کنند، زمانیکه یک استراتژی غیرفعال در طراحی این ساختمانها کاربری می‌یابد معمولاً یک استراتژی هوادهی سرمایشی/ طبیعی است تا یک گرمایش غیر فعال خورشیدی، این بدان معنی است که این ساختمانهای به اصطلاح هوادهی داده شده طبیعی پیشرفته همگی گرایش در جهت استراتژی‌ها و تکنولوژیهای طراحی عمومی یکسان دارند. بطور کلی این استراتژیها/تکنولوژیهای عمومی بشرح

ذیل هستند:

- استفاده از یک پوشش خارجی با عایق بندی سنگین
- استفاده از پنجره بندی محتاطانه طراحی شده و اغلب پیچیده، که همزمان کسب انرژی خورشیدی و تلفات حرارتی ساختمان را بحداقل رسانده، و رخنه روشنایی روز را حداکثر می‌نماید. هم چنین یک نیاز است که پنجره‌ها را بتوان باز کرد.
- استفاده از دودکشها یا پاسیو جهت برانگیختن هوادهی دودکشی.
- استفاده از هوادهی شبانه جهت زدودن سازه ساختمان از گرمای انباشته شده در خلال اوقات روز.
- استفاده محتاطانه از جرم ساختمان در معرض، جهت تعدیل تغییرات در درجه حرارت فضای داخلی، و کمک به سرمایش با جابجایی و تشعشع.

یکی از مشخصه‌های این ساختمانهای هوادهی طبیعی شده پیشرفته اینست که اغلب آنها دارای نماهای پیچیده با پنجره‌های باز شونده، دریچه‌ها، پشت دریها، سایه بانهای خارجی و حتی روزنه‌های نورگیر هستند.

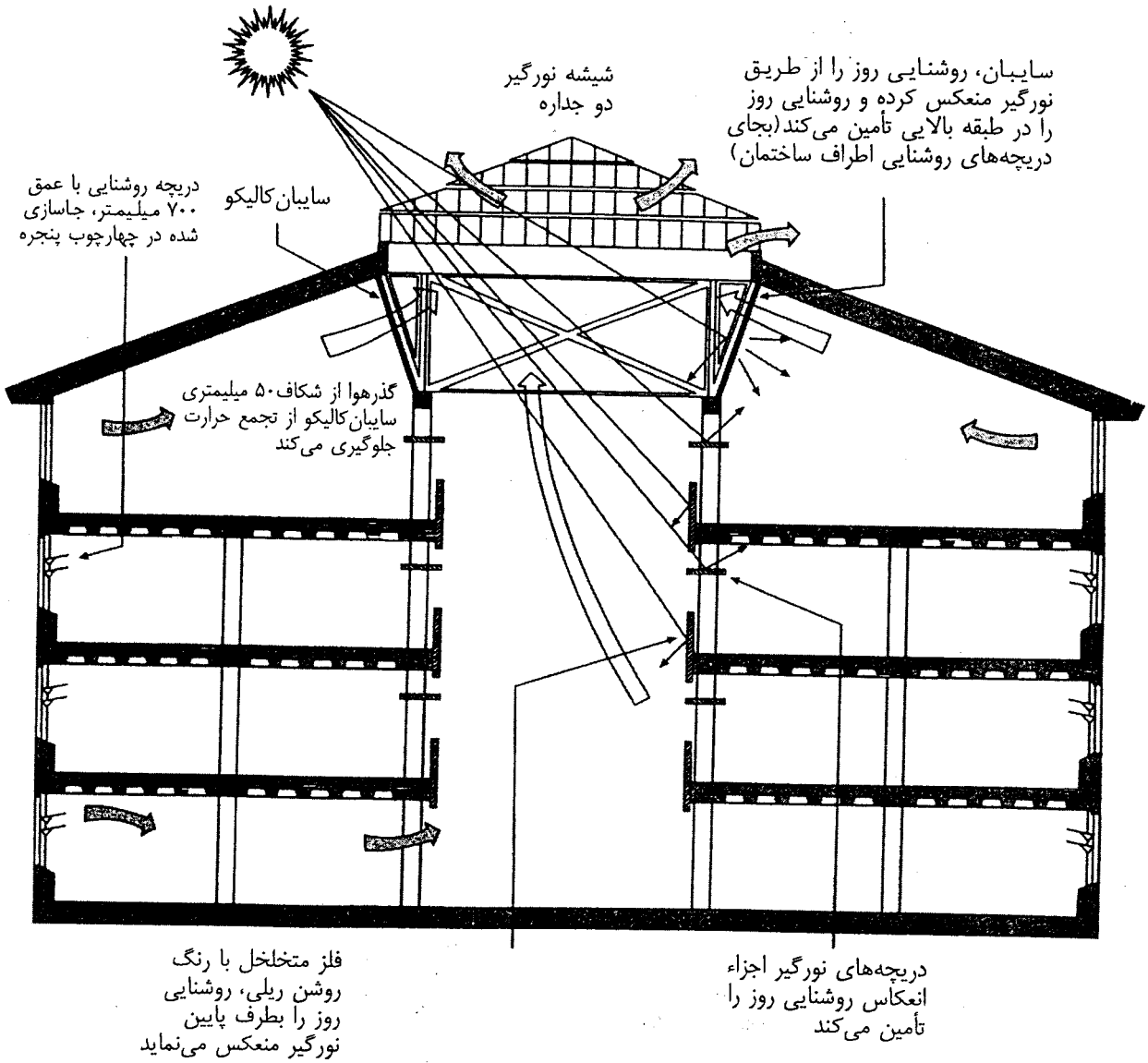
این نماهای ظاهری تلفیقی از سیستمهای پیشرفته پنجره‌بندی بوده که دارای قطعات متحرک متعددی است که اغلب توسط یک سیستم مدیریت ساختمان *(BMS)* کنترل می‌شوند. چنین نماهای ظاهری پیچیده الزامی هستند، چرا که نبود خدمات مکانیکی داخلی، پوسته خارجی ساختمان را مجبور به یک تعدیل کننده اولیه اقلیم و انجام دهنده تنوع گسترده‌ای از وظایف می‌نماید (مانند روشنایی روز، مقابله با تشعشع خورشیدی، هوادهی و جلوگیری از نفوذ سرو صدای خارجی). با ایجاد پوسته‌ای پیچیده، طراحان چنین ساختمانهایی بطور مؤثر پیچیدگی را در اطراف ساختمان، بجای تمرکز آن در یک اطاق تأسیسات مرکزی، توزیع می‌کنند. این درجه از پیچیدگی در پوسته می‌تواند دارای تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر فعالیت ساکنین و نظام مدیریت تأسیساتی که باید اتخاذ گردد، هر دو، باشد.برخلاف ساختمانهای هوادهی طبیعی شده پیشرفته، استفاده از یک سیستم هوادهی مکانیکی بطور قابل ملاحظه‌ای انعطاف بیشتری در اختیار نهاده و بهره‌گیری از طرحهای عمیق‌تری را قادر می‌سازد. بدین ترتیب بنظر می‌رسد سیستم ترمودک پتانسیل بزرگی ارائه می‌دهد، چرا که ارتباط حرارتی خوبی بین هوا و جرم ساختمان، بدون نیاز به

یک نمای ظاهری پیچیده خاص یا یک طراحی داخلی اوپن، را تسهیل می‌کند.

استفاده از تکنولوژیها استراتژیهای عام غیرفعال که در بالا شرح داده شد محدودیتهایی را بر طراحی ساختمان اعمال نموده و شکل ساختمان را دیکته می‌کند. با ساختمانهای بزرگتر استفاده از هوادهی طبیعی اغلب منجر به ساختمانهایی می‌گردد، که دارای پاسیو هستند. این ساختمانها شامل یک طرح مستطیل شکل باریک پیچیده شده بدور یک پاسیو بوده، که ظاهری ازیک ساختمان طرح عمیق را ارائه می‌دهد. دریچه‌های در بالای پاسیو جهت برانگیختن هوادهی رانشی انبساطی استفاده شده و هوا از طریق دریچه‌ها یا پنجره‌های در نمای ظاهری کشیده می‌شود. در نتیجه، ساختمانهای هوادهی و سرمایش شده غیرفعال بنظر شبیه یکدیگر بوده و با استفاده از پاسیو یا دودکشها و نماهای ظاهری پیچیده مشخص شده‌اند. اشکال ۱۳-۱۹، ۱۳-۲۲ بخشهایی از چهار ساختمان سرمایش شده غیرفعال که اخیراً در بریتانیا ساخته شده را نشان می‌دهد: مرکز منبع فراگیری در دانشگاه پلی تکنیک آنجلیا، چلمزفورد، مراکز یونیکا، کمبریج، مراکز درآمد اینلند، ناتینگهام، و دانشکده مهندسی، دانشگاه دمونت فورت، لیستر.

می‌توان از مثالهای بالا مشاهده کرد که هر چهار ساختمان شباهت‌های زیادی را نمایش می‌دهند. در پلی تکنیک آنجلیا و ساختمانهای یونیکا طراحان از پاسیو جهت ایجاد هوادهی رانشی انبساطی بهره جسته، در حالیکه در دو ساختمان دیگر دودکشهای از پیش طراحی شده، بکار گرفته شده‌اند، جدول ۱۳-۱ مشخصات تمامی چهار ساختمان را خلاصه کرده است.

باید متذکر شد که اگرچه برخی از ساختمانهای بالا، بویژه ساختمان دمونت فورت بنظر یک طرح باریک نمی‌رسد، از نقطه نظر هوادهی همه آنها ساختمانهای با طرح باریک می‌باشند. حداکثر عرض کاربردی فضا که می‌توان بطور طبیعی هوادهی کرد حدود $15m$ می‌باشد. این ابعاد شکل ساختمان را به یک چارچوب طرح باریک، محدود می‌کند. بهر حال، با ساخت یک ساختمان مستطیل شکل طرح باریک بدور یک پاسیو، که در اصل یک حیاط با سرپوش شیشه‌ای است، امکان رسیدن به ظاهر یک ساختمان طرح عمیق میسر است. در مورد ساختمان دمونت فورت، طرح عمیق‌تر با گذاردن دودکشهای هوادهی در میان ساختمان، حاصل آمده است.

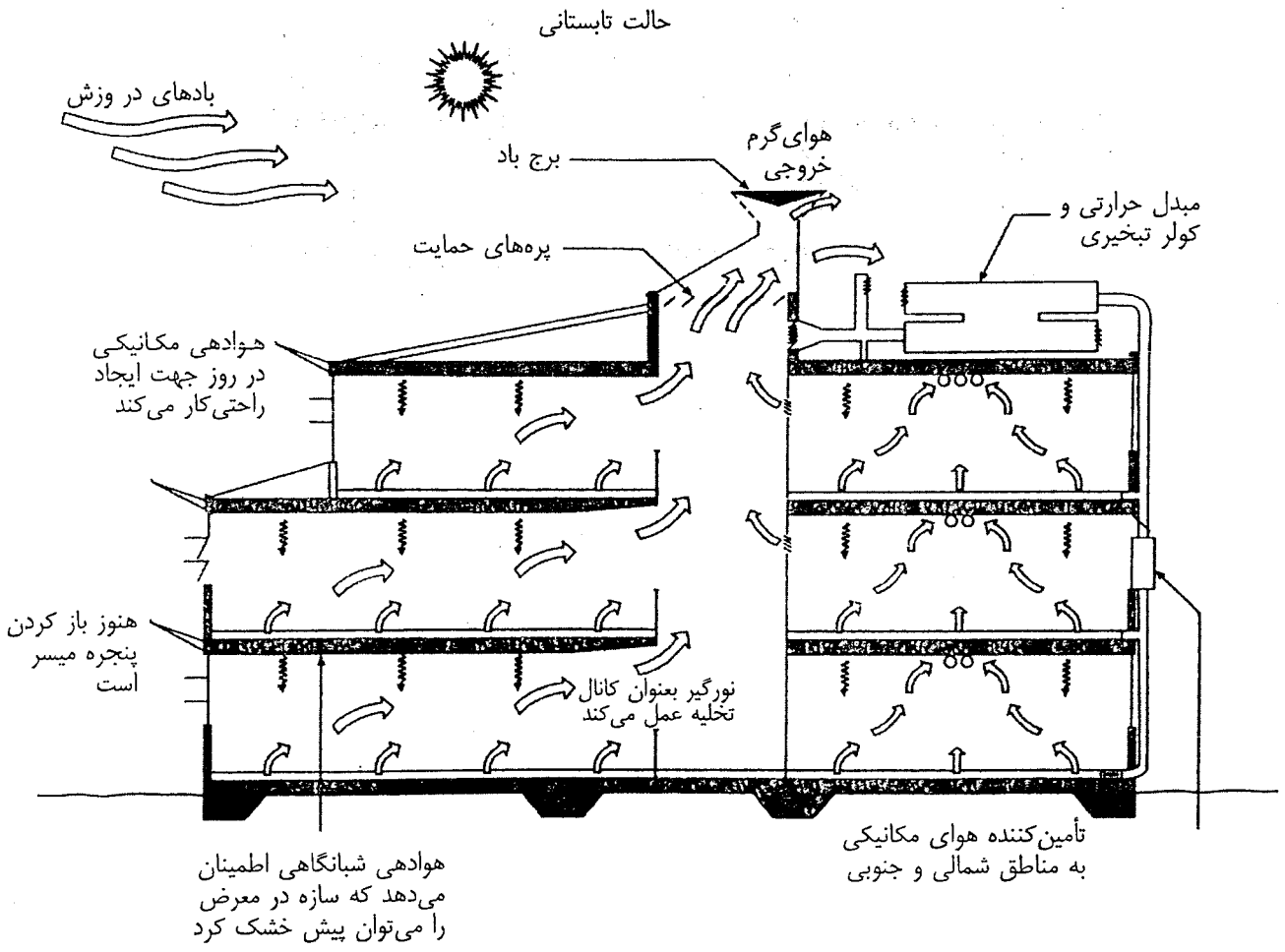


شکل۱۳-۱۹ مرکز منبع فراگیری در دانشگاه پلی‌تکنیک آنجلیا، چلمزفورد(۱۰)

جدول ۱۳-۱ خلاصه مشخصات ساختمانهای نمونه گرفته شده(۱۰)

ساختمان	نورگیریا دودکش	پنجره‌های پیچیده‌با سایه‌بان	هوادهی شبانه	ورقهای‌بتونی باجرم‌بالای درمعرض	دریچه‌های نورگیر	مصرف‌انرژی درسال kWh/m^2
آنجلیاپلی‌تکنیک‌دانشگاه	نورگیر	بله	بله	بله	بله	۸۲
مراکز یونیکا	نورگیر	بله	بله	بله	خیر	۶۴
دودکش‌ها مراکز درآمد اینلند		بله	بله	بله	بله	۸۹
دودکش‌ها دانشگاه دمونت فورت		خیر	بله	بله	بله	۱۲۰

مطالعه‌ای اخیر از ساختمانهای کم انرژی بر مشهور در بریتانیا (۱۴) دریافت که سطوح بالایی از رضایت ساکنین‌در ساختمانهایی‌که موارد ذیل را ارائه‌می‌دهندباسهولت بیشتر نائل شدنی‌است:



شکل ۱۳-۲۰ مراکز یونیکا، کمبریج (۱۰)

۱۳-۷ عملکرد ساختمان

استفاده از یک استراتژی کنترل محیطی غیرفعال نه تنها شکل ساختمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، هم چنین آن می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد ساختمانها و ساکنین آنها، بویژه اگر ساختمان بزرگ بوده و بطور طبیعی هوادهی شود، داشته باشد. با تکیه بر یک پوشش پیشرفته بعنوان تعدیل کننده مقدم اقلیمی و اتخاذ یک نگرش حداقل به خدمات ساختمانی مکانیکی، طراحان چنین ساختمانهایی لازم است محتاط بوده تا که آنها محیطی که عملکرد ساکنین را مختل نماید، پدید نیاورند. اگر چه طراحان ممکن است احساس کنند که آنها ساختمان کم انرژی بر و راحتی تولید کرده‌اند، در واقع ممکن است بجای رونق دادن به مشغله اصلی ساکنین، از آن کاسته باشند. با چنین ذهنیتی،باید بخاطر داشت که هر ملکی که به سبب ناراحتی یا عدم تجانس با اهداف برپایی شهره شود، افزایش ارزش افزوده آن بعید است (۱۶).

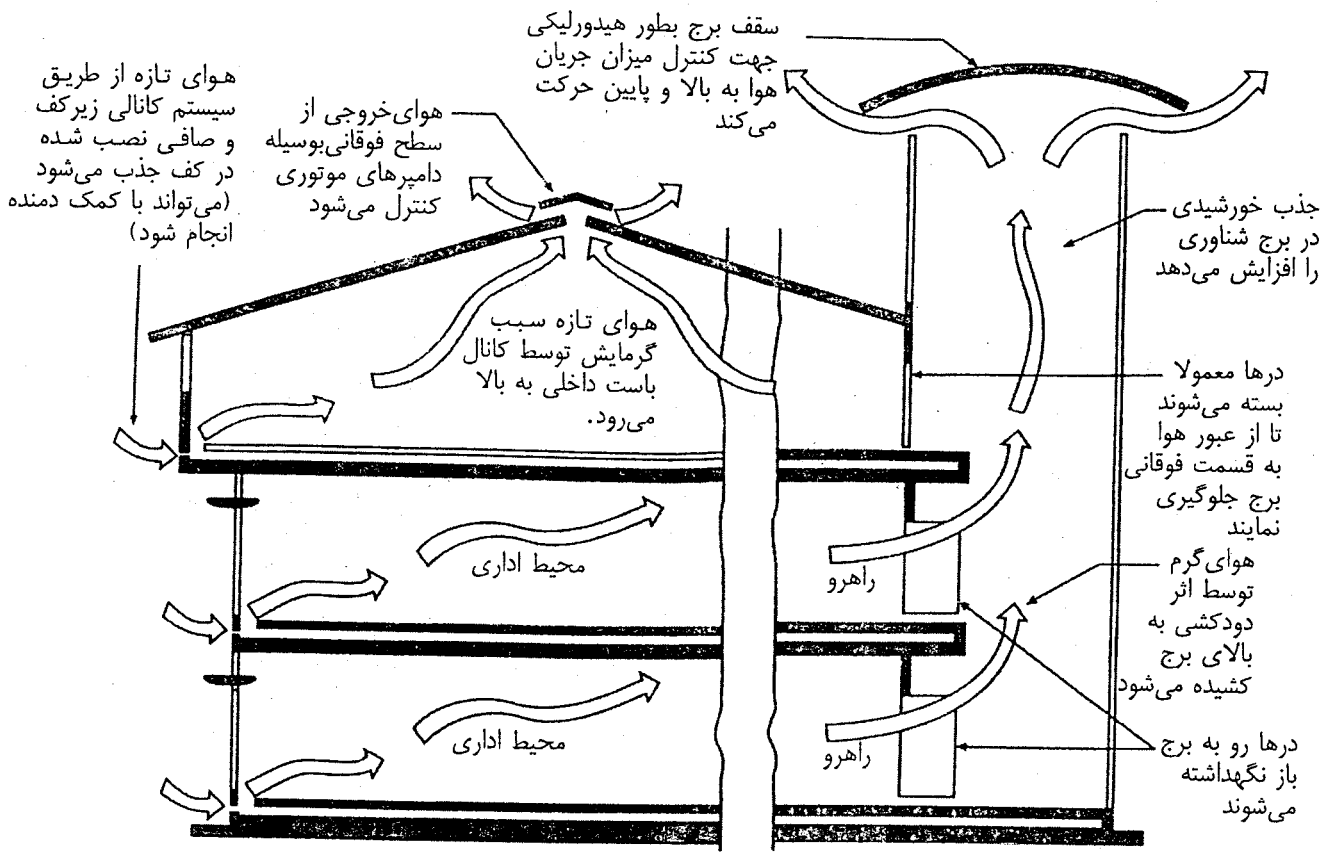
در مطالعه اخیری که در زمینه ساختمانهای با انرژی پایین در انگلیس انجام شد نشان داد که میزان بالای رضایت ساکنین در ساختمانهایی با مشخصات زیر سریعتر بروز می‌کند:

- به شکل یک طرح باریک
- سلولی نمودن فضاهای کاری
- یک جرم حرارتی بالا
- آسایش حرارتی و پایدار
- کنترل تصفیه هوا
- پنجره‌های باز شونده نزدیک به استفاده کنندگان
- چشم‌انداز به بیرون
- کنترلهای واضح و مؤثر.

برعکس، رضایت ساکنین در ساختمانهایی که موارد ذیل را ارائه می‌دهند سخت‌تر نائل می‌آید:

- به شکل یک طرح عمیق
- مساحات کاری باز
- حضور تکنولوژی ناآشنا و پیچیده

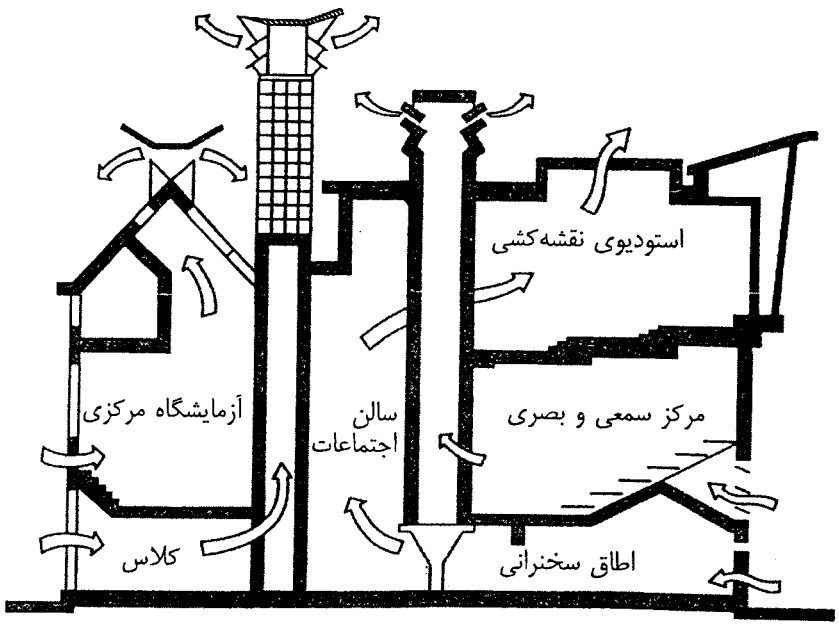
- وضعیتهایی که ساکنین دارای کنترل ناچیزی بر محیط خودشان هستند
- سطوح سروصدای مزاحم و بالا



شکل ۱۳-۲۱ مراکز درآمدی اینلند، ناتینگهام(۱۰)

بررسی لیستهای بالا یک تصویر نسبتاً هماهنگ را آشکار می‌سازند، کوتاه سخن، اینکه مردم ترجیح می‌دهند نزدیک به یک پنجره کار کنند، که بتوانند آن را در یک فضای اداری سلولی باز کنند، که از نظر حرارتی پایدار و راحت باشد. زمانی که این معیارها در شرایط ساختمانهای غیرفعال دیده می‌شود، یک تصویر مختلط بروز می‌کند. از برخی جهات ساختمانهای غیرفعال بروشنی، بسیار مثبت هستند زیرا آنها گرایش به تأمین یک مجموعه با مطلوبیت بالا که از نظر حرارتی پایدار و راحت است، دارند. از دیگر جهات آنها آنچنان نافع نیستند. بسیاری ساختمانهای هوادهی طبیعی شده پیشرفته بزرگتر،دارای طرح اوپن بزرگ فضاهای داخلی به سبب استفاده کردن از پاسیو مرکزی یا دریچه‌های دودکشی،می‌باشند. در این ساختمانها بسیاری ساکنین بطور اجتناب ناپذیری با فاصله خاصی از پنجره‌ها واقع شده و بنابراین دارای کنترل کمی بر محیط خودشان می‌باشند. علاوه بر این، استفاده از فضاهای بزرگ و از نظر صوتی سطوح سخت می‌توانند به

عوارض صوتی بیانجامد. در حقیقت، مسائل صوتی به عنوان یک مشکل ویژه در ساختمانهای هوادهی طبیعی شده پیشرفته، برجسته گردیده است(۱۴). با وجود این، و دیگر دلایل مشروحه فوق، تعجب آور نیست که برخی ساختمانهای هوادهی طبیعی شده پیشرفته سطوح پایینی از آسایش و بهره‌وری ساکنین را نشان می‌دهد(۱۷،۱۴).



شکل ۱۳-۲۲ دانشکده مهندسی، دانشگاه دمونت فورت، لیستر(۱۰)

طبیعت پیچیده پنجره بندی مورد نیاز در ساختمانهای هوادهی طبیعی شده پیشرفته می‌تواند سبب مشکلات عدیده بوده و بنابراین ارزش بررسی دقیق‌تر را دارد. موضوع اینکه چه کسی دارای کنترل در باز کردن پنجره‌هاست اهمیت ویژه دارد.در ساختمانهای هوادهی شده طبیعی بزرگ، علی‌الخصوص آنهاییکه هوادهی شبانه می‌طلبند، عملکرد تمامی استراتژی کنترل محیطی اگر، بهر دلیلی، پنجره‌های معینی باز نشوند، می‌تواند مختل گردد. متعاقباً، از آن جا که نمی‌توان جهت باز کردن پنجره‌ها در زمان نیاز بر ساکنین متکی بود. *BMS* اغلب جهت کنترل عملکرد پنجره‌ها استفاده می‌گردد. این بصورت اتوماتیک، استفاده کنندگان را در تضاد با سیستم *BMS* قرار می‌دهد، در نتیجه امکان دارد ساکنین نشسته در کنار پنجره‌ها قادر به بستن پنجره‌ها در حین کوران نباشند، یا برعکس نتوانند آنها را زمانیکه احساس گرمی زیاد می‌کنند، باز کنند. اگر یک سیستم *BMS* استفاده نشود، موضوع تضاد بعنوان مثال، زمانیکه ساکنین نزدیک پنجره‌ها ممکن است در وضعیتهایی آنها را ببندند، هنوز می‌تواند ایجاد شود. در حالیکه آنها که نیازمند هوادهی

در مرکز ساختمان هستند نیاز به باز کردن آنها دارند. استفاده از سیستم‌های پنجره‌بندی پیچیده، با قطعات متحرک متعدد، هم چنین می‌تواند منجر به آب بندی ضعیف پنجره در طول زمان گشته، منتهی به نفوذ هوای ناخواسته شود.

از نقطه نظر تعمیر و نگهداری، پنجره‌بندی پیچیده می‌تواند سبب مشکلات شود. استفاده از سایه بان خارجی و برجستگیها و قطعات متحرک متعدد در این سیستمهای پنجره‌بندی بدان معنی است که آنها مستعد صدمات مکانیکی بوده و برای تمیز کردن مشکل هستند. تولید کنندگان این سیستم‌ها جهت کاهش پتانسیل مشکلات تمیز کاری تلاش زیادی می‌کنند، لیکن هنوز حقیقتی است که از نقطه نظر مدیریت تأسیسات، این سیستمها نیازمند توجه بیشتری نسبت به پنجره‌های معمولی می‌باشند. مطالعه‌ای توسط کندریک و مارتین نشان داده است که مناسب‌ترین پنجره‌ها برای هوادهی شبانه و کنترل سیستم *BMS* (مانند پنجره‌های آویخته در سطح بالا و *hopper*) برای تمیز کردن از داخل مشکل هستند. این سیستم‌های پیچیده پنجره بندی دارای تأثیرات مهمی بر انعطاف‌پذیری و عملکرد روزانه فضای اداری می‌باشند، آنها نیازمند باز شدن توسط ساکنین بوده و جهت تمیز شدن از داخل طراحی شده‌اند، هر میز، کتابخانه یا صندلی در کنار دیوار خارجی قرار داده شود مانع از توانایی ساکنین در تنظیم محیط خودشان با باز کردن پنجره‌ها، و توانایی تمیز کردن و نگهداری پنجره‌ها، هر دو، می‌گردد. در نتیجه، برخی مدیران تأسیسات که با این مشکل روبرو هستند یک منطقه آزاد از لوازم اداری کنار پنجره‌ها انتخاب نموده‌اند، یا به روش دیگر، مبلمان متحرک کنار پنجره‌ها جای داده‌اند. در حالیکه تمیز کردن پنجره‌ها را آسان می‌سازد، چنین سیاستی به سختی می‌تواند بعنوان طراحی‌ای که بهره‌وری و آسایش ساکنین ساختمان را افزایش می‌دهد، مورد ملاحظه قرار گیرد. برعکس، مجبور کردن ساکنین به دوری از پنجره‌ها بدین معنی است که پتانسیل منطقه با روشنایی روز کاهش یافته و لذا بیشتر افراد باید متکی بر روشنایی مصنوعی باشند، که از نظر کارآیی انرژی برخلاف بهره‌وری است.

سازندگان و ساکنین ساختمانها، هر دو علاقمند ساختمانهایی هستند که حاوی فضای انعطاف‌پذیر و قادر به پذیرش و برآورده کردن نیازهای پدید آمده در سازمانها باشند. این نیاز به انعطاف/غیرفعال بودن بطور سنتی با طراحی ساختمانهای طرح اوپن عمیق، رفع گردیده است. از نقطه‌نظر مدیریت تأسیسات، استفاده از یک استراتژی هوادهی طبیعی شده پیشرفته محدودیتهای جدی بر انعطاف پذیری فضای کاری تحمیل می‌کند. بویژه، تقسیم بندی فضای داخلی در چنین ساختمانهایی بسیار مشکل است زیرا:

● جا سازی پارتیشن‌های تمام قد ممکن است حرکت هوا از درون فضاها را محدود یا مانع کرده، لذا عملکرد محیطی را بی اثر می‌نماید.

● ممکن است ایجاد محیط مقبول داخل هر فضای اداری پارتیشنی، مشکل باشد. در یک فضای اداری معمول، امکان بهره‌برداری از نزدیک‌ترین کانال هوادهی در سقف جهت خدمت رسانی به یک فضای جدید، وجود دارد. در یک ساختمان با جرم بالای هوادهی طبیعی شده ممکن است سقفی نبوده، و سرویسهای هوادهی مکانیکی در کف نیز نباشد. این، امر هوادهی مکفی به فضاهای پارتیشن شده را مشکل می‌سازد.

● نبود یک سقف کاذب می‌تواند منجر به مشکلات انعطاف پذیری و جابجایی گردد، بویژه زمانیکه منابع روشنایی را تغییر مکان می‌دهیم.

● در بسیاری از ساختمانهای جرم بالای پیشرفته ورقهای بتونی کف در معرض، توسط ستونهای بتونی کف عمیقاً تو رفته، شکل می‌گیرند. هندسه این ستونهای کف در زمان برپایی پارتیشن‌ها می‌توانند مشکل زا باشند.

حتی اگر پارتیشن‌های تمام قد نصب نگردد، عملکرد محیطی یک فضای هوادهی طبیعی شده ممکن است با نصب پرده‌های بلند و مبلمان، که جریان هوا را محدود کرده و لذا نقاط مرده ایجاد می‌کنند، مختل گردد.

از بحث بالا نتیجه‌گیری می‌شود که کلیه ساختمانهای غیرفعال و شیوه- مختلط منجر به مشکلات عملیاتی می‌گردند. اگر چه این مورد همیشه صادق نیست. مثال ساختمان الیزابت فرای، که از سیستم ترمودک بهره می‌گیرد، بوضوح نشان می‌دهد که ساختمانهای شیوه- مختلط با جرم بالا می‌توانند بسیار موفق باشند. از تمامی ساختمانهای مورد ممیزی در مطالعه بریتانیا(۱۴)، ساختمان الیزابت فرای بود که برجسته می‌نمود. این ساختمان به بالاترین امتیاز رفاهی نائل آمد، درحالیکه همزمان یکی از کم مصرف‌ترین مشتریان انرژی بود. تذکر ویژه شامل این حقیقت است که ساختمان، یک محیط حرارتی بی‌نهایت پایدار و درجه حرارتهای داخلی راحت در خلال تابستان بدون نیاز به هر سرمایشی را، ایجاد نموده و بوضوح نشانگر موفقیت استراتژی ذخیره حرارتی سازه می‌باشد. دلایل موفقیت آن اینست که ساختمان:

● از نظر حرارتی پایدار و راحت است،

- دارای فضاهای کاری سلولی است،
- دارای یک طرح نسبتاً باریک است،
- بخوبی هواگیری شده و دارای کنترل منسجمی بر تصفیهٔ هوا است، و
- دارای پنجره‌هایی است که می‌تواند توسط ساکنین باز شود.

اینها تمامی کیفیتهایی است که نظر بر ارتقاء رفاه مصرف‌کننده و افزایش بهره‌وری دارد. زمانیکه ساختمان الیزابت فرای با ساختمانهای هوادهی شده طبیعی پیشرفته کمتر موفق، مقایسه می‌شود، می‌توان مشاهده کرد که موفقیت آن در این حقیقت است که سیستم ترمودک بسیار کم‌زحمت‌تر و انعطاف‌پذیرتر از ساختمانهای هوادهی شده طبیعی است، برای مثال استفاده از هوادهی مکانیکی و ورقهای بتونی متخلخل بدان معنی است که نمای ظاهری ساختمان می‌تواند نسبتاً ساده بوده، که عملکرد پنجره‌ها را باز گذارده تا که بتوانند توسط ساکنین و براساس تمایل آنها بدون هیچگونه اختلالی در عملکرد حرارتی ساختمان،باز شوند. استفاده از سیستم هوادهی مکانیکی اجازه تقسیم فضای داخلی را به اطاقهای سلولی داده، و این چیزی است که نائل شدن به آن در ساختمانهای هوادهی شده طبیعی پیشرفته، مشکل می‌نماید. هم چنین انعطاف در شکل و فرم ساختمان را مجاز می‌دارد. برعکس ساختمانهای هوادهی شده طبیعی پیشرفته، که در آن پیچیدگی در اطراف پوسته یک ساختمان توزیع گردیده، سیستم ترمودک بر پیچیدگی در یک اطاق تأسیسات مرکزی که در آن بسهولت بتوان آنرا کنترل و حفاظت نمود، تمرکز دارد.

References

1. Bordass, W. T., Entwistle, M. J. and Willis, S. T. P. (1994). Naturally ventilated and mixed-mode office buildings – opportunities and pitfalls. CIBSE National Conference, Brighton.
2. CIBSE Guide A2, Weather and solar data, 1982.
3. Hui, H. F., Fong, T. and Lai, K. W. (1996). *Passive solar design in architecture*. The Hong Kong University.
4. Vale, B. and Vale, R. (1991). *Green architecture – design for a sustainable future*. Thames and Hudson.
5. Mazria, E. (1979). *The Passive Solar Energy Book*. Rodale Press.
6. Lebens, R. M. (1980). *Passive Solar Heating Design*. Applied Science Publishers.
7. Francis, W. and Peters, M. C. (1980). *Fuels and fuel technology*. Pergamon Press.
8. Green, M. A. (1998). Photovoltaic solar energy conversion; an update. Australian Academy of Technological Sciences and Engineering, ATSE Focus, No. 102, May/June.
9. Environmental control glasses, Pilkington.
10. Natural ventilation in non-domestic buildings (1997). CIBSE Application Manual AM10.
11. Bunn, R. (1993). Learning curve. *Building Services Journal*. October, pp. 20–5.
12. Standeven, M., Cohen, R., Bordass, B., and Leaman, A. (1998). PROBE 14: Elizabeth Fry Building. *Building Services Journal*. April pp. 37–42.
13. Bunn, R. (1998). Cool desking. *Building Services Journal*. October, pp. 16–20.
14. Bordass, W., Leaman, A., Ruyssevelt, P. (1999). PROBE strategic review: Report 4 – Strategic Conclusions. Department of the Environment, Transport and the Regions, August.
15. Energy use in offices (1997). Energy Consumption Guide 19, Department of the Environment, Transport and the Regions.
16. Beggs, C. B. and Moodley, K. (1997). Facilities management of passively controlled buildings. *Facilities*, **15** (9/10), September/October, pp. 233–40.
17. Leaman, A. (1999). Comfort and joy. *Building Services Journal*. June, pp. 33–4.
18. Kendrick, C. and Martin, A. (1996) Refurbishment: The Natural Way. *CIBSE Journal*, November, p. 29.

Bibliography

Bordass, W., Leaman, A. and Ruyssevelt, P. (1999). PROBE strategic review: Report 4 – Strategic Conclusions. Department of the Environment, Transport and the Regions, August.

Hill, R., O'Keefe, P. and Snape, C. (1995). *The future of energy use* (Chapter 7), Earthscan.

Natural ventilation in non-domestic buildings (1997). CIBSE Application Manual AM10.

Vale, B. and Vale, R. (1991). *Green architecture – Design for a sustainable future*. Thames and Hudson.

ضمیمه ۱

روز- درجات

الف ۱-۱: روز- درجات گرمایشی

مفهوم روز- درجات اولین بار حدود ۱۰۰ سال پیش برای استفاده در زراعت توسعه یافت(۱). در حالیکه، این روزها روز درجات عموماً جهت تخمین مصرف انرژی گرمایشی در ساختمانها استفاده می‌گردد. این اطلاعات طراحان ساختمان را با اندازه‌گیری مفیدی از تغییرات در درجه حرارت محیط خارج، مجهز می‌کنند، که اندازه‌گیری مقدار مصرف انرژی مرتبط با شرایط اقلیمی حاکم را مقدور می‌سازد.

ادراک اینکه در یک ماه سرد بمانند ماه ژانویه، یک ساختمان معین، انرژی گرمایشی بیشتری از یک ماه گرمتر بمانند مارس مصرف خواهد کرد، مشکل نیست. چرا که:

- درجه حرارت هوای بیرون احتمالاً در خلال ژانویه سردتر از مارس است؛ و
- درجه حرارتهای هوای پایین‌تر معمولاً برای مدت طولانی‌تر در ژانویه در مقایسه با مارس، ادامه می‌یابند.

از اینجا می‌توان مشاهده کرد که مصرف انرژی گرمایشی در رابطه با درجه سردی هوا و طول مدت زمان آن سردی، هر دو می‌باشد. روش روز- درجه برای هردو این ضرایب تعیین یک درجه حرارت هوای بیرون پایه، که وراء آن درجه حرارت بیشتر ساختمانهای تجاری و خانگی نیازمند گرمایش نیستند، را مجاز می‌دارد. در بریتانیا این درجه حرارت پایه عموماً $15/5^{\circ}C$ گرفته می‌شود. اگر متوسط درجه حرارت هوای بیرون در هر روزی زیر این درجه حرارت پایه باشد، آنگاه گرمایش مورد نیاز است. اگر چه، مصرف انرژی گرمایشی در هر مقطع زمانی معین نه تنها به مقدار تغییر درجه حرارت بلکه به طول مدت زمان نیز، بستگی دارد. برای مثال، اگر یک درجه حرارت هوای $14/5^{\circ}C$ برای ۲۴ ساعت حاکم شود، آنگاه کسری $1^{\circ}C$ برای یک روز حفظ شدد و یک روز- درجه محسوب خواهد شد. اگر درجه حرارت بیرون در $14/5^{\circ}C$ برای هر روز یک هفته باقی بماند، آنگاه به جمعی از ۷ روز-درجات منجر می‌گردد.بطور مشابه، اگر یک درجه حرارت هوای

بیرون $10/5^{\circ}C$ برای یک هفته حفظ شود، آنگاه به ۳۵ روز- درجات منجر خواهد شد.

با جمع بندی کسریهای درجه حرارت روزانه در هر ماه معینی، امکان محاسبه روز- درجات انباشته شده در یک ماه خاص، وجود دارد. بنابراین، با نظارت روزانه درجه حرارت هوای بیرون، امکان تولید جداول روز- درجات گرمایشی ماهیانه برای مکانهای مختلف وجود داشته، که می‌تواند توسط طراحان ساختمان و مجریان جهت تخمین بارهای گرمایشی استفاده گردد. برای مثال، اگر یک ساختمان بخصوص ۳۴۶ روز- درجات در ژانویه و فقط ۲۸۶ روز- درجات در مارس، تجربه می‌کند، منطقی است فرض کنیم که مصرف سوخت گرمایشی در ژانویه باید ۱/۲۱ برابر ماه مارس باشد.

ارقام روز- درجه ماهیانه و سالیانه در بسیاری از منابع انتشار یافته است. جدول الف ۱-۱ متوسط ۲۰ ساله اطلاعات روز- درجه گرمایشی برای مناطق جغرافیایی مختلف بریتانیا را نشان می‌دهد.

جدول الف ۱-۱ متوسط ۲۰ ساله اطلاعات روز- درجه گرمایشی بریتانیا در پایه $15/5^{\circ}C$ (۲).

منطقه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	متوسط
درهٔتایمز	۳۴۶	۳۲۲	۲۸۶	۲۰۵	۱۲۰	۵۱	۲۲	۲۵	۵۴	۱۳۰	۲۴۲	۳۱۲	۲۱۱۵
جنوب‌شرقی	۳۶۸	۳۴۴	۳۱۲	۲۳۳	۱۵۰	۷۴	۳۹	۴۴	۸۲	۱۶۰	۲۶۷	۳۳۴	۲۴۰۷
جنوب	۳۴۵	۳۲۷	۳۰۱	۲۲۹	۱۴۸	۷۲	۳۹	۴۳	۷۹	۱۵۰	۲۵۱	۳۱۲	۲۲۹۶
جنوب‌غربی	۲۹۳	۲۸۵	۲۷۱	۲۰۷	۱۳۷	۶۳	۲۸	۲۸	۵۵	۱۱۶	۲۰۶	۲۵۸	۱۹۴۷
درهٔسورن	۳۲۱	۳۰۵	۲۸۰	۲۰۱	۱۲۸	۵۶	۲۴	۲۷	۶۱	۱۳۸	۲۳۷	۳۰۰	۲۰۷۸
میدلند	۳۷۶	۳۵۹	۳۲۲	۲۴۳	۱۶۲	۸۳	۴۴	۴۸	۹۰	۱۷۸	۲۷۵	۳۴۳	۲۵۲۳
پنانزغربی	۳۶۱	۳۴۰	۳۱۲	۲۳۰	۱۴۴	۷۵	۳۸	۳۹	۷۸	۱۵۷	۲۶۷	۳۲۸	۲۳۶۹
شمال‌غربی	۳۷۵	۳۴۵	۳۲۳	۲۴۵	۱۶۷	۹۰	۵۰	۵۶	۹۶	۱۷۱	۲۸۴	۳۴۱	۲۵۴۳
مرزها	۳۷۶	۳۴۹	۳۳۰	۲۷۱	۲۰۶	۱۱۷	۶۶	۶۸	۱۰۴	۱۸۲	۲۸۲	۳۳۹	۲۶۹۰
شمال‌شرقی	۳۸۱	۳۵۸	۳۲۲	۲۴۷	۱۶۸	۸۷	۴۶	۴۹	۸۸	۱۷۵	۲۸۱	۳۴۶	۲۵۴۸
پنانزشرقی	۳۷۲	۳۵۲	۳۱۳	۲۳۲	۱۵۴	۷۸	۴۲	۴۴	۸۱	۱۶۵	۲۷۲	۳۴۱	۲۴۴۶
آنجلیای‌شرقی	۳۷۸	۳۴۹	۳۱۷	۲۳۹	۱۴۹	۷۳	۴۰	۳۹	۷۱	۱۵۴	۲۶۹	۳۴۱	۲۴۱۹
اسکاتلندغربی	۳۸۳	۳۵۲	۳۲۸	۲۴۶	۱۷۰	۹۴	۵۸	۶۴	۱۱۱	۱۸۸	۲۹۹	۳۵۲	۲۶۴۵
اسکاتلندشرقی	۳۸۸	۳۵۷	۳۳۲	۲۶۳	۱۹۷	۱۰۹	۶۲	۶۷	۱۰۹	۱۹۲	۳۰۱	۳۵۴	۲۷۳۱
شمال‌شرقی‌اسکاتلند	۴۰۱	۳۶۸	۳۴۶	۲۷۷	۲۰۶	۱۲۰	۷۴	۷۸	۱۲۷	۲۰۳	۳۱۱	۳۶۲	۲۸۷۳
ویلز	۳۳۰	۳۲۰	۳۰۷	۲۴۰	۱۷۰	۹۲	۴۹	۴۵	۷۷	۱۴۵	۲۳۵	۲۹۴	۲۳۰۴
شمال‌ایرلند	۳۶۵	۳۳۴	۳۲۰	۲۴۲	۱۷۱	۹۲	۵۳	۵۹	۹۹	۱۷۳	۲۸۲	۳۲۹	۲۵۱۹

الف ۱-۲ تغییر درجه حرارت پایه

در بریتانیا، اطلاعات روز- درجه معمولاً براساس یک درجه حرارت پایه $15/5^{\circ}C$ تولید می‌شود. در حالیکه، دیگر کشورها احتمال دارد درجه حرارتهای پایه مختلفی را استفاده کنند. در حقیقت، در بریتانیا خدمات سلامت ملی یک درجه حرارت پایه جایگزین $18/5^{\circ}C$ را استفاده می‌کند. بنابراین ممکن است لازم باشد اطلاعات بر مبنای $15/5^{\circ}C$ را به درجه حرارت پایه دیگری مبدل نمود. این را می‌توان با دقت نسبی با استفاده از فرمول هی چین و به صورت ذیل انجام داد:

$$\text{متوسط روز- درجات هر روز} = \frac{(t_b - t_o)}{1 - e^{-k(t_b - t_o)}}$$

که در آن t_b درجه حرارت پایه است $t_o, (^{\circ}C)$ میانگین درجه حرارت هوا در ماه است $k, (^{\circ}C)$ ضریب است.

مقدار "k" با مکانهای جزئی تغییری می‌کند و باید از اطلاعات آب و هوای ۲۰ ساله تعیین گردد. اگرچه، مقدار k عمومی ۰/۷۱ را می‌توان برای بیشترین مکانها در بریتانیا فرض کرد(۱).

الف ۱-۳ روز- درجات سرمایشی

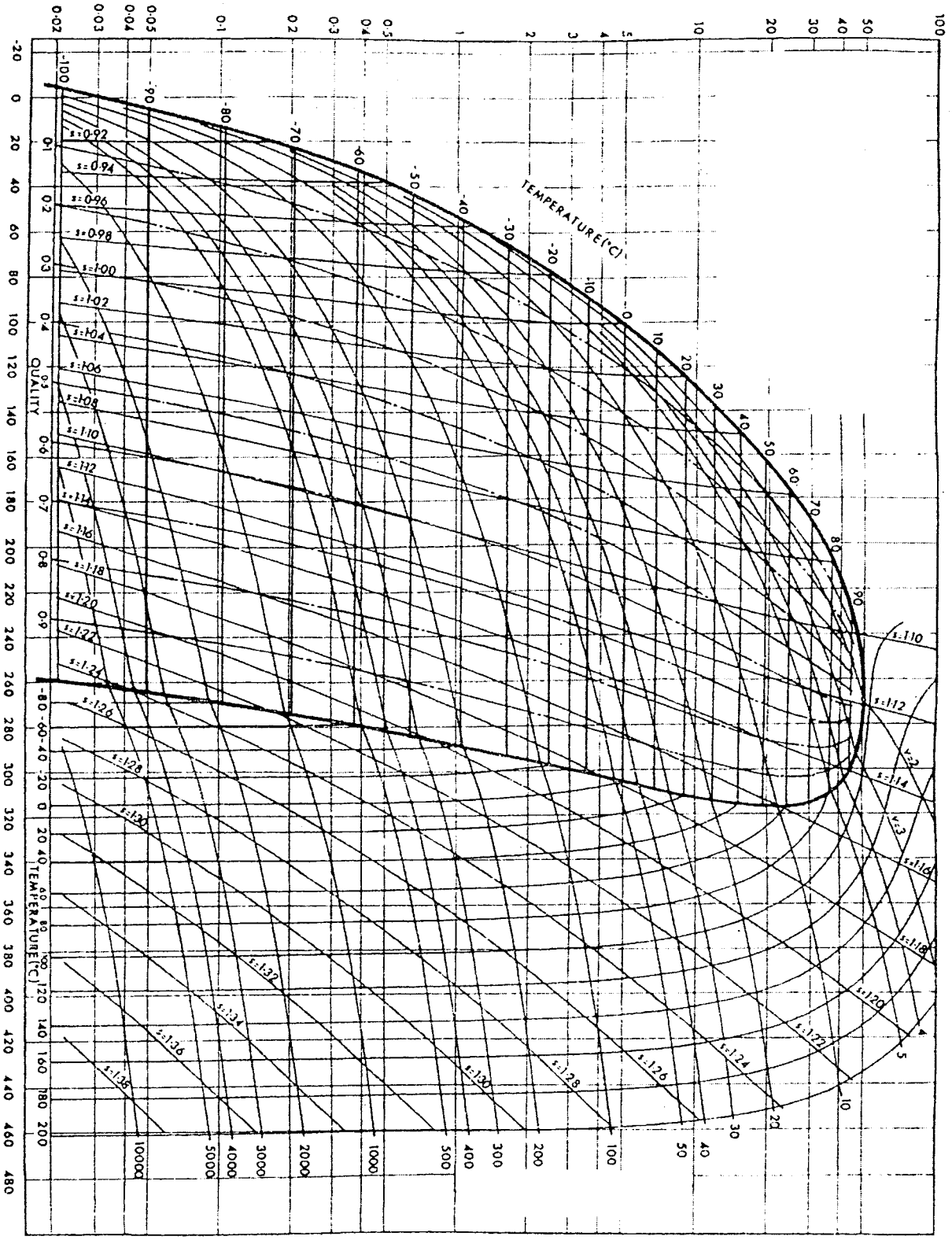
روز- درجات گرمایشی در زمان تخمین و نظارت بر مصرف انرژی ساختمانهای بدون تهویه مطبوع استفاده قابل ملاحظه‌ای دارند. از آنجایی که، برای ساختمانهای با تهویه مطبوع ارزش محدودی را دارا هستند نتیجتاً، مفهوم روز- درجات سرمایشی توسعه یافت.

روز-درجات سرمایشی میانگین تعداد درجاتی است که درجه حرارت بیرون در روزی معین از درجه حرارت پایه بیشتر شده، تعریف شده، برای کلیه روزهای در آن مقطع زمانی، جمع بندی می‌گردد(۱).

در هر حال، توافق عمومی بر درجه حرارت پایه که باید برای محاسبه روز- درجات سرمایشی استفاده شود، وجود ندارد و هنوز بسیاری کاربران عدد پایه $15/5^{\circ}C$ را استفاده می‌کنند(۱).

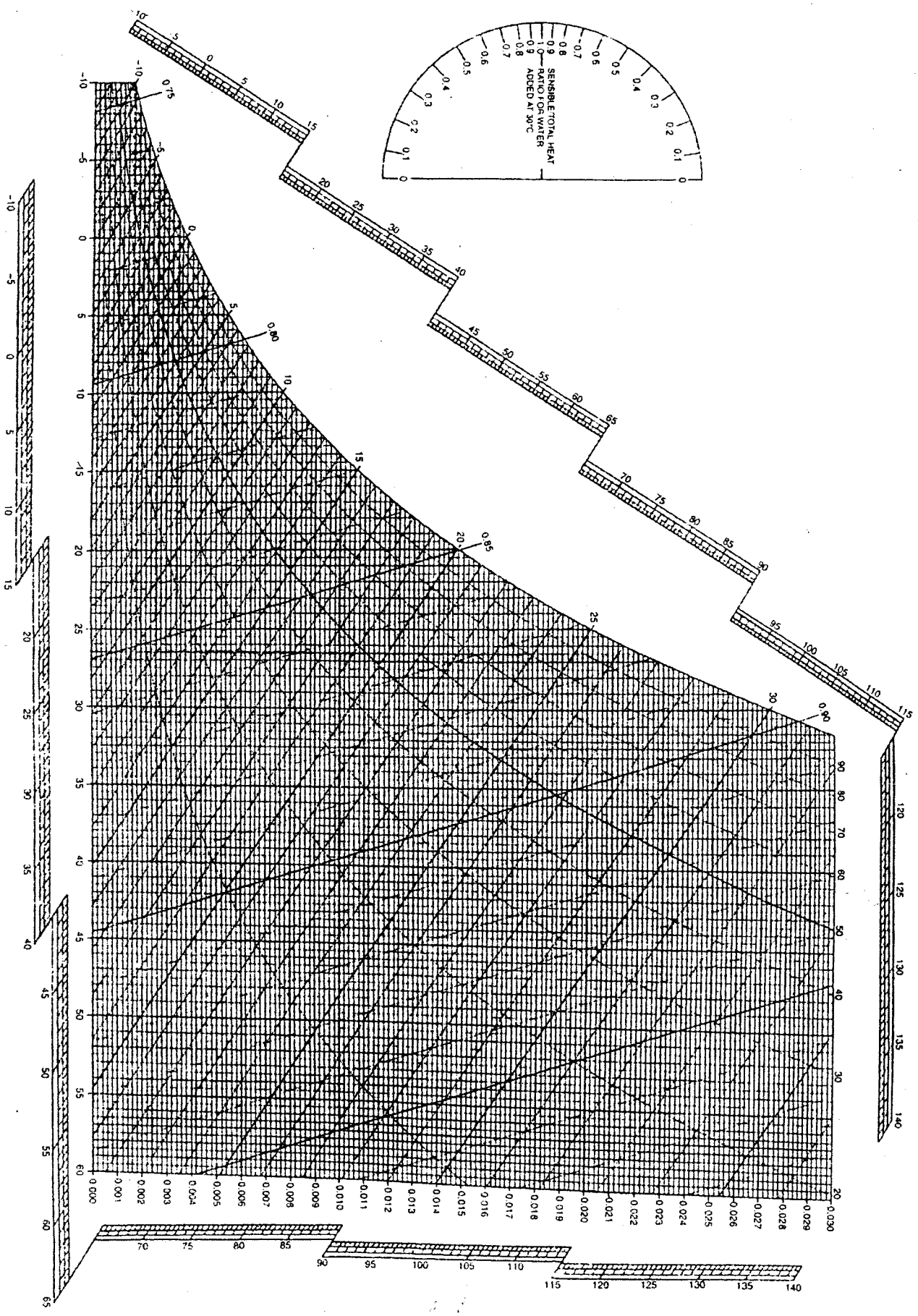
ضمیمه ۲

دیاگرام فشار ـ انتالپی برای $R_{۲۲}$


TEMPERATURE(°C)
QUALITY
TEMPERATURE(°C)
s:0.92
s:0.94
s:0.96
s:0.98
s:1.00
s:1.02
s:1.04
s:1.06
s:1.08
s:1.10
s:1.12
s:1.14
s:1.16
s:1.18
s:1.20
s:1.22
s:1.24
s:1.26
s:1.28
s:1.30
s:1.32
s:1.34
s:1.36
v:2
v:3
v:4
v:5
v:10
v:20
v:30
v:40
v:50
v:100
v:200
v:300
v:400
v:500
v:1000
v:2000
v:3000
v:4000
v:5000
v:10000

ضمیمه۳

نمودار سایکرومتریک CIBSE


SENSIBLE/TOTAL HEAT
RATIO FOR WATER
ADDED AT 30°C