

الحمد لله الذي
خلقنا من
الحمم



دانشکده معماری و شهرسازی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی معماری

طراحی سایه بان غشایی سبک انعطاف پذیر با هدف ایجاد آسایش حرارتی در اقلیم گرم و خشک

نگارنده: سپیده جعفریان

استاد راهنما

دکتر الهام سرکردهئی

دکتر دانیال منصفی پراپری

استاد مشاور

دکتر محمدرضا مجاهدی

بهمن ۱۳۹۹

در این صفحه صورت جلسه دفاع را قرار دهید. لازم است پس از صحافی این صفحه مجدداً توسط دانشکده مهر گردد و استاد راهنما با امضای خود اصلاحات پایان نامه را تایید کند.

تقدیم اثر

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم.

تشکر و قدردانی

در آغاز از اساتید بزرگوارم، سرکار خانم دکتر الهام سرکرده‌ئی و جناب آقای دکتر دانیال منصفی
پراپری که راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشته‌اند کمال تشکر را دارم. از جناب آقای دکتر
محمد رضا مجاهدی که استاد مشاور این پایان نامه بوده‌اند نیز قدردانی می‌نمایم.

تهدیه نامه

اینجانب سپیده جعفریان دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته معماری دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه طراحی سایه بان غشایی سبک انعطاف پذیر با هدف ایجاد آسایش حرارتی در اقلیم گرم و خشک تحت راهنمایی سرکار خانم دکتر الهام سرکرده‌ئی و جناب آقای دکتر دانیال منصفی پراپری متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

نیاز انسان به حضور در فضاهای باز و نقش تأثیرگذار اقلیم در فعالیت‌ها و رفتارهای شهری، لزوم توجه به آسایش حرارتی بیرونی را آشکار می‌سازد. در فضاهای باز شهری بویژه در شهرهای بزرگ اقلیم‌های گرم، استفاده‌کنندگان از فضاهای شهری در معرض بارهای حرارتی بالایی هستند که باعث عدم آسایش حرارتی می‌شود. در فصول گرم، با کنترل تابش و سایه‌اندازی می‌توان آسایش حرارتی در فضای باز را بهبود بخشید، با شناخت عوامل ایجاد سایه مانند سایه‌بان‌ها و ویژگی‌های آن‌ها می‌توان فضایی مطلوب جهت بهره‌مندی از قابلیت‌های فضای باز ایجاد کرد. سازه‌های پارچه‌ای جدید بسیاری از مشخصات چادرهای عشایری مانند استفاده از مصالح طبیعی و نور روز را دارند و برای مناطق با آب و هوای گرم به واسطه ایجاد سایه‌بان و تهویه طبیعی بسیار مناسب هستند. پژوهش حاضر با مطالعات کتابخانه‌ای و شبیه‌سازی با نرم‌افزارهای انسیس فلوئنت، انویمت و پلاگین لیدی‌باگ، تأثیر سایه‌بان غشایی سبک بر ایجاد آسایش حرارتی بیرونی در شهر سمنان با اقلیم گرم و خشک را بررسی می‌کند. طبق یافته‌ها وجود سایه‌بان غشایی می‌تواند تا ۵ درجه سلسیوس اختلاف دما ایجاد نماید. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که سایه‌بان غشایی سبب خنکی فضای زیرین خود شده و از گرمای بیش از حد زمین جلوگیری می‌کند، از میان چهار مدل سایه‌بان غشایی ساده، مخروطی، چتری و زین‌اسبی، سایه‌بان زین‌اسبی مدل مناسب سایه‌بان غشایی بوده و بیشترین تأثیرگذاری را در محیط داشته‌است و فضای خنک‌تری در زیر سایه‌بان ایجاد نموده‌است. بنابراین سایه‌بان غشایی سبک زین‌اسبی، با ابعاد ۵*۵ مترمربع و ارتفاع مفید ۳ متر به عنوان مدل مناسب سایه‌بان غشایی برای استفاده افراد در فضاهای باز شهری در اقلیم گرم و خشک معرفی می‌شود.

کلمات کلیدی: سازه غشایی، سایه‌بان، آسایش حرارتی بیرونی، اقلیم گرم و خشک، شهر سمنان، نرم‌افزارهای انرژی

پیش‌گفتار

در اقلیم گرم و خشک به دلیل گرمای زیاد، وجود آسمان صاف، تابش شدید خورشید، کمبود پوشش گیاهی و همچنین نداشتن سایه، شرایط آسایش حرارتی در فضای بیرونی به صورت محدود برقرار می‌شود. فضاهای بیرونی در این اقلیم در ساعات محدودی از روز و در بعضی فصول قابل استفاده هستند، اما با کنترل دما و ایجاد سایه در فضاهای بیرونی که یکی از عوامل موثر در خنک‌سازی محیط و کاهش دمای هوا در دوره‌های گرم است، تا حدی می‌توان شرایط آسایش حرارتی را فراهم نمود. سایه‌بان‌های غشایی به دلیل خواص ویژه خود، مناسب برای فضاهای بیرونی بخصوص در اقلیم گرم و خشک هستند و شرایط آسایش حرارتی را نیز تا حد امکان برای استفاده‌کنندگان فراهم می‌کنند. لذا در این پژوهش تأثیر سایه‌بان غشایی سبک بر ایجاد آسایش حرارتی بیرونی در اقلیم گرم و خشک شهر سمنان با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و شبیه‌سازی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

فصل اول به بیان مسئله و اهداف پژوهش، فصل دوم به بررسی مطالعات پیشین و ادبیات موضوع، فصل سوم به بیان روش پژوهش به طور کامل و بررسی اقلیم گرم و خشک، فصل چهارم به شبیه‌سازی‌ها و نتایج آن‌ها و در نهایت فصل پنجم به نتایج حاصل از پژوهش و معرفی مدل مناسب سایه‌بان در اقلیم گرم و خشک می‌پردازد.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

1- Introducing optimal model and dimensions of lightweight membrane canopy for hot and dry climate of Semnan (Accepted)

۲- ایجاد سایه در فضای باز با هدف افزایش آسایش حرارتی (پذیرش شده)

۳- بررسی تأثیر سایه بان غشایی سبک انعطاف پذیر در ایجاد آسایش حرارتی در اقلیم گرم و خشک (در حال داوری)

۴- ارزیابی کاهش دمای فضای بیرونی در فصل گرم به وسیله سایه بان غشایی سبک در شهر سمنان (در حال داوری)

۵- شبیه سازی و ارزیابی تأثیر سایه بان غشایی بر آسایش حرارتی فضای بیرونی در شهر سمنان (در حال داوری)

فهرست مطالب

ط	فهرست جداول
ل	فهرست اشکال
ع	فهرست نمودارها
۱	فصل ۱: کلیات پژوهش
۲	۱-۱ مقدمه.....
۳	۱-۲ تعریف مسئله.....
۴	۱-۳ ضرورت و اهمیت پژوهش.....
۵	۱-۴ اهداف پژوهش.....
۶	۱-۵ سوالات پژوهش.....
۷	فصل ۲: ادبیات و پیشینه پژوهش
۸	۲-۱ مقدمه.....
۹	۲-۲ انعطاف پذیری.....
۱۰	۲-۳ معماری متحرک.....
۱۰	۲-۴ سازه متحرک.....
۱۱	۲-۵ تاریخچه سازه‌های متحرک (پیش از انقلاب صنعتی).....
۱۱	۲-۵-۱ سیاه‌چادر.....
۱۲	۲-۵-۲ یورت.....
۱۲	۲-۵-۳ تیپی.....

- ۴-۵-۲ چتر..... ۱۳
- ۵-۵-۲ ولوم..... ۱۳
- ۶-۵-۲ چادر بارگاه سلطنتی..... ۱۴
- ۷-۵-۲ طرح‌های داوینچی..... ۱۴
- ۸-۵-۲ چادرهای جمع‌شونده تکایای ایران..... ۱۴
- ۶-۲ تاریخچه سازه‌های متحرک (انقلاب صنعتی و بعد)..... ۱۵
- ۱-۶-۲ صنعت‌گرایی و امکانات جدید..... ۱۵
- ۲-۶-۲ چادر سیرک..... ۱۶
- ۳-۶-۲ تحولات قرن بیستم و تأثیر بر سازه‌های متحرک..... ۱۶
- ۴-۶-۲ سازه‌های گسترش‌پذیر هوا و فضا..... ۱۷
- ۵-۶-۲ پژوهش‌های عصر حاضر سازه‌های متحرک..... ۱۷
- ۷-۲ دسته‌بندی سازه‌های متحرک..... ۱۹
- ۱-۷-۲ دسته‌بندی فرای اوتو برای سازه‌های متحرک..... ۲۰
- ۸-۲ عوامل موثر در معماری متحرک..... ۲۱
- ۹-۲ سازه‌های باز و بسته شونده..... ۲۲
- ۱-۹-۲ اجزای تشکیل‌دهنده سازه‌های باز و بسته شونده..... ۲۳
- ۲-۹-۲ نحوه حرکت و مکانیزم‌های مختلف سازه‌های باز و بسته شونده..... ۲۳
- ۳-۹-۲ زمان باز و بسته شدن در سازه‌های باز و بسته شونده..... ۲۵
- ۱۰-۲ سازه غشایی (پارچه‌ای)..... ۲۵
- ۱-۱۰-۲ فرم سازه‌های غشایی..... ۲۷
- ۲-۱۰-۲ ویژگی حرارتی سازه‌های غشایی..... ۲۸
- ۳-۱۰-۲ عملکرد سازه‌های غشایی..... ۲۹

۳۰	 ۲-۱۰-۴ دسته‌بندی سازه‌های غشایی
۳۱	 ۲-۱۰-۵ نکات اساسی در ساخت سازه‌های غشایی متحرک
۳۲	 ۲-۱۰-۶ مصالح غشایی
۳۲	 ۲-۱۰-۷ انواع پوشش‌های غشایی
۳۲	 ۲-۱۰-۷-۱ پارچه پلی استر با روکش پی وی سی
۳۳	 ۲-۱۰-۷-۲ فایبرگلاس با روکش تفلون
۳۳	 ۲-۱۰-۷-۳ فایبرگلاس با روکش سیلیکون
۳۳	 ۲-۱۰-۷-۴ اتیلن تترافلورواتیلن
۳۳	 ۲-۱۰-۷-۵ لیکرا
۳۳	 ۲-۱۰-۷-۶ پلی اتیلن با چگالی بالا
۳۵	 ۲-۱۱ نکات طراحی سایه‌بان
۳۵	 ۲-۱۱-۱ مزایای سایه‌بان‌های مصنوع نسبت به سایه‌اندازهای طبیعی
۳۵	 ۲-۱۱-۲ انواع مختلف سایه‌بان
۳۶	 ۲-۱۱-۳ انتخاب سایت سایه‌بان
۳۶	 ۲-۱۲ استانداردها
۳۶	 ۲-۱۲-۱ ابعاد استاندارد انسان
۳۸	 ۲-۱۲-۲ استانداردهای سازه‌های کششی و گسترش‌پذیر
۳۹	 ۲-۱۲-۳ نمونه سایه‌بان‌های غشایی اجراشده در ایران
۴۰	 ۲-۱۳ آسایش حرارتی
۴۰	 ۲-۱۳-۱ پارامترهای موثر بر آسایش حرارتی
۴۱	 ۲-۱۳-۲ نمودارهای آسایش حرارتی
۴۱	 ۲-۱۳-۲-۱ نمودار سایکرومتریک

۴۱	۲-۲-۱۳ نمودار زیست اقلیمی یا بیوکلماتیک
۴۲	۲-۱۴ آسایش حرارتی بیرونی
۴۲	۲-۱۴-۱ عوامل موثر بر آسایش حرارتی بیرونی
۴۴	۲-۱۴-۲ سایه و آسایش حرارتی
۴۴	۲-۱۴-۳ روش‌های ارزیابی آسایش حرارتی
۴۵	۲-۱۴-۳-۱ پرسشنامه آسایش حرارتی در فضا به همراه اندازه‌گیری میدانی
۴۵	۲-۱۴-۳-۲ روش طولی
۴۵	۲-۱۴-۳-۳ شبیه‌سازی با نرم‌افزار و محاسبات
۴۵	۲-۱۵ شاخص‌های آسایش حرارتی
۴۸	۲-۱۶ مطالعات پیشین
۵۱	۲-۱۷ بررسی پژوهش‌های مشابه
۵۱	۲-۱۷-۱ پژوهش‌های و هویانو، ۲۰۰۹
۵۴	۲-۱۷-۲ پژوهش‌های و هویانو، ۲۰۱۰
۵۸	۲-۱۷-۳ پژوهش‌های لین و همکاران، ۲۰۱۰
۶۰	۲-۱۷-۴ پژوهش‌های مکارمی و همکاران، ۲۰۱۲
۶۳	۲-۱۷-۵ پژوهش‌های ویلسون و همکاران، ۲۰۰۷
۶۵	۲-۱۷-۶ پژوهش‌های هو و همکاران، ۲۰۱۸
۶۹	۲-۱۷-۷ پژوهش‌های سولتان‌ا و باری، ۲۰۱۹
۷۲	۲-۱۸ جمع‌بندی فصل دوم
۷۳	فصل ۳: روش پژوهش
۷۴	۳-۱ مقدمه
۷۵	۳-۲ روش پژوهش

۷۶	مطالعات کتابخانه‌ای ۳-۲-۱
۷۶	مطالعات سازه‌ای ۳-۲-۱-۱
۷۶	مطالعات آسایش حرارتی ۳-۲-۱-۲
۷۶	مطالعات پیشین ۳-۲-۱-۳
۷۶	مطالعه اقلیم گرم و خشک ۳-۲-۱-۴
۷۷	استان سمنان ۳-۲-۱-۴-۱
۷۸	شهرستان سمنان ۳-۲-۱-۴-۲
۷۹	آسایش حرارتی شهر سمنان ۳-۲-۱-۴-۳
۸۱	دما ۳-۲-۱-۴-۴
۸۲	رطوبت نسبی ۳-۲-۱-۴-۵
۸۲	بارش ۳-۲-۱-۴-۶
۸۲	تبخیر ۳-۲-۱-۴-۷
۸۲	ساعات آفتابی ۳-۲-۱-۴-۸
۸۳	باد ۳-۲-۱-۴-۹
۸۴	شبیه‌سازی ۳-۲-۲
۸۵	طراحی ۳-۲-۳
۸۵	روش تحلیل داده‌های پژوهش ۳-۳
۸۵	ابزارهای گردآوری پژوهش ۳-۴
۸۵	مطالعات کتابخانه‌ای ۳-۴-۱
۸۵	شبیه‌سازی ۳-۴-۲
۸۵	معرفی نرم‌افزار Ansys Fluent ۳-۴-۳-۱
۸۶	معرفی نرم‌افزار ENVI-met ۳-۴-۳-۲

۸۷	۳-۴-۳ معرفی گرس‌هاپر و پلاگین لیدی باگ
۸۸	۳-۴-۳ طراحی
۸۸	۳-۵ اعتبارسنجی
۸۹	۳-۵-۱ اعتبارسنجی نرم‌افزار انویمت
۹۰	۳-۵-۲ اعتبارسنجی لیدی باگ
۹۰	۳-۵-۳ اعتبارسنجی نرم‌افزار انسیس
۹۰	۳-۶ جمع‌بندی فصل سوم
۹۱	فصل ۴: تجزیه و تحلیل یافته‌های پژوهش
۹۲	۴-۱ مقدمه
۹۳	۴-۲ شبیه‌سازی
۹۳	۴-۲-۱ شبیه‌سازی در نرم‌افزار Ansys Fluent
۹۵	۴-۲-۱-۱ مدل‌های ساخته شده سایه‌بان در نرم‌افزار Ansys Fluent
۹۵	۴-۲-۱-۲ شبیه‌سازی در حالت جریان ساکن با شار تابشی ۶۵۰ وات بر مترمربع
۹۵	۴-۲-۱-۲-۱ توزیع دمای زمین اطراف سایه‌بان‌ها
۹۶	۴-۲-۱-۲-۲ توزیع دمای هوای اطراف سایه‌بان‌ها
۹۷	۴-۲-۱-۲-۳ سرعت هوای اطراف سایه‌بان‌ها
۹۸	۴-۲-۱-۲-۴ مقایسه نتایج کلی سایه‌بان‌ها
۹۹	۴-۲-۱-۲-۵ شبیه‌سازی ابعاد سایه‌بان‌ها
۱۰۰	۴-۲-۱-۳ شبیه‌سازی در حالت جریان ساکن و شار تابشی ۱۰۰۰ وات بر مترمربع
۱۰۰	۴-۲-۱-۳-۱ توزیع دمای زمین اطراف سایه‌بان‌ها
۱۰۱	۴-۲-۱-۳-۲ توزیع دمای هوای اطراف سایه‌بان‌ها
۱۰۲	۴-۲-۱-۳-۳ سرعت هوای اطراف سایه‌بان‌ها

۱۰۴	۴-۲-۱-۳-۴ مقایسه نتایج کلی سایه‌بان‌ها
۱۰۴	۴-۲-۱-۴ شبیه‌سازی با وزش باد و شار تابشی ۱۰۰۰ وات بر مترمربع
۱۰۴	۴-۲-۱-۴-۱ توزیع دمای زمین اطراف سایه‌بان‌ها
۱۰۵	۴-۲-۱-۴-۲ توزیع دمای هوای اطراف سایه‌بان‌ها
۱۰۶	۴-۲-۱-۴-۳ سرعت هوای اطراف سایه‌بان‌ها
۱۰۷	۴-۲-۱-۴-۴ مقایسه نتایج کلی سایه‌بان‌ها
۱۰۸	۴-۲-۱-۵ جمع بندی نتایج شبیه‌سازی در نرم‌افزار Ansys Fluent
۱۰۹	۴-۲-۲ شبیه‌سازی در نرم‌افزار ENVI-met
۱۰۹	۴-۲-۲-۱ نتایج شبیه‌سازی در نرم‌افزار ENVI-met
۱۱۲	۴-۲-۲-۲ جمع بندی نتایج شبیه‌سازی در نرم‌افزار ENVI-met
۱۱۳	۴-۲-۳ شبیه‌سازی در گرس‌هاپر با پلاگین لیدی‌باگ
۱۱۳	۴-۲-۳-۱ نتایج شبیه‌سازی در پلاگین لیدی‌باگ
۱۱۶	۴-۲-۳-۲ ترسیم سایه سایه‌بان‌ها در پلاگین لیدی‌باگ
۱۱۷	۴-۲-۳-۳ جمع بندی نتایج شبیه‌سازی در پلاگین لیدی‌باگ
۱۱۸	۴-۲-۴ شبیه‌سازی سایه در نرم‌افزار Revit
۱۲۴	۴-۲-۴-۱ نتایج شبیه‌سازی سایه در نرم‌افزار Revit
۱۲۵	۴-۲-۴-۲ جمع بندی نتایج شبیه‌سازی سایه در نرم‌افزار Revit
۱۲۵	۴-۳ جمع‌بندی فصل چهارم
۱۲۷	فصل ۵: نتایج پژوهش
۱۲۸	۵-۱ مقدمه
۱۲۹	۵-۲ نتایج بخش‌های مختلف پژوهش
۱۲۹	۵-۲-۱ مطالعات کتابخانه‌ای

۵-۲-۲ شبیه سازی	۱۲۹
۵-۲-۲-۱ شبیه سازی با نرم افزار انسیس	۱۲۹
۵-۲-۲-۲ شبیه سازی با نرم افزار انویمت	۱۳۰
۵-۲-۲-۳ شبیه سازی با پلاگین لیدی باگ	۱۳۰
۵-۲-۲-۴ شبیه سازی با نرم افزار رویت	۱۳۰
۵-۳ مدل مناسب سایه بان غشایی سبک انعطاف پذیر	۱۳۲
۵-۴ اندازه مناسب سایه بان غشایی	۱۳۳
۵-۴-۱ ارتفاع مناسب سایه بان	۱۳۳
۵-۴-۲ ابعاد مناسب سایه بان	۱۳۴
۵-۵ اجزای مختلف سایه بان غشایی انعطاف پذیر	۱۳۴
۵-۵-۱ سازه تکیه گاهی	۱۳۴
۵-۵-۲ پوشش	۱۳۶
۵-۵-۳ مکانیزم حرکتی	۱۳۶
۵-۵-۴ اتصالات سازه غشایی	۱۳۶
۵-۶ ماکت های سایه بان	۱۳۸
۵-۷ مدل سازی و چیدمان سایه بان های زیناسبی	۱۳۹
۵-۸ یافته های تکمیلی	۱۴۱
۵-۹ نتیجه گیری	۱۴۲
مراجع	۱۴۳

فهرست جداول

جدول ۱-۲	دسته‌بندی سازه‌های متحرک پیش از انقلاب صنعتی (نگارنده)	۱۸
جدول ۲-۲	دسته‌بندی سازه‌های متحرک پس از انقلاب صنعتی (نگارنده)	۱۹
جدول ۲-۳	دسته‌بندی آسمانه‌های متحرک (Walter, 2006)	۲۰
جدول ۲-۴	عوامل موثر در معماری متحرک (نگارنده)	۲۲
جدول ۲-۵	موارد استفاده و مزایای سازه‌های باز و بسته شونده (آصفی و دیگران، ۱۳۹۵)	۲۳
جدول ۲-۶	انواع دسته‌بندی مکانیزم‌های تغییرشکل‌پذیر (روشنی و دیگران، ۱۳۹۴)	۲۴
جدول ۲-۷	فرم‌های متداول سازه‌های غشایی (Asemaneh.com)	۲۷
جدول ۲-۸	حالات مختلف آسایش داخلی یا زیر سازه‌های غشایی (Elnokaly et al, 2002)	۲۹
جدول ۲-۹	کیفیت‌های مختلف سازه‌های غشایی (Forester & Mollaert, 2004)	۲۹
جدول ۲-۱۰	دسته‌بندی سازه‌های غشایی کششی (Forester & Mollaert, 2004)	۳۰
جدول ۲-۱۱	شرح باز و تغییرپذیر (Forester & Mollaert, 2004)	۳۱
جدول ۲-۱۲	نکات ویژه در ساخت آسمانه‌های غشایی متحرک (Walter, 2006)	۳۱
جدول ۲-۱۳	انواع پوشش‌های متعارف غشایی (عراقیان، ۱۳۹۲)، (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۰)	۳۴
جدول ۲-۱۴	نمونه پوشش‌های غشایی (نگارنده)	۳۴
جدول ۲-۱۵	انواع مختلف سایه‌بان (Sunsmart, 2015)	۳۵
جدول ۲-۱۶	اولویت‌بندی انتخاب سایت برای سایه‌بان (Sunsmart, 2015)	۳۶
جدول ۲-۱۷	ابعاد استاندارد انسان در حالت‌های مختلف (نویفرت، ۲۰۱۹)	۳۷
جدول ۲-۱۸	ویژگی‌های سازه‌های کششی (نویفرت، ۲۰۱۹)	۳۸
جدول ۲-۱۹	ابعاد استاندارد برخی از انواع سایه‌بان‌ها (نویفرت، ۲۰۱۹)	۳۸
جدول ۲-۲۰	برخی از انواع سایه‌بان‌های غشایی اجرا شده در ایران (نگارنده)	۳۹
جدول ۲-۲۱	عوامل موثر بر آسایش حرارتی در فضای باز (حیدری و منعم، ۱۳۹۲)، (رنجبران، ۱۳۹۳)	۴۳
جدول ۲-۲۲	توضیح شاخص‌های آسایش حرارتی (نگارنده)	۴۵
جدول ۲-۲۳	شاخص‌های آسایش حرارتی مورد استفاده در پژوهش‌های مختلف (نگارنده)	۴۶
جدول ۲-۲۴	شاخص‌های آسایش حرارتی مناسب از دید پژوهش‌های مختلف (نگارنده)	۴۷
جدول ۲-۲۵	پیشینه آسایش حرارتی (نگارنده)	۴۸
جدول ۲-۲۶	پیشینه سازه‌ای و سایه‌بان‌ها (نگارنده)	۵۰
جدول ۲-۲۷	شرایط داخلی در نقطه اندازه‌گیری در زیر سازه‌های غشایی (He & Hoyano, 2009)	۵۳
جدول ۲-۲۸	توضیحات مکان‌های اندازه‌گیری (Lin et al, 2010)	۵۸
جدول ۲-۲۹	مقادیر میانگین اندازه‌گیری‌ها. مقادیر موجود در پرانتز حداقل و حداکثر است (Lin et al, 2010)	۵۹
جدول ۲-۳۰	منطقه ۱: فضای باز، مطالعه موردی ۱	۶۹
جدول ۲-۳۱	منطقه ۲: فضای نیمه باز با سایه‌بان غشایی، مطالعه موردی ۱	۶۹
جدول ۲-۳۲	منطقه ۳: فضای داخلی با تهویه طبیعی، مطالعه موردی ۱	۷۰

جدول ۳-۳۳	منطقه ۳: مقادیر PMV و PPD سه منطقه، مطالعه موردی ۱	۷۰
جدول ۳-۳۴	فضای باز، مطالعه موردی ۲	۷۰
جدول ۳-۳۵	فضای نیمه باز با سایه بان غشایی، مطالعه موردی ۲	۷۰
جدول ۳-۳۶	منطقه ۳: فضای داخلی با تهویه طبیعی، مطالعه موردی ۲	۷۱
جدول ۳-۳۷	منطقه ۳: مقادیر PMV و PPD سه منطقه، مطالعه موردی ۲	۷۱
جدول ۳-۳۸	خلاصه پژوهش‌های مشابه (نگارنده)	۷۱
جدول ۳-۱	دمای سالانه شهرهای دارای ایستگاه‌های سینوپتیک از بدو تأسیس تا پایان سال ۱۳۹۷ بر حسب درجه سلسیوس (اداره کل هواشناسی استان سمنان)	۷۸
جدول ۳-۲	اطلاعات دمایی ایستگاه شهر سمنان در سال ۱۳۹۷ (اداره کل هواشناسی استان سمنان)	۷۸
جدول ۳-۳	اطلاعات هواشناسی ایستگاه شهر سمنان در سال ۱۳۹۷ (اداره کل هواشناسی استان سمنان)	۷۹
جدول ۳-۴	متوسط دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک سمنان (اداره کل هواشناسی استان سمنان)	۸۱
جدول ۳-۵	خلاصه مشخصات اقلیمی سمنان (نگارنده)	۸۳
جدول ۳-۶	برخی نرم‌افزارهای مطرح در حیطه انرژی (شعبانی، ۱۳۹۳)	۸۴
جدول ۴-۱	مشخصات سایه بان‌های شبیه‌سازی شده در انسیس (نگارنده)	۹۳
جدول ۴-۲	مقایسه دمای زمین و تأثیرگذاری هر یک از سایه بان‌ها (نگارنده)	۹۶
جدول ۴-۳	مقایسه دمای هوای اطراف هر یک از سایه بان‌ها با شار ۶۵۰ وات بر مترمربع (نگارنده)	۹۷
جدول ۴-۴	مقایسه کلی نتایج سایه بان‌ها با شار ۶۵۰ وات بر مترمربع (نگارنده)	۹۹
جدول ۴-۵	مقایسه دمای میانگین هر یک از سایه بان‌ها در سطح ثابت (نگارنده)	۱۰۰
جدول ۴-۶	مقایسه دمای زمین و تأثیر هر یک از سایه بان‌ها در حالت جریان ساکن و شار ۱۰۰۰ وات (نگارنده)	۱۰۱
جدول ۴-۷	مقایسه دمای هوای اطراف سایه بان‌ها در حالت جریان ساکن و شار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (نگارنده)	۱۰۲
جدول ۴-۸	مقایسه کلی نتایج سایه بان‌ها در حالت جریان ساکن و شار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (نگارنده)	۱۰۴
جدول ۴-۹	مقایسه دمای زمین و تأثیرگذاری هر یک از سایه بان‌ها با در نظر گرفتن وزش باد (نگارنده)	۱۰۵
جدول ۴-۱۰	مقایسه دمای هوای اطراف سایه بان‌ها در حالت وزش باد با شار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (نگارنده)	۱۰۵
جدول ۴-۱۱	مقایسه کلی نتایج سایه بان‌ها در حالت وزش باد و شار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (نگارنده)	۱۰۸
جدول ۴-۱۲	تنظیمات ابعاد و مصالح در انویمت	۱۰۹
جدول ۴-۱۳	نتایج پارامترهای اقلیمی سایه بان‌های شبیه‌سازی شده در انویمت، ساعت ۱۲ ظهر (نگارنده)	۱۱۰
جدول ۴-۱۴	نتایج پارامترهای اقلیمی سایه بان‌های شبیه‌سازی شده در ساعت ۱۲ ظهر در انویمت (نگارنده)	۱۱۲
جدول ۴-۱۵	تأثیر فضاهای سبز شهری و رطوبت بر آسایش حرارتی (نگارنده)	۱۱۲
جدول ۴-۱۶	دمای خشک ورودی مستخرج از فایل epw (نگارنده)	۱۱۳
جدول ۴-۱۷	MRT سایه بان با ارتفاع ۲.۷۰ متری بر حسب درجه سلسیوس در ارتفاع ۱.۵ متری در مرکز سایه بان‌ها، ساعت ۱۲ ظهر (نگارنده)	۱۱۴
جدول ۴-۱۸	MRT سایه بان‌ها با ارتفاع ۳ متر بر حسب درجه سلسیوس در ارتفاع ۱.۵ متری در مرکز سایه بان‌ها، ساعت ۱۲ ظهر (نگارنده)	۱۱۵
جدول ۴-۱۹	ترسیم سایه سایه بان‌ها از ساعت ۶ تا ۲۰ در روز اول تیر (نگارنده)	۱۱۶

جدول ۴-۲۰	مقایسه تأثیر ارتفاع سایه بان بر فاصله مرکز سایه از مرکز سایه بان (نگارنده)	۱۱۸
جدول ۴-۲۱	مقایسه مساحت سایه زیر سایه بان به مساحت سایه بان در سایه بان ها با ارتفاع ۲.۷۰ متر	
	(نگارنده)	۱۱۸
جدول ۴-۲۲	مقایسه مساحت سایه زیر سایه بان به مساحت سایه بان در سایه بان های ۱*۱ تا ۶*۶ با ارتفاع ۳ متر	
	(نگارنده)	۱۱۹
جدول ۴-۲۳	مقایسه مساحت سایه زیر سایه بان به مساحت سایه بان، سایه بان های ۷*۷ تا ۱۲*۱۲ با ارتفاع ۳ متر	
	(نگارنده)	۱۱۹
جدول ۴-۲۴	مشخصات سایه سایه بان های ۱*۱ تا ۶*۶ با ارتفاع ۲.۷۰ متر در ساعت ۱۲ (نگارنده)	۱۲۰
جدول ۴-۲۵	مشخصات سایه سایه بان های ۱*۱ تا ۱۲*۱۲ با ارتفاع ۳ متر در ساعت ۱۲ (نگارنده)	۱۲۲
جدول ۴-۲۶	مقایسه سایه سایه بان های مختلف با ارتفاع ۳ متر در روز ۱ تیر (نگارنده)	۱۲۵
جدول ۵-۱	نتایج بخش های مختلف پژوهش (نگارنده)	۱۳۱
جدول ۵-۲	مشخصات سازه St37	۱۳۵
جدول ۵-۳	اتصالات سازه های غشایی (Asemaneh.com)	۱۳۷
جدول ۵-۴	ماکت های سایه بان زین اسبی (نگارنده)	۱۳۸
جدول ۵-۵	مساحت تعدادی از پارک های محله شهر سمنان (نگارنده)	۱۳۹
جدول ۵-۶	ترسیم سایه ۱۶ سایه بان ۵*۵ با فواصل مختلف (نگارنده)	۱۴۰
جدول ۵-۷	MRT بر حسب درجه سلسیوس در ۱۶ سایه بان ۵*۵ با ارتفاع ۳ متری و فواصل مختلف (نگارنده)	
		۱۴۰
جدول ۵-۸	یافته های تکمیلی (نگارنده)	۱۴۱

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ سایه بان های چتری حرم امام رضا ۵
- شکل ۲-۱ سیاه چادر عشایر ایران (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۲) ۱۱
- شکل ۲-۲ پلان و پرسپکتیو یک یورت مغولی با پوشش نمدی (Kuusisto, 2008) ۱۲
- شکل ۲-۳ چادر مخروطی شکل سرخپوستان (Gadacz, 2012) ۱۲
- شکل ۲-۴ راست: نقش برجسته داریوش (جامعی، ۱۳۹۲)، چپ: چتر آشوربانیپال (سرکرده ئی و دیگران، ۱۳۸۹) ۱۳
- شکل ۲-۵ آمفی تئاتر رومیان و جزئیات ولا (مور، ۱۳۹۲) ۱۳
- شکل ۲-۶ مقطعی از بارگاه هنری هشتم در شمال فرانسه (Kuusisto, 2008) ۱۴
- شکل ۲-۷ شبیه سازی یک پل گردان توسط داوینچی (جامعی، ۱۳۹۲) ۱۴
- شکل ۲-۸ تکیه دولت تهران (خاکی قصر، ۱۳۹۵) ۱۵
- شکل ۲-۹ سیرک بارنوم و بیلی ۱۶
- شکل ۲-۱۰ سیستم پوشش حفاظتی جمع شونده (جامعی، ۱۳۹۲) ۱۷
- شکل ۲-۱۱ سازه باز و بسته شونده پینرو (مشکسار و روشن ضمیر، ۱۳۹۰) ۱۸
- شکل ۲-۱۲ سقف باز و بسته شونده غشایی: الف) سازه نگهدارنده از نوع کابل کشی، ب) سازه نگهدارنده از نوع اسکلت قابی (احمدنژاد کریمی و حق پرست، ۱۳۹۱) ۲۳
- شکل ۲-۱۳ انواع مختلف سازه های چادری (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۴) ۲۶
- شکل ۲-۱۴ تقسیم بندی فرای اوتو (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۴) ۲۶
- شکل ۲-۱۵ شکل های منحنی مضاعف (Bridgens et al, 2005) ۲۶
- شکل ۲-۱۶ راست: اثر دودکشی (Forester & Mollaert, 2004)، چپ: کارایی انرژی خوب غشا همراه لایه بندی حرارتی هوا در اقلیم گرم و خشک (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۰) ۲۸
- شکل ۲-۱۷ نمودار سایکرومتریک (قیابکلو، ۱۳۹۴) ۴۱
- شکل ۲-۱۸ ویژگی های حرارتی و رطوبتی اقلیم های مختلف روی نمودار سایکرومتریک (قیابکلو، ۱۳۹۴) ۴۱
- شکل ۲-۱۹ جدول زیست اقلیمی (کسمائی، ۱۳۹۱) ۴۲
- شکل ۲-۲۰ دیاگرام سازه غشایی مورد آزمایش و محل اندازه گیری (He & Hoyano, 2009) ۵۱
- شکل ۲-۲۱ اطلاعات آب و هوایی در روز آفتابی ۲۱ سپتامبر ۲۰۰۷ (He & Hoyano, 2009) ۵۲
- شکل ۲-۲۲ تفاوت دمای سطح اندازه گیری شده در غشا (چپ)، زمین (راست) ۲۱ سپتامبر (He & Hoyano, 2009) ۵۳
- شکل ۲-۲۳ موقعیت های سنسورهای دمای سطح (He & Hoyano, 2009) ۵۳
- شکل ۲-۲۴ تغییر دمای زمین و هوا و MRT زیر سازه غشایی از ساعت ۵ تا ۲۰، ۲۱ سپتامبر (He & Hoyano, 2009) ۵۴
- شکل ۲-۲۵ مقطع سازه غشایی و موقعیت اندازه گیری (He & Hoyano, 2010) ۵۵
- شکل ۲-۲۶ موقعیت سنسورهای دمای سطح (He & Hoyano, 2010) ۵۵
- شکل ۲-۲۷ شرایط آب و هوا برای دوره ۴ روزه آفتابی (He & Hoyano, 2010) ۵۶

- شکل ۲۸-۲ دمای سطح اندازه‌گیری شده غشا و کف برای دوره آفتابی ۴ روزه (He & Hoyano, 2010)..... ۵۶
- شکل ۲۹-۲ تغییرات سرعت و جهت باد راست: ۲۱ سپتامبر و چپ: ۲۰ سپتامبر (He & Hoyano, 2010)..... ۵۷
- شکل ۳۰-۲ ارتباط بین دمای هوا در فضای باز و ارتفاع ۱.۲ متری زیر غشا، روزهای آفتابی (۲۰-۲۱ سپتامبر) (He & Hoyano, 2010)..... ۵۷
- شکل ۳۱-۲ تغییرات دما و گرمای هوا در ارتفاع ۱.۲ متر بالاتر از کف زیر غشا، ۲۱ سپتامبر (He & Hoyano, 2010)..... ۵۸
- شکل ۳۲-۲ نقشه دانشگاه و مکان‌های اندازه‌گیری (Lin et al, 2010)..... ۵۹
- شکل ۳۳-۲ فرکانس PET در موقعیت C (چپ) و موقعیت F (راست)، در محوطه دانشگاه از ۸ تا ۱۸، ۲۰۰۷-..... ۶۰
- ۱۹۹۸ (Lin et al, 2010).....
- شکل ۳۴-۲ (a) و (b): منطقه مورد مطالعه A، فضای I و II (c): محل مناطق مورد مطالعه در دانشگاه (d): منطقه مطالعه B، فضای I و II (Makaremi et al, 2012)..... ۶۱
- شکل ۳۵-۲ تغییرات PET محاسبه شده در A، فضای I و II a: ۱۶ مارس و b: ۷ آوریل (Makaremi et al, 2012)..... ۶۲
- شکل ۳۶-۲ تغییرات PET محاسبه شده در B، فضای I و II a: ۱۷ مارس، b: ۸ آوریل (Makaremi et al, 2012)..... ۶۳
- شکل ۳۷-۲ چپ: مقطع و پلان، راست: موقعیت دستگاه‌های اندازه‌گیری در ساختمان (Wilson et al, 2007)..... ۶۴
- شکل ۳۸-۲ رفتار حرارتی معمولی ساختمان در یک روز ابری سرد (۲۰۰۳/۰۳/۰۵) (Wilson et al, 2007)..... ۶۴
- شکل ۳۹-۲ رفتار حرارتی معمولی ساختمان در یک روز ابری گرم (۲۰۰۲/۰۷/۱۴) (Wilson et al, 2007)..... ۶۴
- شکل ۴۰-۲ رفتار حرارتی معمولی ساختمان داخلی در روز صاف سرد (۲۰۰۳/۰۳/۲۳) (Wilson et al, 2007)..... ۶۴
- شکل ۴۱-۲ رفتار حرارتی معمولی ساختمان در یک روز صاف گرم (۲۰۰۲/۰۷/۱۳) (Wilson et al, 2007)..... ۶۵
- شکل ۴۲-۲ دید پرده و داخلی ساختمان غشایی محصور با دهانه وسیع (Hu et al, 2018)..... ۶۶
- شکل ۴۳-۲ تغییرات تابش خورشیدی داخلی در دو روز معمولی در زمستان و تابستان (Hu et al, 2018)..... ۶۶
- شکل ۴۴-۲ توزیع دما در استادیوم غشایی محصور با دهانه وسیع (Hu et al, 2018)..... ۶۶
- شکل ۴۵-۲ توزیع دمای افقی در دو روز معمولی (Hu et al, 2018)..... ۶۷
- شکل ۴۶-۲ توزیع درجه حرارت عمودی در دو روز معمولی (Hu et al, 2018)..... ۶۷
- شکل ۴۷-۲ دمای هوا، دمای جهانی و رطوبت نسبی نقطه جنوبی ۳ (Hu et al, 2018)..... ۶۸
- شکل ۴۸-۲ منحنی PMV و PPD با نوسان زمان (Hu et al, 2018)..... ۶۸
- شکل ۴۹-۲ سازه غشایی مطالعه موردی ۱..... ۶۹
- شکل ۵۰-۲ سازه غشایی مطالعه موردی ۱..... ۷۰
- شکل ۱-۳ روش پژوهش (نگارنده)..... ۷۶
- شکل ۲-۳ حوزه‌های اقلیمی جهان (کسمائی، ۱۳۹۱)..... ۷۷
- شکل ۳-۳ حدود تقسیمات اقلیمی چهارگانه ایران (کسمائی، ۱۳۹۱)..... ۷۷
- شکل ۴-۳ راست: نقشه همدم، چپ: پهنه‌بندی اقلیمی استان (اداره کل هواشناسی استان سمنان، ۱۳۹۹)..... ۷۸
- شکل ۵-۳ جدول بیوکلماتیک شهر سمنان (کسمائی، ۱۳۷۹)..... ۸۰
- شکل ۶-۳ جدول زیست‌اقلیمی سمنان (بیدختی و کامیابی، ۱۳۹۳)..... ۸۰
- شکل ۷-۳ نمودار سایکرومتریک برای شهر سمنان (جوادیان و نعمتی، ۱۳۹۷)..... ۸۱

- شکل ۸-۳ گلباد میانگین سرعت باد سمنان از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ (<https://mesonet.agron.iastate.edu>) ۸۳
- شکل ۱-۴ انتخاب هوا به عنوان متریا ل و اعمال شرایط بویانسی به علت اختلاف دمای هوا، شرط بویانسی باعث می شود هوای گرمتر بالا برود (نگارنده) ۹۴
- شکل ۲-۴ راست: اعمال شرایط اولیه شامل، شرط سرعت و فشار نسبی برابر صفر و دمای اولیه $T_a = 40^{\circ}C$. چپ: انتخاب مدل های لازم شامل، مدل انتقال حرارت، توربولانسی (SST)، تشعشعی (Discrete Transfer) (نگارنده) ۹۴
- شکل ۳-۴ راست: شرط مرزی سطح فوقانی دامنه حل که باز بوده و هوا قابلیت رفت و آمد با فشار نسبی صفر و دمای $40^{\circ}C$ دارد و شار تشعشع خورشید یکبار 650 و یکبار 1000 وات بر مترمربع. چپ: شرط مرزی مربوط به دیواره های جانبی دامنه حل که باز بوده و قابلیت رفت و آمد هوا با فشار نسبی صفر و دمای $40^{\circ}C$ درجه ۹۴
- شکل ۴-۴ شرط مرزی مربوط به بدنه سایه بان که دیوار بدون لغزش بوده و عایق در نظر گرفته شده (نگارنده) ۹۵
- شکل ۵-۴ نمونه ای از گسسته سازی دامنه حل که سایه بان درون آن قرار دارد (نگارنده) ۹۵
- شکل ۶-۴ مدل های سایه بان به ترتیب از راست به چپ: ساده، مخروطی، زین اسبی، چتری (نگارنده) ۹۵
- شکل ۷-۴ توزیع دمای زمین اطراف سایه بان ها با شار 650 وات بر مترمربع (نگارنده) ۹۶
- شکل ۸-۴ توزیع دمای هوای اطراف سایه بان ها با شار 650 وات بر مترمربع (نگارنده) ۹۷
- شکل ۹-۴ بردار سرعت هوای اطراف سایه بان ها با شار 650 وات بر مترمربع (نگارنده) ۹۸
- شکل ۱۰-۴ کانتور سرعت هوای اطراف سایه بان ها با شار 650 وات بر مترمربع (نگارنده) ۹۸
- شکل ۱۱-۴ کانتور دمای زمین زیر سایه بان هایی با ابعاد مختلف (نگارنده) ۹۹
- شکل ۱۲-۴ دمای زمین اطراف سایه بان ها با جریان ساکن و شار 1000 وات بر مترمربع (نگارنده) ۱۰۱
- شکل ۱۳-۴ دمای هوای اطراف سایه بان ها با جریان ساکن و شار 1000 وات بر مترمربع (نگارنده) ۱۰۲
- شکل ۱۴-۴ بردار سرعت اطراف سایه بان ها با جریان ساکن و شار 1000 وات بر مترمربع (نگارنده) ۱۰۲
- شکل ۱۵-۴ مقطع کانتور سرعت اطراف سایه بان ها با جریان ساکن و شار 1000 وات بر مترمربع (نگارنده) ۱۰۳
- شکل ۱۶-۴ کانتور سرعت هوای اطراف سایه بان ها با جریان ساکن و شار 1000 وات، در ارتفاع 1.5 متری (نگارنده) ۱۰۳
- شکل ۱۷-۴ کانتور سرعت هوای اطراف سایه بان ها با جریان ساکن و شار 1000 وات، در ارتفاع 2 متری (نگارنده) ۱۰۳
- شکل ۱۸-۴ دمای زمین اطراف سایه بان ها با وزش باد و شار 1000 وات بر مترمربع (نگارنده) ۱۰۴
- شکل ۱۹-۴ دمای هوای اطراف سایه بان ها با وزش باد و شار 1000 وات بر مترمربع (نگارنده) ۱۰۵
- شکل ۲۰-۴ بردار سرعت اطراف سایه بان ها با وزش باد و شار 1000 وات بر مترمربع (نگارنده) ۱۰۶
- شکل ۲۱-۴ مقطع کانتور سرعت اطراف سایه بان ها با وزش باد و شار 1000 وات بر مترمربع (نگارنده) ۱۰۶
- شکل ۲۲-۴ کانتور سرعت هوای اطراف سایه بان ها با وزش باد و شار 1000 وات، در ارتفاع 1.5 متری (نگارنده) ۱۰۷
- شکل ۲۳-۴ کانتور سرعت هوای اطراف سایه بان ها با وزش باد و شار 1000 وات، در ارتفاع 2 متری (نگارنده) ۱۰۷
- شکل ۲۴-۴ اطلاعات اقلیمی ورودی برای شبیه سازی در انویمت، روز ۱۲ آگوست ۲۰۲۰ ۱۰۹

- شکل ۲۵-۴ تنظیمات نرم افزار RayMan برای محاسبه PET (نگارنده) ۱۱۰
- شکل ۲۶-۴ الگوریتم محاسبه MRT سایه بان ها در لیدی باگ (نگارنده) ۱۱۳
- شکل ۲۷-۴ MRT سایه بان با ارتفاع ۲.۷۰ متر بر حسب درجه سلسیوس در ارتفاع ۱.۵ متری در مرکز سایه بان ها، ساعت ۱۲ ظهر، به ترتیب از بالا به پایین سایه بان ۱*۱، ۲*۲ و ۳*۳ (نگارنده) ۱۱۴
- شکل ۲۸-۴ MRT سایه بان با ارتفاع ۳ متر بر حسب درجه سلسیوس در ارتفاع ۱.۵ متری در مرکز سایه بان ها، ساعت ۱۲ ظهر، به ترتیب از بالا به پایین سایه بان ۱*۱، ۲*۲، ۳*۳، ۴*۴ و ۵*۵ (نگارنده) ۱۱۶
- شکل ۲۹-۴ الگوریتم ترسیم سایه سایه بان ها در لیدی باگ (نگارنده) ۱۱۶
- شکل ۱-۵ خلاصه مطالعات کتابخانه ای (نگارنده) ۱۲۹
- شکل ۲-۵ خلاصه شبیه سازی ها (نگارنده) ۱۳۱
- شکل ۳-۵ نتایج بخش های مختلف پژوهش (نگارنده) ۱۳۲
- شکل ۴-۵ سایه بان زین اسبی تک پایه با پایه مرکزی و طره ای (نگارنده) ۱۳۲
- شکل ۵-۵ ارتفاع فردی با کودکی روی شانه هایش (نگارنده) ۱۳۴
- شکل ۶-۵ مشخصات سایه بان مناسب (نگارنده) ۱۳۴
- شکل ۷-۵ سایه بان زین اسبی طره ای ۵*۵ متر مربع (نگارنده) ۱۳۹
- شکل ۸-۵ چیدمان ۱۶ سایه بان زین اسبی طره ای در محیط ۲۵*۲۵ متر مربع (نگارنده) ۱۴۰
- شکل ۹-۵ MRT شانزده سایه بان ۵*۵ با فواصل مختلف، بالا: فواصل ۰.۵ متری، پایین: فواصل ۱ متری (نگارنده) ۱۴۱
- شکل ۱۰-۵ خلاصه یافته های تکمیلی پژوهش (نگارنده) ۱۴۲

فهرست نمودارها

- نمودار ۳-۱ نمودار متوسط دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک سمنان (مصطفوی و دیگران، ۱۳۹۸)..... ۸۱
- نمودار ۳-۲ نمودار رگرسیون خطی روز ۵ آگوست، راست: دمای هوا، چپ: رطوبت نسبی (نگارنده)..... ۸۹
- نمودار ۳-۳ نمودار رگرسیون خطی روز ۶ آگوست، راست: دمای هوا، چپ: رطوبت نسبی (نگارنده)..... ۸۹
- نمودار ۳-۴ نمودار رگرسیون خطی روز ۷ آگوست، راست: دمای هوا، چپ: رطوبت نسبی (نگارنده)..... ۹۰
- نمودار ۴-۱ مقایسه سایه بان ها در شار ۶۵۰ وات بر مترمربع (نگارنده)..... ۹۶
- نمودار ۴-۲ نمودار مقایسه دمای میانگین هر یک از سایه بان ها در سطح ثابت (نگارنده)..... ۱۰۰
- نمودار ۴-۳ مقایسه سایه بان ها در حالت جریان ساکن و شار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (نگارنده)..... ۱۰۱
- نمودار ۴-۴ مقایسه سایه بان ها در حالت وزش باد و شار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (نگارنده)..... ۱۰۵
- نمودار ۴-۵ نمودارهای مقایسه درجه حرارت زیر سایه بان های شبیه سازی شده در انویمت (نگارنده)..... ۱۱۰
- نمودار ۴-۶ نمودارهای مقایسه رطوبت نسبی زیر سایه بان های شبیه سازی شده در انویمت (نگارنده)..... ۱۱۱
- نمودار ۴-۷ نمودارهای مقایسه PMV زیر سایه بان های شبیه سازی شده در انویمت (نگارنده)..... ۱۱۱
- نمودار ۴-۸ نمودارهای مقایسه PET زیر سایه بان های شبیه سازی شده در انویمت (نگارنده)..... ۱۱۱
- نمودار ۴-۹ MRT سایه بان با ارتفاع ۲.۷۰ متر بر حسب درجه سلسیوس در ارتفاع ۱.۵ متری در مرکز سایه بان ها، ساعت ۱۲ ظهر (نگارنده)..... ۱۱۴
- نمودار ۴-۱۰ MRT سایه بان ها با ارتفاع ۳ متر بر حسب درجه سلسیوس در ارتفاع ۱.۵ متری در مرکز سایه بان ها، ساعت ۱۲ ظهر (نگارنده)..... ۱۱۵
- نمودار ۴-۱۱ نمودار درصد مساحت سایه زیر سایه بان به مساحت سایه بان در سایه بان هایی با ارتفاع ۲.۷۰ متر از ساعت ۶ تا ۱۸ (نگارنده)..... ۱۱۹
- نمودار ۴-۱۲ نمودار درصد مساحت سایه زیر سایه بان به مساحت سایه بان در سایه بان هایی با ارتفاع ۳ متر از ساعت ۶ تا ۱۸ (نگارنده)..... ۱۲۰

فصل ۱: کلیات پژوهش

۱-۱ مقدمه

از مهم‌ترین عواملی که آسایش و سلامتی انسان‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد، شرایط آب و هوایی بوده (بیر و هیگینز، ۱۳۸۱)، که یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده فعالیت روزانه و طولانی مدت زندگی انسان است (حلبیان، ۱۳۸۷). منظور از شرایط آسایش، مجموعه شرایطی است که از نظر حرارتی حداقل برای ۸۰ درصد از افراد مناسب باشد و انسان در آن شرایط احساس سرما یا گرما نکند (Fanger, 1970).

فضاهای باز عمومی در زندگی امروزی در برگیرنده بخش عظیمی از فعالیت‌های روزمره هستند. یک فضای باز موفق می‌تواند، مردم را به گذران اوقات و ایجاد زندگی در محیط شهری دعوت کند. ایجاد شرایط آسایش حرارتی فضای بیرونی می‌تواند باعث تشویق به پیاده‌روی در شهرها شده و بهبود سلامت عمومی و هوای پاک را به دنبال داشته‌باشد (Targhi & Van dessel, 2015). در فضاهای باز، سطح آسایش حرارتی افراد می‌تواند تحت تأثیر عواملی از جمله مصالح سطوح، وجود سایه‌بان، استفاده از فضای سبز و آب‌نما در محوطه قرار بگیرد (Givoni et al, 2003). امروزه کاربرد سایه‌بان در فضاهای عمومی گسترش یافته‌است؛ این در حالی است که تنها تعداد کمی از آن‌ها می‌تواند نتیجه بیولوژیکی مطلوبی به ارمغان آورد (خلیلی و دیگران، ۱۳۹۷).

لذا در این پژوهش به طراحی سایه‌بان غشایی سبک انعطاف‌پذیر با هدف ایجاد آسایش حرارتی در اقلیم گرم و خشک پرداخته شده‌است. در این فصل توضیحات کلی و جامعی در مورد موضوع و اهمیت پژوهش، همچنین اهداف و سؤالاتی که باعث انجام این پژوهش گردیده، بیان شده‌است.

۲-۱ تعریف مسئله

تعادل حرارتی در بدن انسان یکی از مسائل مهمی است که باید مورد توجه جدی قرار گیرد، بنابراین محیط پیرامون هر فرد باید به گونه‌ای این شرایط را فراهم کند، در غیر این صورت، بدن خود با فعل و انفعالاتی به تعادل می‌رسد. شرایط اقلیمی بر زندگی انسان و فعالیت‌های او تأثیر می‌گذارد. آسایش حرارتی فاکتور بسیار مهمی است که سبب حضور افراد می‌شود (تابان و مجیدی، ۱۳۹۷). ضرورت و نیاز روانی انسان، به حضور در فضاهای باز در دوران معاصر و نقش تأثیرگذار اقلیم در فعالیت‌ها و رفتارهای شهری، لزوم توجه به آسایش حرارتی در فضای باز را آشکار می‌سازد (طاهری‌شهرآئینی و طالب‌صفا، ۱۳۹۸). شناخت بیشتر راهکارهای ایجاد آسایش حرارتی مطلوب در فضا، به رضایت کاربران برای حضور در فضا کمک کرده و کیفیت فضا را ارتقا می‌دهد؛ به همین دلیل مقوله آسایش برای استمرار فعالیت انسان، مقوله‌ای بسیار مهم و قابل توجه است (تابان و مجیدی، ۱۳۹۷). در فضاهای باز شهری به ویژه در شهرهای بزرگ اقلیم‌های گرم، عابرین پیاده و استفاده‌کنندگان از فضاهای شهری اغلب در معرض بارهای حرارتی بالایی هستند که باعث عدم آسایش حرارتی می‌شود. شرایط مناسب برای آسایش حرارتی در محیط‌های شهری از طریق رفتار مناسب چنین فضاهایی به دست می‌آید، که باعث تشویق افراد به حضور در فضا، بهبود اقلیم خرد شهری، کاهش مصرف انرژی و غیره می‌شود (عبداللهی و یوسفی‌تذکر، ۱۳۹۶)، (Targhi & Van dessel, 2015).

متغیرهای اصلی آسایش حرارتی در فضای باز شامل متغیرهای اقلیمی و فردی هستند، متغیرهای اقلیمی شامل دمای هوا، جریان هوا، رطوبت نسبی و دمای تابشی است (Fanger, 1970). جهت ایجاد آسایش حرارتی کنترل دما از عوامل موثر بر محیط است، لذا با کنترل تابش و سایه‌اندازی می‌توان به گونه‌ای مؤثر آسایش حرارتی در فضای باز را بهبود بخشید، با شناخت عوامل ایجاد سایه مانند سایه‌بان‌ها و ویژگی‌های آن‌ها می‌توان فضایی مطلوب جهت بهره‌مندی از قابلیت‌های فضای باز ایجاد کرد (طاهری‌شهرآئینی و طالب‌صفا، ۱۳۹۸). سازه‌های پارچه‌ای جدید بسیاری از مشخصات چادرهای عشایری از جمله قابلیت انعطاف، پیش‌ساختگی، قابلیت حمل‌ونقل، استفاده از مصالح طبیعی و نور روز، قابلیت انطباق سازه با محیط طبیعی پیرامونش و مصرف پایین انرژی را دارا هستند. در عین حال آن‌ها برای مناطق با آب و هوای گرم به واسطه ایجاد سایه‌بان و تهویه طبیعی بسیار مناسب هستند (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۴). سازه‌های غشایی سازه‌هایی بسیار نازک و انعطاف‌پذیر هستند و سختی غشایی کششی دارند (سالوادوری، ۱۳۹۳)، این دسته از سازه‌های سبک به دلیل مشخصات سازه‌ای، نحوه حمل نیروها، مصالح سازنده و حتی شکل ظاهری به همراه سازه‌های کابلی، بادی و قوسی در گروه سازه‌های فرم‌فعال قرار می‌گیرند. استفاده از این نوع سازه می‌تواند برای دستیابی به کارایی سازه‌ای بالا نظیر بزرگ بودن دهانه یا سبکی قابل توجه باشد (جی‌مک‌داندل، ۱۳۸۲). سایه‌بان‌های پارچه‌ای یکی از اولین

فرم‌ها برای پوشش سقف هستند، که برای ساخت فرم‌های سنتی در طی هزاران سال استفاده می‌شوند. غشاهای پارچه‌ای هم به عنوان سازه و هم به عنوان پوشش عمل کرده و سبب کاهش وزن، هزینه و تأثیرات محیطی می‌شوند (Bridgent et al, 2004).

بنابراین سایه‌بان‌های غشایی به دلیل سبکی، انعطاف‌پذیری، سرعت و سهولت اجرا و همچنین امکان باز و بسته شدن گزینه مناسبی برای فضاهای بیرونی هستند و شرایط آسایش حرارتی را نیز تا حد امکان برای استفاده‌کنندگان فراهم می‌آورند. سیستم سایه‌بان‌های ثابت قابلیت تنظیم ندارند و به همین علت دارای محدودیت‌های عملکردی در استفاده از نور روز و جهت‌گیری مناسب برای سایه‌اندازی هستند. سیستم سایه‌بان‌های متحرک قابل تنظیم‌اند و می‌توانند برای دستیابی به تابش خورشید، در طول یک روز و یا در طول فصل‌ها تنظیم شده و باز یا بسته شوند (مرتضوی و دیگران، ۱۳۹۶).

در اقلیم گرم و خشک به دلیل گرمای زیاد، کمبود پوشش گیاهی و همچنین نداشتن سایه، شرایط آسایش حرارتی در فضای بیرونی به صورت محدود برقرار می‌شود. فضاهای بیرونی در این اقلیم در ساعات محدودی از روز و همچنین در بعضی فصول قابل استفاده هستند، اما با کنترل دما و ایجاد سایه در فضاهای بیرونی تا حدی می‌توان شرایط آسایش حرارتی را فراهم نمود. سایه‌بان‌های باز و بسته شونده با ایجاد سایه برای فضاهای بیرونی بسیار مناسب هستند، لذا وجود سایه‌بانی مناسب ضمن ایجاد آسایش حرارتی، سبب حضور موثر کاربران در فضا می‌شود. سایه‌بان‌های غشایی انعطاف‌پذیر، با داشتن امکان باز و بسته شدن در زمان‌های مختلف، در تمام طول سال قابل استفاده هستند. سایه‌بان‌های متحرک، به هنگام باز بودن، سبب ایجاد سایه در ساعات حضور خورشید و مصون نگه داشتن کاربران از برف و باران می‌شوند و در هنگام بسته بودن امکان بهره‌گیری از نور خورشید را در مواقع لزوم فراهم می‌کنند.

۳-۱- ضرورت و اهمیت پژوهش

با توجه به افزایش روزافزون دمای کره زمین و گرم‌تر شدن آن و همچنین حضور بیشتر افراد در فضاهای باز، مقوله آسایش حرارتی و تأمین شرایط آسایش کاربران در فضاهای بیرونی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. ایجاد شرایط آسایش حرارتی در فضاهای باز زمینه ساز دستیابی به آسایش در فضاهای داخلی ساختمان‌ها و مانع از ایجاد جزایر گرمایی است، زیرا فضای باز بستر دربرگیرنده و سازنده خرداقلیم در محیط پیرامون ساختمان‌هاست، به علاوه می‌تواند باعث تشویق افراد به حضور در فضاهای باز شهری شده و بهبود سلامت عمومی را به دنبال داشته‌باشد (طاهباز، ۱۳۸۶)، (Targhi & Van dessel, 2015).

از ویژگی‌های اقلیم گرم وجود آسمان صاف و تابش شدید خورشید در اکثر مواقع سال است، با توجه به این که ایجاد سایه در فضاهای باز خصوصاً در اقلیم‌های گرمسیری، یکی از عوامل موثر در تأمین احساس آسایش

گرمایی است، در این شرایط ایجاد سایه در فضاهای باز یکی از عوامل موثر در خنک‌سازی محیط و کاهش دمای هوا در دوره‌های گرم است، به شرط این که مانع تابش آفتاب در دوره‌های سرد نشود (طاهباز، ۱۳۸۶). با شیوع ویروس کرونا در دوران حاضر، با توجه به ممنوعیت حضور تعداد زیاد افراد در فضاهای بسته، حضور مردم در فضاهای باز اجتماعی بیشتر از قبل مورد توجه قرار گرفته‌است و افراد مجبور به انجام بخشی از رفتارها و فعالیت‌های خود در فضاهای باز شده‌اند. بنابراین موضوع سایه‌بان‌های انعطاف‌پذیر جدی‌تر می‌شود. به عنوان مثال شکل ۱-۱، سایه‌بان‌های چتری حرم مطهر امام رضا (ع) را نشان می‌دهد، این سایه‌بان‌ها ضمن اعمال کمترین آسیب بصری به آرایه‌های معماری حرم مطهر و اشغال حداقلی فضای تردد زائران، برای شرایط اقلیمی گرم روزهای تابستانی مشهد نیز مناسب هستند. لذا سایه‌بان غشایی سبک انعطاف‌پذیر، با قابلیت باز و بسته شدن در زمان‌های مختلف، برای استفاده در اقلیم گرم و خشک بسیار مناسب است، زیرا علاوه بر سایه‌اندازی و همچنین فراهم کردن امکان بهره‌گیری از آفتاب در مواقع لزوم (سایه‌بان باز و بسته شونده) با ایجاد آسایش حرارتی سبب حضور بیشتر و موثرتر افراد در فضاهای باز اقلیم گرم و خشک می‌شود. فراهم نمودن شرایط آسایش حرارتی بیرونی در اقلیم گرم و خشک، سبب ایجاد آسایش حرارتی داخلی در هر منطقه نیز می‌گردد.



شکل ۱-۱ سایه‌بان‌های چتری حرم امام رضا

۴-۱ اهداف پژوهش

در این پژوهش به طراحی سایه‌بان غشایی سبک انعطاف‌پذیر که برای اقلیم گرم و خشک مورد استفاده قرار می‌گیرد، پرداخته می‌شود. ابتدا عوامل مربوط به آسایش حرارتی با استفاده از روش شبیه‌سازی انرژی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته تا مناسب بودن سایه‌بان از نظر آسایش حرارتی و مسائل اقلیمی، ابعاد و اندازه و ارتفاع کنترل شود و در نهایت پس از مقایسه و بررسی مدل کاملی ارائه می‌شود.

به صورت جزئی‌تر در این پژوهش ابتدا مطالعات کتابخانه‌ای انجام می‌شود، سپس با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی از جمله انسیس فلوئنت، انویمت و پلاگین لیدی‌باگ، مدل و ابعاد مختلف سایه‌بان غشایی سبک مورد شبیه‌سازی قرار می‌گیرد و در نهایت با توجه به نتایج شبیه‌سازی‌ها ابعاد و مدل مناسب سایه‌بان جهت استفاده افراد در فضاهای باز شهری در اقلیم گرم و خشک معرفی می‌گردد.

۵-۱ سوالات پژوهش

با توجه به مطالب ذکر شده، پژوهش پیش رو درصدد پاسخگویی به سوالات زیر است:

۱- میزان تأثیر سازه‌های غشایی منعطف در ایجاد آسایش حرارتی کاربران در فضاهای بیرونی در کل سال چقدر است؟

۲- ابعاد مناسب سایه‌بان غشایی سبک انعطاف‌پذیر، جهت ایجاد آسایش حرارتی بیرونی در اقلیم گرم و خشک به چه صورت است؟

۳- مدل مناسب سایه‌بان غشایی برای ایجاد آسایش حرارتی در فضای باز کدام است؟

۴- کنترل دما به تنهایی برای ایجاد آسایش حرارتی در اقلیم گرم خشک مانند شهر سمنان پاسخگو خواهد بود؟

۵- تأثیرگذاری بیشتر سایه‌بان در اقلیم گرم و خشک در ترکیب با چه عواملی ایجاد می‌شود؟

فصل ۲ : ادبیات و پیشینه پژوهش

۱-۲ مقدمه

در طول تاریخ پاسخگویی به شرایط متغیر و نیازهای جدید همواره ضرورتی جدایی ناپذیر از معماری بوده است. تطبیق معماری با تحولات محیطی و تغییرات عملکردی کاربران، هدف مطلوبی است که در دوران مختلف وجود داشته است (مهدوی نژاد و دیگران، ۱۳۹۰). استفاده از ساختارهای متحرک مانند سیاه چادر، یورت و غیره به قرن‌ها پیش بازمی‌گردد. در سال‌های اخیر سرعت رشد صنایع، علوم و فنون نسبت به گذشته افزایش یافته و به همان نسبت نیز تغییرات در عرصه استانداردها، عملکردها و کاربری‌ها بیشتر شده است. این امر بیانگر آن است که معماری امروز نیازمند تغییرات و پویایی بیشتری نسبت به گذشته است و به نظر می‌رسد که ساختمان‌های جدید، باید متنوع‌تر، انعطاف‌پذیرتر و قابل انطباق با هرگونه تغییرات احتمالی آینده باشند، که این امر تمهیداتی را در طراحی و بخصوص در سازه می‌طلبد (رهایی و قائم مقامی، ۱۳۸۷). سازه‌های تغییر شکل پذیر توانسته‌اند علاوه بر ارتقای کیفی شرایط آسایشی کاربران و محیط زیست، کیفیات جدیدی مانند انعطاف‌پذیری را به شکلی مناسب در فضاهای معماری ایجاد کنند (آصفی و گرشاسبی، ۱۳۹۱).

از طرفی امروزه بسیاری از فعالیت‌های افراد در فضاهای باز صورت می‌گیرد و ایجاد آسایش حرارتی بر حضور افراد در فضاهای بیرونی تأثیرگذار است، به همین دلیل در سال‌های اخیر موضوع آسایش حرارتی در فضاهای باز به دلیل نقش قابل توجه در معماری پایدار، بسیار مورد توجه طراحان شهری قرار گرفته است.

لذا در این بخش به بررسی و شناخت ادبیات و پیشینه پژوهش، به طور کامل پرداخته شده است.

۲-۲ انعطاف پذیری

واژه انعطاف پذیر در لغت به معنای چیزی است که خمیدگی و برگشتی، پذیرد و با واژه‌ی flexible به معنای قابل تغییر بودن، به گونه‌ای که این تغییر به راحتی و طبق شرایط انجام گیرد، به یک معنا است (مهدوی‌نژاد و دیگران، ۱۳۹۰). طبق این تعریف مفهوم انعطاف‌پذیری، قابلیت تغییر آسان طبق شرایط و امکان بازگشت به حالت اولیه است. این مفهوم در معماری نیز صادق بوده و عبارت است از تغییر در فضای انسان ساخت برای پاسخگویی به شرایط و نیازهای جدید (عینی‌فر، ۱۳۸۲). در برخی موارد ممکن است منظور از انعطاف‌پذیری، انعطاف در حرکت باشد. در دهه‌های اخیر با پیشرفت تکنولوژی، پدیده انعطاف‌پذیری وارد عرصه معماری و شهرسازی شده است. انعطاف‌پذیری کیفیتی در معماری است که تمرکز آن بر تطبیق‌پذیری و ایجاد یک راه حل برای فراهم ساختن نیازهای انسان، یعنی یک پاسخ سریع است. با در نظر گرفتن افزایش تقاضای انرژی و یا نبود راهکارهای مناسب جهت پاسخگویی به تغییرات آب و هوایی محیط اطراف، انعطاف‌پذیری می‌تواند راه حل مناسبی جهت کنترل مشکلات پیش‌رو باشد و آغازی برای نوآوری نوین تلقی شود. انسان در طول تاریخ، ساختمان را به عنوان یک عنصر ایستا در نظر می‌گرفته است، اما در جهان امروز با تغییرات سریع در نیازهای مصرف‌کنندگان و کارکردهای ساختمان‌ها، جهت رسیدن به انعطاف‌پذیری دیگر نمی‌توان ساختمان‌ها را به صورت ایستا طراحی کرد، زیرا آن‌ها باید دارای ویژگی‌هایی چون تغییر شکل‌پذیری، پویایی و حرکت باشند تا بتوانند نیازهای متغیر کاربران و محیط پیرامون خود را پاسخ دهند (شفیق نیا و دیگران، ۱۳۹۲).

ساختارهای متحرک و انعطاف‌پذیر از زمانی که انسان‌های اولیه از غارها بیرون آمده و به زندگی کوچ‌نشینی پرداختند، به دلیل داشتن قابلیت‌های مختلفی چون انعطاف‌پذیری، سبکی، حمل آسان، در دسترس بودن، استفاده از حداقل مصالح و انرژی و مزایای دیگر مورد استفاده بوده‌اند. اغلب این ویژگی‌ها در معماری امروز نیز بسیار قابل توجه است و می‌توان با استفاده از این قبیل سیستم‌ها از مزایای آن‌ها نیز استفاده نمود. انعطاف‌پذیری در معماری را می‌توان از جنبه‌های زیر مورد بررسی قرار داد (شفیق نیا و دیگران، ۱۳۹۲):

۱. ایجاد عملکردهای متفاوت و متغیر به صورت دوره‌ای، از طریق تغییرات در مبلمان و دیوارهای داخلی با در نظر گرفتن عملکرد مورد نظر.

۲. تغییراتی که در جداره‌های خارجی و یا داخلی بنا با توجه به در نظر گرفتن عوامل محیطی و داخلی و در راستای تأمین آسایش کاربران آن بنا در قالب اجزایی همچون نماهای متحرک صورت می‌پذیرد.

۳. باز و بسته شدن یک سقف یا پوشانه با توجه به شرایط اقلیمی و نیازهای مختلف.

سازه سبک انعطاف‌پذیر نیز سازه‌ای است که وزن آن کمتر از حد متوسط (شرایط معمول) بوده و دارای این قابلیت است که با توجه به شرایط و نیاز کاربران تغییر داده شود (کشاورزپور، ۱۳۹۵).

۳-۲ معماری متحرک

در طول تاریخ معماری، سازه نقشی ایستا و صلب را در معماری بازی می‌کرده، به نحوی که یک ساختمان خوب، باید دارای پایداری بلند مدت در سیستم سازه‌ای می‌بوده‌است. در اوایل دهه ۷۰ میلادی، معماری متحرک به عنوان یک مفهوم وارد علم معماری شد، از منظر تاریخی این نوع معماری به عنوان قسمت‌هایی از یک ساختمان مانند بازوهای متحرک برای دستیابی به دسترسی‌ها و هوای تازه استفاده می‌شد. با شروع قرن بیستم تلاش‌هایی نظیر دستیابی به کنترل نور خورشید و کسب فضای بیشتر، همچنین یافتن یک منظر زیبایی‌شناسی و فلسفه جدید صورت گرفت (عزیزمحمدی، ۱۳۹۶). مایکل فاکس در سال ۲۰۰۰ معماری متحرک را این چنین تعریف کرد: "بنایی است با موقعیت متغیر و سیار و هندسه‌ای متغیر و متحرک" (Fox, 2007). بنابراین با توجه به مفهوم معماری متحرک می‌توان، سازه‌ها را کنترل کرد و اجزای مختلف آن را حرکت داد. سازه‌های متحرک به عنوان سازه‌هایی تاشو و قابل حمل در معماری متحرک قابل مشاهده هستند (تقی‌زاده و سنایی، ۱۳۹۱). ویژگی‌های معماری متحرک سبب انعطاف‌پذیری عملکردی در فضای معماری می‌شود. معماری متحرک به ویژه سقف‌های متحرک شرایط استفاده از فضاهای معماری در اقلیم‌های متنوع و حتی شرایط نامناسب جوی را میسر می‌سازند (احمدنژاد کریمی، ۱۳۹۲).

۴-۲ سازه متحرک

سازه‌های متحرک قادر به تغییر فرم و نوع عملکرد خود هستند. به عنوان یک سیستم سازه‌ای، آن‌ها یک ساختار تحمل‌کننده نیرو را فراهم کرده و به عنوان یک سیستم قابل حمل، قادر به ایجاد تغییرات برگشت‌پذیر در فرم خود هستند (آصفی و دیگران، ۱۳۹۶). سیستم سازه‌ای متحرک این توانایی را دارد، که کاربر با توجه به نیاز خود به سرعت تغییر شکل‌های لازم را به آن بدهد تا بتواند نتیجه نهایی را بر اساس رویکرد و نیازهای خود منطبق کند؛ برای مثال قابلیت سیستم‌های متحرک در ایجاد قابلیت تطبیق و پاسخگویی به تغییرات شرایط آب و هوایی محیط مانند باد، دما، نور و همچنین پاسخگویی به انطباق ساختمان در برابر تغییرات دراز مدت مانند شرایط محیطی در معماری شهری. سیستم سازه‌ای متحرک علاوه بر استفاده روی کل ساختمان، برای فضاهایی که در شرایط اضطراری ناشی از بلایای طبیعی مانند سیل و زلزله که نیاز شدید به سبکی، جابجایی و سرعت عمل در برپایی دارند، نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (عزیزمحمدی، ۱۳۹۶). چادرهای چادرنشینان با قابلیت جمع‌شدن و جابجایی در گروه سازه‌های متحرک هستند (تقی‌زاده و سنایی، ۱۳۹۱).

۵-۲ تاریخچه سازه‌های متحرک (پیش از انقلاب صنعتی)

خداوند در آیه ۸۰ سوره نمل فرموده‌است: "خدا برای سکونت موقت از پوست و موی چهارپایان، خیمه‌ها را برای شما قرار داد تا وقت حرکت و سکون سبک وزن و قابل انتقال باشد".

انسان‌های اولیه که در دشت‌ها می‌زیسته‌اند از ترکیب پوست و استخوان‌های اسکلت جانوران عظیم‌الجثه مانند ماموت‌ها، سرپناه‌های اولیه را به صورت سازه‌های باز و بسته شونده بنا نمودند، که در واقع نسل اول سازه‌های غشایی نیز بوده‌است؛ اما به مرور زمان سازه‌های باز و بسته شونده موقت (داربست) در اجزای بناهای سنگین (سنگی، خشتی و آجری) به کار گرفته شد (مشایخ‌فریدنی، ۱۳۹۲).

۱-۵-۲ سیاه‌چادر

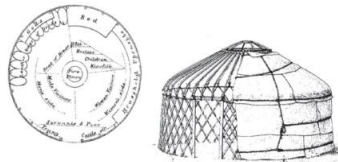
چادرها نمونه بارز معماری بومی بوده که توسط سازندگان ناشناخته، ساخته شده‌اند و بخشی از ریشه‌های معماری سنتی را شکل می‌دهند. چادرها اولین نوع سکونتگاه بشر نیستند، اما اولین نوع سکونتگاهی هستند که از پارچه به عنوان پوشش استفاده می‌کند (Faegre, 1979). سیاه‌چادرهای اولیه منتسب به بین‌النهرین هستند؛ اما قدمت سیاه‌چادرهای عشایر ایران به هزاران سال می‌رسد، هنگامی که کوچ‌نشینان آریایی از شمال سیبری به فلات ایران وارد و در آن ساکن شدند. پس می‌توان نتیجه گرفت که سیاه‌چادرهای اولیه، از نواحی آسیای شمالی و سیبری وارد خاورمیانه شده‌اند (Kronenburg, 1995). شکل ۱-۲، نمونه‌ای از سیاه‌چادر عشایر ایران است. در دیگر نقاط جهان نیز تمدن‌های چادرنشینی وجود داشته، که می‌توان به چادرنشینیان مناطق شمالی فرانسه اشاره کرد (Kronenburg, 1995). سیاه‌چادر را رج به رج از نخ حاصل از موی بز می‌بافند تا نوار ایجاد شود و از اتصال این نوارها بهم سیاه‌چادر کاملی تهیه می‌شود. ساختار سیاه‌چادر از غشای بافته‌شده، طناب‌های پیرامونی بافته‌شده از موی بز و ستون‌های اصلی داخلی چوبی که پوشش چادر را نگه می‌دارند، تشکیل شده‌است. سیاه‌چادر دیواره‌هایی مانند حصیر دارد که از چوب‌های نازک درخت سیب یا نی و نخ‌هایی از موی بز بافته می‌شود و دیواره‌های سنگی نیز در فصل سرد برای محفوظ ماندن از باد و باران استفاده می‌شود. سبک و قابل حمل بودن، سهولت نسبی در برپایی و جمع‌آوری از ویژگی‌های سیاه‌چادرهاست (روحی، ۱۳۹۵).



شکل ۱-۲ سیاه‌چادر عشایر ایران (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۲)

۲-۵-۲ یورت

یورت نوع آسیایی، تیپی آمریکای شمالی است. سرچشمه یورت ناشناخته است، اما عموماً در استپ‌های آسیای میانه از سیبری و مغولستان گرفته تا ایران و آناتولی غربی در ترکیه استفاده می‌شده‌است. یورت قرن‌ها بدون تغییر مانده، شکل ۲-۲، یورت مورد استفاده قبیله مغول را در حدود ۲۵۰۰ سال پیش نشان می‌دهد. یورت به راحتی قابل حمل و مناسب برای حرکت فصلی قبایل است، نصب آن کمتر از یک ساعت طول می‌کشد و در مناطق استپی، بیابانی و کوهستانی استفاده می‌شود. ساختار یورت متشکل از قطعات چوبی و پوشش نمدی است که چون قابلیت کششی کمی دارد، به سازه چوبی نگهدارنده نیاز دارد (امروزه از کرباس نیز برای پوشش استفاده می‌شود). یورت شامل ساختاری استوانه‌ای دارای یک قاب مشبک است که یک دیوار دایره‌ای را شکل می‌دهد و سقف بالای ساختار، گنبد قرقیزی یا مخروط مغولی است. قاب در و لولای پشمی کششی در اطراف دیوار، دیوار مشبک را به سازه پایدار، وصل می‌کند. دیوار به عنوان تکیه‌گاه سازه سقف است، این سازه تکیه‌گاهی قابی شکل، خودایستا بوده و پوششی شامل چندین لایه نمد را تحمل می‌کند. برای ایجاد پوششی ضدآب از چرم گوسفند استفاده می‌شود؛ ضمن همپوشانی اتصالات، تا هشت لایه می‌توان برای ساختن سقف ضدآب استفاده کرد. اتصالات با استفاده از طناب‌هایی در الگوی متقارن ایجاد می‌شوند (Kuusisto, 2008).



شکل ۲-۲ پلان و پرسپکتیو یک یورت مغولی با پوشش نمدی (Kuusisto, 2008)

۲-۵-۳ تیپی

در آمریکای شمالی چادرهای مخروطی شکل سرخپوستان قبیله سو، با نام تیپی با قدمت چندین هزار سال وجود دارند؛ تیپی‌ها شباهت زیادی به یورت‌ها دارند (سرکرده‌ئی و دیگران، ۱۳۸۹). مطابق شکل ۲-۳، تیپی سازه‌ای مخروطی است، که از تیرک‌های چوبی که در بالا به یکدیگر گره خورده‌اند و پوششی که از پوست حیوانات دوخته‌شده، ساخته شده‌است، در بالای تیپی سوراخی برای خروج دود و بهبود تهویه وجود دارد. تیپی‌ها قابل انتقال بوده، راحت برپا و برچیده می‌شوند و به سبب شکل مخروطی پایدارند (Gadacz, 2012).



شکل ۲-۳ چادر مخروطی شکل سرخپوستان (Gadacz, 2012)

۴-۵-۲ چتر

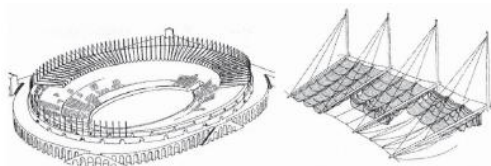
اصول ساختاری چترها شامل: یک غشای تحت کشش، یک میله نگهدارنده میانی و دنده‌هایی تحت فشار است. شکل ۴-۲، قدیمی‌ترین تصویر شناخته‌شده از یک چتر متعلق به قرن ۱۳ قبل از میلاد است، که در آن آشوربانیپال حاکم کشور آشور با یک چتر به عنوان سایه‌بان خورشیدی، دیده می‌شود و نشان می‌دهد که چترها برای مدت طولانی جلوه‌ای از قدرت و ثروت بوده‌اند (سرکرده‌ئی و دیگران، ۱۳۸۹). پس از آن می‌توان به نقش برجسته داریوش در یکی از ورودی‌های کاخ تجرا اشاره کرد که بالای سر آن یک سایه‌بان چتری شکل قرار داشته، که تاریخ آن حدود ۵۰۰ سال قبل از میلاد است. همچنین چینیان اولین کسانی بودند که از چتر نه به عنوان سایه‌بان بلکه به عنوان محافظ در برابر باران استفاده می‌کردند (جامعی، ۱۳۹۲).



شکل ۴-۲ راست: نقش برجسته داریوش (جامعی، ۱۳۹۲)، چپ: چتر آشوربانیپال (سرکرده‌ئی و دیگران، ۱۳۸۹)

۵-۵-۲ ولوم

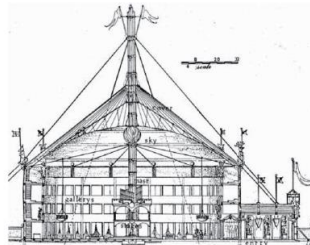
نزدیک ۲۰۰۰ سال پیش، رومیان قدیم از ترکیب ولا (جمع ولوم: سازه‌های سایه‌بانی) در تعدادی از زمین‌های ورزشی استفاده کردند، آمفی‌تئاتر روم باستان نیز با یک سقف چادری متحرک، با استفاده از این تکنولوژی که مشابه بادبان‌های کشتی است، پوشیده می‌شده‌است (مور، ۱۳۹۲)، (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۲). ولوم‌های رومی نوع اولیه تئاتر رومی مرکب از تیرهای چوبی و ترکه‌های عمودی است که با طناب به هم متصل می‌شدند، طناب‌ها می‌توانستند به طور موازی ما بین تیرها حرکت کنند. با کشیدن طناب‌ها، می‌توانستند زاویه قرارگیری سقف را با توجه به نور خورشید تغییر دهند، با توجه به طره‌ای بودن دستک‌ها از یک سازه کابلی برای تثبیت آن‌ها استفاده می‌شده‌است (مشکسار و روشن‌ضمیر، ۱۳۹۰). شکل ۵-۲ آمفی‌تئاتر رومیان را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲ آمفی‌تئاتر رومیان و جزئیات ولا (مور، ۱۳۹۲)

۶-۵-۲ چادر بارگاه سلطنتی

بارگاه‌های سلطنتی اروپا در قرون وسطی سهم خود را در توسعه معماری پارچه‌ای، از طریق توسعه ساختمان‌های موقت به منظور سرگرمی داشتند. بارگاه‌های دوره رنسانس و باروک اغلب میزبان اجراها بودند و با نمایش وقایع در سراسر امپراتوری قدرت خود را نشان می‌دادند. ساختارهایی موقت و قابل حمل با پارچه‌ای از مصالح مناسب، برای چنین اقداماتی مناسب بودند؛ توسعه تئاتر نیز به شدت تحت تأثیر بارگاه‌های اروپا بود. شکل ۶-۲، یک نمونه از بارگاه‌های سلطنتی اروپا مربوط به بارگاه سلطنتی هنری تئودور هشتم، پادشاه انگلستان در سال ۱۵۲۰ میلادی است. این چادر دایره‌ای مخروطی به قطر ۳۷ و ارتفاع ۴۰ متر بود که توسط دکل عظیم مرکزی و ریسمان‌های مهارکننده خارجی پایدار می‌شد (Kuusisto, 2008).



شکل ۶-۲ مقطعی از بارگاه هنری هشتم در شمال فرانسه (Kuusisto, 2008)

۷-۵-۲ طرح‌های داوینچی

مخترعان عصر رنسانس مانند لئوناردو داوینچی از سازه‌های متحرک در دستگاه‌ها و پل‌های متحرک و چترها استفاده می‌کردند (تقی‌زاده و سنایی، ۱۳۹۱). لئوناردو داوینچی مخترع ایتالیایی در قرن پانزدهم میلادی، مکانیزم‌های متعددی از جمله چند نمونه از پل‌های جمع‌شونده مطابق با شکل ۷-۲ و اغلب با کاربرد نظامی را در کتاب‌های خود بررسی نموده‌است (جامعی، ۱۳۹۲).



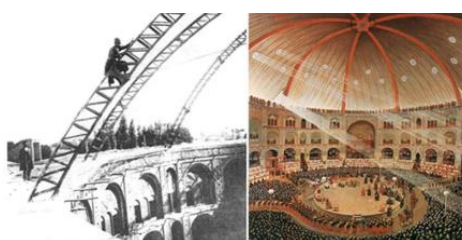
شکل ۷-۲ شبیه‌سازی یک پل گردان توسط داوینچی (جامعی، ۱۳۹۲)

۸-۵-۲ چادرهای جمع‌شونده تکایای ایران

احداث تکایا از دوره صفویه آغاز شد و در دوره قاجار به شکوفایی رسید (عنصری و کرم‌زاده‌شیرانی، ۱۳۹۲)، تکایا اغلب به صورت فضایی عمومی و روباز بودند که در مسیر گذرهای اصلی شهر قرار داشتند و در اعیاد اسلامی و ایام سوگواری به ویژه ماه محرم کاربرد خاص خود را پیدا می‌کردند، به همین دلیل معمولاً پوشش

چادری موقتی برای آن می‌ساختند که غالباً کاربرد سایه‌اندازی داشته‌است (متینی، ۱۳۹۳) و بهره‌وری فضای باز را در سرمای زمستان و گرمای تابستان بیشتر می‌کرده‌است (خاکی‌قصر، ۱۳۹۵). تکیه‌هایی نظیر تکیه دولت تهران، تکیه پهنه سمنان و تکیه بازار شاهرود از جمله این بناها هستند.

شکل ۸-۲، تکیه دولت تهران است که در زمان قاجار بنا شد، صحن مرکزی این تکیه را داربستی از الوار و تیرهای چوبی می‌پوشاند که با بست‌ها و تسمه‌های آهنی در هم چفت شده و روی دیوارهای بنا تعبیه شده بود و سقفی گنبدی را روی صحن شکل می‌داد که در مواقع ضروری چادر کرباسی ضخیمی روی آن می‌کشیدند (گلجان و افشاررضائی، ۱۳۹۳).



شکل ۸-۲ تکیه دولت تهران (خاکی‌قصر، ۱۳۹۵)

۲-۶ تاریخچه سازه‌های متحرک (انقلاب صنعتی و بعد)

۲-۶-۱ صنعت‌گرایی و امکانات جدید

پایان قرن ۱۸ و تحولات قرن ۱۹ اساس معماری پارچه‌ای را شکل می‌دهد، مصالح پارچه‌ای بیشتر در نیمه دوم قرن ۱۹ در معماری ظاهر شدند. انقلاب‌های صنعتی و اجتماعی قرن ۱۸ تحولاتی را ایجاد کردند. وضعیت جدید، چشم‌انداز جدیدی به وجود آورد، که معماری در جستجوی وسایلی جدید برای بیان این وضعیت بود. ساختمان‌های جدید، به جای معماری یادبود کلیساها، کاخ‌ها و فناوری جدید برای دستیابی به همه این موارد ایفای نقش می‌کردند. تالارهای بزرگ، ساختمان‌های اداری و مسکن خصوصی به وظایف جدید معماری تبدیل شدند. مهم‌ترین محیط برای توسعه آینده معماری پارچه‌ای، ساختمان‌های نمایشگاهی به عنوان انعکاس جامعه جدید سرمایه‌داری و امکانات آن و ساختمان کارخانه‌ها بودند، که اساس تولید را تشکیل می‌دادند. در این محیط‌ها تکنیک‌های جدید آزمایش و مواد جدید تولید شدند (Berger, 2005)، (Norberg-Schultz, 1980). تکنیک‌های ساخت با اختراع مصالح جدید بویژه در انگلیس، فرانسه، آلمان و آمریکا تکامل یافت. چدن و آهن در سال‌های ۱۷۶۷ و ۱۷۸۴ میلادی توسعه یافتند و به سرعت از راه آهن و ساخت پل تا استفاده در ساختمان‌ها پیش رفتند. در اواسط قرن ۱۹، آهن پیش‌ساخته به کالای مهم صادراتی تبدیل شد، اسکلت سازه‌ای و نمای شیشه‌ای دستاوردهای جدیدی بودند، ساخت و ساز بتنی از اواخر قرن ۱۸ توسعه یافت و مواد جدید، کابل‌های

چدنی و آهنی، استیل سازه‌ای و کابل‌های فولادی، بتن و شیشه، همگی به امکانات ساخت برای سازه‌هایی با دهانه بزرگ و کارآمد برای اهداف جدید معماری تبدیل شدند (Berger, 2005).

همزمان با توسعه مصالح و تکنیک‌های ساختمانی، نساجی به صنعتی در مقیاس بزرگ تبدیل شد. توسعه از انگلستان آغاز شد، تولید به ساختمان‌های ضدآتش و اختراع آسیاب‌های چند طبقه نیاز داشت. اولین اختراعات برای پوشش پارچه‌ای در قرن ۱۸ بود، دستگاه‌های نخ‌ریسی و بافندگی با قدرت بخار تا پایان قرن ۱۸ اختراع شدند. در ابتدا منسوجات از الیاف طبیعی و پوشش آن‌ها از روغن‌های مختلف بود و بعداً در قرن ۱۹ مخلوط لاستیکی بود؛ هدف اصلی تهیه پارچه‌های مقاوم در برابر آب و باد بود (Kuusisto, 2008).

۲-۶-۲ چادر سیرک

چادر سیرک نمونه‌ای از دوره صنعتی‌گرایی اولیه است. از نیمه دوم قرن ۱۹، این نوع سازه قابل حمل در اروپا و آمریکا توسعه یافت. اولین چادرهای سیرک به عنوان سرپناهی برای اجراکنندگان و تماشاچیان ساخته شدند. دو نوع اصلی از این سازه وجود دارد: نوع اول، سازه‌ای با تیر چوبی یا قاب فلزی مستقل است که روی آن یک پوشش، معمولاً کرباس، قرار می‌گیرد. نوع دیگر یک سازه کششی است که دارای یک سقف پارچه‌ای کششی و دکلی تکیه‌گاهی است. نوع قاب‌بندی‌شده در سایت‌های محدود شهری و زمین‌های سخت به خوبی کار می‌کند. در نوع دوم، چادرهای کششی برای مناطق باز بزرگ مناسب هستند، که سازه با دهانه بزرگتر را امکان‌پذیر می‌کند، اما برای ساخت سازه و مهار کردن آن به زمین نیاز است. دو نمونه مشهور این دو نوع سازه، چادر قابی سیرک پالیس و سازه کششی سیرک بارنوم و بیلی است (Kronenburg, 1995).



شکل ۹-۲ سیرک بارنوم و بیلی

۲-۶-۳ تحولات قرن بیستم و تأثیر بر سازه‌های متحرک

معماری مدرن در قرن بیستم با تحولات صنعتی و ماشینی شدن همراه بود، این تغییرات زمینه‌ای برای تحولات گسترده صنعت ساختمان بودند. جنبش فوتوریسم با موضوع سرعت و حرکت، انقلابی‌ترین نگرش نسبت به جهان مدرن بود، آنتونیو سانت‌الیا معمار این سبک با انتشار منشور فوتوریسم تأثیر عصر ماشین بر معماری را مطرح کرد. لوکوربوزیه معمار موثر دیگری در عصر مدرن، عبارت خانه ماشینی برای زندگی و پنج اصل برای معماری مدرن را مطرح کرد؛ همه این ایده‌ها بر مبانی نظری معماری انعطاف‌پذیر موثر بودند (قبادیان، ۱۳۹۳).

به دنبال این تحولات معماری پارچه‌ای قرن بیستم توسعه پیدا کرد. سازه‌های غشایی کششی سبک وزن پس از جنگ جهانی دوم به شدت توسعه یافتند، غشاها در سازه‌هایی استفاده می‌شدند که هیچ نقش باربری‌ای نداشتند. سایر کاربردهای مربوط به توسعه سازه‌های سبک وزن، اختراعات مربوط به حمل و نقل هوایی می‌باشد. همچنین مصالح غشایی و روکش‌ها در قرن بیستم به سرعت توسعه یافتند. تحولات استفاده از پارچه در معماری پس از جنگ جهانی دوم شتاب گرفت. استفاده گسترده از غشا و پارچه برای مقاصد نظامی علاقه به استفاده از این مواد را برای اهداف زندگی غیرنظامیان تحت تأثیر قرار داده است (Kuusisto, 2008).

۴-۶-۲ سازه‌های گسترش‌پذیر هوا و فضا

بعد از جنگ جهانی دوم، آمریکا به تحقیقات گسترده درباره سازه گسترش‌پذیر پرداخت. سازه‌های گسترش‌پذیر می‌توانند برای تحویل در اندازه کوچک جا بگیرند و قبل از استفاده دوباره به شکل اصلی خود باز شوند. مطالعه و توسعه سازه‌های گسترش‌پذیر در ابتدا در برنامه‌های کاربردی هوا و فضا وجود داشت. سازه‌های بزرگی مانند آنتن‌ها باید بسته‌بندی شوند تا پس از پرتاب و هنگام رسیدن به مدار یا سطح سیاره گسترش یابند. سازه‌های گسترش‌پذیر که در پاسخ به این موارد توسعه یافته‌اند، مزایای استفاده از حجم فشرده کم، مونتاژ سریع و سهولت استقرار را دارند (Melin, 2004). شکل ۱۰-۲، نمونه‌ای از یک سازه گسترش‌پذیر هوا و فضا است.



شکل ۱۰-۲ سیستم پوشش حفاظتی جمع‌شونده (جامعی، ۱۳۹۲)

۵-۶-۲ پژوهش‌های عصر حاضر سازه‌های متحرک

باک مینسترفولر آمریکایی مفهوم مربوط به قابلیت باز شدن سازه‌ها را به عنوان بخشی از تئوری خود مطرح کرد، که در توسعه سازه‌های باز و بسته شونده تأثیر بسزایی داشت (تقی‌زاده و سنایی، ۱۳۹۱). دو تن دیگر از پژوهشگران سازه‌های متحرک و تغییر شکل‌پذیر، امیلوپرز پینرو اسپانیایی و فرای اوتو آلمانی هستند. امیلوپرز پینرو از پیشگامان ساخت گنبدهای بازشونده، با استفاده از سازه‌های متحرک، تأثیری با این قابلیت طراحی کرد (تقی‌زاده و سنایی، ۱۳۹۱)، شکل ۱۱-۲ سازه طراحی شده توسط پینرو را نشان می‌دهد. اما استفاده جدی از سازه‌های متحرک در معماری با ظهور کار فرای اوتو در پی جنگ جهانی دوم شروع شد. او با استفاده از مدل حباب صابون، معماری را به استفاده از سازه‌های چادری و هوای فشرده ترغیب کرد (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۲). فرای اوتو، در سال ۱۹۶۴ انستیتو سازه‌های سبک وزن را، که به صورتی سامانمند روی سقف‌های جمع‌شونده

پژوهش می‌نمود، تأسیس کرد و دسته‌بندی جدیدی برای سقف‌های تغییرپذیر بیان نمود. در این دسته‌بندی میان ساختارهای صلب و غشایی نرم تمایز قائل شد و همراه با جهت حرکت، اشکال احتمالی سقف‌های تغییرپذیر را در یک ماتریس حرکتی خلاصه کرد (Walter, 2006).



شکل ۱۱-۲ سازه باز و بسته شونده پینرو (مشکسار و روشن‌ضمیر، ۱۳۹۰)

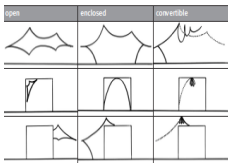
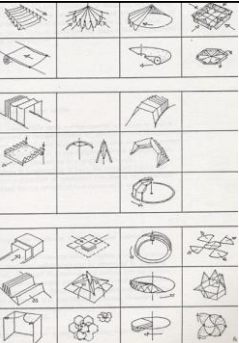
بدین ترتیب از اواسط دهه ۱۹۶۰ میلادی تا به امروز محققان گوناگونی از جمله مولائرت، هابرم، کالاتراوا، سرجیو پلگرینو پژوهش‌هایی در زمینه سازه‌های متحرک و انعطاف‌پذیر انجام دادند (جامعی، ۱۳۹۲). خلاصه دسته‌بندی سازه‌های متحرک پیش و پس از انقلاب صنعتی در جدول ۱-۲ و ۲-۲ آمده است.

جدول ۱-۲ دسته‌بندی سازه‌های متحرک پیش از انقلاب صنعتی (نگارنده)

نوع	مبدا	جنس	ویژگی	ساختار	تصویر
۱ سیاه‌چادر	بین‌النهرین، ایران، سبیری، آسیای شمالی	موی بز	قابلیت جمع‌شدن، حمل و نقل، سهولت و سرعت نصب	ستون‌های چوبی داخلی، چادر و طناب‌های پیرامونی بافته‌شده از موی بز	
۲ یورت	آسیای مرکزی، مغولستان، ایران، ترکیه	چوب، نمد	سهولت انتقال‌پذیری، سرعت نصب، همساز با اقلیم	ساختاری استوانه‌ای از قاب مشبک چوبی، سقف از گنبد قرقیزی یا مخروط مغولی، پوشش از نمد/چرم	
۳ تیپی	آمریکای شمالی	چوب، پوست حیوانات	قابلیت انتقال، پایداری به دلیل شکل مخروطی	سازه مخروطی شکل از تیرک‌های چوبی، پوشش غشایی از پوست حیوانات	
۴ چتر	آشور	-	سایه‌بان	غشای کششی، میله نگهدارنده میانی، دنده‌هایی تحت فشار	
۵ ولوم	روم	پارچه	سایه‌بان چادری باز و بسته شونده	تیرهای چوبی و ترکه‌های عمودی متصل با طناب، زاویه قرارگیری سقف قابل تغییر با کشیدن طناب	
۶ چادر بارگاه سلطنتی	اروپا	-	چادرهای موقت به منظور سرگرمی، قابل حمل	چادری دایره‌ای مخروطی، دکل عظیم مرکزی، پایداری با ریسمان‌های مهار کننده خارجی	

۷	طرح‌های داوینچی	ایتالیا	-	متحرک، جمع‌شونده	-	
۸	چادر جمع‌شونده تکایا	ایران	چادر کرباسی ضخیم	پوشش فضاهای باز و عمومی برای مراسم عزاداری، سایه‌اندازی	داربستی از الوار و تیرهای چوبی چفت شده با تسمه و بست آهنی بر روی دیوارها با پوششی از چادر	

جدول ۲-۲ دسته‌بندی سازه‌های متحرک پس از انقلاب صنعتی (نگارنده)

	نوع	مبدا	جنس	ویژگی	ساختار	تصویر
۱	چادر سیرک	اروپا، آمریکا	چادر معمولاً کرباس	متحرک، قابل حمل و نقل، پوشش فضاهای شهری محدود و فضاهای باز	۱- قباب فلزی یا چوبی خودایستا با پوشش پارچه ۲- ساختار کششی با دکل تکیه‌گاهی	
۲	سازه‌های گسترش‌پذیر هوا و فضا	آمریکا	-	حجم فشرده کم، مونتاژ سریع، سهولت استقرار	سازه گسترش‌پذیر قابل تا شدن در اندازه کوچک و باز شدن دوباره	
۳	سازه باز و بسته‌شونده پینرو	اسپانیا	ورف‌های نازک، غشای انعطاف‌پذیر	اولین سیستم پیچیده گسترش پذیر، پوشش فضای وسیع، ایجاد گنبد با دهانه بزرگ	سازه‌های مسطح و گنبدی شکل با استفاده از عضو سه مفصلی سازه‌ای و ایجاد مفصل قیچی و پوششی غشایی	
۴	دسته‌بندی سازه‌های متحرک مولائرت	هلند	سازه‌های کششی چادری	سایه‌اندازی، پوسته ثانویه، پوشش بناهای عمومی	دسته‌بندی سازه‌های چادری براساس محل قرارگیری و نحوه پوشش	
۵	دسته‌بندی سازه‌های متحرک فرای اوتو	آلمان	سازه‌های چادری و هوافشرده	-	ارائه ماتریس حرکتی سقف‌های تغییرپذیر	

۷-۲ دسته‌بندی سازه‌های متحرک

سازه‌های متحرک به دو گروه کلی قابل تقسیم هستند: ۱- سازه‌هایی با اسکلت ثابت و پوشانه متغیر و متحرک.

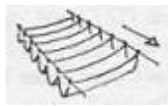
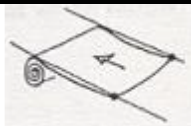
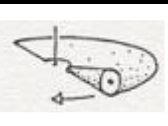
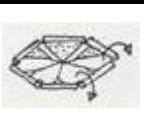
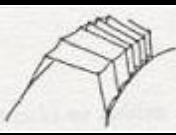
۲- سازه‌های متحرکی که کل سازه در حرکت است.

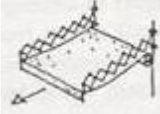
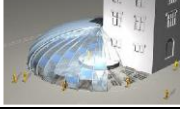
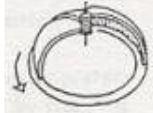
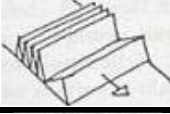
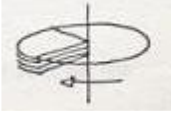
انواع مختلفی از سازه‌های متحرک بسته به شرایط، دلایل مختلف و استفاده‌های متفاوت مانند: ۱- کاربری، ۲- شرایط محیطی، ۳- شرایط منطقه‌ای (محیطی پروژه)، ۴- شرایط مدیریتی و کنترلی در مجموعه، ساخته می‌شوند (روشنی و دیگران، ۱۳۹۴). سیستم‌های متحرک قابلیت تغییر شکل دارند و نوع تغییرات بر اساس نوع حرکت است، که شامل سیستم‌های افقی، عمودی، مفصلی، تاشو، انبساط‌یافته و ترکیبی است. عملکرد این سیستم‌ها و نوع تغییر شکل آن بر اساس اسکلت سازه و صلب است، هر تغییر باعث واکنشی در سازه می‌شود (کمریان و صادقی‌پور، ۱۳۹۸).

۱-۷-۲ دسته‌بندی فرای اوتو برای سازه‌های متحرک

اولین عاملی که فرای اوتو برای تقسیم‌بندی خود در نظر گرفت تفاوت‌های ساختاری پوشش متحرک بود. بنابراین ساختار اصلی را به دو بخش انعطاف‌پذیر و صلب تقسیم کرد، سپس عملکرد این ساختار را در سازه سقف مورد بررسی قرار داد (Walter, 2006). جدول ۲-۳ ماتریس حرکتی فرای اوتو را بیان می‌کند.

جدول ۲-۳ دسته‌بندی آسمانه‌های متحرک (Walter, 2006)

سیستم ساخت	نوع حرکت	جهت حرکت			
		موازی	مرکزی	دوار	محیطی
ترکیب غشای سازه تکیه‌گاهی ایستا	خوشه‌ای				
					
		(۱) تالار شهر وین اتریش	(۲) میدان مسابقات زاراگوزا		
ترکیب غشای سازه تکیه‌گاهی	غلتکی				
					
		(۳) رستوران آگلدتر وشتلفینگن			
ترکیب غشای سازه تکیه‌گاهی	لغزشی				
					
		(۴) سقف پیاده‌راه متزگرگاس			(۵) ورزشگاه ویمبلدون

					
				تاشونده	
	۸) پناهگاه موقت ریکاور	۷) چترهای مسجدالنبی	۶) سقف اقامتگاه سالزبورگ		
					
				چرخشی	
	۹) سقف قلعه هویزنشتم				
				لغزشی	
				تاشونده	
				چرخشی	

یک پوشش انعطاف پذیر مانند چادر می تواند دارای دو عملکرد سازه ای و پوشاننده ای باشد و یا فقط یک پوشش ساده غیرسازه ای باشد، که توسط سازه اصلی نگه داشته می شود. فرای اوتو دو فاکتور اساسی هندسه یعنی جهت و نوع حرکت پوشش را نیز در تقسیم بندی در نظر گرفت. یک پوشش می تواند موازی، مرکزی، دوار، محیطی به حرکت درآید. منظور از نوع حرکت نحوه جمع شدن پوشش بوده که بسته به جنس آن به شکل های خوشه ای، لغزشی، تاشونده و چرخشی است. این دسته بندی در مورد سقف های باز و بسته شونده نسبتاً کامل بوده اما کاستی های نیز دارد، به عنوان مثال در بخش ترکیب غشا و سازه تکیه گاهی متحرک نوع حرکت لغزشی و نحوه جمع شدن محیطی، هیچ الگویی ارائه نشده، در صورتی که مثال های متنوعی موجود است؛ مانند استادیوم فونیکس آمریکا و استادیوم ویمبلدون لندن (روشنی، ۱۳۹۴)، (Walter, 2006).

۸-۲ عوامل موثر در معماری متحرک

عوامل تأثیرگذار بر معماری متحرک در جدول ۴-۲ شرح داده شده است.

جدول ۴-۲ عوامل موثر در معماری متحرک (نگارنده)

(روشنی و دیدگان، ۱۳۹۴)	هندس عامل مهمی در شکل گیری نوع مصالح مورد استفاده و نحوه ارتباط بین اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای است. از عوامل تأثیرگذار هندسی، نوع حرکت یک سازه متحرک بوده که شامل تاشوندگی، باز شدن و گسترش یافتن، لغزیدن، خوشه‌ای شدن، چرخیدن و غلتیدن است. دیگر فاکتور هندسی تأثیرگذار، جهت حرکت بوده، که چهار مورد اصلی آن بر اساس نظریه اوتو جهت موازی، مرکزی، دوار و محیطی است. اکثر عوامل هندسی تغییر شکل به دو صورت خرد با جزئیات متحرک یا کلی تقسیم می‌شوند.	هندسه تغییر شکل
	ساختارهای تغییر شکل پذیر می‌توانند هم در اجزای خرد ساختاری و هم در کلیت سیستم ایجاد شوند. این ساختارها مزایای بسیاری مانند کاهش حجم و از بین بردن دید مزاحم، سهولت حمل و نقل را دارند.	تغییر شکل پذیری
	به طور کلی مصالح مورد استفاده در دو بخش اصلی مصالح انعطاف‌پذیر و صلب قابل طبقه‌بندی هستند. ویژگی‌های مصالح و نحوه اتصال آنها به یکدیگر، در انتخاب نوع حرکت، سیستم عامل و جهت حرکت بسیار تأثیرگذار است.	مصالح
	این سطوح متشکل از یک پوسته یا پوشش بوده که دیواره پیرامونی محوطه فضای داخلی را تأمین می‌کند. اغلب سطوح نیازمند فراهم شدن درجات مختلفی از پایداری سازه‌ای، انتقال بارها، مقاومت در برابر آب، عایق بودن در برابر بخار و صوت و کنترل نور روز هستند. سطوح باید در برابر تمامی بارهای وارده باد و برف مقاومت کرده و آن‌ها را به سازه یا تکیه‌گاه انتقال دهند. سطوح می‌توانند بخشی از سازه اولیه بوده و یا به عنوان سازه ثانویه عمل کنند، ساختار آن‌ها نیز می‌تواند منعطف، صلب یا مرکب باشد. سطوح تغییر شکل پذیر می‌توانند مانند سازه‌های تغییر شکل پذیر دسته بندی شده و در دو گروه اصلی سطوح جنبشی و سطوح غیرجنبشی طبقه‌بندی شوند. تمامی سطوح انعطاف‌پذیر ذاتاً تغییر شکل پذیر بوده و این ویژگی آن‌ها را برای سیستم‌های متحرک ایده‌آل می‌سازد.	سطوح پوشاننده
	اغلب پوشش این سازه‌ها از مصالحی است که به آسانی قابلیت تغییر شکل دارند، به همین دلیل بیشتر از پوشش‌هایی مانند سازه‌های پارچه‌ای مسلح، فایبرگلاس، تفلون و قطعات فلزی نظیر قطعات آلومینیومی استفاده می‌شود؛ از لحاظ عملکردی نیز به پوشش‌های متحرک و ثابت قابل تقسیم‌اند. همه پوشش‌های نرم، قابل تغییر شکل بوده، لذا بیشترین استفاده در مصالح، پوشش‌های نرم است که به راحتی باز و بسته می‌شوند. نوع مصالح مورد استفاده می‌تواند در این سازه‌ها مهم باشد، مصالح مورد استفاده در دو بخش مصالح انعطاف‌پذیر و صلب طبقه‌بندی می‌شوند. ویژگی‌های مصالح و نحوه اتصال آن‌ها به هم در انتخاب نوع حرکت، سیستم عامل و جهت حرکت بسیار تأثیرگذار است.	نوع پوشش

۹-۲ سازه‌های باز و بسته شونده

سازه‌های باز و جمع‌شونده زیرمجموعه‌ای از سازه‌هایی هستند که قطعات پیش‌ساخته یا المان‌هایی باز و بسته شونده دارند، که به سرعت و سهولت قابل نصب بوده و می‌توان آن‌ها را به راحتی برای استفاده مجدد جمع‌آوری کرد، ضمن این که توانایی حمل بار را دارند و در زمان کوتاهی حرکت کرده و یا جابجا می‌شوند تا از هر دو حالت سقف باز یا بسته استفاده شود (Ishii, 2000)، (Hebbelinck et al, 2004)، (احمدنژادکریمی و حق‌پرست، ۱۳۹۱). این سازه می‌تواند در شرایط خاص و نامناسب جوی بسته شود تا کاربران از باران، برف، باد، سرما و گرما محافظت شوند. همچنین دید به آسمان، نور و جریان طبیعی هوا می‌تواند توسط کاربران در زیر سازه تجربه شود (Ishii, 2000). سازه‌های باز و بسته شونده مانند بسیاری از ساخته‌های بشر با الهام و الگوبرداری از طبیعت شکل گرفته‌اند. در طبیعت همیشه همه چیز در حال تغییر، تحول و حرکت است و حرکت با باز و بسته شدن و تغییر حالت اندام‌های حرکتی اتفاق می‌افتد (مشایخ‌فریدنی، ۱۳۹۲). یکی از موارد مهم در معماری همواره پوشش فضا بوده و نوع پوشش بر اساس اقلیم و مصالح در دسترس، متنوع است؛ در

سقف‌های باز و بسته شونده با توجه به شرایط اقلیمی و محیطی، بخشی از سقف و یا کل آن در زمان کوتاهی به حالت باز یا بسته درمی‌آید. جدول ۵-۲، برخی از مزایا و موارد استفاده سازه‌های باز و بسته شونده است.

جدول ۵-۲ موارد استفاده و مزایای سازه‌های باز و بسته شونده (آصفی و دیگران، ۱۳۹۵)

مزایای استفاده	موارد استفاده
پیش ساخته بودن	پروژه‌های اسکان موقت
سبک و کم حجم بودن سازه در حالت جمع شونده	ساختمان‌ها و سرپناه‌ها در نقاط دوردست و صعب‌العبور
سهولت حمل و نقل	پل‌های اضطراری
سریع‌النصب بودن	سرپناه اضطراری
نیاز به نیرو، تخصص و تجهیزات کم برای نصب و برچیدن	گنبد‌ها یا چلیک‌های کروی و سهموی ثابت یا متحرک
قابلیت جمع آوری و انتقال و نصب مجدد	سرپناه‌های محافظ موقتی عملیات راه‌سازی
قابلیت استفاده در ابعاد و دهانه‌های مختلف	انبارها، مخازن و تعمیرگاه‌های سهل‌الحصول موقت یا دائمی
تنوع در شکل و طرح	جرثقیل‌ها، پله‌ها، برج‌ها و دکل‌های بازشو و جمع شونده
چند منظوره بودن	سرپناه به عنوان سایه‌بان یا محافظت در برابر بارندگی

۱-۹-۲ اجزای تشکیل‌دهنده سازه‌های باز و بسته شونده

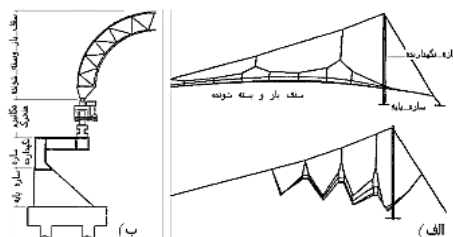
سازه سقف‌غشایی باز و بسته شونده و گسترش‌پذیر از چهار قسمت اصلی، مطابق شکل ۱۲-۲ تشکیل می‌شود:

۱- سازه پایه: بخشی از سازه سقف، انتقال‌دهنده نیروهای منتقل‌شده به سازه نگهدارنده به تکیه‌گاه، نوع سازه پایه به سازه نگهدارنده و نوع تکیه‌گاه بستگی دارد.

۲- سازه نگهدارنده: انتقال‌دهنده بار وزن سقف به سازه پایه، متشکل از کابل‌های کششی و اسکلت قابی، استحکام پوشش غشایی به سازه نگهدارنده بستگی دارد.

۳- پوشش سقف

۴- مکانیزم حرکتی (احمدنژادکریمی و حق‌پرست، ۱۳۹۱).



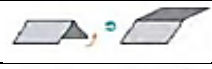
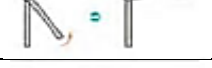
شکل ۱۲-۲ سقف باز و بسته شونده غشایی: الف) سازه نگهدارنده از نوع کابل کششی، ب) سازه نگهدارنده از نوع اسکلت قابی (احمدنژادکریمی و حق‌پرست، ۱۳۹۱)

۲-۹-۲ نحوه حرکت و مکانیزم‌های مختلف سازه‌های باز و بسته شونده

پیشرفت تکنولوژی ساخت و تولید مصالح سبک وزن، منجر به افزایش نوآوری در طراحی سازه‌های باز و بسته شونده و گسترش کاربرد آن‌ها شده‌است (کمریان و صادقی‌پور، ۱۳۹۸).

طراحی و اجرای تغییر شکل‌های گوناگون برای سازه‌های تغییر شکل‌پذیر با به کارگیری مکانیزم‌های مختلف تغییر شکل برای اعضای این سازه‌ها امکان‌پذیر می‌شود. در طراحی یک سازه با قابلیت تغییر شکل، از یک یا ترکیبی از مکانیزم‌ها جهت رسیدن به اهداف پروژه استفاده می‌شود. به کارگیری هر یک از مکانیزم‌ها و یا ترکیب آن‌ها صرفاً برای پاسخ به نیازهای فرمی نیست، بلکه پارامترهای دیگری نیز در استفاده از آن‌ها موثر است. عواملی چون هندسه طرح، مصالح سازه‌ای و پوشانه‌های مناسب، شرایط اقلیمی، ویژگی‌های ابعادی طرح، نوع کاربری، میزان تغییر شکل، امکانات اجرایی، هزینه‌های اجرا و نگهداری و قابلیت جابجایی، پارامترهایی هستند، که علاوه بر نیازهای فرمی پروژه در انتخاب مکانیزم‌های تغییر شکل تأثیر گذارند. طبق جدول ۶-۲، مکانیزم‌های تغییر شکل به دو شیوه قابل تقسیم‌اند: ابتدا از نظر نوع حرکت و جابجایی مکانیکی اعضا سازه‌ای تغییر شکل‌پذیر و سپس از نظر فعال یا غیر فعال بودن که براساس عملکرد و مسائل زیبایی‌شناسی است. از نظر شیوه و نوع حرکت مکانیکی، مکانیزم‌ها به هشت نوع اصلی تقسیم می‌شوند (روشنی و دیگران، ۱۳۹۴).

جدول ۶-۲ انواع دسته‌بندی مکانیزم‌های تغییر شکل‌پذیر (روشنی و دیگران، ۱۳۹۴)

عملکرد و مسائل زیبایی‌شناسی	حرکت و جابجایی مکانیکی
فعال (Active)	قیچی (Scissor-type) 
	تاشدن (Folding) 
	چرخشی (Rolling) 
	لغزشی (Sliding) 
غیرفعال (Passive)	پنوماتیک (Pneumatic) 
	تنسگریتی (Tensegrities) 
	کششی (Tensile) 
	تو در تویی (Nesting) 

هدف از طراحی مکانیزم‌های فعال، ایجاد تغییر شکل‌های کنترل‌شده در سازه‌های تغییر شکل‌پذیر است. این سیستم کنترلی با استفاده از آرایش مناسب مجموعه‌ای از سنسورهای بخش‌های مختلف سازه، داده‌ها را از محیط جمع‌آوری کرده و پس از پردازش داده‌های دریافتی، براساس شرایط محیطی سازه و نیاز کاربران، دستورات لازم برای حرکت مکانیکی اعضا و تغییر شکل سازه را صادر می‌کند (روشنی و دیگران، ۱۳۹۴).

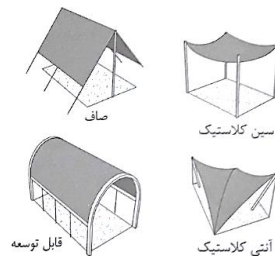
۳-۹-۲ زمان باز و بسته شدن در سازه‌های باز و بسته شونده

با توجه به شرایط جوی دو نوع سازه سقف باز و بسته شونده وجود دارد؛ نوع اول سازه‌هایی هستند که بیشتر اوقات بسته‌اند و فقط در زمان‌های خاصی باز می‌شوند (زمانی که هوا مساعد است)، نوع دوم سازه‌هایی هستند که بیشتر اوقات بازند و فقط در شرایطی که هوا نامساعد است بسته می‌شوند. به طور کلی در سازه‌های باز و بسته شونده با توجه به تفاوت در هدف و کاربرد، تعداد دفعات باز و بسته شدن با یکدیگر متفاوت است. این سازه‌ها را با توجه به کاربرد و دفعات باز و بسته شدن می‌توان به موارد زیر تقسیم کرد: ۱- دو بار در سال؛ باز در تابستان و بسته در زمستان، ۲- بیشتر به صورت بسته و گاهی باز. ۳- بیشتر به صورت باز و گاهی بسته، ۴- به دفعات به صورت باز و بسته (احمدنژادکریمی، ۱۳۹۲).

۱۰-۲ سازه غشایی (پارچه‌ای)

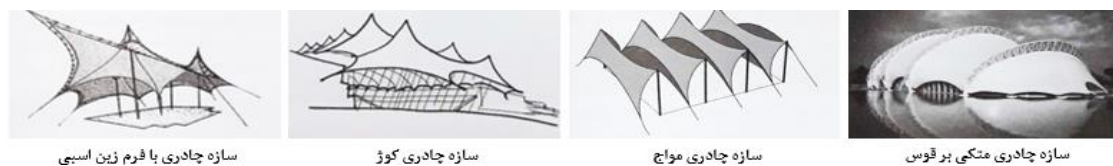
سازه غشایی، که سازه پارچه‌ای و سازه چادری نیز نامیده می‌شود، غشایی است یکپارچه و نازک که می‌تواند بارهای وارده را تحت کشش تحمل کند و معمولاً به وسیله یک ستون یا قوسی فشاری نگه داشته می‌شود. چادر نوعی متفاوت از سازه کابلی با انحنای مضاعف است که در آن فاصله بین کابل‌ها کاهش یافته و به صفر رسیده و سطح آن یک پوسته پیوسته شده‌است. این سطوح با حداقل مساحت کارایی زیادی داشته و از بسیاری سیستم‌های دیگر به مصالح کمتری نیاز دارند، همچنین با افزایش طول دهانه، نیروی کششی پوسته افزایش می‌یابد (مور، ۱۳۹۲)، (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۴). سازه‌های غشایی به دلیل رفتار کششی خالص در برابر نیروها، زیرمجموعه‌ای از سازه‌های کششی محسوب می‌شوند، به علت هندسه فضایی سه بعدی به سازه‌های فضاکار تعلق دارند و به خاطر سبکی وزن در گروه سازه‌های سبک قرار می‌گیرند (محمدی و اسداللهی، ۱۳۹۴). سازه‌های چادری می‌توانند از غشاهای پارچه‌ای ساخته شوند، یا سطحی باشند که به وسیله یک شبکه کابلی شکل گرفته‌است. غشاهای پارچه‌ای همزمان سازه و پوشش مقاوم در برابر بارهای وارده و شرایط جوی را تأمین می‌کنند (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۴)، یعنی در سازه‌های چادری فرم معماری و عملکرد سازه‌ای یکی است. در این سازه از ستون‌های مرکزی (قارچی شکل) به عنوان تکیه‌گاه استفاده می‌شود ولی ممکن است از قوس‌ها یا سازه‌های ترکیبی فشاری نیز برای تأمین تکیه‌گاه عمودی استفاده شود. کابل‌های زنجیرواره می‌توانند در کنار ستون‌ها برای نگهداری خط‌الرأس چادرها در چندین نقطه به طور معلق طراحی شوند (مور، ۱۳۹۲). دو نوع از سازه‌های چادری که بر پایه ماهیت تنش‌های داخلی شکل گرفته‌اند، وجود دارد. شبکه‌های کابلی یا غشاهای منحنی شکل که فقط با وزن خود کشیده می‌شوند؛ صندلی گهواره‌ای به این گروه تعلق دارد، و شبکه‌های کابلی یا غشاهای پیش تنیده که برای تحمل بارهای خارجی مانند برف و باد از قبل تحت کشش قرار گرفته‌اند؛

چتر به این گروه تعلق دارد. مانند شکل ۱۳-۲، چادرها ممکن است اشکال متنوعی مانند تک‌انحنایی، سین‌کلاستیک، آنتی‌کلاستیک به خود بگیرند (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۴).



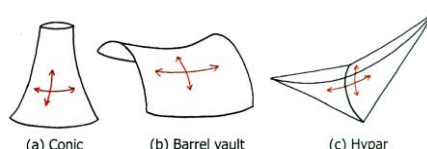
شکل ۱۳-۲ انواع مختلف سازه‌های چادری (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۴)

فرای اوتو سازه‌های چادری را بر اساس شکل یا نوع تکیه‌گاه به گروه‌هایی تقسیم کرد، طبق شکل ۱۴-۲ این طبقه‌بندی‌ها عبارتند از آنتی‌کلاسیک یا زین‌اسبی، موج، متکی بر قوس و کوژ (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۴).



شکل ۱۴-۲ تقسیم‌بندی فرای اوتو (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۴)

پارچه‌های معماری از نخ‌های بافته‌شده با روکش مقاوم در برابر آب تشکیل شده‌اند. آنها سختی‌های خمشی و فشاری ناچیزی دارند. از این رو سازه‌های پارچه‌ای با انحنای کافی طراحی شده‌اند تا در برابر بارهای محیطی به عنوان نیروهای کششی در صفحه پارچه مقاومت کنند. شکل سایه‌بان پارچه‌ای برای مقاومت در برابر بارهای اعمال شده در کشش بسیار حیاتی است. برای مقاومت در برابر نیروهای رو به بالا و رو به پایین (معمولاً به دلیل باد و برف) سطح سایه‌بان باید دارای انحنای مضاعف باشد. از شکل‌های مخروطی یا زین‌اسبی، با بهره‌گیری از انحنای مضاعف ذاتی آن‌ها، غالباً برای دستیابی به این هدف استفاده می‌شود. برای استفاده از یک صفحه تخت برای ایجاد یک سطح با انحنای مضاعف، غشاها باید دچار تغییر شکل برشی شوند. سازه‌های پارچه‌ای باید پیش‌کشیده شوند تا اطمینان حاصل شود که پارچه تحت هر شرایطی در کشش باقی می‌ماند و پیچش را کاهش می‌دهد. وزن کم پارچه به این معنی است که بار گرانش یا بار وزن اغلب ناچیز است. در نتیجه، پارچه کششی اغلب از لحاظ سازه‌ای کارآمدتر و مقرون به صرفه‌تر برای سقف‌های دهانه بزرگ نسبت به روش‌های ساخت معمولی است (Bridgens et al, 2005). اشکال منحنی مضاعف مطابق شکل ۱۵-۲ است.



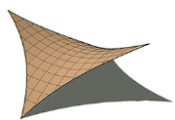
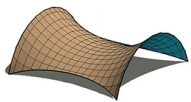
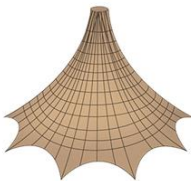
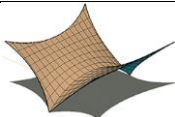
شکل ۱۵-۲ شکل‌های منحنی مضاعف (Bridgens et al, 2005)

شکل غشایی به ابعاد سازه نیز مربوط است. دهانه‌های کوچک نسبت به دهانه‌های بزرگ به اشکال مختلفی نیاز دارند؛ مثلاً بادبان ساده چهار نقطه‌ای یکی از کارآمدترین و سبک‌ترین راه‌حل‌ها برای دهانه‌های ۲۰-۱۵ متر است. این شکل به ارتفاع بیشتری نیاز دارد، که باعث می‌شود بارهای نقطه‌ای زیادی روی تکیه‌گاه‌ها جمع شود و عملکرد معماری خود را به عنوان پناهگاه برای دهانه‌های بزرگ از دست بدهد. برای سازه‌های غشایی با دهانه بزرگ، باید مرزهای خطی داخلی مانند تیزه‌ها، دره‌ها یا حلقه‌هایی وجود داشته باشد که توسط تیرهای داخلی یا دکل‌ها پشتیبانی شوند یا از تکیه‌گاه‌های خارجی معلق شوند (Forester & Mollaert, 2004). سایه‌بان پارچه‌ای یکی از قدیمی‌ترین شکل‌های پوشش سقف و هزاران سال است که از نوع سنتی آن برای ساخت استفاده می‌شود. با این حال، سازه‌های پارچه‌ای مدرن با استفاده از مواد مصنوعی تنها در حدود چهل سال است که مورد استفاده قرار می‌گیرند. سازه‌های پارچه‌ای امکان ساخت شکل‌های قابل توجهی را دارند، که منحصر به فرد برای این نوع ساخت و سازها است (Bridgens et al, 2005).

۱-۱۰-۲ فرم سازه‌های غشایی

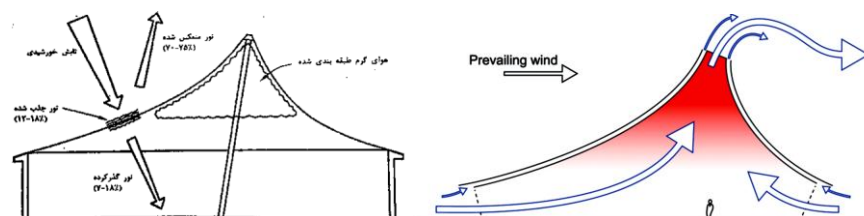
تنوع فرم یکی از مشخصه‌های اصلی سازه‌های غشایی کششی است. باید در طراحی معماری سازه‌های غشایی، فرم پارچه را بخشی از سیستم سازه‌ای و باربری سازه‌های چادری دانست. در طراحی سازه‌های چادری باید تلاش نمود تا بیشتر از اینکه سازه غشایی نقش یک پوشانه را داشته باشد، نقش یک عنصر سازه‌ای واقعی و یک سقف یا سازه غشایی باربر را ایفا کند (Asemaneh.com). جدول ۷-۲، فرم‌های متداول سازه غشایی است.

جدول ۷-۲ فرم‌های متداول سازه غشایی (Asemaneh.com)

نوع	توضیح	تصویر
زین اسبی	در شکل آنتی کلاسیک زین اسبی سازه چادری، انحنا ی سطح سازه پارچه‌ای با استفاده از تکیه‌گاه‌های پیرامونی که همه آن‌ها در یک صفحه نیستند ایجاد می‌شود و به کمک این تأمین انحنا در هر دو جهت داخل و خارج در تمام نقاط سطح پارچه‌ای سازه چادری، پایدار و باربر می‌شود. به دلیل حداقل مصرف سازه فولادی اقتصادی‌ترین و ارزان‌ترین حالت سازه چادری است.	
قوسی	یکی از فرم‌های متداول در سازه‌های پارچه‌ای، فرم‌های قوسی است. در این فرم‌ها معمولاً از دو قوس با انحنا ی مخالف در دو جهت استفاده می‌شود تا مقاومت سازه چادری در مقابل بارهای ثقیل و مکشی باد تأمین شود. در این نوع از سازه‌های چادری به دلیل استفاده زیاد از عناصر فولادی، سازه چادری طراحی شده (نسبت به سایر فرم‌های سازه‌های غشایی) گران‌تر خواهد بود.	
مخروطی	سازه چادری مخروطی بهینه‌ترین و پایدارترین فرم باربری را در بین سازه‌های چادری دارد. سازه چادری مخروطی متصل به پایه مرکزی، از متداول‌ترین و بهینه‌ترین حالات سازه چادری است. سازه‌های چادری مخروطی هم بصورت منفرد و هم به شکل چند مخروطی با قوس‌های بهم پیوسته یا مخروط‌های معکوس و ترکیب با سایر فرم‌های سازه چادری به کار می‌رود. در طراحی سازه‌های چادری مخروطی شکل در صورت نیاز به محدود نشدن زاویه دید زیر سازه چادری، می‌توان پایه مرکزی سازه چادری را حذف و ستون سازه مخروطی را بطور معلق (یک تیرک معلق زیر سازه چادری) اجرا نمود.	
تیزه و دره	یکی از فرم‌های مناسب و کارآمد در سازه‌های پارچه‌ای، این فرم سازه چادری است که متشکل از فرورفتگی و برآمدگی‌های متناوب است. در این حالت از سازه چادری برای ایجاد انحنا و خطوط تیز از کابل‌های پیش‌کشیده شده استفاده می‌شود.	

۲-۱۰-۲ ویژگی حرارتی سازه‌های غشایی

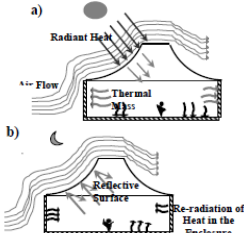
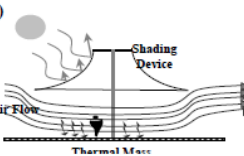
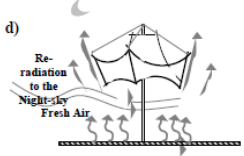
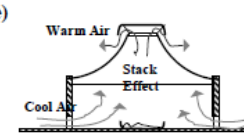
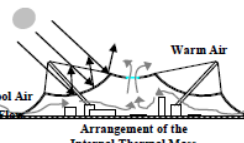
حفاظت حرارتی از فضای تحت پوشش سازه‌های غشایی به دلیل ضخامت نازک آن‌ها، مشکل بزرگی است (kostic et al, 2018). سازه غشایی سبک و نازک بوده و ظرفیت حرارتی بسیار کمی دارد، این بدان معنی است که، در مقایسه با مصالح ساختمانی معمولی، غشا بسیار سریع به ورودی‌های گرمای خارجی مانند تابش خورشیدی واکنش نشان می‌دهد. تغییرات تابش خورشیدی سبب نوسانات دما بر روی غشاها می‌شود، مبادله گرمای تابشی و همرفتی در سطح غشا اثر می‌گذارد. اغلب ارتفاع زیاد سقف غشایی نیز موجب تجمع هوای گرم شناور در نقاط مرتفع سازه و تشکیل لایه‌های خنک‌تر در مناطق پایین می‌شود. هوای گرم در سطوح بالا می‌تواند از طریق منافذ سطح بالایی تخلیه شود و یک جریان هوای خنک‌کننده در منطقه ساکن پایین توسط اثر دودکشی، مانند شکل ۲-۱۶ ایجاد کند (Wilson et al, 2007).



شکل ۲-۱۶ راست: اثر دودکشی (Forester & Mollaert, 2004)، چپ: کارایی انرژی خوب غشا همراه لایه‌بندی حرارتی هوا در اقلیم گرم و خشک (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۰)

در روزهای آفتابی، دمای سطح سقف غشایی، بسیار بیشتر از سطح کف زیرین خود است. این عامل همراه با تمایل هوای گرم به بالا آمدن و طبقه طبقه شدن مستقیم آن زیر غشا -در ناحیه‌ای بالای سر استفاده‌کنندگان- منجر به افت دمای ۵ درجه سانتیگراد یا بیشتر میان ترازهای بالایی و پایینی داخل فضا می‌شود. این رفتار ممکن است در اقلیم‌های آفتابی و گرم با وجود میزان عایق‌بندی کم غشاها به طور باورنکردنی منجر به آسایش بالایی در زیر سقف‌های غشایی شود. شکل ۲-۱۶ این موارد را نشان می‌دهد (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۰). پوشش اکثر مواد غشایی بازتاب بالایی از تابش خورشیدی (معمولاً بین ۶۵٪ تا ۸۰٪) دارد و می‌توان از آن‌ها برای سایه‌اندازی مؤثر استفاده کرد. همراه با توانایی آن‌ها برای پوشاندن فضاهای بزرگ با حداقل امکانات، سازه‌های غشایی بویژه برای سایه‌اندازی مناسبند. اثر خنک‌کنندگی سایه باید با ایجاد تهویه طبیعی، با استفاده از جریان هوا یا باد در زیر سازه تقویت شود. اگر پناه از باران مد نظر نباشد، استفاده از پارچه‌های متخلخل می‌تواند با گردش جریان باد از طریق پارچه، خنک‌کنندگی را افزایش دهد (Forester & Mollaert, 2004). در جدول ۲-۸، برخی از حالات مختلف آسایش زیر سازه غشایی بررسی شده‌است.

جدول ۸-۲ حالات مختلف آسایش داخلی یا زیر سازه غشایی (Elnokaly et al, 2002)

در زمستان سازه‌های پارچه‌ای باید محکم باشند تا از باد غالب جلوگیری کنند مانند مورد a و b. استفاده از جرم حرارتی، مانند دیوارها و کف‌ها برای ذخیره گرما در طول روز و انتشار مجدد آن‌ها در شب به فضای محصور مناسب است. در عین حال باید از تابش مجدد گرمای جذب شده در روز، به آسمان شب جلوگیری کرد. داشتن سطح غشایی بسیار بازتابنده داخلی و فرم خود سازه می‌تواند به این امر کمک کند. این مورد می‌تواند به عنوان سایه‌بان در آب و هوای گرم که گرمای خورشید بسیار زیاد است استفاده شود.	
آزمایش‌های اولیه تونل باد از طریق مشاهده دقیق جریان هوا نشان می‌دهد که هوا به محض ورود به سازه، به سمت پایین خم می‌شود، این امر می‌تواند به طور موثری در القای جریان هوا در سازه‌های غشایی پارچه‌ای در آب و هوای گرم استفاده شود، مانند مورد c که می‌تواند برای تهویه طبیعی نیز مورد استفاده قرار گیرد.	
استفاده از سایه‌بان‌های قابل جمع شدن یا پارچه‌ها در آب و هوای گرم می‌تواند بسیار مفید باشد زیرا باز کردن سازه در شب امکان تهویه متقابل را فراهم کرده و همچنین گرمای جذب شده در طول روز را به آسمان شب بازتاب می‌کند. از چشمه‌ها و استخرها می‌توان در کنار این سازه برای خنک‌کنندگی استفاده کرد، مانند تکنیک‌های خنک‌کنندگی غیرفعال مورد d.	
مورد e نشان می‌دهد که چگونه می‌توان اثر دودکش را در این نوع سازه‌ها به طور موثر استفاده کرد. نقاشی ضمیمه با رنگ تیره‌تر می‌تواند جذب اشعه خورشیدی را بیشتر کند تا بتواند سریع‌تر از بقیه پارچه گرم شود، این امر باعث فرار هوای گرم‌تر از بیرون شده و هوای خنک‌تر از آن را سریع‌تر جایگزین می‌کند.	
سازه‌های کششی غشایی می‌توانند به عنوان یک منطقه بافر بین محیط خارجی و داخلی مانند مورد f، به طور موثر استفاده شوند.	

۳-۱۰-۲ عملکرد سازه‌های غشایی

عمر مفید پوسته‌های چادری بیش از ۲۰ سال است که آن‌ها را برای استفاده در سازه‌های دائمی مناسب می‌سازد (مور، ۱۳۹۲)، همچنین سازه چادری به عنوان سازه موقت برای نمایشگاه، بازار و سایه‌بان استفاده گسترده‌ای دارد، ویژگی‌های سازه‌های کششی برای طیف گسترده‌ای از کارکردهای معماری از سازه‌های موقت تا دائمی، سایه‌بان‌های ساده تا طرح‌های پیچیده مناسب است (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۴). در جدول ۹-۲ نیز کیفیت‌های مختلف سازه‌های غشایی بیان شده است.

جدول ۹-۲ کیفیت‌های مختلف سازه‌های غشایی (Forester & Mollaert, 2004)

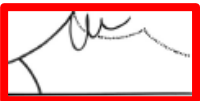
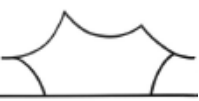
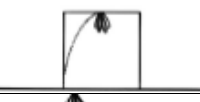
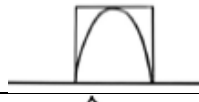
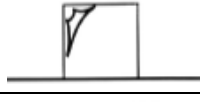
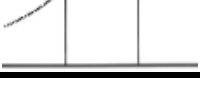
توضیحات	کیفیت‌ها
• سازه‌های غشایی کششی صلب نیستند، تحت تأثیر باد و برف شکل خود را تغییر می‌دهند. • انعطاف‌پذیری سازه‌های کششی امکان جابجایی‌های بزرگ بدون تغییر شکل دائمی را ایجاد می‌کند. • میزان انعطاف‌پذیری پارچه‌های مختلف، متفاوت است. مواد بسیار انعطاف‌پذیری وجود دارد که امکان تاشدن بدون شکستگی یا سایش را دارند. این مواد اساس سازه‌های کارآمد متحرک و تغییر پذیر هستند.	انعطاف‌پذیری

• از اصلی‌ترین کارکردهای یک سقف، فراهم کردن سرپناهی از باد و باران و سایه از خورشید، با توجه به اقلیم منطقه است، تا فضای بیرونی مطبوعی ایجاد کند. • مصالح غشایی با ساختار باز متخلخل نیز برای سایه‌اندازی استفاده می‌شود. این امر کنترل خاصی در انتقال و بازتاب نور خورشید انجام می‌دهد، تا نور پراکنده و تهویه طبیعی در فضای زیرین ایجاد شود. • برای محافظت از باران و برف، باید زهکشی ایجاد شود. از برکه شدن آب باران و انباشت زیاد برف در بام اجتناب شود.	محافظت در برابر آب و هوا
• سازه‌ای که می‌تواند بارها در مکان‌های مختلف احداث شود بیانگر تحرک یک سازه کششی است. • چنین سازه‌ای می‌تواند تلفیقی از چادر عشایری و سکونت‌گاه دائمی باشد. سبکی و انعطاف‌پذیری مصالح باعث می‌شود، این سازه‌ها به راحتی و به سرعت مستقر شوند و در مواقعی که استفاده نمی‌شوند، حجم متوسطی را به خود اختصاص دهند. • این خصوصیات برای سازه‌های موقتی و سیار و در هنگام فاجعه و شرایط اضطراری که پناهگاه برای تعداد زیادی از افراد در مدت زمان کوتاه نیاز است، مفید است.	متحرک و موقت
• سازه‌های قابل تغییر سیستم‌های سازگار ساخته انسان بوده که مانند بسیاری از ارگانیسم‌های طبیعی طبق ضرورت تغییر می‌کنند. • آن‌ها در آرایش فضایی و پاسخ به تغییرات اقلیمی انعطاف‌پذیر و سازگار هستند. این روش طراحی بطور خودکار از طریق کنترل نور طبیعی و دما منجر به امکان صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. • انعطاف‌پذیری سازه‌های قابل تغییر باعث تغییر فضای معماری می‌شود، زیرا می‌توان فضا را به روشی بازتر یا پناهنده‌تر تجربه کرد. حرکت ظریف یک سقف قابل تغییر با طراحی زیبا حس هماهنگی بین انسان و طبیعت را ایجاد می‌کند.	تغییرپذیر و سازگار
• شکل‌پذیری برخلاف اشکال مرسوم در ساخت ساختمان، یک ویژگی مفید و مهم سازه پارچه‌ای است. • خصوصیات کششی موجود در مصالح غشایی چندین مرتبه بزرگتر از آن‌هایی است که در فلزاتی مانند استیل وجود دارد. در نتیجه سازه‌های پارچه‌ای تحت بارگذاری دارای شکستگی‌ها و تغییرات هندسی بسیار بزرگتر از سازه‌های قابی هستند. • انعطاف‌پذیری در تکیه‌گاه‌های غشایی باعث تغییر شکل پذیری آن‌ها می‌شود، البته باید از پایداری کلی اطمینان شود.	شکل‌پذیری

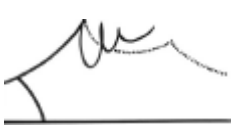
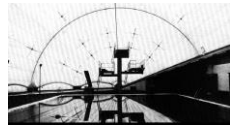
۴-۱۰-۲ دسته‌بندی سازه‌های غشایی

غشاهای کششی از جنبه‌های مختلف مثل عملکرد ساختمان، عملکرد غشای کششی (انتقال نور روز، محافظت از باران و آفتاب، تعریف‌کننده فضا)، دهانه، قابل تغییر بودن یا نبودن، درجه محصوریت و یا مدت استفاده قابل طبقه‌بندی‌اند. جدول ۱۰-۲، طبقه‌بندی شماتیکی برای نشان دادن طیف وسیع کاربردهای سازه‌های کششی بوده که برخی از آن‌ها در جدول ۱۱-۲ تشریح شده‌است (Forester & Mollaert, 2004).

جدول ۱۰-۲ دسته‌بندی سازه‌های غشایی کششی (Forester & Mollaert, 2004)

تغییرپذیر	محصور	باز	
			پوشاننده
			داخلی
			متصل

جدول ۱۱-۲ شرح باز و تغییرپذیر (Forester & Mollaert, 2004)

نوع	باز	باز و پوشاننده	تغییرپذیر	تغییرپذیر و پوشاننده
توضیح	بیشتر کاربردهای سازه کششی متعلق به سازه‌های غشایی باز است که از باران و آفتاب محافظت می‌کند. غشا علاوه بر محافظت در برابر آب و هوا، احساس هوای آزاد را نیز ایجاد می‌کند.	غشای باز، یک منطقه، فضای باز یا یک ساختمان را پوشش می‌دهد. پیکربندی‌های متنوعی را می‌توان در قالب "چادرهای بزرگ"، چادرهای قاب بندی شده و نشانه‌های چشم نواز استفاده کرد.	سازه‌های سازگار به گونه‌ای ساخته می‌شوند که می‌توانند شکل خود را هر چند وقت یکبار در یک زمان نسبتاً کوتاه تغییر دهند.	یک پوسته خارجی سازگار می‌تواند با شرایط آب و هوایی محلی ارتباط داشته باشد، متناسب با فصل و همچنین با نوسانات روز و شب تغییر کند.
تصویر				

۵-۱۰-۲ نکات اساسی در ساخت سازه‌های غشایی متحرک

نکات اساسی قابل توجه در ساخت سقف‌های غشایی متحرک، به طور کامل در جدول ۱۲-۲ بیان شده‌است.

جدول ۱۲-۲ نکات ویژه در ساخت آسمانه‌های غشایی متحرک (Walter, 2006)

هندسه مسیره‌های حرکت	در ساختارهای صلب اغلب از تکنولوژی جرثقیل‌های متحرک با در نظر گرفتن مسیره‌های انتقال، سیستم کنترل و راندن آن‌ها استفاده می‌شود. پس بیشتر آسمانه‌های صلب جمع شونده، بر روی یک ریل به حرکت در می‌آیند. سقف‌های غشایی اغلب روی کابل‌ها حرکت داده می‌شوند که علت اصلی آن سبکی و انعطاف‌پذیری کابل‌ها است. در سازه‌های صلب، مسیره‌های انتقال باید موازی باشند تا از کشش و پیچش در ساختار آن‌ها جلوگیری شود. اما در ساختارهای نرم، زمانی که فاصله بین دو کابل و یا ریل به طرف نقطه جمع‌شدن کاهش یابد، می‌تواند بسیار موثر باشد. در این حالت، غشا هنگام جمع‌شدن تحت کشش کمتری قرار گرفته و آسان‌تر حرکت داده می‌شود.
ایمن‌سازی غشا در حالت گسترده و کشیده شده	غشا باید در حالت بسته در برابر باد ایمن شود. هنگامی که غشا کاملاً گسترش یافته این مسئله معمولاً به وسیله پیش‌کشیدگی رفع می‌شود، علاوه بر آن در دهانه‌های بزرگ برای بدست آوردن پایداری کافی، غشا باید اتحنای آنتی‌کلاستیک داشته باشد. کشش مورد نیاز می‌تواند از طریق حرکت خود سیستم و یا به وسیله ابزارهای کششی که در لبه سقف قرار گرفته‌اند، بدست آید. راه حل دیگر، بالا بردن دکل‌ها و پایین آوردن نقاط اتصال تحتانی است. روش دیگر محافظت از غشا در برابر ضربه زدن در باد، قرار دادن وزنه‌ها یا میله‌های سخت روی غشا است.
ایمن‌سازی غشا هنگام حرکت	در حین حرکت سقف، غشاها کشیده نمی‌شوند بنابراین در برابر باد بسیار ضعیف هستند. برای جلوگیری از آسیب دیدن غشا، نباید در هنگام وزش بادهای شدید آن‌ها را حرکت داد و یا این که می‌توان به وسیله نصب وزنه‌ها و یا میله‌های صلب از آن محافظت کرد.
ایمن‌سازی غشا هنگام جمع و بسته شدن	جهت افزایش طول عمر مفید غشا توصیه می‌شود، هنگام بسته شدن آن، توسط یک پوشش و یا محفظه کوچک محافظت شود. این امر از شکم دادن غشا در اثر باران و برف، که امکان آسیب به پارچه را افزایش می‌دهد، جلوگیری می‌کند.
تاکردن غشا	با توجه به فرم انتخاب شده سقف، امکان ایجاد شکم در غشا حین حرکت آن وجود دارد. شناخت فضا و الزامات غشای تاشونده، در تمامی مراحل حرکت اهمیت دارد، در غیر این صورت ممکن است که سطح سقف در معرض تماس با سازه‌های ثابت قرار گرفته و پاره شود.
باران و برف	اغلب اوقات، از آبروهای منعطف در سازه‌های جمع شونده می‌توان استفاده کرد، زیرا سیستم‌های صلب انتقال آب نمی‌توانند خود را با حرکات سقف تطبیق دهند. به کمک زهکشی نقاط پایینی باید از شکل‌گیری چالاب‌های باران و برف در سطح غشا جلوگیری کرد.

اعمال نیروها	غشاها برای تحمل بارهای نقطه‌ای نامناسب هستند. بارها و نیروها می‌توانند در کابل‌های لبه و یا در نقاط تکیه‌گاهی گسترده اعمال شوند.
سیستم‌های محرک غشا	مکانیزم حرکت وظیفه دارد سقف را در زمان مورد نیاز حرکت دهد، همچنین باید اتصال بین سقف و سازه نگهدارنده آن را نیز برقرار کند. در بیشتر موارد سقف‌های غشایی تغییرپذیر به وسیله موتورهای الکتریکی حرکت داده می‌شوند. موتورها می‌توانند به صورت ثابت نصب شوند و سقف را به وسیله سیم‌های بکسل حرکت دهند؛ یا این که می‌توان آن‌ها را در امتداد خود کابل‌ها و یا ریل‌ها بر روی تراکتورهایی به حرکت درآورد. هردو سیستم تاکنون بکار گرفته شده و قابلیت اطمینان آن‌ها اثبات شده است (نیروی محرک با کمک تراکتورها و سیستم محرک ایستا).

۶-۱۰-۲ مصالح غشایی

مصالح غشایی نرم، از رشته‌های موجی شکل و توی هم رفته مرکب از دسته‌های فیبری به عنوان زمینه اصلی به همراه پوشش‌هایی جهت ضد آب، ضد آتش و مقاوم کردن آن‌ها در برابر عوامل جوی تشکیل می‌شود (Ishii, 2000). از دلایل استفاده از مصالح غشایی جهت پوشش سقف‌های باز و بسته شونده و گسترش‌پذیر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (احمدنژاد کریمی و حق پرست، ۱۳۹۱):

- ۱- غشاهایی با ویژگی‌های مناسب از جمله ضدآب‌بودن، خودتمیزشوندگی، شفافیت جهت عبور نور و مقاومت در برابر عوامل جوی تولیدشده که سبب استفاده روزافزون آن در آثار معماری شده‌است.
- ۲- به دلیل وزن و جرم کم این مصالح، ایده سقف متحرک سبک وزن به راحتی قابل اجراست. این مزیت سبب می‌شود که از سازه‌های نگهدارنده و فونداسیون با عمق و حجم کمتر استفاده شود، که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است و مقاومت آن در برابر بارهای لرزه‌ای نیز افزایش می‌یابد.
- ۳- مصالح غشایی از انعطاف‌پذیری مناسبی برخوردارند در نتیجه قابلیت تاشوندگی بالایی را در سقف‌ها جهت باز و بسته شدن دارند. به علاوه، این مصالح قابلیت پوشش دهانه‌های وسیع را داراست.
- ۴- برخلاف سقف‌های باز و بسته شونده با پوشش صلب، سقف‌های باز و بسته شونده با پوشش غشایی در هنگام تاشدن فضای کمتری اشغال کرده که باعث کاهش وزن و ارتفاع کلی سازه سقف می‌شود.

۷-۱۰-۲ انواع پوشش‌های غشایی

۷-۱۰-۲-۱ پارچه پلی‌استر با روکش پی‌وی‌سی

پوشش پارچه‌هایی که روکش‌ها یا لایه‌هایی بر روی یک زیر لایه پلی‌استری دارند، عموماً پی‌وی‌سی (پلی‌وینیل کلراید) است. این مصالح سنتزی، بسیار قوی‌تر از پنبه یا دیگر الیاف طبیعی است، خطر پوسیدگی ندارد و به علت مقاومت بهتر در برابر تابش فرابنفش دوام بیشتری دارد. پارچه پلی‌استر با روکش پی‌وی‌سی، به نسبت ارزان است و انعطاف‌پذیری و سهولت به کارگیری آن، برای برپایی و برچیدن مکرر که از الزامات سازه‌های قابل

حمل است، مناسب است. این پارچه‌ها بیشترین مصرف را در سازه‌های انعطاف‌پذیر مانند سایه‌بان، چتر پیاده‌رو، چادر و سازه‌هایی با اسکلت سبک دارند (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۰).

۲-۷-۱۰-۲ فایبرگلاس با روکش تفلون

پارچه‌های الیاف شیشه که دارای استحکام کششی بالایی هستند، با پوشش تفلون و یا سیلیکون به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. تفلون به اندازه یک پارچه سخت نیست ولی پلاستیکی بسیار قوی است. این پارچه‌ها یکی از پایداری‌ترین پوسته‌ها هستند، زیرا پوشش آن‌ها به راحتی با بارش باران تمیز می‌شود و نسبت به مواد شیمیایی و رشد کپک مقاوم هستند (عراقیان، ۱۳۹۲).

۲-۷-۱۰-۳ فایبرگلاس با روکش سیلیکون

پارچه‌های فایبرگلاس با روکش سیلیکون برای ارتقای بعضی از مشکلات روکش تفلون مانند مقاومت کم، پارگی، سختی کار با آن، محدودیت گزیده‌ی نور و هزینه بالا استفاده می‌شود (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۰).

۲-۷-۱۰-۴ اتیلن تترافلورواتیلن (ETFE)

پوسته شفاف با خصوصیات مشابه پارچه و مزایای تفلون است. مقاومت این محصول در مقابل آلودگی هوا و اشعه فرابنفش، موجب شده تا عمر طولانی در حدود ۳۰ سال داشته باشد. این محصول با مقاومت دمایی خوب و نفوذ بالای نور مرئی (حدود ۹۵٪)، می‌تواند جایگزین بسیار مناسبی برای شیشه باشد در حالی که ۲۰ بار از آن سبک‌تر است. در بعضی از سقف‌های بادی و یا پوشش ساختمان‌ها از دو یا سه لایه فیلم استفاده می‌شود که یک بالش هوا را تشکیل می‌دهند. فشار داخلی بالش و تنش اولیه وارد شده، آن را در مقابل اعمال نیرو مقاوم می‌کند. از ویژگی‌های ورقه‌های ETFE امکان چاپ طرح‌ها و نقش‌های مختلف بر روی آن است که می‌توان درصد عبور نور را تنظیم کرد و جلوه‌ای خاص به محیط داخل بخشید (عراقیان، ۱۳۹۲).

۲-۷-۱۰-۵ لیکرا

لیکرا مخصوص سازه‌های موقت، نمایشگاهی و فضاهای داخلی است. این پارچه، سبک و بسیار انعطاف‌پذیر است و در رنگ‌های متنوع پاسخگوی هر سلیقه‌ای است. با استفاده از این پارچه می‌توان فرم‌های متنوعی ایجاد کرد و هر سطحی را پوشاند. از مزایای این پارچه امکان چاپ بر روی آن است (عراقیان، ۱۳۹۲).

۲-۷-۱۰-۶ پلی‌اتیلن با چگالی بالا

از پارچه‌های پلی‌اتیلن با چگالی بالا، می‌توان برای ایجاد سایه و یا پناه از باد استفاده کرد ولی به دلیل تخلخل بالا در مقابل باران و برف پوشش مناسبی نیستند. این پارچه‌ها محافظی عالی در برابر اشعه فرابنفش هستند، همچنین می‌توان از آن‌ها برای مقاوم‌سازی پارچه‌های دیگر استفاده کرد یا آن را با مواد مختلف پوشش داد تا

خصوصیت مورد نظر را دارا شود. در مناطق گرم و خشک این پارچه‌ها راه‌کاری ایده‌آل جهت محافظت در برابر تابش نور خورشید و حرارت هستند (عراقیان، ۱۳۹۲). در جدول ۱۳-۲، برخی از ویژگی‌های پوشش‌های متعارف غشایی به طور مختصر بیان شده‌است و مثال‌هایی نیز از سازه‌های غشایی با مصالح مختلف به عنوان نمونه در جدول ۱۴-۲ ارائه شده‌است.

جدول ۱۳-۲ انواع پوشش‌های متعارف غشایی (عراقیان، ۱۳۹۲)، (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۰)

انواع پوشش	پارچه پلی‌استر با روکش پی وی سی	فایبرگلاس با روکش تفلون	فایبرگلاس با روکش سیلیکون	اتیلن تترافلورو اتیلن (ETFE)
طول عمر پارچه	۱۵-۱۰ سال	۳۰-۲۰ سال	۳۰-۲۰ سال	۳۰ سال
قابلیت انتقال نور	گذردهی نور تا ۲۲ درصد	گذردهی نور ۷-۲۱ درصد	۳۵ درصد به بالا	نفوذ بالای نور
طیف رنگی	امکان چاپ و طیف رنگی	دارای طیف رنگی	رنگ سفید	شفاف و دارای امکان چاپ
مقاومت در برابر آتش	کندسوز دمای ذوب ۲۵۰-۱۶۰	غیرقابل احتراق	غیرقابل احتراق	فیلم‌های مختلف عملکرد متفاوتی در برابر آتش دارند
بیشترین کاربرد	سازه‌های انعطاف‌پذیر مانند سایبان، چتر پیاده رو، چادر و سازه‌های با اسکلت سبک	حساسیت و آسیب‌پذیری نسبت به استعمال خشن در برپایی مکرر، امکان استفاده در دهانه‌های وسیع و انحنای کم، الیاف فایبرگلاس ذاتاً شکننده‌اند، مناسب برای سازه‌های دائمی.	-	بطور معمول برای سقف‌های هوانشین با محفظه‌های بادشده با هوا استفاده می‌شود. تحت تاثیر پیش تنیدگی دچار خزش می‌شوند. شفافیت بالای آن برای بکارگیری در گلخانه مناسب است.

جدول ۱۴-۲ نمونه پوشش‌های غشایی (نگارنده)

نمونه	نوع سازه	ابعاد	ارتفاع کل / زیر سازه	مصالح غشا	نوع تکیه‌گاه	تصویر	نمونه
ترمینال حج	نیمه مخروطی	۴۶*۴۶ متر	۴۶ متر / ۲۰ متر	فایبرگلاس با پوشش تفلون	پایه ویرندیل ۴۶ متری در هر گوشه مدول		(مور، ۱۳۹۲)
زمین بازی کریکت لرد	مخروطی	-	-	پلی‌استر با پوشش پی‌وی‌سی	تیرک فولادی داخلی ۱۸ متری		

پارچه‌های متفاوت دارای خاصیت جذب اشعه ماوراءبنفش مختلف هستند (Sunsmart, 2015):

- ۱- تابش اشعه ماوراء بنفش کمتری از پارچه‌های محکم بافته‌شده عبور می‌کند.
- ۲- رنگ‌های تیره معمولاً اشعه ماوراءبنفش بیشتری را نسبت به رنگ‌های روشن مسدود می‌کنند.
- ۳- پارچه‌های با وزن سنگین معمولاً تابش اشعه ماوراءبنفش بیشتری را نسبت به پارچه‌های سبک از همان نوع مسدود می‌کنند.
- ۴- پارچه‌هایی که بیش از حد کشیده، مرطوب یا فرسوده‌اند باعث کاهش محافظت در برابر اشعه می‌شوند.

۱۱-۲ نکات طراحی سایه بان

اگر سایه بان به خوبی طراحی و به درستی تنظیم شود، در زمان مناسب روز و سال، از تابش مستقیم و غیرمستقیم خورشید محافظت می‌کند. در نظر گرفتن آب و هوای یک مکان در طراحی سایه بان مؤثر، مهم است. ساختارهای سایه‌انداز باید در تمام فصول سال راحت و جذاب باشند، به طوری که مردم بخواهند در تمام طول سال از آن‌ها استفاده کنند. هنگام اطمینان از راحتی سایه بان، باید چهار عنصر اصلی: دمای هوا، رطوبت، حرکت هوا، تابش گرمای خورشید و محیط اطراف در نظر گرفته شود.

تمام سایه بان‌ها از دو بخش تشکیل شده‌اند: سازه تکیه‌گاه که ساختار سایه‌انداز را در جای خود نگه داشته و عنصر سایه‌انداز اولیه - همان ماده‌ای که سایه بان یا سقف دستگاه سایه‌انداز را تشکیل می‌دهد. موضوعاتی که باید در رابطه با سازه‌های تکیه‌گاهی و عناصر سایه‌انداز اصلی باید بررسی شوند عبارتند از (Sunsmart, 2015):

- ۱- سازه تکیه‌گاهی مورد نیاز به جرم و اندازه عنصر سایه‌انداز بستگی دارد.

- ۲- پارچه‌های سایه‌انداز صلب که اجازه عبور باد را نمی‌دهند، به سازه‌های تکیه‌گاهی قوی‌تری نیاز دارند تا بتوانند سطح بالاتری از باد را تحمل کنند.

- ۳- سازه تکیه‌گاهی باید متناسب با سایت باشد. به عنوان مثال، در یک زمین بازی، به حداقل رساندن تعداد سازه‌های تکیه‌گاهی از اهمیت برخوردار است.

- ۴- طول عمر ساختار سایه‌انداز باید مشخص شود.

۱۱-۱ مزایای سایه بان‌های مصنوع نسبت به سایه‌اندازهای طبیعی

سایه بان‌های ساخته شده دارای مزایای زیر نسبت به سایه‌اندازهای طبیعی هستند:

- ۱- سایه آن‌ها قابل پیش‌بینی‌تر است، ۲- آن‌ها در برابر باران نیز محافظت می‌کنند، ۳- بعضی از انواع آن‌ها به سرعت احداث می‌شوند، ۴- طیف وسیعی از کاربردهای جایگزین را دارند به عنوان مثال، برای جمع‌آوری آب باران برای آبیاری یا پشتیبانی از پنل‌های خورشیدی.

۱۱-۲ انواع مختلف سایه بان

سایه بان‌های مصنوع انواع مختلفی دارند که انواع آن‌ها در جدول ۱۵-۲ به طور کامل توضیح داده شده است.

جدول ۱۵-۲ انواع مختلف سایه بان (Sunsmart, 2015)

سیستم‌های دائمی	سایه بان‌های دائمی حداقل ۱۰ سال عمر می‌کنند. نمونه‌های آن شامل کلاه فرنگی، ایوان‌ها و عرشه‌ها است. دوام سیستم‌های دائمی، مهم است، زیرا آن‌ها باید در برابر همه شرایط آب و هوایی مقاومت کنند. نگهداری منظم برای اطمینان از طول عمر بالای آن‌ها ضروری است. اجزای سیستم سایه بان دائمی باید به راحتی جایگزین شوند.
-----------------	---

سیستم سایه بان متحرک به راحتی تنظیم و برچیده شده و دارای ماهیت موقتی است. نمونه های آن شامل چادر، سایه بان و بادبان سبک است. سیستم سایه بان متحرک در مکان هایی که ساختار دائمی به دلیل نوع فعالیت هایی که در سایت انجام می شود مناسب نیست، استفاده می شود. سیستم های متحرک باید به اندازه کافی قوی باشند تا در برابر حمل و نقل، مونتاژ و برچیدن مقاومت کنند. مزایای این سیستم عبارتند از: برخی از سیستم های متحرک می توانند در انواع سطوح زمینی مانند چمن، شن یا بتن استفاده شوند، بعضی از آن ها برای استفاده در موقعیت های مختلف مانند بالای صندلی ها و همچنین در مناطق بزرگ مناسب هستند، برخی به شکل مدولار طراحی شده اند که بسته به تعداد افرادی که از فضا استفاده می کنند می توانند تکرار شوند.	سیستم های متحرک
این سیستم ها می توانند تغییر کنند تا سایه موثری با حرکت خورشید در طول روز و در زمان های مختلف سال ایجاد شود. سیستم های قابل تنظیم اغلب به ساختمان ها متصل اند و شامل دستگاه های جمع کننده هستند، مانند سایه بان های کرباسی یا لوور. سیستم های قابل تنظیم باید آسان و راحت کار کنند. در صورت طوفان و یا در هوای بادی، آن ها باید بتوانند به سرعت جمع یا بسته شوند.	سیستم های قابل تنظیم
سازه های غشایی کششی به طور فزاینده ای در سایه اندازی استفاده می شوند و می توانند دائمی یا قابل انتقال باشند. دارای چندین مزیت هستند: ظاهر خوبی دارند، معمولاً به حداقل سازه های تکیه گاهی نیاز دارند، در جایی که سایه برای مناطق بزرگ و بدون ستون نیاز است، مانند زمین بازی و استخر، مقرون به صرفه اند. برای مناطق کوچک، به صورت پیش ساخته می توانند استفاده شوند. نکات مهم در سازه های غشایی: کیفیت ساختار غشای کششی، چگونگی محافظت و دوام آن، انحنای غشا (بر میزان سایه اثر دارد)، مصالح، وزن پارچه.	سازه های غشایی کششی (TMS)
سایه بان قابل حمل برای مکان هایی که گزینه های دیگر در دسترس نیستند، مانند ساحل، ایده آل است. سازه های قابل حمل یک راه حل سریع و اغلب ارزان برای سایه اندازی ارائه می دهند. طیف گسترده ای از سازه های قابل حمل در اندازه ها، شکل ها و طرح های مختلف مانند چادرهای کوچک، پناهگاه های ساحلی و چتر موجود است. چترها محافظت محدودی در برابر اشعه ماوراء بنفش دارند.	سایه بان قابل حمل

۳-۱۱-۲ انتخاب سایت سایه بان

سایه در تمام مناطق خارج از منزل که افراد در طول روز جمع می شوند و وقت خود را سپری می کنند، نیاز است. بعضی مناطق، چه در حیاط شخصی، چه پارک عمومی، نیاز به سایه بیشتری دارند. اولویت های انتخاب سایت برای سایه بان در جدول ۱۶-۲ شرح داده شده است.

جدول ۱۶-۲ اولویت بندی انتخاب سایت برای سایه بان (Sunsmart, 2015)

میزان اشعه ماوراء بنفش به طور کلی بین ۱۱ صبح تا ۳ بعد از ظهر در هنگام ذخیره نور روز بالاترین است. بر این اساس سایت هایی که بیشتر در این زمان ها مورد استفاده قرار می گیرند نیاز به سایه بیشتری دارند. سایت هایی که در تابستان بسیار مورد استفاده قرار می گیرند نسبت به مکان هایی که عمدتاً در زمستان استفاده می شوند دارای اولویت بیشتری برای سایه هستند.	زمان استفاده
مدت زمان مورد نیاز یک فعالیت در فضای باز عامل مهمی هنگام تعیین اولویت است. آسیب ناشی از اشعه ماوراء بنفش تجمعی است، به این معنی که هرچه مدت زمان قرار گرفتن در معرض اشعه ماوراء بنفش طولانی تر باشد، خطر آسیب بیشتر می شود.	مدت زمان استفاده
سایت هایی که میزان استفاده بالایی دارند باید نسبت به سایت هایی که کمتر استفاده می شوند اولویت داشته باشند.	سطح استفاده
سایت هایی مانند استخرها، دریاچه ها، رودخانه ها و سواحل از اولویت بالایی برخوردارند، زیرا آن ها به دلیل میزان بالای تابش اشعه ماوراء بنفش منعکس شده از آب و شن و ماسه، به مقدار قابل توجهی در برابر آفتاب قرار می گیرند.	ماهیت سایت و فعالیت

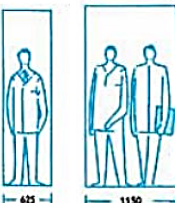
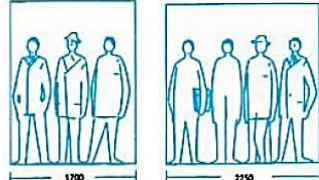
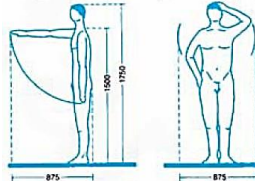
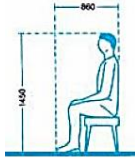
۲-۱۲ استانداردها

۱-۱۲-۲ ابعاد استاندارد انسان

با توجه به جدول ۱۷-۲، ارتفاع انسان در حالت ایستاده ۱.۷۵ متر و در صورت بالا بردن دست ها ۲.۲۵ متر است، که برای جلوگیری از دستکاری انسانی به سایه بان و سازه آن، به عنوان مبنا برای ارتفاع زیر سایه بان در

نظر گرفته شده است. همچنین عرض انسان به صورت ایستاده با فضای حرکتی برای دست‌ها حدود ۷۰ سانتی‌متر و در صورت وجود مبلمان برای نشستن حدود ۹۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۷-۲ ابعاد استاندارد انسان در حالت‌های مختلف (نویفرت، ۲۰۱۹)

تصویر	ارتفاع (mm)	عرض (mm)	تعداد افراد	حالت
	۱۷۵۰	۶۲۵	۱	ایستاده
		۱۱۵۰	۲	
	۱۷۵۰	۱۷۰۰	۳	
		۲۲۵۰	۴	
	۱۷۵۰	۶۷۵	۱	ایستاده با فضای حرکتی دست‌ها
	-	۱۱۲۵	۱	ایستاده با چتر
		۲۳۷۵	۲	
	۱۷۵۰	۷۵۰	۱	ایستاده با عصا
	۲۲۵۰	۶۲۵	۱	ایستاده با دست‌های بالا برده
	۱۴۵۰	۵۶۰	۱	نشسته روی نیمکت

	۱۳۵۰	۸۷۵	۱	نشسته روی صندلی به همراه میز
---	------	-----	---	------------------------------

۲-۱۲-۲ استانداردهای سازه‌های کششی و گسترش‌پذیر

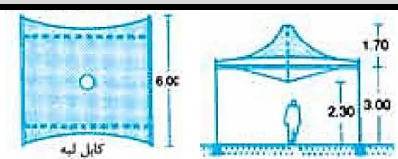
از این سقف‌ها می‌توان در تئاترهای فضای باز، استخرها یا امکانات ورزشی به منظور ایجاد سرپناه در برابر آب و هوای نامساعد استفاده کرد. مصالح با بافت مصنوعی (پلی‌استر) به عنوان بافت اولیه استفاده می‌شود که خاصیت ضدزنگ (ضدپوسیدگی) و ضدآب دارند و لایه‌های محافظ PVC در دو طرف آن قرار دارند. این سازه‌ها به عنوان اتصال گذرگاه‌ها (راهروها)، نمایشگاه‌ها، سایه‌بان‌ها کاربرد دارند (نویفرت، ۲۰۱۹). در جدول ۲-۱۸ برخی از ویژگی‌های استاندارد سازه‌های کششی بیان شده‌است.

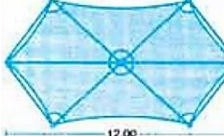
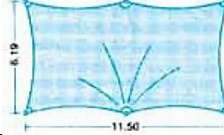
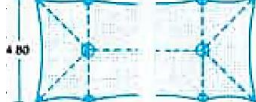
جدول ۲-۱۸ ویژگی‌های سازه‌های کششی (نویفرت، ۲۰۱۹)

کشیدگی بالا	ضد پوسیدگی و خوردگی	وزن	نفوذپذیری نور	دوام و طول عمر	کارایی و سیستم‌های استاندارد اتصال	سازه‌های اسکلت بندی شده
مقاومت در برابر برف و بار ناشی از وزش باد	مقاوم در برابر زنده، دافع آب و مقاوم در برابر آتش	۸۰۰ تا ۱۲۰۰ گرم بر مترمربع	از نفوذ ناپذیر تا ۵۰ درصد نفوذپذیری	۱۵ تا ۲۰ سال با سایه‌های رنگی و مطلوب و استحکام رنگی مناسب	بوسیله بخیه دوزی و کوک زدن، جوشکاری، مواد چسبنده، گیره‌های اتصال‌دهنده یا ترکیب این عوامل بهم متصل می‌شود. سازه‌ها به صورت نامحدود و از همه جهات گسترش می‌یابند و شامل شکل‌های مربع، مستطیل، مثلث، دایره و چند ضلعی‌اند.	اسکلت (قاب) نگهدارنده از چوب، فولاد یا آلومینیوم، که روی آن غشای پرده مانند به عنوان یک پوشش محافظ کشیده می‌شود.

ابعاد استاندارد انواع سایه‌بان‌های غشایی طبق نویفرت در جدول ۲-۱۹ آمده‌است. با توجه به این جدول، حداقل عرض سایه‌بان ۳٫۶ متر و حداقل ارتفاع زیر سایه‌بان ۲٫۳۰ متر است. سایه‌بان با حداقل ابعاد ۴*۴ متر و ارتفاع زیر سایه‌بان ۲٫۷۰ متر، به دلایل اقتصادی، اجرایی و سهولت ساخت برای شبیه‌سازی‌ها انتخاب شده‌است. حداقل ارتفاع مفید انتخابی برای زیر سایه‌بان از حداکثر ارتفاع انسان (انسان با دست‌های بالا برده = ۲٫۲۵ متر)، ۵۰ سانتی‌متر بیشتر است، این فاصله اضافی به منظور جلوگیری از دستکاری سازه در نظر گرفته شده‌است.

جدول ۲-۱۹ ابعاد استاندارد برخی از انواع سایه‌بان‌ها (نویفرت، ۲۰۱۹)

تصویر	عرض (m)	ارتفاع زیر سایه‌بان (m)	ارتفاع کلی (m)
	۵	۲٫۳۰	۴٫۷۰

۴	۲.۵۰	۵	
۳.۹۰	۳	۳.۶۰	
۶.۷۰	۳.۷۰	۸.۵۰	
-	۳	۸.۱۰	
۳.۹۵	۲.۷۰	۴.۸۰	

۳-۱۲-۲ نمونه سایه‌بان‌های غشایی اجرا شده در ایران

نمونه‌هایی از سایه‌بان‌های غشایی اجرا شده در ایران و مشخصات آن‌ها در جدول ۲۰-۲ آورده شده است.

جدول ۲۰-۲ برخی از انواع سایه‌بان‌های غشایی اجرا شده در ایران (نگارنده)

نام	تصویر	شرکت	ابعاد	ارتفاع زیر سایبان	ارتفاع کلی	منبع
سایه‌بان چادری آمفی تئاتر آب و آتش		Diba	۷۱۰ مترمربع	۴ متر	۱۶ متر	Dibats.com
لونژ اسب سواری		Diba	۲۴۶ مترمربع	۳.۲۰ متر	۷ متر	Dibats.com
رستوران دژاوو ساختمان سامسونگ		Diba	۳۷۷ مترمربع	۲.۵۰ متر	۵.۵۰ متر	Dibats.com
سایه‌بان چتری حرم حضرت امام رضا (ع)		-	۳۶ مترمربع	۲.۵۰ متر	۳.۵۰ متر	-

Dibats.com	۸ متر	۳ متر	۴۰۰ مترمربع	Diba		شهربازی شهر رویاها
Asemaneh.com	۴.۵۰ متر	۳ متر	۶۴ مترمربع	Asemaneh		سایه بان محرم ساز بخش بانوان باغ گلستان مشهد
atlassunco.com	۳.۵۰ متر	۲.۵۰ متر	۲۰۰ مترمربع	Atlas		سایه بان استخر مجتمع ورزشی ولایت امیدیه
atlassunco.com	۱۸ متر	—	۱۲۰۰ مترمربع	Atlas		سایه بان چتری حرم حضرت معصومه (س)
atlassunco.com	۵ متر	۳.۵۰ متر	۱۵۰ مترمربع	Atlas		سایه بان پارک شهر کیش

۱۳-۲ آسایش حرارتی

طبق تعریف اشری، آسایش حرارتی شرایط ذهنی است که رضایت از محیط گرمایی را ابراز می کند و با سنجش ذهنی ارزیابی می شود (ASHRAE, 2010). آسایش حرارتی در تعریف اولیه آن، عکس العمل بدن به شرایط محیطی در فضاهای داخلی و خارجی است. تعریف دقیق تر این شرایط در سه گروه قابل خلاصه شدن است: تعریف روان شناختی به بیان مغز از رضایت نسبت به دمای محیط باز می گردد، تعریف حرارتی - فیزیولوژیکی که به عکس العمل بیولوژیکی بدن و سیستم عصبی به تأثیرات خارجی بر گیرنده های حرارتی پوست مرتبط است و تعریف سوم که به تعادل میان حرارت به داخل و خارج از بدن باز می گردد (Taleb and Taleb, 2014).

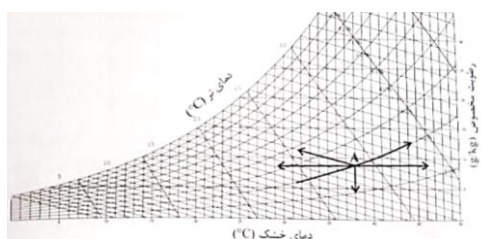
۱۳-۱-۲ پارامترهای موثر بر آسایش حرارتی

به طور کلی کیفیت آسایش حرارتی به عوامل زیر وابسته است که به ترتیب اهمیت عبارتند از: دمای هوا، رطوبت، فشار بخار آب، سرعت جریان هوا، تابش از جداره های داخلی فضا (دمای متوسط تشعشعی)، انسان (سن، جنس)، نوع فعالیت انسان و نوع پوشش انسان (قیابکلو، ۱۳۹۴).

۲-۱۳-۲ نمودارهای آسایش حرارتی

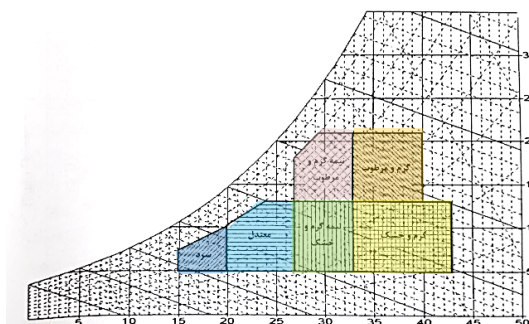
۲-۱۳-۲-۱ نمودار سایکرومتریک

هوای موجود در جو مخلوطی از هوا و بخار آب است. نمودار سایکرومتریک یا نمودار رطوبت-سنجی، ابزاری مفید برای روشن شدن وضعیت کنترل دما و مقدار رطوبت هوا است. مطابق شکل ۲-۱۷، این نمودار نشانگر، غلظت‌های مختلف بخار آب در هوا و دماهای مربوط به آن، چگالی و محتوای انرژی است، محور افقی نمودار دمای خشک، محور عمودی رطوبت مخصوص و منحنی‌های داخل نمودار درصد رطوبت نسبی را نشان می‌دهند. تعیین محدوده آسایش بر اساس حرارت و رطوبت از کاربردهای این نمودار است (قیابکلو، ۱۳۹۴).



شکل ۲-۱۷ نمودار سایکرومتریک (قیابکلو، ۱۳۹۴)

مطابق شکل ۲-۱۸، از استفاده‌های دیگر نمودار سایکرومتریک، تعیین محدوده‌های حرارتی و رطوبتی مناطق و اقلیم‌های مختلف و به تبع آن سامانه‌های سرمایشی و گرمایشی مطلوب آن مناطق است (قیابکلو، ۱۳۹۴). بنابر شکل ۲-۱۸، در اقلیم گرم و خشک، دمای خشک در محدوده ۳۱-۴۳ درجه سانتیگراد، رطوبت مخصوص در محدوده ۵-۱۳ گرم بر کیلوگرم و رطوبت نسبی در محدوده ۱۰-۴۰ درصد قرار دارد.

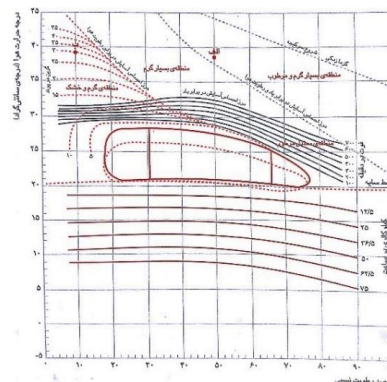


شکل ۲-۱۸ ویژگی‌های حرارتی و رطوبتی اقلیم‌های مختلف روی نمودار سایکرومتریک (قیابکلو، ۱۳۹۴)

۲-۱۳-۲-۲ نمودار زیست‌اقلیمی یا بیوکلماتیک

طبق شکل ۲-۱۹، اگر تمام اطلاعات مربوط به عوامل اقلیمی موثر بر منطقه آسایش از جمله تابش آفتاب، رطوبت هوا و باد همراه محدوده آن‌ها در یک نمودار مشخص شود، جدول زیست‌اقلیمی یا بیوکلماتیک به دست

می‌آید. با استفاده از جدول زیست اقلیمی پیشنهاد شده توسط اولگی، می‌توان به شرایط اقلیمی مناطق مختلف از نظر آسایش پی برد و این مناطق را بر حسب نوع اقلیم تقسیم کرد (کسمائی، ۱۳۹۱).



شکل ۱۹-۲ جدول زیست اقلیمی (کسمائی، ۱۳۹۱)

۱۴-۲ آسایش حرارتی بیرونی

با وجود گسترش پژوهش‌ها در زمینه طراحی اقلیمی فضای باز شهری و اهمیت آن در کیفیت استفاده از فضاهای شهری، همچنان مطالعات این حوزه نسبت به آسایش داخلی ناچیز است. کمبود منابع علمی در این زمینه منجر به طراحی‌های ناکارآمد اقلیمی در فضای باز شهری شده و اثراتی نامطلوب بر سلامت انسان، آسایش فضای داخلی و حتی شرایط اجتماعی داشته‌است. امروزه شهرهایی با شرایط اقلیمی متفاوت به میزان قابل توجهی شبیه به هم ساخته می‌شوند (Chappells and Shove, 2004)، بالا بودن درجه حرارت در نواحی انسان ساخت به ویژه در نواحی گرم و خشک لزوم توجه به آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری را در این مناطق دو چندان می‌کند (احمدپورکلهرودی و دیگران، ۱۳۹۶).

به دلیل کم بودن زمان حضور در فضاهای خارجی نسبت به فضاهای داخلی، دستیابی به شرایط پایدار برای رسیدن به آسایش حرارتی دشوار است. از سوی دیگر، غیرقابل کنترل بودن متغیرهای اقلیمی فضاهای خارجی، سبب دشواری اندازه‌گیری و دستیابی به سطح آسایش می‌شود. تعامل میان این متغیرهای اقلیمی متفاوت، بسیار پیچیده بوده و در نتیجه پژوهش در مورد فضای باز شهری نسبت به مطالعات فضای داخلی که شرایط قابل کنترل‌تری دارند، با موانع بیشتری مواجه است (Taleb and Taleb, 2014).

۱-۱۴-۲ عوامل موثر بر آسایش حرارتی بیرونی

ارزیابی آسایش حرارتی به خصوص در فضاهای باز شهری به عنوان یک چالش بزرگ مطرح است، زیرا عوامل محیطی و شخصی (فیزیولوژیکی و روان‌شناسی) بسیاری در آن دخیل هستند (Szűcs, 2013). تأمین آسایش گرمایی در فضاهای زندگی انسان یکی از اهداف اصلی معماری همساز با اقلیم است. آسایش حرارتی در فضای

بیرونی علاوه بر شرایط اقلیمی، متأثر از محیط ساخته شده اطراف، پوشش سطح زمین، تبخیر و تعرق گیاهان و سایه ایجاد شده توسط عوامل طبیعی و مصنوعی است (محمودی و دیگران، ۱۳۸۹).

تأمین آسایش در فضاهای باز بیش از فضاهای بسته وابسته به شناخت شرایط اقلیمی و محیطی است، زیرا در فضاهای داخلی با استفاده از تجهیزات مکانیکی گرمایش و سرمایش تحت هر شرایطی، اگرچه با صرف هزینه و انرژی بیشتر، به طور مصنوعی شرایط آسایش فراهم می‌شود، ولی در فضاهای باز این امکان وجود ندارد. از طرفی دستیابی به شرایط آسایش در فضاهای باز زمینه‌ساز دستیابی به آسایش داخلی ساختمان‌هاست، زیرا فضاهای باز بستر دربرگیرنده و سازنده خرد اقلیم محیط پیرامون ساختمان‌هاست. لذا در صورت رعایت اصول معماری همساز با اقلیم در فضاهای باز، تأمین شرایط آسایش در فضاهای داخلی تسهیل و در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌شود (طاهباز، ۱۳۸۶). جدول ۲۱-۲، دسته‌بندی عوامل موثر بر آسایش حرارتی بیرونی است.

جدول ۲۱-۲ عوامل موثر بر آسایش حرارتی در فضای باز (حیدری و منعم، ۱۳۹۲)، (رنجبران، ۱۳۹۳)

عوامل محیطی	عوامل انسانی	عوامل طراحی
۱- رطوبت نسبی (RH)	۱- سن	۱- موقعیت قرارگیری ساختمان‌ها و عناصر نرم و سخت
۲- دمای هوا (Ta)	۲- جنسیت	۲- پوشش گیاهی (کنترل اقلیم، افزایش رطوبت، سایه‌اندازی)
۳- میانگین دمای تابشی (Tmrt)	۳- قد	۳- عناصر مصنوع فضاهای شهری
۴- دمای سطح زمین (Ts)	۴- وزن	۴- مصالح
۵- دمای کروی (Tg)	۵- نرخ لباس	
۶- سرعت وزش باد (Va)	۶- نرخ فعالیت	

فضاهای باز و معابر عرصه‌هایی هستند که زندگی جمعی در آنها جریان دارد، بسیاری از فعالیت‌های مردم نیز در فضاهای باز، در فصول مناسب سال صورت می‌گیرد، حال آن که در اوقات گرم بویژه در اقلیم گرم و خشک، مردم نمی‌توانند از این امکان استفاده کنند، تابش مستقیم آفتاب و دمای شدید هوا باعث بهره کمتر مردم از فضاهای شهری و ترجیح آن‌ها به پناه درون بناها برای کسب آسایش حرارتی شده‌است. بنابراین آسایش حرارتی یکی از عوامل مهم در فرآیند طراحی فضاهای باز شهری است، با توجه به این مسئله می‌توان با افزایش کیفیت فضاهای باز شهری، استفاده کاربران از فضاهای شهری را افزایش داده و شادابی و سرزندگی را برای شهر به ارمغان آورد. همانطور که معماران گذشته، فضاهای باز شهری مانند خیابان، کوچه، معبر و گذر را جزئی از فضای زندگی می‌دانستند و سعی بر ایجاد شرایط آسایش رهگذران در این مسیرها داشتند (حیدری، ۱۳۹۱)، (طاهباز و دیگران، ۱۳۹۳). فضای باز عمومی که نتواند شرایط آسایش کاربران را فراهم کند، کمتر استفاده شده و حتی از آن اجتناب می‌شود (Lenzholzer, 2012).

۲-۱۴-۲ سایه و آسایش حرارتی

سایه یکی از عوامل مهم در تأمین آسایش حرارتی است، نور آفتاب را کنترل می‌کند، موجب کاهش شرایط ناراحت ناشی از تابش امواج با طول موج کوتاه می‌شود، به علاوه، سایه بر روی زمین دمای سطح را کاهش می‌دهد و موجب کاهش تابش امواج با طول موج بلند می‌شود (Cohen et al, 2012). در سطح شهر نیز اولین روش تعدیل حرارتی، استفاده از سایه است. اگر سایه‌اندازی مناسب شهری به وجود نیاید، افراد در معرض تابش مستقیم آفتاب، بازتابش آسمان و بازتابش کف گرم خیابان‌ها و پیاده‌روها خواهند بود، برای سایه‌اندازی شهری می‌توان از درختان، گیاهان، سقف‌های سبک و نازک استفاده کرد (حیدری، ۱۳۹۱).

در نقاط مختلف جهان به دلایل اقلیمی از جمله تابش زیاد یا بارش زیاد باران یا برف، فضاهای باز را برای افزایش بهره‌وری، می‌پوشانند. در کشورهایی با اقلیم گرم و خشک، بیشتر از سایه‌بان‌های چادری برای کاهش تابش شدید آفتاب استفاده می‌شود. در اروپا، معمولاً پوشش‌ها شفاف هستند تا بتواند از نور روز استفاده کنند و در فصول سرد، به دلیل خاصیت گلخانه‌ای، دما را به صورت طبیعی بالا نگه دارند (خاکی‌قصر، ۱۳۹۵). حضور این سایه‌بان‌ها در فضاهای باز شهری و محوطه‌های ساختمان‌ها نقش موثری در ایجاد بستر مناسب برای تداوم فعالیت‌های جمعی دارد (واسعی و آصفی، ۱۳۹۷). کمبود سایه نیز در محیط‌های شهری منجر به بالا رفتن دمای هوا و سطوح می‌شود. سایه‌اندازی به وسیله پوشش گیاهی و عناصر مصنوعی یکی از راهکارهای اصلی در کاهش استرس حرارتی در ساعات گرم تابستان می‌باشد (Yahia & Johnsson, 2014).

بدیهی است که ایجاد سایه برای یک لحظه معین کار مشکلی نیست. انسان در اثر تجربه آموخته‌است که چگونه جسم حاجبی بین خود و خورشید حائل کند تا سایه مورد نظر خود را فراهم آورد. اما ایجاد سایه دلخواه و سایه‌بان ثابت و دائمی به طوری که در همه اوقات گرم سایه درست کند و در مواقع سرما جلوی آفتاب را نگیرد، کار نسبتاً پیچیده و نیازمند محاسبات زمان‌بر لیکن ساده است (رازجویان، ۱۳۸۸). سایه‌بان‌ها دارای اثرات گوناگونی از قبیل کنترل تابش مستقیم آفتاب، کنترل نور، منظره و تهویه طبیعی هستند. در سایه‌بان‌های متحرک می‌توان انتقال نور و گرمای خورشید را به طور دلخواه کنترل کرد (کسمائی، ۱۳۹۱). یکی از ویژگی‌های مناطق گرمسیر، وجود آسمان صاف و تابش شدید خورشید در اکثر مواقع سال است. در این شرایط ایجاد سایه در فضاهای باز و معابر یکی از عوامل بسیار موثر در خنک‌سازی محیط و کاهش دمای هوا در دوره‌های گرم است، مشروط بر این که مانع تابش آفتاب در دوره‌های سرد نگردد (طاهباز، ۱۳۸۶).

۲-۱۴-۳ روش‌های ارزیابی آسایش حرارتی

ارزیابی آسایش حرارتی افراد در فضاهای باز و نیمه باز به سه دسته زیر تقسیم می‌شود:

۱-۳-۱۴ پرسشنامه آسایش حرارتی در فضا به همراه اندازه‌گیری میدانی

این روش شامل توزیع پرسشنامه در میان تعداد زیادی از افراد در محدوده مطالعه و در طول زمان داده‌برداری با اندازه‌گیری همزمان چهار پارامتر اصلی خرد اقلیم شامل سرعت باد، دمای هوا، رطوبت و دمای متوسط تشعشعی است (Lin et al, 2010). نتایج نهایی توسط تجزیه و تحلیل آماری ارزیابی ذهنی افراد به همراه مقادیر ثبت‌شده، استنباط می‌شود (Walton et al, 2007). ضعف این روش در نشان‌دادن اثر محیط آب و هوایی در حال تغییر بر روی احساس حرارتی فرد است (Cheng et al, 2011)، کمبود کنترل بر روی پارامترهای خرد اقلیم و انتخاب تصادفی داوطلبان از دیگر مشکلات این روش است.

۲-۳-۱۴ روش طولی

این روش از نظر ثبت پارامترهای خرد اقلیمی مانند روش قبل است اما در ارزیابی ذهنی افراد تفاوت دارد، به این صورت که انتخاب داوطلبان تصادفی نبوده بلکه آن‌ها از قبل انتخاب شده‌اند. مشکل این روش این است که شرکت‌کنندگان بعد از اولین بار که به پرسش‌ها پاسخ دادند با سوالات آشنا می‌شوند به این ترتیب دقت پاسخ آن‌ها در مورد آسایش حرارتی در شرایط مختلف هر دفعه کاهش می‌یابد به علاوه افراد مختلف (بر اساس سن، جنس، ملیت) شرایط حرارتی یک مکان مشخص را به درستی انعکاس نمی‌دهند (Cheng et al, 2011).

۳-۳-۱۴ شبیه‌سازی با نرم‌افزار و محاسبات

این روش بر پایه شبیه‌سازی محاسباتی با استفاده از نرم‌افزار است. به این صورت که پارامترهای محیطی و اطلاعات مربوط به درختان، ساختمان‌ها، ابر و غیره وارد می‌شود. بنابراین نرم‌افزار می‌تواند شرایط حرارتی منطقه مورد مطالعه را با استفاده از شاخص‌های حرارتی تخمین بزند.

۱۵-۲ شاخص‌های آسایش حرارتی

شاخص‌های متعددی جهت ارزیابی آسایش حرارتی وجود دارد، در جدول ۲۲-۲ به طور مختصر پرکاربردترین شاخص‌ها معرفی شده‌است. در جدول ۲۳-۲ نیز شاخص‌های مورد استفاده در چند پژوهش بررسی شده‌است.

جدول ۲۲-۲ توضیح شاخص‌های آسایش حرارتی (نگارنده)

شاخص حرارتی		تعریف
PMV	پیش‌بینی متوسط نظر	شاخصی برای تعیین میانگین آرای حرارتی افراد بر اساس مقیاس هفت نقطه‌ای احساس حرارتی بدن (بسیار گرم=۳، گرم=۲، کمی گرم=۱، متعادل=۰، کمی سرد=۱-، سرد=۲-، بسیار سرد=۳-)، استوار بر مبنای تعادل حرارتی بدن انسان (سازمان ملی استاندارد ایران).
		متغیرهای سرعت وزش باد، میانگین دمای تابشی، جنسیت و وزن افراد در این شاخص دارای بالاترین تاثیر هستند (حیدری و منعم، ۱۳۹۲).
PPD	درصد نارضایتی پیش‌بینی شده	شاخصی است برای پیش‌بینی کمی درصدی از افراد که به دلیل احساس سرما یا گرما ابراز نارضایتی دارند، و به صورت درصدی بیان می‌شود (سازمان ملی استاندارد ایران).

دمای درک شده	PT	دمای درک شده، با واحد درجه سانتیگراد، یک محیط مرجع با پارامترهای ثابت را توصیف می‌کند که در آن ادراک فیزیولوژیکی با تجربه محیطی یکسان است (Staiger et al, 1997). ورودی‌های متغیر هواشناسی به PT، دمای هوا، دمای نقطه شبنم، سرعت باد، پوشش کامل ابر و پوشش کم، متوسط و زیاد ابر است (Davis et al, 2006).
دمای معادل فیزیولوژیکی	PET	دمایی که طی آن در یک اتاق نمونه بیلان حرارتی بدن انسان (نرخ سوخت و ساز با کار سبک ۸۰ وات بر نرخ سوخت و ساز پایه اضافه می‌شود، ارزش نارسایی لباس در حد ۰.۹ کلو) با دمای پوست و دمای مرکزی بدن انسان در شرایط بیرون در تعادل می‌باشد (حلبیان، ۱۳۸۷). دمای معادل فیزیولوژیکی برابر دمای هوایی است که در آن بیلان حرارتی بدن انسان در شرایط فضای داخلی مفروض با دمای پوست در شرایط بیرونی در تعادل باشد (Hoppe, 1999). به کمک این شاخص فرد قادر به مقایسه تاثیر کامل مجموعه شرایط حرارتی محیط بیرون با تجربه شخصی خود از دماست (Lin & Matzarakis, 2010). متغیرهای سرعت وزش باد، میانگین دمای تابشی و دمای هوا در این شاخص دارای بالاترین تاثیر هستند (حیدری و منعم، ۱۳۹۲).
دمای موثر استاندارد	SET	این شاخص ارتقا یافته دمای موثر است که برای سهولت در استفاده به عنوان شاخص حرارتی فضاهای داخلی و خارجی معرفی شده است. این شاخص نشان دهنده دمای هوای معادل یک محیط با دمای یکنواخت و رطوبت ۵۰ درصد است که در آن شخص لباسی که مناسب فعالیتش است، پوشیده و همان تنش حرارتی (دمای پوست) و تنظیم دمایی (رطوبت پوست) محیط واقعی را دارد (حیدری و منعم، ۱۳۹۲). متغیرهای سرعت وزش باد، میانگین دمای تابشی و وزن افراد در این شاخص دارای بیشترین تاثیر هستند (حیدری و منعم، ۱۳۹۲).
شاخص اقلیم دمای جهانی	UTCI	در این معیار ویژگی‌های گرمایی فضاهای باز برای عابران پیاده با لباس مناسب فصل تعیین شده، که دامنه‌ای از شرایط بسیار گرم تا شرایط بسیار سرد را پوشش می‌دهد (طاهباز و دیگران، ۱۳۹۱). این شاخص از جمله شاخص‌های هواشناسی زیستی است که بر اساس دما، رطوبت و یا سرعت باد دمای درک شده توسط انسان را تخمین می‌زند (Gosling et al, 2014). این شاخص شاخصی منطقی است که با استفاده از عناصر اقلیمی دما، باد، تابش و رطوبت نسبی و یک مدل تعادل حرارتی و یک مدل لباس آسایش را ارزیابی می‌کند (علیچانی و رضوی، ۱۳۹۶). این شاخص به عنوان دمای معادل یک محیط از یک محیط مرجع با پاسخ فیزیولوژیکی شخص مرجع به محیط واقعی تعریف شد. میانگین دمای تابشی از مهم‌ترین ورودی‌های این شاخص است (فرج‌زاده و دیگران، ۱۳۹۵).
دمای متوسط تابشی (Tmrt): دمای متوسط تابشی معادل دمای واحدی از سطوح اطراف است که به یک جسم سیاه بدون انعکاس داده می‌شود و برابر انرژی است که بدن انسان از شارهای تابشی اطراف جذب می‌کند (ASHRAE, 2010). متوسط درجه حرارت تابشی هوا یکی از مهم‌ترین پارامترهای هواشناسی است که حاکم بر تعادل انرژی انسان و آسایش حرارتی در فضای باز است. در مطالعات آسایش حرارتی در فضای باز، Tmrt یک پارامتر مناسب‌تر نسبت به پارامترهای معمولی مانند دمای هوا، به ویژه در محیط‌های شهری است (Mayer & Hoppe, 1987).		

جدول ۲۳-۲ شاخص‌های آسایش حرارتی مورد استفاده در پژوهش‌های مختلف (نگارنده)

عنوان تحقیق	نویسندگان	سال	روش تحقیق	شاخص	منبع
۱ آموزه‌هایی از معماری اقلیمی گذرهای کاشان	طاهباز و همکاران	۱۳۹۱	برداشت میدانی نرم‌افزار سیکرون	UTCI	(طاهباز و دیگران، ۱۳۹۱)
۲ بررسی مقایسه‌ای تنش‌های حرارتی در سواحل شمال و جنوب ایران	باعقیده و همکاران	۱۳۹۶	نرم‌افزار Rayman و Bioklima	UTCI	(باعقیده و دیگران، ۱۳۹۶)
۳ نقش سایه در باغ ایرانی، بررسی وضعیت آسایش اقلیمی در باغ جهان‌نما و دلگشا	متقی‌پیشه و همکاران	۱۳۹۴	برداشت میدانی نرم‌افزار سیکرون	UTCI	(متقی‌پیشه و دیگران، ۱۳۹۴)
۴ راهکارهای طراحی اقلیمی معابر فضای باز؛ پیاده‌راه‌های دانشگاه کاشان	طاهباز و همکاران	۱۳۹۵	برداشت میدانی	UTCI	(طاهباز و دیگران، ۱۳۹۳)

۵	ارزیابی آسایش حرارتی انسان با استفاده از شاخص جهانی اقلیم حرارتی مطالعه موردی استان کردستان	فلاح‌قاله‌ری و همکاران	۱۳۹۴	نرم‌افزار Rayman و Bioklima	UTCI	(فلاح‌قاله‌ری و دیگران، ۱۳۹۴)
۶	ارزیابی و تحلیل آسایش حرارتی حیاط خانه‌های تاریخی شهر شیراز دوره قاجار	کریمی‌راد و همکاران	۱۳۹۸	شبیه‌سازی ENVI-met	PMV	(کریمی‌راد و دیگران، ۱۳۹۸)
۷	ارزیابی آسایش حرارتی در فضای باز شهری؛ نمونه پارک نوبهار کرمانشاه	جعفری و تابان	۱۳۹۶	برداشت میدانی شبیه‌سازی ENVI-met	PMV	(جعفری و تابان، ۱۳۹۶)
۸	نقش ادراک آسایش بویژه آسایش حرارتی در الگوی رفتار شهروندان در فضاهای شهری؛ نمونه موردی میدان امام خمینی و امام حسین شهر تهران	ضابطیان و خیرالدین	۱۳۹۷	برداشت میدانی شبیه‌سازی ENVI-met نرم‌افزار met	PMV	(ضابطیان و خیرالدین، ۱۳۹۷)
۹	نقش و تاثیر عناصر طراحی در کیفیت آسایش حرارتی فضاهای باز شهری: طراحی پیاده‌راه طمق‌چی‌ها در کاشان	احمدپور کلهرودی و همکاران	۱۳۹۶	شبیه‌سازی ENVI-met نرم‌افزار met	PMV	(احمدپور کلهرودی و دیگران، ۱۳۹۶)
۱۰	تاثیر طراحی در آسایش حرارتی فضای باز مجتمع‌های مسکونی	محمودی و همکاران	۱۳۸۹	شبیه‌سازی ENVI-met نرم‌افزار Rayman و met	PET	(محمودی و دیگران، ۱۳۸۹)
۱۱	آسایش محیطی در فضاهای باز شهری؛ ارزیابی آسایش حرارتی در بوستان‌های منتخب شهر تهران	منعم	۱۳۹۰	برداشت میدانی	PET	(منعم، ۱۳۹۰)
۱۲	ارزیابی شاخصه‌های آسایش حرارتی در فضای باز	حیدری و منعم	۱۳۹۲	برداشت میدانی	PET	(حیدری و منعم، ۱۳۹۲)
۱۳	شرایط آسایش حرارتی در فضاهای بیرونی سایه‌دار در آب و هوای گرم و مرطوب مالزی	مکارمی و همکاران	۲۰۱۲	برداشت میدانی	PET	(Makaremi et al, 2012)
۱۴	تاثیر سایه اندازی بر راحتی حرارتی طولانی مدت در فضای باز	لین و همکاران	۲۰۱۰	برداشت میدانی نرم‌افزار Rayman	PET	(Lin et al, 2010)

طبق جدول ۲۴-۲، با توجه به مطالعات انجام‌شده و پژوهش‌های پیشین این نتایج حاصل شد که شاخص، دمای معادل فیزیولوژیکی (PET)، یکی از مناسب‌ترین شاخص‌ها جهت ارزیابی آسایش حرارتی در فضای باز است. همچنین در پژوهش‌هایی که در فضاهای شهری و با نرم‌افزار انویمت (ENVI-met) انجام شده‌است، غالباً از شاخص پیش‌بینی متوسط نظر (PMV)، به دلیل سهولت محاسبه آن در نرم‌افزار مذکور استفاده شده‌است.

جدول ۲۴-۲ شاخص‌های آسایش حرارتی مناسب از دید پژوهش‌های مختلف (نگارنده)

UTCI	۱- (فرج‌زاده و دیگران، ۱۳۹۴): یکی از مناسب‌ترین شاخص‌ها جهت ارزیابی آسایش حرارتی. ۲- (فلاح‌قاله‌ری و دیگران، ۱۳۹۴): مناسب برای برآورد آسایش با در نظر گرفتن پارامترهای محیطی و فیزیولوژیکی بدن انسان ۳- (باعقیده و دیگران، ۱۳۹۶): مناسب برای پیش‌بینی شرایط آسایش حرارتی در فضاهای با پوشش گیاهی و شهری.
SET	۱- (مجیدی و دیگران، ۱۳۹۸): جهت ارزیابی در هر دو فصل سرد و گرم مناسب است.
PMV	۱- (مجیدی و دیگران، ۱۳۹۸): جهت ارزیابی آسایش شاخصی دارای اعتبار است.
PET	۱- (فرج‌زاده و دیگران، ۱۳۹۴): یکی از مناسب‌ترین شاخص‌ها جهت ارزیابی آسایش حرارتی.

۲- (حیدری و منعم، ۱۳۹۲): مناسب برای ارزیابی آسایش حرارتی فضاهای باز شهری با حوزه گسترده‌ای از افراد است.
۳- (عبداللہی و یوسفی تذکر، ۱۳۹۶): به دلیل تطابق بیشتر با واقعیت‌های اقلیمی دقت بیشتری دارد.
۳- (باعقیده و دیگران، ۱۳۹۶): مناسب برای پیش‌بینی شرایط آسایش حرارتی در فضاهای با پوشش گیاهی و شهری.
۴- (Toudert, 2005): در اقلیم گرم در فضای باز (با در نظر گرفتن نرخ لباس یکسان و سطح فعالیت برابر) دقت بیشتری دارد.

۱۶-۲ مطالعات پیشین

پژوهش‌های متعددی در خصوص آسایش حرارتی در فضای باز انجام گرفته، که در قالب جدول ۲-۲۵ ارائه شده‌است. در جدول ۲-۲۶ نیز مطالعات انجام شده در مورد سایه‌بان‌ها و سازه‌های غشایی، بیان شده‌است.

جدول ۲-۲۵ پیشینه آسایش حرارتی (نگارنده)

منبع	یافته‌ها	نرم‌افزار	سال	نویسنده	عنوان تحقیق
(Nikolopoulou et al, 2001)	این پژوهش یکی از نخستین مطالعات آسایش حرارتی در فضای باز شهری است که تاثیر کیفیت آسایش حرارتی بر الگوهای رفتاری عابران پیاده در فضای باز شهری را بررسی می‌کند.	-	۲۰۰۱	نیکولوپولو و همکاران	آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری: درک پارامتر انسانی
(Walton et al, 2007)	نتایج نشان داد افراد بطور مداوم خود را با شرایط خارجی سازگار می‌کنند. وزش باد بطور موثری پیش‌بینی سازگاری را تحت تاثیر قرار می‌دهد، در حالیکه، دمای هوا کمترین میزان تاثیر را بر روی توانایی افراد برای سازگاری دارد.	-	۲۰۰۷	والتون و همکاران	تأثیر نسبی باد، نور خورشید و دمای هوا بر راحتی کاربر در فضاهای باز شهری
(Meijer et al, 2008)	میزان آسایش پیاده‌ها در فضاهای باز و نیمه‌باز محوطه دانشگاه، از طریق اندازه‌گیری میدانی و پرسشنامه بررسی شد. آن‌ها دریافتند که سرعت باد و دمای هوا بر آسایش حرارتی انسان تاثیر دارد، در حالیکه تشخیص نقش تابش خورشید و رطوبت بر آسایش حرارتی دشوار بود. علاوه بر پارامترهای خرداقلیم، آن‌ها بر تأثیر زیاد سازگاری ذهنی بر آسایش حرارتی تاکید کردند.	-	۲۰۰۸	متجه و همکاران	راحتی عابر پیاده با استفاده از مقادیر لباس و دمای بدن
(Chen & Ng, 2012)	در این پژوهش این نتیجه حاصل شد که شرایط آفتابی و سایه تاثیر چشمگیری بر تمایل افراد در ماندن یا ترک فضا دارد.	-	۲۰۱۲	چن و ان‌جی	آسایش حرارتی بیرونی و فعالیت‌های بیرونی؛ مرور تحقیقات دهه گذشته
(Setraih et al, 2013)	در این پژوهش یک پیاده‌رو در شهر مدینه عربستان بررسی شد. هدف یافتن روش‌های دسترس پذیر برای افزایش سطح آسایش حرارتی عابران در فضای باز ریزاقلیم‌های شهری گرم و خشک بود. برای محاسبه آسایش حرارتی از شاخص PET استفاده شد.	-	۲۰۱۳	ستای و همکاران	ارزیابی آسایش حرارتی محیط بیرونی در ریزاقلیم شهری در نواحی گرم و خشک
(Middel et al, 2016)	در این پژوهش تأثیر سایه بر آسایش حرارتی بیرونی در شهر تمپی ایالت آریزونا بررسی شد. تاثیر سایه‌بان‌ها و درختان را بر آسایش حرارتی شهروندان در یک مرکز عابر پیاده در دوره یکساله و چهار فصل ارزیابی شد.	-	۲۰۱۶	میدل و همکاران	تأثیر سایه بر آسایش حرارتی بیرونی

۷	تأثیر سایه‌اندازی بر آسایش حرارتی طولانی مدت در فضای خارجی	لین و همکاران	۲۰۱۰	RayMan	نتایج نشان داد ضریب دید آسمان بر شرایط حرارتی خارجی اثر زیادی دارد. سایه کم، باعث عدم آسایش در تابستان و سایه زیاد، باعث عدم آسایش در زمستان می‌شود. تایوان تابستان‌های گرم و زمستان‌های معتدل دارد، برای بهبود آسایش حرارتی در تابستان، باید بوسیله درختان و ساختمان‌ها سایه کافی ایجاد شود، در فصل سرما، فضاهای خارجی نباید باعث ایجاد مناطقی با سایه زیاد شود. نیاز حرارتی افراد و خرد اقلیم محلی باید در ایجاد فضاهای باز سایه‌دار مورد توجه باشند.	(Lin et al, 2010)
۸	نقش و تأثیر عناصر طراحی در کیفیت آسایش حرارتی فضاهای باز شهری (طراحی پیاده راه طمقچی‌های کاشان)	احمدپور کلهرودی و همکاران	۱۳۹۶	ENVI-MET	میزان تأثیرگذاری عناصر الحاقی نما، سایه‌بان، پوشش و سطوح آب به عنوان پرکاربردترین ابزار طراحی مؤثر بر کیفیت آسایش حرارتی عابرین پیاده در نواحی گرم و خشک بررسی شد، سایه‌بان و ترکیب سایه‌بان و سطوح آب دارای بیشترین تأثیرگذاری بودند.	(احمدپور کلهرودی و همکاران، ۱۳۹۶)
۹	ارزیابی آسایش حرارتی در فضای باز شهری (نمونه موردی: پارک نوبهار کرمانشاه)	جعفری و تابان	۱۳۹۶	ENVI-MET	آسایش حرارتی در پارک نوبهار کرمانشاه به وسیله شبیه سازی و پرسشنامه مورد بررسی قرار گرفت و این نتیجه حاصل شد که پارامتر متوسط دمای تابشی بر میزان آسایش حرارتی بسیار تأثیرگذار است.	تابان، جعفری و (۱۳۹۶)
۱۰	آسایش حرارتی روزانه در فضای باز شهری	عبداللهی و یوسفی‌تذکر	۱۳۹۶	-	نتایج نشان داد دمای مؤثر استاندارد و دمای معادل فیزیولوژی رابطه همبستگی بالایی با احساس آسایش حرارتی در فضای باز دارد و دمای معادل فیزیولوژی دقت بیشتری نسبت به دمای مؤثر استاندارد دارد، همچنین ابتکارهای عمده طراحی اقلیمی شامل افزایش پناهگاه‌های سایه‌دار، کاشت درخت هستند.	(عبداللهی و یوسفی‌تذکر، ۱۳۹۶)
۱۱	نقش ادراک آسایش بویژه آسایش حرارتی در الگوی رفتار شهروندان در فضاهای شهری (نمونه موردی: میدان امام خمینی و امام حسین شهر تهران)	ضابطیان و خیرالدین	۱۳۹۷	ENVI-MET	نتایج نشان داد لزوماً با ارتقای شرایط فیزیکی آسایش یک محیط، نتایج مورد انتظار (بویژه در فضای عمومی شهری) برآورده نمی‌شود. هر دو میدان دارای شرایط عدم راحتی بوده ولی در مکان اول حضور مردم بیشتر از مکان دوم است و مردم بهتر خود را با شرایط عدم آسایش تطبیق می‌دهند، زیرا در مکان اول سایه‌بان و چترهای آفتابگیر موجود است که سبب ایجاد حس کنترل بر محیط (سازگاری ذهنی افراد) شده و تأثیری بر دمای ادراکی افراد بصورت حسی ندارد.	(ضابطیان و خیرالدین، ۱۳۹۷)
۱۲	ارزیابی تأثیر آسایش حرارتی بر رفتار مردم در محیط شهری (نمونه موردی: شهر بوشهر)	تابان و مجیدی	۱۳۹۷	-	نتایج پژوهش نشان داد که مردم برای رسیدن به آسایش حرارتی در بیشتر اوقات سال به سایه نیاز دارند و از جمله راهکارهای طراحی برای رسیدن به این نتیجه مطلوب در فضاهای شهری بوشهر، باید به ایجاد فضای سایه‌دار از طریق استفاده از سایه‌بان مصنوع، محصوریت فضا و درختان تنه بلند اشاره کرد.	(تابان و مجیدی، ۱۳۹۷)
۱۳	آسایش حرارتی بیرونی در فضای گذرا از سایه‌بان در مدارس انگلستان	وونگ کوان و جان لی	۲۰۱۷	-	این پژوهش در خصوص تأثیر سایه‌بان در آسایش حرارتی بیرونی در فضای گذرا از سایه‌بان در مدارس انگلستان انجام شد که در آن نیاز سایه‌بان و میزان شفافیت آن‌ها در فضای گذار کلاس‌ها بررسی گردید.	(kwon & Lee, 2017)

جدول ۲۶-۲ پیشینه سازه‌ای و سایه‌بان‌ها (نگارنده)

منبع	یافته‌ها	سال	نویسنده	عنوان تحقیق	
(Bridgen et al, 2005)	در این پژوهش به معرفی و بررسی سازه‌های پارچه‌ای کششی و ویژگی آن‌ها، نحوه اجرا و نصب و تغییراتی که ممکن است در آن‌ها ایجاد شود، پرداخته شده است.	۲۰۰۴	بریجنس و همکاران	ساختارهای پارچه‌ای کششی: مفاهیم، اجرا و تحولات	۱
(Forester & Mollaert, 2004)	در این کتاب به طور مفصل سازه‌های غشایی کششی را معرفی نموده و بررسی کرده‌است، همچنین به مواردی نظیر فرم، طراحی، جزئیات، آسایش حرارتی در محیط داخلی آن‌ها و بسیاری موارد دیگر پرداخته شده است.	۲۰۰۴	فورستر و مولارت	راهنمای طراحی اروپایی برای سازه‌های سطح کششی	۲
(طاهباز، ۱۳۸۶)	در این پژوهش اهمیت تأمین سایه در مناطق گرمسیر به عنوان یکی از روش‌های موثر کاهش دما بررسی شد و روش طراحی سایه‌بان برای فضای باز با استفاده از روش نقاب سایه الگی در ۵ مرحله تشریح و شناخت اقلیم محلی و شرایط آسایش انسان در طراحی سایه‌بان تأکید شد.	۱۳۸۶	طاهباز	طراحی سایه در فضای باز	۳
(He & Hoyano, 2009)	در این مقاله، مطالعه‌ای در مورد خصوصیات محیط گرمایی تابستان در یک سازه غشایی واقعی در فضای زیر آن، با استفاده از اندازه‌گیری و شبیه‌سازی انجام شد و انتقال خورشیدی یکی از عوامل اصلی بر محیط حرارتی زیر سازه غشایی در نظر گرفته شد.	۲۰۰۹	هی و هویانو	اندازه‌گیری و شبیه‌سازی محیط حرارتی در فضای ساخته شده زیر سازه غشایی	۴
(He & Hoyano, 2010)	در این مقاله، مطالعه‌ای در مورد خرداقلیم تابستانی در یک سازه غشایی با فضای نیمه باز در زیر آن، با استفاده از اندازه‌گیری و شبیه‌سازی انجام شد و ضمن تعیین کمیت‌های دما، سرعت هوا و رطوبت زیر غشا شاخص SET تخمین زده شد.	۲۰۱۰	هی و هویانو	اندازه‌گیری و ارزیابی خرداقلیم تابستان در فضای نیمه محصور در زیر سازه غشایی	۵
(Kostic et al, 2018)	در این پژوهش رفتار حرارتی سازه غشایی منفرد و دابل مقایسه شد و ضمن تعیین مزایای غشاهای مضاعف، آن‌ها به عنوان تلاشی برای بهبود خصوصیات حرارتی سازه‌های غشایی در نظر گرفته شدند.	۲۰۱۸	کاستیک و همکاران	تأثیر سقف‌های یک و دو غشایی بر رفتار حرارتی فضای محصور	۶
(واسعی و آصفی، ۱۳۹۷)	نتایج نشان داد، از راهکارهای ایجاد آسایش حرارتی و کنترل نور در فضای باز شهری استفاده از انواع سایه‌بان است، در طراحی سایه‌بان پارامتریک با سطوح حداقل با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف، امکان تطبیق و تغییر طرح متناسب با اقلیم و فعالیت‌های محلی در هنگام طراحی فراهم است.	۱۳۹۷	واسعی و آصفی	طراحی و فرم‌یابی سایه‌بان فضای جمعی با سطوح حداقل	۷
(Sultana & Bari, 2019)	داده‌های جمع‌آوری شده نشان داد که اختلاف دمای قابل توجهی بین فضای بیرون و فضای نیمه باز منطقه مورد مطالعه وجود دارد. استفاده از ساختار کششی در فضای نیمه باز می‌تواند درجه حرارت را تا حد معینی کاهش دهد.	۲۰۱۹	سولتان‌ا و باری	بررسی تأثیر سازه پارچه‌ای کششی در فضاهای نیمه باز شهرهای گرمسیری	۸

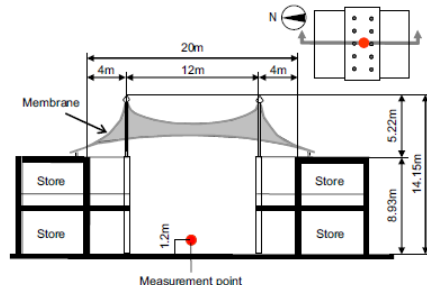
با مرور مطالعات پیشین مشاهده شد که در تحقیقات متعددی آسایش حرارتی در فضای باز و عوامل موثر بر آن، همچنین سایه‌بان غشایی و رفتار آن بررسی شده‌است. با توجه به اینکه در خصوص آسایش حرارتی ایجادشده در فضای باز به وسیله سایه‌بان‌های غشایی منعطف و معرفی ابعاد و مدل مناسب آن‌ها، تاکنون

پژوهشی صورت نگرفته است، در پژوهش پیش رو به طراحی سایه بان غشایی سبک انعطاف پذیر و بررسی تأثیر آن بر آسایش حرارتی در اقلیم گرم و خشک پرداخته می شود.

۱۷-۲ بررسی پژوهش های مشابه

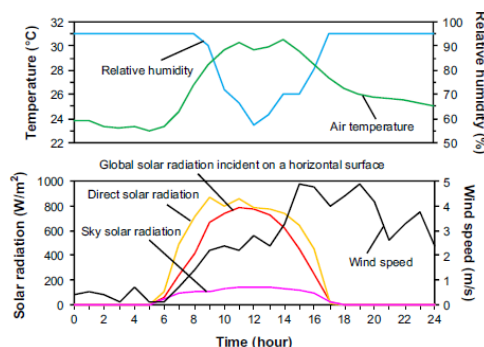
۱۷-۲-۱ پژوهش هی و هوینو، ۲۰۰۹

در سال ۲۰۰۹ هی و هوینو (He & Hoyano, 2009)، در پژوهشی با عنوان "اندازه گیری و شبیه سازی محیط حرارتی در فضای ساخته شده زیر یک سازه غشایی"، به بررسی خصوصیات محیط گرمایی تابستان در زیر یک سازه غشایی واقعی با استفاده از شبیه سازی و اندازه گیری های میدانی پرداختند. در این پژوهش اندازه گیری داده های آب و هوایی محلی برای مشاهده اشعه خورشیدی و توزیع دمای سطح در زیر سازه غشایی در یک دوره تابستانی از ۲۹ اگوست تا ۲۶ سپتامبر ۲۰۰۷ آزمایش و بررسی گردید. سازه غشایی آزمایش در یوکوهاما ژاپن قرار دارد و به عنوان یک مکان تفریحی - استراحتی در پارک استفاده می شود. اقلیم یوکوهاما نیمه مرطوب با تابستان های گرم و مرطوب و زمستان های سرد است. فضای زیر غشا ۲۰ متر عرض و ۱۵ متر ارتفاع دارد. مطابق شکل ۲۰-۲، نقطه اندازه گیری اصلی در مرکز فضای زیر غشا در ارتفاع ۱.۲ متری سطح زمین است.



شکل ۲۰-۲ دیگرام سازه غشایی مورد آزمایش و محل اندازه گیری (He & Hoyano, 2009)

برای جمع آوری داده های آب و هوایی محلی، روی سقف ساختمان مجاور که ارتفاع آن ۱۰ متر است، دستگاه هواشناسی در ارتفاع ۲ متری از سطح سقف نصب و داده ها با فواصل ۱ دقیقه جمع آوری گردید. داده های اندازه گیری شده در روز ۲۱ سپتامبر با آسمانی صاف، مورد تحلیل قرار گرفتند. با توجه به شکل ۲۱-۲، حداقل دمای هوای محیط در روز، ۲۳ درجه سانتیگراد و حداکثر ۳۰ درجه سانتیگراد و سرعت باد حداقل کمتر از ۱ متر بر ثانیه و حداکثر ۵.۵ متر بر ثانیه بود.



شکل ۲-۲۱ اطلاعات آب و هوایی در روز آفتابی ۲۱ سپتامبر ۲۰۰۷ (He & Hoyano, 2009)

شرایط داخلی برای زمان اندازه‌گیری در جدول ۲-۲۷ آمده‌است. سرعت باد برای زمان‌های اندازه‌گیری به جز ساعت ۱۲ کمتر از ۱ متر بر ثانیه بود. در ساعت ۵ درست قبل از طلوع آفتاب، به دلیل تابش خنک‌کننده به آسمان، درجه حرارت غشا، ۲ درجه سانتیگراد پایین‌تر از دمای هوای محیط بود. درجه حرارت سطح زمین در حدود ۱ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای هوای محیط به دلیل سایه‌اندازی غشا بر تابش خنک‌کننده از زمین به سمت آسمان بود. از طرف دیگر، دیوارهای ساختمان با ظرفیت گرمایی بالاتر، ۳ درجه سانتیگراد گرم‌تر از هوای محیط بودند. این درجه حرارت بالاتر سطح، ناشی از تابش خنک‌کننده - اثر سایه‌اندازی در سازه‌های و ذخیره‌سازی حرارت خورشیدی جذب‌شده توسط ساختمان‌ها در روز گذشته بودند.

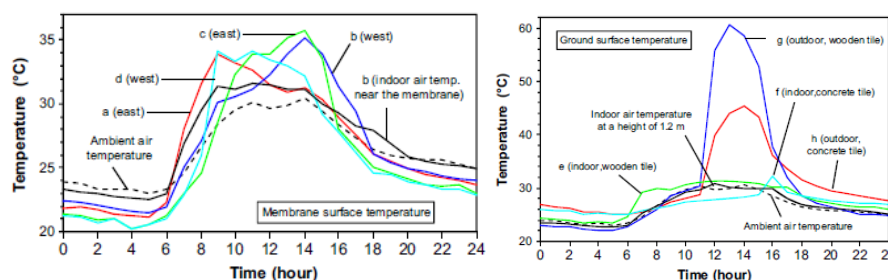
دمای سطح غشای شرقی در ساعت ۹، ۴۰ درجه سانتیگراد و ۹ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای هوای محیط بود. در همین زمان، دمای سطح زمین ۴ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای محیط بود. در ساعت ۱۲ دمای سطوح غشایی ۳۷ درجه سانتیگراد و ۷ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای هوای محیط بود. زمین در این زمان اشعه‌های انتقال‌یافته خورشیدی را از غشا دریافت می‌کرد به طوری که دمای سطح آن با دمای ۴ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای هوای محیط به ۳۴ درجه سانتیگراد رسید. در ساعت ۱۵، انتقال خورشیدی از ساعت ۱۲ پایین‌تر بود. به عنوان نتیجه، درجه حرارت سطح غشا به ۵-۲ درجه سانتیگراد پایین‌تر از دمای ۱۲ کاهش یافته‌است. دمای سطح دیوارهای ساختمان در ضلع جنوبی و شمالی به دلیل ظرفیت گرمایی بالا، از ساعت ۱۲ تا ۱۵ متغیر بودند. ساعت ۱۷ قبل از غروب آفتاب، دمای سطح غشا تقریباً برابر با دمای هوای محیط بود. با این حال، دمای سطح زمین ۲ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای هوای محیط بود. در ساعت ۲۰، یعنی ۳ ساعت بعد از غروب آفتاب، دمای سطح غشا به زیر دمای هوای محیط کاهش یافت و دمای سطح دیوارهای ساختمان و زمین در دمای بالاتر از دمای هوای محیط نگه داشته شد.

جدول ۲۷-۲ شرایط داخلی در نقطه اندازه‌گیری در زیر سازه‌های غشایی (He & Hoyano, 2009)

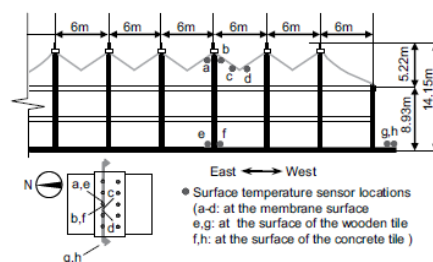
Time	Horizontal solar radiation (W/m ²)	Air temperature (°C)	Relative humidity (%)	Wind speed (m/s)
5:00	0	23.0	90.1	0.1
7:00	36	25.2	84.4	0.9
9:00	32	27.7	70.9	0.2
12:00	65	29.7	55.7	2.2
15:00	34	29.7	61.3	0.3
17:00	6	27.8	72.6	0.7
20:00	0	26.5	88.0	0.1

تغییرات روزانه دمای سطح غشا برای نقاط اندازه‌گیری a تا d در شکل ۲۲-۲ آمده‌است. دمای سطح غشا از ساعت ۱۸ (درست بعد از غروب آفتاب) تا ۵ (درست قبل از طلوع آفتاب) از دمای هوای محیط پایین‌تر بوده و به ۳۵-۳۰ درجه سانتیگراد رسیده‌است. در طول روز اختلاف دمای سطح غشا بین نقاط مختلف اندازه‌گیری کمتر از ۵ درجه سانتیگراد بود. این اختلاف دما ناشی از امواج تابشی در سطح غشا در طی روز است. اختلاف دما در شب به دلیل تفاوت دمای هوا در نزدیکی سطح داخلی غشا با مکان‌های اندازه‌گیری است.

تغییرات روزانه سطوح زمین برای نقاط اندازه‌گیری e تا h در شکل ۲۲-۲ آمده‌است. دمای سطح نقطه e، زمین با تایل‌های چوبی در طول روز بین ۲۴ تا ۳۲ درجه سانتیگراد متغیر بود و ۴ درجه سانتیگراد بالاتر از نقطه f، زمین با تایل‌های بتنی در اواسط ساعات روز بود. اولی نزدیک به دمای هوای داخلی در هنگام شب خنک شد، اما دومی ۲ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای هوای داخلی به دلیل اثر گرمای تایل‌های بتنی نگه داشته شد. دمای سطح زمین در خارج از سازه‌های غشایی برای دمای سطحی با تایل‌های چوبی و بتنی به ترتیب به ۶۰ درجه سانتیگراد و ۴۵ درجه سانتیگراد رسید. موقعیت سنسورهای دمای سطح در شکل ۲۳-۲، قابل مشاهده است.

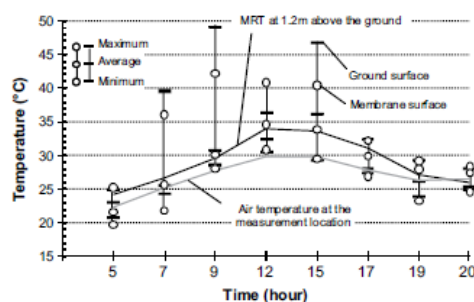


شکل ۲۲-۲ تفاوت دمای سطح اندازه‌گیری شده در غشا (چپ)، زمین (راست) ۲۱ سپتامبر (He & Hoyano, 2009)



شکل ۲۳-۲ موقعیت‌های سنسورهای دمای سطح (He & Hoyano, 2009)

تغییرات دمای سطح غشاها، دمای سطح زمین و MRT از ساعت ۵ تا ۲۰ در شکل ۲-۲۴ نشان داده شده است. MRT بیش از ۲ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای هوای داخلی در طول روز بود. MRT تا ۳۴ درجه سانتیگراد بالا رفت و ۴ درجه سانتیگراد بالاتر از میانگین دمای سطح غشا و دمای سطح زمین در طول اواسط روز بود. این ناشی از افزایش دمای سطح غشاها و زمین است. در ساعت ۵ صبح، مشخص شد که MRT کمی بالاتر از میانگین دمای سطح غشا و دمای سطح زمین است. دلیل این امر این است که به دلیل تابش خنک کننده- اثر سایه اندازی غشا و اثر گرمای زمین، سطوح ساختمانی با دمای بالاتری وجود دارد.



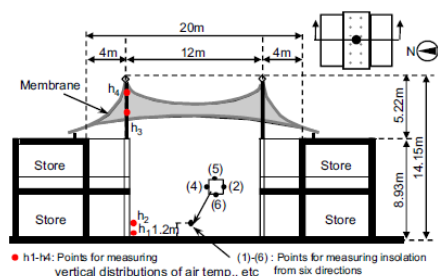
شکل ۲-۲۴ تغییر دمای زمین و هوا و MRT زیر سازه غشایی از ساعت ۵ تا ۲۰، سپتامبر (He & Hoyano, 2009)

نتایج اندازه گیری نشان داد که دمای سطح غشا حداکثر ۴۰ درجه سانتیگراد و ۵-۷ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای هوای محیط در طول روز است. دمای سطح زمین زیر غشا به دلیل انتقال خورشیدی از طریق غشا، ۲ تا ۴ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای هوای محیط در روز افزایش می یابد. در شب درجه حرارت سطح زمین ۲ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای هوا به دلیل تابش خنک کننده- اثر سایه اندازی غشا و اثر گرمای زمین نگه داشته شده است. میزان MRT روز در فضای نشیمن زیر غشا ۴ درجه بالاتر از دمای هوا به دلیل افزایش دمای سطح زمین است. MRT شب به دلیل اثر گرما در دیواره های ساختمان و زمین ۲ درجه بالاتر بود. بطور خلاصه، انتقال خورشیدی یکی از عوامل اصلی تأثیر گذاری بر محیط حرارتی در فضای نشیمن زیر سازه غشایی است.

۲-۱۷-۲ پژوهش هی و هویانو، ۲۰۱۰

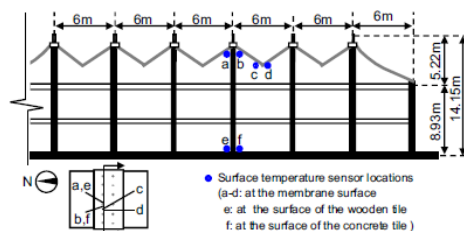
در سال ۲۰۱۰ هی و هویانو (He & Hoyano, 2010)، در پژوهشی با عنوان "اندازه گیری و ارزیابی خرد اقلیم تابستان در فضای نیمه محصور در زیر سازه غشایی"، به بررسی خرد اقلیم تابستانی در سازه های غشایی با فضاهای نیمه باز با استفاده از اندازه گیری میدانی و شبیه سازی برای طراحی یک محیط شهری راحت با استفاده از سازه های غشایی پرداختند. اندازه گیری های میدانی در یک سازه غشایی با فضای نیمه باز در دوره ای تابستانی انجام شد. سازه غشایی آزمایش در یوکوهاما ژاپن است و به عنوان یک مکان تفریحی- استراحتی در پارک استفاده می شود. اقلیم یوکوهاما نیمه مرطوب با تابستان های گرم و مرطوب و زمستان های سرد است. ضلع

شرقی و غربی فضای زیر سازه غشایی به بیرون باز می‌شود. فضای زیر غشا ۲۰ متر عرض، ۱۵ متر ارتفاع دارد. مطابق شکل ۲۵-۲، نقطه اندازه‌گیری اصلی در مرکز فضای زیر غشا در ارتفاع ۱.۲ متری زمین است.



شکل ۲۵-۲ مقطع سازه غشایی و موقعیت اندازه‌گیری (He & Hoyano, 2010)

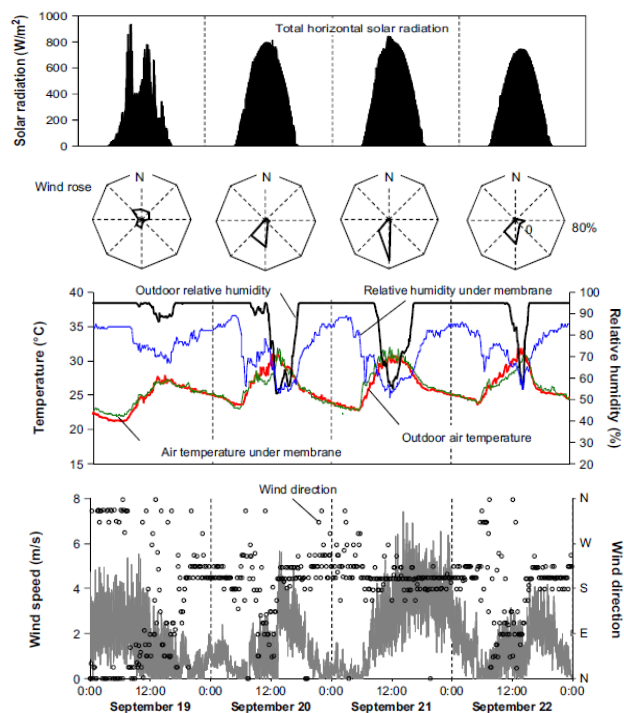
درجه حرارت سطح سقف غشا و کف در فضای زیر غشایی به طور مداوم با استفاده از ترموکوپل‌هایی مانند شکل ۲۶-۲ بررسی شدند. داده‌های هوای محلی (دمای هوای بیرون، رطوبت نسبی، سرعت باد، جهت باد و کل تابش افقی خورشیدی) به طور مداوم روی سقف ساختمان مجاور اندازه‌گیری شدند (ارتفاع ساختمان ۱۰ متر است و ابزارهای اندازه‌گیری در ارتفاع ۲ متر بالاتر از سطح پشت بام نصب شده‌اند).



شکل ۲۶-۲ موقعیت سنسورهای دمای سطح (He & Hoyano, 2010)

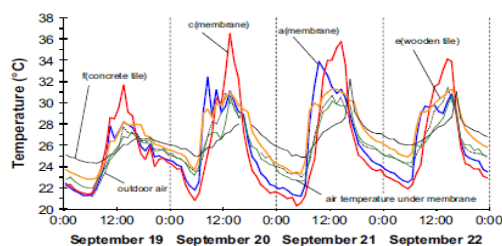
داده‌های آب و هوایی محلی برای یک دوره تابستانی از ۲۹ اوت تا ۲۶ سپتامبر ۲۰۰۷ مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۲۷-۲ داده‌های ثبت شده یک دوره چهار روزه آفتابی پی در پی برای استفاده در تجزیه و تحلیل را نشان می‌دهد. همانطور که از نمودار اول (کل تابش افقی خورشیدی) پیداست، آسمان در طول روزها به جز روز اول (۱۹ سپتامبر) تقریباً صاف بود. با توجه به نمودار دما، حداقل و حداکثر دمای هوای بیرون برای این دوره چهار روزه به ترتیب ۲۱.۲ و ۳۱/۸ درجه سانتیگراد بوده‌است. همچنین دمای هوا در ارتفاع ۱.۲ متری بالاتر از سطح زمین (محل اندازه‌گیری H2) در فضای زیر غشا تقریباً برابر با دمای هوا در فضای باز بود. رطوبت نسبی در فضای باز بیش از ۸۵٪ در یک روز ابری (۱۹ سپتامبر) یا در طول دوره از اواخر بعدازظهر تا اوایل صبح در یک روز آفتابی صاف (۲۰-۲۲ سپتامبر) بود. دلیل این امر تحت تأثیر قرار گرفتن جو محلی در پشت بام ساختمان از هوای مرطوب دریای همسایه است. در مقایسه با رطوبت نسبی در فضای باز، مقادیر داخلی بیشتر از ۱۰ درصد پایین‌تر از اواخر بعدازظهر تا اوایل صبح و تقریباً برابر با اولی در طول روز در روزهای آفتابی صاف است.

نمودارهای افزایش باد نشان می‌دهد که باد جنوبی در طی دوره ۲۰-۲۲ سپتامبر غالب بود. در روز ۲۰ سپتامبر سرعت باد ۱-۲ متر بر ثانیه کمتر از ۲۱ سپتامبر بود. بنابراین ۲۰ و ۲۱ سپتامبر می‌توانند روزهای گرم و آفتابی صاف در تابستان باشند.



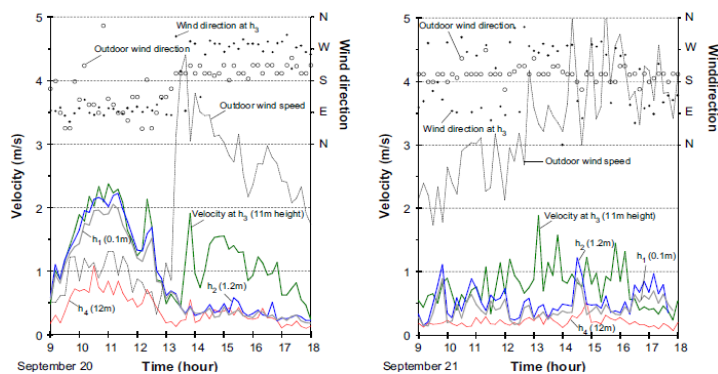
شکل ۲-۲۷ شرایط آب و هوا برای دوره ۴ روزه آفتابی (He & Hoyano, 2010)

تغییرات روزانه دمای غشا و سطح کف برای دوره چهار روزه در شکل ۲-۲۸ نشان داده شده است. دمای سطح غشا بین ۲۰.۳ و ۳۶.۵ درجه سانتیگراد متفاوت بوده و دمای شب در روزهای صاف (۲۰-۲۲ سپتامبر) ۱ تا ۲ درجه سانتیگراد پایین‌تر از دمای هوا بود. درجه حرارت سطح کف با تایل‌های چوبی در مقایسه با کف با تایل‌های بتنی، در طول روز ۱ تا ۲ درجه سانتیگراد بالاتر بود. اما در شب، اولی تقریباً ۱ درجه سانتیگراد پایین‌تر از دومی بود. در ۱۲ ظهر روز ۲۱ سپتامبر، دمای سطح غشا بیش از ۳۷ درجه سانتیگراد و حدود ۷ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای هوا در ارتفاع ۱.۲ متری بالاتر از کف بود. دمای سطح کف چوبی به دلیل انتقال خورشیدی از سقف غشا ۴ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای هوا یعنی ۳۴ درجه بود.

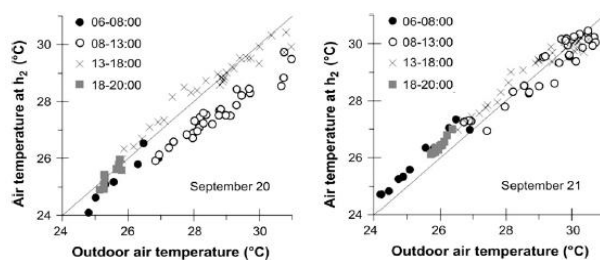


شکل ۲-۲۸ دمای سطح اندازه‌گیری شده غشا و کف برای دوره آفتابی ۴ روزه (He & Hoyano, 2010)

سرعت باد در فضای باز و سرعت هوای داخلی اندازه‌گیری شده در طول روز (۹ تا ۱۸) برای دو روز آفتابی (۲۰-۲۱ سپتامبر) در شکل ۲-۲۹ آمده‌است. فاصله داده‌ها ۱۰ دقیقه است. باد شرقی و جنوب غربی به ترتیب در صبح و بعدازظهر در ۲۰ سپتامبر غالب بودند. در صبح وزش باد با سرعت حدود ۱ متر بر ثانیه از دریا در حال وزش بود. در این مدت، تهویه متقاطع در زیر فضای غشایی فراهم بود. علاوه بر این، سرعت هوا در مکان‌های h_1 - h_3 حدود ۲ متر در ثانیه و ۱ متر بر ثانیه بالاتر از سرعت باد در فضای باز پشت بام بود. دلیل این امر شکستن باد توسط ساختمان‌های طرفین فضای غشایی است. اما بعدازظهر جهت باد از شرق به جنوب غربی تغییر کرد. سرعت باد حداکثر ۴.۴ متر بر ثانیه در ساعت ۱۳ بوده و پس از این ساعت به تدریج کاهش یافته‌است. بعدازظهر روز ۲۰ سپتامبر باد در جهت تقریباً عمود بر دهانه فضای زیر غشایی بود و باد از فضای زیر غشایی عبور نمی‌کرد. بنابراین، سرعت هوای داخلی به زیر نیمی از سرعت باد در فضای باز کاهش یافت، و سرعت هوا در ارتفاع ۱.۲ متری (مکان H2) در حدود ۰.۵ متر در ثانیه نگه داشته شد. اگرچه باد به سمت بازوهای فضای زیر غشا نمی‌وزید، اما یک جریان هوای پایدار به سمت شرق در محل فوقانی (H3) در بعدازظهر پیدا شد. باد جنوبی در روز ۲۱ سپتامبر غالب بود. سرعت باد بین ۲-۵ متر بر ثانیه و ۱-۲ متر بر ثانیه از روز قبل بیشتر بود. اگرچه وزش باد شدیدتر شد، اما حرکت هوا در ارتفاع ۱.۲ متری در بیشتر ساعات روز کمتر از ۱ متر بر ثانیه بود. جهت جریان هوا در محل فوقانی (H3) نیز ناپایدار بود. طبق شکل ۲-۳۰ زمان‌های بیشتری وجود داشت که دمای هوا در محل H2 پایین‌تر از دمای هوای آزاد در روز ۲۰ سپتامبر بود.

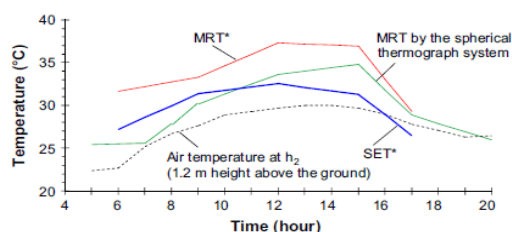


شکل ۲-۲۹ تغییرات سرعت و جهت باد راست: ۲۱ سپتامبر و چپ: ۲۰ سپتامبر (He & Hoyano, 2010)



شکل ۲-۳۰ ارتباط بین دمای هوا در فضای باز و ارتفاع ۱.۲ متری زیر غشا، روزهای آفتابی (۲۰-۲۱ سپتامبر) (He & Hoyano, 2010)

در شکل ۳۱-۲ مقادیر MRT و SET و MRT اندازه‌گیری شده دیده می‌شود. MRT بیش از ۶ درجه سانتیگراد بالاتر از MRT اندازه‌گیری شده از ساعت ۶ تا ۸ در مکان اندازه‌گیری (H2) که در معرض تابش مستقیم خورشید قرار دارد، بود. اولی ۴ تا ۵ درجه سانتیگراد بالاتر از دومی در اواسط روز، به دلیل انتقال خورشیدی از سقف غشایی بود. SET ۲ تا ۴ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای هوا از ساعت ۶ تا ۱۵ بود و حداکثر ۳۲.۵ درجه سانتیگراد در ظهر بود. SET بعد از ساعت ۱۶ پایین‌تر از دمای هوا شد. این کاهش ناشی از کاهش تابش خورشید و افزایش سرعت هوا در زیر غشا بعد از این ساعت است.



شکل ۳۱-۲ تغییرات دما و گرمای هوا در ارتفاع ۱.۲ متر بالاتر از کف زیر غشا، ۲۱ سپتامبر (He & Hoyano, 2010)

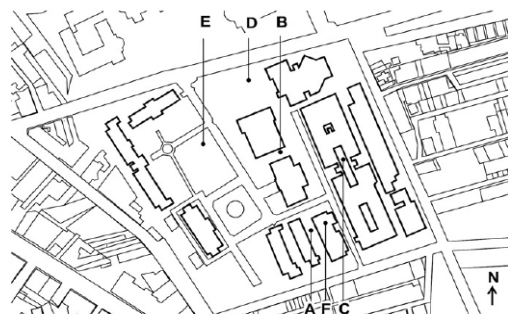
نتایج نشان داد که SET در طول روز ۲ تا ۴ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای هوای محیط در یک روز آفتابی در شرایط تهویه مطبوع کم باد بود. به عنوان یک استراتژی خنک‌کننده غیرفعال برای بهبود محیط حرارتی در فضای نیمه باز در زیر سازه غشایی، یک پیاده‌رو خنک‌کننده تبخیری در نظر گرفته می‌شود که کاربرد دارد.

۳-۱۷-۲ پژوهش لین و همکاران، ۲۰۱۰

در سال ۲۰۱۰ لین و همکارانش (Lin et al, 2010)، در پژوهشی با عنوان "اثر سایه‌اندازی بر راحتی طولانی مدت در فضای باز"، در محوطه دانشگاه ملی فورموسای تایوان با آب و هوای نیمه گرمسیری، ۱۲ آزمایش میدانی برای تحلیل شرایط حرارتی در فضای باز انجام دادند و از دمای معادل فیزیولوژیکی به عنوان شاخص حرارتی استفاده کردند. شش مکان اندازه‌گیری طبق شکل ۳۲-۲ در دانشگاه توزیع شدند. مکان‌های اندازه‌گیری A تا E، فضاهای بیرونی مورد استفاده دانشجویان هستند و با سطح سایه‌های مختلف مشخص می‌شوند. طبق جدول ۲۸-۲، نقطه F، مرجعی برای مکان‌های A-E، در پشت بام یک ساختمان چهار طبقه و بدون سایه است. در بین شش مکان اندازه‌گیری، SVF از نقطه C بسیار سایه‌دار ($SVF^{1/4} 0.04$) تا نقطه F به سختی سایه‌دار ($SVF -0.808$) متغیر است. درختان اطراف مکان‌های اندازه‌گیری همیشه سبز هستند.

جدول ۲۸-۲ توضیحات مکان‌های اندازه‌گیری (Lin et al, 2010)

Location	Description	Ground cover	SVF
A	Information building pass way	Interlocking blocks	0.129
B	Library pass way	Asphalt concrete	0.101
C	Engineering building atrium	Grass	0.04
D	Student union square	Grass	0.204
E	Center square	Grass	0.497
F	Roof	Concrete	0.808



شکل ۳۲-۲ نقشه دانشگاه و مکان‌های اندازه‌گیری (Lin et al, 2010)

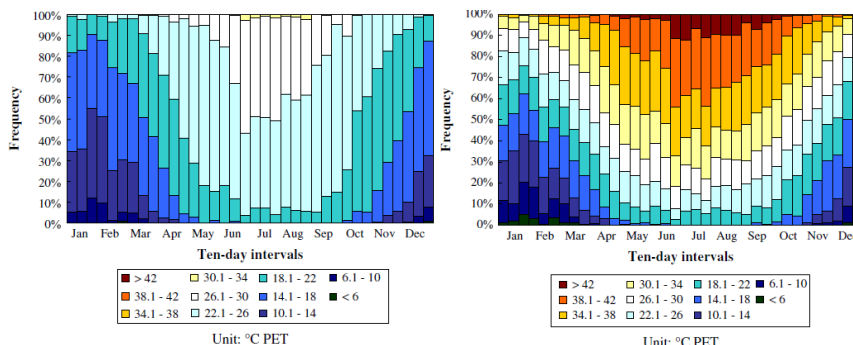
برای اندازه‌گیری پارامترها، دستگاه‌ها در ارتفاع ۱.۱ متر از سطح زمین در مکان‌های A-F قرار گرفتند. اندازه‌گیری‌ها در فواصل ۱ دقیقه از ۸ صبح تا ۱۸ ثبت شدند، زیرا در این بازه زمانی دانش‌آموزان بیشتر خارج از منزل هستند. ۱۲ آزمایش میدانی در هر ماه نیز برای اطمینان از نمایندگی داده‌ها انجام شد. آزمایش‌های میدانی در تاریخ ۱۸ دسامبر ۲۰۰۷، ۸ ژانویه ۲۰۰۸ و ۱ فوریه ۲۰۰۸ در زمستان، در ۱۹ مارس ۲۰۰۸، ۱۱ آوریل ۲۰۰۷ و ۱۶ مه ۲۰۰۷ در بهار، در ۲۰ ژوئن ۲۰۰۷، ۲۰ ژوئیه ۲۰۰۷، و ۱۵ آگوست ۲۰۰۶ در تابستان، و در ۲۱ سپتامبر ۲۰۰۷، ۱۵ اکتبر ۲۰۰۷ و ۲۰ نوامبر ۲۰۰۷ در پاییز انجام شد. اندازه‌گیری‌ها از ۸ تا ۱۸ هر روز ثبت شد. طبق جدول ۲۹-۲، از نظر نتایج اندازه‌گیری برای مکان F، میانگین T_a در تابستان بزرگتر از ۳۴ درجه سانتیگراد بود و در ژوئن به ۳۶.۴ درجه سانتیگراد رسید. متوسط T_a در زمستان ۱۷-۲۵ درجه سانتیگراد، کمترین دما، ۱۴.۴ درجه سانتیگراد، در فوریه رخ داد. میانگین رطوبت نسبی ۵۰-۸۰٪ و میانگین سرعت باد برای هر اندازه‌گیری بزرگتر از ۲ متر در ثانیه بود. این داده‌ها آب و هوای محلی را به عنوان گرم در تابستان، معتدل در زمستان و رطوبت بالا در تمام سال توصیف می‌کند.

جدول ۲۹-۲ مقادیر میانگین اندازه‌گیری‌ها، مقادیر موجود در پرانتز حداقل و حداکثر است (Lin et al, 2010)

Season	Date	Air temperature, T_a ($^{\circ}\text{C}$)	Relative humidity, RH (%)	Wind speed, v (m/s)	Global radiation, Gr (w/m^2)
Winter	2007/12/18	23.5 (18.9–27.2)	71 (57.2–90.7)	1.4 (0.5–3.5)	323.4 (0–536.9)
	2008/1/8	24.7 (19.9–28.2)	69.9 (58.2–85.7)	0.7 (0.2–1.7)	279.7 (0–629.3)
	2008/2/1	17.9 (14.4–20.3)	78.3 (70.5–86.6)	0.7 (0.3–1.4)	270.6 (16.6–658)
Spring	2008/3/19	26 (23.5–28.5)	62.3 (52–80.5)	1.7 (1–3.6)	472.4 (96.5–766)
	2007/4/11	23.9 (18.1–27.4)	60.2 (49.6–81.5)	1.3 (0.2–1.9)	617.4 (115.7–1003.6)
	2007/5/16	32.3 (30.2–34)	57.7 (49.1–65.6)	2.6 (1.4–3.5)	706.1 (151.3–1351.9)
Summer	2007/6/20	35.4 (31.9–36.4)	53.4 (42.9–68.2)	1.2 (0.4–2)	622.6 (205.8–1080.5)
	2007/7/20	34.5 (32–35.7)	57.4 (50.7–66.3)	0.9 (0–2.6)	731.4 (203–1127.7)
	2006/8/15	34.6 (31–36.1)	56 (37.2–80.2)	1.4 (0.9–2.3)	570.3 (143–802.3)
Autumn	2007/9/21	32.5 (30.2–34.1)	65.5 (57.6–76.2)	1.5 (0.3–2.6)	529 (123.2–851)
	2007/10/15	27.4 (22.8–29.7)	62.5 (56.4–77.9)	2 (0.7–3.6)	470.6 (2.1–800.3)
	2007/11/20	23.9 (20.6–27.5)	65.2 (53.5–79.3)	0.8 (0.4–2)	400.3 (0–657.8)

طبق شکل ۳۳-۲، در تابستان (ژوئن-آگوست)، احتمال $PET > 30^{\circ}\text{C}$ (کمی گرم) در محل بسیار سایه‌دار C بسیار کم است، در حالی که احتمال $PET > 42^{\circ}\text{C}$ (بسیار گرم) در روز به ندرت از محل سایه F، ۱۰٪ فراتر می‌رود. در زمستان، PET همیشه در دمای ۲۲ درجه سانتیگراد (خنک) بود و احتمال $PET < 22^{\circ}\text{C}$ در روز فقط در محل F، ۷۰٪ بود. از نظر دامنه راحتی حرارتی (۲۶-۳۰ درجه سانتیگراد PET)، مدت زمان راحتی

حرارتی در محل C در تابستان (جولای و آگوست) ۵۰٪ زمان بود، در حالی که در محل F پیوسته زیر ۲۰٪ در طول سال بود. نتایج نشان داد، سطح سایه‌های مختلف به تغییر در توزیع ادراک حرارتی کمک می‌کند.



شکل ۲-۳۳ فرکانس PET در موقعیت C (چپ) و موقعیت F (راست)، در محوطه دانشگاه از ۸ تا ۱۸، ۱۹۹۸-۲۰۰۷ (Lin et al, 2010)

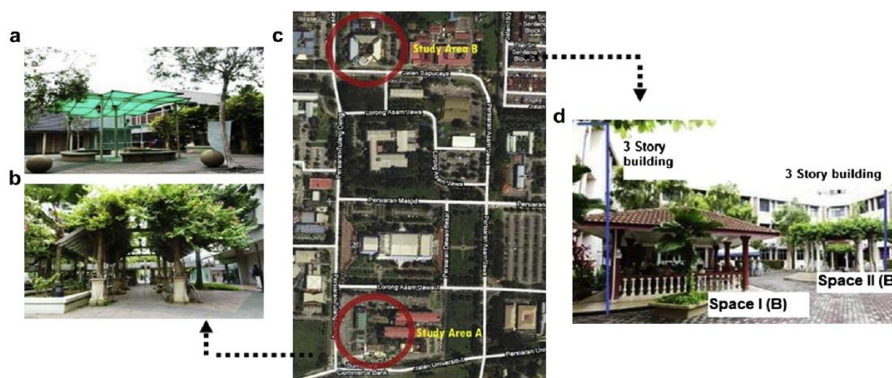
نتایج تحلیلی نشان می‌دهد که مکان‌های به سختی سایه‌دار (SVF های بالا) در تابستان ناراحت‌کننده و مکان‌های بسیار سایه‌دار (SVF های پایین) در زمستان ناراحت‌کننده بودند. سطح سایه متوسط ($SVF=0.129$)، محل A به طولانی‌ترین دوره آسایش حرارتی در کل یک سال کمک کرده‌است. فاصله‌هایی با سایه اندک و بیش از حد، دوره راحتی حرارتی کوتاه دارند. از آنجا که تایوان دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های معتدل است، باید درختان و ساختمان‌ها سایه کافی برای بهبود آسایش حرارتی در تابستان فراهم کنند. با این حال، از آنجا که تایوانی‌ها تحمل ضعیف در برابر دمای سرما دارند، برنامه‌ریزی فضای بیرون باید از ایجاد مناطقی با سایه بیش از حد جلوگیری کند.

۴-۱۷-۲ پژوهش مکارمی و همکاران، ۲۰۱۲

در سال ۲۰۱۲ مکارمی و همکاران (Makaremi et al, 2012)، در پژوهشی با عنوان "شرایط آسایش حرارتی فضاهای سایه‌دار در آب و هوای گرم و مرطوب مالزی"، یک مطالعه میدانی کمی به منظور بررسی شرایط آسایش حرارتی در فضای باز بر اساس اندازه‌گیری پارامترهای مهم آب و هوایی، در آب و هوای گرم و مرطوب گرمسیری مالزی انجام دادند. درک حرارتی افراد به طور همزمان با استفاده از پرسشنامه ضبط شد. این مطالعه روی فضاهای سایه‌دار بیرونی در محوطه دانشگاه پوترای مالزی متمرکز و از شاخص آسایش حرارتی دمای معادل فیزیولوژیکی برای ارزیابی شرایط راحتی حرارتی مناطق انتخاب شده، استفاده شد. مالزی به عنوان یک کشور گرمسیری، دارای دمای هوا و رطوبت نسبی بالا، شرایط باد و هوای متغیر، ساعات طولانی آفتاب با بارندگی شدید در طول سال است. دمای هوای روزانه از ۲۴ درجه سانتیگراد کمتر است در حالی که حداقل دمای ثبت شده معمولاً در طول شب است. مالزی از رطوبت بالایی برخوردار است در حالی که متوسط رطوبت

نسبی ماهانه از ۷۰٪ تا ۹۰٪ در طول سال متفاوت است. با این وجود متوسط رطوبت روزانه می‌تواند به کمی ۴۲٪ و زیادی ۹۴٪ باشد.

بنابر شکل ۲-۳۴، این تحقیق در دو بخش مطالعاتی در محوطه دانشگاه حاوی شرایط مختلف محیطی در حالی انجام شده‌است که هر منطقه مورد مطالعه شامل دو مکان مطالعه موسوم به فضای I و II است. منطقه مطالعه A در بخش مرکزی محوطه قرار دارد در حالی که فضای I (A) دارای یک پوشش شفاف، سبز رنگ، سقف پلی‌کربناتی در قسمت بالا و احاطه شده توسط ساختمان‌های یک طبقه است و فضای II (A) دارای یک آلاچیق است که توسط گیاهان و یک ساختمان چند طبقه احاطه شده‌است. منطقه مطالعه B دارای حیاط مرکزی است که توسط ساختمان‌ها احاطه شده‌است. فضای I (B) بسیار نزدیک به یک ساختمان چند طبقه است و فضای II (B) در بخش مرکزی حیاط قرار دارد. تحقیقات میدانی این مطالعه در تاریخ ۱۶ و ۱۷ مارس و ۷ آوریل ۲۰۱۰ از ساعت ۹ صبح تا ۵ بعد از ظهر در فواصل ۱۰ دقیقه انجام شده‌است.

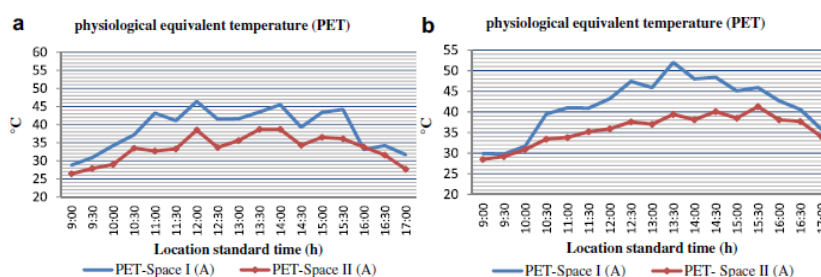


شکل ۲-۳۴ (a) و (b): منطقه مورد مطالعه A، فضای I و II (c): محل مناطق مورد مطالعه در دانشگاه (d): منطقه مطالعه B، فضای I و II (Makaremi et al, 2012)

طبق شکل ۲-۳۵ در طول روز، مقادیر PET در هر دو مکان به طور کلی بالای محدوده ۳۰ درجه سانتیگراد بود. در همین حال، در مدت زمان ۱۱ صبح تا ۴ بعدازظهر، مقادیر PET مربوطه تا حد زیادی از این حد فراتر رفته و راحتی به طرز چشمگیری بسیار ضعیف بود. فضای I (A) که به یک سقف شفاف و بدون سایه مؤثری از محیط اطراف مجهز شده‌بود، اساساً کمترین میزان راحتی را در بیشتر اوقات داشت. در طول زمان اندازه‌گیری، به ویژه حوالی ظهر، پوشش ذکر شده قادر به محافظت از منطقه در برابر اشعه خورشیدی نبود. از طرف دیگر، فضای II (A) که دارای یک آلاچیق بود که توسط گیاهان پوشیده شده بود، در مقایسه با فضای I (A) شرایط حرارتی بهتری داشت. علی‌رغم تفاوت‌های قابل توجه بین مکان‌ها با توجه به شرایط آسایش حرارتی آن‌ها (با حداکثر مقدار حدود ۱۲ درجه سانتیگراد)، مقادیر PET برای هر دو منطقه بالاتر از محدوده

قابل قبول مفروض در بیشتر موارد اندازه‌گیری بود (کمتر از ۳۴ درجه سانتیگراد). اما لازم به ذکر است که جمع آوری داده‌ها در گرمترین دوره روز انجام شده‌است.

در طول دوره اندازه‌گیری (۹ صبح تا ۵ بعد از ظهر)، احتمال $PET < 34C$ (دامنه قابل قبول) در فضای سایه‌دار ضعیف I (A) بسیار کم بود، در حالی که مقادیر PET محاسبه شده از ۱۰ صبح تا ۴ بعد از ظهر از حد مجاز فراتر رفت. با این حال، در فضای II (A)، PET همیشه کمتر از ۴۲ درجه سانتیگراد (بسیار گرم) و از ۹ صبح تا ۱۱ صبح و ۴ عصر تا ۵ عصر، در محدوده آسایش حرارتی قابل قبول بود. ($PET < 34 C$). آلاچیق فضای II(A) علاوه بر سایه ساختمان‌های اطراف، با کمک گیاهان یک منطقه سایه‌دار مناسب فراهم می‌کند، در حالی که مقادیر PET در محدوده کمتری نسبت به فضای I (A) تفاوت دارد.

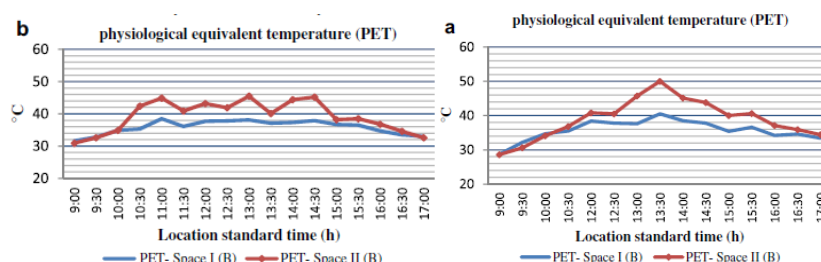


شکل ۳۵- ۲ تغییرات PET محاسبه شده در A، فضای I و II: a: ۱۶ مارس و b: ۷ آوریل (Makaremi et al, 2012)

در حیاط مرکزی، طبق شکل ۳۶-۲، مقادیر PET هر دو مکان به طور کلی بالاتر از حد مجاز بالای راحتی در حدود ۳۰ درجه سانتیگراد بود. با این وجود، مقادیر PET محاسبه شده در فضای I (B) در طول دوره اندازه‌گیری به طور قابل توجهی پایین‌تر از فضای II (B) بود. از این رو، فضای I (B) که دارای یک سایه‌بان سازه‌ای است که از سایه‌بان یک ساختمان چند طبقه در مجاورت ایجاد شده‌است، شرایط حرارتی راحت‌تری ایجاد می‌کند. تغییر مقادیر PET در محل ذکر شده کوچکتر از آلاچیق مرکزی فضای II (B) بود که با سایه چوب سبک پوشانده شده از گیاهان شکل می‌گرفت و به راحتی امکان نفوذ اشعه خورشیدی را فراهم می‌آورد. لازم به ذکر است که اگرچه سایه ساختمان‌های اطراف به همراه سازه سایه‌بان محل، مکان گردهمایی مناسبی برای فعالیت‌های دانشجویی فراهم می‌کرد، اما مقادیر PET مربوطه در اکثر اوقات همچنان بالاتر از حد قابل قبول برای آب و هوای گرمسیری (۳۴ درجه سانتیگراد) بود. بدین ترتیب، دوره قابل قبول شرایط حرارتی در فضای I (B) فقط در اوایل صبح (۹ تا ۱۰ صبح) و اواخر بعد از ظهر (۴ تا ۵ بعد از ظهر) بود. با این وجود، فضای II (B) نسبت به فضای I (B) در دوره‌های یاد شده از نظر حرارتی، کمی راحت‌تر در نظر گرفته شد.

بر این اساس، در فضای I (B)، PET همیشه کمتر از ۴۲ درجه سانتیگراد (بسیار گرم) و از ۹ صبح تا ۱۱ صبح و ۳ تا ۵ بعد از ظهر در محدوده آسایش حرارتی قابل قبول بود ($PET < 34 C$). این واقعیت به دلیل اثر سایه‌اندازی ساختمان‌های اطراف فضای II (B) است که ارتفاع خورشیدی کم را قبل از ساعت ظهر مسدود می‌کند. با این

حال، احتمال $PET < 34\text{ C}$ (دامنه قابل قبول) در فضای II (B) بسیار کم بود، در حالی که مقادیر PET محاسبه شده به دلیل مقدار زیاد تشعشعات خورشیدی در محل مرکزی، از ۱۲ ظهر تا ۳ بعدازظهر از حد مجاز عبور کرده است. از این رو، نتایج نشان می‌دهد که مهم‌ترین تفاوت بین مقادیر PET محل‌های مربوطه در زمان ظهر (با حداکثر مقدار تقریبی ۸ درجه سانتیگراد) بود.



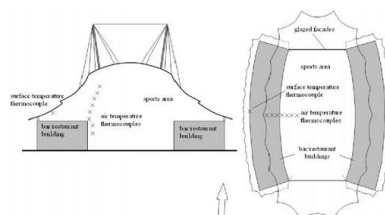
شکل ۳۶-۲ تغییرات PET محاسبه شده در B، فضای I و II a: ۱۷ مارس، b: ۸ آوریل (Makaremi et al, 2012) یافته‌های اندازه‌گیری میدانی نشان داد که مقادیر شاخص راحتی حرارتی (PET) در فضاهای سایه‌دار انتخاب شده فضای بیرونی پردیس بالاتر از محدوده راحتی تعریف شده برای آب و هوای گرمسیری بود ($PET < 30\text{ C}$). با این وجود، شرایط قابل قبول ($PET < 34\text{ C}$) به طور معمول در ساعات اولیه اندازه‌گیری (۹ تا ۱۰ صبح) و بعدازظهر (۴ تا ۵ بعدازظهر) اتفاق می‌افتد. در حالی که، مکان‌هایی با سطح بالای سایه به دست آمده از گیاهان و ساختمان‌های اطراف آن از گرمای بیشتری برخوردار بودند.

۵-۱۷-۲ پژوهش ویلسون و همکاران، ۲۰۰۷

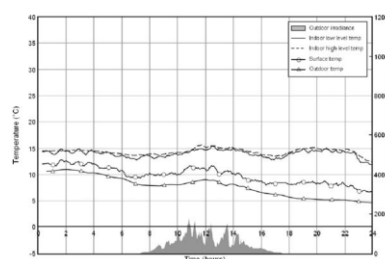
در سال ۲۰۰۷ ویلسون و همکاران (Wilson et al, 2007)، در پژوهشی با عنوان "رفتار حرارتی ساختمان‌هایی با سازه غشایی تک پوسته"، به بررسی رفتار حرارتی ساختمان مرکزی مجتمع درآمد داخلی با سازه غشایی منفرد در ناتینگهام انگلستان که در شکل ۳۷-۲ مشاهده می‌شود، پرداختند. سقف غشایی، شامل یک لایه فایبرگلاس با روکش PTFE، مساحت ۷۲۰ مترمربع را می‌پوشاند. داده‌های دمای خشک، رطوبت نسبی، سرعت متوسط و جهت باد با فواصل ۲ دقیقه در مدت زمان ۲۰ دقیقه (۱۰ داده) ثبت گردیدند.

می‌توان دو الگوی خاص در رفتار حرارتی محوطه غشایی، که عمدتاً بر اساس صاف بودن آسمان است، شناسایی کرد. در روزهای ابری، محوطه غشایی به طور معمول یک محیط حرارتی داخلی پایدار و توزیع دمای نسبتاً یکنواخت را نشان می‌دهد. رفتار حرارتی معمولی مشاهده شده در شرایط آسمان ابری در شکل ۳۸-۲ نشان داده شده است. طبق شکل ۳۹-۲، این رفتار در طول هر دو روزهای ابری تابستان و زمستان مشابه یکدیگر بود. سطح غشا درجه حرارت را پایدار نگه می‌دارد، معمولاً نزدیک به میانگین دمای هوای داخلی و خارجی. در نتیجه کمبود دریافت‌های خورشیدی به داخل محوطه و اختلاف کم بین دمای هوا و سطح غشا، طبقه‌بندی عمودی درجه حرارت در طول روز و شب بسیار ضعیف بود و دمای هوا تقریباً یکنواختی در فضا وجود داشت.

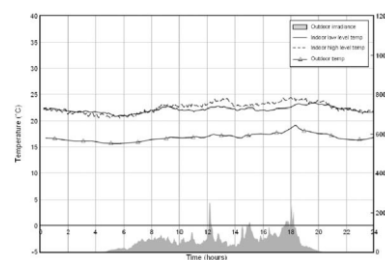
طبق شکل ۴۰-۲، در طول روزهای صاف آفتابی، نوسانات زیاد دمای سطح غشا نسبت به دمای هوا اطراف، مرتباً مشاهده شد. ممکن است دیده شود که دمای سطح غشا تا اندکی قبل از ظهر به تابش مستقیم خورشیدی موجود پاسخ نمی‌دهد. دلیل این امر این است که ترموکوپل به ضلع غربی غشا ثابت شده که تا اواخر صبح از سایه بیرون نیامده است. در دوره‌هایی که ثبت داده‌های غشا در سایه بوده، دمای سطح پایین‌تر از دمای هوای خارجی است، که نشان می‌دهد که تبادل تابشی طول موج بلند با طاق آسمان نقش مهمی در تعادل گرمایی غشا ایفا می‌کند.



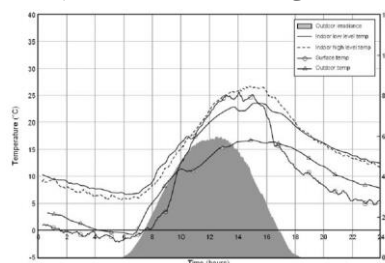
شکل ۳۷-۲ چپ: مقطع و پلان، راست: موقعیت دستگاه‌های اندازه‌گیری در ساختمان (Wilson et al, 2007)



شکل ۳۸-۲ رفتار حرارتی معمولی ساختمان در یک روز ابری سرد (۲۰۰۳/۰۳/۰۵) (Wilson et al, 2007)



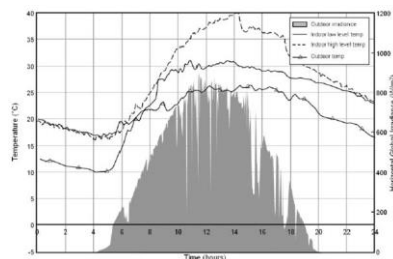
شکل ۳۹-۲ رفتار حرارتی معمولی ساختمان در یک روز ابری گرم (۲۰۰۲/۰۷/۱۴) (Wilson et al, 2007)



شکل ۴۰-۲ رفتار حرارتی معمولی ساختمان داخلی در روز صاف سرد (۲۰۰۳/۰۳/۲۳) (Wilson et al, 2007)

طبق شکل ۴۱-۲، اختلاف دمای بین منطقه اشغالی و سنسور اندازه‌گیری دمای هوا نزدیک به بالای سقف غشا، حاکی از تقسیم‌بندی منفی ضعیف هوای داخلی در شب و طبقه‌بندی مثبت در طول روز است، الگویی

که از تغییرات شدید در دمای سطح سقف غشا پیروی می‌کند. ضبط داده‌ها در ماه‌های تابستان رفتار مشابهی نشان داد، میزان طبقه‌بندی دمای داخلی با مقدار تابش خورشیدی به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. در مورد پوشش متغیر ابر و حرکت ابرها، رفتار حرارتی محوطه به سادگی بین این دو، نوسان می‌کند و به سرعت به تغییرات موقعیت ابرها واکنش می‌دهد.



شکل ۴۱-۲ رفتار حرارتی معمولی ساختمان در یک روز صاف گرم (۲۰۰۲/۰۷/۱۳) (Wilson et al, 2007)

در پاسخ به مصرف منابع انرژی محدود و تغییرات آب و هوایی، طراحان ساختمان برای کاهش انتشار کربن همراه با حفظ شرایط آسایش ساکنان تشویق می‌شوند. سازه‌های غشایی کششی این امکان را دارند که در صورت استفاده مناسب به این فرآیند کمک کنند یا در صورت استفاده بدون توجه به شرایط موجود در فضای مورد نظر در تضاد با آن کار کنند. برخی از ویژگی‌های بارز این سازه‌ها در این پژوهش:

۱. رابطه زمانی متفاوت هندسه غشایی با مسیر خورشید.
۲. ظرفیت حرارتی کم غشا و در نتیجه حساسیت دمای غشا به تغییرات محیط آن.
۳. حساسیت هر دو مکانیسم انتقال حرارت همرفتی و تابشی در سطح غشا به هر دو جریان هوای داخلی و خارجی، دمای غشایی و محیط تابشی.
۴. حرکت هوا در مقیاس بزرگ و تأثیرات مرتبط با آن در تبادل گرما و شرایط راحتی در فضای محصور.

۶-۱۷-۲ پژوهش هو و همکاران، ۲۰۱۸

در سال ۲۰۱۸ هو و همکارانش (Hu et al, 2018)، در پژوهشی با عنوان "ویژگی‌های حرارتی و ارزیابی آسایش استادیوم‌های غشایی محصور با دهانه وسیع"، آزمایشاتی زمستانی و تابستانی با توجه به موقعیت مکانی و زمانی برای اندازه‌گیری توزیع دما در شرایط استادیومی خالی در جنوب شرقی شانگهای مطابق با شکل ۴۲-۲ انجام شده است. شانگهای، شهری ساحلی با آب و هوای مرطوب نیمه گرمسیری است. میانگین دما و رطوبت سالانه در دامنه دمای ۲۸.۶-۴.۸ درجه سانتیگراد و دامنه رطوبت ۷۹-۷۱٪ تغییر می‌کند.

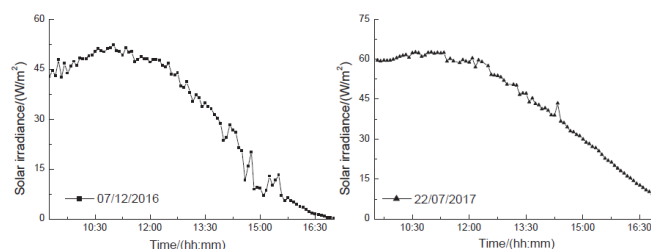
به طور کلی، شرایط آب و هوایی که بر عملکرد حرارتی ساختمان‌های غشایی بزرگ محصور تأثیر دارد شامل تابش خورشیدی داخلی و سرعت هوا است. پارامترهای داخلی مربوطه شامل دمای هوا، درجه حرارت جهانی

و رطوبت نسبی هستند که به فضا، زمان و فصول مربوط می‌شود. آزمایش زمستان و تابستان در ۲۰۱۶/۱۲/۰۷، ۲۰۱۶/۱۲/۳۱ و ۲۰۱۷/۰۷/۲۲، ۲۰۱۷/۰۷/۲۷ از ۹ صبح تا ۱۷ برای هر آزمایش انجام شد. نقاط اندازه‌گیری ساده شده به E1-E3، S1-S3، W1-W3 و N1-N3 که در آن E، S، W و N نمایانگر شرق، جنوب، غرب و شمال هستند در حالی که تعداد مخفف مکان است (آزمایش های زمستانی فقط دارای نقاط شرقی و جنوبی است). برای هر نقطه اندازه‌گیری، ارتفاع ۱.۲ متر برای ارزیابی راحتی حرارتی افراد نشسته توصیه می‌شود.



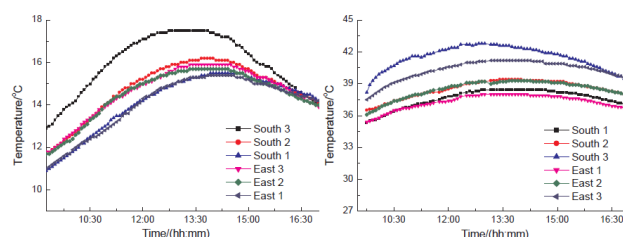
شکل ۴۲- دید پرنده و داخلی ساختمان غشایی محصور با دهانه وسیع (Hu et al, 2018)

تغییرات تابش خورشیدی داخلی در دو روز معمولی در زمستان و تابستان در شکل ۴۳-۲ نشان داده شده‌است. تابش خورشیدی داخلی در روزهای آفتابی مانند یک منحنی سهموی است، که در حدود ساعت ۱۱:۳۰ به حداکثر مقدار می‌رسد و در ساعت ۱۷ به کمتر از ۵ وات بر مترمربع کاهش می‌یابد. از آنجا که تابش خورشیدی یکی از مهمترین عوامل مؤثر در توزیع دما است، پیش‌بینی می‌شود که منحنی‌های دما می‌توانند از این شکل پیروی کنند. علاوه بر این، میانگین سرعت هوا از ۰.۲۷ متر بر ثانیه و ۰.۱۵ متر بر ثانیه به این معنی است که می‌توان اثر سرعت هوا بر خصوصیات دما در ساختمان‌های غشایی محصور را نادیده گرفت.



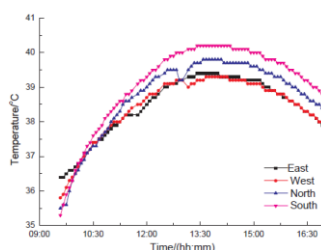
شکل ۴۳- تغییرات تابش خورشیدی داخلی در دو روز معمولی در زمستان و تابستان (Hu et al, 2018)

نتایج کلی آزمایش در دو روز، ۲۰۱۶/۱۲/۰۷ و ۲۰۱۷/۰۷/۲۷ در شکل ۴۴-۲ نشان داده شده‌است. اگرچه منحنی‌های دما از منحنی تابش خورشیدی پیروی می‌کنند، اما برای رسیدن به حداکثر مقادیر، زمان تأخیر مشاهده می‌شود، که می‌تواند در اثر بی‌حرکی هوا و انتقال حرارتی ضعیف در سرعت هوای کم ایجاد شود.



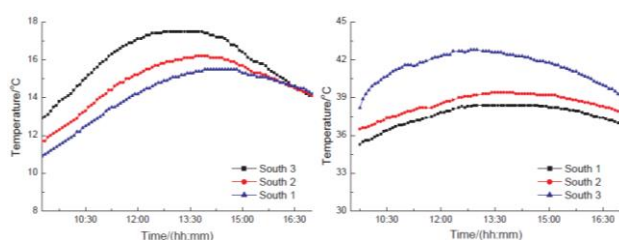
شکل ۴۴- توزیع دما در استادیوم غشایی محصور با دهانه وسیع (Hu et al, 2018)

بر اساس شکل ۴۵-۲، دمای جهت افقی به عنوان درجه حرارت در همان ارتفاع برای جهت‌های شرقی، جنوبی، غربی و شمالی تعریف می‌شود. درجه حرارت عمودی توزیع دما در یک جهت خاص است. اختلاف دما در چهار جهت مشاهده شده است و افزایش نرخ‌ها در جنوب و شمال بیشتر از شرق و غرب است. حداکثر مقادیر درجه حرارت ۴۱.۲ درجه سانتیگراد، ۴۲.۸ درجه سانتیگراد، ۴۱.۷ درجه سانتیگراد و ۴۲.۷ درجه سانتیگراد برای جهت‌های شرقی، جنوبی، غربی و شمالی است. یک توضیح احتمالی می‌تواند خورشید باشد که از شرق به غرب حرکت می‌کند. برای دمای زمستان، مشاهدات کلی مشابه اما با مقادیر پایین‌تر است. میانگین اختلاف دمای هوا در داخل و خارج ۶.۲ درجه سانتیگراد و آزمایش‌های تابستان و زمستان ۳.۱ درجه سانتیگراد است که این امر به دلیل قابلیت محفظه‌ای سازه‌های غشایی ایجاد می‌شود.



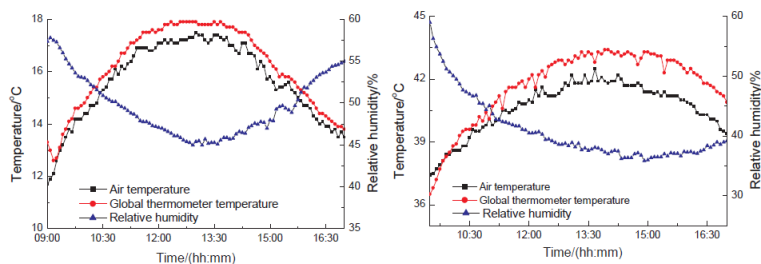
شکل ۴۵-۲ توزیع دمای افقی در دو روز معمولی (Hu et al, 2018)

همرفت طبیعی در داخل ساختمان‌های غشایی با سرعت هوای کم منجر به طبقه بندی دما در جهت عمودی می‌شود، شکل ۴۶-۲ منحنی دمای زمستان و تابستان را در بازه زمانی ۹ صبح تا ۱۷ نشان می‌دهد. حداکثر دما در S3 که نزدیک سقف است. حداکثر اختلاف دما بین سه نقطه اندازه‌گیری ۴.۱ درجه سانتیگراد، ۲.۲ درجه سانتیگراد و ۱.۳ درجه سانتیگراد، ۰.۷ درجه سانتیگراد برای آزمایش‌های تابستان و زمستان است. نرخ افزایش برای سه نقطه اندازه‌گیری متفاوت است و نرخ S3 مهم‌ترین است. دلیل احتمالی این است که جذب گرما و انتقال حرارت از S3 به S1 تحت تأثیر ظرفیت گرمایی هوا و سرعت هوای کم قرار دارد.

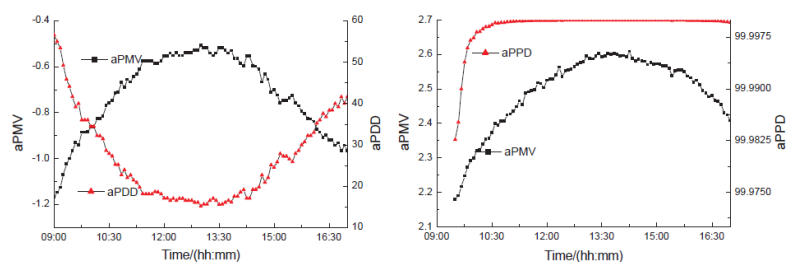


شکل ۴۶-۲ توزیع درجه حرارت عمودی در دو روز معمولی (Hu et al, 2018)

در این مطالعه، آسایش حرارتی در روزهای آفتابی در تابستان و زمستان با نتایج آزمایشی متغیر با زمان ارزیابی می‌شود. شکل ۴۷-۲ دمای هوا، دمای جهانی و رطوبت نسبی نقطه جنوبی ۳ را نشان می‌دهد. دلیل انتخاب این نقطه این است که درجه حرارت در S3 بالاترین و معمولی‌ترین در زمستان و تابستان است. براساس این پارامترها و نتایج، منحنی‌های PMV و PPD در نوسان با زمان در شکل ۴۸-۲ نشان داده شده‌اند.



شکل ۳-۴۷ دمای هوا، دمای جهانی و رطوبت نسبی نقطه جنوبی ۳ (Hu et al, 2018)



شکل ۴۸-۲ منحنی PMV و PPD با نوسان زمان (Hu et al, 2018)

در شرایط زمستان، منحنی‌های PMV و PPD مانند اشکال پارابولیک رفتار می‌کنند به گونه‌ای که با تابش خورشید افزایش می‌یابد (کاهش می‌یابد) تا حداکثر (حداقل) نقطه در حدود ساعت ۱۳ و سپس تا ۱۷ کاهش می‌یابد (افزایش می‌یابد). نکته قابل ذکر این است که دامنه‌های دو قسمت به دلیل جذب انرژی هوا در فضای بزرگ مساوی یکسان نیستند. برای مقادیر خاص، مقادیر PMV در محدوده ۱.۱ تا ۰.۵ از ۹ تا ۱۷ هستند. برای درک راحتی حرارتی، چندین نقطه زمان بحرانی مشخص می‌شود، یعنی ۹:۳۰، ۱۱:۳۰، ۱۴:۳۰ و ۱۶:۳۰. بنابراین، PMV کمتر از ۱ و PPD در دوره ۹:۳۰-۱۷ و ۱۶:۳۰-۱۷ از ۴۰٪ بیشتر است در حالی که این مقادیر برای ۱۱:۳۰-۱۴:۳۰ حدود ۰.۵ و ۱۰٪ است. دلیل احتمالی برای توضیح این محدوده‌ها این است که تابش خورشید، عامل مهمی است که بر عملکرد حرارتی داخلی ساختمان‌های غشایی تأثیر دارد و در دستیابی به آسایش حرارتی بهتر در زمستان نقش دارد. مطابق با استانداردها راحتی استادیوم غشایی بزرگ در زمستان در طی ۱۱:۳۰-۱۴:۳۰ قابل قبول است.

برای شرایط تابستانی، منحنی PMV هنوز مانند یک شکل پارابولیک در نوسان است به گونه‌ای که با تابش خورشید افزایش می‌یابد تا حداکثر نقطه در حدود ساعت ۱۳:۳۰ و سپس تا ساعت ۱۷ کاهش می‌یابد. با این حال، منحنی PPD در تابستان در مقایسه با آنچه در آزمایش زمستان مشاهده شد، متفاوت است. PPD در ابتدای آزمایش به طرز چشمگیری افزایش می‌یابد و تا ساعت ۱۷ ثابت می‌ماند. تابش خورشیدی فراوان منتقل شده از سقف غشایی شفاف و استادیوم غشایی محصور شده بدون گردش سرعت هوا عوامل اصلی تأثیرگذار (دمای بالای ۳۷-۴۲ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی بالا) هستند. در واقع، درجه حرارت بالای داخلی ناشی از محوطه ساختمان غشایی ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای توصیه شده در حدود ۲۵ درجه سانتیگراد

است. برای تعیین کمیت راحتی حرارتی، مقادیر PMV در محدوده ۲.۵۵-۲.۱ و مقدار PPD از ۹۹٪ بزرگتر است، به این معنی که راحتی حرارتی برای کل دوره آزمایشی در داخل استادیوم غشایی بزرگ محصور در تابستان قابل قبول نیست. راه‌های جایگزین برای کاهش اثرات دما، جلوگیری از تابش فراوان خورشید و استفاده از تجهیزات خنک‌کننده است. به طور کلی، آسایش حرارتی در داخل ساختمان غشایی بزرگ تحت شرایط زمستان و تابستان به جز یک دوره کوتاه راضی‌کننده نیست. نتایج نشان می‌دهد که توزیع دما در داخل استادیوم‌های غشایی محصور بزرگ به تابش خورشید، طبقه‌بندی دما، جهت‌گیری و تأثیرات مکان بستگی دارد. میانگین اختلاف دمای هوا در داخل و خارج به دلیل قابلیت محفظه‌ای سازه‌های غشایی ۶.۲ و ۳.۱ درجه سانتیگراد برای آزمایش‌های تابستان و زمستان است.

۷-۱۷-۲ پژوهش سولتانا و باری، ۲۰۱۹

در سال ۲۰۱۹ سولتانا و باری (Sultana & Bari, 2019)، در پژوهشی با عنوان "بررسی تأثیر سازه پارچه‌ای کششی در فضاهای نیمه باز شهرهای گرمسیری"، به بررسی تأثیر سازه غشایی بر آسایش حرارتی فضاهای نیمه باز با استفاده از بررسی میدانی و شاخص PMV پرداختند. این مطالعه در منطقه موسمی گرمسیری بنگلادش انجام شده است. سازه کششی می‌تواند یک راه حل خوب برای بنگلادش برای مقابله با پیچیدگی‌های آب و هوایی و بلایای طبیعی باشد، در طول تاریخ بنگال از سقف‌های سبک وزن و سازه‌های پارچه‌ای سبک استفاده شده است. در منطقه شهری بنگلادش، سقف کششی برای پوشش پارک، فضاهای گردش، گالری، فضاهای نیمه بیرونی ایستگاه راه‌آهن و بسیاری دیگر از مردم مناسب است. در این مطالعه بررسی میدانی در دو نمونه در گلشن در داکا انجام شد. داکا در یک منطقه گرمسیری گرم و مرطوب واقع شده است. مطالعه موردی ۱: شکل ۴۹-۲، یک سالن نمایشگاهی در گلشن، داکا را نشان می‌دهد.



شکل ۴۹-۲ سازه غشایی مطالعه موردی ۱

جدول ۳۰-۲ منطقه ۱: فضای باز، مطالعه موردی ۱

Time	Wind Velocity (m/s)	Max temp °C	RH%
2:30 pm	0.4	30.9	20%
2:35 pm	0.3	31	20%
2:40 pm	0.1	32	20%

جدول ۳۱-۲ منطقه ۲: فضای نیمه باز با سایه‌بان غشایی، مطالعه موردی ۱

Time	Wind Velocity (m/s)	Max temp °C	RH%
2:45 pm	0.1	29	20%
2:50 pm	0.4	28.5	20%
2:55 pm	0.6	28	20%

جدول ۲-۳۲ منطقه ۳: فضای داخلی با تهویه طبیعی، مطالعه موردی ۱

Time	Wind Velocity (m/s)	Max temp °C	RH%
3:00 pm	0	29.2	20%
3:05 pm	0	29.8	20%
3:10 pm	0	31.1	20%

از قرائت بادسنج و رطوبت‌سنج مشاهده می‌شود که منطقه ۲ دارای دمای متوسط ۲۸.۵ درجه سانتیگراد است که کمترین میزان در بین سه منطقه است. بنابراین می‌توان گفت که استفاده از سقف کششی در فضای بیرونی باعث کاهش متوسط دما در ۳۱.۳ درجه سانتیگراد در مورد منطقه ۱ شده است. رطوبت نسبی برای همه مناطق ثابت است. در مورد منطقه ۳ میانگین دما ۳۰.۰۳ درجه سانتیگراد است. اگرچه منطقه ۳ دارای تهویه هوا بود، اما هیچ حرکت هوایی نداشت، به همین دلیل میانگین دما از منطقه ۲ بیشتر است.

جدول ۲-۳۳ منطقه ۳: مقادیر PMV و PPD سه منطقه، مطالعه موردی ۱

Bay edge water	Met (Activity rate)	Clothing Level (Clo)	PMV	PPD
zone 1	1.5	0.6	1.8	67%
zone 2	1.5	0.6	1.1	30.5%
zone 3	1.1	0.6	1.5	50.9%

می‌توان نتیجه گرفت در منطقه ۲ که دارای سقف کششی است، درصد افراد ناراضی (PPD) با مقدار ۳۰.۵ کمترین است و متوسط پیش‌بینی نظر (PMV) منطقه ۲ نیز با مقدار ۱.۱ رضایت بخش‌ترین است. مطالعه موردی ۲: شکل ۵۰-۲، نشان‌دهنده یک رستوران در گلشن، داکا است. مشاهده می‌شود که ایجاد سقف کششی در منطقه ۲ میانگین دما را به ۲۶.۲ درجه سانتیگراد کاهش داده‌است که در مورد منطقه ۱، ۲۸/۴ درجه سانتیگراد بود.



شکل ۵۰-۲ سازه غشایی مطالعه موردی ۱

جدول ۲-۳۴ فضای باز، مطالعه موردی ۲

Time	Wind Velocity (m/s)	Max temp °C	RH%
1:00 pm	0.3	27.9	20%
1:05 pm	0.2	28.5	20%
1:10 pm	0.1	28.8	20%

جدول ۲-۳۵ فضای نیمه باز با سایه‌بان غشایی، مطالعه موردی ۲

Time	Wind Velocity (m/s)	Max temp °C	RH%
1:15 pm	0.2	26.3	20%
1:20 pm	0.5	25.8	20%
1:25 pm	0	26.5	20%

جدول ۳۶-۲ منطقه ۳: فضای داخلی با تهویه طبیعی، مطالعه موردی ۲

Time	Wind Velocity (m/s)	Max temp °C	RH%
1:30 pm	0	25.5	20%
1:35 pm	0	26.2	20%
1:40 pm	0	26.5	20%

جدول ۳۷-۲ منطقه ۳: مقادیر PMV و PPD سه منطقه، مطالعه موردی ۲

BISTRO FANTASTICO	Met (Activity rate)	Clothing Level (Clo)	PMV	PPD
zone 1	1.3	0.6	0.9	22.1%
zone 2	1.2	0.7	0.3	6.9%
zone 3	1	0.7	0.1	5.2%

نتایج کلی نشان می‌دهد که اختلاف دمای قابل توجهی بین فضای بیرونی و نیمه بیرونی مناطق مورد مطالعه وجود دارد. بنابراین استفاده از سازه‌های پوششی کششی در فضای نیمه بیرونی تغییر دما را امکان پذیر می‌کند. خلاصه پژوهش‌های مشابه بررسی شده در این بخش در جدول ۳۸-۲ ارائه شده است.

جدول ۳۸-۲ خلاصه پژوهش‌های مشابه (نگارنده)

پژوهش	محل	اقلیم	زمان	نتایج
۱ هی و هویانو ۲۰۰۹	یوکوهاما ژاپن	اقلیم نیمه مرطوب با تابستان‌های گرم و مرطوب و زمستان سرد	تابستان آگوست تا سپتامبر	دمای سطح غشا حداکثر ۴۰ درجه سانتیگراد و ۵-۷ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای هوای محیط در طول روز بود. دمای سطح زمین زیر غشا به دلیل انتقال خورشیدی از طریق غشا، ۲ تا ۴ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای هوای محیط در روز بود. انتقال خورشیدی یکی از عوامل اصلی تأثیرگذاری بر محیط حرارتی در فضای نشیمن زیر سازه پوششی است.
۲ هی و هویانو ۲۰۱۰	یوکوهاما ژاپن	اقلیم نیمه مرطوب با تابستان‌های گرم و مرطوب و زمستان سرد	تابستان آگوست تا سپتامبر	نتایج نشان داد SET در طول روز ۴-۲ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای هوای محیط در یک روز آفتابی در شرایط تهویه مطبوع کم باد بود. به عنوان یک استراتژی خنک کننده غیرفعال برای بهبود محیط حرارتی در فضای نیمه باز در زیر سازه پوششی، یک پیاده رو خنک کننده تبخیری در نظر گرفته می‌شود که کاربرد دارد.
۳ لین و همکاران ۲۰۱۰	تایوان	آب و هوای نیمه گرمسیری	دوره یکساله چهار فصل	تایوان دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های معتدل است، باید درختان و ساختمان‌ها سایه کافی برای بهبود آسایش حرارتی در تابستان فراهم کنند. تایوانی‌ها تحمل ضعیف در برابر دمای سرما دارند، برنامه‌ریزی فضای بیرون باید از ایجاد مناطقی با سایه بیش از حد جلوگیری کند.
۴ مکارمی و همکاران ۲۰۱۲	مالزی	آب و هوای گرم و مرطوب	مارس و آوریل (اسفند و فروردین)	یافته‌ها نشان داد که مقادیر شاخص PET در فضاهای سایه‌دار انتخاب شده فضای بیرونی بالاتر از محدوده راحتی تعریف شده برای آب و هوای گرمسیری بود. با این وجود، شرایط قابل قبول به طور معمول در ساعات اولیه اندازه‌گیری (۹ تا ۱۰ صبح) و بعدازظهر (۴ تا ۵ بعدازظهر) اتفاق افتاد. در حالیکه، مکان‌هایی با سطح بالای سایه به دست آمده از گیاهان و ساختمان‌های اطراف آن از گرمای بیشتری برخوردار بودند.
۵ ویلسون و همکاران ۲۰۰۷	ناتینگهام انگلستان	آب و هوای گرم و معتدل	زمستان و تابستان	میزان طبقه‌بندی دمای داخلی با مقدار تابش خورشیدی به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. ظرفیت حرارتی کم غشا و در نتیجه حساسیت دمای غشا به تغییرات محیط آن.
۶ هو و همکاران ۲۰۱۸	شانگهای ژاپن	آب و هوای مرطوب نیمه گرمسیری	زمستان و تابستان	نتایج نشان داد توزیع دما در داخل استادیوم‌های پوششی محصور بزرگ به تابش خورشید، طبقه‌بندی دما، جهت‌گیری و تأثیرات مکان بستگی دارد. میانگین اختلاف دمای هوا در داخل و خارج به دلیل قابلیت محفظه‌ای سازه‌های پوششی ۶.۲ و ۳.۱ درجه سانتیگراد برای آزمایش‌های تابستان و زمستان است.

نتایج نشان داد اختلاف دمای قابل توجهی بین فضای بیرونی و نیمه بیرونی مناطق مطالعه وجود دارد. استفاده از سازه غشایی کششی در فضای نیمه بیرونی تغییر دما را امکان پذیر می کند.	بهار	آب و هوای گرمسیری گرم و مرطوب	داکا در بنگلادش	سولتانا و باری ۲۰۱۹	۷
--	------	-------------------------------	-----------------	---------------------	---

۱۸-۲ جمع بندی فصل دوم

در دهه های اخیر توان بشر برای ساخت سقف های متحرک افزایش بی نظیری یافته است. اساس این تحول، انعطاف پذیری و بهینه شدن اقتصادی اجرای آن ها نسبت به سایر سقف های ثابت و سنتی است که معیار ارزیابی این گونه سازه ها شده است (مشکسار و روشن ضمیر، ۱۳۹۰). امروزه سازه های متحرک و انعطاف پذیر در بسیاری از فضاهای شهری در عملکردهای گوناگونی مانند سقف های باز و بسته شونده ورزشگاه ها، آسمان خراش ها، المان های شهری، ساختمان های موقت نظیر بیمارستان ها و کمپ های صحرایی، نماهای هوشمند، سایه بان های هوشمند، پل های باز و بسته شونده و غیره مورد استفاده قرار می گیرند و علاوه بر فراهم نمودن ساختمان هایی با کارکردهای متنوع و بهینه، از نظر پایداری و حفظ منابع انرژی نیز بسیار سودمند هستند (جامعی، ۱۳۹۲). یکی از مزیت های چشمگیر این سازه ها نسبت به سایر روش ها، تطابق سقف های منعطف با اقلیم منطقه در تمام روزهای سال است (مشکسار و روشن ضمیر، ۱۳۹۰). در مناطق گرمسیری با استفاده از غشاهای چادری می توان مقدار زیادی از نور خورشید را منعکس کرد و دمای ساختمان را با صرف انرژی کمتری تنظیم نمود (Belda, 2003). سایه بان های غشایی انعطاف پذیر به دلیل سبکی، انعطاف پذیری، سرعت و سهولت اجرا و امکان باز و بسته شدن، مناسب برای فضاهای بیرونی به خصوص در اقلیم گرم و خشک و همچنین دارای قابلیت تنظیم در استفاده از نور خورشید و ایجاد سایه هستند.

فصل ۳ : روش پژوهش

۱-۳ مقدمه

از مهم‌ترین مراحل پژوهش مشخص نمودن روش انجام پژوهش است. در این مرحله روش انتخابی برای انجام پژوهش، چرایی انتخاب روش، مواد و داده‌های مورد نیاز و ... عنوان می‌شود.

با توجه به بالابودن هزینه روش‌های تجربی و ضعف روش‌های تحلیلی در حل مسائل مهندسی، امروزه اغلب محققین روش‌های عددی را در پیش گرفته‌اند. چهار روش مختلف مشاهدات، اندازه‌گیری و تحقیقات میدانی در مقیاس شهری، مطالعات آزمایشگاهی و شبیه‌سازی‌های عددی، برای تشخیص تأثیر فضاهای شهری بر پارامترهای محلی و آب و هوایی استفاده می‌شوند (رشیدفر، ۱۳۹۵).

شبیه‌سازی نمودی از واقعیت و یکی از روش‌های مناسب جهت پیش‌بینی رفتار حرارتی است، که به وسیله آن می‌توان اثر تغییر پارامترها را بدون این که در عمل نیاز به آزمایش باشد، بررسی کرد. شبیه‌سازی می‌تواند در مراحل اولیه طراحی برای ترکیب بهینه طرح و نقشه استفاده شود (قیابکلو، ۱۳۸۸). انتخاب نرم‌افزار تحلیل انرژی به نوع کاربری، تعداد دفعاتی که قرار است استفاده شود، میزان تجربه کاربر و امکانات سخت‌افزاری موجود بستگی دارد (کوچریمختاربی‌دی، ۱۳۸۰).

در این فصل روش تحقیق به طور کلی و جزئی با تقسیم به بخش‌های مطالعات کتابخانه‌ای و شبیه‌سازی به طور کامل شرح داده شده‌است.

۲-۳ روش پژوهش

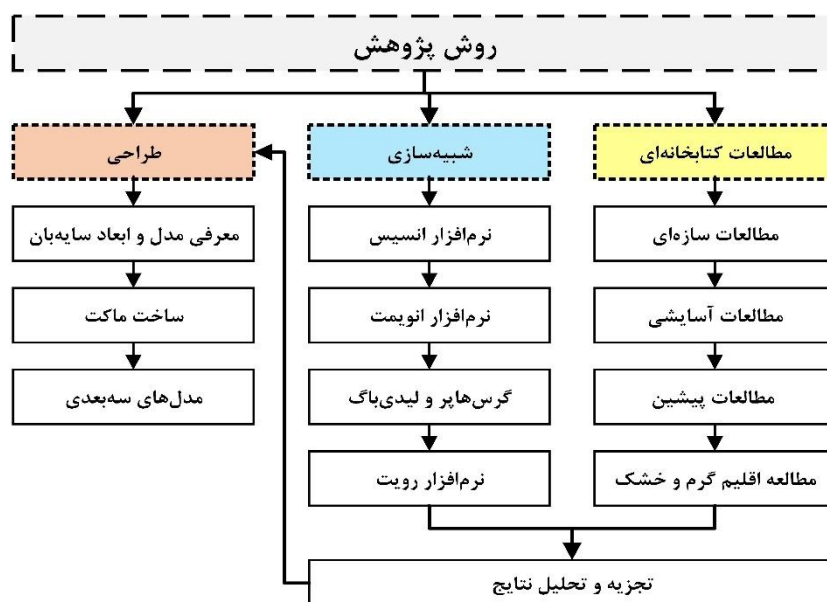
با توجه به ماهیت مطالعه و فرضیه‌ی مطرح شده، مطالعات پژوهش به صورت کتابخانه‌ای و نیز بررسی پارامترهای سایه‌بان با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز انجام می‌شود. به صورت دقیق‌تر و جزئی‌تر، پژوهش مورد نظر در مراحل زیر انجام می‌شود:

(۱) مطالعات کتابخانه‌ای با استفاده از منابع و اسناد جهت شناسایی، گردآوری مطالعات و تحلیل منابع فارسی و غیرفارسی در زمینه‌ی آسایش حرارتی بیرونی و سازه‌های غشایی انعطاف‌پذیر صورت می‌گیرد.

(۲) شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزارهای انسیس، انویمت، گرس‌هاپر (پلاگین لیدی‌باگ) و رویت صورت می‌گیرد. در نرم‌افزار انسیس چندین مدل رایج سایه‌بان و در نرم‌افزار انویمت، پلاگین لیدی‌باگ و نرم‌افزار رویت ابعاد و ارتفاع سایه‌بان‌ها، شبیه‌سازی و بررسی می‌شود، سپس بر اساس تغییر ابعاد (پلان و ارتفاع) میزان تأثیر آن‌ها بر آسایش حرارتی در نظر گرفته می‌شود. ملاک مقایسه برای آسایش حرارتی نتایج پژوهش‌های موجود در اقلیم گرم و خشک است.

(۳) طراحی با استفاده از تحلیل و دسته‌بندی نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها انجام می‌شود و در نهایت ابعاد و مدل مناسب سایه‌بان غشایی سبک انعطاف‌پذیر معرفی می‌گردد.

روش پژوهش به طور خلاصه در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. به طور کلی این پژوهش مستقل از پوشش گیاهی انجام شده است، زیرا در بسیاری از پارک‌های محلات اغلب پوشش گیاهی وجود ندارد، یا پوشش گیاهی مانند شمشادها کم ارتفاع است. از طرفی رشد درختان به زمان زیادی نیاز داشته و سال‌ها به طول می‌انجامد تا به مرحله سایه‌اندازی برسند؛ و یا فضاهایی مانند فضای بازی کودکان فاقد پوشش گیاهی و سایه‌اندازی هستند. از این نظر سایه‌بان‌های غشایی منعطف اهمیت بسیاری پیدا می‌کنند.



شکل ۳-۱ روش پژوهش (نگارنده)

۳-۲-۱ مطالعات کتابخانه‌ای

۳-۲-۱-۱ مطالعات سازه‌ای

سازه‌های باز و بسته شونده، غشایی و انواع سایه‌بان‌ها در فصل دوم- ادبیات و پیشینه پژوهش- ارائه شده‌است.

۳-۲-۱-۲ مطالعات آسایش حرارتی

این بخش از پژوهش نیز به طور کامل در فصل دوم- ادبیات و پیشینه پژوهش- توضیح داده شده‌است.

۳-۲-۱-۳ مطالعات پیشین

مطالعات انجام شده در مورد سازه‌های منعطف و سایه‌بان‌ها و همچنین آسایش حرارتی به صورت دسته‌بندی شده در فصل دوم- ادبیات و پیشینه پژوهش- ارائه گردیده‌است.

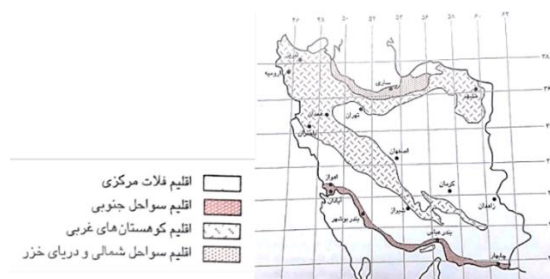
۳-۲-۱-۴ مطالعه اقلیم گرم و خشک

در مورد تقسیم‌بندی اقلیمی نقاط مختلف جهان روش‌های متعددی از جمله روش کوپن وجود دارد. کوپن در این روش براساس رشد و نمو انواع نباتات پنج نوع اقلیم در مقیاس جهانی معرفی کرده که عبارتند از: ۱- اقلیم بارانی استوایی، ۲- اقلیم گرم و خشک، ۳- اقلیم گرم-معتدل، ۴- اقلیم سرد و برفی، ۵- اقلیم قطبی. در این تقسیم‌بندی اقلیم گرم و خشک به مناطقی اطلاق می‌شود که میزان بارندگی سالانه، بخار آب مورد نیاز جهت رطوبت هوا را تأمین نمی‌کند و هوا به طور کلی خشک است (کسمائی، ۱۳۹۱). حوزه‌های اقلیمی جهان در شکل ۳-۲ مشاهده می‌شود. در این تقسیم‌بندی ایران در اقلیم گرم و خشک قرار می‌گیرد.



شکل ۲-۳ حوزه‌های اقلیمی جهان (کسمائی، ۱۳۹۱)

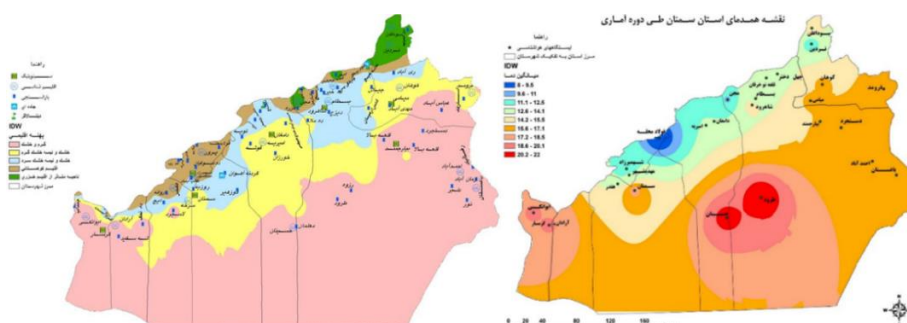
اغلب در بسیاری از نقاط جهان اقلیم توسط عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا مشخص می‌شود. ایران با قرار گرفتن بین ۲۵ و ۴۰ درجه عرض جغرافیایی شمالی در منطقه گرم قرار دارد. بنابر تقسیمات چهارگانه دکتر حسن گنجی که با تغییر در تقسیم‌بندی کوپن به وجود آمده، تقسیمات اقلیمی ایران به این صورت است: اقلیم معتدل و مرطوب (سواحل جنوبی دریای خزر)، اقلیم سرد (کوهستان‌های غربی)، اقلیم گرم و خشک (فلات مرکزی)، اقلیم گرم و مرطوب (سواحل جنوبی). شکل ۳-۳ حدود تقسیمات اقلیمی چهارگانه ایران را نشان می‌دهد. در این تقسیم‌بندی اقلیم گرم و خشک دارای تابش شدید مستقیم آفتاب و هوایی خشک است، رطوبت کم و نبود ابر در آسمان سبب دامنه تغییرات زیاد دمای هوا می‌شود، از جمله مشخصه‌های دیگر این اقلیم زمستان‌های سرد و سخت و تابستان‌های گرم و خشک است (کسمائی، ۱۳۹۱). بنابراین استان سمنان واقع در فلات مرکزی ایران و دارای اقلیم گرم و خشک است.



شکل ۳-۳ حدود تقسیمات اقلیمی چهارگانه ایران (کسمائی، ۱۳۹۱)

۱-۴-۲-۳ استان سمنان

استان سمنان بین ۵۱ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۴ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۰ دقیقه عرض شمالی از مبدأ استوا قرار گرفته‌است (کسمایی، ۱۳۷۹). استان سمنان به علت همجواری با کویر مرکزی ایران و دامنه جنوبی البرز دارای تنوع آب و هوایی زیادی بوده به طوری که با کاهش ارتفاع از شمال به جنوب در سطح استان دما افزایش و بارش کاهش می‌یابد. با توجه به موقعیت عمومی استان، شدیدترین تضاد آب و هوایی در محور شمالی-جنوبی یعنی اقلیم مدیترانه‌ای و مرطوب در شمال و در مقابل اقلیم گرم و خشک در جنوب استان دیده می‌شود (اداره کل هواشناسی استان سمنان). شکل ۴-۳ پهنه‌بندی اقلیمی و نقشه همدمای استان سمنان را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴ راست: نقشه همدمای استان سمنان طی دوره آماری چپ: پهنه‌بندی اقلیمی استان (اداره کل هواشناسی استان سمنان، ۱۳۹۹)

در جدول ۳-۱ دمای سالانه شهرهای استان سمنان که دارای ایستگاه‌های سینوپتیک هستند، بیان شده‌است. طبق این آمار، به ترتیب شهرهای گرمسار و سمنان، گرمترین شهرهای استان سمنان هستند. لذا برای این پژوهش، شهر سمنان به عنوان یکی از گرمترین شهرهای استان، انتخاب شد.

جدول ۳-۱ دمای سالانه شهرهای دارای ایستگاه‌های سینوپتیک از بدو تأسیس تا پایان سال ۱۳۹۷ بر حسب درجه سلسیوس (اداره کل هواشناسی استان سمنان)

شهر	میانگین بیشینه	میانگین کمینه	میانگین	بالا ترین بیشینه	پایین ترین کمینه
بیارجمند	۲۲.۷	۹.۵	۱۶.۲	۴۲.۴	-۱۵.۶
دامغان	۲۲.۷	۱۰.۳	۱۶.۵	۴۳	-۱۲
سمنان	۲۴.۱	۱۳.۱	۱۸.۶	۴۳.۸	-۱۲.۶
شاهرود	۲۰.۹	۹.۸	۱۵.۴	۴۰.۸	-۱۴.۲
گرمسار	۲۶	۱۲.۳	۱۹.۲	۴۷	-۱۳.۲
شهمیرزاد	۱۷.۷	۷.۲	۱۲.۸	۳۶	-۱۷.۴
میامی	۲۲	۹.۲	۱۵.۶	۴۳	-۱۸

۳-۲-۱-۴-۲ شهرستان سمنان

شهرستان سمنان در موقعیت جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی قرار دارد و ارتفاع از سطح دریا ۱۱۳۸ متر است (کسمایی، ۱۳۷۹). آب و هوای شهرستان سمنان در فصل تابستان منطقه‌ای خشک و کم باران و در بقیه فصول سال معتدل است. تنها رودخانه دائمی شهرستان سمنان، رودخانه گل‌رودبار نام دارد (اداره کل هواشناسی استان سمنان). جدول ۳-۲ و ۳-۳ اطلاعات هواشناسی ایستگاه شهر سمنان را بیان می‌کند. طبق این آمار به ترتیب ماه‌های تیر، مرداد، شهریور و خرداد گرمترین ماه‌های شهر سمنان و دارای بیشترین ساعات آفتابی هستند.

جدول ۳-۲ اطلاعات دمایی ایستگاه شهر سمنان در سال ۱۳۹۷ (اداره کل هواشناسی استان سمنان)

ماه	دمای هوا (درجه سلسیوس)				
	میانگین بیشینه	میانگین کمینه	میانگین	بالا ترین بیشینه	پایین ترین کمینه
فروردین	۲۳.۸	۱۲.۷	۱۸.۲	۳۰.۶	۲.۸

اردیبهشت	۲۵.۸	۱۵	۲۰.۴	۳۱.۲	۹
خرداد	۳۴.۱	۲۲.۷	۲۸.۴	۳۸.۶	۱۹.۶
تیر	۳۹.۷	۲۸	۳۳.۹	۴۱.۶	۲۳.۶
مرداد	۳۹.۲	۲۷	۳۳.۱	۴۳	۲۲.۶
شهریور	۳۴.۸	۲۲.۴	۲۸.۶	۳۹	۱۷
مهر	۲۶.۳	۱۵.۴	۲۰.۹	۳۲.۴	۱۰
آبان	۱۸.۱	۸.۸	۱۳.۵	۲۷.۲	۵
آذر	۱۴	۵.۲	۹.۶	۱۷.۴	۱.۸
دی	۱۰.۱	۰.۸	۵.۵	۱۳.۸	۲.۴
بهمن	۱۱.۴	۲.۳	۶.۸	۱۶	۱.۸
اسفند	۱۴.۸	۴	۹.۴	۲۱.۸	۲۰

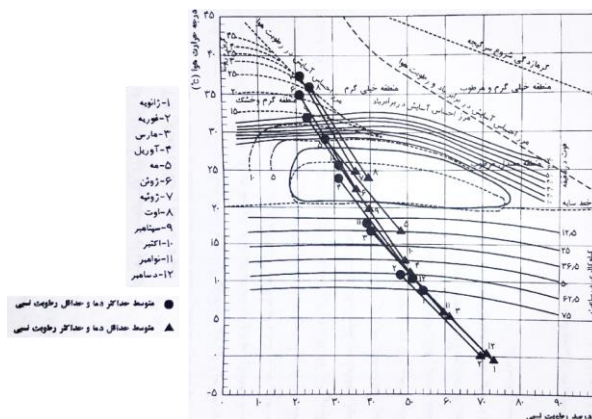
جدول ۳-۳ اطلاعات هواشناسی ایستگاه شهر سمنان در سال ۱۳۹۷ (اداره کل هواشناسی استان سمنان)

ماه	بارندگی ماهانه (میلیمتر)	حداکثر بارندگی در یک روز (میلیمتر)	رطوبت نسبی (درصد)	تعداد روزهای یخبندان	تعداد روزهایی با گرد و غبار	ساعات آفتابی (ساعت)	حداکثر سرعت وزش باد (متر بر ثانیه)	
							سرعت	سمت
فروردین	۱۴.۴	۵.۲	۳۲	۰	۱	۲۰۱.۲	۱۲	۳۰۰
اردیبهشت	۲۶.۶	۹.۳	۳۸	۰	۲	۲۱۷.۱	۱۴	۲۳۰
خرداد	۵.۳	۳.۱	۲۳	۰	۱	۳۲۷.۹	۱۶	۳۳۰
تیر	۰	۰	۱۵	۰	۰	۳۷۲.۷	۱۱	۳۰
مرداد	۰.۱	۰.۱	۲۱	۰	۰	۳۴۷.۲	۱۱	۱۰
شهریور	۱.۳	۱	۲۲	۰	۰	۳۳۰	۱۱	۳۵۰
مهر	۱۹.۹	۷.۶	۳۸	۰	۰	۲۶۲.۴	۱۲	۱۰
آبان	۱۰	۵.۶	۵۱	۰	۰	۱۷۷.۳	۱۰	۳۶۰
آذر	۱۷.۱	۶.۳	۶۴	۰	۰	۱۸۶.۵	۷	۳۶۰
دی	۱۲.۱	۹.۹	۶۲	۱۰	۰	۱۸۳.۳	۱۳	۳۶۰
بهمن	۱۲.۱	۹.۹	۵۳	۱۱	۰	۲۰۷.۳	۱۴	۹۰
اسفند	۱۱.۳	۴.۸	۴۷	۲	۰	۲۲۴.۶	۱۵	۳۳۰

۳-۴-۱-۲-۳ آسایش حرارتی شهر سمنان

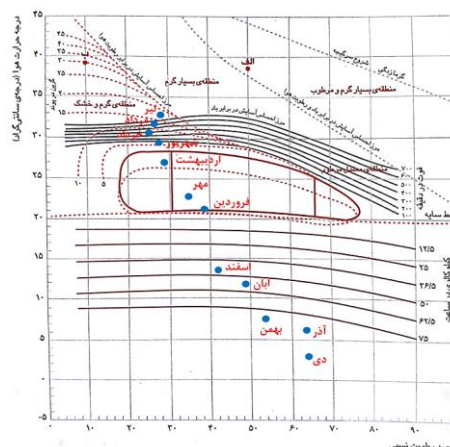
جدول بیوکلماتیک شهر سمنان در شکل ۵-۳ نشان می‌دهد که، حدود تغییرات دما و رطوبت هوای سمنان در طول سال بسیار زیاد است به طوری که شرایط حرارتی در فصل زمستان فاصله بسیار زیادی با حد پایین منطقه آسایش و شرایط حرارتی در فصل تابستان، فاصله زیادی با حد بالای منطقه آسایش دارد؛ همچنین ماه‌های فروردین و مهر در منطقه آسایش، ماه‌های آبان، آذر، دی، بهمن و اسفند زیر منطقه آسایش و ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور بالای منطقه آسایش قرار دارند (کسمایی، ۱۳۷۹).

در پژوهش‌های بیدختی و کامیابی (بیدختی و کامیابی، ۱۳۹۳) و یعقوبی (یعقوبی، ۱۳۹۵)، بنابر روش اولگی شکل ۳-۶، شهر سمنان در ماه‌های آبان، آذر، دی، بهمن و اسفند زیر منطقه آسایش، در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و مهر در منطقه آسایش و در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور بالای منطقه آسایش قرار دارند.



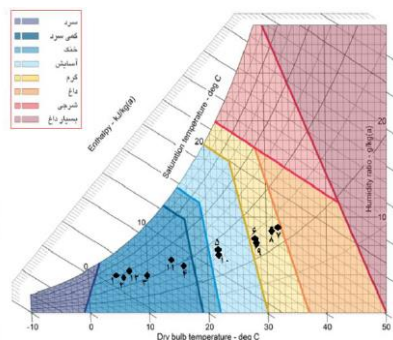
شکل ۳-۵ جدول بیوکلماتیک شهر سمنان (کسمایی، ۱۳۷۹)

در پژوهش جوادیان و نعمتی (جوادیان و نعمتی، ۱۳۹۷)، نیز طبق روش اولگی نتیجه شد که روزهای فروردین، اردیبهشت و مهر و شب‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور در منطقه آسایش قرار دارند، یعنی شخص در وضعیت سایه و سرعت هوای نامحسوس احساس راحتی می‌کند. در روزهای خرداد، تیر، مرداد و شهریور که در بالای منطقه آسایش در محدوده گرم و خشک قرار می‌گیرند، باید از تابش آفتاب جلوگیری کرد. در طول روز در ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند که زیر منطقه آسایش قرار هستند نیاز به گرمایش وجود دارد.



شکل ۳-۶ جدول زیست‌اقلیمی سمنان (بیدختی و کامیابی، ۱۳۹۳)

بر اساس نمودار سایکرومتریک شکل ۳-۷ نیز ماه‌های آبان، آذر، دی، بهمن و اسفند در منطقه کمی سرد و ماه فروردین در محدوده خنک واقع شده‌اند. ماه‌های اردیبهشت و مهر در منطقه آسایش قرار دارند و ماه‌های خرداد، مرداد و شهریور در منطقه گرم و ماه تیر در محدوده منطقه داغ هستند (جوادیان و نعمتی، ۱۳۹۷).



شکل ۳-۷ نمودار سایکرومتریک برای شهر سمنان (جوادیان و نعمتی، ۱۳۹۷)

بنابراین شهر سمنان در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور دارای آب و هوای گرم و در ماه‌های فروردین و اردیبهشت هم در روزها نیازمند سایه است؛ در نتیجه لزوم وجود سایه‌بان در ۶ ماه از سال دیده می‌شود.

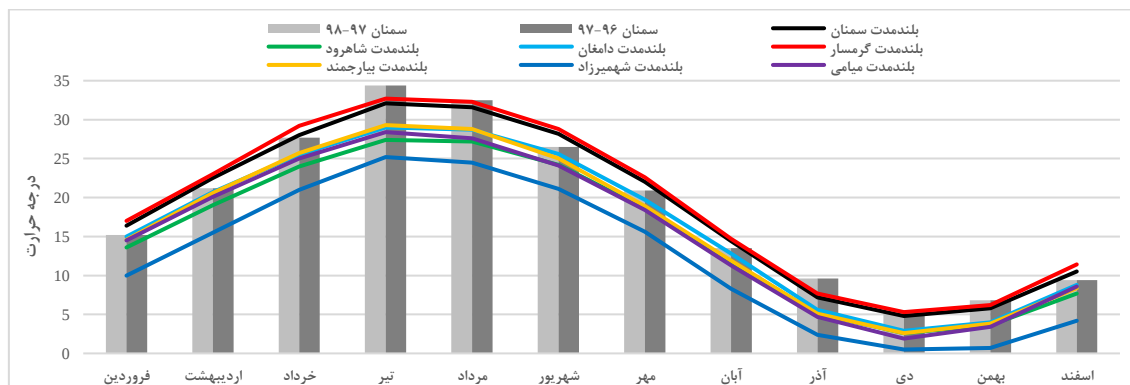
۴-۴-۱-۲-۳ دما

دمای سمنان، به دو دوره متفاوت سرد و گرم تقسیم می‌شود، دوره سرد نسبتاً کوتاه و شامل ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند بوده و دوره گرم، بقیه ماه‌های سال را شامل می‌شود. تغییرات درجه حرارت بین دو دوره شدید و همراه با تغییر ناگهانی دما و شرایط اکولوژیکی نظیر خشکی شدید، انهدام پوشش گیاهی، کاهش ابرناکی، بارندگی و افزایش شدت باد از اواسط بهار است (مصطفوی و دیگران، ۱۳۹۸). جدول ۳-۴ متوسط دمای ماهانه شهر سمنان در دو سال اخیر را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۴ متوسط دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک سمنان (اداره کل هواشناسی استان سمنان)

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۹۷-۹۸	۲۰.۹	۱۳.۵	۹.۶	۵.۵	۶.۸	۹.۴	۱۵.۲	۲۱.۲	۲۷.۷	۳۴.۴	۳۲.۵	۲۶.۵
۹۶-۹۷	۲۰.۹	۱۷.۲	۶.۸	۷.۳	۷.۱	۱۳.۵	۱۸.۲	۲۰.۴	۲۸.۴	۳۳.۹	۳۳.۱	۲۸.۶
بلندمدت	۲۲	۱۴.۴	۷.۲	۴.۸	۵.۸	۱۰.۵	۱۶.۴	۲۲.۵	۲۸	۳۲.۱	۳۱.۶	۲۸.۲

در نمودار ۳-۱ متوسط دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک سمنان و دمای بلندمدت سایر ایستگاه‌های استان سمنان قابل مشاهده است. به ترتیب شهرهای گرمسار و سمنان با اختلاف گرمترین شهرهای استان هستند.



نمودار ۳-۱ نمودار متوسط دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک سمنان (مصطفوی و دیگران، ۱۳۹۸)

۳-۲-۱-۴-۵ رطوبت نسبی

مهم‌ترین منبع اصلی تأمین رطوبت هوا، از تبخیر آب اقیانوس‌ها و دریاها، تبخیر از سطح خاک و تبخیر و تعرق گیاهان و موجودات زنده است. حالت غالب رطوبت در جو، بخار آب بوده و مجموع ابرناکی، میزان بارش، فاصله دید و دما را کنترل می‌کند. البته دما تعیین‌کننده رطوبت موجود و ظرفیت نهایی رطوبت هوا است. تغییر در میزان بخار آب موجود در جو موجب تغییرات قابل توجهی در شرایط آب و هوایی مناطق می‌شود. میانگین رطوبت نسبی بلندمدت شهر سمنان حدود ۴۰ درصد است (مصطفوی و دیگران، ۱۳۹۸).

۳-۲-۱-۴-۶ بارش

اکثر مناطق استان به ویژه مناطق جنوبی و میانی آن به علت عواملی نظیر، سیطره پرفشار جنب حاره‌ای در فصل تابستان، دوری از دریا (عدم دسترسی به منابع رطوبت)، باد پناه بودن و عدم وجود عامل صعود، از بارش اندک برخوردارند. توده‌های هوای باران‌زا که از غرب و یا شمال غرب وارد کشور می‌شوند، در عبور از ارتفاعات زاگرس، آذربایجان و البرز، فرسایش رطوبتی شدیدی را متحمل می‌شوند و به تدریج که به مرکز و شرق کشور نزدیک می‌شوند، توان باران‌زائی آن‌ها کاهش می‌یابد. به همین دلیل منطقه مذکور منطقه‌ای خشک با نزولات جوی بسیار کم است (مصطفوی و دیگران، ۱۳۹۸). بیشترین بارش در فصل سرد و اوایل بهار است و در مواقع گرم (تیر تا شهریور) به حداقل و حتی صفر می‌رسد.

۳-۲-۱-۴-۷ تبخیر

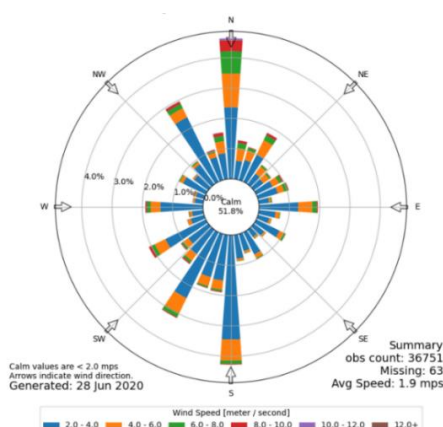
به لحاظ فصلی بالاترین میزان تبخیر در استان در فصل تابستان و کمترین میزان در فصل زمستان است. در مجموع بالا بودن دما، پایین بودن رطوبت نسبی و بالا بودن طول روز به افزایش تبخیر در دوره گرم سال به ویژه فصل تابستان کمک می‌کند. در کنار کمی بارش در استان، میزان تبخیر آب به دلیل گرمای بیش از حد هوا بالا بوده که این موضوع بر خشکی منطقه می‌افزاید (مصطفوی و دیگران، ۱۳۹۸).

۳-۲-۱-۴-۸ ساعات آفتابی

از خصوصیات مناطق خشک، آسمان صاف در طول شب و روز است که باعث می‌شود در روز مقدار زیادی از انرژی خورشید به سطح زمین برسد. استان سمنان در حاشیه جنوبی رشته کوه البرز و جز مناطق خشک و نیمه خشک ایران، دارای تعداد ساعات ابری اندک و ساعات آفتابی بسیار زیاد است. در ماه‌های گرم سال و در فصل تابستان که از مقدار پوشش ابری آسمان کاسته می‌شود، افزایش طول روز، سبب افزایش ساعات آفتابی در طول روز و ماه می‌شود و در فصل سرد ساعات آفتابی به حداقل خود می‌رسد (مصطفوی و دیگران، ۱۳۹۸). میانگین ساعات آفتابی سمنان در سال ۹۷-۹۸، ۳۱۱۱.۷ ساعت بوده که جز یکی از بیشترین ساعات آفتابی در میان شهرهای استان است. بیشترین ساعات آفتابی سمنان در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور و خرداد است.

۳-۲-۱-۴-۹ باد

گلباد سالانه استان بیانگر آن است که جهت وزش باد غالب در ایستگاه‌های سمنان، شمالی و جنوبی و حداکثر سرعت باد ۱۰ متر بر ثانیه با جهت شمالی است (مصطفوی و دیگران، ۱۳۹۸). در شهر سمنان وزش باد مسئله قابل توجهی از نظر آسایش انسان و تأثیر بر شکل‌گیری یا جهت‌گیری بنا نیست، زیرا فصل زمستان که هوا سرد است و وزش باد موجب سردتر شدن هوا می‌شود، تعداد دفعات باد به حداقل رسیده و از این نظر مشکلی را به وجود نخواهد آورد (کسمایی، ۱۳۷۹). شکل ۳-۸ نشان‌دهنده نمودار گلباد شهر سمنان است. جدول ۳-۵ نیز اطلاعات اقلیمی شهر سمنان را به طور خلاصه نشان می‌دهد.



شکل ۳-۸ گلباد میانگین سرعت باد سمنان از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ (<https://mesonet.agron.iastate.edu>)

جدول ۳-۵ خلاصه مشخصات اقلیمی سمنان (نگارنده)

پارامترهای اقلیمی	توضیحات
دمای هوا	آب و هوای سمنان در فصل تابستان منطقه‌ای خشک و کم باران و در بقیه فصول سال معتدل است. شهر سمنان با دمای زیاد در تابستان، تبخیر شدید و کمبود بارندگی مواجه است. میانگین دمای هوای سالانه شهر ۱۸ درجه سانتیگراد است که به دلیل اقلیم کویری و خشک این شهر حداقل و حداکثر مطلق دمای ثبت شده در آن ۱۱ - و ۴۴ درجه سانتیگراد می‌رسد.
رطوبت هوا	به طور کلی رطوبت شهر سمنان غالباً کم است. در ۶ ماه سرد سال حداکثر و حداقل رطوبت نسبی به ترتیب ۶۴ و ۳۸ درصد است. در ۶ ماه گرم سال نیز حداکثر و حداقل رطوبت نسبی به ترتیب ۳۸ و ۱۵ درصد است.
بارندگی	بیشترین بارش در فصل سرد و اوایل بهار است و در مواقع گرم (تیر تا شهریور) به حداقل و حتی صفر می‌رسد.
باد	جهت وزش باد غالب در سمنان، شمالی و جنوبی و حداکثر سرعت باد ۱۰ متر بر ثانیه با جهت شمالی است. جهت وزش باد مطلوب در سمنان شمال غربی است.
میزان تابش آفتاب	بیشترین ساعات آفتابی سمنان در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور و خرداد است.
شرایط آسایش	در شهر سمنان شش ماه از سال (مهر، آبان، آذر، دی، بهمن، اسفند) شرایط اقلیم به گونه‌ای است که برای دستیابی به شرایط آسایش در محیط خارج از ساختمان، بهره‌گیری از انرژی تابش خورشید و در سایر ماه‌ها برای افراد در سایه امکان ایجاد آسایش وجود دارد.

۲-۲-۳ شبیه‌سازی

در سال‌های اخیر دو رویداد جهانی، بحران آلودگی محیط و ضرورت استفاده بهتر از انرژی را هشدار داد. اولی، تحریم نفتی سال ۱۹۷۳ که در پی کمبود پرکاربردترین منبع انرژی اتفاق افتاد. دومی، هشدار جهانی پیرامون تخریب لایه ازن بود. پروتکل کیوتو در سال ۱۹۹۷ توافقنامه‌ای ارائه کرد که به واسطه آن کشورهای صنعتی، باید انتشار آلودگی را در جو زمین کاهش داده و رویکرد کارایی انرژی را در بخش‌های اقتصادی عمده خود به کار گیرند و تحقیقات در زمینه کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر را رواج دهند (Altavilla et al, 2004). از میان ابزارهایی که در اختیار کارشناسان درگیر با حیطه فرآیند طراحی قرار دارد، کاراترین آن‌ها در زمینه ارزیابی رفتار انرژی، نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی هستند. این نرم‌افزارها با ایجاد محیط مجازی، سبب شدند تا پیش‌بینی عملکردی تا حد ممکن نزدیک به واقعیت باشد و طراح با بهینه‌سازی و بهبود طرح خود، فن‌آوری‌های جدید صرفه‌جویی و کارایی انرژی را معرفی کند (Hensen, 2002).

تأثیر شبیه‌سازی در فرآیند طراحی زمانی چشمگیر است که تحلیل عملکرد انرژی در گام‌های آغازین طراحی تشخیص داده شود. در سال‌های اخیر برنامه‌های شبیه‌سازی بسیاری مرتبط با مبحث انرژی استفاده شده‌است. اصلی‌ترین این نرم‌افزارها، مواردی‌اند که شبیه‌سازی در آن‌ها کامل انجام شده و مواردی نظیر میزان مصرف در دوره‌های مختلف، هزینه انرژی، محاسبات مربوط به دما و رطوبت را که نتایج شاخص‌های اصلی عملکرد انرژی هستند، در قالب خروجی‌هایی مشخص می‌کنند (الهی‌بخش و شاه‌محمدی، ۱۳۸۶). مهم‌ترین پرسشی که پیرامون به کارگیری نرم‌افزارهای شبیه‌ساز مصرف انرژی ممکن است به ذهن خطور کند، اعتبارسنجی و دقت این نرم‌افزارها در محاسبات مصرف انرژی در مقایسه با میزان واقعی آن است. پژوهش‌هایی که در این حوزه انجام شده، نشان‌دهنده آن است که این نرم‌افزارها با دقتی قابل قبول مصرف انرژی را محاسبه می‌نمایند (Yu et al., 2008) با توجه به گستردگی تعداد نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی، می‌توان نرم‌افزارهای جدول ۶-۳ را به عنوان مواردی مطرح معرفی نمود (غیائی و دیگران، ۱۳۹۲):

جدول ۶-۳ برخی نرم‌افزارهای مطرح در حیطه انرژی (شعبانی، ۱۳۹۳)

نرم‌افزار	دامنه سنجش
۱ ECOTECT	طراحی محیط، بررسی محیطی، زراعی مفهومی، اعتبارسنجی، کنترل تابش خورشید، تحلیل سایه، آنالیز و طراحی حرارتی، بارهای سرمایشی و گرمایشی، بادهای غالب، نورپردازی مصنوعی و طبیعی، آنالیز آکوستیکی و هندسی، بررسی چرخه زندگی.
۲ Energy Plus	طراحی ساختمان مسکونی، ساختمان تجاری، بهره‌وری انرژی، محاسبات بار حرارتی و سرمایشی، تعادل حرارتی، تعادل توده‌ای.
۳ Fluent	جریان هوا، انتقال حرارت، شبیه‌سازی، تهویه، HVAC
۴ Ansys	جریان هوا، انتقال حرارت، شبیه‌سازی، تهویه، HVAC

محاسبه دمای سطح و دیوار، محاسبه پارامترهای هواشناسی، تبخیر و تعریق و گسیل گرمای مخصوص از پوشش گیاهی به هوا مشتمل بر شبیه سازی کامل همه پارامترهای فیزیکی گیاه، تعیین میزان غلظت گازها و ذرات آلاینده	ENVI-met	۵
بهره‌وری انرژی، محاسبات بار حرارتی و سرمایشی، تعادل حرارتی.	Design Builder	۶
محاسبات مصرف انرژی، طراحی، جایگزینی سیستم‌ها، تحقیقات، ساختمان‌های مسکونی.	Blast	۷
محاسبه هزینه‌های اجرایی و مصرف انرژی، گزینه‌های مختلف طراحی.	HAP Carrier	۸
محاسبات مصرف انرژی، طراحی، جایگزینی سیستم‌ها، ساختمان‌های مسکونی و تجاری.	DOE-2	۹
شبیه سازی عوامل اقلیمی و شرایط جوی در طول سال، محاسبه آسایش حرارتی، شبیه سازی میزان تابش و انرژی خورشیدی بر روی سطوح، شبیه سازی سایه اندازی‌ها	Ladybug	۱۰

بنابراین برای انجام این پژوهش از نرم افزارهای انسیس، انویمت، گرس‌هاپر و پلاگین لیدی‌باگ استفاده می‌گردد.

۳-۲-۳ طراحی

پس از بررسی و تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از شبیه سازی‌ها، مدل و ابعاد مناسب سایه بان غشایی سبک انعطاف پذیر معرفی می‌گردد.

۳-۳ روش تحلیل داده‌های پژوهش

در بخش مطالعات کتابخانه‌ای تحلیل اطلاعات به صورت، توصیفی و تحلیلی است. در بخش شبیه سازی تجزیه و تحلیل داده‌ها به صورت کمی بوده و از طریق قیاسی و استدلال منطقی صورت می‌گیرد. تحلیل نتایج شبیه سازی‌ها در قالب نمودارها و جداول در فصل چهارم ارائه شده است.

۳-۴ ابزارهای گردآوری پژوهش

۳-۴-۱ مطالعات کتابخانه‌ای

جمع‌آوری داده‌ها از طریق بررسی‌های اسنادی و کتابخانه‌ای و مرور مفاهیم سازه‌ای، آسایش حرارتی و اقلیمی انجام شده است. در بخش مطالعات کتابخانه‌ای، منابع به دو دسته کلان و خرد تقسیم می‌شوند که منابع کلان شامل کتاب، پایان‌نامه و رساله و منابع خرد شامل مقاله، مجله، پژوهش‌ها و موارد دیگر تحقیقاتی می‌باشد.

۳-۴-۲ شبیه سازی

۳-۴-۲-۱ معرفی نرم افزار Ansys Fluent

نرم افزار انسیس فلوئنت اوج هنر برنامه نویسی برای مدل کردن جریان سیال انتقال حرارت در هندسه‌های پیچیده است. انسیس فلوئنت به کاربر اجازه بهبود شبکه (مثلاً ریزتر کردن یا درشت کردن شبکه در مرزها و مکان‌های لازم در هندسه) را می‌دهد (سلطانی و رحیمی، ۱۳۸۲). نرم افزارهای شبیه سازی مانند انسیس فلوئنت

در سال‌های اخیر برای مطالعه دقیق جریان‌های طبیعی و اجباری هوا در داخل فضاهای ساختمان‌ها، گلخانه‌ها، غشاها، کانال‌ها، دستگاه مختلف و تهویه مطبوع مورد استفاده قرار گرفته‌است.

نرم‌افزار انسیس هندسه غنی و فنون مش‌بندی را با تکیه بر دانش و تجربه، ترکیب کرده که منجر به هندسه یکپارچه و راه‌حل‌های مش‌بندی شده‌است. در نتیجه می‌توان به راحتی هسته اصلی آن را با برنامه‌های کاربردی دیگر ارتباط داد. نرم‌افزار انسیس از دست ابزارهای تحلیلی است که از روش اجزای محدود برای مدلسازی و تحلیل استفاده می‌کند. در این روش مدل‌های پیچیده ابتدا به اجزای کوچک قابل حل، تقسیم‌شده و سپس با ترکیب نتایج به دست آمده از حل هر جزء، پاسخ کل مدل در هر نقطه به دست می‌آید (شعبانی، ۱۳۹۳). بنابراین با توجه به قابلیت نرم‌افزار انسیس در شبیه‌سازی فرم‌های مختلف و پیچیده سایه‌بان‌های غشایی، این نرم‌افزار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۴-۳ معرفی نرم‌افزار ENVI-met

این نرم‌افزار توسط مایکل بروس آلمانی طراحی شد و اولین ورژن آن در سال ۱۹۹۸ در اختیار کاربران قرار گرفت (Taleghani et al, 2014). امکانات این نرم‌افزار در زمینه‌های مختلف اقلیم‌شناسی از برنامه‌ریزی‌های کلان شهری تا طراحی‌های مناطق به خصوصی از شهرها و یا طراحی ساختمان‌های منفرد مورد استفاده قرار می‌گیرد. امتیاز اصلی این نرم‌افزار این است که فعل و انفعالات اصلی جو که بر اساس قوانین فیزیکی نظیر قوانین دینامیک سیالات و ترمودینامیک که برخورد اقلیم هم تأثیرگذارند را شبیه‌سازی می‌کند. این نرم‌افزار مجموعه عوامل خرد اقلیمی را درون یک چرخه روزانه (۲۴ ساعته) شبیه‌سازی کرده و کلیه فرایندها شامل جریان باد، پرتو خورشیدی، دما و رطوبت را پیش‌بینی می‌کند (یوسفیان، ۱۳۹۱). نرم افزار انویمت برای آنالیز اقلیم در مقیاس خرد و کلان استفاده می‌شود. نوع مصالح، جریان هوا، پیکربندی ساختمان و شرایط اقلیمی را به عنوان داده‌های ورودی می‌گیرد (رنجبران، ۱۳۹۳).

نرم‌افزار ENVI-met مدل سه بعدی و غیر هیدرواستاتیک است. این مدل برای اجرای حوزه‌ای با ابعاد ۵۰*۵۰ تا ۲۵۰*۲۵۰ واحد شامل شبکه‌ای از مربع‌هایی با ابعاد ۰.۵ متر تا ۱۰ متر طراحی شده‌است. انویمت مجموعه وسیعی از متغیرهای مدل شده را در اختیار قرار می‌دهد که جریان‌های انرژی (طول موج بلند، طول موج کوتاه، دمای محسوس و نهان) را محاسبه می‌کند. این مدل شرایط آب و هوایی (دما، باد، رطوبت) را در سطوح متفاوت از حوزه و دامنه متنوعی از عوارض (ساختمان‌ها، انواع پوشش گیاهی، انواع سطوح قابل نفوذ و غیر قابل نفوذ) در محاسبه وارد می‌کند. ENVI-met شامل پنج گروه نرم افزاری است:

۱- مدل جوی (Atmospheric model) که جریان هوا، اغتشاش سه بعدی، دما و رطوبت نسبی را محاسبه کرده و موانعی چون پوشش گیاهی و ساختمان‌ها را در مدل وارد می‌کند.

۲- مدل سطح (Surface model) که امواج طول موج بلند جذب شده و امواج طول موج کوتاه بازتابش شده را از سطوح متفاوت محاسبه کرده و تشعشع طول موج بلند و کوتاه را در مدل محاسبه می‌کند.

۳- مدل پوشش گیاهی (Vegetation model) که دمای شاخه و برگ و تعادل دمایی برگ‌ها را با محاسبه پارامترهای فیزیولوژیکی و هواشناسی محاسبه می‌کند. نرخ تبخیر و محاسبه جریان بر اساس جریان هوای اطراف گیاهان و درختان انجام می‌گیرد.

۴- مدل خاک (Soil model) که فرآیندهای حرارتی و ترمودینامیکی خاک را محاسبه کرده و ترکیب سطوح مصنوعی و طبیعی نواحی شهری را وارد مدل می‌کند.

۵- مدل زیستی-هواشناسی (Biometeorological model) که شاخص PMV را از داده‌های هواشناسی محاسبه می‌کند (Bruse & Fleer, 1998).

داده‌ها و اطلاعات جوی مورد نیاز برای مدل‌سازی در نرم‌افزار شامل سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری سطح زمین، جهت باد، دمای اولیه جو، رطوبت نسبی که همگی از داده‌های هواشناسی قابل استخراج هستند (احمدپور کلهرودی و دیگران، ۱۳۹۶). انویمت نرم‌افزاری است که تمامی فاکتورهای موثر در آسایش حرارتی مانند سرعت و جهت باد، دمای متوسط تابشی، دمای هوا و غیره را به صورت یکپارچه با شاخص‌های آسایش حرارتی شبیه‌سازی می‌کند (Lenzholzer, 2012).

بنابراین با توجه به جامعیت ENVI-met و همچنین قابلیت شبیه‌سازی شاخص PMV به عنوان یکی از معتبرترین شاخص‌های سنجش آسایش حرارتی در فرآیند شبیه‌سازی از این نرم‌افزار نیز استفاده می‌شود.

۳-۴-۲- معرفی گرس‌هاپر و پلاگین لیدی‌باگ

گرس‌هاپر یک زبان برنامه نویسی بصری است و عمدتاً برای ایجاد الگوریتم‌های مولد استفاده می‌شود. گرس‌هاپر در برنامه راینو اجرا می‌گردد، راینو یک نرم افزار بر پایه اتوکد بوده و اصول و محیط نرم‌افزار آن بسیار مشابه اتوکد است. نرم‌افزار راینو محبوبیت خود را در طراحی معماری مدیون افزونه قدرتمند گرس‌هاپر است.

پلاگین لیدی‌باگ نیز با اتصال محیط گرس‌هاپر و راینو به داده‌های آب و هوایی که توسط موتور قدرتمند انرژی پلاس فراهم شده، برای آنالیز و تحلیل فرایند طراحی اولیه از جمله تحلیل اطلاعات آب و هوایی، سایه‌اندازی، میزان انرژی خورشیدی، پارامترهای آسایش حرارتی، نمودار سایکرومتریک و زیست اقلیمی و کلیاتی است که می‌تواند در پروسه اولیه طراحی از مقیاس کلان و شهری تا ساختمانی همراهی کند. قابلیت‌ها و نمونه‌هایی از شبیه‌سازی و تحلیل‌های انجام شده توسط پلاگین لیدی‌باگ:

۱. ترسیم نمودار سایکرومتریک و کاربرد آن در تعیین استراتژی‌های طراحی

۲. شبیه‌سازی عوامل اقلیمی و شرایط جوی در طول سال

۳. محاسبه و آنالیز آسایش حرارتی و عوامل تأثیرگذار بر آن
 ۴. شبیه‌سازی دیاگرام خورشیدی و تحلیل آن
 ۵. شبیه‌سازی تابش و انرژی خورشید روی سطوح ساختمان با توجه به مجاورت‌ها، فرم و جهت ساختمان
 ۶. شبیه‌سازی سایه‌اندازی‌های همجواری‌ها بر روی سطوح ساختمان
- بنابراین پلاگین لیدی‌باگ نیز با توجه به قابلیت شبیه‌سازی نور خورشید و سایه‌اندازی‌ها، استفاده می‌شود.

۳-۴-۳ طراحی

پس از بررسی و تحلیل نتایج، مدل مناسب سایه‌بان غشایی انعطاف‌پذیر معرفی و ابعاد آن ارائه می‌گردد. جهت دستیابی به مدل سایه‌بان منعطف پس از بررسی و تحلیل نتایج و معرفی مدل و ابعاد مناسب، ماکت‌هایی طراحی و ساخته خواهند شد، همچنین طرح‌های سه‌بعدی با استفاده از نرم‌افزار ارائه می‌شود.

۳-۵ اعتبارسنجی

پس از انجام هر شبیه‌سازی تعیین میزان صحت نتایج و تطابق آن‌ها با واقعیت ضروری است. به طور کلی، صحت نتایج به دو عامل انجام صحیح محاسبات با نرم‌افزار و نیز صحت اطلاعات ورودی توسط کاربر بستگی دارد (وکیلی‌نژاد، ۱۳۹۸).

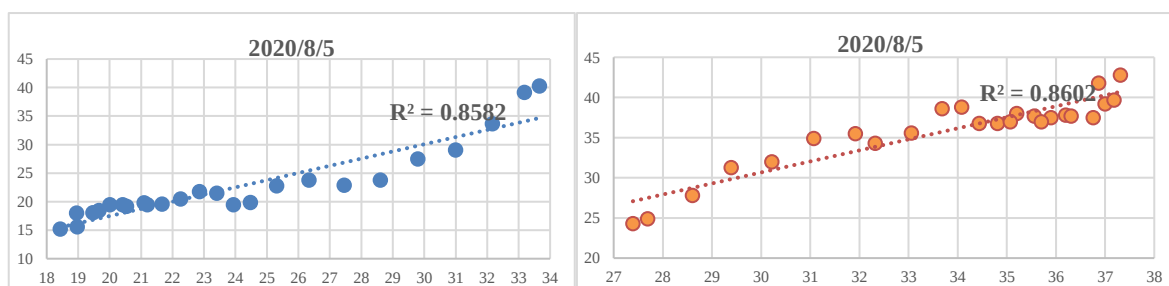
از آنجا که مدلسازی دقیق و مطابق با واقعیت میسر نیست، انجام اعتبارسنجی برای بررسی صحت نتایج الزامی است. سه روش کلی اعتباربخشی تجربی، تحلیلی و مقایسه‌ای برای سنجش نتایج شبیه‌سازی انرژی وجود دارد (CIBSE, 1999). در میان تحقیقات اعتبارسنجی نرم‌افزارهای انرژی، روش‌های تجربی (مقایسه نتایج شبیه‌سازی با اندازه‌گیری‌های میدانی)، مقایسه‌ای (مقایسه نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزارهای مختلف شبیه‌سازی انرژی با یکدیگر) و تحلیلی (استفاده از روش‌ها و فرمول‌های متداول محاسباتی یا عددی) استفاده می‌شود، که روش تجربی و مقایسه‌ای، رایج‌ترین نوع تحقیقات اعتبارسنجی هستند (زمردیان و تحصیلدوست، ۱۳۹۴). با توجه به محدودیت‌های هر روش، استفاده ترکیبی از آن‌ها بهترین گزینه است (CIBSE, 1999).

در پژوهش وکیلی‌نژاد (وکیلی‌نژاد، ۱۳۹۸)، بررسی نتایج نشان داد که در زمینه نرم‌افزارهای حوزه انرژی و معماری، آشنایی با دیزاین‌بیلدر بیشترین میزان را داشته و پس از آن به ترتیب نرم‌افزارهای هانی‌بی-لیدی‌باگ، اکوتکت، انرژی پلاس و انویمت قرار دارند. در زمینه نرم‌افزارهای حوزه انرژی و طراحی شهری، بیشترین آشنایی با نرم‌افزار انویمت بوده‌است. علاوه بر این متداول‌ترین نرم‌افزارهای استفاده شده به ترتیب دیزاین‌بیلدر، لیدی‌باگ-هانی‌بی، اکوتکت و انویمت بودند.

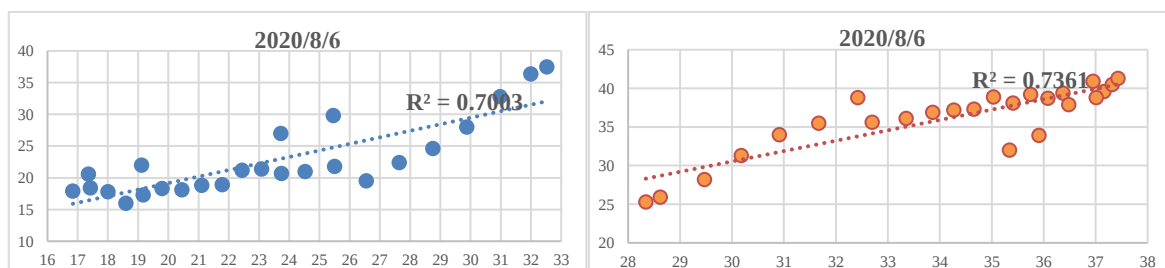
۱-۵-۳ اعتبارسنجی نرم افزار انویمت

به منظور اعتبارسنجی مدل استفاده شده، نمودار رگرسیون خطی دما و رطوبت نسبی در سه روز ۵، ۶ و ۷ آگست ۲۰۲۰ مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. نمودار رگرسیون خطی دما و رطوبت نسبی هر یک از این سه روز به صورت جداگانه ترسیم و ضریب R^2 محاسبه گردید. در اصطلاح به ضریب R^2 ، ضریب تعیین می گویند که نشان می دهد چند درصد از متغیر وابسته توسط متغیر مستقل تعریف می شود. مقدار ضریب R^2 ، باید بالای ۰.۷ باشد تا مورد قبول واقع شود.

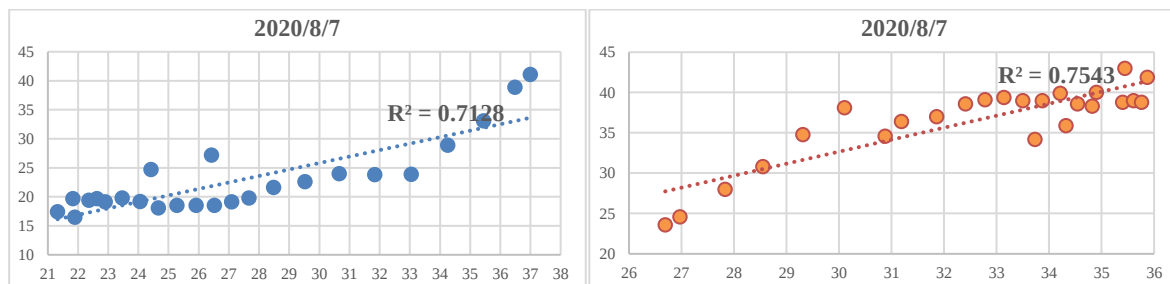
با توجه به نمودار ۲-۳ که رگرسیون خطی دما در روز ۵ آگوست است، مقدار ضریب R^2 برابر با ۰.۸۶ به دست آمد که نشان می دهد ۸۶ درصد از دمای اندازه گیری شده توسط دمای شبیه سازی شده، تعریف می گردد که مقدار قابل قبولی است. به همین ترتیب نمودار ۳-۳ و ۳-۴ نمودار رگرسیون خطی دما و رطوبت نسبی روزهای ۶ و ۷ آگوست را نشان می دهد، که همه مقادیر ضریب R^2 بالای ۰.۷ بوده و قابل قبول هستند. بنابراین این مقایسه تأییدکننده دقت اطلاعات مستخرج از شبیه سازی نرم افزار انویمت است. اختلاف بین شبیه سازی و اندازه گیری می تواند به دلیل عدم دقت در اطلاعات ورودی ویژگی مصالح تشکیل دهنده سطوح و غیره باشد.



نمودار ۲-۳ نمودار رگرسیون خطی روز ۵ آگوست، راست: دمای هوا، چپ: رطوبت نسبی (نگارنده)



نمودار ۳-۳ نمودار رگرسیون خطی روز ۶ آگوست، راست: دمای هوا، چپ: رطوبت نسبی (نگارنده)



نمودار ۳-۴ نمودار رگرسیون خطی روز ۷ آگوست، راست: دمای هوا، چپ: رطوبت نسبی (نگارنده)

۲-۵-۳ اعتبارسنجی لیدی باگ

لیدی باگ یک مجموعه ابزار واقعاً قدرتمند برای کنترل هندسه سه بعدی و پارامترهای شبیه‌سازی در مقیاس کوچک و بزرگ است. لیدی باگ یک گام بزرگ رو به جلو در شبیه‌سازی پیچیده و پویای نور روز بوده و از نظر گستره شبیه‌سازی پارامترهای نور و سایه بسیار قوی است (Ladybug.tools).

۳-۵-۳ اعتبارسنجی نرم‌افزار انسیس

نرم‌افزار انسیس فلونت، بسیار قابل اعتماد و دقیق است که در سال‌های اخیر بسیار مورد استفاده دانشجویان رشته معماری و مکانیک بوده‌است (Ansys.com). در پژوهشی در سال ۲۰۱۸ با نرم‌افزار انسیس، نتایج نشان داد که انسیس بهترین پیش‌بینی جریان هوا را در سایه‌بان‌های شهری فراهم می‌کند (Nardecchia et al, 2018). در اعتبارسنجی پژوهش دیگری در سال ۲۰۱۸ با نرم‌افزار انسیس، نتیجه خطا ۰.۳ درصد به دست آمد، که نشان‌دهنده کمترین انحراف بین داده‌های تجربی و نتایج تولیدشده توسط نرم‌افزار بوده و اعتبار آن را تأیید می‌کند (Román-Roldán et al, 2018). در پژوهش حاضر نیز تحلیل‌های انجام‌شده با نرم‌افزار انسیس با نتایج حاصل از سایر نرم‌افزارهای پژوهش هماهنگ بوده و یکدیگر را تأیید می‌کنند.

۶-۳ جمع‌بندی فصل سوم

روش پژوهش به صورت مطالعات کتابخانه‌ای و شبیه‌سازی است. مطالعات کتابخانه‌ای شامل بخش سازه‌ای، آسایش حرارتی و مطالعات پیشین، که در فصل دوم به طور کامل بیان شده و بررسی اقلیم گرم و خشک و شرایط آب و هوایی شهر سمنان، که در این فصل تشریح شده‌است. شبیه‌سازی‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار انسیس، انویمت و پلاگین لیدی باگ انجام شده و اعتبار هر یک از آن‌ها در فصل سوم تأیید شده‌است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها در فصل چهارم و نتایج پژوهش و طراحی سایه‌بان منعطف در فصل پنجم ذکر شده است.

فصل ۴: تجزیه و تحلیل یافته‌های پژوهش

۱-۴ مقدمه

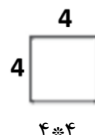
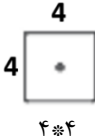
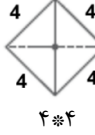
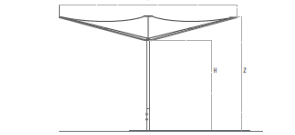
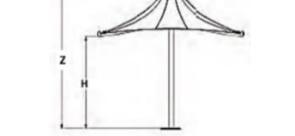
در این فصل شبیه‌سازی‌های انجام شده با چندین نرم‌افزار در اقلیم گرم و خشک شهر سمنان ارائه شده‌است. شبیه‌سازی‌های انجام شده با هر یک از نرم‌افزارهای انسیس، انویمت، گرس‌هاپر و پلاگین لیدی‌باگ و رویت شرح داده شده و نتایج آن‌ها مورد تحلیل و بررسی قرار خواهد گرفت.

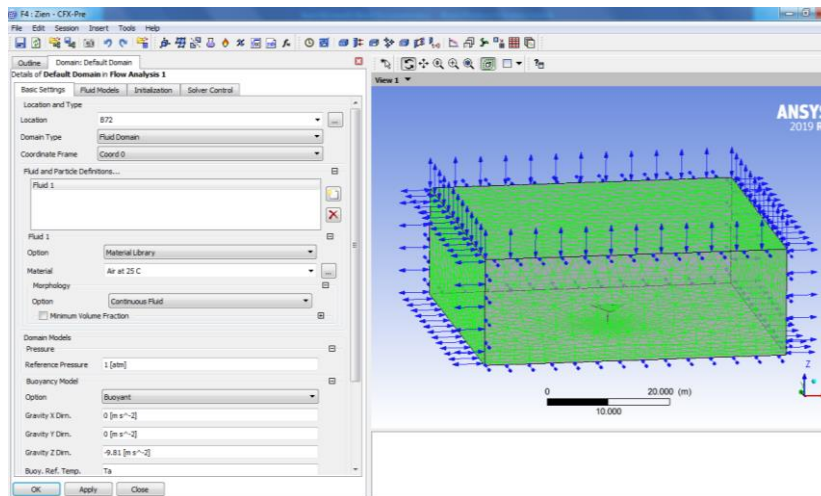
۴-۲ شبیه سازی

۴-۲-۱ شبیه سازی در نرم افزار Ansys Fluent

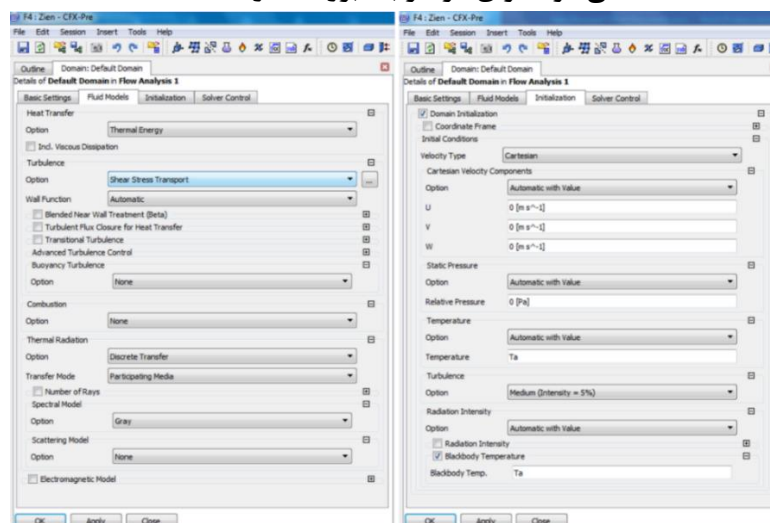
با توجه به اطلاعات و نمونه های بررسی شده، سایه بان های مختلفی از جمله سایه بان تیزه و دره، ساده، قوسی، مخروطی، مخروطی معکوس، چتری، زین اسبی، طره ای و غیره وجود دارد؛ که برای شبیه سازی با نرم افزار انسیس و ماژول CFX چهار مدل رایج سایه بان با مشخصات جدول ۴-۱، انتخاب شدند. مدل ها و ابعاد سایه بان ها از رایج ترین مدل ها و همچنین رایج ترین ابعاد مربوط به هر مدل انتخاب شده است. جنس غشای سایه بان ها از پارچه و سازه آن ها فلزی در نظر گرفته شده است. ارتفاع مفید و ابعاد کلی سایه بان ها در همه موارد یکسان است. شبیه سازی برای یکی از گرمترین روزهای تابستان در اواسط تیرماه با دمای محیط ۴۰ درجه و با حالات بدون وزش باد (جریان ساکن) و وجود وزش باد انجام شده است. شرایط برای همه حالت ها یکسان در نظر گرفته شده است. خروجی شبیه سازی ها برای ساعت ۱۲ ظهر است. تنظیمات اعمال شده در نرم افزار انسیس و ماژول CFX طبق شکل های ۴-۱ و ۴-۲ و ۴-۳ و ۴-۴ است. شکل ۴-۵ نیز نمونه ای از گسسته سازی دامنه حل که سایه بان درون آن قرار گرفته، را نشان می دهد.

جدول ۴-۱ مشخصات سایه بان های شبیه سازی شده در انسیس (نگارنده)

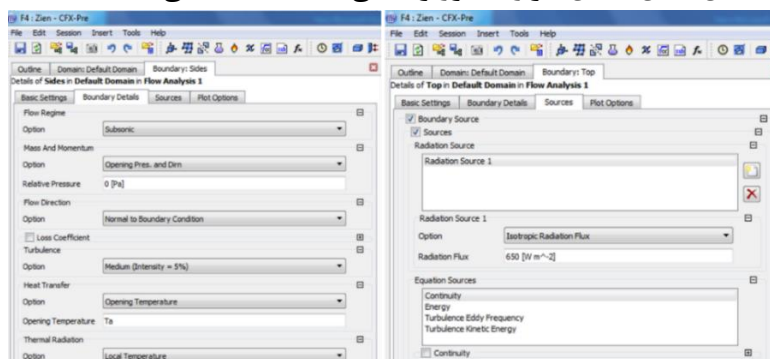
سایه بان	ابعاد سایه بان	ارتفاع مفید زیر سایه بان (H)	ارتفاع کلی سایه بان (Z)	تصویر
سایه بان ساده		۲.۷۰	۲.۷۰	
سایه بان مخروطی		۲.۷۰	۴.۳۰	
سایه بان زین اسبی		۲.۷۰	۳.۳۰	
سایه بان چتری		۲.۷۰	۴.۵۰	



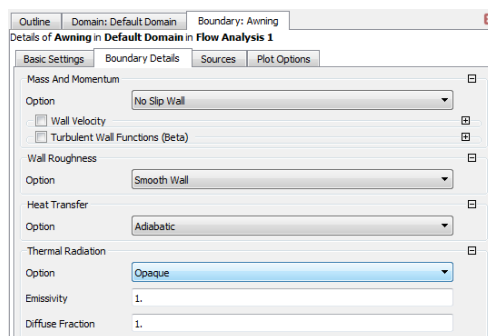
شکل ۴-۱ انتخاب هوا به عنوان متریال و اعمال شرایط بویانسی به علت اختلاف دمای هوا، شرط بویانسی باعث می شود هوای گرمتر بالا برود (نگارنده)



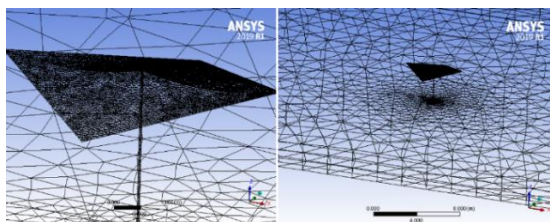
شکل ۴-۲ راست: اعمال شرایط اولیه شامل، شرط سرعت و فشار نسبی برابر صفر و دمای اولیه $T_a = 40^\circ\text{C}$. چپ: انتخاب مدل های لازم شامل، مدل انتقال حرارت، توربولانسی (SST)، تشعشعی (Discrete Transfer) (نگارنده)



شکل ۴-۳ راست: شرط مرزی سطح فوقانی دامنه حل که باز بوده و هوا قابلیت رفت و آمد با فشار نسبی صفر و دمای 40°C دارد و شار تشعشع خورشید یکبار 650 و یکبار 1000 وات بر مترمربع. چپ: شرط مرزی مربوط به دیواره های جانبی دامنه حل که باز بوده و قابلیت رفت و آمد هوا با فشار نسبی صفر و دمای 40°C درجه



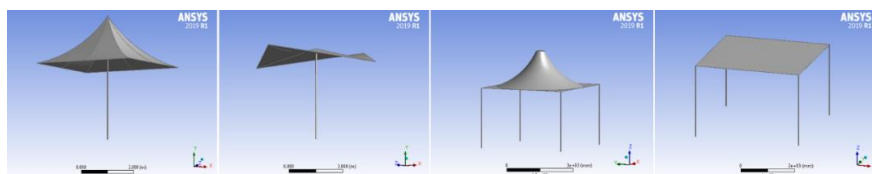
شکل ۴-۴ شرط مرزی مربوط به بدنه سایه بان که دیوار بدون لغزش بوده و عایق در نظر گرفته شده (نگارنده)



شکل ۴-۵ نمونه‌ای از گسسته‌سازی دامنه حل که سایه بان درون آن قرار دارد (نگارنده)

۴-۲-۱-۱ مدل‌های ساخته شده سایه بان در نرم افزار Ansys Fluent

چهار مدل سایه بان ساده، مخروطی، زین اسبی و چتری مدل شده در نرم افزار انسیس در شکل ۴-۶ نشان داده شده است. ابعاد محدوده‌ای که هر سایه بان در آن قرار دارد ۱۰ متر در ۱۰ متر است. تعداد سلول‌ها ۲۰۴۹۲۰۶ و اندازه هر سلول ۳ سانتی متر است. اندازه المان‌ها به اندازه‌ای کوچک در نظر گرفته شده‌اند که با کوچکتر کردن سائز المان‌ها دیگر تغییر و تأثیری در نتایج مشاهده نخواهد شد.



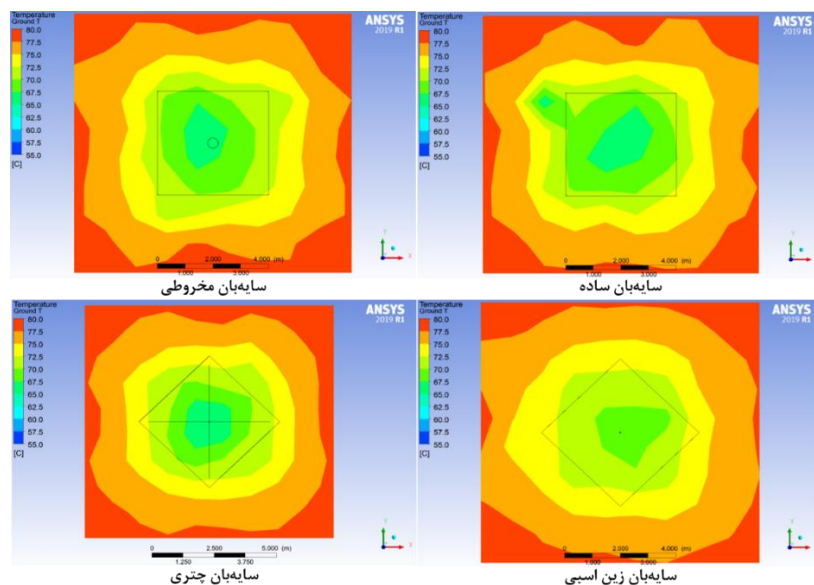
شکل ۴-۶ مدل‌های سایه بان به ترتیب از راست به چپ: ساده، مخروطی، زین اسبی، چتری (نگارنده)

۴-۲-۱-۲ شبیه‌سازی در حالت جریان ساکن با شار تابشی ۶۵۰ وات بر مترمربع

۴-۲-۱-۲-۱ توزیع دمای زمین اطراف سایه بان‌ها

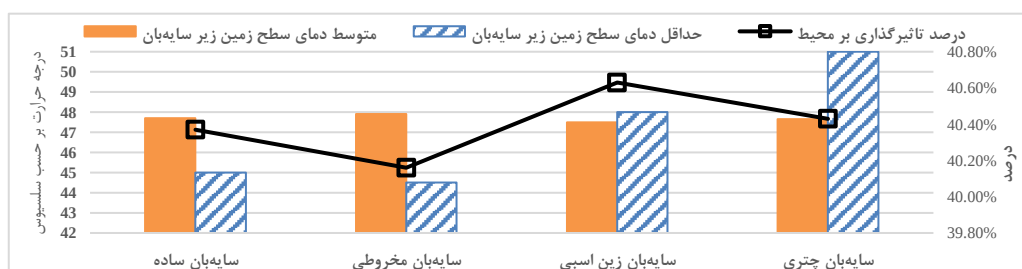
توزیع دمای زمین اطراف سایه بان‌ها در شکل ۴-۷ قابل مشاهده است. رنگ نارنجی نشان دهنده زمین با دمای ۸۰ درجه و بدون سایه بان است. با توجه به مقایسه توزیع دمای زمین اطراف سایه بان‌ها مشاهده می‌شود که سطح زمین اطراف سایه بان زین اسبی در محدوده وسیع‌تری نسبت به سایر سایه بان‌ها کاهش دما داشته است. شار تابش خورشید ۶۵۰ وات بر مترمربع و دمای هوای محیط ۴۰ درجه سلسیوس در نظر گرفته شده است که زمین مسطح بدون سایه بان در معرض این شدت از تابش، به دمای ۸۰ درجه سلسیوس خواهد رسید.

از نتایج جدول ۴-۲ و نمودار ۴-۱ برداشت می‌شود که میزان تأثیر سایه‌بان‌ها به طور میانگین، تقریباً یکسان است. چنانچه کمترین دمای زیر سایه‌بان معیار باشد، به ترتیب سایه‌بان مخروطی و ساده به نظر مناسب‌تر هستند و چنانچه وسعت خنک‌کاری سایه‌بان اهمیت داشته باشد، سایه‌بان زین‌اسبی به‌تر عمل کرده‌است.



شکل ۴-۷ توزیع دمای زمین اطراف سایه‌بان‌ها با شار ۶۵۰ وات بر مترمربع (نگارنده)
جدول ۴-۲ مقایسه دمای زمین و تأثیرگذاری هر یک از سایه‌بان‌ها (نگارنده)

سایه‌بان	متوسط دمای سطح زمین زیر سایه‌بان		درصد تأثیرگذاری بر محیط	کمترین دمای سطح زمین زیر سایه‌بان (به صورت موضعی) (C)
	(K)	(C)		
سایه‌بان ساده	۳۲۰.۸۴۸	۴۷.۷۰	٪ ۴۰.۳۷	۴۵
سایه‌بان مخروطی	۳۲۱.۰۲	۴۷.۹۰	٪ ۴۰.۱۶	۴۴.۵
سایه‌بان زین اسبی	۳۲۰.۶۴۴	۴۷.۵۰	٪ ۴۰.۶۳	۴۸
سایه‌بان چتری	۳۲۰.۸۰	۴۷.۶۵	٪ ۴۰.۴۳	۵۱

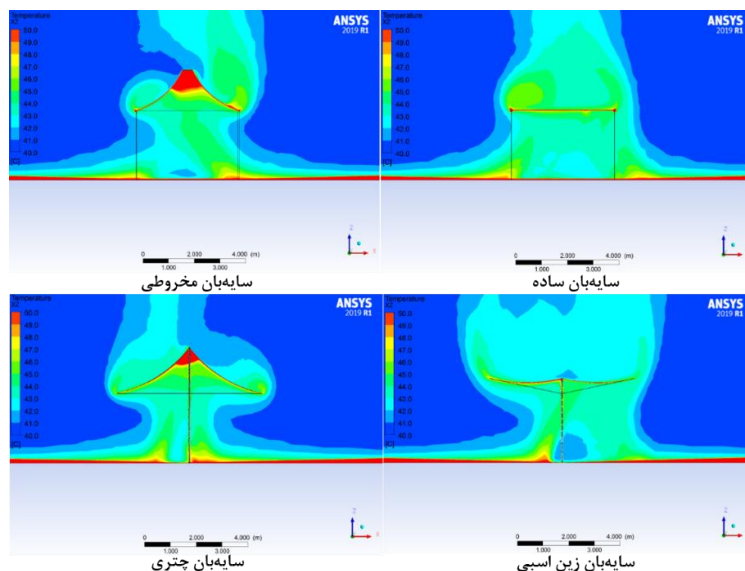


نمودار ۴-۱ مقایسه سایه‌بان‌ها در شار ۶۵۰ وات بر مترمربع (نگارنده)

۴-۲-۱-۲-۲ توزیع دمای هوای اطراف سایه‌بان‌ها

توزیع دمای هوای اطراف هر یک از سایه‌بان‌ها در شکل ۴-۸ و جدول ۴-۳ آمده‌است. با توجه به نتایج شبیه‌سازی، سایه‌بان مخروطی بهتر از سایه‌بان ساده است، چرا که دمای هوای زیر سایه‌بان ساده کمی بالاتر است. اما در حالت مخروطی به علت مرتفع بودن سقف نسبت به حالت ساده کمی دما پایین‌تر بوده و به علت

انحنای سطح فوقانی، هوای گرم راحت‌تر قابلیت فرار دارد؛ هوای گرم در نقطه فوقانی جمع‌شده و اگر حفره‌ای در آن نقطه ایجاد شود بر اثر خاصیت دودکشی هوای گرم از بالای سایه‌بان خارج می‌شود. همچنین سایه‌بان چتری بهتر از سایه‌بان زین‌اسبی است، زیرا دمای هوای زیر سایه‌بان زین‌اسبی کمی بالاتر سایه‌بان چتری است. به طور کلی سایه‌بان چتری در محدوده وسیع‌تری تأثیر می‌گذارد.



شکل ۸-۴ توزیع دمای هوای اطراف سایه‌بان‌ها با شار ۶۵۰ وات بر مترمربع (نگارنده)

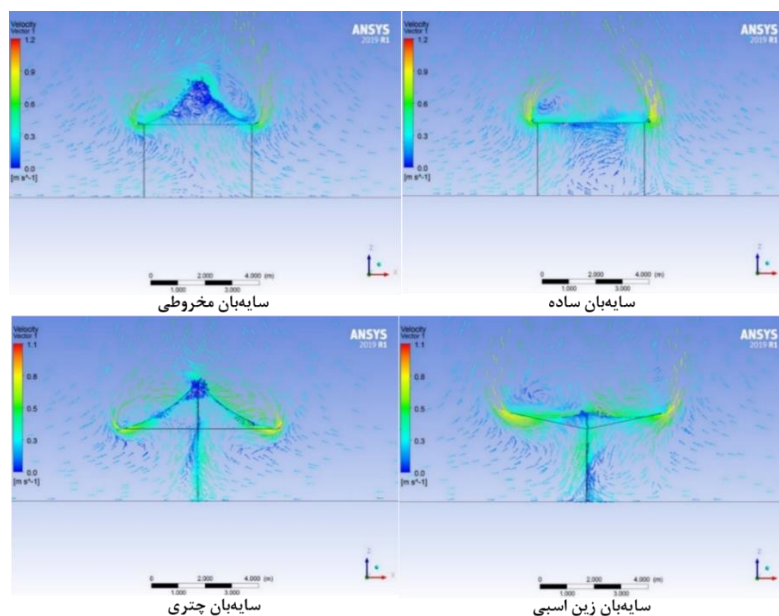
جدول ۳-۴ مقایسه دمای هوای اطراف هر یک از سایه‌بان‌ها با شار ۶۵۰ وات بر مترمربع (نگارنده)

سایه‌بان	ساده	مخروطی	زین‌اسبی	چتری
دمای هوای اطراف C	۴۱.۴۲	۴۱.۳۹	۴۱.۳۵	۴۱.۳۱

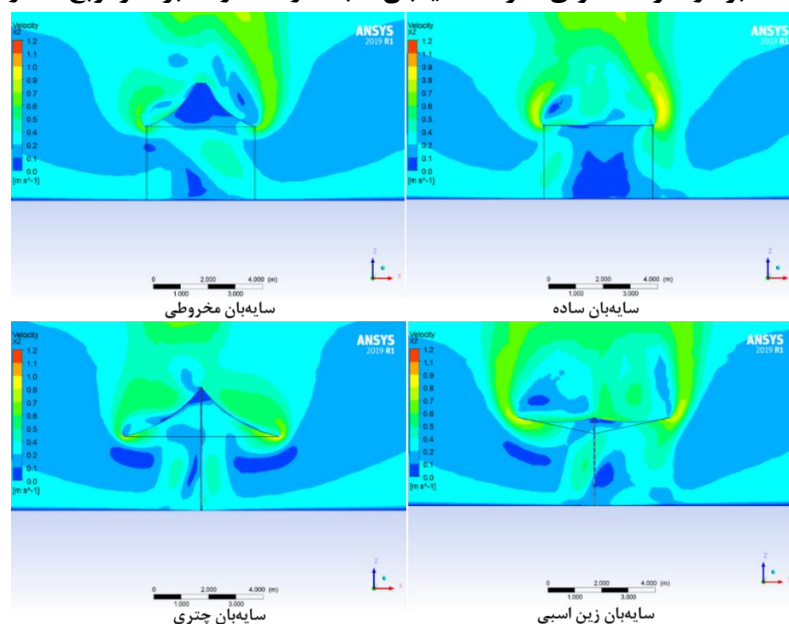
۴-۲-۱-۲-۳ سرعت هوای اطراف سایه‌بان‌ها

شکل ۹-۴ بردار سرعت هوای اطراف سایه‌بان‌ها است. به نظر می‌رسد سرعت جریان هوای زیر سایه‌بان ساده از سایر مواردی که سقف آن‌ها دارای انحنای بوده، کمتر است. همچنین به صورت موضعی سرعت جریان هوای ایجاد شده زیر سایه‌بان برای حالت زین‌اسبی بیشتر است، علت این امر می‌تواند محبوس بودن بیشتر هوا زیر سایه‌بان چتری و مخروطی نسبت به سایه‌بان زین‌اسبی باشد. در سایه‌بان مخروطی و چتری سرعت جریان هوا در قسمت مرتفع بالای سایه‌بان کم و در قسمت پایین سایه‌بان بیشتر است.

شکل ۱۰-۴ کانتور سرعت هوای اطراف هر یک از سایه‌بان‌ها را نشان می‌دهد. باتوجه به کانتورهای سرعت هوای زیر سایه‌بان نیز مشاهده می‌شود در زیر سایه‌بان ساده سرعت هوا کم و به صورت ساکن است، اما در سایر سایه‌بان‌ها جریان هوای ملایمی در زیر سایه‌بان‌ها جریان دارد که به علت ارتفاع سایه‌بان‌ها در این سه حالت است. همچنین در سایه‌بان زین‌اسبی سرعت جریان هوا از سایر حالات بیشتر است.



شکل ۹-۴ بردار سرعت هوای اطراف سایه‌بان‌ها با شار ۶۵۰ وات بر مترمربع (نگارنده)



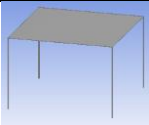
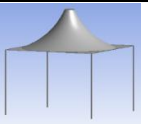
شکل ۱۰-۴ کانتور سرعت هوای اطراف سایه‌بان‌ها با شار ۶۵۰ وات بر مترمربع (نگارنده)

۴-۲-۱-۲-۴ مقایسه نتایج کلی سایه‌بان‌ها

جدول ۴-۴ نتایج کلی حاصل از شبیه‌سازی انسیس را برای هر یک از حالات سایه‌بان‌ها نشان می‌دهد. طبق این نتایج به ترتیب سایه‌بان زین‌اسبی و چتری نسبت به سایر حالات دارای عملکرد بهتری بوده‌اند. در داده‌های محیط واقعی دمای زیر سایه‌بان از دمای محیط کمتر بود، اما در نتایج شبیه‌سازی‌ها مشاهده شد که دماهای خروجی در هر حالت از دمای ورودی محیط (۴۰ درجه) بیشتر شده‌است؛ علت این امر این است که در شرایط واقعی قطعاً وزش باد وجود داشته اما در شبیه‌سازی حاضر وزش باد اعمال نشده و فرض شده

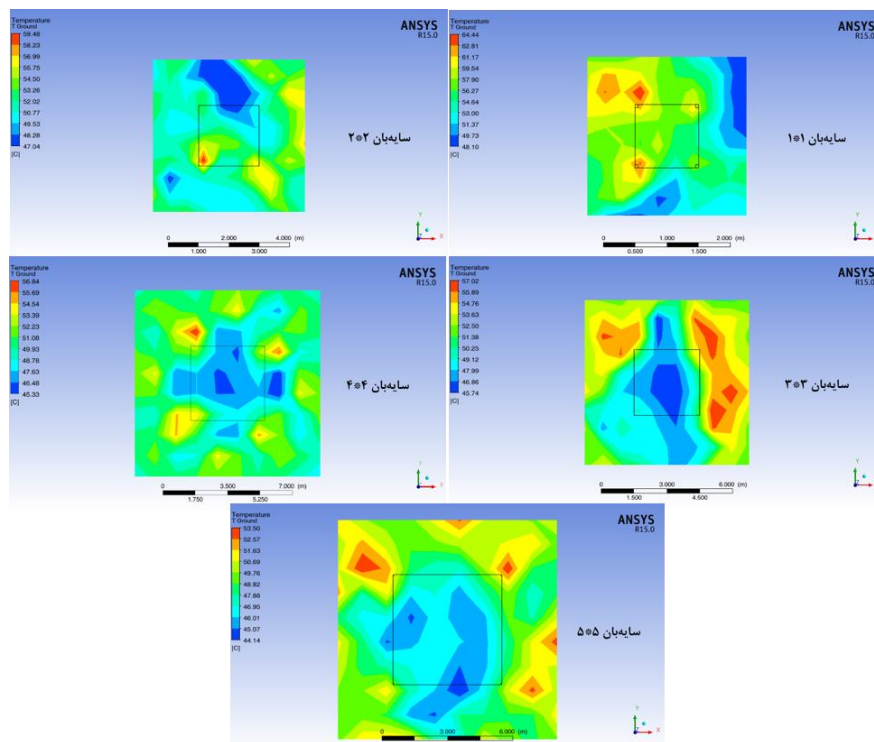
سیال محیط اطراف سرعت ندارد (حالت جریان ساکن) و فقط جابجایی طبیعی وجود دارد، اطراف سایه‌بان‌ها در شبیه‌سازی هیچ شی، درخت یا چیز دیگری نیست و صفحه مسطح به شدت گرما را جذب می‌کند، اما در شرایط واقعی اطراف سایه‌بان اجسام دیگری وجود دارند که از شدت حرارت می‌کاهند. سایه‌بان باعث خنک‌شدن زمین نمی‌شود بلکه از گرمای بیش از حد جلوگیری می‌کند، در شبیه‌سازی حاضر زمین اطراف سایه‌بان تا ۷۰ الی ۸۰ درجه گرم شده اما زیر سایه‌بان خنک‌تر است.

جدول ۴-۴ مقایسه کلی نتایج سایه‌بان‌ها با شار ۶۵۰ وات بر مترمربع (نگارنده)

سایه‌بان	سایه‌بان ساده	سایه‌بان مخروطی	سایه‌بان زین‌اسبی	سایه‌بان چتری
تصویر				
دمای زمین اطراف سایه‌بان (C)	۴۷.۷۰	۴۷.۹۰	۴۷.۵۰	۴۷.۶۵
دمای هوای اطراف سایه‌بان (C)	۴۱.۴۲	۴۱.۳۹	۴۱.۳۵	۴۱.۳۱
درصد تأثیر سایه‌بان در محیط	% ۴۰.۳۷	% ۴۰.۱۶	% ۴۰.۶۳	% ۴۰.۴۳

۴-۲-۱-۲-۵ شبیه‌سازی ابعاد سایه‌بان‌ها

سایه‌بان ساده با ابعاد مختلف نیز در نرم‌افزار انسیس شبیه‌سازی شد. شکل ۴-۱۱ خروجی دمای زمین زیر هر یک از سایه‌بان‌ها را نشان می‌دهد.



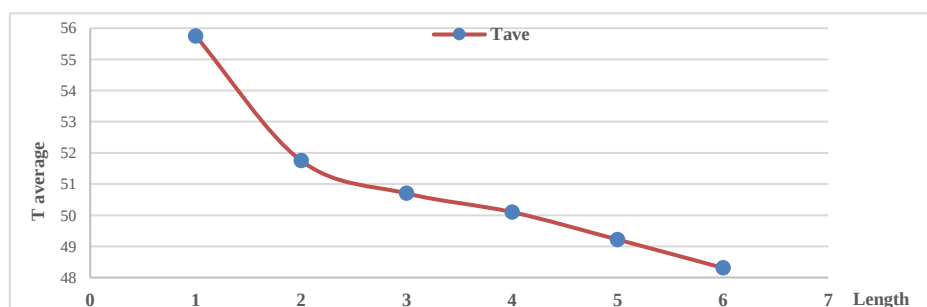
شکل ۴-۱۱ کانتور دمای زمین زیر سایه‌بان‌هایی با ابعاد مختلف (نگارنده)

نتایج نشان می‌دهد با افزایش ابعاد، باز هم دما کاهش پیدا می‌کند اما تغییرات کاهش دما خیلی کم خواهد بود و به یک عدد میل خواهد کرد. مثلاً اگر ابعاد سایه‌بان ۷*۷ مترمربع باشد، طبیعتاً سایه بزرگی ایجاد خواهد شد و دمای زیر آن نزدیک دمای هوا یعنی ۴۰ درجه خواهد بود و با فاصله گرفتن از مرکز سایه‌بان به سمت لبه‌های آن دما افزایش خواهد یافت، به همین خاطر دمای میانگین نزدیک به دمای محیط خواهد شد. (نکته قابل توجه این که فرض شده انتقال حرارتی از سطح سایه‌بان به هوای زیر آن انجام نمی‌شود).

جدول ۴-۵ و نمودار ۴-۲ برای حالت نسبت سطح ثابت و مقایسه دمای میانگین به دست آمده و با توجه به آن می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش سطح سایه‌بان دمای میانگین تقریباً تغییر زیادی نداشته و به ازای نسبت سطح خنک‌شدگی یکسان، دمای سایه‌بان ۵*۵ مترمربع کمتر از بقیه است.

جدول ۴-۵ مقایسه دمای میانگین هر یک از سایه‌بان‌ها در سطح ثابت (نگارنده)

سایه‌بان	دمای میانگین (بر حسب سلسیوس)
سایه‌بان ۱*۱	۵۵.۷۵
سایه‌بان ۲*۲	۵۱.۷۵
سایه‌بان ۳*۳	۵۰.۷
سایه‌بان ۴*۴	۵۰.۱
سایه‌بان ۵*۵	۴۹.۲۲
سایه‌بان ۶*۶	۴۸.۳۱

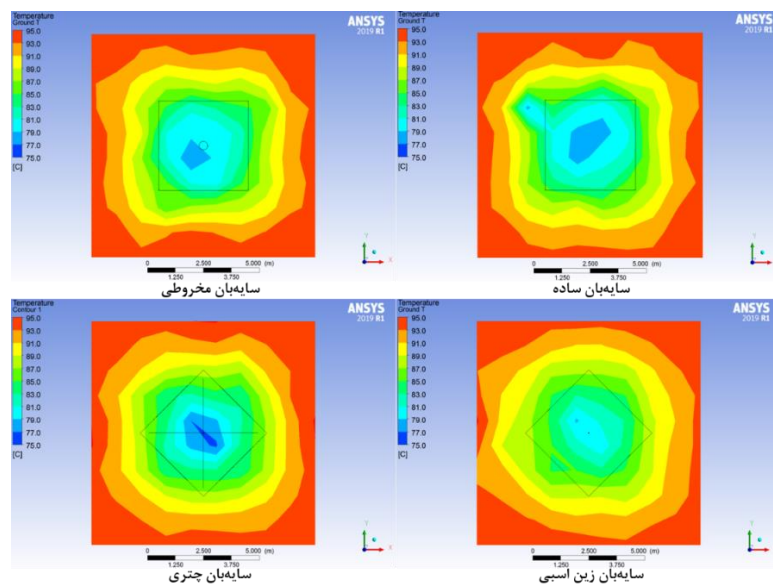


نمودار ۴-۲ نمودار مقایسه دمای میانگین هر یک از سایه‌بان‌ها در سطح ثابت (نگارنده)

۴-۲-۱-۳ شبیه‌سازی در حالت جریان ساکن و شار تابشی ۱۰۰۰ وات بر مترمربع

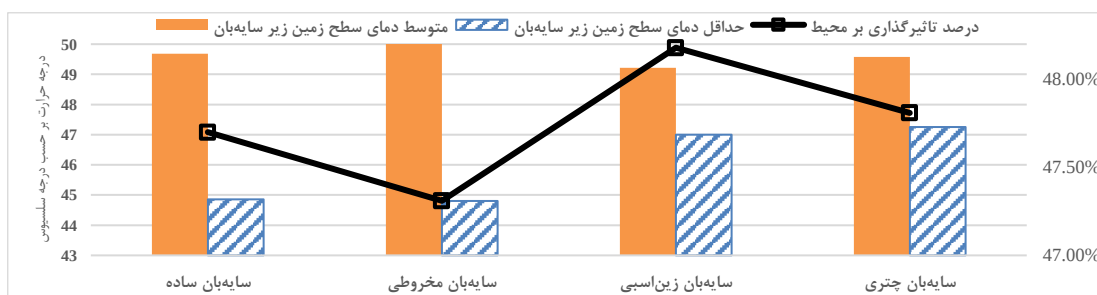
۴-۲-۱-۳-۱ توزیع دمای زمین اطراف سایه‌بان‌ها

توزیع دمای زمین اطراف همه سایه‌بان‌ها در حالت جریان ساکن و شار تابشی ۱۰۰۰ وات بر مترمربع در شکل ۴-۱۲ مشاهده می‌شود. در این حالت در نبود سایه‌بان دمای زمین به ۹۵ درجه سلسیوس می‌رسد. طبق جدول ۴-۶ و نمودار ۴-۳، سایه‌بان زین‌اسبی در محدوده وسیع‌تری نسبت به سایر سایه‌بان‌ها کاهش دما داشته و بهتر عمل کرده‌است. منظور از درصد تأثیرگذاری میزان خنک‌کاری سطح زمین به واسطه سایه‌بان است.



شکل ۱۲-۴ دمای زمین اطراف سایه‌بان‌ها با جریان ساکن و شار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (نگارنده)
جدول ۶-۴ مقایسه دمای زمین و تأثیر هر یک از سایه‌بان‌ها در حالت جریان ساکن و شار ۱۰۰۰ وات (نگارنده)

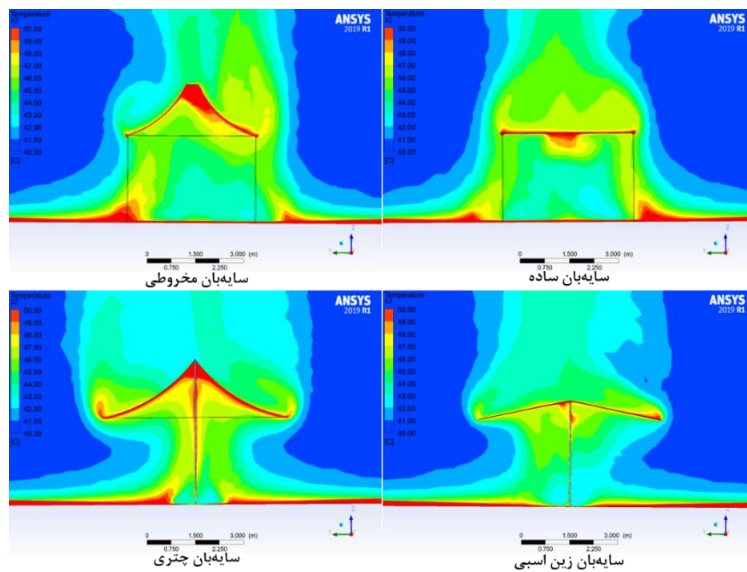
سایه‌بان	متوسط دمای زمین زیر سایه‌بان بدون وزش باد (C)	درصد تأثیرگذاری بر محیط بدون وزش باد	کمترین دمای زیر سایه‌بان بدون وزش باد (C)
سایه‌بان ساده	۴۹.۶۸	٪ ۴۷.۷۰	۴۴.۸۶
سایه‌بان مغروطی	۵۰.۰۵	٪ ۴۷.۳۱	۴۴.۸
سایه‌بان چتری	۴۹.۵۸	٪ ۴۷.۸۱	۴۷.۲۵
سایه‌بان زین‌اسبی	۴۹.۲۲	٪ ۴۸.۱۸	۴۷



نمودار ۳-۴ مقایسه سایه‌بان‌ها در حالت جریان ساکن و شار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (نگارنده)

۴-۲-۱-۳-۲ توزیع دمای هوای اطراف سایه‌بان‌ها

توزیع دمای هوای اطراف هر یک از سایه‌بان‌ها در حالت جریان ساکن و شار تابشی ۱۰۰۰ وات بر مترمربع در شکل ۱۳-۴ و جدول ۷-۴ آمده‌است. به طور کلی سایه‌بان چتری در محدوده وسیع‌تری تأثیر می‌گذارد.

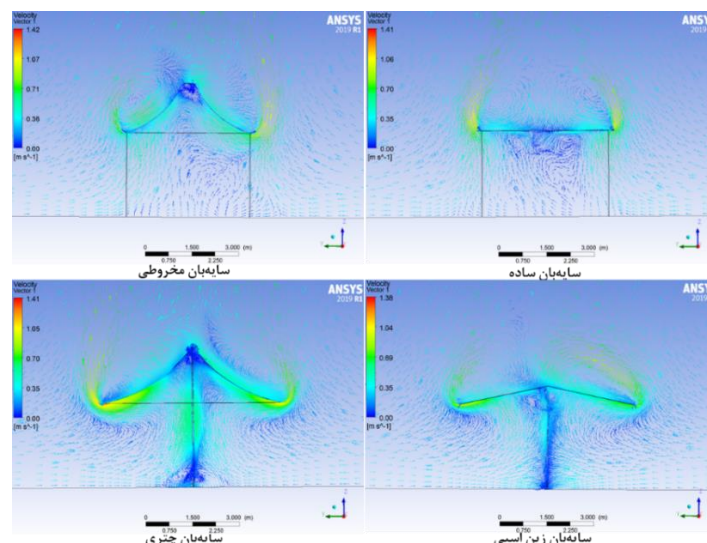


شکل ۴-۱۳ دمای هوای اطراف سایه‌بان‌ها با جریان ساکن و شار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (نگارنده)
جدول ۴-۷ مقایسه دمای هوای اطراف سایه‌بان‌ها در حالت جریان ساکن و شار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (نگارنده)

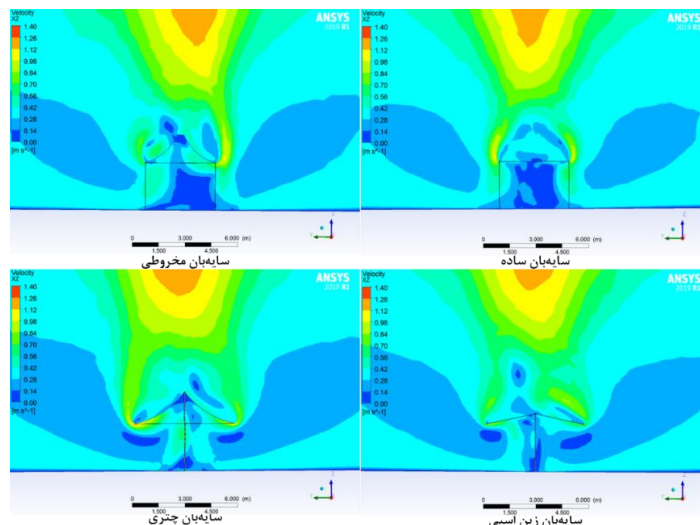
سایه‌بان	ساده	مخروطی	زین اسبی	چتری
دمای هوای اطراف C	۴۱.۹۹	۴۱.۹۷	۴۱.۸۳	۴۱.۷۳

۴-۲-۱-۳-۳ سرعت هوای اطراف سایه‌بان‌ها

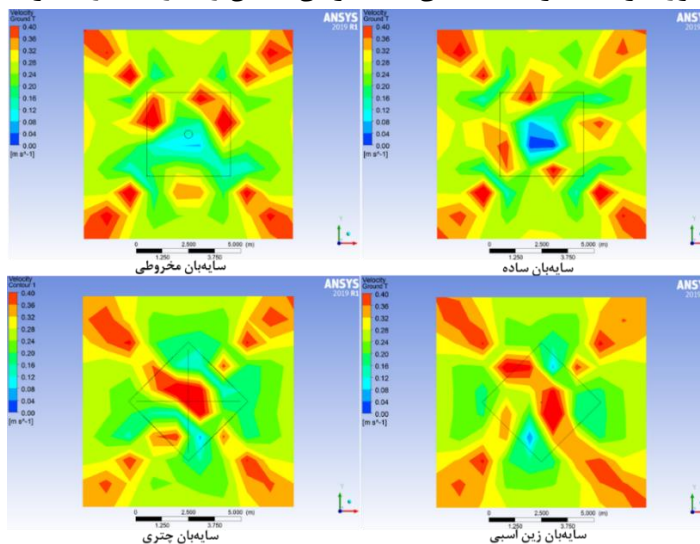
شکل ۴-۱۴ بردار سرعت هوای اطراف سایه‌بان‌ها است. سرعت جریان هوای ایجاد شده زیر سایه‌بان ساده کمتر از همه و در سایه‌بان زین‌اسبی بیشتر از همه است. شکل ۴-۱۵ مقطع کانتور سرعت، شکل ۴-۱۶ کانتور سرعت هوای اطراف سایه‌بان‌ها در ارتفاع ۱.۵ متری و شکل ۴-۱۷ کانتور سرعت هوای اطراف سایه‌بان‌ها در ارتفاع ۲ متری است. طبق تصاویر، سرعت جریان هوا در سایه‌بان زین‌اسبی بیشتر از سایر حالات است.



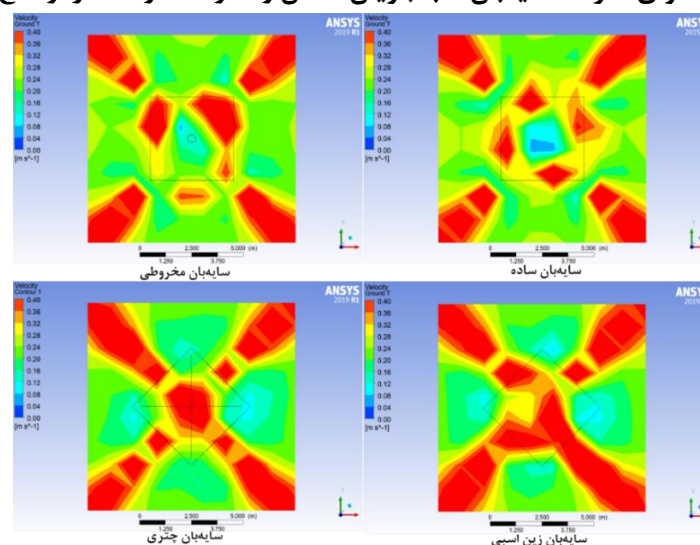
شکل ۴-۱۴ بردار سرعت اطراف سایه‌بان‌ها با جریان ساکن و شار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (نگارنده)



شکل ۱۵-۴ مقطع کانتور سرعت اطراف سایه‌بان‌ها با جریان ساکن و شار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (نگارنده)



شکل ۱۶-۴ کانتور سرعت هوای اطراف سایه‌بان‌ها با جریان ساکن و شار ۱۰۰۰ وات، در ارتفاع ۱.۵ متری (نگارنده)

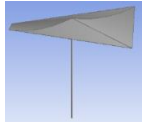
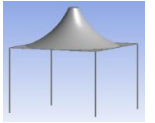
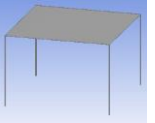


شکل ۱۷-۴ کانتور سرعت هوای اطراف سایه‌بان‌ها با جریان ساکن و شار ۱۰۰۰ وات، در ارتفاع ۲ متری (نگارنده)

۴-۳-۱-۲-۴ مقایسه نتایج کلی سایه بان ها

جدول ۴-۸ نتایج کلی حاصل از شبیه سازی سایه بان ها در حالت جریان ساکن و شار تابشی ۱۰۰۰ وات بر مترمربع را نشان می دهد. طبق این نتایج به ترتیب سایه بان زین اسبی و چتری نسبت به سایر حالات دارای عملکرد بهتری بوده اند.

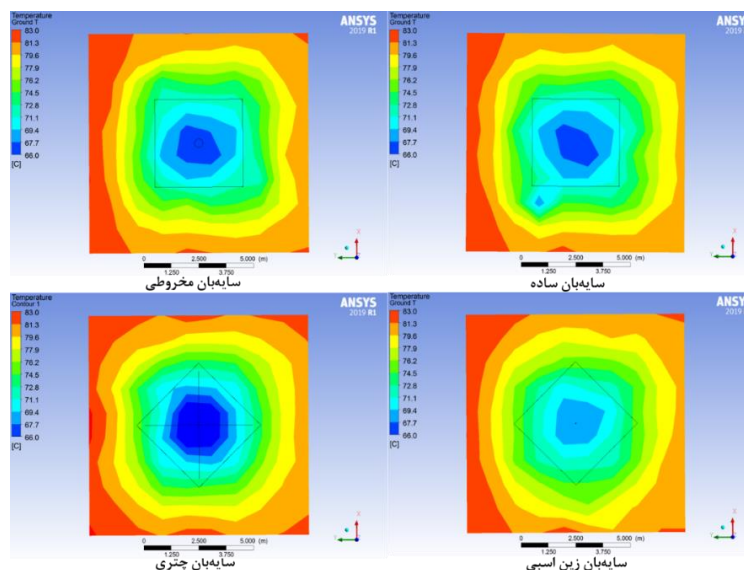
جدول ۴-۸ مقایسه کلی نتایج سایه بان ها در حالت جریان ساکن و شار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (نگارنده)

سایه بان چتری	سایه بان زین اسبی	سایه بان مخروطی	سایه بان ساده	سایه بان
				تصویر
۴۹.۵۸	۴۹.۲۲	۵۰.۰۵	۴۹.۶۸	دمای زمین اطراف سایه بان (C)
۴۱.۷۳	۴۱.۸۳	۴۱.۹۷	۴۱.۹۹	دمای هوای اطراف سایه بان (C)
% ۴۷.۸۱	% ۴۸.۱۸	% ۴۷.۳۱	% ۴۷.۷۰	درصد تاثیر سایه بان در محیط

۴-۲-۱-۴ شبیه سازی با وزش باد و شار تابشی ۱۰۰۰ وات بر مترمربع

۴-۲-۱-۴-۱ توزیع دمای زمین اطراف سایه بان ها

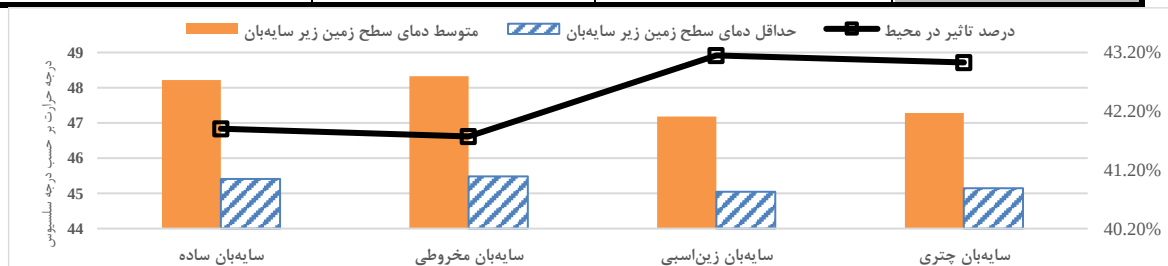
توزیع دمای زمین اطراف سایه بان ها در حالت وزش باد و شار تابش ۱۰۰۰ وات بر مترمربع در شکل ۴-۱۸ مشاهده می شود. میانگین سرعت باد در فصول گرم سمنان ۲.۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است (کسمائی، ۱۳۹۱). در این حالت در نبود سایه بان دمای زمین به ۸۳ درجه سلسیوس خواهد رسید. طبق جدول ۴-۹ و نمودار ۴-۴، سایه بان زین اسبی در محدوده وسیع تری نسبت به سایر سایه بان ها کاهش دما داشته است.



شکل ۴-۱۸ دمای زمین اطراف سایه بان ها با وزش باد و شار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (نگارنده)

جدول ۹-۴ مقایسه دمای زمین و تأثیرگذاری هر یک از سایه‌بان‌ها با در نظر گرفتن وزش باد (نگارنده)

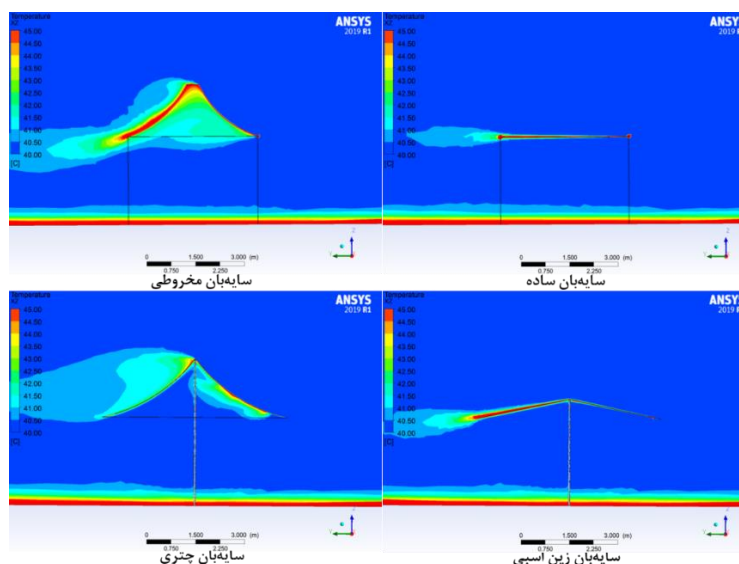
سایه‌بان	متوسط دمای زمین زیر سایه‌بان با وزش باد (C)	درصد تأثیرگذاری بر محیط با وزش باد	کمترین دمای زیر سایه‌بان با وزش باد (C)
سایه‌بان ساده	۴۸.۲۲	% ۴۱.۹۰	۴۵.۴۱
سایه‌بان مخروطی	۴۸.۳۳	% ۴۱.۷۷	۴۵.۴۸
سایه‌بان چتری	۴۷.۲۸	% ۴۳.۰۳	۴۵.۱۵
سایه‌بان زین‌اسبی	۴۷.۱۸	% ۴۳.۱۵	۴۵.۰۵



نمودار ۴-۴ مقایسه سایه‌بان‌ها در حالت وزش باد و شار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (نگارنده)

۴-۲-۱-۴-۲ توزیع دمای هوای اطراف سایه‌بان‌ها

توزیع دمای هوای اطراف هر یک از سایه‌بان‌ها در حالت وزش باد و شار تابشی ۱۰۰۰ وات بر مترمربع در شکل ۴-۱۹ و جدول ۴-۱۰ آمده‌است. با مقایسه دمای هوای زیر سایه‌بان‌ها مشاهده می‌شود دمای هوا زیر سایه‌بان زین‌اسبی از سایر سایه‌بان‌ها کمتر است. به طور کلی سایه‌بان زین‌اسبی در محدوده وسیع‌تری تأثیرگذار هستند.



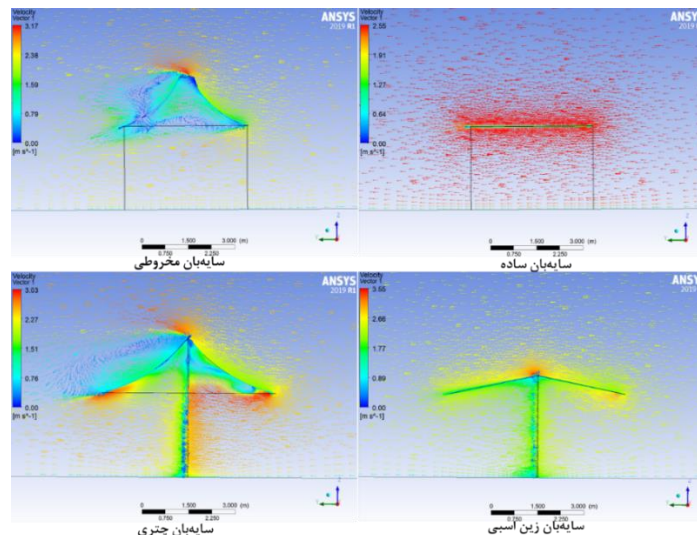
شکل ۴-۱۹ دمای هوای اطراف سایه‌بان‌ها با وزش باد و شار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (نگارنده)

جدول ۴-۱۰ مقایسه دمای هوای اطراف سایه‌بان‌ها در حالت وزش باد با شار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (نگارنده)

سایه‌بان	ساده	مخروطی	زین‌اسبی	چتری
دمای هوای اطراف C	۴۰.۰۷	۴۰.۰۹	۴۰.۰۵	۴۰.۰۹

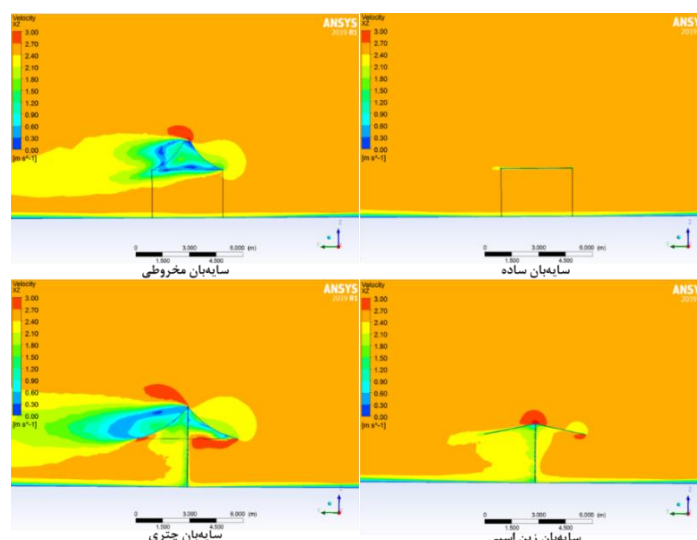
۴-۲-۱-۴-۳ سرعت هوای اطراف سایه‌بان‌ها

شکل ۴-۲۰ بردار سرعت هوای اطراف سایه‌بان‌ها در حالت وزش باد و شار تابش ۱۰۰۰ وات بر مترمربع است. با توجه به شکل بردار سرعت هوای اطراف سایه‌بان‌ها، سرعت جریان هوای ایجاد شده زیر سایه‌بان ساده بیشتر از همه و در سایه‌بان چتری کمتر از سایر حالات است.

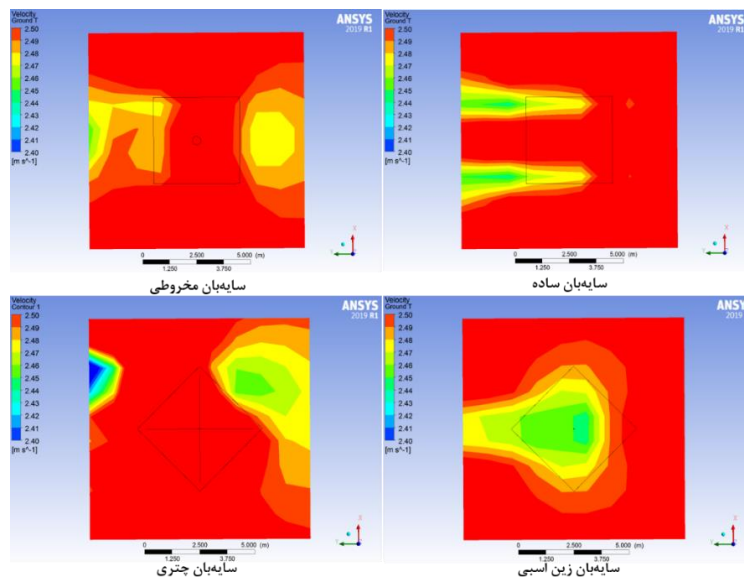


شکل ۴-۲۰ بردار سرعت اطراف سایه‌بان‌ها با وزش باد و شار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (نگارنده)

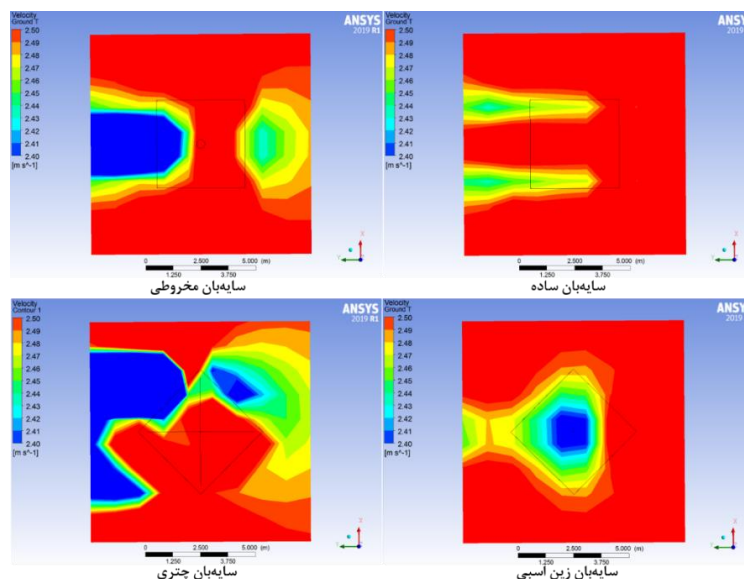
شکل ۴-۲۱ مقطع کانتور سرعت، شکل ۴-۲۲ کانتور سرعت هوای اطراف سایه‌بان‌ها در ارتفاع ۱.۵ متری و شکل ۴-۲۳ کانتور سرعت هوای اطراف سایه‌بان‌ها در ارتفاع ۲ متری است. بنابر شکل ۴-۲۱ سرعت جریان هوا زیر سایه‌بان ساده بیشتر از سایر حالات است. طبق کانتورهای سرعت هوای زیر سایه‌بان در ارتفاع ۱.۵ متری، سایه‌بان چتری دارای بیشترین و سایه‌بان زین‌اسبی دارای کمترین سرعت است و در ارتفاع ۲ متری، در سایه‌بان ساده سرعت جریان هوا از سایر حالات بیشتر و سایه‌بان زین‌اسبی کمتر از سایر حالات است.



شکل ۴-۲۱ مقطع کانتور سرعت اطراف سایه‌بان‌ها با وزش باد و شار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (نگارنده)



شکل ۲۲-۴ کانتور سرعت هوای اطراف سایه‌بان‌ها با وزش باد و شار ۱۰۰۰ وات، در ارتفاع ۱.۵ متری (نگارنده)

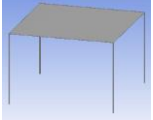


شکل ۲۳-۴ کانتور سرعت هوای اطراف سایه‌بان‌ها با وزش باد و شار ۱۰۰۰ وات، در ارتفاع ۲ متری (نگارنده)
 علت افزایش سرعت باد در بعضی نقاط اطراف سایه‌بان به دلیل آیرودینامیک است. در هندسه بعضی سایه‌بان‌ها انحنا وجود دارد که این امر سبب می‌شود سرعت جریان سیال عبوری از روی انحنای سایه‌بان از سرعت جریان سیال یکنواخت ورودی که ۲.۵ متر بر ثانیه بوده، بیشتر شود.

۴-۲-۱-۴-۴ مقایسه نتایج کلی سایه‌بان‌ها

جدول ۴-۱۱ نتایج کلی حاصل از شبیه‌سازی سایه‌بان‌ها در حالت وزش باد و شار تابشی ۱۰۰۰ وات بر مترمربع را نشان می‌دهد. طبق این نتایج سایه‌بان زین‌اسبی نسبت به سایر حالات دارای عملکرد بهتری بوده‌است.

جدول ۱۱-۴ مقایسه کلی نتایج سایه‌بان‌ها در حالت وزش باد و شار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (نگارنده)

سایه‌بان چتری	سایه‌بان زین‌اسبی	سایه‌بان مخروطی	سایه‌بان ساده	سایه‌بان
				تصویر
۴۷.۲۸	۴۷.۱۸	۴۸.۳۳	۴۸.۲۲	دمای زمین اطراف سایه‌بان (C)
۴۰.۰۹	۴۰.۰۵	۴۰.۰۹	۴۰.۰۷	دمای هوای اطراف سایه‌بان (C)
% ۴۳.۰۳	% ۴۳.۱۵	% ۴۱.۷۷	% ۴۱.۹۰	درصد تأثیر سایه‌بان در محیط

۴-۲-۱-۵ جمع‌بندی نتایج شبیه‌سازی در نرم‌افزار Ansys Fluent

شبیه‌سازی در نرم‌افزار انسیس با هدف تعیین فرم مناسب برای سایه‌بان‌های غشایی سبک در دو حالت جریان ساکن و وزش باد صورت گرفت. در همه حالات نتایج نشان داد که از میان چهار مدل سایه‌بان ساده، مخروطی، چتری و زین‌اسبی، سایه‌بان زین‌اسبی دارای عملکرد مناسبی در محیط بوده و سبب ایجاد فضای خنک‌تری در زیر سایه‌بان می‌شود. نتایج جریان ساکن نشان داد که سایه‌بان زین‌اسبی از سایر حالات بهتر عمل کرده‌است و وجود جریان باد و تهویه طبیعی عملکرد آن را بهبود می‌بخشد. در واقع اگر سایه‌بانی در وضعیت بدون باد تأثیرگذار باشد، با ایجاد جریان هوا در اطراف آن شرایط بهتر می‌گردد.

در خصوص افزایش یا تغییر ارتفاع کلی هر یک از سایه‌بان‌ها می‌توان گفت که، با تغییر ارتفاع کلی سایه‌بان فرم سایه‌بان نیز تغییر خواهد کرد و به مدل دیگری تبدیل خواهد شد. افزایش ارتفاع سایه‌بان‌ها در آیرودینامیک سایه‌بان یا همان جریان اطراف سایه‌بان به خصوص زمانی که وزش باد وجود دارد، تأثیرگذار خواهد بود. بنابراین می‌توان گفت که پارامتر ارتفاع کلی سایه‌بان تأثیرگذار است اما در این پژوهش تنها اشاره‌ای به آن شده و به آن پرداخته نمی‌شود.

در مورد مصالح مورد استفاده در شبیه‌سازی‌ها نیز باید بیان نمود که در همه حالات شبیه‌سازی مصالح سایه‌بان‌ها یکسان و عایق و همچنین زمین نیز عایق در نظر گرفته شده‌است، یعنی حرارت قابل نفوذ به زمین نمی‌باشد پس جنس مصالح زمین مورد نظر نیست؛ این فرض تا حدی واقعیت ندارد چون با تابش به زمین و گرم شدن سطح زمین، شار حرارتی تا حدی به داخل زمین نفوذ کرده و سطح زمین از نتایج به دست آمده خنک‌تر خواهد بود.

۴-۲-۲ شبیه‌سازی در نرم‌افزار ENVI-met

برای شبیه‌سازی در انویمت، موقعیت شهر سمنان با عرض جغرافیایی ۳۵.۵۸ و طول جغرافیایی ۵۳.۳۸ مشخص گردید. تنظیمات محیط مدل مطابق جدول ۴-۱۲ است. لازم به ذکر است که در همه حالات شبیه‌سازی مصالح ثابت در نظر گرفته شده و تأثیر مصالح مختلف، مورد نظر موضوع این پژوهش نبوده‌است.

جدول ۴-۱۲ تنظیمات ابعاد و مصالح در انویمت

x-grids, y-grids, z-grids	50*50*12
dx, dy, dz (m)	dx=0.5, dy=0.5, dz=3
Model dimensions (m)	25*25*36
Nesting grid	0
Soil Profiles	Loamy soil
Material	Default wall- Moderate insulation
Top of building or element (m)	3
Bottom of building or element (m)	2.7

روز ۲۲ مرداد ماه سال ۱۳۹۹ (روز ۱۲ آگوست ۲۰۲۰) به عنوان یکی از گرم‌ترین روزهای تابستان، برای شبیه‌سازی انتخاب شد. طبق شکل ۴-۲۴، پارامترهای اقلیمی مهم و شاخص، از جمله بیشینه و کمینه دمای هوا، بیشینه و کمینه رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد برای روز ۲۲ مرداد ماه سال ۱۳۹۹ (روز ۱۲ آگوست ۲۰۲۰) به عنوان ورودی در انویمت مورد استفاده قرار گرفتند.

در محیط انویمت سایه‌بان‌هایی با ابعاد ۱*۱، ۲*۲، ۳*۳، ۴*۴، ۵*۵ و ۶*۶ با ارتفاع مفید ۲.۷۰ متر به طور جداگانه شبیه‌سازی شدند. ساعات ۱۲ تا ۱۴ اوج گرما شناسایی شد، به همین علت ساعت ۱۲ ظهر برای خروجی‌های انویمت انتخاب شد. خروجی‌ها در ارتفاع ۱.۵ متری ($K=2$) است.

Initial meteorological conditions

Wind uvw

Wind speed measured in 10 m height (m/s): 2.50

Wind direction (deg): 140.00 (0= from North...180= from South...)

Roughness length at measurement site: 0.010

Temperature T

Min. and max. temperature of atmosphere (°C): 27.20 (min.) 40.40 (max.)

Humidity q

Min. and max. relative humidity in 2m (%): 9.00 (min.) 26.00 (max.)

شکل ۴-۲۴ اطلاعات اقلیمی ورودی برای شبیه‌سازی در انویمت، روز ۱۲ آگوست ۲۰۲۰

۴-۲-۲-۱ نتایج شبیه‌سازی در نرم‌افزار ENVI-met

نتایج شبیه‌سازی سایه‌بان‌هایی با ابعاد ۱*۱، ۲*۲ و ۳*۳ مترمربع با ارتفاع ۲.۷۰ متر، در ارتفاع ۱.۵ متری زیر سایه‌بان در جدول ۴-۱۳ و نمودارهای ۴-۵، ۴-۶، ۴-۷ و ۴-۸ آمده‌است. شبیه‌سازی در سایه‌بان‌ها تا ابعاد

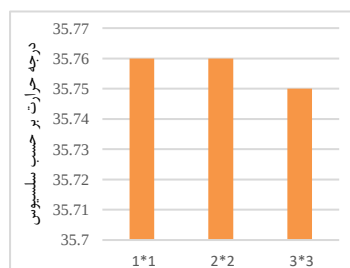
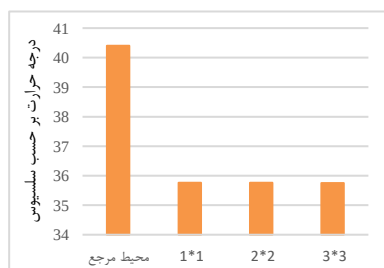
۶*۶ مترمربع ادامه پیدا کرد اما به دلیل مشابه بودن نتایج، تنها نتایج شبیه سازی تا ابعاد ۳*۳ گزارش شده است. برای محاسبه شاخص آسایش حرارتی PET نیز از نرم افزار ریمن مطابق شکل ۲۵-۴ استفاده شده است (داده های ورودی دما، رطوبت نسبی و سرعت باد برای همه حالات از نرم افزار انویمت، استخراج شد).

شکل ۲۵-۴ تنظیمات نرم افزار RayMan برای محاسبه PET (نگارنده)

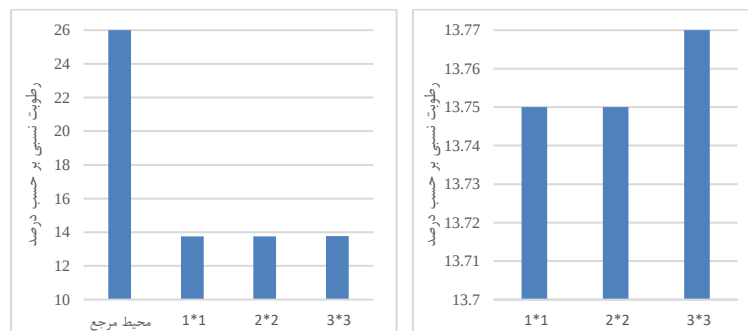
طبق نتایج به دست آمده حضور سایه بان در محیط می تواند تا ۵ درجه سانتیگراد اختلاف درجه حرارت ایجاد کند، اما با تغییر ابعاد سایه بان ها تغییر محسوسی در مقادیر هر یک از پارامترهای اقلیمی روی نمی دهد. علت این امر می تواند قرارگیری رسپتورها دقیقاً در مرکز سایه بان باشد در حالی که تغییر ابعاد سایه بان ها، تغییر دما را در سطح وسیعتری انجام داده ولی خود دما را چندان کاهش نمی دهد. نتایج رسپتورها نشان می دهد که وجود سایه بان در محیط موثر است؛ اما هنگامی که ابعاد سایه بان بزرگتر می شود، تأثیر این تغییر ابعاد در نقطه مرکزی زیر سایه بان مشهود نیست اما سطح تأثیر سایه بان افزایش پیدا می کند.

جدول ۱۳-۴ نتایج پارامترهای اقلیمی سایه بان های شبیه سازی شده در انویمت، ساعت ۱۲ ظهر (نگارنده)

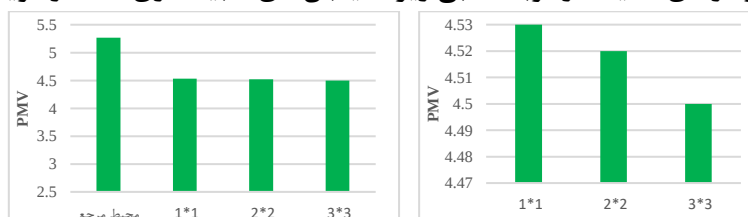
PET	PMV	سرعت باد	رطوبت نسبی	دمای هوا	سایه بان
۵۲.۶	۵.۲۷	۲.۵	۲۶	۴۰.۴	محیط مرجع (هواشناسی)
۴۷.۸	۴.۵۳	۱.۴۸	۱۳.۷۵	۳۵.۷۶	سایه بان ۱*۱
۴۷.۸	۴.۵۲	۱.۴۵	۱۳.۷۵	۳۵.۷۶	سایه بان ۲*۲
۴۸.۱	۴.۵	۱.۴۲	۱۳.۷۷	۳۵.۷۵	سایه بان ۳*۳



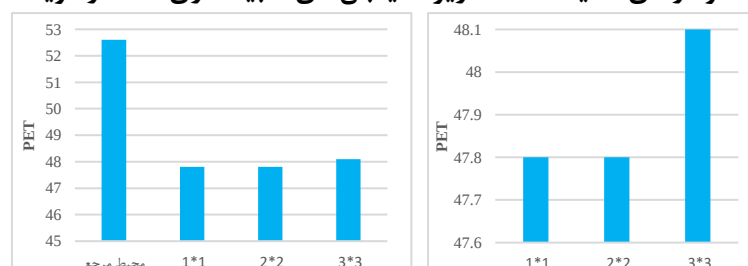
نمودار ۵-۴ نمودارهای مقایسه درجه حرارت زیر سایه بان های شبیه سازی شده در انویمت (نگارنده)



نمودار ۴-۶: نمودارهای مقایسه رطوبت نسبی زیر سایه بان‌های شبیه‌سازی شده در انویمت (نگارنده)



نمودار ۴-۷: نمودارهای مقایسه PMV زیر سایه بان‌های شبیه‌سازی شده در انویمت (نگارنده)



نمودار ۴-۸: نمودارهای مقایسه PET زیر سایه بان‌های شبیه‌سازی شده در انویمت (نگارنده)

همچنین شبیه‌سازی سایه بان با ابعاد ۴*۴ مترمربع و ارتفاع ۲.۷۰ متر در انویمت، با موقعیت شهر سمنان و برای روزهای ۱۴ اردیبهشت (نزدیک شرایط آسایش)، ۱۸ خرداد (خارج از آسایش) سال ۱۳۹۹ انجام شد و با نتایج ۲۲ مرداد (یکی از گرم‌ترین روزهای تابستان و خارج از آسایش) مقایسه شد. خروجی شبیه‌سازی‌ها برای ساعت ۱۲ ظهر است. طبق جدول ۱۴-۴، نتایج نشان می‌دهد که با قرار دادن سایه بان در محیط تغییرات مثبتی در پارامترهای اقلیمی نسبت به محیط مرجع (بدون سایه بان) ایجاد می‌شود که نشان‌دهنده تأثیر وجود سایه بان در محیط است. در شهر سمنان در اردیبهشت ماه تقریباً شرایط نزدیک آسایش است و این نشان‌دهنده لزوم استفاده از سایه بان در فضای باز شهر سمنان از اواسط اردیبهشت ماه به بعد است. در ۲۲ مرداد، قرار دادن سایه بان با ابعاد ۴ متر در ۴ متر در محیط دمای هوا را ۴.۷ درجه سلسیوس کاهش می‌دهد. مقدار شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (PET) در این روز، در محیط مرجع قبل از قرار دادن سایه بان ۵۲.۶ درجه سلسیوس و پس از قرار دادن سایه بان ۴۸ درجه است. سایه بان به تنهایی سبب کاهش دمای محیط می‌شود، اما شاخص PET نشان می‌دهد که این کاهش دما به تنهایی برای رسیدن به آسایش حرارتی در اقلیم گرم و خشک شهر سمنان کافی نیست.

جدول ۱۴-۴ نتایج پارامترهای اقلیمی سایه‌بان شبیه‌سازی شده در ساعت ۱۲ ظهر در انویمت (نگارنده)

روز	ساعت	دمای هوا	رطوبت نسبی	سرعت باد	PET
۲۲ مرداد	محیط مرجع	۴۰.۴	۲۶	۲.۵	۵۲.۶
	سایه‌بان ۴*۴	۳۵.۷	۱۳.۸	۱.۴	۴۸
۱۸ خرداد	محیط مرجع	۳۲	۳۲	۳.۳	۴۰.۵
	سایه‌بان ۴*۴	۲۸.۶	۱۹.۴	۱.۷	۳۸.۷
۱۴ اردیبهشت	محیط مرجع	۲۳.۴	۵۷	۳.۱	۲۸
	سایه‌بان ۴*۴	۲۰	۳۳.۱	۱.۷	۲۶.۷

همانطور که مشاهده شد در سمنان در تابستان دما زیاد و رطوبت کم است. این شبیه‌سازی‌ها مستقل از پوشش گیاهی و آب، بر روی عامل دما انجام شده‌است، بنابراین و طبق نتایج پژوهش‌های جدول ۱۵-۴، که نشان‌دهنده تأثیر پوشش گیاهی بر کاهش دما و افزایش رطوبت است می‌توان نتیجه گرفت، استفاده ترکیبی از سایه‌بان و پوشش گیاهی در اقلیم گرم و خشک سمنان بر آسایش حرارتی موثرتر خواهد بود.

جدول ۱۵-۴ تأثیر فضاهای سبز شهری و رطوبت بر آسایش حرارتی (نگارنده)

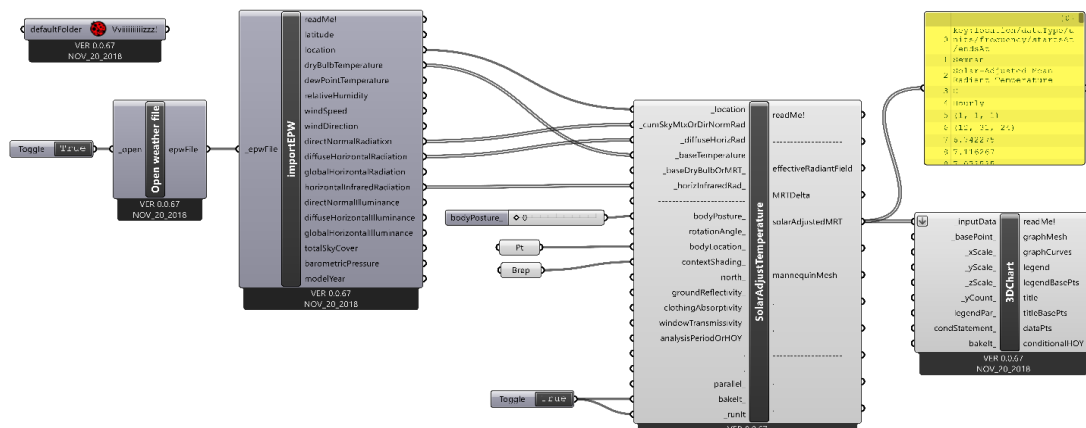
منبع	نتایج	موضوع
(منعام، ۱۳۹۰)	در این پژوهش، مقایسه دمای شهری با میانگین دمای اندازه‌گیری شده در بوستان‌ها نشان می‌دهد که میانگین دمای بوستان‌ها کمتر از دمای هوای شهر می‌باشند. این تفاوت حداکثر در برخی نقاط تا ۳.۸ درجه سانتیگراد می‌رسد، این نقاط اکثراً در فضاهای مرکزی می‌باشند. در مقایسه رطوبت بوستان و شهر، رطوبت نسبی بوستان‌ها در برخی نقاط تا ۱۶ درصد بالاتر از رطوبت شهری است.	ارزیابی آسایش حرارتی در پارک‌های منتخب تهران
(Perini & Magliocco, 2014)	مطالعات انجام شده در شهر فلورانس تأثیر مناطق سبز را بر کاهش دمای هوا بین ۱.۵ تا ۲ درجه در مقایسه با خیابان نشان می‌دهد.	اثر پوشش گیاهی، تراکم شهری، ارتفاع ساختمان و شرایط جوی بر دمای محلی و راحتی حرارتی
(Cao et al, 2010)	پارک‌های شهری ۱ تا ۲ درجه و بعضی اوقات ۵ تا ۷ درجه سانتیگراد خنک‌تر از محیط‌های شهری هستند و در مقابل جزیره گرمایی شهری، تشکیل جزیره سرمایی می‌دهند.	کمی کردن شدت جزیره خنک پارک‌های شهری با استفاده از داده‌های IKONOS و ASTER

۴-۲-۲-۲ جمع‌بندی نتایج شبیه‌سازی در نرم‌افزار ENVI-met

شبیه‌سازی در نرم‌افزار انویمت با هدف دستیابی به ابعاد مناسب برای سایه‌بان صورت گرفت. برای به دست آوردن ابعاد مناسب سایه‌بان انتظار می‌رفت در زیر هر سایه‌بان با تغییر ابعاد، دما هم به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر کند و بر این اساس ابعاد مناسب سایه‌بان به دست آید، اما با توجه به ناچیز بودن تغییرات دما این نتیجه حاصل شد که از طریق تغییرات دما نمی‌توان به ابعاد مناسب رسید. با قرار دادن سایه‌بان در محیط، تغییرات مثبتی در پارامترهای اقلیمی نسبت به محیط مرجع ایجاد می‌شود که نشان‌دهنده تأثیر وجود سایه‌بان در محیط است. همچنین افزایش ابعاد سایه‌بان در محدوده وسیع‌تری تأثیر گذاشته و در نقطه مرکزی زیر سایه‌بان تغییرات محدود است.

۳-۲-۴ شبیه‌سازی در گرس‌هاپر با پلاگین لیدی‌باگ

شبیه‌سازی در پلاگین لیدی‌باگ نیز با موقعیت شهر سمنان انجام شد. برای اطلاعات ورودی آب و هوایی نیز از فایل epw شهر سمنان استفاده شده‌است. الگوریتم نوشته‌شده در پلاگین لیدی‌باگ برای شبیه‌سازی سایه‌بان‌هایی با ابعاد مختلف، مطابق شکل ۲۶-۴ است.



شکل ۲۶-۴ الگوریتم محاسبه MRT سایه‌بان‌ها در لیدی‌باگ (نگارنده)

خروجی شبیه‌سازی‌ها برای چند روز گرم تابستان در ساعت ۱۲ ظهر و ارتفاع ۱.۵ متری از سطح زمین است. جدول ۱۶-۴ دمای خشک ورودی برای این چند روز که از فایل epw شهر سمنان به دست آمده، نشان می‌دهد.

جدول ۱۶-۴ دمای خشک ورودی مستخرج از فایل epw (نگارنده)

زمان	۱۲ ظهر ۱ تیر	۱۲ ظهر ۱۵ تیر	۱۲ ظهر ۱ مرداد	۱۲ ظهر ۱۵ مرداد
دمای خشک	۳۶.۶	۳۳.۹	۴۰	۳۱.۶

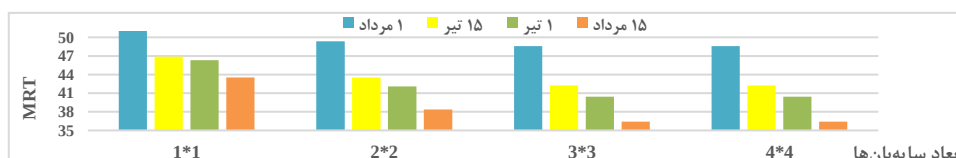
۱-۳-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی در پلاگین لیدی‌باگ

هنگامی که به مقایسه T_{mrt} در شرایط آب و هوایی مشابه بین یک فضای داخلی و خارجی، به خصوص در آب و هوای آفتابی پرداخته می‌شود، نتایج نشان می‌دهند که در یک فضای شهری تفاوت بین دمای خشک (T_a) و دمای متوسط تشعشعی (T_{mrt}) تا ۳۰ درجه است، در حالی که تفاوت بین این دو کمیت در فضای داخلی بسیار ناچیز است. این پدیده به طور مستقیم مرتبط به تنوع گسترده‌ای از طول موج‌های تابش است: (الف) تابش طول موج کوتاه (اشعه مستقیم خورشید، پراکنده شدن تابش نور خورشید و انعکاس نور خورشید) (ب) تابش طول موج بلند (اشعه جوی که آسمان منتشر می‌کند و اشعه زمین که از محیط منتشر می‌شود). اثر هر یک از این اشعه‌ها در بدن انسان بسته به مکان، ماه، روز و زمان متفاوت است (Ahriz et al, 2015).

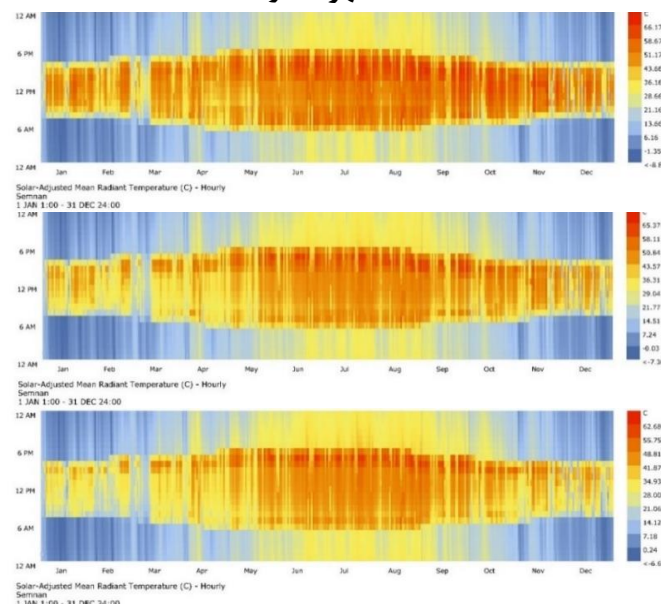
در جدول ۴-۱۷ و نمودار ۴-۹ و شکل ۴-۲۷، MRT خروجی شبیه‌سازی‌ها برای هر سایه‌بان با ارتفاع ۲.۷۰ متر نشان داده شده‌است. طبق این نتایج در سایه‌بان با ارتفاع ۲.۷۰ متری، با افزایش ابعاد سایه‌بان، مقدار MRT زیر سایه‌بان کاهش می‌یابد، این کاهش تا ابعاد ۳*۳ ادامه پیدا می‌کند؛ از ابعاد ۳*۳ به بعد روند کاهشی متوقف و MRT زیر سایه‌بان، مقدار ثابتی می‌شود.

جدول ۴-۱۷ MRT سایه‌بان با ارتفاع ۲.۷۰ متری بر حسب درجه سلسیوس در ارتفاع ۱.۵ متری در مرکز سایه‌بان‌ها، ساعت ۱۲ ظهر (نگارنده)

MRT	۱*۱	۲*۲	۳*۳	۴*۴
۱ تیر	۴۶.۳۲	۴۲.۱۰	۴۰.۴۶	۴۰.۴۶
۱۵ تیر	۴۶.۸۷	۴۳.۵۳	۴۲.۲۴	۴۲.۲۴
۱ مرداد	۵۱.۳۴	۴۹.۳۷	۴۸.۶۱	۴۸.۶۱
۱۵ مرداد	۴۳.۵۱	۳۸.۳۸	۳۶.۳۹	۳۶.۳۹



نمودار ۴-۹ MRT سایه‌بان با ارتفاع ۲.۷۰ متر بر حسب درجه سلسیوس در ارتفاع ۱.۵ متری در مرکز سایه‌بان‌ها، ساعت ۱۲ ظهر (نگارنده)



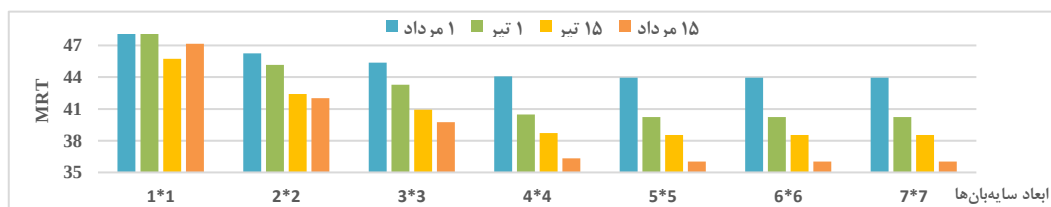
شکل ۴-۲۷ MRT سایه‌بان با ارتفاع ۲.۷۰ متر بر حسب درجه سلسیوس در ارتفاع ۱.۵ متری در مرکز سایه‌بان‌ها، ساعت ۱۲ ظهر، به ترتیب از بالا به پایین سایه‌بان ۱*۱، ۲*۲ و ۳*۳ (نگارنده)

در جدول ۴-۱۸ و نمودار ۴-۱۰ و شکل ۴-۲۸، MRT خروجی شبیه‌سازی‌ها برای هر سایه‌بان با ارتفاع ۳ متر نشان داده شده‌است. طبق این نتایج در سایه‌بان با ارتفاع ۳ متری، با افزایش ابعاد سایه‌بان، مقدار MRT زیر

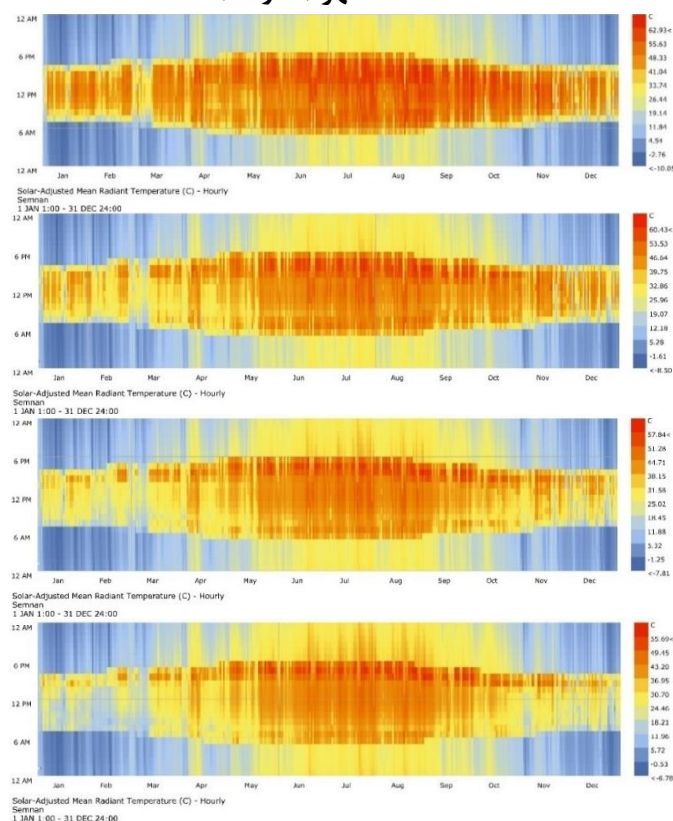
سایه بان کاهش می یابد، این کاهش تا ابعاد ۵*۵ ادامه پیدا می کند؛ از ابعاد ۵*۵ به بعد روند کاهشی متوقف و MRT زیر سایه بان، مقدار ثابتی می شود.

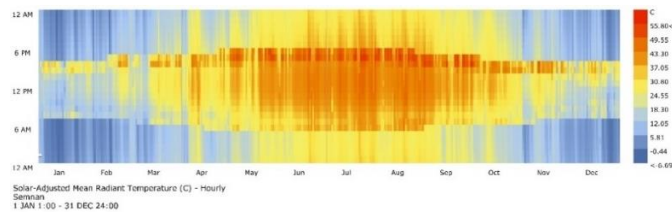
جدول ۱۸-۴ MRT سایه بان ها با ارتفاع ۳ متر بر حسب درجه سلسیوس در ارتفاع ۱.۵ متری در مرکز سایه بان ها، ساعت ۱۲ ظهر (نگارنده)

MRT	۱*۱	۲*۲	۳*۳	۴*۴	۵*۵	۶*۶	۷*۷
۱ تیر	۴۹.۳۸	۴۵.۱۵	۴۳.۲۸	۴۰.۴۶	۴۰.۲۳	۴۰.۲۳	۴۰.۲۳
۱۵ تیر	۴۵.۷۵	۴۲.۴۲	۴۰.۹۴	۳۸.۷۱	۳۸.۵۳	۳۸.۵۳	۳۸.۵۳
۱ مرداد	۴۸.۲۲	۴۶.۲۵	۴۵.۳۸	۴۴.۰۷	۴۳.۹۶	۴۳.۹۶	۴۳.۹۶
۱۵ مرداد	۴۷.۱۵	۴۲.۰۲	۳۹.۷۴	۳۶.۳۳	۳۶.۰۴	۳۶.۰۴	۳۶.۰۴



نمودار ۱۰-۴ MRT سایه بان ها با ارتفاع ۳ متر بر حسب درجه سلسیوس در ارتفاع ۱.۵ متری در مرکز سایه بان ها، ساعت ۱۲ ظهر (نگارنده)

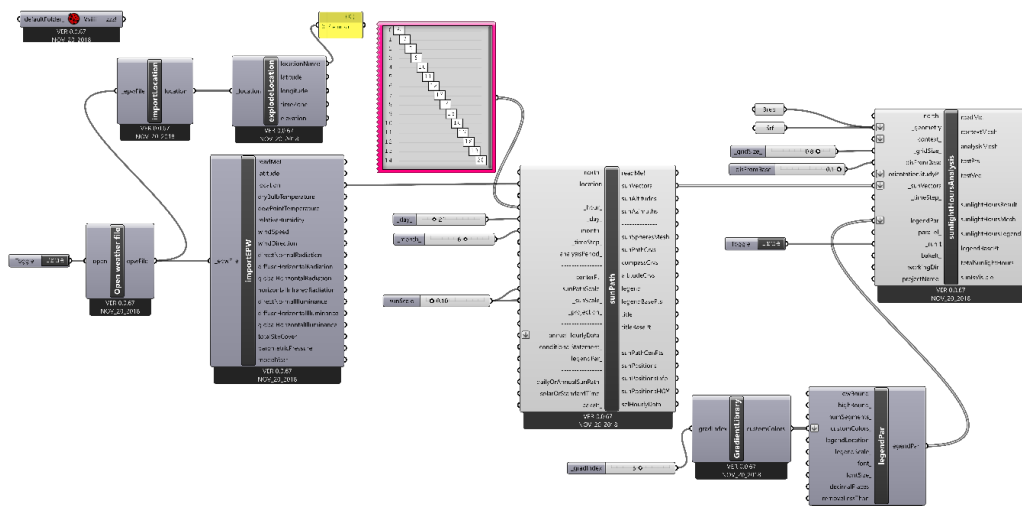




شکل ۲۸-۴ MRT سایه بان با ارتفاع ۳ متر بر حسب درجه سلسیوس در ارتفاع ۱.۵ متری در مرکز سایه بان‌ها، ساعت ۱۲ ظهر، به ترتیب از بالا به پایین سایه بان ۱*۱، ۲*۲، ۳*۳، ۴*۴ و ۵*۵ (نگارنده)

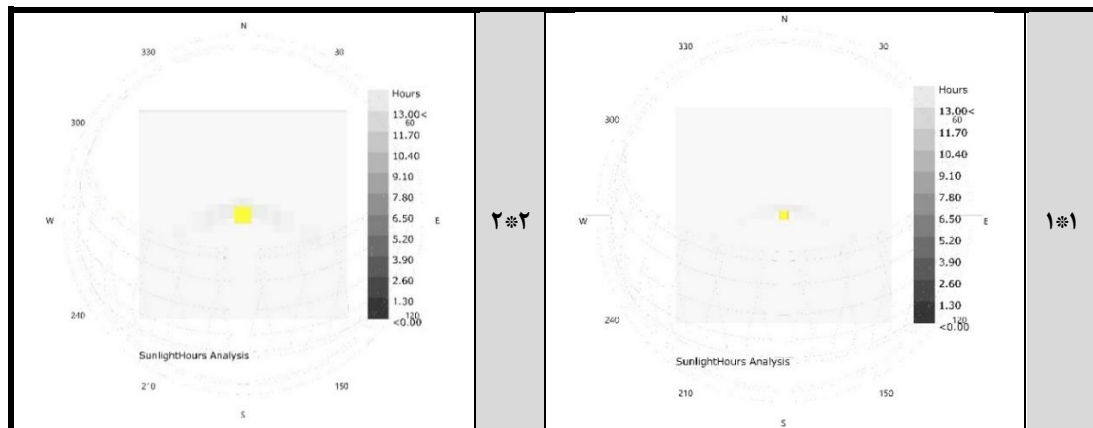
۴-۲-۳-۲ ترسیم سایه سایه بان‌ها در پلاگین لیدی باگ

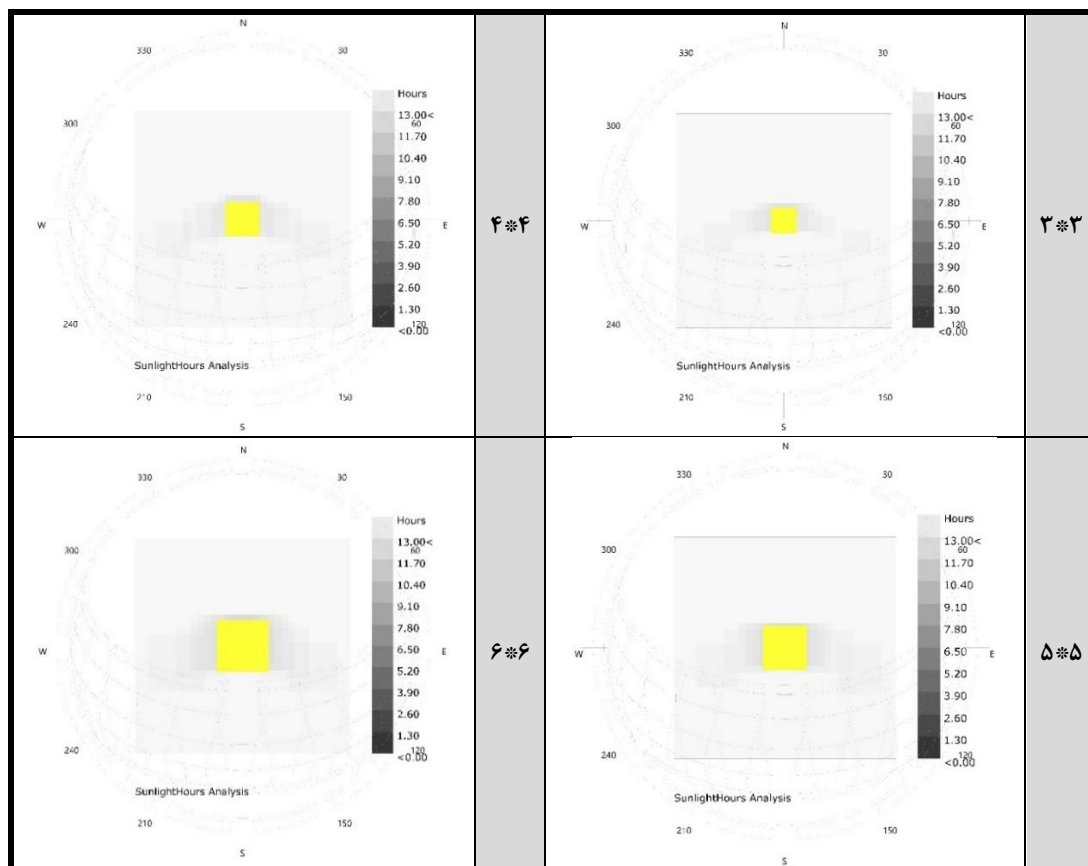
سایه اندازی سایه بان‌ها با ابعاد مختلف با ارتفاع ۳ متر در روز اول تیر از ساعت ۶ صبح تا ۲۰، با استفاده از لیدی باگ ترسیم شده است. ابعاد محیطی که سایه بان‌ها در آن قرار دارد، ۲۵*۲۵ است. شکل ۲۹-۴ الگوریتم ترسیم سایه در لیدی باگ را نشان می‌دهد و سایه ترسیمی سایه بان‌ها نیز در جدول ۱۹-۴ نشان داده شده است.



شکل ۲۹-۴ الگوریتم ترسیم سایه سایه بان‌ها در لیدی باگ (نگارنده)

جدول ۱۹-۴ ترسیم سایه سایه بان‌ها از ساعت ۶ تا ۲۰ در روز اول تیر (نگارنده)





۳-۲-۴ جمع‌بندی نتایج شبیه‌سازی در پلاگین لیدی‌باگ

شبیه‌سازی در پلاگین لیدی‌باگ با هدف دستیابی به ابعاد مناسب سایه‌بان صورت گرفت. نتایج نشان داد که در زیر هر سایه‌بان با تغییر ابعاد، مقدار MRT به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند و بر این اساس ابعاد مناسب سایه‌بان به دست می‌آید. برای ارتفاع ۲.۷۰ متری ابعاد ۳*۳ مترمربع به عنوان ابعاد مناسب و برای ارتفاع ۳ متر ابعاد ۵*۵ مترمربع به عنوان ابعاد مناسب به دست آمد، با توجه به این که ارتفاع ۲.۷۰ متر برای فضاهای شهری کم بوده و امکان در نظر گرفتن ارتفاعات بیشتر و همچنین ابعاد بزرگتر از ۳*۳ مترمربع برای سایه‌بان در فضاهای شهری فراهم است، لذا سایه‌بان با ابعاد ۵*۵ مترمربع و ارتفاع ۳ متری به عنوان ابعاد مناسب سایه‌بان انتخاب گردید.

۴-۲-۴ شبیه‌سازی سایه در نرم‌افزار Revit

سایه‌اندازی سایه‌بان‌ها با ابعاد مختلف و ارتفاع‌های ۲.۷۰ و ۳ متر در روز اول تیر از ساعت ۶ صبح تا ۶ عصر، با استفاده از نرم‌افزار رویت انجام شده‌است. ساعت طلوع آفتاب در روز ۱ تیر ۴:۴۲ و ساعت غروب آفتاب ۱۹:۱۳ بوده‌است. ابعاد محیطی که سایه‌بان‌ها در آن قرار داده شده، ۲۵*۲۵ است. جدول ۴-۲۰ مقایسه تأثیر ارتفاع سایه‌بان بر فاصله مرکز سایه از مرکز سایه‌بان (نگارنده).

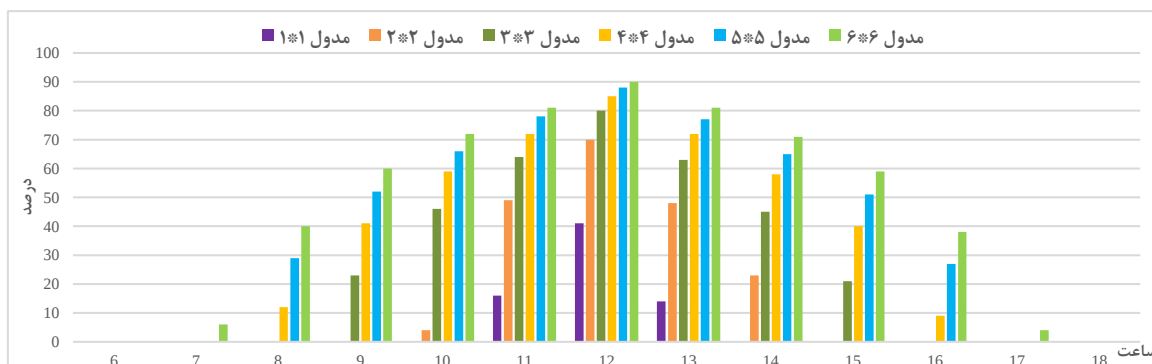
جدول ۴-۲۰ مقایسه تأثیر ارتفاع سایه‌بان بر فاصله مرکز سایه از مرکز سایه‌بان (نگارنده)

ساعت	فاصله مرکز سایه از مرکز سایه‌بان با ارتفاع ۲.۷۰ متر	فاصله مرکز سایه از مرکز سایه‌بان با ارتفاع ۳ متر
۶	۱۱	۱۲.۲
۷	۵.۶۴	۶.۲۷
۸	۳.۵۰	۳.۹۰
۹	۲.۲۸	۲.۵۳
۱۰	۱.۴۵	۱.۶۱
۱۱	۰.۸۵	۰.۹۴
۱۲	۰.۵۸	۰.۶۴
۱۳	۰.۸۸	۰.۹۸
۱۴	۱.۵۰	۱.۶۷
۱۵	۲.۳۵	۲.۶۲
۱۶	۳.۶۲	۴.۰۲
۱۷	۵.۸۹	۶.۵۱
۱۸	۱۱.۷۵	۱۳.۰۵

در جدول‌های ۴-۲۱، ۴-۲۲ و ۴-۲۳ مساحت سایه زیر سایه‌بان به مساحت سایه‌بان در سایه‌بان‌های مختلف با ارتفاع ۲.۷۰ و ۳ متر آمده‌است. نمودار ۴-۱۱ و ۴-۱۲ نیز مقایسه مساحت سایه زیر سایه‌بان به مساحت سایه‌بان در سایه‌بان‌های مختلف با ارتفاع ۲.۷۰ و ۳ متر را نشان می‌دهد. همچنین مشخصات سایه ساعت ۱۲ ظهر اول تیر سایه‌بان‌هایی با ارتفاع ۲.۷۰ و ۳ متر نیز به صورت تصویری در جدول ۴-۲۴ و ۴-۲۵ آمده‌است. جدول ۴-۲۱ مقایسه مساحت سایه زیر سایه‌بان به مساحت سایه‌بان در سایه‌بان‌ها با ارتفاع ۲.۷۰ متر (نگارنده)

ساعت	سایه‌بان ۱*۱	سایه‌بان ۲*۲	سایه‌بان ۳*۳	سایه‌بان ۴*۴	سایه‌بان ۵*۵	سایه‌بان ۶*۶
۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷	۰	۰	۰	۰	۰	۲.۲۷/۳۶=۰.۰۶
۸	۰	۰	۰	۱.۹/۱۶=۰.۱۲	۷.۲۱/۲۵=۰.۲۹	۱۴.۴۹/۳۶=۰.۴
۹	۰	۰	۲.۰۵/۹=۰.۲۳	۶.۵۶/۱۶=۰.۴۱	۱۳.۱۲/۲۵=۰.۵۲	۲۱.۶۳/۳۶=۰.۶
۱۰	۰	۰.۱۶/۴=۰.۰۴	۴.۱۶/۹=۰.۴۶	۹.۳۹/۱۶=۰.۵۹	۱۶.۵۴/۲۵=۰.۶۶	۲۵.۷۵/۳۶=۰.۷۲
۱۱	۰.۱۶/۱=۰.۱۶	۱.۹۷/۴=۰.۴۹	۵.۷۹/۹=۰.۶۴	۱۱.۵۹/۱۶=۰.۷۲	۱۹.۴۱/۲۵=۰.۷۸	۲۹.۲۵/۳۶=۰.۸۱
۱۲	۰.۴۱/۱=۰.۴۱	۲.۸/۴=۰.۷	۷.۲/۹=۰.۸	۱۳.۶/۱۶=۰.۸۵	۲۲/۲۵=۰.۸۸	۳۲.۳۹/۳۶=۰.۹

۲۹/۳۶=۰.۸۱	۱۹.۱۹/۲۵=۰.۷۷	۱۱.۴۵/۱۶=۰.۷۲	۵.۶۶/۹=۰.۶۳	۱.۹۱/۴=۰.۴۸	۰.۱۴/۱=۰.۱۴	۱۳
۲۵.۴۵/۳۶=۰.۷۱	۱۶.۳۳/۲۵=۰.۶۵	۹.۲۳/۱۶=۰.۵۸	۴.۰۴/۹=۰.۴۵	۰.۹۱/۴=۰.۲۳	.	۱۴
۲۱.۲۶/۳۶=۰.۵۹	۱۲.۸۷/۲۵=۰.۵۱	۶.۳۶/۱۶=۰.۴	۱.۸۶/۹=۰.۲۱	.	.	۱۵
۱۳.۷۵/۳۶=۰.۳۸	۶.۶۵/۲۵=۰.۲۷	۱.۴۹/۱۶=۰.۰۹	.	.	.	۱۶
۱.۲۹/۳۶=۰.۰۴	.	.	.	.	.	۱۷
.	.	.	.	.	.	۱۸



نمودار ۴-۱۱ درصد مساحت سایه زیر سایه‌بان به مساحت سایه‌بان‌هایی با ارتفاع ۲.۷۰ متر از ساعت ۶ تا ۱۸ (نگارنده)

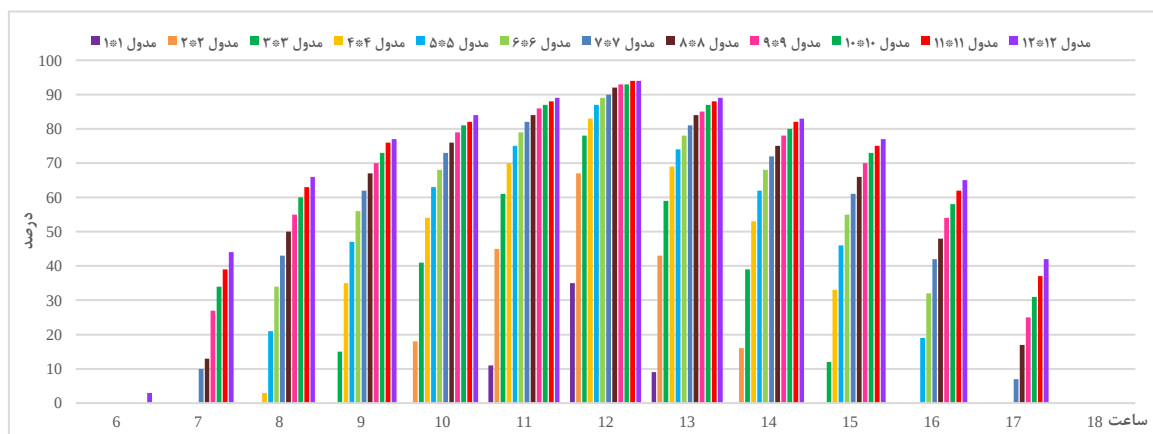
جدول ۴-۲۲ مقایسه مساحت سایه زیر سایه‌بان به مساحت سایه‌بان‌های ۱*۱ تا ۶*۶ با ارتفاع ۳ متر (نگارنده)

ساعت	سایه‌بان ۱*۱	سایه‌بان ۲*۲	سایه‌بان ۳*۳	سایه‌بان ۴*۴	سایه‌بان ۵*۵	سایه‌بان ۶*۶
۶	.	.	.	.	.	.
۷	.	.	.	.	.	.
۸	.	.	.	۰.۴۵/۱۶=۰.۰۳	۵.۳۱/۲۵=۰.۲۱	۱۲.۱۶/۳۶=۰.۳۴
۹	.	.	۱.۳۲/۹=۰.۱۵	۵.۵۸/۱۶=۰.۳۵	۱۱.۸۳/۲۵=۰.۴۷	۲۰.۰۸/۳۶=۰.۵۶
۱۰	.	۰.۷۱/۴=۰.۱۸	۳.۶۹/۹=۰.۴۱	۸.۶۸/۱۶=۰.۵۴	۱۵.۶۵/۲۵=۰.۶۳	۲۴.۶۴/۳۶=۰.۶۸
۱۱	۰.۱۱/۱=۰.۱۱	۱.۷۹/۴=۰.۴۵	۵.۴۵/۹=۰.۶۱	۱۱.۱۵/۱۶=۰.۷۰	۱۸.۸۱/۲۵=۰.۷۵	۲۸.۴۴/۳۶=۰.۷۹
۱۲	۰.۳۵/۱=۰.۳۵	۲.۶۷/۴=۰.۶۷	۷/۹=۰.۷۸	۱۳.۳۳/۱۶=۰.۸۳	۲۱.۶۷/۲۵=۰.۸۷	۳۲/۳۶=۰.۸۹
۱۳	۰.۰۹/۱=۰.۰۹	۱.۷۱/۴=۰.۴۳	۵.۳۳/۹=۰.۵۹	۱۰.۹۸/۱۶=۰.۶۹	۱۸.۵۹/۲۵=۰.۷۴	۲۸.۲۰/۳۶=۰.۷۸
۱۴	.	۰.۶۲/۴=۰.۱۶	۳.۵۵/۹=۰.۳۹	۸.۵۱/۱۶=۰.۵۳	۱۵.۴۳/۲۵=۰.۶۲	۲۴.۴۰/۳۶=۰.۶۸
۱۵	.	.	۱.۱۱/۹=۰.۱۲	۵.۳۲/۱۶=۰.۳۳	۱۱.۵۲/۲۵=۰.۴۶	۱۹.۷۰/۳۶=۰.۵۵
۱۶	.	.	.	.	۴.۷۱/۲۵=۰.۱۹	۱۱.۳۹/۳۶=۰.۳۲
۱۷	.	.	.	.	.	.
۱۸	.	.	.	.	.	.

جدول ۴-۲۳ مقایسه مساحت سایه زیر سایه‌بان به مساحت سایه‌بان‌های ۷*۷ تا ۱۲*۱۲ با ارتفاع ۳ متر (نگارنده)

ساعت	سایه‌بان ۷*۷	سایه‌بان ۸*۸	سایه‌بان ۹*۹	سایه‌بان ۱۰*۱۰	سایه‌بان ۱۱*۱۱	سایه‌بان ۱۲*۱۲
۶	.	.	.	.	.	۳.۶۹/۱۴۴=۰.۰۳
۷	۴.۹/۴۹=۰.۱	۱۲.۵/۶۴=۰.۱۳	۲۲.۱۲/۸۱=۰.۲۷	۳۳.۷۲/۱۰۰=۰.۳۴	۴۷.۳۱/۱۲۱=۰.۳۹	۶۲.۹/۱۴۴=۰.۴۴

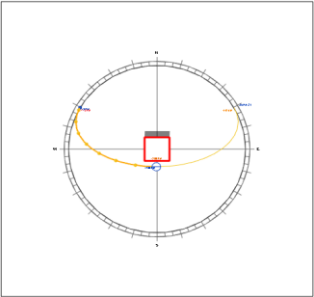
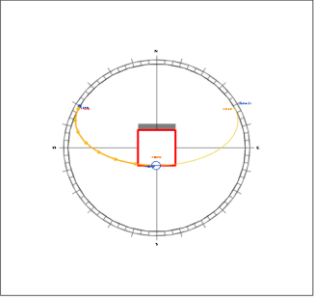
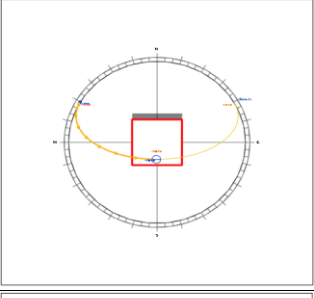
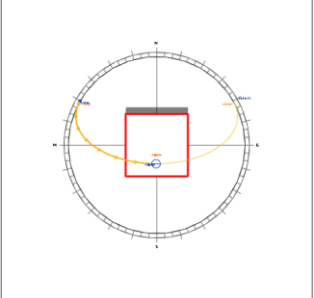
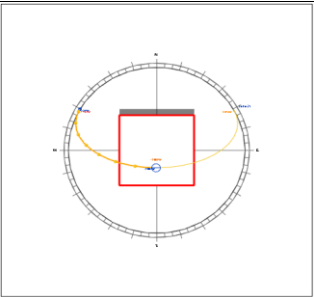
۹۵.۳۴/۱۴۴=۰.۶۶	۷۶.۴۹/۱۲۱=۰.۶۳	۵۹.۶۷/۱۰۰=۰.۶۰	۴۴.۷۹/۸۱=۰.۵۵	۳۱.۸۸/۶۴=۰.۵۰	۲۱.۰۳/۴۹=۰.۴۳	۸
۱۱۱.۵۹/۱۴۴=۰.۷۷	۹۱.۴۲/۱۲۱=۰.۷۶	۷۳.۱/۱۰۰=۰.۷۳	۵۶.۸۴/۸۱=۰.۷۰	۴۲.۵۹/۶۴=۰.۶۷	۳۰.۳۴/۴۹=۰.۶۲	۹
۱۲۰.۶۵/۱۴۴=۰.۸۴	۹۹.۵۵/۱۲۱=۰.۸۲	۸۰.۵۷/۱۰۰=۰.۸۱	۶۳.۶۱/۸۱=۰.۷۹	۴۸.۶۴/۶۴=۰.۷۶	۳۵.۶۵/۴۹=۰.۷۳	۱۰
۱۲۰.۶۵/۱۴۴=۰.۸۹	۱۰۶.۸۶/۱۲۱=۰.۸۸	۸۷.۱۹/۱۰۰=۰.۸۷	۶۹.۶۲/۸۱=۰.۸۶	۵۳.۸۵/۶۴=۰.۸۴	۴۰.۱۵/۴۹=۰.۸۲	۱۱
۱۳۵.۹۶/۱۴۴=۰.۹۴	۱۱۳.۶۳/۱۲۱=۰.۹۴	۹۳.۳۰/۱۰۰=۰.۹۳	۷۴.۹۷/۸۱=۰.۹۳	۵۸.۶۵/۶۴=۰.۹۲	۴۴.۳۲/۴۹=۰.۹۰	۱۲
۱۲۸.۲۱/۱۴۴=۰.۸۹	۱۰۶.۳۸/۱۲۱=۰.۸۸	۸۶.۷۶/۱۰۰=۰.۸۷	۶۹.۱۵/۸۱=۰.۸۵	۵۳.۵۷/۶۴=۰.۸۴	۳۹.۸۳/۴۹=۰.۸۱	۱۳
۱۱۹.۹۶/۱۴۴=۰.۸۳	۹۹.۰۳/۱۲۱=۰.۸۲	۸۰.۰۹/۱۰۰=۰.۸۰	۶۳.۱۸/۸۱=۰.۷۸	۴۸.۲۳/۶۴=۰.۷۵	۳۵.۲۸/۴۹=۰.۷۲	۱۴
۱۱۰.۸۸/۱۴۴=۰.۷۷	۹۰.۷۲/۱۲۱=۰.۷۵	۷۲.۵۱/۱۰۰=۰.۷۳	۵۶.۳۲/۸۱=۰.۷۰	۴۲.۱/۶۴=۰.۶۶	۲۹.۸۹/۴۹=۰.۶۱	۱۵
۹۳.۶۵/۱۴۴=۰.۶۵	۷۴.۸۵/۱۲۱=۰.۶۲	۵۸.۱۷/۱۰۰=۰.۵۸	۴۳.۴۸/۸۱=۰.۵۴	۳۰.۷۸/۶۴=۰.۴۸	۲۰.۶۹/۴۹=۰.۴۲	۱۶
۵۹.۹۵/۱۴۴=۰.۴۲	۴۴.۵۹/۱۲۱=۰.۳۷	۳۱.۴۱/۱۰۰=۰.۳۱	۲۰.۱۱/۸۱=۰.۲۵	۱۰.۷۹/۶۴=۰.۱۷	۳.۵۳/۴۹=۰.۰۷	۱۷
.	.	.	.	.	.	۱۸



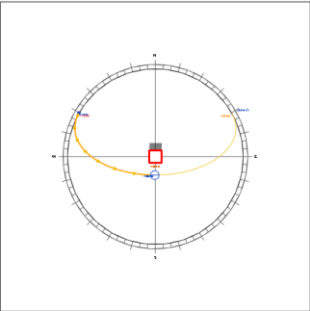
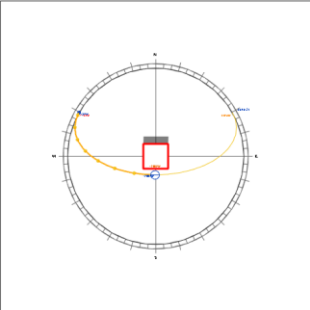
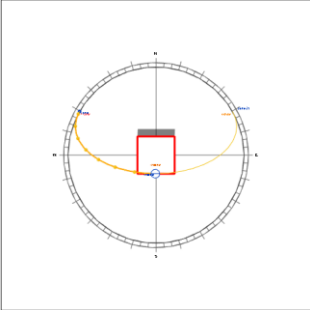
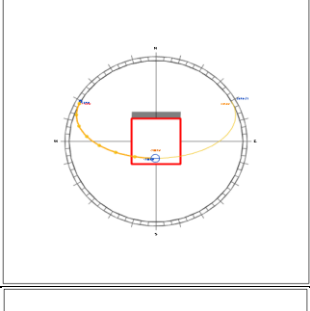
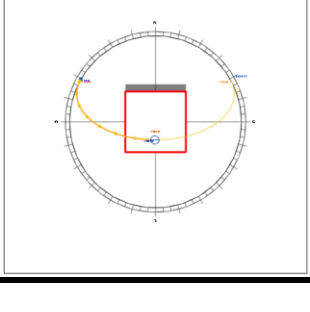
نمودار ۴-۱۲ نمودار درصد مساحت سایه زیر سایه بان به مساحت سایه بان در سایه بان هایی با ارتفاع ۳ متر از ساعت ۶ تا ۱۸ (نگارنده)

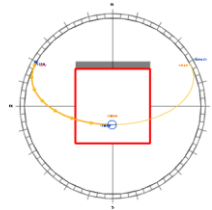
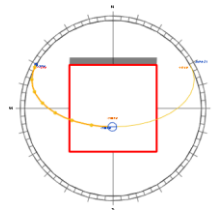
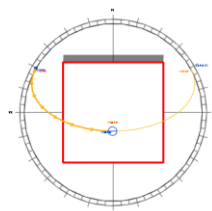
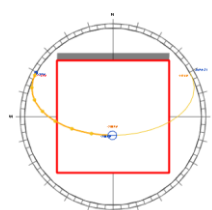
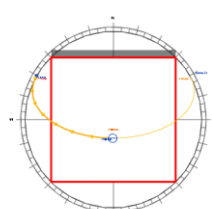
جدول ۴-۲۴ مشخصات سایه سایه بان های ۱*۱ تا ۶*۶ با ارتفاع ۲.۷۰ متر در ساعت ۱۲ (نگارنده)

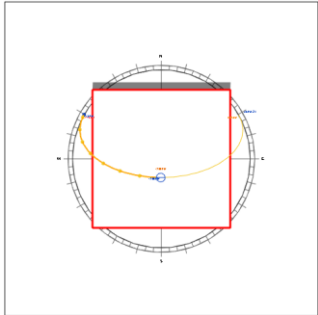
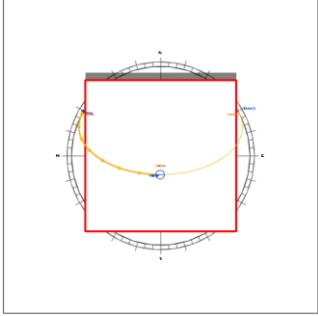
سایه ساعت ۱۲				
ابعاد	تصویر	فاصله مرکز سایه از مرکز سایه بان (متر)	مساحت سایه به مساحت محیط	مساحت سایه زیر سایه بان به مساحت سایه بان
۱*۱		۰.۵۸	۱/۶۲۵	۰.۴۱/۱=۰.۴۱

$۲.۸/۴=۰.۷$	۴/۶۲۵	۰.۵۸		۲*۲
$۷.۲/۹=۰.۸$	۹/۶۲۵	۰.۵۸		۳*۳
$۱۳.۶/۱۶=۰.۸۵$	۱۶/۶۲۵	۰.۵۸		۴*۴
$۲۲.۲۵/۲۵=۰.۸۸$	۲۵/۶۲۵	۰.۵۸		۵*۵
$۳۲.۳۹/۳۶=۰.۹$	۳۶/۶۲۵	۰.۵۸		۶*۶

جدول ۲۵-۴ مشخصات سایه سایه بان های ۱*۱ تا ۱۲*۱۲ با ارتفاع ۳ متر در ساعت ۱۲ (نگارنده)

سایه ساعت ۱۲				
ابعاد	تصویر	فاصله مرکز سایه از مرکز سایه بان (متر)	مساحت سایه به مساحت محیط	مساحت سایه زیر سایه بان به مساحت سایه بان
۱*۱		۰.۶۴	۱/۶۲۵	۰.۳۵/۱=۰.۳۵
۲*۲		۰.۶۴	۴/۶۲۵	۲.۶۷/۴=۰.۶۷
۳*۳		۰.۶۴	۹/۶۲۵	۷/۹=۰.۷۸
۴*۴		۰.۶۴	۱۶/۶۲۵	۱۳.۳۳/۱۶=۰.۸۳
۵*۵		۰.۶۴	۲۵/۶۲۵	۲۱.۶۷/۲۵=۰.۸۷

$32/36 = 0.89$	36/625	0.64		6※6
$44.22/49 = 0.90$	49/625	0.64		7※7
$58.65/64 = 0.92$	64/625	0.64		8※8
$74.97/81 = 0.93$	81/625	0.64		9※9
$93.30/100 = 0.93$	100/625	0.64		10※10

۱۱۳.۶۳/۱۲۱=۰.۹۴	۱۲۱/۶۲۵	۰.۶۴		۱۱*۱۱
۱۳۵.۹۶/۱۴۴=۰.۹۴	۱۴۴/۶۲۵	۰.۶۴		۱۲*۱۲

۴-۲-۴-۱ نتایج شبیه سازی سایه در نرم افزار Revit

بررسی نتایج نشان داد که هر چه ابعاد سایه بان ها افزایش یابد، درصد سایه زیر سایه بان بیشتر می شود و هرچه ارتفاع سایه بان کمتر باشد، درصد سایه زیر سایه بان بیشتر است. همچنین فاصله مرکز سایه از مرکز سایه بان در هر ساعت در تمام سایه بان هایی که ارتفاع یکسان دارند، برابر است؛ با افزایش ارتفاع سایه بان ها این فاصله نیز افزایش می یابد، یعنی هر چه ارتفاع سایه بان بیشتر شود، فاصله سایه از سایه بان افزایش می یابد. بنابراین می توان نتیجه گرفت هر چه ابعاد سایه بان بزرگتر و ارتفاع آن کمتر باشد، درصد سایه زیر سایه بان بیشتر است. جدول ۴-۲۶ برخی از خصوصیات سایه سایه بان های مختلف با ارتفاع ۳ متر را در روز ۱ تیر نشان می دهد؛ تعداد ساعاتی که در زیر سایه بان های ۵*۵ و ۶*۶ سایه وجود دارد، ۹ ساعت از روز (۸ تا ۱۶) و تعداد ساعاتی که در زیر سایه بان های ۷*۷ تا ۱۱*۱۱ سایه وجود دارد، ۱۱ ساعت از روز است که این سایه از ساعت ۷ صبح تا ۱۷ می باشد. همچنین مشاهده می شود که از سایه بان ۵*۵ به بعد، افزایش بُعد سایه بان تأثیر چندانی در افزایش درصد سایه زیر سایه بان ندارد.

در سایه بان ۶*۶ نسبت به ۵*۵، سایه تنها ۲ درصد افزایش یافته است؛ بنابراین می توان نتیجه گرفت سایه بان با ابعاد ۵*۵ مناسب بوده و دارای عملکرد مناسبی در محیط است. در سایه بان ۷*۷ ساعات سایه اندازی ۱۱ ساعت یعنی از ساعت ۷ تا ۱۷ بوده، اما در ساعت ۷ و ۱۷ تنها ۱۰ درصد سایه در زیر سایه بان وجود داشته است و ساعت ۷ صبح نیز جز ساعاتی که سایه بان بیشترین تأثیر سایه اندازی را دارد، نمی باشد (بیشترین تأثیر سایه بان ها در بازه زمانی ۱۱ تا ۱۷ بوده و حداکثر اختلاف دما اغلب در ساعات ۱۲ تا ۱۴ است). بنابراین با

توجه به این که در سایه‌بان با ابعاد ۷*۷، افزایش ساعات سایه‌اندازی وجود داشته اما درصد سایه افزایش ناچیزی داشته‌است، نمی‌توان سایه‌بان ۷*۷ را ابعاد مناسبی در نظر گرفت. به علاوه به ازای افزایش قابل توجهی در مساحت سایه‌بان، تعداد ساعات سایه‌اندازی دو ساعت افزایش یافته که از این دو ساعت تنها یک ساعت آن موثر است، ضمن این که افزایش مساحت موجب افزایش مصالح شده و توجیه اقتصادی ندارد. بنابراین سایه‌بان با ابعاد ۵*۵ مترمربع، ابعاد مناسبی برای سایه‌بان است.

جدول ۲۶-۴ مقایسه سایه سایه‌بان‌های مختلف با ارتفاع ۳ متر در روز ۱ تیر (نگارنده)

۱*۱	۲*۲	۳*۳	۴*۴	۵*۵	۶*۶	۷*۷	۸*۸	۹*۹	۱۰*۱۰	۱۱*۱۱	۱۲*۱۲	ابعاد سایه‌بان
۱	۴	۹	۱۶	۲۵	۳۶	۴۹	۶۴	۸۱	۱۰۰	۱۲۱	۱۴۴	مساحت (مترمربع)
۳۵٪	۶۷٪	۷۸٪	۸۳٪	۸۷٪	۸۹٪	۹۰٪	۹۲٪	۹۳٪	۹۳٪	۹۴٪	۹۴٪	حداکثر درصد مساحت سایه زیر سایه‌بان به مساحت سایه‌بان
۳	۵	۷	۸	۹	۹	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۲	تعداد ساعات وجود سایه زیر سایه‌بان
۱۱-۱۳	۱۰-۱۴	۹-۱۵	۸-۱۵	۸-۱۶	۸-۱۶	۷-۱۷	۷-۱۷	۷-۱۷	۷-۱۷	۷-۱۷	۶-۱۷	ساعات

۴-۲-۴-۲ جمع‌بندی نتایج شبیه‌سازی سایه در نرم‌افزار Revit

شبیه‌سازی سایه سایه‌بان‌های مختلف در نرم‌افزار رویت نیز با هدف تعیین ابعاد مناسب سایه‌بان انجام شد. نتایج نشان داد هرچه ابعاد سایه‌بان بزرگتر و ارتفاع آن کمتر باشد مقدار سایه زیر سایه‌بان بیشتر بوده و فضای زیر سایه‌بان در ساعت بیشتری از روز دارای سایه است. در نهایت پس از بررسی و مقایسه سایه‌بان‌ها، سایه‌بان با ابعاد ۵*۵ مترمربع به عنوان ابعاد مناسب سایه‌بان در نظر گرفته‌شد.

۴-۳ جمع‌بندی فصل چهارم

این فصل شامل یافته‌های پژوهش و نتایج آن است. با شبیه‌سازی در نرم‌افزار انسیس از میان چهار مدل سایه‌بان ساده، مخروطی، چتری و زین‌اسبی، مدل زین‌اسبی به عنوان مدل مناسب سایه‌بان مشخص گردید. شبیه‌سازی در نرم‌افزار انویمت نشان داد که وجود سایه‌بان در محیط تأثیر مثبتی در بهبود پارامترهای اقلیمی دارد. شبیه‌سازی در گرس‌هاپر و پلاگین لیدی‌باگ ابعاد ۵*۵ مترمربع با ارتفاع ۳ متر را به عنوان ابعاد مناسب سایه‌بان مشخص نمود و شبیه‌سازی سایه در نرم‌افزار رویت نیز نتایج شبیه‌سازی در لیدی‌باگ را تأیید کرده و ابعاد ۵*۵ مترمربع با ارتفاع ۳ متر را به عنوان ابعاد مناسب سایه‌بان مشخص کرد.

فصل ۵ : نتایج پژوهش

۱-۵ مقدمه

طراحی بهینه و هدفمند فضاهای باز، یکی از عوامل مهم موفقیت پروژه‌های معماری است. بدون شک آسایش مخاطبان و کاربران فضا در صورتی تأمین خواهد شد که امکانات کافی بدین منظور در طراحی محیط در نظر گرفته شده باشند. سایه‌بان به عنوان یکی از اجزا تأمین‌کننده آسایش کاربران، منجر به افزایش زمان حضور افراد در محیط، مقابله با شرایط نامساعد جوی و نیز امکان بهره‌گیری از دید و منظر می‌شود. لذا جزئیات طراحی سایه‌بان در چنین فضاهایی، متریارهای مورد استفاده و نیز مشخصات سازه آن‌ها، از جمله عواملی هستند که باید مورد توجه ویژه طراحان قرار گیرند.

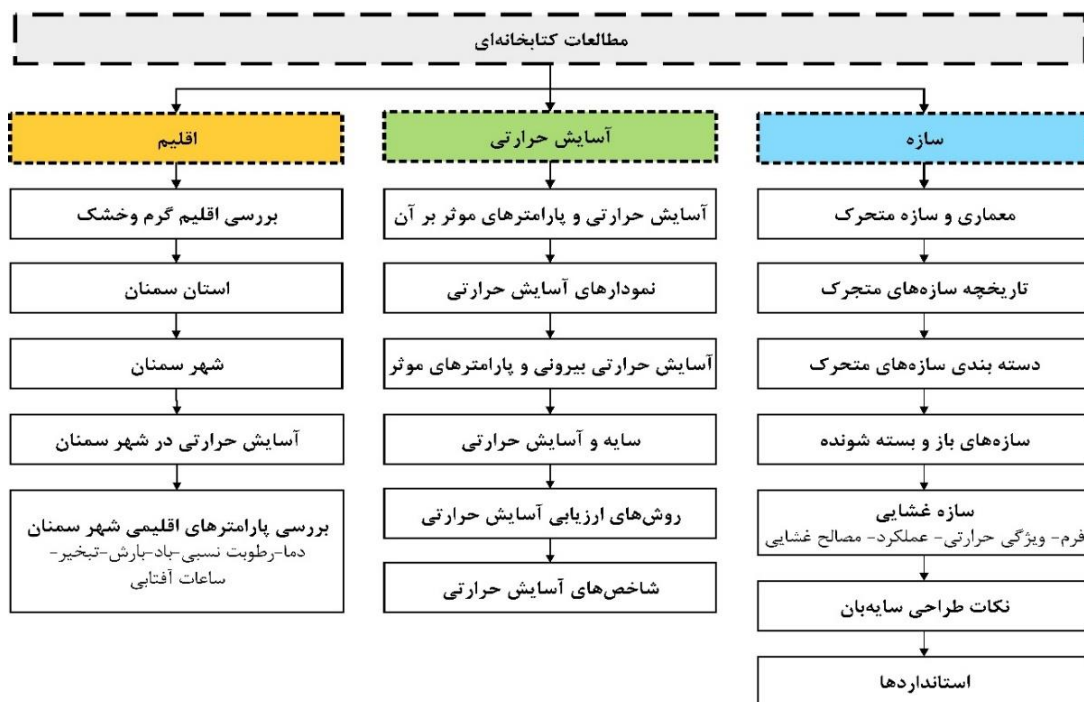
همانطور که از موارد یاد شده‌ی سازه‌های متحرک در فصل دو نیز مشخص است ترکیبات این سازه‌ها می‌توانند از فرم و هندسه بسیار ساده تا ترکیبات پیچیده و هندسه‌های آزاد را دربرداشته باشند، اما هرچه بتوان از فرم‌های هندسی‌تر و ساده‌تر در ترکیبات این سازه‌ها بهره برد می‌توان از پیچیدگی محاسباتی و طراحی آن‌ها بویژه در طراحی دیتیل‌های اجرایی کاست، به علاوه از نظر اقتصادی نیز بهینه خواهد بود. از طرفی سازه طراحی شده باید با محیط اطراف خود نیز موافق باشد، تا طراحی سنجیده و مناسب صورت گیرد. اساس طراحی سازه پیشنهادی بر پایه طراحی مکانیزم‌های متحرک استوار است، که با دیدی چند جانبه به اقلیم، عملکرد، انعطاف سازه و معماری، منظر شهری و روابط و مقررات مربوطه انجام می‌شود. به همین دلیل به لحاظ طرح، هندسه و عملکرد، بسیار منطقی و کاربردی و همچنین قابل اجراست.

از طرفی یکی از هدف‌های اصلی این پژوهش فراهم آوردن شرایط آسایشی برای کاربران با همین قابلیت تطبیق با محیط و یا نیاز افراد است، که اصلی‌ترین آن‌ها، نیاز به سایه‌بان‌هایی است که با توجه به متحرک بودن موضوع طرح باید در شرایط مختلف آب و هوایی و زمان‌های مختلف با انعطاف خود، محیط را همچنان مطلوب باقی نگه دارند. لذا در این فصل ابتدا خلاصه بخش‌های مختلف پژوهش ذکر شده و سپس سایه‌بان غشایی سبک انعطاف‌پذیر طراحی شده معرفی می‌گردد.

۵-۲ نتایج بخش‌های مختلف پژوهش

۵-۲-۱ مطالعات کتابخانه‌ای

مطابق شکل ۵-۱، مطالعات کتابخانه‌ای در سه بخش سازه‌ای، آسایشی و اقلیمی صورت گرفته‌است. نتایج حاصل از مطالعات کتابخانه‌ای نشان داد که امروزه سازه‌های غشایی دارای کاربرد گسترده‌ای هستند؛ این سازه‌ها به دلیل سبکی، انعطاف‌پذیری و ویژگی‌های حرارتی خاصی که دارند برای استفاده در فضاهای باز به خصوص در اقلیم‌های گرم مناسب هستند و بر آسایش حرارتی بیرونی تأثیر می‌گذارند.



شکل ۵-۱ خلاصه مطالعات کتابخانه‌ای (نگارنده)

۵-۲-۲ شبیه‌سازی

۵-۲-۲-۱ شبیه‌سازی با نرم‌افزار انسیس

شبیه‌سازی در نرم‌افزار انسیس در سایه‌بان‌های ساده، مخروطی، زین‌اسبی و چتری به عنوان چهار مدل رایج سایه‌بان صورت گرفت. شبیه‌سازی‌ها در شهر سمنان در یکی از گرم‌ترین روزهای تابستان با دمای ۴۰ درجه انجام شد. نتایج شبیه‌سازی با نرم‌افزار انسیس نشان داد که سایه‌بان زین‌اسبی عملکرد بهتری در محیط داشته؛ از افزایش دمای زیر سایه‌بان جلوگیری و محیط خنک‌تری ایجاد نموده است.

۵-۲-۲-۲ شبیه‌سازی با نرم‌افزار انویمت

شبیه‌سازی در نرم‌افزار انویمت در سایه‌بان‌هایی با ابعاد 1×1 مترمربع تا 6×6 مترمربع، در یکی از گرم‌ترین روزهای تابستان شهر سمنان انجام شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نرم‌افزار انویمت نشان داد که وجود سایه‌بان در محیط تأثیر مثبتی داشته و سبب بهبود پارامترهای اقلیمی محیط می‌شود. همچنین مشخص شد که با افزایش یک متری ابعاد سایه‌بان‌ها نسبت به یکدیگر پارامترهای اقلیمی زیر سایه‌بان به صورت جزئی تغییر می‌کنند و با توجه به ناچیز بودن تغییرات دما این نتیجه حاصل شد که از طریق تغییرات دما نمی‌توان به ابعاد مناسب سایه‌بان رسید.

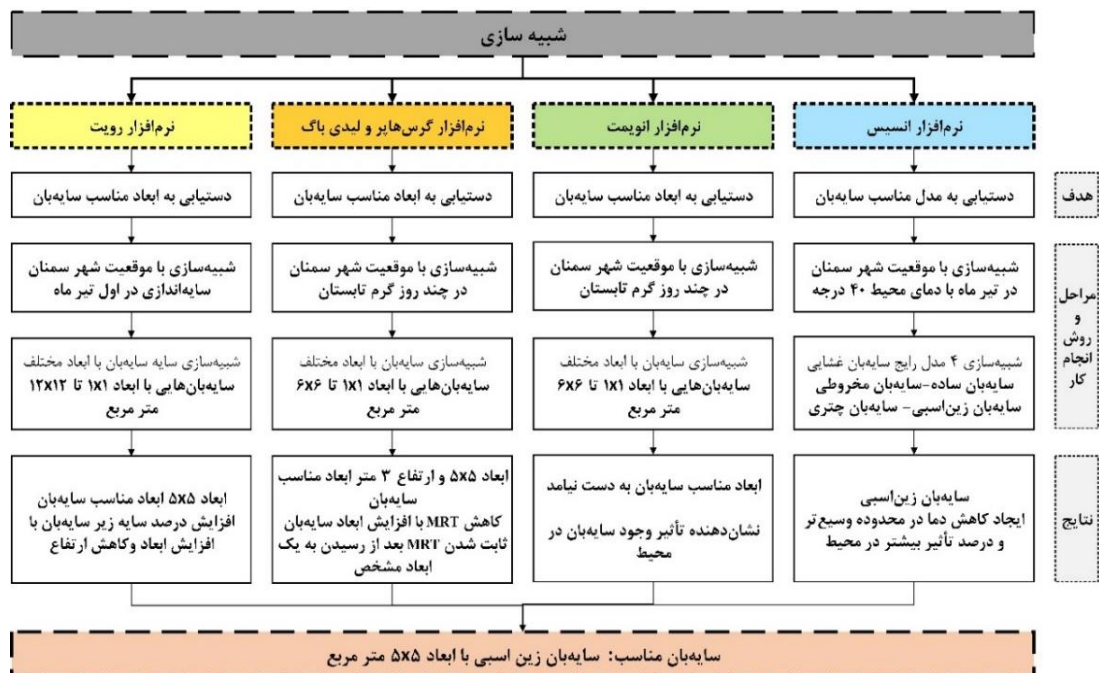
۵-۲-۲-۳ شبیه‌سازی با پلاگین لیدی باگ

شبیه‌سازی در لیدی‌باگ در سایه‌بان‌هایی با ابعاد مختلف، در چند روز گرم تابستان در شهر سمنان انجام شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی با لیدی‌باگ نشان داد که با افزایش ابعاد سایه‌بان، مقدار MRT در زیر هر سایه‌بان به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و سپس عدد ثابتی می‌شود، بر این اساس ابعاد مناسب سایه‌بان به دست آمد و سایه‌بان با ابعاد 5×5 مترمربع و ارتفاع ۳ متری به عنوان ابعاد مناسب سایه‌بان انتخاب گردید.

۵-۲-۲-۴ شبیه‌سازی با نرم‌افزار رویت

شبیه‌سازی سایه در نرم‌افزار رویت در سایه‌بان‌هایی با ابعاد 1×1 مترمربع تا 12×12 مترمربع و با دو ارتفاع ۲.۷ متر و ۳ متر برای اول تیرماه در شهر سمنان انجام گردید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی سایه در نرم‌افزار رویت نشان داد که هرچه ابعاد سایه‌بان بزرگتر و ارتفاع آن کمتر باشد مقدار سایه زیر سایه‌بان بیشتر بوده و فضای زیر سایه‌بان در ساعت بیشتری از روز سایه دارد، همچنین ابعاد 5×5 مترمربع، ابعاد مناسبی برای سایه‌بان در نظر گرفته شد.

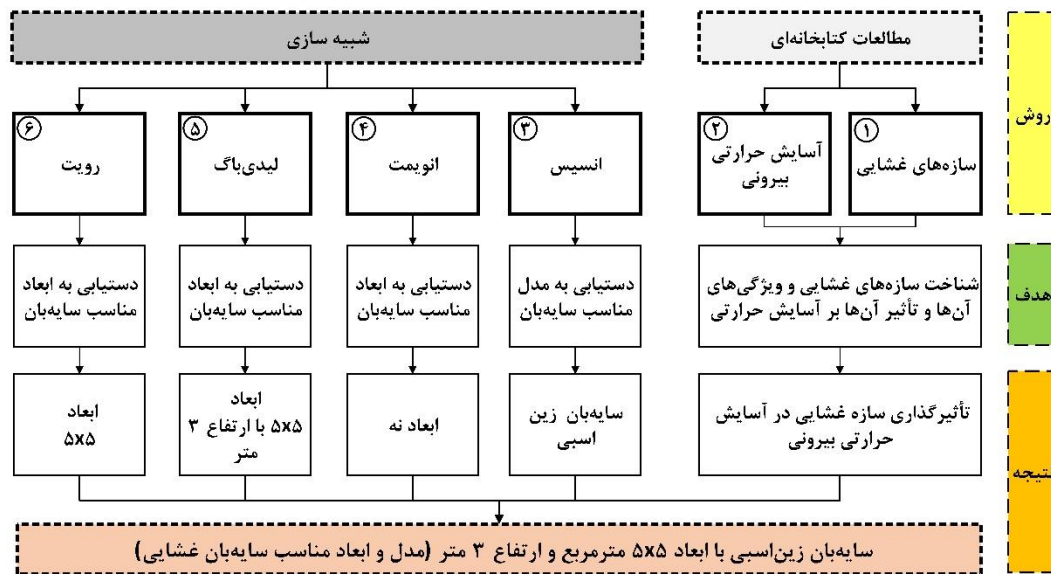
در شکل ۵-۲، خلاصه و روند انجام شبیه‌سازی‌ها نشان داده شده‌است. خلاصه کلی بخش‌های مختلف پژوهش نیز در جدول ۵-۱ و شکل ۵-۳ آمده است.



شکل ۲-۵ خلاصه شبیه سازی ها (نگارنده)

جدول ۱-۵ نتایج بخش های مختلف پژوهش (نگارنده)

روش ها	نتایج
۱ مطالعات کتابخانه ای	مناسب بودن سایه بان های غشایی برای استفاده در فضاهای باز به خصوص در اقلیم های گرم به دلیل سبکی، انعطاف پذیری و ویژگی های حرارتی خاص آن ها
۲ شبیه سازی انسیس	بهبود عملکرد سایه بان زین اسبی در محیط
۳ شبیه سازی انویمت	نشان دهنده تأثیر سایه بان در محیط
۴ شبیه سازی لیدی باگ	کاهش مقدار MRT با افزایش ابعاد سایه بان ثابت شدن مقدار MRT بعد از رسیدن به ابعادی مشخص در نظر گرفتن ابعاد ۵*۵ با ارتفاع ۳ متر به عنوان ابعاد مناسب سایه بان
۵ شبیه سازی رویت	بیشتر بودن مقدار سایه در سایه بان با ابعاد بزرگتر و ارتفاع کمتر افزایش ساعات سایه اندازی زیر سایه بان در سایه بان هایی با ابعاد بزرگتر و ارتفاع کمتر در نظر گرفتن ابعاد ۵*۵ به عنوان ابعاد مناسب سایه بان



شکل ۳-۵ نتایج بخش‌های مختلف پژوهش (نگارنده)

۳-۵ مدل مناسب سایه بان غشایی سبک انعطاف پذیر

نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که سایه بان زین اسبی دارای عملکرد مناسبی در محیط است، این مدل سایه بان از افزایش دمای زمین زیر سایه بان جلوگیری و محیط خنکی ایجاد کرده است. با توجه به این موارد سایه بان زین اسبی به عنوان مدل مناسب سایه بان غشایی انتخاب می‌شود.

از پارامترهای مهم در پیش‌بینی نیازهای سازه‌های سایه بان، لزوم دستیابی به حداکثر استفاده مفید از فضا است. جانمایی پایه و شکل و اندازه سایه بان، نباید به گونه‌ای باشد که مزاحمتی برای رفت و آمد، نشستن و حرکت کاربران در زیر آن ایجاد کند. سایه بان‌هایی با یک پایه، می‌توانند گزینه مناسبی به منظور تأمین این مورد محسوب شوند. سازه‌های طره‌ای، از طرف دیگر، می‌توانند به عنوان یک گزینه مناسب در جهت تأمین این هدف به شمار آیند. چنین سازه‌هایی، با یک یا دو پایه در اطراف، باعث خواهند شد تا تداخلی میان پایه‌ها با مسیر حرکتی و فضای استراحت در زیر سایه بان‌ها بروز نکند. لذا از این نظر نیز سایه بان زین اسبی با دارا بودن یک پایه و همچنین داشتن قابلیت پایه طره‌ای، مناسب است.



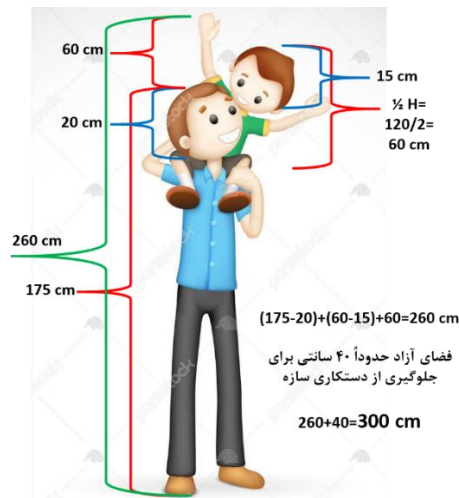
شکل ۴-۵ سایه بان زین اسبی تک پایه با پایه مرکزی و طره‌ای (نگارنده)

سازه‌های غشایی از اجزایی نظیر پارچه، کابل، پایه، قوس و تیر یا دیگر اجزای تکیه‌گاهی تشکیل شده، طراحی یک سازه غشایی مستلزم حل طراحی محل اتصالات میان این عناصر است. راه حل مسائل اتصالات سازه‌های غشایی ممکن است نسبت به فولاد یا سایر مصالح سازه‌ای متداول دشوارتر باشد. اسکلت مورد استفاده در مصالح سازه‌ای رایج، مستطیلی شکل است، زیرا با اعضای در زوایای قائم تلاقی می‌کنند. در حالی که در سازه‌های غشایی در اغلب موارد دارای هندسه‌های زاویه‌دار و غیر عادی است. طراح باید این مسئله طراحی را طوری حل کند که اقتصادی باشد، لذا سایه‌بان‌هایی به شکل مربع و مستطیل می‌توانند گزینه مناسبی برای تأمین این مورد باشند؛ بنابراین سایه‌بان زین اسبی مربع شکل با یک پایه انتخاب می‌شود.

۴-۵ اندازه مناسب سایه‌بان غشایی

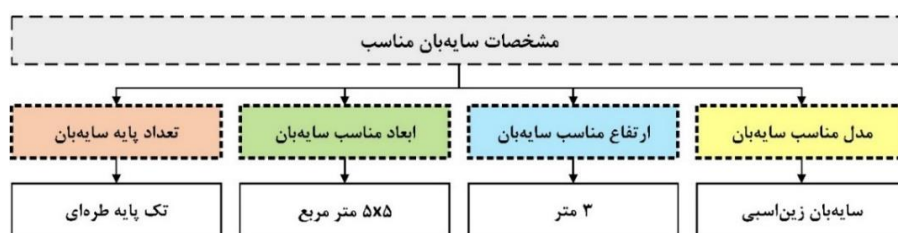
۱-۴-۵ ارتفاع مناسب سایه‌بان

با توجه به استانداردها قد انسان در حالت ایستاده ۱.۷۵ متر و در صورت بالا بردن دست‌ها ۲.۲۵ متر است. با توجه به این که در فضاهای باز شهری خصوصاً پارک‌های محلات افراد به صورت خانوادگی و اغلب با فرزندان خود حضور می‌یابند لذا بهتر است حالات ارتفاعی دیگری نیز برای انسان در نظر گرفته شود؛ به عنوان مثال ارتفاع پدری که فرزندش را روی شانه‌هایش نشاند. در نظر گرفتن این موارد سبب می‌شود که خانواده از بودن در فضای شهری رضایت بیشتری داشته باشد. بنابراین ارتفاع فردی که کودکی روی شانه‌هایش نشاند مطابق شکل ۵-۵ محاسبه شده و ۳ متر است، این عدد حداکثر مقدار ارتفاعی انسان بوده و سایر موارد ارتفاعی برای انسان پیاده از این عدد کمتر خواهند بود. با توجه به نتایج شبیه‌سازی نیز هرچه ارتفاع سایه‌بان کمتر باشد عملکرد آن بهتر می‌شود، بنابراین ارتفاع ۳ متر به عنوان ارتفاع زیر سایه‌بان در نظر گرفته می‌شود. ممکن است ارتفاع بیشتر سازه در محیط بتواند شرایط آسایش مطلوبی ایجاد نماید، اما به صرفه بودن ارتفاع سازه از نظر اقتصادی نیز مورد توجه این پژوهش بوده است.



۲-۴-۵ ابعاد مناسب سایه‌بان

نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که هرچه ابعاد سایه‌بان بزرگتر باشد مقدار سایه زیر سایه‌بان بیشتر بوده و فضای زیر سایه‌بان در ساعت بیشتری از روز سایه دارد. به علاوه بزرگ بودن ابعاد سایه‌بان سبب کم شدن تعداد سایه‌بان‌های مورد نیاز برای پوشش یک فضا شده و در نهایت تعداد پایه‌های موجود در فضا نیز کاهش می‌یابد. همچنین ابعاد سایه‌بان باید به گونه‌ای باشد که مانع جابجایی آن نشود و انعطاف‌پذیری آن در جابجایی و حرکت را همراه داشته باشد؛ به علاوه باز و بسته شدن سایه‌بان نیز چه به صورت مکانیکی و یا دستی به راحتی انجام شود. در نهایت طبق شکل ۵-۶، سایه‌بان با ابعاد ۵*۵ به عنوان ابعاد مناسب سایه‌بان در نظر گرفته شد.



شکل ۵-۶ مشخصات سایه‌بان مناسب (نگارنده)

۵-۵ اجزای مختلف سایه‌بان غشایی انعطاف‌پذیر

۱-۵-۵ سازه تکیه‌گاهی

سازه‌های غشایی مثل تمام عناصر سازه‌ای که بر مبنای کشش کار می‌کنند، نیازمند عناصر فشاری و خمشی هستند تا آن‌ها را نگه دارند و نیروهایشان را به زمین منتقل کنند. تکیه‌گاه‌ها اغلب وسیله اعمال کشش به پارچه را هم تأمین می‌کنند. بتن مسلح، چوب و فلز همگی این قابلیت را دارند که کشش و مقاومت خمشی

لازم را به صورت مقرون به صرفه فراهم کنند و هر یک در تکیه‌گاه‌های سقف‌های غشایی کاربردهایی دارند. با این حال در تکیه‌گاه‌های بیشتر سازه‌های غشایی از سازه فولادی استفاده می‌شود. فولاد ماده‌ای است که در مقاطع عرضی دارای مقاومت خمشی و فشاری بالا، به سادگی و با قیمت مناسب در دسترس است و به سهولت قابل حمل بوده و به آسانی به شکل قوس‌های بالاسری یا دکل‌های بلند متکی بر زمین، برپا می‌شود. عامل دیگری که در مطلوبیت استفاده از فولاد نقش دارد، دقتی است که با آن می‌توان فولاد را در کارخانه ساخت و در نتیجه با پارچه‌ای که به دقت الگو و ساخته شده، فصل مشترک دقیقی پیدا می‌کند. همچنین فولاد با توجه به بافت نرم سطوحش و دارا بودن مقاطع عرضی ظریف به دلیل مقاومت بالای این ماده، پیوند بصری مناسبی با پارچه ایجاد می‌کند.

یکی دیگر از ویژگی‌های تعیین‌کننده سازه‌های غشایی کششی تعداد و پیچیدگی اتصالاتشان است؛ پارچه، کابل‌های متعدد و عناصر تکیه‌گاهی اغلب در یک نقطه واحد به هم می‌پیوندند. فولاد به عنوان ماده‌ای که به آسانی می‌تواند در مقاطع عرضی متنوعی شکل داده‌شود، یا قالب‌ریزی، بریده و خم شود، و یا غلتک خورده، سوراخ‌شده، جوش‌داده یا پیچ شود، بهتر از همه مصالح می‌تواند نیازهای پیچیده اتصالات را برآورده کند. شاید همین ویژگی، توجیه‌کننده‌ترین عامل برای تلفیق فولاد با پارچه باشد. شاخص‌های موثر دیگر در انتخاب سازه تکیه‌گاهی شامل مقاومت در برابر باد، تحمل نیروی برف، حداقل وزن سازه، حداقل نیروی رانشی، متناسب بودن با دهانه، عدم نیاز به تجهیزات سنگین و عوامل اقتصادی است.

برای سایه‌بان با ابعاد ۵*۵ می‌توان از پروفیل‌های St37 استفاده نمود. بنابر مبحث ششم مقررات ملی سمنان جز مناطق با بار برف متوسط بوده و سقف زین‌اسبی از نوع نیمه برف‌گیر بوده، لذا این سازه قادر به تحمل بار برف در صورت استفاده در زمستان خواهد بود، کما این که سایه‌بان زین‌اسبی معرفی شده برای فصول گرم شهر سمنان طراحی شده و در باقی فصول سال بسته می‌باشد. در خصوص بار باد نیز طبق مبحث ششم مقررات ملی سرعت مبنای باد در سمنان ۸۰ کیلومتر بر ساعت بوده در حالی که پروفیل‌های St37 قادر به تحمل بار باد تا ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد لذا برای استفاده در سایه‌بان زین‌اسبی مورد نظر مناسب است.

جدول ۲-۵ مشخصات سازه St37

	توضیحات
۱	فولاد St37 که آن را تحت عنوان فولاد نرمه نیز نامگذاری می‌کنند، یکی از پرکاربردترین انواع فولاد است که در رده فولاد با کربن ملایم قرار دارد. این فولاد پله تسلیم معینی داشته و غالباً در ساخت پروفیل‌های ساختمانی و صنعت ساخت و ساز مورد استفاده قرار می‌گیرد.
۲	وجود کربن کم در ساختار فولاد St37، جوش‌پذیری بسیار مناسبی به آن بخشیده، همین امر موجب شده است که این فولاد از سایر رقبای خود در این زمینه پیشی بگیرد. بیشتر شدن میزان کربن موجود در فولاد باعث کاهش جوش‌پذیری می‌شود.
۳	استحکام تسلیم فولاد St37 معادل ۲۳۵ مگاپاسکال و استحکام کششی آن معادل ۳۶۰-۵۱۰ مگاپاسکال است. این دو عدد رنج بسیار مناسبی برای انواع مقاطع فولادی چون تیرآهن، میلگرد، ورق، پروفیل، ناودانی و نبشی هستند. این موارد مهم‌ترین خصوصیات مکانیکی St37 است.

در سقف‌های انعطاف‌پذیر، رفتار بار باد برای هر یک از حالت‌های باز، بسته، نیمه باز و در حین باز و بسته شدن متفاوت است. از نظر تئوری، کامل‌ترین محاسبات در طراحی این سقف‌ها در نظر گرفتن حداکثر بار باد در هر یک از شرایط مختلف سقف است، ولی در عمل از نظر سازه‌ای و اقتصادی به صرفه نیست. از آنجایی که این سقف‌ها در اکثر مواقع در شرایط وزش باد شدید بسته می‌شوند و تنها در زمانی که سرعت باد کم است باز می‌باشند، در نتیجه حداکثر بار باد در حالت بسته محاسبه می‌شود. شهر سمنان بادخیز نبوده و دارای بادهای ملایم در برخی مواقع سال است، لذا از این نظر مشکلی برای سازه وجود ندارد. از طرفی در فضای باز باد در یک جهت کم است و معمولاً برای کنترل باد در طراحی پارک از بادشکن استفاده می‌شود.

۲-۵-۵ پوشش

پارچه مورد استفاده در سازه‌های غشایی به عنوان یکی از اجزا کلیدی محسوب می‌شود. اهمیت پارچه و روکش سازه از آنجا روشن خواهد شد که در مواجهه مستقیم با عوامل جوی از جمله نور آفتاب، باران و باد قرار دارد. به همین دلیل، مقاومت آن در برابر عوامل مذکور، بسیار حیاتی است. به همین دلیل، معمولاً پارچه‌های کشسانی در برابر محو شدن رنگ، ساییده شدن، پوسته پوسته شدن، چروک و باز شدن، مقاومت کافی را دارا هستند. همچنین در پوشش‌های نوین، امکان عبور هوا از منافذ پارچه پیش‌بینی شده تا بدین وسیله امکان خروج هوای گرم از زیر آن و متعاقباً خنک شدن فضا را در پی داشته باشد. شاخص‌های موثر در انتخاب پوشش، خواص مکانیکی، دوام، گذردهی نور، مقاومت در برابر آتش، طیف رنگی، قابلیت بازیافت و هزینه آن است که با توجه به جدول مقایسه‌ای ۱۴-۲ در فصل دوم، پلی‌استر با روکش پی‌وی‌سی مناسب‌ترین پوشش برای سایه‌بان غشایی انعطاف‌پذیر در فضاهای باز است.

۳-۵-۵ مکانیزم حرکتی

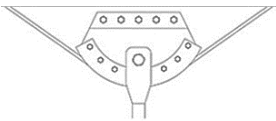
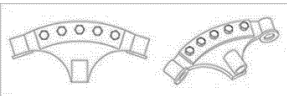
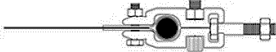
شاخص‌های موثر در انتخاب مکانیزم حرکتی شامل وزن کمتر سیستم و سهولت هماهنگ کردن آن است. این سازه غشایی انعطاف‌پذیر در ۶ ماه از سال (از فروردین تا شهریور) در شهر سمنان می‌تواند باز باشد و فقط در شرایط خاص بسته شود و در سایر ماه‌ها با توجه به نیاز قابلیت باز و بسته شدن دارد. در طول شب نیز بهتر است به دلیل بحث نگهداری سایه‌بان‌ها، آن‌ها را ببندند. بنابراین می‌توان از مکانیزم دستی نیز برای باز و بسته کردن این سایه‌بان استفاده کرد، که از نظر اقتصادی نیز نسبت به سیستم مکانیکی به صرفه‌تر است.

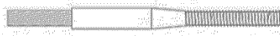
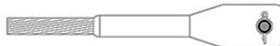
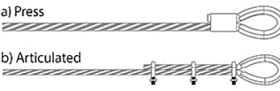
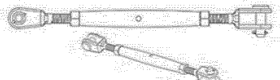
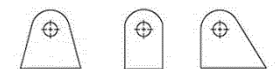
۴-۵-۵ اتصالات سازه غشایی

طراحی یک سازه غشایی نیازمند حل طراحی محل اتصالات میان عناصر است. طراح باید این مسئله را طوری حل کند که اقتصادی بوده و با نگاه به این که به طور معمول اتصالات سازه غشایی نمایان باقی می‌ماند، از نظر

بصری هم زیبا باشد. سازه‌های چادری باید برای مسائلی نظیر "تکان خوردن" و "در معرض عوامل جوی بودن" که از ویژگی‌های ذاتی سازه‌های غشایی در دوران بهره برداری است، مهیا شوند. در طراحی اتصالات سازه‌های غشایی برای بیشتر موقعیت‌ها، بیش از یک راه حل قابل قبول و فنی وجود دارد و در موفق‌ترین سازه‌های غشایی اتصالات به گونه‌ای طراحی می‌شوند که مسیر نیروها، ساده و مستقیم بوده و بیانی بصری از جریان نیروهای سازه غشایی را به صورتی که هم برای طراح و هم برای مردم عادی قابل درک باشد، به نمایش گذارند (Asemaneh.com). جدول ۳-۵ اتصالات رایج مورد استفاده در سازه‌های غشایی را نشان می‌دهند.

جدول ۳-۵ اتصالات سازه‌های غشایی (Asemaneh.com)

مدل	توضیحات	تصویر
غلاف پارچه‌ای کابل	از روش‌های اصلی اعمال پیش‌تension به سطح سازه چادری عبور کابل از غلاف‌های پارچه‌ای در پیرامون سازه چادری است. در این روش پارچه در قسمت لبه‌ها بر روی خودش تا می‌شود تا غلافی برای عبور کابل از آن ایجاد شود. پس از پرس میله رزوه‌دار به سر کابل و اتصال آن به پلیت‌های گوشه (و تنظیم کشش آن) کابل تمایل به قرارگیری در خط مستقیم را دارد در حالیکه در غلاف پارچه‌ای محیط سازه چادری (قوس‌دار) اسیر شده و سطح پارچه در سازه چادری را به سمت بیرون می‌کشد.	
پلیت کابل حائل	وقتی که نیاز است کابل‌های محیطی سازه‌های چادری را بدون قطع کردن استفاده نمود، می‌توان از این صفحات استفاده کرد. صفحات حائل سطح تکیه‌گاهی خمیده و مناسب برای هدایت کابل پیرامون سازه چادری را دارند و لازم است برای جلوگیری از بیرون پریدن کابل محیطی سازه چادری، از صفحات محافظی استفاده نمود که با پرچ یا پیچ بر روی صفحه اصلی نصب می‌گردند.	
فک (پلیت) گوشه	مشکلات خاصی برای محدود کردن پارچه در گوشه‌ها وجود دارد، طراح باید فکی متناسب با زوایای گوشه‌ها طراحی نماید. این فک‌ها (صفحه‌ها) که برای تقویت و کشش به گوشه‌های پارچه متصل می‌شوند بایستی نقطه‌ای خوب و مناسب نیز برای ختم نیروی کششی کابل‌های محیطی و انتقال آن به پایه‌ها یا دیگر عناصر تکیه‌گاهی باشند.	
اتصالات انتهایی کابل	این اتصالات باید نیروی کشش کابل‌ها را به صفحات نگهدارنده در گوشه‌ها (که متصل به ستون یا سایر عنصرهای تکیه‌گاهی هستند)، منتقل کنند. این اتصالات می‌توانند ثابت و یا قابل تنظیم باشند.	
ریسمان لبه KEDER	درجائی که هوابندی و پیوسته بودن پارچه یک ضرورت است با بکاربردن یک ریسمان در لبه پارچه که (keder) نام دارد و ترکیب آن با روش پروفیل‌های فلزی هوابند کننده می‌توان به شکل مناسب تری هوا را محصور نمود.	
لبه مستقیم/فضاهای هوابندی شده	برای عایق بندی و ایجاد یک فضای هوابند در زیر سازه چادری می‌توان با استفاده از یک تسمه یک‌طرفه به سادگی پارچه‌ی سازه چادری را به صفحه نگهدارنده محکمی از جنس فولاد یا بتن یا مصالح دیگر متصل نمود. ورقه‌های آلومینیومی عملیات کشش پارچه‌ی سازه چادری را به خوبی انجام نمی‌دهند، بنابراین در برخی پروژه‌ها برای کشیدن پارچه سازه چادری، از پروفیل‌های آلومینیومی خاصی که دارای حفره و شیار مخصوص محیط سازه‌های چادری هستند استفاده می‌شود. در این روش اجزا و اتصالات کشنده‌ی سازه چادری را می‌توان با روش مناسب تری اتصال داد و پارچه‌ی سازه چادری را در مکان نهایی خود ثابت نمود، که البته این روش پرهزینه تر خواهد بود.	

	این اتصال به عنوان یک میله رزوه شده در قسمت انتهایی کابل پرس شده و برای تنظیم طول کابل‌های محیطی سازه چادری بکاربرده می‌شود.	اتصالات میل رزوه‌دار
	اتصال COM دوشاخه پرسی یک اتصال قابل اطمینان، زیباتر و البته گران‌تر در مقایسه با اتصال یک پین مفصل‌دار است. این اتصال به صفحات گوشواره‌ای متصل می‌شود. این نوع اتصال ثابت و غیر قابل تنظیم است اتصال حلقه‌ای این اتصالات در دو نوع ارائه می‌شوند: الف) پرسی ب) مفصل‌دار. معمول‌ترین اتصالی که به جهت کاربرد آسان می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد، اتصالی به شکل چشم در انتهای کابل است که با یک یا چند گیره پیچی U شکل ثابت می‌شود. این اتصال برای سازه های موقت چادری یا سازه های چادری ایی که پیچیدگی کمتری دارند مناسب می‌باشد.	اتصالات COM (پرسی)
	این اتصالات در دو نوع ارائه میشوند: الف) پرسی، ب) مفصل دار. معمول‌ترین اتصالی که به جهت کاربرد آسان می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد، اتصالی به شکل چشم در انتهای کابل است که با یک یا چند گیره پیچی U شکل ثابت می‌شود. این اتصال برای سازه های موقت چادری یا سازه‌های چادری که پیچیدگی کمتری دارند مناسب می‌باشد.	اتصالات حلقه ای
	علاوه بر یراق میل رزوه ای، می‌توان طول کابل را به وسیله یراق چپ گرد / راست گرد تنظیم نمود. در این روش بایستی طول کابل را به دو بخش تقسیم کرد و از این اتصال در طول مسیر کابل کشنده سازه چادری استفاده نمود.	چپ گرد / راست گرد
	اتصالات COM یا اتصالات چشمی مفصل‌دار به این صفحات متصل می‌شوند. صفحه گوشواره‌ای باید دارای ضخامت و شعاع لبه متناسبی باشد تا بتواند از گسیختگی تکیه‌گاهی در محل پین جلوگیری کند. این ورق‌ها به بدنه ستون‌ها جوش می‌شوند.	صفحات گوشواره

۵-۶ ماکت‌های سایه‌بان

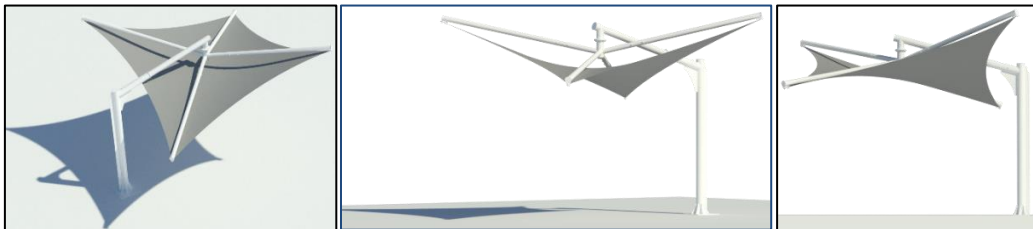
ماکت سایه‌بان‌های زین اسبی ساخته شده در جدول ۴-۵ ارائه شده‌است.

جدول ۴-۵ ماکت‌های سایه‌بان زین اسبی (نگارنده)

نوع	تصاویر
۱	
۲	

۵-۷ مدل سازی و چیدمان سایه بان های زین اسبی

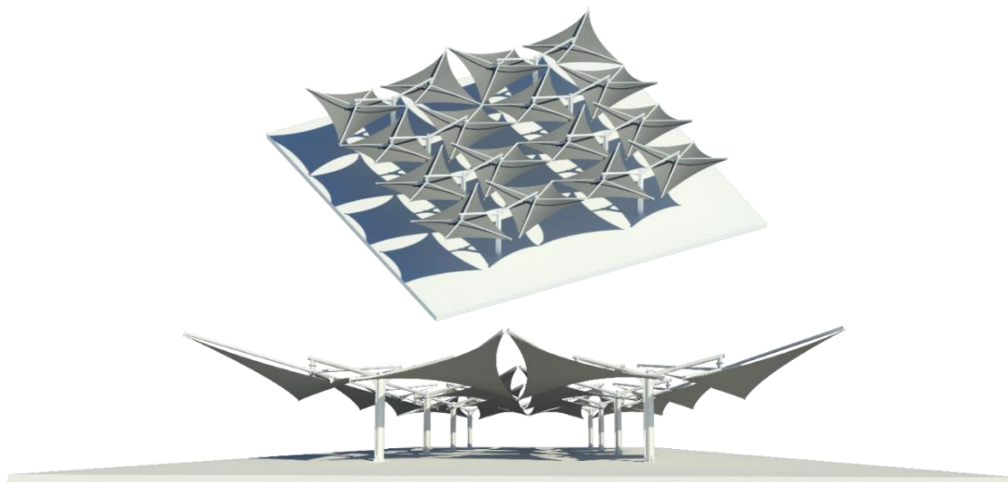
در شکل ۵-۷، یک نمونه سایه بان زین اسبی طره ای با ابعاد ۵*۵ متر مربع مشاهده می شود. پارک محله در اقلیم گرم و خشک شهر سمنان، محیطی است که برای قرارگیری سایه بان ها در نظر گرفته شده است. جدول ۵-۵ ابعاد تعدادی از پارک های محله در شهر سمنان را نشان می دهد، طبق این جدول ابعاد ۲۵*۲۵ متر مربع برای محل سایه بان ها در نظر گرفته شده است. با توجه به ابعاد ۵ متری اضلاع سایه بان، تعداد ۱۶ سایه بان به صورتی که در شکل ۵-۸ قابل مشاهده است، در محیط چیدمان می شود. این سایه بان قابلیت جابجایی داشته و می توان آن ها را در آرایش های مختلفی کنار یکدیگر قرار داد.



شکل ۵-۷ سایه بان زین اسبی طره ای ۵*۵ متر مربع (نگارنده)

جدول ۵-۵ مساحت تعدادی از پارک های محله شهر سمنان (نگارنده)

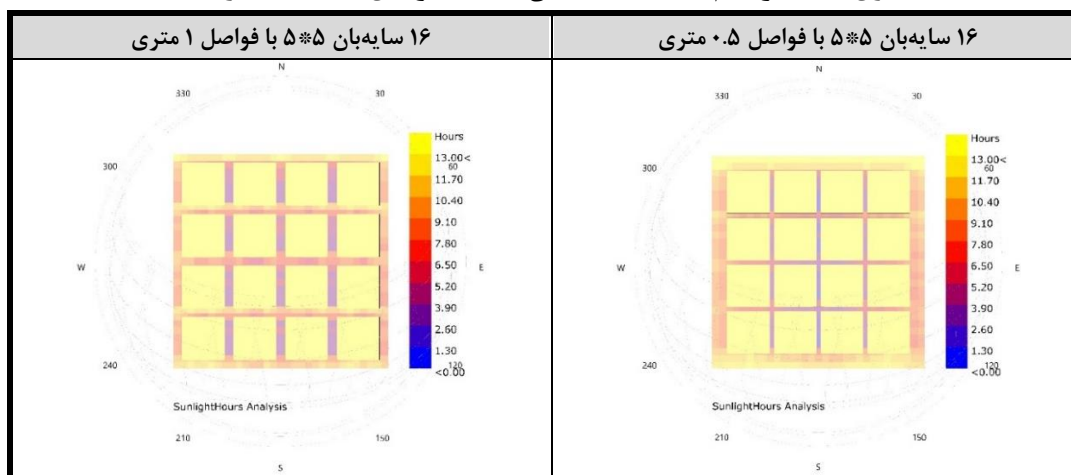
تصویر	مساحت کل (مترمربع)		ابعاد	نام پارک محله	
	فضای خالی موجود				
	۸۰۰۰	۱۰۰x۸۰	بوستان فرهنگیان	۱	
	۵۵۰				
	۶۰۰۰	-	پارک آبشار	۲	
	۵۰۰				
	۴۲۲۵	۶۵x۶۵	بوستان مدیران	۳	
	-				
	۳۷۵۰	۷۵x۵۰	بوستان آفرینش	۴	
	۳۰۰				
	۲۸۵۰	۹۵x۳۰	پارک فرهنگ	۵	
	۴۵۰				
	۱۹۲۵	۵۵x۳۵	پارک شهریار	۶	
	۳۰۰				



شکل ۵-۸ چیدمان ۱۶ سایه بان زیناسبی طره‌ای در محیط ۲۵*۲۵ متر مربع (نگارنده)

سایه شانزده سایه بان با ابعاد ۵*۵ مترمربع با فواصل ۰.۵ و ۱ متری از طلوع تا غروب خورشید در جدول ۵-۶ نمایش داده شده است. به دلیل وجود سازه سایه بان بین هر سایه بان فاصله ۰.۵ متر کم بوده و فواصل ۱ متری در نظر گرفته می شود تا از تداخل سازه ها جلوگیری شود. علاوه بر این فواصل بین سایه بان ها که شکل چشم گربه ای نام دارند، مانند حفره عمل کرده و خاصیت دودکشی نیز ایجاد می کند.

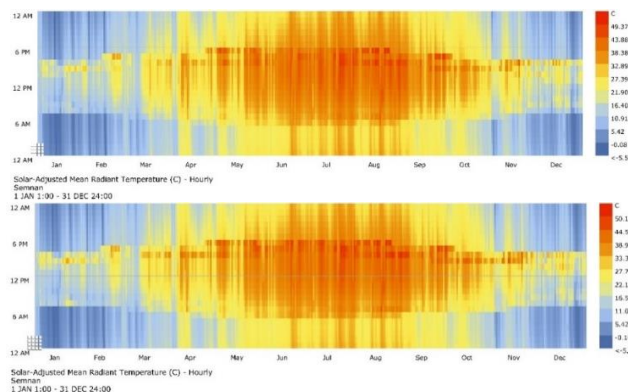
جدول ۵-۶ ترسیم سایه ۱۶ سایه بان ۵*۵ با فواصل مختلف (نگارنده)



جدول ۵-۷ و شکل ۵-۹ نیز MRT شانزده سایه بان ۵*۵ با ارتفاع ۳ متری و فواصل ۰.۵ و ۱ متری نشان می دهد، طبیعی است که فاصله کمتر بین سایه بان ها عملکرد بهتر ایجاد می کند.

جدول ۵-۷ MRT بر حسب درجه سلسیوس در ۱۶ سایه بان ۵*۵ با ارتفاع ۳ متری و فواصل مختلف (نگارنده)

نوع	۱۲ ظهر ۱ تیر	۱۲ ظهر ۱۵ تیر	۱۲ ظهر ۱ مرداد	۱۲ ظهر ۱۵ مرداد
۱۶ سایه بان با فواصل ۰.۵ متری	۳۷.۱۸	۳۶.۱۲	۴۲.۵۴	۳۲.۳۴
۱۶ سایه بان با فواصل ۱ متری	۳۷.۶۵	۳۶.۴۹	۴۲.۷۶	۳۲.۹۱



شکل ۵-۹ MRT شانزده سایه‌بان ۵*۵ با فواصل مختلف، بالا: فواصل ۰.۵ متری، پایین: فواصل ۱ متری (نگارنده)

۵-۸ یافته‌های تکمیلی

در ارتباط با آسایش حرارتی در فضای باز و طراحی سایه‌بان‌ها نکات مهم دیگری نیز وجود دارد که خارج از موضوع این پژوهش است اما به طور خلاصه در جدول ۵-۸ و شکل ۵-۱۰ به بخشی از آن‌ها اشاره شده‌است.

جدول ۵-۸ یافته‌های تکمیلی (نگارنده)

عنوان	توضیحات	نتیجه	منبع
۱	در شرایط آرام و آفتابی، بیشترین دمای سطحی در طول روز به ترتیب مربوط به آسفالت، سیمان، خاک، سنگ، چمن و آب است. بیشترین اختلاف دمای سطوح با یکدیگر در هنگام ظهر رخ می‌دهد، درحالی‌که کمترین اختلاف دما بین آن‌ها در ساعات طلوع و غروب است. زمان رسیدن به حداکثر دما در طول روز (پیک دما)، برای سطوح مختلف، بدلیل ویژگی‌های حرارتی متفاوت آن‌ها متغیر است، پیک دما در آسفالت و سیمان زودتر از سایر سطوح و در چمن و آب، به دلیل مرطوب بودن، دیرتر از سایر سطوح است. سطوح، گرمایی را که در روز از تابش خورشیدی جذب و ذخیره کردند در بعدازظهر بتدریج و با سرعت کمتری از دست می‌دهند.	متریال کف فضای باز بسیار تعیین‌کننده و تأثیرگذار است، متریال‌های مختلف با جنس و ضخامت‌های متعدد بر آسایش حرارتی بیرونی تأثیرگذار هستند.	(شمسی‌پور و دیگران، ۱۳۹۲)
۲	افزایش دمای سطوح زیر تابش آفتاب، چنانچه بسیار گرم‌تر از هوای محیط اطراف آن باشد، موجب گرم‌شدن هوای محیط و بروز پدیده جزیره گرمایی می‌شود. رنگ سفید بهترین رنگ برای حداقل رساندن جذب گرما در تابستان است (هم جذب‌کننده ضعیف و هم انتشاردهنده خوب). استفاده از مصالح روشن و دارای خلل و فرج مثل سنگ فرش، به کاهش نوسانات دمایی کمک کرده و با جذب رطوبت در فضای مابین آن، امکان برودت تبخیری را فراهم می‌کند.	طیف رنگی متریال کف علاوه بر تأثیرگذاری بر شرایط آسایش بر زیبایی بصری و جذب‌کنندگی فضا نیز تأثیر دارند.	(طاهباز و جلیلیان، ۱۳۹۴)
۳	هرچقدر آلودگی و توان تشعشعی یک سطح بالاتر باشد، مقدار جذب انرژی در روز توسط آن سطح کمتر و قابلیت بازتاب سطح بیشتر است.	انعکاس از نکات مهم در فضاهای باز شهری است.	(شمسی‌پور و دیگران، ۱۳۹۲)
۴	وجود سایه‌بان چه در تابستان و چه در زمستان موجب تعدیل دمای سطوح و شرایط محیطی ناشی از آن شده و به بهبود شرایط گرمایی کمک می‌کند. وسعت سایه‌بان مهم است (کوچک بودن سطح سایه‌بان شرایط گرمایی مناسبی ایجاد نمی‌کند).	سایه‌بان‌های بزرگتر از نظر آسایشی شرایط بهتری ایجاد کرده و از نظر اقتصادی با صرفه‌ترند.	(طاهباز و جلیلیان، ۱۳۹۴)
۵	پوشش گیاهی آثار خنک‌کنندگی بر پیرامون دارد و سطوح پوشیده از گیاه دمای سطح کمتری دارند.	ترکیب پوشش گیاهی و سایه‌بان تأثیر بیشتری در آسایش حرارتی دارد.	(هاشمی و دیگران، ۱۳۹۲)

۶	آب	آب در کاهش دمای هوا نقش بسزایی دارد. عملکرد سرمایشی آب به این صورت است که گرمای هوا را برای بخار شدن جذب می‌کند. بنابراین دمای هوا کاهش می‌یابد. در مناطق با اقلیم گرم و خشک از این خاصیت آب برای تعدیل دما استفاده می‌کنند. آب در تعدیل درجه حرارت موثر است و هر چه سطح آب وسیع‌تر باشد تأثیر آن بر خرد اقلیم زیادتر خواهد بود	برودت تبخیری آب تأثیر بسزایی در خنک‌سازی محیط دارد. استفاده از فواره و پرده آب دمای سطوح را کاهش می‌دهد.	(رنجبران، ۱۳۹۳)
---	----	---	--	-----------------



شکل ۱۰-۵ خلاصه یافته‌های تکمیلی پژوهش (نگارنده)

۹-۵ نتیجه‌گیری

در فضاهای باز، سطح آسایش حرارتی افراد می‌تواند تحت تأثیر عواملی از جمله مصالح سطوح، وجود سایه‌بان، استفاده از فضای سبز و نیز به کارگیری آبنا و آب افشان در محوطه قرار بگیرد. سایه یکی از عوامل مهم در تأمین آسایش حرارتی است، نور آفتاب را کنترل می‌کند، موجب کاهش شرایط ناراحتی ناشی از تابش امواج با طول موج کوتاه می‌شود، علاوه بر این سایه بر روی زمین دمای سطح را کاهش می‌دهد و موجب افزایش تابش امواج با طول موج بلند می‌شود. کمبود سایه در محیط‌های شهری منجر به بالا رفتن دمای هوا و سطوح می‌شود. سایه‌اندازی به وسیله پوشش گیاهی و عناصر مصنوعی یکی از راهکارهای اصلی در کاهش استرس حرارتی در ساعات گرم تابستان است. سایه‌اندازی توسط عناصر طبیعی (درختان) محدودیت‌هایی دارد به طور مثال رشد درختان و رسیدن به مرحله سایه‌اندازی به زمان زیادی نیاز دارد، حال آن که سایه‌اندازی توسط عناصر مصنوعی (سایه‌بان‌های غشایی) به سرعت و سهولت فراهم می‌شود. استفاده از سایه‌بان مصنوعی در تمام اقلیم‌ها عمومیت داشته و در جهت تأمین سایه و کاهش دمای محیط کاربرد دارد. سایه‌بان‌های غشایی به دلیل سبکی، انعطاف‌پذیری، بازتاب بالای تابش خورشید، بهره‌گیری از خاصیت دودکشی و ویژگی‌های حرارتی خاصی که دارند، سبب سایه‌اندازی موثر در محیط و کاهش دما می‌شوند لذا برای استفاده در فضاهای باز به خصوص در اقلیم‌های گرم بسیار مناسب هستند. بنابراین سایه‌بان زین اسبی طره‌ای با ابعاد ۵*۵ مترمربع به عنوان سایه‌بان مناسب برای اقلیم گرم و خشک معرفی می‌شود، این سایه‌بان قابلیت جابجایی و انعطاف‌پذیری داشته و مناسب برای پارک محله در اقلیم گرم و خشک است و می‌توان با توجه به ابعاد و شکل فضای موجود در پارک‌ها چیدمان آن را انجام داد. اگر سایه‌بان با پوشش گیاهی و آب نیز ترکیب شود، اثر بخشی آن افزایش می‌یابد.

مراجع

۱. احمدپور کلهرودی، نرگس؛ پورجعفر، محمدرضا؛ مهدوی نژاد، محمدجواد؛ یوسفیان، سمیرا. (۱۳۹۶). "نقش و تاثیر عناصر طراحی در کیفیت آسایش حرارتی فضاهای باز شهری بررسی موردی: طراحی پیاده‌راه طمقاچی‌ها در کاشان". *دوفصلنامه دانشگاه هنر*، دوره ۹، شماره ۱۸.
۲. احمدنژاد کریمی، مجید. (۱۳۹۲). پایان نامه کارشناسی ارشد: "طراحی استخر با سازه باز و بسته شونده". دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تبریز.
۳. احمدنژاد کریمی، مجید؛ حق پرست، فرزین. (۱۳۹۱). "سقف‌های باز و بسته شونده و گسترش‌پذیر با پوشش غشایی رویکرد تطبیق‌پذیر برای معماری پایدار و منعطف". کنفرانس بنای ماندگار. انتشارات شهرداری مشهد. مشهد.
۴. اداره کل هواشناسی استان سمنان. (۱۳۹۹). نمودارها و نقشه‌های اقلیمی استان. <http://www.semnanweather.ir/statistics5.php>
۵. الهی‌بخش، امیرحسین؛ شاه‌محمدی، فاطمه. (۱۳۸۶). "انتخاب نرم‌افزار شبیه سازی مصرف انرژی برای توسعه در کشور". بیست و دومین کنفرانس بین المللی برق، تهران.
۶. آصفی، مازیار؛ سامی، زیبا؛ محمودی، رویا. (۱۳۹۵). "سایه‌بان باز و بسته شونده قیچی‌سان با الهام از هندسه کاربندی". کنگره بین المللی عمران، معماری و شهرسازی معاصر جهان. دبى.
۷. آصفی، مازیار؛ فرخی، شهین؛ نثارنوبری، مهسا. (۱۳۹۶). "ارزیابی روش‌های اعمال انعطاف‌پذیری در فضاهای مسکونی با زیربنای محدود". *نشریه انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران*، شماره ۱۳.
۸. آصفی، مازیار؛ گرشاسبی، علی. (۱۳۹۰). "تحول نوین در معماری با استفاده از عناصر تغییرشکل‌پذیر". دومین کنفرانس بین المللی معماری و سازه، تهران، دانشگاه تهران.
۹. باعقیده، محمد؛ شاکری، فهیمه؛ میوانه، قاطمه. (۱۳۹۶). "بررسی مقایسه‌ای تنش‌های حرارتی در سواحل شمال و جنوب ایران". *مجله تحقیقات سلامت در جامعه*، دوره ۳، شماره ۳، صص ۱-۱۱.
۱۰. بیدختی، امیر؛ کامیابی، سعید. (۱۳۹۳). "بررسی شاخص‌های آسایش حرارتی در شهر سمنان". اولین کنفرانس ملی توسعه پایدار در علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی، معماری و شهرسازی.
۱۱. بییر، آن. آر؛ هیگینز، کترین. (۱۳۸۱). *برنامه‌ریزی محیطی برای توسعه زمین*. حسین بحرینی، کیوان کریمی. انتشارات دانشگاه تهران. تهران.

۱۲. تابان، زهره. مجیدی، محسن. (۱۳۹۷). "ارزیابی تأثیر آسایش حرارتی بر رفتار مردم در محیط شهری (نمونه موردی شهر بوشهر)". کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران. تهران: دانشگاه تهران.
۱۳. تقی‌زاده، کتایون؛ سنایی، نفیسه. (۱۳۹۱). "بررسی کاربردی سیستم‌های سازه‌ای پناهگاه‌های متحرک و موقت". مجله نقش جهان، سال ۲، شماره ۳، ص ۵۵.
۱۴. جامعی، احمد. (۱۳۹۲). "بررسی سیر تاریخی کاربرد ساختارهای متحرک در معماری". اولین همایش ملی شهرسازی و معماری در گذر زمان. دانشگاه بین‌المللی امام خمینی.
۱۵. جعفری، مریم. تابان، محسن. (۱۳۹۶). "ارزیابی آسایش حرارتی در فضای باز شهری (نمونه موردی پارک نوبهار کرمانشاه)". اولین همایش بین‌المللی عمران، معماری و شهر سبز پایدار. همدان.
۱۶. جوادیان، رحیمه؛ نعمتی، ملیحه. (۱۳۹۷). "بررسی آسایش حرارتی در انطباق با شرایط اقلیمی در شهر سمنان". مجله کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه‌ریزی، دوره ۹، شماره ۱، صص ۷۴-۹۰.
۱۷. جی‌مک‌دانلد، انگس. (۱۳۸۲). سازه و معماری. تهران: انتشارات مرکز مطالعاتی و تحقیقاتی شهرسازی و معماری.
۱۸. حلبیان، امیرحسین. (۱۳۸۷). "تحلیل آسایش اقلیمی اصفهان". دوفصلنامه اندیشه جغرافیایی، سال دوم، شماره سوم.
۱۹. حیدری، شاهین (۱۳۹۱). "برهم‌کنش جریان هوا، دما و راحتی در فضاهای باز شهری، مطالعه موردی: اقلیم گرم و خشک ایران". نشریه هنرهای زیبا، شماره ۴۷، صص ۳۷-۴۲.
۲۰. حیدری، شاهین؛ منعم، علیرضا (۱۳۹۲). "ارزیابی شاخصه‌های آسایش حرارتی در فضای باز". مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۲۰، صص ۱۹۷-۲۱۶.
۲۱. خاکی‌قصر، آزاده. (۱۳۹۵). "الگوهای پوشش الحاقی موقت برای فضاهای باز نیازمند پوشش در بافت تاریخی یزد". نشریه معماری/اقلیم گرم و خشک، سال ۴، شماره ۴.
۲۲. خلیلی، سهیلا؛ فیاض، ریما؛ ذوالفقاری، علیرضا. (۱۳۹۷). "بررسی تأثیر سایه‌اندازی ساختمان‌ها بر شرایط آسایش حرارتی فضای باز در محوطه دانشگاه بیرجند". پنجمین کنفرانس بین‌المللی فناوری و مدیریت انرژی ایران.
۲۳. ذوالفقاری، حسن. (۱۳۸۶). "تعیین تقویم زمانی مناسب برای گردش در تبریز با استفاده از شاخص‌های دمای معادل فیزیولوژی و متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده". نشریه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۲.

۲۴. رازجویان، محمود. (۱۳۸۸). آسایش در پناه معماری همساز با اقلیم. انتشارات دانشگاه شهید بهشتی. تهران.
۲۵. رشیدفر، علیرضا. (۱۳۹۵). پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی فرم پوسته شهری و تاثیر آن بر میزان تهویه طبیعی و کارایی انرژی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم گرم و خشک". دانشگاه ایلام.
۲۶. رنجبران، حدیث. (۱۳۹۳). پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی نقش رطوبت و سایه در دستیابی به آسایش حرارتی نمونه موردی: بازطراحی پارک گفت و گو". دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس.
۲۷. روحی، ترانه. (۱۳۹۵). "سیاه‌چادر معماری عشایر کوچ‌نشین". فصلنامه فرهنگ مردم/یران، شماره ۴۵ و ۴۶.
۲۸. روشنی، پروانه. (۱۳۹۴). پایان نامه کارشناسی ارشد: "طراحی سرای محله گلچینان یزد با تاکید بر پوشش باز و بسته شونده برای انعطاف‌پذیری فضای باز". دانشکده هنر و معماری، دانشگاه یزد.
۲۹. روشنی، پروانه؛ خاکی، آزاده؛ پورمهدی‌قائم‌مقامی، حسین. (۱۳۹۴). "بررسی ویژگی‌های تکنولوژیکی سازه‌های تغییر شکل‌پذیر برای تقرب به انعطاف‌پذیری در بخش‌هایی از معماری". اولین کنفرانس بین‌المللی انسان، معماری، عمران و شهر.
۳۰. رهایی، امید؛ قائم‌مقامی، پروین. (۱۳۸۷). "سازه‌های متحرک و معماری انعطاف‌پذیر جوامع محلی منطقه زاگرس". اولین کنفرانس سکونتگاه‌های سنتی زاگرس، دانشگاه کردستان.
۳۱. زمردیان، زهراسادات؛ تحصیلدوست، محمد. (۱۳۹۴). "اعتبارسنجی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی در ساختمان: با رویکرد تجربی و مقایسه‌ای". نشریه انرژی/یران، دوره ۱۸، شماره ۴، صص ۱۱۵-۱۲۲.
۳۲. سالوادوری، ماریو. (۱۳۹۳). سازه در معماری. محمود گلابچی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۳۳. سرکرده‌ئی، الهام؛ جامعی، احمد؛ مجاهدی، محمدرضا. (۱۳۸۹). "بررسی انواع سقف‌های شونده باز و بسته‌ها و ملاحظات مرتبط با آن". اولین همایش ملی و چهارمین همایش مؤسسه آموزش عالی خاوران. مشهد.
۳۴. سلطانی، مجید؛ رحیمی‌اصل، روح‌الله. (۱۳۸۲). دینامیک سیالات محاسباتی به کمک نرم‌افزار Fluent. نشر طراح.
۳۵. شمسی‌پور، علی اکبر؛ عزیزی، قاسم؛ کریمی احمدآباد، مصطفی؛ مقبل، معصومه. (۱۳۹۲). "رفتارسنجی الگوهای دمای سطوح فیزیکی مختلف در محیط زیست شهری (مطالعه ی موردی: شهر تهران)". نشریه جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۶.

۳۶. شعبانی، فروغ. (۱۳۹۳). پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "تحلیل نقش و تأثیر جریان هوا بر فرم کلی ساختمان‌های مسکونی معاصر با هدف بهینه‌سازی مصرف انرژی (نمونه طراحی: مجتمع مسکونی شماره هشت شهرک اکباتان)". دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس.
۳۷. شفیق‌نیا، مهسا؛ تقی‌زاده، کتایون؛ آصفی، مازیار. (۱۳۹۲). "بررسی نقش ساختارهای متحرک و باز و بسته‌شونده در دستیابی به یک معماری انعطاف‌پذیر". کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، معماری و توسعه شهری پایدار. تبریز.
۳۸. ضابطیان، الهام؛ خیرالدین، رضا. (۱۳۹۷). "نقش ادراک آسایش بویژه آسایش حرارتی در الگوی رفتار شهروندان در فضاهای شهری نمونه موردی: میدان امام خمینی و امام حسین شهر تهران". نشریه مدیریت شهری، شماره ۵۰، صص ۵-۲۰.
۳۹. طاهباز، منصوره. (۱۳۸۶). "طراحی سایه در فضای باز". نشریه هنرهای زیبا، شماره ۳۱، ص ۲۸.
۴۰. طاهباز، منصوره؛ جلیلیان، شهربانو. (۱۳۹۴). "نقش مصالح پیاده راه بر خرداقلیم فضاهای باز - تحقیق میدانی در محوطه دانشگاهی". نشریه هنرهای زیبا، دوره ۲۰، شماره ۴.
۴۱. طاهباز، منصوره؛ نوذری‌فردوسی، احمد؛ امین‌اسلامی، محمد. (۱۳۹۳). "راهکارهای طراحی اقلیمی معابر فضای باز (مطالعه موردی: پیاده‌راه‌های دانشگاه کاشان)". نشریه هویت شهر، سال ۱۰، شماره ۲۶.
۴۲. طاهباز، منصوره؛ جلیلیان، شهربانو؛ موسوی، فاطمه. (۱۳۹۱). "آموزه‌هایی از معماری اقلیمی گذرهای کاشان". دوفصلنامه مطالعات معماری/ایرانی، شماره ۱، صص ۸۳-۵۹.
۴۳. طاهری‌شهرآئینی، مسعود؛ طالب‌صفا، شهرزاد. (۱۳۹۸). "بررسی عوامل تأثیرگذار بر آسایش حرارتی فضای باز". ششمین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
۴۴. عبداللهی، راحله؛ یوسفی‌تذکر، مسعود. (۱۳۹۶). "آسایش حرارتی روزانه در فضای باز شهری". سومین همای ملی و سومین همایش بین‌المللی معماری، عمران و شهرسازی در آغاز هزاره سوم. تهران.
۴۵. عراقیان، لیلا. (۱۳۹۲). "سازه‌های پارچه‌ای دیبا". فصلنامه معماری و ساختمان. شماره ۳۴، صص ۱۰۲-۱۰۵.
۴۶. عزیزمحمدی، میلاد. (۱۳۹۶). پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "طراحی بر اساس معماری متحرک انطباقی با استراتژی سیستم اکتشافی برای دست‌یابی به یک سیستم سازه‌ای بهینه". موسسه آموزش عالی معماری و هنر پارس.
۴۷. علیجانی، بهلول؛ رضوی، زینب‌السادات. (۱۳۹۶). "مقایسه شاخص‌های آسایش برای ارزیابی راحتی اقلیمی شهر تهران". فصلنامه/اندیشه جغرافیایی، سال هشتم، شماره ۱۶، صص ۱۶۹-۱۴۵.

۴۸. عناصری، جابر؛ کرمزاده شیرانی، منصور. (۱۳۹۲). "بررسی تداوم الگوی معماری تکیه دولت تهران در تکایای دولتی دوره قاجار". دومین همایش ملی معماری و شهرسازی اسلامی. تبریز.
۴۹. عینی‌فر، علیرضا. (۱۳۸۲). "الگویی برای تحلیل انعطاف پذیری در مسکن سنتی ایران". نشریه هنرهای زیبا، شماره ۱۳.
۵۰. غیائی، محمدمهدی؛ مهدوی‌نیا، مجتبی؛ طاهباز، منصوره؛ مفیدی‌شمیرانی، سیدمجید. (۱۳۹۶). "روش‌شناسی گزینش نرم‌افزارهای کاربردی شبیه‌ساز انرژی در حوزه معماری". هویت شهر، شماره ۱۳، سال ۷، ۴۵-۵۵.
۵۱. فرج‌زاده، حسن؛ سلیقه، محمد؛ علیجانی، بهلول. (۱۳۹۵). "کاربرد شاخص اقلیم حرارتی جهانی در ایران از منظر گردشگری". مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال پنجم، شماره ۷، صص ۱۱۷-۱۳۷.
۵۲. فلاح‌قاله‌ری، غلام‌عباس؛ میوانه، فاطمه؛ شاکری، فهیمه. (۱۳۹۴). "ارزیابی آسایش حرارتی انسان با استفاده از شاخص جهانی اقلیم حرارتی مطالعه موردی استان کردستان". نشریه سلامت و محیط زیست، دوره ۸، شماره ۳، صص ۳۶۷-۳۷۸.
۵۳. قبادیان، وحید. (۱۳۹۳). مبانی و مفاهیم معماری معاصر غرب. نشر دفتر پژوهش‌های فرهنگی. تهران.
۵۴. قیابکلو، زهرا. (۱۳۸۸). آشنایی با نرم‌افزار اکوتکت. تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.
۵۵. قیابکلو، زهرا. (۱۳۹۴). مبانی فیزیک ساختمان ۲ (تنظیم شرایط محیطی). انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر. تهران.
۵۶. کرمی‌راد، سینا؛ بنازاده، بهاره؛ زارعی، هانی؛ قزلباش، ابراهیم. (۱۳۹۸). "ارزیابی و تحلیل آسایش حرارتی حیاط خانه‌های تاریخی شهر شیراز در دوره قاجاریه". نشریه پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، شماره ۲۰، دوره ۹، صص ۲۰۲-۱۸۳.
۵۷. کسمایی، مرتضی. (۱۳۷۹). پهنه‌بندی و راهنمای طراحی اقلیمی، اقلیم گرم و خشک (استان سمنان). مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. تهران.
۵۸. کسمائی، مرتضی. (۱۳۹۱). اقلیم و معماری. نشر خاک. اصفهان.
۵۹. کشاورزپور، فاطمه. (۱۳۹۵). پایان نامه کارشناسی ارشد: "سازماندهی فضای پلاژ شهرستان نور با رویکرد توسعه فضایی (سازه‌های سبک-انعطاف‌پذیر)". موسسه آموزش عالی رسام.
۶۰. کمریان، محمدمهدی؛ صادقی‌پور، امیرحسین. (۱۳۹۸). "تحلیل و ارزیابی انواع مکانیزم‌های حرکتی در سازه‌های تغییرشکل‌پذیر". سومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی شریف.

۶۱. کوچریمختاریبیدی، آلبرت. (۱۳۸۰). "بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و تحلیل انرژی ساختمان". اولین همایش بین‌المللی بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان.
۶۲. گلابچی، محمود؛ مجاهدی، محمدرضا؛ سرکرده‌ئی، الهام. (۱۳۹۰). سازه‌های پارچه‌ای کششی. انتشارات دانشگاه تهران. تهران.
۶۳. گلابچی، محمود؛ تقی‌زاده، کتایون؛ گلابچی، محمدرضا. (۱۳۹۴). سیستم‌های ساختمانی. انتشارات دانشگاه پارس، تهران.
۶۴. گلجان، مهدی؛ افشاررضائی، سپیده. (۱۳۹۳). "تکیه دولت و مراسم مذهبی آن". نشریه پژوهش‌های علوم تاریخی، سال ۶، شماره ۱.
۶۵. متقی‌پیشه، سمانه؛ طاهباز، منصوره؛ تقوایی، حسن. (۱۳۹۴). "نقش سایه در باغ ایرانی، بررسی وضعیت آسایش اقلیمی در باغ جهان‌نما و باغ دلگشا". دوفصلنامه مطالعات معماری ایرانی، شماره ۷، صص ۵۶-۳۵.
۶۶. متینی، محمدرضا. (۱۳۹۳). "پوشش‌های سبک برای حیات مرکزی ابنیه تاریخی ایران؛ نقد وضع موجود و ارائه‌ی الگوی پیشنهادی". نشریه هنرهای زیبا، دوره ۱۹، شماره ۳، ص ۱۷.
۶۷. مجیدی، فاطمه‌السادات؛ حیدری، شاهین؛ قلعه‌نوعی، محمود؛ قاسمی‌سیچانی، مریم. (۱۳۹۸). "ارزیابی و تحلیل وضعیت آسایش حرارتی فضای باز محلات مسکونی با استفاده از شاخصه‌های حرارتی". نشریه علمی معماری و شهرسازی/ایران، دوره ۱۰، شماره ۱۸، صص ۱۲۶-۱۱۳.
۶۸. محمدی، زهره؛ اسداللهی، حامد. (۱۳۹۴). "بررسی سازه‌های غشایی و فناوری نوین در این سازه‌ها". کنفرانس بین‌المللی معماری، شهرسازی، عمران، هنر و محیط زیست؛ افق‌های آینده، نگاه به گذشته. تهران.
۶۹. محمودی، سید امیرسعید؛ قاضی‌زاده، سیده‌ندا؛ منعم، علیرضا. (۱۳۸۹). "تأثیر طراحی در آسایش حرارتی فضای باز مجتمع‌های مسکونی (نمونه مورد مطالعه: فاز سه مجتمع مسکونی اکباتان)". نشریه هنرهای زیبا، شماره ۴۲، صص ۵۹-۷۰.
۷۰. مرتضوی، نسیم؛ عالمی، بابک. صادقی‌پور، امیرحسین. (۱۳۹۶). "طراحی الگوی ساخت سایبان هوشمند در اقلیم گرم و خشک". ششمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین‌المللی مصالح و سازه‌های نوین در مهندسی عمران، دانشگاه یزد.
۷۱. مشایخ‌فریدنی، سعید. (۱۳۹۲). "پژوهش در هنر مهندسی و الهام از طبیعت". فصلنامه مسکن و محیط روستا، دوره ۳۲، شماره ۱۴۳، ص ۷.

۷۲. مشکسار، مهشاد؛ روشن ضمیر، علی. (۱۳۹۰). "بررسی سازه های متحرک و باز و بسته شونده با نمونه موردی آمفی تئاتر کارلوس موسیلی". دومین کنفرانس بین المللی معماری و سازه. تهران.
۷۳. مصطفوی، ایرج؛ سلطانی، باقر؛ انتظاری، فضل الله؛ میرشجاع، نادیا؛ بنایان، فاطمه؛ باقرزاده، نازنین؛ علاالدین، فریده. (۱۳۹۸). گزارش تحلیلی کومش اداره کل هواشناسی سمنان سالنامه زراعی ۹۸-۹۷. اداره کل هواشناسی استان سمنان.
۷۴. منعم، علیرضا. (۱۳۹۰). پایان نامه دکتری: "آسایش محیطی در فضاهای باز شهری؛ ارزیابی آسایش حرارتی در بوستان های منتخب شهر تهران". دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران.
۷۵. مهدوی نژاد، محمدجواد؛ فرج اللهی راد، امیر؛ کرم، علی. (۱۳۹۰). "معماری انعطاف پذیر، رویکردی به همسازی معماری و سازه"، دومین کنفرانس بین المللی معماری و سازه. تهران، دانشگاه تهران، قطب علمی فناوری معماری پردیس هنرهای زیبا.
۷۶. مور، فولر. (۱۳۹۲). درک رفتار سازه ها. گلابچی، محمود. انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص ۵۰.
۷۷. نویفرت، ارنست؛ نویفرت، پیتر. (۲۰۱۹). اطلاعات معماری نویفرت ۲۰۱۹. محمدی، کوروش. انتشارات مهرازان.
۷۸. واسعی، مازیار. آصفی، نازنین. (۱۳۹۷). "طراحی و فرمیابی سایه بان فضای جمعی با سطوح حداقل". کنفرانس بین المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران. تهران.
۷۹. وکیلی نژاد، رزا. (۱۳۹۸). "بررسی ضرورت آموزش جامع شبیه سازی انرژی به دانشجویان کارشناسی ارشد معماری". فصلنامه آموزش مهندسی/ایران، سال ۲۱، شماره ۸۳، صص ۷۹-۱۰۰.
۸۰. هاشمی، محمود؛ علوی پناه، کاظم؛ دیناروندی، مرتضی. (۱۳۹۲). "ارزیابی توزیع مکانی دمای سطح زمین در محیط زیست شهری با کاربرد سنجش از دور حرارتی". نشریه محیط شناسی، سال ۳۹، شماره ۱.
۸۱. یعقوبی، مهدی. (۱۳۹۵). "معماری شهر سمنان بر اساس شاخص های آسایش حرارتی". اولین همایش ملی معماری ماندگار. دماوند.

۸۲. یوسفیان، سمیرا. (۱۳۹۱). پایان نامه ارشد: "استفاده بهینه از جریان هوا در طراحی فضاهای شهری، نمونه موردی: طراحی فاز چهارم شهرک اکباتان". دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس.

83. Ahriz, Atef; Zemmouri, Noureddine; Fezzai, Soufiane. (2015). SPUCAL_mrt as a new model for estimating the mean radiant temperature in arid lands. *Energy Procedia*. 74. 273-280.
84. Alexander, JAMES. M. (1980). **Lightweight -Expandable-Support Shelter System**. College of Design Architecture & Art University of Cincinnati.
85. Ali-Toudret, Fazia. (2005). **Dependence of Outdoor Thermal Comfort on Street Design in Hot and Dry Climate**; Ph.D. Thesis, Universität Freiburg.

86. Altavilla. F, Vicari. B, Hensen, Filippi. M. (2004), **Simulation tools for building energy design**. PhD symposium "Modelling and Simulation for Environmental Engineering", Czech Technical University in Prague, 16 April, pp 39-46.
87. ASHRAE. (2010). **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. ANSI/ASHRAE Standard 55-2010. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta.
88. B.N. Bridgens, P.D. Gosling, M.J.S Birchall. (2005). **"Tensile fabric structures: concepts, practice and developments."** *The structural engineers* 21-28.
89. Belda, E.F. (2003). **Constructive problems in deployable structure of Emilio Perez pinero**. *Transactions on the Built Environment*, 21, 141-142.
90. Berger, Horst. (2005). **Light structure- structures of light**. AuthorHouse publisher. Bloomington, USA.
91. Bruse, M & Fleer, H. (1998). **Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three- simentional numerical model**. *Environment modelling and software*, 13, 373-384.
92. Cao, X., Onishi, A., Chen, J., Imura, H. (2010). **Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data**. *Landscape and Urban Planning*, vol. 96, pp. 224-231.
93. Chappells H, Shove E. (2004). **Comfort: A review of philosophies and paradigms**. Lancaster University, available at: http://www.lancaster.ac.uk/fass/projects/futcom/fc_litfinal.pdf.
94. Chen, Liang & Ng, Edward. (2012). **Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decades**. *Cities*, 29, 118-125.
95. Cheng, Vicky. Ng, Edward. Chan, Cecilia & Givoni, Baruch. (2011). **Outdoor thermal comfort study in sub-tropical climate: a longitudinal study based in Hong Kong**. *Int J Biometeorol*.
96. CIBSE (1999). **Environmental design, CIBSE Guide A**. Chartered Institution of Building Services Engineers.
97. Cohen, P. Potchter, O. Matzarakis, A. (2012). **Daily and seasonal climatic conditions of green urban open spaces in the Mediterranean climate and their impact on human comfort**. *Building and Environment*, vol. 51, pp. 285-295.
98. Davis, Robert E. Knight, David. Hondula, David. Knappenberger, Paul C. (2006). **A comparison of biometeorological comfort indices and human mortality during heat waves in the united states**. 17th Symposium on Boundary Layers and Turbulence, 27th Conference on Agricultural and Forest Meteorology, 17th Conference on Biometeorology and Aerobiology - San Diego, CA, United States.
99. Elnokaly, Amira. Chilton, J.C & Wilson, Robin . (2002). **Environmental behaviour of tensile membrane structures**. Conference: The World Conference on Technology Advances for Sustainable Development (Energy, Water, and Environment).
100. Faegre, T. (1979). **Architecture of the Nomads**. John Murray Publishers Ltd. London, Great Britain.

101. Fanger, P. o. (1970). **Thermal Comfort Copenhagen**. Denmark: Danish Technical Press.
102. Forester, Brian & Mollaert, Marijke. (2004). **European Design Guide for Tensile Surface structures**. Brussels: Tensinet publisher.
103. Fox, M. (2007). **Flexible: Architecture that Responds to Change**. Laurence King Publishers.
104. Gadacz, Rene R. (9 June, 2020). **Tipi**. Last edited at September 27, 2017. <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/tipi>.
105. Givoni B, Noguchi M, Saaroni H, Pochter O, Feller N, et al. (2003). **Outdoor comfort research issues**. *Energy Build*, 35, 77-86.
106. Goppert, K. (2007). **A Spoked Wheel Structure for the World's largest Convertible Roof – The New Commerzbank Arena in Frankfurt, German**. *Journal of Structural Engineering International*. pp. 28–287.
107. Gosling, Simon N. Bryce, Erin K. Grady, Dixon P. Gabriel, Katharina M.A. Gosling, Elaine Y. Hanes, Jonathan M. Hondula, David M. Liang L. Mac, Lean P. A. B. Muthers, S. Nascimento, S. T. Petralli, M. Vanos, Jennifer K. and Wanka, Eva R. (2014). **A glossary for biometeorology**. *Int J Biometeorol*, No. 58, pp. 277–318.
108. He, Jiang & Hoyano, Akira. (2009). **Measurement and simulation of the thermal environment in the built space under a membrane structure**. *Building and environment*, 44.
109. He, Jiang & Hoyano, Akira. (2010). **Measurement and evaluation of the summer microclimate in the semi-enclosed space under a membrane structure**. *Building and environment*, 45.
110. Hebbelinck S, Mollaent M & Hasse J. (2004). **From small parts of large structures**. *Beven mit texhlien heft*.
111. Hensen. J, (2002). **Simulation for performance-based building and systems design: some issues and solution directions**. 6th International Conference on Design and Decision Support Systems in Architecture and Urban planning, pp 1-14.
112. Hoppe, P.R. (1999). **The physiological equivalent temperature: a universal index for the assessment of the thermal environment**. *International Journal of Biometeorology*, 43, 71-75.
113. Hu, Jianhui. Chen, Wujun. Zhang, Sihao. Yin, Yue. Li, Yipo. Yang, Deqing. (2018). **Thermal characteristics and comfort assessment of enclosed large-span membrane stadiums**. *Applied energy*, 220, 728-735.
114. Ishii, K. (2000). **Structural Design of Retractable Roof Structures**, WIT Press.
115. Kostic, Dragon. Milosevic, Vuk. Bogdanovic, Veliborka. Vasov & Miomir. Vucur, Aleksandar. (2018). **Influence of Single and Double Membrane Roofs on Thermal Behaviour of Enclosed Space**. *Technical Gazette*. No. 25.
116. Kronenburg Robert. (1995). **Houses in motion: The genesis history and development of the portable building**. Academy publisher. New York, USA.

117. Kuusisto, Terhi Kristina. (2008). **Textile in Architecture**. Master Thesis, Tampere University of Technology.
118. Lenzholzer S. (2012). **Research and design for thermal comfort in Dutch urban squares**. Resources, Conservation and Recycling, Vol. 64, pp. 39-48.
119. Lin, Tzu-ping. Matzarakis, Andreas & Hwang, Ruey-lung. (2010). **Shading effect on long-term outdoor thermal comfort**. *Building and Environment* 45, pp. 213-221.
120. Makaremi, Nastaran. Salleh, Elias. Zaky Jaafar, Mohammad. GhaffarianHoseini, AmirHosein. (2012). **Thermal comfort conditions of shaded outdoor spaces in hot and humid climate of Malaysia**. *Building and Environment*, 48, 7-14.
121. Mayer H, Höppe P. (1987). **Thermal comfort of man in different urban environments**. *Theoretical and Applied Climatology*. No 38. 43–49.
122. Melin, Nicolas O'Brien. (2004). PHD dissertation: “**Application of Bennett Mechanisms to long-span shelters**”. Department of Engineering Science at the Oxford university.
123. Metje, Nicole. Sterling, Mark & Baker, C.J. (2008). **Pedestrian comfort using clothing values and body temperatures**. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 96(4):412-435.
124. Middel A, Selover N, Hagen B, Chhetri N. (2016). **Impact of shade on outdoor thermal comfort**—a seasonal field study in Tempe, Arizona, *International Journal of Biometeorol*, Vol. 60, pp. 1849–1861.
125. Nardecchia, Fabio; Di Bernardino, Annalisa; Pagliaro, Francesca; Monti, Paolo; Leuzzi, Giovanni; Gugliermetti, Luca. (2018). **CFD Analysis of Urban Canopy Flows Employing the V2F Model: Impact of Different Aspect Ratios and Relative Heights**. *Advances in Meteorology*.
126. Nikolopoulou, Marialena. Baker, Nick. Steemers, Koen. (2001). **Thermal comfort in outdoor urban spaces: Understanding the Human parameter**; *Solar Energy*, 70(3). pp 227-235.
127. Norberg-Schultz, Christian. (1980). **Meaning in western architecture**. Rizzoli International Publications. New York, USA.
128. Perini, K., Magliocco, A. (2014). **Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort**. *Urban Forestry & Urban Greening*.
129. Román-Roldán, Nicolás-Iván; López-Ortiz, Anabel; Ituna-Yudonago, Jean-Fulbert; García-Valladares, Octavio; Pilatowsky-Figueroa, Isaac. (2018). **Computational fluid dynamics analysis of heat transfer in a greenhouse solar dryer “chapel-type” coupled to an air solar heating system**. *Energy Science and engineering*.
130. Setaih Kh, Hamza N, Townshend T. (2013). **Assessment of outdoor thermal comfort in urban microclimate in hot arid areas**. 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, August 26-28.

131. Staiger, H. Bucher, K. Jendritzky, G. (1997). Gefühlte Temperatur. **Die physiologisch gerechte Bewertung von Wärmebelastung und Kältestress beim Aufenthalt im Freien in der Maßzahl Grad Celsius.** *Annalen der Meteorologie*, 33.
132. Sultana, Latifa & Bari, Nafisa. (2019). **A Study on the Impact of Tensile Fabric Structure in Semi-Outdoor Spaces of Tropical Cities.** *International Journal of New Innovations in Engineering and Technology*.
133. SunSmart Victoria, 2015, Shade Guidelines, Cancer Council Victoria, Melbourne. <https://www.sunsmart.com.au/>.
134. Szücs, A. (2013). **“Wind comfort in public urban space- case study within Dublin Docklands”.** *Frontiers of Architectural Research*.
135. Taleb H, Taleb D. (2014). **"Enhancing the thermal comfort on urban level in a desert area: Case study of Dubai, United Arab Emirates".** *Urban Forestry & Urban Greening*, 13.
136. Taleghani, Mohammad; Kleerekoper, Laura; Tenpierik, Van den & Dobbelaar Andy. (2014). **“Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands”.** *Building and Environment*.
137. Targhi, M. Z & Van Dessel, S. (2015). **Potential Contribution of Urban Developments to Outdoor Thermal Comfort Conditions: The Influence of Urban Geometry and Form in Worcester, Massachusetts, USA.** *Procedia Engineering*, 118. pp 1153-1161.
138. Walton, Darton Kenneth, Donn, Michael. (2007). **The relative influence of wind, sunlight and temperature on user comfort in urban outdoor spaces.** *Building and Environment* 42.
139. Wilson, Robin. Devulder, Thaibault & Chilton, John. (2007). **The thermal behaviour of buildings incorporating single skin tensile membrane structures.** *International Journal of Low-Carbon Technologies* 2(20).
140. Woong Kwon, Choul & Lee, Kang Jun. (2017). **Outdoor Thermal Comfort in a Transitional Space of Canopy in Schools in the UK.** *Sustainability* 2017, 9(10), 1753.
141. Yahia, M. Johansson, E. (2014). **Landscape interventions in improving thermal comfort in the hot dry city of Damascus, Syria _ The example of residential spaces with detached buildings.** *Landscape and Urban Planning*. Vol.125, pp. 1-16.
142. Yu. J; Yang. Ch; Tian. L. (2008) **.Low-Energy Envelope Design of Residential Building in Hot Summer and Cold Winter in China.** *Journal of Energy and Building*, vol.40, pp 1536-1546.
143. www.Asemaneh.com
144. www.LadyBug.tools
145. www.mesonet.agron.iastate.edu
146. www.Ansys.com

Abstract

The human need for presence in open spaces and the influential role of climate in urban activities and behaviors, reveals the need to pay attention to external thermal comfort. In urban open spaces, especially in large cities with warm climates, users of urban spaces are exposed to high thermal loads, which causes thermal discomfort. By controlling radiation and shading, thermal comfort in the open air can be improved. By recognizing the factors that create shadows, such as canopies and their characteristics, a favorable space can be created to enjoy the capabilities of the outdoor space. The new membrane structures have many of the characteristics of nomadic tents such as use of natural materials, daylight, and are very suitable for areas with hot climates by providing shade and natural ventilation. The present study investigates the effect of lightweight membrane canopy on outdoor thermal comfort in Semnan city with hot and dry climate by library and simulation studies with Ansys Fluent, ENVI-met and Lady Bug. According to the studies, the presence of membrane canopy reduces the temperature up to 5 degrees Celsius. The simulation results also showed that the membrane canopy cools the space below and prevents the earth from overheating, Among the four models of: simple membrane canopy, conical, umbrella and saddle, saddle canopy is the suitable model of canopy and has a good performance and creates a cooler space under the canopy. Therefore, saddle lightweight membrane canopy with dimensions of 5x5 square meters and a useful height of 3 meters is introduced as the suitable model of membrane canopy for using by people in open urban spaces in hot and dry climates.

Keywords: Membrane structure, Canopy, Outdoor thermal comfort, Hot and dry climate, Semnan city, Energy software



Shahrood University of
Technology

Faculty of Architecture and Urbanism

M.Sc. Thesis in Architecture

The Flexible Lightweight Membrane Canopy Design in Order to Provide Thermal Comfort in Hot and Dry Climate

By: Sepideh Jafarian

Supervisors:

Dr. Elham Sarkardehee

Dr. Danial Monsefi Parapari

Advisor:

Dr. Mohammadreza Mojahedi

Bahman, 1399