

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و رباتیک

گروه برق - کنترل

پایان نامه کارشناسی ارشد

پیش بینی بلندمدت مصرف برق پتروشیمی رجال با استفاده از روش سری های زمانی آشوبی

سلماز فرهید

اساتید راهنما:

دکتر حسین قلی زاده نرم

دکتر محمد حداد ظریف

شهریورماه ۱۳۹۴

تقدیم بہ؛

تقدیم بہ دوفرشتہ ای کہ از خواستہ ہایشان گذشتند، سختی ہا را بہ جان خریدند و خود را سپر ہلای مشکلات و ناملایمات کردند

تا من بہ جایگاہی کہ اکنون در آن ایستادہ ام برسم. مادر عزیزتر از جانم، سنگ صبور می کہ انقبای زندگی بہ من

آموخت و پدر مہربانم، کوہی استوار و حامی من در طول تمام زندگی.

تقدیم بہ خواہرم، ہمراہ، ہمیشگی و پشتوانہ می زندگیم.

تقدیم بہ تمام عزیزانی کہ نفس خیرشان و دعای روح پرورشان بدرقہ می راہم بود.

سپاس:

باتقدیر و تشکر شایسته از اساتید فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر حسین قلی زاده نرم و دکتر محمد حداد طریف که با نکته های دلاویز و گفته های بلند، صحیفه های سخن را علم پرور نمودند و همواره راهبنا و راه گشای مکارنده در اتمام و اکمال پایان نامه بودند.

معلمقامت ز عرش برتر باد

همیشه توست اندیشه ات مظفر باد

تعهد نامه

اینجانب **سلماز فرهید** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته برق و کنترل دانشکده برق و رباتیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه **پیش‌بینی بلندمدت مصرف برق پتروشیمی رجال با استفاده از روش سری های زمانی آشوبی تحت راهنمایی دکتر حسین قلی زاده نرم و دکتر محمد حداد ظریف** متعهد می شوم.

- 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 شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « Shahrood University » 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 ۹۴/۰۶/۳۱

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 شاهرود می باشد. 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 نمی باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

چکیده

مدلسازی تحلیلی بسیاری از فرآیندهای واقعی بدون وجود معادلات دیفرانسیلی و جبری غیرممکن و یا بسیار دشوار است. در چنین مواردی می توان از سری های زمانی جهت تحلیل فرآیند مورد نظر استفاده نمود. در این پایان نامه، هدف پیشنهاد بسته خرید از بازار برق به منظور کاهش هزینه ها می باشد. بدین منظور مصرف برق پتروشیمی رجال با استفاده از روش های آشوبی بصورت بلندمدت پیش بینی می گردد. در این راستا ابتدا سری های زمانی آشوبی بررسی شده و نحوه بازسازی فضای فاز توسط محاسبه شاخص های سری های زمانی آشوبی مانند زمان تأخیر و بعد محاط بیان می گردد. سپس پیش بینی به روش نزدیکترین همسایه روی داده های درونیابی و نویزگیری شده ی سری زمانی آشوبی انجام می شود. ارزیابی روش استفاده شده با مشاهده نتایج شبیه سازی بر روی یکی از سیستم های آشوبی شناخته شده، بررسی می گردد. در نهایت برای برنامه ریزی خرید برق مصرفی پتروشیمی رجال از یک بازار برق دو جانبه، تابع هزینه ای تعریف می شود که بر مبنای پیش بینی انجام شده بر روی داده های ساعتی مصرف برق این شرکت و توزیع فراوانی آماری می باشد. تحلیل نتایج بیانگر برتری و سودمندی بسته خرید پیشنهادی است.

کلمات کلیدی : سری زمانی آشوبی، بازار برق، بازسازی فضای فاز، پیش بینی، نمودار توزیع فراوانی

فهرست مطالب

ط.....	فهرست اشکال
ی.....	فهرست جداول
۱.....	فصل ۱- مقدمه
۲.....	۱-۱- مقدمه
۲.....	۱-۲- مروری بر کارهای گذشته
۴.....	۱-۳- ساختار پایان نامه و ضرورت انجام کار
۷.....	فصل ۲- مبانی تئوری
۸.....	۲-۱- سری های زمانی
۹.....	۲-۲- معرفی چند سیستم آشوبی
۹.....	۲-۲-۱- سیستم آشوبی لجستیک
۹.....	۲-۲-۲- سیستم آشوبی هین
۱۰.....	۲-۲-۳- سیستم آشوبی لورنز
۱۰.....	۲-۲-۴- سیستم آشوبی راسلر
۱۰.....	۲-۳- ویژگی های سری های زمانی آشوبی
۱۲.....	۲-۳-۱- بررسی اثر حساسیت
۱۳.....	۲-۴- بازسازی فضای فاز
۱۴.....	۲-۴-۱- محاسبه پارامتر زمان تأخیر
۱۶.....	۲-۴-۲- انتخاب بعد محاط
۱۹.....	فصل ۳- پیش بینی سری های زمانی آشوبی
۲۰.....	۳-۱- پیش بینی بلندمدت سری های زمانی
۲۰.....	۳-۱-۱- روش همانندی یا نزدیکترین همسایه
۲۱.....	۳-۱-۲- روش تقریب خطی
۲۳.....	۳-۲- بررسی دقت و صحت روش آشوبی
۲۳.....	۳-۲-۱- محاسبه زمان تأخیر برای سری زمانی لورنز

۲۴	۳-۲-۲- تخمین بعد محاط برای سری زمانی لورنز
۲۵	۳-۲-۳- پیش‌بینی سری زمانی لورنز
۲۶	۳-۳- سری زمانی مصرف برق پتروشیمی رجال
۲۷	۳-۳-۱- محاسبه زمان تأخیر
۲۷	۳-۳-۲- محاسبه بعد محاط
۲۸	۳-۳-۳- پیش‌بینی بر روی داده‌های درون‌یابی نشده
۳۰	۳-۳-۴- پیش‌بینی بر روی داده‌های درون‌یابی شده
۳۲	۳-۴- مقایسه پیش‌بینی داده‌های درون‌یابی شده با داده‌های درون‌یابی نشده
۳۳	فصل ۴- بررسی شرکت پتروشیمی رجال در بازار برق
۳۴	۴-۱- بازار برق
۳۴	۴-۲- طبقه‌بندی بازار
۳۶	۴-۳- ساختار اجرایی بازار معاملات دوجانبه متمرکز
۳۷	۴-۴- معرفی بسته خرید در قرارداد دو جانبه
۳۹	۴-۴-۱- مراحل انجام کار
۵۰	۴-۵- تأمین برق یک ماه پتروشیمی رجال از بازار برق
۵۱	۴-۶- نتیجه
۵۳	فصل ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۵۴	۵-۱- نتیجه‌گیری
۵۴	۵-۲- پیشنهادات
۵۶	مراجع
۵۹	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

فهرست اشکال

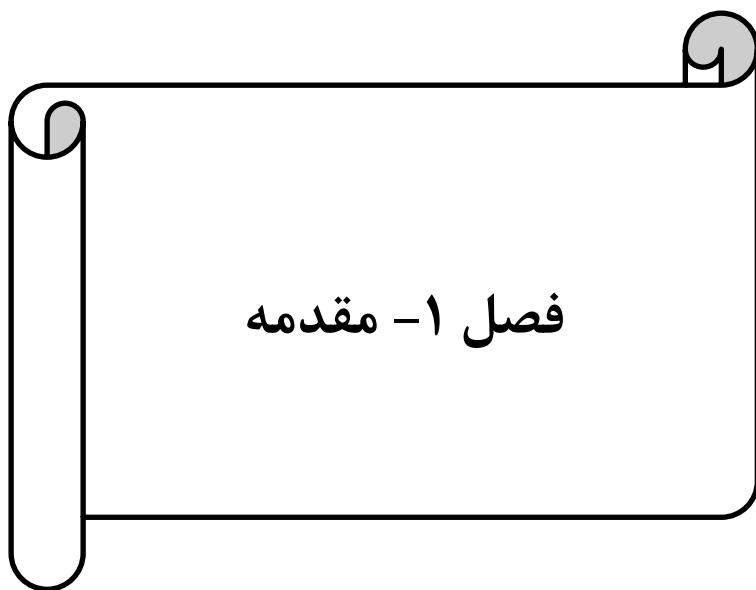
- شکل (۱-۲) الف: جاذب عجیب در سری زمانی هنن ۱۱
- شکل (۱-۲) ج: جاذب عجیب در سری زمانی راسلر ۱۱
- شکل (۱-۲) ب: جاذب عجیب در سری زمانی لورنز ۱۱
- شکل (۲-۲): (a) سری زمانی آشوبی لورنز با دو شرایط اولیه بسیار نزدیک به هم (b) اختلاف موجود بین دوسری پس از گذشت زمان ۱۲
- شکل (۱-۳): روش نزدیکترین همسایه ۲۱
- شکل (۲-۳): نمودار اطلاعات متقابل برای سری زمانی لورنز ۲۴
- شکل (۳-۳): نمودار تعداد همسایگی کاذب در ابعاد مختلف برای سری زمانی لورنز ۲۴
- شکل (۴-۳): بازسازی فضای فاز سری زمانی لورنز ۲۵
- شکل (۵-۳): (a) پیش بینی سری زمانی لورنز به روش همانندی (b) خطای پیش بینی ۲۵
- شکل (۶-۳): نمودار اطلاعات متقابل برای سری زمانی مصرف برق پتروشیمی رجال ۲۷
- شکل (۷-۳): نمودار تعداد همسایگی کاذب برای سری زمانی مصرف برق پتروشیمی رجال ۲۸
- شکل (۸-۳) الف: داده‌های نویزدایی شده مصرف برق پتروشیمی رجال ۲۸
- شکل (۸-۳) ب: بزرگنمایی شده‌ی قسمتی از شکل (۸-۳) الف ۲۹
- شکل (۹-۳): (a) پیش‌بینی داده‌های نویزدایی شده مصرف برق پتروشیمی رجال به روش همانندی (b) خطای پیش‌بینی ۲۹
- شکل (۱۰-۳) الف: داده‌های درونیابی و نویزدایی شده مصرف برق پتروشیمی رجال ۳۰
- شکل (۱۰-۳) ب: بزرگنمایی شده‌ی قسمتی از شکل (۱۰-۳) الف ۳۱
- شکل (۱۱-۳): (a) پیش‌بینی داده‌های درونیابی و نویزدایی شده مصرف برق پتروشیمی رجال به روش همانندی (b) خطای پیش‌بینی ۳۱
- شکل (۱-۴): ساختار بازار روزانه پس از تشکیل بازار معاملات دو جانبه [۳۷] ۳۵
- شکل (۲-۴): فلوچارت رسم نمودار فراوانی جهت بدست آوردن بهترین بازار پیشنهادی از روی تا هزینه (۱-۴) ۴۱
- شکل (۳-۴): نمودار سه کمینه اول مقادیر تابع هزینه در پنجاه مرتبه تکرار برای شماره‌های تصادفی ۴۶
- شکل (۴-۴): نمودار توزیع فراوانی آماری برای کمینه‌های اول مقادیر تابع هزینه در پنجاه مرتبه ۴۷
- شکل (۵-۴): نمودار توزیع فراوانی آماری برای کمینه‌های دوم مقادیر تابع هزینه در پنجاه مرتبه ۴۸
- شکل (۶-۴): نمودار توزیع فراوانی آماری برای کمینه‌های سوم مقادیر تابع هزینه در پنجاه مرتبه ۴۸
- شکل (۷-۴): نمودار فراوانی آماری برای سه کمینه اول مقادیر تابع هزینه در پنجاه مرتبه ۴۹

فهرست جداول

جدول (۴-۱): سه کمینه اول مقادیر تابع هزینه در پنجاه مرتبه تکرار برای شماره‌های..... ۳۹

جدول (۵-۲): مقایسه‌ی هزینه خرید برق مصرفی به طور معمول با هزینه خرید برق مصرفی از بازار ده

روزه..... ۴۷



۱-۱- مقدمه

با توجه به نقش کلیدی انرژی الکتریکی در اقتصاد ملی و تأثیر آن به عنوان یک زیرساخت اساسی در توسعه سایر بخش‌ها، شناخت فرایند و پیش‌بینی مصرف انرژی الکتریکی در افق بلندمدت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. علاوه بر این به دلیل هزینه‌های بسیار زیاد تولید انرژی الکتریکی و لزوم برنامه‌ریزی به منظور تأمین بودجه مورد نیاز، پیش‌بینی تقاضای بلندمدت مصرف برق اجتناب ناپذیر است، این بحث در کشورهای در حال توسعه به دلیل رشد سریع مصرف انرژی الکتریکی از اهمیت دوچندان برخوردار است. علاوه بر تخمین بودجه مورد نیاز، محاسبه ظرفیت های مورد نیاز و برنامه‌ریزی انرژی در بخش‌های مختلف، نیازمند شناخت مدل مصرف و عوامل تأثیرگذار بر آن است [۱]. پیش‌بینی دقیق بار با کاهش هزینه‌ها و بهبود ایمنی بهره‌برداری، به شرکت‌های برق این اجازه را می‌دهد که با قیمت بهینه به تولید، خرید و فروش انرژی بپردازند. پیش‌بینی‌های انجام شده در این حوزه با سه رویکرد کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت انجام شده‌اند [۲].

۱-۲- مروری بر کارهای گذشته

سری‌های زمانی در بسیاری از رشته‌های علوم مانند آمار، ژئوفیزیک، اقتصاد، پزشکی، مهندسی ارتباطات، هواشناسی و ... کاربرد فراوانی دارد. دامنه کاربردهای سری‌های زمانی روز به روز گسترده‌تر می‌شود و نیاز دانش‌پژوهان در این زمینه افزون‌تر می‌گردد. از کاربردهای پیش‌بینی سری‌های زمانی می‌توان به پیش‌بینی قیمت سهام در بازار بورس اشاره کرد. سقوط بازار سهام آمریکا در اکتبر ۱۹۸۷ و عوامل دیگر باعث شد که تحقیقات در بحث‌های مالی جهت تازه ای پیدا کند و اعتبار نظریه‌های دهه‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ که مبتنی بر سیستم‌های غیرخطی و توزیع نرمال بودند را، مورد تردید قرار داد. در واقع ماهیت آشوبی نوسانات قیمت‌ها در بازار سهام و دیگر عوامل باعث شد که از سال ۱۹۸۰ پیش‌بینی سری‌های زمانی آشوبی از موضوعات مورد علاقه محققان گردد [۳، ۴]. از دیگر کاربردهای سری‌های زمانی و تجزیه و تحلیل آشوبی آن‌ها در سیگنال‌های حیاتی مانند، دینامیک تنفسی [۵].

سیگنال کمپلکس الکتریکی معده [۶]. EOG ، EEG ، EMG و است [۷]. که در این موارد سیگنال حیاتی را به عنوان سری‌های زمانی آشوبی در نظر گرفته و با تجزیه و تحلیل آشوبی آن‌ها سعی در تشخیص بیماری‌ها و تفکیک آن‌ها داشته‌اند. همچنین از تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی آشوبی مانند دما و رطوبت و سایر پدیده‌های آب و هوایی در روزهای متوالی برای پیش‌بینی آب و هوا استفاده شده است [۸]. پیش‌بینی میان‌مدت و بلندمدت انرژی الکتریکی مورد نیاز از اوایل دهه ۵۰ میلادی مورد توجه قرار گرفته است. در [۹] مصرف برق در کشور چین در بلندمدت، میان‌مدت و کوتاه‌مدت پیش‌بینی شده و پارامترهای تأثیرگذار در آن، ذکر شده است. از آنجا که پیش‌بینی بار در برنامه ریزی واحدها، راه اندازی، واحدهای حرارتی نقش مهمی را بازی می‌کند لذا در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است و تعداد عوامل تأثیرگذار بر تولید و مصرف انرژی افزایش یافته است. چون برای خدمات برق شهری به حداکثر رساندن عملکرد سیستم و برآورده نمودن نیازهای رو به رشد انرژی در آینده، مسئله‌ی مهمی محسوب می‌شود. پیش‌بینی بار الکتریکی به امری مهم برای خدمات برق شهری مبدل گردیده است [۱۰]. پیش‌بینی بار پیاده‌سازی تصمیمات درست و به موقعی که باعث بهبود قابلیت اطمینان شبکه، کاهش خرابی، کاهش خاموشی، برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت انرژی، توسعه راهبردی منابع انرژی و ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضا می‌گردد را فراهم می‌کند. لذا انجام پیش‌بینی موفق یکی از دغدغه‌های اصلی محققان و برنامه‌ریزان واحدهای خدمات برق شهری است. پیش‌بینی به چند دسته‌ی پیش‌بینی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت تقسیم‌بندی می‌شود [۱۱]. در سال‌های گذشته تلاش‌های زیادی برای پیش‌بینی موفق بار الکتریکی انجام شده است. ولی با توجه به پیچیدگی‌های سری زمانی مصرف بار شبکه، تحقیقات کمی در زمینه‌ی پیش‌بینی بلندمدت انجام گردیده و بیشتر تلاش‌ها بر پیش‌بینی کوتاه‌مدت متمرکز بوده است [۱۲]. کارهای انجام شده در این زمینه با توجه به دو روش استفاده‌ی تنها از بار الکتریکی [۱۳] و استفاده از عوامل خارجی مانند پارامترهای آب و هوایی، رطوبت، درجه حرارت، جهت باد، دما و رشد اقتصادی [۱۴] را در کنار بار الکتریکی تقسیم بندی کرد. واضح است که پیش‌بینی عوامل خارجی همچون دما، رطوبت

و ... در پیش‌بینی بلندمدت کاری پیچیده و به سختی پیش‌بینی بار است و این یک مشکل محسوب می‌شود [۱۳]. پس با توجه به کارایی و سادگی استفاده از بار خالص، معمولاً از این روش برای پیش‌بینی‌ها استفاده می‌گردد.

در [۲] با استفاده از دینامیک آشوب، سری زمانی مصرف بار شبکه را مورد پیش‌بینی قرار داده و توانایی موفق دینامیک آشوب را در پیش‌بینی بار نشان داده است. با تعیین پارامترهای بازسازی، فضای فاز را بازسازی نموده و روش تقریب خطی را برای پیش‌بینی استفاده کرده است و آن را با روش‌های شبکه عصبی و سری زمانی مقایسه کرده است. نتیجه‌ی بدست آمده بیانگر برتری روش تقریب خطی نسبت به روش سری زمانی است. به رغم رقابت نزدیک میان روش تقریب خطی و شبکه عصبی، برتری روش شبکه‌ی عصبی بر روش تقریب خطی نتیجه شده است. اما در این مقاله افق پیش‌بینی کم و پیچیدگی زیاد از معایب کار بوده است. روش‌های مبتنی بر اتورگرسیو^۱ [۱۵]، منطق فازی [۱۶]، شبکه‌های عصبی مصنوعی [۱۷]، روش‌های هوشمند بهینه‌سازی [۱۸ و ۱۹]، ماشین بردار پشتیبان^۲ [۲۰]، روش‌های تصادفی [۲۱]، بخشی از تلاش‌هایی هستند که در سال‌های اخیر در زمینه‌ی پیش‌بینی بار الکتریکی انجام شده است.

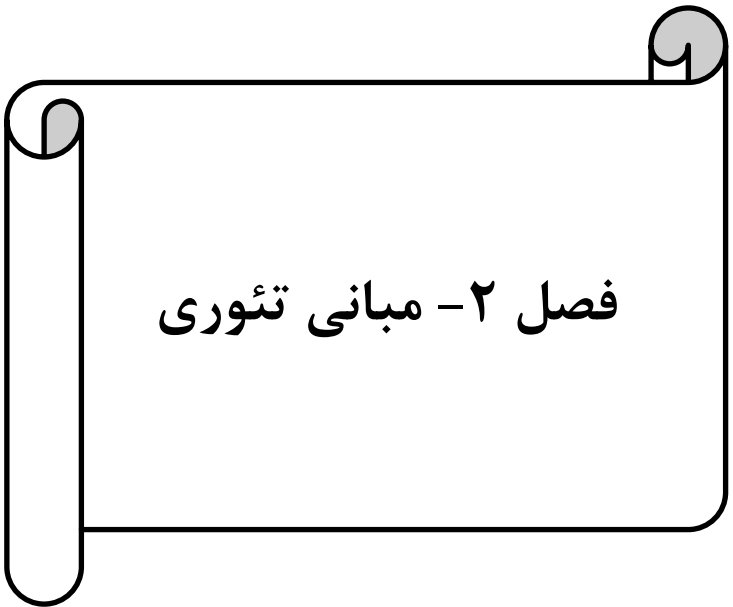
۱-۳- ساختار پایان‌نامه و ضرورت انجام کار

از آنجا که بیشتر تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی پیش‌بینی بار بر روش‌هایی نظیر هوش مصنوعی و سری‌زمانی و ... متمرکز بوده است و دیدگاه آشوب از سوی محققان بسیار اندک مورد توجه قرار گرفته است. لذا بر آن شدیم که به پیش‌بینی مصرف بار با استفاده از روش‌های آشوبی پردازیم. بدین منظور ابتدا داده‌های مصرف برق پتروشیمی رجال را به عنوان یک سری زمانی آشوبی در نظر می‌گیریم [۲] [و با بدست آوردن پارامترهای بازسازی (بعد محاط و زمان تأخیر) مناسب، فضای فاز را بازسازی می‌کنیم و پس از آن به پیش‌بینی مصرف بار از روش نزدیکترین همسایه (همانندی) می‌پردازیم. در

¹ Auto regressive

² Support Vector Machine

نهایت برای برنامه‌ریزی خرید برق پتروشیمی رجال به مدلسازی یک بازار برق دو جانبه می‌پردازیم. سپس بر مبنای پیش‌بینی انجام شده بر روی داده‌های ساعتی مصرف برق این شرکت، توزیع فراوانی آماری و تعریف یک تابع هزینه‌ی مناسب، بسته خرید را پیشنهاد می‌دهیم. صرفه جویی اقتصادی، خرید برق با کیفیت بهتر، اولویت در تأمین برق و نیز سادگی روش از مزایای این کار می‌باشند. این پایان‌نامه در شش فصل تدوین شده است. در فصل اول مقدمه، ضرورت انجام کار و ساختار پایان‌نامه را بیان کردیم. در فصل دوم به مبانی تئوری و تعریف سری‌های زمانی آشوبی می‌پردازیم. در فصل سوم با بدست آوردن زمان تأخیر و بعد محاط برای سری زمانی لورنز و داده‌های مصرف برق پتروشیمی رجال، فضای فاز را بازسازی می‌کنیم. سپس به پیش‌بینی سری زمانی لورنز و داده‌های مصرف برق پتروشیمی رجال به روش نزدیکترین همسایه می‌پردازیم. در فصل چهارم به بررسی شرکت پتروشیمی رجال در بازار برق می‌پردازیم و با تعریف یک تابع هزینه‌ی مناسب، بسته خرید را پیشنهاد می‌دهیم. در فصل پنجم نتایج حاصل از این تحقیق و پیشنهادات برای ادامه‌ی کار را ارائه می‌نماییم.



فصل ۲ - مبانی تئوری

۲-۱- سری‌های زمانی

مدلسازی تحلیلی و دقیق بسیاری از سیستم‌های طبیعی به علت نامشخص بودن تمام عوامل موثر بر آنها و در دسترس نبودن معادلات دقیق و کامل ریاضی حاکم بر این سیستم‌ها بسیار دشوار است. درحالی که برای تحلیل و پیش‌بینی هر پدیده نیازمند مدلی هستیم که بیانگر معادلات حاکم بر آن باشد. بنابراین با توجه به در دسترس نبودن معادلات حاکم به سیستم‌های طبیعی و عدم امکان اندازه‌گیری تمام متغیرهای سیستم، سعی بر این است، با استفاده از تجزیه و تحلیل مشاهدات سیستم در طول زمانی معین به شناختی کامل از سیستم رسید. در چنین مواردی می‌توان از سری‌های زمانی جهت تحلیل فرآیند مورد نظر استفاده نمود. در این نگرش، خروجی‌های مشاهده شده فرآیند به صورت سری زمانی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به این که این مشاهدات از یک فرآیند بدست آمده که دینامیک مشخصی بین حالت‌های آن برقرار است، ارتباطی بین مشاهدات وجود داشته که مبین دینامیک فرآیند می‌باشد.

هدف از تحلیل سری‌های زمانی را می‌توان در قالب توصیف فرآیند و پیش‌بینی مقادیر آینده برشمرد. در راستای توصیف فرآیند، اولین گام در برخورد با سری‌های زمانی، رسم داده‌ها و حصول معیار توصیفی ساده از خصوصیات سیستم است. در بعضی موارد، مشخصه‌های سری‌های زمانی به وضوح مشاهده می‌گردد و در قالب مدل‌های ساده نیز قابل توصیف است. به عنوان مثال، سری زمانی تغییرات فصلی و یا روندهای بلندمدت که به وضوح دیده شده و به راحتی مدلسازی می‌گردد. لیکن، در بعضی از سری‌های زمانی روش‌های پیچیده‌تری برای ارائه توصیفی مناسب لازم است. به عنوان مثال، شاید لازم باشد که مدل‌های مبتنی بر احتمالات و فرآیندهای تصادفی جهت توصیف سری زمانی ساخته شود. به این ترتیب با استفاده از این مدل می‌توان اثر داده‌های متوالی را بر یکدیگر بررسی و توصیفی از فرآیند تحت بررسی بدست آورد. در مورد سری‌های زمانی برگرفته از سیستم‌های دینامیکی آشوبی^۱ نیز معمولاً از بازسازی فضای فاز برای توصیف سیستم استفاده می‌شود [۲۲].

¹ Chaotic

۲-۲- معرفی چند سیستم آشوبی

در این پایان نامه قبل از به کارگیری الگوریتم‌ها و برنامه‌ها در تجزیه و تحلیل داده‌ها، به منظور اطمینان از دقت کارکرد آنها، از اجرای برنامه‌ها بر روی سری‌های زمانی آشوبی مشهور استفاده کرده- ایم. سری‌های زمانی آشوبی از معادلات دینامیکی آشوبی بدست آمده است. معادلات دینامیکی که از آن‌ها نام برده شده است شامل دو معادله دینامیکی گسسته لجستیک^۱ و هنن^۲ و دو معادله دینامیکی پیوسته زمان لورنز^۳ و راسلر^۴ است. در ضمن معادله دینامیکی که از آن استفاده گردیده، معادله دینامیکی پیوسته زمان لورنز می باشد.

۲-۲-۱- سیستم آشوبی لجستیک

سیستم گسسته آشوبی لجستیک که در رابطه (۱-۲) نشان داده شده است مدل یک سیستم بیولوژیکی است که تغییرات جمعیت موجود زنده، اعم از حیوان یا گیاه، در یک اکوسیستم و تحت تأثیر عوامل مختلف محیط زیست را نشان می‌دهد. در این رابطه پارامتر A برابر ۴ است.

$$x_{k+1} = A \cdot x_k(1 - x_k) \quad (۱-۲)$$

۲-۲-۲- سیستم آشوبی هنن

سیستم آشوبی هنن با دو معادله به شکل رابطه (۲-۲) است. پارامترهای $a = 1/4$ و $b = 0/3$ مد نظر قرار می‌گیرد. داده‌های سری زمانی هنن با حل معادلات این سیستم تولید می‌گردد.

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= 1 - a \cdot x_k^2 + y_k \\ y_{k+1} &= b \cdot x_k \end{aligned} \quad (۲-۲)$$

¹ Logistic

² Henon

³ Lorenz

⁴ Ressler

۲-۲-۳- سیستم آشوبی لورنز

از دیگر سیستم‌های آشوبی زمان پیوسته سیستم آشوبی لورنز است. که در این پایان‌نامه از آن استفاده شده ادوارد لورنز دانشمند هواشناسی بود که در سال ۱۹۶۱، با انتخاب یک مدل ساده شده از پدیده رالی-برنارد که در لایه‌ای از هوا که بر اثر اختلاف دما به وجود می‌آید، پیشنهاد داد که پاسخ و رفتار این پدیده را می‌توان توسط سیستمی از سه معادله دیفرانسیل غیرخطی بدست آورد. این سیستم مطابق رابطه (۳-۲) می‌باشد که در آن $\sigma = 16$ ، $R = 40$ و $b = 4$ است. داده‌های سری زمانی لورنز با حل معادلات این سیستم تولید می‌گردد.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \sigma(y - x) \\ \dot{y} &= x(R - z) - y \\ \dot{z} &= x \cdot y - b \cdot z\end{aligned}\tag{۳-۲}$$

۲-۲-۴- سیستم آشوبی راسلر

این سیستم مطابق رابطه (۴-۲) شامل سه معادله دیفرانسیل غیرخطی است، که در آن $a = 0.2$ ، $b = 0.2$ و $c = 5/7$ است.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -(y + z) \\ \dot{y} &= x + a \cdot y \\ \dot{z} &= b + z(x - c)\end{aligned}\tag{۴-۲}$$

۲-۳- ویژگی‌های سری‌های زمانی آشوبی

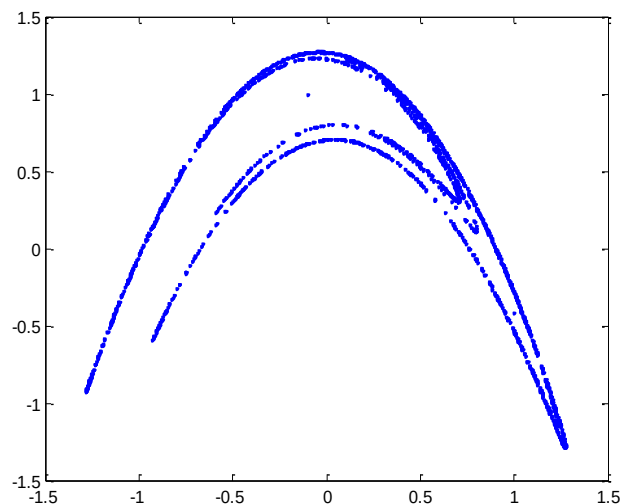
سری‌های زمانی آشوبی دارای سه مشخصه اساسی هستند.

الف- سری زمانی آشوبی، ظاهری تصادفی دارد اما قطعی^۱ است.

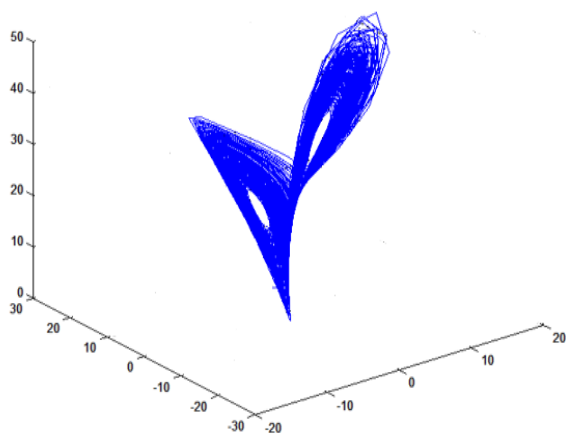
¹ Deterministic

ب- سری زمانی آشوبی دارای جاذبها^۱ با بعد کسری یا فرکتال هستند. همانطور که جاذبهای سری هنن، راسلر و لورنز را در شکل (۱-۲) مشاهده می‌کنید، این جاذبها یک خط ساده یا یک منحنی بسته نیستند، بلکه یک شیء هندسی پیچیده هستند که منطقه‌ای از صفحه را پر کرده‌اند.

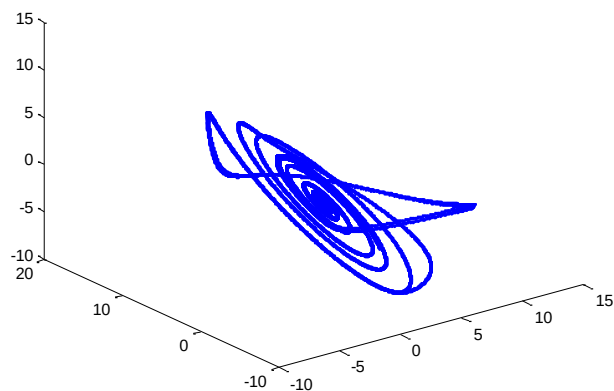
ج- سیستمهای آشوبی به شدت حساس به شرایط اولیه می‌باشند [۲۳].



شکل (۱-۲) الف: جاذب عجیب در سری زمانی هنن



شکل (۱-۲) ج: جاذب عجیب در سری زمانی لورنز

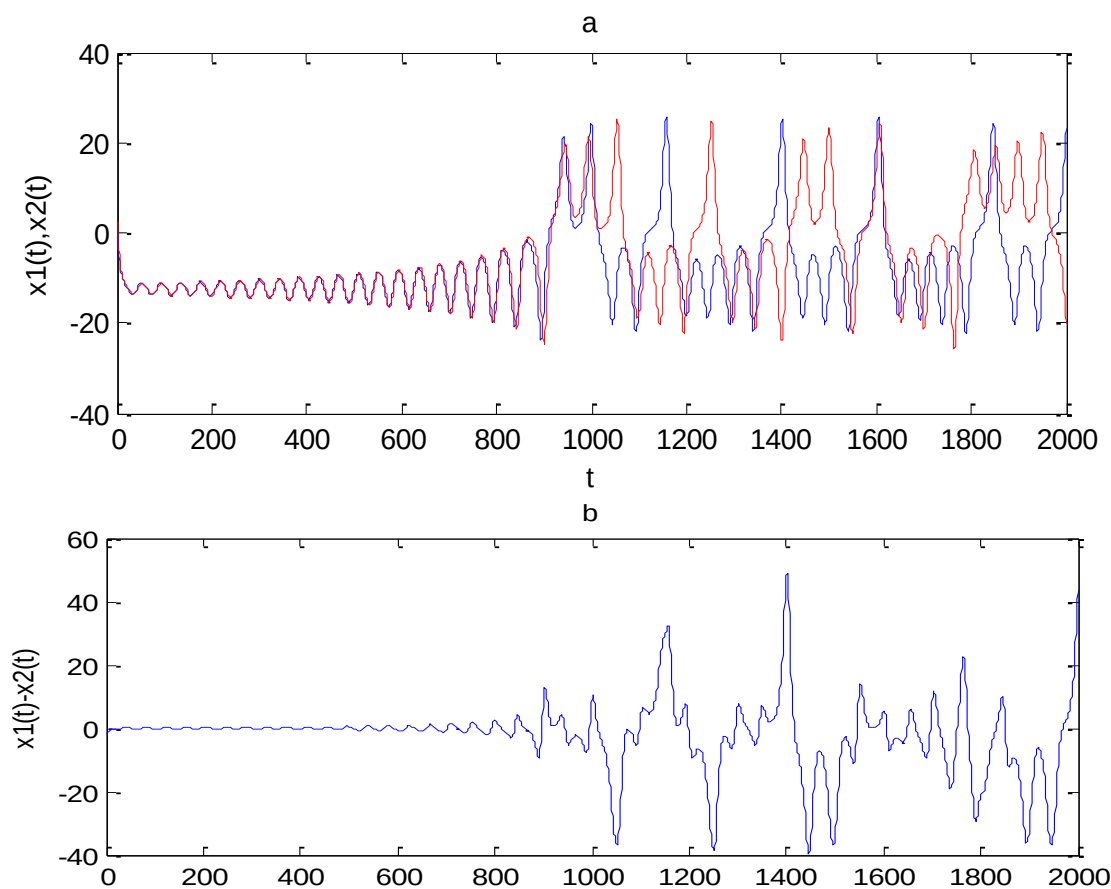


شکل (۱-۲) ب: جاذب عجیب در سری زمانی راسلر

¹ Strang Attractors

۲-۳-۱- بررسی اثر حساسیت

سیستم‌های آشوبی به شدت حساس به شرایط اولیه می‌باشند. برای درک بهتر این موضوع شکل (۲-۲) را مشاهده کنید که مربوط به یک سیستم آشوبی لورنز است و به ترتیب با شرایط اولیه $x_1(0) = 0/05$ و $x_2(0) = 0/06$ شروع می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود تفاوت بین دو سری زمانی به ازای $0/01$ اختلاف پس از مدت محدودی چشمگیر است [۲۳].



شکل (۲-۲): (a) سری زمانی آشوبی لورنز با دو شرایط اولیه بسیار نزدیک به هم (b) اختلاف موجود بین دوسری پس از گذشت زمان

بنابراین وابستگی شدید به شرایط اولیه از ویژگی‌های مهم سری زمانی آشوبی است که این ویژگی اولین بار مورد توجه ریاضیدان و منجم بزرگ، هنری پوانکاره^۱ قرار گرفت. وی این پدیده را چنین بیان می‌کند " ممکن است اختلاف اندکی در شرایط اولیه باعث ایجاد تفاوت بسیار بزرگی در پدیده‌ی

¹ Henri Poincare

نهایی شود. نیز یک خطای کوچک در حالت قبلی، خطای بزرگی را در حالت بعدی ایجاد می کند" [۲۴].

۲-۴- بازسازی فضای فاز

همان طور که در ۱-۲ بیان شد برای مطالعه بسیاری از فرآیندهای طبیعی امکان تخمین معادله دینامیکی و تشکیل فضای فاز وجود ندارد. تنها اطلاعات قابل دسترسی از این فرآیندها مشاهدات خروجی آن در طول زمان است که به نام سری زمانی می شناسیم. بنابراین لازم است تا با استفاده از این داده های اسکالر، فضای فاز معادل بازسازی شود.

مسئله بازسازی فضای فاز^۱ از سری زمانی را می توان به وسیله نظریه محاط حل نمود. در واقع نقاط روی جاذب سیستم رابطه ای یک به یک با اندازه گیری انجام شده از متغیرهای دینامیکی سیستم دارند. از طرفی این نقاط حاوی اطلاعات کامل در مورد حالت فعلی هستند. بنابراین وجود رابطه یک به یک بدین معناست که حالات فضای فاز بوسیله اندازه گیری های انجام شده، قابل شناسایی است. از این رو می بایست به دنبال نگاشتی از جاذب سیستم به فضای بازسازی شده بود، به طوری که این نگاشت یک به یک بوده و اطلاعات و ساختار دیفرانسیلی سیستم را حفظ نماید، این در واقع تعریف مفهومی محاط است. قضیه ای که وجود محاط را در فضای کارترین برای یک منفیلد تضمین می کند، قضیه تاکنز^۲ است [۲۵]. نظریه تاکنز نظریه مشهوری است که پس از بحث های مفصل ریاضی و هندسی اثبات می کند، اگر سری زمانی از یک سیستم دینامیکی معین بدست آمده باشد آنگاه یک اسکالر m به نام بعد محاط و یک اسکالر τ به نام زمان تأخیر و یک تابع f وجود دارند به نحوی که داریم:

$$x(t) = f(x(t - \tau), x(t - 2\tau) \dots x(t - (m - 1)\tau)) \quad (۵-۲)$$

^۱ Phase Space Reconstruction

^۲ Takens

اگر داده‌های موجود پارامتر در سری زمانی آشوبناک باشد تابع f لزوماً غیرخطی است. در نظریه تاکنز تنها امکان بازسازی فضای فاز از روی سری‌های زمانی آشوبی به‌وسیله دو پارامتر بعد محاط (m) و زمان تأخیر (τ) اثبات می‌شود، ولی در مورد نحوه پیدا کردن این دو پارامتر حرفی نمی‌زند. محققان پس از اثبات نظریه تاکنز درصدد برآمدند روش‌های متفاوتی را برای انتخاب بهینه این دو پارامتر آزمایش کنند [۲۲].

در راستای بازسازی فضای فاز، لازم است ابتدا بردارهای تأخیر را تشکیل داد. چنانچه اشاره شد برای تشکیل بردارهای تأخیر دو نکته حائز اهمیت است یکی فاصله بین مؤلفه‌های بردار تأخیر که همان زمان تأخیر τ می‌باشد و دیگری تعداد مؤلفه‌ها در هر بردار تأخیر که همان بعد محاط m است. اگر سری زمانی با فاصله نمونه برداری Δt بطور کلی به شکل $\{y_k\}_{k=1}^N$ در نظر گرفته شود که N تعداد نمونه‌های سری زمانی است، بردارهای تأخیر بصورت:

$$X_i = \{y_k, y_{k+\tau} \dots y_{k+(m-1)\tau}\}, i = 1, 2, \dots, N - (m-1)\tau \quad (۲-۶)$$

است که در آن m همان بعد محاط و τ زمان تأخیر ضریبی از Δt است. در ادامه نحوه محاسبه m و τ ارائه می‌شود.

۲-۴-۱- محاسبه پارامتر زمان تأخیر

یکی از پارامترهای لازم برای بازسازی فضای فاز تأخیر زمانی است، که منظور همان زمان تأخیر بین مؤلفه‌های بردار تأخیر است. نکته بسیار مهم در انتخاب مناسب τ این است که اگر زمان تأخیر در مقایسه با مقیاس‌های زمانی مربوط به ذات سیستم بسیار کوچک انتخاب گردد، مؤلفه‌های متوالی در بردار تأخیر به شدت به هم نزدیک و وابسته می‌باشند. بنابراین تمام بردارهای تأخیر در فضای محاط m بعدی در حوالی محور قطری فضا متمرکز می‌گردند. این پدیده تحت عنوان افزودگی^۱ نامیده شده است. از طرف دیگر اگر زمان تأخیر τ بسیار بزرگ انتخاب گردد مؤلفه‌های متفاوت تقریباً از لحاظ

^۱ Redundancy

آماري ناهمبسته مي‌گردند، در اين حالت جاذب بازسازي شده ممكن است بسيار پيچيده گردد حتي اگر جاذب واقعي سيستم ساده باشد. بنابر اين مي‌توان نتيجه گرفت به دنبال زمان تأخيري هستيم كه به اندازه كافي بزرگ باشد كه $y(t)$ و $y(t + \tau)$ نسبتاً مستقل باشند ولي نه آنقدر بزرگ كه از لحاظ آماري كاملاً مستقل باشند.

همان طور كه عنوان شد روش‌هاي متفاوتي براي تعيين زمان تأخير استفاده شده است. در نظر گرفتن اولين صفر تابع خودهمبستگي يكي از اين روش‌ها است [۲۶]. از آنجا كه در اين حالت تنها استقلال خطي دو مؤلفه در نظر گرفته شده است بعضي بر اين اعتقادند كه انتخاب اولين صفر تابع خودهمبستگي منجر به حالت حدي مؤلفه‌هاي غيرهمبسته مي‌شود كه مطلوب نيست و پيشنهاده کرده‌اند كه زمان نزول تابع خودهمبستگي به مقدار $1/e$ به عنوان زمان تأخير در نظر گرفته شود [۲۷]. اما به هر حال تابع خودهمبستگي بر اساس تحليلي خطي بيان شده است و روابط ديناميك غيرخطي را لحاظ نمي‌كند. بنابر اين در اين پايان‌نامه از روشي مبتني به ميانگين اطلاعات متقابل^۱ بين داده‌هاي سري زماني به منظور تعيين زمان تأخير استفاده شده است [۲۸].

اساس تصور وجود اطلاعات در ميان اندازه‌هاي اسكالر، مربوط به ايده شانون يعني ايده اطلاعات متقابل است. اطلاعات متقابل بين اندازه‌گيري a_i از يك مجموعه $A = \{a_i\}$ و اندازه‌گيري b_j از يك مجموعه $B = \{b_j\}$ عبارت است از ميزان فراگيري در مورد اندازه‌گيري b_j با استفاده از اندازه‌گيري a_i كه به صورت زير قابل بيان است :

$$\log_2 \left\{ \frac{P_{AB}(a_i, b_j)}{P_A(a_i)P_B(b_j)} \right\} \quad (۷-۲)$$

كه $P_{AB}(a, b)$ عبارت از چگالي توأم احتمال اندازه‌گيري‌هاي A و B براي مقادير a و b است. $P_B(b)$, $P_A(a)$ چگالي‌هاي احتمال مجزا براي اندازه‌گيري‌هاي A و B هستند. در يك سيستم معين، اين احتمال‌ها با ايجاد يك هيستوگرام از تغييرات a_i و b_j در اندازه‌گيري‌هايشان ارزيابي مي‌گردد. اگر اندازه‌گيري يك مقدار از A كه به a منجر مي‌شود، كاملاً مستقل از اندازه‌گيري يك مقدار از B كه به

^۱ Mutal information

b منجر می‌شود، باشد در این صورت $P_{AB}(a, b) = P_A(a) \cdot P_B(b)$ و مقدار اطلاعات بین اندازه‌گیری - ها یا به عبارت دیگر اطلاعات متقابل همان‌طور که انتظار می‌رود برابر صفر است. محاسبه کمیت فوق الذکر بر روی تمام اندازه‌گیری‌ها، اطلاعات متقابل بین اندازه‌گیری‌های A و B نامیده می‌شود و عبارت است از :

$$I_{AB} = \sum_{a_i, b_j} P_{AB}(a_i, b_j) \cdot \log_2 \left[\frac{P_{AB}(a_i, b_j)}{P_A(a_i) \cdot P_B(b_j)} \right] \quad (۸-۲)$$

نکته قابل توجه این است که این کمیت به ماهیت رفتار متغیرهای اندازه‌گیری شده از لحاظ خطی یا غیرخطی بودن ربطی ندارد و تنها دو مجموعه از اندازه‌گیری‌ها را به یکدیگر مربوط نموده و بر اساس ارتباط اطلاعات بین آنها محکی برای بستگی متقابل آنها ارائه می‌کند.

بنابراین مقادیر مشاهده $y(t), y(t + \tau)$ را به ترتیب به عنوان مجموعه‌های اندازه‌گیری A و B در نظر می‌گیریم. اطلاعات متقابل میانگین بین این دو مجموعه اندازه‌گیری‌ها، به عبارت دیگر میزان فراگیری در مورد اندازه‌گیری $y(t + \tau)$ با استفاده از $y(t)$ ، عبارت خواهد بود از :

$$I(\tau) = \sum_{y(t), y(t+\tau)} P(y(t), y(t + \tau)) \cdot \log_2 \left[\frac{p(y(t), y(t+\tau))}{p(y(t)) \cdot p(y(t+\tau))} \right] \quad (۹-۲)$$

۲-۴-۲- انتخاب بعد محاط

چنانچه ذکر شد برای تشکیل بردارهای تأخیر در بازسازی فضای فاز پس از بدست آوردن زمان تأخیر بین مؤلفه‌های بردار لازم است تا تعداد مؤلفه‌های هر بردار تعیین شود که همان بعد محاط است. از نظر هندسی تنها یک شرط کافی برای انتخاب بعد محاط وجود دارد و آن انتخاب بعد محاط بزرگتر از دو برابر بعد فرکتال جاذب اصلی است. بنابراین شاید انتخاب محافظه‌کارانه بعد محاط برابر مقداری بزرگ از لحاظ نظری کارساز به نظر بیاید ولی در عمل مشکل آفرین است. بعد محاط بزرگ سبب افزایش تمام محاسبات می‌شود و در نتیجه خطای محاسباتی بزرگتری در پی خواهد داشت. همچنین بعد محاط بزرگ سبب افزایش زمان لازم برای محاسبه شاخص‌های آشوبی و ایجاد نماهای

لیاپانف ساختگی در محاسبات طیف لیاپانف می‌شود. بنابراین انتخاب بعد محاط بهینه در بازسازی فضای فاز گامی مهم در تحلیل سری زمانی آشوبی است.

تلاش‌های زیادی برای پیدا کردن روشی مناسب در انتخاب بعد محاط بهینه شده است. یکی از این روش‌ها استفاده از شبکه‌های عصبی تأخیر زمانی است. شبکه‌های عصبی تأخیر زمانی برای انتخاب بعد محاط بهینه در ابعاد بالا دقیق‌تر از روش‌های دیگر مانند کمترین همسایگی کاذب^۱ است. اما محدودیتی که در استفاده از این روش وجود دارد رخ دادن مشکل عدم آموزش مناسب است. یکی از رایج‌ترین و دقیق‌ترین روش‌ها در انتخاب بعد محاط بهینه به خصوص در ابعاد پایین استفاده از روش شمارش کمترین همسایگی کاذب است [۲۹].

اگر حالتی در نظر گرفته شود که بازسازی فضای فاز m بعدی به روش تأخیر منجر به ایجاد محاط مناسب شده باشد در حالی که در فضای $m - 1$ بعدی چنین نباشد، رفتن از فضای m به $m - 1$ بعدی سبب می‌شود ساختار توپولوژیک به خوبی حفظ نشود و قسمت‌های مختلف کاذب روی یکدیگر تصویر گردند. به عبارت دیگر اگر نقاط همسایه از فضای $m - 1$ بعدی انتخاب گردند تصاویر آنها در فضای m بعدی دسته‌های متفاوتی را ایجاد خواهند کرد، که می‌توانند از هم فاصله دار باشند. نقاطی که در بعد پایین‌تر همسایه و در بعد بالاتر همسایه نباشند، همسایگان کاذب نامیده می‌شوند. بنابراین m می‌تواند بعد محاط مناسب باشد، چنانچه نقاط همسایه در فضای m بعدی در فضای $m + 1$ بعدی نیز همسایه باشند. برای محاسبه بعد محاط بهینه به صورت زیر عمل می‌شود [۲۹].

سری زمانی $y_1, y_2, \dots, y_N$ را در نظر می‌گیریم با در نظر گرفتن m مؤلفه برای هر بردار تأخیر می‌توان $N - (m - 1)\tau$ بردار x_t مطابق رابطه (۲-۶) در فضای محاط تشکیل داد:

$$X_t = [y_t, y_{t+\tau}, \dots, y_{t+(m-1)\tau}]^T \quad (۱۰-۲)$$

τ امین همسایه بردار تأخیر X_{t_r} مطابق زیر نمایش داده می‌شود:

¹ False Nearest Neighbor Percentage

$$X_{t_r} = [y_{t_r}, y_{t_r+\tau}, \dots, y_{t_r+(m-1)\tau}]^T \quad (۱۱-۲)$$

فاصله بین دو بردار همسایه بر اساس نرم اقلیدسی به صورت رابطه (۱۲-۲) است:

$$D_m^2(t, t_r) = \sum_{i=0}^{m-1} [y_{t+i\tau} - y_{t_r+i\tau}]^2 \quad (۱۲-۲)$$

در فضای $m + 1$ بعدی فاصله دو بردار X_{t_r}, X_t به صورت زیر قابل بیان است:

$$D_{m+1}^2(t, t_r) = \sum_{i=0}^m [y_{t+i\tau} - y_{t_r+i\tau}]^2 \quad (۱۳-۲)$$

مؤلفه‌های اضافی در بعد $m + 1$ نسبت به m برای X_t برابر است با $y_{t+m\tau}$ و برای X_{t_r} برابر است با $y_{t_r+m\tau}$ بنابراین داریم:

$$D_{m+1}^2(t, t_r) = D_m^2(t, t_r) + [y_{t+m\tau} - y_{t_r+m\tau}]^2 \quad (۱۴-۲)$$

می‌توان نتیجه گرفت فاصله اضافه شده در فضای $m + 1$ بعدی نسبت به فاصله اضافه شده در فضای m بعدی به صورت رابطه (۱۵-۲) است:

$$\left[\frac{D_{m+1}^2(t, t_r) - D_m^2(t, t_r)}{D_m^2(t, t_r)} \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{|y_{t+m\tau} - y_{t_r+m\tau}|}{D_m(t, t_r)} \quad (۱۵-۲)$$

هرگاه مقدار رابطه (۱۵-۲) از یک مقدار آستانه بیشتر شود همسایگی مورد بررسی همسایگی کاذب است [۳۰]. در نهایت بعدی که در آن تعداد همسایه‌ها ی کاذب تقریباً صفر می‌گردد به عنوان بعد محاط انتخاب می‌شود.

در [۳۱] مقدار آستانه حدود ۱۰-۱۵ بر اساس تجزیه حاصل شده از اعمال روش بر روی سیستم‌های آشوب‌گونه متفاوت پیشنهاد شده است.

فصل ۳- پیش‌بینی سری‌های
زمانی آشوبی

در این فصل با بدست آوردن پارامترهای مناسب بازسازی، فضای فاز را بازسازی می‌کنیم. سپس پیش‌بینی بر روی سری‌های زمانی آشوبی انجام می‌گردد.

۳-۱- پیش‌بینی بلندمدت سری‌های زمانی

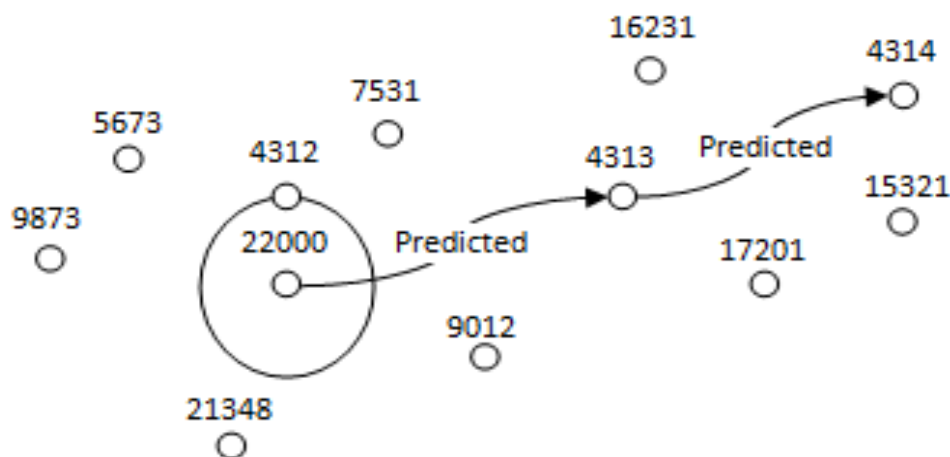
یک هدف بنیادی تحقیق علمی، حالت‌های بعدی سیستم مورد نظر می‌باشد. موارد عملی بسیاری وجود دارد که در آن می‌خواهیم آینده یک سیستم آشوبناک را که تا زمان معینی مشاهده شده است پیش‌بینی کنیم. پیش‌بینی بلندمدت و دقیق سری‌های زمانی آشوبی همواره به عنوان یک رویای دست نیافتنی مورد توجه دانشمندان و محققان قرار داشته است. تاکنون روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی بلندمدت ارائه گردیده است. در این میان روش‌هایی نظیر نزدیکترین همسایه (همانندی)، تقریب خطی و روش‌های مبتنی بر شبکه‌های چند ورودی و چند خروجی به عنوان موفق‌ترین روش‌ها در این زمینه مطرح شده‌اند [۲۴]. (آباربانل و همکاران ۱۹۹۳، وایگانت و گرشنفلد^۱ ۱۹۹۴). در این فصل، تعدادی از این روش‌ها را شرح می‌دهیم.

۳-۱-۱- روش همانندی یا نزدیکترین همسایه

یکی از ساده‌ترین روش‌های پیش‌بینی سری‌های زمانی، روش همانندی (نزدیکترین همسایه) است. که توسط لورنز در سال ۱۹۶۳ پیشنهاد شد [۲۴]. این روش بر مبنای خاصیت خودهمانندی یک جاذب آشوبی در فضای فاز پیشنهاد شد. در سال ۱۹۹۳ کوستلیچ و لاتروپ [۳۲] نشان دادند که در روش نزدیکترین همسایه اگر بعد جاذب کوچک باشد و جاذب شامل تعداد زیادی نقطه باشد به خوبی عمل می‌کند. در روش مذکور دنباله‌های کوتاه نقطه‌ها در یک سری زمانی آشوبناک، در طول سری زمانی تکرار می‌شوند و بخش‌های کوتاه و نهایی یک سری زمانی آشوبی، خویشاوند قبلی نزدیکی در سری دارد. لذا می‌توان به وسیله‌ی ادامه دادن این بخش‌های قبلی مقدار قابل توجهی از نقاط را پیش‌بینی نمود. این روش از هندسه مدارات روی جاذب بهره می‌برد. از آن‌جا که مسیرها روی یک جاذب

¹ Welgend and Gershenfeld

آشوبناک معمولاً به صورت تقریباً تکراری ظاهر می‌شوند، در این روش ابتدا فضای فاز را از روی سری زمانی بازسازی کرده و آخرین نقطه‌ی موجود در فضای فاز بازسازی شده تعیین می‌گردد (در شکل زیر نقطه ۲۲۰۰۰)



شکل (۳-۱): روش نزدیکترین همسایه

سپس در فضای فاز جدید نزدیک‌ترین نقطه به نقطه مذکور پیدا می‌شود. با توجه به این که مسیرهای روی یک جاذب آشوبناک معمولاً به صورت تقریباً تکراری ظاهر می‌شوند یا به عبارت دیگر مدارات روی جاذب دارای ماهیت تقریباً تکراری هستند. نزدیکترین همسایه‌ی قبلی آخرین نقطه جاذب را پیدا می‌کنیم و از دنباله‌ی نقطه‌های پس از این همسایه به عنوان معیاری برای پیش‌بینی استفاده می‌شود (در شکل قبل از نقطه‌ی ۴۳۱۲ به بعد).

۳-۱-۲- روش تقریب خطی

بدست آوردن تقریبی برای نگاشت زیر، از دیگر روش‌های پیش‌بینی سری‌های زمانی آشوبی است.

$$Y_{i+1} = M(Y_j) \quad (۳-۱)$$

از صورت‌های ریاضی متفاوتی می‌توان به جای تابع M استفاده کرد. برای مثال چون سیستم‌های آشوبناک غیرخطی هستند می‌توان ترکیبی از توابع غیرخطی را برای تابع M استفاده کرد. اما استفاده از این روش به دلیل وجود پیچیدگی‌های سیستم‌های غیرخطی آسان نیست پس یک راه حل ساده‌تر

استفاده از روش‌های خطی به جای توابع غیرخطی است. از آن‌جا که تحول مسیرها روی جاذب در سطحی کوچک‌تر ناشی از تحول نقاط روی جاذب است و نیز این نقاط در فاصله‌ی نزدیکی از هم قرار دارند، لذا شاید بتوان رفتار سیستم در نزدیکی هر نقطه از جاذب را با یک نگاشت خطی تقریب زد. یعنی:

$$y_{i+1} = ay_j + b \quad (۲-۳)$$

که ماتریس b و بردار a مختص هر نقطه هستند [۳۳]. مجموعه‌ی تمام این نگاشت‌های خطی یک نگاشت غیرخطی را به وجود می‌آورد. برای مثال در یک فضای فاز سه بعدی خواهیم داشت:

$$\begin{bmatrix} w(t_j + 1) \\ w(t_j + 1 + T) \\ w(t_j + 1 + 2T) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w(t_j) \\ w(t_j + T) \\ w(t_j + 2T) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \quad (۳-۳)$$

در رابطه‌ی (۳-۳) متغیرهای a_{ij} و b_j طوری تعیین می‌شوند که کمترین مقدار تابع زیر حاصل شود.

$$f(a, b) = \sum_j \|y_{i+1} - (a \cdot y_j + b)\| \quad (۴-۳)$$

که در رابطه‌ی (۴-۳)، $\sum$ جمع روی n همسایه‌ی نزدیک آخرین نقطه‌ای می‌باشد که پیش‌بینی بعدی از آن صورت می‌گیرد. چون رفتار سیستم در نزدیکی هر نقطه به صورت خطی در نظر گرفته شده، پس هر مجموعه مشخص از ضرایب a و b در ناحیه‌ی کوچکی از فضا معتبر می‌باشند. با توجه به رابطه‌ی (۴-۳) که بعد فضای فاز در آن سه گرفته شده است اگر برای هر آخرین نقطه، n همسایه انتخاب کنیم، رابطه (۵-۳) برای تعیین عناصر ماتریس‌های a و b بعد از انجام مراحل ریاضی بدست می‌آید.

$$\begin{aligned} a_{i1} \sum w_1 w_2 + a_{i2} \sum w_1 w_2 + a_{i3} \sum w_1 w_3 + b_i \sum w_1 &= \sum \dot{w}_i w_1 \\ a_{i1} \sum w_1 w_2 + a_{i2} \sum w_2 w_2 + a_{i3} \sum w_2 w_3 + b_i \sum w_2 &= \sum \dot{w}_i w_2 \\ a_{i1} \sum w_3 w_2 + a_{i2} \sum w_3 w_2 + a_{i3} \sum w_3 w_3 + b_i \sum w_3 &= \sum \dot{w}_i w_3 \\ a_{i1} \sum w_1 + a_{i2} \sum w_2 + a_{i3} \sum w_3 + b_i n &= \sum \dot{w}_i \end{aligned} \quad (۵-۳)$$

که $\Sigma = \sum_{j=1}^n i=\{1,2,3\}$ جمع روی n همسایگی نزدیک است.

در رابطه (۵-۳) $w_m = w(t_j + (m-1)T)$ نقاط موجود در شعاع همسایگی آخرین نقطه در دسترس در فضای فاز و $w_m = w(t_{j+1} + (m-1)T)$ نقاط متوالی بعدی نقاط موجود در شعاع همسایگی می‌باشند.

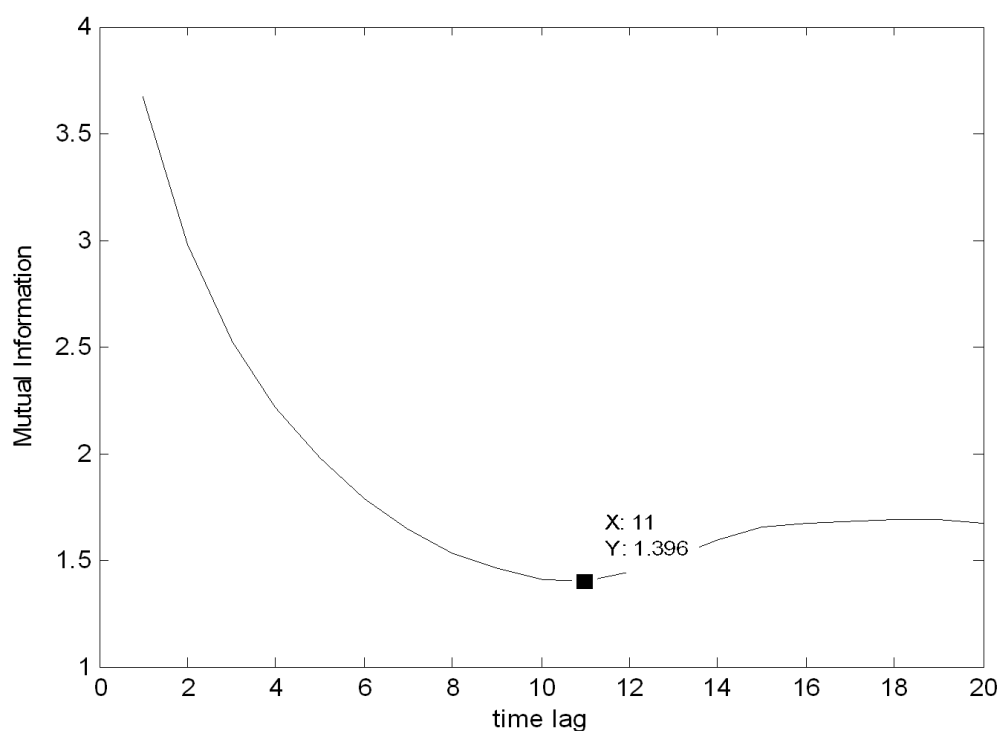
جهت بهبود این روش می‌توان از تعیین ضرایب وزنی برای همسایه‌ها استفاده کرد. در صورت استفاده از این روش، از جایی به بعد، وزن‌ها در تعیین نقطه‌ی پیش‌بینی شرکت چندانی نخواهند داشت [۳۴].

۳-۲- بررسی دقت و صحت روش آشوبی

در این بخش، برای بازسازی فضای فاز ابتدا زمان تأخیر (τ) و بعد محاط (m) برای سری‌های زمانی آشوبی محاسبه می‌شود. برای محاسبه زمان تأخیر از روش میانگین اطلاعات متقابل استفاده می‌شود و برای انتخاب بعد محاط مناسب روش کمترین همسایگی کاذب به کار گرفته می‌شود. سپس پیش‌بینی سری‌های زمانی آشوبی از روش همانندی (نزدیکترین همسایه) انجام خواهد شد. جهت بازسازی فضای فاز، ابتدا زمان تأخیر و بعد محاط را برای سری زمانی لورنز بدست می‌آوریم. سپس پیش‌بینی انجام می‌دهیم.

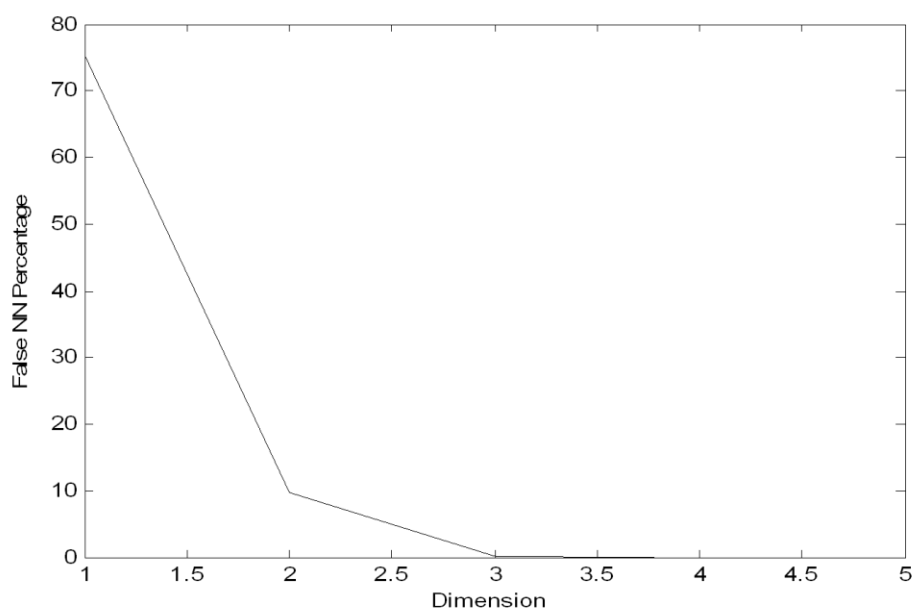
۳-۲-۱- محاسبه زمان تأخیر برای سری زمانی لورنز

شکل (۲-۳) اطلاعات متقابل برای داده‌های x سری زمانی لورنز را نشان می‌دهد. تعداد داده‌های نمونه‌برداری شده ۷۵۰۰ داده می‌باشد و فاصله نمونه‌برداری ۰/۰۱ ثانیه انتخاب شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود پس از شبیه‌سازی اولین مینیم نمودار اطلاعات متقابل در ۱۱ قرار می‌گیرد که ۱۱ مقدار زمان تأخیر بدست آمده برای سری زمانی لورنز را می‌باشد.



شکل (۲-۳): نمودار اطلاعات متقابل برای سری زمانی لورنز

۲-۲-۳- تخمین بعد محاط برای سری زمانی لورنز

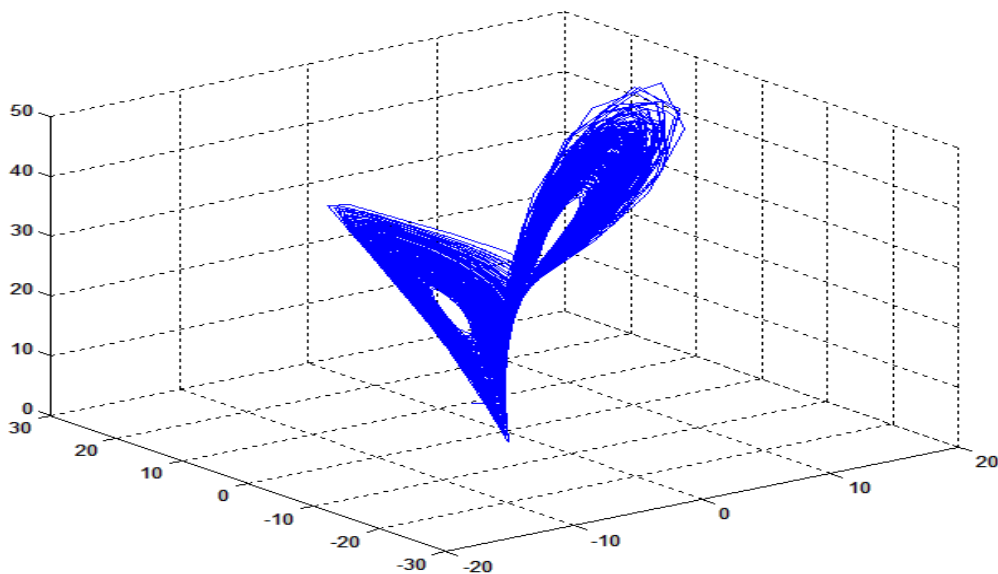


شکل (۳-۳): نمودار تعداد همسایگی کاذب در ابعاد مختلف برای سری زمانی

شکل (۳-۳) نمودار تعداد همسایگی کاذب در ابعاد مختلف، براساس داده‌های x سری زمانی لورنز را نشان می‌دهد. تعداد داده‌ها ۷۵۰۰ داده، فاصله نمونه برداری ۰/۰۱ ثانیه است. همان‌طور که می‌بینیم بعد محاط مناسب $m=3$ تخمین زده می‌شود که با اطلاعات موجود در مورد سیستم لورنز منطبق است.

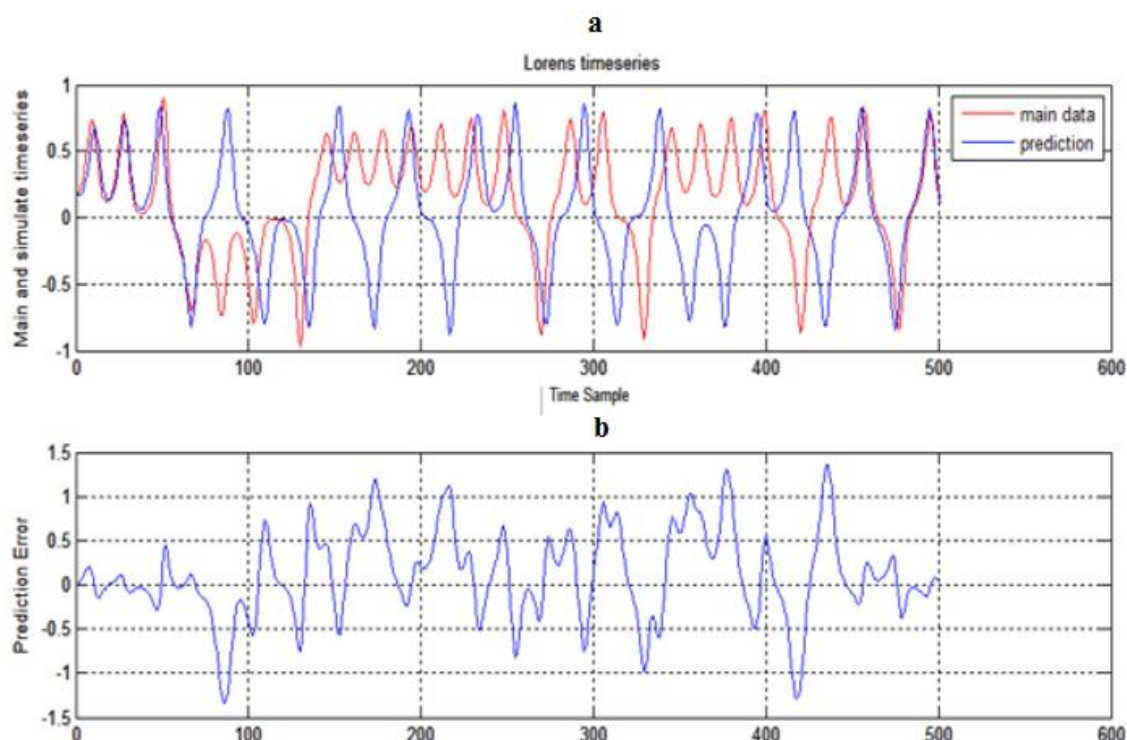
۳-۲-۳- پیش‌بینی سری زمانی لورنز

پیش‌بینی با استفاده از روش همانندی (نزدیکترین همسایه) و پس از بازسازی فضای فاز با بعد ۳ و زمان تأخیر ۱۱ برای ۷۵۰۰ داده سری زمانی لورنز انجام شده است. در شکل (۴-۳) فضای فاز بازسازی شده‌ی مذکور را می‌بینیم.



شکل (۴-۳): بازسازی فضای فاز سری زمانی لورنز

مطابق شکل (۵-۳) تعداد نقاط پیش‌بینی برای ۵۰۰ نقطه انتخاب می‌گردد و پیش‌بینی سری زمانی لورنز به روش نزدیکترین همسایه انجام می‌شود.



شکل (۳-۵): (a) پیش بینی سری زمانی لورنز به روش همانندی (b) خطای پیش‌بینی

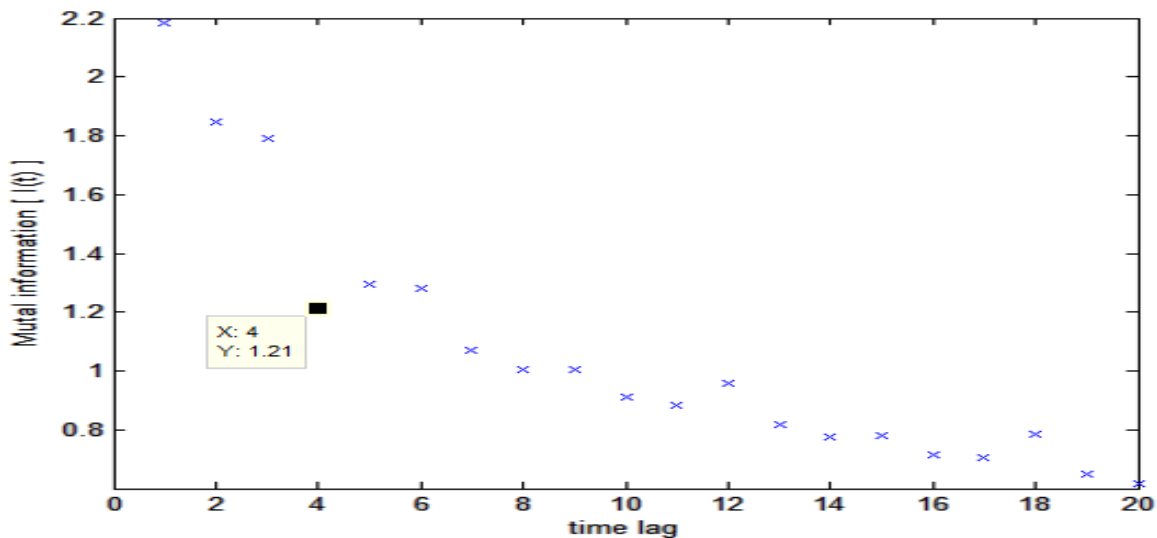
همین روش را برای سری زمانی مصرف برق پتروشیمی رجا استفاده می‌کنیم.

۳-۳- سری زمانی مصرف برق پتروشیمی رجا

ابتدا داده‌های مصرف برق پتروشیمی رجا را به عنوان یک سری زمانی آشوبی در نظر می‌گیریم. برای بررسی و رسیدن به نتایج دلخواه تنها اطلاعات قابل دسترسی مشاهدات خروجی آن در طول زمان است که به نام سری زمانی می‌شناسیم و معادله دینامیکی وجود ندارد. بنابراین لازم است تا با استفاده از داده‌های اسکالر موجود، فضای فاز معادل بازسازی شود. شاخص‌های بعد محاط و زمان تأخیر را بدست می‌آوریم، سپس فضای فاز را بازسازی کرده و پیش‌بینی را با استفاده از روش نزدیکترین همسایه انجام می‌دهیم.

۳-۳-۱- محاسبه زمان تأخیر

برای بدست آوردن زمان تأخیر سری زمانی مصرف برق پتروشیمی رجا از روش اولین کمینه اطلاعات متقابل استفاده می‌کنیم. که اولین کمینه پس از شبیه سازی مطابق شکل (۳-۶) در ۴ اتفاق می‌افتد. بنابراین زمان تأخیر (τ) برای داده‌های مصرف برق پتروشیمی رجا ۴ می‌باشد.

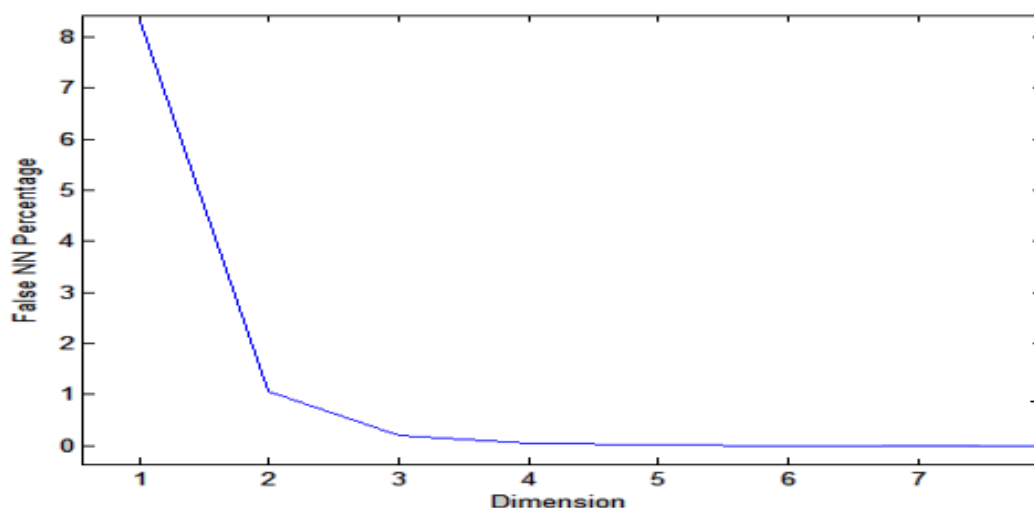


شکل (۳-۶): نمودار اطلاعات متقابل برای سری زمانی مصرف برق پتروشیمی رجا

۳-۳-۲- محاسبه بعد محاط

بعد محاط سری زمانی مصرف برق پتروشیمی رجا را به روش نزدیکترین همسایه کاذب بدست می‌آوریم. پس از شبیه سازی در شکل (۳-۷) دیده می‌شود که خطا در ۶ بسیار اندک، ثابت و نزدیک به صفر است.

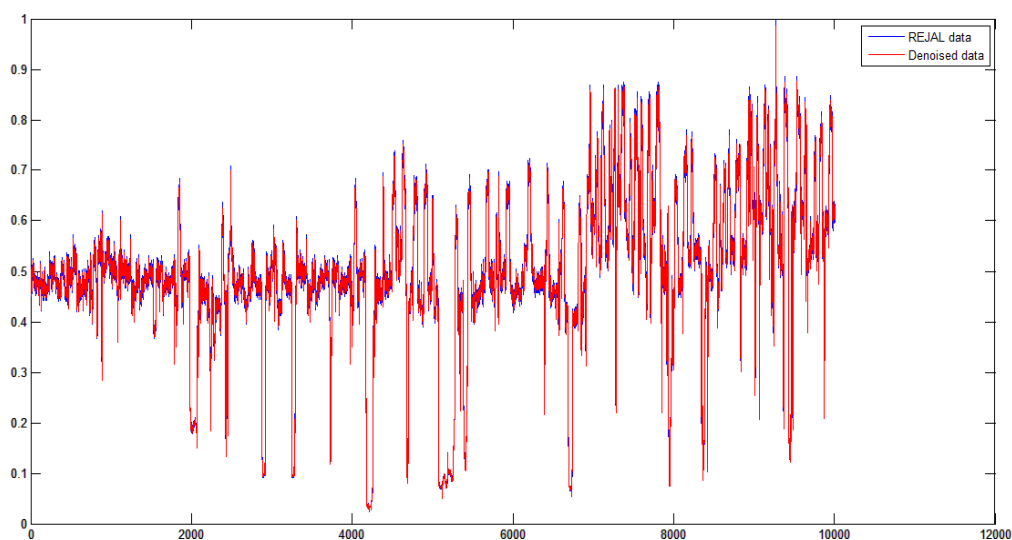
در ضمن در بعد ۶، بهترین پیش‌بینی را برای داده‌ها خواهیم داشت. پس بعد تخمین زده شده‌ی داده‌های برق مصرفی پتروشیمی رجا ۶ می‌باشد.



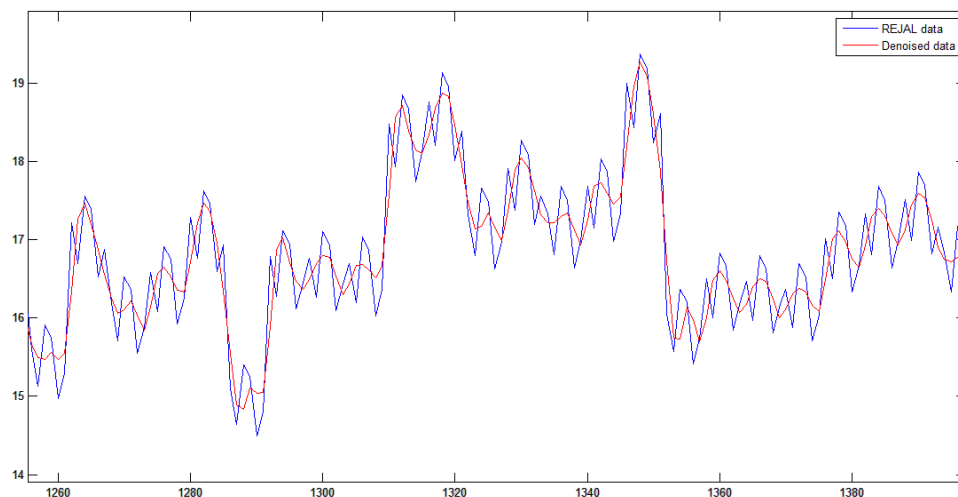
شکل (۷-۳): نمودار تعداد همسایگی کاذب برای سری زمانی مصرف برق پتروشیمی رجا

۳-۳-۳- پیش‌بینی بر روی داده‌های درون‌یابی نشده

حال با استفاده از شاخص‌های بدست آمده (بعد ۶ و زمان تأخیر ۴)، فضای فاز را بازسازی کرده و پیش‌بینی را بر روی داده‌های واقعی انجام می‌دهیم.

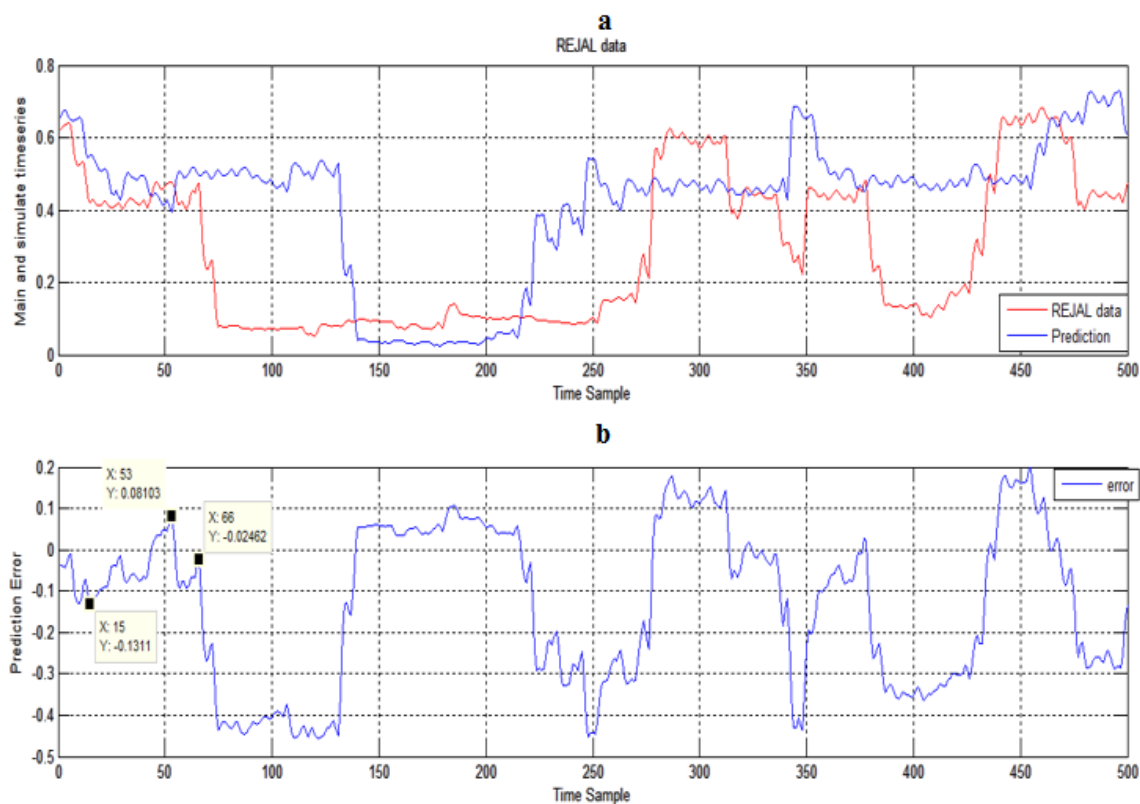


شکل (۸-۳) الف: داده‌های نویززدایی شده مصرف برق پتروشیمی رجا



شکل (۸-۳) ب: بزرگنمایی شده‌ی قسمتی از شکل (۸-۳) الف

در شکل (۸-۳) داده‌های نویزگیری شده‌ی مصرف برق پتروشیمی رجا و در شکل (۹-۳) پیش‌بینی انجام شده روی آن‌ها، به روش همانندی (نزدیکترین همسایه) نشان داده می‌شود. تعداد داده‌ها ۱۰۰۰۸ داده می‌باشد.

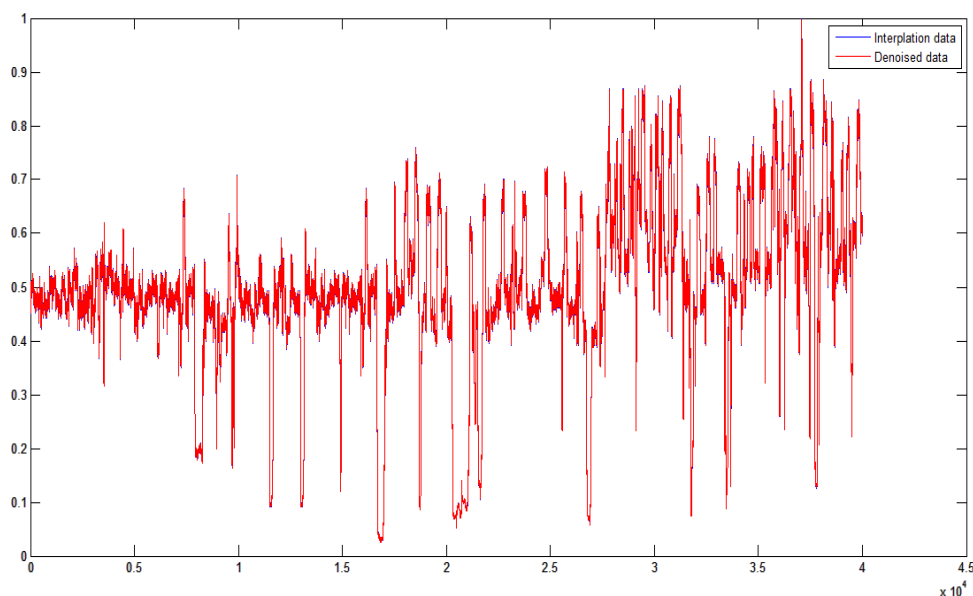


شکل (۹-۳): (a) پیش‌بینی داده‌های نویززدایی شده‌ی مصرف برق پتروشیمی رجا به روش همانندی (b) خطای پیش‌بینی

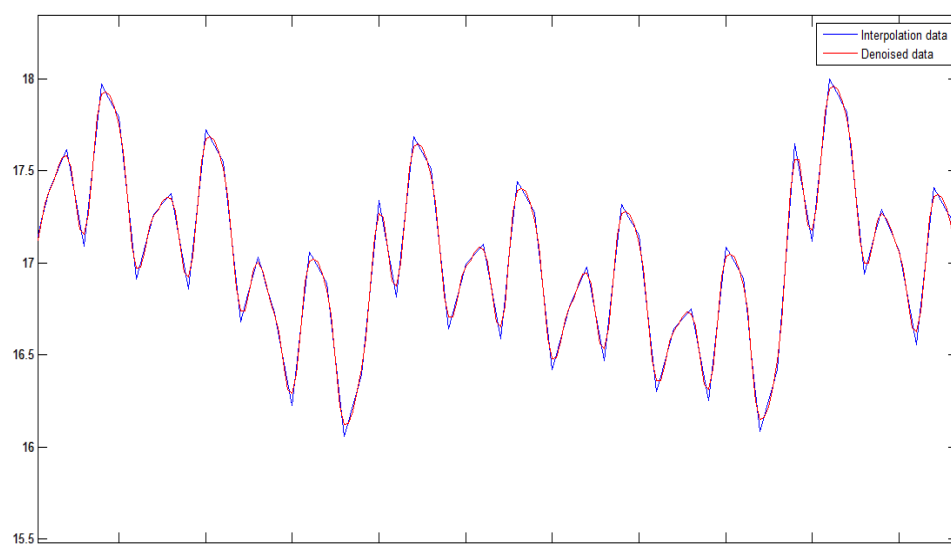
در شکل (۳-۹) پیش‌بینی داده‌های نویزدایی شده‌ی مصرف برق پتروشیمی رجال به روش همانندی و خطای پیش‌بینی را می‌بینیم. افق پیش‌بینی ۶۰ نقطه می‌باشد. جهت اطمینان از پیش‌بینی انجام شده و در صورت امکان افزایش افق پیش‌بینی و کاهش خطای آن، داده‌ها را درون‌یابی می‌کنیم. و بار دیگر پیش‌بینی را برای داده‌های درون‌یابی شده انجام می‌دهیم.

۳-۳-۴- پیش‌بینی بر روی داده‌های درون‌یابی شده

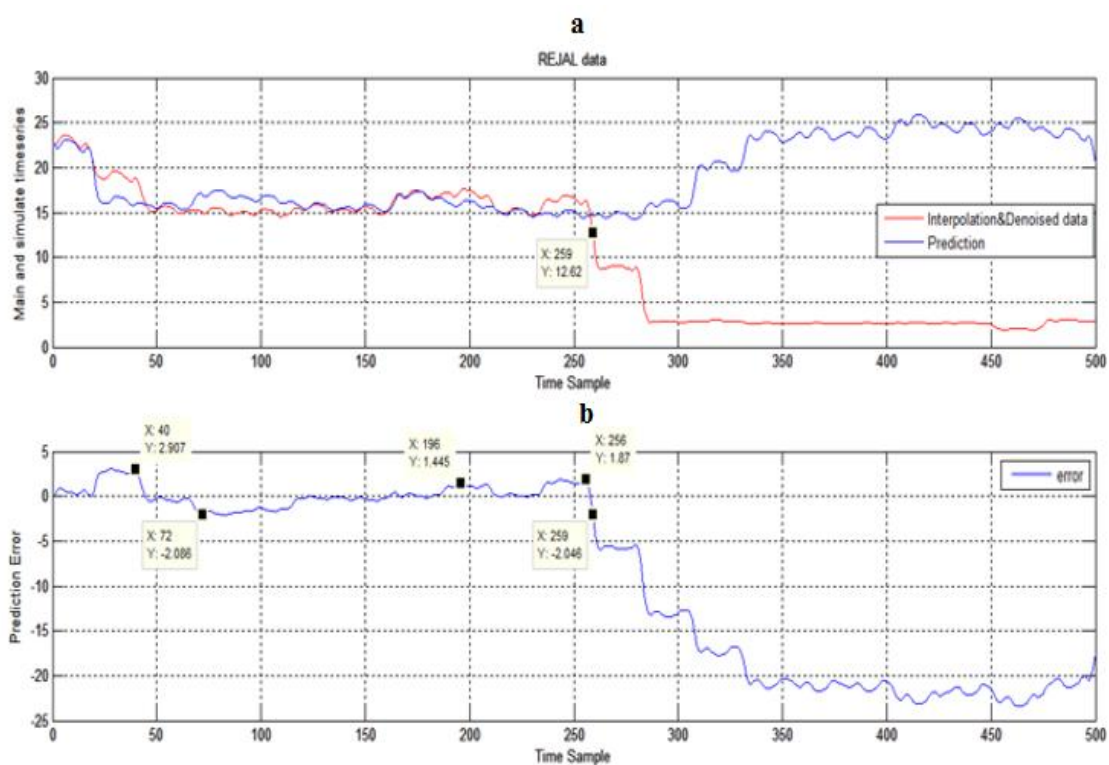
اکنون داده‌های برق مصرفی پتروشیمی رجال را درون‌یابی و سپس نویزدایی می‌کنیم. خواهیم دید که در اثر درون‌یابی، تعداد داده‌ها از ۶ داده در روز به ۲۴ داده (هر یک ساعت یک داده) در روز می‌رسد، یعنی در مجموع تعداد داده‌ها از ۱۰۰۰۸ به ۴۰۰۳۲ داده می‌رسد. سپس پیش‌بینی را بر روی ۴۰۰۳۲ داده درون‌یابی و نویزدایی شده‌ی شکل (۳-۱۰)، به روش همانندی (نزدیکترین همسایه) انجام می‌دهیم.



شکل (۳-۱۰) الف: داده‌های درون‌یابی و نویزدایی شده‌ی مصرف برق پتروشیمی رجال



شکل (۱۰-۳) ب: بزرگنمایی شده ی قسمتی از شکل (۱۰-۳) الف



شکل (۱۱-۳): (a) پیش‌بینی داده‌های درونیابی و نویززدایی شده‌ی مصرف برق پتروشیمی رجال به روش همانندی (b) خطای پیش‌بینی

۳-۴- مقایسه پیش‌بینی داده‌های درون‌یابی شده با داده‌های درون‌یابی نشده

مطابق شکل (۳-۹)، در پیش‌بینی داده‌های درون‌یابی نشده افق پیش‌بینی ۶۰ نقطه است. اگر این تعداد نقطه را بر تعداد داده‌های روزانه تقسیم کنیم (۶۰/۶) افق پیش‌بینی معادل ۱۰ روز می‌شود. بعد از انجام درون‌یابی بر روی داده‌ها، شکل (۳-۱۱) افق پیش‌بینی ۲۵۹ نقطه و خطا بسیار کم می‌باشد. که این مقدار خطا بیانگر خوب بودن پیش‌بینی است. این بار نیز اگر این تعداد نقطه را بر تعداد داده‌های روزانه تقسیم کنیم (۲۵۹/۲۴) افق پیش‌بینی معادل ۱۰ روز می‌شود. انجام درون‌یابی بر روی داده‌ها نشان می‌دهد که تغییر چشمگیری در افق پیش‌بینی دیده نمی‌شود، تنها با کمتر شدن خطای پیش‌بینی دقت بالاتر می‌رود.

۳-۵- نتیجه

در این بخش برای بازسازی فضای فاز ابتدا زمان تأخیر و بعد محاط برای سری‌های زمانی آشوبی محاسبه شد. برای محاسبه زمان تأخیر از روش میانگین اطلاعات متقابل و برای انتخاب بعد محاط مناسب روش کمترین همسایگی کاذب به کار گرفته شد و مشاهده شد نتایج به دست آمده برای سری زمانی لورنز با نتایج مطرح شده در مراجع معتبر مطابقت دارد. سپس پیش‌بینی به روش همانندی (نزدیکترین همسایه) بر روی ۷۵۰۰ داده سری زمانی لورنز و داده‌های درون‌یابی نشده و نویززدایی شده و نیز داده‌های درون‌یابی و نویززدایی شده برق مصرفی پتروشیمی رجال انجام شد و افق پیش‌بینی برای آن‌ها بدست آمد. مقایسه پیش‌بینی بر روی داده‌های درون‌یابی شده با داده‌های درون‌یابی نشده‌ی این شرکت نشان داد که پس از درون‌یابی بر روی داده‌ها تغییر چشمگیری در افق پیش‌بینی دیده نمی‌شود، تنها با کمتر شدن خطای پیش‌بینی دقت بالاتر می‌رود.

فصل ۴- بررسی شرکت
پتروشیمی رجال در بازار برق

در این فصل برای برنامه‌ریزی خرید برق مصرفی پتروشیمی رجال بر مبنای پیش‌بینی انجام شده بر روی داده‌های ساعتی مصرف برق این شرکت، توزیع فراوانی آماری و تعریف یک تابع هزینه‌ی مناسب، بسته خرید را پیشنهاد می‌دهیم.

۴-۱- بازار برق

بازار از جمله ابداعات بسیار قدیمی است که در بیشتر تمدن‌ها یافت می‌شود. در طول سالیان بسیار، بازار از یک مکان ساده برای معامله پایاپای کالاها، به یک فضای مجازی با گردش الکترونیکی اطلاعات، تکامل یافته که در آن، معاملات تنها با فشار کلید موشواره رایانه قابل انجام می‌باشد. با وجود این تغییرات در فناوری، اصل زیربنایی بازارها تغییر نکرده است. بازار محلی برای ملاقات فروشندگان و خریداران با یکدیگر، جهت وقوع مبادلات تجاری است [۳۵].

به عبارت دیگر بازار برق، مکانی برای خرید و فروش انرژی بین مصرف کنندگان مستقل و تولیدکنندگان انرژی است.

بازار را می‌توان به چند دسته طبقه‌بندی کرد، که در زیر به اختصار توضیح داده شده است [۳۵].

۴-۲- طبقه‌بندی بازار

۱- بازار رقابت خالص^۱

در یک بازار اقتصادی زمانی رقابت خالص وجود دارد که چهار شرط زیر موجود باشد:

- یکسان بودن کالاها
- کوچک بودن هر خریدار و فروشنده نسبت به حجم بازار
- عدم وجود محدودیت‌های مصنوعی
- قابلیت انتقال کالاها و منابع تولیدی

¹ Pure Competition Market

۱- بازار رقابت کامل^۱

در یک بازار اقتصادی زمانی رقابت کامل وجود دارد که علاوه بر چهار شرط فوق شرط زیر نیز برقرار باشد:

- اطلاعات کافی و کامل از جریان‌ات اقتصادی جامعه برای کلیه واحدهای تولیدی

۲- بازار انحصار خالص^۲

انحصار خالص حالتی است که در بازار فقط یک موسسه تولیدی فعالیت دارد و جانشین مناسبی برای کالاهایی که به فروش می‌رسند وجود ندارد.

۳- بازار انحصار چند جانبه^۳

بازار انحصار چند جانبه بازاری است که در آن تعداد فروشندگان آنقدر کم است که اعمال هر یک از آنها در فعالیت‌های سایر فروشندگان موثر واقع می‌شود.

۴- بازار رقابت انحصاری^۴

بازار رقابت انحصاری بازاری است که در آن فروشندگان زیادی از یک کالای بخصوص وجود دارد. منتهی از نظر مصرف کنندگان کالای هر فروشنده از کالاهای سایر فروشندگان به نحوی قابل تشخیص می‌باشد.

- تعداد فروشندگان در این بازار آنقدر زیاد است اعمال هر یک از آنها به تنهایی تاثیری بر عملیات سایر فروشندگان ندارد.

- کالاهای این بازار که توسط فروشندگان مختلف ارائه می‌شود، جانشین خوبی برای هم می‌باشند.

¹ Perfect Competition Market

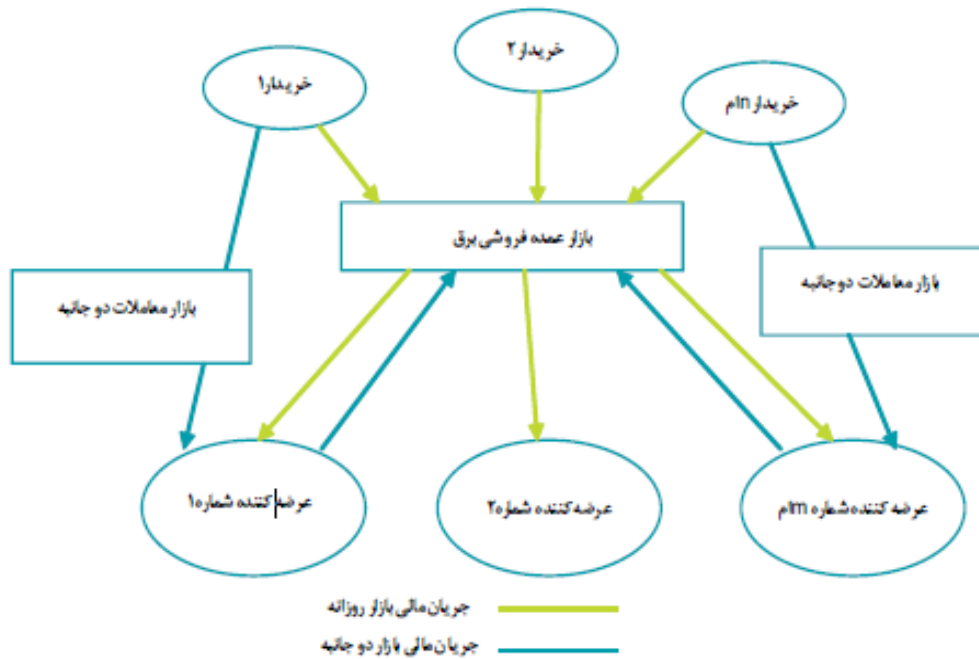
² Pure Monopolistic Market

³ Multilateral Monopolistic Market

⁴ Monopolistic Competition Market

۵- بازار معاملات دو جانبه^۱ [۳۶].

- معامله مستقیماً بین خریدار و فروشنده انجام می‌شود.
- خریدار و فروشنده بسته انرژی و قیمت پیشنهادی ارائه می‌دهند.
- خریدار و فروشنده می‌توانند معامله انجام دهند.



شکل (۴-۱): ساختار بازار روزانه پس از تشکیل بازار معاملات دو جانبه [۳۶]

۴-۳- ساختار اجرایی بازار معاملات دو جانبه متمرکز

- معاملات بازار دو جانبه به صورت متمرکز و حراج دو طرفه انجام می‌شود به طوری که بازیگران این بازار دو گروه خریدار و عرضه کننده می‌باشند.
- کالاهای قابل معامله در این بازار به صورت بسته‌های معاملاتی خرید و فروش روزانه، هفتگی، ماهانه و فصلی می‌باشند.

^۱ Bilateral Contract

- قیمت بسته‌های معامله شده در این بازار با توافق و قبول طرفین تعیین و مبنای صدور

صورتحساب و تسویه حساب قرار می‌گیرد [۳۶].

در این پایان‌نامه برای معرفی بسته خرید در قرارداد دو جانبه به پتروشیمی رجال تابع هزینه‌ای تعریف می‌شود که بر مبنای پیش‌بینی انجام شده بر روی داده‌های ساعتی مصرف برق این شرکت و توزیع فراوانی آماری می‌باشد.

۴-۴- معرفی بسته خرید در قرارداد دو جانبه

در این پایان‌نامه، پیشنهاد خرید از بازار بر مبنای افق پیش‌بینی است. به دلیل عدم وجود داده‌های کافی (برق مصرفی پتروشیمی رجال) و نیز نادقیق بودن آنها، حداکثر افق پیش‌بینی مناسب، برای ده روز بدست می‌آید شکل (۳-۱۳). بازار پیشنهادی از نوع بازار دو جانبه است که در بخش ۴-۲ از آن نام بردیم. این بازار بدین شکل تعریف می‌گردد:

خریدار و فروشنده بسته خرید انرژی و قیمت پیشنهادی ارائه داده و قراردادی می‌بندند.

خریدار پتروشیمی رجال و فروشنده نیروگاه پتروشیمی فجر می‌باشد.

خریدار و فروشنده مایلند حقوق و تعهدات خود را در این باره در قراردادی مشخص و معلوم نمایند:

- جابجایی (انتقال) انرژی تولیدی از نقطه اتصال به شبکه تا نقطه مرجع شبکه توسط خریدار انجام می‌گیرد.

- قیمت خرید روزانه هر KWh انرژی الکتریکی برابر با ۷۰ ریال می‌باشد.

- تخفیف در نظر گرفته شده جهت پیش خرید انرژی الکتریکی برای یک روز، مقدار ۰/۰۰۰۸

در نظر گرفته شده است. برای مثال مقدار تخفیف روز دهم در ۱۰ ضرب و برابر ۰/۰۰۸ می‌شود.

- قیمت فروش هر KWh انرژی الکتریکی مصرف نشده توسط خریدار در طول سی روز برابر با ۶۹/۴ ریال است.

- طرفین می‌توانند با توافق یکدیگر به قرارداد خاتمه دهند.

حال جهت پیشنهاد بسته خرید از بازار ذکر شده، بررسی می‌نماییم کدام روز از نقطه نظر کمترین هزینه، دارای بیشترین فراوانی در بین سی روز می‌باشد. بدین منظور ابتدا پنجاه شماره‌ی تصادفی در بازه‌ی [1,40000] ایجاد می‌کنیم. بازه‌ی انتخابی، بر مبنای تعداد داده‌های درون‌یابی شده‌ی برق مصرفی پتروشیمی رجال می‌باشد که این داده‌ها بصورت ساعتی هستند (هر یک ساعت یک داده داریم). سپس پیش‌بینی را به روش نزدیکترین همسایه به ازای هر شماره‌ی تصادفی تولید شده، یک بار انجام می‌دهیم. یعنی در این مرحله پنجاه مرتبه عمل پیش‌بینی انجام می‌گیرد. سپس مقادیر یاد شده را در تابع هزینه (۱-۴) قرار می‌دهیم. مقادیر هزینه برای افق پیش‌بینی یک روز تا سی روز بدست می‌آید. با رسم نمودار توزیع فراوانی آماری می‌توان تحلیل درستی بر روی نتایج انجام داد.

برای مدلسازی بازار برق فرضی، تابع هزینه‌ای تعریف می‌کنیم:

$$J = \sum_{i=1}^{24} Pl_i \cdot (price1 - (price1 \cdot (D \cdot disc))) - \sum_{i=1}^{24} [(Pl_i - RL_i) \cdot \theta(Pl_i - RL_i)] \cdot price2 + \sum_{i=1}^{24} [(RL_i - Pl_i) \cdot \theta(RL_i - Pl_i)] \cdot price1 \quad (1-4)$$

در تابع هزینه (۱-۴)، Pl عبارت است از مقادیر پیش‌بینی شده بار، RL مقادیر واقعی بار، $Price1$ قیمت خرید هر KWh انرژی الکتریکی است که برابر با ۷۰ ریال می‌باشد، $Price2$ قیمت فروش هر KWh انرژی الکتریکی مصرف نشده است که برابر با ۶۹/۴ ریال است.

D نمادی از روز است که یک تا سی روز را در بر می‌گیرد. $disc$ تخفیف در نظر گرفته شده جهت پیش خرید برق مصرفی می‌باشد که در اینجا، $disc$ برای یک روز مقدار ۰/۰۰۰۸ در نظر گرفته شده است. (۳۰ درصد در سال که با یک تناسب ساده مقدار ۰/۸ درصد برای ده روز می‌شود).

θ تابع هویساید^۱ است که به صورت (۲-۴) تعریف می‌شود.

$$\theta(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (2-4)$$

اگر مقدار $Pl_i > Rl_i$ شود. عبارت $\sum_{i=1}^{24} (Pl_i - Rl_i) \cdot price2$ را در تابع هزینه‌ی (۱-۴) ایجاد می‌کند. به عبارت دیگر، اگر مقدار بار پیش‌بینی و خریداری شده از مقدار بار مصرفی بیشتر گردد آنگاه اختلاف $Pl_i - Rl_i$ که مقدار مازاد بار خریداری شده را نشان می‌دهد. به قیمت ۶۹/۴ ریال در بازار برق به فروش می‌رسانیم.

اگر مقدار $Pl_i < Rl_i$ شود عبارت $\sum_{i=1}^{24} (Rl_i - Pl_i) \cdot price1$ را در تابع هزینه‌ی (۱-۴) ایجاد می‌کند. به بیان بهتر، اگر مقدار بار پیش‌بینی و خریداری شده از مقدار بار مصرفی کمتر شود آنگاه اختلاف $Rl_i - Pl_i$ که مقدار کاستی بار خریداری شده را نشان می‌دهد به قیمت ۷۰ ریال از بازار خریداری می‌کنیم.

۴-۴-۱- مراحل انجام کار

- (۱) پنجاه شماره‌ی تصادفی در بازه‌ی [1,40000] تولید و ثبت می‌کنیم.
- (۲) عمل پیش‌بینی را برروی داده‌ی اولین شماره‌ی تصادفی تولیدی برای افق یک تا سی روز انجام داده و مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده بار را بدست می‌آوریم.
- (۳) سپس مقادیر بدست آمده از پیش‌بینی را در تابع هزینه (۱-۴) قرار می‌دهیم. در این مرحله جواب، در دو ستون مجزا بدست می‌آید. یکی از ستون‌ها مقادیر تابع هزینه برای روز اول تا سی‌ام را شامل می‌شود که این مقادیر از کمترین مقدار تابع هزینه به بیشترین مقدار آن مرتب سازی می‌شوند.

¹ Heaviside

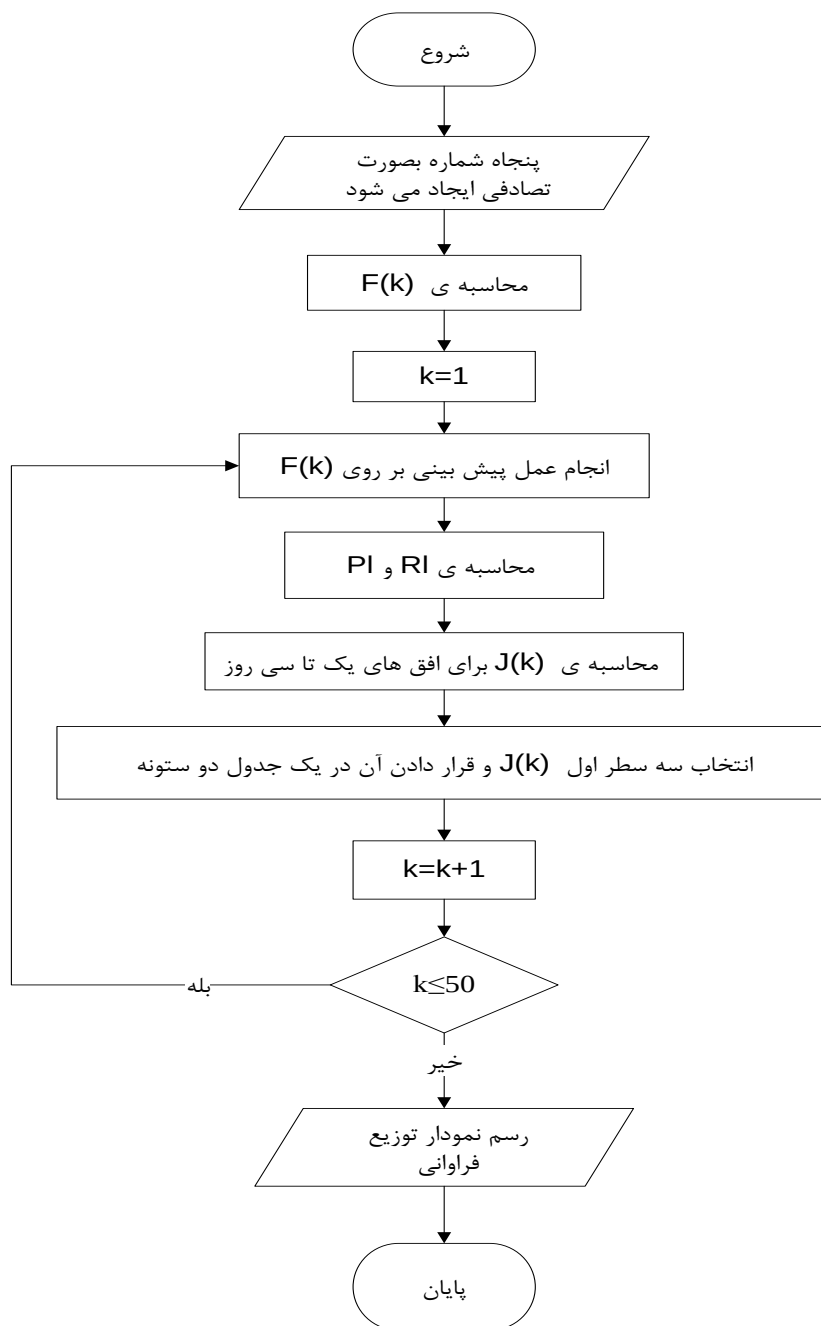
در ستون دیگر روزهای مربوط به هر یک از مقادیر تابع هزینه، در سطر جلوی آن آمده است. به این ترتیب سه روزی که کمترین مقدار تابع هزینه در آن‌ها اتفاق افتاده را بدست می‌آوریم.

(۴) یک جدول ایجاد کرده و هر بار به ترتیب سه سطر اول حاصل از مرحله سوم را در آن قرار می‌دهیم.

(۵) مراحل ۲ تا ۴ را برای پنجاه شماره‌ی تصادفی ایجاد شده تکرار می‌کنیم.

(۶) در نهایت یک ماتریس با ۱۵۰ سطر و دو ستون داریم. یعنی برای هر شماره‌ی تصادفی ایجاد شده سه افق پیش‌بینی که دارای کمترین هزینه می‌باشد ثبت می‌کنیم. حال با استفاده از نمودار توزیع فراوانی، افق پیش‌بینی که در پنجاه شماره‌ی تصادفی، بیشتر از بقیه تکرار شده باشد (بیشتر از بقیه کمترین هزینه را دارا باشد) به عنوان افق پیش‌بینی مطلوب انتخاب می‌کنیم.

مراحل فوق در فلوچارت شکل (۴-۲) نشان داده می‌شود.



شکل (۴-۲): فلوچارت رسم نمودار فراوانی جهت بدست آوردن بهترین بازار پیشنهادی از روی تابع هزینه (۴-۱)

پس از اجرای فلوچارت، جدول (۴-۱) ایجاد می شود.

جدول (۴-۱): سه کمینه اول مقادیر تابع هزینه در پنجاه مرتبه تکرار برای شماره‌های تصادفی

مقادیر حاصل از تابع هزینه (کمترین به بیشترین مقدار آن) و روزهای مربوط به هر مقدار		ردیف	شماره داده تصادفی
روز	مقادیر هزینه (ریال)		
۲۰	۳۶۰۹/۵۹	۱	۱۹
۱۹	۳۶۸۵/۷۵		
۱۷	۴۱۳۴/۵۸		
۱۷	۳۳۱۴/۹۸	۲	۱۴۸
۲۶	۳۹۸۵/۲۹		
۲۴	۴۱۸۵/۰۷		
۲۲	۶۳۸۰/۱۹	۳	۲۲۱۱
۲۰	۷۷۴۱/۳۹		
۲۳	۷۷۴۹/۳۰۶		
۱۲	۲۴۹۶۹/۷	۴	۳۶۱۱
۱۰	۲۵۲۴۶/۱۲		
۵	۲۵۶۲۳/۰۲		
۳	۲۷۲۰۰/۵۷	۵	۴۴۸۱
۲	۲۷۴۸۳/۴۲		
۱	۲۷۵۲۲/۰۹		
۱۶	۲۴۵۷۵/۴۲	۶	۵۴۶۵
۲۲	۲۶۱۵۹/۳۵		
۱۵	۲۶۶۸۹/۰۸		
۶	۲۵۶۹۹/۴۴	۷	۵۹۱۸
۱۲	۲۶۵۳۰/۸۶		
۷	۲۶۸۵۹/۲۶		
۲۸	۲۶۰۲۸/۱	۸	۶۷۰۴
۲۹	۲۶۲۲۵/۰۴		
۳۰	۲۶۶۳۴/۴۲		
۱۰	۲۶۴۴۴/۲۴	۹	۷۶۰۳
۹	۲۶۸۰۵/۴۹		
۲۲	۲۶۹۲۰/۸۴		
۱	۲۶۴۷۳/۰۴	۱۰	۸۰۰۹
۱۳	۲۶۹۵۵/۵۸		
۲	۲۷۰۰۱/۹۵		

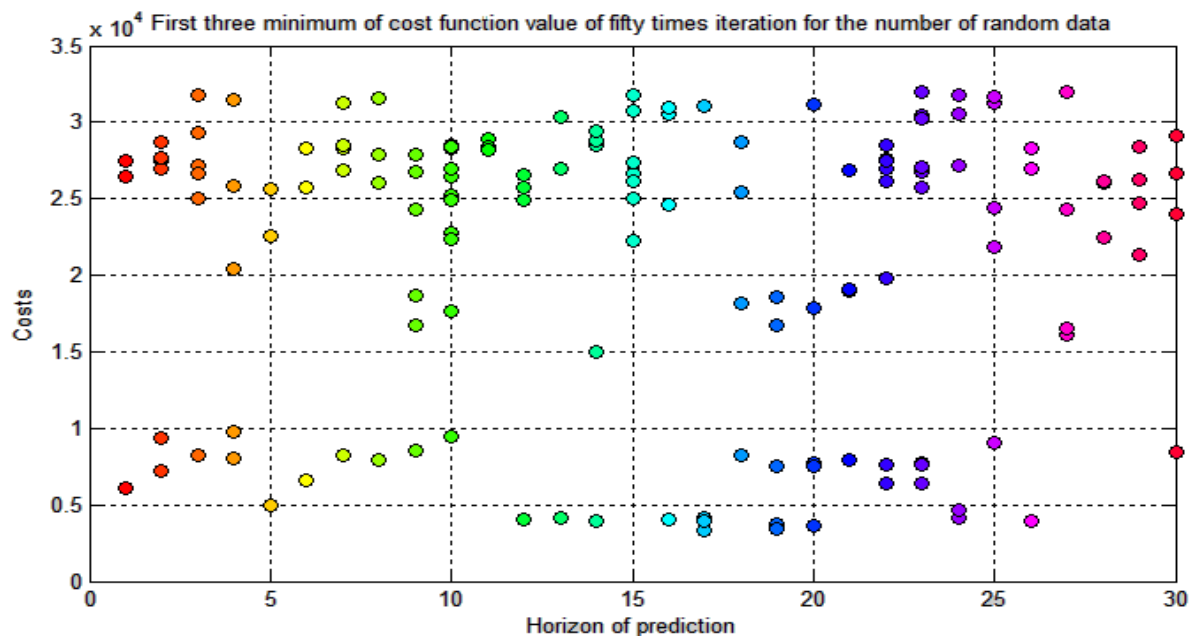
٣٤٣٧/٥٤٩	١٩	١٢٩٠٧	١١
٣٩٥٨/٢٠٧	١٧		
٤٠٠٨/٤٧٥	١٦		
٣٩٧٠/٣٩	١٤	١٣١٢٠	١٢
٤٠٧٠/٩٦	١٢		
٤١٢٤/٨٤	١٣		
٢٢٧٥٠/٢٩	١٠	١٤٧٩٠	١٣
٢٥٠١١/٢٩	٣		
٢٥٧٩٠/٣٧	٤		
٣٠٥٤٩/٩٩	١٦	١٥٨٩١	١٤
٣١٧٤٣/١٣	١٥		
٣١٩٧٣/١	٢٧		
٣١٢٨٩/٢٤	٧	١٦٢٩٨	١٥
٣١٦٠٠/٠٩	٨		
٣١٩٥٣/٠٥	٢٣		
١٩٠٢١/٠٣	٢١	١٧٢١٧	١٦
١٩٨٠٦/٣٢	٢٢		
٣٠٤٦١/١٥	٢٣		
١٥٠٢٨/٨٧	١٤	١٧٥٤٦	١٧
٢٢٣٠٣/٤١	١٥		
٣٠٣٨٦/٨	١٣		
٢٨٥٤٨/٢٧	٢٢	١٩٤٣٦	١٨
٢٨٨٦٦/٥٢	١١		
٣٠١٩٥/٧	٢٣		
٢٨٥٠٠/٨٨	١٤	١٩٨٢٨	١٩
٢٩١١٢/٠٧	٣٠		
٢٩٢٨٢/٧٨	٣		
٢٥٧٨٨/٣١	٢٣	٢٠٥٩٩	٢٠
٢٧٣٤٣/٦٣	١٥		
٢٨٨٤٢/١٦	١٤		
٢٤٠٤٣/٠٧	٣٠	٢١٣٨٥	٢١
٢٤٧٠١/٤١	٢٩		
٢٨٢٧١/٣٥	٧		
٢١٨٨٩/٣٣	٢٥	٢١٦١٨	٢٢
٢٧١٧١/٧٦	٢٤		
٢٧٧٢٤/١٥	٢		

ፋፍፋ/፩፩	፳፫	፳፳፫፩	፳፳
ፋፋፋ.፩፶	፳፳		
፩.፩፳/፶፳	፳፩		
ፋ፩፩፩/፶፫	፩	፳፳፳፩	፳፫
ፋፋፋ፩/፶፩	፩		
፩፶፩፩/፫፫	፫		
፳፩፳፳.፩.፩	፩፩	፳፫፩፩.	፳፩
፳፩፳፳፩/፩፩	፩.		
፳፩፳፫፫/፳፳	፶		
፳፩፳፫፫/፩፩	፩	፳፫፳፩.	፳፫
፳፩፩.፩/፩	፩.		
፳፩፩፳፳/፩፳	፶		
፩፩፩፫/፩፫	፩	፳፫፩፶፫	፳፶
፶፳፳፫.፩፩	፳		
፩፫፫፫/፫፳	፩.		
፩፶፩፶/፳፩	፫	፳፶፩፶፳	፳፩
፳፩፩፩፩/፩፳	፩		
፳፫፫፩፫	፳፩		
፳፫፩፩፫/፳፫	፩.	፳፶፩፩፳	፳፩
፳፫፩፩፫/፫፳	፩፳		
፳፩፳፩፳/፩፩	፩፩		
፳፫.፩፫/፩፩	፩	፳፩.፩፩	፳.
፳፫፩፶፫/፳	፩.		
፳፶፩፫፩/፫፳	፩		
፳፩.፫.፫፶	፩፶	፳፩፩፩፩	፳፩
፳፩፳፩፫/፶	፳፩		
፳፩፶፩.	፳፫		
፳፩.፳፩/፳፩	፩፩	፳፩፩፩፩	፳፳
፳.፩.፫፫/፫፩	፩፫		
፳፩፫፩.፩፳	፳፩		
፳፫፳፫፫/፳	፩	፳.፳፳.	፳፳
፳፩፳፩፳/፩፩	፩.		
፳፩፩፫፫/፫፫	፳.		
፩፫፩፳፶/፶፳	፳፶	፳.፶፩፳	፳፫
፳፳፩.፫፫/፩፫	፳፩		
፳፩፩.፩፫/፩	፳		

16479/86	27	30.792	35
26116/8	28		
27015/67	26		
16745/68	19	31626	36
17681/18	10		
18686/8	9		
16686/81	9	31644	37
18616/18	19		
22328/31	10		
20381/73	4	32369	38
28392/87	29		
29275/37	3		
24271/56	27	32644	39
26789/98	23		
28344/86	26		
26892/26	21	32897	40
27617/22	22		
28735/75	18		
25416/19	18	33052	41
29385/16	14		
30739/14	15		
25770/18	12	33369	42
27860/39	8		
28237/26	11		
8453/078	30	34058	43
18184/86	18		
21325/78	29		
7600/56	22	34509	44
7661/65	23		
7929/32	21		
7526/84	20	34647	45
7568/70	19		
8204/53	18		
7955/68	8	35190	46
8200/30	7		
8528/08	9		

۸۰۷۵/۴۶	۴	۳۵۴۰۱	۴۷
۸۲۰۳/۸۷	۳		
۹۳۸۲/۱۷	۲		
۲۶۹۹۴/۷۳	۲۲	۳۶۲۶۲	۴۸
۲۷۰۹۱/۸۵	۲۳		
۳۰۵۸۶/۲۶	۲۴		
۲۶۶۴۵/۵۳	۳	۳۷۲۱۵	۴۹
۲۸۷۳۹/۳۵	۲		
۳۱۵۰۲/۶۱	۴		
۱۷۸۵۴/۵	۲۰	۳۸۰۰۴	۵۰
۱۹۰۵۳/۲	۲۱		
۲۷۵۱۲/۳۵	۲۲		

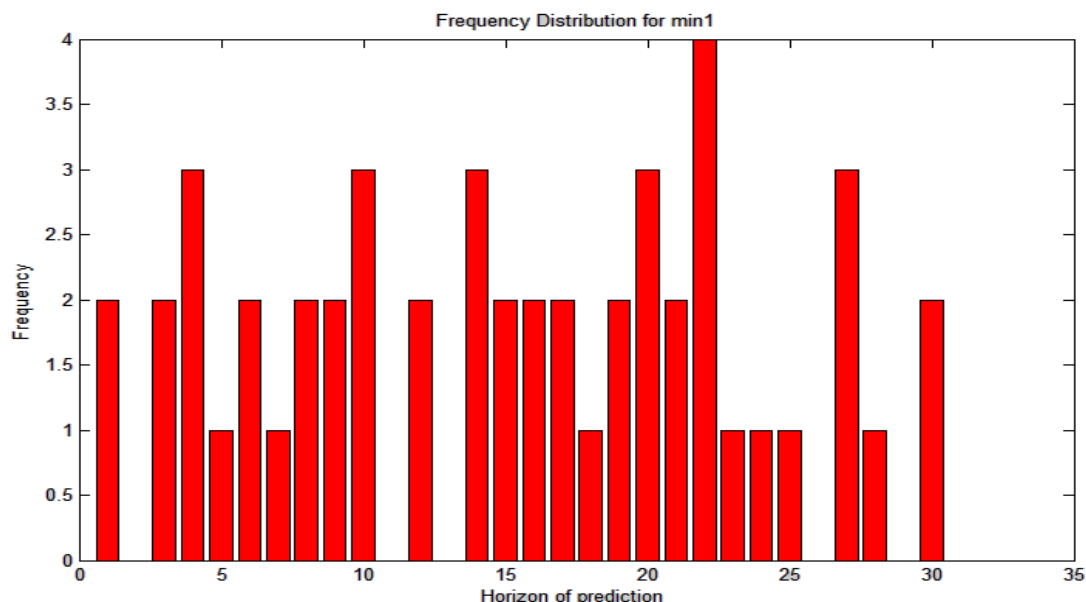
طبق جدول (۴-۱) سه کمینه اول، مقادیر تابع هزینه را در هر مرحله داریم. اگر این جدول را به شکل یک گراف نمایش دهیم آنگاه شکل (۴-۳) ایجاد می‌شود.



شکل (۴-۳): نمودار سه کمینه اول مقادیر تابع هزینه در پنجاه مرتبه تکرار برای شماره‌های تصادفی

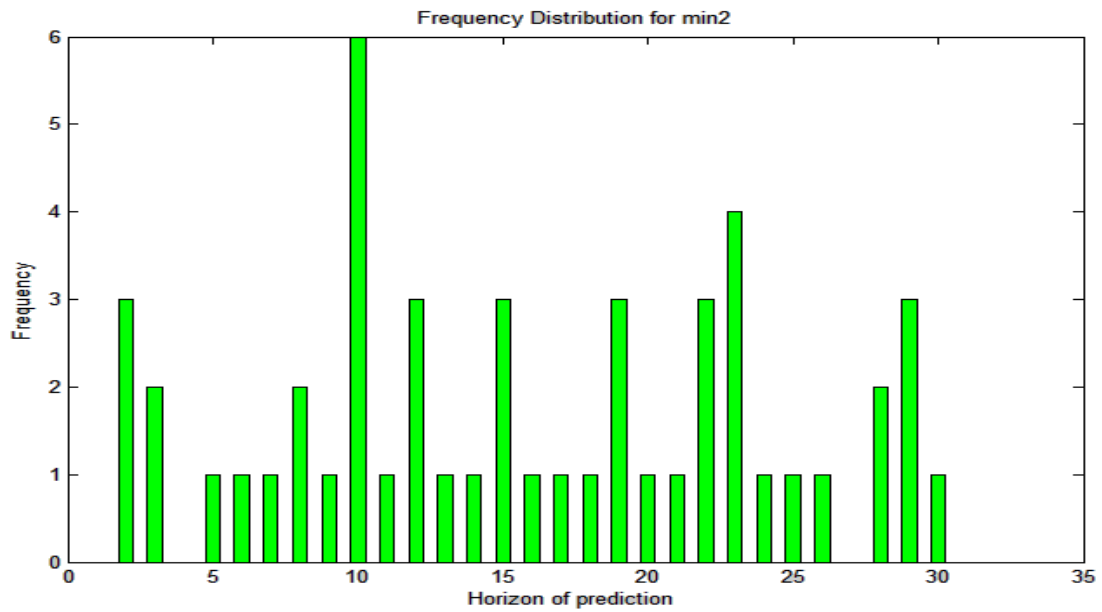
برای اینکه بیان کنیم بازار چند روزه، بهترین بازار پیشنهادی است. با استفاده از جدول (۴-۱)، به رسم نمودارهای توزیع فراوانی آماری می‌پردازیم.

ابتدا نمودار توزیع فراوانی را برای کمینه‌های اول مقادیر تابع هزینه در پنجاه مرتبه تکرار، رسم می‌نماییم. به همین ترتیب این نمودار را برای کمینه‌های دوم و سوم نیز رسم می‌کنیم. سپس نمودار توزیع فراوانی آماری را برای سه کمینه اول مقادیر تابع هزینه به طور همزمان در پنجاه مرتبه تکرار (۱۵۰ مقدار هزینه‌ی موجود در جدول (۴-۱)) رسم می‌کنیم. محور افقی، افق پیش‌بینی بر حسب روز و محور عمودی میزان فراوانی را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۴): نمودار میله‌ای توزیع فراوانی آماری برای کمینه‌های اول مقادیر تابع هزینه در پنجاه مرتبه

مطابق شکل (۴-۳) اگر به محور عمودی که نشان‌دهنده میزان فراوانی است بنگریم. روز بیست و دوم بیشترین میزان فراوانی را دارد. روزهای دهم، چهارم، چهاردهم، بیستم و بیست و هفتم دومین میزان فراوانی را دارا می‌باشند.

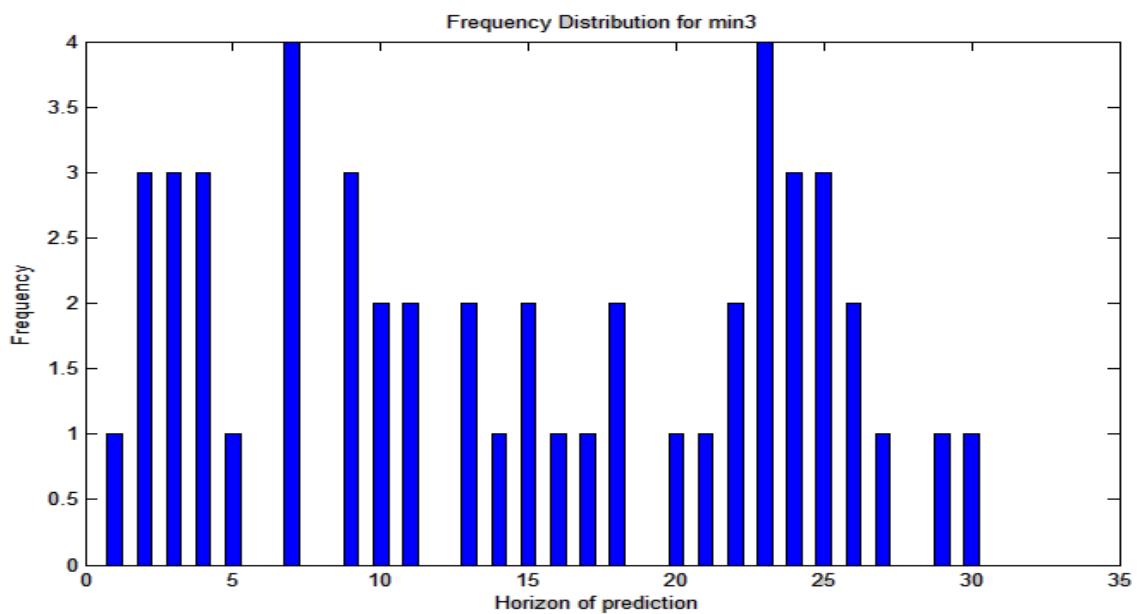


شکل (۴-۵): نمودار توزیع فراوانی آماری برای کمینه‌های دوم مقادیر تابع هزینه در پنجاه مرتبه

میزان فراوانی در روزهای اول تا سی‌ام در شکل (۴-۵) به ترتیب مقادیر ۰، ۳، ۲، ۰، ۱، ۱، ۱، ۲، ۱، ۶،

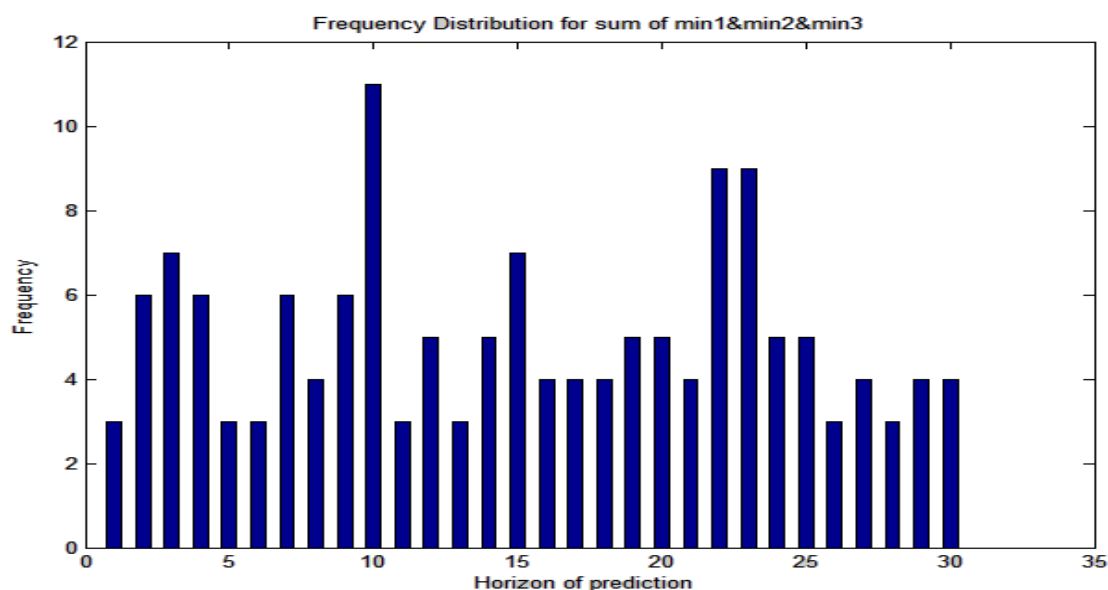
۱، ۳، ۱، ۱، ۳، ۱، ۱، ۴، ۱، ۱، ۰، ۲، ۳، ۱ را به خود اختصاص می‌دهند. بیشترین

میزان فراوانی ۶ است که برای روز دهم اتفاق می‌افتد.



شکل (۴-۶): نمودار توزیع فراوانی آماری برای کمینه‌های سوم مقادیر تابع هزینه در پنجاه مرتبه

شکل (۴-۶) نشان می‌دهد که برای کمینه‌های سوم، میزان فراوانی در روزهای هفتم و بیست و سوم بیشترین مقدار بوده است. چون هر کدام از نمودارهای (۴-۳)، (۴-۴) و (۴-۵) به تنهایی قابل اطمینان و نتیجه‌گیری نیستند پس برای رسیدن به یک نتیجه کلی به رسم نمودار توزیع فراوانی آماری برای سه کمینه اول (کمینه‌های اول، دوم و سوم) مقادیر تابع هزینه در پنجاه مرتبه تکرار به طور همزمان می‌پردازیم. شکل (۴-۷) حاصل می‌گردد.



شکل (۴-۷): نمودار فراوانی آماری برای سه کمینه اول مقادیر تابع هزینه در پنجاه مرتبه

در شکل (۴-۷) روز دهم بیشترین میزان فراوانی را برای سه کمینه اول (کمینه‌های اول، دوم و سوم) مقادیر تابع هزینه به طور همزمان در پنجاه مرتبه تکرار دارد. نتایج حاصل از رسم نمودارهای توزیع فراوانی آماری، بیانگر برتری بازار برق ده روز آینده نسبت به دیگر بازارها می‌باشد. پس با توجه به پیش‌بینی انجام شده و نمودارهای توزیع فراوانی، بازار ده روز آینده را به عنوان بهترین بازار پیشنهاد می‌دهیم.

۴-۵- تأمین برق یک ماه پتروشیمی رجال از بازار برق

حال می‌خواهیم سودمندی بازار برق فرضی پیشنهادی را بررسی کنیم لذا با استفاده از بازار برق ده روز آینده که بر مبنای پیش‌بینی انجام شده در فصل سوم و توزیع فراوانی آماری پیشنهاد داده شد، مصرف برق سی روز پتروشیمی رجال را خریداری می‌کنیم. بدین منظور در سی روز متوالی به پیش‌بینی مصرف برق روز دهام می‌پردازیم. سپس با استفاده از پیش‌بینی انجام شده، هزینه خرید سی روز را بدست می‌آوریم. هزینه بدست آمده را با هزینه خرید برق مصرفی پتروشیمی رجال که به طور معمول خریداری می‌گردد، مقایسه می‌کنیم.

جدول (۲-۵): مقایسه‌ی هزینه خرید برق مصرفی به طور معمول با هزینه خرید برق مصرفی از بازار ده روزه

	برای داده‌های ۱۰ الی ۷۳۰			برای داده‌های ۳۰۰۰ الی ۳۰۷۲۰		
هزینه خرید برق مصرفی به طور معمول (ریال)	۲۲۹۳۲۳			۱۰۳۱۰۶۹		
نرخ تخفیف (درصد)	۰/۸	۵	۱۰	۰/۸	۵	۱۰
هزینه خرید برق مصرفی از بازار ده روزه (ریال)	۲۲۷۵۵۴	۱۹۵۵۷۴	۱۵۷۵۰۳	۱۰۲۳۱۶۸	۹۷۷۱۸۲	۹۲۲۱۷۵
سود حاصله (ریال)	۱۷۶۹	۳۳۷۴۹	۷۱۸۲۰	۷۹۰۱	۵۳۸۸۷	۱۰۸۸۹۴

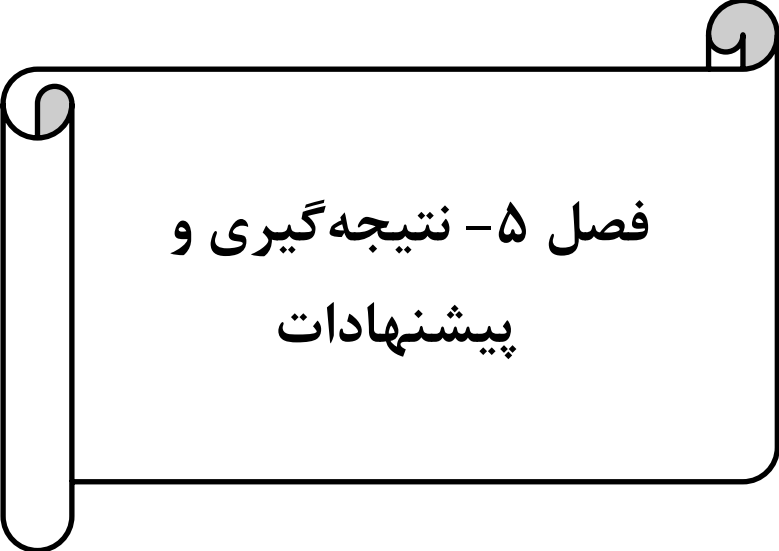
هزینه خرید برق مصرفی از بازار ده روزه و هزینه خرید برق مصرفی که به طور معمول خریداری می‌گردد، یک بار برای داده‌های ۱۰ الی ۷۳۰ و بار دیگر برای داده‌های ۳۰۰۰ الی ۳۰۷۲۰ در جدول (۲-۵) نشان داده شده است. اختلاف این دو هزینه سود حاصل از خرید برق مصرفی پتروشیمی رجال از بازار ده روزه را نشان می‌دهد. تخفیف (disc) برای ده روزه، مقادیر ۰/۸، ۵، ۱۰ درصد (۰/۰۸، ۰/۰۵، ۰/۱) در نظر گرفته شده است که با افزایش میزان تخفیف، سود نیز افزایش می‌یابد.

هزینه خرید برق مصرفی به طور معمول - هزینه خرید برق مصرفی از بازار ده روزه = سود

سود حاصل از خرید برق مصرفی پتروشیمی رجال از بازار ده روزه بیانگر سودمند بودن بازار پیشنهادی است.

۴-۶- نتیجه

در این فصل پس از تعریف مختصری از بازار، برای برنامه‌ریزی خرید برق مصرفی پتروشیمی رجال، با تعریف یک تابع هزینه‌ی مناسب، بسته خرید را پیشنهاد دادیم. تعریف بازار برق ده روز آینده بر اساس افق پیش‌بینی و توزیع فراوانی آماری انجام شد. نتایج حاصل از رسم نمودارهای توزیع فراوانی آماری، بیانگر برتری بازار ده روز آینده برای پیشنهاد به پتروشیمی مذکور، نسبت به دیگر بازارها می‌باشد و مقایسه‌ی هزینه خرید برق مصرفی این شرکت که به طور معمول خریداری می‌گردد با هزینه خرید برق مصرفی آن از بازار ده روزه بیانگر سودمندی این بازار است.



فصل ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری

- در این پایان نامه برای بازسازی فضای فاز ابتدا زمان تأخیر و بعد محاط برای سری های زمانی آشوبی محاسبه شد. برای محاسبه زمان تأخیر از روش میانگین اطلاعات متقابل و برای انتخاب بعد محاط مناسب روش کمترین همسایگی کاذب به کار گرفته شد و مشاهده گردید که نتایج به دست آمده برای سری زمانی لورنز با نتایج مطرح شده در مراجع معتبر مطابقت دارد. سپس پیش بینی به روش همانندی (نزدیکترین همسایه) بر روی ۷۵۰۰ داده سری زمانی لورنز و داده های درون یابی نشده و نوپزدایی شده و نیز داده های درون یابی و نوپزدایی شده مصرف برق پتروشیمی رجال انجام شد و افق پیش بینی بدست آمد. مقایسه پیش بینی بر روی داده های درون یابی شده با داده های درون یابی نشده ای این شرکت نشان داد که پس از درون یابی بر روی داده ها تغییر چشمگیری در افق پیش بینی دیده نشد بلکه با کمتر شدن خطای پیش بینی دقت آن بالاتر رفت. سپس برای برنامه ریزی خرید برق مصرفی پتروشیمی رجال، با تعریف یک تابع هزینه مناسب، بازار برق ده روز آینده و بسته خرید را پیشنهاد دادیم. نتایج حاصل از رسم نمودارهای توزیع فراوانی آماری، بیانگر برتری بازار برق ده روز آینده برای خرید برق پتروشیمی مذکور نسبت به دیگر بازارها می باشد و نیز سود حاصل از خرید برق مصرفی پتروشیمی رجال از بازار ده روزه بیانگر سودمند بودن بازار پیشنهادی است.

۵-۲- پیشنهادات

- شایان ذکر است که افزایش میزان تخفیف با افزایش تعداد روزهای بازار برق پیشنهادی رابطه مستقیم دارد. لذا با افزایش افق پیش بینی، سود حاصله از پیش خرید برق مورد نیاز نیز افزایش می یابد. در این پایان نامه افق پیش بینی ده روز بدست آمد. امید است در سال های آینده، با افزایش تعداد داده های مصرف برق پتروشیمی رجال، بتوان بازار برق بهتری پیشنهاد دهیم و با بکارگیری عملی این بازار در پتروشیمی مذکور به صرفه جویی در هزینه ها و کیفیت بهتر برق این شرکت کمک کنیم.

- بهبود نتایج پیش‌بینی و بسته خرید پیشنهادی با استفاده از روش‌های قدرتمندتر پیش‌بینی به جای استفاده از روش نزدیکترین همسایه (همانندی) را می‌توان به عنوان تحقیقات بعدی برشمرد.

مراجع

- [1] BO Lin, Electricity Demand in people's Republic of China Investment
- [۲] محمد رضا شفیعی چافی، سید محمد نقیعی، حسین قلی زاده نرم، "استفاده از دینامیک آشوب در مدلسازی و پیش‌بینی مصرف بار شبکه"، بیست و دومین کنفرانس مهندسی برق ایران ۱۳۹۳.
- [۳] حمید خالوزاده، علی خاکی صدیق، ارزیابی روش‌های پیش‌بینی قیمت سهام و تعیین میزان قابلیت پیش‌بینی در بازار بورس تهران، مجله علمی پژوهشی مدرس دوره ۷ شماره ۳، صفحه ۶۸-۶۱ پاییز ۱۳۸۲.
- [4] A. weigend and N. Gershenfeld, Time Series Prediction: Forecasting the Future and Understanding the past. Addison-Wesley, 1994.
- [۵] سخنور سعید، "شبیه‌سازی سیستم کنترل تنفس و طراحی یک کنترلر فازی برای آن"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه امیرکبیر، ۱۳۷۳.
- [۶] زندی مهران یاسمن، "بررسی آشوب‌گونه سیگنال کمپلکس الکتریکی معده" پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۸۶.
- [۷] میکاییلی محمد، کاربرد روش‌های جدید پردازش هوشمند سیگنال‌های حیاتی EEG, EOG, EMG در طراحی سیستم‌های ارزیاب کمی پدیده خواب"، رساله دکتری، ۱۳۸۰.
- [8] Rangarajan G., D. A. Sant, "Fractal dimension analysis of Indian climatic dynamics", Chaos Solitons & Fractals, 2003.
- [9] Harry G. Stoll, Least-Cost Electric Utility Planning, John-Wiley, pp. 167 – 212, 1989.
- [10] Stoll HG. Least-Cost electric utility planning. New York: John Wiley Sons Inc; 1989.
- [11] Willis HI, Northcote-Green JED Comparison tests of fourteen distribution load forecasting methods. IEEE Trans Power Appar Syst, Vol. 103 no. 6, PP. 1190-1197, 1984.
- [12] L. Ghelardoni, A. Ghio, and D. Anguita, "Energy Load Forecasting Using Empirical Mode Decomposition and Support Vector Regression", IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID, Vol. 4, PP. 546-556, 2013.
- [13] C. J. Yu, Y. Y. He, and T. F. Quan, "Frequency spectrum prediction method based on EMD and SVR", in Proc. Int. Conf. Intell. Syst. Design Appl, PP. 39-44, 2008.
- [14] D. Niu, Y. Wang, and D. D. Wu, "Power Load forecasting using support vector machine and ant colony optimization", Expert Syst., Appl, Vol 37, PP. 2531-2539, 2010.
- [15] Contreras, J. ; Espinola, R. ; Nogales, F.J. ; Conejo, A.J, "ARIMA models to predict next-day electricity prices", IEEE Trans. Power Syst., Vol. 18 no.3, PP. 1014-1020, 2003.

- [16] T.Chen, "A collaborative fuzzy-neural approach for long-term load forecasting in Taiwan", Computers & Industrial Engineering, Vol. 63 no.3,, PP. 663-670, 2012.
- [17] B. Luitel and G. K. Venayagamoorthy, "Decentralized Asynchronous Learning in Cellular Neural Networks", IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst., Vol. 23 no.11, PP. 1755-1766, 2012.
- [18] A. Azadeh, M. Taghipour, S.M. Asadzadeh, M. Abdollahi, "Artificial immune simulation for improved forecasting of electricity consumption with random variations", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 55 , PP. 205-224, 2014.
- [19] Yu S., Wei Y., Wang K. , "A PSO-GA optimal model to estimate primary energy demand of China", Energy Policy, Vol. 42, PP. 329-340, 2012.
- [20] Wu Q, Law R., " Cauchy mutation based on objective variable of Gaussian particle swarm optimization for parameters selection of SVM",Expert Syst. Appl, Vol. 38 no.6, PP. 6405-6411, 2011.
- [21] C.N. Ko, CM. Lee, "Short-term load forecasting using SVR (support vector regression)-based radial basis function neural network with dual extended Kalman filter", Energy, Vol. 49, PP. 413-422, 2013.
- [22] Brockwell P. J., R. A. Davis, "Time Series: Theory and Methods" Springer Verlag, 1991.
- [23] Wolf. A., J. B. Swift, H. L. Swinney and J. A. Vastano "Determining Lyapunov exponents from a time series" Physica D, vol. 16, pp. 285-317,1999.
- [24] G.L.Baker, J.P.Gollub, "Chaotic Dynamics": An Introduction, Second edition, Cambridge Univ. Press, 1996.
- [25] F. Takens, "Detecting strange attractors in turbulence", in: Lecture Notes in Mathematic (D.A Rand, L.S Young) vol. 898, pp. 366-381, springer, Berlin,1981.
- [26] G. Kember, A. C. Fowler, " A correlation function for choosing time delays in phase portrait reconstruction", Physica Letters A, vol. 179, pp.72-80,1993.
- [27] Paul S Addison, "Fractals and Chaos",1997.
- [28] A. Fraser, H.L. Swinney, "Independent coordinates for strange attractors from mutual information", Physical Review A, vol. 33 no. 2, pp. 1134-1140, 1986.
- [۲۹] علی تمیزی، " بررسی امکان تشخیص بیماری AF با استفاده از محاسبه بزرگترین نمای لیپانف"، سومین کنفرانس ملی برق ایران ۱۳۹۰.
- [30] H. D. I Abarbanel, M. B. Kennel, "Local false nearest neighbors and dynamical dimensions from observed chaotic data", Physical Review E, vol. 47, no. 5, pp.3057-3068,1993.
- [۳۱] عطائی محمد، " تحلیل پیش بینی و مدل سازی سری های زمانی چند متغیره"، رساله دکتری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۸۲.

[32] E.J.Kostelich, D.P.Lathrop, Time Series Prediction by Using the Method of Analagous, Time Series Prediction: Forecasting Future and Understanding the Past PP.238-295, 1993.

[33] H. D. I Abarbanel, R.Brown, J.J.Sidorowich, L.S.Tsimring, "The analysis of observed chaotic data in physical systems". Review of modern physics, vol.65, no.4, pp.1331-1392, October1993.

[34] M.Casdagli, D.D.Jardins, S.Eubank, J.D.Farmer, J.Gibson, N.Hunter, J.Theilerm Nonlinear Modeling of Chaotic Time Series: Theory and Applications, Electric Power Research Institute Workshop on Application of Chaos, San Francisco, December 1990.

[۳۵] دنیل اس.کرشن، کوران استربک، مترجمان: کارشناسان دبیرخانه هیأت تنظیم بازار برق ایران، "مبانی اقتصاد سیستم قدرت".

[۳۶] شرکت کارگزاری بانک ملی ایران، "آشنایی با بورس انرژی"، چاپ صنوبر، سایت www.igmc.com.

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

Chaotic	آشوبی
Deterministic	قطعی
Strang Attractor	جاذب عجیب
Embedded dimension	بعد محاط
Phase Space Reconstruction	بازسازی فضای فاز
Redundancy	افزودگی
Mutal information	میانگین اطلاعات متقابل
False Nearest Neighbor	کمترین همسایگی کاذب
Autoregressive	اتورگرسیو
Support Vector Machine	ماشین بردار پشتیبان
Nearest neighbour method	روش نزدیکترین همسایه
Frequnce Distribution	توزیع آماری
Pure Competition Market	بازار رقابت خالص
Perfect Competition Market	بازار رقابت کامل

Pure Monopolistic Market

بازار انحصار خالص

Bilateral Contract

معاملات دو جانبه

Monopolistic Competition Market

بازار رقابت انحصاری

Multilateral Monopolistic Marke

بهازار انحصار چند جانب

Abstract

It is impossible and too difficult to analytically model many of the real process without differential and algebraic equations. In such cases, we can use time series for define analysis process. The goal of this thesis is to reduce costs by recommending a purchase box from power market. In that respect, the electrical consumption of REJAL petrochemical is predicted by chaos methods over long term period. Hence, chaos time series are investigated at first. Moreover, the way of phase space reconstruction is presented by calculating the chaos time series's index such as delay time and embedded dimension. Then, the interpolation and denoised data of chaos time series are predicted by nearest neighbour method. The evaluation of used method is recognized by observation of simulation's results of known chaos systems. Finally, the cost function is defined based on prediction of hourly electricity consumption data of REJAL petrochemical and statistical frequency distribution for programming to purchase electricity consumption of this company from the bilateral power market. The analysis of results show the suggested purchase box is excellence and beneficial.

Key Words: Chaotic Time Series, Power Market, Phase Space Reconstruction, Prediction, Frequency Distribution.



University of Shahrood

Faculty of Electrical and Robotic Engineering
Thesis Submitted for the Degree of Master of Science

Long term prediction of REJAL petrochemical electricity
consumption by using chaotic time series method

Solmaz Farahbod

Supervisors

Dr. Hosein Gholizadeh Norm

Dr. Mohamad Hadad Zarif

September 2015