



ISSN: 2008-4870

Journal Website: <http://IJIEPM.iust.ac.ir/>

شماره ۲، جلد ۲۱، تابستان ۱۳۸۹

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید

## Forecasting Forex Currency Market by Integrating Fuzzy Time Series and Simulated Annealing Heuristic

Ali Mohammad Kimiagari, Farid Radmehr & Negar Ghanbari\*

A.Mohammad Kimiagari, Assistant Professor, Industrial Engineering Department, Amirkabir University of Technology

Farid Radmehr, Master student of Industrial Engineering, Amirkabir University of Technology.

Negar Ghanbari, Master student of Industrial Engineering, Amirkabir University of Technology

### Keywords

Fuzzy time series,  
Forex currency market,  
Simulated Annealing,  
Alabama Enrollment

### ABSTRACT

In the last 15 years, some methods have been proposed for forecasting based on fuzzy time series. One of the most important issues that affect the forecasting results in these models is the length of intervals. There are some studies on this issue but in most of them, length of intervals are predefined or even in some studies the interval's length are the same. In this study we propose a model to determine effective intervals by using Simulated Annealing algorithm. And then we exercise this model on the FOREX currency market on some currency exchange rates (EUR/USD euro/US dollar, CAD/USD US Dollar/Canadian Dollar, GBP/USD British Pound/US Dollar, GBP/CHF British Pound/Swiss Franc) also we compare our model with other's on forecasting Alabama University Enrollment.

© (نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید) شماره ۲، جلد ۲۱، ۱۳۸۹

## پیش بینی بازار ارز فارکس با استفاده از سری های زمانی فازی و الگوریتم شبیه سازی تبرید

علی محمد کیمیاگری، فرید رادمهر و نگار قنبری

### چکیده:

در ۱۵ سال اخیر، مدل های متعددی برای پیش بینی با استفاده از سری های زمانی فازی توسط محققین ایجاد شده اند. با توجه به ادبیات موضوع می توان دریافت که یکی از مسائل مهم در این مدل ها نحوه ی تعیین بازه های فازی برای تبیین مدل و انجام پیش بینی است، لذا تحقیقات متعددی در این زمینه برای تعیین بازه های مناسب و افزایش دقت مدل های پیش بینی انجام شده است؛ در این تحقیق مدلی جدید با استفاده از ترکیب الگوریتم تبرید و سری های زمانی فازی

### کلمات کلیدی

سری زمانی فازی  
پیش بینی  
بازار ارز فارکس  
الگوریتم شبیه سازی تبرید.

تاریخ وصول: ۸۸/۴/۱۲

تاریخ تصویب: ۸۹/۳/۲۲

دکتر علی محمد کیمیاگری، عضو هیئت علمی دانشکده ی صنایع دانشگاه صنعتی امیرکبیر [kimiagar@aut.ac.ir](mailto:kimiagar@aut.ac.ir)

فرید رادمهر، دانشکده ی مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی امیرکبیر [f.radmehr@aut.ac.ir](mailto:f.radmehr@aut.ac.ir)

نگار قنبری، دانشکده ی مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی امیرکبیر [negar.qanbari@aut.ac.ir](mailto:negar.qanbari@aut.ac.ir)

جهت پیش بینی داده‌ها معرفی شده است. و این مدل بر روی داده‌های بازار ارز فارکس اجرا شد و در نهایت جهت مقایسه‌ی نتایج مدل ارائه شده و مدل‌های پیشین، مدل را بر روی داده‌های پذیرش دانشگاه الاباما که به عنوان مرجع مقایسه‌ی اینگونه مدل‌ها می باشد تست گردید و نتایج حاصله، بیانگر برتری مدل پیشنهادی نسبت به سایر مدل‌های موجود در ادبیات موضوع می باشد

## ۱. مقدمه

بسیار واضح و مبرهن است که فرایند پیش بینی نقش بسزایی را در زندگی بشر بازی می کند، همه روزه بسیاری از انسانها در حیطه‌ی شغلی و زندگی خود دست به پیش بینی آینده می زنند و سعی دارند با تحلیل شرایط کنونی و گذشته دانشی را نسبت به آینده کسب کنند، بسیاری از سرمایه گذاران، سهام داران و تحلیلگران اقتصادی نیز با استفاده از دانش و تجربه‌ی خود و ابزارهای متعدد سعی در پیش بینی شرایط اقتصادی و وضعیت بازار و ... دارند، به طبع همه‌ی این افراد به دنبال فرایند‌های پیش بینی با دقت بالاتر هستند تا بتوانند سود خود را افزایش دهند.

در سالهای گذشته مدل‌های زیادی در رابطه با فرایند پیش بینی سری‌های زمانی، در دنیای علم معرفی شده اند، که در میان این مدل‌ها، مدل‌هایی نظیر ARMA و BOX-Jenkins از شهرت زیادی برخوردار بودند. ولی مدل‌های پیش بینی کلاسیک، نظیر این دو مدل در پیش بینی مسائلی که در آنها از متغیرهای زمانی استفاده شده بود دچار مشکل می شدند و قادر به پیش‌بینی نبودند، از سوی دیگر این نوع مدل‌ها برای پیش بینی نیاز به داده‌های زیادی دارند در نتیجه این عوامل باعث شد تا Song و Chissom تئوری سری‌های زمانی فازی را مطرح سازند، بر اساس این تئوری Chen [۳] مدلی را برای پیش بینی پذیرش دانشگاه الاباما ارائه نمود، که این مدل از لحاظ محاسبات نسبت به مدل پیشین خود بسیار ساده تر و همچنین از لحاظ دقت نیز بهتر بود، لذا در بسیاری از مطالعات مربوط به سری‌های زمانی فازی مدلی که مورد بررسی قرار می گیرد، مدل ارائه شده توسط Chen [۳] می‌باشد. پس از این مدل‌ها تحقیقات متعددی در زمینه‌ی پیش بینی سری‌های زمانی فازی انجام گردید، اما همچنان مسائل تحقیقاتی مهمی در این زمینه وجود دارد که یکی از این مسائل تعیین بازه‌های مناسب جهت استفاده در مدل‌های پیش بینی می‌باشد. Huarng [۴] در مقاله‌ی خود به این نکته اشاره کرده است که بازه‌های متفاوت می تواند نتیجه‌های پیش بینی متفاوتی را در پی داشته باشد و برای دست یابی به دقت پیش بینی بهتر می‌بایست بازه‌های متناسبی را تعیین نمود.

لذا برای نیل به چنین هدفی در این مقاله فرضمان بر این است بازه‌های پیش بینی هیچ محدودیتی از لحاظ طول ندارند باید با توجه به ماهیت داده‌ها تعیین شوند و به گونه‌ای مناسب بر روی داده‌ها برآزش شوند. در نتیجه در این مقاله از الگوریتم فرا ابتکاری تبرید برای تعیین بازه‌ها با شرایط ذکر شده استفاده گردیده است؛

همچنانکه اشاره شد، مدل مورد بررسی در این تحقیق مدل ارائه شده توسط [۳] Chen می‌باشد، البته شایان ذکر است که در طول این مدل برای افزایش دقت مدل ایده‌ای از مقاله‌ی Cheng [۵] استفاده شده است که در قسمت مدل سازی بدان اشاره نموده ایم. سایر بخش‌های مقاله بدین قرار می باشند: در بخش ۲ مفاهیم پایه‌ی مورد استفاده در این مقاله مطرح گردیده، در بخش ۳ به مرور ادبیات موضوع پرداخته، در بخش ۴ مسائل مربوط به مدل سازی و اجرای مدل مورد بحث قرار گرفته و بخش ۵ شامل نتیجه گیری و جمع بندی مقاله می باشد.

## ۲. مرور ادبیات

برای نخستین بار مفهوم سری‌های زمانی فازی توسط Song و Chissom [۲] براساس مفاهیم مجموعه‌های فازی برای پیش بینی پذیرش دانشگاه آلاباما ارائه گردید، با توجه به تعاریف ارائه گشته در آن مقاله، آنها سری‌های زمانی فازی را به دو قسمت اصلی وابسته به زمان<sup>۱</sup> و مستقل از زمان<sup>۲</sup> تقسیم بندی نموده اند که برای پیاده سازی روابط فازی در مدل‌های مستقل از زمان از عملگرهای max-min استفاده می شود و همچنین برای مدل‌های وابسته به زمان از عملگرهای min-max استفاده می گردد. بعدها اشکالاتی که توسط Chen [۳] در مورد این مدل مطرح گردید، که استفاده از این عملگرها در مدل‌های مذکور باعث ایجاد پیچیدگی فراوان در مسئله پیش بینی می گردد، لذا وی با ساده سازی محاسبات عددی مربوط به عملگرهای ترکیبی<sup>۳</sup> باعث بهبود و افزایش دقت محاسبات نسبت به مدل Song و Chissom گردید. در ادامه Huarng [۳] برای دستیابی به دقت پیش بینی بهتر، مدل chen [۳] با مدل ابتکاری شبکه عصبی در آمیخت و مسئله پیش‌بینی پذیرش دانشگاه آلاباما را با جوابی بهتر حل نمود، و همچنین Huarng [۶] در مقاله‌ای دیگر برای نخستین بار به بررسی طول بازه‌های سری زمانی پرداخت که دو نوع بازه را بر پایه تابع توزیع<sup>۴</sup> و میانگین<sup>۵</sup> معرفی نمود، نتایج بدست آمده از اجرای این مدل برای پیش بینی<sup>۶</sup> TAIEX (بازار بورس تایوان) نسبت به مطالعات قبلی که بازه‌ها را به صورت ۷ بازه‌ی مساوی انتخاب می نمودند بهتر بود.

<sup>1</sup> time-variant

<sup>2</sup> time-invariant

<sup>3</sup> composition operation

<sup>4</sup> distribution-based

<sup>5</sup> average-based

<sup>6</sup> Taiwan exchange

تغییرات قیمت و میانگین این تغییرات تعیین می‌کند اگرچه در این مدل سعی شده است بازه‌ها را بر اساس نوع داده‌ها تعیین کنند، ولی این مدل در صورت تغییرات داده‌ها حساسیت کمتری از خود نشان می‌دهد، چون تغییرات داده‌ها با میانگین‌گیری حذف می‌شود، همچنین این مدل برای پیش‌بینی داده‌های پذیرش دانشگاه‌الاباما طراحی و بر روی آن تست شده است، و مشخص نیست که آیا این مدل قابلیت اجرای خوب بر روی سایر داده‌ها از قبیل داده‌های قیمت بازار را دارد یا خیر.

در سال ۲۰۰۲، Chen, S. M. [۷] نظریه‌ی ۷ بازه‌ی مساوی خود را مورد تجدید نظر قرار داد و مسئله را برای تعداد بازه‌های ۷ تا ۱۴ بررسی نمود، البته در این مقاله نیز بازه‌ها به صورت مساوی در نظر گرفته شده‌اند و فقط تعداد آنها نسبت به قبل تغییر کرده است.

مقاله‌ی دیگری که به بررسی بازه‌های فازی می‌پردازد، مقاله‌ی [۱] Jilani.T.A وی در این مقاله در ابتدا اقدام به تقسیم داده‌ها به هفت بازه‌ی مساوی کرده و سپس بازه‌ها را بر اساس تعداد داده‌ی موجود در آنها به ترتیب و به صورت نزولی مرتب می‌کند، سپس اولین بازه را به ۴ قسمت دومین بازه را به ۳ قسمت و سومین بازه را به ۲ قسمت مساوی تقسیم می‌کند و بقیه‌ی بازه‌ها را به همان صورت استفاده می‌نماید. همچنان که می‌بینیم در این مطالعه نیز ابتدا بازه‌ها را به صورت مساوی تعیین می‌شوند و در مرحله‌ی دوم نیز بازه‌ها به بخش‌های مساوی تقسیم می‌شوند، لذا این مطالعه به ماهیت داده‌ها و نحوه‌ی توزیع آنها نمی‌پردازد و فقط به منظور همگن کردن بازه‌ها، بازه‌هایی را که داده‌های بیشتری نسبت به سایرین دارند را تقسیم می‌کند. البته گفتنی است این نوع تعیین بازه تا اندازه‌ی خوبی توانسته دقت مسئله را افزایش دهد.

مقاله‌ی دیگر که به بازه‌های پیش‌بینی پرداخته است مقاله‌ی [۵] Cheng. C.H می‌باشد. مدلی که در این مقاله پیشنهاد گردیده بسیار شبیه به مدل قبلی است، در این مدل نیز ابتدا داده‌ها در ۷ بازه‌ی مساوی تقسیم شده‌اند، سپس میانگین تعداد داده‌ها در بازه‌ها محاسبه گشته و بازه‌هایی که تعداد داده‌ها در آنها از این میانگین بیشتر باشد، ۲ قسمت مساوی تقسیم می‌شوند، این فرایند نیز مانند فرایند پیشین سعی در همگن کردن بازه‌ها دارد و بازه‌های با داده‌های بیشتر را تقسیم می‌کند.

برای نخستین بار Huarng [۱۱] به ترکیب سری‌های زمانی فازی و الگوریتم‌های فرا ابتکاری پرداخت Lee و همکاران [۱۲] مدلی با دوفاکتور و رتبه‌ی پیش‌بینی بالا<sup>۱</sup> برای پیش‌بینی درجه حرارت هوا و شاخص بورس تایوان ارائه داد، Singh [۱۳] مدلی را براساس پارامتر تغییر ارائه داد وی همچنین در مقاله‌ی [۱۴] محاسبات جدیدی را وارد سری‌های زمانی فازی نمود Lee. و همکارانش در مقاله‌های [۱۵-۱۶] به ترتیب با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید مدل‌هایی برای پیش‌بینی درجه حرارت

فعالیت‌های دیگری که در این حیطه اتفاق افتاد به صورت زیر می‌باشد:

Chen 0 روشی برای پیش‌بینی بر اساس توابع فازی high-order ارائه نمود، Melike و همکاران [۸] روش پیش‌بینی با استفاده از سری‌های زمانی first-order را معرفی نمودند. Ruey و همکاران [۹] ابتدا با معرفی ۴ نوع روند کلی پرداخت که شامل روند دراز مدت، روند فصلی، روند سینوسی، روند نامنظم می‌باشد. سپس به بررسی دقیقتر روند دراز مدت پرداخته و روشی را برای تشکیل ماتریس روابط فازی در این نوع روند ارائه نموده است تا پیش‌بینی حاصله دقت بهتری را داشته باشد. Lee, L. W [۱۰] روشی برای حل مسائل پیش‌بینی با استفاده از سری‌های زمانی high-order دو شاخصه ارائه نموده که از این مدل برای پیش‌بینی سری‌های زمانی مربوط به TAIEX و درجه حرارت روزانه‌ی تایپه، تایوان استفاده نموده‌اند. Jilani.T.A [۱] دو روش پیش‌بینی سری‌های زمانی چند متغیره پیشنهاد داده‌اند که در این روش‌ها برای دستیابی به نتایج بهتر، مدلی را با دخالت m شاخص طراحی نموده‌اند، که از این مدل در پیش‌بینی تعداد و مناطق تصادفات رانندگی در بلژیک بکار گرفته شده است. Cheng. C.H [۴] و همکارانش با ارائه یک نوع جدید بازه بندی و همچنین با وزن دهی به روابط فازی توانستند بهبود مناسبی را در مسائل پیش‌بینی فازی ارائه دهند.

حال با داشتن یک دید کلی از فرآیند پیشرفت مسائل پیش‌بینی فازی در این مرحله به صورت دقیقتر به ادبیات موضوع در زمینه‌ی تعیین بازه‌های پیش‌بینی می‌پردازیم:

با معرفی سری‌های زمانی فازی توسط Q. Song, B.S. Chissom [۲] مسئله‌ی تعیین بازه‌های مناسب جهت پیش‌بینی نیز به عنوان یکی از مسائل مهم این زمینه مطرح گردید، که Chen.S.M [۳] عدد ۷ را به عنوان تعداد بازه‌های مناسب مطرح نمود، به طوریکه برد تغییرات یک متغیر را در دوره‌ای از زمان به ۷ قسمت مساوی تقسیم کرده و به عنوان نمایانگر متغیرهای زمانی "بسیار کم"، "کم"، "اندکی کم"، "متوسط"، "اندکی زیاد"، "زیاد" و "بسیار زیاد" قرار دادند، بسیاری از مقالات نیز با استفاده از این تئوری مدل‌های خود را ارائه داده‌اند. این نوع بازه بندی، ساده ترین و ابتدایی ترین نوع بازه بندی می باشد که در این فرایند هیچ توجهی به نوع داده و توزیع داده‌ها نمیشود.

آن چنان که از ادبیات بر می‌آید، مسئله‌ی تعیین بازه‌های مناسب در مسائل پیش‌بینی سری‌های زمانی فازی برای اولین بار توسط Huarng, K [۴] به صورت دقیقتری مورد بررسی قرار گرفت. وی در این مقاله دو نوع بازه بندی را بر پایه تابع توزیع و میانگین داده‌ها معرفی نمود. او بازه بندی را بر اساس تغییر قیمت‌ها در هر مرحله را انجام می‌دهد. به گونه‌ای که تغییرات قیمت در هر مرحله از زمان را محاسبه کرده، و طول بازه را بر اساس توزیع

<sup>۱</sup> High-order

$$F(t-1) \rightarrow F(t)$$

**اصل ۳.**  $F(t)$  و  $F(t-1)$  را برابر با  $A_1$  و  $A_2$  در نظر بگیرید. رابطه‌ی بین  $F(t)$  و  $F(t-1)$  به عنوان یک رابطه‌ی منطقی فازی در نظر گرفته می‌شود (FLR)<sup>۱</sup> که به صورت  $A_1 \rightarrow A_2$  نیز مشخص می‌گردد که در آن  $A_1$  به عنوان دست چپ رابطه  $(LHS)^2$  و  $A_2$  به عنوان دست راست  $(RHS)^3$  رابطه تعیین میشوند.

**اصل ۴.** تمام روابط فازی موجود در داده‌ها را می‌توان در دسته‌هایی بنا بر طرف چپ هر رابطه قرار داد، به عبارت دیگر، روابطی که دارای طرف چپ یکسان باشند را می‌توان در یک دسته قرار داد. به عنوان مثال دو رابطه  $A_1 \rightarrow A_2$  و  $A_1 \rightarrow A_3$  با توجه به دست چپ یکسان، در یک گروه قرار می‌گیرند.

**اصل ۵.** فرض کنید  $F(t)$  فقط توسط  $F(t-1)$  بوجود آمده باشد، و برای هر  $t$  داشته باشیم  $R(t-1, t) \cdot F(t) = F(t-1) \cdot R(t-1, t)$  مستقل از  $t$  باشد، در نتیجه  $F(t)$  یک سری زمانی مستقل از زمان نامیده میشود. در غیر این صورت وابسته به زمان خواهد بود.

#### ۴. الگوریتم شبیه‌سازی تبرید

الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، یک الگوریتم فرا ابتکاری برای یافتن نقاط بهینه کلی با استفاده از روابط ریاضی و احتمالی می‌باشد. به عبارت دیگر این الگوریتم سعی در یافتن تخمین مناسبی از جواب بهینه در فضای کلی جواب دارد.

در بسیاری از مدل‌های فرا ابتکاری، نقاط بهینه‌ی محلی جزو مشکلات اساسی می‌باشد، به گونه‌ای که مدل به جای بهینه‌ی کلی به سمت بهینه‌ی محلی همگرا می‌شود، اما الگوریتم فرا ابتکاری تبرید برای مواجهه با چنین مشکلی، جوابهای بدتر را با مکانیزمی احتمالی می‌پذیرد، به طوری که احتمال پذیرش جوابهای بدتر با کاهش دما رابطه‌ی مستقیم دارد و کاهش می‌یابد. گفتنی است که نام این الگوریتم از فرایند تبرید در صنعت متالورژی گرفته شده است و برای اولین بار توسط Metropolis و همکاران [۲۰] و Kirkpatrick [۲۱] معرفی شد.

#### ۵. مدلسازی

##### ۵-۱- معرفی مدل

همانگونه که در بخش مقدمه اشاره شد، مدلی که در این مقاله و بسیاری از مطالعات دیگر به عنوان مدل مرجع قرار می‌گیرد مدل

و شاخص بورس تایوان ارائه داد، Kuo و همکارانش [۱۶] از الگوریتم PSO برای پیش‌بینی داده‌های پذیرش دانشگاه آلاباما استفاده کرده‌اند. همچنین Park و همکارانش نیز [۱۸] الگوریتم فرا ابتکاری PSO را برای پیش‌بینی داده‌های شاخص KOSPI 200 به کار بستند، Wong و همکارانش [۱۹] نیز مقایسه‌ای بین روشهای فازی و مدل‌های ARMA و ARIMA انجام دادند و نشان دادند که در پیش‌بینی‌های کوتاه مدت مدل‌های فازی و در پیش‌بینی بلند مدت مدل‌های ARMA و F از دقت و کارایی بهتری برخوردار است.

#### جدول ۱. روش‌های تعیین بازه در مقاله‌های مطالعه شده

مقاله	نوع بازه بندی مورد استفاده
(Chen.S.M 1996)	۷ بازه‌ی مساوی
(Huang, K. 2001a)	۷ بازه‌ی مساوی
(Huang, K. 2001b)	تعیین بازه بر اساس میانگین و توزیع
(Chen, S. M. 2002)	۷-۱۴ بازه‌ی مساوی
(Melike,S.,& Konstantin, Y. D. 2004).	۷ بازه‌ی مساوی
(Ruey-Chyn Tsaur 2005)	۷ بازه‌ی مساوی
(Lee, L. W 2004)	۷ بازه‌ی مساوی
(Jilani.T.A 2007)	تعیین بازه‌ها بر اساس تعداد داده در بازه‌ها
(Cheng. C.H. 2008)	تعیین بازه‌ها بر اساس میانگین داده‌ها در بازه

#### ۳. سری‌های زمانی فازی

همانطور که اشاره گردید برای اولین بار سری‌های زمانی فازی توسط [۲] Q. Song, B.S. ارائه شد، Q. Song, B.S. Chissom در مقاله‌ی خود اصولی را برای این مدل‌ها معرفی نمودند که تمامی مدل‌های ایجاد شده در این حیطه و همچنین مدل ارائه شده در این مقاله بر این اصول استوارند، این اصول عبارتند:

**اصل ۱.** سری‌های زمانی فازی  $(t = \dots, 0, 1, 2, \dots)$   $Y(t)$  مقادیر متغیر در لحظه‌ی  $t$  را زیر مجموعه‌ای از اعداد حقیقی در نظر بگیرید، و همچنین دامنه‌ی تغییرات متغیر توسط مجموعه‌های فازی  $f_1(t)$  افزایش شده باشد، در چنین شرایطی اگر  $F(t)$  مجموعه‌ای از  $f_1(t), f_2(t), \dots$  باشد، در نتیجه  $F(t)$  یک سری زمانی فازی بر روی  $y(t)$  می‌باشد.

**اصل ۲.** اگر یک رابطه‌ی فازی  $R(t-1, t)$  به صورت  $F(t) = R(t-1, t) \circ F(t-1)$  برقرار باشد و "O" نشان دهنده‌ی عملگر فازی باشد و  $F(t)$  و  $F(t-1)$  هرکدام یک مجموعه‌ی فازی باشند، در نتیجه می‌توان گفت  $F(t)$  توسط  $F(t-1)$  بوجود آمده است. رابطه فازی بین  $F(t)$  و  $F(t-1)$  به صورت زیر نشان داده می‌شود.

<sup>1</sup> Fuzzy logical relationship

<sup>2</sup> Left hand side

<sup>3</sup> Right hand side

مسئله تعریف می نماید و با استفاده از این بازه ها به قدم های بعدی مسئله می‌رویم.

**قدم ۳.** مجموعه‌های فازی را با استفاده از بازه‌ها مشخص نمایید و داده‌ها را فازی نمایید.

$$\begin{aligned} A_1 &= a_{11}/u_1 + a_{12}/u_2 + \dots + a_{1m}/u_m \\ A_2 &= a_{21}/u_1 + a_{22}/u_2 + \dots + a_{2m}/u_m \\ &\dots \\ A_k &= a_{k1}/u_1 + a_{k2}/u_2 + \dots + a_{km}/u_k \end{aligned} \quad (1)$$

مجموعه‌ی فازی  $A_i$ ، نشان دهنده‌ی متغیر زبانی، یک داده‌ی معمولی می باشد، در این مسئله ما از تابع عضویت مثلثی استفاده نموده ایم. یک داده زمانی به مجموعه‌ی فازی  $A_j$  تعلق پیدا می‌کند که، بیشترین میزان عضویت را در آن مجموعه داشته باشد.

**قدم ۴.** روابط فازی را استخراج نموده و این روابط را بر اساس دست چپ روابط گروه بندی نمایید.

بر اساس تعریف ۲، روابط فازی را می توان به صورت زیر نشان داد:

$$\begin{aligned} A_j &\rightarrow A_q; \\ A_j &\rightarrow A_r; \\ &\dots \\ A_m &\rightarrow A_s; \\ A_m &\rightarrow A_t; \dots \end{aligned}$$

سپس این روابط را می‌توان بر اساس دست چپ یکسان در یک گروه قرار داد:

$$\begin{aligned} A_j &\rightarrow A_q; A_r; \dots; \\ A_m &\rightarrow A_s; A_t; \dots; \\ &\dots \end{aligned}$$

**قدم ۵.** وزن روابط را مشخص نمایید.

با استفاده از نتایج حاصله از قدم قبل، ماتریسی که هر درایه‌ی آن نشان دهنده‌ی فراوانی یک رابطه‌ی فازی می باشد، به دست می‌آوریم. برای مثال عنصر (1,2) این ماتریس نشان‌دهنده‌ی فراوانی رابطه‌ی  $A_1 \rightarrow A_2$  می‌باشد. در این مرحله این ماتریس را به صورت زیر استاندارد سازی می‌کنیم.

$$W(t) = \left[ \frac{W_{t,1}}{\sum_{k=1}^i W_{t,k}}, \frac{W_{t,2}}{\sum_{k=1}^i W_{t,k}}, \dots, \frac{W_{t,3}}{\sum_{k=1}^i W_{t,k}} \right] \quad (2)$$

**قدم ۶.** با داشتن ماتریس وزن از مرحله‌ی قبل، با استفاده از فرمول (۳) مقدار پیش‌بینی شده را مشخص می‌کنیم.

ارائه شده توسط [۷] Chen.S.M می باشد. دلایل ارجحیت این مدل نسبت به مدل [۲] Q. Song, B.S. Chissom را می‌توان به این صورت نام برد، سادگی محاسبات مدل، نتایج پیش‌بینی بهتر، قابلیت برنامه‌ریزی کامپیوتری و بیان الگوریتمیک بهتر مدل، تلفیق بهتر مدل با روش‌های فرا ابتکاری [۶] Huarng, K. در ادامه این قسمت مدل پیشنهادی خود را که بر اساس الگوریتم Chen طراحی گشته ارائه می‌نمایم، البته با توجه به ادبیات موضوع قصد داریم دو نکته‌ی اساسی را در این مدل در نظر بگیریم:

- (۱) تعیین بازه‌های مناسب برای داده‌های تاریخی
- (۲) تعیین روند داده‌ها و تعیین وزن برای روابط فازی

برای نکته‌ی اول، همانگونه که اشاره گردید، از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید استفاده شده است، در این مسئله تابع هدف الگوریتم یافتن حد پایین خطای پیش‌بینی بر روی داده‌های تست می‌باشد. برای نکته‌ی دوم، وزن روابط فازی بر اساس دانش و تجربه افراد کاردان و یا بر اساس تکرار این روابط تعیین می‌شود. در حالتی که روابط فازی تکرار شوند، از نظر محققین مناسبتر است که روابط فازی را بر اساس تکرار آنها وزن‌دهی کرد، که این متد با نام وزن‌دهی بر اساس فراوانی در مقاله‌ی [۴] Cheng. C.H معرفی گردیده است، جزییات این متد در جدول ۲ توضیح داده شده است. زمانی که به  $T=4$  برسیم، رابطه‌ی فازی  $A_1 \rightarrow A_1$  وزنی برابر با ۳ و رابطه‌ی فازی  $A_2 \rightarrow A_1$  وزن ۱ را به خود اختصاص می‌دهد. لذا می‌توان گفت که در آینده احتمال ظاهر شدن رابطه‌ی فازی اول ۳ برابر رابطه‌ی فازی دوم است.

## جدول ۲. تعیین وزن روابط فازی

$(t=1) A_1 \rightarrow A_1$	weight=1
$(t=2) A_2 \rightarrow A_1$	weight=1
$(t=3) A_1 \rightarrow A_1$	weight=2
$(t=4) A_1 \rightarrow A_1$	weight=3

با در نظر گرفتن دو فرایند ذکر شده در مدل [۳] Chen مدل پیشنهادی را به صورت زیر ارائه می‌نمایم:

**قدم ۱.** فضای مسئله را مشخص نمایید، فضای مسئله را به صورت  $U=[\min, \max]$  مشخص می‌کنیم.

**قدم ۲.** فضای مسئله را با استفاده از بازه‌ها تقسیم نمایید. در این مدل، از الگوریتم تبرید برای تعیین بازه‌ها استفاده خواهد شد، این الگوریتم در هر تکرار یک سری از بازه‌ها را بر روی فضای

## پیش‌بینی در بازار ارز فارکس

برای اجرای این مدل، یک دوره ی یکساله (۳۱۱ روزه) از داده های روزانه ی نرخ تبادل ارز انتخاب گردیده که ۸۰٪ از این داده ها برای آموزش مدل و ۲۰٪ مابقی برای تست مدل استفاده می شود. برای تعیین کارایی مدل از شاخص  $RMSE^2$  استفاده می کنیم که در فرمول (۴) نشان داده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (actual(t) - forecast(t))^2}{n}} \quad (4)$$

قدم های شش گانه ذکر شده برای مدل را بر روی داده های نرخ تبادل ارز یورو/دلار اجرا نمودیم، شکل های زیر نشان دهنده ی نتایج پیش بینی برای EUR/USD است، شکل ۲ شامل نمودار خطی که نشان دهنده ی روند تغییرات خطا در طول ۲۰۰ تکرار و شکل ۳ نشان دهنده ی مقادیر واقعی و پیش بینی شده با استفاده از آخرین بازه ی ایجاد شده می باشد. همانطور که اشاره شد، در این پیش بینی  $C=7$  در نظر گرفته شده بود و میزان خطای  $0.130$   $RMSE =$  بدست آمد، حال مسئله را برای  $C$  (تعداد بازه ها)های مختلف می آزمایشیم.

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می نمایم با افزایش مقدار  $C$  تا ۱۱، میزان خطا کاهش پیدا می کند ولی با گذشتن از ۱۱، با افزایش  $C$  تغییر قابل توجهی در میزان خطا مشاهده نمیشود، لذا با توجه به این مسئله عدد  $C=11$  به عنوان تعداد بازه های مناسب برای این داده ها انتخاب می شود.

جدول ۳. خطای پیش بینی برای یورو/دلار با  $C$  های متفاوت

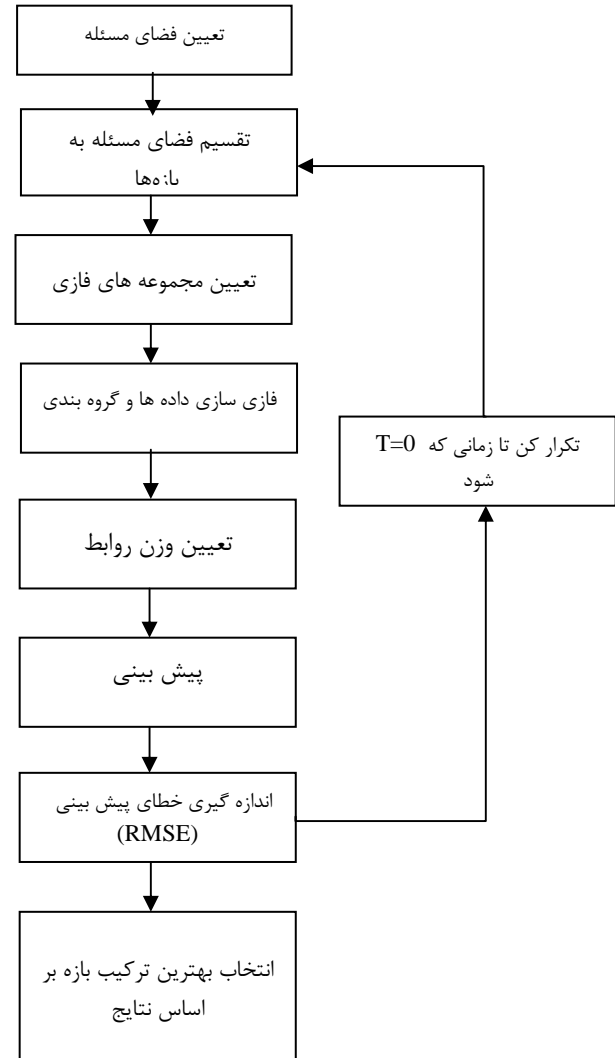
تعداد بازه ها (C)	RMSE
۰/۰۱۴۱	۵
۰/۰۱۳۱	۷
۰/۰۱۲۱	۹
۰/۰۱۱۱	* ۱۱
۰/۰۱۱	۱۳
۰/۰۱۱۱	۱۵
۰/۰۱۱۱	۱۷

در شکل ۴ نتایج پیش بینی برای  $C=11$  آورده شده است، و تفاوت بین دو حالت پیش بینی ( $C$  های مختلف) قابل مشاهده است. در پایان این بخش، مدل خود را بر روی سایر نرخ تبادل ارزها نیز اجرا کرده و نتایج حاصل را مقایسه می کنیم.

$$F(t) = L_{diff}(t-1) * W_n(t-1) \quad (3)$$

که در آن  $L_{diff}(t-1)$  ماتریس غیرفازی سازی<sup>۱</sup> و  $W_n(t-1)$  ماتریس وزن میباشد.

قدم ۷. انتخاب بهترین جواب (کمترین خطای پیش بینی)



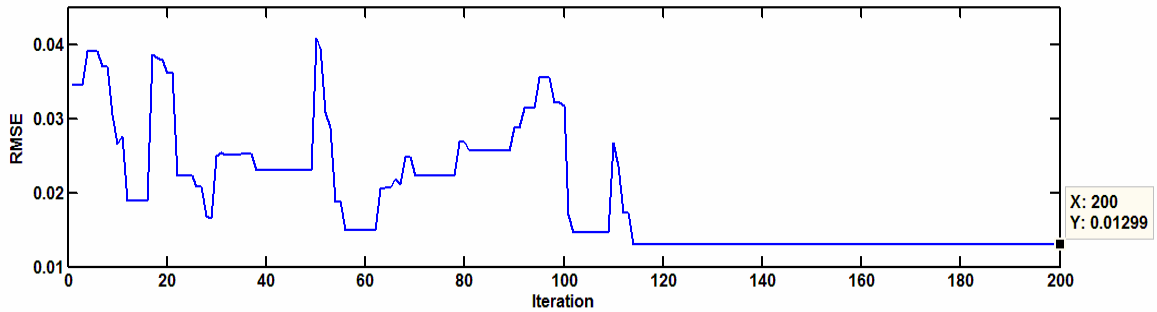
شکل ۱. الگوریتم مدل پیشنهادی

## ۵-۲. اجرای مدل و مقایسه

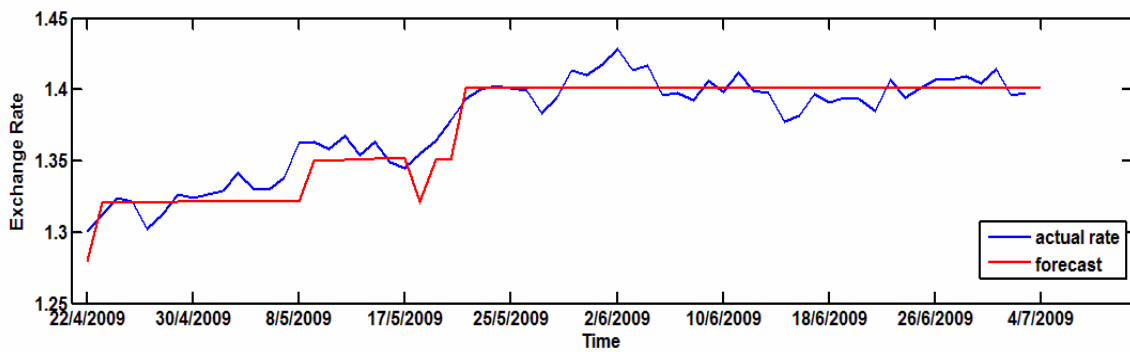
در این بخش، مدل پیشنهادی خود را برای پیش بینی نرخ تبادل ارز در بازار فارکس استفاده می کنیم. سپس، برای مقایسه ی نتایج این مدل با سایر مدل ها، به پیش بینی داده های دانشگاه الاباما می پردازیم.

<sup>2</sup> Root mean square error

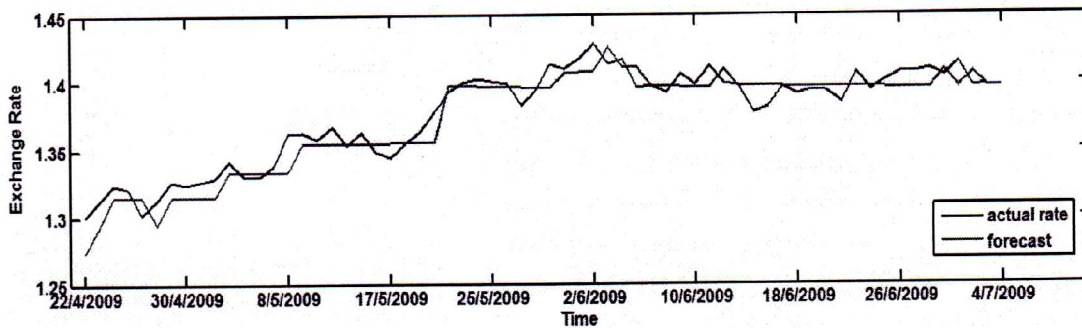
<sup>1</sup> defuzzification



شکل ۲. خطای پیش‌بینی دز طول ۲۰۰ تکرار برای یورو/دلار (C=7)



شکل ۳. نتایج پیش‌بینی و واقعی برای یورو/دلار (C=7)



شکل ۴. نتایج پیش‌بینی و واقعی برای یورو/دلار (C=11)

جدول ۵. خطای پیش‌بینی برای پوند انگلیس/دلار آمریکا

C (تعداد بازه ها)	RMSE
۵	۰/۰۲۰۱
۷	۰/۰۱۷۰
۹	۰/۰۱۵۶
۱۱	۰/۰۱۵۳
۱۳	۰/۰۱۴۹
۱۵*	۰/۰۱۳۱
۱۷	۰/۰۱۳۸
۱۹	۰/۰۱۳۴

جدول ۴. خطای پیش‌بینی برای پوند انگلیس/فرانک سوئیس

C (تعداد بازه ها)	RMSE
۵	۰/۰۲۳۰
۷	۰/۰۱۸۴
۹	۰/۰۱۶۴
۱۱	۰/۰۱۵۲
۱۳*	۰/۰۱۵۰
۱۵	۰/۰۱۵۱
۱۷	۰/۰۱۵۲
۱۹	۰/۰۱۵۰

## جدول ۶. خطای پیش‌بینی برای دلار کانادا/دلار آمریکا

RMSE	(تعداد بازه‌ها) C
۰/۰۱۶۹	۵
۰/۰۱۴۸	۷
۰/۰۱۳۴	۹
۰/۰۱۳۰	۱۱*
۰/۰۱۳۱	۱۳
۰/۰۱۳۰	۱۵
۰/۰۱۲۷	۱۷
۰/۰۱۲۸	۱۹

## ۶. تحلیل نتایج بازار ارز

با مقایسه‌ی خطاهای پیش‌بینی مشاهده درمورد ۴ نرخ تبادل ارز (یورو/دلار آمریکا، پوند انگلیس/دلار آمریکا، پوند انگلیس/فرانک سوئیس، دلار کانادا/دلار آمریکا) مشاهده می‌کنیم که کمترین خطای پیش‌بینی در نرخ یورو/دلار آمریکا ۰/۰۱۱۱ و بیشترین خطا برای پوند انگلیس/فرانک سوئیس و برابر ۰/۰۱۵۰ می‌باشد و دو نرخ باقیمانده نیز خطایی در حدود ۰/۱۳۰ دارند، علت این مسئله را میتوان به قدرت بازار و ارزش‌های مورد بررسی ربط داد، با توجه به نتایج حاصل از این بخش می‌توان گفت که برای اجرای روش‌های تکنیکال و به خصوص این مدل، بهتر است داده‌های مورد استفاده، مربوط به بازارهای با ثبات و کامل باشد. اینکه دلار آمریکا و یورو دو ارز قدرتمند و گسترده در دنیای اقتصاد و تجارت هستند لذا اخبار و وقایع، تاثیر کمتری را بر روی این دو ارز داشته و در نتیجه بازار این دو ارز از ثبات بالایی برخوردار هستند و به این دلیل، تحلیل‌های تکنیکال روی این بازار جواب بهتری را ارائه می‌دهند. حال به بررسی نرخ پوند/فرانک می‌پردازیم، هردوی این ارزها از ارزش‌های شناخته شده در بازارها هستند ولی شهرت این ارزها در این بازار بیشتر به مسائل جنبی مربوط است، پوند انگلیس دلیل قدرت و شرایط سیاسی کشور انگلستان و فرانک سوئیس نیز بدلیل وجود بانک‌های معتبر دنیا در آن کشور شناخته شده اند، ولی این دو ارز از گستردگی و قدرت اقتصادی همانند یورو و دلار برخوردار نیستند، لذا تغییرات و اخبار میتواند تاثیرات بیشتری بر روی این دو ارز بگذارد، لذا این بازار از ثبات کامل برخوردار نبوده و به این دلیل فرآیند تکنیکال ما روی این بازار به خوبی بازارهای دیگر عمل نمی‌کند. در مورد دو نرخ ارز دیگر پوند انگلیس/دلار آمریکا و دلار کانادا/دلار آمریکا، با توجه به اینکه در هردوی این نرخ تبادل‌ها، دلار آمریکا وجود دارد، در نتیجه

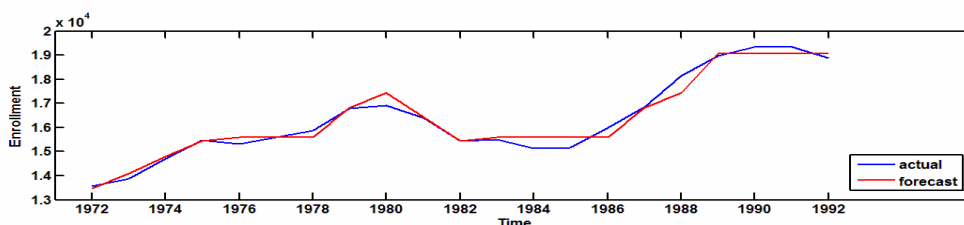
وجود دلار آمریکا باعث ایجاد کمی ثبات در این نرخ تبادل گشته، و باعث گردید تا خطای پیش‌بینی در این دو نرخ بین حالت با ثبات یورو/دلار و کم ثبات پوند/فرانک قرار بگیرد. در نتیجه از مقایسه پیش‌بینی برای پذیرش دانشگاه الاباما در بسیاری از موارد، برای مقایسه‌ی عملکرد مدل‌های پیش‌بینی ارائه شده در حیطه‌ی سری‌های زمانی فازی، این مدل‌ها را بر روی داده‌های پذیرش دانشگاه الاباما اجرا نموده و نتایج حاصل را مقایسه می‌نمایند در این بخش نیز برای مقایسه‌ی مدل پیشنهادی با مدل‌های پیشین، مدل را با داده‌های آلاباما آزمودیم که نتایج این اجرا در جدول ۷ قابل مشاهده است.

## جدول ۷. نتایج خطای پیش‌بینی برای داده‌های دانشگاه آلاباما

RMSE	(تعداد بازه‌ها) C
۳۷۲	۸
۳۵۵	۹
۲۳۶	۱۰
۲۰۹	۱۱
۱۷۶	۱۲
۱۵۲	۱۳
۱۴۲	۱۴

همانطور که در جدول ۷ مشاهده می‌نمایید، در این پیش‌بینی با توجه به ماهیت داده‌ها، با افزایش میزان C، میزان خطای پیش‌بینی نیز کاهش می‌یابد، ولی باید در نظر داشت که با افزایش میزان C (تعداد بازه‌ها) بیش از حد، ممکن است ماهیت فازی مسئله دچار مشکل شود، در اینجا ما به بررسی نتایج حاصله از پیش‌بینی با استفاده از C=14 می‌پردازیم، طبق جدول ۷ میزان خطای حاصله از این پیش‌بینی برابر با 142 می‌باشد.

گفتنی است که در جدول ۸ مقایسه، مدل Kuo و همکارانش [۱۶] با C=14 و الگوریتم PSO اجرا شده است که نتایج نشان دهنده‌ی عملکرد بهتر مدل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم تبرید می‌باشد. همچنین در مقایسه با سایر مدل‌های اجرا شده در سالهای اخیر می‌توان نتیجه گرفت که مدل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم فراابتکاری تبرید، بهترین عملکرد را نسبت به تمامی مدل‌های پیشین خود دارد. در نهایت شکل ۵ نیز نتایج پیش‌بینی را برای پذیرش دانشگاه آلاباما با C=14 نشان می‌دهد.



شکل ۵. نتایج پیش‌بینی و واقعی برای پذیرش دانشگاه (C=14)



جدول ۸. مقایسه ی نتایج مدل

سال	داده واقعی	liu (2007)[22]	Cheng et al (2008)[5]	jilani (2007)[1]	Kuo et al (2008)[16]	c=14 proposed model
1971	13055			13579		
1972	13563	13500	13680.5	13798	13555	13563
1973	13867	13800	13731.3	13798	13994	13874
1974	14696	14700	13761.7	14452	14711	14674
1975	15460	15600	15194.6	15373	15344	15328
1976	15311	15400	15374.8	15373	15411	15314
1977	15603	15750	15359.9	15623	15411	15314
1978	15861	15400	16410.3	15883	15411	15926
1979	16807	16800	16436.1	17079	16816	16819
1980	16919	17100	17130.7	17079	17140	16921
1981	16388	17100	17141.9	16497	16464	16389
1982	15433	15300	15363.8	15373	15505	15435
1983	15497	15750	15372.1	15373	15411	15314
1984	15145	15400	15378.5	15024	15411	15314
1985	15163	15300	15343.3	15024	15344	15328
1986	15984	15750	15345.1	15883	16018	15926
1987	16859	16800	16448.1	17079	16816	16819
1988	18150	17100	17135.9	17991	18060	17928
1989	18970	18900	18915	18802	19014	19105
1990	19328	19200	18997	18994	19340	19105
1991	19337	19050	19032.8	18994	19340	19105
1992	18876	19050	19033.7	18916	19014	19105
	<b>RMSE</b>	<b>329</b>	<b>438</b>	<b>174</b>	<b>152</b>	<b>142</b>

### ۷. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

یکی از موارد مهم و تاثیرگذار در پیش‌بینی سری‌های زمانی فازی، مسئله‌ی تعیین بازه‌ها است. در این راستا نیز مدل‌های متعددی برای یافتن بازه‌های مناسب توسط محققین طراحی و ارائه شده است. در این مقاله سعی شد با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و نگرشی جدید به مسئله‌ی بازه‌بندی، مدلی نوین برای پیش‌بینی سری‌های زمانی فازی ارائه گردد. این نوع بازه‌بندی حساسیت خوبی در برابر نوع توزیع و پراکندگی دارد و میتواند بازه‌هایی متناسب با پراکندگی و توزیع‌های مختلف را ارائه بنماید. نتایج حاصل از اجرای مدل بر روی داده‌های واقعی دانشگاه آلاباما نشان‌دهنده‌ی برتری کامل مدل نسبت به مدل‌های پیشین ارائه شده در فضای سری‌های زمانی فازی می‌باشد.

موارد بسیار زیادی را می‌توان برای آزمون و پیشرفت این مدل نام برد که به تعدادی از آنها اشاره می‌کنیم:

۱. در این مطالعه ما برای یافتن تعداد بازه‌ی مناسب برای داده‌های مختلف، مجبور به انجام اجراها با تعداد بازه‌های مختلف و مقایسه‌ی نتایج بودیم، می‌توان با اجرای مدل در شرایط مختلف تعداد بازه‌ی مطلوب را در حالات مختلف داده‌ها با توجه به توزیع داده، تعداد داده، و یا حتی نوع داده (بازار سهام، پذیرش دانشگاه، ...) بیان نمود.

۲. پیش‌بینی در بازار با در نظر داشتن رابطه‌ی بین سهم‌های مختلف با یکدیگر و حتی شاخص‌های بازار می‌تواند نتایج بهتری را

بدنبال داشته باشد. در نتیجه برای اجرای این مدل در بازارهای سهام می‌توانیم، مدلی را طراحی نماییم که ماتریس‌های var-covar و مفهوم موجود در این ماتریس‌ها را در خود گنجانده و از این ابزار برای پیش‌بینی بهتر استفاده نماید. به گونه‌ای که به جای پیش‌بینی فقط برای یک سهم، پیش‌بینی را برای تمامی سهام انجام داده و سپس با استفاده از روابط بین سهام، پیش‌بینی در مورد سهم مورد نظر را انجام بدهیم.

این مدل، برای درک روند قیمت، از داده‌های تاریخی استفاده می‌کند، پس می‌توان از این مدل برای کشف رفتار عادی سهم استفاده نمود، لذا می‌توان از این مدل در مطالعات اتفاق در فاز شناخت رفتار سهم استفاده نمود، همچنین می‌توان با استفاده از روابط فازی قوانینی مربوط به نحوه‌ی عملکرد سهم در شرایط و اتفاقات مختلف استخراج نمود.

### مراجع

- [1] Jilani, T.A., Burney, S.M.A., "Multivariate stochastic Fuzzy Forecasting Models", Expert Systems with Applications, Vol.35, Issue 3, October 2008, pp. 691-700.
- [2] Song, Q., Chissom, B.S., "Fuzzy Time Series and its Models", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 54, 1993, pp. 269-277.
- [3] Chen, S.M., "Forecasting Enrollments Based on Fuzzy Time Series," Fuzzy Sets and Systems, vol. 81, issue. 3, August 1996, pp. 311-319.

- [18] Park, J.I., Lee, D.J., Song, C.K., Chun, M.G., "TAIFEX and KOSPI 200 Forecasting Based on Two-Factors High-Order Fuzzy Time Series and Particle Swarm Optimization", Expert Systems with Applications, Vol. 37 March 2010, pp.959-967.
- [19] Wong, H.L., Tu, Y.H., Wang C.C., "Application of Fuzzy Time Series Models for Forecasting the Amount of Taiwan Export", Expert Systems with Applications, Vol. 37, March 2010, pp. 1465-1470.
- [20] Metropolis, N., Rosenbluth, A.W., Rosenbluth, M.N., Teller, A.H., Teller, E., "Equations of State Calculations by Fast Computing Machines", Journal of Chemical Physics, Vol. 21, 1953, pp.1087-1092.
- [21] Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., Vecchi, M. P., "Optimization by Simulated Annealing", Science, Vol. 220, 1983, pp. 671-680.
- [22] Liu, H.T., "An Improved Fuzzy Time Series Forecasting Method Using Trapezoidal Fuzzy Numbers", Fuzzy Optim Decis Making, Vol. 6, 2007, pp. 63-80.
- [4] Huarng, K., "Effective Lengths of Intervals to Improve Forecasting in Fuzzy Time Series," Fuzzy Sets and Systems, vol. 123, November 2001, pp. 387-394.
- [5] Cheng, C.H., "Fuzzy Time-Series Based on Adaptive Expectation Model for TAIEX Forecasting," Expert Systems with Applications, vol. 34, May 2008, pp. 1126-1132.
- [6] Huarng, K., "Heuristic Models of Fuzzy Time Series for Forecasting", Fuzzy Sets Systems, Vol. 123, No. 3, 2001, pp. 369-386.
- [7] Chen, M.S., "Forecasting Enrollments Based on High-Order Fuzzytime Series". Cybernetic Systems, Vol. 33, No.1, 2002, pp.1-16.
- [8] Melike, S., Konstsntin, Y.D., "Forecasting Enrollment Model Based on First-Order Fuzzy Time Series", Proceedings of international conference on computational intelligence, Istanbul, Turkey, 2004.
- [9] Ruey, C.T., "Fuzzy Relation Analysis in Fuzzy Time Series Model", Computers & Mathematics with Applications, Vol. 49, Issue 4, February 2005, pp. 539-548.
- [10] Lee, L.W., Wang, L.W., Chen, S.M., "Handling Forecasting Problems Based on Two-Factors High-Order time Series", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 14, No. 3, 2006, pp. 468-477.
- [11] Huarng, K., *Heuristic Models of Fuzzy Time Series for Forecasting*, Fuzzy Sets Systems, Vol. 123, No. 3, 2001, pp. 369-386.
- [12] Lee, L.W, Wang, L.H., Chen, S.M., Leu, Y.H, "Handling Forecasting Problems Based on Two-Factors High-Order Fuzzy Time Series", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 14, issue. 3, January 2006, pp. 468-477.
- [13] Singh, S.R., "A Simple Method of Forecasting Based on Fuzzy Time Series", Applied Mathematics and Computation, Vol. 186, 2007, pp. 330-339.
- [14] Singh, S.R., "A Robust Method of Forecasting Based on Fuzzy Time Series," Applied Mathematics and Computation, Vol. 188, May 2007, pp. 472-484.
- [15] Lee, L.W., Wang, L.H., Chen, S.M., "Temperature Prediction and TAIFEX Forecasting Based on Fuzzy Logical Relationships and Genetic Algorithms, Expert Systems with Applications, Vol. 33, 2007, pp. 539-550.
- [16] Lee, L.W., Wang, L.H., Chen, S.M., "Temperature Prediction and TAIFEX Forecasting Based on High-Order Fuzzy Logical Relationships and Genetic Simulated Annealing techniques", Expert Systems with Applications, Vol. 34, 2008, pp. 328-336.
- [17] Kuo, H., Horng, I.H., Kao, S.J., Lin, T.W., Lee, T.L., Pan, C.L., "An Improved Method for Forecasting Enrollments Based on Fuzzy Time Series and Particle Swarm Optimization", Expert Systems with Applications, Vol. 36, Issue. 3, April 2009, pp. 6108-6117.