International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2012)

June 2012, Volume 23, Number 1
pp. 79-91

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

A Meta-Heuristic Multi-Objective Fuzzy Simplex-Genetic Algorithm for Credit Rating Prediction of Banks Customers

M. Akhbari & F. Mokhatab-Rafiei*

M .Akhbari, *Faculty member of Islamic Azad University Electronic Campus*
Farimah Mokhatab-rafiei, *Assistance professor of Industrial Eng- Isfahan University of Technology*

Keywords

fuzzy inference systems**;**
simplex algorithm;
genetic algorithm; credit rating

ABSTRACT

This study examines a multi-objective fuzzy simplex-genetic algorithm which was developed to predict bank legal customers financial performance. Prediction performance of the model was examined based on its ability to accurately identify credit default. Using available data from KESHVARZI bank over 2001-2006, debt ratio, operational ratio, and return on equity are selected as descriptive variables, and on the other side dependent variable was considered as a dummy variable. To training and validating the model, data were divided in to model (in-sample) and test (out-of-sample) sets. After running the algorithm, besides the sensitivity and specificity ratios, the key variable was specified.

© 2012 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 23, No. 1, All Rights Reserved

* **Corresponding author. Farimah Mokhatab-rafiei**
Email: *farimah@cc.iut.ac.ir*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــــریت تولیـــد

شمـــــاره ۱، جلـــد ۲۳، خـــــرداد ۱۳۹۱
صفحـــــه ۹۱-۸۰

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

ارائه یک الگوریتم فرا ابتکاری چند هدفه فازی سیمپلکس- ژنتیک برای پیش بینی رتبه اعتباری مشتریان بانک ها

مهدیه اخباری و فریماه مخاطب رفیعی*

کلمات کلیدی

سیستم استدلال فازی،
چیرگی فازی،
الگوریتم سیمپلکس،
الگوریتم ژنتیک،
رتبه بندی اعتباری.

چکیده:

در مقاله حاضر یک مدل رتبه بندی اعتباری با استفاده از یک الگوریتم حل چند هدفه که ترکیبی از قوانین چیرگی فازی، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم سیمپلکس به منظور پیش‌بینی عملکرد مالی مشتریان حقوقی بانک‌ها ارائه گردید. سپس کارایی مدل بر اساس توانایی آن در تشخیص دقیق نکول مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از داده‌های بانک کشاورزی طی سالهای ۱۳۸۰-۱۳۸۵، مدل مفهومی رتبه بندی اعتباری تعیین و نسبت بدهی، نسبت فعالیت و نسبت ارزش ویژه به مجموع دارایی ها بعنوان متغیرهای توضیحی مدل انتخاب شدند. از سوی دیگر نکول یا عدم نکول بصورت یک متغیر موهومی بعنوان متغیر وابسته مدل در نظر گرفته شد. جهت آموزش و اعتبار سنجی مدل، داده‌ها به دو مجموعه مدل و شاهد تقسیم شدند. پس از اجرای الگوریتم، علاوه بر مقادیر درجه تشخیص و درجه حساسیت به عنوان دو معیار کارایی مدل، متغیر کلیدی نیز تعیین گردید.

۱. مقدمه

در صنعت بانکداری یکی از موضوعات مهمی که همواره بایستی مدنظر سیاستگذاران اعتباری قرار داشته باشد، مبحث مدیریت ریسک اعتباری است. جهت مدیریت و کنترل ریسک مذکور، سیستم‌های رتبه بندی اعتباری مشتریان ضرورتی انکار ناپذیر است. چنین سیستمی، براساس سوابق و اطلاعات موجود، درجه اعتباری مشتریان را تعیین نموده و آنان را براساس میزان ریسکی که متوجه بانک خواهند نمود، رتبه‌بندی می‌کند. بدیهی است بهره گیری از چنین سیستمی بانک را در گزینش مطلوب مشتریان خود یاری نموده و ضمن کنترل و کاهش ریسک اعتباری، سطح بهره‌وری فرایند اعطای تسهیلات بانکی را ارتقا می‌دهد.

علی رغم اهمیت این موضوع، در اقتصاد ایران در زمینه اعطای تسهیلات اعتباری به مشتریان، روند منسجم و منظمی به منظور تعیین ریسک اعتباری، امتیازدهی، درجه بندی و همچنین تعیین سقف‌های اعتباری بر اساس شاخص‌های ریسک ملاحظه نمی‌شود و شاخص‌ها عمدتاً بر اساس تشخیص کارشناسی و کمیته اعتباری صورت می پذیرد.

در مطالعات گذشته اغلب از روش‌های آماری مانند مدل‌های رگرسیونی لاجیت و پروبیت و روش تحلیل ممیزی برای امتیازدهی و رتبه‌بندی مشتریان استفاده می‌گردید، ولی در سال‌های اخیر با توسعه مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و روش‌های ابتکاری، مطالعات بسیاری در کاربرد این روش‌ها در مدل‌های امتیازدهی و رتبه بندی اعتباری صورت گرفته است [۱، ۲و۳].

ساختار مقاله حاضر به این صورت است که در بخش دوم مروری بر تاریخچه روشهای مبتنی بر منطق فازی صورت می گیرد، سپس در بخش سوم جامعه و نمونه آماری و متغیرهای کلیدی مورد بررسی قرار می گیرند. در بخش چهارم، به معرفی معیارهای ارزیابی مدل رتبه بندی اعتباری پرداخته می شود. در بخش

تاریخ وصول: ۸۹/۷/۹
تاریخ تصویب: ۹۰/۳/۲۱

مهدیه اخباری، عضو هیئت علمی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد الکترونیکی
***نویسنده مسئول مقاله: دکتر فریماه مخاطب رفیعی**، استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان *farimah@cc.iut.ac.ir*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

پنجم، مفاهیم سیستم‌های استدلال فازی تشریح می‌شود. در بخش ششم طراحی و بهینه سازی یک سیستم استدلال فازی با استفاده از روشهای مبتنی بر هوش مصنوعی صورت می‌گیرد. کاربرد این مدل در رتبه‌بندی اعتباری مشتریان حقوقی بانک‌ها در بخش هفتم مورد بررسی قرار گرفته و کارایی آن در پیشگویی نکول داده‌های مدل و شاهد با محاسبه درجه حساسیت، درجه تشخیص و دقت کلی مدل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و نتایج بدست آمده با دو روش رگرسیون لاجیت و سیستم‌های استدلال عصبی- فازی سازگار مقایسه می‌گردد. در بخش انتهایی جمع‌بندی از نتایج مطالعه ارائه می‌شود.

۲. مروری بر سابقه کاربرد روش‌های مبتنی بر منطق فازی و هوش مصنوعی در رتبه بندی اعتباری

امروزه نظریه مجموعه‌های فازی در مدیریت سبد[1] اعتباری و پیش‌بینی قیمت سهام، مدیریت بانکداری، مدیریت مالی و رتبه‌بندی اعتباری موسسات مالی به صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد[۱، ۲، ۳].

چنگ و لی[۴] سیستم استدلال فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی را در یک تحلیل رگرسیون فازی ترکیب نمودند. بوسابین و وانوس[۵] نیز به کارایی روش‌های عصبی- فازی نسبت به روش‌های سنتی موجود، در پیش‌بینی ورشکستگی تجاری شرکت‌ها اشاره می نمایند.. کاستیلو و ملین[۶] یک سیستم خبره با ترکیب شبکه عصبی مصنوعی[2] (*ANN*)، منطق فازی به منظور پیش‌بینی قیمت استفاده نمودند. آن‌ها مدل‌های ممدانی و سوگنو را با یکدیگر مقایسه نمودند و کارایی بهتر سیستم‌های استدلال سوگنو را گزارش نمودند. آن‌ها با استفاده از روش سیستم‌های استدلال عصبی- فازی سازگار[3] (*ANFIS*)، یک مدل سوگنو ساختند و از آن به منظور پیش‌بینی نرخ مبادلات ارزی (دلار/پسو) استفاده نمودند و نشان دادند که *ANN* به روش‌های رگرسیونی مرسوم برتری داشته و کاربرد این روش را بجای روش‌های آماری در پیش‌بینی پیشنهاد نمودند. همچنین آن‌ها نشان دادند که *ANN* در پیش‌بینی‌های با افق زمانی کوتاه(کمتر از ده هفته) نسبت به سیستم‌های استدلال فازی کارایی بهتری دارد، ولی در افقهای زمانی بلند (بیش از ده هفته) سیستم‌های استدلال فازی بهتر عمل می‌کنند.

مالتورا و مالتورا[۷] کارایی سیستم‌های استدلال عصبی- فازی سازگار (*ANFIS*) را با تحلیل ممیزی چندگانه[4](*MDA*) مقایسه نمودند. آن‌ها در مطالعه خود از یک مجموعه داده ۵۰۰تایی (۲۵۰ مشتری خوش حساب و ۲۵۰ مشتری بدحساب) استفاده نمودند، که نتایج مطالعات آن‌ها نشاندهنده برتری روش *ANFIS* بر *MDA* بود.

جیو و همکاران با استفاده از روش‌های مبتنی بر منطق فازی، روشی ترکیبی تحت عنوان شبکه سازگار فازی[5] (*FAN*) را در رتبه‌بندی اعتباری شرکت‌های کوچک ارائه نموده‌اند. در این مدل، ابتدا متغیرها به سه گروه متغیرهای مالی، مدیریتی و خصوصیات و چشم اندازهای رقابتی تقسیم می‌گردند و در هر گروه برای هر یک از متغیرها مجموعه‌های فازی یا ترم‌های زبانی و اعداد فازی متناظر با آن‌ها تعریف می‌شوند. سپس مقادیر صریح متغیرها فازی می‌گردند.

از سوی دیگر، بر اساس نظرکارشناسان به هر یک از متغیرها وزنی که نشاندهنده اهمیت آن است، اختصاص می یابد. امتیاز هر گروه با ضرب دو بردار مقادیر فازی متغیرها و وزن‌ها، و سپس عملیات فازی زدایی بدست می آید. نتایج بدست آمده از هر یک از سه گروه وارد یک شبکه سازگار فازی می‌شود. این شبکه دارای یک سیستم استدلال فازی از نوع سوگنو با سه متغیر ورودی است، پس از آموزش سیستم براساس منطق شبکه، برای هر یک مشاهدات امتیازی بدست می‌آید[۸].

از دیگر کاربردهای سیستم‌های استدلال فازی می‌توان مدل رتبه‌بندی مبتنی بر پایگاه قواعد فازی هافمن و همکاران اشاره نمود که با استفاده از ترکیب سیستم استدلال فازی تقریبی و توصیفی با الگوریتم ژنتیک، موفق به رتبه‌بندی اعتباری شرکت‌ها با دقت ۸۰٪ گردیدند[۹].

لین و همکاران[۱۰] یک مدل تصمیم گیری گروهی فازی بر پایه عوامل هوشمند به منظور امتیاز دهی اعتبار مشتریان حقیقی توسعه دادند، این مدل یک ابزار تحلیل تصمیم چند معیاره برای ارزیابی ریسک اعتباری است که در آن برخی از روش های هوش مصنوعی به عنوان عوامل هوشمند ابتدا برای تحلیل و ارزیابی سطح ریسک متقاضیان اعتبار براساس مجموعه معیارهای از پیش تعریف شده مورد استفاده قرار می گیرد و سپس نتایج ارزیابی، که توسط عوامل هوشمند مختلف تولید شده‌اند در سطوح مختلف ریسک اعتباری متقاضیان فازی می‌شوند.

در نهایت، مقادیر نافازی شده و نتایج از آنها استخراج می‌گردند. معیارهای ارزیابی مدل شامل درجه تشخیص، درجه حساسیت و دقت کلی این مدل در مثالهای عددی ارائه شده به ترتیب برابر با ۸۳٪، ۷۷٪ و ۸۰٪ می باشد.

1 portfolio
2 .Artificial neural networks
3. adaptive network based fuzzy inference system or adaptive neuro-fuzzy inference system
4. Multiple Discriminate Analysis
5. fuzzy adaptive network

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

تسی و چن[۱۱]، چهار نوع مدل یادگیری ماشین تلفیقی شامل روش‌های "طبقه‌بندی + طبقه بندی"، "طبقه‌بندی + خوشه-بندی"، "خوشه‌بندی + طبقه‌بندی" و "خوشه‌بندی + خوشه‌بندی" را با یکدیگر مقایسه نمودند و دریافتند مدل تلفیقی "طبقه‌بندی + طبقه بندی" بر اساس ترکیب رگرسیون لاجستیک و شبکه‌های عصبی دقت بالایی را نشان می دهند.

داناس و همکاران[۱۲] از روش ماشین بردار پشتیبان(*SVM*) جهت طبقه بندی مشتریان استفاده نمودند و روش خود را با روش شبکه‌های عصبی مصنوعی(*ANN*) نمودند. آنها نشان دادند روش *SCM* بر خلاف *ANN* با نگاشت داده ها به یک فضا تفکیک پذیر خطی از قرار گرفتن در نقطه بهینه محلی جلوگیری می‌کند.

مطالعاتی که در ایران در این زمینه انجام گرفته است می توان به مقاله عرب مازار و روئین تن [۱۳] اشاره نمود که آنها عوامل مؤثر بر ریسک را شناسایی و با استفاده از مدل رگرسیونی لاجیت یک مدل امتیاز دهی جهت مشتریان حقوقی ارائه نمودند. اخباری و مخاطب رفیعی[۱۴] نیز یک مدل *ANFIS* جهت رتبه بندی اعتباری مشتریان حقوقی بانکها ارائه نمودند. در بخش هفتم نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی با دو روش اخیر مقایسه می گردد.

۳. جامعه و نمونه آماری

جامعه آماری مورد بررسی در مقاله حاضر، مشتریان حقوقی در سطح شعب بانک کشاورزی در شهر تهران هستند که تسهیلات اعتباری دریافت نموده‌اند. پس از استعلام از شعب بانک در تهران، اسامی مشتریان حقوقی که طی سال‌های ۸۰ تا ۸۵ از بانک اعتبار دریافت نموده‌اند جمع آوری و در نهایت ۲۷۲ پرونده تشکیل گردید. از این مجموعه اطلاعات ۲۳۵ مشتری حقوقی بطور تصادفی برای طراحی مدل و شناسایی متغیرهای موثر استفاده شد. اطلاعات ۳۷ مشتری نیز بمنظور بررسی کارایی و قدرت پیش‌بینی به عنوان داده‌های شاهد مورد استفاده قرار گرفت. از این نمونه ۲۳۵تایی، ۱۶۵ مورد جزء مشتریان خوش حساب و ۷۰ مورد جزء مشتریان بدحساب بودند.

۳-۱. تشریح متغیرهای مدل

شکل کلی مدل پیشنهادی بصورت زیر است:

$$Y=F(X1,X2,\ldots,Xn)$$

که در آن Y متغیر پاسخ و تعیین کننده وضعیت متقاضی اعتبار است که از خصوصیت گسسته برخوردار است، زیرا مشتریان بانک از منظر اعتباری به دو دسته تقسیم می‌شوند: گروه اول:"مشتریان خوش حساب" یعنی گروهی از مشتریان بانک که نسبت به تسویه به موقع تعهدات خود قبل از سررسید اقساط اقدام می نمایند. گروه دوم:"مشتریان بد حساب" یعنی گروهی که تعهدات تسهیلات دریافتی را به موقع انجام نمی‌دهند. در این صورت متغیر Y مقدار صفر برای مشتریان خوش حساب و یک را برای مشتریان بد حساب اختیار می کند.

در مقاله حاضر مجموعه‌ای از نسبت‌های مالی شامل نسبت جاری، نسبت آنی، نسبت بدهی، نسبت سرمایه گذاری، نسبت فعالیت، نسبت دوره وصول مطالبات، نسبت بازده ارزش ویژه، نسبت بازده دارایی‌ها، نسبت گردش دارایی، حاشیه سود، نسبت گردش موجودی کالا و نسبت ارزش ویژه به مجموع دارایی‌ها برای هر یک از مشتریان حقوقی محاسبه گردیدند. با توجه به تعداد متغیرها، برای بالا بردن دقت مدل و از سویی محدودیت‌های روش‌های کاربردی در رابطه با تعداد متغیرهای توضیحی، لازم است متغیرهای با اهمیت بیشتر انتخاب و در مدل قرار گیرند و متغیرهایی که تاثیر قابل توجهی در خروجی سیستم ندارند، حذف شوند. از سوی دیگر، از آنجائیکه بسیاری از متغیرها از صورت‌های اصلی مالی و اطلاعات پایه ای آن استخراج می‌شوند ممکن است به صورت دو به دو با همدیگر همبستگی داشته باشند. بنابراین تعدادی از این متغیرهای به هم وابسته نیز باید حذف گردند. از اینرو متغیرهای شناخته شده در بدو امر متغیرهای کاندید تلقی گردیده و به عنوان ورودی در یک آزمون همبستگی به کار گرفته شدند

پس از انجام آزمون، نسبت‌هایی که از همدیگر متاثر می‌شوند از مدل خارج شده و نسبت‌های مستقل، در مدل باقی می‌مانند. به دلیل ویژگی‌های مشترک بین نسبت‌ها، هدف از این آزمون، جلوگیری از احتساب مضاعف مشخصه ای خاص است.

از طریق آزمون همبستگی، بمنظور دسته بندی و تفکیک دو گروه مشتریان، با تکیه بر نظرات کارشناسان امور اعتبارات سه متغیر نسبت بدهی، نسبت فعالیت و نسبت ارزش ویژه به مجموع دارایی‌ها به عنوان متغیرهای توضیح دهنده انتخاب شدند.

نسبت بدهی(x_1): این نسبت عبارتست از جمع بدهی‌ها به جمع دارایی‌ها. تشخیص اینکه چه مبلغی از سرمایه یک موسسه باید از طریق حقوق صاحبان سرمایه و چه مبلغی از طریق وام‌های بلند مدت (سرمایه استقراضی) یا تسهیلات اعطایی بلند مدت بانک‌ها تامین شود؟ یکی از مهمترین مسائلی است که در موفقیت یا شکست موسسات تاثیر بسزایی دارد.آنچه انتظار می رود این است که نسبت بدهی بالاتر، احتمال نکول بیشتری را به دنبال دارد.

نسبت فعالیت(x_2): این نسبت یکی از مهمترین نسبت‌ها در هر موسسه صنعتی است، و نشان می دهد که دارایی‌های خالص با چه درجه کفایت و کارایی در عملیات موسسه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نسبت فعالیت برابر است با نسبت فروش خالص به دارایی‌های جاری منهای بدهی‌های جاری.آنچه انتظار می رود این

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

است که نسبت فعالیت بالاتر، احتمال نکول پایینتری را به دنبال داشته باشد.

نسبت ارزش ویژه به مجموع دارایی‌ها(x_3) : تعیین این نسبت شاخصی برای اندازه‌گیری نتایج عملیات، ارزیابی و کنترل طرح‌های سرمایه گذاری است. آنچه انتظار می رود این است که هر چه این نسبت بالاتر باشد، احتمال نکول پایینتری را به دنبال خواهد داشت.

۳-۲. تخمین احتمال نکول

با توجه به تعریف متغیر پاسخ Y، چنانچه P_i برابر با احتمال اینکه مشتری iام با بردار متغیر مستقل(x_i) در بازپرداخت تعهدات خود دچار نکول گردد($Y_i=1$)، یا مقدار $1-P_i$ برابر با احتمال اینکه مشتری iام به تعهدات خود عمل نماید($Y_i=0$) در نظر گرفته شوند، بنابر تعریف امید ریاضی رابطه(۱) استنباط می‌گردد:

$$E(Y_i/x_i) = 0 * P(Y_i = 0/x_i) + 1 * P(Y_i = 1/x_i) = P(Y_i = 1/x_i) = P_i \quad (۱)$$

بعبارت دیگر میزان ارزش انتظاری متغیر وابسته Y_i برابر با میزان احتمال نکول مشتری iام P_i است. بنابراین با تخمین میزان احتمال نکول مشتریان می توان دررابطه با عملکرد آتی آنان تصمیم گیری نمود.

۴. معیارهای ارزیابی مدل

کارایی مدل‌های رتبه‌بندی اعتباری با تعیین دو شاخص ارزیابی مشخص می گردد: "درجه حساسیت" یا نسبتی از مشتریان بدحساب(Y=1) که نتیجه امتیازدهی آنان نیز در مدل رتبه‌بندی گویای این واقعیت باشد یا بدرستی پیش‌بینی شده‌اند و "درجه تشخیص" یا نسبتی از مشتریان خوش حساب(Y=0) که نتیجه امتیاز دهی آنان نیز در مدل رتبه‌بندی گویای این واقعیت باشد یا بدرستی پیش‌بینی شده‌اند.

۵. سیستم استدلال فازی

هر سیستم استدلال فازی بر اساس قواعد فازی اگر-آنگاه تعریف می گردد. قواعد فازی اگر- آنگاه یا عبارات شرطی فازی بصورت اگر A آنگاه B بیان می‌گردند، که A و B برچسب مجموعه‌های فازی هستند که با تابع عضویت مناسب مشخص شده‌اند . در سیستم‌های استدلال فازی معمولاً دانش افراد خبره با استفاده از این قواعد استخراج می‌گردد و مجموعه‌ای از این قواعد، یک پایگاه قاعده فازی را تشکیل می‌دهد. به عنوان مثال قاعده زیر را در نظر بگیرید:

اگر سودآوری پایین و نسبت بدهی بالا باشد، آنگاه احتمال نکول بالا است.

که سود آوری، نسبت بدهی و احتمال نکول متغیرهای زبانی، پایین و بالا ارزش‌های زبانی یا برچسب‌هایی هستند که با استفاده از توابع عضویت مشخص می‌گردند.

شکل دیگری از قواعد اگر- آنگاه فازی که توسط تاکاجی و سوگنو (۱۹۸۳) پیشنهاد گردید، تنها در قسمت فرض مجموعه فازی بکار می رود. با استفاده از قواعد اگر- آنگاه فازی تاکاجی و سوگنو، به عنوان مثال می‌توان احتمال نکول را اینگونه بیان نمود:

اگر سودآوری پایین و نسبت بدهی بالا باشد، آنگاه γ+ نسبت بدهی$\times\beta$ + سودآوری$\times\alpha$=احتمال نکول است.

که در اینجا نیز پایین و بالا در قسمت فرض (قیاس) ارزش‌های زبانی هستند در حالیکه بخش نتیجه با استفاده از یک معادله غیرفازی از متغیرهای سودآوی و نسبت بدهی بیان گردیده است.

از هر دو نوع قواعد اگر- آنگاه فازی بصورت گسترده‌ای در زمینه‌های مدلسازی و کنترل استفاده می‌گردد. لازم به ذکر است که پایگاه قواعد فازی بخش اصلی یک سیستم استدلال فازی را تشکیل می‌دهد.

گامهای استدلال فازی (عملیات استنتاج از قواعد اگر- آنگاه فازی) در یک سیستم استدلال فازی به شرح زیر است:

۱. مقایسه متغیرهای ورودی با توابع عضویت در بخش فرض (قیاس) که در نتیجه آن ارزش‌های عضویت (میزان سازگاری) برای هر یک از برچسب‌های زبانی بدست می آید (این گام اغلب فازی سازی نامیده می‌شود).

۲. ترکیب (با استفاده از عملگر T-نرم مشخص، معمولاً ضرب یا مینی‌موم) مقادیر عضویت در بخش فرض(قیاس) که بدینوسیله قوه تحریک (وزن) هر قاعده بدست می‌آید.

۳. تولید نتایج مناسب (بصورت فازی یا صریح) برای هر یک از قواعد وابسته به قوه تحریک.

۴. ادغام نتایج بدست آمده و تولید یک خروجی صریح(این گام نافازی سازی نامیده می‌شود).

در بررسی پیش رو، رویکرد تاکاجی- سوگنو (که اغلب سیستم استدلال سوگنو خوانده می‌شود) مورد استفاده قرار می‌گیرد. تمرکز اصلی این روش بر تخمین مقادیر صریح خروجی است، که با توابع خطی و یا مقادیر ثابت تعیین می‌شوند

مطالعات بسیاری صورت گرفته است که نتایج آنها حاکی از کارایی روش‌ها و تئوری مجموعه‌های فازی در شرایط ابهام و عدم اطمینان می باشند[۱۵،۱۶]. بطور خاص در شرایطی که بدست آوردن یک مدل ریاضی دقیق غیر ممکن است، سیستم استدلال فازی با انعطاف پذیری و دامنه محاسباتی کم بسیار مطلوب عمل

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

می کند. در موارد این چنینی، روش‌های فازی این اجازه را به ما می دهد که دانش خبره را با متغیرهای زبانی، بجای استفاده از شکل صریح در تئوری احتمالات سنتی، بیان نمائیم.

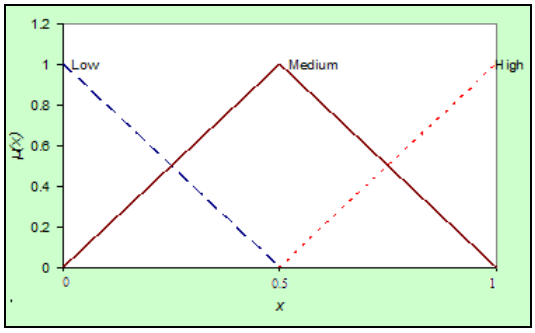
۶. توسعه یک سیستم استدلال فازی جهت رتبه بندی اعتباری

یک سیستم استدلال فازی از نوع سوگنو با توابع خروجی ثابت با سه متغیر ورودی جهت رتبه بندی اعتباری مشتریان حقوقی بانکها فرض کنید. سه متغیر ورودی این سیستم به ترتیب نسبت بدهی(x_1)، نسبت فعالیت(x_2) و نسبت ارزش ویژه به مجموع دارایی‌ها(x_3) و متغیر خروجی آن احتمال نکول متناظر با آنها می باشد. تمامی متغیرهای ورودی در فاصله بین ۰ تا ۱ با استفاده از رابطه زیر مقیاس می گردند:

$$x' = (x - min(x)) / (max(x) - min(x)); \qquad (۲)$$

که x بردار متغیر ورودی، x' بردار مقیاس شده و $min(x)$ و $max(x)$ بترتیب کمترین و بیشترین مقدار بردار x می باشند.

الگوی مورد استفاده برای مجموعه‌های فازی متغیرهای ورودی سیستم استدلال مورد بحث در شکل(1) مشاهده می‌گردد.



شکل ۱. اعداد مثلثی متناظر با مجموعه‌های فازی

با در نظر گرفتن الگوی بالا برای تعریف مجموعه‌های فازی برای هر یک از متغیرها، تعداد ۲۷ قاعده در سیستم استدلال فازی بدست می‌آید.

پس از ایجاد سیستم استدلال فازی، رتبه بندی به این نحو صورت می پذیرد که برای هر یک از داده های ورودی یک خروجی صریح بدست می آید، سپس با تعیین یک حد آستانه مشتریان به دو رتبه خوش حساب و بد حساب تقسیم می شوند. به عبارت دیگر مشتریانی که احتمال نکول متناظر آنها که با استفاده از سیستم استدلال فازی بدست می آید، بیش از حد آستانه است در رتبه بدحساب و باقی مشتریان در رتبه خوش حساب طبقه بندی می‌گردند.

پیش از فرایند استنتاج سیستم استدلال فازی مورد بحث، می‌بایست پارامترهای آن شامل احتمال نکول (وزن) مربوط به هر قاعده تنظیم گردند. تنظیم این پارامترها با استفاده از داده های آماری موجود بصورتی تعیین می‌گردد که بصورت همزمان خطای رتبه بندی کمینه شده و سطحی از تلرانس ریسک یا دلتا نیز تضمین گردد.

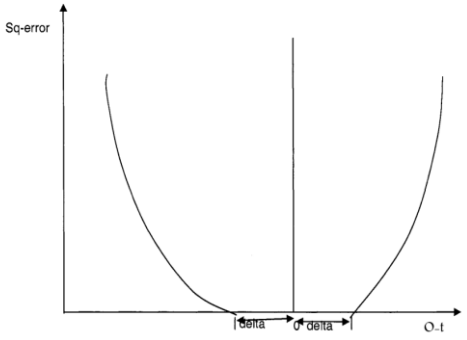
از آنجائیکه سطحی از خطای خروجی مدل در معیارهای ارزیابی(درجه حساسیت و درجه تشخیص) تاثیری ندارد، می توان از آن گذشت. به میزان خطای قابل گذشت، دلتا یا تلرانس گفته می‌شود. به عنوان مثال درصورتیکه مدل برای یک داده با مقدار خروجی واقعی ۱، احتمال نکول ۰.۹ را نشان دهد و خطایی معادل ۰.۱ به این داده نسبت دهد، اگر مقدار احتمال نکول ۰.۹۵ نیز توسط مدل بدست آید، تغییری در معیارهای ارزیابی مدل ایجاد نخواهد شد. از اینرو می‌توان با تعیین تلرانس مناسب خطای این دو مقدار را در مدل برابر با صفر قرار داد. با توجه به تعریف تلرانس، با افزایش آن ریسک مدل افزایش و خطای مدل کاهش می‌یابد. از سویی هر چه این سطح کمتر یا حدود تلرانس خطا کوچکتر باشد، ریسک رتبه بندی اشتباه در داده‌های خارج از نمونه کاهش و خطای مدل افزایش می‌یابند. بنابراین دو تابع هدف بصورت زیر نمایش داده می‌شوند:

$$Min\ err = min(\sum_{i=1}^{n} error_i / n)$$

$$Min\ 0 \le \delta \le 0.3$$

$$error_i = \begin{cases} 0 & if \quad |O_i - t_i| < \delta \\ (O_i - t_i)^2 - \delta^2 & o.w \end{cases} \qquad (۳)$$

در معادلات بالا، رابطه اول کمینه سازی خطای رتبه بندی و رابطه دوم کمینه سازی تلرانس ریسک را که در محدوده از پیش تعیین شده ای قرار دارد، نشان می دهند. منظور از خطا، قدر مطلق اختلاف بین خروجی مدل و خروجی واقعی است. مسئله بصورت گرافیکی در شکل(۲) نمایش داده شده است.



شکل ۲. سیمپلکس در دو بعد

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

همانطور که در شکل(۲) نمایش شده است، خطای دسته بندی در حدود تلرانس(دلتا) قابل قبول بوده و از اینرو هیچ جریمه ای به آن تعلق نمی‌گیرد، و ارزش‌های کمتر از دلتا برابر با صفر قرار می‌گیرند. این تابع هدف خاص تضمین می‌نماید که جواب‌هایی با خطای کمتر از مقدار از پیش تعیین شده، بصورت یکسان ترجیح داده می‌شوند در حالیکه جواب‌های با خطای بزرگتر از این حد، رد می‌گردند.

۶-۱. چیرگی فازی

مسئله بهینه سازی با n هدف O_i $(i=1,...,n)$ را فرض کنید. برای هر جواب S در فضای حل مسئله، توابع هدف کمینه سازی e_i $(i=1,...,n)$ با بردار هدف $e(s)=(e_1, e_2,...,e_n)$ را فرض کنید. شرایط چیرگی پارتو برای دو جواب A و B در فضای حل مسئله را می‌توان بصورت زیر بیان نمود[۱۴]:

$$A > B \Leftrightarrow \forall i, e_i(A) < e_i(B) \qquad (۴)$$

جواب A بر جواب B چیره است، اگر و فقط اگر مقادیر تمامی عناصر بردار هدف A، $e(A)$ از مقدار عناصر متناظرشان در بردار هدف B، $e(B)$ کمتر باشند.

$$A \geq B \Leftrightarrow \forall i, e_i(A) \leq e_i(B), \exists j, e_j(A) < e_j(B) \qquad (۵)$$

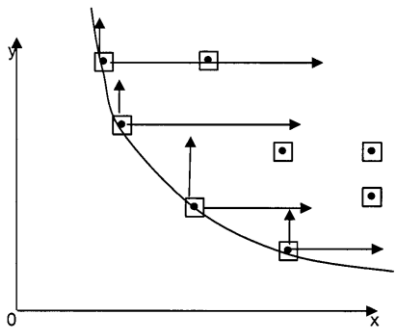
جواب A بصورت ضعیف برجواب B چیره است، اگر و فقط اگر حداقل یکی از عناصر بردار هدف A کمتر از B باشد و در بقیه عناصر دست کم بخوبی B باشد.

$$A \sim B \Leftrightarrow \exists i, e_i(A) < e_i(B), \exists j, e_j(A) > e_j(B) \qquad (۶)$$

هیچ یک از دو جواب بر دیگری چیره نیست، اگر و فقط اگر بعضی از عناصر بردار هدف A کمتر از B و در بعضی دیگر، بیشتر از B باشند. قواعد چیرگی پارتو، دارای خصوصیات کامل و گذرایی است. به این مفهوم که این شرایط کامل هستند، چون تضمین می کند که تصمیم گیرنده ترجیح خوش تعریفی بین دو جواب جایگزین داشته باشد، در حالیکه خاصیت گذرایی عدم وجود حلقه را تضمین می کند، یعنی نمی‌توان A را بر B، B را بر C و از سویی C را بر A ترجیح داد. جواب بهینه پارتو(جواب کارا)، جوابی است که هیچ جواب ممکن دیگری در مجموعه جواب‌ها به آن چیره نشود. یا بعبارت دیگر با فرض مجموعه جواب S با n جواب نامزد$(S^1, S^2,...,S^n)$، O^P مجموعه‌ای از جواب‌های s^P یا جواب‌های بهینه پارتو بصورت زیر تعریف می‌گردد:

$$O^P = \{ s^P \in S \,|\, \forall s \in S, s^P \geq s \} \qquad (۷)$$

در شکل(۳) بصورت شماتیک جواب‌های چیره یا مرز پارتو نشان داده شده است، که در این شکل بردارهای x و y نشاندهنده دو تابع هدف در مسئله بهینه سازی دو هدفه هستند.



شکل ۳. نمایش توابع هدف مسئله

چیرگی فازی تلفیقی از اصول پارتو و مفاهیم فازی است، بدین معنی که علاوه بر در نظر گرفتن اصول چیرگی، درجه چیرگی نیز با استفاده از منطق مجموعه‌های فازی قابل محاسبه است. با این توضیح که در اینجا می‌توان گفت جواب A با درجه عضویتی که قابل تعریف است، برجواب B چیره می‌گردد. به عنوان مثال مسئله بهینه سازی با n هدف کمینه سازی e_i $(i=1, 2,...,n)$ با فضای جواب $\Psi \in R^n$ را فرض کنید:

تعریف۱: چیرگی فازی در هدف iام

تابع غیرکاهشی یکنوای $\mu_i^{dom} : \psi \to [0,1], i = \{1,2,...,n\}$ که $\mu_i^{dom}(0) = 0$ است را در نظر بگیرید. جواب $v \in \psi$ بر جواب $u \in \psi$ در هدف iام چیره می‌گردد اگر و فقط اگر $e_i(v) < e_i(u)$، و این رابطه بصورت $u \overset{F}{<}_i v$ نمایش داده می‌شود و درجه این چیرگی در هدف iام برابر است با:

$$\mu_i^{dom}(e_i(u) - e_i(v)) \equiv \mu_i^{dom}(u \overset{F}{<}_i v) \qquad (۸)$$

تعریف۲: چیرگی فازی بین دو جواب

جواب $v \in \psi$ بر جواب $u \in \psi$ چیره می‌گردد اگر و فقط اگر:

$$u \overset{F}{<}_i v, \forall i \in \{1,2,...,n\} \qquad (۹)$$

این رابطه را می‌توان به صورت $u \overset{F}{<} v$ نمایش داد و درجه این چیرگی با استفاده از مفهوم اشتراک فازی و یک عملگر T- نرم مناسب $(\prod)$بصورت زیر بدست می‌آید :

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

$$\mu^{dom}(u \overset{F}{<} v) = \prod_{i=1}^{m} \mu_i^{dom}(u \overset{F}{<}_i v) \qquad (۱۰)$$

تعریف۳:چیرگی فازی در جعیتی از جواب‌ها

با در نظر گرفتن جمعیتی از جواب‌های $S \in \psi$، جواب $v \in S$ یک جواب چیره در S نامیده می‌شود، اگر و فقط اگر بر تمامی عناصر $u \in S$ چیره شود. درجه چیرگی جواب v می تواند با استفاده از عملگر اتحاد بین تمامی $\mu^{dom}(u \overset{F}{<} v)$ها بدست آید، که توسط عملگر *T-conorm* مناسب قابل اجرا است، این اتحاد توسط $\oplus$نمایش داده شده و درجه چیرگی فازی $v \in S$در مجموعه جواب S بصورت زیر بدست می‌آید:

$$\mu^{dom}(S \overset{F}{<} v) = \bigoplus_{u \in S} \mu^{dom}(u \overset{F}{<} v) \qquad (۱۱)$$

با توجه به تعریف بالا، مرز پارتو یا جواب‌های چیره در S بصورت زیر بدست می آیند:

$$\Gamma = \{u \in S \mid \neg(S \overset{F}{<} u)\} \qquad (۱۲)$$

به منظور محاسبه درجه چیرگی فازی در هدف iام بین دو بردار جواب می‌توان از توابع عضویت ذوزنقه ای استفاده نمود، بنابراین:

$$\mu_i^{dom}(u \overset{F}{<}_i v) = \begin{cases} 0 & if \quad e_i(u) - e_i(v) < 0 \\ (e_i(u) - e_i(v))/p_i & if \quad 0 \le e_i(u) - e_i(v) < p_i \\ 1 & o.w \end{cases} \qquad (۱۳)$$

که

$$p_i = (\max_i e_i(u) - \min_i e_i(v))\alpha_i \qquad (۱۴)$$

معمولاً $\alpha_i = 1/2$ در نظر گرفته می‌شود.

در الگوریتم ژنتیک مورد مطالعه که در بخش بعدی تشریح می‌گردد، $\mu^{dom}(S \overset{F}{<} v)$، $s \in S$بعنوان معیار برازندگی مورد توجه قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که در حالتیکه $\mu^{dom}(v \overset{F}{<} s) = 0$ باشد، جواب v بهینه و متعلق به منحنی پارتو است.

۶-۲. الگوریتم ژنتیک کاربردی

در الگوریتم ژنتیک ترکیب‌های مختلفی از ژن‌ها توسط عملگرهای ژنی شکل می‌گیرند تا در نتیجه این تغییرات کروموزم‌ها به جواب بهینه نزدیک شوند. سه نوع عملگر ژنی: ترکیبی[1]، جهشی[2]، و بازآفرینی[3] وجود دارد. عملگر ترکیبی شامل دو کروموزم است که با یکدیگر ترکیب شده و دو کروموزم دیگر را بوجود می‌آورند. عملگر جهشی روی یک کروموزم عمل نموده و تغییر تصادفی روی آن ایجاد می‌نماید و ترکیبی جدید از ژن‌ها را بوجود می‌آورد، در حالتیکه می‌خواهیم از محدوده‌ای از جواب‌ها جهش نمائیم و به جواب‌هایی جدیدتر برسیم از آن استفاده می‌نماییم. عملگر دیگر بازآفرینی است که این عملگر به طور تصادفی یک کروموزم از جمعیت قبل انتخاب نموده و به نسل بعدی انتقال می‌دهد.

الگوریتم ژنتیک مورد بحث ابتدا تعدادی جواب اولیه را به صورت تصادفی تولید می‌نماید .در تولید هر نسل هر یک از عملگرها به صورت تصادفی روی کروموزم‌های انتخابی اعمال شده و در حین تولید هر نسل بهترین کروموزم‌ها یا جواب‌های چیره مشخص می‌گردد.

۶-۲-۱. طرح ژن‌ها (نمایش کروموزم‌ها)

ژن‌های تشکیل دهنده کرموزم در این مسئله معادل پارامترهای سیستم استدلال فازی است. تعداد کل ژن‌ها برابر با۲۸است که ۲۷ پارامتر مربوط به سیستم استدلال فازی(برای هر قاعده یک وزن) و یک عدد مربوط به دلتا است. به عنوان مثال کرموزم w از n ژن$(w(i),\ i=1,2,...,n)$ تشکیل می‌شود که $w(i)$ وزن مربوط به قاعده iام است.

۶-۲-۲. عملگرهای ژنی

عملگر ترکیبی

در عمگلر ترکیبی دو کروموزمw_1وw_2 از جمعیت موجود(با K عضو) به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. هر کرموزم w_i $(i=1,2,...,K)$ دارای n ژن $(w_i = \{w_i(j) \mid j = 1,2,...,n\})$است. با استفاده از این دو کرموزوم والد، دو فرزند بصورت زیر تولید می‌گردد.

$$w_1'(j) = \begin{cases} \alpha w_1(j) + (1-\alpha)w_2(j) & if \quad 0 < \alpha w_1(j) + (1-\alpha)w_2(j) < 1 \\ 1 & if \quad 1 < \alpha w_1(j) + (1-\alpha)w_2(j) \\ 0 & if \quad \alpha w_1(j) + (1-\alpha)w_2(j) < 0 \end{cases}$$

$$j = 1,2,..., n, \qquad (۱۵)$$

$$w_2'(j) = \begin{cases} \alpha w_2(j) + (1-\alpha)w_1(j) & if \quad 0 < \alpha w_2(j) + (1-\alpha)w_1(j) < 1 \\ 1 & if \quad 1 < \alpha w_2(j) + (1-\alpha)w_1(j) \\ 0 & if \quad \alpha w_2(j) + (1-\alpha)w_1(j) < 0 \end{cases}$$

$$j = 1,2,..., n,$$

[1]. *crossover*

[2]. *mutation*

[3]. *reproduction*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

که α عددی تصادفی بین صفر و یک است. w'_1 و w'_2 نیز دو فرزند جدید بدست آمده از عملگر ترکیبی هستند.
در الگوریتم پیشنهادی احتمال اجرای عملگر ترکیبی برابر با ۰.۸ در نظر گرفته شده است.

عملگر جهشی

در عملگر جهشی یک کروموزم w به صورت تصادفی انتخاب می‌گردد و یک کروموزم جدید بصورت زیر تولید می‌شود:

$$w'(j)=\begin{cases} w(j)+rnd & if \quad 0<w(j)+rnd<1 \\ 1 & if \quad 1<w(j)+rnd \\ 0 & if \quad w(j)+rnd<0 \end{cases} \qquad (۱۶)$$
$$j=1,2,\ldots,n$$

rnd عددی تصادفی با توزیع نرمال استاندارد است.
در الگوریتم پیشنهادی احتمال جهش برابر با ۰.۱ در نظر گرفته شده است.

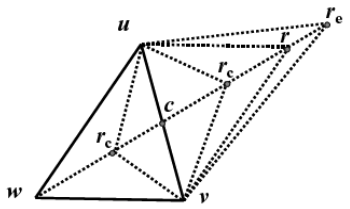
۶-۳. الگوریتم سیمپلکس

سیمپلکس در یک فضای n بعدی از $n+1$ جواب u_k، $k=\{1,\ldots,n+1\}$ تشکیل می‌گردد، که در سطح(فضای دو بعدی) متناظر با مثلث نمایش داده شده در شکل(۴) است. جواب‌ها در هر گام ارزیابی شده و بدترین جواب w مشخص می‌گردد. سپس مرکز ثقل، c، با حذف w تعیین می‌گردد.

$$nc=\sum_{k=1}^{n+1}u_k-w \qquad (۱۷)$$

سپس تصویر جواب w، در راستای خط واصل بین c و w، r، بدست می‌آید:

$$r=c+(c-w) \qquad (۱۸)$$



شکل ۴. سیمپلکس در دو بعد

معمولاً، بدترین جوابw، توسط r جایگزین می‌گردد، اما اگر r بهتر از تمامی جواب‌ها در سیمپلکس باشد، سیمپلکس گسترش بیشتری بصورت زیر پیدا می کند:

$$r_e=c+\eta(c-w),\eta>1. \qquad (۱۹)$$

که η ضریب گسترش نامیده می‌شود. در حالتیکه جواب r بدست آمده بدتر از w باشد، سیمپلکس در همان سمت c (سمتی که w قرار دارد) منقبض می‌گردد و اگر جواب r بهتر از w ولی بدتر از جواب‌های دیگر باشد، سیمپلکس مجدداً منقبض می‌گردد ولی این بار در سمت دیگر c(در هر دو حالت اخیر ضریب انقباض k است).این انقباض بصورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$r_c=c\pm k(c-w),k<1. \qquad (۲۰)$$

در مرحله بعدی بدترین جواب، w، با یکی از جواب‌های r، r_e و r_c جایگزین می‌گردد. این الگوریتم را می‌توان چندین بار پیش از همگرایی استفاده نمود[۱۶].

۷. کاربرد مدل

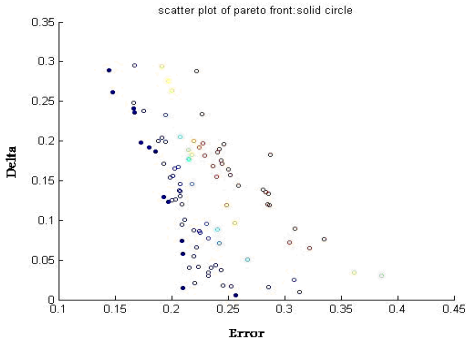
روش پیشنهادی بهینه سازی چند معیاره بر اساس مفهوم چیرگی فازی و با ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و سیمپلکس، که هر دو از الگوریتم‌های بدون مشتق گیری هستند، فرآیند حل را بسوی یک جواب بهینه یا کارا هدایت می کند. در روش پیشنهادی الگوریتم ژنتیک یک جستجوی جهانی[1] و از سویی، الگوریتم سیمپلکس یک جستجوی محلی[2] در همسایگی جواب‌ها به منظور بهبود آن‌ها انجام می دهد. کارایی یا برازندگی جواب‌های بدست آمده نیز با استفاده از مفهوم چیرگی فازی تعیین می‌گردد (شکل ۵).
تا بحال روش‌های ترکیبی متعددی با ترکیب این دو الگوریتم پدید آمده‌اند[۱۹،۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳]. در یکی از روش‌ها از الگوریتم سیمپلکس به جهت بهبود جواب‌های بدست آمده از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است[۲۱].
در الگوریتم پیشنهادی مقاله حاضر، مشابه رندرز و همکاران [۱۷] و برسینی و همکاران[۱۹] الگوریتم سیمپلکس در هر تکرار الگوریتم ژنتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما مانند روش ین و همکاران[۲۰] تنها نسبتی از تولید بعدی با استفاده از عملگرهای ترکیبی و جهشی بدست می‌آیند و مابقی با استفاده از الگوریتم سیمپلکس تولید می‌گردند با این تفاوت که در روش ین و همکاران بهترین جواب‌ها تحت عملگر سیمپلکس قرار می گرفتند ولی در این روش به منظور کاربرد الگوریتم سیمپلکس $n+1$(n برابر با تعداد پارامترها یا ژن‌های مسئله) جواب از جمعیت، S، انتخاب می‌گردند.
برای این انتخاب ابتدا $n+1$ جواب بصورت تصادفی انتخاب می‌گردند و مرکز این جواب‌ها C محاسبه می‌شود. هر بردار جواب

[1] .global search
[2] .local search

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

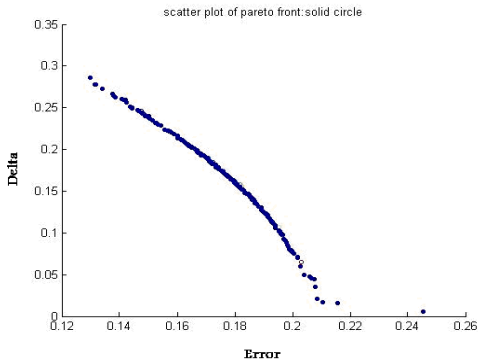
u که در فاصله اقلیدسی $\|C-u\| \le \rho$ قرار گیرد، از مجموعه جواب‌ها حذف شده و جواب دیگری از جمعیت بصورت تصادفی انتخاب و جایگزین آن می‌شود. لازم به ذکر است که ρ پارامتر شعاع الگوریتم سیمپلکس است. این فرآیند تا انتخاب $n+1$ جواب که در شرط فوق صدق کند یا رسیدن به تعداد r_{max} تکرار، ادامه می یابد. پس از انتخاب بردار اولیه، الگوریتم سیمپلکس به تعداد α بار تکرار می‌گردد و بهترین $n+1$ جواب برای ورود به جمعیت جهت تولید مرحله بعد انتخاب می‌گردند. معیار انتخاب یا تابع برازندگی برای عملگرهای ترکیبی و جهشی در الگوریتم ژنتیک بر مبنای مفهوم چیرگی فازی که با استفاده از توابع عضویت ذوزنقه ای تعیین می گردد، است.

کد برنامه مورد استفاده، در محیط *MATLAB* نوشته شده و زمان اجرای آن در یک رایانه *Pentium VI* با پردازشگر *1,6GHz*، حدود ۱۹۰ دقیقه است. شکل (۵) نمایشی از جواب‌های اولیه پیش از اجرای برنامه بهینه سازی است، که این جواب‌ها بصورت تصادفی تولید شده‌اند. دوایر توپر جواب‌های کارا یا چیره را نشان می دهد.



شکل ۵. نمایش مرز پارتو (پیش از آموزش سیستم استدلال فازی)

شکل (۶) تنظیم وزن‌ها را در تکرار ۱۰۰ نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود در حین فرآیند یادگیری یا بهینه سازی وزن‌ها، جمعیت بهبود می یابد.



شکل ۶. نمایش مرز پارتو(پس از ۱۰۰ تکرار)

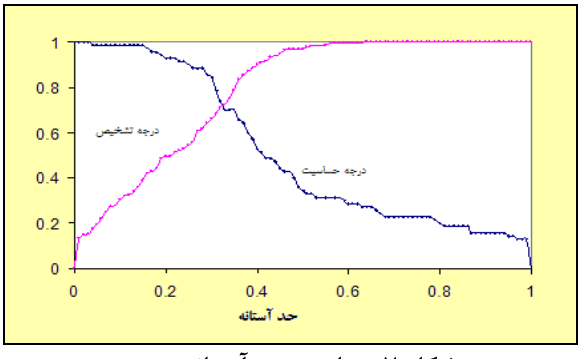
در حین فرآیند بهینه سازی بر تعداد جواب‌های چیره افزوده شده و تعداد جواب‌های غیر چیره کاهش یافته است.

به عنوان نمونه یک سیستم استدلال بدست آمده از این روش (سه عدد از جواب‌های چیره) در جدول (۱) مشاهده می‌گردند. همانطور که از این جدول پیداست، مشتریانی با نسبت بدهی بالا، نسبت فعالیت و نسبت ارزش ویژه به مجموع دارایی‌ها پایین، احتمال نکول بالاتری دارند، که نتیجه ای بسیار منطقی است. با این فرض که متغیرها در حدود بالایی و پایینی تاثیر خود را بر نکول بیشتر نشان می دهند، با توجه به جدول (۱)، در پنج ردیف بالای جدول که دارای احتمال نکول بالایی هستند، چهار ردیف دارای نسبت بدهی بالا، سه ردیف دارای نسبت فعالیت پایین و دو ردیف دارای نسبت ارزش ویژه به مجموع دارایی‌ها پایین هستند، که می توان اینگونه استدلال نمود که نسبت بدهی نقش تعیین کننده تری در نکول دارد.

با استفاده از پایگاه‌های قواعد بدست آمده(جدول(۲))، احتمال نکول داده‌های مدل و شاهد بدست آمد، که در بخش بعدی به ارزیابی کارایی این روش بر اساس معیارهای پیش گفته خواهیم پرداخت.

۷-۱. محاسبه حد آستانه بهینه

مقدار عددی حد آستانه (یا احتمالی که در آن متوسط ریسک اعتباری و تجاری مدل کمینه می‌شود) بطور مستقیم قابل محاسبه نیست، ولی با توجه به مقادیر درجه حساسیت و تشخیص و نیز احتمال وقوع پیامد مورد نظر، برای کل مشاهدات نمونه قابل محاسبه است. در نمودار شکل (۷) که در آن منحنی درجه حساسیت و درجه تشخیص مدل‌ها در مقابل حدود آستانه مختلف رسم شده‌اند، نشان داده شده است. منحنی که از سمت چپ پایین به سمت راست بالا کشیده شده است. منحنی درجه تشخیص و منحنی که از سمت چپ بالا به سمت راست پایین آمده است، منحنی درجه حساسیت است. همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، حد آستانه بهینه(نقطه ای که مجموع دو معیار کمینه می شود) در مدل ترکیبی برابر ۰.۳۲ است.



شکل ۷. محاسبه حد آستانه بهینه

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

جدول۱. سیستم استدلال فازی کارا

قاعده	x1	x2	x3	وزن خروجی
۷	H	L	L	۰.۷۹۶۱۴
۵	M	L	M	۰.۷۵۲۷۲
۹	H	L	H	۰.۷۱۶۹۴
۲۵	H	H	L	۰.۷۰۰۸۲
۲۷	H	H	H	۰.۶۹۷۳۲
۱	L	L	L	۰.۶۴۸۰۳
۲۶	H	H	M	۰.۶۲۱۴۳
۱۶	H	M	L	۰.۶۰۶۲
۶	M	L	H	۰.۵۷۷۲۵
۱۹	L	H	L	۰.۵۶۶۳۴
۳	L	L	H	۰.۵۶۱۴۸
۸	H	L	L	۰.۵۳۸۶۲
۱۲	M	L	H	۰.۴۵۲
۲	H	M	L	۰.۴۴۳۳۶
۱۱	M	L	L	۰.۳۸۱۶۸
۱۷	M	M	L	۰.۳۵۹۶۸
۲۰	M	M	H	۰.۳۵۳۱
۱۸	M	H	L	۰.۳۳۷۵۵
۱۵	H	M	H	۰.۳۳۷۰۹
۲۲	H	M	M	۰.۳۱۲۱۳
۲۴	L	H	M	۰.۳۰۰۰۳
۲۱	H	H	M	۰.۲۸۲۰۵
۴	H	H	L	۰.۲۷۶۷۱
۱۳	L	L	M	۰.۲۷۵۳۵
۲۳	L	M	M	۰.۱۸۸۹۵
۱۰	M	H	M	۰.۱۸۳۳
۱۴	M	M	M	۰.۱۵۹۲۵

x1: نسبت بدهی ، *x2*: نسبت فعالیت ، *x3*: نسبت ارزش ویژه به مجموع دارایی‌ها

Low: L, Medium: M, High: H

۷-۲. بررسی قدرت پیشگویی مدل

در حد آستانه،۰.۳۲، مقادیر پیش‌بینی شده احتمال برای متغیر وابسته Y، در مقابل مقادیر واقعی مشاهده شده آن در داده‌های مدل، مقایسه شدند. بر این اساس درجه حساسیت و درجه تشخیص مدل ترکیبی در داده‌های مدل بترتیب برابر با ۰.۷۰ و ۰.۷۴ هستند.

به منظور بررسی کارایی مدل، قدرت پیش‌گویی آن برای داده‌های شاهد مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور تعداد ۳۷ داده از ۲۷۲ داده اولیه بصورت تصادفی انتخاب شدند و در آموزش یا طراحی مدل‌ها بکار برده نشدند تا پس از تعیین پارامترهای مدل، برای سنجش کارایی آن مورد استفاده قرار گیرند. در این بخش این داده‌ها وارد مدل ترکیبی شدند و احتمال عدم باز پرداخت به موقع تسهیلات اعطایی (ریسک اعتباری) مشاهدات محاسبه و با حدود آستانه بهینه بدست آمده در بخش قبلی مقایسه گردید.

همانطور که در جدول(۲) مشاهده می‌گردد، درجه حساسیت و تشخیص مدل ترکیبی بترتیب برابر با مقادیر ۰.۶۲۵و ۰.۷۲۴ هستند.

جدول۲. کارایی مدل ترکیبی

مشاهدات واقعی / برآورد	*Y=0* (خوش حساب)	*Y=1* (بد حساب)	کل
$P(Y)\leq C$	۲۱	۳	۲۴
$P(Y)>C$	۸	۵	۱۳
کل	۲۹	۸	۳۷
درست	۲۱	۵	۲۶
درست(٪)	۷۲.۴	۶۲.۵	۷۰.۲۷

نتایج بدست امده از مدل را با نتایج حاصل از دو مدل رگرسیون لاجیت[۱۳] و سیستمهای استدلال عصبی- فازی سازگار (ANFIS)[۱۴] مقایسه می‌شود (جدول(۳)).

جدول۳. کارایی مدل ترکیبی

معیار / روش	درجه تشخیص(٪)	ریسک تجاری(٪)	درجه حساسیت(٪)	ریسک اعتباری(٪)	دقت کل(٪)
مدل پیشنهادی	۷۲.۴	۲۷.۶	۶۲.۵	۳۷.۵	۷۰.۲۷
رگرسیون لاجیت	۸۱.۸	۱۸.۲	۵۵	۴۵	۷۳
ANFIS	۶۸.۹۷	۳۱.۰۳	۶۲.۵	۳۷.۵	۶۷.۵۷

براساس نتایج ارائه شده در جدول(۳)، مدل رگرسیون لاجیت دارای بیشترین دقت کل است در حالیکه میزان ریسک اعتباری بالایی دارد (۴۵٪) و از اینرو در شناسایی مشتریان بد حساب کارایی نسبتاً پایینی دارد. مدل پیشنهادی در واقع تعادلی بین دو ریسک ایجاد نموده و از سوی دیگر با استفاده از این مدل می‌توان متغیرهای کلیدی تأثیر گذار بر ریسک را نیز استخراج نمود.

۸. نتیجه گیری

ارائه تسهیلات مالی یکی از فعالیت‌های مهم نظام بانکی تلقی می‌شود. برای اعطای تسهیلات، باید درجه اعتبار و قدرت گیرنده تسهیلات را در باز پرداخت اصل و سود تسهیلات اعطایی تعیین

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

نمود. احتمال عدم بازگشت اصل و سود تسهیلات اعطایی را ریسک اعتباری گویند. مهمترین ابزاری که بانک‌ها برای مدیریت و کنترل ریسک اعتباری بدان نیازمندند، سیستم رتبه‌بندی اعتباری مشتریان است.

در مقاله حاضر، یک الگوریتم ترکیبی مبتنی بر اصول چیرگی فازی، جهت بهینه سازی پایگاه قواعد فازی توسعه داده شد. کمینه نمودن خطای دسته بندی و حدود تلرانس ریسک به عنوان دو هدف بهینه‌سازی سیستم استدلال فازی مورد توجه قرار گرفتند و بر اساس یکی از سیستم‌های استدلال کارای بدست آمده، تخمین میزان احتمال نکول هر یک از داده‌های مدل و شاهد بدست آمد.

با تعیین میزان حد آستانه بهینه، مشتریان در دو گروه بد حساب و خوش حساب رتبه‌بندی گردیدند. با مقایسه نتایج بدست آمده از مدل و وضعیت واقعی، معیارهای ارزیابی مدل شامل درجه حساسیت و درجه تشخیص نیز برآورد شدند که حاکی از مناسب بودن مدل جهت برآورد احتمال نکول ارائه تسهیلات به مشتریان حقوقی در بانک‌ها است.

منابع

[۱] عرب مازار، عباس.، روئین‌تن، پونه.، «عوامل مؤثر بر ریسک اعتباری مشتریان بانکی؛ مطالعه موردی بانک کشاورزی»، دوفصلنامه علمی -پژوهشی جستارهای اقتصادی، سال سوم، شماره ۶، صفحه ۸۰-۴۵، ۱۳۸۵.

[۲] اخباری، مهدیه.، مخاطب رفیعی، فریماه.، «کاربرد سیستمهای استدلال عصبی- فازی در رتبه بندی اعتباری مشتریان حقوقی بانکها»، مجله تحقیقات اقتصادی دانشگاه تهران، شماره ۹۲، صفحه ۲۱-۱، ۱۳۸۹.

[3] Wilson, R., Sharda, R., "*Business Failure Prediction Using Neural Networks.*", Encyclopedia of Computer Science and Technology, Vol.37, No.22, 1997, pp.193-204.

[4] *Generation Approach for Managing Credit Scoring Problems*." In Fuzzy Sets in Management, Economics and Marketing.(ed.), 2001, pp.223-228.

[5] Syau, Y., Hsieh, H., Lee, E.S., *"Fuzzy Numbers in the Credit Rating of Enterprise Financial Condition*." Review of Qunatitative Finance and Accounting, Vol.17, 2001, pp. 351-360.

[6] Cheng, C.B., Lee, E.S., *"Applying Adaptive Network to Fuzzy Regression Analysis*.", Computers and Mathematics with Applications, Vol.38, 1999, pp.123-140.

[7] Boussabaine, A.H., Wanoous, M., *"A Neurofuzzy Model for Predicting Business Bankruptcy*." In Business Applications of Neural Networks: The State-of-the-Art of Real-World Applications(ed.), 2000, pp.55-69.

[8] Castillo, O., Melin, P.,"*Hybrid Intelligent Systems for Time Series Prediction Using Neural Networks, Fuzzy Logic and Fractal Theory*." IEEE Transactions on Neural Networks, Vol.13, No. 16, 2002.

[9] Malhotra, R., Malhotra, D.K., *"Differentiating between Good Credits and Bad Credits Using Neural-fuzzy Systems.*" European Journal of Operational Research, Vol. 136, 2002, pp.190-211.

[10] Jiao,Y., Syau, Y., Lee, E.S.*," Modelling Credit Rating by Fuzzy Adaptive Network*", Mathematical and Computer Modelling Vol.45 , 2007, pp.717–731.

[11] Hoffmann, F., Baesens ,C., Mues, T., *"Inferring Descriptive and Approximate Fuzzy Rules for Credit Scoring using Evolutionary Algorithms*" in European Journal of Operational Research ,Vol.177, 2007, pp. 540–555.

[12] Lean,Y., Wang, S., Lai, K., *"An Intelligent-Agent-Based Fuzzy Group Decision Making Modelfor Financial Multicriteria Decision Support: The Case of Credit Scoring"*, European Journal of Operational Research, Vol.195, 2009, pp.942–959 .

[13] Tsai, C.F., Chen M.L., "*Credit Rating by Hybrid Machine Learning Techniques*", Applied Soft Computing, Vol.10, pp.374–380, 2010.

[14] Danenas, P., Garsva G., Gudas, S., "*Credit Risk Evaluation Model Development Using Support Vector Based Classifiers*", Procedia Computer Science , Vol.4, 2011, pp.1699–1707.

[15] Jang, J.S.R , *"ANFIS: Adaptive – Network Based Fuzzy Inference Systems.",* IEEE transactions on systems Man. and Cybernetics, Vol.23, No.3, 1993, pp.665-685.

[16] Douligeris, C., Palazzo, S., *"Fuzzy Expert Systems in ATM Networks",* Fusion of Neural Networka, Fuzzy Sets, and Genetic Algorithms: Industrial Application (ed.), 1999.

[17] Gonzalez, S.F., Flores, R.J., Flores, R.B., Mendoza, R.J., *"Multiple Fuzzy IRR in financial Decision Enviroment*.", Fuzzy sets in management, Economics and Marketing(ed), 1992, pp.724-740.

[18] Nelder, J.A., Mead, R., *"A Simplex Method for Function Minimization",* Computer Journal,Vol 7, No. 4, pp.308-313, 1965.

[19] Renders, J.M., Flasse, S.P., *"Hybrid Methods using Genetic Algorithms for Global Optimization*", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part-B, Vol. 28, No.2, 1998, pp. 73-91.

[20] Yen, J., Liao, Lee, J.C., Randolph, D., "*A Hybrid Approach to Modeling Metabolic Systems using a*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

Genetic Algorithm and Simplex Method", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part-B, Vol. 7, No. 1, 2003, pp.243-258.

[21] Koduru, P., Das, S., Welch, S., Judith, L.R., *"Fuzzy Dominance Based Multi-objective GA-Simplex Hybrid Algorithms Applied to Gene Network Models*", Springer-Verlag Berlin Heidelberg , Vol. 3102, 2004, pp. 356–367.

[22] Bersini, H., *" The Immune and Chemical Crossovers*", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 6, No. 3, 2002, pp.306-313.

[23] "*Simulation and Evolutionary Optimization of Electron-Beam Lithography with Genetic and Simplex-Downhill Algorithms"*, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 7, No. 1, 2003, pp. 69-82.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]