

## تعیین شاخص های اجتماعی و فنی - مکانیزاسیون با استفاده از روش منطق فازی و الگوریتم ژنتیک

لیلا ندرلو<sup>۱</sup>، رضا علیمردانی<sup>۲\*</sup>، محمود امید<sup>۳</sup>، فریدون سرمدیان<sup>۴</sup>، حسین جوادی کیا<sup>۴</sup> و محمدیاسر ترابی<sup>۵</sup>

۱. استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه - دانشجوی سابق دکتری دانشگاه تهران
۲. استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۳. استادیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۴. استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه
۵. کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

چکیده	تاریخچه مقاله
<p>عوامل اجتماعی، اقتصادی و فنی علاوه بر عوامل محیطی، خاک، آب و هوا در عملکرد محصول و موفقیت در کشت آن مؤثر می باشند. اهداف این تحقیق، ارائه دو مدل فازی برای تعیین شاخص های اجتماعی و فنی - مکانیزاسیون برای محصول گندم آبی و بهینه سازی قوانین و توابع عضویت فازی بود. بر این اساس، داده های سن، تجربه و سطح تحصیلات کشاورزان به عنوان ورودی های مدل فازی اجتماعی و داده های دسترسی به منبع آب، جاده، سیلو، نیروی کارگری، تراکتور-ماشین ها و همچنین تجهیزات خاک ورزی حفاظتی به عنوان ورودی های مدل فازی فنی - مکانیزاسیون بودند. برای طراحی مدل ها از سامانه استنتاج فازی ممدانی استفاده شد و قوانین آن توسط دانش متخصص مکانیزاسیون نوشته شد. ضریب تعیین شاخص به دست آمده در مدل فازی اجتماعی و مدل فازی فنی - مکانیزاسیون، قبل از بهینه سازی قوانین فازی به ترتیب ۰/۱۱ و ۰/۵۱ بدست آمد. مقادیر پس از بهینه سازی قوانین فازی توسط الگوریتم ژنتیک به ۰/۵۰ و ۰/۷۱ به ترتیب برای مدل های اجتماعی و فنی - مکانیزاسیون افزایش یافت. این نتایج نشان داد که بهینه سازی قوانین فازی تأثیر قابل توجهی بر نتیجه مدل داشت؛ همچنین برنامه ای در نرم افزار متلب برای انتخاب بهترین نوع توابع عضویت در مجموعه های فازی متغیرهای ورودی نوشته و اجرا شد که مقدار ضریب تعیین از ۰/۱۴ تا ۰/۵۱ و از ۰/۱ تا ۰/۷۳ به ترتیب برای مدل های اجتماعی و فنی -</p>	<p>دریافت: ۱۳۹۱/۰۷/۱۲ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۰۳</p> <p><b>کلمات کلیدی:</b> شاخص اجتماعی، فنی و مکانیزاسیون، قوانین فازی، بهینه سازی، تابع عضویت، گندم</p> <p>* عهده دار مکاتبات E-mail: rmardani@ut.ac.ir</p>

## مکانیزاسیون تغییر نمود. این نتایج نیز نشان داد که انتخاب نوع توابع عضویت مجموعه های فازی اهمیت به سزایی در دقت مدل دارد.

### مقدمه

تعیین میزان مناسب بودن محصول برای کشت در یک ناحیه معین، فرایند پیچیده ای مشتمل بر چندین تصمیم است که مستلزم جمع آوری داده هایی از حوزه ها و منابع مختلف مانند علوم خاک تا علوم اجتماعی، هواشناسی تا علوم مدیریت است. میراندا<sup>۱</sup> (۱۲) و نیز ون نوردویچ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۲) بیان می کنند که سه جنبه مهم و مورد نیاز در برنامه ریزی برای کاربری مناسب منابع اراضی؛ جنبه های محیطی، اقتصادی و اجتماعی می باشند. بنابراین یک روش ساختار یافته و پایدار برای تجزیه و تحلیل تناسب اراضی ضروری است. همه این عوامل مهم می توانند در گروه های جداگانه مطرح شوند؛ ثانیاً هر گروه می تواند معیارهای مختلفی با درجه اهمیت متفاوتی را در خود داشته باشد. درجه نسبی سهم معیارهای مختلف هنگامی که بر اساس بر اساس سلسله مراتب مختلفی سازمان دهی می شوند، می تواند به خوبی تعیین گردد (۲). از بین عوامل غیر زنده، زنده، اجتماعی، اقتصادی و فنی مؤثر در موفقیت محصول در منطقه، عوامل بیوفیزیکی تمایل دارند که، بر خلاف عوامل اجتماعی، اقتصادی که تحت تأثیر مشخصات جامعه، اقتصاد و سیاست قرار می گیرند ثابت باقی بمانند. (۵ و ۲۱). پروین<sup>۳</sup> و همکاران (۱۳) داده های بیوفیزیکی و اجتماعی - اقتصادی را با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی برای ارزیابی کشت گندم ترکیب کردند. عوامل اقتصادی - اجتماعی استفاده شده در این تحقیق، دسترسی به نیروی انسانی، اتصال به بازار و جاده بودند. آنها از فرایند سلسله مراتبی برای قضاوت پارامترها و محاسبه شاخص ارجحیت هر پارامتر استفاده کردند.

سلطان محمدی و همکاران (۲۰) با استفاده از فرایند سلسله مراتبی رتبه اولویت کاربری های اراضی را، پس از حفر معدن از طریق چارچوب تحلیل تناسب اراضی معدن که متشکل از عوامل اقتصادی، اجتماعی، تکنیکی و موقعیت معدن بود، استنتاج کردند.

بسیاری از عوامل اجتماعی - اقتصادی مقیاس اندازه - گیری مشخصی ندارد و با استفاده از برخی ضوابط زبانی نمایش داده می شوند، مانند: بازار نزدیک، نزدیکتر، دور، خیلی دور و... است (۸). با استفاده از منطق کلاسیک بولین (صفر و یک) مدل کردن چنین ابهامات با وجود عدم صراحت عوامل محیطی، اجتماعی و اقتصادی امکان پذیر نیست. در چنین مواردی استفاده از نظریه مجموعه فازی می تواند بسیار مفید باشد (۱۵). در حقیقت منطق فازی، تئوری مجموعه های فازی و علم تقریب زدن می باشد تا نادقیق بودن و مبهم بودن در تصمیم گیری را مورد بررسی قرار دهد (۲۳).

پراکاش (۱۵) تناسب اراضی برای محصول برنج را با استفاده از یک روش تصمیم گیری چند معیاره فازی با در نظر گرفتن عوامل اجتماعی - اقتصادی و زیربنایی ارزیابی کرد. او روش فرایند سلسله مراتبی<sup>۴</sup> را با روش ترکیبی فازی و فرایند سلسله مراتبی مقایسه کرد و نتیجه گرفت که روش ترکیبی فازی و فرایند سلسله مراتبی پتانسیل خوبی در ارزیابی تناسب اراضی دارد. ساتلر<sup>۵</sup> و همکاران (۱۶) شاخص های اقتصادی و زیست محیطی را در سامانه مدل سازی زیستی اقتصادی به منظور ارزیابی عملکرد اقتصادی و اثرات آن بر محیط های غیر جاندار و جاندار به کار بردند. در سامانه فازی آن از استنتاج ماکزیمم - مینیمم استفاده شد. هدف کلی سامانه استنتاج ممدانی،

4- Analytic Hierarchy Process (AHP)  
5- Sattler et al.

1- Miranda  
2- Van Noordwijk et al.  
3- Perveen et al.

ورودی) از ترکیب دو سامانه استنتاج فازی تشکیل شد که هر یک شامل سه متغیر ورودی بود. دسترسی به منبع آب، جاده و سیلوی گندم تحت عنوان داده های فنی در سامانه استنتاج فازی فنی و دسترسی به نیروی کارگری، تراکتور- ماشین ها و تجهیزات خاک ورزی حفاظتی تحت عنوان داده های مکانیزاسیون سامانه استنتاج فازی مکانیزاسیون در نظر گرفته شدند. ترکیب این دو سامانه استنتاج فازی در نهایت شاخص فنی - مکانیزاسیون را نتیجه می دهد. شکل ۱ و ۲ به ترتیب مدل فازی اجتماعی و مدل فازی فنی - مکانیزاسیون را با متغیر های ورودی آنها نشان می دهد. برای به دست آوردن حجم نمونه گیری مطابق رابطه (۱) از فرمول کوکران استفاده شد (۱۹).

$$n = \frac{Nt^2s^2}{Nd^2 + t^2s^2} \quad (1)$$

که در آن n تعداد پرسشنامه لازم، N تعداد بهره بردار در جامعه هدف، t ضریب قابلیت اعتماد (۱/۹۶) که قابلیت اعتماد ۹۵٪ را ارائه می کند، S<sup>2</sup> واریانس صفت مورد مطالعه در جمعیت و d دقت  $(\bar{x} - \bar{X})$  می باشد. خطای قابل قبول در اندازه نمونه ۵٪ و سطح اطمینان ۹۵٪ تعریف شد. بر این اساس مقدار n عدد ۷۰ به دست آمد. داده های مورد نیاز در مقیاس های کمی، ترتیبی، اسمی، نسبی و ... بودند. پرسشنامه شامل دو بخش (۱) ویژگی های فردی، اجتماعی و اقتصادی کشاورزان و (۲) مشخصات واحد تولیدی و وضعیت مکانیزاسیون منطقه بود.

در این تحقیق برای طراحی مدل فازی از جعبه ابزار فازی نرم افزار متلب استفاده شد (۱۱). در مدل فازی طراحی شده برای این تحقیق از سامانه استنتاج فازی ممدانی استفاده گردید. در روش ممدانی (موتور استنتاج کمینه) و استنتاج مبتنی بر قوانین جداگانه با ترکیب اجتماع، از عملگر مینیم

کنترل یک سامانه توسط مجموعه ای از قوانین کنترلی زبانی بدست آمده از تجربیات بشری می باشد (۱۰).

عیب اصلی سامانه های فازی عدم توانایی یادگیری آنها می باشد، در نتیجه یکی از مهم ترین مراحل در طراحی سامانه های فازی، بهینه کردن آن است. در واقع بدون این مرحله نمی توان ادعا نمود که سامانه طراحی شده در بهترین وضعیت ممکن کار می کند. یکی از بهترین روش های بهینه سازی، روش الگوریتم ژنتیک<sup>۱</sup> می باشد (۴). الگوریتم ژنتیک یک روش جستجوی تصادفی در فضاها بسیار وسیع و بزرگ است که در نهایت بر اساس فرایند تکامل تدریجی و اصول وراثت و ساختار ژن ها و کروموزومها به سمت یک جواب بهینه همگرا می شود (۳ و ۷). جیانو و لیو<sup>۲</sup> (۹) مدل جدیدی برای ارزیابی تناسب اراضی بر اساس هوش محاسباتی ارائه دادند. الگوریتم ژنتیک به عنوان الگوریتم یادگیری برای یاد دادن شبکه عصبی - فازی به کار رفت و موجب یادگیری مؤثر مدل شد.

هدف این تحقیق، ارائه دو مدل فازی، یکی برای تعیین شاخص اجتماعی و دیگری برای تعیین شاخص فنی - مکانیزاسیون محصول گندم آبی با استفاده از سامانه استنتاج فازی<sup>۳</sup> (FIS) ممدانی و به دست آوردن بهترین ترکیب توابع عضویت در مجموعه های فازی ورودی بود.

## مواد و روش ها

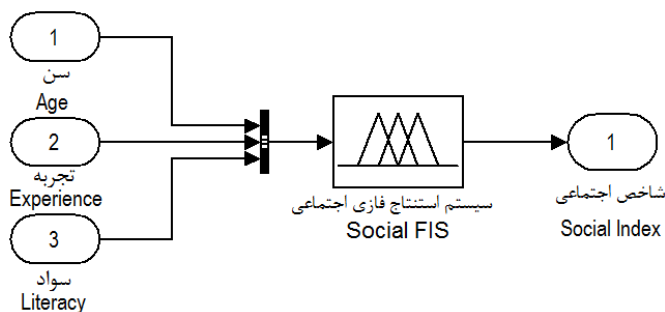
منطقه مورد مطالعه این تحقیق، بخشی از شهرستان آبیگ استان قزوین می باشد. وسعت منطقه مورد بررسی ۸۱۷۱ هکتار بود. اطلاعات مورد نیاز تحقیق از طریق پرسشنامه به دست آمد. برای به دست آوردن شاخص اجتماعی در مدل فازی اجتماعی داده های سن، تجربه و سطح تحصیلات کشاورز در نظر گرفته شدند. مدل فازی فنی - مکانیزاسیون به دلیل تعداد زیاد متغیرهای ورودی (شش

1- Genetic Algorithm (GA)

2- Jiao and Liu

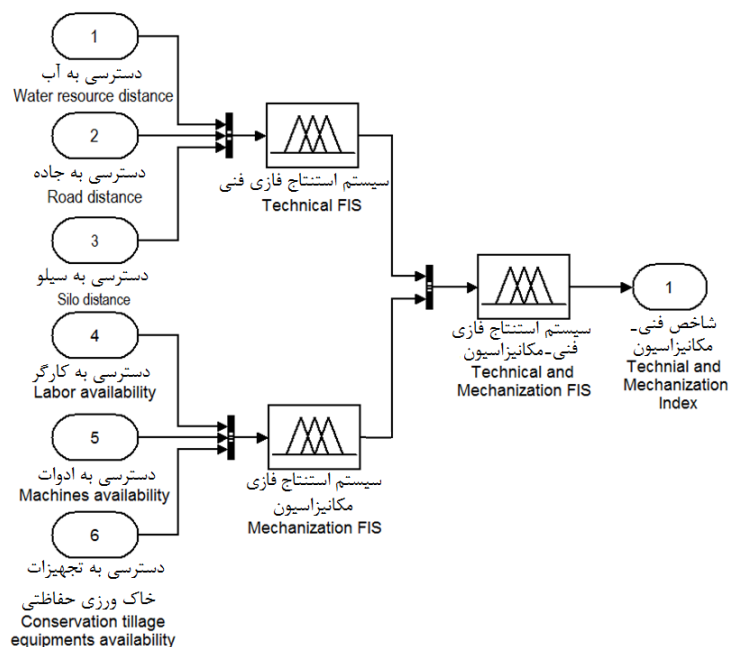
3- Fuzzy Inference System (FIS)

ندرلو و همکاران: تعیین شاخص های اجتماعی و فنی - مکانیزاسیون...



شکل (۱) مدل فازی اجتماعی برای بدست آوردن شاخص اجتماعی

Figure (1) Social fuzzy model to get the social index



شکل (۲) مدل فازی فنی - مکانیزاسیون برای بدست آوردن شاخص فنی - مکانیزاسیون

Figure (2) Technical-mechanization fuzzy model to get the technical-mechanization index

دانشگاهی طراحی شدند. توابع عضویت به کار رفته برای آنها از نوع تابع عضویت ذوزنقه ای بود. مجموعه ها و قوانین فازی توسط دانش کارشناس خبره انتخاب و نوشته شدند، به عنوان نمونه متغیر ورودی تجربه در شکل ۳ نشان داده شده است.

برخی از قوانین اجتماعی به شرح زیر آورده می شود:

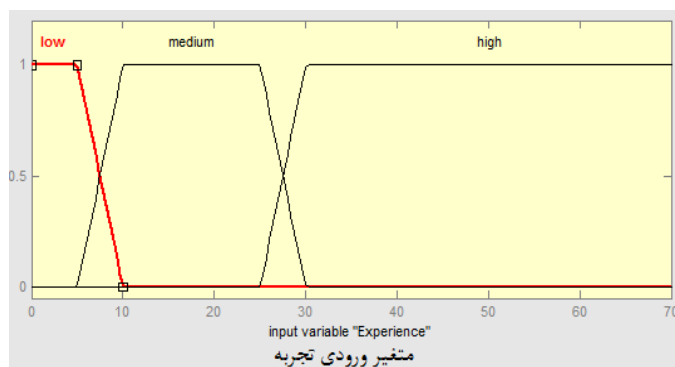
۱. اگر سن متوسط و تجربه زیاد و تحصیلات دانشگاهی باشد، آنگاه شاخص اجتماعی خیلی خوب است.

برای اشتراک فازی و از عملگر ماکزیمم برای اجتماع فازی استفاده می شود (۲۴). مزیت روش ممدانی در سادگی محاسباتش می باشد. در این تحقیق در مرحله غیر فازی سازی از روش مرکز ثقل استفاده شد.

در مدل فازی اجتماعی، ورودی های سن، تجربه و سواد بر حسب سال بودند. متغیرهای سن و تجربه هر کدام در سه مجموعه فازی به نام های کم، متوسط و زیاد و متغیر سواد در چهار مجموعه فازی به نام های بی سواد، تا سیکل، تا دیپلم و

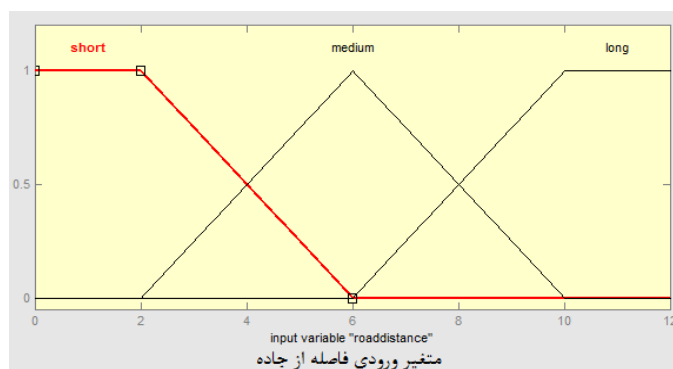
ورودی دسترسی به منبع آب و سیلو نیز به طور مشابه طراحی شدند. ورودی های سامانه استنتاج فازی مکانیزاسیون (دسترسی به نیروی کارگری، تراکتور- ماشین ها و تجهیزات خاک ورزی حفاظتی) در سه سطح خوب (۱)، متوسط (۲) و ضعیف (۳) به صورت مجموعه های فازی با همپوشانی ۵۰ درصد طراحی شدند و توابع عضویت آنها از نوع دوزنقه ای بود؛ اما متغیر خروجی در همه سامانه های استنتاج فازی مشکل از هفت مجموعه فازی مثلثی به نام های عالی، خیلی خوب، خوب، متوسط، بد، خیلی بد و وحشتناک بود که در شکل ۵ مجموعه های فازی متغیر خروجی شاخص مکانیزاسیون با ۵۰ درصد همپوشانی مشاهده می شود. متغیر خروجی در سامانه های استنتاج فازی دیگر نیز به طور مشابه طراحی شدند.

۲. اگر سن بالا و تجربه زیاد و تحصیلات دیپلم باشد، آنگاه شاخص اجتماعی خوب است.  
 ۳. اگر سن زیاد و تجربه متوسط و تحصیلات سیکل باشد، آنگاه شاخص اجتماعی متوسط است.  
 ۴. اگر سن متوسط و تجربه کم و تحصیلات سیکل باشد، آنگاه شاخص اجتماعی بد است.  
 ۵. اگر سن کم و تجربه کم و تحصیلات بی سواد باشد، آنگاه شاخص اجتماعی بسیار بد است.  
 متغیر های ورودی سامانه استنتاج فازی فنی (دسترسی به منبع تأمین آب، جاده و سیلو) بر حسب کیلومتر بودند. در شکل ۴ مجموعه های فازی متغیر ورودی دسترسی به جاده مشاهده می شود که توابع عضویت آن برای مجموعه های فازی کناری از نوع دوزنقه ای و برای مجموعه های فازی میانی از نوع مثلثی می باشند. مجموعه ها و قوانین فازی توسط کارشناس خبره دارای تخصص در زمینه کشاورزی طراحی و نوشته شدند. متغیر های



شکل (۳) متغیر ورودی تجربه در سامانه استنتاج فازی اجتماعی

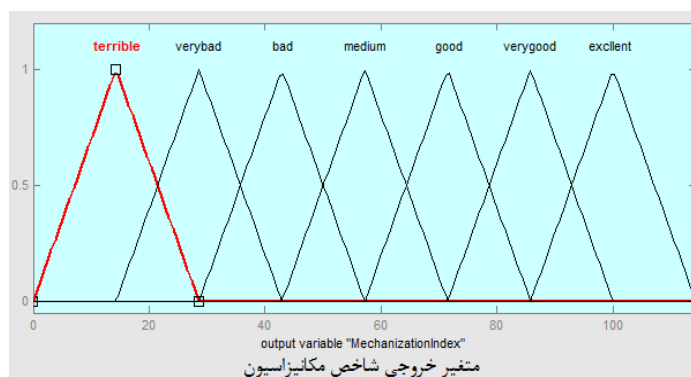
Figure (3) The input of experience in social FIS



شکل (۴) متغیر ورودی دسترسی به جاده در سامانه استنتاج فازی فنی

Figure (4) The input of road availability in technical FIS

ندرلو و همکاران: تعیین شاخص های اجتماعی و فنی - مکانیزاسیون...



شکل (۵) متغیر خروجی شاخص مکانیزاسیون در سامانه استنتاج فازی مکانیزاسیون  
Figure (5) The output variable of mechanization index in mechanization FIS

- پس از نوشتن قوانین فازی سامانه های استنتاج فازی بر اساس دانش کارشناس خبره که در زمینه کشاورزی تخصص دارد و وارد کردن داده های ورودی، شاخص-های موردنظر به دست می آیند. اما برای تطبیق دادن شاخص های به دست آمده از عملکرد نرمال شده محصول گندم (بین ۰ تا ۱۰۰) استفاده شد؛ زیرا بسیار منطقی به نظر می رسد که در جایی که شاخص بالا به دست آمده است، عملکرد گندم بالا باشد، پاره ای از قوانین مدل های فنی، مکانیزاسیون و فنی-مکانیزاسیون در ادامه آورده می شود:
۱. اگر فاصله از منبع آب کوتاه و فاصله از جاده کوتاه و فاصله از سیلو کوتاه باشد، آنگاه شاخص فنی عالی است.
  ۲. اگر فاصله از منبع آب متوسط و فاصله از جاده کوتاه و فاصله از سیلو طولانی باشد آنگاه شاخص فنی خوب است.
  ۳. اگر فاصله از منبع آب دراز و فاصله از جاده کوتاه و فاصله از سیلو کوتاه باشد، آنگاه شاخص فنی متوسط است.
  ۴. اگر فاصله از منبع آب دراز و فاصله از جاده متوسط و فاصله از سیلو کوتاه باشد، آنگاه شاخص فنی بسیار بد است.
  ۵. اگر دسترسی به کارگر خوب و دسترسی به ماشین خوب و دسترسی به تجهیزات خاک ورزی حفاظتی خوب باشد، آنگاه شاخص مکانیزاسیون عالی است.
  ۶. اگر دسترسی به کارگر متوسط و دسترسی به ماشین خوب و دسترسی به تجهیزات خاک ورزی حفاظتی متوسط باشد، آنگاه شاخص مکانیزاسیون خوب است.
  ۷. اگر دسترسی به کارگر متوسط و دسترسی به ماشین خوب و دسترسی به تجهیزات خاک ورزی حفاظتی متوسط باشد، آنگاه شاخص مکانیزاسیون متوسط است.
  ۸. اگر شاخص فنی عالی و شاخص مکانیزاسیون عالی باشد، آنگاه شاخص فنی-مکانیزاسیون عالی است.
  ۹. اگر شاخص فنی خیلی خوب و شاخص مکانیزاسیون متوسط باشد، آنگاه شاخص فنی-مکانیزاسیون متوسط است.
  ۱۰. اگر شاخص فنی عالی و شاخص مکانیزاسیون خیلی بد باشد آنگاه شاخص فنی-مکانیزاسیون بد است.
- در مرحله بهینه سازی سامانه های فازی سعی بر آن شد که با استفاده از الگوریتم ژنتیک قوانین فازی بهینه سازی شوند تا بهترین قانون به دست آید، به طوری که اختلاف بین شاخص به دست آمده و عملکرد حداقل گردد. در الگوریتم ژنتیک در هر نسل (تکرار) تابع هدف (معیار برتری) مناسب بودن هر یک از جواب ها را تعیین می کند (۱)؛ اما بهینه سازی سامانه های فازی

های فازی متغیرهای ورودی آزمایش کند تا بهترین ترکیب توابع عضویت به دست آید؛ به طوری که رابطه بین شاخص به دست آمده و عملکرد بیشترین مقدار ضریب همبستگی را داشته باشد.

## نتایج و بحث

### نتایج مدل فازی اجتماعی

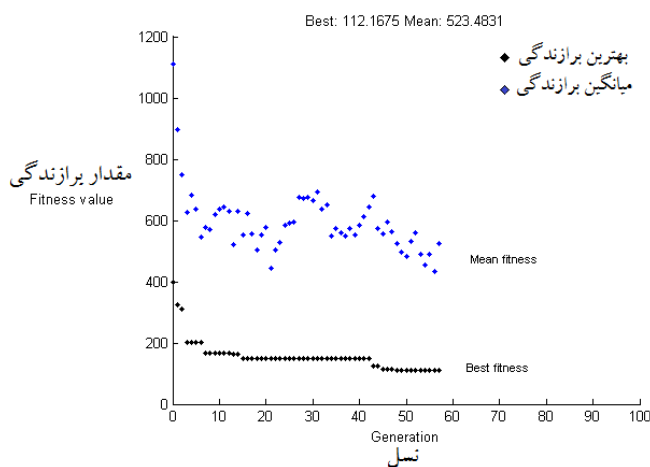
نتایج برخی پارامترهای آماری مدل فازی شاخص اجتماعی در برابر عملکرد مشاهده شده مانند میانگین مربعات خطا، میانگین خطای مطلق، ضریب همبستگی و معنی داری آن قبل و بعد از بهینه سازی قوانین فازی در جدول ۱ آمده است.

روش های مختلف دارد. در این تحقیق از روش پیتربرگ استفاده شد که در آن هر قانون به عنوان یک ژن در نظر گرفته می شود (۱۴). در واقع در این روش هر کروموزوم الگوریتم ژنتیک نشان دهنده کل پایگاه قوانین بوده و به تعداد قوانین موجود دارای ژن می باشد. با تنظیم خصوصیات مختلف الگوریتم ژنتیک سعی شد تا بهترین نتیجه به دست آید. در مرحله بعد برای به دست آوردن بهترین ترکیب توابع عضویت ممکن برای مجموعه های فازی متغیرهای ورودی، از سامانه استنتاج فازی دارای بهترین قانون، استفاده شد. برای بررسی و مقایسه نتایج به دست آمده با توابع عضویت مختلف، برنامه ای در نرم افزار متلب نوشته شد که در آن ۲۴ نوع ترکیب توابع عضویت مختلف را برای مجموعه

جدول (۱) برخی پارامترهای آماری مدل فازی شاخص اجتماعی در برابر عملکرد مشاهده شده

Table (1) Statistical parameters for fuzzy model of social index versus observed yield

معنی داری (P)	ضریب همبستگی (r)	میانگین خطای مطلق (MAE)	میانگین مربعات خطا (MSE)	وضعیت نسبت به بهینه سازی Status into optimization
$1.5 \times 10^{-6}$	0.338	12.29	339.66	قبل از بهینه سازی قوانین (Before rules optimization)
$2.75 \times 10^{-30}$	0.704	7.28	112.17	پس از بهینه سازی قوانین (After rules optimization)



شکل (۶) نمودار مقدار برازندگی میانگین مربعات خطا برای مدل فازی اجتماعی

Figure (6) Fitness value of MSE for fuzzy social model

خبره (ذوزنقه ای) می باشد، می توان به تفاوت آنها پی برد که چگونه توابع عضویت شکل ۷ ساختار نرم تری دارند و تغییرات آنها به آهستگی صورت گرفته است.

در نهایت می توان گفت که در مدل فازی اجتماعی با ورودی های سن، تجربه و تحصیلات در بهترین شرایط یعنی بهینه سازی قوانین فازی و انتخاب بهترین توابع عضویت برای مجموعه های فازی ورودی آن، شاخصی به دست می آید که رابطه آن با عملکرد محصول دارای ضریب تبیین برابر با  $0.51 (R^2=0.717)$  می باشد. این نتیجه، منطقی به نظر می رسد زیرا دیگر عوامل مهم تری نیز وجود دارند که بر روی عملکرد محصول تأثیر می گذارند و برای به دست آوردن شاخص دقیق تر باید آنها را نیز در نظر گرفت. از آن جمله می توان به خصوصیات خاک، شرایط آب و هوایی، مقدار مصرف نهاده ها، مدیریت تاریخ کاشت و برداشت، کنترل صحیح آفات و بیماریها، ویژگی های فنی و مکانیزاسیون و ... اشاره نمود؛ اما در مدل فازی اجتماعی سعی شد که تنها شاخص اجتماعی با بارزترین ورودی های آن به دست آید و مشخص شود که از روی این شاخص و ورودی ها تا چه حد می توان عملکرد را برآورد کرد. قهدریجانی (۶) نیز اثر سواد و سابقه را در کشت گندم در سطح یک درصد معنی دار دانست.

### نتایج مدل فازی فنی - مکانیزاسیون

در مدل فازی تعیین شاخص فنی - مکانیزاسیون، برخی پارامترهای آماری رابطه شاخص به دست آمده و عملکرد در سامانه های استنتاج فازی قبل و پس از بهینه سازی قوانین در جدول ۲ نشان داده شده است. مقایسه این نتایج، تأثیر مهم بهینه سازی قوانین فازی را در دقت مدل و در واقع ضرورت بهینه سازی قوانین فازی، نشان می دهد. در شکل ۸ نمودار مقدار برازندگی الگوریتم ژنتیک در برابر نسل در مدل فنی - مکانیزاسیون مشاهده می گردد که چگونه با افزایش تعداد نسل مقدار برازندگی (میانگین مربعات خطا) در الگوریتم ژنتیک کاهش پیدا کرده است.

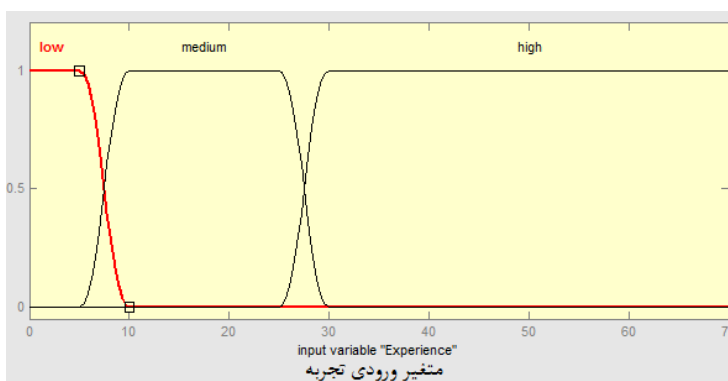
نتایج جدول ۱ نشان می دهد که بهینه سازی قوانین فازی نقش قابل توجهی در افزایش دقت مدل داشته است و اهمیت و ضرورت بهینه سازی قوانین فازی مشخص می شود.

شکل ۶ نمودار مقدار تابع برازندگی الگوریتم ژنتیک در برابر نسل در مدل فازی اجتماعی را نشان می دهد. مقدار تابع برازندگی میانگین مربعات خطا می باشد و الگوریتم ژنتیک سعی دارد آن را به حداقل برساند.

پس از اعمال انواع توابع عضویت ترکیبی برای متغیرهای ورودی در مدل فازی اجتماعی، ضریب همبستگی از  $0.376$  تا  $0.717$  تغییر کرد. کمترین ضریب همبستگی ( $0.376$ ) هنگامی بود که مجموعه های فازی میانی دارای تابع عضویت زنگوله ای تعمیم یافته و مجموعه های فازی کناری دارای تابع عضویت ذوزنقه ای باشد؛ اما بیشترین ضریب همبستگی ( $0.717$ ) زمانی بود که مجموعه های فازی میانی دارای تابع عضویت پی شکل و مجموعه های فازی کناری دارای تابع عضویت S شکل و Z شکل و یا ذوزنقه ای باشد. این نتایج نشان داد که نوع توابع عضویت فازی در نتیجه مدل تأثیر زیادی دارد و تأیید می کند که با انتخاب یا عدم انتخاب صحیح توابع عضویت دقت مدل تا چه حد می تواند به ترتیب افزایش یا کاهش یابد.

بیشترین ضریب همبستگی به دست آمده با بهترین توابع عضویت ( $0.717$ ) تفاوت چندانی با ضریب همبستگی به دست آمده با توابع عضویت انتخاب شده اولیه پس از بهینه سازی قوانین فازی ( $0.704$ ) نداشت. این نتیجه نشان می دهد که توابع عضویت انتخاب شده اولیه در مدل فازی اجتماعی (تابع عضویت ذوزنقه ای) تقریباً مناسب انتخاب شده بود. شکل ۷ متغیر ورودی تجربه در سامانه استنتاج فازی اجتماعی با بهترین توابع عضویت نشان می دهد که دارای توابع عضویت S شکل و Z شکل برای مجموعه های فازی کناری و توابع عضویت از نوع پی شکل برای مجموعه های فازی میانی است. با مقایسه شکل ۷ با شکل ۳ که توابع عضویت آن طراحی اولیه شخص





شکل (۷) متغیر ورودی تجربه در سامانه استنتاج فازی اجتماعی با بهترین توابع عضویت (S، II و Z-شکل) (شکل Z و شکل S، پی شکل، شکل II)

Figure (7) The input of experience in Social FIS with best membership function (S, II and Z-shaped)

جدول (۲) برخی پارامترهای آماری مدل فازی شاخص فنی- مکانیزاسیون در برابر عملکرد مشاهده شده

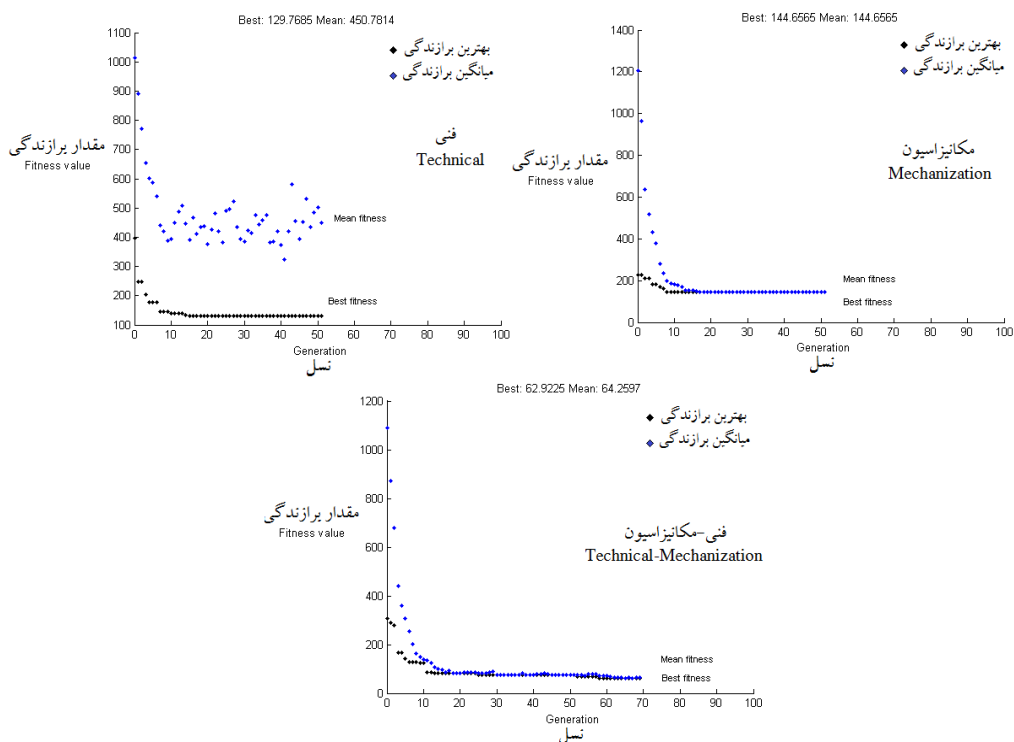
Table (2) Statistical parameters for fuzzy model of technical-mechanization index versus observed yield

معنی داری (p)	ضریب همبستگی (r)	میانگین خطای مطلق (MAE)	میانگین مربعات خطا (MSE)	وضعیت نسبت به بهینه سازی (Status into optimization)	سامانه استنتاج فازی (FIS)
$5.13 \times 10^{-4}$	0.247	22.53	747.55	قبل از بهینه سازی قوانین (Before rules ptimization)	فنی (Technical)
$7.84 \times 10^{-24}$	0.642	9.29	129.75	پس از بهینه سازی قوانین (After rules optimization)	
0.0046	0.203	12.83	209.32	قبل از بهینه سازی قوانین (Before rules ptimization)	مکانیزاسیون (Mechanization)
$2.61 \times 10^{-23}$	0.636	9.62	144.66	پس از بهینه سازی قوانین (After rules optimization)	
$1.07 \times 10^{-31}$	0.716	9.48	129.77	قبل از بهینه سازی قوانین (Before rules ptimization)	فنی- مکانیزاسیون (Technical-Mechanization)
$1.10 \times 10^{-53}$	0.845	6.32	62.92	پس از بهینه سازی قوانین (After rules optimization)	

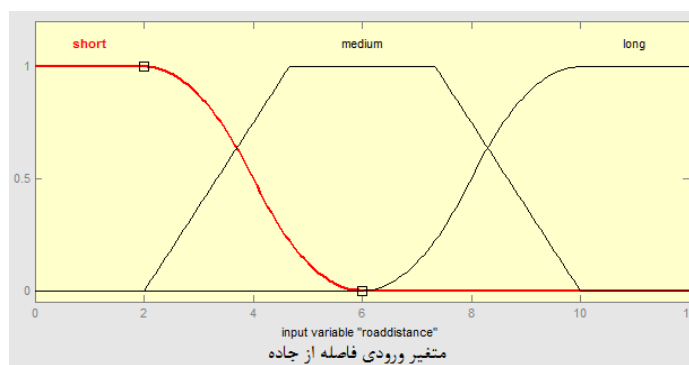
این نتایج نشان می‌دهد که انتخاب نوع توابع عضویت برای مجموعه‌های فازی تأثیر قابل توجهی بر نتیجه مدل خواهند داشت و عدم انتخاب درست توابع عضویت، تا چه حد می‌تواند دقت مدل را کاهش دهد. شکل ۹ متغیر ورودی دسترسی به جاده در سامانه استنتاج فازی فنی با بهترین توابع عضویت را نشان می‌دهد که دارای توابع عضویت S شکل و Z شکل برای مجموعه های فازی کناری و توابع عضویت از نوع دوزنقه‌ای برای

پس از اعمال انواع توابع عضویت ترکیبی برای متغیرهای ورودی در مدل فازی فنی، ضرایب همبستگی از ۰/۲۲ تا ۰/۶۵ تغییر کرد. کمترین I (۰/۲۲) هنگامی بود که توابع عضویت مجموعه های فازی کناری از نوع S شکل و Z شکل و توابع عضویت مجموعه های فازی میانی از نوع زنگوله ای شکل تعمیم یافته باشد. بیشترین ضریب همبستگی (۰/۶۵) نیز وقتی بود که توابع عضویت S شکل و Z شکل برای مجموعه‌های فازی کناری و توابع عضویت از نوع دوزنقه‌ای برای مجموعه های فازی میانی باشد.

ندرلو و همکاران: تعیین شاخص های اجتماعی و فنی - مکانیزاسیون...



شکل (۸) نمودار مقدار برازندگی میانگین مربعات خطا برای مدل فازی فنی - مکانیزاسیون  
Figure (8) Fitness value of MSE for fuzzy technical-mechanization model



شکل (۹) متغیر ورودی دسترسی به جاده در سامانه استنتاج فازی فنی با بهترین توابع عضویت (ذوزنقه ای، s و z شکل)  
Figure (9) The input variable of road availability in technical FIS with best membership function (s, trapezoid and z shaped)

بسیار نزدیک به بیشترین ضریب همبستگی به دست آمده با بهترین توابع عضویت ترکیبی (۰/۶۵۸) می باشد و نشان می دهد که توابع عضویت اولیه در سامانه استنتاج فازی فنی نیز تقریباً به درستی انتخاب شده بود.

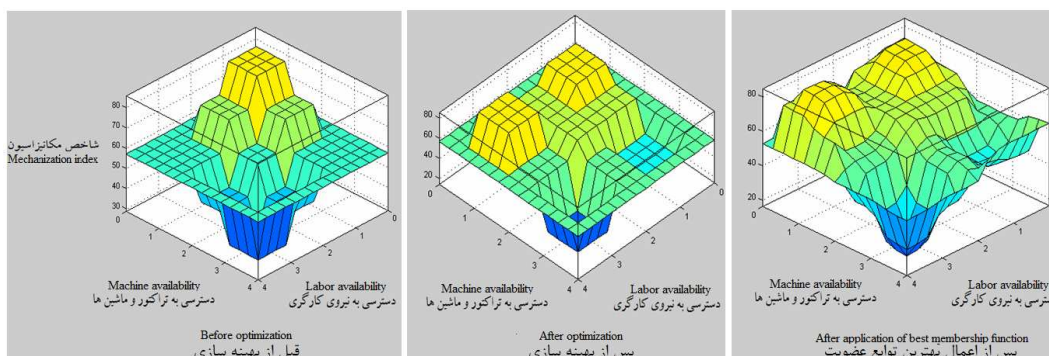
مجموعه های فازی میانی است. این شکل با شکل ۴ که توابع عضویت آن طراحی اولیه شخص خبره می باشد، قابل مقایسه است. ضریب همبستگی به دست آمده برای سامانه استنتاج فازی فنی با توابع عضویت انتخاب شده اولیه ورودی های آن، پس از بهینه سازی قوانین فازی (۰/۶۴۲)

مجموعه های فازی ورودی به صورت سه بعدی نشان می دهد. در این شکل هنگامی که دسترسی به نیروی کارگری و تراکتور و ماشین ها دارای مقادیر کم (معادل خوب) می باشند، شاخص مکانیزاسیون افزایش می یابد؛ اما با افزایش مقادیر آنها از ۱ تا ۳ (معادل خوب تا ضعیف)، شاخص مکانیزاسیون کاهش پیدا می کند. (شکل ۱۰ چپ). البته پس از بهینه سازی قوانین فازی مشاهده می شود که وقتی دسترسی به نیروی کارگری خوب، اما دسترسی به تراکتورها و ماشین ضعیف باشد، شاخص مکانیزاسیون افت پیدا می کند؛ ولی در حالت عکس، یعنی دسترسی به نیروی کارگری ضعیف، اما دسترسی به تراکتورها و ماشین خوب باشد، نتیجه متفاوت است و شاخص مکانیزاسیون کاهش خاصی نمی کند؛ زیرا با وجود ماشین آلات خودکار کمبود نیروی کارگری جبران می شود (شکل ۱۰ وسط). این تغییرات با انتخاب بهترین نوع توابع عضویت روند نرم تری و در نتیجه نتایج دقیق تری دارند (شکل ۱۰ راست). شکل ۱۱ نیز تغییرات شاخص فنی - مکانیزاسیون (محور عمودی در هر سه بخش) در برابر دو ورودی شاخص فنی و شاخص مکانیزاسیون را قبل و بعد از بهینه سازی قوانین و همچنین پس از اعمال بهترین توابع عضویت مجموعه های فازی ورودی نشان می دهد. اگر شاخص های فنی و مکانیزاسیون هر دو کم باشند، در کل شاخص فنی - مکانیزاسیون پایین خواهد بود؛ ولی با افزایش آنها از صفر تا ۱۰۰ شاخص فنی - مکانیزاسیون افزایش می یابد و بدیهی است وقتی که هر دو بیشترین مقدار را داشته باشند، شاخص فنی - مکانیزاسیون نیز بیشترین مقدار خود را داراست (شکل ۱۱ چپ)؛ اما پس از بهینه سازی قوانین فازی این تغییرات روند مشخصی ندارند؛ زیرا شاخص های فنی و مکانیزاسیون در واقع مکمل یکدیگر هستند، و اگر یکی زیاد و دیگری کم باشد در شاخص کل تأثیر می گذارد و آنرا کاهش می دهد. در این وضعیت هنگامی که هر دو شاخص فنی و شاخص مکانیزاسیون در حد متوسط باشند، شاخص کل فنی - مکانیزاسیون افزایش پیدا می کند؛ همچنین هنگامی که هر

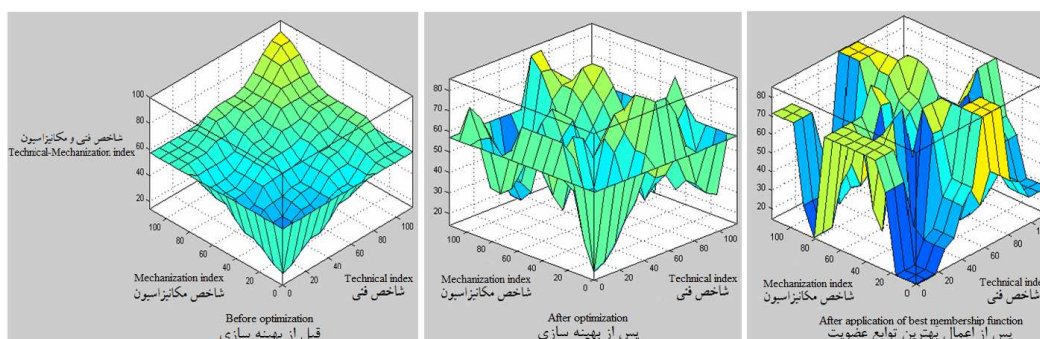
بر اساس بررسی ضرایب همبستگی سامانه استنتاج فازی مکانیزاسیون با اعمال انواع توابع عضویت ترکیبی برای متغیرهای ورودی، کمترین  $I$  (۰/۰۲۷) متعلق به توابع عضویت نوع دوزنقه ای برای مجموعه های فازی کناری و توابع عضویت نوع حاصل ضرب سیگموئیدی برای مجموعه های فازی میانی بود. بیشترین ضریب همبستگی (۰/۶۳۹) نیز متعلق به توابع نوع دوزنقه ای و زنگوله ای تعمیم یافته به ترتیب برای مجموعه های فازی کناری میانی بود. در سامانه استنتاج فازی مکانیزاسیون، ضریب همبستگی به دست آمده با توابع عضویت انتخاب شده آغازین ورودی های آن، پس از بهینه سازی قوانین فازی (۰/۶۳۶) است که با بیشترین ضریب همبستگی به دست آمده و با انتخاب بهترین توابع عضویت (۰/۶۳۹) تفاوت چندانی نداشت. این نتیجه مبنی انتخاب تقریباً مناسب توابع عضویت شده آغازین می باشد.

اما نتایج پارامترهای آماری با انواع توابع عضویت ترکیبی برای متغیرهای ورودی سامانه استنتاج فازی - مکانیزاسیون که مرکب از دو سامانه استنتاج فازی است، کمترین ضریب همبستگی (۰/۳۰۷) را به توابع عضویت نوع دوزنقه ای و زنگوله ای تعمیم یافته به ترتیب برای مجموعه های فازی کناری و میانی نسبت داد. بیشترین ضریب همبستگی (۰/۸۵۶) نیز هنگامی بود که توابع مجموعه های فازی کناری از نوع S و Z شکل و میانی از نوع حاصل ضرب سیگموئیدی بوده است. این نتایج نیز اهمیت زیاد انتخاب نوع توابع عضویت مجموعه های فازی را تأیید می کند؛ به طوری که در مدل فازی - مکانیزاسیون، ضریب همبستگی به دست آمده پس از بهینه سازی قوانین فازی با توابع عضویت انتخاب شده آغازین ۰/۸۴۵ به دست آمد؛ اما می توان با انتخاب توابع عضویت مناسب (حاصل ضرب سیگموئیدی، S شکل و Z شکل) بیشترین ضریب همبستگی (۰/۸۵۶) را به دست آورد.

شکل ۱۰ تغییرات شاخص مکانیزاسیون (محور عمودی در هر سه بخش) در برابر دو ورودی دسترسی به نیروی کارگری و دسترسی به تراکتور و ماشین آلات را قبل و بعد از بهینه سازی قوانین و همچنین پس از اعمال بهترین توابع عضویت



شکل (۱۰) تغییرات شاخص مکانیزاسیون در برابر دو ورودی دسترسی به نیروی کارگری و دسترسی به تراکتور و ماشین آلات  
 Figur (10) Mechanization index changes versus two inputs of labor availability and machine availability



شکل (۱۱) تغییرات شاخص فنی - مکانیزاسیون در برابر دو ورودی شاخص فنی و شاخص مکانیزاسیون  
 Figure (11) Technical-Mechanization index changes versus two inputs of technical index and mechanization index

نتیجه‌ای، منطقی و مناسب به نظر می‌رسد؛ زیرا همان‌طور که در نتیجه مدل فازی اجتماعی گفته شد، عوامل بسیار زیادی مانند خصوصیات خاک، مقدار مواد غذایی مورد نیاز گیاه، شرایط آب و هوایی، مقدار مصرف نهاده‌ها، مدیریت تاریخ کاشت و برداشت، کنترل صحیح آفات و بیماری‌ها و ... وجود دارند که بر روی عملکرد محصول تأثیر می‌گذارند؛ اما در مدل فازی فنی - مکانیزاسیون نیز سعی بر این بود که تنها شاخصی با ورودی‌های در نظر گرفته شده به دست آید و میزان برآورد عملکرد با این داده‌ها مشخص شود. سیتادوی و پوناراسی<sup>۱</sup> (۱۸) اثر سواد و سطح تحصیلات را به ترتیب در سطح ۱ و ۱۰

دو شاخص فنی و شاخص مکانیزاسیون مقادیر بالای نزدیک ۱۰۰ دارند، شاخص کل فنی - مکانیزاسیون باید افزایش یابد که البته در این شکل به علت خطای موجود مدل در چنین حالتی مقدار شاخص کل اندکی کاهش پیدا می‌کند ولی باز هم مقدار آن قابل توجه می‌باشد (شکل ۱۱ وسط). قسمت سمت راست شکل ۱۱ نیز این تغییرات را با انتخاب بهترین نوع توابع عضویت به صورت روند نرم تر و نتایج دقیق‌تری نشان می‌دهد. در نهایت می‌توان گفت که از مدل فازی فنی - مکانیزاسیون پس از بهینه‌سازی قوانین فازی و انتخاب بهترین توابع عضویت برای مجموعه‌های فازی ورودی‌های آن، شاخصی به دست می‌آید که رابطه آن با عملکرد محصول دارای ضریب تبیین ۰/۷۳ می‌باشد. چنین

1- Sita Devi and Ponnarasi

محصول گندم بررسی شد. ضریب تبیین این رابطه پس از بهینه‌سازی قوانین فازی در مدل های فازی اجتماعی و فنی- مکانیزاسیون افزایش یافت. پس از بهینه‌سازی توابع عضویت نیز مقدار ضرایب تعیین برای مدل‌ها باز هم افزایش یافت و نشان داد که بهینه‌سازی قوانین فازی و نوع توابع عضویت انتخاب شده برای مجموعه‌های فازی تأثیر قابل توجهی بر نتیجه مدل خواهند داشت و انتخاب صحیح یا غیر صحیح توابع عضویت دقت مدل را تا چه حد می‌تواند به ترتیب افزایش یا کاهش دهد. در کل می‌توان گفت نتایج مقادیر ضرایب تعیین، مناسب به نظر می‌رسد؛ زیرا عوامل دیگر مهمتری نیز وجود دارند که بر روی عملکرد محصول تأثیر می‌گذارند و در این تحقیق مورد بررسی نبوده‌اند؛ اما برای بدست آوردن شاخص دقیق‌تر می‌توان آنها را نیز در نظر گرفت.

### سپاس‌گزاری

از معاونت پژوهشی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران جهت حمایت‌های مالی این تحقیق قدردانی می‌شود.

درصد معنی‌دار دانسته و در مدل رگرسیونی خود ضریب تعیین ۰/۶۱ به دست آوردند. شجری و همکاران (۱۷) در تحقیق خود تأثیر عوامل اجتماعی و فنی مانند میزان تحصیلات و تجربه کشاورز و میزان به کارگیری ماشین آلات و تعداد و روش های انجام عملیات در مزرعه را بر حداکثر تولید گندم بررسی نموده و کارایی فنی ۵۹ و ۸۸ را برای فسا و مرودشت به دست آوردند.

در این تحقیق دقت مدل فازی اجتماعی کمتر از مدل فازی فنی- مکانیزاسیون بود و بنابراین تأثیر عوامل اجتماعی بر عملکرد محصول کمتر از عوامل فنی- مکانیزاسیون می‌باشد. با استفاده از عوامل فنی- مکانیزاسیون (دسترسی به منبع آب، جاده، سیلو، نیروی کارگری، تراکتور- ماشین‌ها و همچنین تجهیزات خاک ورزی حفاظتی) عملکرد گندم را با دقت بیشتری نسبت به عوامل اجتماعی (سن، تجربه و سطح تحصیلات کشاورزان) می‌توان پیش بینی نمود.

### نتیجه‌گیری

برای ارزیابی شاخص اجتماعی و شاخص فنی- مکانیزاسیون حاصل از مدل های فازی اجتماعی و فنی- مکانیزاسیون، رابطه بین شاخص‌ها و عملکرد نرمال شده

### منابع:

1. Alireza, M. 2007. Introduction to genetic algorithms and its applications. Naghoos Andisheh publisher, Tehran. (in Persian)
2. Ceballos- Silva, A., and Lopez- Blanco, J. 2003. Delineation of suitable areas for crop using a MultiCriteria Evaluation approach and land use/cover mapping: a case study in Central Mexico. *Agricultural Systems*, 77(2): 117-136.
3. Cordon, O., Gomide, F., Herrera, F., Hoffmann, F., and Magdalena, L. 2004. Ten years of genetic fuzzy systems: Current framework and new trends. *Fuzzy Sets and Systems*, 41: 5-31.
4. Cordon, O., Herrera, F., Hoffmann, F., and Magdalena, L. 2002. Genetic Fuzzy Systems: Evolutionary tuning and learning of fuzzy knowledge base. *Advances in Fuzzy System-Applications and Theory*, 19: 89-93.

5. Dent, D., and Young, A. 1981. Soil survey and land evaluation. George Allen and Unwin Limited, London.
6. Ghahdarijani, M.R. 2007. Determining the energy consumption of wheat and potatoes at different levels of cultivation in the West of Isfahan, MS Thesis, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. (in Persian)
7. Goldberg, D. 1989. Genetic Algorithms in search, optimization, and machine learning. Addison-Wesley.
8. Jang, J.S.R., Sun, C.T., and Mizutani, E. 1997. Neuro-Fuzzy and soft computing: A computational approach to learning and machine intelligence, Prentice Hall.
9. Jiao, L., and Liu, Y. 2007. Model of land suitability evaluation based on computational intelligence, Geo- spatial Information Science, 10(2): 151-156.
10. Mamdani, E.H., Assilian, S. 1975. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. International Journal of Man-Machine Studies, 7: 1-13.
11. MATLAB. 2010. The Mathworks Inc, Fuzzy TOOLBOX, MATLAB software.
12. Miranda, J.I. 2001. Multicriteria analysis applied to the sustainable agroculture problem. International Journal of Sustainable Development Eorld Ecology, 8: 67-77.
13. Perveen, M.F., Nagasawa, R., Ahmed, A.C., Uddin, M.I., and Kimura, R. 2008. Integrating biophysical and socio-economic data using GIS for land evaluation of wheat cultivation: A case study in north-west Bangladesh. Journal of Food Agriculture and Environment, 6(2): 432-437.
14. Pham, D.T., Karaboga, D. 1991. Optimum design of fuzzy logic controllers using genetic algorithm. Journal of Systems Engineering, 1: 114-118.
15. Prakash, T.N. 2003. Land suitability analysis for agricultural crops: a fuzzy multicriteriadecision making approach. M.Sc. thesis. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation. India.
16. Sattler, C., Nagel, U.J., Werner A., and Zander, P. 2010. Integrated assessment of agricultural production practices to enhance sustainable development in agricultural landscapes. Ecological Indicators, 10: 49-61.
17. Shajari, S., Solhjo, A.A., Amin, H., Jamali, M.R., Khogar, Z., Taghizade, M. Dehghanian, S.E., Mansoori, B. and Zareh, E. 2003. Study of affecting factors on production and productivity of wheat farmers in Fars province. Research project of Agricultural Jihad Organization in Fars province, approved by the Working Group of Research and Technology. Fars Province. (in Persian).
18. Sita Devi, K., and Ponnarasi, T. 2009. An economic analysis of modern rice production technology and its adoption behaviour in Tamil Nadu. Agricultural Economics Research Review, 22: 341-347.

19. Snedecor G.W. and Cochran W.G. 1989. Statistical methods. 8th ed. US: Iowa State Press.
20. Soltanmohammadi, H., Osanloo, M., and Aghajani, A.B. 2009. Deriving preference order of post- mining land- uses through MLSA framework: application of an outranking technique. *Environmental Geology* , 58: 877-888.
21. Triantafilis, J., Ward, W.T., and McBratney, A.B. 2001. Land suitability assessment in the Namoi Valley of Australia, using a continuous model. *Amsterdam Journal of Soil Research*, 39: 273-290.
22. Van Noordwijk, M., Susswein, P.M., Palm, C., Izac, A., and Tomich, T.R. 2001. Problem Definition for Integrated Natural Resource Managements in Forest Margin of the Humid Tropics: Characterisation and Diagnosis of Land-Use Practices. Lecture Note 1. ICRAFT South Asia, Bogor.
23. Xu, B., Dale, D.S., and Huang, Y. 2002. Cotton Color Classification by Fuzzy Logic. *Textile Research Journal*, 72 (6): 504-509.
24. Zimmermann, H. 1996. Fuzzy Set Theory and It's Applications (Third Edition ed.). Kluwer Academic Publishers. Boston, USA.