



ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون فازی در پایش ماهواره‌ای خشکسالی

لاله پرویز^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۲۰

چکیده

پایش خشکسالی با توجه به تاثیرات منفی آن در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی، محیط زیست و منابع آب از اهمیت چشمگیری برخوردار است. در این مطالعه، از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون فازی جهت مدل‌سازی روابط نمایه‌های VTCI، NDVI، VHI، NVSWI، TCI و TVX حاصل از تصاویر سنجنده MODIS با مقادیر بارش مشاهداتی در ۷ ایستگاه کرمانشاه، تبریز، کرمان، مشهد، ارومیه، یزد و زنجان به منظور پایش خشکسالی استفاده شد. نمایه‌های ماهواره‌ای VHI، NVSWI، TCI و TVX با متغیر بارش دارای بیش‌ترین تعداد ضریب همبستگی معنی‌دار بودند. براساس معیارهای خطا، رهیافت رگرسیون فازی در مدل‌سازی شاخص‌های VHI، TCI و NVSWI و رهیافت شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی شاخص TVX دارای کم‌ترین مقدار خطا بود. در رگرسیون فازی متقارن با افزایش پارامتر سطح اعتماد بر گستردگی متغیرهای رگرسیون افزوده شد مانند افزایش پارامتر سطح اعتماد در شاخص VHI از ۰/۷ به ۰/۸، پارامتر گستردگی را ۵۰ درصد افزایش داد. پارامتر نقطه پیک در رگرسیون فازی نامتقارن نسبت به فاکتورهای چولگی دارای حساسیت می‌باشد به طوری که در شاخص TVX، میزان درصد افزایش نقطه پیک از کمینه مقدار ضریب چولگی به بیشینه آن، ۲۲/۱۷ درصد بود. کاهش پارامتر سطح اعتماد شاخص TVX که نمایان‌گر کاهش میزان فازی بودن است، مؤیدی بر کارایی شبکه عصبی مصنوعی در مورد شاخص TVX است.

واژه‌های کلیدی: شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون فازی، خشکسالی، بارش

مقدمه

ویژگی‌های خشکسالی ممکن است در رژیم‌های مختلف آب و هوایی دنیا متفاوت باشد. در مناطق گرمسیری و پر باران استوایی اگر مقدار بارش نسبت به نرمال سالانه دچار کاهش نسبی شود و خشکسالی هواشناسی در منطقه حاکم شود این امکان وجود دارد که این کاهش تأثیر محسوسی بر روی منابع آبی منطقه نگذارد و به عبارتی از نظر هیدرولوژیکی خشکسالی اتفاق نیفتد. اما در مناطق حساس فراخشک و خشک، کاهش بارندگی تأثیر بسیار زیادی بر روی منابع آب می‌گذارد و در بسیاری از موارد خشکسالی هواشناسی با خشکسالی هیدرولوژیکی توأم اتفاق می‌افتد (ثقفیان، ۱۳۸۷). خشکسالی با توجه به خسارت‌های وسیعی که در بعد زمانی و مکانی دارد، پایش و پیش‌بینی آن با روشی کارآمد ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا استفاده از تکنیک سنجش از دور به دلیل پایش در منطقه وسیع با داشتن داده‌های طیفی و حرارتی دارای کارایی بالایی است. محمدی‌نژاد (۱۳۹۱) به پیش‌بینی شدت خشکسالی با استفاده از داده‌های تصاویر

در یک تعریف کلی خشکسالی به صورت وقوع کمبودی شدید در منابع آب نسبت به شرایط نرمال متناظر با زمان و مکان تعریف می‌شود. خشکسالی با شروع تدریجی از مخرب‌ترین بلاهای طبیعی است که در تمام رژیم‌های اقلیمی اتفاق می‌افتد. تعاریف خشکسالی به خصوص در رابطه با میزان تأثیر آن بر محیط طبیعی و اجتماعی دائماً در حال تغییر است. به نظر منطقی است که خشکسالی را در سطح وسیعی با زمان، طول دوره و محل رویداد آن مرتبط دانست (شکیبا و همکاران، ۱۳۸۹). خشکسالی پدیده پیچیده‌ای است که شدت آن بخصوص مرتبط با منطقه اقلیمی و موقعیت بیلان آبی و انرژی است. به طور کلی خشکسالی شامل یک دوره پیوسته و پایدار است که در این دوره مقدار آب موجود در منابع آبی منطقه به حد قابل توجهی کاهش می‌یابد و دچار کمبود می‌شود.

^۱ استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز
* نویسنده مسئول: (daleh_parviz@yahoo.com)

ماهوره‌ای و شبکه‌های عصبی بازگشتی پرداخت. جهت این امر شاخص بارش استاندارد شده به عنوان شاخص خشکسالی و شاخص ^۱NDVI حاصل از ماهواره NOAA-AVHRR^۲ به عنوان شاخص سنجش از دور بودند. مدل‌سازی شامل NDVI به عنوان ورودی مدل و کلاس‌های شاخص بارش استاندارد شده به عنوان خروجی بود. به عبارت دیگر سعی در پیش‌بینی شرایط خشکسالی براساس داده‌های تصاویر ماهواره‌ای بود. در قسمت پیش‌بینی از روش‌های مختلف طبقه‌بندی شامل پرسپترون چند لایه، ماشین بردار پشتیبان و شبکه بازگشتی براساس ^۳RC استفاده شد. عملکرد شبکه بازگشتی براساس RC نسبت به سایر روش‌ها از کارایی بالایی برخوردار بود. شمسی‌پور و علوی پناه (۲۰۱۰) با استفاده از مدل فازی - سلسله مراتبی، کارایی داده‌های سنجش از دور را براساس شاخص خشکسالی در دشت کویر مورد مطالعه قرار دادند. جهت این کار ۷۸ تصویر NOAA-AVHRR جهت تعیین متغیرهای زیست‌محیطی مانند دمای سطح زمین، شاخص‌های رطوبتی، شاخص پوشش گیاهی از آوریل تا می ۲۰۰۴-۱۹۹۸ استفاده شد. شاخص‌های خشکسالی اقلیمی با استفاده از شاخص normal Z براساس متغیرهای هواشناسی مانند بارش، دما، رطوبت نسبی محاسبه شد. شاخص‌ها و متغیرهای حاصل از تصاویر ماهواره‌ای ابتدا از طریق توابع عضویت به صورت فازی درآمدند و در مرحله بعد براساس تأثیر شاخص‌ها در خشکسالی وزن‌دهی شدند. نتایج حاکی از روند مشابه بین شاخص Z و مدل فازی - سلسله مراتبی بود. اوزگر و میشر^۴ (۲۰۱۲) از مدل ترکیبی موجک و تئوری فازی برای پیش‌بینی خشکسالی در تگزاس استفاده کردند. نتایج حاکی از آن است که مدل ترکیبی، عملکرد مدل را به شدت نسبت به حالت فازی بهبود می‌بخشد. مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی و ترکیب شبکه عصبی - موجک حاکی از آن است که مدل ترکیبی موجک- فازی در پیش‌بینی خشکسالی دقیق‌تر می‌باشد. فاتحی مرج و میجرینک^۵ (۲۰۱۱) به پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های اقلیمی و شبکه عصبی

مصنوعی در حوضه اهرچای پرداختند. سری‌های زمانی شاخص NDVI حاکی از آن است که دو دوره خشکسالی (۱۹۹۶-۱۹۹۹ و ۱۹۸۵-۱۹۸۲) و دو دوره مرطوب (۱۹۹۰-۱۹۹۵ و ۱۹۸۹-۱۹۸۶) در حوضه وجود دارد. ورودی‌های مدل شبکه عصبی شامل شاخص اندازه‌گیری نوسانات جنوبی، شاخص نوسانات اطلس شمالی بودند. نتایج حاکی از این بود که در بهار امکان پیش‌بینی شاخص NDVI با استفاده از شاخص‌های اندازه‌گیری نوسانات جنوبی و شاخص نوسانات اطلس شمالی وجود دارد. کیزل^۶ و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیق خود به بررسی دو مساله پرداختند: الف- تعیین اثرات تنش آبی بر کاهو تحت رژیم‌های مختلف آبی ب- بررسی عملکرد شبکه عصبی مصنوعی در تخمین عملکرد کاهو با استفاده از برخی شاخص‌های گیاهی مانند شاخص NDVI، نسبت ساده، کلروفیل سبز و غیره کاهش میزان آبیاری منجر به کاهش ارتفاع گیاهی، قطر گیاهی، تعداد برگ در هر گیاه و عملکرد آن شد. میزان ضریب همبستگی حاکی از کارایی بالای مدل شبکه عصبی بود. به طور کلی نتایج حاکی از آن بود که داده‌های طیفی و شبکه عصبی مصنوعی دارای پتانسیل بالایی در پیش‌بینی عملکرد کاهو در برابر کمبود آب می‌باشد. جعفری و بخشنده‌مهر (۲۰۱۳) به ارزیابی مناطق حساس به بیابان‌زایی در مناطق مرکزی ایران با استفاده از اطلاعات GIS و منطق فازی پرداختند. شش شاخص بیابان‌زایی شامل اقلیم، خاک، پوشش گیاهی، فرسایش خاک برای تعیین انواع مختلف مناطق حساس به بیابان‌زایی استفاده شد. نتایج حاکی از آن بود که ۲۱/۷ درصد به عنوان منطقه بحرانی شناسایی شدند و شاخص‌های اقلیم رطوبتی فاکتورهای بسیار مهمی در بیابان‌زایی بودند. استیچنکو و چیزهو^۷ (۲۰۱۵) به پیش‌بینی طولانی مدت شاخص NDVI با استفاده از شبکه عصبی بازگشتی پرداختند (۱۴ سال، تصاویر ۱۶ روزه). دلیل انتخاب شاخص NDVI مربوط به اهمیت آن در پیش‌بینی پوشش گیاهی، مدیریت مسائل مختلف مانند پایش تغییر اقلیم، پایش تولیدات محصولات کشاورزی و غیره است. شبکه عصبی براساس معیارهایی مانند RMSE^۸ نتایج بهتری نسبت به سایر روش‌های پیش‌بینی

^۱ Normalized Difference Vegetation Index

^۲ National Oceanic and Atmospheric Administration - Advanced Very High Resolution Radiometer

^۳ Reservoir Computing

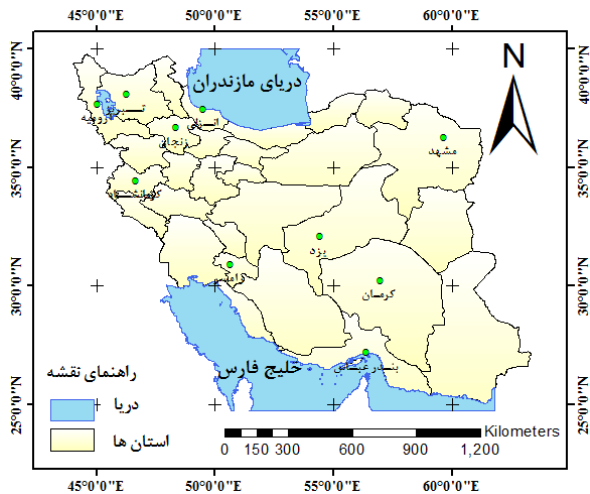
^۴ Özger and Mishra

^۵ Fatehi-Marj and Meijerink

^۶ Kizil

^۷ Stepchenko and Chizhov

^۸ Root Mean Squared Error



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های مطالعاتی

شاخص‌های خشکسالی

تأثیرات خشکی در مراحل اولیه در بخش کشاورزی مشهود می‌باشد. تولیدات کشاورزی به مقدار زیادی مرتبط با تبخیر- تعرق واقعی محصولات است که معمولاً به وسیله بیان آبی چرخه رشد محصولات نمایش داده می‌شود. بنابراین یک شاخص خشکی که تغییرات زمانی و مکانی وضعیت مصرف آب محصول را نشان دهد، در پایش خشکسالی مناسب است (ون^۴ و همکاران، ۲۰۰۴). علاوه بر انتخاب شاخص مؤثر خشکسالی در بررسی پدیده خشکسالی، تعیین وضعیت خشکسالی آبی براساس یکی از رهیافت‌های کارآمد از دیگر مسائل پیش رو است. معادلات ۱ تا ۶ مربوط به شاخص‌های خشکسالی مؤثر می‌باشند.

$$TVX = \frac{LST}{NDVI} \quad (1)$$

$$TCI = \frac{LST_{msx} - LST}{LST_{max} - LST_{min}} \quad (2)$$

$$VHI = \alpha VCI + (1 - \alpha)TCI \quad (3)$$

$$NVSWI = \frac{VSWI - VSWI_{min}}{VSWI_{max} - VSWI_{min}} \quad (4)$$

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (5)$$

$$VTCI = \frac{LST_{NDVI,max} - LST_{NDVI,i}}{LST_{NDVI,max} - LST_{NDVI,min}} \quad (6)$$

آماري سنتي مانند ARIMA^۱ دارد. هدف مطالعه حاضر بررسی وضعیت خشکسالی منطقه مورد مطالعه در دوره‌های آبی براساس شاخص‌های مؤثر خشکسالی حاصل از تصاویر سنجنده MODIS^۲ می‌باشد. در این راستا عملکرد دو رهیافت شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون فازی در مدل‌سازی شاخص‌های خشکسالی مؤثر براساس ارتباط با عامل خشکسالی یعنی بارش مورد بررسی قرار گرفت. در مبحث رگرسیون فازی، تأثیر دو تابع عضویت مثلثی متقارن و نامتقارن نیز در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

با توجه به آسیب‌هایی که خشکسالی در بخش‌های مختلف مانند تأثیر بر منابع آب کشور، تأثیر بر جنگل‌ها و مراتع کشور، تأثیر بر نواحی ساحلی کشور، تأثیر بر تنوع زیستی کشور، تأثیر بر فعالیت‌های کشاورزی کشور دارد، پایش آن در بخش‌های مختلف کشور لازم و ضروری می‌باشد. بنابراین ایستگاه‌های مطالعاتی شامل ایستگاه‌های بندرعباس (اقلیم دومارتن: خشک)، بندرانزلی (بسیار مرطوب)، کرمانشاه (نیمه‌خشک)، تبریز (نیمه‌خشک)، کرمان (خشک)، مشهد (نیمه‌خشک)، ارومیه (نیمه خشک)، رامسر (بسیارمرطوب)، یزد (خشک) و زنجان (نیمه‌خشک) با تنوع اقلیمی انتخاب شدند که موقعیت مکانی ایستگاه‌های مطالعاتی در شکل ۱ آورده شده است.

داده‌های مورد نیاز

تصاویر مورد استفاده مربوط به سنجنده MODIS از ماهواره ترا^۳ ماه‌های مختلف از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ بودند که به دلیل انطباق با آغاز و پایان دوره رویشی و بررسی تغییرات پوشش گیاهی در این دوره از تصاویر ماه‌های آوریل تا سپتامبر استفاده شد. به این صورت بعد از پیش‌بینی وضعیت خشکسالی نقطه‌ای می‌توان با استفاده از روش‌های درون‌یابی آگاهی نسبت به وضعیت آبی خشکسالی منطقه‌ای داشت تا براساس شدت خشکسالی بتوان راهکارهایی مناسب ارائه داد.

¹ Autoregressive Integrated Moving Average

² Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

³ TERRA

⁴ Wan

رگرسیون فازی با توابع عضویت مثلثی متقارن

ضرایب فازی با در نظر گرفتن توابع عضویت مثلثی متقارن به دو صورت $\tilde{A}_i = \{a_i^c, a_i^s\}$ و $\tilde{A}_i = \{a_i^u, a_i^l\}$ تعریف می‌شوند که ضرایب همراه با اندیس c, s, u و l به ترتیب مرکز، پهنای تابع عضویت، حدود بالا و پایین را نشان می‌دهند. شکل ۲ تابع عضویت مثلثی متقارن یک عدد فازی را نشان می‌دهد. مدل رگرسیون امکانی بهترین معادله رگرسیون را با کمینه کردن میزان فازی بودن به دست می‌آورند. این کار با کمینه کردن مجموع کل پهنای توابع عضویت ضرایب فازی معادله رگرسیون انجام می‌گیرد. بنابراین برای دستیابی به بهترین برازش باید یک مدل بهینه‌سازی تهیه شود. در نهایت مدل برنامه‌ریزی خطی براساس معادله ۹ می‌باشد.

$$\text{Objective function } a_0^s + \sum_{i=1}^n a_i^s \sum_{j=1}^m |x_{ij}|$$

Subject to

$$a_0^c + \sum_{i=1}^n a_i^c x_{ij} - (1-h) \left[a_0^s + \sum_{i=1}^n a_i^s x_{ij} \right] \leq y_j \quad (9)$$

$$a_0^c + \sum_{i=1}^n a_i^c x_{ij} + (1-h) \left[a_0^s + \sum_{i=1}^n a_i^s x_{ij} \right] \geq y_j$$

که در معادله‌های فوق y متغیر وابسته، x متغیر مستقل، h پارامتر سطح اعتماد، a_i^s پهنای تابع عضویت، a_i^c مرکز تابع عضویت می‌باشد.

رگرسیون فازی با توابع عضویت مثلثی نامتقارن

در این حالت به علت آن که پهنای تابع عضویت در دو طرف مرکز تابع عضویت متقارن نمی‌باشد، بنابراین متغیر جدیدی در معرفی ضریب فازی بوجود می‌آید. در این حالت ضرایب فازی به صورت $\tilde{A}_i = \{a_i^l, a_i^p, a_i^u\}$ و یا $\tilde{A}_i = \{s_i^l, a_i^p, s_i^r\}$ که $S_i^R = k_i S_i^L$ تعریف می‌شود. S_i^L و S_i^R به ترتیب پراکندگی به سمت راست و چپ را نشان می‌دهند و k فاکتور چولگی می‌باشد (شکل ۲). همچنین مدل برنامه‌ریزی خطی تعیین ضرایب معادله رگرسیون فازی نامتقارن براساس معادله ۱۰ می‌باشد.

$$\text{Objective function } (1+k_0)S_0^l + \sum_{i=1}^n \left[(1+k_i)S_i^l \sum_{j=1}^m |x_{ij}| \right]$$

Subject to

$$(1-h)S_0^l + (1-h) \sum_{i=1}^n S_i^l |x_i| + \sum_{i=1}^n a_i^p x_i + a_0^p \leq y_j \quad (10)$$

$$(1-h)k_0 S_0^l + (1-h) \sum_{i=1}^n k_i S_i^l |x_i| - \sum_{i=1}^n a_i^p x_i - a_0^p \leq -y_j$$

که در معادله‌های ۱ تا ۶، TVX^1 شاخص پوشش گیاهی - دمایی، LST دمای سطح زمین، $NDVI$ شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی، TCI^2 شاخص شرایط دمایی، LST_{min} و LST_{max} به ترتیب بیشینه و کمینه دمای سطح زمین در هر شبکه سلولی در ماه به خصوص در طول دوره آماری، VHI^3 شاخص شادابی پوشش گیاهی، VCI^4 شاخص شرایط پوشش گیاهی، α فاکتور سهم پوشش گیاهی، $NVSWI^5$ شاخص تامین آب پوشش گیاهی نرمال شده، $VSWI$ شاخص تامین آب پوشش گیاهی، ρ_{nir} مقادیر بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک، ρ_{red} مقادیر بازتاب در باند قرمز، $VTCI^6$ شاخص شرایط دمایی- پوشش گیاهی، $LST_{NDVI_{min}}$ و $LST_{NDVI_{max}}$ به ترتیب محدوده‌های بیشینه و کمینه دمای سطح زمین با مقادیر $NDVI_i$ یکسان در منطقه مورد مطالعه، LST_{NDVI} دمای سطح زمین هر پیکسل با شاخص پوشش گیاهی $NDVI_i$ می‌باشد (بیرجارگا^۷ و همکاران، ۲۰۰۶؛ دو^۸ و همکاران، ۲۰۱۳؛ نیکول و عباس^۹، ۲۰۱۵).

رگرسیون فازی^{۱۰}

منطق فازی ابزاری توانمند جهت حل مسائل مربوط به سیستم‌های پیچیده‌ای که درک آن‌ها مشکل و یا مسائلی که وابسته به استدلال، تصمیم‌گیری و استنباط بشری می‌باشد، به‌شمار می‌آید (کوره‌پزان، ۱۳۸۴). مدل‌سازی خطی فازی که به‌صورت معادله ۷ نشان داده می‌شود، مبین وابستگی متغیرهای ورودی و خروجی می‌باشد.

$$\tilde{Y} = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 x_1 + \dots + \tilde{A}_n x_n \quad (7)$$

$$\tilde{A} = (\tilde{A}_0, \tilde{A}_1, \dots, \tilde{A}_n) \quad (8)$$

که در معادله‌های فوق \tilde{A} و \tilde{Y} به ترتیب ضرایب و خروجی فازی و x مقادیر مشاهداتی می‌باشد. در این تحقیق، اثر تابع عضویت مثلثی در دو حالت متقارن و نامتقارن به منظور در نظر گرفتن ضرایب فازی رگرسیون بررسی شده است.

¹ Temperature Vegetation Index
² Temperature Condition Index
³ Vegetation Health Index
⁴ Vegetation Condition Index
⁵ Normalized Vegetation Supply Water Index
⁶ Vegetation Temperature Condition Index
⁷ Bayarjarga
⁸ Du
⁹ Nichol and Abbas
¹⁰ Fuzzy Regression

کوچکی در شرایط محیطی شبکه رخ داد، شبکه بتواند با آموزش مختصر برای شرایط جدید نیز کارآمد باشد. یک نورون با استفاده از تابع تحریک مقدار خروجی خاصی را به ازای ورودی‌های مختلف تولید می‌کند. تعداد نورون‌های لایه میانی انعطاف شبکه در میزان دقت پیش‌بینی را کنترل می‌کند. تعداد لایه‌ها و نورون‌های یک شبکه معماری آن را تعیین می‌کند. علاوه بر معماری شبکه الگوریتم آموزش آن نیز در میزان خطا و دقت آن در پیش‌بینی نقش دارد. از رایج‌ترین الگوریتم‌های آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توان الگوریتم انتشار خطا به عقب^۳ را نام برد. در انتها معادلات معیارهای خطا که در این تحقیق جهت ارزیابی دقت رهیافت‌ها مورد استفاده قرار گرفته است، آورده شده است. مقدار کمینه معیارها نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2} \quad (11)$$

$$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}}{\bar{O}} \quad (12)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - S_i|}{n} \quad (13)$$

$$MRE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - S_i}{O_i} \right|}{n} \quad (14)$$

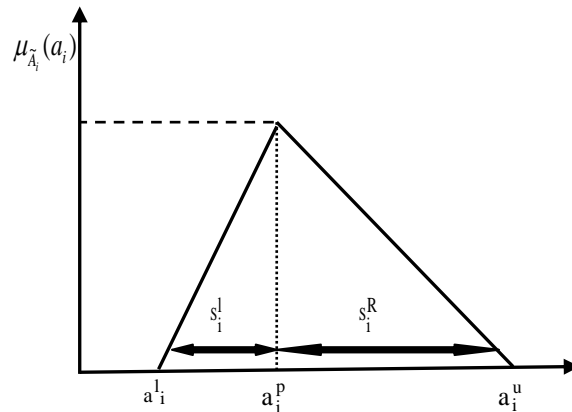
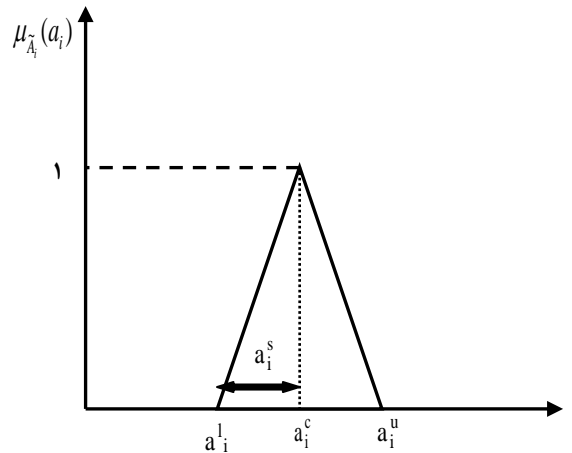
$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n S_i - O_i}{n} \quad (15)$$

که در معادله‌های فوق، O_i مقادیر مشاهداتی، S_i مقادیر شبیه‌سازی، n تعداد داده‌ها، $RMSE$ خطای ریشه متوسط مربعات، $RRMSE$ ^۴ خطای ریشه متوسط مربعات نسبی، MAE ^۵ میانگین مطلق خطا، MRE ^۶ میانگین خطای نسبی می‌باشد (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸۴).

نتایج و بحث

در این نوع خشکسالی تأکید بر میزان بارش یعنی خشکسالی هواشناسی است. در این راستا ضریب همبستگی بارش و برخی از شاخص‌های خشکسالی در طول دوره آماری برای هر کدام از ایستگاه‌های هواشناسی

که در معادله‌های فوق، y متغیر وابسته، x متغیر مستقل، h پارامتر سطح اعتماد، k فاکتور چولگی، a_i^p نقطه‌ای که در آن $\mu_{A_i} = 1$ یا نقطه پیک، s_i^l پراکندگی به سمت چپ، s_i^R پراکندگی به سمت راست می‌باشد.



شکل ۲- تابع عضویت متقارن (شکل بالا)، نامتقارن (شکل پایین)

در دو مدل برنامه‌ریزی، مقدار دقیق پارامتر سطح اعتماد تابع عضویت متغیرهای فازی و همچنین فاکتور چولگی معلوم نیست و باید با تحلیل حساسیت به دست آید (ین^۱ و همکاران، ۱۹۹۹؛ کوره‌پزان، ۱۳۸۴).

شبکه عصبی مصنوعی^۲

یک شبکه عصبی مصنوعی مجموعه‌ای از نورون‌ها است که با قرار گرفتن در لایه‌های مختلف، معماری خاصی را بر مبنای ارتباطات بین نورون‌ها در لایه‌های مختلف تشکیل می‌دهد. نورون یک واحد ریاضی یا یک دستگاه غیر خطی است، قابلیت یادگیری در شبکه‌های عصبی با استفاده از تنظیم پارامترهای شبکه انجام می‌گیرد. با این هدف که اگر شبکه برای یک وضعیت خاص آموزش دید و تغییر

³ Back Propagation (BP)

⁴ Relative Root Mean Square Error

⁵ Mean Absolute Error

⁶ Mean Relative Error

¹ Yen

² Artificial Neural Networks (ANNs)

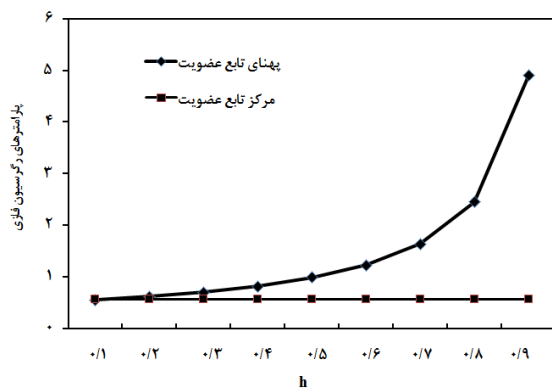
رهیافت‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون فازی انجام می‌گیرد. در این بخش، داده‌های مورد استفاده مربوط به شاخص‌های مناطق نیمه‌خشک در ماه آوریل است. طول دوره آماری به دو قسمت واسنجی و صحت‌سنجی (۵ دوره انتهایی) تقسیم شد.

محاسبه شد که نتایج در جدول ۱ آورده شده است. با توجه به نتایج جدول ۱ بیش‌ترین تعداد ضرایب همبستگی معنی‌دار مربوط به شاخص‌های TVX، TCI، NVSWI و VHI می‌باشد. بنابراین پیش‌بینی وضعیت منطقه از نظر خشکسالی با استفاده از چهار شاخص اول و براساس

جدول ۱- ضریب همبستگی بارش- شاخص‌های خشکسالی

نام ایستگاه	NDVI	VTCI	NVSWI	TCI	VHI	TVX
بندرعباس	۰/۲۱۲	-۰/۰۲۵	۰/۳۲۶	۰/۲۶	۰/۳۴۸	-۰/۲۶۱
بندرآنزلی	-۰/۱۳۱	۰/۲	۰/۰۷۴	۰/۱۲۹	-۰/۰۰۸	-۰/۰۸۲
کرمانشاه	۰/۶۷۳*	-۰/۱۳۱	۰/۸۳۵*	۰/۸۴۸*	۰/۷۸۶*	-۰/۶۶۳*
تبریز	-۰/۲۱۶	-۰/۲۴۲	۰/۶۶۴*	۰/۷۶۳*	۰/۶۳۹*	-۰/۶۲۱*
کرمان	۰/۰۵۱	-۰/۲۰۶	۰/۶۱۹*	۰/۷۱۹*	۰/۵۱*	-۰/۵۹*
مشهد	۰/۲۴۷	-۰/۱۵۱	۰/۶۹۱*	۰/۷۷*	۰/۶۸۳*	-۰/۷۲*
ارومیه	-۰/۰۶۳	۰/۲۸۵	۰/۸۷*	۰/۸۲۲*	۰/۷۱۵*	-۰/۸۱*
رامسر	-۰/۲۵	-۰/۱۳۵	۰/۲۳	۰/۲۶۹	۰/۰۵۵	-۰/۲۱۳
یزد	۰/۱۲۱	-۰/۴۵*	۰/۶*	۰/۶۵*	۰/۴۹۳*	-۰/۵۷*
زنجان	۰/۳۴	۰/۲۳	۰/۸۷*	۰/۸۴۹*	۰/۷۷۸*	-۰/۸*

شکل ۳، مرکز و پهنای تابع عضویت را در این حالت نشان می‌دهد.



شکل ۳- نمودار تغییرات پارامترهای رگرسیون فازی با پارامتر سطح اعتماد، شاخص NVSWI

از بین چهار معیار خطای اصلی در نظر گرفته شده، به جز شاخص MRE کمینه مقدار خطاها مربوط به پارامتر سطح اعتماد ۰/۶ است ولی کمینه مقدار شاخص MRE پارامتر سطح اعتماد ۰/۵ است. بنابراین از معیار خطای دیگری به نام بایاس استفاده می‌شود که کمینه این معیار پارامتر سطح اعتماد ۰/۶ را تأیید می‌کند. پارامتر مربوط به پهنای تابع عضویت میزان فازی بودن هر متغیر را نشان می‌دهد.

استفاده از رهیافت رگرسیون فازی

در این حالت نیز هدف تعیین تغییرات زمانی شاخص‌های خشکسالی براساس مفاهیم فازی است. در این حالت رگرسیون فازی تک متغیره در نظر گرفته شد.

رگرسیون فازی با توابع عضویت متقارن

گام اول در مدل‌سازی رگرسیون فازی شامل تعیین پارامتر سطح اعتماد است. جهت پیدا کردن مقدار بهینه پارامتر سطح اعتماد در این بخش، بایستی عملکرد سیستم تحت تأثیر مقادیر مختلف این پارامتر تعیین شود به این صورت که به ازای مقادیر مختلف پارامتر سطح اعتماد، مقادیر خروجی محاسبه و سپس از طریق معیارهای خطا گزینه برتر معین می‌شود. روش مورد استفاده تحقیق جهت تبدیل متغیر خروجی از حالت فازی به حالت قطعی، روش مرکز سطح می‌باشد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی پارامترهای فازی که بیان‌گر ضرایب رگرسیون می‌باشند به ازای مقادیر مختلف پارامتر سطح اعتماد برای شاخص‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند. ضرایب رگرسیون و عملکرد رگرسیون فازی به ازای مقادیر مختلف پارامتر سطح اعتماد در جدول ۲ آورده شده است. همچنین نمودار شکل ۳، مرکز و پهنای تابع عضویت را در این حالت نشان می‌دهد. همچنین

جدول ۲- عملکرد رگرسیون فازی در برابر مقادیر مختلف پارامتر سطح اعتماد- شاخص NVSWI

h	a_0^s	a_0^c	RMSE	MRE	RRMSE	MAE	بایاس (MBE)
۰/۱	۰/۵۴۵	۰/۵۵۹	۰/۳۶۵	۰/۳۹۲	۰/۴۴	۰/۳۳	۰/۲۷
۰/۲	۰/۶۱۳	۰/۵۵۹	۰/۳۵۸	۰/۳۸۹	۰/۴۳	۰/۳۲۷	۰/۲۶
۰/۳	۰/۷	۰/۵۵۹	۰/۳۴۴	۰/۳۸۱	۰/۴۱۹	۰/۳۱۵	۰/۲۴
۰/۴	۰/۸۱	۰/۵۵۹	۰/۳۱۷	۰/۳۶۶	۰/۳۸	۰/۲۹۱	۰/۲
۰/۵	۰/۹۸۱	۰/۵۵۹	۰/۲۶۹	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۲۳۷	۰/۱۱
۰/۶	۱/۲۲	۰/۵۵۹	۰/۲۵۲	۰/۳۶۴	۰/۳	۰/۲۰۳	۰/۰۵۹
۰/۷	۱/۶۳	۰/۵۵۹	۰/۴۹۴	۰/۷۳	۰/۶	۰/۴۳	۰/۴۲
۰/۸	۲/۴۵	۰/۵۵۹	۱/۵	۲/۲۱	۱/۸۳	۱/۴۸	۱/۴۸
۰/۹	۴/۹	۰/۵۵۹	۷/۰۵	۹/۹۵	۸/۵۹	۷/۰۴	۷/۰۴

انجام تحلیل حساسیت بر روی پارامتر سطح اعتماد بیانگر آن است که تغییری در مراکز فازی متغیرهای رگرسیون ایجاد نشده ولی بر میزان گستردگی این متغیرها تأثیر گذاشته است. به طوری که با افزایش پارامتر سطح اعتماد بر میزان گستردگی متغیرهای رگرسیون (پهنای اعداد فازی) افزوده می‌شود. عدم تغییر در مراکز فازی و افزایش میزان گستردگی متغیرهای رگرسیون با افزایش پارامتر سطح اعتماد از نتایج تحقیق این و همکاران (۱۹۹۹) بوده است. در شاخص VHI و TCI کمیته مقدار

چهار معیار خطا به ترتیب در پارامتر سطح اعتماد برابر با ۰/۸ و ۰/۶ است. در جدول ۳ عملکرد مدل با تغییرات پارامتر سطح اعتماد و ضرایب رگرسیون برای شاخص TVX آورده شده است. در شاخص TVX نیز کمیته مقادیر معیارهای خطا در پارامتر سطح اعتماد ۰/۲ است. انجام تحلیل حساسیت بر روی پارامتر سطح اعتماد بیانگر آن است که تغییری در مراکز فازی ایجاد نشده ولی با افزایش پارامتر سطح اعتماد بر میزان گستردگی متغیرهای رگرسیون افزوده می‌شود.

جدول ۳- عملکرد رگرسیون فازی در برابر مقادیر مختلف پارامتر سطح اعتماد- شاخص TVX

h	a_0^s	a_0^c	RMSE	MRE	RRMSE	MAE
۰/۱	۱۰۴/۰۶	۱۳۱/۱۷	۰/۸۵	۱۱۵/۵	۱/۶۲	۱۱۵/۱۳
۰/۲	۱۱۷/۰۷۳	۱۳۱/۱۷	۰/۸۵	۱۱۵/۳۴	۱/۶۲	۱۱۴/۹۸
۰/۳	۱۳۳/۷۹	۱۳۱/۱۷	۰/۸۵	۱۱۵/۴	۱/۶۲	۱۱۵/۰۳
۰/۴	۱۵۶/۰۹۷	۱۳۱/۱۷	۰/۸۵	۱۱۹/۰۳	۱/۶۷	۱۱۸/۶۷
۰/۵	۱۸۷/۳۱	۱۳۱/۱۷	۰/۸۵	۱۳۰/۱۷	۱/۸۲	۱۲۹/۸۴
۰/۶	۲۳۴/۱۴	۱۳۱/۱۷	۰/۸۵	۱۵۵/۰۵	۲/۱۵	۱۵۴/۷۸
۰/۷	۳۱۲/۱۹	۱۳۱/۱۷	۰/۸۵	۲۷۲/۳۳	۳/۷۴	۲۷۲/۱۷
۰/۸	۴۶۸/۲۹	۱۳۱/۱۷	۰/۸۵	۳۷۷/۴۶	۵/۱۶	۳۷۷/۳۵
۰/۹	۹۳۶/۵۸	۱۳۱/۱۷	۰/۸۵	۱۲۵۰/۹۳	۱۶/۹۶	۱۲۵۰/۸۹

رگرسیون فازی با توابع عضویت نامتقارن

در این حالت تحلیل حساسیت براساس دو گام است در گام اول تحلیل حساسیت فاکتور چولگی و در گام دوم تحلیل حساسیت پارامتر سطح اعتماد براساس فاکتور چولگی غالب گام اول انجام می‌گیرد. در ادامه برای برخی از فاکتورهای چولگی، مقادیر معیارهای خطا مورد بررسی قرار می‌گیرد. در تمامی موارد مورد بررسی فاکتور چولگی، پارامتر سطح اعتماد ۰/۵ در نظر گرفته شده است. جدول ۴ تغییرات معیارها را با فاکتور چولگی نشان می‌دهد. اگر مقایسه‌ای بین معیارهای خطا انجام شود، تمام معیارهای

خطا در یک فاکتور چولگی واحدی، هم راستا نمی‌باشند ولی اکثر معیارهای خطا در $k_0=1/5$ و $k_1=1/5$ دارای هماهنگی می‌باشند. بعد از انجام تحلیل بر روی فاکتور چولگی، تحلیل مربوط به پارامتر سطح اعتماد باید با توجه به فاکتور چولگی غالب انجام گیرد. جدول ۵ شامل نتایج تحلیل حساسیت پارامتر سطح اعتماد به همراه فاکتور چولگی غالب است. با توجه به جدول ۵ اکثر معیارهای خطا در پارامتر سطح اعتماد برابر با ۰/۵ دارای هماهنگی می‌باشند.

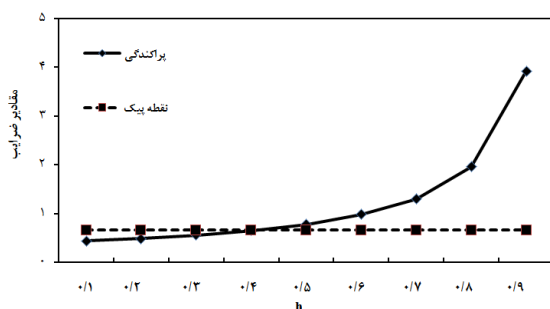
جدول ۴- تغییرات معیارهای خطا با فاکتور چولگی - شاخص NVSWI

بایاس	MAE	RRMSE	MRE	RMSE	a_0^p	S_0^1	K_1	K_0
۰/۰۵	۰/۲۲۵	۰/۳۰۵	۰/۳۴۳	۰/۲۵۱	۰/۶۴	۰/۸۱	۱/۶	۱/۴
۰/۰۸	۰/۲۳۱	۰/۳۱۵	۰/۳۳۷	۰/۲۵۸	۰/۶	۰/۸۹	۱/۱	۱/۲
۰/۰۲۹	۰/۲۰۹	۰/۳	۰/۳۵۸	۰/۲۴۷	۰/۶۸	۰/۷۲۶	۱	۱/۷
۰/۰۰۹	۰/۲۱۹	۰/۳	۰/۳۴۸	۰/۲۴۷	۰/۶۵	۰/۷۸	۱/۵	۱/۵
۰/۰۵۹	۰/۲۰۳	۰/۳۰۸	۰/۳۶۴	۰/۲۵۲	۰/۶۹۹	۰/۷	۱	۱/۸
۰/۱	۰/۲۳۵	۰/۳۲۷	۰/۳۳۳	۰/۲۶۷	۰/۵۵۹	۰/۹۸	۱/۹	۱
۰/۰۹۳	۰/۱۹۷	۰/۳۲	۰/۳۷۱	۰/۲۶۲	۰/۷۱۱	۰/۶۷	۱	۱/۹
۰/۰۶۱	۰/۲۲۷	۰/۳۰۸	۰/۳۴۱	۰/۲۵۳	۰/۶۲۳	۰/۸۵	۱/۱	۱/۳
۰/۰۹۶	۰/۲۳۴	۰/۳۲۲	۰/۳۳۴	۰/۲۶۴	۰/۵۸	۰/۹۳	۱/۱	۱/۱
۰/۱۰۵	۰/۲۳۶	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۲۶۷	۰/۵۵	۰/۹۸	۱	۱
۰/۰۰۹	۰/۲۱۳	۰/۲۹۹	۰/۳۵۴	۰/۲۴۶	۰/۶۷۲	۰/۷۵۴	۱	۱/۶

جدول ۵- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر سطح اعتماد- شاخص NVSWI

بایاس	MAE	RRMSE	MRE	RMSE	a_0^p	S_0^1	h
۰/۱	۰/۲۳۵	۰/۳۲۳	۰/۳۳۴	۰/۲۶۵	۰/۶۵۷	۰/۴۳۶	۰/۱
۰/۰۹	۰/۲۳۳	۰/۳۱۹	۰/۳۳۶	۰/۲۶۲	۰/۶۵	۰/۴۹	۰/۲
۰/۰۷	۰/۲۲۹	۰/۳۱۱	۰/۳۳۹	۰/۲۵۶	۰/۶۵۷	۰/۵۶	۰/۳
۰/۰۵۵	۰/۲۲۶	۰/۳	۰/۳۴۲	۰/۲۵۲	۰/۶۵۷	۰/۶۵	۰/۴
۰/۰۰۹	۰/۲۱۹	۰/۳	۰/۳۴۸	۰/۲۴۷	۰/۶۵۷	۰/۷۸	۰/۵
۰/۰۷	۰/۱۹۹	۰/۳۱۴	۰/۳۶۷	۰/۲۵۸	۰/۶۵۷	۰/۹۸۱	۰/۶
۰/۳	۰/۳۰۹	۰/۴۸۱	۰/۵۷۲	۰/۳۹	۰/۶۵۷	۱/۳	۰/۷
۰/۹۲	۰/۹۲	۱/۱۷	۱/۴۳	۰/۹۶	۰/۶۵۷	۱/۹۶	۰/۸
۳/۴۶	۳/۴۶	۴/۲۳	۴/۹۶	۳/۴۷	۰/۶۵۷	۳/۹۲	۰/۹

تغییرات فاکتورهای چولگی بر مقدار a_0^p اثر دارد و تأثیری بر مقدار a_1^p ندارد که این مساله نیز از نتایج تحقیق ین و همکاران (۱۹۹۹) بود.



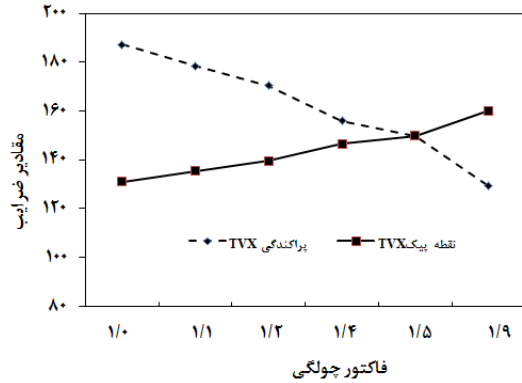
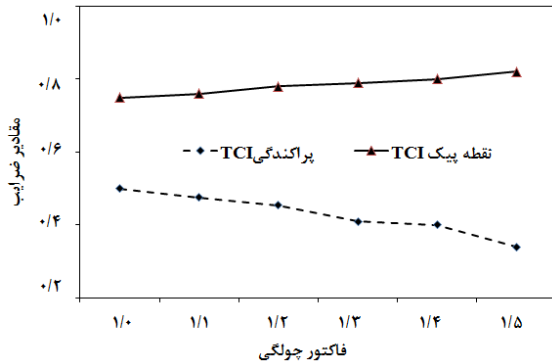
شکل ۴ - نمودار تغییرات ضرایب رگرسیون با پارامتر سطح اعتماد، شاخص NVSWI

با افزایش فاکتور چولگی (K_0)، پارامتر پراکندگی سمت چپ کاهش و نقطه پیک تابع عضویت افزایش می‌یابد که این مساله از نتایج تحقیق ین و همکاران (۱۹۹۹) بوده است. در ادامه نمودارهای شکل ۵ بیان‌گر تغییرات پراکندگی سمت چپ و نقطه پیک تابع عضویت در برابر فاکتور چولگی برای شاخص‌های TCI و TVX است. مساله

براساس نتایج به دست آمده، شکل ۴ تغییرات ضرایب پارامترهای نقطه پیک و پراکندگی چپ را برحسب پارامتر سطح اعتماد نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴، با افزایش پارامتر سطح اعتماد، مقدار پراکندگی چپ افزایش و نقطه پیک تابع عضویت ثابت باقی می‌ماند، به عبارت دیگر میزان فازی بودن افزایش می‌یابد. در تحلیل فاکتورهای چولگی و پارامتر سطح اعتماد در شاخص VHI و TCI، نتیجه هماهنگی اغلب معیارهای خطا به این صورت است: $k_0=1/4$ و $k_1=1/6$ و $h=0/4$ و $k_0=1/5$ و $k_1=1/5$ و $h=0/7$. جداول ۶ و ۷ تغییرات معیارهای خطا فاکتور چولگی و تحلیل حساسیت پارامتر سطح اعتماد شاخص TVX را نشان می‌دهد. با افزایش پارامتر سطح اعتماد، مقدار پارامتر پراکندگی چپ افزایش و نقطه پیک تابع عضویت ثابت باقی می‌ماند. در تحلیل فاکتورهای چولگی و پارامتر سطح اعتماد در شاخص TVX، نتیجه کمینه معیارهای خطا به این صورت می‌باشد: $k_0=1$ ، $k_1=1$ و $h=0/1$. همچنین با توجه به جدول ۶ که تغییرات معیارهای خطا با فاکتورهای چولگی شاخص TVX را نشان می‌دهد می‌توان گفت که

دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد، بررسی مقادیر پارامتر سطح اعتماد بهینه است که در رگرسیون فازی متقارن برای شاخص‌های TVX و VHI، TCI، NVSWI به ترتیب ۰/۶، ۰/۸، ۰/۶، ۰/۲ است و در رگرسیون فازی نامتقارن برای شاخص‌های TVX و VHI، TCI، NVSWI به ترتیب ۰/۵، ۰/۷، ۰/۴، ۰/۱ است. با توجه به مقادیر بهینه پارامتر سطح اعتماد، شاخص TCI دارای بیشینه و شاخص TVX

کمینه مقدار را داشت. با توجه به این که مقدار پارامتر سطح اعتماد میزان فازی بودن را نشان می‌دهد، با نزدیکی مقدار پارامتر سطح اعتماد به عدد یک میزان فازی بودن مدل افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان گفت مدل‌سازی شاخص TVX با استفاده از رگرسیون فازی قابل تأمل است.



شکل ۵- نمودار تغییرات ضرایب رگرسیون با ضریب چولگی، شاخص TVX و TCI

جدول ۶- تغییرات معیارهای خطا با فاکتور چولگی - شاخص TVX

RRMSE	MAE	MRE	RMSE	a_1^p	a_0^p	S_0^1	K_1	K_0
۱/۴۲	۱۵۱/۹۲	۲/۱۱	۱۵۲/۲	۰/۸۵	۱۴۶/۶۳	۱۵۶/۱	۱/۶	۱/۴
۱/۳	۱۳۹/۷۶	۱/۹۵	۱۴۰/۰۶	۰/۸۵	۱۳۹/۵۳	۱۷۰/۲۹	۱/۱	۱/۲
۱/۲۶	۱۳۴/۶۹	۱/۸۸	۱۳۴/۹۹	۰/۸۵	۱۳۵/۴۸	۱۷۸/۴	۱/۱	۱/۱
۱/۴۸	۱۵۸/۹	۲/۲۱	۱۵۹/۱۵	۰/۸۵	۱۴۹/۷۵	۱۴۹/۸۵	۱/۵	۱/۵
۱/۲۱	۱۳۰/۰۷	۱/۸۲	۱۳۰/۳۸	۰/۸۵	۱۳۱/۰۲	۱۸۷/۳۲	۱	۱
۱/۷۱	۱۸۲/۷۹	۲/۵۳	۱۸۳/۰۲	۰/۸۵	۱۶۰/۰۸	۱۲۹/۱۸	۱/۹	۱/۹

جدول ۷- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر سطح اعتماد - شاخص TVX

RRMSE	MAE	MRE	RMSE	a_0^p	S_0^1	h
۱/۱۱	۱۱۸/۴۴	۱/۶۶	۱۱۸/۸	۱۳۱/۰۲	۱۰۴/۰۶	۰/۱
۱/۱۱	۱۱۸/۸۸	۱/۶۷	۱۱۹/۲۴	۱۳۱/۰۲	۱۱۷/۰۷	۰/۲
۱/۱۲	۱۱۹/۴۹	۱/۶۸	۱۱۹/۸	۱۳۱/۰۲	۱۳۳/۸	۰/۳
۱/۱۶	۱۲۳/۸۲	۱/۷۳	۱۲۴/۱۶	۱۳۱/۰۲	۱۵۶/۱	۰/۴
۱/۲۱	۱۳۰/۰۷	۱/۸۲	۱۳۰/۳۸	۱۳۱/۰۲	۱۸۷/۳۲	۰/۵
۱/۵۱	۱۶۲/۰۴	۲/۲۵	۱۶۲/۳	۱۳۱/۰۲	۲۳۴/۱۵	۰/۶
۲/۰۶	۲۲۰/۶۸	۳/۰۴	۲۲۰/۸۷	۱۳۱/۰۲	۳۱۲/۲	۰/۷
۳/۵۸	۳۸۳/۵۲	۵/۲۴	۳۸۳/۶۳	۱۳۱/۰۲	۴۶۸/۳	۰/۸
۱۰/۹۷	۱۱۷۲/۹۶	۱۵/۹۱	۱۱۷۳	۱۳۱/۰۲	۹۳۶/۶	۰/۹

استفاده از رهیافت شبکه عصبی مصنوعی

براساس معادله $X_n = \frac{X_i}{X_{max}}$ و تقسیم داده‌ها به دو سری آموزش و آزمایشی می‌باشد. در مدل‌سازی شبکه عصبی هدف بررسی رابطه بین شاخص‌های خشکسالی و عامل زمان است. از بین شاخص‌های VHI, TCI, NVSWI, TVX به جز شاخص TVX دیگر شاخص‌ها در حالت نزدیک به استاندارد قرار داشتند، بنابراین استانداردسازی تنها بر روی شاخص TVX انجام گرفت. در این حالت از شبکه پیش‌خور با الگوریتم پس‌انتشار خطا (با سه لایه) استفاده شده است و توابع تحریک برای لایه میانی شامل

بررسی انواع توابع لگاریتم زیگموئیدی، خطی، تانژانت زیگموئیدی و برای لایه خروجی خطی است. در مرحله بعد باید الگوهای مختلفی (تغییر در تعداد نورون‌های لایه میانی) را به شبکه عرضه کرد و در نهایت با استفاده از معیارهای خطا، الگویی که بیش‌ترین کارایی را دارد، در نظر گرفت. در مرحله اول مدل‌سازی شبکه عصبی شاخص‌ها، انواع توابع تحریک لایه میانی مورد بررسی قرار می‌گیرد. جدول ۸ نتایج بررسی انواع توابع تحریک برای شاخص‌های NVSWI و TCI را نشان می‌دهد.

جدول ۸- بررسی انواع توابع تحریک لایه میانی شبکه عصبی

توزان	خطی-۴	لگاریتم زیگموئیدی-۴	تانژانت زیگموئیدی-۳	خطی-۳	لگاریتم زیگموئیدی-۳	لایه میانی
خطی	خطی	خطی	خطی	خطی	خطی	لایه خروجی
۰/۰۷۸	۰/۱۲۷	۰/۰۷۶۷۰۵	۰/۰۷۷	۰/۱۲۷	۰/۰۷۶۷۲	TCI-RMSE
۰/۰۸۴	۰/۱۳۱	۰/۰۶۴۱۸	۰/۰۶۴	۰/۱۳۱	۰/۰۶۴	TCI-MRE
			تانژانت زیگموئیدی	خطی	لگاریتم زیگموئیدی	لایه میانی
			خطی	خطی	خطی	لایه خروجی
			۰/۳۵۴	۰/۵۹	۰/۲۶۴	NVSWI-RMSE
			۰/۳۸۷	۰/۶	۰/۳۲۹	NVSWI-MRE

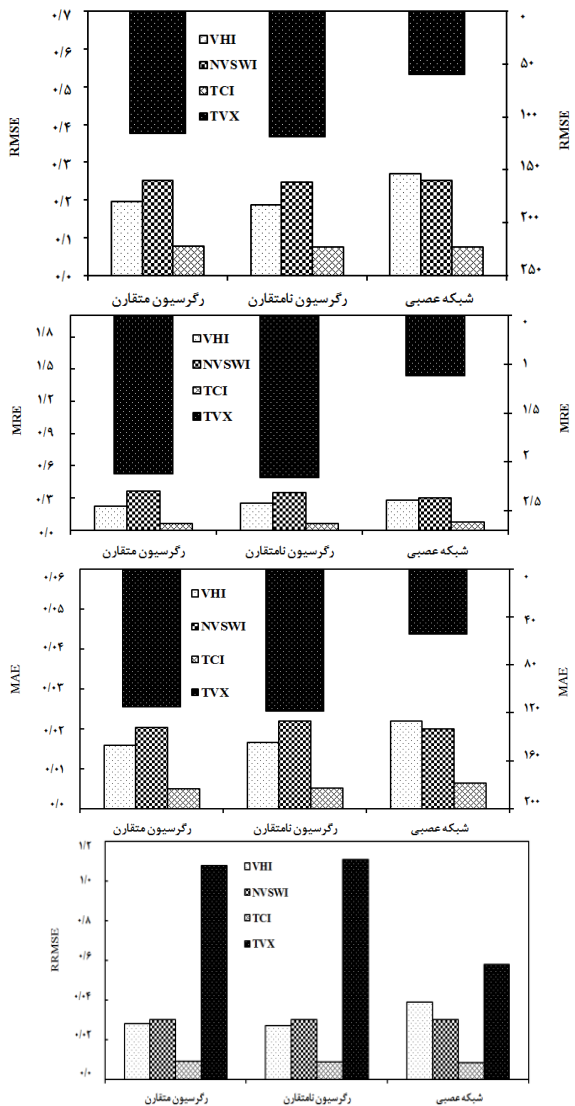
شده است. در شاخص NVSWI کم‌ترین مقدار معیارهای خطا در نورون با تعداد ۴ است. با توجه به شکل TCI نمی‌توان مقدار کمینه تمام خطاها را مربوط به یک نورون به خصوص دانست بلکه مقدار کمینه خطاها بین نورون‌های ۳ و ۵ می‌باشد بنابراین در این حالت از معیار خطای بایاس استفاده شد. به‌طور کلی از ۵ معیار خطا، ۳ مورد از کمینه خطاها مربوط به نورون ۵ است. البته قابل ذکر است که بین معیارهای خطاهای نورون‌های ۳ و ۵ اختلاف قابل توجهی مشاهده نمی‌شود. کمینه مقدار خطاها در شاخص VHI و TVX مربوط به تابع تحریک لگاریتم زیگموئیدی برای لایه میانی و خطی برای لایه خروجی است. بهترین معماری شبکه نیز برای شاخص‌های VHI و TVX به ترتیب با نورون ۴ و ۳ است.

مقایسه رهیافت‌های مورد استفاده

در ادامه براساس معیارهای خطا، مقایسه‌ای بین رهیافت‌های مورد استفاده، شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون فازی متقارن، رگرسیون فازی نامتقارن، در مدل‌سازی شاخص‌های VHI, TVX, NVSWI و TCI انجام

در شاخص TCI انواع توابع تحریک میانی در حالت ۳ و ۴ نورون میانی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شاخص NVSWI، کمینه مقدار خطاها مربوط به تابع تحریک لگاریتم زیگموئیدی برای لایه میانی و خطی برای لایه خروجی است. مقادیر RMSE در حالت تابع تحریک خطی لایه میانی و تابع خطی لایه خروجی با نورون‌های ۳ تا ۹ حاکی از عدم وجود تغییر چشم‌گیر در معیار خطا می‌باشد. بنابراین الگوهای مختلف که با تغییر در تعداد نورون‌های لایه میانی انجام می‌گیرد را با لایه میانی لگاریتم زیگموئیدی و لایه خروجی خطی مورد بررسی قرار داده می‌شود. با اثبات قضیه تقریب‌ساز چنین بیان شد که یک شبکه عصبی پیش‌رو با یک لایه مخفی زیگموئیدی و لایه خروجی خطی قادر به تخمین هر نگاشت پیچیده‌ای با هر درجه تقریبی خواهد بود (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸۴). در شاخص TCI کمینه مقدار خطاها مربوط به تابع تحریک لگاریتم زیگموئیدی برای لایه میانی و خطی برای لایه خروجی است که این مساله در نورون با تعداد ۴ بهتر مشاهده می‌شود. مرحله بعد مربوط به تعیین تعداد نورون‌های لایه میانی است که مراحل کار در شکل ۶ آورده

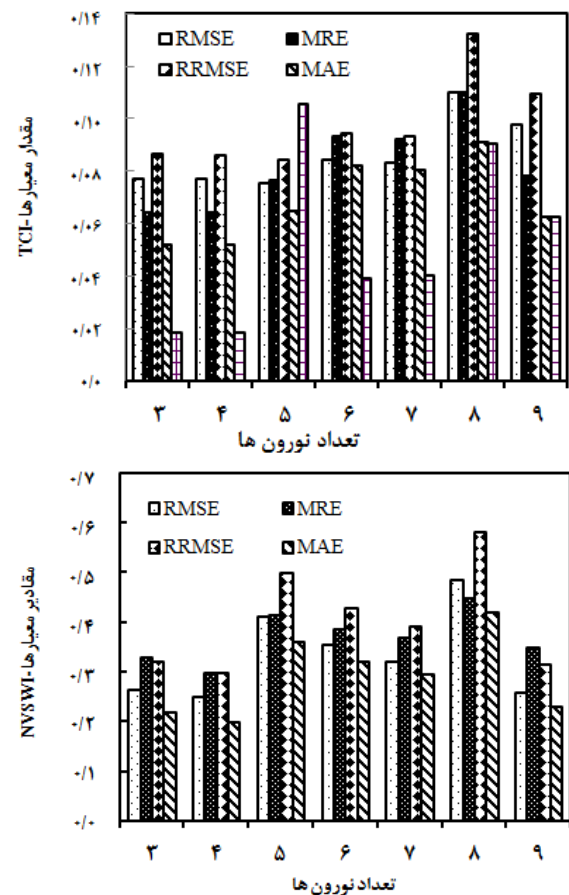
مقارن کمینه مقدار را دارد ولی اختلاف بین دو نوع رگرسیون کم است به عنوان نمونه برای دو شاخص اختلاف ۳/۷۶ درصد است. در مورد شاخص NVSWI اختلاف بین دو رهیافت رگرسیون فازی مقارن و عصبی خیلی کم است. (۱/۴۷ درصد) است.



شکل ۷- مقایسه رهیافت‌های مورد استفاده براساس معیارهای مختلف

در شاخص TVX شبکه عصبی مصنوعی از کم‌ترین مقدار خطا برخوردار است. با توجه به نمودار RRMSE شاخص‌های VHI، NVSWI و TCI با استفاده از رگرسیون فازی نامقارن و شاخص TVX با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی دارای کمینه خطا هستند. در مدل‌سازی شاخص‌های VHI و TCI رهیافت رگرسیون فازی دارای خطای کم می‌باشد. افزایش کارایی رهیافت رگرسیون فازی

می‌گیرد که نتایج در شکل ۷ آورده شده است. با توجه به نمودار RMSE کمینه مقادیر شاخص‌های VHI، NVSWI و TCI مربوط به رهیافت رگرسیون فازی نامقارن است.



شکل ۶- نمودار تغییرات معیارهای خطا با تعداد نورون‌ها، شاخص NVSWI و TCI

در مورد شاخص‌های TCI و NVSWI اختلاف بین سه رهیافت کم می‌باشد ولی در مورد شاخص VHI اختلاف بین رهیافت رگرسیون فازی و شبکه عصبی مصنوعی به شدت افزایش می‌یابد، به طوری که متوسط اختلاف بین رگرسیون فازی مقارن و نامقارن با شبکه عصبی مصنوعی ۴۱/۰۶ درصد می‌باشد. در شاخص TVX شبکه عصبی مصنوعی از کم‌ترین مقدار خطا برخوردار است. با توجه به نمودار MRE در مورد شاخص‌های VHI و TCI رگرسیون فازی مقارن دارای مقادیر کمینه خطا است ولی اختلاف بین رگرسیون فازی مقارن و نامقارن کم است به عنوان نمونه در شاخص TCI اختلاف بین دو رهیافت اخیر ۳/۱۲ درصد است. در مورد شاخص‌های NVSWI و TVX شبکه عصبی دارای کم‌ترین مقدار خطا است. با توجه به نمودار MAE در مورد شاخص‌های VHI و TCI رگرسیون فازی

و دمای سطح زمین دانست زیرا که مناطق انتخاب شده باید دارای دامنه‌های وسیعی از رطوبت خاک و NDVI باشند. در این مطالعه یک بار به صورت کلی و بار دیگر با در نظر گرفتن سه منطقه غرب، شمال و مرکز بود، ولی نتایج از کارآیی خوبی برخوردار نبود. در بین شاخص‌های خشکسالی مورد مطالعه می‌توان ادعان داشت شاخص‌هایی که از دمای سطح زمین استفاده نمی‌کنند از نتایج قابل قبولی برخوردار نیستند مانند شاخص NDVI، در صورتی که ترکیب دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی در قالب معادلات مختلف، از کارایی بهتری برخوردار است مانند تحقیقاتی از کاگن^۲ (۱۹۹۷) حاکی از عملکرد بهتر شاخص VHI نسبت به شاخص‌های TCI است. شاخص‌های مورد مطالعه در اقلیم خشک و نیمه‌خشک نسبت به اقلیم بسیار مرطوب دارای بیشترین تعداد ضریب همبستگی معنی‌دار هستند. چون اکثر ایستگاه‌ها در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشند باندهای حرارتی بهتر جواب می‌دهند. بررسی شاخص‌ها با معیارهای مختلف حاکی از عملکرد قابل قبول شاخص‌های NVSWI، TCI، VHI و TVX است. چهار شاخص همبستگی قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر دارند بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از یکی از آن‌ها برای پایش خشکسالی کافی باشد. آنچه از مقایسه شاخص‌ها بر می‌آید این است که اکثر شاخص‌ها حالت ترکیبی باندهای انعکاسی و حرارتی دارند. دقت رهیافت‌های شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون فازی متقارن و نامتقارن در مدل‌سازی شاخص‌های VHI، NVSWI و TCI در یک حد می‌باشند. عملکرد بهتر تابع عضویت مثلثی متقارن نسبت به نوع نامتقارن آن از حیث در نظر گرفتن عدم قطعیت حاکم بر مسئله مدل‌سازی از دیگر نتایج تحقیق بود. تئوری مجموعه‌های فازی یک ابزار نیرومند در بیان پیچیدگی‌های موجود در جهان واقعی می‌باشد که قادر است خلاء ناشی از عدم لحاظ کردن واقعیت حاکم بر بهره‌برداری در فرمول‌بندی مدل را پر نماید. شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی شاخص TVX نسبت به سایر روش‌ها دارای خطای کم‌تری است. در بخش نتایج دیده شد که پارامتر سطح اعتماد شاخص TVX دارای کم‌ترین مقدار بود و نمایان‌گر کاهش میزان فازی بودن است. بنابراین شبکه عصبی در مورد این

نسبت به شبکه عصبی در مطالعه اوزگر و میشر^۱ (۲۰۱۲) نیز دیده شد. رهیافت شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی شاخص TVX عملکرد بالایی داشت. عملکرد قابل قبول شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی داده‌های طیفی در تحقیقات استیچنکو و چیزهو (۲۰۱۵) و کیزیل و همکاران (۲۰۱۲) نیز بیان شده است. در شاخص NVSWI هر دو رهیافت نتایج قابل قبولی داشتند ولی رگرسیون فازی در موارد بیش‌تری دارای نتایج قابل قبولی است. اختلاف فاحشی بین رهیافت رگرسیون فازی متقارن و نامتقارن مشاهده نشد، ولی اکثریت معیارها با رگرسیون فازی نامتقارن هم‌سو بودند. دلیل تغییر کارایی رهیافت‌ها با توجه به شاخص‌ها را می‌توان در ماهیت داده‌ها و نوع ترکیب داده‌های طیفی و حرارتی دانست. در بخش قبلی مشاهده شد که پارامتر سطح اعتماد شاخص TVX دارای کم‌ترین مقدار بود که نمایان‌گر کاهش میزان فازی بودن است. بنابراین شبکه عصبی در مورد این شاخص از خطای کم‌تری برخوردار بود که نتایج بخش رگرسیون فازی این مسأله را تأیید می‌کنند.

نتیجه‌گیری

شاخص‌های خشکسالی بر پایه تصاویر ماهواره‌ای، از سال ۱۹۸۰ در مطالعات خشکسالی استفاده شده‌اند که نسبت به سایر روش‌های پایش خشکسالی دارای تأثیر کلیدی هستند. شاخص‌های NVSWI، TCI، TVX و VHI و شاخص‌های NDVI و VTCI به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد ضریب همبستگی معنی‌دار با بارش هستند. عملکرد ضعیف شاخص NDVI در مقایسه با سایر شاخص‌های خشکسالی دلایل متفاوتی دارد از جمله این که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، اثرات بازتاب خاک زمینه می‌تواند اثر بازتاب پوشش گیاهی را تحت تأثیر قرار دهد و بر آن غلبه کند. همچنین بارندگی تنها عاملی نیست که شاخص NDVI را تحت تأثیر قرار می‌دهد بلکه فاکتورهای دیگری مانند توپوگرافی، خصوصیات خاک، تنش در سال‌های قبل و مشخصه‌های پوشش زمینی باید در نظر گرفته شود تا اثرات اقلیم بر پوشش گیاهی توضیح داده شود. کم‌بودن ضریب همبستگی شاخص VTCI را شاید بتوان در مناطق مربوط به استخراج رابطه شاخص NDVI

^۱ Ozger and Mishra

^۲Kogan

- Du, L., Tiana, Q., Yu, T., Meng, Q., Jancso, T., Udvardy, P., Huang, Y. 2013. A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 23(1): 245-253.
- Fatehi-Marj, A., Meijerink, A. 2011. Agricultural drought forecasting using satellite images, climate indices and artificial neural network. *Int. J. Remote Sens.*, 32(24): 9707-9719.
- Fernandez-Manso, A., Quintano, C., Fernandez-Manso, O. 2011. Forecast of NDVI in coniferous areas using temporal ARIMA analysis and climatic data at a regional scale. *Int. J. Remote Sens.*, 32(6): 1595-1617.
- Jafari, R., Bakhshandehmehr, L. 2013. Quantitative mapping and assessment of environmentally sensitive areas to desertification in central Iran. *Land Degrad. Dev.*, 27(2): 108-119.
- Kogan, F. N. 1997. Global drought watch from space. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 78(4): 621-636.
- Kizil, Ü., GenÇ, L., İnalplat, M., Şapoloyo, D., Mirik, M. 2012. Lettuce yield prediction under water stress using artificial neural network (ANN) model and vegetation indices. *Žemdirbystė- Agric.*, 99(4): 409-418.
- Nichol, J. E., Abbas, S. 2015. Integration of remote sensing datasets for local scale assessment and prediction of drought. *Sci. Total Environ.*, 505: 503-507.
- Özger, M., Mishra, A. K. 2012. Long lead time drought forecasting using wavelet and fuzzy logic combination model: a case study in Texas. *J. Hydrometeorol.*, 13(1): 284-297.
- Shamsipour, A. A., Alavipanah, S. K. 2010. The role of fuzzy - AHP models in the efficiency of remotely sensed based drought indices in Kashan district, 30th EARSeL Symposium: Remote Sensing for Science, Education and Culture, France, Paris, 31 May - 03 Jun 2010.
- Stepchenko, A., Chizhov, J. 2015. NDVI short-term forecasting using recurrent neural nNetworks. *Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference.*, 3:180-185.
- Wan, Z., Wang, P., Li, X. 2004. Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA. *Int. J. Remote Sens.*, 25(1): 61-72.
- Yen, K. K., Ghoshary, S., Roig, G. 1999. A linear model using triangular fuzzy number coefficients. *Fuzzy Sets and Syst.*, 106:167-177.
- شاخص از خطای کمتری برخوردار بود. بنابراین جهت افزایش کارایی پیش‌بینی در زمینه خشکسالی، بهبود باید در چندین زمینه انجام گیرد: ۱- شناسایی فاکتورهای مؤثر بر خشکسالی هواشناسی و یا استفاده ترکیبی از شاخص‌های خشکسالی با کارایی بالا به عنوان شاخص خشکی ترکیب شده ۲- نوع مدل‌سازی یا بهبود پارامترهای آن ۳- نوع سنجنده مورد استفاده با قدرت تفکیک مکانی بالا که سنجنده MODIS در این زمینه دارای قابلیت قابل قبولی است (فرناندز - مانسو^۱ و همکاران، ۲۰۱۱).
- ### منابع
- ثقفیان، ب. ۱۳۸۷. پیش‌نویس برنامه راهبردی: ارزیابی و پیش‌بینی خشکسالی منطقه‌ای کشور. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی. وزارت جهاد کشاورزی، ستاد هماهنگی طرح‌های پژوهشی همزیستی با خشکی.
- شکبیا، ع، میرباقری، ب، خیری، ا. ۱۳۸۹. خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI. فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، ۸ (۲۵): ۱۰۵-۱۲۴.
- کارآموز، م، عراقی‌نژاد، ش. ۱۳۸۴. هیدرولوژی پیشرفته. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۴۶۵ صفحه.
- کوره‌پزان، ا. ۱۳۸۴. اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن در مدل‌سازی مهندسی منابع آب. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ۲۷۲ صفحه.
- محمدی‌نژاد، ا. ۱۳۹۱. استفاده از شبکه‌های بازگشتی به منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی خشکسالی مبتنی بر داده‌های سنجش از دور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
- Bayarjarga, Y. L., Karnieli, A., Bayasgalan, M., Khudulmur, S., Gandush, C., Tucker, C. J. 2006. A comparative study of NOAA-AVHRR derived drought indices using change vector analysis. *Remote Sens. Environ.*, 105(1): 9-22.

¹Fernandez-Manso

Application of Artificial Neural Network and Fuzzy regression in remotely sensed monitoring of drought

L. Parviz^{1*}

Received: 28/09/2015

Accepted: 10/07/2016

Abstract

Drought monitoring is a major issue for agricultural water management and environmental protection. In this study, artificial neural network and fuzzy regression models have been used to evaluate the performance of several remotely sensed indices retrieved from MODIS images including NDVI, VTCI, VHI, NVSWI, TCI and TVX for monitoring drought in 7 meteorological station across Iran namely Kermanshah, Tabriz, Kerman, Mashhad, Urumia, Yazd and Zanja. The VHI, NVSWI, TCI and TVX had the highest number of significant coefficient of correlation with amount of rainfall in study stations. Based on error measures, the Fuzzy regression approach had the least error in modeling correlation of VHI, TCI and NVSWI with rainfall amount. Using the ANN model, the TVX found to be the best index in monitoring drought with highest accuracy. The results revealed that in the case of symmetric membership functions, changing the value of confidence level parameter would affect the value of fuzzy spread coefficient. For example increasing the confidence level parameter in case of VHI from 0.7 to 0.8 led to 50% increase of spread. In case of non-symmetric fuzzy coefficient, the peak point is sensitive to skewness factors; such that its value was increased for 22.2% moving from minimum to maximum skewness factor in case of TVX index. The decrease in confidence level parameter of TVX, which represents the degree of fuzziness, confirmed the better performance of artificial neural network in correlating TVX index and rainfall.

Keywords: Drought, ANN, Fuzzy, Rainfall



¹ Assistant Professor, Collage of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University
(*Corresponding author email address: laleh_parviz@yahoo.com)

