

تخمین و بازسازی داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از رگرسیون فازی

محمد مهدی متین‌زاده^{۱*}، روح‌الله فتاحی^۲، محمد شایان‌نژاد^۳ و خدایار عبداللهی^۴

چکیده

اساس مطالعات هیدرولوژی و هواشناسی، داده‌های آماری پیوسته و کافی است. حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه، در زمینه‌های مختلف طراحی تأسیسات آبی و مهندسی استفاده می‌شود. رگرسیون فازی به عنوان یک ابزار انعطاف‌پذیر که قابلیت استفاده در بسیاری از سامانه‌ها را دارد، جهت ارائه و توسعه یک تکنیک جدید برای تخمین و بازسازی داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته بکار گرفته شده است. در این تحقیق کارآیی استفاده از رگرسیون فازی در بازسازی داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته در استان چهارمحال و بختیاری صورت گرفت. برای ارزیابی کارایی مدل فوق، از شاخص‌های آماری RMSE، P% و R^2 استفاده شد. نتایج بدست آمده از مدل رگرسیون فازی با روش‌های نسبت نرمال، محورهای مختصات، رگرسیون ساده و رگرسیون چند متغیره مورد مقایسه قرار گرفت. مقدار ضریب تعیین (R^2) میان مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده حاصل از مدل رگرسیون فازی در اقلیم بسیار مرطوب، نیمه مرطوب، مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک به ترتیب برابر با ۰/۶۷، ۰/۷۵، ۰/۸۱ و ۰/۸۷ به دست آمد. نتایج بازسازی در هر یک از چهار اقلیم موجود در این استان نشان‌دهنده برتری معنی‌دار تکنیک رگرسیون فازی نسبت به سایر روش‌های متداول است.

واژه‌های کلیدی: بازسازی، حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه، برنامه‌ریزی خطی، رگرسیون فازی.

ارجاع: متین‌زاده م.م، فتاحی ر.ا، شایان‌نژاد م. و عبداللهی خ. ۱۳۹۰. تخمین و بازسازی داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از رگرسیون فازی. مجله پژوهش آب ایران. ۱۷۹-۱۸۶: (۸)۵.

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۴- مرکز تحقیقات آب‌خیزداری چالستر.

* نویسنده مسئول: mohammadmatinzadeh@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۶/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۳/۲۴

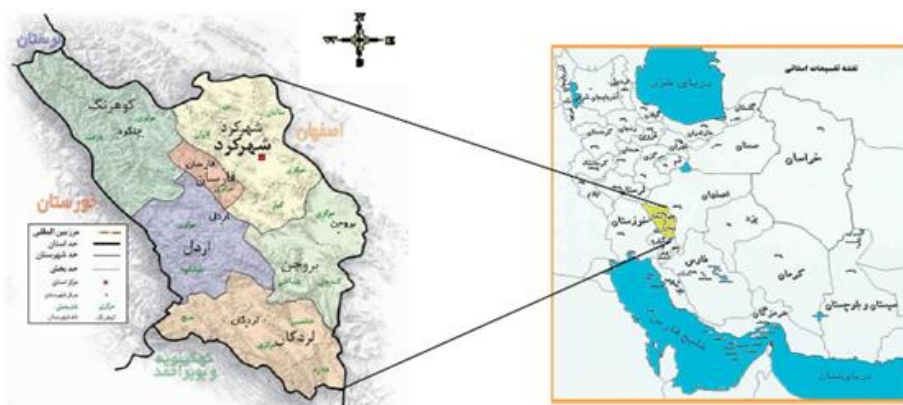
مقدمه

نواقص آماری همیشه در امور تحقیقی و مطالعاتی مشکل‌ساز بوده‌اند. در مطالعات هیدرولوژی و هواشناسی هر منطقه وجود اطلاعات بارش، اساسی است که زیربنای مطالعات را تشکیل می‌دهد. اما برخی از مواقع این اطلاعات ناقص می‌باشد و استفاده از آن مشکل است و باعث بروز خطا در نتایج می‌شود (سارالس، ۲۰۰۷). تمام مطالعات هیدرولوژیک براساس آمار مورد قبول پایه‌گذاری شده است و در صورتی که این اطلاعات ناقص باشد نمی‌توان تحلیل آماری صحیحی انجام داد. برای کاربردهای منطقه‌ای آمار ضروری است که پس از انتخاب پایه‌زمانی مشترک اپتیمم، داده‌های گمشده بازسازی شود و یا در صورت نیاز تطویل گردند (مهدوی، ۱۳۸۱). در اختیار داشتن اطلاعات و آمار صحیح و قابل قبول در بررسی‌های علمی و مطالعات مهندسی منابع آب، طرح‌های توسعه کشاورزی، آبخیزداری و نظایر آن ضروری است. این درحالی است که در کشور ما عموماً آمار موجود به دلایل گوناگون که ناشی از عدم دیدبانی یا مشکوک بودن ارقام است، دارای خلأ گسترده‌ای است. قبل از به‌کارگیری این آمار در مطالعات باید نقایص آنها را برطرف و داده‌های گمشده را بازسازی کرد. لذا دستیابی به‌روشن صحیح بازسازی آمار گمشده ضروری است. دسترسی به داده‌های کافی و دقیق از یک طرف موجب کوتاه‌تر شدن مدت مطالعات و از طرف دیگر موجب برآورد دقیق‌تر پارامترهای هدف و کاهش هزینه‌های اجرایی و خسارات بعدی ناشی از اجرای طرح‌ها می‌شود (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸۴). حداکثر بارش ۲۴ ساعته یکی از پارامترهای هواشناسی با ماهیتی بسیار تصادفی در مقایسه با سایر داده‌های مرتبط با بارندگی از جمله بارش‌های ماهانه و سالانه است (بارکر و همکاران، ۲۰۰۶). از سوی دیگر رکوردهای این پارامتر هواشناسی در ایستگاه‌های مختلف دارای خلأ آماری است و تکمیل این سری‌های زمانی نیاز به برآورد دقیق داده‌های گم شده دارد. استفاده از بارش‌های حداکثری در برآورد سیلاب و مقادیر رواناب در حوضه‌های کوچک یا فاقد آمار طولانی مدت هیدرومتری همواره مورد توجه بوده است. براساس روابط ارائه شده توسط SCS، از مقدار حداکثر بارش ۲۴ ساعته با دوره‌های بازگشت مختلف، بارش ۶ ساعته برآورد می‌شود. این روابط و استفاده از آنها در محاسبه

هیدروگراف‌ها اهمیت زیادی دارد (یاست، ۲۰۰۶). یکی دیگر از اهمیت‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته برای برآورد زمان تمرکز است، که یکی از این معادلات، معادله اورتون - میدوز است که در آن P 24 میانگین حداکثر بارش ۲۴ ساعته است (علیزاده، ۱۳۸۴). با توجه به فقدان داده‌های مربوط به بارش‌های کوتاه مدت در بسیاری از مناطق دنیا برآورد این قبیل اطلاعات براساس روش‌هایی انجام می‌شود که وابسته به بارندگی حداکثر بارش ۲۴ ساعته است مانند روش SCS (آنکاسویک و همکاران، ۲۰۰۰). در طراحی زهکش‌های سطحی برای پیش‌بینی مقدار رواناب سطحی از حداکثر بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۱۰ سال استفاده می‌شود (شایان‌نژاد، ۱۳۸۷). کاربردهایی که برای حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه با دوره‌های بازگشت مختلف ذکر شد، می‌تواند تا حدودی مبین اهمیت بارش ۲۴ ساعته و همچنین بهترین روش برای بازسازی نواقص این بارش‌ها باشد تا با ضریب اطمینان بیشتر طراحی‌ها صورت گیرد. بررسی منابع داخلی و خارجی نشان می‌دهد علی‌رغم اهمیت حداکثر بارندگی‌های ۲۴ ساعته در این خصوص تحقیقات ویژه‌ای صورت نگرفته است.

سال‌ها اعتقاد بر این بود که با پیشرفت علم و دانش، عدم قطعیت‌ها از بین خواهد رفت. اما در دهه‌های اخیر وجود عدم قطعیت‌ها و تناقض‌ها به‌صورت اجتناب‌ناپذیری به‌عنوان قسمت‌هایی از سیستم طبیعی مدنظر قرار گرفته‌اند. در این زمینه شیوه‌های قدیمی مواجهه با عدم قطعیت‌ها از جمله کاربرد تئوری آمار و احتمالات در بسیاری از موارد موفقیت‌آمیز بوده، اگرچه کاربرد این تئوری‌ها برای مدل‌های پیچیده نیازمند به فرضیه‌های متعدد تئوریک بوده و عملاً کاربرد آنها را غیرقابل استفاده و بسیار مشکل می‌ساخته است. اکثر اوقات تأکید بیش از اندازه بر دقت بیشتر، سبب پیچیدگی مدل‌ها شده تا جائیکه در بعضی موارد، کاربرد آنها برای منظوره‌های عملی امکان‌پذیر نیست (باردسی و همکاران، ۱۹۹۰). اما رگرسیون فازی راهکار دیگری را برای مقابله با عدم قطعیت‌ها ارائه می‌کند. از نظر دانشمندان، رگرسیون فازی به‌عنوان ابزار قابل قبولی در دنیای واقعی علم بوده که در زمینه‌های بسیاری کاربرد دارد (زایمرمان، ۱۹۹۶). این تحقیق با هدف بررسی کارایی رگرسیون فازی در بازسازی آمار گمشده حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه و

استان چهارمحال و بختیاری دارای مساحتی بالغ بر ۱۶۵۳۳ کیلومتر مربع است که حدود ۱ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص می‌دهد. در حدفاصل مختصات جغرافیایی ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی، با بارش سالانه معادل ۷۰۷ میلی‌متر و حجم نزولات جوی سالانه برابر با ۱۱/۵ میلیارد مترمکعب (۱۰٪ کشور) جایگاهی ممتاز و ویژه را در بین حوضه‌های آبخیز غرب کشور به خود اختصاص داده است.



شکل ۱- نقشه استان چهارمحال و بختیاری

مقایسه آن با سایر روش‌های سنتی بازسازی مرسوم نظیر نسبت نرمال، محورهای مختصات، رگرسیون ساده و رگرسیون چند متغیره و تعیین میزان دقت هر یک از این روش‌ها و نهایتاً انتخاب بهترین روش برای بازسازی این داده‌ها در ایستگاه‌های واقع در استان چهارمحال و بختیاری است.

مواد و روش‌ها

می‌رفت بررسی‌های آماری نشان داد که، تمامی داده‌های ایستگاه‌ها از توزیع گامبل پیروی می‌کنند.

$$y = [(4.3t) \log R]^2 + 6 \quad (1)$$

که در آن y حداقل قابل قبول تعداد داده‌ها برای تجزیه و تحلیل، t مقدار استیودنت در سطح اعتماد ۹۰ درصد به‌ازای درجه آزادی $(y-6)$ ، و R نسبت مقدار متغیر در دوره بازگشت ۱۰۰ سال به مقدار آن در دوره بازگشت ۲ سال براساس داده‌های موجود است.

از آنجا که بارش، یک پدیده هیدرولوژیکی و پارامتر اقلیمی است که تابع فشار، رطوبت، دما، توپوگرافی و... بنابراین می‌توان تعیین ایستگاه‌های لازم برای بازسازی حداکثر بارش ۲۴ ساعته را بر مبنای اقلیم و شباهت کلیماتولوژی به‌عنوان یک گزینه مناسب مدنظر قرار داد. بدین منظور منطقه مورد مطالعه به شکل اقلیمی توسط طبقه‌بندی دومارتن ناحیه‌بندی شد و براساس آن چهار اقلیم بسیار مرطوب، نیمه‌مرطوب، مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک در این استان وجود دارد که در شکل ۳ ارائه شده است.

در این تحقیق ایستگاه‌های باران‌سنجی، کلیماتولوژی و سینوپتیک واقع در استان چهارمحال و بختیاری و برخی ایستگاه‌های اطراف مورد بررسی و شناسایی قرار گرفته و داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته ایستگاه‌های مذکور (بدون هیچ‌گونه بازسازی) از مراجع ذیصلاح جمع‌آوری شد و سپس با به‌کار بردن فرمول ماکوس (معادله ۱) تعداد ۳۲ ایستگاه با پایه مشترک آماری ۲۰ ساله (از سال آبی ۶۸-۱۳۶۷ تا ۸۷-۱۳۸۶) انتخاب شد که در جدول ۱ نام و موقعیت و در شکل ۲ نقشه پراکنش این ایستگاه‌ها مشخص شده است. داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته در دوره آماری مورد مطالعه با استفاده از آزمون توالی^۱ یا گردش بررسی شد و تمامی این داده‌ها همگن بودند همچنین آزمون کنترل داده‌های یرت به‌روش گرابس بک^۲ در سطح ۱ درصد انجام شد. از آنجا که مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته از جمله داده‌های حدی^۳ به‌شمار می‌روند، همان‌گونه که انتظار

^۱- Run test

^۲-Grubbs-Beck

^۳- Extreme values

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ۳۲ ایستگاه انتخابی در استان چهارمحال و بختیاری و مرزهای مجاور

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی (mN)	عرض جغرافیایی (mE)	ارتفاع (m)	طول دوره آماری (year)
۱	شهرکرد	۴۸۴۹۱۳	۳۵۷۲۸۸۷	۲۰۴۹	۲۸
۲	کوه‌رنگ	۴۱۷۷۷۶	۳۵۹۱۴۲۵	۲۲۸۵	۲۱
۳	بروجن	۵۲۸۲۵۵	۳۵۳۸۱۴۵	۲۱۹۷	۲۰
۴	بروجن (آب)*	۵۲۶۷۷۲	۳۵۳۶۷۷۶	۲۲۴۵	۲۵
۵	منج	۴۶۵۲۲۱	۳۴۸۸۸۹۹	۱۴۱۶	۳۷
۶	بارز	۴۴۴۶۱۴	۳۴۸۷۰۱۱	۹۷۰	۲۱
۷	سولگان	۵۰۳۰۰۰	۳۴۹۸۰۰۰	۲۱۵۹	۲۲
۸	ارمند	۴۸۰۳۸۲	۳۵۰۰۱۴۹	۱۲۹۵	۲۶
۹	مرغک	۴۴۹۴۳۳	۳۵۰۱۷۶۵	۹۴۹	۲۷
۱۰	لردگان	۴۸۲۵۰۷	۳۴۸۴۰۰۲	۱۵۸۲	۳۸
۱۱	دزک آباد	۴۰۸۹۲۳	۳۵۶۶۷۰۹	۲۲۶۱	۲۲
۱۲	بهشت آباد	۴۵۹۰۰۰	۳۵۳۸۰۰۰	۱۶۸۶	۲۳
۱۳	زرین درخت	۴۹۵۲۵۳	۳۴۸۸۷۱۲	۱۸۰۷	۲۳
۱۴	شهرکرد (آب)	۴۷۱۵۲۱	۳۵۷۰۸۶۰	۲۰۵۸	۲۷
۱۵	آب ترکی	۳۹۹۶۴۸	۳۵۸۱۵۷۹	۱۷۱۲	۲۳
۱۶	آلونی	۵۰۵۹۷۵	۳۴۹۱۳۶۸	۱۸۸۶	۲۱
۱۷	فارسان	۴۵۸۱۲۹	۳۵۶۸۸۳۲	۲۰۸۹	۲۰
۱۸	آورگان (آب)	۴۹۵۲۷۲	۳۵۲۹۳۵۳	۲۴۰۵	۲۰
۱۹	چلگرد	۴۱۸۵۴۰	۳۵۹۰۶۴۷	۲۳۷۲	۴۱
۲۰	مال آقا (آب)	۴۰۸۲۸۱	۳۴۹۴۶۵۸	۱۸۰	۳۴
۲۱	باغ ملک (آب)	۳۹۲۴۲۸	۳۴۹۱۱۱۵	۶۷۵	۳۵
۲۲	گنداب	۳۸۴۳۹۵	۳۴۸۰۱۱۵	۷۴۰	۳۰
۲۳	قلعه تل	۳۹۰۹۴۳	۳۵۰۰۳۶۹	۹۰۰	۲۹
۲۴	ماشین	۳۷۷۹۷۳	۳۴۷۲۷۹۸	۳۸۰	۲۹
۲۵	بادیجان	۴۳۷۷۸۱	۳۶۶۰۷۲۳	۲۳۰۰	۲۵
۲۶	چادگان	۴۶۵۶۵۸	۳۶۲۵۴۸۰	۲۱۰۰	۲۴
۲۷	همگین	۵۴۲۵۴۳	۳۵۳۱۲۸۷	۲۱۵۰	۴۰
۲۸	سینگرد	۴۴۶۹۳۵	۳۶۲۷۴۱۰	۲۱۰۰	۳۵
۲۹	پل زمانخان (آب)	۴۴۳۳۵۷	۳۵۴۶۱۳۵	۱۸۸۰	۴۱
۳۰	پل کله	۵۲۱۹۴۷	۳۵۸۲۹۵۱	۱۷۶۰	۳۰
۳۱	دامنه فریدن	۴۵۲۲۴۴	۳۶۵۳۷۵۳	۲۳۰۰	۳۵
۳۲	سد زاینده رود	۴۷۹۶۹۵	۳۶۱۹۸۹۸	۱۹۹۰	۳۵

* به علت همانندی اسامی ایستگاه‌های آب منطقه‌ای با ایستگاه‌های هواشناسی، در این مقاله هر کجا عبارت (آب) ذکر شده، منظور ایستگاه‌های مربوط به آب منطقه‌ای (وابسته به وزارت نیرو) است.

روش رگرسیون فازی

به صورت تابع عضویت مشخص می‌شود. به طور کلی برای برازش یک معادله رگرسیون خطی فازی سه دسته مدل وجود دارد:

در رگرسیون خطی کلاسیک به ازای هر سری از متغیرهای ورودی، یک مقدار مشخص برای متغیر خروجی محاسبه می‌شود، در حالی که رگرسیون فازی بازه‌ای از مقادیر ممکن را برای متغیر خروجی تخمین می‌زند. توزیع این مقادیر

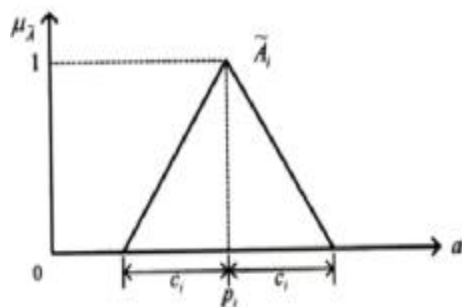
ضرائب فازی است و ورودی و خروجی مشاهده‌ای غیرفازی است (تاناکا و همکاران، ۱۹۸۲). در این تحقیق از این مدل استفاده شده است. این مدل با معادله ۲ بیان می‌شود.

$$\tilde{y} = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 x_1 + \tilde{A}_2 x_2 + \tilde{A}_3 x_3 + \dots + \tilde{A}_n x_n \quad (2)$$

ضرائب معادله فوق یعنی $\tilde{A}_0, \tilde{A}_1, \dots, \tilde{A}_n$ اعداد فازی و متغیرهای ورودی مشاهده‌ای یعنی x_1 و x_2 و x_3 و... و x_n اعداد معمولی هستند برای هر n متغیر یک عدد فازی مانند \tilde{y} به‌عنوان خروجی محاسبه‌ای به‌دست می‌آید. فرض کنید مقدار m سطر داده مشاهده‌ای وجود دارد و در هر سطر n متغیر ورودی (x_{ij}) و یک متغیر خروجی می‌باشد. همچنین فرض کنید عدد فازی به‌صورت مثلثی متقارن به شکل زیر باشد (در این شکل C_i پهنای عدد و P_i مرکز عدد فازی). در آن صورت می‌توان تابع عضویت را به‌صورت معادله ۳ نوشت.

$$\mu_{\tilde{A}}(a_i) = \begin{cases} 1 - \frac{|p_i - a_i|}{c_i} & p_i - c_i \leq a_i \leq p_i + c_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

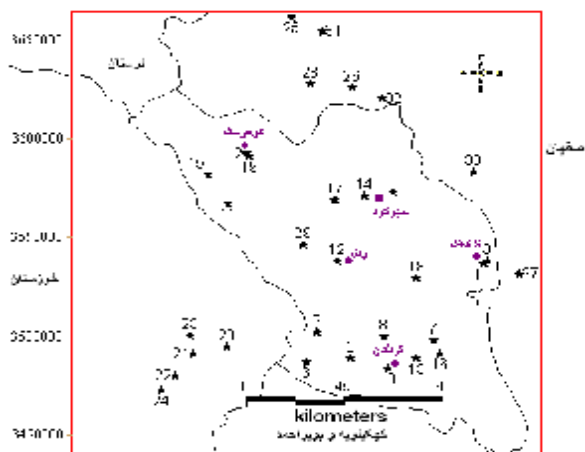
عدد فازی \tilde{A}_i در شکل ۴ برای نشان دادن مقدار تقریباً برابر P_i است و C_i نشانگر میزان فازی بودن (ابهام) آن است که این مفهوم را می‌توان به‌شکل $\tilde{A}_i = (p_i, c_i)$ نمایش داد بنابراین معادله رگرسیون فازی به‌صورت معادله ۴ است.



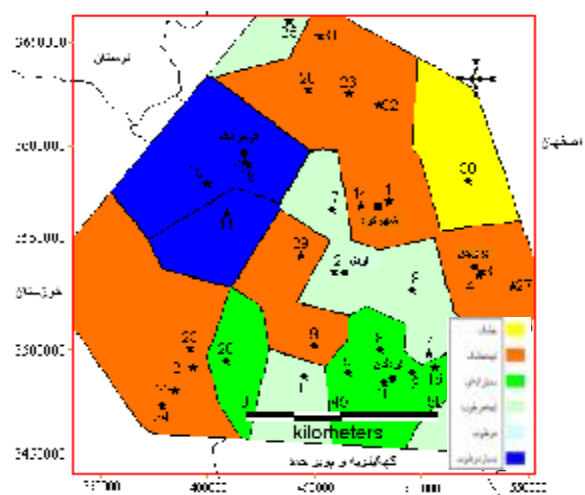
شکل ۴- تابع عضویت ضرایب فازی

$$\tilde{y} = (p_0, c_0) + (p_1, c_1)x_1 + (p_2, c_2)x_2 + \dots + (p_n, c_n)x_n \quad (4)$$

تابع عضویت متغیر فازی خروجی یعنی \tilde{y} ، با توجه به فازی بودن ضرایب معادله ۴ به‌صورت معادله ۵ ارائه می‌شود.



شکل ۲- نقشه پراکنش و موقعیت ۳۲ ایستگاه انتخابی

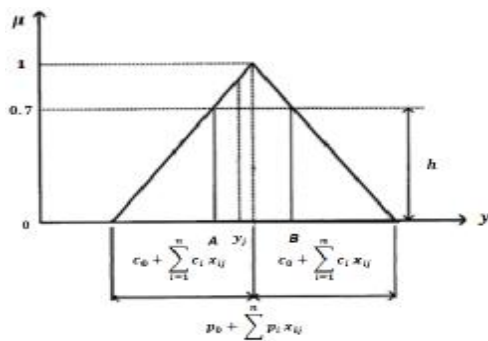


شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی اقلیمی استان چهارمحال و بختیاری و مرزهای مجاور آن

- ۱- مدل‌های رگرسیون امکانی فازی
- ۲- مدل‌های رگرسیون کمترین مربعات
- ۳- مدل‌های رگرسیون مبتنی بر تحلیل بازه‌ای^۳ (ونگ و همکاران، ۲۰۰۰).

مدل‌های رگرسیون امکانی فازی اولین‌بار توسط تاناکا و همکاران (۱۹۸۲) ارائه شد. این مدل‌ها بهترین معادله رگرسیون را با کمینه کردن میزان فازی بودن به‌دست می‌دهند. این کار با کمینه کردن مجموع کل پهنای توابع عضویت ضرایب فازی معادله رگرسیون انجام می‌شود. یکی از مدل‌های رگرسیون فازی امکانی مدلی است که در آن

1-Fuzzy possibilistic regression
2- Fuzzy least squares regression
3- Interval regression



شکل ۵- تابع عضویت خروجی فازی

قیدهای مسئله با جایگذاری معادله ۵ در نامعادله ۶ به دست آمده است. بنابراین برای حل یک مسئله رگرسیون خطی با ضرائب فازی و داده‌های غیر فازی، کافی است که یک مدل برنامه‌ریزی خطی براساس معادلات ۷ تا ۹ حل شود که این کار توسط نسخه ۱۱ نرم‌افزار Lingo صورت پذیرفت. تعداد متغیرهای ورودی بستگی به تعداد ایستگاه‌های موجود در هر اقلیم دارد.

ارزیابی مدل:

ارزیابی روش‌های مختلف بازسازی توسط سه آماره ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، درصد مدول میانگین انحراف نسبی (P %) و ضریب تعیین (R^2) صورت گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_i - M_{Pre})^2}{N}} \quad (10)$$

$$P\% = \frac{100}{N} \sum \frac{ABS(M_i - M_{Pre})}{M_i} \quad (11)$$

که در آنها M_i مقدار مشاهده‌ای، M_{Pre} مقدار پیش‌بینی شده، N تعداد مشاهدات است.

نتایج و بحث

در این بخش نتایج حاصل از روش‌های مختلف بازسازی اعمال شده در هریک از اقلیم‌های موجود در استان چهارمحال و بختیاری در جدول ۲ ارائه شده است.

در شکل‌های ۶ (الف تا د) مقایسه نتایج پیش‌بینی شده توسط بهترین مدل رگرسیون فازی در مقابل داده‌های مشاهده‌ای حداکثر بارش ۲۴ ساعته در هر اقلیم ارائه شده است.

$$\mu_{\tilde{y}}(y) = \begin{cases} 1 - \frac{y - p_0 - \sum_{i=1}^n p_i x_i}{c_0 + \sum_{i=1}^n c_i |x_i|} & x_i \neq 0 \\ 1 & x_i = 0, y = 0 \\ 0 & x_i = 0, y \neq 0 \end{cases} \quad (5)$$

برای حل مسئله رگرسیون خطی فازی، الگوریتم‌های مختلفی پیشنهاد شده است که یکی از آن‌ها تبدیل مسئله رگرسیون خطی فازی به یک مسئله برنامه‌ریزی خطی است. در این حالت که داده‌ها، غیر فازی هستند، هدف مدل رگرسیون، تعیین مقادیر بهینه \tilde{A} است به گونه‌ای که درجه عضویت متغیر خروجی فازی برای تمام داده‌ها از یک مقدار معینی مانند h که توسط کاربر تعیین می‌شود بزرگتر باشد. به بیان دیگر برای m سطر داده، ($j=1,2,3,4,\dots$) باید نامساوی زیر صادق باشد:

$$\mu_{\tilde{y}_j}(y_j) \geq h \quad (6)$$

با افزایش مقدار h میزان فازی بودن خروجی‌ها نیز افزایش می‌یابد. مقدار h را می‌توان به عنوان سطح اعتبار مدل تعبیر کرد. رابطه ۶ بیان می‌کند که خروجی فازی باید بین دو مقدار A و B که در شکل ۵ مشخص شده‌اند قرار بگیرد. با توجه به رابطه ۵ مرکز و پهنای تابع عضویت خروجی به ترتیب برابر با $c_0 + \sum_{i=1}^n c_i x_i$ و $p_0 + \sum_{i=1}^n p_i x_i$ در نظر گرفته می‌شود (موسکواپتس و همکاران، ۱۹۹۳).

در روش رگرسیون فازی امکانی ضرایب به گونه‌ای تعیین می‌شود که پهنای خروجی فازی برای تمام مجموعه‌های داده‌ها حداقل شود. بنابراین با توجه به مطالب مذکور تابع هدف و قیدهای مسئله برنامه‌ریزی خطی را می‌توان به صورت معادلات ۷ تا ۹ ارائه کرد (شکل ۵).

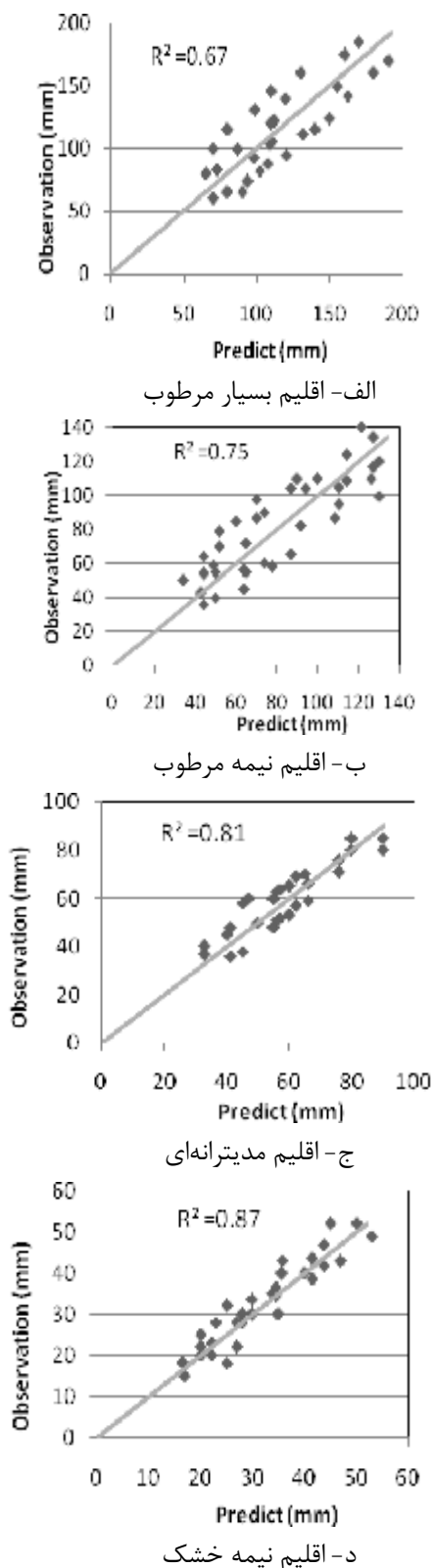
تابع هدف:

$$\text{Minimize : } mc_0 + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n c_i |x_{ij}| \quad (7)$$

قیدها:

$$p_0 + \sum p_i x_{ij} - (1-h)[c_0 + \sum c_i x_{ij}] \leq y_j \quad (8)$$

$$p_0 + \sum p_i x_i + (1-h)[c_0 + \sum c_i x_{ij}] \geq y_j \quad (9)$$



شکل ۶- مقایسه مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه بر آورد شده توسط روش رگرسیون فازی با اندازه‌گیری شده

جدول ۲- ارزیابی روش‌های مختلف بازسازی حداکثر بارش ۲۴

ساعته در هر اقلیم			روش بازسازی	اقلیم
R ²	P %	RMSE (mm)	آماره	
۰/۳۲	۲۳/۴	۲۹/۲	نسبت نرمال	بسیار مرطوب
۰/۳۳	۳۲/۶	۳۱/۶	محورهای مختصات	
۰/۴۷	۲۰/۵	۲۵/۷	رگرسیون ساده	
۰/۴۲	۲۴/۸	۲۸/۶	رگرسیون چند متغیره	
۰/۶۷	۱۸/۶	۲۳/۸	رگرسیون فازی	نیمه مرطوب
۰/۵۱	۲۸	۱۹/۹	نسبت نرمال	
۰/۵۶	۲۵/۱	۱۹/۵	محورهای مختصات	
۰/۵۱	۲۲/۶	۱۷/۲	رگرسیون ساده	
۰/۶۹	۲۲/۶	۱۶/۳	رگرسیون چند متغیره	مدیترانه‌ای
۰/۷۵	۱۹/۳	۱۵/۷	رگرسیون فازی	
۰/۴۷	۱۹/۵	۱۴/۸	نسبت نرمال	
۰/۵۵	۱۷/۹	۱۴/۲	محورهای مختصات	
۰/۴۷	۱۸/۹	۱۴/۵	رگرسیون ساده	نیمه خشک
۰/۴۸	۲۲/۴	۱۵/۵	رگرسیون چند متغیره	
۰/۸۱	۱۶/۸	۱۲/۸	رگرسیون فازی	
۰/۶۵	۲۲/۴	۱۰/۸	نسبت نرمال	
۰/۶۵	۱۹/۷	۱۱	محورهای مختصات	
۰/۶۲	۲۰/۱	۱۰/۳	رگرسیون ساده	
۰/۷۴	۱۷/۹	۹	رگرسیون چند متغیره	
۰/۸۷	۱۶/۱	۷/۵	رگرسیون فازی	

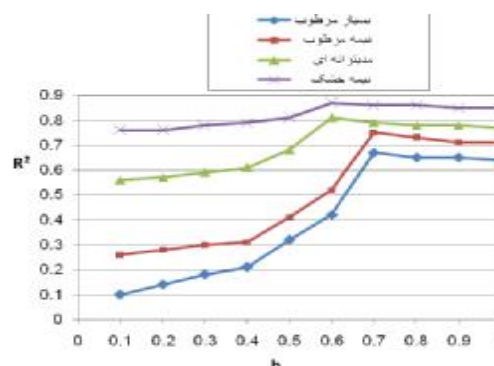
تحلیل حساسیت:

برای ارزیابی مدل‌های حاصل از رگرسیون فازی، تجزیه و تحلیل حساسیت بر پایه سطوح اعتبار h و محاسبه ضریب تعیین (R^2) مابین داده‌های پیش‌بینی شده با مدل با داده‌های مشاهده‌ای در هر اقلیم صورت گرفت که در شکل ۷ نشان داده شده است. در اقلیم‌های بسیار مرطوب و نیمه مرطوب با مقدار $h = 0.7$ و در اقلیم‌های مدیترانه‌ای و نیمه خشک با $h = 0.6$ بهترین مدل تشکیل شده است. با توجه به شکل ۷ مشخص است که شیب تغییرات h در مقابل R^2 از اقلیم بسیار مرطوب تا اقلیم نیمه خشک روند نزولی دارد و علت زیاد بودن این شیب در اقلیم بسیار مرطوب نسبت به سایر اقلیم‌ها، به دلیل قرار گرفتن این اقلیم در مناطق کوهستانی استان چهارمحال و بختیاری و در نتیجه شرایط خاص مناطق کوهستانی از قبیل توپوگرافی و تغییرات دمایی، فشار و رطوبتی شدید آن است که باعث تغییرات شدید در مقدار باران در زمان‌های مختلف و نهایتاً باعث پیچیده‌تر و مشکل‌تر شدن کار بازسازی داده‌ها در این اقلیم و افزایش این شیب می‌شود.

برخورد با داده‌های تصادفی و دارای عدم قطعیت می‌توان روش رگرسیون فازی را به دلیل سهولت کاربرد به‌عنوان روشی کاربردی پیشنهاد کرد.

منابع

- ۱- شایان‌نژاد م. ۱۳۸۷. اصول طراحی سیستم‌های زهکشی. چاپ اول. انتشارات دانشگاه شهرکرد. ۲۵۶ صفحه.
- ۲- علیزاده ا. ۱۳۸۴. اصول هیدرولوژی کاربردی. جلد اول. انتشارات آستان قدس رضوی. ۸۱۵ صفحه.
- ۳- کارآموز م. عراقی‌نژاد ش. ۱۳۸۴. هیدرولوژی پیشرفته. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. ۴۰۲ صفحه.
- ۴- مهدوی م. ۱۳۸۱. هیدرولوژی کاربردی. جلد اول. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۶۴ صفحه.
- 5- Bardossy A. Bogardi I. and Duckstein L. 1990. Fuzzy regression in hydrology. *Water Resources Research* 26(2):1497-1508.
- 6- Barker B. Talor G. and Wallilis G. 2006. Regional precipitation frequency analysis and spatial mapping of precipitation for 24-hour and 2-hour duration in Washington. *Journal of Climatology* 38(2):1871-1884.
- 7- Moskowitz H. and Kim K. 1993. On assessing the H value in fuzzy linear regression. *Fuzzy Set System* 58(2):303-327.
- 8- Saraless N. and Dongseok C. 2007. Maximum daily rainfall in South Korea. *Journal Earth System Science* 116(1):311-321.
- 9- Tanaka H. Uejima S. and Asai K. 1982. Linear regression analysis with fuzzy model. *IEEE trans. Systems Man Cybernetic* 12(1):903-907.
- 10- Unkasievic M. and Radinovic D. 2000. Statistical analysis of daily maximum and monthly precipitation at Belgrade. *Theoretical and Applied Climatology* 66(2):241-250.
- 11- Wang H.F. and Tsaur C. 2000. Insight of fuzzy regression model. *Fuzzy Set System* 12(1):355-369.
- 12- Yuste L.d. 2006. Maximum rainfall intensity analysis using l-moments in Spain. The 7 th international Conference on Hydro science and Engineering. Philadelphia Drexel University. 341-352.
- 13- Zimmermann H.J. 1996. Fuzzy set theory and its applications. Kluwer Academic Pub Boston. 512 pp.



شکل ۷- تحلیل حساسیت در هر اقلیم

نتیجه‌گیری

حداکثر بارش ۲۴ ساعته از جمله داده‌های با اهمیت هواشناسی در مطالعات و تصمیم‌گیری‌های هیدرولوژیک به‌شمار می‌رود. به‌علت حدی بودن داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه و اینکه برخلاف داده‌های بارش سالانه و ماهانه، دارای تغییرات بسیار شدید مکانی و زمانی هستند بازسازی آنها با استفاده از روش‌های رایج نتایج مناسبی به همراه ندارد. با توجه به خصوصیات مجموعه‌های فازی در مقابل مجموعه‌های کلاسیک از جمله: عدم وجود مرز مشخصی برای اعداد و تعیین میزان تعلق هر عدد به یک مجموعه با تابع عضویت و تطابق بیشتر با طبیعت واقعی حوادث و امکان توصیف کامل علوم نادقیق و به‌طور کلی عدم قطعیت‌ها، یک مدل فازی دقت بسیار خوبی از برآورد پارامترهای طبیعی که رفتارهای پیچیده دارند به‌دست می‌دهد. با توجه به قابلیت‌های تکنیک‌های فازی که روش‌های سنتی فاقد آنها هستند، برای تخمین و بازسازی داده‌های حدی با ماهیت پیچیده، نظیر مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه که روش‌های سنتی بازسازی نمی‌توانند برآورد قابل قبولی ارائه دهند از تکنیک رگرسیون فازی استفاده کرد. بر این اساس می‌توان انتظار داشت که روش رگرسیون فازی در مورد سایر داده‌های حدی هیدرولوژیک نظیر حداکثر سیلاب سالانه که ضریب تغییرات آن کمتر از داده‌های مورد استفاده در این تحقیق است کاربرد کارآمدتری از روش‌های موجود بازسازی داشته باشد. بدیهی است تأیید این نکته نیاز به تحقیق دارد. در مجموع با مقایسه رگرسیون فازی با سایر روش‌های جدید در زمینه