

درونیابی بارش روزانه حوضه آبریز دشت مشهد

نفسیه سیدنژادگل ختمی^{۱*}، سیدحسین ثنائی نژاد^۲، بیژن قهرمان^۳، حجت رضائی پزند^۴

۱- کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی، n.seyyednnejad@yahoo.com

۲ و ۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۴- مربی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد،

تاریخ وصول مقاله: ۹۱/۸/۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۷/۳

چکیده

تخمین روزانه بارش در ایستگاه ها یا نقاط خاص یک ناحیه نیاز اساسی برای پژوهش های آب و هواشناسی است. فاصله، تنها وزن روش کلاسیک درونیابی فاصله معکوس (*IDW*) است. اضافه کردن وزن ارتفاع به آن منجر به روش اصلاحی *MIDW* می شود. چیدمان دو وزن فوق به دو صورت قابل انجام است. هدف این مقاله بررسی تاثیر دو چیدمان وزن های ارتفاع و فاصله در *MIDW* و با تلفیق عملگرهای فازی (بیشینه، کمینه، جمع، ضرب و مجذور مربعات) و الگوریتم ژنتیک است (*GMIDW-F*). عملگرهای فازی برای یکپارچه سازی و الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی وزن ها است. تحلیل ها روی ۲۱۵ بارش روزانه مربوط به ۴۹ ایستگاه باران سنج حوضه آبریز دشت مشهد و اسنجی شد. خطای درونیابی بارش روزانه با *GMIDW-F* به صورت منطقه ای تحلیل شد. عملگر کمینه بهترین (سهم ۵۷٪) و سپس ضرب (سهم ۳۱٪) در بهینه سازی دارد. سهم سه عملگر دیگر بیشینه (۷٪)، جمع (۴٪) و مجذور مربعات (۱٪) است. تابع *GMIDW-F* بهینه ۶۶٪ از موارد با چیدمان معکوس ارتفاع و فاصله و ۳۴٪ از موارد با نسبت ارتفاع به فاصله حاصل شد. به منظور رفتارشناسی بارش، اطلاعات براساس شدت بارش رده بندی شد (حداقل یک بارش بین ۱۰-۵، ۲۰-۱۰، ... و بیش از ۵۰ میلی متر تفکیک شد) و مشخص شد که رده بندی تاثیر در انتخاب عملگرهای فازی ندارد. تعداد حالت هایی که تاثیر فاصله صفر باشد، یک مورد و ۱۷ مورد تاثیر ارتفاع صفر بود. لذا وجود حداقل یک کدام از آنها در معادله ضرورت دارد. استفاده از چیدمان ها و عملگرهای مختلف فازی امکان رسیدن به پاسخ بهتر را فراهم می کند. پهنه بندی بارش (۱۳۸۸/۱/۲۲) با دو روش *GMIDW-F* و *IDW* مقایسه نموداری شد. آماره ی خطا (*RSAE*) به ترتیب ۲۱۳ و ۲۵۲ میلی متر است. روش *IDW* بارش صفر را حداقل ۷ میلی متر (فرا برآورد) و در یک نوار افقی برآورد کرد. حداقل برآورد روش *GMIDW-F*: ۱/۵ میلی متر و نقاط اطراف نیمساز ناحیه اول قرار گرفتند که برآورد بهتری توسط این روش است. پهنه بندی روش *GMIDW-F* نیز رفتار مناسب تری ارائه کرد.

واژگان کلیدی: درونیابی منطقه ای، *MIDW*، نظریه فازی، الگوریتم ژنتیک، مشهد.

مقدمه

برآورد بارش روزانه (ماهانه یا سالانه) در نقاط فاقد آمار و نیز اطلاع از توزیع مکانی آن در پروژه‌ها و تحقیقات مختلف مورد نیاز است. این کار اغلب با تعیین معادلات درونیاب از طریق وزن‌دهی به ایستگاه‌های منطقه انجام می‌شود. روش‌های کلاسیک مانند میانگین حسابی، تیسن، گرادیان، فاصله معکوس و خطوط هم‌باران در آب و هواشناسی از معمول‌ترین این روش‌ها است (Dingman, 2002, Horton, 1923, Singh and Birsoy, 1975, Johansson, 2000). این روش‌ها معمولاً توأم با خطاست. به همین دلیل روش‌های مختلفی برای بررسی و کاهش خطای آنها معرفی شده‌اند (Dingman, 2002). تلاش‌های جدیدی نیز برای درونیابی این پدیده در مقیاس‌های مختلف زمانی انجام شده است. می‌توان به روش‌های زمین‌آماری (کریجینگ، کو کریجینگ، ...)، شبکه‌عصبی، اجزای محدود، فازی و فازی کریجینگ (Goovaerts, 2000; Boer et al, Philips et al, 2001; 1992) رحیمی بندرآبادی و ثقفیان، ۱۳۸۶؛ Hutchinson and Walley, 1972) اشاره کرد. رحیمی بندرآبادی و ثقفیان (۱۳۸۶) توزیع مکانی بارندگی سالانه را با نظریه مجموعه‌های فازی برآورد نمودند. آنها قابلیت روش فازی کریجینگ^۱ را ارزیابی و با روش‌های کریجینگ معمولی^۲، کوکریجینگ^۳ و کمانک‌های هموار^۴ مقایسه کردند. نتایج آنها حاکی از برتری روش فازی-کریجینگ است. آنها داده‌های بارندگی ۱۲۰ ایستگاه (دوره ۳۰ ساله) را با روش تحلیل خوشه‌ای به واحدهای همگن تقسیم و به کار گرفتند. منطقه مورد مطالعه آنها حوضه مرکزی، قسمت‌هایی از حوضه آبریز شرقی و جنوب شرق ایران است.

چن و لی (Chen and Li, 2004) روش پیش‌بینی بارش مساحتی را بر اساس شبکه عصبی بهینه شده فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی ارائه کردند. نمونه انتخابی آنها یک منطقه با تراکم اندک ایستگاهی است. ۲۴ رگبار مربوط به ۹ ایستگاه واقع در منطقه لونگ فن شان (ایالت هیلونجیانگ چین به مساحت ۱۵۸۰ کیلومتر مربع) در دوره آماری ۱۹۹۵-۱۹۸۴ انتخاب و تحلیل شدند. نتایج نشان داد که این الگو کارایی و دقت بالایی را در این منطقه کم تراکم دارد. ادب و همکاران (۱۳۸۷) روش‌های درونیابی کریجینگ و رگرسیون خطی برپایه DEM را برای درونیابی بارش سالانه استان خراسان رضوی مقایسه کردند. آنها میانگین بارش ۳۳ ساله مربوط به ۲۸ ایستگاه باران سنج استان خراسان رضوی را به کار بردند. آزمون آماری T زوجی و ویلکاکسون رتبه‌ای نشان دهنده عدم تفاوت بین میانگین و میانه روش کریجینگ و رگرسیون الگوهای نمایی و سینوسی در سطح معناداری ۵٪ با بارش واقعی است. نتایج تحقیقات آنها حاکی از برتری مقادیر درونیابی بارش سالانه استان خراسان رضوی با روش رگرسیون خطی بر پایه DEM است. مهرشاهی و خسروی (۱۳۸۹) روش‌های درونیابی کریجینگ و رگرسیون خطی بر پایه مدل ارتفاعی رقومی را برای درونیابی بارش سالانه استان اصفهان استفاده و ارزیابی کردند. الگوهای برازش داده شده در روش کریجینگ عبارت‌اند از: الگوهای کروی^۵، نمایی^۶، نرمال^۷، دایره‌ای^۸، درجه دو منطقی^۹، کروی چهاروجهی^{۱۰}، کروی پنج وجهی^{۱۱} است که با دو شیوه کریجینگ ساده^{۱۲} و کریجینگ معمولی^{۱۳} صورت گرفته است. شانزده الگوی رگرسیونی مقایسه شده است. نتایج آنها بیانگر برتری تابع رگرسیونی کسپونسی برای درونیابی بارش در استان اصفهان بود.

1. Fuzzy kriging
3. Cokriging
5. Spherical Model
7. Gaussian Model
9. Rational Quadratic
11. Pentaspherical
13. Ordinary kriging

2. Ordinary kriging
4. Thin Plate Smoothing Splines
6. Exponential Model
8. Circular Model
10. Tetraspherical
12. Simple kriging

زیاد است. علاوه بر این، با فرض وجود رابطه رگرسیونی مناسب در برخی روزها بین بارش روزانه و ارتفاع؛ ما در صدد استفاده از روش‌هایی هستیم که متغیرهای کمکی مثل ارتفاع را لحاظ کند اما نیازمند رابطه رگرسیونی مناسب با متغیر اصلی (مثل کوکریجینگ) و یا بررسی پیش‌فرضهای پیچیده نظری (مانند انواع روش‌های کریجینگ) نباشد. همچنین با توجه به اینکه معمولاً نمونه آماری مورد استفاده (بارش روزانه) در پژوهش‌ها بسیار زیاد است استفاده از روش‌های زمین‌آماری به علت صرف وقت زیاد، عملاً امکان‌پذیر نیست. به عنوان مثال ورودی برخی مدل‌های عددی؛ بارش مساحتی چندسال بارش روزانه است. این عوامل محدود کننده سبب شده است که محققین روش‌هایی را پیشنهاد دهند که بتواند در مناطق تراکم کم ایستگاهی نیز به کار روند. آنها درصدد ارتقا روش‌های قدیمی برآمدند. روش IDW یکی از این روش‌هاست که فقط فاصله ایستگاه‌ها را به عنوان پارامتر موثر در نظر می‌گیرد. محققین مختلف عوامل دیگر مانند ارتفاع و شعاع تاثیر را نیز به IDW اضافه کردند (LO, 1992; Chang et al, 2005; Chen, and Liu, 2012). روش MIDW نسبت فاصله به ارتفاع را با توان مساوی در IDW در نظر می‌گیرد (LO, 1992). نسخه پیشرفته MIDW توسط چانگ و همکاران (Chang et al, 2005) ارائه شده است. آنها عامل ارتفاع را به صورت وزن به روش فاصله معکوس با توان‌های مختلف اضافه کردند. سپس خطاهای معادله را برای درونیابی داده‌های مفقود بارش روزانه ۶ ایستگاه (شمال تایوان) به صورت نقطه‌ای برای هر ایستگاه و به طور جداگانه تحلیل کردند. آنها حاصلضرب دو عامل ارتفاع و فاصله را با توان‌های مختلف m و n (پارامترها بین ۱ و ۱۰) و به صورت معکوس در معادله به کار بردند. سپس وزن تاثیر ارتفاع و فاصله را به صورت توابع عضویت فازی در نظر گرفته و پارامترها را با الگوریتم ژنتیک بهینه کردند. آنها تاثیر عملگرهای فازی جمع، ضرب، بیشینه، کمینه و مجذور مربعات را بر روی یکپارچه‌سازی وزن‌ها بررسی و نتایج

شمس نیا و پیرمادیان (۱۳۸۷) درونیابی بارش سالیانه را با روش کریجینگ انجام و با فاصله معکوس وزنی و TPSS مقایسه کردند. داده‌های باران سنجی ۹۰ ایستگاه در داخل استان فارس و ۳۵ ایستگاه از استان‌های مجاور با دوره آماری ۳۰ ساله (۵۲-۱۳۵۱ تا ۸۱-۱۳۸۰) استفاده شده است. نتایج تحقیقات آنها بیانگر برتری روش کریجینگ به TPSS و IDW است. تابع درونیابی موضعی نیز درصد خطای کمتری نسبت به شبیه وزن دهی معکوس فاصله داشته و هموارسازی و درونیابی را با دقتی بیشتر انجام می‌دهد و با افزایش توان تابع، نقش فاصله در درونیابی کم شده و پهنه‌بندی دقیق‌تر می‌تواند صورت گیرد. تحلیل بارش‌های روزانه در ایران کمتر مورد توجه قرار گرفته است. می‌توان در این مورد به تحقیق عساکره (۱۳۸۷) اشاره کرد. وی روش کریجینگ را برای درونیابی بارش روزانه در تاریخ ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ کشور به کار برد. وی ۱۱ الگو را با سه فرض (نبود روند، وجود روند خطی و درجه دو) بر نیمه تغییرنا برآزش داد. تعداد ایستگاه‌های به کار رفته، ۶۵۴ ایستگاه است. نتایج تحقیقات او نشان داد که الگوی خطی بهترین مدل برای درونیابی بارش و در درجه بعد الگوی نمایی مناسب است.

دقت روش‌های زمین آماری به تعداد ایستگاه‌های منطقه یا همبستگی قوی بین آنها وابسته است (Rossiter, 2007). این روشها در نواحی کم تراکم ایستگاهی توصیه نمی‌شوند. مثلاً کاربرد روش انواع کیجینگ در نواحی با حجم نمونه کمتر از ۲۵۰ توصیه نمی‌شود (Rossiter, 2007). روش‌هایی مانند کوکریجینگ نیز با استفاده از متغیرهای کمکی در مناطق کم تراکم ایستگاهی توصیه شده است. معمولاً متغیر کمکی ارتفاع در درونیابی بارش ماهانه و سالانه به کار گرفته می‌شود. شرط استفاده از متغیر کمکی وجود ضریب همبستگی بیشتر از ۵۰٪ با متغیر اصلی (در اینجا بارش روزانه) است (نادی و همکاران، ۱۳۸۹). اما بارش روزانه و ارتفاع در منطقه وسیع (با نوسانات نامنظم ارتفاع) رابطه خوبی ندارند. زیرا تغییرپذیری بارش روزانه

جغرافیایی ۰' ۳۶° تا ۵' ۳۷° شمالی واقع در شمال شرق ایران به مساحت ۹۹۰۹/۴ کیلومترمربع است. این حوضه از دو بخش دشت و کوهستان به ترتیب به مساحت ۳۳۵۱ و ۶۵۵۸ کیلومترمربع تشکیل شده است. این منطقه از شمال و جنوب با دو رشته کوه هزار مسجد و بینالود محصور شده است. تعداد باران سنج‌های این حوضه آبریز و مجاور آن ۴۹ و با طول دوره آماری مشترک ۱۶ سال (۱۹۹۳-۲۰۰۹) است. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌ها و شکل ۱ موقعیت حوضه و ایستگاه‌های باران سنج را نشان می‌دهد. این باران‌سنج‌ها زیر نظر وزارت نیرو اداره می‌شود. داده‌های بارش روزانه این ایستگاه‌ها برای الگوسازی در این تحقیق استفاده شده است. منطقه مورد مطالعه خشک و نیمه خشک است (خام‌چین و رضائی‌پژند، ۱۳۸۸). بنابراین بسیاری از روزهای سال فاقد بارش است. هم‌چنین همزمانی بارش در کلیه ایستگاه‌ها در تعداد اندکی از روزهای سال رخ می‌دهد. به همین دلیل ۲۱۵ روز از بین سال‌های مشترک انتخاب و در این مقاله تحلیل شدند. سعی شده است که حداقل ۵۰٪ از ایستگاه‌های مذکور دارای بارش روزانه همزمان باشند و نتیجه انتخاب ۲۱۵ روز بوده است. نرم افزارهای مورد استفاده در این تحقیق MATLAB 2009 و Arc GIS 9.3 است.

فاصله معکوس پیراسته براساس ریاضیات فازی

روش IDW به عنوان یک روش درونیابی است که خطای برآورد آن در حد متوسط است (Dingman, 2002). این روش فقط معکوس فاصله را به عنوان پارامتر موثر در معادله درونیاب بارش در نظر می‌گیرد. روش فاصله معکوس پیراسته (MIDW) به صورت نسبت فاصله به اختلاف ارتفاع با توان مساوی تعریف می‌شود. این روش برای مناطق کوهستانی مناسب است (LO, 1992). نسخه پیشرفته‌تر آن (رابطه ۸) در نظر گرفتن توان‌های نامساوی (m, n) برای نسبت فاصله و اختلاف ارتفاع است (Chang et al, 2005). این نسخه با نظریه فازی تلفیق و پارامترها با الگوریتم ژنتیک بهینه می‌شوند (Chang et al, 2005). وزن ارتفاع و فاصله (رابطه ۱ و ۲) به صورت فازی (روابط ۳ تا

دقیق‌تری به دست آوردند. تحقیقات آنها نشان داد که خطای برآورد این روش از روش‌های معمول دیگر مانند تیسن و میانگین ریاضی کمتر است. عملگرهای بهینه در تابع درونیاب نیز به ترتیب عملگر کمینه و سپس عملگر ضرب به دست آمد. امکان در نظر گرفتن چیدمان دیگری نیز از فاصله و اختلاف ارتفاع در MIDW وجود دارد که آنها در نظر نگرفتند.

بارش‌ها در مناطق دور از منبع رطوبتی جبهه‌ای یا فرارفتی هستند و نقش ارتفاع اغلب مستقیم است، بنابراین می‌توان نقش ارتفاع را در این مناطق به صورت وزن مستقیم در بارش‌ها در نظر گرفت (Medina et al, 2003). هدف و نوآوری مقاله حاضر بررسی چیدمان قبلی (Chang et al, 2005) و چیدمان جدید ارتفاع و فاصله در MIDW و تحلیل خطاهای منطقه‌ای این معادله است. چیدمان جدید نقش مستقیم را برای ارتفاع و نقش معکوس را برای فاصله (نسبت ارتفاع به فاصله) در نظر می‌گیرد. افزون بر این تاثیر عملگرهای فازی در یک پارچه‌سازی وزن‌های MIDW و الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی این معادله درونیاب نیز در این مقاله در نظر گرفته شده است. حوضه آبریز دشت مشهد به مساحت ۹۹۰۹/۴ کیلومترمربع با ۴۹ ایستگاه باران سنج (طول دوره آماری ۱۶ سال) مطالعه موردی این پژوهش است.

بیکربندی این مقاله به شرح زیر است. ۱- ابتدا منطقه مورد مطالعه، داده‌ها، بنیان ریاضی روش و الگوریتم ژنتیک در بخش مواد و روش‌ها به ترتیب ارائه شده‌اند. ۲- تحلیل نتایج و استنباط‌های لازم در بخش نتایج و بحث بررسی شده است. ۳- نتیجه‌گیری تحلیل‌ها آخرین بخش این مقاله است. مراجع مورد استفاده در انتهای مقاله ارائه شده‌اند.

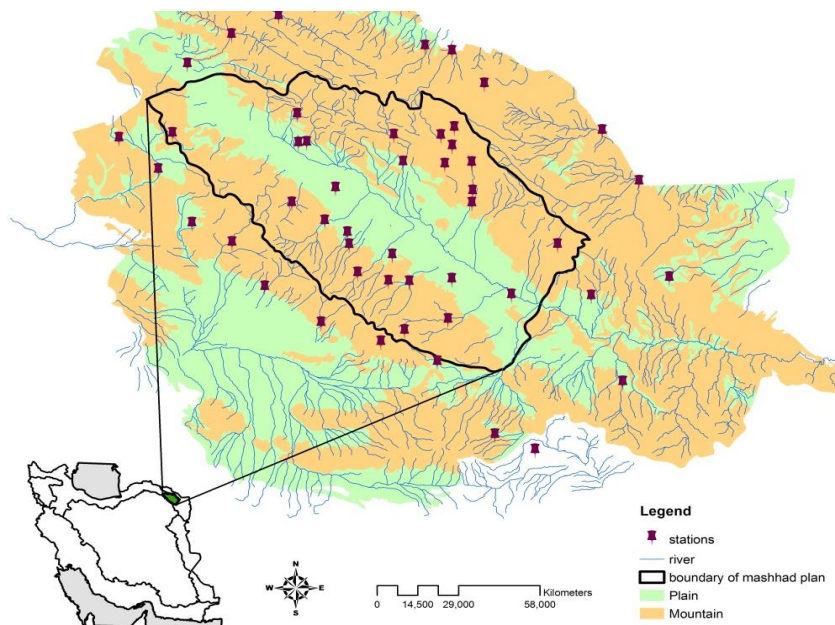
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

منطقه مورد مطالعه حوضه آبریز دشت مشهد با طول جغرافیایی ۲۰' ۵۸° تا ۸' ۶۰° درجه شرقی و عرض

تابع می‌توان باهم ترکیب کرد. این کار معمولاً با عملگرهای فازی جمع، کمینه، بیشینه، ضرب و مجموع مربعات انجام می‌شود (وحیدیان و طارقیان، ۱۳۸۱، شعبانی‌نیا و سعیدنیا، ۱۳۸۸، Chang et al, 2005). عملگرهای فازی فوق این دو وزن را به صورت یکپارچه در می‌آورند. ساختار ریاضی عملگرهای فازی کمینه، بیشینه، جمع، ضرب و مجذور مربعات در روابط ۳ تا ۷ آمده است.

(۷) و به عنوان وزن‌های بارش هر ایستگاه در نظر گرفته می‌شوند. مجموعه مرجع این دو وزن به صورت $U = \{d_1, \dots, d_i, \dots, d_N\}$ (مجموعه مرجع فاصله افقی) و $V = \{h_1, \dots, h_i, \dots, h_N\}$ (مجموعه مرجع ارتفاعی) است. وزن فاصله و ارتفاع ایستگاه‌ها به صورت توابع عضویت فازی $(\mu_{ph}$ و $\mu_{pd})$ مطابق روابط (۱) و (۲) تعریف می‌شوند. $\mu_{pd}(d) = d^{-m}$ درجه عضویت در P_d و $\mu_{ph}(h) = h^{-n}$ درجه عضویت در P_h در m و n دو پارامتر هستند. توابع عضویت فاصله و ارتفاع را در



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز دشت مشهد به همراه ایستگاه‌های باران سنج داخل و اطراف آن

(۳) یکپارچه‌سازی با عملگر مجموع مربعات

$$\mu_p(d, h) = \sqrt{\mu_{pd}(d)^2 + \mu_{ph}(h)^2}$$

(۴) یکپارچه‌سازی با عملگر جمع

$$\mu_p(d, h) = \mu_{pd}(d) + \mu_{ph}(h)$$

(۵) یکپارچه‌سازی با عملگر کمینه

$$\mu_p(d, h) = \min(\mu_{pd}(d), \mu_{ph}(h))$$

(۶) یکپارچه‌سازی با عملگر ضرب

$$\mu_p(d, h) = \mu_{pd}(d) * \mu_{ph}(h)$$

$$W_i = \frac{\mu_p(d_i, h_i)}{\sum_{i=1}^N \mu_p(d_i, h_i)}$$

وزن نهائی یکپارچه (تاثیر نسبی هر ایستگاه) است. عوامل به کار رفته در روابط مطابق قبل است.

$$P_h = \{h, \mu_{ph}(h) = d^n\} \quad \forall h \in V \quad (1)$$

$$P_d = \{d, \mu_{pd}(d) = d^m\} \quad \forall d \in U \quad (2)$$

$$P_x = \sum_{i=1}^N (W_i P_i) = \frac{\sum_{i=1}^N P_i \cdot \mu_p(d_i, h_i)}{\sum_{i=1}^N \mu_p(d_i, h_i)}$$

$$\mu_p(d, h) = \max(\mu_{pd}(d), \mu_{ph}(h))$$

(۷) یکپارچه‌سازی با عملگر بیشینه

(۸) معادله MIDW-F

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنج داخل و مجاور دشت مشهد

نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	مختصات جغرافیایی (UTM)		نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	مختصات جغرافیایی (UTM)	
		عرض	طول			عرض	طول
دیزباد علیا	۱۸۸۰	۷۰۵۷۵۲	۳۹۹۷۵۶۶	جنگ	۱۷۰۰	۷۳۱۱۴۹	۴۰۷۳۸۲۷
تبرک آباد	۱۵۱۰	۶۵۲۵۱۵	۴۱۱۷۱۷۷	آبقد فریزی	۱۳۸۰	۶۸۵۷۶۳	۴۰۴۴۶۵۶
هی هی	۱۳۳۰	۶۳۶۸۳۰	۴۱۰۵۷۴۹	گوش بالا	۱۵۸۰	۷۲۸۵۲۹	۴۰۶۶۷۱۸
عیش آباد	۱۳۴۶	۶۶۴۴۲۸	۴۰۱۸۹۷۵	آل	۱۴۷۵	۷۳۸۰۶۷	۴۰۶۷۳۱۴
بار اریه	۱۵۶۰	۶۵۲۷۷۸	۴۰۳۶۲۵۵	چناران	۱۱۷۰	۶۸۹۶۱۸	۴۰۵۷۴۷۸
ماروسک	۱۴۹۵	۶۳۴۸۷۹	۴۰۴۳۷۵۸	مغان	۱۷۸۰	۷۱۴۱۶۴	۴۰۰۱۹۴۵
ینگجه آبشار	۱۶۸۰	۶۱۲۴۵۷	۴۰۷۶۸۱۷	جاغرق	۱۴۲۰	۷۰۸۴۲۹	۴۰۲۱۱۱۳
چشمه علی	۱۵۴۰	۶۸۴۴۷۱	۴۰۰۴۹۹۰	شریف آباد	۱۴۵۵	۷۲۵۸۵۲	۳۹۸۹۸۱۸
ساق بیک	۱۵۱۰	۶۲۶۴۵۳	۴۰۶۴۶۶۳	تلغور	۱۵۴۰	۷۱۰۳۰۸	۴۰۷۸۰۵۰۳
فرهادگرد	۱۵۰۰	۷۴۶۳۵۲	۳۹۶۱۳۶۴	قدیر آباد	۱۱۷۵	۶۷۶۳۹۶	۴۰۷۴۹۸۴
گلمکان	۱۴۰۰	۶۹۳۸۴۴	۴۰۴۰۰۹۷	چکنه علیا	۱۷۸۰	۶۳۱۵۵۵	۴۰۷۸۷۱۲
دهانه اخلمد	۱۴۶۰	۶۷۴۰۳۳	۴۰۵۱۶۷۶	حصار دهبار	۱۲۲۰	۷۱۵۸۴۱	۴۰۲۰۹۵۳
فریمان	۱۳۹۵	۷۶۰۶۳۱	۳۹۵۵۴۴۶	هندل آباد	۱۲۱۰	۷۶۸۶۷۶	۴۰۳۵۴۰۰
رادکان	۱۲۱۰	۶۷۹۳۴۲	۴۰۷۵۲۲۴	کلاته منار	۹۹۰	۷۹۱۹۰۹	۳۹۸۱۹۶۶
دولت آباد	۱۵۱۰	۶۹۴۴۰۹	۴۰۳۵۳۷۹	میامی	۱۰۳۰	۷۸۰۶۵۶	۴۰۱۵۳۸۷
سد طرق	۱۲۴۰	۷۲۹۶۳۹	۴۰۰۶۲۸۰	بزنگان	۱۰۲۰	۸۰۸۵۱۰	۴۰۲۲۵۴۳
زشک	۱۸۸۰	۶۹۷۵۰۲	۴۰۲۴۳۶۳	بهمن جان علیا	۱۳۴۰	۶۷۵۹۴۱	۴۰۸۶۲۳۴
اداره مشهد	۹۹۰	۷۳۱۰۳۹	۴۰۲۱۹۵۶	چهجه	۴۷۹	۷۹۷۶۹۲	۴۰۶۰۰۹۸
سرآسیاب شاندریز	۱۲۷۰	۷۰۹۸۲۰	۴۰۳۱۳۴۷	قره تیکان	۵۲۰	۷۸۴۶۰۱	۴۰۷۹۸۳۴
اندروخ	۱۲۰۰	۷۳۸۱۳۱	۴۰۵۱۵۸۸	دریندکلات	۹۷۰	۷۴۲۶۳۴	۴۰۹۸۰۰۴
سد کارده	۱۳۰۰	۷۳۸۴۵۵	۴۰۵۶۳۳۰	ارچنگان	۷۴۵	۷۳۱۰۸۶	۴۱۱۰۷۳۴
مارشک	۱۸۷۰	۷۲۷۱۴۰	۴۰۷۷۹۳۱	حاتم قلعه	۴۹۰	۷۰۹۷۹۰	۴۱۳۲۱۶۱
اولنگ اسدی	۹۰۰	۷۵۲۲۶۶	۴۰۱۵۸۲۲	کبکان	۱۴۳۵	۶۶۹۳۴۵	۴۱۲۴۴۴۴
بند ساروج	۱۳۱۰	۷۱۳۶۱۷	۴۰۶۷۵۵۵	لایین نو	۸۷۶	۷۲۱۴۵۸	۴۱۱۲۷۶۱
بلغور	۱۹۲۰	۷۳۱۸۹۱	۴۰۸۱۰۲۲				

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک (GA) یک الگوی یادگیری ماشین است

که براساس نظریه تکامل تدریجی داروین مطرح و راه

هدف این پژوهش اجرا، تعمیم و اصلاح معادله MIDW (رابطه ۸) است. تاثیر فاصله و ارتفاع در رابطه ۸ فقط یک حالت و به صورت معکوس و با تلفیق نظریه فازی در نظر گرفته شده است (Chang et al, 2005). این روش را با نماد MIDW-F نشان می‌دهیم. روش MIDW-F به صورت نقطه‌ای بهینه شده است. تاثیر اختلاف ارتفاع در بارش‌ها و در مناطق دور از منابع رطوبتی، اغلب مثبت است، می‌توان اثر ارتفاع را نیز مستقیم در نظر گرفت. بنابراین دو چیدمان در MIDW-F قابل تصور است. این دو چیدمان در واقع در نظر گرفتن علامت‌های مثبت و منفی برای توان پارامتر n است. این پژوهش این دو چیدمان را به همراه یکپارچه سازی با عملگرهای فازی (بر روی توابع عضویت ارتفاع و فاصله $(\mu_{ph}(h))$ و $(\mu_{pd}(d))$ و به صورت منطقه‌ای تحلیل کرده است. ما آن را با نماد GMIDW-F (تعمیم فاصله معکوس پیراسته براساس ریاضیات فازی) نشان می‌دهیم. اگر وزن‌های ارتفاع و فاصله به صورت معکوس در معادله ظاهر شوند $(h^n \cdot d^m)^{-1}$ ، آن را با نماد GMIDW-F(1) و اگر وزن به صورت نسبت ارتفاع به فاصله باشد (h^n / d^m) ، آن را با نماد GMIDW-F(2) نشان می‌دهیم. تابع هدف کمیته‌سازی RSAE است.

نتایج و بحث

درونیایی بارش روزانه (ماهانه یا سالانه) برای ترمیم داده‌های مفقود یا تعیین بارش نقاط مشخص در یک منطقه یا حوزه آبریز همواره مورد توجه مهندسين آب و هواشناسی بوده است. معادله درونیاب MIDW یکی از روش‌هایی است که نسبت ارتفاع و فاصله را به عنوان ضریب در یک معادله درونیاب منظور می‌کند. این روش تعمیم IDW است. چیدمان وزن ارتفاع و فاصله در MIDW به صورت معکوس است. هدف و نوآوری این مقاله اضافه کردن چیدمان جدیدی از این دو وزن به MIDW (دو چیدمان، تاثیر مستقیم یا نسبت ارتفاع به فاصله) و استفاده از نظریه فازی و الگوریتم ژنتیک در

حل‌های بالقوه یک مساله را در قالب کروموزوم‌های ساده‌ای کد می‌کند. سپس عملگرهای ترکیبی با ایجاد جمعیتی تصادفی از افراد (هر یک در قالب یک کروموزوم) پیاده سازی می‌شوند (کیا، ۱۳۸۸). GA برای برآورد و بهینه‌سازی پارامترهای معادله درونیاب بارش (رابطه ۸) و برای صرفه جویی در وقت مناسب است. پارامترهای MIDW دو متغیر عددی m (توان ارتفاع) و n (توان فاصله) هستند. پارامترها به صورت تصادفی تولید و تابع خطا با تکرار GA بهینه می‌شود. تابع هدف کمیته‌سازی مجموع قدرمطلق خطاهای منطقه‌ای (RSAE¹) در ناحیه مورد مطالعه است. کروموزوم‌ها در GA دو پارامتر m و n هستند. بیست کروموزوم (اعضای جمعیت) در هر نسل تولید می‌شود. تقاطع و جهش روی هر نسل انجام و دو تا از بهترین اعضا مستقیم به نسل بعد انتقال می‌یابند (نخبه گرائی). GA و نظریه فازی در این تحقیق با هم تلفیق و برنامه آن در نرم افزار MATLAB 2009 نوشته شده است.

غربال داده‌ها و نرمال سازی

داده‌ها به علت ثبت غلط، انتقال نادرست، خرابی دستگاه و موارد دیگر آمیخته با اشتباه هستند که باید اصلاح شوند. این عمل را غربال می‌نامند. نرمال‌سازی برای اجتناب از تحلیل‌های غلط ناشی از تفاوت مقیاس‌های ارتفاع و فاصله ضروری است (Chang et al, 2006; Craig and Karen, 1995). این کار برای فاصله بین ایستگاه‌ها با معادله شماره ۹ انجام می‌شود. نرمال‌سازی ارتفاع به نوع چیدمان آن در معادله GMIDW-F بستگی دارد. اگر نقش ارتفاع معکوس باشد، نرمال سازی با معادله شماره ۱۰ و در حالت مستقیم با معادله شماره ۱۱ انجام می‌شود.

$$d' = 1 + 9 * \left(\frac{d - d_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}} \right) \quad (9)$$

$$h' = 1 + 9 * \left(\frac{h - h_{\min}}{h_{\max} - h_{\min}} \right) \quad (10)$$

$$h' = \frac{h}{h_{\max}} \quad (11)$$

میلی متر است. این نتایج نشان می دهد که نتایج GA در بهینه سازی معادله درونیاب منطقه ای قابل اطمینان است. بنابراین تکرار الگوریتم ۱۰ بار نیز کافی است. کمترین خطا در هر روش و پارامترهای آن به عنوان خطا و پارامترهای بهینه مدنظر قرار گرفتند. این اعمال برای بارش ده روز در منطقه مورد مطالعه انجام شد. سپس نتایج برای مرحله دوم به کار گرفته شد.

- مرحله دوم؛ تحلیل ۲۱۵ روز بارش روزانه: بارش های روزانه در دو حالت رده بندی و بی رده بندی تحلیل شد. الف- حالت رده بندی: ۲۱۵ روز بارش به رده های ۱۰-۵، ۲۰-۱۰، ... و بیش از ۵۰ میلی متر تفکیک و بارش های هر رده تحلیل شد. RSAE برای هر رده با رابطه شماره ۱۰ محاسبه شد. هم چنین پنج عملگر فازی برای یکپارچه سازی توابع عضویت فاصله و ارتفاع استفاده شد (جدول ۲ و ۳). خلاصه نتایج بررسی بارش های رده ۲۰ تا ۳۰ میلی متر به عنوان مثال مطابق زیر است:

۱- عملگر کمینه در ۵۹٪ روزها بهترین عملگر یکپارچه سازی توابع عضویت در GMIDW-F است. این عملگر ۶۶٪ از موارد با تاثیر معکوس ارتفاع و فاصله (m و n منفی)، ۳۴٪ از موارد با نسبت ارتفاع به فاصله (m مثبت) و n مثبت) بهینه بود.

۲- سهم عملگر ضرب ۲۸٪ از کل پنج عملگر در بهینه سازی GMIDW-F است. این عملگر ۸۹٪ از موارد با چیدمان معکوس ارتفاع و فاصله (m و n منفی) و ۱۱٪ از موارد با نسبت ارتفاع (m مثبت) به فاصله (n منفی) بهینه شد.

۳- سه عملگر دیگر در مجموع ۱۳٪ (۵+۶+۲=۱۳) در بهینه سازی GMIDW-F سهم دارند (جدول ۲).

۴- دسته بندی بارش ها نتایج خاصی را برای کارایی عملگر یا چیدمان خاصی از ارتفاع و فاصله نشان نداد

تحلیل این معادله درونیاب است (GMIDW-F). حوضه آبریز دشت مشهد با ۴۹ ایستگاه باران سنج (طول دوره آماری ۱۶ سال) به عنوان مطالعه موردی و واسنجی در این پژوهش استفاده شد. ارتفاع بارش روزانه برای رفتارشناسی بهتر بارش در شدت های متفاوت تفکیک و معادله درونیاب بارش در هر رده تحلیل شد. این رده ها به گونه ای انتخاب شدند که حداقل یک ایستگاه دارای بارشی بین ۵ تا ۱۰، ۱۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۳۰، ۳۰ تا ۴۰، ۴۰ تا ۵۰ و بیش از ۵۰ میلی متر در روز باشد. تعداد روزهای تحلیل شده ۲۱۵ روز است. این روزها بدون رده بندی نیز تحلیل شدند. ابتدا داده ها غربال و نرمال سازی شدند. توابع عضویت فاصله بین ایستگاه ها (d) و ارتفاع (h) با پنج عملگر فازی (روابط ۴ تا ۸) یکپارچه سازی و اثر آنها بررسی شد. الگوریتم ژنتیک برای تعیین پارامترهای بهینه به کار رفت. بنابراین شکل تابع درونیاب برای هر بارش به ۱۰ صورت قابل تصور است (پنج عملگر متفاوت و با دو حالت جانشانی ارتفاع و فاصله). توابع درونیاب در نرم افزار MATLAB 2009 برنامه نویسی و تحلیل تابع درونیاب در سه مرحله زیر دنبال شده است.

- مرحله اول؛ تخمین تعداد جمعیت لازم: ابتدا ۱۰ روز برای تعیین تعداد جمعیت لازم به تصادف انتخاب شد. جواب بهینه با تمام عملگرها و دو چیدمان ارتفاع و فاصله با نسل های مختلف آزمایش شد. تعداد نسل های لازم برای رسیدن به جواب بهینه، عموماً زیر ۵۰ نسل بود. تعداد نسل های مورد نیاز ۱۰۰ نسل انتخاب شد. تولید پارامترها در هر نسل GA به صورت تصادفی است. برای اطمینان از عدم توقف الگوریتم در جواب های محلی، این فرآیند ۲۰ بار تکرار شد. نتایج کلی برای هر بارش روزانه (برای هر عملگر و هر دو حالت m و n) نشان داد که تفاوت بین میانگین و کمترین خطا حداکثر ۳ بار رده تغییرات کمتر از ۱۰

عملگر	۵-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	۳۰-۴۰	۴۰-۵۰	۵۰-۷۰	تمامی بارش‌ها
تعداد روزها	۵ روز	۹۰ روز	۶۴ روز	۳۹ روز	۱۱ روز	۶ روز	۲۱۵ روز
ضرب	%۶۰	%۲۷	%۲۸	%۴۹	%۹	%۳۳	%۳۱
کمینه	%۴۰	%۶۰	%۵۹	%۴۱	%۷۳	%۶۷	%۵۷
بیشینه	%۰	%۹	%۶	%۵	%۹	%۰	%۷
جمع	%۰	%۱	%۵	%۵	%۹	%۰	%۴
مجدور مربعات	%۰	%۰	%۲	%۰	%۰۰	%۰	%۱

و حالاتی که تاثیر ارتفاع صفر باشد هفده مورد بود. صفر بودن توام m و n (معادل با روش میانگین ریاضی) در هیچ موردی مشاهده نشد. نتیجه اینکه همواره باید حداقل یکی از دو پارامتر ارتفاع و فاصله را در نظر گرفت.

نتایج نشان داد که میانگین، کمینه و بیشینه خطا با افزایش رده‌بندی بارش ایستگاه‌ها، به طور متوسط افزایش می‌یابد (جدول ۴). مقادیر m و n در اکثر عملگرها تغییرات زیادی داشت (بین ۰ و ۱۶). پارامتر n در دو عملگر بیشینه و جمع و در تمام مواردی - که تاثیر ارتفاع مستقیم فرض شود- صفر به دست آمد. جزئیات تغییرات پارامترهای m و n برای هر عملگر و هر جانمایی در جدول (۵) آمده است. عملگر مجدور مربعات در بهینه سازی GMIDW-F سهم اندکی داشت.

ب- حالت بی‌رده‌بندی: بررسی تمام روزها (۲۱۵) نشان داد که %۶۶ از موارد تابع بهینه با جانمایی معکوس ارتفاع و فاصله و %۳۴ از موارد با نسبت ارتفاع به فاصله به دست می‌آید. عملگر کمینه بهترین (%۵۷) و در مرتبه بعد عملگر ضرب (%۳۱) قرار دارد (جدول ۲، ۳ و ۵). عملگر کمینه در %۶۷ از موارد نشان داد که تاثیر ارتفاع و فاصله معکوس است (m و n هر دو منفی)، %۳۳ از حالات تاثیر ارتفاع مستقیم (m مثبت) و تاثیر فاصله معکوس (n منفی) به دست آمد. عملگر ضرب در %۷۶ از موارد نشان داد که تاثیر ارتفاع و فاصله معکوس است (m و n هر دو منفی)، %۲۴ از حالات تاثیر ارتفاع مستقیم (m مثبت) و تاثیر فاصله معکوس (n منفی) -نسبت ارتفاع به فاصله- به دست آمد (جدول ۳ و ۵). تعداد حالت‌هایی که تاثیر فاصله صفر باشد، یک مورد

جدول ۳- حالات مختلف تاثیر ارتفاع و فاصله (علامت مثبت یا منفی m, n) در رده‌های مختلف بارش

عملگر	علامت m, n	۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	۳۰-۴۰	۴۰-۵۰	مجموع
ضرب	$m < 0$ and $n < 0$	%۶۷	%۸۹	%۷۴	%۱۰۰	%۷۶
	$m < 0$ and $n > 0$	%۳۳	%۱۱	%۲۶	%۰	%۲۴
کمینه	$m < 0$ and $n < 0$	%۶۵	%۶۶	%۷۵	%۸۸	%۶۷
	$m < 0$ and $n > 0$	%۳۵	%۳۴	%۲۵	%۱۲	%۳۳

جدول ۴- خطاهای مطلق با تابع بهینه در رده‌های مختلف بارش

رده‌های بارش	۵-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	۳۰-۴۰	۴۰-۵۰	۵۰-۷۰
معدل RSAE	۸۴	۱۳۸/۷	۲۰۱	۲۴۲/۵	۳۴۰/۳	۳۱۴/۲
حداکثر RSAE	۹۳/۵	۲۹۵/۸	۳۲۰/۴	۴۲۶/۶	۴۲۶/۸	۴۰۷/۷
حداقل RSAE	۷۲/۶	۶۴/۱	۱۰۶/۸	۱۲۹/۳	۲۳۸/۵	۲۳۶
دامنه RSAE	۲۰/۹	۲۳۱/۷	۲۱۳/۶	۲۹۷/۳	۱۴۳/۳	۱۶۹/۷

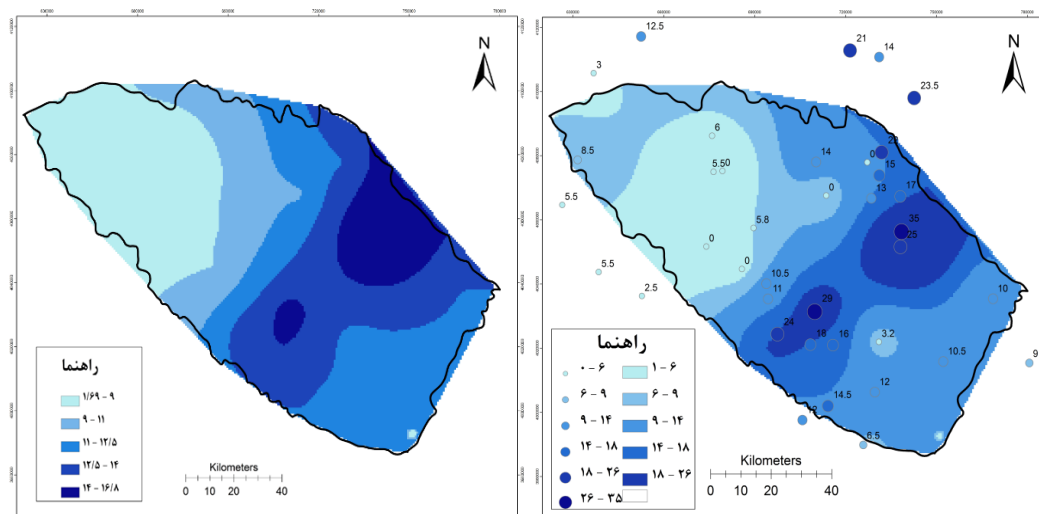
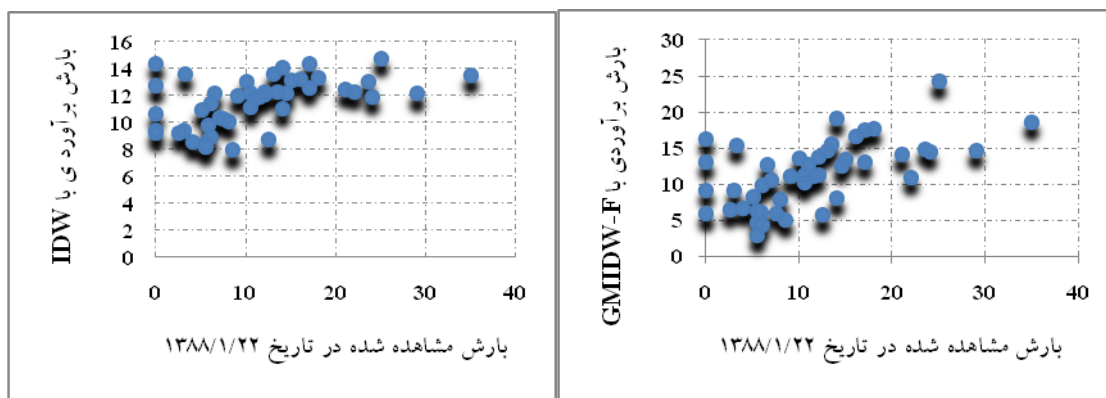
جدول ۵ - سهم چیدمان‌های مختلف ارتفاع و فاصله در عملگرهای فازی و دامنه تغییرات پارامترها

مجموع	درصد	عملگر	تاثیر فاصله و ارتفاع	محدوده تغییرات n	محدوده تغییرات m
%۱۰۰	%۷۶	ضرب	GMIDW-F(1)	$۰/۱۷ \leq n \leq ۱۵/۹۸$	$۰/۵۶ \leq m \leq ۱۵/۹۸$
	%۲۴	ضرب	GMIDW-F(2)	$۰/۴۰ \leq n \leq ۱۵/۹۸$	$۲/۱۷ \leq m \leq ۱۵/۹۸$
%۱۰۰	%۶۷	کمینه	GMIDW-F(1)	$۰/۵۹ \leq n \leq ۱۵/۹۸$	$۱/۲۹ \leq m \leq ۱۵/۹۸$
	%۳۳	کمینه	GMIDW-F(2)	$۱/۴۱ \leq n \leq ۱۵/۹۸$	$۱/۷۸ \leq m \leq ۱۵/۹۸$
%۱۰۰	%۶۰	بیشینه	GMIDW-F(1)	$۱/۷۸ \leq n \leq ۱۵/۹۸$	$۱/۳۵ \leq m \leq ۵/۳۱$
	%۴۰	بیشینه	GMIDW-F(2)	$n = ۰$	$۵/۸۵ \leq m \leq ۱۴/۸۷$
%۱۰۰	%۲۲	جمع	GMIDW-F(1)	$۰/۵۸ \leq n \leq ۱۵/۹۸$	$۰ \leq m \leq ۲/۷۸$
	%۷۸	جمع	GMIDW-F(2)	$n = ۰$	$۳/۹۶ \leq m \leq ۱۵/۹۸$

است (شکل ۲، بالا، چپ). برآوردها تقریباً در یک نوار افقی قرار دارند که نشان دهنده ضعف این روش است. برآوردهای روش GMIDW-F معقول‌تر است (شکل ۲، بالا، راست). حداقل برآورد یک ونیم میلی‌متر است. نقاط تقریباً اطراف نیمساز ناحیه اول قرار دارند که نشان دهنده برآورد بهتری توسط این روش است. پهنه‌بندی بارش روزانه ۱۳۸۸/۱/۲۲ در شکل ۲ آمده است. روش GMIDW-F پهنه‌بندی را با جزئیات بیشتری نشان می‌دهد (شکل ۲، پائین، راست). اما پهنه‌بندی با روش IDW جزئیات کمتری را به تصویر کشیده است (شکل ۲، پائین، چپ). لازم به ذکر است برای انجام درونیابی بارش روزانه حوضه آبریز دشت مشهد از نقاط اطراف حوضه آبریز نیز استفاده شده است (شکل ۱). اما پهنه‌بندی ارائه شده محدود به ناحیه مطالعاتی بوده و در نقاط خارج از آن ارائه نشده است (شکل ۲، پائین). نتیجه اینکه روش GMIDW-F از کارایی بیشتری نسبت به روش MIDW برخوردار است.

- مرحله سوم؛ پهنه‌بندی بارش

توابع درونیاب بهینه برای ۲۱۵ بارش روزانه در قسمت‌های قبل تعیین و تحلیل شدند (جدول ۲). چون ارائه تصویری تمام این بارش‌ها امکان‌پذیر نیست، لذا فقط بارش روز ۱۳۸۸/۱/۲۲ با دو روش GMIDW-F و IDW مقایسه شد. آماره خطا (RSAE) این دو روش به ترتیب ۲۱۳ و ۲۵۲ میلی‌متر است. ابتدا منطقه مطالعاتی در نرم‌افزار Arc GIS 9.3 شبکه‌بندی شد. براساس مختصات جغرافیایی مشخص شده در شبکه‌بندی، مقادیر هر پیکسل با معادله درونیاب بهینه شده (در قسمت‌های قبل) در نرم‌افزار MATLAB 2009 برآورد شد. در انتها شکل پهنه‌بندی بارش در نرم‌افزار Arc GIS 9.3 و براساس مقادیر برآوردی هر پیکسل به دست آمد. شکل ۲ نمودار پراکنش (قسمت بالا) و پهنه‌بندی (قسمت پائین) بارش این روز را با این دو روش و برای مقایسه نشان می‌دهد. روش IDW بارش صفر را حداقل ۷ میلی‌متر برآورد کرده که یک فرا برآورد آشکار



شکل ۲- مقایسه بارش مشاهده‌ای (۱۳۸۸/۱/۲۲) و برآوردی با GMIDW-F (راست) و IDW (چپ).

تصویرهای بالا نمودار پراکنش و پائین پهنه‌بندی است.

سازی وزن‌ها به همراه عملگرهای فازی به توابع بهینه سازی رسید (GMIDW-F). هم چنین نباید دامنه نوسانات توان فاصله و ارتفاع (پارامترهای m و n) را محدود کرد (جدول ۵). نوع چیدمان نیز بر حصول نتایج بهینه موثر است. به طوری که تابع بهینه در ۶۶٪ از موارد با رابطه GMIDW-F(1) و ۴۴٪ از موارد با رابطه GMIDW-F(2) به دست می‌آید. بنابراین در هر بارش باید مقدار دو پارامتر m و n ، بهترین عملگر و بهترین چیدمان ارتفاع و فاصله تعیین شود. رفتار بارش‌ها در رده‌های مختلف برای تعیین اثر آن برنوع عملگر فازی (برای یکپارچه سازی وزن‌ها)

۴- نتیجه گیری

هدف و نوآوری این مقاله بهینه‌سازی دو چیدمان معادله درونیابی MIDW با نظریه فازی و GA برای بارش روزانه ۴۹ ایستگاه باران‌سنج حوضه آبریز دشت مشهد است. خطاها به صورت منطقه‌ای تحلیل شدند. نتایج این پژوهش نشان داد که سهم عملگر فازی کمینه و ضرب به ترتیب ۵۷٪ و ۳۱٪ است که بهترین عملگرها هستند (جدول ۲). عملگرهای بیشینه، جمع و مجذور مربعات به ترتیب ۷٪، ۱٪ و ۴٪ است (جدول ۲). بنابراین می‌توان با تنوع یکپارچه-

- algorithm to interpolate precipitation. *Journal of Hydrology*, Vol. 314, pp. 92-104.
5. Chang, C. L., S. L. Lo, and S. L. Yu, 2006, Reply to discussions on "Applying fuzzy theory and genetic algorithm to interpolate precipitation" by Zekai Sen. *Journal of Hydrology*, Vol. 331, pp. 364-366.
 6. Chen, F. W. and C. W. Liu, 2012, Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. *Paddy Water Environ.*
 7. Chen, S. and Q. Li, 2004, An Aerial Rainfall Forecasting Method Based on Fuzzy Optimum Neural Network and Geography Information System. *Proceedings of the 5th World Congress on intelligent control and Automation*. Hangzhou, P. R. China, pp.5361-5364.
 8. Craig, E. H. and A. K. Karen, 1995, to normalize or not to normalize? Fat is the question. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 14 (5), pp. 801-807.
 9. Dingman, S.L. 2002, *Physical Hydrology* (second edition). Prentice-Hall, Inc., New Jersey 646 pp.
 10. Fourteenth Geophysics Conference of Iran, 21 to 23 May, Tehran, 10-13.
 11. Goovaerts, P., 2000, Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology*, Vol. 228, pp.113-29.
 12. Horton, R.E. 1923, Monthly weather review, Accuracy of areal rainfall estimates. *Consulting Hydraulic Engineer*, pp. 348-353.
 13. Hutchinson, P. and W. J. Walley, 1972, Calculation of areal rainfall using finite element techniques with altitudinal corrections. *Bulletin of the International association of Hydrological sciences*, XVII.
 14. Johansson B., 2000, Areal Precipitation and Temperature in the Swedish Mountains, an Evaluation from a Hydrological Perspective. *Nordic Hydrology*, Vol. 31(3), pp. 207-228.
 15. Khamchin- Moghaddam, F. And H. Rezaee-Pazhand, 2009, Criticising De marttone regionalization method according to linear moments for maximum daily precipitation in Iran, *Journal of Engineering*, 2(2): 93-104.
- بررسی شد. نتایج نشان داد که رده‌بندی رفتار خاصی در انتخاب نوع عملگر فازی ندارد (جدول ۲).
- ارائه په‌نه‌بندی و مقایسه تمام این بارش‌ها امکان‌پذیر نیست، لذا فقط بارش روز ۱۳۸۸/۱/۲۲ با دو روش GMIDW-F و IDW مقایسه نموداری شدند (شکل ۲). آماره خطای آنها (RSAE) به ترتیب ۲۱۳ و ۲۵۲ میلی‌متر است. روش IDW بارش صفر را حداقل ۷ میلی‌متر (فرا برآورد) و در یک نوار افقی برآورد کرده است. روش GMIDW-F حداقل ۱/۵ میلی‌متر برآورد کرده و نقاط تقریباً اطراف نیمساز ناحیه اول قرار دارند که نشان دهنده برآورد بهتری توسط این روش است. په‌نه‌بندی روش GMIDW-F رفتار مناسب‌تری را ارائه نموده است (شکل ۲، پائین). زیرا جزئیات بیشتری را در په‌نه‌بندی نشان می‌دهد. نتیجه اینکه رعایت چهار مورد زیر در تخمین په‌نه منطقه‌ای معادله درونیاب GMIDW-F ضروری است:
- نباید پارامترها را محدود کرد. ۲- رده‌بندی بارش بی تاثیر است. ۳- عملگر کمینه و ضرب به ترتیب در اولویت تحقیق قرار دارند. ۴- تنوع چیدمان‌های ارتفاع و فاصله رعایت شود.

منابع

1. Adab, h., Falah-Qalhry, Gh. Mirza-Bayati R., 2008, Assessment of Interpolation kriging and linear regression methods based on a DEM map in providing annual isohyetal map in Razavi Khorasan Province. *Tehran, Geomatic Conference 2008*.
2. Asakereh, C., 2008. Application of kriging interpolation of precipitation. *Case Study: Rainfall interpolation 25/2/1998*. *Geography and Development*, 12: 25 -42.
3. Boer, E. P. J de Beurs, K. M. and Hartkamp, A. D., 2001, Kriging and thin plate splines for mapping climate variables. *Journal of Applied Genetics*, Vol. 3(2), pp. 146-154.
4. Chang, C. L., S. L. Lo, and S. L. Yu, 2005, Applying fuzzy theory and genetic

- spatial analysis of precipitations in mountainous terrain. *Agriculture and Forest Meteorology*. Vol. 58, pp. 119-41.
22. Rossiter, D. G., 2007, *Applied geostatistics*, international institute for Geo-information Science & Earth observation (ITC), 26-JULY- 2007.
 23. ShabaniNia, F. And S. SaeedNia, 2009, an introduction to Fuzzy Logic using MATLAB. Khanyran pub. pp. 140.
 24. Shams-Nia, S. A. And n. PirMoradian, 2008, the assessment of quasi interpolation of the geographical information system (GIS) for zoning the rainfall in the Fars Province. *Journal of Water Resources Engineering*, 1: 35-45.
 25. Singh, V. P. and Y. K. Birsoy, 1975, Comparison of the methods of estimating mean areal rainfall. *Nordic Hydrology*, Vol. 6, pp. 222-241.
 26. Vahidian-Kamyad, A. And H. R. Tarqyan, 2002. *Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications*, Ferdowsi University of Mashhad. 213 PP.
 16. Kia, S. M., 2009, *Genetic algorithm by MATAB, Kyan Rayane Sabz, Pub. (In Persian)*. 192 PP.
 17. LO S. S., 1992, *Glossary of Hydrology*. Water Resources, Colorado. 1794 PP.
 18. Medina, S. and R. A. Jr. Houze, 2003, *Orographic Enhancement of Precipitation in Multitudes: Results from MAP and IMPROVE II*. *Atmospheric Sciences*.
 19. Mehrshahy, D. and Y. Khosravi, 2010. The assessment of kriging interpolation methods and linear regression based on digital elevation model for determine the spatial distribution of annual precipitation (Case Study Isfahan Province). *MODARRES HUMAN SCIENCES*, 14: 233-249.
 20. Nadi, M., A. khalili, K. PurTahmsbi and J. Bazrafshan, 2010, Evaluation of some new geostatistical methods for estimating precipitation in Chahar-Bagh district. Rahimi-Bondarabadi, S. and B. Saghafian, 2007, *Estimation Spatial Distribution of Rainfall by Fuzzy Set Theory*. *Iran- Water Resources Research*, 3(2): 26-38.
 21. Philips, D.L J. Dolph and D. Marks, 1992, a comparison of geostatistical procedures for