نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۳، ص. ۹-۱

Journal of Water and Soil
Vol. 28, No. 1, Mar.-Apr. 2014, p. 1-9

بهینه‌سازی معادلات درونیاب بارش روزانه با نظریه فازی و الگوریتم ژنتیک در حوضه آبریز دشت مشهد

نفیسه سیدنژادگل‌خطمی[1*]- سید حسین ثنائی‌نژاد[2]- بیژن قهرمان[3]- حجت رضائی پژند[4]

تاریخ دریافت:۱۳۹۱/۷/۲۱
تاریخ پذیرش:۱۳۹۱/۱۱/۱۴

چکیده

تحلیل منطقه‌ای، ترمیم بارش‌های مفقود، محاسبه بارش مساحتی، برآورد PMP و الگوهای بارش- رواناب در مقیاس روزانه نیاز اساسی بسیاری از پژوهش‌های آب و هواشناسی است. روش درون‌یابی فاصله‌معکوس پیراسته براساس ریاضیات فازی و الگوریتم ژنتیک (MIDW-F) روشی جدید، کارا و بی‌نیاز از پیش‌فرض‌های پیچیده نظری است. هدف این مقاله به‌کارگیری این معادله درونیاب جدید برای تامین نیازهای اساسی فوق با واسنجی بارش روزانه حوضه آبریز دشت مشهد است. غربال و نرمال‌سازی متغیرهای فاصله و ارتفاع انجام شد. سپس تاثیر عملگرهای فازی (بیشینه، کمینه، جمع، ضرب و مجذورمربعات) در بهینه‌کردن MIDW-F بررسی و الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی پارامترها به‌کار گرفته شد. تحلیل‌ها بر روی ۲۱۵ بارش‌روزانه (۴۹ ایستگاه باران‌سنج) واسنجی و تحلیل شد. نتایج نشان داد که عملگر کمینه بهترین عملگر (سهم ۵۸٪)، ضرب (سهم ۳۵٪) و مجموع سهم سه عملگر دیگر ۶٪ است. مقایسه MIDW-F با سه روش مرسوم دیگر (میانگین حسابی، چندضلعی تیسن و فاصله معکوس معمولی) نشان داد که خطاهای منطقه‌ای بارش روزانه با MIDW-F به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد. بیشترین معدل مجموع مجذورات خطای منطقه‌ای (RMSE) مربوط به‌روش میانگین‌حسابی ۳۷/۴۸ (با بیشترین۹۰/۴۵، کمترین ۵/۷۶، واریانس ۶۸۶/۸ و ضریب تغییرات ۰/۷) و کمترین معدل RMSE مربوط به MIDW-F، ۳۱/۷۸ (با بیشترین ۵۶/۶۷، کمترین ۴/۶ ، واریانس ۳۴۰/۹۲ و ضریب تغییرات ۰/۵۸) است. پهنه‌بندی بارش روزانه در دو تاریخ ۱۳۸۸/۱/۲ و ۱۳۸۸/۱۲/۴ و با دو روش MIDW-F و IDW انجام و مقایسه شد. نتایج نشان داد که پهنه‌بندی با MIDW-F جزئیات بیشتری ارائه کرد. بنابراین کاربرد این روش برای درونیابی بارش روزانه در یک منطقه همگن پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: MIDW-F، الگوریتم ژنتیک، درونیابی منطقه‌ای، دشت مشهد، نظریه فازی

مقدمه

برآورد بارش روزانه در نقاط فاقد آمار و نیز اطلاع از توزیع مکانی آن در تحلیل‌های منطقه‌ای، بارش مساحتی، استفاده در الگوهای بارش- رواناب، حداکثر بارش محتمل، پیش بینی سیلاب و غیره مورد نیاز است. این کار اغلب با تعیین معادلات درونیاب از طریق وزن‌دهی به ایستگاه‌های منطقه انجام می‌شود. روش‌های مرسوم مانند میانگین حسابی، تیسن، گرادیان و فاصله معکوس وزنی[5] (IDW) در آب و هواشناسی از معمول‌ترین این روش‌ها است (۱۰، ۱۳، ۱۵ و ۱۷). این روش‌ها ساده، اما معمولا توام با خطاست؛ بنابراین روش‌های مختلفی برای بررسی و کاهش خطای آنها معرفی شده‌اند (۱۰). می‌توان در این زمینه به روش‌های زمین‌آماری، شبکه‌عصبی، اجزای محدود، فازی و فازی‌کریجینگ اشاره کرد (۱، ۵، ۱۱، ۱۲، ۱۴و ۱۶). یکی از روش‌های جدید دیگر، روش تلفیقی فاصله‌معکوس وزنی پیراسته (MIDW) با نظریه‌فازی و الگوریتم ژنتیک (GA) است (۶). مجموعه‌های فازی توسط زاده (۱۹ و ۲۰) برای کاربردهای گوناگون مهندسی با داده‌های مبهم ارائه شد. این نظریه از زمان ارائه تاکنون در زمینه‌های مختلف علوم، مهندسی، اقتصاد، مدیریت و زمینه‌های دیگر گسترش یافته است. کاربرد GA برای بهینه‌سازی و ابزاری برای کاهش زمان محاسبات است.

رحیمی و ثقفیان (۱) توزیع مکانی بارندگی سالانه را با نظریه

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(* - نویسنده مسئول: Email: n.seyyednnejad@yahoo.com)
۴- مربی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

5- Inverse Distance Weighting

فازی برآورد کردند. آنها قابلیت روش فازی‌کریجینگ[1] را ارزیابی و با روش‌های کریجینگ معمولی[2]، کوکریجینگ[3] و کمانک‌های هموار[4] (TPSS) مقایسه کردند. نتایج آنها برتری روش فازی‌کریجینگ را نشان داد. منطقه مورد مطالعه آنها حوضه مرکزی، قسمت‌هائی از حوضه آبریز شرقی و جنوب شرق ایران است. آنها داده‌های بارندگی سالانه ۱۲۰ ایستگاه (دوره۳۰ ساله) را به‌کار گرفتند. مهدوی و همکاران (۳) بارش سالانه را در مناطق خشک و نیمه‌خشک جنوب شرقی ایران درونیابی کردند. سه روش کریجینگ، IDW و TPSS برای برآورد بارش سالانه و با آمار ۲۲ ساله استفاده شد. آنها نشان دادند که روش TPSS با متغیر کمکی ارتفاع مناسب‌ترین روش تخمین بارندگی سالانه در آن منطقه است. روش‌های کریجینگ و IDW (با توان ۲) در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. میثاقی و محمدی (۴) اطلاعات بارندگی ماهانه حوضه آبریز مارون (در دامنه‌های جنوبی و جنوب غربی زاگرس میانی) را با استفاده از روش‌های آمارکلاسیک و زمین‌آمار پهنه‌بندی کردند. آنها نتایج را با شبکه‌های عصبی مصنوعی مقایسه کردند. بارش دو ماه بهمن ۱۳۵۳ و دی ۱۳۷۳ از یک دوره ۲۵ ساله با ۲۴ ایستگاه باران‌سنجی به‌کارگرفته شد. نتایج نشان‌دهنده برتری روش‌های زمین‌آماری بود.

محققین مختلف عوامل دیگر مانند ارتفاع و شعاع تاثیر را نیز به روش IDW اضافه کردند (۶، ۷، ۸، ۱۸ و ۲۱). اضافه کردن عامل ارتفاع به روش IDW به نام فاصله‌معکوس پیراسته (MIDW) معروف است که در مناطق کوهستانی و کم تراکم کاربرد دارد (۱۸). دو عامل ارتفاع (h) و فاصله (d) با توان‌های مساوی و به صورت نسبت فاصله به ارتفاع در MIDW ظاهر می‌شود. چانگ و همکاران (۶ و۷) این دوعامل را به صورت معکوس و با توان‌های نامساوی m و n در MIDW به‌کار بردند. سپس وزن ارتفاع و فاصله را به صورت توابع عضویت فازی در نظرگرفته و پارامترها را با GA بهینه کردند. این روش را با نماد MIDW-F نشان می‌دهیم. آنها تاثیر عملگرهای فازی جمع، ضرب، بیشینه، کمینه و مجذور مربعات را برروی یکپارچه‌سازی وزن‌ها بررسی کردند. شش ایستگاه بررسی (شمال تایوان) و خطاها به صورت نقطه‌ای تحلیل شدند. نتایج نشان داد که خطای برآورد این روش از روش‌های معمول تیسن و میانگین ریاضی کمتر است. عملگرهای برتر نیز به ترتیب کمینه و سپس ضرب بدست آمد.

هدف این مقاله تحلیل معادله MIDW-F برای درونیابی بارش روزانه به کمک GA و تحلیل منطقه‌ای خطاهاست. نتایج این روش با سه روش مرسوم چندضلعی‌های تیسن، میانگین حسابی و IDW مقایسه شده است. منطقه واسنجی و مطالعه موردی این پژوهش حوضه آبریز دشت مشهد (اقلیم خشک و نیمه‌خشک) با ۴۹ ایستگاه باران‌سنج (با طول دوره مشترک آماری ۱۶ سال) است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

منطقه مورد مطالعه حوضه آبریز دشت مشهد با مشخصات جغرافیایی ´۲۰ ,°۵۸ تا ´۸ ,°۶۰ شرقی و ´۰-°۳۶ تا ´۵-°۳۷ شمالی واقع در شمال شرق ایران به مساحت ۹۹۰۹/۴ کیلومتر مربع است. این حوضه به دو بخش دشت و کوهستان به ترتیب به مساحت ۳۳۵۱ و ۶۵۵۸ کیلومتر مربع تفکیک می‌شود. دو رشته کوه هزار مسجد و بینالود از شمال و جنوب آن را محصور کرده‌اند. تعداد باران سنج های داخل و مجاور آن ۴۹ (شکل ۱) و با طول دوره آماری مشترک ۱۶ سال (۱۹۹۳-۲۰۰۹) است که زیر نظر وزارت نیرو اداره می‌شود (جدول۱). باتوجه به وسعت، اقلیم خشک و نیمه خشک منطقه و فقدان بارش در اکثر روزهای سال، به ناچار روزهائی انتخاب شد که حداقل در نیمی از ایستگاه‌ها به طور همزمان بارش وجود داشته باشد. تعداد روزهای بارشی فوق ۲۱۵ روز به‌دست آمد. این اطلاعات با برنامه‌نویسی در محیط برنامه نویسی Visual Studio 2010و نرم افزار بانک اطلاعاتی Sql Server 2008 استخراج شده‌اند. نرم افزار MATLAB 2009 برای انجام تحلیل‌های منطقه‌ای و نرم افزار Arc Gis 9.3 برای نمایش خروجی پهنه‌بندی با روش‌های مورد نظر در این تحقیق استفاده شده است.

فاصله معکوس پیراسته بر اساس ریاضیات فازی

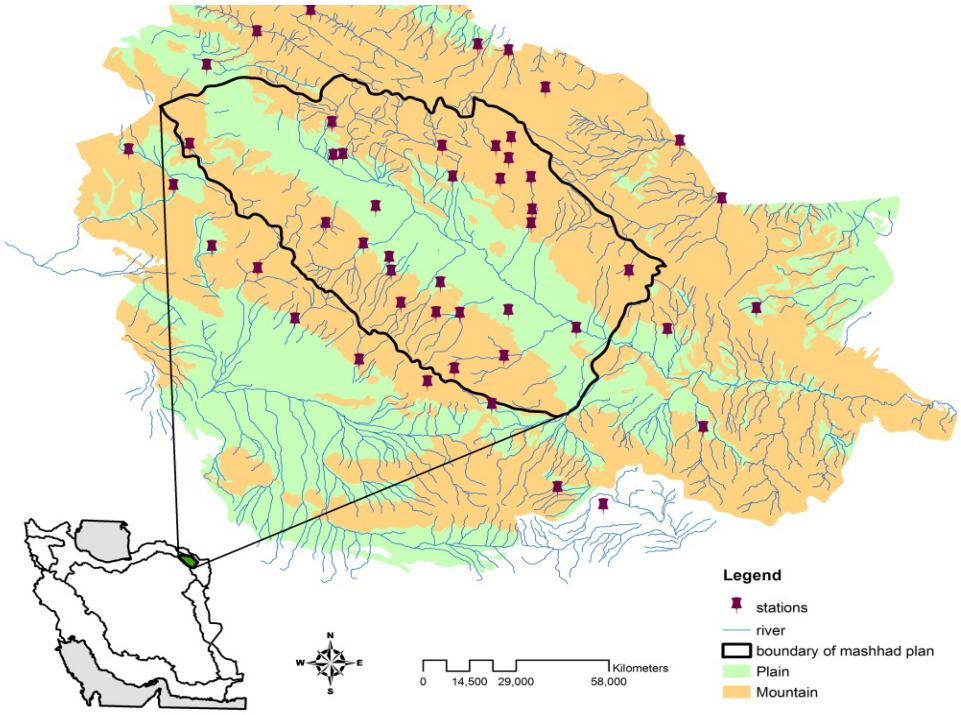
IDW یک روش درونیابی با خطای برآورد متوسط است (۱۰). معکوس فاصله تنها پارامتر موثر در IDW است. این روش اصلاح شده و تحت نام روش فاصله معکوس پیراسته (MIDW)؛ به صورت نسبت فاصله به اختلاف ارتفاع با توان مساوی تعریف می‌شود. MIDW برای مناطق کوهستانی مناسب است (۱۸). نسخه پیشرفته آن MIDW-F؛ با تلفیق نظریه فازی و الگوریتم ژنتیک بهبود یافته است (۶). تاثیر ارتفاع و فاصله فازی (μ_{pd} و μ_{ph}) و به عنوان وزن‌های بارش هر ایستگاه درنظر گرفته می‌شود (روابط ۱ و ۲).

مجموعه مرجع وزن‌های فاصله و ارتفاع به ترتیب $U=\{d_1,...,d_j,...,d_N\}$ و $V=\{h_1,...,h_j,...,h_N\}$ است.

$$P_d=\left\{d\ ,\ \mu_{pd}(d)=d^m\right\} \quad \forall d\in U \qquad (۱)$$

$$P_h=\left\{h\ ,\ \mu_{ph}(h)=h^n\right\} \quad \forall h\in V \qquad (۲)$$

1- Fuzzy kriging
2- Ordinary kriging
3- Cokriging
4- Thin Plate Smoothing Splines



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

$\mu_{pd}(d) = d^m$ درجه عضویت d در P_d و $\mu_{ph}(h) = h^n$ درجه عضویت h در $\mathbf{P_h}$، m و n دو پارامتر (متغیرهای تابع) هستند که با GA بهینه می‌شوند. توابع عضویت فاصله و ارتفاع با عملگرهای فازی‌کمینه (Min)، بیشینه (Max)، جمع (Sum)، ضرب (Multi) و مجذورمربعات (SQRT) یکپارچه شده‌است (روابط ۳ تا ۷).

$w_i = \dfrac{\mu_p(d_i,h_i)}{\sum_{i=1}^{N}\mu_p(d_i,h_i)}$ در رابطه ۸ وزن نهائی یکپارچه هر ایستگاه است.

m و n اعداد صحیح و بین ۱ تا ۱۰ هستند.

(۳) یکپارچه‌سازی مجموع مربعات

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

(۴) یکپارچه‌سازی جمع

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

(۵) یکپارچه‌سازی کمینه

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

(۶) یکپارچه‌سازی ضرب

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

(۷) یکپارچه‌سازی بیشینه

$$\mu_p(d,h) = \max(\mu_{pd}(d), \mu_{ph}(h)) \quad (۸)$$

$$P_x = \sum_{i=1}^{N}(w_i P_i) = \sum_{i=1}^{N}\left[\frac{\mu_p(d_i,h_i)}{\sum_{i=1}^{N}\mu_p(d_i,h_i)}\right].\ P_i$$

الگوریتم ژنتیک

GA یک الگوی یادگیری ماشین است که براساس نظریه تکامل تدریجی داروین مطرح و راه‌حل‌های بالقوه یک مساله را در قالب کروموزوم‌های ساده‌ای کد می‌کند. سپس عملگرهای ترکیبی با ایجاد جمعیتی تصادفی از افراد پیاده‌سازی می‌شوند (۲). GA برای برآورد و بهینه‌سازی پارامترهای MIDW-F و صرفه‌جوئی در زمان مناسب است. تابع هدف کمینه‌سازی مجموع مربعات خطای منطقه‌ای (RMSE[1]) است.

توان وزن‌های ارتفاع (m) و فاصله (n) پارامترهای MIDW-F (کروموزوم‌ها) هستند که به صورت تصادفی تولید و تابع خطا (RMSE) با تکرار GA بهینه می‌شود (معادله ۹). اعضای جمعیت در هر نسل بیست کروموزوم هستند. تقاطع و جهش روی هر نسل انجام و دو تا از بهترین اعضا (خطای کمتر) مستقیم به نسل بعد انتقال می‌یابند (نخبه گرائی).

1- Regional Mean Square Errors

جدول ۱- خصوصیات جغرافیائی ایستگاه‌های داخل و اطراف دشت مشهد

نام ایستگاه	طول جغرافیائی	عرض جغرافیائی	ارتفاع متر	میانگین بارش سالانه (۱۳۷۲-۱۳۸۸)	نام ایستگاه	طول جغرافیائی	عرض جغرافیائی	ارتفاع متر	میانگین بارش سالانه (۱۳۷۲-۱۳۸۸)
جنگ	۷۳۱۱۴۹	۴۰۷۳۸۲۷	۱۷۰۰	۳۳۱	دیزباد علیا	۷۰۵۷۵۲	۳۹۹۷۵۶۶	۱۸۸۰	*
آبقد فریزی	۶۸۵۷۶۳	۴۰۴۴۶۵۶	۱۳۸۰	۲۹۵/۵	تبرک آباد	۶۵۲۵۱۵	۴۱۱۷۱۷۷	۱۵۱۰	۳۴۳
گوش بالا	۷۲۸۵۲۹	۴۰۶۶۷۱۸	۱۵۸۰	۳۲۶/۵	هی هی	۶۳۶۸۳۰	۴۱۰۵۷۴۹	۱۳۳۰	۲۸۴
آل	۷۳۸۰۶۷	۴۰۶۷۳۱۴	۱۴۷۵	۳۴۱/۱	عیش آباد	۶۶۴۴۲۸	۴۰۱۸۹۷۵	۱۳۴۶	۳۳۱/۸
چناران	۶۸۹۶۱۸	۴۰۵۷۴۷۸	۱۱۷۰	۱۷۶/۳	بار اریه	۶۵۲۷۷۸	۴۰۳۶۲۵۵	۱۵۶۰	۳۵۵
مغان	۷۱۴۱۶۴	۴۰۰۱۹۴۵	۱۷۸۰	۴۰۲/۵	ماروسک	۶۳۴۸۷۹	۴۰۴۳۷۵۸	۱۴۹۵	*
جاغرق	۷۰۸۴۲۹	۴۰۲۱۱۱۳	۱۴۲۰	۳۱۹/۸	ینگجه آبشار	۶۱۲۴۵۷	۴۰۷۶۸۷۷	۱۶۸۰	۳۳۷/۵
شریف آباد	۷۲۵۸۵۲	۳۹۸۹۸۱۸	۱۴۵۵	۲۸۸/۸	چشمه علی	۶۸۴۴۷۱	۴۰۰۴۹۹۰	۱۵۴۰	*
تلغور	۷۱۰۳۰۸	۴۰۷۸۰۵۰۳	۱۵۴۰	۳۷۸/۸	ساق بیک	۶۲۶۴۵۳	۴۰۶۴۶۶۳	۱۵۱۰	*
قدیر آباد	۶۷۶۳۹۶	۴۰۷۴۹۸۴	۱۱۷۵	۲۱۷/۸	فرهادگرد	۷۴۶۳۵۲	۳۹۶۱۳۶۴	۱۵۰۰	۲۳۳/۳
چکنه علیا	۶۳۱۵۵۵	۴۰۷۸۷۱۲	۱۷۸۰	*	گلمکان	۶۹۳۸۴۴	۴۰۴۰۰۹۷	۱۴۰۰	۲۹۶
حصار دهبار	۷۱۵۸۴۱	۴۰۲۰۹۵۳	۱۲۲۰	۲۳۷/۵	دهانه اخلمد	۶۷۴۰۳۳	۴۰۵۱۶۷۶	۱۴۶۰	۲۵۵/۶
هندل آباد	۷۶۸۶۷۶	۴۰۳۵۴۰۰	۱۲۱۰	۱۹۳/۵	فریمان	۷۶۰۶۳۱	۳۹۵۵۴۴۶	۱۳۹۵	۲۳۱/۵
کلاته منار	۷۹۱۹۰۹	۳۹۸۱۹۶۶	۹۹۰	*	رادکان	۶۷۹۳۴۲	۴۰۷۵۲۲۴	۱۲۱۰	۲۱۸/۳
میامی	۷۸۰۶۵۶	۴۰۱۵۳۸۷	۱۰۳۰	۲۰۲/۸	دولت آباد	۶۹۴۴۰۹	۴۰۳۵۳۷۹	۱۵۱۰	۲۲۴
بزنگان	۸۰۸۵۱۰	۴۰۲۲۵۴۳	۱۰۲۰	۳۰۸	سد طرق	۷۲۹۶۳۹	۴۰۰۶۲۸۰	۱۲۴۰	۲۵۵
بهمن جان علیا	۶۷۵۹۴۱	۴۰۸۶۲۳۴	۱۳۴۰	۳۸۴/۵	زشک	۶۹۷۵۰۲	۴۰۲۴۳۶۳	۱۸۸۰	۴۱۳/۳
چهچهه	۷۹۷۶۹۲	۴۰۶۰۰۹۸	۴۷۹	۲۱۲/۳	اداره مشهد	۷۳۱۰۳۹	۴۰۲۱۹۵۶	۹۹۰	۲۴۸/۵
قره تیکان	۷۸۴۶۰۱	۴۰۷۹۸۳۴	۵۲۰	۳۶۸	سرآسیاب شاندیز	۷۰۹۸۲۰	۴۰۳۱۳۴۷	۱۲۷۰	۲۲۷/۸
دربندکلات	۷۴۲۶۳۴	۴۰۹۸۰۰۴	۹۷۰	۳۷۴	اندروخ	۷۳۸۱۳۱	۴۰۵۱۵۸۸	۱۲۰۰	۲۴۳/۸
ارچنگان	۷۳۱۰۸۶	۴۱۱۰۷۳۴	۷۴۵	۳۲۹/۳	سد کارده	۷۳۸۴۵۵	۴۰۵۶۳۳۰	۱۳۰۰	۲۹۲/۵
حاتم قلعه	۷۰۹۷۹۰	۴۱۳۲۱۶۱	۴۹۰	۲۱۱	مارشک	۷۲۷۱۴۰	۴۰۷۷۹۳۱	۱۸۷۰	۳۱۷
کبکان	۶۶۹۳۴۵	۴۱۲۴۴۴۴	۱۴۳۵	۳۲۱	اولنگ اسدی	۷۵۲۲۶۶	۴۰۱۵۸۲۲	۹۰۰	۱۹۵/۵
لایین نو	۷۲۱۴۵۸	۴۱۱۲۷۶۱	۸۷۶	*	بند ساروج	۷۱۳۶۱۷	۴۰۶۷۵۵۵	۱۳۱۰	۲۷۲/۷
					بلغور	۷۳۱۸۹۱	۴۰۸۱۰۲۲	۱۹۲۰	۴۰۹

*- اطلاعات بارش روزانه این ایستگاه‌ها ناقص بوده و فقط از اطلاعات موجود آنها در درونیابی بارش روزانه استفاده شده است.

$$E=\sum_{i=1}^{N} e_i=\sum_{i=1}^{N} p_i-\frac{\sum_{\substack{i=1\\ i\neq j}}^{N}\mu_p(d,h).P_i}{\sum_{\substack{i=1\\ i\neq j}}^{N}\mu_p(d,h)} \qquad (۹)$$

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. این کار برای فاصله بین ایستگاه‌ها و ارتفاع با معادلات ۱۱ و ۱۰ انجام می‌شود (۷ و ۹).

$$d'=1+9*\left(\frac{d-d_{\min}}{d_{\max}-d\min}\right) \qquad (۱۰)$$

$$h'=1+9*\left(\frac{h-h_{\min}}{h_{\max}-h\min}\right) \qquad (۱۱)$$

هدف این تحقیق تحلیل بارش روزانه با تلفیق نظریه‌فازی و GA در معادلات درونیاب است (MIDW-F). ۴۹ ایستگاه باران‌سنج حوضه‌آبریز دشت مشهد به‌کار گرفته شد. محدوده تغییرات m و n با انعطاف بیشتری در بازه (۱۶و۰) با ۳ رقم اعشار در نظر گرفته شده

است.

نتایج و بحث

هدف این پژوهش بهینه کردن معادله MIDW-F با تلفیق نظریه فازی و GA است. این معادله دو پارامتر m و n دارد (توان‌های وزن‌های فاصله و ارتفاع) که با GA بهینه می‌شوند. تابع هدف GA کمینه‌سازی RMSE است. مطالعه موردی ۲۱۵ بارش روزانه حوضه آبریز دشت مشهد با ۴۹ ایستگاه باران‌سنج (طول دوره آماری مشترک ۱۶ سال) است (جدول ۱). این اطلاعات با برنامه-نویسی در محیط برنامه نویسی Visual Studio 2010و نرم افزار بانک اطلاعاتی SqlServer 2008 استخراج شده‌اند. کلیه تحلیل‌ها با برنامه‌نویسی در نرم افزار MATLAB 2009 انجام شده است. ابتدا داده‌ها غربال و نرمال‌سازی شدند (روابط ۱۰ و ۱۱). توابع عضویت فاصله بین ایستگاه‌ها و ارتفاع با استفاده از پنج عملگرفازی (روابط ۳ تا ۷) یکپارچه و اثر آنها بررسی شد. بنابراین شکل تابع درونیاب برای هر بارش به ۵ صورت است. تحلیل تابع درونیاب به سه مرحله مطابق زیر تفکیک شد. مرحله اول پایلوت (آزمایشی) است که برای تخمین تعداد جمعیت لازم در اجرای GA به‌کار می‌رود. مرحله دوم تحلیل RMSE ۲۱۵ روز بارندگی با استفاده از نتایج مرحله پایلوت است. نتایج پهنه بندی نیز در مرحله سوم بررسی شده است.

مرحله اول؛ تخمین تعداد جمعیت لازم: ابتدا۱۰ روز بارش‌روزانه برای تعیین تعداد جمعیت لازم به تصادف انتخاب شد. جواب بهینه با تمام عملگرها با نسل‌های مختلف آزمایش شد. تعداد نسل‌های لازم برای رسیدن به جواب بهینه، عموما زیر۵۰ عدد بود. تعداد نسل‌های مورد نیاز در این مقاله برای اطمینان بیشتر ۱۰۰ نسل انتخاب شد. تولید پارامترها در هر نسل GA به صورت تصادفی است. این فرآیند۱۰ مرتبه برای اجتناب از توقف الگورتیم در جواب‌های محلی تکرار شد. RMSE در هر۱۰ مرتبه اجرای GA و برای هر پنج صورت MIDW-F محاسبه شد. کم‌ترین خطای این مراحل مربوط به معادله و پارامترها به عنوان شاخص بهینه انتخاب شدند. این اعمال برای بارش ده روز در منطقه مورد مطالعه انجام (پایلوت)، سپس نتایج برای مرحله دوم به کار گرفته شد.

مرحله دوم؛ تحلیل ۲۱۵ روز بارش روزانه: پنج عملگرفازی برای یکپارچه‌سازی توابع عضویت فاصله و ارتفاع استفاده و RMSE برای هر بارش روزانه محاسبه شد. جدول ۲ سهم هر عملگر را در بهینه‌سازی MIDW-F نشان می‌دهد. بررسی ۲۱۵ پدیده بارش نشان داد که عملگر کمینه بهترین (۵۸ درصد) و در مرتبه بعد عملگر ضرب (۳۵ درصد) قرار دارد (جدول ۲).

جدول ۲- سهم هر عملگر در بهینه سازی MIDW

عملگر	Min	Multi	Max	Sum	SQRT
سهم در بهینه‌سازی	٪۵۸	٪۳۵	٪۴	٪۱	٪۱

سایر عملگرها در مجموع سهم کمی داشتند (۶ درصد). مقادیر m و n در اکثر عملگرها تغییرات زیادی داشت (بین صفر و۱۶). جزئیات تغییرات پارامترهای m و n برای هر عملگر در جدول ۳ آمده است. عملگر مجذورمربعات در بهینه سازی MIDW-F سهم اندکی داشت و از ذکر جزئیات آن صرف‌نظر شد.

جدول ۳ – سهم چیدمان های مختلف m و n در عملگرهای فازی

عملگر	محدوده تغییرات n	محدوده تغییرات m
ضرب	۰/۱۷≤ n ≤۱۵/۹۸	۰/۵۶≤ m ≤۱۵/۹۸
کمینه	۰/۵۹ ≤ n ≤۱۵/۹۸	۱/۲۹≤ m ≤۱۵/۹۸
بیشینه	۱/۷۸≤ n ≤۱۵/۹۸	۱/۳۵≤ m ≤۵/۳۱
جمع	۰/۵۳≤ n ≤۱۵/۹۸	۰≤ m ≤۲/۷۸

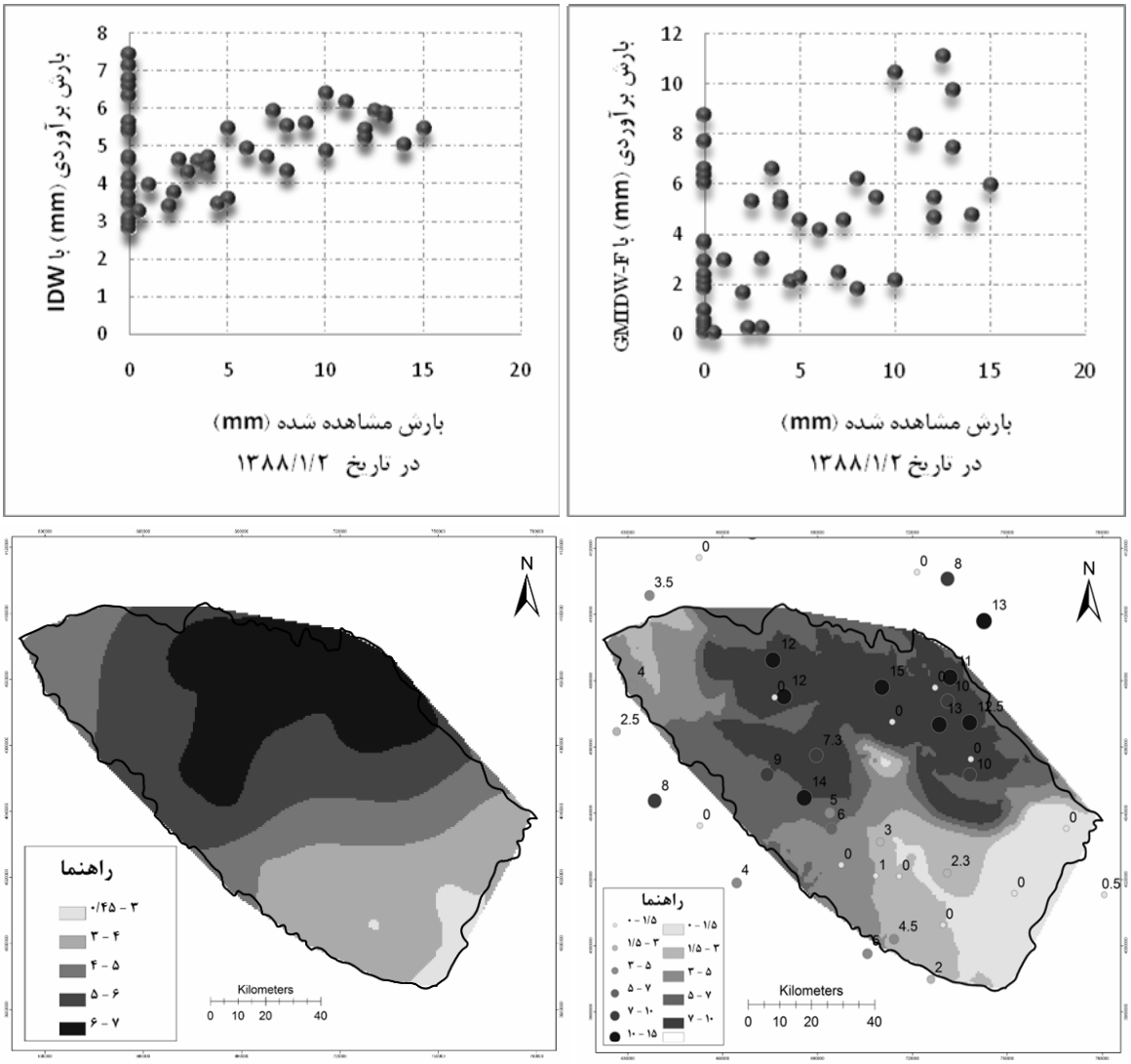
توضیح: واحد بارش میلی‌متر و خطاها نیز میلی‌متر است. واحد سایر آماره‌ها برحسب توان‌های خطاها محاسبه می‌شوند.

RMSE برای هر بارش روزانه (۲۱۵ روز) و برای هر چهار روش (MIDW-F، میانگین حسابی، چندضلعی تیسن و IDW) و به تعداد ۲۱۵ عدد محاسبه شد. خلاصه نتایج RMSE در جدول ۴ آمده است. تحلیل‌ها نشان داد که RMSE با روش MIDW-F کاهش می‌یابد (جدول ۴). به طور کلی معدل RMSE مربوط به‌روش میانگین حسابی مساوی ۳۷/۴۸ با بیشترین۹۰/۴۵، کمترین ۵/۷۶، واریانس ۶۸۶/۸ و ضریب تغییرات ۰/۷است. کمترین معدل RMSE مربوط به MIDW-F مساوی ۳۱/۷۸ با بیشترین ۵۶/۶۷، کمترین ۴/۶، واریانس ۳۴۰/۹۲ و ضریب تغییرات ۰/۵۸ است (جدول ۴). کارآئی نسبی (نسبت RMSEها) MIDW-F با سه روش دیگر محاسبه شد، که نتیجه به ترتیب: ۰/۸۵، ۰/۸۴ و ۰/۹۷ است که نشان از کاراتر بودن روش MIDW-F دارد (جدول ۴).

مرحله سوم؛ بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی: 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. برای ارائه نقشه‌های پهنه‌بندی منطقه با نرم‌افزار Arc Gis 9.3 شبکه‌بندی شد و مقادیر هر پیکسل با توابع بهینه شده در قسمت‌های قبل به‌دست آمد و خروجی آن در Arc Gis 9.3 به صورت شکل‌های ۲ و ۳ نمایش داده شد.

جدول ٤ – مقایسه RMSE روش‌های MIDW-F، میانگین‌ریاضی، تیسن و IDW (۲۱۵ بارش و ٤۹ ایستگاه)

	کارائی	آماره‌های مختلف میانگین مربعات خطای منطقه‌ای (RMSE)					تابع درونیاب
		ضریب تغییرات	واریانس	معدل	کمینه	بیشینه	
۱	۱/۰۰	۰/۵۸	۳۴۰/۹۲	۳۱/۷۸	۴/۶۰	۵۶/۶۷	MIDW-F
۲	٪۹۷	۰/۶۲۹	۴۲۰/۹۸	۳۲/۵۹	۴/۴۷	۶۱/۵۵	IDW
۳	٪۸۴	۰/۶۲	۵۳۷/۶۱	۳۷/۷۱	۴/۲۳	۷۲/۵۵	تیسن
۴	٪۸۵	۰/۷۰	۶۸۶/۸۰	۳۷/۴۸	۵/۷۶	۹۰/۴۵	میانگین‌حسابی



شکل ۲- مقایسه نموداری بارش مشاهده‌ای (۱۳۸۸/۱/۲) و برآوردی با دو روش MIDW-F و IDW (نمودار پراکنش بالا و پهنه بندی پائین)

ارائه پهنه‌بندی محدود به محدوده مطالعاتی است و شامل ناحیه اطراف آن نمی‌شود. مقدار RMSE این دو روش به ترتیب ۳۹/۹۴ و ۵۱/۶۲ میلی‌متر مربع است. شکل ۲ نمودار پراکنش (قسمت بالا) و پهنه‌بندی (قسمت پائین) این بارش را نشان می‌دهد. روش IDW بارش صفر را حداقل ۲/۸ میلی‌متر برآورد کرده (شکل۲ ، بالا، چپ) و برآوردها تقریبا در یک نوار افقی قرار دارند که نشان دهنده ضعف این روش است. اما در روش MIDW-F مقدار صفر نیز برآورد شده است. برآوردهای روش MIDW-F مناسب‌تر است (شکل ۲، بالا، راست). پهنه‌بندی یک بارش روزانه دیگر (تاریخ ۱۳۸۸/۱۲/۴) نیز در شکل ۳ آمده است.

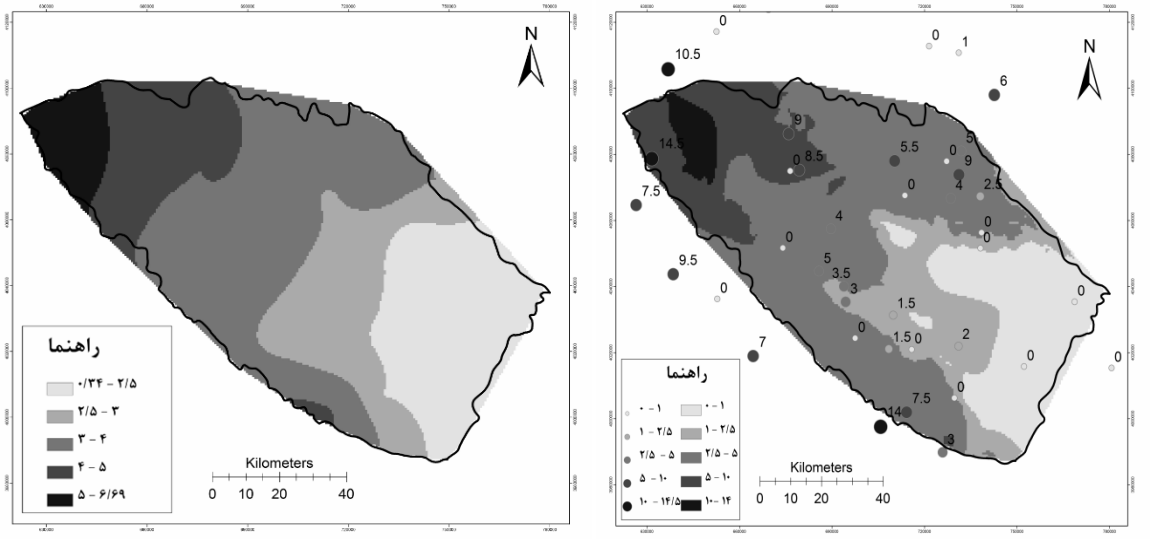
مقدار RMSE دو روش MIDW-F و IDW به ترتیب ۱۴/۶۱ و ۱۵/۰۵ میلی‌متر مربع است. همانطور که در شکل ۳ دیده می‌شود پهنه‌بندی با روش MIDW-F علاوه براینکه دامنه تغییرات بیشتری را نشان می‌دهد، قادر به نمایش جزئیات بیشتری است. نتیجه اینکه روش MIDW-F نسبت به روش‌های مرسوم برتری دارد.

نتیجه‌گیری

هدف این مقاله بهینه‌سازی معادله درونیاب MIDW-F با نظریه فازی و GA برای ۲۱۵ بارش روزانه در ۴۹ ایستگاه باران‌سنج حوضه آبریز دشت مشهد است. متغیرها دو پارامتر m و n (توان فاصله و ارتفاع در MIDW-F) هستند. پنج عملگر کمینه، ضرب، بیشینه، ماکزیمم، جمع و مجذور مربعات نیز برای یک‌پارچه‌سازی وزن‌ها بکار رفت. خطاها منطقه‌ای تحلیل شدند. نتایج نشان داد که دامنه تغییرات m و n در اکثر عملگرها زیاد (بین ۰ و۱۶) است و نباید دامنه را محدود کرد (جدول ۳). بهترین عملگرهای فازی کمینه و ضرب به ترتیب با سهم ۵۸ درصد و ۳۵ درصد و کمترین؛ عملگر مجذور مربعات با سهم ۱٪ است (جدول۲). بنابراین در هر بارش باید مقادیر پارامترها و بهترین عملگرفازی تعیین شوند. تحلیل RMSE هر بارش روزانه جداگانه صورت گرفت و ۲۱۵ عدد (RMSE) به‌دست آمد. این مقادیر برای ۴ روش MIDW-F، میانگین حسابی، چندضلعی تیسن و IDW محاسبه شد. نتایج نشان داد که RMSE بارش روزانه با روش MIDW-F کمترین است (جدول ۴). معدل RMSE مربوط به‌روش میانگین حسابی ۳۷/۴۸ (با بیشترین۹۰/۴۵، کمترین ۵/۷۶، واریانس ۶۸۶/۸ و ضریب تغییرات ۰/۷) و کمترین معدل RMSE مربوط به MIDW-F، ۳۱/۷۸ (با بیشترین ۵۶/۶۷، کمترین ۴/۶، واریانس ۳۴۰/۹۲ و ضریب تغییرات ۰/۵۸) است (جدول ۴). نتایج پهنه‌بندی دو بارش روزانه نشان داد که روش MIDW-F از کارایی بیشتری نسبت به سایر روش‌های مرسوم برخوردار است و کاربرد آن برای درونیابی بارش روزانه پیشنهاد می‌شود.

پیشنهادها

می‌توان تحقیقات متنوعی را برای مقایسه یا بسط روش MIDW-F انجام داد. چند پیشنهاد به شرح زیر است. ۱- مقایسه نتایج روش MIDW-F را با روش‌های شبکه عصبی، کریجینگ، فازی کریجینگ و غیره. ۲- مقایسه تحلیل‌های تصاویر ماهواره‌ای با نتایج روش MIDW-F. ۳- ارائه تحلیل‌های هواشناسی در روش MIDW-F.



شکل ۳- مقایسه پهنه‌بندی بارش ۱۳۸۸/۱۲/٤ با دو روش MIDW-F و IDW

منابع

۱- رحیمی ب.س. و ثقفیان ب. ۱۳۸۶. برآورد توزیع مکانی بارندگی با کمک تئوری مجموعه‌های فازی. تحقیقات منابع آب ایران. ۳(۲): ۳۸-۲۶.

۲- کیا س.م. ۱۳۸۸. الگوریتم‌های ژنتیک در MATLAB. خدمات نشر کیان رایانه سبز، ۱۹۲ ص.

۳- مهدوی م.، حسینی چگینی الف.، مهدیان م.ح. و رحیمی بندرآبادی س.، ۱۳۸۳. مقایسه روش های زمین آمار در برآورد توزیع مکانی بارش

سالانه در مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرقی ایران. مجله منابع طبیعی ایران، ۵۷(۲)، ۱۷-۱.

۴- میثاقی ف. و محمدی ک. ۱۳۸۵. پهنه‌بندی اطلاعات بارندگی با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک و زمین‌آمار و مقایسه با شبکه‌های‌عصبی مصنوعی. مجله‌علمی کشاورزی، ۲۹(۴): ۱۳-۱.

5- 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, 3(2): 146- 154.

6- Chang C.L., Lo S.L. and Yu S.L. 2005. Applying fuzzy theory and genetic algorithm to interpolate precipitation. Journal of Hydrology 314: 92-104.

7- Chang, C.L., Lo S.L. and Yu S.L. 2006. Reply to discussions on ‘‘Applying fuzzy theory and genetic algorithm to interpolate precipitation’’ by Zekai Sen .Journal of Hydrology 331: 364– 366.

8- Chen S. and Li Q., 2004. An areal rainfall forecasting method based on Fuzzy optimum Neural Network and Geography Information System. p.5361-5364. Proceedings of the 5th World Congress on intelligent control and Automation. Hangzhou, P.R. china.

9- Craig E.H. and Karen A.K. 1995. To normalize or not to normalize? Fat is the question. Environmental Toxicology and Chemistry 14 (5): 801-807.

10- Dingman S.L. 2002. Physical Hydrology (second edition). Prentice- Hall, Inc., New Jersey, 646 pp.

11- Gomez G.D., Etchevers J.D., Monterroso A.I., Gay C., Campo J. and Martinez M. 2008. Spatial Estimation of mean temperature and precipitation in areas of scarce meteorological information. Atmosfera 21(1): 35-56.

12- Goovaerts P. 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. Journal of Hydrology 228:113-29.

13- Horton R.E. 1923. Monthly weather review, Accuracy of areal rainfall estimates. Consulting Hydraulic Engineer 348- 353.

14- Hutchinson P. and Walley W.J. 1972. Calculation of areal rainfall using finite element techniques with altitudinal corrections. Bulletin of the International association of Hydrological sciences, XVII.

15- Johansson B. 2000. Areal Precipitation and Temperature in the Swedish Mountains, An evaluation from a hydrological perspective. Nordic Hydrology 31(3): 207-228.

16- Philips D.L., Dolph J. and Marks D. 1992. A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitations in mountainous terrain. Agriculture and Forest Meteorology. 58: 119–41.

17- Singh V.P. and Birsoy Y.K. 1975. Comparison of the methods of estimating mean areal rainfall Nordic Hydrology 6: 222-241.

18- LO S.S. 1992. Glossary of Hydrology. Water Resources, Colorado. 1794 PP.

19- Zadeh L.A. 1965. Fuzzy sets, Information and Control. 8(3): 338-353.

20- Zadeh L.A. 1968. Fuzzy algorithm, Information and Control. 12(2): 94-102.

Journal of Water and Soil
Vol. 28, No. 1, Mar.-Apr. 2014, p. 1-9

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۳، ص. ۹-۱

Optimal Interpolation of Daily Rainfall Equations with Fuzzy Theory and Genetic Algorithms in Mashhad Plain Basin

N. Seyyednezhad Golkhatm[1*] - S.H. Sanaeinejad[2]- B. Ghahraman[3] - H. Rezaee Pazhand[4]

Received: 12-10-2012
Accepted: 02-02-20113

Abstract

Regional analysis, estimating missing values, areal rainfall, estimating PMP and rainfall- runoff models in daily scale are essential in water resources and climatological researches. Modified inverse distance interpolation method based on Fuzzy Mathematics (MIDW-F) is a new, efficient method and independent of complex preconceptions hypothesis. The purpose of this paper is applying the new interpolation equation for above essential needs by calibration the daily rainfall of Mashhad Plain catchment. Screening and normalizing distances and elevations were done, then effects of fuzzy operations (Max, Min, Sum, Multiplication and SQRT) are Checked out and optimizing the parameters of MIDW-F by Genetic algorithms. The 215 daily precipitations (49 rain gauge stations) were analyzed and were calibrated. The results showed that the best operators are Minimum (Share58%), multiplying (Share35%) and total contribution rate of others are 6%. The MIDW-F was compared with the three others conventional methods (the Arithmetic mean, Thiessen polygon and IDW) and results showed that the errors of MIDW-F method were reduced noticeably. Largest Regional Mean Square errors (RMSE) is for Arithmetic mean (Max. 90.45, Min. 5.76, variance 686.8 and 70% Cv) and smallest RMSE belong to MIDW-F (Max. 56.67, Min. 4.6, variance 340.92 and 57% Cv). Zoning of daily rainfall at 22/3/2009 and 23/2/2010 and with MIDW-F and IDW methods were conducted and evaluated. The results showed that the zoning by MIDW-F proposed more details. So this method\ is proposed for the interpolation of daily precipitation in a homogeneous region.

Keywords: MIDW-F, Genetic Algorithm, Regional interpolation, Mashhad plane, Fuzzy theory

1,2,3- MSc Graduated, Associate Professor and Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively
(* - Corresponding Author Email: n.seyyednnejad@yahoo.com)