

پیش‌بینی الگوی توزیع مکانی متوسط بارندگی سالانه منطقه ارومیه با استفاده از روش‌های زمین‌آماري

فرخ اسدزاده^{۱*}، احسان احسان ملاح^۲ و سینا شکیبا^۳

۱ و ۲- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ارومیه، ارومیه

نویسنده مسئول: f.asadzadeh@urmia.ac.ir*

دریافت: ۹۵/۱/۲۱ پذیرش: ۹۶/۵/۲۲

چکیده

پیش‌بینی توزیع مکانی بارندگی در مناطق کوهستانی به منظور حفظ و برقراری تعادل آبی و تخمین قابلیت دسترسی آب، به دلیل پیچیده بودن گردان بارش و هم‌چنین کم بودن تعداد ایستگاه‌ها در این مناطق بسیار حائز اهمیت می‌باشد. هدف از مطالعه حاضر پیش‌بینی پراکنش مکانی بارندگی با استفاده از روش‌های مختلف زمین‌آماري و ارزیابی دقت آن‌ها می‌باشد. بدین منظور از اطلاعات باران‌سنجی ۳۸ ایستگاه مربوط به بارش سالیانه منطقه ارومیه استفاده شده و قابلیت روش‌های *IDW*، کریجینگ و کوکریجینگ مورد بررسی قرار گرفت. پس از نرمال‌سازی داده‌ها اقدام به ترسیم واریوگرام‌های مربوطه گردید. برای تعیین بهترین مدل به منظور برازش بر واریوگرام تجربی از دو معیار *RSS* با مقدار کمتر و استحکام ساختار فضایی قوی‌تر استفاده شد. سپس با استفاده از تکنیک ارزشیابی متقابل و استفاده از شاخص *RMSE* مناسب‌ترین روش درون‌یابی انتخاب شد. نتایج نشان داد که روش کوکریجینگ با متغیر کمکی ارتفاع دارای حداقل خطا و بالاترین دقت برازش می‌باشد. با توجه به اینکه منطقه ارومیه کوهستانی است و شرایط برای کشت دیم مناسب دارد، لذا با استفاده از تکنیک *GIS*، نقشه‌های پراکنش مکانی بارندگی منطقه ارومیه به روش کوکریجینگ و مناطق مستعد اراضی دیم با رزولیشن بالا تهیه گردید.

واژه‌های کلیدی: بارش، درون‌یابی، کوکریجینگ، ارزشیابی متقابل، ارومیه

۱- مقدمه

درون‌یابی بارش، درک الگوی فضایی و در نظر گرفتن اثر توپوگرافی ضروری است [۱۲]. برخی روش‌های ساده اندازه‌گیری بارندگی مانند تیسن و خطوط هم‌باران به علت عدم در نظر گرفتن پیوستگی مکانی داده‌ها دارای دقت کمی می‌باشند [۱]. لذا در سال‌های اخیر روش‌های زمین‌آماري به طور وسیعی در هیدرولوژی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۷]. در زمین‌آمار می‌توان بین مقادیر یک کمیت، فاصله و جهت قرار گرفتن داده‌ها نسبت به یکدیگر ارتباط برقرار کرد. بنابراین در این روش ابتدا به بررسی وجود یا عدم وجود ساختار مکانی بین داده‌ها پرداخته می‌شود و در صورت وجود چنین ساختاری، تحلیل داده‌ها انجام می‌گیرد، بنابراین تخمین زمین‌آماري شامل دو مرحله است: مرحله اول که شامل شناخت و مدل‌سازی ساختار فضایی متغیر می‌باشد که بوسیله آنالیز واریوگرام صورت می‌گیرد و مرحله دوم که شامل تخمین متغیر مورد نظر توسط توابع زمین‌آماري از جمله

بارندگی مهم‌ترین عاملی است که به طور مستقیم در چرخه‌ی هیدرولوژی دخالت دارد [۱] به طوری که برآورد منابع آبی حوضه‌های آبخیز اغلب بر پایه تخمین داده‌های بارش استوار می‌باشد [۱۲] میزان آب وارد شده حوضه توسط بارندگی یکی از مهم‌ترین بخش‌های مدل‌های هیدرولوژیکی می‌باشد زیرا مقدار بارندگی تاثیر بسزایی در کنترل میزان آب ورودی به حوضه را دارد [۹ و ۱۵] برای مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی و تعیین کمیت و کیفیت آب به یک نمایش دقیق از توزیع بارندگی نیاز است، زیرا بارندگی نیروی اصلی تقسیم‌بندی رواناب و انتقال آلودگی می‌باشد [۳]. پیش‌بینی توزیع زمانی و مکانی بارندگی در مناطق کوهستانی به منظور حفظ و برقراری تعادل آبی و تخمین قابلیت دسترسی آب، به دلیل پیچیده بودن گردان بارش و هم‌چنین کم بودن تعداد ایستگاه‌ها در این مناطق بسیار حائز اهمیت می‌باشد [۶] برای

روش رگرسیون چند متغیره کمترین خطا را دارا می‌باشد. جانسون و چن [۱۲] با استفاده از روش‌های زمین‌آمار، تاثیر باد و توپوگرافی بر توزیع مکانی بارندگی را مورد بررسی قرار داده و نتایج ایشان حاکی از کارایی این روش‌ها در این گونه مطالعات می‌باشد. با توجه به پراکندگی نتایج به دست آمده در مناطق مختلف، هدف از این تحقیق مقایسه روش‌های مختلف میان‌یابی جهت پیش‌بینی توزیع مکانی بارش در منطقه ارومیه بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه

ناحیه‌ی مورد مطالعه محدوده‌ای است با مساحت تقریبی ۵۸۰۰ کیلومتر مربع که شامل بخشی از حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه می‌باشد. این ناحیه از شرق به دریاچه ارومیه و از غرب نیز محدود به مرز ایران و ترکیه است. منطقه مورد مطالعه از سمت شمال تا محدوده‌ی شهرستان سلماس و از جنوب نیز تا محدوده‌ی شهرستان ارومیه گسترش یافته است. اختلاف ارتفاع بین مرتفع‌ترین و پست‌ترین نقطه منطقه در حدود ۲۳۵۰ متر بوده و اقلیم منطقه نیز نیمه‌خشک است. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی، پراکنش ایستگاه‌های باران‌سنجی و مدل رقومی ارتفاع منطقه نشان داده شده است. در این مطالعه از اطلاعات باران‌سنجی ۳۸ ایستگاه هواشناسی (سینوپتیک و کلیماتولوژی) و ایستگاه‌های سازمان تحقیقات منابع آب ایران (تماب) در دوره آماری ۲۵ ساله جهت پهنه‌بندی بارش سالانه حوضه ارومیه استفاده شده است.

در این مطالعه از اطلاعات باران‌سنجی ۳۸ ایستگاه هواشناسی (سینوپتیک و کلیماتولوژی) و ایستگاه‌های سازمان تحقیقات منابع آب ایران (تماب) در دوره آماری ۲۵ ساله جهت پهنه‌بندی بارش سالیانه حوضه ارومیه استفاده شده است. داده‌هایی که چولگی بالایی داشتند غیرنرمال تشخیص داده شد و جهت نرمال سازی آن‌ها از روش‌های لگاریتم‌گیری استفاده شد.

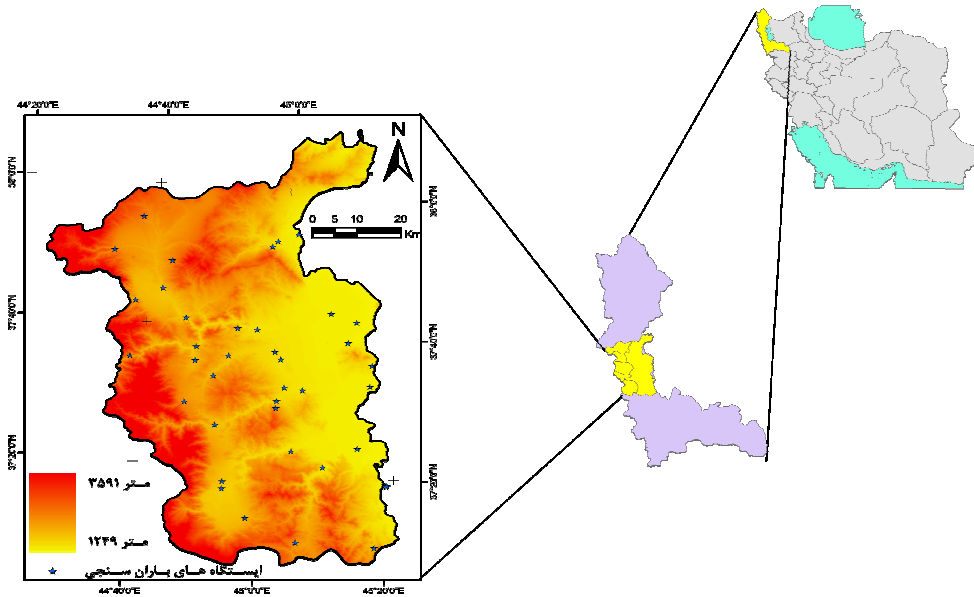
جهت بررسی تغییرات مکانی بارش سالیانه از روش‌های درون‌یابی کریجینگ، کوکریجینگ (به همراه متغیر کمکی ارتفاع) و تابع معکوس فاصله (*IDW*) با توان‌های ۱ تا ۵ استفاده شده است.

کریجینگ و کوکریجینگ می‌باشد [۱۱]. در مقایسه با دیگر تکنیک‌های ارزیابی، یک مزیت تکنیک‌های زمین‌آمار این است که یک شاخص برای دقت ارزیابی متغیر مورد نظر توسط انحراف استاندارد ارزیابی کریجینگ فراهم می‌کند [۴].

دریکس و همکاران [۶] تعدادی از روش‌های درون‌یابی را برای برآورد بارندگی روزانه، ماهانه و سالانه در ایسلند مورد بررسی قرار داده و نتایج این بررسی نشان داد که روش *IDW*^۱ نسبت به بقیه روش‌ها حتی کریجینگ، روش مناسب‌تری برای پیش‌بینی بارندگی می‌باشد. فرجی و عزیزی [۸] روش‌های مختلف تیسن، معکوس وزنی فاصله، اسپلاین و انواع کریجینگ را برای الگوسازی بارندگی حوضه کارده مشهد مورد ارزیابی قرار داد، نتایج ایشان نشان داد که روش‌های تیسن و کریجینگ نسبت به سایر روش‌های مورد استفاده از دقت بیشتری برخوردار است. سلیمانی و همکاران [۱۹] برای تعیین متوسط بارندگی در منطقه رفسنجان دو روش زمین‌آمار کریجینگ و عکس فاصله با توان‌های ۱ تا ۳ را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این ارزیابی نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، روش کریجینگ در تعیین متوسط بارندگی بر روش *IDW* ارجحیت دارد. در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی به منظور به کارگیری متغیر ارتفاع به عنوان یک پارامتر کمکی برای پیش‌بینی بارندگی در روش‌های زمین‌آمار انجام شده است [۱۴] و [۱۰].

ولینگ [۲۰] استفاده از روش‌های زمین‌آمار به منظور برآورد بارندگی سالانه در مناطق کوهستانی را مطلوب ارزیابی کرده است. سققیان و رحمانی بندرآبادی [۱۸] قابلیت چند روش درون‌یابی شامل میانگین متحرک وزنی، *TPSS* و کریجینگ را به منظور برآورد توزیع مکانی بارندگی ماهانه و سالانه جنوب غرب ایران مورد بررسی قرار داد و نشان داد که هر چند روش *TPSS* دارای خطای کمتری می‌باشد، ولی روش کوکریجینگ تغییرات مکانی بارندگی منطقه را بهتر نشان می‌دهد و با توپوگرافی منطقه هماهنگی بیشتری دارد. دیوداتو [۵] در مناطق کوهستانی ایتالیا، اثر توپوگرافی را بر توزیع فضایی بارندگی مورد بررسی قرار داد و اعلام نمود که روش کریجینگ معمولی دارای خطای زیادی است در حالی که

¹ Inverse distance weight



شکل ۱. محدوده جغرافیایی منطقه مورد مطالعه به همراه توزیع ارتفاع و مکان ایستگاه‌های باران‌سنجی

$$Var(Z^*(x_0)) = E((Z^*(x_0) - Z(x_0))^2) = 1 \quad (2)$$

جهت انجام روش کریجینگ لازم است واریوگرام مربوط به متغیر مورد نظر ترسیم گردد. محاسبه منحنی واریوگرام از مهم‌ترین عملیات زمین‌آمار است که از طریق معادله زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

که در آن $\gamma(h)$ مقدار واریوگرام برای جفت نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند، $n(h)$ تعداد زوج نقاطی است که به فاصله h از هم قرار دارند، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر x و $Z(x_i + h)$ مقدار مشاهده شده متغیر که به فاصله h از x قرار دارد می‌باشد [۱۱].

ب) کوکریجینگ: همانطور که در آمار کلاسیک نیز روش‌های چند متغیره وجود دارد، در زمین‌آمار نیز می‌توان از روش کوکریجینگ و بر اساس همبستگی بین متغیرهای مختلف، برای تخمین استفاده کرد. معادله کوکریجینگ به شرح زیر می‌باشد [۱۶].

$$Z^*(x_i) = \sum_{e=1}^n \lambda_{e,i} \cdot x_i \sum_{k=1}^n \lambda_k \cdot y(x_k) \quad (4)$$

که در آن $Z^*(x_i)$ مقدار تخمین‌زده شده برای نقطه x_i ، λ_i وزن مربوط به متغیر Z ، λ_k وزن مربوط به متغیر کمکی y ، و $y(x_k)$ مقدار مشاهده شده متغیر کمکی می‌باشد [۱۳].

الف) کریجینگ: یک روش تخمین زمین‌آمار می‌باشد که بر پایه میانگین متحرک وزنی استوار است. به طوری که می‌توان گفت این روش بهترین تخمین‌گر خطی نارایب^۱ می‌باشد. این تخمین‌گر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (1)$$

که در آن $Z^*(x)$ عیار تخمینی، λ_i وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه نام و $z(x_i)$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. این نوع کریجینگ را کریجینگ خطی می‌نامند زیرا ترکیب خطی از n داده می‌باشد. شرط استفاده از این تخمین‌گر این است که، متغیر Z دارای توزیع نرمال باشد، در غیر این صورت یا باید از کریجینگ غیر خطی استفاده کرد و یا اینکه به نحوی توزیع متغیرها را به نرمال تبدیل نمود [۱۱].

مهم‌ترین قسمت کریجینگ تعیین وزن‌های آماری λ_i است که جهت نارایب بودن تخمین‌ها، این اوزان باید به نحوی تعیین گردند که مجموع آن‌ها برابر ۱ باشد ($\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$). همچنین جهت استفاده از این تخمین‌گر می‌بایست واریانس تخمین را محاسبه و سپس تابع حاصل را به حداقل رساند به عبارتی دیگر:

¹ Best Linear Unbiased Estimator (B.L.U.E)

باقی‌مانده ($RMSE$) استفاده شد (Mohammadi, 2006) که فرمول محاسبه آن به شرح زیر می‌باشد.

$$R.M.S.E = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z(x_i) - Z^*(x_i))^2} \quad (7)$$

که در آن $Z^*(x_i)$ مقدار برآورد شده متغیر مورد نظر، $Z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر مورد نظر (مقدار مشاهده‌ای) و n تعداد مشاهدات می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

پس از بررسی داده‌ها به وسیله آزمون آندرسون و دارلینگ، داده‌های غیر نرمال با استفاده از روش لگاریتم‌گیری، نرمال‌سازی گردیدند. خلاصه آماری داده‌های بارش هر یک از ایستگاه‌ها و ارتفاع آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است. شکل ۲ نیز هیستوگرام داده‌های ارتفاع و بارش را قبل و بعد از نرمال‌سازی نشان می‌دهد.

اولین گام در استفاده از روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ بررسی وجود ساختار مکانی در بین داده‌ها توسط آنالیز واریوگرام می‌باشد، بدین منظور اقدام به ترسیم واریوگرام با استفاده از داده‌های نرمال گردید. شکل (۳) واریوگرام‌های ارتفاع، بارش و واریوگرام متقابل این دو (مربوط به روش کوکریجینگ) را نشان می‌دهد. به وسیله مقادیر حداقل مجموع مربعات باقی‌مانده (RSS)، برای انتخاب مناسب‌ترین مدل جهت برازش بر روی واریوگرام تجربی استفاده شد [۱۷] (جدول ۲). برای واریوگرام بارش مدل کروی و برای پارامتر ارتفاع و واریوگرام متقابل مدل گوسی با توجه به RSS کمتر به عنوان مدل مناسب انتخاب گردیدند. جدول (۳) پارامترهای واریوگرام‌های بارش و ارتفاع را نشان می‌دهد. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه را می‌توان برای ارزیابی ساختار مکانی داده‌ها مورد بررسی قرار داد. وقتی این نسبت کمتر از ۰/۲۵ باشد متغیر مورد نظر دارای ساختار مکانی قوی می‌باشد، بین ۰/۲۵-۰/۷۵ ساختار مکانی متوسط بوده و هنگامی که بزرگ‌تر از ۰/۷۵ باشد ساختار مکانی ضعیف می‌باشد [۱۷]. همان‌طور که نشان داده شد مقدار این پارامتر در هر دو متغیر بارش و ارتفاع کمتر از ۰/۲۵ بوده و دارای استحکام ساختار فضایی قوی می‌باشند.

برای تخمین توسط این روش و محاسبه اوزان مربوطه، واریوگرام متقابل به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\gamma(z,y)h = \frac{1}{2}n[z(x_i+h) - z(x_i)] \times [y(x_k) - y(x_k)] \quad (5)$$

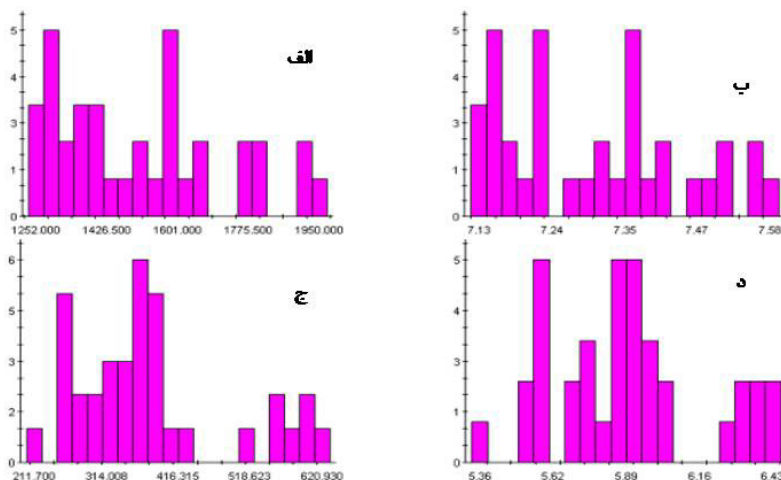
که در آن $\gamma(z,y)h$ واریوگرام متقابل بین متغیر z و $z(x_i)$ متغیر مشاهده شده و $y(x_k)$ متغیر کمی می‌باشد.

ج) IDW: در این روش برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری، وزنی بر اساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر گرفته می‌شود. سپس این اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شود، به طوریکه توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد تخمین را کاهش داده و توان‌های کوچک‌تر وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط همجوار توزیع می‌کنند. البته باید توجه داشت که این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آن‌ها را در نظر می‌گیرد، یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه تخمین هستند دارای وزن یکسانی می‌باشند [۱۱ و ۱۶]. مقدار فاکتور وزنی با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

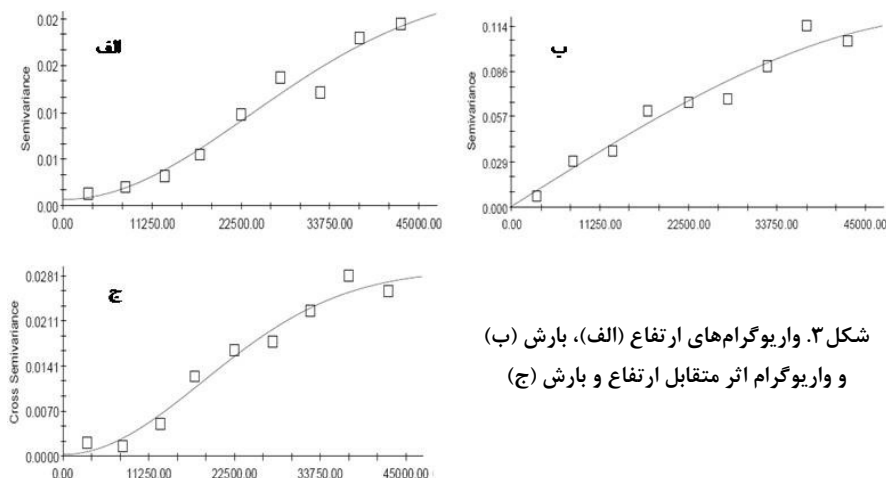
$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-\alpha}} \quad (6)$$

به منظور انتخاب مناسب‌ترین روش میان‌یابی به این صورت عمل شد که پس از رسم واریوگرام و برازش مدل مناسب، عملیات درون‌یابی به وسیله روش کریجینگ، کوکریجینگ و تابع معکوس فاصله با توان‌های مختلف بررسی گردید. برای دستیابی به این هدف می‌توان از شیوه‌های مختلفی استفاده نمود که یکی از مناسب‌ترین آن‌ها استفاده از نتایج ارزشیابی متقابل^۲ می‌باشد. بدین ترتیب که ابتدا یکی از نقاط اندازه‌گیری را حذف نموده و سپس با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش میان‌یابی مورد نظر برای نقطه حذف شده تخمین آماری صورت می‌گیرد، در مرحله بعد این نقطه به محل خود برگردانده شده و نقطه بعدی حذف می‌گردد و به همین ترتیب برای تمام نقاط مشاهده‌ای یک برآورد نیز صورت می‌گیرد و نتایج در قالب دو ستون مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی ارائه می‌گردد [۱۶]. در این تحقیق به منظور آزمون برازندگی روش‌های میان‌یابی، از روش میانگین مربعات

²Cross Validation



شکل ۲. هیستوگرام ارتفاع ایستگاه‌ها قبل و بعد از تبدیل (الف و ب) و داده‌های بارش قبل و بعد از تبدیل (ج و د)



شکل ۳. واریوگرام‌های ارتفاع (الف)، بارش (ب) و واریوگرام اثر متقابل ارتفاع و بارش (ج)

جدول ۱. خلاصه آماری داده‌های بارش هر یک از ایستگاه‌ها و ارتفاع آن‌ها

متغیر	حدافل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
بارندگی (mm)	۲۱۱/۷	۶۲۰/۹۳	۳۷۹/۴۹	۱۱۳/۰۳	۰/۸۲۶	-۰/۱۸
لگاریتم بارندگی	۵/۳۶	۶/۴۳	۵/۸۹	۰/۲۸	۰/۳	-۰/۵۳
ارتفاع (m)	۱۲۵۲	۱۹۱۰	۱۵۰۹/۴۷	۱۹۳/۹۳	۰/۴۶	-۱/۰۶
لگاریتم ارتفاع	۷/۱۳	۷/۵۵	۷/۳۰	۰/۱۲	۰/۲۹	-۱/۰۶

جدول ۲. مقادیر RSS برای مدل‌های تئوریک واریوگرام

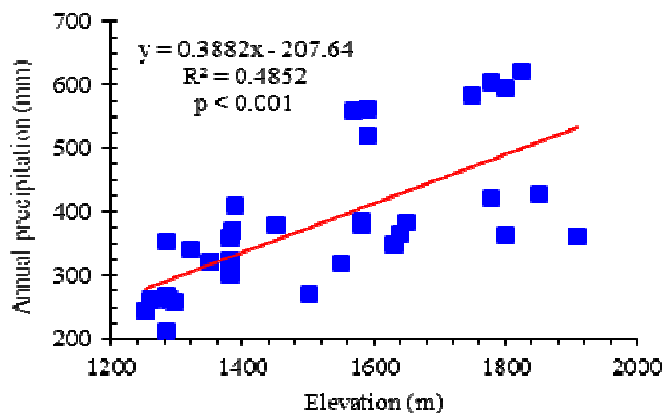
متغیر	مدل‌های تئوریک واریوگرام			
	مورد بررسی	کروی	نمایی	خطی
بارندگی (mm)	۰/۰۰۰۴۳۴	۰/۰۰۰۴۵۸	۰/۰۰۰۵۰۳	۰/۰۰۰۵۷۲
ارتفاع (m)	۰/۰۰۰۰۳۶	۰/۰۰۰۰۴۵	۰/۰۰۰۰۳۱	۰/۰۰۰۰۱۶

جدول ۳. پارامترهای مربوط به بهترین مدل برازش داده شده به واریوگرام

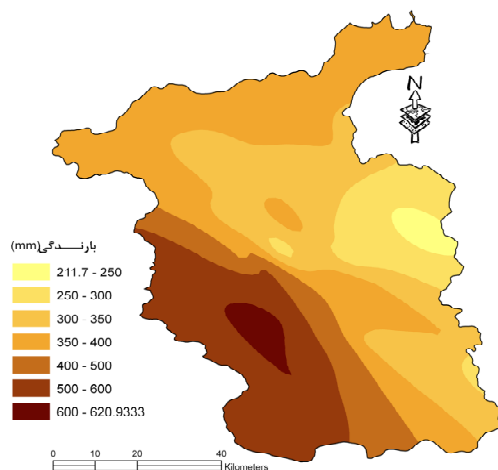
متغیر مورد بررسی	مدل	اثر قطعه ای	آستانه	اثر قطعه‌ای بر آستانه	R^2
بارندگی (mm)	کروی	۰/۰۰۱	۰/۱۱	۰/۹۹۱	۰/۹۵۷
ارتفاع (m)	گوسی	۰/۰۰۰۹	۰/۰۲۸	۰/۹۶۸	۰/۹۶۹

عنوان مدل مناسب انتخاب شد. با توجه به رابطه معنی‌دار ($p < 0.001$) بین ارتفاع و مقدار بارش سالانه که در شکل ۴ ارائه شده است به نظر می‌رسد که متغیر ارتفاع به دلیل همبستگی قابل توجه با بارش می‌تواند به عنوان یک متغیر کمکی مطلوب سبب ارتقاء دقت روش کوکریجینگ گردد. در نهایت با توجه به این روش و به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقشه پهنه‌بندی بارش سالیانه حوضه ارومیه تهیه شد (شکل ۵).

پس از مدل‌سازی واریوگرام، از سه روش کریجینگ، کوکریجینگ و IDW با توان‌های ۱ تا ۵ برای بررسی تغییرات مکانی بارش استفاده شد. جهت ارزیابی این روش‌ها ابتدا با استفاده از روش ارزشیابی متقابل برای هر یک از داده‌های مشاهده‌ای یک داده برآوردی نیز محاسبه شد و سپس با استفاده از پارامتر $RMSE$ مقدار خطای هر روش محاسبه گردید (جدول ۴). روش کوکریجینگ به همراه متغیر کمکی ارتفاع دارای کمترین خطا بوده و به



شکل ۴. رابطه بین ارتفاع و مقدار بارش سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل ۵. نقشه تغییرات مکانی بارش سالیانه منطقه ارومیه به روش کوکریجینگ

جدول ۴. مقادیر $RMSE$ برای تخمین بارش سالیانه با استفاده از روش‌های مختلف

توان‌های مختلف تابع معکوس فاصله					کوکریجینگ	کریجینگ
توان ۵	توان ۴	توان ۳	توان ۲	توان ۱		
۷۲/۹۸	۶۷/۷۳	۶۵/۸۲	۶۵/۴۹	۶۶/۰۲	۵۸/۳	۶۱/۶۳

۴- نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که خصوصیت مورد مطالعه دارای چولگی بالایی بود که دلیل آن می‌تواند کم بودن تعداد ایستگاه‌ها و عدم پراکنش مناسب باشد. البته استفاده از لگاریتم، داده‌ها را تا حد زیادی نرمال ساخت. پس از ترسیم واریوگرام و برازش مدل مناسب بر روی آن، پارامترهای مربوطه استخراج شد، نتایج نشان داد که متغیر بارش دارای استحکام ساختار فضایی بسیار قوی است که نشان‌دهنده پیوستگی مکانی و دقت بالای مدل‌های برازش داده شده می‌باشد، که خود نقش بسزایی در بالا بردن دقت تخمین دارد. به منظور پیش‌بینی بارندگی منطقه مورد مطالعه روش‌های زمین‌آمار بر روش IDW ارجحیت داشتند که این یافته با نتایج فرجی و عزیزی [۸]، سلیمانی [۱۹] و کمپلینگ و همکاران [۲] مطابق می‌باشد. ایشان نیز دقت روش‌های زمین‌آمار را نسبت به روش IDW بیش‌تر ارزیابی کرده بودند. مقایسه بین دو روش کریجینگ و کوکریجینگ مشخص کرد که روش کوکریجینگ با متغیر کمکی ارتفاع، دارای دقت بالاتری می‌باشد. که این پدیده اهمیت در نظر گرفتن پارامتر ارتفاع را به عنوان متغیر کمکی در پیش‌بینی بارندگی در مناطق کوهستانی نشان می‌دهد. مهدوی و همکاران [۱۳] و سقفیان و رحمانی بندرآبادی [۱۸] نیز روش کوکریجینگ را روشی مناسب برای پیش‌بینی بارندگی در مناطق کوهستانی دانسته‌اند. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که تغییرات بارندگی از مناطق مرتفع واقع در غرب حوضه به سمت ساحل دریاچه‌ی ارومیه روندی کاهشی دارد. که با در نظر گرفتن نقشه رقوم ارتفاع منطقه (شکل ۱) این پدیده قابل توجیه می‌باشد. با در نظر گرفتن این که منطقه ارومیه از نظر وضعیت بارندگی جهت مدیریت کشت دیم شرایط مناسبی دارد و با توجه شرایط کوهستانی منطقه و در نتیجه محدودیت قابلیت بسیاری از اراضی برای کشت فاریاب، استفاده از چنین نقشه‌هایی با دقت بالا برای تعیین اراضی مستعد^۱ برای کشت دیم ضروری به نظر می‌رسد.

منابع

- [1] Alizaddeh, A (2003) *Fundamentals of Applied Hydrology*. 16th edition. Imam reza University Publication. p. 815.
- [2] Campling, P., Gobin, A. & Fegen, J (2001) *Temporal and spatial rainfall analysis across humid Tropical catchment*. *Hydrological processes*, 15, 359-375.
- [3] Cho, J., Bosch, R., Lowrance, R., Strickland, T. & Vellidis, G (2009) *Effect of spatial distribution of rainfall on temporal and spatial uncertainty of SWAT output*. *Am.Soc. Agricul. Biol. Eng.* 52 (5), p. 1545-1555.
- [4] Delrieu, G., Wijbrans, A., Boudevillain, B. Faure, D., Bonnifait, L. & Kirstetter, P.E (2014) *Geostatistical radar-raingauge merging: a novel method for the quantification of rain estimation accuracy*. *Advances in Water Resources*. This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication.
- [5] Diiodato, N (2005) *The influence of Topographic co-varicble on the spatial variability of precipitation over small Regions of complex Terrain*, *International Journal of climatology*, 25, 351-363.
- [6] Driks, K.N., Hay, J.E. Stow, C.D. & Harris, D(1998) *High-resolution studies of rainfall on Norfolk Island, part two: Intrpolation of rainfall data*. *Journal of Hydrology*, 208, 187-193.
- [7] rogue, G., Humbert, J. Deraisme, J. Mahr, N. & Freslon, N (2002) *A statistical-topographic model using an omnidirectional parameterization of the relief for mapping orographic rainfall*. *International journal of climatology*, 22, 599-613.
- [8] Faraji, H. & Azizi, Gh (2007) *Accuracy of spatial data estimated by some areal interpolation methods (Case Study: Rainfall pattern in Kardeh watershed)*. *Geographical Research Quarterly*, 38(6), 1-15.
- [9] Galván, L., Olías, M., Izquierdo, T., Cerón, J.C. & R. Fernández de Villarán, R (2014) *Rainfall estimation in SWAT: An alternative method to simulate orographic precipitation*. *Journal of Hydrology*, 509, 257-265.
- [10] Goovaerts, P (2000) *Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall*. *Journal of Hydrology*, 228, 113-129.
- [11] Hasani-Pak, A.A (2007) *Geostatistics*. 2nd edition. University of Tehran Publication. p. 314.
- [12] Johansson, B. & Chen, D (2003) *The influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: statistical analysis and modeling*. *International journal of climatology*, 23, 1523-1535.
- [13] Mahdavi, M., Hosseini-Cheginì, E., Mahdian, M.H. & Rahimi-Bandarabadi, S (2004) *Application of geostaristical methods for estimation of annual spatial rainfall in arid*

¹ Suitable land

- and semiarid regions of south east of Iran. *Iranian Journal of Natural Recourses*, 57(2), 211-224.
- [14] Martinez-Cob, A (1996) *Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain. Journal of Hydrology*, 174, 19-35.
- [15] Matous, J.P., Cohen Liechti, T., Portela, M.M., & Schleiss, A.J (2014) *Pattern-oriented memory interpolation of sparse historical rainfall records. Journal of Hydrology*, 510, 493-503.
- [16] Mohammadi, J (2006) *Pedometrics (Spatial Statistics)*. Pelk Publication. 453 pp.
- [17] Robinson, T.P. & Metternicht, G (2006) *Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties, Computer and Electeromics in Agriculture*, 50, 97-108.
- [18] Saghafian, B & Rahimi-Bandarabadi, S (2005) *Comparison of Interpolation and Extrapolation Methods for Estimating Spatial Distribution of Annual Rainfall. Iran-Water Resources Research*. 1(2), 74-84.
- [19] Solaimani, K., Habibnejad, M., Akbar, A. & Bani-Asadi, M (2005) *Analysis of depth-area-duration curves of rainfall in semiarid and arid region using Geostatistical methods (Case study: Sirjan). Desert*, 11(1), 31-43.
- [20] Wameling, A (2003) *Accuracy of geostatistical prediction of yearly precipitation in Lower Saxony. Environmetrics*, 14, 699-709.

Prediction of the spatial distribution pattern of precipitation using geostatistical methods in Urmia region

F. Asadzadeh^{1*}, E. Ehsan Malahat² and S. Shakiba³

1, 2- Dept., of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia

3- Dept., of Geology, Faculty of Science, University of Urmia, Urmia

** f.asadzadeh@urmia.ac.i*

Recieved: 2016/4/10 Accepted: 2017/8/13

Abstract

Prediction of the spatial distribution of rainfall is essential for establishing the water balance and a good estimation of water availability, especially in mountainous areas because of complex rainfall gradient and scarce number of climatological stations. This study was conducted to evaluate the rainfall spatial distribution of Urmia region by interpolation methods. Data related to 38 climatological stations were used and three methods, IDW, Kriging, and Co-kriging were investigated. After normalization of data, variograms were computed. The least RSS and the most powerful spatial structure were considered as criteria for selecting the best model for fitting on experimental variograms. Cross-validation and RMSE were used for selection of best interpolation method. Results showed that Cokriging method, with elevation parameter as an auxiliary variable, has the least error which may be attributed to the significant correlation between the elevation and annual precipitation at the study region. Due to the mountains region and suitable condition for rainfed farming, so using cokriging method and GIS, high- resolution maps of rainfall distribution and determine rainfed farming region was prepared.

Keywords: *Precipitation prediction, Interpolation, Cokriging, Cross-validation, Urmia.*