دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال پانزدهم، شماره‌ی ۵۲
زمستان ۱۳۹۴، صفحات ۲۰۴-۱۸۷

آرزو اسدی[۱]
مسعود جلالی[۲]

بررسی و ارزیابی روش‌های زمین‌آماری گریجینگ در توزیع فضایی بارش (مطالعه موردی: شمال‌غرب کشور)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰٤/۰٤

چکیده

در این مطالعه به‌منظور انتخاب روش مناسب درون‌یابی برای معرفی تغییرات منطقه‌ای بارش، کارایی روش‌های زمین‌آماری مورد بررسی قرار گرفت. زمین‌آمار یکی از مهم‌ترین روش‌های برآورد توزیع مکانی بارش می‌باشد و برآورد دقیق آن در بسیاری از علوم حائز اهمیت می‌باشد. بدین منظور ابتدا داده‌های ماهانه بارش ١٦ ایستگاه سینوپتیک از سایت سازمان هواشناسی و ۳۱ ایستگاه باران‌سنجی از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌شرقی در یک دوره آماری مشترک ۲۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۸٦) تهیه شد، در این تحقیق از روش‌های کریجینگ ساده (SK)، کریجینگ معمولی (OK)، کریجینگ عام (UK) جهت تخمین میانگین سالانه بارش شمال‌غرب کشور استفاده شده است. برای هر مدل نیم تغییر نمای مربوطه محاسبه و ترسیم شده و سپس ریشه متوسط مجذور خطاها و ضریب تعیین (R^2) بین مقادیر مشاهده‌ای و تخمین خطای نقشه‌های به‌دست آمد که از بین آن‌ها، یک نقشه به‌عنوان نقشه‌ی مناسب انتخاب شد. نتایج حاصله بر اساس معیار RMS و RMSE نشان دادند که از میان روش‌های زمین‌آماری مذکور، روش کریجینگ ساده مدل نمایی به‌دلیل دارا بودن معیار اندازه‌گیری خطای پایین‌تر و همچنین دارا بودن

۱- کارشناسی ارشد گروه جغرافیایی طبیعی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران. E-mail: Arezoo_asadi@yahoo.com
۲- استادیار گروه جغرافیا دانشگاه زنجان.

Archive of SID
www.SID.ir

ضریب تعیین (R^2) بیش‌تر نسبت به بقیه روش‌ها دقیق‌تر بوده و به‌عنوان مناسب‌ترین روش جهت تهیه‌ی نقشه‌ی عنصر بارش شمال‌غرب کشور در دوره آماری مورد مطالعه می‌باشد.

کلید واژه‌ها: روش‌های زمین‌آمار، کریجینگ، توزیع فضایی، بارش، شمال‌غرب کشور.

مقدمه

بارش از متغیرترین عناصر اقلیمی است. این تغییرات هم در بعد مکان و هم در بعد زمان در قالب اقلیم منطقه رخ می‌دهد. در این بین شمال‌غرب منطقه‌ای است که دارای پیچیدگی‌های توپوگرافیک و تنوع اقلیمی زیادی بوده، وجود دریای خزر در شرق، دریاچه ارومیه در غرب و ارتفاعات زاگرس، تالش و کوه‌های منفرد سهند و سبلان و... در اطراف را می‌توان عامل تنوع و پیچیدگی اقلیمی در منطقه دانست. این عنصر به لحاظ ایجاد جریانات سطحی، تأثیر بر سفره‌های آب زیرزمینی و به‌عنوان منبع مهم در تغذیه رودها و چشمه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و از مهم‌ترین عناصر اقلیمی است که در تعیین نقش و پراکندگی دیگر عناصر اقلیمی می‌تواند موثر باشد. امروزه به‌دلیل کمبود ایستگاه‌های هواشناسی بسیاری از محققان به‌منظور برآورد نقطه و بهترین مدل پیش‌بین بارش از روش‌های متعددی استفاده می‌کنند. یکی از این روش‌ها که کاربرد زیادی دارد و نسبت به پیش‌بینی سایر مدل‌ها نتایج بهتری می‌دهد روش‌های زمین‌آمار می‌باشد. زمین‌آمار در مفهوم اروپایی آن به شاخه‌ای از علم آمار گفته می‌شود که مبتنی بر «نظریه متغیرهای ناحیه‌ای» است و با متغیرها یا داده‌های فضایی سروکار دارد، از این‌رو با آمار فضایی مترادف است؛ اما در مفهوم آمریکایی، به کاربرد تمام روش‌های آماری در علوم زمین از جمله آمار کلاسیک و آمار فضایی اطلاق می‌شود. تعریف اخیر از زمین‌آمار به مراتب کلی‌تر و وسیع‌تر از تعریف قبلی می‌باشد. آنچه واضح است این است که آمار فضایی کاربرد زیادی در زمین‌آمار داشته و پایه و اساس خود را مدیون زمین‌آمار می‌باشد (شهابی‌فر، ۱۳۸۲: ۸۷).

امروزه قابلیت سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در تحلیل زمانی و مکانی داده‌های زمینی بر هیچ کسی پوشیده نیست، با افزایش توجه به این شاخه از علم، صحت و دقت داده‌ها نیز اهمیت ویژه‌ای یافته است. به‌طور عمده یکی از کاربردهای GIS به‌کارگیری و تحلیل منابع خطا در اطلاعات و نهایتا تهیه مدل می‌باشد؛ بنابراین شناخت منبع، میزان و ماهیت هر خطا اولین استراتژی جهت کاهش خطا می‌باشد. از جمله خطاهایی که بر روی داده‌های نقطه‌ای بار می‌شود، خطای مربوط به نحوه درون‌یابی آن‌ها جهت تهیه یک نقشه رستری برای ورود به GIS می‌باشد. عمده این نوع خطاها مربوط به نامناسب بودن روش انتخابی جهت درون‌یابی می‌باشد. محققان بسیاری به مقایسه و ارزیابی

Archive of SID

www.SID.ir

روش‌های مختلف درون‌یابی پرداخته‌اند که نشان‌دهنده اهمیت موضوع در کاهش خطای ناشی از انتخاب روش می‌باشد. تابیوس و همکاران (۱۹۸٦: ۳٦٥) برای برآورد توزیع بارش در منطقه‌ای از آمریکا، روش‌های تیسن، عکس فاصله، عکس وزنی فاصله، چندجمله‌ای درجه‌دو و کریجینگ را مقایسه کرده‌اند. نتایج نشانگر مناسب بودن روش کریجینگ در برازش مکانی بارندگی سالانه بوده است. لیبل و همکاران (۱۹۸۷: ۲۱۲۳) در یک مطالعه موردی در سوئس فرانسه برای تعیین دقت برآورد مکانی بارش‌های ۱، ۲، ٤، ٦، ۱۲ و ۲٤ ساعته، روش‌های برازش اسپلاین، چندضلعی تیسن و کریجینگ را بررسی نموده‌اند. نتایج بررسی نشان داده که روش کریجینگ نسبت به روش‌های دیگر از دقت بیش‌تری برخوردار می‌باشد. هوسی و همکاران (۱۹۹۲: ٦٦۱-٦۷٦) برای برآورد متوسط بارندگی سالانه در منطقه کوهستانی جنوب نوادا و جنوب‌شرقی کالیفرنیا، از روش‌های عکس فاصله، کریجینگ، همبستگی خطی، همبستگی خطی لگاریتمی، متوسط همسایگی و کوکریجینگ استفاده کرده‌اند و به‌علت همبستگی بارندگی و ارتفاع در منطقه مورد مطالعه، روش کوکریجینگ (cokriging) را مناسب‌ترین روش تشخیص داده‌اند. پرودهوم و رید (۱۹۹۹: ۱۳۳۷-۱۳٥٦) برای یافتن یک روش ساده برای رسم نقشه متوسط حداکثر بارش روزانه در طول سال در نواحی کوهستانی اسکاتلند، روش‌های کریجینگ معمولی و کریجینگ تصحیح شده را انتخاب کرده و با مقایسه نتایج، روش کریجینگ را برای رسم نقشه نهایی برگزیده‌اند. هارگروو (۲۰۰۱) با کمک مدل رقومی ارتفاع در سوئیس و روش‌های مختلف اسپلاین، تخمین دقیقی از میانه و متوسط بارندگی را به‌دست آورده و اظهار داشته که این روش‌ها دقت مناسبی در برآورد مقادیر انتهایی بارندگی نداشته‌اند. رحیمی بندر آبادی (۱۵۰:۱۳۷۹) کاربرد روش‌های زمین‌آماری را در برآورد بارندگی مناطق خشک و نیمه‌خشک شرق ایران مورد بررسی قرار داده و نشان داده که برای برآورد بارندگی ماهانه و سالانه روش TPSS با توان ۲ و با متغیر کمکی ارتفاع روش مناسبی می‌باشد. ثقفیان و همکاران (۱۳۸٤) اثر تراکم ایستگاه و تفکیک منطقه‌ای برآورد توزیع مکانی روزانه را بر روی بارندگی جنوب‌غرب ایران بررسی کرده و نتیجه گرفته‌اند که در مجموع روش TPSS مناسب‌تر بوده است. ولی با توجه به نزدیک بودن دقت روش‌ها انتخاب نهایی مناسب به هدف و زمان محاسبه وابسته می‌باشد. شمسایی و همکاران (۹٥: ۱۳۸٦-۸٦) برای ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در برآورد توزیع مکانی بارندگی ناشی از توفان‌های بزرگ حوضه آبریز سد دز در محیط GIS از روش‌های درون‌یابی کریجینگ، کوکریجینگ، تابع پایه شعاعی و معکوس وزنی فاصله بهره برده است. نتایج نشان داده که با مقایسه معیارهای خطا، بررسی چشمی نقشه‌ها و تحلیل شرایط منطقه، در مجموع روش‌های کریجینگ نتایج منطقی‌تری ارائه می‌دهند. یزدانی و همکاران (۱۳۸٦: ۱٥-۲۱) با استفاده از شاخص‌های درصد بارش از میانگین، شاخص پراکندگی بارش و شاخص بارش معیار شده، خشک‌سالی‌های محدوده‌ی حوضه آبخیز زاینده‌رود و نواحی مجاور آن را در یک دوره ۳۲ ساله برای ۸٥ ایستگاه باران‌سنجی بررسی

Archive of SID

www.SID.ir

کرده‌اند. ایشان جهت درون‌یابی از روش‌های زمین‌آمار بهره برده و با استفاده از تحلیل واریوگرامی که بهترین آن‌ها شبیه واریوگرام کروی بوده سود برده‌اند. در مرحله بعد، با استفاده از نرم‌افزار ILWIS و روش کریجینگ نقشه‌های خشک‌سالی سالانه را تعیین کرده‌اند. نتایج نشان داده که شاخص بارش معیار شده، کارایی h بهتری در حوضه‌ی آبخیز زاینده‌رود دارد. به‌طور کلی بررسی‌ها نشان داده که استفاده از روش‌های زمین‌آماری به‌عنوان ابزاری جهت تخمین توزیع فضایی داده‌های اقلیمی ضرورت داشته و می‌تواند در علوم مختلف زمین از جمله جغرافیا، زمین‌شناسی، هیدرولوژی و ... کاربرد فراوانی داشته باشد و به برنامه‌ریزان در زمینه‌های مختلف مدیریت محیطی کمک کند. لذا در این راستا در این مطالعه سعی شده که به‌منظور پهنه‌بندی‌های بارش شمال‌غرب از روش‌های زمین‌آمار استفاده شود.

مواد و روش‌ها

برای انجام این مطالعه از یک دوره آماری مشترک ۲۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۸۶) بارش ماهانه ۱۵ ایستگاه سینوپتیک و ۳۳ ایستگاه باران‌سنجی استفاده شده است. در این مطالعه منطقه شمال‌غرب در محدوده ۴۰-۳۶ درجه عرض شمالی و ۴۹-۴۴ درجه طول شرقی تعریف شده است. جهت برآورد فضایی بارش در منطقه شمال‌غرب کشور از روش‌های کریجینگ (ساده، معمولی و عام) در نرم‌افزار ArcGIS استفاده و نقشه‌های لازم تهیه شده است. به‌منظور طبقه‌بندی اقلیمی بارش از روش کریجینگ استفاده شده است. کریجینگ یک روش تخمین‌گر است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار می‌باشد و این تخمین‌گر به‌صورت زیر تعریف می‌شود (biau, 1999: 12-18):

$$Z_V = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \; GZ_{VJ}$$ رابطه (۱)

در فرمول بالا Z_V پارامتر تخمینی، λ_i وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه Iام و Z_I پارامتر معلوم می‌باشد. این نوع کریجینگ را کریجینگ خطی می‌نامند زیرا ترکیب خطی از N داده است در استفاده از این تخمین گر Z باید از توزیع نرمال استانداردی برخوردار باشد. در صورتی که از توزیع نرمال استانداردی برخوردار نباشد با استفاده از تبدیل‌های غیرخطی که در محیط GIS مثلا باکس-کاکس و غیره می‌توان تبدل کرد. تخمین‌گر کریجینگ از زیرگروه‌های تخمین‌گرهای ناریب می‌باشد چون هم بدون خطا می‌باشد و هم واریانس که تخمین می‌زند حداقل است. لازمه برقراری شرط اول صفر بودن تخمین‌گر خطای میانگین می‌باشد. بدین ترتیب داریم:

$$E(Z_V - Z_{V^*}) = 0$$ رابطه (۲)

Archive of SID

www.SID.ir

که در آن Z_V مقدار پارامتر واقعی در نقطه معلوم با مختصات معلوم (در اینجا بارش) و Z_{V^*} مقدار پارامتر تخمینی در همان نقطه است.

رابطه ۲ را به شکل زیر هم می‌توان نوشت (NOEL: 1981: 313-332):

رابطه (۳) $$E\left(Z_V - \sum_{I=1}^{N} \lambda_I Z_{VI}\right) = 0$$

با توجه به رابطه بالا رابطه زیر را می‌توان تخمین زد:

رابطه (٤) $$E(Z_V) - E\left[\sum_{I=1}^{N} \lambda_I Z_{VI}\right]) = 0$$

از طرفی $E(Z_V) = 0$ لذا می‌توان نتیجه گرفت:

رابطه (٥) $$M - \sum_{I=1}^{N} \lambda_I = 0$$

چون M مخالف صفر می‌باشد پس داریم:

رابطه (٦) $$\sum_{I=1}^{N} \lambda_I = 1$$

در نتیجه برای این‌که واریانس تخمین کریجینگ مینیمم شود لازم است ضرایب کریجینگ به حداقل برسد؛ و این امر با رعایت معادله ٦ صورت می‌پذیرد؛ زیرا شرط نااریب بودن کریجینگ محدودیت که مجموع ضرایب کریجینگ باید معادل یک باشد را به وجود می‌آورد (NOEL, 1981: 332 -313).

روش‌های مختلف میان‌یابی بر اساس روش‌های ارزیابی متقابل بررسی و ارزیابی می‌شوند، سپس مقدار حذف‌شده با انجام روش‌های میان‌یابی که مراحل آن در بالا آورده شده برآورد و تخمین زده می‌شود. در ابتدا برای انجام میان یابی موزون می‌بایست پهنه مورد بررسی به‌طور منظم شبکه‌بندی شود سپس با تکرار عملیاتی میان‌یابی برای نقاط تلافی شبکه ارزش مقداری نقاط مجهول برآورده شود (حسنی پاک، ۱۳۸۹: ۳٤٥)، بنابراین برای ارزیابی این خطاها روش‌های متعدی وجود دارد. یکی از روش‌های معتبر به نام روش‌های متوالی موسوم است این روش بر اساس تکرار مراحل زیر صورت می‌پذیرد (عساکره، ۱۳۸۷: ۲٥–٤۲):

الف) حذف یک نقطه معلوم از مجموع داده‌ها، ب) به‌کارگیری نقاط باقی‌مانده برای برآورده نقطه حذف‌شده، ج) محاسبه خطای برآورد، د) تکرار مراحل فوق برای تمامی نقاط معلوم

آماره‌های تشخیصی شامل ریشه دوم مربعات خطا (RMS) و مقدار استاندار شدگان (SRMS) به‌صورت زیر

Archive of SID

www.SID.ir

محاسبه می‌شوند (همان منبع).

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{I=1}^{N}(Z^*(X_I) - Z(X_I))} \quad (۲$$

$$RMSS = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{I=1}^{N}\frac{(Z^*(X_I) - Z(X_I))}{S^2}} = \frac{RMS}{S} \quad (۳$$

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{I=1}^{N}|Z^*(X_I) - Z(X_I)| \quad (٤$$

$$MBE = \frac{1}{N}\sum_{I=1}^{N}(Z^*(X_I) - Z(X_I)) \quad (٥$$

در این فرمول

$Z^*(X_I)$: مقدار برآورده شده مقدار مورد نظر

$Z(X_I)$: قدار اندازه‌گیری شده داده مورد نظر یا به عبارتی مقدار داده واقعی یا اولیه

N: تعداد داده‌ها

S: واریانس خطا

بهترین برآورد باید کم‌ترین RMS را داشته باشد و SRMS باید به یک نزدیک‌تر باشد اگر SRMS برابر با یک باشد به این معنی می‌باشد که RMS برابر با S می‌باشد؛ بنابراین خطای استاندارد برآورد اندازه مناسب و موثق از عدم قطعیت برآورد است (عساکره، ۱۳۸۷: ۲۵–٤۲). با این وجود RMS در تمامی روش‌ها قابل برآورد است اما SRMS تنها در روش کریجینگ قابل محاسبه و برآورد است.

برای تحلیل مکانی داده‌ها از نیم تغییرنگار[۳] مدل‌های مذکور استفاده شده است. اصلی‌ترین درون‌یابی، ارایه مدلی مناسب بر نیم تغییرنگار است تا به‌وسیله آن بتوان درون‌یابی را انجام داد (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۲: ۸). مدل‌های استفاده شده جهت برازش شامل سه روش کریجینگ معمولی، ساده و عام با مدل‌های دایره‌ای[٤]، گوسی[٥]، کروی[٦] و نمایی[۷] می‌باشد. نتایج این بررسی در جدول (۱) قابل مشاهده است.

3- Semivariogram
4- Circler Model
5- Gaussian Model
6- Spherical model
7- Exponential model

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- نتایج ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی به روش کریجینگ

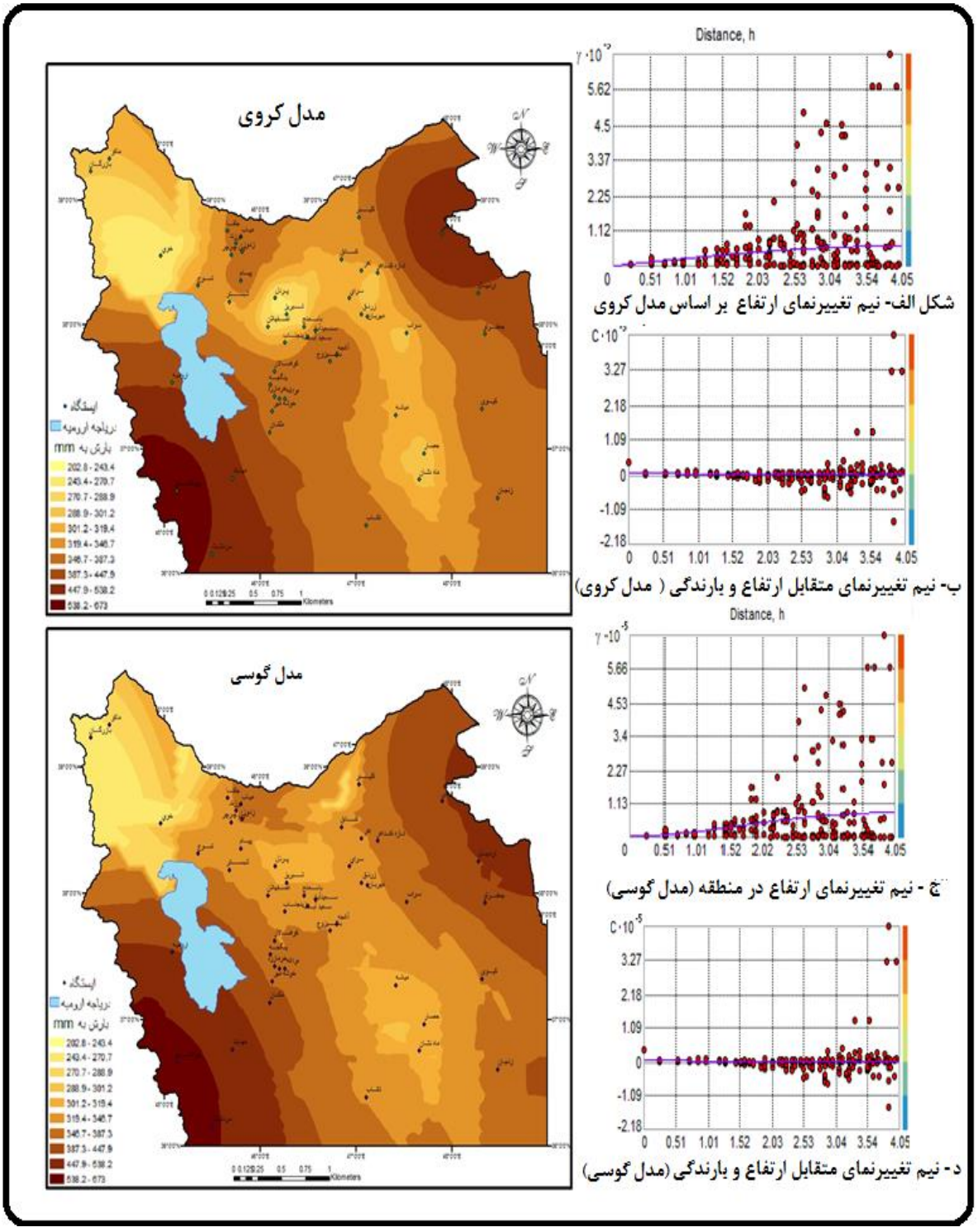
روش	مدل - تابع	ریشه دوم میانگین مربع خطا	ضریب همبستگی	میانگین انحراف خطا	میانگین قدر مطلق خطا	معادله خط رگرسیون
کریجینگ ساده	دایره‌ای	۱۱۵/۹	۰/۵۷۱	۱/٤٤	۱/٤٤	Y=۰/۳۳٤ x+۲۳٦/۲
	کروی	۱۱٦/۲	۰/۵۵۱	۱/۳۲	۱/۳۲	Y=۰/۳۲۱x+۲۳۹/۱۲
	نمایی	۱۱۵/٦	۰/۵۱۵	۰/٦۵	۰/٦۵	Y=۰/۲۸٦x+۲٤٤/۱
	گوسی	۱۱۹/۷	۰/۵۰۵	۱/۸۵	۱/۸۵	Y=۰/۳٤۳x+۲۳۷/۲
کریجینگ معمولی	دایره‌ای	۱۱۸/٦	۰/۵٦۸	۱/۲۸	۱/۲۸	Y=۰/۳٦۲x+۲۲۵/۲
	کروی	۱۱۹/۲	۰/۵۵۷	۱/۱۸	۱/۱۸	Y=۰/۳۵۵x+۲۲٦/٤
	نمایی	۱۱۸/۷	۰/۵۳۲	۰/٦۹	۰/٦۹	Y=۰/۳۲۱x+۲۳۲/۸
	گوسی	۱۲۲/۷	۰/۵۱۱	۱/٦۰	۱/٦۰	Y=۰/۳۷۰x+۲۲۵/۵
کریجینگ عام	دایره‌ای	۱۱۸/٤	۰/۵۷۰	۱/۲٦	۱/۲٦	Y=۰/۳٦۰x+۲۲۵/۵
	کروی	۱۱۹/۱	۰/۵۵۳	۱/۲۰	۱/۲۰	Y=۰/۳۵۰x+۲۲۸/۲
	نمایی	۱۱۸/۵	۰/۵۳۳	۰/٦۹	۰/٦۹	Y=۰/۳۲۱x+۲۳۳/۰
	کوسی	۱۲۲/٤	۰/۵۰٦	۱/۹۷	۱/۹۷	Y=۰/۳٤۰x+۲۳۹/٤

با توجه به این مدل بهترین مدلی که قادر به توجیه بارندگی مکانی می‌باشد مدل نمایی از روش گریجینگ ساده می‌باشد. بر این اساس این مدل را می‌توان برای برازش و تخمین متغیرهای دیگر بارندگی در منطقه با استفاده از روش گریجینگ به‌کار برد. با استفاده از روش‌های درون‌یابی با مدل‌های مذکور، درون‌یابی انجام گرفته و نتایج به‌صورت نقشه‌هایی ارائه شده است. سپس با بهره‌گیری از معیارهای خطا، به ارزیابی صحت و دقت آن‌ها پرداخته شده و نتایج ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی در جدول (۱) ارائه شده است. از میان مدل‌های کریجینگ معمولی، مدل دایره‌ای دارای کم‌ترین خطای RMSE با رقم ۱۱۸/٦ و دارای ضریب تعیین ۰/۵٦۸ می‌باشند که به دلیل بالا بودن ضریب تعیین بالا نسبت به بقیه مدل‌های این روش، به‌عنوان بهترین مدل این روش انتخاب می‌شود و در روش کریجینگ عام، مدل دایره‌ای با کم‌ترین خطای RMSE با رقم ۱۱۸/٤ و دارای ضریب تعیین ۰/۵۷ می‌باشند که به دلیل بالا بودن ضریب تعیین نسبت به بقیه مدل‌های این روش مناسب‌ترین مدل در روش کریجینگ عام انتخاب می‌شود. در کریجینگ ساده مدل‌های نمایی با داشتن خطای RMSE با رقم ۱۱۵/٦ و همچنین دارای ضریب تعیین ۰/۵۱۵ می‌باشند و همچنین از میزان خطایی MBE و MAE کم‌تر می‌باشد که به‌عنوان مناسب‌ترین روش انتخاب می‌شود. نتایج ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی بر اساس معیارهای آماری نشان داد که روش ساده مدل نمایی مناسب‌ترین روش جهت برآورد توزیع مکانی بارش در شمال‌غرب کشور به‌شمار می‌رود زیرا دارای کم‌ترین خطای RMSE، MBE و MAE در بین همه روش‌ها است. نقشه پهنه‌بندی بارش به همراه نیم تغیر نمای آن برای

Archive of SID

www.SID.ir

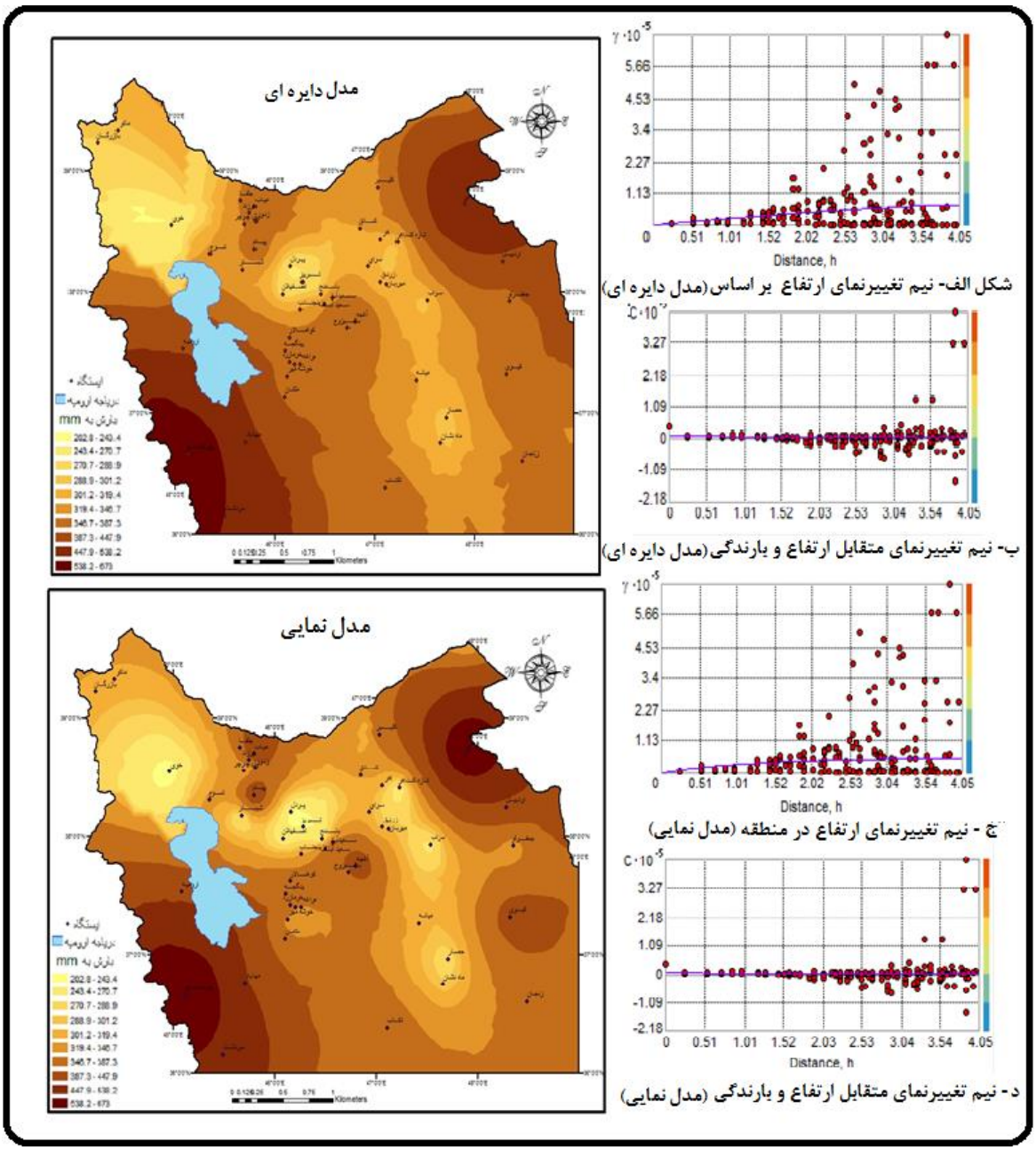
هریک از روش‌های کریجینگ ساده، معمولی و عام در شکل زیر آورده شده است: کریجینگ ساده (SK)، کریجینگ معمولی (OK)، کریجینگ عام (UK) جهت تخمین میانگین.



شکل ۱: نقشه تخمین و نیم تغیر نمای بارش سالانه در محدوده شمال‌غرب طی دوره ۱۹۸۶–۲۰۰۵ با استفاده از کریجینگ ساده به روش مدل کروی و گوسی

www.SID.ir

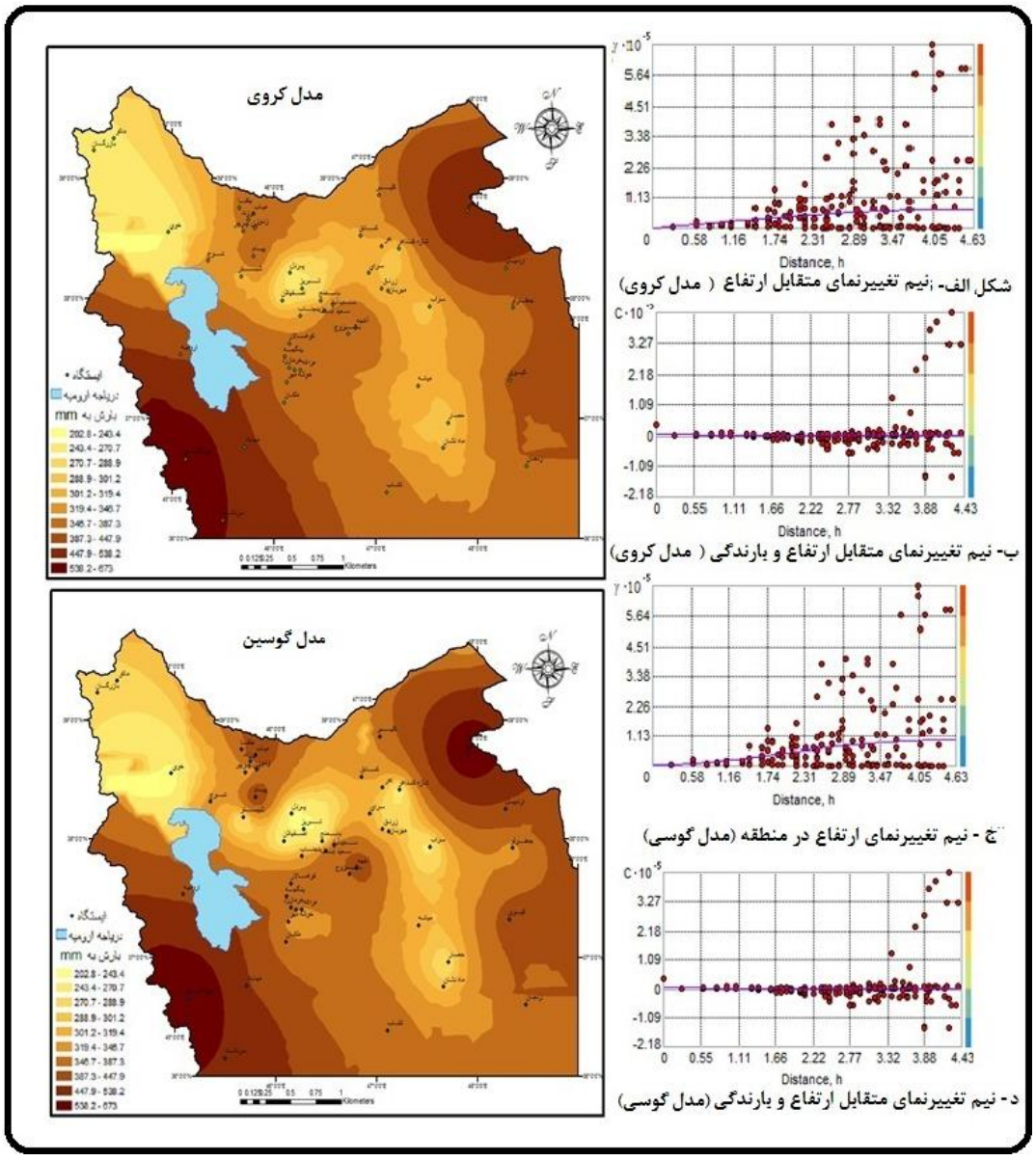
مورد مطالعه در نواحی شمال‌شرق و جنوب‌غربی دارای بیش‌ترین بارش بوده و کم‌ترین بارش در قسمت میانه، حصار، ماه نشان، بازرگان، قسمت شمالی خوی و نواحی غربی کلیبر مشاهده می‌شود. در شکل ۱ قسمت (ج) نیم تغییرنمای ارتفاع در منطقه می‌باشد، ارتفاع ایستگاه‌ها از سطح زمین متفاوت است و شکل (د) که نیم تغییرنما متقابل بارش و ارتفاع می‌باشد که با توجه به این‌که داده‌های ایستگاه‌ها به خط روند نزدیک هستند بنابراین بین ارتفاع و بارش همبستگی وجود دارد.



شکل ۲: نقشه تخمین و نیم تغیر نمای بارش سالانه در محدوده شمال‌غرب طی دوره ۱۹۸۶–۲۰۰۵ با استفاده از کریجینگ ساده به روش مدل دایره‌ای و نمایی

www.SID.ir

مطابق شکل (۲) مدل دایره‌ای با مدل‌های کروی و گوسی تقریباً شبیه هم بوده و با توجه به نقشه‌های حاصله، توزیع بارش دریافتی یکسانی را نشان می‌دهند. شکل (الف) محدوده ایستگاه‌ها را نسبت به خط همبستگی نشان داده و در شکل (ب) مشخصات در مدل دایره‌ای نیم تغییرنما متقابل بارش و ارتفاع همبستگی مکانی خوبی دارند. در این روش میزان خطاهای MBE, RMSE به‌ترتیب ۱۱۵/۹ و ۱/٤٤ می‌باشد (جدول ۱) و این مدل دارای همبستگی مکانی بارش و روند مشخصی است.



شکل ۳: نقشه تخمین و نیم تغیر نمای بارش سالانه در محدوده شمال‌غرب طی دوره ۱۹۸٦–۲۰۰۵ با استفاده از کریجینگ معمولی به روش مدل کروی و گوسی

مدل کروی کاهش تدریجی از خود همبستگی مکانی را تا فاصله معین نمایش می‌دهد. در قسمت‌های شمال‌شرق با

www.SID.ir

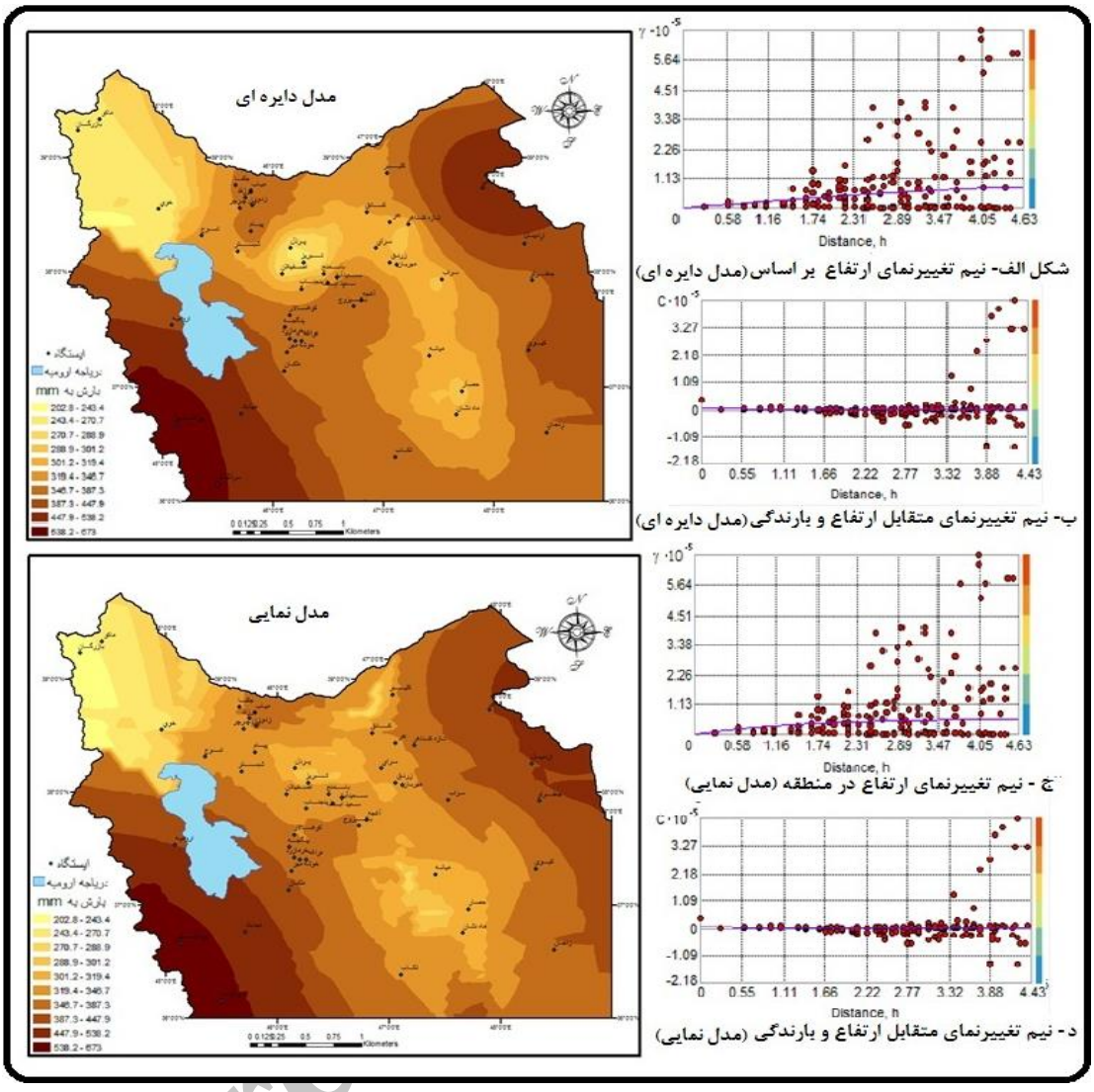
جنوب‌غربی از لحاظ میزان بارش دریافتی تقریبا برابر می‌باشند. در شکل ۱ قسمت (الف) نیم تغییرنمای سهمی واریوگرام ارتفاع وزنی متغییرنمای متقابل بارندگی و ارتفاع و مدل بهینه برازش داده شده را نشان می‌دهد این نمودار بیانگر این است که ایستگاه‌ها از نظر ارتفاع از سطح زمین متفاوت بوده و همان‌طور که از نمودار (ب) نیز مشخص است نیم تغییرنما متقابل بارش و ارتفاع از نظر پراکندگی نسبت به خط روند همبستگی مکانی خوبی را نشان می‌دهد که تقریباً در تمام روش‌های بعدی یکسان می‌باشد. بر اساس مدل گوسی (شکل ۱) مشاهده می‌شود منطقه شکل (۳) به روش کریجینگ معمولی مدل کروی و گوسین همراه با نیم تغیر نمای آن ترسیم شده است. با توجه به این نقشه میزان پراکندگی بارش‌ها در نواحی شرقی و جنوب‌غربی منطقه بیش‌تر بوده و مقادیر کم‌تر بارش در قسمت شمال‌غربی منطقه و تبریز، پردل، سراب، حصار و ماه نشان دیده می‌شود. (الف) نیم تغییرنمای ارتفاع در منطقه می‌باشد و با توجه به قسمت (ب) نیز مشخصات در روش کریجینگ معمولی مدل کروی از لحاظ نیم تغییرنما بارش و ارتفاع به خط روند نزدیک می‌باشند و فقط چند ایستگاه از خط روند دور می‌باشند که وجود همبستگی مناسبی را نشان می‌دهند.

در مدل گوسی همانند نقشه‌های قبلی تمرکز بارش بیش‌تر در شرق و جنوب‌غرب مشاهده می‌شود و نواحی شمال غربی منطقه، پردل، تبریز، سرای، تازه کند اهر، حصار، ماه نشان، سراب و اصفهان از میزان بارش کم‌تری برخوردار هستند که به‌صورت نواری از سمت شمال‌غرب به جنوب‌شرق منطقه مورد مطالعه کشیده شده است. شکل (ج) نمایان‌گر نیم تغییرنمای ارتفاع در منطقه می‌باشد و (ب) نیم تغییرنما متقابل بارش و ارتفاع را نشان می‌دهد. در روش کریجینگ معمولی مدل گوسی ارزیابی خطاهای RMSEMBE به‌ترتیب ۱۱۲/۷ و۱/٦۰ می‌باشد بارندگی سالانه دارای همبستگی مکانی و فاقد روند مشخص است.

در مدل دایره‌ای نیز مثل نقشه‌های قبلی بخش‌های شرق و جنوب‌غرب میزان بارش بیش‌تر از بقیه قسمت‌هاست و خوی، بازرگان، ماکو، تبریز، سراب، حصار، ماه نشان، پردل و میانه از بارش کم‌تری برخوردار است (شکل ٤). در روش کریجینگ معمولی دایره‌ای نیز از لحاظ نیم تغییرنما متقابل بارش و ارتفاع همبستگی مکانی خوبی دارند. از روی این نمودار می‌توان متوجه همبستگی مکانی بارش سالانه و فقدان روند شد. در نقشه مدل نمای می‌توان مراکز پر بارش را در اردبیل، سردشت و شمال مشاهده کرد که نسبت به بقیه منطقه از بارش بیش‌تری برخوردار می‌باشند و قسمت شمال‌غربی محدوده، غرب کلیبر، پردل، تبریز، میانه، حصار، ماه‌نشان و تکاب از میزان بارش کم‌تری برخوردار می‌باشد. در روش کریجینگ معمولی مدل کروی از لحاظ نیم تغییرنما متقابل بارش و ارتفاع به خط روند نزدیک می‌باشند و فقط چند ایستگاه از خط روند دور می‌باشند که نشانگر وجود همبستگی مناسبی را نشان می‌دهند.

Archive of SID

www.SID.ir



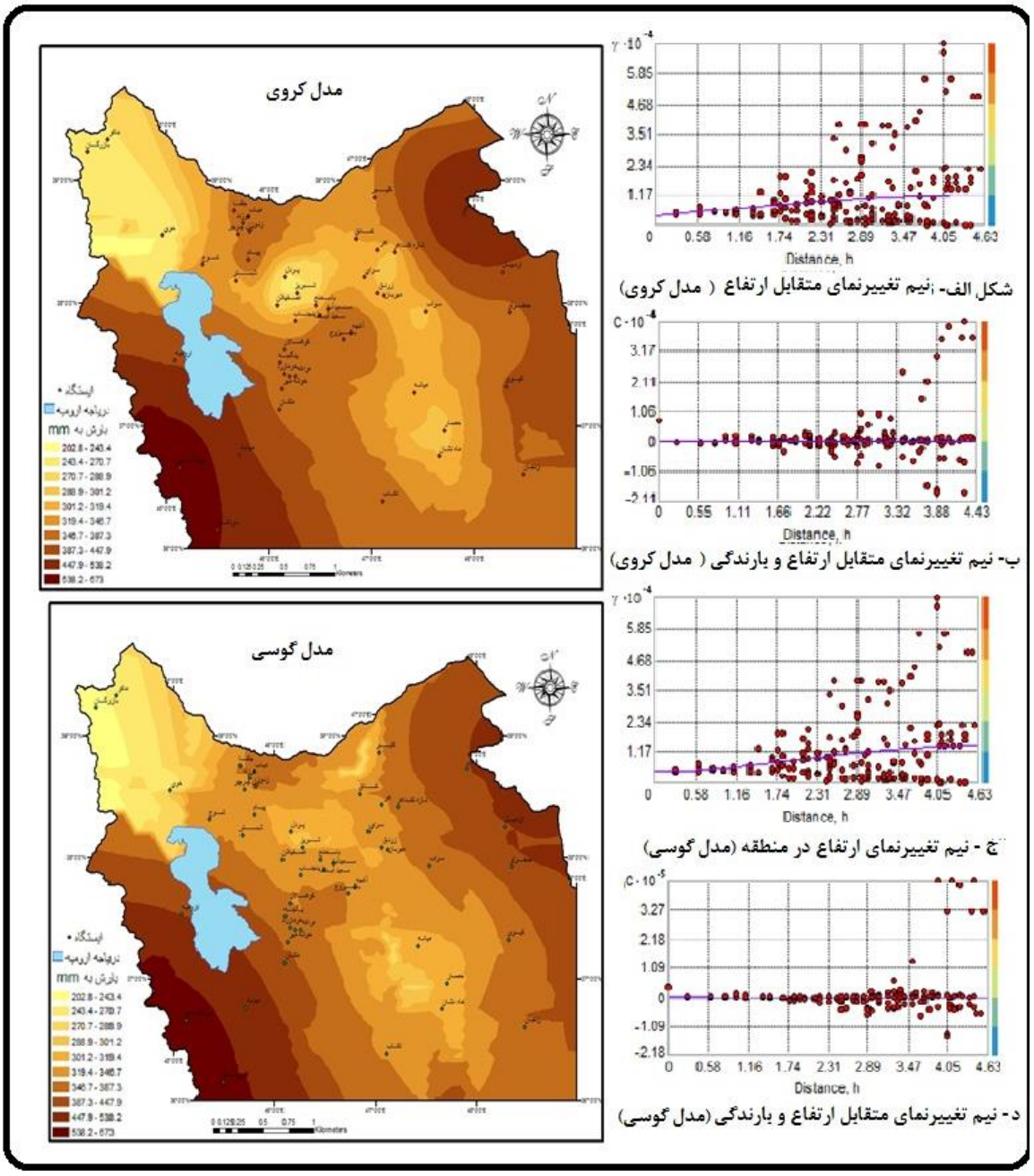
شکل ٤: نقشه تخمین و نیم تغیر نمای بارش سالانه در محدوده شمال‌غرب طی دوره ۱۹۸٦–۲۰۰۵ با استفاده از کریجینگ معمولی به روش مدل دایره‌ای و نمایی

در روش کریجینگ عام به روش مدل کروی نیز از لحاظ نیم تغییرنما متقابل بارش و ارتفاع همبستگی مکانی خوبی دارند که در این مدل منطقه دارای خطاهای ارزیابی MBE, RMSE به‌ترتیب ۱۱۹/۱و ۱/۲۰ می‌باشد (جدول ۱).

با توجه به نمودار زیر در این مدل منطقه از نظر میزان بارش دریافتی دارای همبستگی می‌باشد. مدل گوسی از نظر میزان بارش دریافتی تقریبا همانند کریجینگ عام کروی می‌باشد. نمودار ج مربوط به نقشه کریجینگ عام گوسی می باشد که نیم تغییرنمای ارتفاع و نیم تغییرنمای متقابل بارندگی را نشان می‌دهد. شکل ۵ قسمت (د) که نیم تغییرنمای ارتفاع در منطقه می‌باشد، ارتفاع ایستگاه‌ها را نسبت به خط همبستگی نشان می‌دهد. در روش کریجینگ عام نیز از لحاظ نیم تغییرنما متقابل بارش و ارتفاع همبستگی مکانی خوبی دارند. در این روش همبستگی مکانی بارش سالانه

www.SID.ir

و فاقد روند معلوم است.

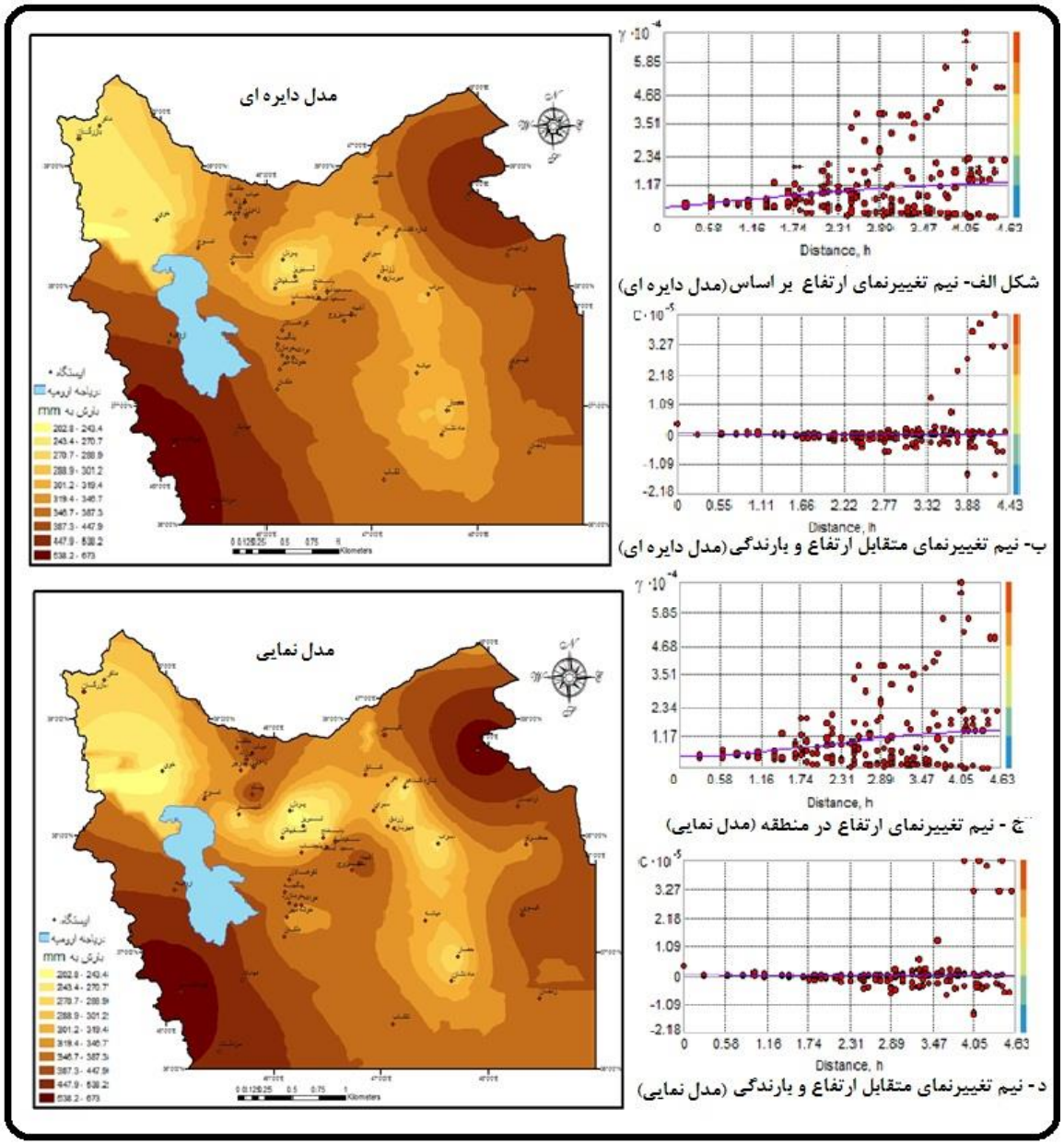


شکل ۵: نقشه تخمین و نیم تغیر نمای بارش سالانه محدوده شمال‌غرب طی دوره ۱۹۸۶–۲۰۰۵ با استفاده از کریجینگ عام به روش مدل کروی و گوسی

در نقشه‌های حاصل از مدل‌های کریجینگ عام تفاوت آن‌چنان زیادی در بارش دیده نمی‌شود و هسته‌های بارش در تمام نقشه‌ها تقریبا به‌طور مساوی پخش شده و بیش‌ترین دریافتی نزولات جوی در استان اردبیل و پیرانشهر را نشان می‌دهد و کم‌ترین میزان بارش در شمال دریاچه ارومیه و حصار، ماه‌نشان، تبریز، پردل، میانه و تازه کند اهر را نشان

www.SID.ir

می‌دهد. نیم تغییرنمای حاصل از مدل‌های کریجینگ عام نمایی همانند دیگر روش‌های کریجینگ دارای همبستگی مکانی بارندگی سالانه است. در نقشه مربوطه مدل دایره‌ای، منطقه مورد مطالعه قسمت شرق با جنوب‌غرب بیش ترین بارش دریافتی و شمال‌غرب و حصار، ماه‌نشان، سراب، تبریز، پردل و اصفهان کم‌ترین میزان بارش را نشان می دهد. در روش کریجینگ عام دایره‌ای نیز از لحاظ نیم تغییرنما متقابل بارش و ارتفاع همبستگی مکانی خوبی و فاقد روند مشخص است.



شکل ٦: نقشه تخمین و نیم تغیر نمای بارش سالانه در محدوده شمال‌غرب طی دوره ۱۹۸٦–۲۰۰۵ با استفاده از کریجینگ عام به روش مدل دایره‌ای و نمایی

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

امروزه روش‌های مختلفی جهت درون‌یابی پارامترهای اقلیمی همانند بارش به‌کار گرفته می‌شوند. در این تحقیق برخی از روش‌های درون‌یابی به‌منظور برآورد بارندگی متوسط سالانه شمال‌غرب کشور به‌کار گرفته شده است. از بررسی روش‌های مختلف کریجینگ در محدوده مورد مطالعه نتایج زیر حاصل شده است. با توجه به ارزیابی معیارهای خطاها، کریجینگ ساده مدل نمایی از ضریب خطایی MAE MBE و RMSE کم‌تری نسبت به بقیه مدل‌ها می‌باشد که به‌عنوان بهترین مدل این روش در منطقه مورد مطالعه انتخاب می‌گردد. میانگین ضریب تعیین مدل‌های کریجینگ عام در حدود (r=۰/۵٤۰) می‌باشد. در ارزیابی معیارهای خطاها و با توجه به میزان ضریب تعیین و ضریب خطایی RMSE کم‌تر مدل دایره‌ای به‌عنوان بهترین مدل این روش انتخاب می‌شود. در ارزیابی روش کریجینگ معمولی مدل دایره‌ای از بیش‌ترین ضریب تعیین در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد و میانگین ضریب تعیین مدل‌های آن (r =۰/۵٤۲) می‌باشد. در بررسی معیارهای خطاها و بالاترین ضریب تعیین را مدل نمایی دارا است؛ بنابراین برای انتخاب بهترین مدل این روش، با توجه به میزان بالای ضریب تعیین مدل نمایی انتخاب می‌شود؛ اما به‌طور کلی از بین روش‌های کریجینگ، کریجینگ ساده که دارای ضریب تعیین بالاتری (r=۰/۵۳۸) نسبت به روش‌های کریجینگ معمولی و کریجینگ عام بوده، بنابراین این روش در منطقه شمال‌غرب کشور نسبت به بقیه کریجینگ‌ها مناسب‌تر است. این نتایج با نتایج خسروی و همکاران (۱۳۹۳) که روش کریجینگ ساده را بهترین روش میان‌یابی انتخاب کرده‌اند هم‌خوانی دارد. در کل بررسی‌ها نشان داد که در مجموع، روش مناسب در ارزیابی روش‌های زمین‌آماری در توزیع فضایی عنصر بارش در شمال‌غرب کشور روش کریجینگ ساده مدل نمایی است چرا که در مقایسه با دیگر روش‌ها ضریب تعیین (R^2) مناسبی داشته و مقادیر خطای آن کم‌تر است؛ بنابراین از بین تمامی روش‌های مورد استفاده در این تحقیق روش کریجینگ ساده مدل نمایی به‌عنوان بهترین روش پیشنهاد می‌شود. ازاین‌رو در راستای این مطالعه زیر مطرح می‌گردد:

– از آنجای که مبنای درون‌یابی این مطالعه تعداد ایستگاه‌هایی می‌باشد که طول دوره آماری بیش‌تر دارند لذا توصیه می‌شود در مطالعات بعدی جهت تکمیل کردن و همچنین مقایسه نتایج از تمام ایستگاه‌ها جهت درون‌یابی بهره گرفته شود.

– جهت از بین بردن تأثیر ارتفاع در درون‌یابی توصیه می‌شود که ابتدا مدل‌سازی ارتفاعی برمبنای ایستگاه‌های بیش‌تری انجام گیرد سپس بر مبنای نتایج این مدل درون‌یابی انجام گیرد.

Archive of SID

www.SID.ir

سپاسگزاری

این مقاله از طرح تحقیق با حمایت مالی سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان‌شرقی تهیه شده است. لذا از مدیر عامل محترم آب منطقه‌ای آذربایجان‌شرقی و کارشناسان تحقیقاتی سازمان مذکور به خاطر این مساعدت قدردانی می‌نمایم.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

– ثقفیان، بهرام؛ رحیمی بندرآبادی، سیما؛ طاهری، حمید؛ غیومیان، جعفر (۱۳۸٤)، «اثر تراکم ایستگاه و تفکیک منطقه‌ای در برآورد توزیع مکانی بارندگی روزانه، مطالعه موردی بارندگی جنوب‌غرب ایران»، ***نشریه استقلال***، شماره ۱، صص ۹۵-۷۵.

– حسنی پاک، علی‌اصغر (۱۳۸۹)، «***زمین‌آمار (ژئواستاتیستیک)***»، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

– خسروی، محمود؛ دوست کامیان، مهدی؛ میرموسوی، حسین؛ بیات، علی؛ بیگ رضایی، احسان (۱۳۹۳)، «تحلیل و طبقه‌بندی دما و بارش در ایران زمین با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و تحلیل خوشه‌ای»، ***فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای***، شماره ۱۳، صص ۱۳۲-۱۲۱

– رحیمی‌بندرآبادی، سیما (۱۳۷۹)، «بررسی کاربرد روش‌های ژئواستاتیستیک در برآورد بارندگی مناطق خشک و نیمه‌خشک جنوب‌شرق ایران»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

– شمسایی، ابوالفضل؛ ثقفیان، بهرام؛ دهقانی، وحید (۱۳۸٦)، «ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در برآورد توزیع مکانی بارندگی توفان‌های بزرگ حوضه آبریز سد دژ»، ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهرکرد، صص ۱۵-۱۳.

– شهابی‌فر، مهدی (۱۳۸۲)، «برآورد تبخیر و تعرق مرجع منطقه‌ای با استفاده از زمین‌آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی در استان تهران»، پایان‌نامه دکترا، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

– عساکره، حسین (۱۳۸۷)، «کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش»، ***جغرافیا و توسعه***، شماره ۱۲، صص ٤۲ – ۲۵.

– علیجانی، بهلول؛ بیات، علی؛ بلیانی، یدالله؛ دوست کامیان، مهدی؛ جوانمرد، آزاده (۱۳۹۲)، «توزیع فضایی بارش ایران»، نخستین همایش بین‌المللی مخاطرات محیطی دانشگاه خوارزمی تهران، ۸ و ۹ آبان ۱۳۹۲، صص ۱٤-۱.

- Biau,G., Zorita E., Storch, H., Wackernagel, H., (1999), "Estimation of precipitation by kriging in the EOF space the sea level pressure field", ***Journal of Climate***, 12: 9-18.

- Goovaerts, P., (2000), "Geostatistical approach for incorporating elevation in the spatial interpolation of rainfall", ***J. Hydrology Amsterdam***, 228 (1-2): 113-129.

- Hargrove, W.W., (2001), "Interpolation of rainfall in Switzerland using a regularized spline with tension", Geographic information and Spatial Technologies Group, Book Ridge National Laboratory.

- Hevesi, J.A., Istok, J.D., Flint, A.L., (1992), "Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistic. Part I: Structural Analysis", ***J. Appl. Meteorol***, 31: 661-676.

- Label, T., Basting, G., Abled, C., Cretan, J.D., (1985), "On the Accuracy of Areal Rainfall Estimation: A Case Study", ***Water Resources Research***, 23(11): 2123-2134.

Archive of SID

www.SID.ir

- Noel, A., cressie, C., (1991), "Statistics for Spatial data A., 1991[1] A. ***Huijbregts, Huijbregts mining Geostatisics academic press***.
- Pruhhomme, C., Reed. D.W., (1999), "Mapping extreme rainfall in mountainous region using Geostatistical Techniques", ***International Journal of Climatology***, 19(2): 1337-1356.
- Siska, P.P., Hung, I.K., (2005), "***Assessment of Kriging accrue in the GIS environment***" [online]: http://gis.esri.com/library/userconf/proc01/professional/papers/pap280/p280.htm.
- Tabios, G.Q., Salas, J.D., (1986), "A comparative analysis of techniques for spatial analysis precipitation", ***Water Resources Bulletin***, 21 (3): 365-380.

Archive of SID

www.SID.ir