Archive of SID

برآورد بارندگی فصلی و سالانه با استفاده از روش‌های درون‌یابی چندمتغیره (بررسی موردی: دامنهٔ جنوبی البرز در استان سمنان)

اصغر زارع‌چاهوکی*[1] و محمدعلی زارع‌چاهوکی[2]

[1] کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

[2] استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ٨٨/٦/١٥، تاریخ تصویب: ٨٩/١٠/٢٢)

چکیده

در این تحقیق از روش زمین‌آماری چندمتغیره کوکریجینگ برای تحلیل منطقه‌ای و برآورد بارندگی فصلی و سالانه در حوزه‌آبخیز کد ٢١ در دامنه جنوبی البرز واقع در استان سمنان استفاده‌شد. در این روش متغیر ارتفاع از سطح دریا ٣٨ ایستگاه باران‌سنجی با دوره آماری ٣٠ ساله به‌عنوان عامل کمکی (یا ثانویه) و تأثیرگذار در میزان بارندگی استفاده شد. تجزیه و تحلیل، ترسیم تغییرنما (واریوگرام) داده‌ها و تهیه نقشه‌های بارش فصلی و سالانه با روش کوکریجینگ از طریق نرم‌افزارهای GS^+ و Arc GIS 9.3 انجام شد. دو روش خطای متوسط و متوسط مربعات کاهش یافته برای ارزیابی پیش‌بینی بارش استفاده شد. نتایج نشان داد که برای برآورد بارش فصلی و سالانه، روش کوکریجینگ با درنظر گرفتن عامل کمکی ارتفاع و کاهش واریانس برآورد اطلاعاتی دقیق در مورد مقادیر بارش را ارائه می‌دهد. این برآورد دقیق به‌دلیل همبستگی قوی بین ارتفاع و بارش است. گرچه در بعضی فصول ضرایب همبستگی کمتر از بقیه فصل‌ها است، اما در هیچ کدام کمتر از ٠/٦ نیست و بنابراین هر چه ضریب همبستگی بین ارتفاع و بارش فصلی و سالانه قویتر باشد، صحت پیش‌بینی بالاتر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: کوکریجینگ، باران، ارتفاع از سطح دریا، البرز جنوبی

* نویسنده مسئول: تلفن: ٠٢٦١-٢٢٤٩٣١٣ فاکس: ٠٢٦١-٢٢٤٩٣١٣ E-mail: azare_505@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

تغییرات مکانی بارندگی به شدت تحت تأثیر شرایط آب و هوایی و عوامل مرفولوژی زمین است. مسئله مهم در برآورد بارش، دسترسی یا عدم کفایت داده‌های گذشته از یک سو و پراکندگی ایستگاه‌ها از سوی دیگر است. پیش‌بینی بارش در مکان‌هایی با پستی و بلندی فراوان مشکل است. در مناطق مسطح پیش‌بینی بارش با مشکل کمتری مواجه است. برای برآورد در سطح حوزه آبخیز به روشی نیاز است تا متوسط پدیده‌های اقلیمی با دقت ممکن و قابل قبولی نسبت تعیین شود. به‌این منظور برای محاسبه متوسط آماره‌های اقلیمی به‌ویژه بارندگی، روش تیسن (Thiessen, 1911) در حدود یک قرن پیش ابداع‌شد. البته کاربرد این روش بعد از آن که زمین‌آمار در نیمه دهه ۱۹۶۰ گسترش یافت، محدودتر شد (Matheron, 1963، به نقل از Sarangi et al., 2005).

روش‌های زمین‌آمار به‌ویژه روش کریجینگ همبستگی مکانی بین داده‌های مشاهداتی را از طریق تابع تغییرنما بررسی می‌کند. زمین‌آمار به مجموعه روش‌هایی اطلاق می‌شود که یک پدیده متغیر در زمان و مکان را بررسی می‌کند، این روش قادر به مدل‌سازی غیر قطعی زمانی و مکانی پدیده‌هاست (Karamoz & Araghi Nejad, 2005). کریجینگ به دلیل استفاده از داده‌های مجاور و کاهش واریانس نسبت به روش تیسن برآورد دقیق‌تری را انجام می‌دهد. بنابراین با توجه به نتایج پژوهش‌های گسترده در داخل و خارج کشور، کریجینگ به‌تدریج به‌عنوان روش مناسبی برای برآورد بارش در مناطق بدون آمار حوزه آبخیز معرفی شد. کاربرد اولیه کریجینگ در برآورد بارش توسط Delhomme و Delfiner در سال ۱۹۷۳ اریه شد (به نقل از Pardo-Ig´uzquiza، 1998) از آن زمان تا کنون کاربردهای متفاوتی از کریجینگ گسترش یافت. از جمله روش‌های چندمتغیره زمین‌آماری[1] که حداقل از یک متغیر کمکی ارتفاع از سطح دریا استفاده می‌کند. این روش در مناطقی که تحت تأثیر فیزیوگرافی یا بارش‌های اروگرافیک است، کاربرد دارد. کوکریجینک روش زمین‌آماری چندمتغیره‌ای است که برای برآورد همبستگی مکانی بین دو متغیر یا بیشتر به شرط اینکه متغیرها با هم از لحاظ مکانی همبستگی داشته باشند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش دقت بیشتری را برای نشان دادن اثر کوه‌پناهی بر بارش دارد. همچنین این روش با کاهش واریانس برآورد در مواقعی استفاده می‌شود که نمونه‌گیری از متغیرهای مورد بررسی مشکل یا همراه با هزینه زیاد باشد. پژوهشگرانی از قبیل Bogaert et al. (1995)، Mart´ınez-Cob (1996)، Pardo-Ig´uzquiza (1996)، Deirasme et al. (2000) وGoovaerts (2000) عامل توپوگرافی را به‌عنوان عامل کمکی برای متغیرهای هیدروکلیماتیک (به‌ویژه بارش سالانه) استفاده کردند.

Goovaerts (2000) سه روش زمین‌آماری چندمتغیره کریجینگ ساده با میانگین محلی متغیر، کریجینگ با روند خارجی و کوکریجینگ را برای تهیه نقشه بارندگی و دمای سالانه از داده‌های ۳۶ ایستگاه اقلیم‌شناسی در منطقه‌ای به سطح ۵۰۰۰ کیلومتر مربع در پرتغال بررسی کرد. ایشان سه روش مذکور را با روش‌های عکس مجذور فاصله، رگرسیون خطی با ارتفاع، تیسن و کریجینگ معمولی با استفاده از روش ارزیابی متقاطع مقایسه کرد. نتیجه این پژوهش نشان دهندهٔ این است که در شرایط با ضریب همبستگی کمتر از ۰/۷۵ ، کریجینگ ساده که ارتفاع را در نظر نمی‌گیرد، نتیجه بهتری را نسبت به رگرسیون خطی ارئه می‌دهد و از میان روش‌های مقایسه شده، روش‌های چند متغیره کوکریجینگ صحت پیش‌بینی بالاتری داشتند.

Diodato & Ceccarelli (2005) روش کوکریجینگ معمولی را در مقایسه با روش‌های رگرسیون خطی و عکس مجذور، دارای قابلیت انعطاف و توانمندی بیشتر در برآورد بارش در مناطق کوهستانی دانستند. همچنین اثر متغیر کمکی ارتفاع را تغییرپذیری مکانی بارندگی را در مناطق با توپوگرافی پیچیده در ۵۱ ایستگاه اقلیمی جنوب غرب ایتالیا را مطالعه نمود. برای رسیدن به‌این هدف این محقق ۲ روش‌های کریجینگ معمولی و کوکریجینگ را با دو متغیر کمکی ارتفاع و شاخص ارتفاع برای پیش‌بینی بارش‌های فصلی و سالانه مورد مقایسه قرار داد. نتایج مطالعه نشان داد که روش کوکریجینگ با اختلاف خطایی بالا نسبت به روش کریجینگ معمولی داری ارجحیت است.

۱- Multivariate Geostatistics

www.SID.ir

Archive of SID

به‌طور کلی Goovaerts (2000) و Diodato & Ceccarelli (2005) صحت روش‌های درون‌یابی زمین آماری را بسیار بالاتر از روش‌های دترمینستیک می‌دانند.

Misaghi & Mohammadi (2005) برای پهنه‌بندی اطلاعات بارندگی در حوزه آبخیز رودخانه مارون به مقایسه روش‌های آمار کلاسیک و زمین آمار و شبکه‌های عصبی شامل؛ خطی، نزدیکترین همسایگی وزنی، توابع شعاعی، فاصله معکوس، روش مثلثی خطی، انحنای کمینه و دو روش زمین آمار کریجینگ و کوکریجینگ (ارتفاع به‌عنوان متغیر کمکی) پرداختند. نتایج مطالعه آنها در ۲۴ ایستگاه باران سنجی نشان داد که کمترین خطای پیش‌بینی متعلق به روش کوکریجینگ است.

Moral (2009) روش‌های کریجینگ معمولی، ساده و عمومی (تک متغیره) را با سه روش زمین‌آماری چندمتغیره (از ارتفاع به عنوان متغیر کمکی استفاده می‌کند) برای داده‌های بارندگی ۱۳۶ ایستگاه باران‌سنجی در جنوب غرب اسپانیا مقایسه کرد. نتایج ارزیابی متقابل نشان داد که سه خوارزمی چندمتغیره کریجینگ ساده با میانگین محلی، رگرسیون کریجینگ و کوکریجینگ معمولی کمترین خطای پیش‌بینی را دارند.

Zhang & Srinivasan (2009) هشت روش متفاوت اعم از تیسن، مربع وزنی معکوس، کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی و چهار نسخه از روش چندمتغیره کریجینگ با چرخش (انحراف) بیرونی برای پیش‌بینی بارش ۴۱ ایستگاه باران‌سنجی در حوزه آبخیز لوهه واقع در حوضه رودخانه زرد چین مقایسه کردند. نتایج ارزیابی متقابل نشان داد که دو نسخه از روش کریجینگ با چرخش بیرونی که از متغیرهای کمکی ارتفاع و مختصات مکانی ایستگاه‌ها استفاده کرده بود، ضریب همبستگی بین داده‌های پیش‌بینی‌شده و واقعی و نیز ضریب اثربخشی Nash-Sutcliffe بالاتر است. همچنین این دو روش میانگین خطای نسبی کمتری نسبت به سایر روش‌ها داشتند. با توجه به موارد مذکور می‌توان با استفاده از روش‌های زمین‌آمار، نقشه بارندگی و دمای سالانه را بر اساس داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی با دقت بالایی تهیه کرد.

هدف از این پژوهش تحلیل بارندگی فصلی و سالانه ۳۰ ساله‌ایستگاه باران سنجی (سازمان هواشناسی و وزارات نیرو) و استفاده از روش‌های زمین‌آماری چندمتغیره برای یافتن ویژگی‌ها و تهیه مدل توزیع بارندگی فصلی و سالانه با استفاده از ارتفاع به‌عنوان متغیر کمکی و ارائه واریانس برآوردی برای به‌صورت نقشه برای بارندگی فصلی و سالانه است.

مواد و روش‌ها

بررسی حاضر در حوزه آبخیز دامنه جنوبی البرز (حوزه آبخیز کد ۲۱ شرکت تحقیقات منابع آب ایران) واقع در مرز سیاسی استان سمنان و در ۱۸ زیرحوزه‌این استان در زون ایران مرکزی با مساحتی برابر با ۳۶۰۱۹/۸ کیلومتر مربع (که حدود ۴۰ درصد از مساحت استان سمنان را به خود اختصاص می‌دهد) انجام شد. ارتفاع متوسط حوضه ۱۳۶۰ متر است. لازم به ذکر است که‌این حوضه تنها بخشی از استان سمنان را شامل می‌شود. میانگین بارندگی سالانه این استان در حدود ۱۸۰ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه آن بین ۱۰ تا ۱۴ درجه سانتی‌گراد است. بر مبنای طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد تا مدیترانه‌ای است. در این بررسی پس از یکسان کردن تقویم ایستگاه‌های باران‌سنجی وزارت نیرو و سازمان هواشناسی بر اساس تقویم شمسی، بازسازی آمار ناقص و استخراج بارش فصلی و سالانه ۴۶ ایستگاه باران‌سنجی اقدام به بررسی نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف- اسمیرنوف شد. همچنین ایستگاه‌هایی با آمار مشکوک از سری آماری حذف و در نهایت ۳۸ ایستگاه برای تحلیل استفاده شد که هفت ایستگاه در بیرون از مرز منطقه قرار داشتند. موقعیت ایستگاه‌ها به همراه ویژگی‌های جغرافیایی و آماری بارندگی فصلی و سالانه آنها در شکل ۱ و جدول ۱ ذکر شده است.

بارش فصلی و سالانه ۳۸ ایستگاه باران‌سنجی به‌عنوان متغیر اولیه[1] و ارتفاع آنها از سطح دریا به‌عنوان متغیر کمکی[2] در نظر گرفته شد. کمترین و بیشترین ارتفاع به‌ترتیب متعلق به‌ایستگاه مزینان (باران‌سنجی وزارت

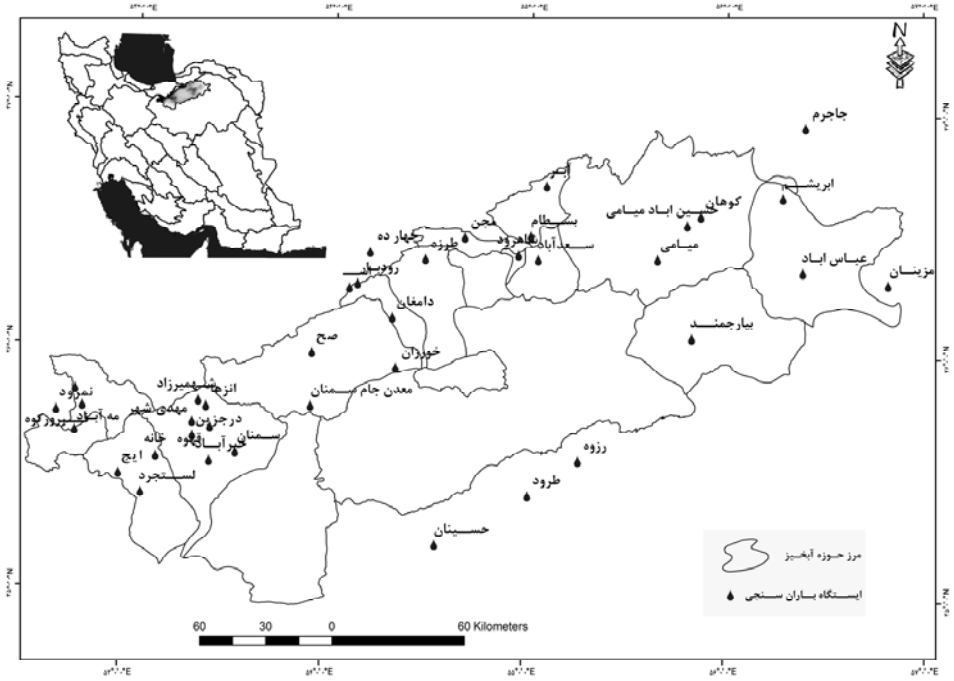
۱- Primary variables

۲- Secondary variables

www.SID.ir

Archive of SID

نیـرو) بـا ۸۲۰ متـر و ایـستگاه فیروزکـوه (بـاران‌سـنجی سازمان هواشناسی) با ۲۹۸۶ متر از سطح دریا است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های باران‌سنجی در منطقه‌ایران مرکزی و استان سمنان

جدول ۱- ویژگی‌های جغرافیایی و آماری ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد مطالعه

نام ایستگاه	ویژگی‌های ایستگاه			بارندگی سالانه(میلی متر)		
	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	میانگین	حداکثر	حداقل
سمنان	۵۳/۶	۳۵/۶	۱۱۷۲	۱۴۷/۷۶	۲۵۳/۲۰	۵۱/۶۰
شاهرود	۵۵/۰	۳۶/۴	۱۳۴۵	۱۶۹/۰۱	۳۰۱/۰۰	۷۱/۰۰
دامغان	۵۴/۳	۳۶/۲	۱۱۷۰	۱۱۹/۲۴	۳۱۰/۵۰	۴۰/۶۰
جام	۵۳/۹	۳۵/۸	۱۷۲۰	۱۶۴/۶۹	۳۲۷/۴۰	۸۴/۳۰
ایج	۵۳/۰	۳۵/۵	۱۶۱۰	۱۷۹/۷۱	۳۱۲/۰۰	۶۷/۱۰
صح	۵۳/۹	۳۶/۰	۱۴۸۰	۱۳۳/۹۵	۳۰۶/۱۰	۴۹/۰۰
استانه	۵۴/۱	۳۶/۳	۱۴۵۰	۱۳۸/۵۱	۲۹۱/۰۰	۶۶/۰۰
مهدی شهر	۵۳/۳	۳۵/۷	۱۵۸۰	۲۱۹/۸۷	۴۴۸/۰۰	۱۱۲/۰۰
چهار ده	۵۴/۲	۳۶/۴	۱۹۰۰	۱۶۷/۵۸	۳۶۷/۹۰	۷۷/۵۰
پژوهشی	۵۳/۴	۳۵/۷	۱۱۵۰	۱۵۳/۷۰	۵۹۲/۰۰	۵۹/۰۰
شهمیرزاد	۵۴/۴	۳۵/۸	۲۰۰۰	۲۴۷/۱۶	۳۷۸/۳۰	۱۰۰/۰۰
فیروزکوه	۳۵/۸	۵۲/۸	۲۹۸۶	۲۹۲/۸۸	۵۲۶/۸۰	۱۶۷/۱۰
آبر	۳۶/۵	۵۵/۳	۱۷۲۰	۳۰۰/۱۵	۵۲۶/۲۰	۱۶۲/۰۰
ابریشم	۳۶/۴	۵۶/۱	۸۷۰	۱۶۲/۱۹	۳۸۹/۰۰	۴۴/۹۰
انزها	۳۵/۷	۵۳/۲	۱۷۰۰	۲۷۰/۲۳	۴۶۶/۹۰	۱۲۹/۷۰

www.SID.ir

Archive of SID

ادامهٔ جدول ١- ویژگی‌های جغرافیایی و آماری ایستگاه‌های بارانسنجی مورد مطالعه

نام ایستگاه	ویژگی‌های ایستگاه			بارندگی سالانه(میلی متر)		
	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	میانگین	حداکثر	حداقل
بسطام	٣٣/٣	٥٥/٠	١۴٢٠	١٧٥/٨٩	٢٥٧/٠٠	٨١/٥٠
بیارجمند	٣۶/١	٥٥/٧	١٠۶٠	١٣۶/۶۶	٢٣۶/٩٠	۶٠/٢٠
حسینان	٣٥/٢	٥۴/٥	٨٩٥	٧۴/۴٣	٢٠۶/٥٠	١۴/٠٠
خورزان	٣٥/٩	٥۴/٣	١٠٥٠	١١٣/١۴	٢١٩/٨٠	۴٣/٢٠
خیرآباد	٣٥/٥	٥٣/٣	١٠٩٥	١٢٩/٥٠	٢١٩/٥٠	۴٨/٥٠
درجزین	٣٥/٧	٥٣/١	١٣٨٠	١٢٢/٥٧	٢٠٧/٧٠	٣٥/٥٠
زروه	٣٥/٥	٥٥/١	١٣٠٠	١١٩/٥٩	٢٣٠/٥٠	٣٠/٥٠
سعدآباد	٣۶/٣	٥٥/٠	١٣١٠	١٨٣/۴٧	٣٨٧/٧٠	۶٥/٩٠
طرزه	٣۶/٣	٥۴/٣	١٩٩٥	٢٥٥/٩٠	۴٢٨/۶٠	١٣٨/٣٠
طرود	٣٥/٣	٥٥/٠	٨٢۶	٨٣/۴٥	١۶٩/٧٠	١٩/۶٠
عباس اباد	٣۶/٣	٥۶/٣	٨٥٠	١٥۴/٩٢	٣١٠/٠٠	۶٥/٣٠
قهوه خانه	٣٥/٥	٥٣/١	١٥٠٠	١١٥/۶٥	٢٣٩/٠٠	٣٥/٥٠
کوهان	٣۶/٥	٥٥/٩	٨٣٠	١٢٢/٢٠	٢٣٨/٠٠	٩/٢٠
لستجرد	٣٥/٢	٥٣/١	١٣٠٠	١٥٠/٣٩	٢۴٧/٢٠	٣٩/١٠
مه آباد	٣٥/٣	٥٣/١	١٨٠٠	٢٩٠/٧۶	٥٨٢/٠٠	١۴١/٠٠
میامی	٣۶/٥	٥٥/٥	١٠٥٠	١۶١/٨١	٣٣٢/٧٠	٧٧/٠٠
مجن	٣۶/٥	٥۴/٥	٢٠٥٠	٢٨٢/۶٢	۴٥٣/١٠	١۴١/۴٠
جاجرم	٣۶/٩	٥۶/٢	٩٢٥	١۴٣/٥٩	٣٠٠/٨٠	۶٠/۶٠
جلیزجند	٣٥/٨	٥٢/۶	٢٢٥٠	٣۴٨/٥۴	٩۶۶/۴٠	١٨٥/٩٠
حسین اباد	٣۶/٥	٥٥/۶	١٠٠٠	٧٣/٥۴	١۴٥/٠٠	٢٧/٠٠
رودبار	٣۶/١	٥۴/٠	١۴٨٠	١۴٠/١٧	٣٣٥/٥٠	۴٨/٠٠
مزینان	٣۶/٢	٥۶/٧	٨٢٠	١۶٠/١٩	٢٩٥/٩٠	٧٣/٠٠
نمرود	٣٥/٥	٥٢/٥	١٩٠٠	٢٣٨/٥١	۴٩۶/٢٠	١٧٧/٥٠

برای تجزیه و تحلیل داده‌های و تهیه نقشه بر اساس اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنجی بعد از تهیه تغییر نماها و براساس نتایج محققینی همچون Misaghi & Mohammadi (2005)، Diodato & Ceccarelli (2005)، Moral (2009) و Zhang & Srinivasan (2009) و همچنین همبستگی زیاد بین بارندگی و ارتفاع برای بارش‌های فصلی و سالانه (Goovaerts, 2000) از روش زمین آماری کوکریجینگ در نرم‌افزارهای GS+ و Arc GIS 9.3 استفاده شد.

روش کوکریجینگ، اصلاح‌شده روش کریجینگ است. در روش مذکور بارش فصلی و سالانه‌ایستگاه‌های باران‌سنجی

www.SID.ir

Archive of SID

به‌عنوان متغیر اصلی و ارتفاع ایستگاه‌ها، متغیر کمکی یا ثانویه است. معادله روش کوکریجینگ، به شرح زیر است:

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i . Z(x_i) . \sum_{k=1}^{n} \lambda_k . Y(x_k) \qquad (۱$$

که در آن:

$Z^*(x_i)$: مقدار برآورد زده شده برای نقطه xi

λ_i: وزن مربوط به متغیر z

λ_k: وزن مربوط به متغیر کمکی

$Z(x_i)$: مقدار مشاهده‌شده متغیر اولیه،

$Y(x_k)$.: مقدار مشاهده‌شده متغیر ثانویه.

برای محاسبه وزن‌های مربوطه، ابتدا با رسم تغییرنما هر یک از متغیرها، تغییرنما متقابل با رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

(۲

$$\delta_{zy}(h) = \frac{[Z(x+h_i) - Z(xk+h) - y(x_k)]}{2n}$$

سپس با حل دستگاه زیر، این ضرایب محاسبه می‌شود:

$$\begin{cases} \sum \lambda_i^z \delta_{ij}^z + \sum \lambda_k^y . \delta_{ik}^{zy} + \mu_1 = \delta_{i0}^z \\ \sum \lambda_i^z \delta_{ik}^{zy} + \sum \lambda_k^y . \delta_{ik}^y + \mu_2 = \delta_{k0}^z \\ \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1 \\ \sum_{i=1}^{k} \lambda_k = 0 \end{cases}$$

که در آن:

λ_i^z: اوزان مربوط به متغیر Z(xi)

λ_k^z: اوزان مربوط به متغیر y(xk)

δ_{ij}^z: تغییرنما متغیر z

δ_{ik}^y: تغییرنما متغیرکمکی y

δ_{ik}^{zy} : تغییرنما متقابل بین z،y

μ_1, μ_2 : ضرایب لاگرانژ

δ_{i0}^z: تغییرنما بین نقطه مورد برآورد و نقاط مشاهده‌ای متغیر z

δ_{k0}^y: تغییرنما بین نقطه مورد برآورد و نقاط مشاهده‌ای متغیر y

روش‌های مختلف درون‌یابی مثل رگرسیون خطی، کریجینگ، کوکریجینگ و ... با روش ارزیابی متقابل[۱] مقایسه و ارزیابی می‌شوند (Isaaks & Srivastava, 1989). در این روش داده‌های مشاهداتی $Z(o_i)$ بارش برای n ایستگاه حذف و دوباره با روش پیشنهادی متغیر $Z(p_i)$ تخمین‌زده می‌شود و خطای تجربی با رابطه (۳) برآورد می‌شود.

$$\varepsilon = Z(o_i) - Z(p_i) \qquad (۳$$

معیارهای ریشه میانگین باقی ماندها[۲] (RMSE) و خطای متوسط[۳] (AE) برای مقایسه نتایج مدل پیش‌بینی با داده‌های مشاهداتی بارندگی استفاده شد. معیار RMSE بر اساس خطای تخمین و انحراف معیار داده‌های مشاهداتی s است:

$$RMSE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{\varepsilon}{s} \right]^2 \right)^{1/2} \qquad (۴$$

خطای متوسط برای آزمون قابلیت پیش‌بینی مدل استفاده شده است:

$$AE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{\varepsilon}{s} \qquad (۵$$

RMSE باید بین $1 \pm \left[2 \left(2/n \right)^{1/2} \right]$ باشد تا مدل مورد قبول باشد (Ella et al., 2001). همچنین بر اساس Clark & Harper (2000) هر چه‌این معیار به یک نزدیکتر باشد و میانگین خطا هر چه به صفر نزدیکتر باشد، صحت پیش‌بینی بالاتر خواهدبود.

۱-Cross Validation

۲- Root Mean Square Error

۳- Average Error

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج

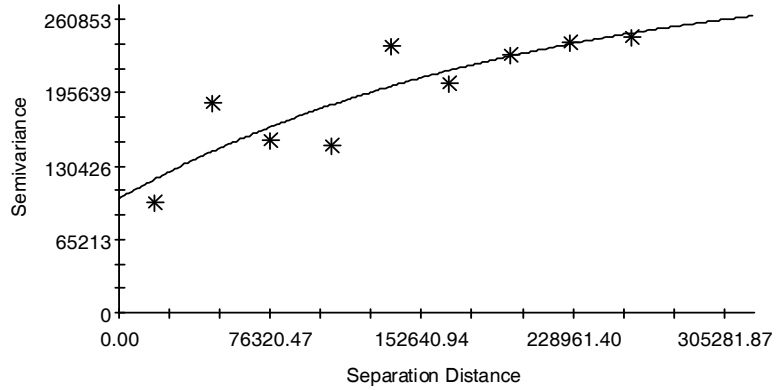
جدول ۲ نتایج آماره‌های بارش فصلی و سالانه و ضریب همبستگی آنها را با ارتفاع از سطح دریا نشان می‌دهد. بین بارش سالانه و فصلی با ارتفاع از سطح دریا همبستگی بالایی (بیشتر از ۰/۶، که در سطح یک درصد معنی‌دار است) وجود دارد و تغییرات بارندگی با ارتفاع برای همه فصل‌ها و سال معنی‌دار است. این موضوع نشان می‌دهد بارش به‌طور مستقیم با ارتفاع افزایش می‌یابد. در این مورد بنابر نظر Goovaerts (2000) همبستگی زیاد بارش و ارتفاع، استفاده از روش کوکریجینگ را نسبت به روش‌های دیگر در اولویت قرار می‌دهد.

جدول ۲- ویژگی‌های بارندگی سالانه و فصلی و همبستگی آن با ارتفاع از سطح دریا در منطقه مورد مطالعه

بارندگی	میانگین (میلی‌متر)	انحراف معیار	ضریب همبستگی	تعداد	معنی‌داری
سالانه	۱۷۷/۲۱	۷۱/۷۶	۰/۷۸	۳۸	**
زمستان	۷۱/۸۰	۲۵/۴۶	۰/۶۴	۳۸	**
بهار	۵۴/۹۶	۲۲/۲۱	۰/۷۴	۳۸	**
تابستان	۱۱/۱۸	۸/۷۸	۰/۸۹	۳۸	**
پاییز	۳۹/۱۴	۲۰/۵۸	۰/۷۲	۳۸	**

**: همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد

پس از تحلیل آماری داده‌ها، تغییرنمای مستقیم تجربی برای ارتفاع ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار GS^+ تهیه شد. با توجه به‌این تغییرنما و نتایج ارزیابی متقاطع آن مدل نمایی برای این تغییرنما مناسب است. نتایج این مدل نشان داد که به‌طور کلی مدل‌های برازش داده شده در فاصله بین صفر تا تقریبا ۲۰۸ کیلومتر مهم هستند و نتایج در فاصله بیشتر از ۲۰۸ کیلومتر زیاد به تغییرات حساس نیست (شکل ۱). در تغییرنمای ارتفاع ایستگاه ضریب همبستگی $(R^2=0/75)0/87$ و دامنه ۲۰۸ کیلومتر است.



Exponential model (Co = 101600.0000; Co + C = 308500.0000; Ao = 207900.00; r2 = 0.754; RSS = 5.121E+09)

شکل ۱- مدل تغییرنمای برازش داده شده و تجربی برای ارتفاع ایستگاه‌های مورد مطالعه

www.SID.ir

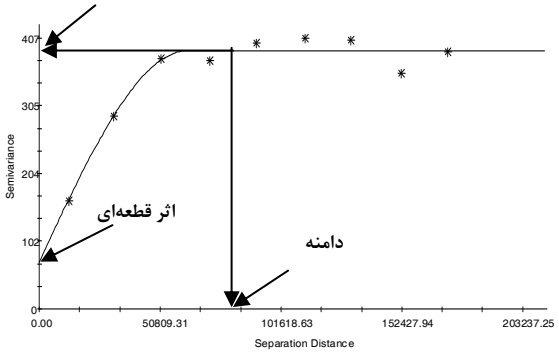
Archive of SID

شکل‌های ۳ تا ۶ نیم‌تغییرنمای بارش سالانه و فصلی (ترسیم‌شده در نرم‌افزار GS^+) را با ارتفاع نشان می‌دهند. اجزای نیم‌تغییرنما در شکل ۳ برای بارندگی سالانه نشان داده شده است که عبارتند از اثر قطعه‌ای[۱] (عرض از مبدأ منحنی). دامنه تأثیر[۲] که عبارت است از فاصله مکانی یا زمانی بین نمونه‌ها که پس از آن متغیر ناحیه‌ای در نقاط مجاور هم تأثیر چندانی بر یکدیگر ندارند. آستانه[۳] مقداری به‌نسبت ثابت با تغییرات تصادفی است که معادل با واریانس کلی متغیر مورد بررسی است (Johnston et al, 2001).

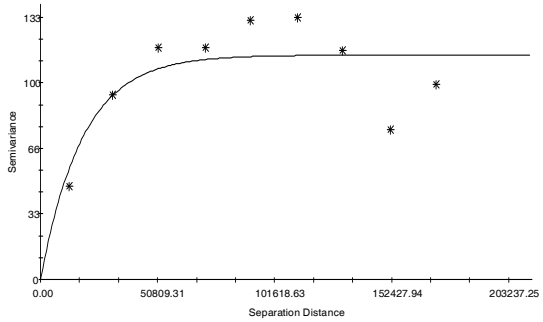
نیم‌تغییرنمای فصل تابستان (شکل ۵) با توجه به ضریب همبستگی ۰/۸۹ و با آستانه‌ای برابر با ۷۲/۵ که نسبت به دیگر فصل‌ها بسیار نزدیک به واریانس بارندگی فصل تابستان (۷۷/۱) است؛ و انتظار می‌رود دقیق‌ترین برآورد بارش را در این فصل اریه دهد. نیم‌تغییرنمای سالانه (شکل ۳) که ضریب همبستگی آن کمتر از فصل تابستان است، دامنه تأثیر آن نیز کمتر از تابستان و در رده دوم قرار می‌گیرد. همین طور در مورد فصول بهار، پاییز و زمستان دامنه تأثیر با توجه به ضریب همبستگی بین ارتفاع و بارش تغییر می‌کند.

در جدول ۳ نیز پارامترهای نیم‌تغییرنما و آماره‌های روش ارزیابی متقاطع با دو معیار RMSE و AE برای بارندگی همه فصول و سالانه ذکر شده است. با توجه به معادله ۳ و شرط آن مقادیر RMSE برای تمام فصول و سالانه بین ۱/۴۵۹ و ۰/۵۴۱ است، بنابراین نتایج روش کوکریجینگ قابل قبول است.

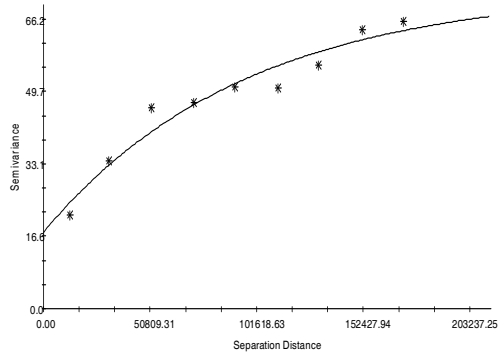
روش درون‌یابی کوکریجینگ برای برآورد بارش‌های فصلی و سالانه استفاده شد. طول اثر ارتفاع (دامنه تأثیر نیم‌تغییرنما) برای صحت برآورد به درجه همبستگی بین بارش و ارتفاع بستگی دارد. برای مثال ضریب همبستگی بارش با ارتفاع برای دو فصل زمستان و پاییز از دیگر فصل‌ها و سالانه کمتر است؛ به همین ترتیب دامنه تأثیر آن نیز کمتر است (جدول ۳).



شکل ۳- نیم تغییرنما برای بارندگی سالانه (R^2=۰/۸۹)



شکل ۴- نیم تغییرنما برای بارندگی فصل زمستان (R^2=۰/۵۹)



شکل ۵- نیم تغییرنما برای بارندگی فصل تابستان (R^2=۰/۹۴)

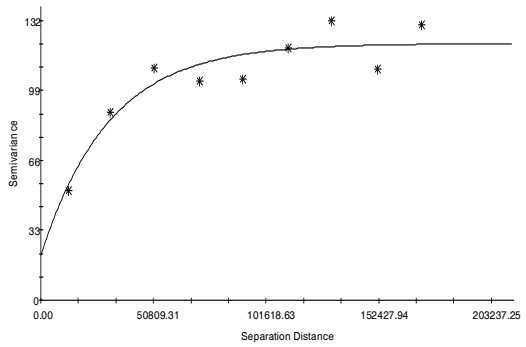
۱- Nugget

۲- Range

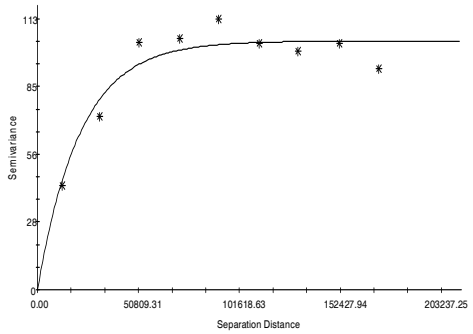
۱- Sill

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۶- نیم تغییرنما برای بارندگی فصل بهار (R^2=۰/۸۶)



شکل ۷- نیم تغییرنما برای بارندگی فصل پاییز (R^2=۰/۸۹)

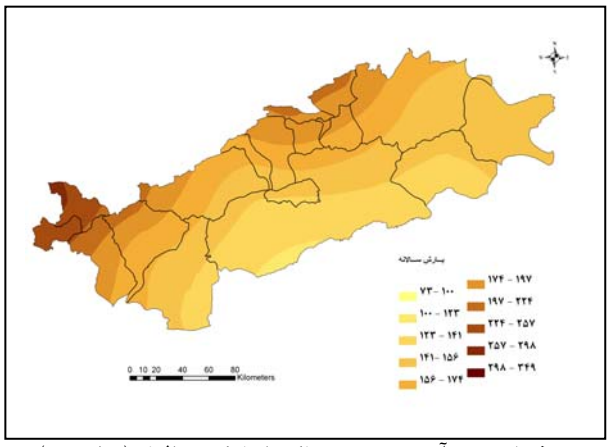
جدول ۳- مشخصات مدل تغییرنمای بارندگی سالانه و فصلی در منطقه مورد مطالعه

بارندگی	مناسبترین مدل	اثر قطعه‌ای	آستانه	تعداد	دامنه تأثیر (متر)	RMSE	AE
سالانه	Spherical	۷۱/۰	۳۸۸/۱	۳۸	۶۲۱۰۰	۰/۷۲	-۰/۰۱۲
تابستان	Exponential	۱۷/۵	۷۲/۵	۳۸	۹۶۱۰۰	۰/۶۲	۰/۰۱۳
بهار	Exponential	۲۱/۴	۱۲۱/۵	۳۸	۳۰۸۰۰	۰/۶۹	-۰/۰۱۴
زمستان	Exponential	۰/۱	۱۱۳/۶	۳۸	۱۸۳۰۰	۰/۸۳	-۰/۰۳۲
پاییز	Exponential	۰/۱	۱۰۳/۵	۳۸	۲۱۶۰۰	۰/۸۶	۰/۰۱۲

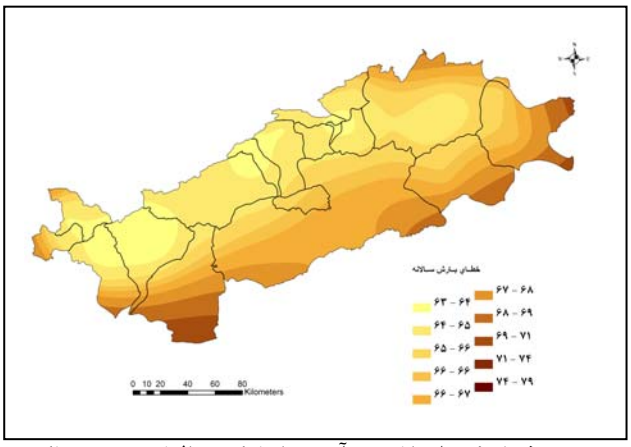
با استفاده از روش درون‌یابی کوکریجینگ نقشه پراکنش بارش و واریانس آنها برای بارش‌های سالانه و بارش تمامی فصل‌ها تهیه شد. برای نمونه، نقشه بارش و خطای مربوط به فصل تابستان با بالاترین و فصل زمستان با کمترین ضریب تشخیص و همچنین نقشه بارش سالانه در شکل‌های ۸ تا ۱۳ آورده شد. با توجه به شکل‌های ۸ و ۹ با افزایش ارتفاع، بارش سالانه افزایش پیدا می‌کند. همین‌طور واریانس برآوردکننده کوکریجینگ نیز روندی مشابه اما کاهشی را نشان می‌دهد که‌این موضوع نشانهٔ تغییر بارندگی با ارتفاع است.

www.SID.ir

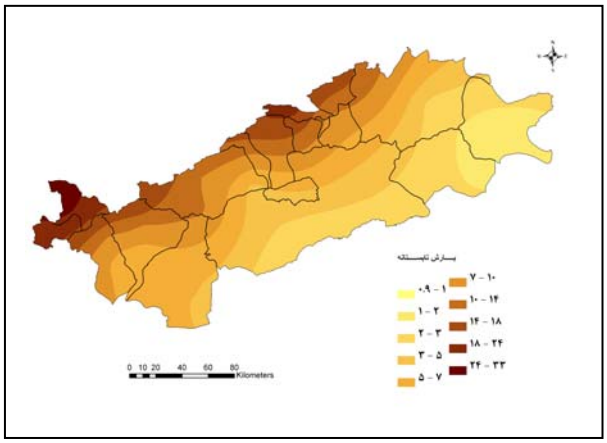
Archive of SID



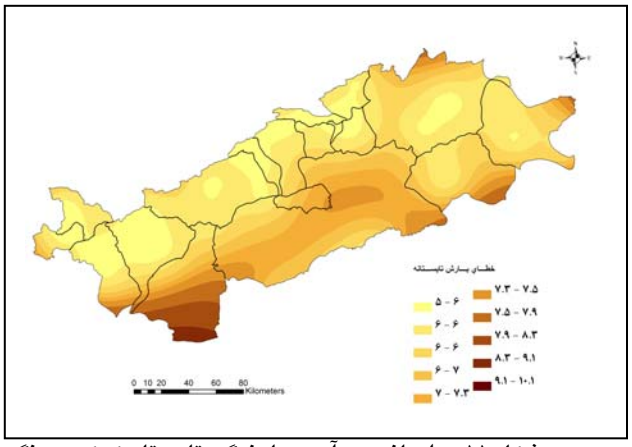
شکل ۸- برآورد کوکریجینگ بارندگی سالانه (میلی‌متر)



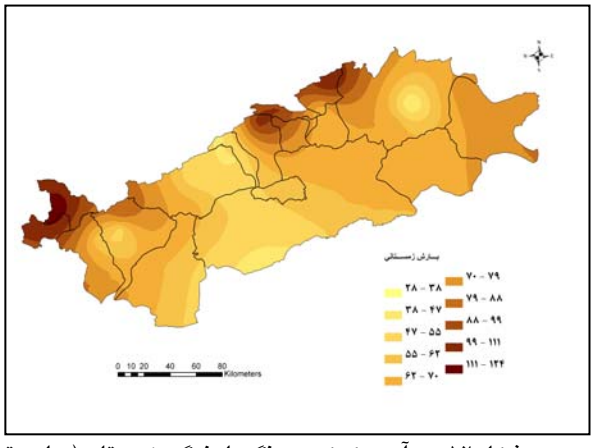
شکل ۹- واریانس برآورد بارندگی سالانه کوکریجینگ



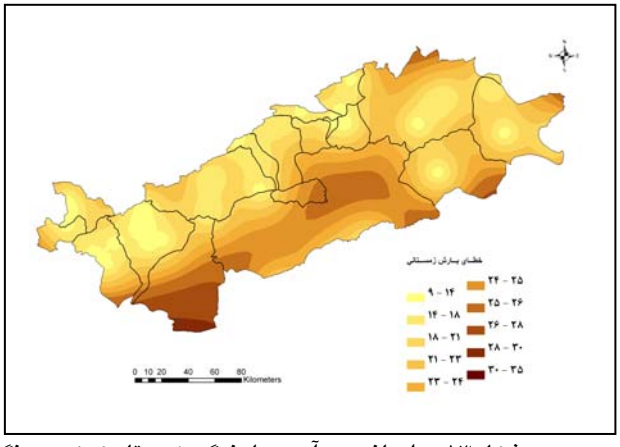
شکل ۱۰- برآورد کوکریجینگ بارندگی تابستان (میلی‌متر)



شکل ۱۱- واریانس برآورد بارندگی تابستان کوکریجینگ



شکل ۱۲- برآورد کوکریجینگ بارندگی زمستان (میلی‌متر)



شکل ۱۳- واریانس برآورد بارندگی زمستان کوکریجینگ

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق روش زمین‌آماری چند متغیره برای نشان دادن اثر عامل ارتفاع به‌عنوان متغیر کمکی برای برآورد بارندگی فصلی و سالانه به‌عنوان متغیر اصلی استفاده شد. در اغلب مطالعات قبلی به تحلیل و ارزیابی روش‌های زمین آماری برای بارش‌های ماهانه و سالانه پرداخته شد و انواع روش‌های درون‌یابی بارش از جمله آماری و انواع مختلف روش‌های زمین‌آماری برای مناطق با ناهمواری

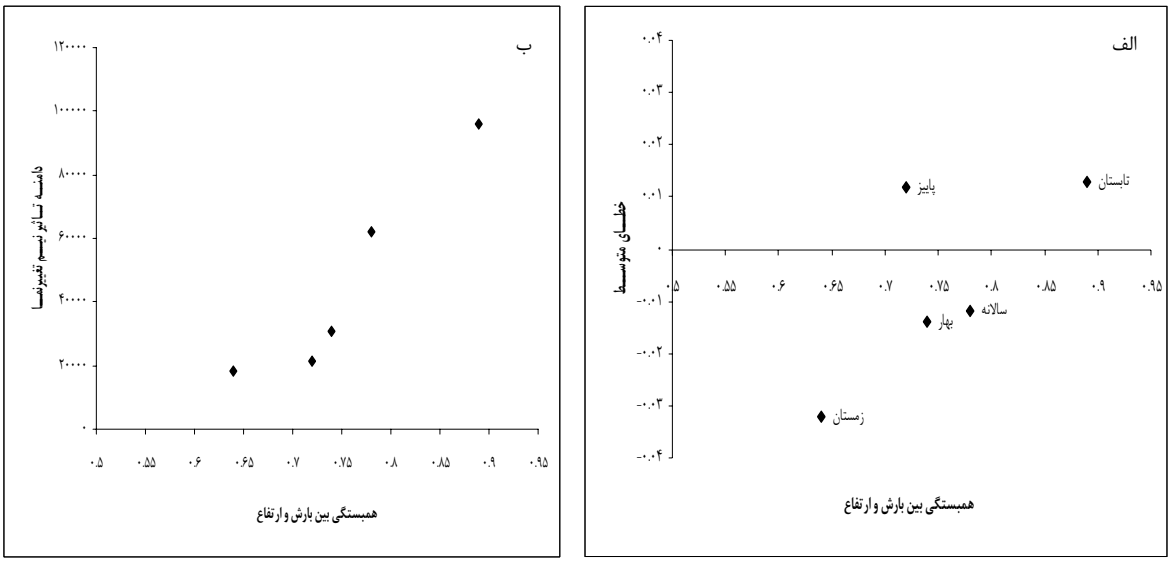
www.SID.ir

Archive of SID

انـدک Goovaert (2000) و در منـاطق کوهسـتانی Sarangi et al. (2005) مقایسه شد و روش‌های زمین آمار چندمتغیره(کوکریجینگ) حداقل خطا پیش‌بینی را داشتند.

در این بررسی به‌جای تحلیل و پیش‌بینی بارش ماهانه و سالانه، کارایی روش‌های زمین‌آمار چندمتغیره در پیش‌بینی بارش‌های فصلی و سالانه به همراه واریانس خطای پیش‌بینی آنها مورد پژوهش قرار گرفت. با توجه به نتایج این روش برای پیش‌بینی مکانی بارش رویکردی ساده و قابل قبول را ارئه می‌کند. رابطه بین بارندگی و ارتفاع از سطح دریا برای تمامی فصول معنی‌دار است. با توجه به‌این موضوع، دامنه تاثیر ارتفاع، صحت تخمین‌گرها و بارش برآوردی توسط روش چندمتغیره کوکریجینگ به درجه همبستگی بین ارتفاع و بارش وابسته است. با توجه به‌این که در این پژوهش بین بارندگی تابستانه و ارتفاع از سطح دریا بیشترین همبستگی وجود دارد، نتایج درون‌یابی کوکریجینگ نیز دقت بالاتری دارد. با توجه به شکل ۱۴(الف) هر چه ضریب همبستگی بارش و ایستگاه‌های باران‌سنجی بیشتر باشد، پیش‌بینی بارش از صحت بیشتری برخوردار است و با نتایج تحقیقات قبلی Goovaert (2000) و Moral (2009) مطابقت دارد. همچنین هر چه ضریب همبستگی بارش و ارتفاع بیشتر باشد دامنه نیم‌تغییرنما نیز بیشتر خواهد شد (شکل۱۴(ب)).

نتایج نشان داد که بهترین مدل تغییرنما برای تمام فصل‌ها مدل نمایی است، این در حالی است که اثر قطعه‌ای برای فصول زمستان و پاییز کم (برابر ۰/۱) است. برای تغییرنمای سالانه بهترین مدل کروی است. حتی در جایی‌که همبستگی بی‌معنی باشد، به‌دلیل اینکه این روش از متغیر کمکی استفاده می‌کند، خطوط همبارش کوکریجینگ با ارتفاع تغییر می‌کند. به خاطر پیچیدگی و انواع مختلف بارندگی اضافه نمودن متغیرهای کمکی چون دما، فاصله از دریا، سرعت و جهت باد و فشار هوا علاوه بر ارتفاع از سطح دریا و مقایسه انواع مختلف روش‌های کوکریجینگ، می‌تواند درستی برآوردهای این روش را افزایش‌دهد.



شکل ۱۴- رابطه بین ضریب همبستگی بارش- ارتفاع و خطای متوسط(الف) و دامنه تاثیر نیم تغییرنما(ب)

www.SID.ir

Archive of SID

References

- Bogaert, P., P. Mahau & F. Beckers, 1995. The Spatial Interpolation of Agro-Climatic Data. FAO: Rome.
- Clark, I. & Harper, W., 2000. Practical Geostatistics 2000. Ecosse North America Lic, Columbus, Ohio, USA.
- Cressie, N. & C.K. Wikle, 1998. The variance-based cross-variogram: you can add apples and oranges. Mathematical Geology 30(7): 789-799.
- Deirasme, J., J. Humbert, G. Drogue & N. Freslon, 2000. Geostatistical interpolation of rainfall in mountainous areas. In Proceedings of Meeting geoENV III - Geostatistics for Environmental Application, Avignone. Kluwer Accademic Publishers: 57-66.
- Diodato, N. & M. Ceccarelli, 2005. Interpolation processes using multivariate geostatistics for mapping of climatological precipitation mean in the Sannio Mountains (southern Italy). Earth Surface Processes and Landforms: 30, 259-268
- Diodato N., 2005. The influence of topographic co-variables on the spatial variability of precipitation over small region of complex terrain. *Int. J.* Climatol. 25: 351-363.
- Ella, V. B., S.W. Melvin, & R.S. Kanwar, 2001. Spatial analysis of NO3-N concentration in glacial till. Trans. ASAE 44(2): 317-327.
- Goovaerts P., 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. Journal of Hydrology, 228(1-2): 113-129.
- Isaaks E.H. & R.M. Srivastava, 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press: New York, 592 p.
- Johnston K, J.M. Ver Hoef, K. Krivoruchko & N. Lucas, 2001. Using ArcGis Geostatistical Analyst. ESRI, 48 p.
- Karamoz M. & S. Araghi Nejad, 2005. Advanced Hydrology, Amirkabir University Press, 464 p.
- Kitanidis P.K., 1997. Introduction to Geostatistics: Application to Hydrology. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 272 p.
- Marqu´ınez J., J. Lastra & P. Garc´ıa, 2003. Estimation models for precipitation in mountatinous regions: the use of GIS and multivariate analysis. Journal of Hydrology 270: 1-11.
- Mart´ınez-Cob A., 1996. Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain. Journal of Hydrology, 174: 19-35.
- Misaghi F. & M. Mohammadi, 2006. Zonation of rainfall data using classical statistical methods and land statistics and comparison with artificial neural networks, Journal of Agricultural Sciences, 9(4).
- Moral F. J., 2009. Comparison of different geostatistical approaches to map climate variables: application to precipitation. Int. J. Climatol, 2009 . DOI: 10.1002/joc.1913
- Pardo-Ig´uzquiza E., 1998. Comparison of geostatistical methods for estimating the areal average climatological rainfall mean using data on precipitation and topography. International Journal of Climatology 18: 1031-1047.
- Sarangi A., C. A. Cox, C.A., 2005. Madramootoo. Geostatistical methods for prediction of spatial variability of rainfall in a mountain region. Transactions of the ASAE, Vol. 48(3): 943-954.
- Zhang X. & R. Srinivasan., 2009. GIS-based spatial precipitation estimation: a comparison of geostatistical approaches.

www.SID.ir

Archive of SID

Estimation of Seasonal and Annual Precipitation Using Geostatistical Methods (Case Study: Southern Alborz of Semnan Province)

A. Zare Chahouki[*1] and M.A. Zare Chahouki[2]
[1] MSc. Graduate, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran
[2] Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran
(Received: 06 September 2009, Accepted: 12 January 2011)

Abstract

To perform regional analysis and rainfall estimation of the rain gauges of the river basin code of 21 located in Semnan province, multivariate geostatistical approaches were used. Elevation was introduced as a covariant and effective factor in rainfall. Thirty eight rain gauges were selected for a 30 year period. The geostatistical analysis extension module of ArcGIS 9.3 was used for analysis and development of seasonal and annual prediction map. GS+ was used for understanding the details of variogram models and statistical fitting parameters. Average and reduced mean square errors of cross validation indices were considered for prediction of rainfall. The results showed that Cokriging methods with the assumption of elevation as a covariant factor and variance reduction gives accurate rainfall estimation which is mainly due to the high correlation between elevation and rainfall. Although the seasonal correlation is not stable, the value of correlation is not less than 0.6. Therefore, as the coefficient of correlation increases the accuracy of estimation will be enhanced.

Keywords: Alborz Mountain range, Cokriging, Elevation, Precipitation

*Corresponding author: Tel: +98 261 2249313 , Fax: +98 261 2249313 , E-mail: azare_505@yahoo.com

www.SID.ir