

ارزیابی مدل‌های زمین آماری در GIS برای تهیه نقشه فرسایندهگی باران در حوزه آبخیز لتیان

سارا شش انگشت - دانشجوی کارشناسی ارشد GIS

عباس علیمحمدی - عضو هیئت علمی گروه GIS

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشکده نقشه برداری

تلفن: ۵-۸۷۷۹۴۷۳۳ دورنگار: ۸۷۷۹۴۷۶

Sara_sh@yahoo.com

محمد جعفر سلطانی - عضو هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

تهران_صندوق پستی ۱۱۳۶ - ۱۳۴۵

soltani@scwmri.ac.ir

چکیده :

الگوریتم‌های درونیابی از متداولترین روشها برای تهیه نقشه ها و اطلاعات مورد نیاز در تحلیل با GIS میباشد. دقت نقشه های تهیه شده از طریق درون یابی نقش بسیار مهمی در کیفیت نتایج حاصله دارد. داده های هوا شناسی بخصوص بارندگی در بسیاری از مطالعات مورد استفاده هستند و بعلاوه اندازه گیری نا منظم و پراکنده در نقاط محدود، استفاده از روشهای درون یابی برای تهیه لایه های مورد نیاز از این داده ها ضرورت دارد. با توجه به نقش اساسی این داده ها در بسیاری از مدلها و آنالیزهای مختلف مانند مدل‌های فرسایش خاک و رواناب، بررسی و تعیین روشهای مناسب برای درون یابی اهمیت زیادی دارد.

روشهای متعددی برای درون یابی ارائه شده اند که روشهای چند ضلعی های تیسن و بخصوص وزن دهی بر مبنای عکس فاصله (IDW^1) از جمله روشهای مرسوم میباشد. بهر حال، این روشها به دلیل در نظر نگرفتن همبستگی بین داده ها و بهینه نبودن اندازه و شکل همسایگی مورد استفاده، غالباً از دقت کافی برخوردار نمی باشند.

در این تحقیق، فواید استفاده از تخمینگرهای زمین آماری مبتنی بر بکار گیری همبستگی بین داده ها (Cokrigging) از نظر افزایش دقت محاسبات در درون یابی داده های بارندگی در حوزه آبخیز لتیان مورد بررسی قرار گرفته است. اطلاعات بارندگی حاصل از درون یابی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع منطقه بعنوان متغیر کمکی، برای تهیه نقشه فرسایش باران در مدلسازی فرسایش مورد استفاده قرار گرفته است. مقایسه نتایج حاصل از روشهای IDW، Spline، Krigging و Cokrigging نشان دهنده برتری روش Cokrigging بر مبنای مدل گوسین و امکان کاهش خطای درون یابی با استفاده از این الگوریتم میباشد.

واژگان کلیدی: فرسایش باران، روشهای زمین آماری، میانگین قدر مطلق خطا (MAE^2)، GIS

¹ Inverse Distance Weighting

۱- مقدمه :

نظریه زمین آماری شاخه ای از علم آمار است که در تشریح و تجزیه و تحلیل مشاهدات زمینی مورد استفاده قرار میگیرد (۴). توسعه تئوری ها و تکنیکهای زمین آمار در سالهای اخیر تحولات زیادی در تجزیه و تحلیل داده های مکانی در محیط GIS ایجاد کرده است (۴). استفاده از آنالیز های مبتنی بر تئوریهای زمین آمار نواقص و محدودیتهای مربوط به آمار کلاسیک را که غالباً بر اساس فرضیه توزیع تصادفی متغیر ها و فرایندها توسعه یافته اند تا حد زیادی کاهش میدهد.

درو نیابی داده ها در تجزیه و تحلیل مکانی به کمک GIS از اهمیت ویژه ای برخوردار است، چرا که بسیاری از نقشه های مورد استفاده در عملیات GIS از طریق درون یابی تولید میشوند. در واقع تولید مدل های هموار و پیوسته از توزیع مکانی و زمانی داده های مورد بررسی از طریق درون یابی امکان پذیر میباشد. فرایند درون یابی حتی در داده های ماهواره ای نیز که اقدام به تصویر برداری پیکسل به پیکسل میکنند اهمیت دارد در تصحیح هندسی و تغییر resolution داده ها بدفعات مورد استفاده قرار میگیرد. تهیه مدل های رقومی ارتفاع (DEM) مثال خوبی از کاربرد درون یابی در تولید داده میباشد که مبنای بسیاری از تحلیل ها و پیاده سازی مدلها در GIS است. نقشه های بارندگی و همباران نیز از منابع اطلاعات پایه مورد نیاز در بسیاری از طرحهای منابع طبیعی و مدیریت و برنامه ریزی محیط میباشد. نقشه فرسایندهای باران یکی از نقشه های مهم ورودی برای مدل سازی فرسایش در حوزه های آبخیز است و از اطلاعات بارندگی قابل محاسبه میباشد.

مطالعات متعددی در زمینه استفاده از زمین آمار در درون یابی در محیط GIS انجام شده است. به عنوان مثال چو (Chau) و چان (Chan) (۶) برای مدل کردن سه بعدی آلاینده های خاک در محیط GIS از روشهای مختلف کریگینگ استفاده کردند و نشان دادند که روش کریگینگ کلی با سطح اطمینان بالایی همبستگی مناسبی با داده های اندازه گیری شده زمینی نشان میدهد. در این مطالعه نشان داده شد که استفاده از این روش در مدل کردن سایر آلاینده های تولید شده توسط انسان نیز میتواند مناسب باشد.

۲- منطقه مورد مطالعه :

حوزه لتیان (بزرگترین حوزه آبخیز استان تهران) از شمال به کوههای دماوند، از جنوب و جنوب شرقی به دشت های ورامین و حوزه قم، از شرق به حوزه دوآب و از غرب به حوزه آبخیز کرج محدود میشود. مساحت حوزه حدوداً ۴۲۱,۵۹۹,۶۵۷۹ هکتار میباشد. موقعیت حوزه در ۵۱°۱۲' تا ۵۲°۱۴' شرقی و ۳۵°۱۶' تا ۳۶°۳' شمالی واقع شده است و ارتفاع متوسط آن ۱۶۶۴ متر از سطح دریا است. این حوزه دارای ۳۲ ایستگاه بارانسنجی است که آمار آنها در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. حداکثر و حداقل بارندگی اندازه گیری شده بترتیب معادل ۶۳۷ میلیمتر در ایستگاه امامه و ۲۲/۳ میلیمتر در ایستگاه تهران می باشد. حداکثر و حداقل دمای میانگین نیز به ترتیب ۳۶/۳ و ۸/۹ درجه سانتی گراد بوده است که در ایستگاههای ورامین و لتیان اندازه گیری شده است.

۳- مواد و روشها :

در این تحقیق تاثیر روشهای مختلف درون یابی در تهیه نقشه فرسایندهای باران با استفاده از داده های بارندگی ماهیانه اندازه گیری شده (موسسه تحقیقات منابع آب (تماب)) مورد بررسی قرار گرفت. این داده ها شامل موقیت، ارتفاع، کد و نام ایستگاه بارن سنجی و مقادیر بارندگی ماهیانه می باشد. ضریب

² Mean Absolute Error

فرسایندگی باران (R) شاخصی است که به انرژی سینتیکی باران بستگی دارد و با حداکثر شدت بارانهای ۳۰ دقیقه ای رابطه قوی نشان میدهد. عامل فرسایندگی بارندگی در واقع همان شاخص فرسایش ویشمایر (شاخص EI₃₀) است که با واحد کیلوگرم بر مترمربع اندازه گیری میشود. برای سهولت محاسبات مقدار R به ۱۰۰ تقسیم میشود و عامل باران در کلیه محاسبات با ارقام کوچکتر مورد استفاده قرار میگیرد (۲).

به علت عدم دسترسی به آمار مربوط به مقادیر حداکثر بارندگی ۳۰ دقیقه ای و موجود بودن آمار بارندگی ماهیانه از رابطه تجربی زیر برای محاسبه انرژی باران استفاده شد (۷).

$$EI_{30} = 38.46 + 3.48 * AR \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن AR بارش سالیانه بر حسب میلیمتر است.

روش های مورد بررسی برای درون یابی داده ها شامل روشهای IDW^۱ یا WMA^۱ با تعداد نقاط و توانهای مختلف، روش Tpss^۲، روش کریگینگ^۳ معمولی و کوکریگینگ^۴ است. برای ارزشیابی دقت هر نقطه از سطح برآورد شده از روش (C.V)^۵ استفاده شده است. در روش C.V هر بار یکی از نقاط اندازه گیری شده حذف میشود و مقدار تخمین برای آن با مقادیر اندازه گیری شده مورد مقایسه قرار میگیرد. از مقایسه مقادیر برآوردی و اندازه گیری شده شاخص نشان دهنده خطا (MAE) به شرح زیر محاسبه می گردد (۳).

$$MAE = \frac{\sum |x_i - x_i^*|}{n} \quad \text{رابطه (۲)}$$

x_i^* = مقادیر برآورد شده

x_i = مقادیر مشاهده ای

n = تعداد داده ها

کمتر بودن مقدار MAE، نشاندهنده دقت بیشتر تخمین می باشد (۳). اگر چه ارزیابی بدین طریق نمیتواند جایگزینی ارزیابی با نمونه های مستقل باشد ولی در شرایطی که محدودیت نمونه ها عاملی تعیین کننده میباشد روش مناسب و کم هزینه ای محسوب میشود.

۳-۱- روش وزن دهی عکس فاصله

کلیه روشهای درون یابی بر مبنای این فرضیه توسعه یافته اند که نقاط نزدیک تر به یکدیگر نسبت به نقاط دورتر همبستگی و تشابه بیشتری دارند. در روش IDW فرض اساسی بر این است که میزان همبستگی و تشابه بین همسایه ها با فاصله بین آنها متناسب است که میتوان آن را به صورت تابعی با توان معکوس از فاصله هر نقطه از نقاط همسایه تعریف کرد. لازم به یادآوری است که تعریف شعاع همسایگی و توان مربوط به تابع عکس فاصله از مسائل مهم در این روش محسوب میشود. با توجه به اهمیت عوامل فوق، در این تحقیق درون یابی با تعداد نقاط همسایگی متفاوت (۳ تا ۱۵) و توانهای متفاوت (۲ تا ۱۰) از معکوس فاصله انجام شده است. برای این کار ابتدا با استفاده از توان ثابت ۲ مقدار خطا برای تعداد همسایگی های ۳ تا ۱۵ نقطه محاسبه شد (جدول ۱). سپس مقدار خطای درون یابی با تعداد همسایه ۳ نقطه و توانهای متغیر از ۲ تا ۱۰ مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱).

¹ Weighted Moving Average

² Thin Plate Smooth Spline

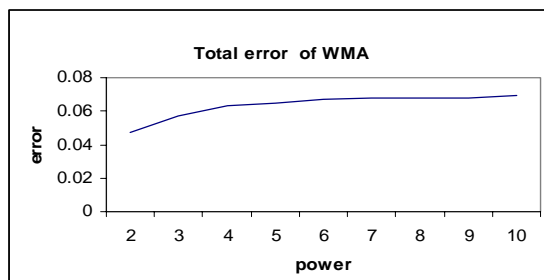
³ Kriging

⁴ Cokriging

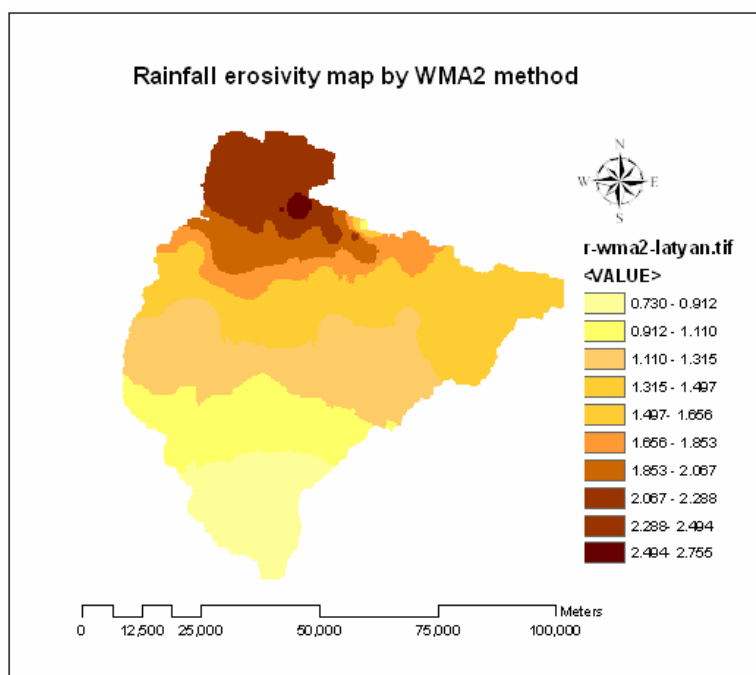
⁵ Cross Validation

جدول (۱) مقدار خطای محاسبه شده برای تعداد نقاط همسایگی متفاوت در روش IDW

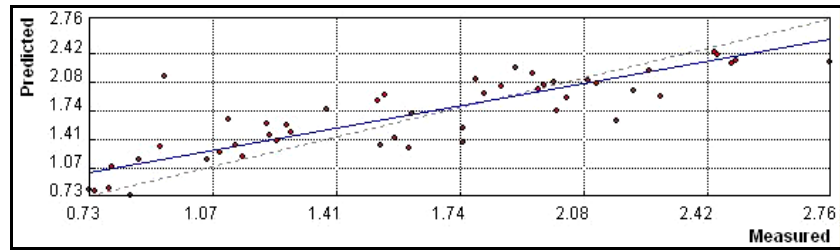
power	2	2	2	2	2
neiberhoods	3	6	9	12	15
total error	0.047	0.061	0.065	0.069	0.072



شکل (۱) خطای محاسبه شده برای توانهای مختلف معکوس فاصله در روش IDW با تعداد نقاط همسایگی ۳ بعلاوه محدودیت زمانی، اثرات متقابل دو پارامتر توان و تعداد همسایه مورد بررسی قرار نگرفت. نتایج این بررسی نشان داد که اعمال همسایگی ۳ نقطه و توان ۲ معکوس فاصله با کمترین مقدار MAE همراه می باشد. نقشه فرسایندهی باران و نمودار مربوط به همبستگی بین مقادیر اندازه گیری شده و برآورد شده بارندگی با روش IDW بترتیب در شکل های ۲ و ۳ نشان داده شده است.



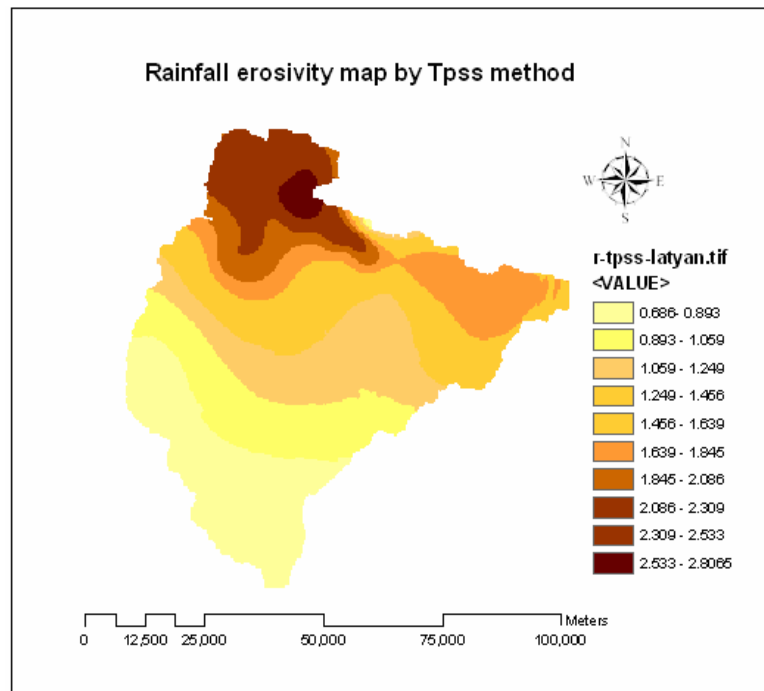
شکل (۲) نقشه فرسایندهی باران در حوزه آبخیز لتیان با روش WMA (IDW)



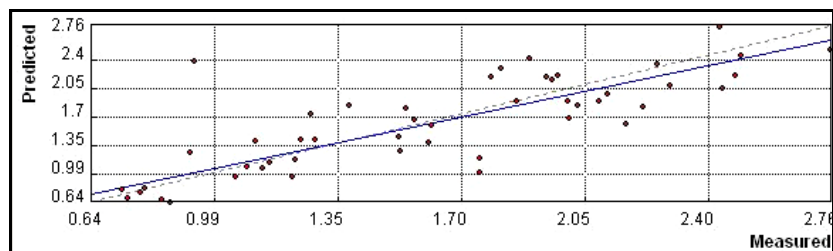
شکل (۳) رابطه بین مقادیر مشاهده شده و برآورد شده بارندگی برای ایستگاه های باران سنجی با روش میانگین وزنی متحرک (WMA)

۳-۲- روش Tpss:

در این روش از توابع ریاضی برای حداقل سازی انحنای و نواسانات سطحی متغیر استفاده میشود. پارامترهای توابع ریاضی مورد استفاده بنحوی تنظیم میشوند که سطح کلی برآورد شده با دارا بودن حداقل انحنای از نقاط اندازه گیری شده عبور کند. استفاده از این روش در شرایطی که تعداد نقاط نمونه برداری شده زیاد بوده و تغییر پذیری فضائی متغیر مورد بررسی مانند ارتفاع تدریجی باشد نتیجه بهتری میتواند داشته باشد. نقشه فرسایندهای باران و نمودار مربوط به همبستگی بین مقادیر اندازه گیری شده و برآورد شده بارندگی با روش Tpss بترتیب در شکل های ۴ و ۵ نشان داده شده است.



شکل (۴) نقشه فرسایندهای باران محاسبه شده با روش Tpss در حوزه آبخیز لتیان.



شکل (۵) رابطه بین مقادیر مشاهده شده و برآورد شده بارندگی برای ایستگاه های باران سنجی با روش Tpss.

۳-۳- روشهای کریگینگ و کوکریگینگ :

۳-۳-۱- روش کریگینگ :

روش کریگینگ تخمینگری نا اریب است که امکان تخمین با حد اقل سازی واریانس را فراهم میکند. ویژگی نا اریب بودن میتواند به کاهش خطاهای سیستماتیک منجر شود. حداقل سازی واریانس نقش مهمی در استفاده بهینه از اطلاعات موجود و رسیدن به برآوردی دقیقتر از متغیر مورد بررسی دارد. از آنجاییکه در کریگینگ واریانس تخمین هر نقطه بطور مجزا حساب میشود، لذا از این امکان میتوان برای تعیین سطح اعتماد در تخمین استفاده کرد (۱). در این روش مقدار مشاهده شده یک متغیر در نقطه معین $Z(s)$ بر اساس سه جزء ساختاری یا قطعی (μ) ، تصادفی وابسته از نظر مکانی $(\varepsilon(s))$ و تصادفی غیر وابسته $(\varepsilon'(s))$ بشرح زیر بیان میشود.

$$Z(s) = \mu + \varepsilon(s) + \varepsilon'(s) \quad \text{رابطه (۴)}$$

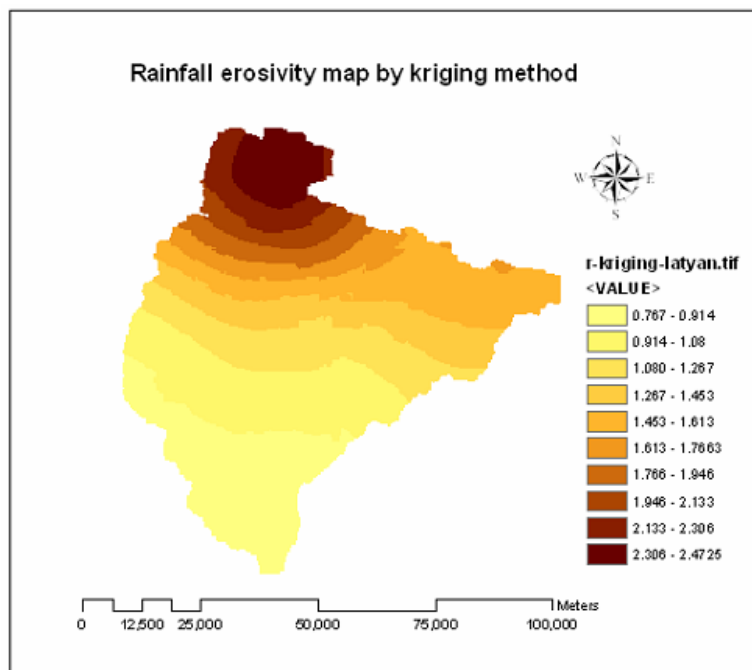
با مدلسازی $(\varepsilon(s))$ که از طریق برازش توابع ریاضی مناسب به سمی واریوگرام متغیر امکان پذیر است تخمین متغیر با بهینه سازی شعاع همسایگی و ضرائب همسایه ها بمنظور حد اقل سازی خطای تخمین امکان پذیر میشود (شکل ۶). سمی واریانس تجربی $\gamma(h)$ بین توابع $(F(xi))$ برای تعداد n نمونه همسایه به فاصله h از رابطه زیر محاسبه میشود.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [F(xi) - F(xi - h)]^2 \quad \text{رابطه (۵)}$$

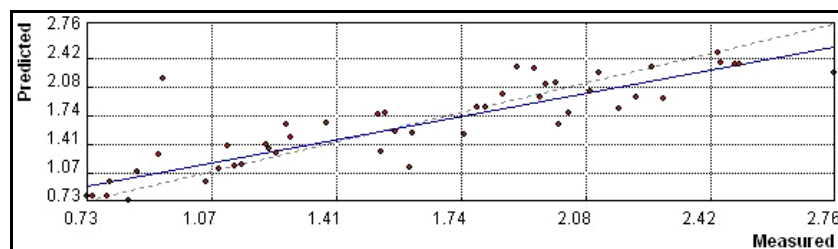
با توجه به تاثیر تابع ریاضی برازش داده شده خطای درون یابی با پنج مدل مختلف محاسبه شد (جدول ۳) و نقشه فرسایندگی باران و نمودار مربوط به همبستگی بین مقادیر اندازه گیری شده و برآورد شده بارندگی با استفاده از برازش تابع گوسین در درون یابی باروش کریگینگ محاسبه شد (شکلهای ۷ و ۸).

جدول (۳) مقدار خطای مربوط به روش کریگینگ با ۵ تابع و تعداد ۷ همسایه

	radius	43788	neighbourhoods	7
	Model	sill	nugget	error
KRIGING	<i>Spherical</i>	0.3431	0.0094	0.0133
	<i>Exponential</i>	0.3389	0.0000	0.0196
	<i>Rational</i>	0.3390	0.0003	0.0248
	<i>Gaussian</i>	0.2751	0.0841	0.0121
	<i>Hole effects</i>	0.2610	0.0644	0.0217



شکل (۷) نقشه فرساینده‌گی باران محاسبه شده با روش کریگینگ در حوزه آبخیز لتیان.



شکل (۸) رابطه بین مقادیر مشاهده شده و برآورد شده بارندگی برای ایستگاه های باران سنجی با روش کریگینگ.

۳-۳-۲- روش کوکریگینگ

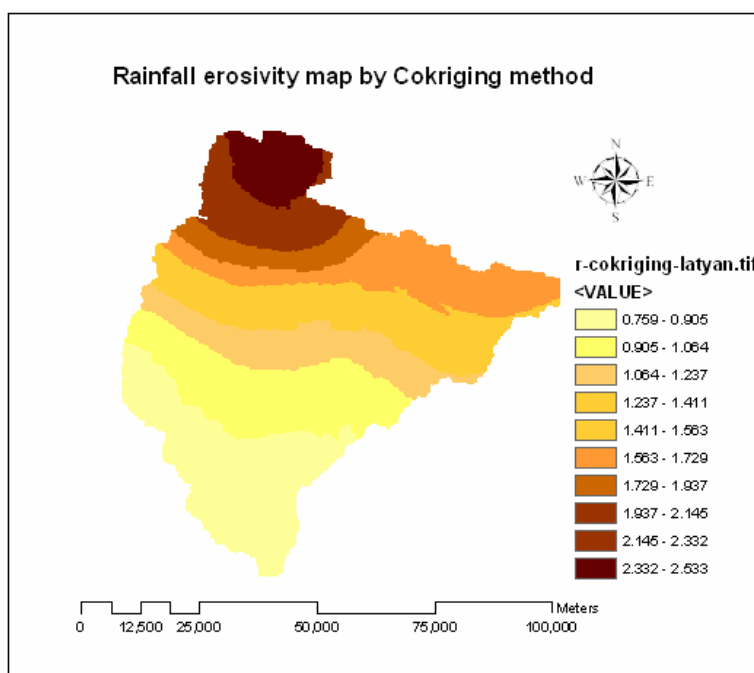
روش کوکریگینگ شاخه ای از کریگینگ میباشد که در آن از متغیر های ثانویه (secondary) که با متغیر اصلی (primary) مورد بررسی دارای همبستگی مکانی میباشند استفاده میشود. در شرایطی که تراکم نمونه برای متغیر ثانویه (مانند ارتفاع در تحقیق حاضر) بیش از تراکم نمونه های موجود برای متغیر اصلی (بارندگی) باشد استفاده از این روش نسبت به هر دو روش معمول در درون یابی داده های بارندگی و شامل درون یابی مکانی بدون توجه به عامل ارتفاع و درون یابی به کمک رابطه همبستگی بین بارندگی و ارتفاع بدون توجه به اطلاعات مکانی میتواند برتری داشته باشد. در این روش واریوگرام ترکیبی (cross-variogram) بین متغیر های اولیه p و ثانویه S با استفاده از رابطه زیر محاسبه میشود و در درون یابی مورد استفاده قرار میگیرد.

$$\gamma^{ps}(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [F^{primary}(xi) - F^{primary}(xi+h)][F^{secondary}(xj) - F^{secondary}(xi+h)] \quad \text{رابطه (۶)}$$

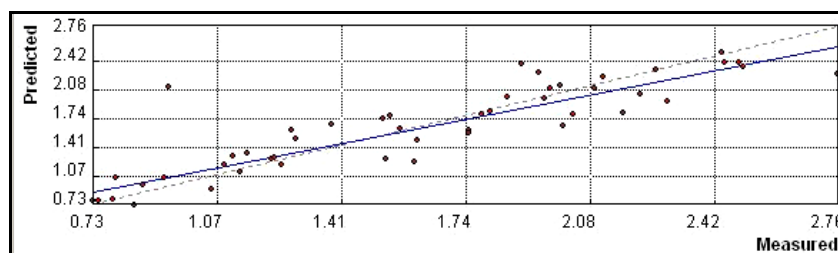
در این تحقیق از مدل رقومی ارتفاع منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان نقشه برداری کشور بعنوان متغیر ثانویه استفاده شد.

نمودار نقشه فرساینده‌گی باران، رابطه بین مقادیر برآورد شده و مشاهده شده بارندگی و نمودار همبستگی بین داده های ارتفاع و بارندگی بترتیب در شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است. رابطه خطی قوی با ضریب همبستگی ۰/۸۴ بین داده های بارندگی سالانه (Y) و ارتفاع نقاط (x) وجود دارد (رابطه ۷) که موید مفید بودن استفاده از روش کوکریگینگ با استفاده از اطلاعات ارتفاع میباشد.

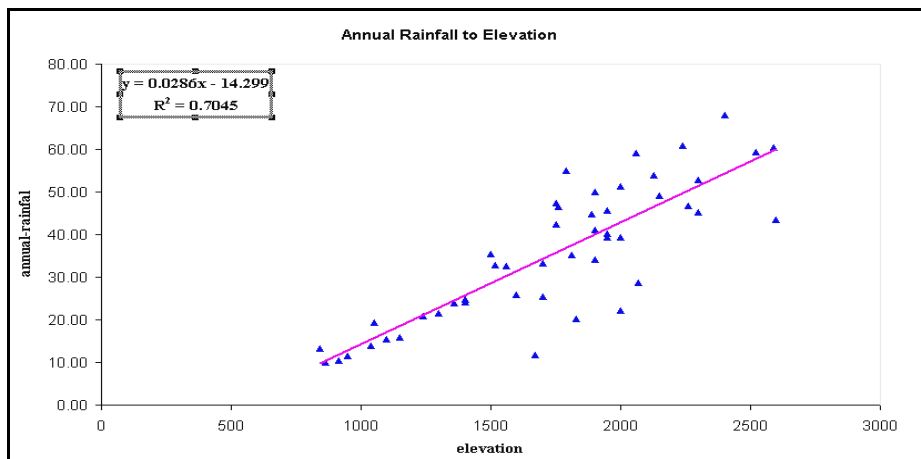
$$Y = 0.0286 * x - 14.299 \quad \text{رابطه (۷)}$$



شکل (۹) نقشه فرساینده‌گی باران محاسبه شده با روش کوکریگینگ در حوزه آبخیز لتیان.



شکل (۱۰) رابطه بین مقادیر مشاهده شده و برآورد شده بارندگی برای ایستگاه های باران سنجی با روش کوکریگینگ.



شکل (۱۱) نمودار نشان دهنده رابطه همبستگی مثبت بین داده های بارندگی سالیانه (میلیمتر) و ارتفاع از سطح دریا (متر) در حوزه لتیان.

۴- نتیجه گیری :

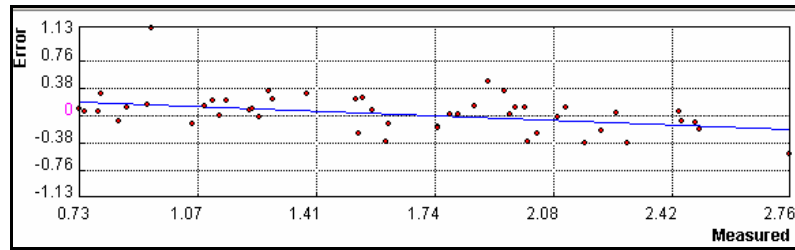
وجود همبستگی قوی بین داده های برآورد شده و مشاهده شده نشان دهنده عملکرد خوب هر چهار روش مورد بررسی در این مطالعه میباشد. این نتیجه میتواند بدلیل تراکم مناسب ایستگاه های هواشناسی در حوزه مورد بررسی و همچنین همبستگی قوی مکانی بین داده های اندازه گیری شده باشد. در شرایط داشتن نمونه های با فاصله زیاد و توزیع نامنظم اختلاف بیشتری بین روشهای مختلف میتوان انتظار داشت.

مقدار خطای محاسبه شده (MAE) و ضرایب همبستگی بین مقادیر برآورد شده و اندازه گیری شده فرسایندگی باران برای چهار روش مورد بررسی در جدول ۴ نقل شده است. اگر چه در شرایط مناسب از نظر تراکم نمونه ها، نتایج حاصله حساسیت کمتری نسبت به انتخاب روش درون یابی خواهد داشت، مشاهده می شود که روش Cokriging با مدل گوسین، کمترین مقدار MAE (MAE=۰,۰۰۸) و بیشترین ضریب همبستگی را دارا میباشد. در نقطه مقابل روش WME بالاترین مقدار خطا را دارد و ضریب همبستگی نتایج آن با داده های اندازه گیری شده نیز نسبت به روش Cokriging بصورت قابل ملاحظه ای کمتر است. این اختلاف میتواند بدلیل استفاده مستقیم از فاصله بین نمونه ها در تخمین با WME، بدون توجه به وابستگی مکانی بین متغیر مورد بررسی باشد.

جدول (۴) خطای مربوط به چهار روش درون یابی مورد استفاده در تهیه نقشه فرسایندگی باران در حوزه آبخیز لتیان

Method	WME(2)	Tpss	Kriging	Cokriging
MAE	0.047	0.016	0.012	0.008
Correlation	0.55	0.59	0.53	0.84

نمودار توزیع خطا در فضای مربوط به بزرگی ضرایب فرسایندگی باران در شکل ۱۲ نشان داده شده و مویده متعادل بودن توزیع خطا در فضای متغیر مورد بررسی میباشد.



شکل (۱۲) توزیع بزرگی خطا در فضای مربوط به مقادیر ضرایب فرساینده‌گی در ایستگاه های باران سنجی در حوزه آبخیز لتیان.

نتایج حاصل از این بررسی موید اهمیت استفاده از روشهای مناسب درونیابی میباشد. استفاده از متغیر ثانویه در روش Cokriging در شرایط کشور که در آن کمبود اطلاعات و تراکم نمونه ها غالباً بعنوان عاملی محدود کننده در کیفیت درون یابی بسیاری از متغیر های محیطی عمل میکند اهمیت زیادی میتواند داشته باشد. خوشبختانه اطلاعات ارتفاع و سایر مشتقات قابل استخراج از آن در کشور براحتهی و با دقت مناسب در دسترس میباشد و در درون یابی بعنوان متغیر کمکی میتواند بصورت موثری مورد استفاده قرار گیرند.

منابع مورد استفاده:

- ۱- خدایاری، علی اصغر. ۱۳۷۱. اصول زمین آماری. دانشکده فنی دانشگاه تهران
- ۲- رفاهی، حسینقلی. ۱۳۷۵. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۳- سلطانی، محمد جعفر. ۱۳۸۱. ارزیابی اراضی به منظور مکان یابی عرصه های مستعد اجرای عملیات پخش سیلاب در محیط GIS (مطالعه موردی حوزه آبخیز سمل)- پایان نامه کارشناسی ارشد.
- ۴- مدنی، حسن. ۱۳۷۳. مبانی زمین آمار. دانشگاه صنعتی امیرکبیر واحد تفرش
- ۵- ArcGIS9_usingarcmap-2004. Printed in United State of America. ESRI group-
- ۶- High-Definition Mapping and 3-D Geostatistical Modeling of Contaminated Soil ,A Real Time Data Process. Leslie Chau, Elaine Chan, and Frank Keyser ICF Kaiser Engineers, <http://www.angelfire.com/ca/eylchan/paper1.html> Inc. 1995
- ۷- LO et al. 1985 cited by MANRIQUE LA. 1993, p. 1036