پژوهش های جغرافیایی ـ شماره۵۸، زمستان ۱۳۸۵
صص ۱۵-۱

# ارزیابی میزان دقت روشهای درونیابی فضایی
# مطالعه موردی: الگوسازی بارندگی حوزه کارده مشهد

حسنعلی فرجی سبکبار* –استادیار دانشکده جغرافیا،دانشگاه تهران
قاسم عزیزی** –دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۸۲/۹/۱۷
تأیید نهایی: ۸۵/۹/۱

**چکیده**

**در مقاله حاضر میزان دقت روشهای مختلف درونیابی فضایی مورد ارزیابی قرار گرفته اند. به عنوان نمونه روشهای مختلف درونیابی تین ، معکوس وزنی فاصله، اسپلاین و انواع کریجینگ انتخاب گردیده است. با استفاده از این روشها به درونیابی داده های بارندگی حوضه آبریز کشف رود پرداخته شده است. براساس نتایج به دست آمده از اجرای این مدلها میزان دقت این روشها با استفاده از روشهای آماری با هم مقایسه شده اند. برای ارزیابی روشهای درونیابی از تکنیک اعتبار متقاطع استفاده شده و درآن دو روش خطای بایاس میانگین(MBE) و خطای قدر مطلق میانگین (MAE) برای ارزیابی میزان اعتبار بکار گرفته شده است. براساس نتایج حاصل روشهای تین و کریجینگ نتیجه درونیابی بهتری در برداشته‌اند.**

***واژگان کلیدی:*** **درونیابی فضایی، دقت وخطای فضایی، تین، معکوس وزنی فاصله، اسپلاین، کریجینگ**

***مقدمه***

در مطالعات جغرافیایی برداشت اطلاعات اغلب به صورت نقطه ای انجام می شود. معمولاً ضرورت دارد اطلاعات حاصل از نمونه برداری نقطه ای به سطح تعمیم داده شود. برای مثال در مطالعات هواشناسی از داده های ایستگاههای هواشناسی استفاده می شود. در این حالت لازم است براساس داده های ایستگاههای موجود، وضعیت داده های هواشناسی مناطق مجاور بازسازی شود. فرایند برآورد مقادیر اطلاعاتی برای مکانهایی که اطلاعاتی برای آنها وجود ندارد براساس اطلاعات مناطق نمونه، درونیابی فضایی نامیده می شود. الگوریتمهای متفاوتی برای درونیابی فضایی وجود دارد که برخی از آنها مبتنی بر روشهای زمین آمار و ژئومتری می باشند. به رغم تمام پیشرفتهایی که چند دهه اخیر بویژه با توسعه نرم افزارهای GIS در زمینه مدل سازی فضایی بوجود آمده است، اما هنوز باید در استفاده از نتایج حاصل از این مدلها دقت کافی داشت. در این مقاله براساس داده های ایستگاههای هواشناسی داده های نقطه ای به سطح تعمیم داده شده و

* E-mail:hfaraji@ut.ac.ir
** E-mail:ghazizi@ut.ac.ir
تلفن نویسنده مسئول:۰۹۱۲۵۳۵۹۲۱۷

Archive of SID
www.SID.ir

سپس با استفاده از روشهای علمی میزان دقت روشهای مختلف درونیابی با هم مقایسه شده است. برای تعمیم اطلاعات روشهای متعددی پیشنهاد شده است(رایت ۱۹۳۶،مارکف و شاپیرو۱۹۷۳، تابلر ۱۹۷۹،گودچایلد و لام ۱۹۸۰، لام ۱۹۸۳، فلور و گرین ۱۹۹۰، رند ۱۹۹۱، گودچایلد و سایرین ۱۹۹۳، بورو مک دانل ۱۹۹۸) که هرکدام از این روشها دارای مزایا و معایبی هستند و کاربر با توجه به نیاز خود و در نظر گرفتن میزان دقت و ویژگیهای این روشها از میان آنها بهترین روش را انتخاب می کند.

همزمان با توسعه روشهای جدید درونیابی مقایسه میزان دقت برآورد آنها نیز ضرورت دارد. مطالعات تطبیقی چندی توسط محققین انجام پذیرفته است تا به ارزیابی میزان دقت روشها بپردازند. کوکینگ و سایرین برای تعیین دقت فضایی روش مونت کارلو را پیشنهاد کرده اند (Cocking et ali 1997). سیسکا هونگ (۱۹۹۹) روش خطای ریشه دوم مربع میانگین [1](RMSE)و پیرگوارتس از مربع میانگین [2] (MSE) ، مهدویان و سایرین از روش خطای بایاس میانگین [3] (MBE) و خطای قدر مطلق میانگین [4] (MAE) استفاده کرده اند.

***مواد و روشها***

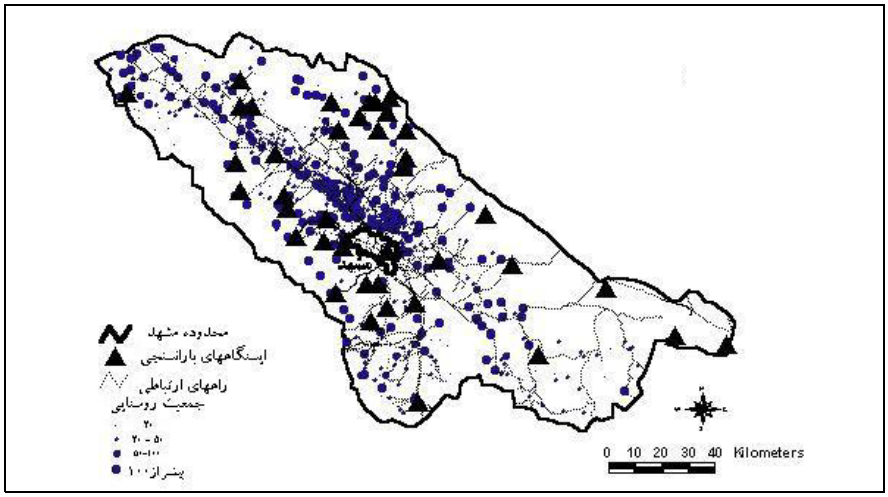
برای انجام تحقیق حاضر از روشهای معکوس وزنی فاصله(IDW)، اسپلاین [5] منظم و کشش، تین و کریجینگ براساس مدل های مختلف شبه واریوگرام درونیابی فضایی استفاده شده است و نتایج حاصل با مقادیر نمونه مورد آزمون قرار گرفتند. برای مطالعه تطبیقی و ارزیابی میزان دقت روش اعتبار متقاطع [6] و معیارهای MAE و MBE که از روشهای معتبر ارزیابی دراین زمینه می باشند استفاده شده است.

واحد مطالعاتی حوضه کشف رود در شمال استان خراسان انتخاب شده است. در این حوضه ۳۹ ایستگاه باران سنجی وجوددارد که نقاط شاهد برای کنترل دقت اطلاعات مشاهده شده و پیش بینی شده محسوب می شود. متوسط بارندگی برای دوره ۱۳۶۵-۱۳۸۰ در ایستگاههای مورد مطالعه محاسبه شد و در پایگاه داده قرار گرفت. با توجه به مختصات موقعیت جغرافیایی ایستگاهها نقشه رقومی ایستگاههای هواشناسی تولید شد. سپس مراحل مدل سازی فضایی در محیط نرم افزاری GIS (نرم افزارهای ArcView، ArcInfo721، Ilwis) انجام شد و در نهایت نتایج حاصل از این روشها با هم مقایسه شدند.

1- Root Mean Squre
2 -Mean Squre Error
3 -Mean Bias Error
4 -Mean Absolute Error
5 -SPLINE
6 -Cross Validation

Archive of SID

www.SID.ir




**نقشه ۱- موقعیت ایستگاههای مورد مطالعه در حوضه کشف رود**

## *اجرای روشهای درونیابی فضایی*

### *روش معکوس وزنی فاصله[۷] (IDW)*

روش معکوس فاصله یکی از روشهایی است که در مطالعات جغرافیایی از آن زیاد استفاده می شود. فرض اساسی این روش برآن است که با افزایش فاصله میزان تاثیر پارامترها در برآورد واحد سطح کاهش می یابد. برای پیش بینی در مکانهایی که داده های آنها اندازه گیری نشده است از مقادیر اندازه گیری شده پیرامون محل استفاده می شود. در پیش بینی، عامل وزن براساس فاصله نقاط از یکدیگر تعیین می شود. به نقاط نزدیک محل نمونه وزن بیشتر و به نقاط دورتر وزن کمتر اختصاص می یابد. با استفاده از تابع شماره ۱ می‌توان مقادیر مربوط به نقاط مختلف را به دست آورد.

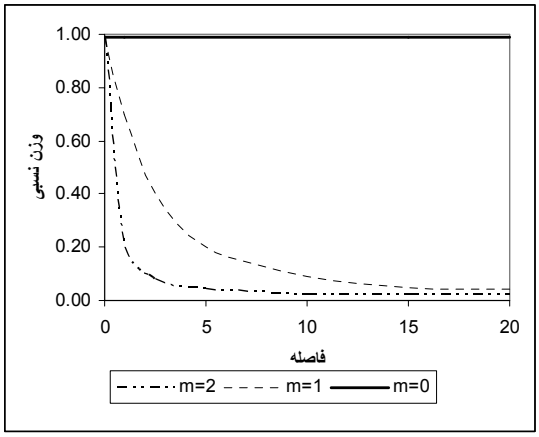
$$z = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{z_i}{d_i^m}}{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{d_i^m}} \qquad (۱)$$

که در آن $z_i$ مقادیر نمونه، $d_i$ فاصله اقلیدسی هر مکان تا محل نمونه، $m$ عامل توان (اصطکاک فاصله) و n تعداد نقاط نمونه است. نسبت کاهش وزن بستگی به مقدار $m$ دارد. اگر $m=0$ درنظرگرفته شود در اینصورت کاهش در وزن با فاصله ایجاد نمی شود. بنابراین وزن در سطح فضا برابر فرض می شود با افزایش مقدار $m$ وزن برای نقاط دورتر با سرعت بیشتر کاهش می یابد اگر مقدار $m$ خیلی بزرگ باشد تنها نقاط مشاهده در پیش بینی تاثیر خواهد داشت. شکل شماره ۱ تاثیر تغییرات $m$ را بر تغییرات مقادیر پیش بینی براساس فاصله از ایستگاهها نشان می دهد. در مطالعات معمولا این مقدار برابر با ۲ در نظر گرفته می شود، ولی الزاما نیازی نیست تنها ۲ استفاده شود بلکه متناسب با نیاز و ماهیت اطلاعات و تغییرات فضایی آن باید مقدار $m$ تعیین شود.

7- Inverse Distance Weight

Archive of SID

www.SID.ir

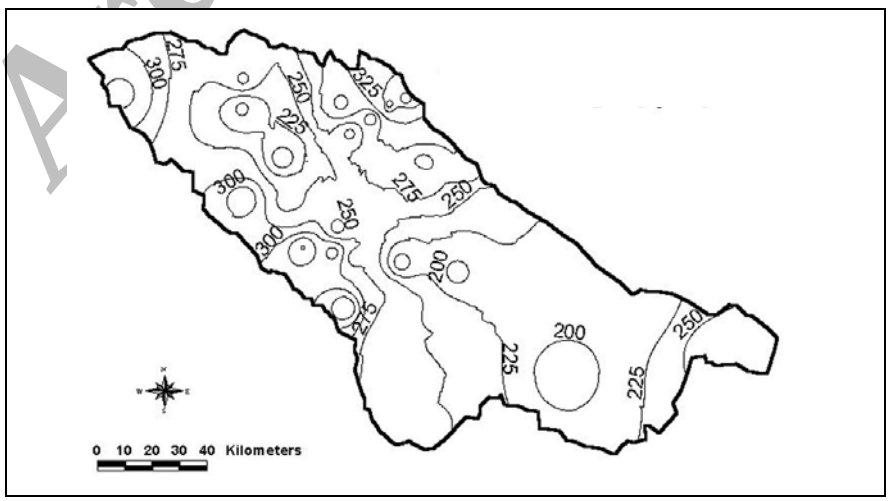



**شکل ۱- تاثیر عامل $m$ بر وزن نسبی**

یکی دیگر از عوامل موثر در IDW تعداد و موقعیت نقاط مجاور و به عبارتی وضعیت واحدهای همسایگی است. از آنجائی که چیزهایی که نزدیک تر هستند شباهت بیشتری دارند، مکانهای دورتر تاثیر کمتر داشته و می توان آنها را از محاسبات خارج نمود تا سرعت محاسبات افزایش یابد. بنابراین انتخاب و محدود کردن تعداد نقاط مجاور و به عبارتی پنجره جستجو برای نقاط مجاور در تحلیلها مهم می باشند.

شکل همسایه ها تحت تاثیر داده های ورودی و به سطحی که لازم است مدل سازی شود. اگر توزیع متعادل باشد و جهت اهمیت نداشته باشد، نقاط را در همه جهات می توان گسترش داد. در اینحالت، با توجه به شعاع جستجو پنجره صورت دایره در نظر گرفته می شود و اگر جهت داده مهم باشد مانند جهت وزشهای بادهای غالب در اینصورت جهت را با تطبیق بر شکل بیضی در جهت اصلی می توان تعیین کرد.

نقشه۲ نتیجه اجرای مدل در مورد ایستگاههای مورد مطالعه را نشان می دهد. با توجه به این که در این روش مقادیر براساس وزن فاصله از ایستگاههای نمونه تعیین می شوند و فاصله به صورت شعاعی در جهات مختلف تعیین می شود منحنی های حاصل به صورت دایره ای از محل ایستگاه به سمت خارج گسترش می یابند و در مناطق مرزی با یکدیگر تداخل یافته و به صورت پیچیده در می آیند.




**نقشه۲ – خطوط هم بارش با استفاده از مدل IDW خطوط هم بارش حوضه کشف رود با استفاده از مدل معکوس وزنی فاصله**

Archive of SID

www.SID.ir

***روش اسپلاین[8]***

برای درونیابی براساس مدل اسپلاین از چند جمله ایها استفاده می شود و از برازش یک تابع چند جمله ای براساس داده های نمونه، مقادیر نقاط نا معلوم برآورد می شوند. ویژگی اساسی اسپلاین این است که در سطح تغییرات ناگهانی وجود ندارد. در معادلات درجه دوم و سوم این انحناها به حداقل خود رسیده و در نتیجه یک سطح نسبتاً هموواری به دست می آید. با توجه به تاثیر درجه بردقت داده ها در درونیابی، هرچه درجه بالاتری انتخاب شود شکل حاصل هموارتر خواهدبود ولی به میزان قابل توجهی از دقت مدل کاسته می شود. این روش در تهیه منحنی های هم ارزش اقلیمی که سطح معینی از تعمیم در آنها مورد نظرمی باشد مفید است. روش درونیابی اسپلاین با استفاده از معادله ۲ محاسبه می شود.

$$Z_{(x,y)} = T_{(x,y)} + \sum_{j=1}^{N} \lambda_j R(r_j) \quad (۲)$$

که در آن N تعداد نقاط نمونه، $\lambda_j$ ضریب راه حل معادلات خطی، $r_j$ فاصله از نقطه نمونه jام ، $T_{(x,y)}$ و $R(r_j)$ با توجه به نوع گزینه، توسط کاربر تعیین می شود. این گزینه براساس دو روش زیر تعیین می شود:

***الف) اسپلاین منظم***

در اسپلاین منظم، مشتق سوم در معیار کمینه سازی دخالت داده می شود و مقادیر براساس رابطه شماره۳ برآورد می شود.

$$T(x,y) = a_1 + a_2 x + a_3 y$$

$$R(r) = \frac{1}{2\pi}\left\{\frac{r^2}{4}[\ln(\frac{r}{2\tau}) + c - 1] + \tau^2[K_0(\frac{r}{\tau}) + c + \ln(\frac{r}{2\pi})]\right\} \quad (۳)$$

***ب) اسپلاین کششی***

برای برآورد اسپلاین کششی مشتق اول را در معیار کمینه سازی دخالت داده می شود و مقادیر را براساس رابطه شماره ۴ برآورد می کنند.

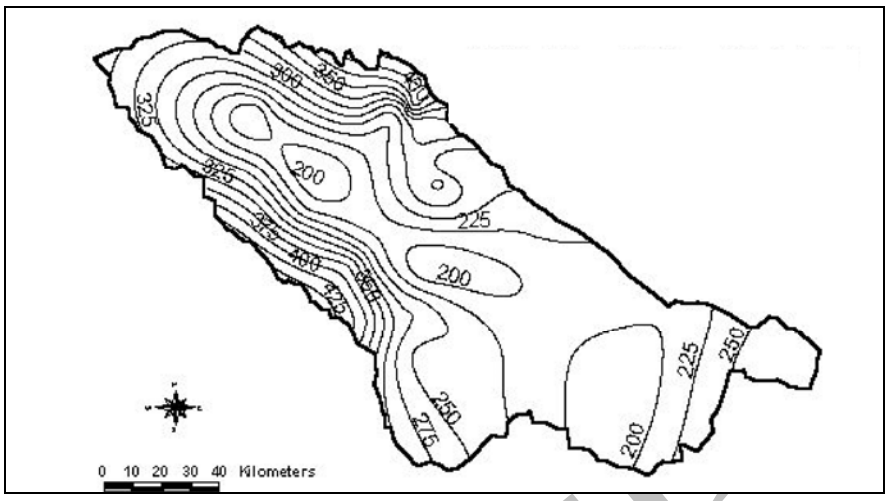
$$T(x,y) = a_1$$
$$R(r) = \frac{1}{2\pi\varphi}[\ln(\frac{r\varphi}{2}) + c + K_0(r\varphi)] \quad (۴)$$

در ۳و۴ $\varphi$ و $\tau$ پارامترهای کنترل کننده وزن مشتق سوم و مشتق اول در معیار کمینه سازی،r فاصله بین نقطه نمونه و نقطه برآورد شده،K تابع تعدیل شده بسل[9]، C ثابتی معادل با ۰/۵۷۷۲۱۵ و a ضریبی است که از طریق حل مجموعه ای از معادلات خطی بدست می‌آید.

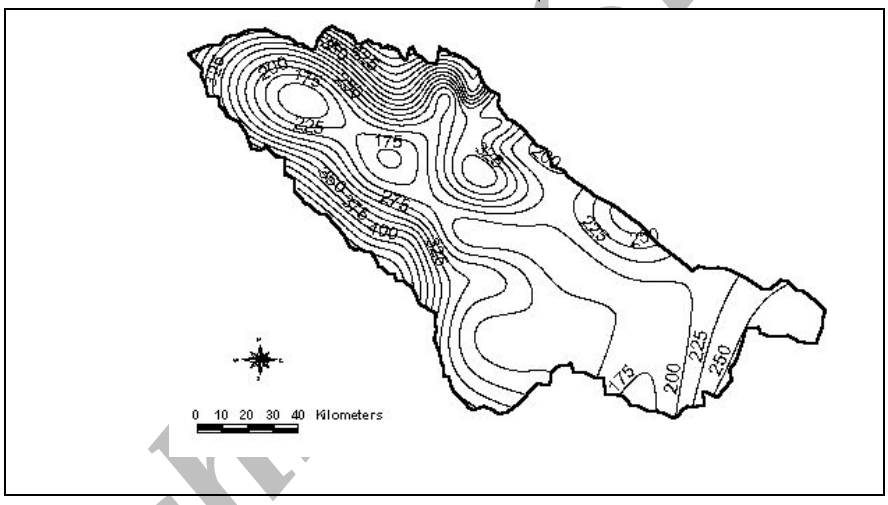
[8]- Spline
[9]- Bessel

Archive of SID

www.SID.ir




**نقشه۳- خطوط هم بارش با استفاده از مدل اسپلاین کششی**




**نقشه۴- خطوط هم بارش با استفاده از مدل اسپلاین منظم**

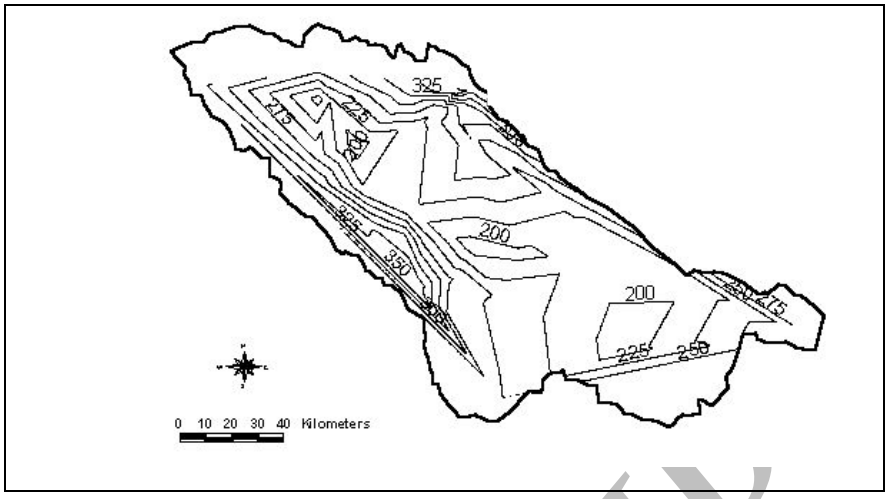
***روش مثلث بندی نامنظم***[8]

در این روش نقاط مشاهده شده با خطوط صاف به یکدیگر متصل شده و موزائیکی از مثلثهای نامنظم را بوجود می آورند. (هیود و دیگران۱۹۸۸) این روش طی دو مرحله انجام می شود: مثلث بندی نقاط نمونه و سپس برازش چند جمله ای های محلی بر شبکه مثلث ها. از آنجائی که در این روش سطح از نقاطی که به صورت نامنظم در فضا توزیع شده اند ساخته می شود، در مناطقی که تغییرات زیادی دارند مانند مناطق کوهستانی برای مدل سازی سطح از تعداد نقاط بیشتری استفاده می شود. در مدل تین نقاط راس مثلثها از داده های ورودی براساس روابط فضایی با واحدهای همسایه انتخاب می شوند زیرا در مدل های درونیابی فضایی براساس قانون جغرافیایی تابلر[9] خود همبستگی[10] فضایی

8 -Triangulated Irregular Network
9 -Tobler's law of geography
10 -Spatial Autocorrelation

www.SID.ir

نقش اساسی دارد. به عقیده او نقاط نزدیکتر شباهت بیشتری نسبت به نقاط دورتر دارند. بنابراین در روش تین مقدار هر مثلث براساس مقادیر رئوس و همسایگانش تعیین می شود.




**نقشه۵- خطوط هم بارش با استفاده از TIN**

نقشه ۵ نتیجه اجرای مدل را درمورد حوضه کشف رود نشان می دهد. چنانکه در نقشه مشخص است، منحنی ها کاملاً زاویه دار می باشند و این برعکس روش اسپلاین است که خطوط به صورت هموارتری ترسیم می شوند. در روشهایی که هدف محاسبه متوسطها و داده های واقعی است استفاده از این روش توصیه می شود ولی برای ارائه و تهیه گرافهای نمایشی روش چندان مناسبی نمی باشد.

***کریجینگ***

کریجینگ یک روش زمین آمار برای درونیابی داده‌ها براساس واریانس فضایی است. مانند IDW که در آن نزدیکی به نقاط نمونه به عنوان وزن برآورد محسوب می‌شد در کریجینگ نیز واریانس فضایی تابعی از فاصله شناخته می شود(Sharolyn,2000). برای برآورد مقادیر براساس کریجینگ روشهای مختلفی وجود دارد، دراین تحقیق از دو روش کریجینگ معمولی و کریجینگ عمومی استفاده شده است.

***الف) کریجینگ معمولی[11]***

در این روش برای بیان تغییرات فضایی از واریوگرام استفاده می شود و خطای مقادیر پیش بینی شده را با توجه به توزیع فضایی داده های پیش بینی شده کمینه می کنند.

روش عمومی محاسبه کریجینگ براساس معادله شماره ۵ می باشد.

$$Z'_o = \sum_{i=1}^{N} w_i z_i \qquad (۵)$$

درمعادله ۵ $Z'_o$ برابر با مقدار برآورد شده ، $w_i$ برابر با وزن و $z_i$ برابر با مقادیر نمونه است.

وزنها به درجه همبستگی بین نقاط نمونه و نقاط برآورد شده بستگی دارد و همیشه جمع آنها برابر با ۱ است.

برای محاسبه وزن از معادله ماتریس شماره ۶ استفاده می شود:

11- Ordinary Kriging

Archive of SID

www.SID.ir

$$\begin{vmatrix} 0 & \gamma(h_{12}) & \gamma(h_{13}) & \dots & \gamma(h_{1n}) & 1 \\ \gamma(h_{21}) & 0 & \gamma(h_{23}) & \dots & \gamma(h_{2n}) & 1 \\ \gamma(h_{31}) & \gamma(h_{32}) & 0 & \dots & \gamma(h_{3n}) & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma(h_{n1}) & \gamma(h_{n2}) & \gamma(h_{n3}) & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} w_1 \\ w_1 \\ w_1 \\ \dots \\ w_1 \\ \lambda \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \lambda(h_{p1}) \\ \lambda(h_{p2}) \\ \lambda(h_{p3}) \\ \dots \\ \lambda(h_{pn}) \\ 1 \end{vmatrix} \quad (۶)$$

معادله ۶ را به صورت رابطه ۷ می توان نوشت:

$$\sum_i (w_i * \gamma(h_{ik})) + \lambda = \gamma(h_{pi}) \quad (۷)$$

در این معادلات $h_{ik}$ فاصله بین نقاط ورودی i و k، $h_{pi}$ فاصله بین پیکسل خروجی(مقادیربرآورد شده) p و نقطه ورودی(مقادیر معلوم) i و $\gamma(h_{ik})$ مقدار شبه وریوگرام برای فاصله $h_{ik}$ و $\gamma(h_{pi})$ مقدار شبه وریوگرام برای فاصله $h_{pi}$ و $w_1$ عامل وزن و $\lambda$ ضریب لاگرانژ(که برای کمینه سازی خطای تخمین استفاده می شود) می باشند.

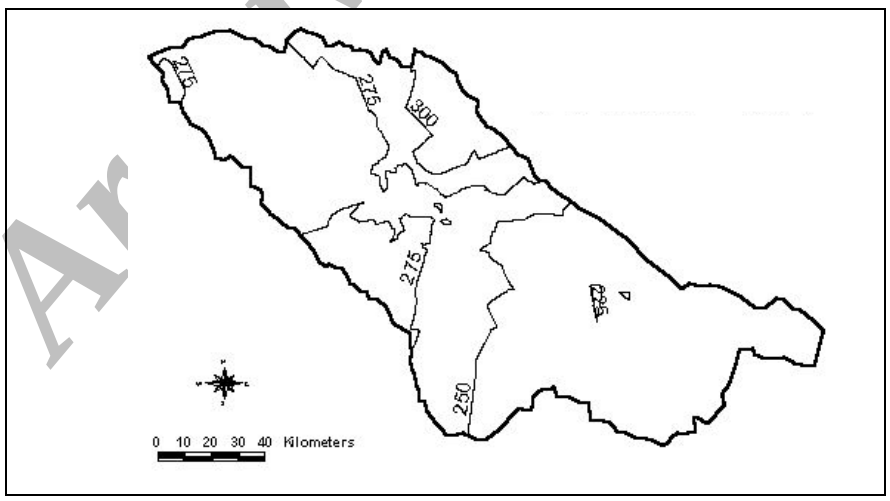
در این روش برای برآورد وزن از انواع وریوگرام استفاده می شود که نمونه هایی از آن در ادامه تشریح می شوند.

***۱-الف) وریوگرام دایره ای***

شبه وریوگرامی که برای محاسبه وزن در روابط ۶ و ۷ بکار می رود به صورت معادله شماره ۸ برآورد می شود.

$$for \quad 0 < h \le a \qquad \gamma_{(h)} = C_0 + C\left\{1 - \frac{2}{N} * \arccos\left(\frac{h}{a}\right) + \frac{2h}{\Pi a}\sqrt{1 - \frac{h^2}{a^2}}\right\} \quad (۸)$$

$$for \quad h > a \qquad \gamma_{(h)} = C_0 + C$$




**نقشه۶- خطوط هم بارش با استفاده از مدل کریجینگ(روش دایره ای)**

نتیجه اجرای مدل در نقشه شماره ۶ نشان داده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

***۲-الف) وریوگرام نمائی***

شبه وریوگرامی که برای محاسبه وزن در رابطه ۶ و ۷ بکار می رود از طریق رابطه ۹ محاسبه می شود.

$$\gamma_{(h)} = C_0 + C * \left(1 - e^{-\frac{h}{a}}\right) \quad (۹)$$

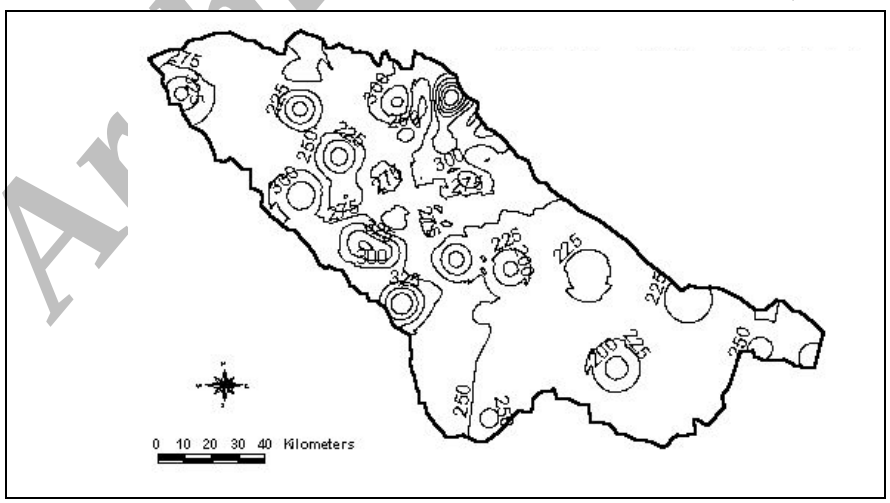
**نقشه۷- خطوط هم بارش با استفاده از مدل کریجینگ(روش نمائی)**

نتیجه اجرای مدل در نقشه شماره ۷ نشان داده شده است.

***۳-الف) وریوگرام گوسن***

شبه وریوگرامی که برای محاسبه وزن در رابطه ۶ و ۷ بکار می رود به صورت معادله ۱۰ می باشد.

$$\gamma_{(h)} = C_0 + C * \left(1 - e^{-(\frac{h}{a})^2}\right) \quad (۱۰)$$




**نقشه۸- خطوط هم بارش با استفاده از مدل کریجینگ(روش دایره ای)**

نتیجه اجرای مدل در نقشه۸ نشان داده شده است.

Archive of SID

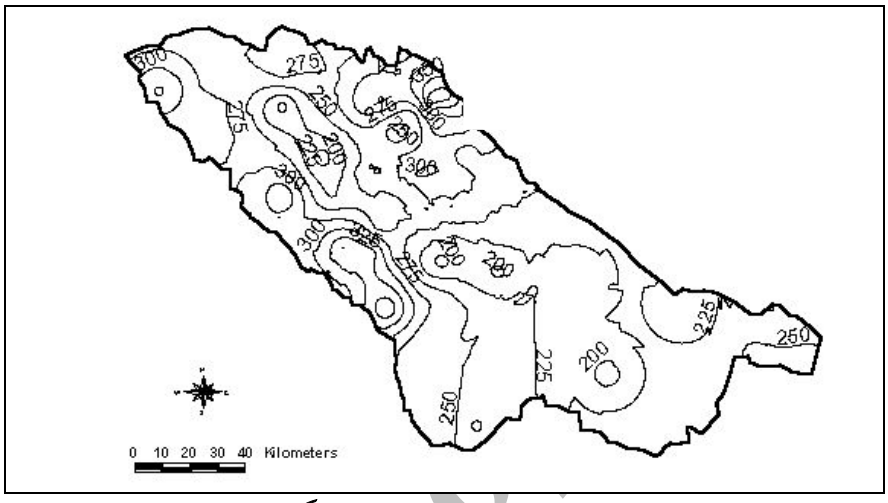
www.SID.ir

### ۴-الف) وریوگرام کروی

شبه وریوگرامی که برای محاسبه وزن در رابطه ۶ و ۷ بکار می رود به صورت معادله ۱۱ نشان داده می شود.

$$for \quad 0 < h \le a \qquad \gamma_{(h)} = C_0 + C\left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3}\right) \qquad (۱۱)$$

$$for \quad h > a \qquad \gamma_{(h)} = C_0 + C$$




**نقشه۹- خطوط هم بارش با استفاده از مدل کریجینگ(روش دایره ای)**

نتیجه اجرای مدل در نقشه۹ نشان داده شده است.

### ب) کریجینگ عمومی

روش کریجینگ عمومی تلفیق روش کریجینگ با روند محلی می باشد. براساس فرضیات نظریه تغییر پذیری ناحیه ای ، تغییرات فضایی هر متغیر Z با جمع دو مولفه اصلی بیان می شود . مولفه ساختاری، که به روند ثابت در فضا مربوط می شود. در معادله ۱۲، $(m(x))$ مولفه همبستگی فضایی است که به عنوان متغیر ناحیه ای( $\varepsilon'(x)$ ) شناخته می شود. اگر مکانی در یک فضای دو بعدی باشد، متغیر Z در X به صورت زیر تعریف خواهد شد.

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon'(x) \qquad (۱۲)$$

در کریجینگ معمولی فرض می شد که در کل ناحیه روند تغییرات میانگین ثابت است در حالیکه در اینجا میانگین نقاط تابعی از مختصات جغرافیایی مکانها شناخته می‌شوند. بنابراین معادله $m(x)$ را به صورت زیر می توان نوشت:

$$m(x) = \sum_{k=1}^{N} a_k p_k(x) \qquad (۱۳)$$

که در آن $a_k$ روند محلی، $p_k(x)$ تابعی از مختصات جغرافیایی مکان (معادلات روند)و X بردار دو بعدی $\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$ است. روند محلی به صورت روند خطی و روند کوادراتیک تعریف می شوند که در ادامه به بررسی خصوصیات آنها می پردازیم.

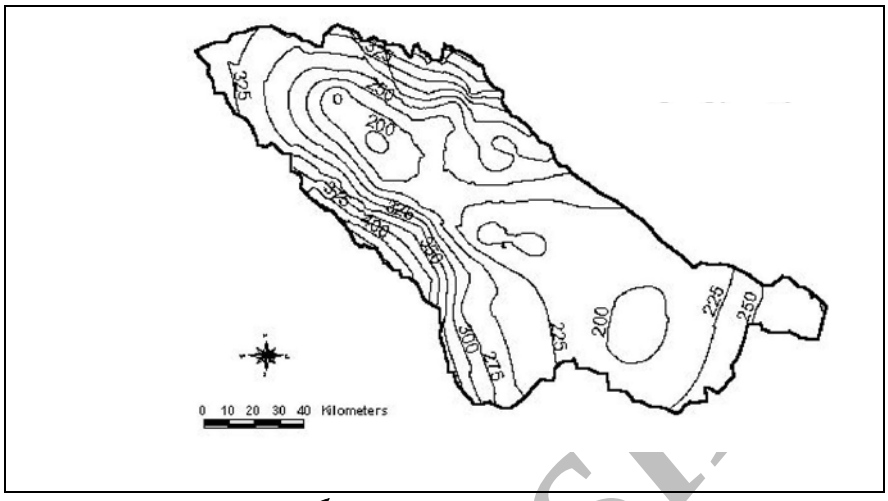
Archive of SID

www.SID.ir

***۱- ب) روند خطی***

اگر در روند محلی معادله درجه اول انتخاب شود در نتیجه مقادیر براساس روند خطی (معادله ۱۴) برآورد خواهد شد.

$$m(x) = a_0 + a_1 x_i + a_2 y(3a) \quad (۱۴)$$



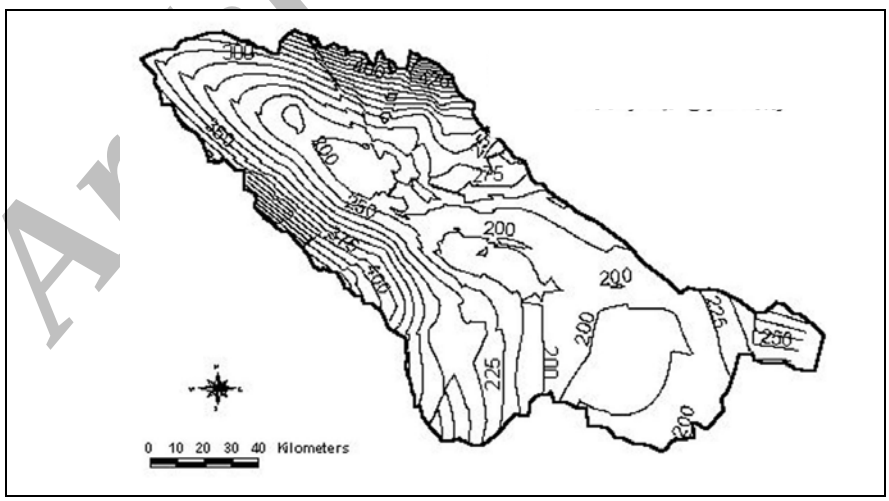

**نقشه ۱۰- خطوط هم بارش با استفاده از مدل کریجینگ عمومی(روند خطی)**

نتیجه اجرای مدل در نقشه ۱۰ نشان داده شده است.

***۲- ب) روند کوادراتیک***

اگر در روند محلی معادله درجه دوم انتخاب شود در نتیجه مقادیر براساس روند کوادراتیک (معادله ۱۵) برآورد خواهد شد.

$$m(x) = a_0 + a_1 x_i + a_2 y(3a) \quad (۱۵)$$




**نقشه۱۱- خطوط هم بارش با استفاده از مدل کریجینگ عمومی(روند کوادراتیک)**

Archive of SID

www.SID.ir

***ارزیابی میزان خطا***

برای ارزیابی و بررسی روشهای مختلف درونیابی فضایی از روش اعتبار متقاطع استفاده شد. این روش نشان می دهد که پیش بینی های حاصل از مدل چقدر مناسب می باشند. در این روش مقادیر مشاهده شده به صورت موقت از مجموعه داده های نمونه حذف شده و با استفاده از سایر نقاط نمونه برای آن مقادیر جدیدی برآورد می شود. در این روش مجموعه ای از مقادیر مشاهده شده و برآورد شده در اختیار قرار دارند که برای ارزیابی میزان اعتبار روش درونیابی استفاده خواهندشد. درمطالعه حاضر مقادیر مشاهده شده با استفاده از دو معیار میانگین بایاس و قدرمطلق میانگین با مقادیر برآورد شده مقایسه شدند.

$$MBE = \sum_{i=1}^{N}(Es - Eo) \Big/ N$$

$$MAE = \sum_{i=1}^{N}|Es - Eo| \Big/ N$$

معمولا از معیار MBE برای تدقیق میزان برآورد استفاده می شود. به عبارتی، این معیار نشان می دهد که بین مقدار برآورد شده و مشاهده شده چه میزان اختلاف وجود دارد. اگر مقدار برابر با صفر باشد نشان دهنده آن است که مقادیر نمونه خوب برآورد شده است. دراغلب موارد بین مقدار برآورد شده و مقدار مشاهده شده اختلافهایی وجود دارد. بنابراین هرچه این شاخص از صفر دور شود نشان می دهد که اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و برآورد بیشتر می باشد. شاخص MAE برای سنجش میزان دقت روش قابل استفاده می باشد. هرچه مقدار به صفر نزدیکتر باشد میزان دقت فضایی روش بیشتر بوده و هرچه از صفر دور شود از میزان دقت آن کاسته می شود.

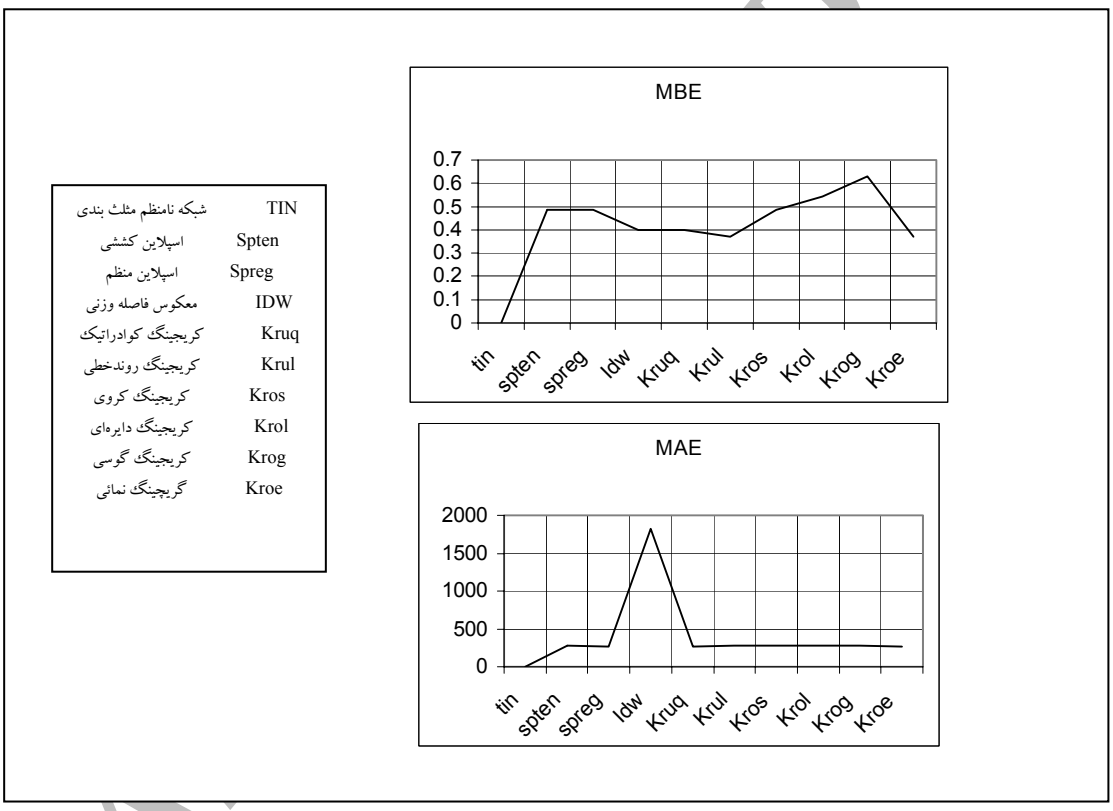
**جدول ۱- نتایج مقایسه روشهای مختلف درونیابی فضایی**

| روش | | | MBE | MAE |
|---|---|---|---|---|
| تین | | | ۰/۰۰ | ۱/۴۲ |
| اسپلاین کششی | | | ۰/۴۹ | ۲۷۴/۰۳ |
| اسپلاین منظم | | | ۰/۴۹ | ۲۷۱/۰۹ |
| معکوس وزنی فاصله | | | ۰/۴۰ | ۱۸۲۷/۶۶ |
| کریجینگ | معمولی | کروی | ۰/۴۹ | ۲۷۳/۷۷ |
| | | گوسنی | ۰/۶۲ | ۲۷۳/۸۶ |
| | | نمائی | ۰/۳۷ | ۲۷۰/۶ |
| | | دایره ای | -۰/۷۴ | ۲۷۴/۶۰ |
| | عمومی | روند کوادراتیک | ۰/۴۰ | ۲۶۶/۹۴ |
| | | روندخطی | ۰/۳۷ | ۲۷۳/۱۱ |

Archive of SID

www.SID.ir

جدول میزان خطای حاصل از اجرای روشهای مختلف درونیابی را نشان می دهد. براساس یافته های این تحقیق کمترین خطای مشاهدات مربوط به روش درونیابی تین می باشد. علت پایین بودن خطا در این روش این است که مقادیر مشاهده شده و برآورد شده به هم نزدیک می باشند و این به ماهیت روش تین بر می گردد که راس مثلثها برروی ایستگاهها قرار می گیرد و در نتیجه مقدار مشاهده شده به راس مثلث داده می شود، لذا بین مقادیر مشاهده شده و برآورد شده اختلاف کمی وجود خواهد داشت. بعد از آن روش کریجینگ قرار دارد، در روش کریجینگ برای برآورد مقادیر از واریوگرام های مختلفی استفاده می شود، با توجه به نوع واریوگرام مقدار برآورد شده متفاوت خواهد بود. از میان روشهای درونیابی کریجینگ مدل معمولی نمائی و مدل عمومی کوادراتیک میزان خطای کمتری را داشته اند. از نظر دقت فضایی (با استفاده از شاخص MAE ) روشهای تین و کریجینگ (روند کوادراتیک) بهترین نتیجه را داشته اند. در روشهای کریجینگ روش نمائی و روش روند خطی بهترین نتایج را به دنبال داشته اند.




**شکل۲- مقایسه میزان خطا و دقت روشهای مختلف درونیابی**

***نتیجه گیری***

تحقیق حاضر طی دو مرحله انجام پذیرفت. در مرحله اول انواع روشهای درونیابی فضایی مورد بحث و بررسی قرار گرفتند و سپس با استفاده از داده های هواشناسی این روشها در حوضه آبریز کشف رود اجرا شدند و براساس اطلاعات ایستگاههای هواشناسی موجود در حوضه براساس روشهای مختلف درونیابی مقدار متوسط بارش برای کل حوضه برآورد شد. در مرحله بعد، نتیجه روشهای مختلف درونیابی باهم مقایسه شدند که در این زمینه با استفاده از روش اعتبار متقاطع نتایج حاصل از روشهای درونیابی مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای ارزیابی روشها ابتدا با استفاده از شاخص MBE

www.SID.ir

میزان خطای داده های برآورد شده محاسبه شد. نتایج حاصل نشان می دهد، از نظر میزان خطا به ترتیب روشهای تین و کریجینگ (نمائی و روند خطی، کوادراتیک)، معکوس وزنی فاصله وسپس سایر روشها قرارمی گیرند. از نظر دقت فضایی(با استفاده از شاخصMAE) نیز به ترتیب تین و کریجینگ (روندکوادراتیک، نمائی)، اسپلاین منظم و سپس سایر روشها قراردارند.

شارولیون اندرسون در تحقیق مشابه ای با استفاده از روشهای درونیابی فضایی داده های دما را به سطح تعمیم داده است. براساس نتایج این تحقیق روشهای کریجینگ دقت بیشتری داشته و روش IDW از دقت کمتری برخوردار بوده است که یافته های تحقیق حاضر نیز مؤید این موضوع می باشد.

با توجه به نتایج تحقیق حاضر پیشنهاد می شود که هنگام استفاده از روشهای درونیابی ابتدا میزان دقت روشها با هم مقایسه شده و باتوجه به کاربرد و در نظر گرفتن امکانات و محدودیتها بهترین روش را انتخاب کرد. از روشهای MAE و MBE برای مقایسه و کنترل داده های برآورد شده با داده های مشاهده شده می توان استفاده کرد. نتایج تحقیق نشان می دهد که روشهای MAE و MBE روشهای مناسبی برای این مقایسه و کنترل می باشند.

### منابع و مآخذ


1- Anderson.Sharolyn ،(2000); An Evaluation of Spatial Interpolation Methods pn Air Temperature in Phoenix،AZ.

2- Burrough، P. A. and R. A. McDonnell (1998); Principles of Geographical Information Systems, Oxford University Press.

3- Cockings، S.، P. F. Fisher، and M. Langford (1997); Parameterization and Visualization of the Errors in Areal Interpolation, Geographical Analysis, 29, 314-328.

4- Flowerdew، R. and M. Green (1989); Statistical Methods for Inference Between Incompatible Zonal Systems, In Accuracy of Spatial Databases، pp. 239-247، Taylor and Francis.

5- Goodchild، M. F. and N. N-S. Lam (1980); Areal Interpolation: A Variant of the Traditional Spatial Problem, Geo-processing 1، 297-312.

6- Goovaerts،P(1999); Performance Comparison of Geostatistical Algorithms for Incorporating Elevation Into the Mapping of Precipitation،GeoComputation Preceding.

7- Heywood،Ian.Sara Cornelius،Steve Carver،(1999) An introduction to Geographical Informatiob Systems، Longman.

8- Kim، J. S. & Arnold، P. (1996); Operationalizing Manufacturing Strategy; Anexploratory study of constructs and linkage. International Journal of Operation &Product Management 16: 12. pp. 45-73

9- Lam، N. N-S. (1983); Spatial Interpolation Methods: a Review. American Cartographer, 10، 129-149.

10- Libermatore، M. J.، Nydick، R. L. and Sanchez، P.M.، (1992); The Evaluation of Research Papers (Or How to Get an Academic Committee Agree on Something); Interfaces, 22(2), pp.92-100.

11- Mahdavian،M.H، et al، Investigation of Spatial Interpolation Methods to Determine the Minimum Erroe of Estimation case study، Temperature and Evapotranspiration . url،http://jeff-lab.quennsu.ca/stat/sas/sasman/sashtml/stat/chap34/sect12.htm، Theoretical Semivariogram Models

12- Rhind، D. W. (1991); "Counting the People: the Role of GIS, In Geographical Information Systems, Volume 2: Principles and Applications, pp. 127-137، Longman.


Archive of SID

www.SID.ir

13- Saaty، T.L، (2000), Fundamentals of Decision Making and Priority Theory, 2nd ed. PA: RWS Publications.
14-Sadahiro. Yukio(1999); Accuracy of Areal Interpolation: A Comparison of Alternative Methods، CSIS Discussion Paper No. 9; Tokyo
15 -Siska،peter .P. and I-Kuai Hung(2001); Assessment of kriging Accuracy in the GISEnvironment Http://gis.esri.com/userconf/proc01/professional/papers/pap280/ p280.htm
16 -Tobler، W. R. (1979); "Smooth Pycnophylactic Interpolation for Geographical Regions, Journal of the American Statistical Association, 74، 519-530.
17- Wright، J. K. (1936). "A Method of Mapping Densities of Population with Cape Cod as an Example." Geographical Review, 26، 103-110.

Archive of SID

www.SID.ir