پژوهشهای جغرافیائی ـ شماره ۴۳، زمستان ۱۳۸۱
صص۱۰۸-۹۵

ارزیابی درون‌یابی به روش کریجینگ

دکتر منیژه قهرودی‌تالی ـ استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت معلم تهران*
(مرکز GIS جهاددانشگاهی واحد دانشگاه تربیت معلم تهران)

پذیرش مقاله: ۸۱/۸/۲۷

چکیده

تهیه نقشه‌های پراکندگی و ادغام آنها توسط روشهای آمار فضایی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در گرایش‌های مختلف جغرافیا نقش ویژه‌ای یافته است. لذا جغرافیدانان برای تهیه این نقشه‌ها از روشهای درون‌یابی بهره می‌برند. روش کریجینگ از جمله مدلهای پرطرفدار در این زمینه می‌باشد. از آنجایی که این روش تفاوتهای عمده‌ای با سایر روشها دارد؛ بنابراین در این مقاله مدل کریجینگ در درون‌یابی مورد بررسی و نقد قرار گرفته است.

از نتایج بدست آمده مشخص شد، با اینکه این مدل از دقت بالایی برخوردار است، اما در اکثر تحلیل‌های جغرافیایی نتایجی دور از واقعیت می‌دهد؛ ضمن آنکه به ساختار فضایی نقاط نمونه‌برداری وابسته است و تحت تأثیر دامنهٔ تغییرات نمونه‌ها نیز می‌باشد. ویژگیهای دیگر آن از جمله هموارسازی، جمع‌پذیری و مطلق بودن نیز محدودیت‌هایی را در تحلیل‌های جغرافیایی ایجاد می‌کند.

واژگان کلیدی: *نقشه‌های پراکندگی، درون‌یابی، کریجینگ، گرید، خطوط هم‌ارزش، نقشه‌های ایزوپلت و کروپلت*

مقدمه

پیشرفت‌های اخیر آمار فضایی[1] و جایگزینی متغیّر ناحیه‌ای[2]** به جای متغیّر تصادفی، توجه جغرافیدانان را به تغییر روشهای کمی در آمار کلاسیک[3] جلب نموده و گسترش سیستمهای اطلاعات جغرافیایی[4] در ارتباط با آمار فضایی سبب شد تا در جغرافیا روشهای درون‌یابی[5] در تهیه انواع نقشه‌های پهنه‌بندی رواج یابد.

عمده عملیات درون‌یابی توسط نرم‌افزارهای 3DField، Surfer، ArCView، Tempo، SDRmap بدون توجه به

---

* E-mail: ghahroudi@saba.tmu.ac.ir

1. Spatial Statistics

2. Regionalized Vavriable

** Matheron بنیانگذار متغیّر ناحیه‌ای است.

3. Classical Statistics

4. Geography Information System (GIS)

5. Interpolation Method

تفاوتهای روشهای درون‌یابی انجام می‌گیرد. لذا به دلیل نیاز جامعهٔ جغرافیدانان به آگاهی از تفاوتهای تئوریکی و کاربردی روشهای درون‌یابی، نگارنده در این مقاله به بررسی و تحلیل مدل کریجینگ[۱] در درون‌یابی پرداخته است.

روش بررسی

برای تحلیل درون‌یابی براساس روش کریجینگ، آمار سالهای ۹۸-۱۹۵۱ بارندگی ۳۹ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی استان کرمان مورد بررسی قرار گرفت و براساس آن، شاخص خشکسالی به روش درصدی از بارندگی[۲] محاسبه گردید. بر پایهٔ این اطلاعات، تغییرات بارندگی و خشکسالی در سطح استان کرمان توسط مدل کریجینگ برآورد شد و با سایر مدلها بالاخص روش مجذور فاصله معکوس (که در شرایطی مناسب‌تر از مدل کریجینگ است) مقایسه شد و نیز ویژگیها و کاربردهای خاص مدل فوق استخراج گردید که اهم آن در این مقاله آمده است.

متغیّر ناحیه‌ای

متغیّر ناحیه‌ای، یک متغیّر تصادفی است که مقدار آن در هر نقطه از فضا تابع مختصات آن باشد. به عبارت دیگر تفاضل مقدار متغیّر ناحیه‌ای در دو نقطهٔ مختلف از فضا، بستگی به فاصلهٔ آن دو نقطه دارد. بنابراین مقدار متغیّر ناحیه‌ای در هر نقطه از فضا به دو مؤلّفهٔ جزمی و تصادفی تجزیه می‌شود.

$$Z(x)=m(x)+\xi(x)$$

که در آن $Z(x)$ مقدار متغیّر ناحیه‌ای در نقطه‌ای با مختصات (طول، عرض و ارتفاع) و $m(x)$ مؤلّفهٔ جزمی و $\xi(x)$ مؤلّفهٔ تصادفی آن است. تغییرات مؤلّفهٔ تصادفی یک متغیّر ناحیه‌ای در فضای n بعدی طوری است که قالب فاصله‌ای (h) پیدا می‌کند. به عبارت دیگر، از خود نوعی پیوستگی نشان می‌دهد. این پیوستگی در قالب افزایش اختلاف مقدار مؤلّفهٔ تصادفی متغیّر ناحیه‌ای با افزایش فاصله دو نقطه در فضا ظاهر می‌شود. به عبارت دیگر، تغییرپذیری متغیّر ناحیه‌ای در فضا بستگی به فاصلهٔ آن مقادیر از هم دارد. شکل این بستگی را اصطلاحاً ساختار فضایی می‌گویند. چنین ساختاری گرچه مستقل از مختصات است، ولی تابع فاصله است (انگلند و اسپارکز ۱۹۹۲) شکل‌های شماره (۱) و (۲) درون‌یابی متغیّر بارندگی در استان کرمان را به هشت روش نشان می‌دهد.

تفاوتهای ساختار فضایی مدلها بر لزوم اهمیت شناخت روشهای درون‌یابی تأکید می‌کند.

درون‌یابی به روش کریجینگ

بطور کلی درون‌یابی که براساس تخمین مدلهای آمار فضایی صورت می‌گیرد، فرآیندی است که طی آن می‌توان مقدار یک کمیّت در نقاطی با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیّت در نقاط دیگری با مختصّات معلوم بدست آورد. مهمترین تخمین‌گر آمار فضایی به افتخار یکی از پیشگامان علم زمین آمار[۳] به نام دی جی کریگ[۴] که یک مهندس معدن افریقای جنوبی بوده، به نام کریجینگ نامگذاری شده است.

---

1. Kriging Method

۲. برای آگاهی از روش درصدی از بارندگی به منبع شمارهٔ (۱) صفحات ۱۶-۷ مراجعه شود.

3. Geostatistics

4. D. G. Krige

کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق «میانگین متحرک وزن‌دار» استوار می‌باشد و این تـخمین‌گر بـه صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$Z_V^* = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \, GZ_{V_i}$$

Z_V^* پارامتر تخمینی، λ_i وزن یا اهمیت کمیّت وابسته به نمونه iام و Z_{V_i} پارامتر معلوم می‌باشد. این نوع کریجینگ راکریجینگ خطی می‌نامند؛ زیرا ترکیب خطی از n داده است. در استفاده از این تخمین‌گر باید متغیّر z توزیع نرمال داشته باشد؛ در غیر این صورت باید از کریجینگ غیرخطی استفاده نمود و یا با بهره گیری از تبدیل‌های آماری، توزیع متغیّر را نرمال نمود.

تخمین‌گر کریجینگ یکی از مهمترین تخمین‌گرهای خطی نااریب است، زیرا اولاً بـدون خـطای سـیستماتیک می‌باشد و ثانیاً واریانس تخمین آن، حداقل است. لازمهٔ برقراری شرط اول، صفر بودن میانگین خطای تخمین است. (کریگ، کی، جی، ۱۹۹۱ ص ۱۶ و ۱۵)

$$E(Z_V - Z_V^*) = 0$$

که در آن Z_V مقدار پارامتر واقعی در نقطه‌ای با مختصّات معلوم و Z_{V^*} مقدار پارامتر تخمینی در همان نقطه است. رابطهٔ فوق را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$E(Z_V - \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \, Z_{V_i}) = 0$$

و رابطهٔ زیر را می‌توان نتیجه گرفت:

$$E(Z_V) - E\left[\sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z_{V_i}\right] = 0$$

از طرفی $E(Z_V) = m$ ، لذا می‌توان نوشت:

$$m - \sum_{i=1}^{n} \lambda_i m = 0$$

چون $m \neq 0$ است لذا باید رابطهٔ زیر برقرار باشد.

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1$$

در نتیجه، برای اینکه واریانس تخمین کریجینگ مینیمم شود، لازم است تابع δ_E^2 برحسب ضرایب کریجینگ به حداقل برسد. و این امر باید با رعایت $\sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1$ صورت گیرد، زیرا شرط ناریب بودن کریجینگ این محدودیت که مجموع ضرایب کریجینگ باید معادل واحد باشد را بوجود می‌آورد.[1]

تحلیل مدل کریجینگ در درون‌یابی

مطلق بودن تخمین در درون‌یابی از ویژگیهای عمده مدل کریجینگ می‌باشد. بدین مفهوم که مقدار تخمین کمیّت در نقاط نمونه‌برداری با مقدار اندازه گیری شده برابر می‌باشد و واریانس تخمین صفر می‌گردد. این ویژگی سبب می‌شود که تخمین‌گر کریجینگ در رسم خطوط هم ارزش[2] از حداکثر نقاط نمونه‌برداری عبور نموده و تمایلی به بسته شدن و دور زدن را نداشته باشد و از مرز محدوده مورد مطالعه فراتر رود.

---

۱. برای آگاهی از معادلات کریجینگ به منبع شمارهٔ ۹ صفحات ۳۳۲-۳۱۳ مراجعه شود.

2. Isoline

به عبارت دیگر، این مدل در تخمین کمیّت مجهول نقاط یا مختصات معلوم، مقدار واریانس را به حداقل می‌رساند. لذا منحنی‌های میزان براساس روندیابی ترسیم می‌گردند. در نتیجه از مرز محدودهٔ ترسیم فراتر می‌روند. در شکل شمارهٔ (۳) میانگین سالیانهٔ تغییرات بارندگی استان کرمان در سالهای ۹۸-۱۹۵۱ به دو روش کریجینگ و مجذور فاصله معکوس ترسیم گردیده است که در آن اختلاف ساختار فضایی فوق کاملاً آشکار است. همین ویژگی مدل سبب می‌شود که در توزیع فضایی پدیده‌های طبیعی همانند باران، دما، رسوب و ... که به عوارض زمین وابسته هستند و به عبارتی با ارتفاع، جهت و شیب ناهمواریها در رابطه می‌باشند، تخمین‌گر کریجینگ دچار خطا شود و هر چند نتایج محاسبات از دقت بالایی برخوردار است، اما منطبق بر طبیعت نمی‌باشد. ولی از طرف دیگر، همین ویژگی در تحلیل‌های جغرافیایی منطبق بر روندیابی، کاربرد پیدا می‌نماید. در شکل شماره (۴) در مدل کریجینگ، شاخص خشکسالی از جنوبغرب به سمت شمالشرق کرمان کاهش می‌یابد و در شکل شمارهٔ (۵) این کاهش از جنوبغرب به شمالشرق نیز آشکار است؛ در حالیکه چنین الگوی فضایی را مدل مجذور فاصله معکوس نشان نمی‌دهد.

هموارسازی[1] یا نرم شدن تغییرات هنگام درون‌یابی، از ویژگیهای مدل کریجینگ می‌باشد. بدین معناکه واریانس نمونه‌های تخمین زده شده نسبت به نقاط واقعی تغییرات کمتری دارد. (دیویس، ۱۹۸۶، ص ۴۲۰) به عنوان مثال، اگر متغیّر ناحیه‌ای نمونه برداری، سنگهای آهکی باشد؛ نقشهٔ حاصله از درون یابی ممکن است با واقعیت اختلاف زیادی پیدا کند؛ زیرا سطوح آهکی، سطوح ناهموار با لبه‌های تیز است. اما مدل کریجینگ لبه‌های تیز را گرد می‌کند. بنابراین در مواردی که نباید تغییرات نرم شود، بهتر است روشهای دیگر بکار رود.

در روش کریجینگ، هر نمونهٔ معلوم در تخمین نقطهٔ مجهول، بستگی کامل به ساختار فضایی محیط مربوطه دارد. در حالیکه در روشهای دیگر، وزنها فقط به یک مشخّصهٔ هندسی مانند فاصله بستگی دارد و با تغییر ساختار فضایی نمونه‌ها، تغییری نمی‌کند و با ضعیف شدن ساختار فضایی، نقش نمونه‌ها کمتر می‌شود. تا آنجاکه وزن تمام نمونه‌ها برابر خواهد شد. به عبارت دیگر، دامنهٔ تأثیر متغیّر معلوم بر متغیّر مجهول به حداکثر و حداقل فاصلهٔ نمونه‌ها از هم بستگی دارد. لذا در استفاده از این روش باید به توزیع فضایی نمونه‌ها و دامنهٔ تأثیر آنها توجه شود.

شکل شماره (٦) تخمین بارندگی در سطح استان کرمان با ۱۹ و ۳۹ ایستگاه می‌باشد که دو الگوی فضایی متفاوت را نمایش می‌دهد؛ زیرا برای یک متغیّر ناحیه‌ای با ساختار فضایی، توزیع طوری است که تشابه مقدار متغیّر ناحیه‌ای برای نقاط نزدیک به هم نسبت به نقاط دور از هم بیشتر است و لذا با افزایش فاصلهٔ مکانی یا زمانی بین نمونه‌ها، به حدی می‌رسد که از آن به بعد، مقدار متغیّر ناحیه‌ای در نقاط اطراف یکدیگر بر هم تأثیر چندانی نخواهد داشت و به آن فاصلهٔ دامنه یا شعاع تأثیر می‌گویند. بدیهی است که دامنهٔ تأثیر بزرگتر دلالت بر ساختار فضایی گسترده‌تر دارد. این گسترش موجب افزایش محدودهٔ مجاز می‌گردد که می‌توان از داده‌های موجود در آن برای درون‌یابی مقدار متغیّر ناحیه‌ای در نقطهٔ مجهول استفاده کرد.

هنگامی که دامنهٔ تغییرات متغیّر اندازه‌گیری شده کاهش می‌یابد؛ در متد کریجینگ سبب افزایش سطح متغیّرها می‌شود (وینگل، ۱۹۹۴، فصل نهم). شکل شمارهٔ (۷) که شاخص خشکسالی در ماه "می" را نشان می‌دهد، گویای این واقعیت است؛ زیرا نقشهٔ حاصله از روش کریجینگ ضمن نشان دادن روند کاهش خشکسالی، دو محدوده‌ای را که

1. Smoothing

شاخص‌های آنها بالاتر و پایین‌تر از (۱) است را نمایش می‌دهد؛ در حالیکه در روش مجذور فاصلهٔ معکوس، تغییرات نمایان‌تر است.

خاصیّت جمع‌پذیری از ویژگیهای قابل تحلیل در متد کریجینگ می‌باشد. این ویژگی سبب می‌شود تا اگر در مورد مجموعه‌ای از واحدهای کوچک، تخمین کریجینگ صورت گیرد، میانگین مقادیر تخمینی این واحدها برابر شود با مقدار تخمینی واحدهای بزرگتر که حاوی تمام واحدهای کوچکتر است (همان منبع). البته در هر دو حالت برای تخمین واحدهای کوچکتر و بزرگتر باید از یک سری نقاط یکسان استفاده شود که این ویژگی در یک سری از مطالعات جغرافیایی مثل حوضه‌های رودها سبب انتقال خصوصیات زیر حوضه‌ها به همدیگر می‌شود و لذا در چنین مطالعاتی باید در استفاده از این تخمین‌گر احتیاط نمود.

اگر واریانس نقاط نمونه برداری کم باشد، نتایج مدل کریجینگ به سایر متدها نزدیک می‌شود. شکل شماره (۸) شاخص خشکسالی ماه اگوست است. چون اکثر ایستگاههای نمونه برداری شاخص‌های حداکثر را دارا می‌باشند. لذا نقشهٔ حاصل از مدل کریجینگ، شبیه مدل مجذور فاصله معکوس خواهد بود و در هر دو نمونه تمرکز در درون‌یابی و در نتیجه در الگوی فضایی آشکار است.

نتیجه‌گیری

مدل کریجینگ از دقیق‌ترین مدل‌هایی است که در تهیهٔ نقشه‌های پراکندگی از جمله ایزوپلت[1] وکروپلت[2] و... بکار می‌رود.بدلیل اینکه این مدل فاقد خطای سیستماتیک است و در تخمین‌ها دارای حداقل واریانس می‌باشد، جایگاه ویژه‌ای در درون‌یابی‌ها بدست آورده،اما ویژگیهای خاص این مدل محدودیت‌هایی را در تهیهٔ نقشه‌های فوق نیز ایجاد کرده است.

از جمله مهمترین این ویژگیها، مطلق بودن آن است که عدم تطابق نتایج حاصل از این مدل با توزیع فضایی پدیده‌های جغرافیایی را سبب گشته، ضمن اینکه همین ویژگی، تحلیل‌های جغرافیایی منطبق بر روند یابی را میسر می‌سازد.

هموار سازی یاکاهش نوسانات که از دیگر ویژگیهای شاخص این مدل است، در پدیده‌های خاصی از جغرافیا، نظیر تهیهٔ نقشه پراکندگی واحدهای سنگ‌شناسی، محدودیت‌هایی را ایجاد می‌نماید.

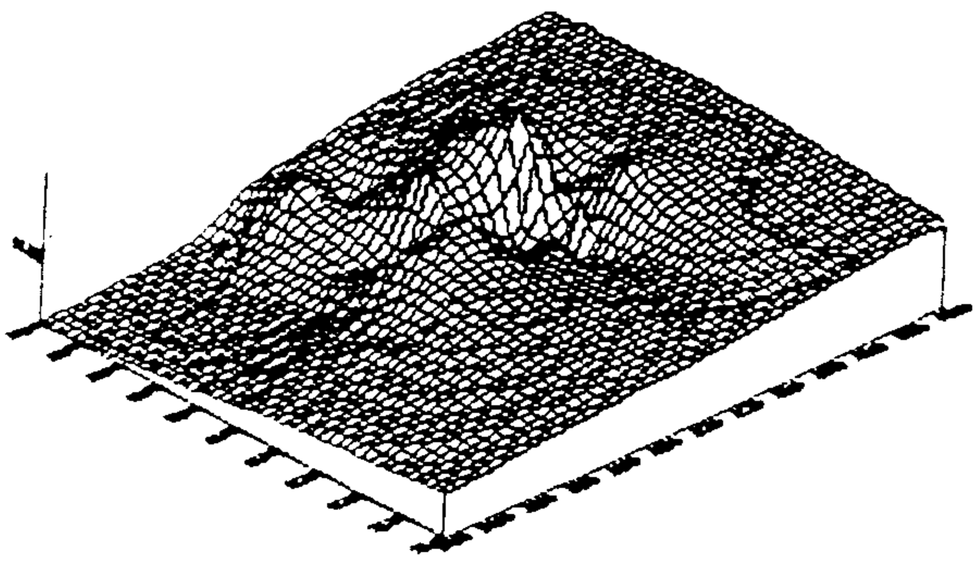
درون‌یابی‌های منطبق بر مدل کریجینگ، وابستگی زیادی به تعداد نقاط نمونه برداری و فاصلهٔ نقاط از یکدیگر دارد؛ بطوری که با تغییر آنها، الگوی ساختار فضایی تغییر می‌کند.

دامنهٔ تغییرات یا واریانس نمونه‌ها از جمله ویژگیهایی است که درون یابی مدل کریجینگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بطوری که با کاهش دامنهٔ تغییرات، سطح متغیّرها افزایش می‌یابد؛ ضمن آنکه نتایج مدل کریجینگ به سایر مدل‌ها نیز نزدیک می‌شود.

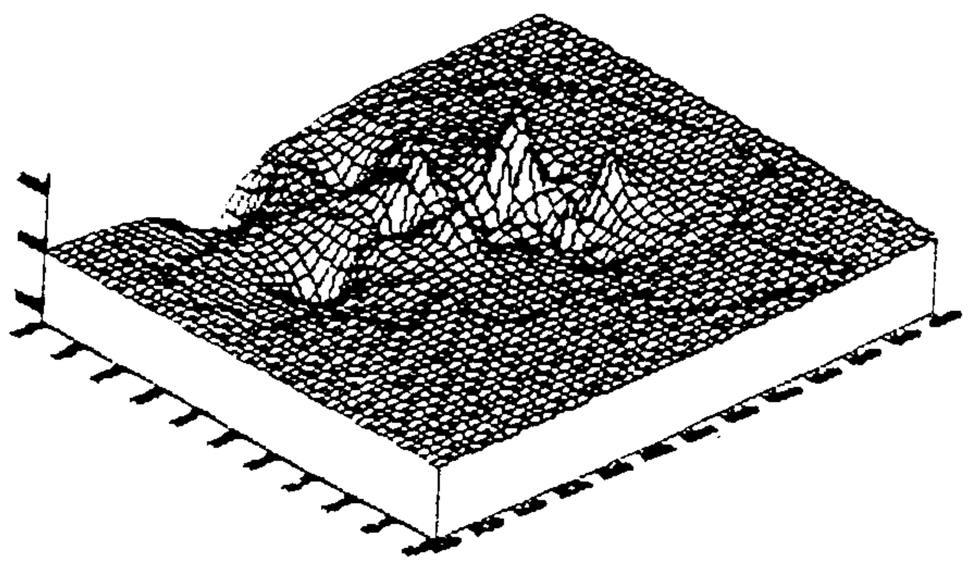
خاصیّت جمع‌پذیری مدل کریجینگ سبب انتقال خصوصیات از واحدهای بزرگتر به واحدهای کوچکتر می‌شود که این ویژگی در مطالعاتی که واحدهای بزرگتر به زیر واحدهای کوچکتر تبدیل می‌شوند، سبب وراثت صفات و ویژگیهای پدیده‌ها گردد.

---

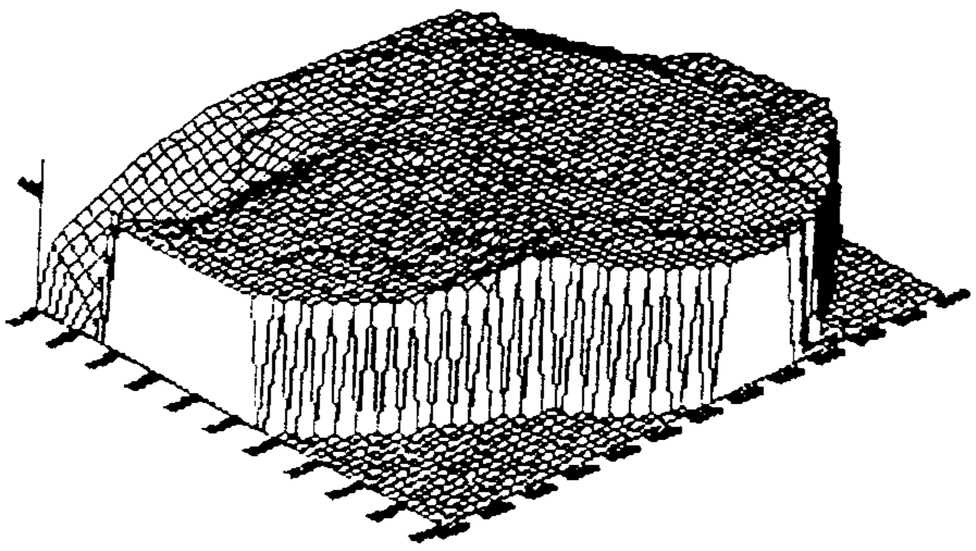
1. Isopleth map
2. Choropleth map



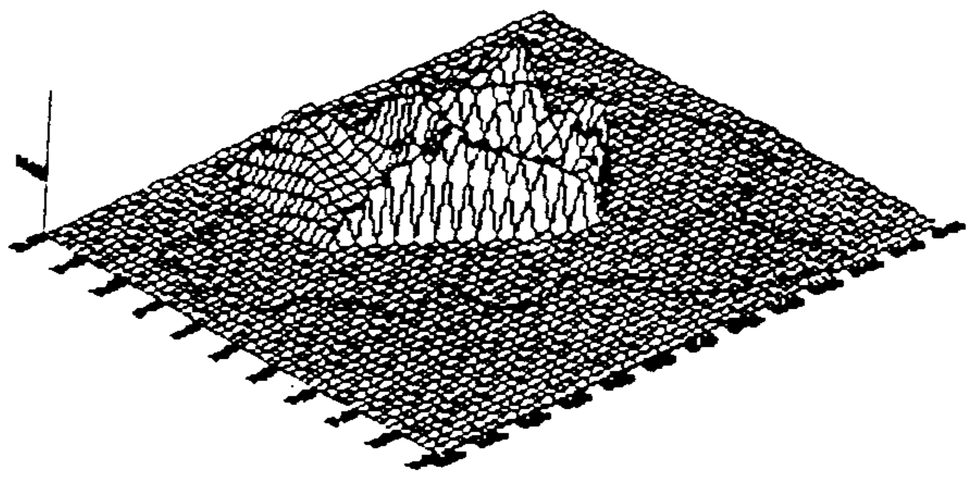
Kiriging Method



Invers Distance to a power Method



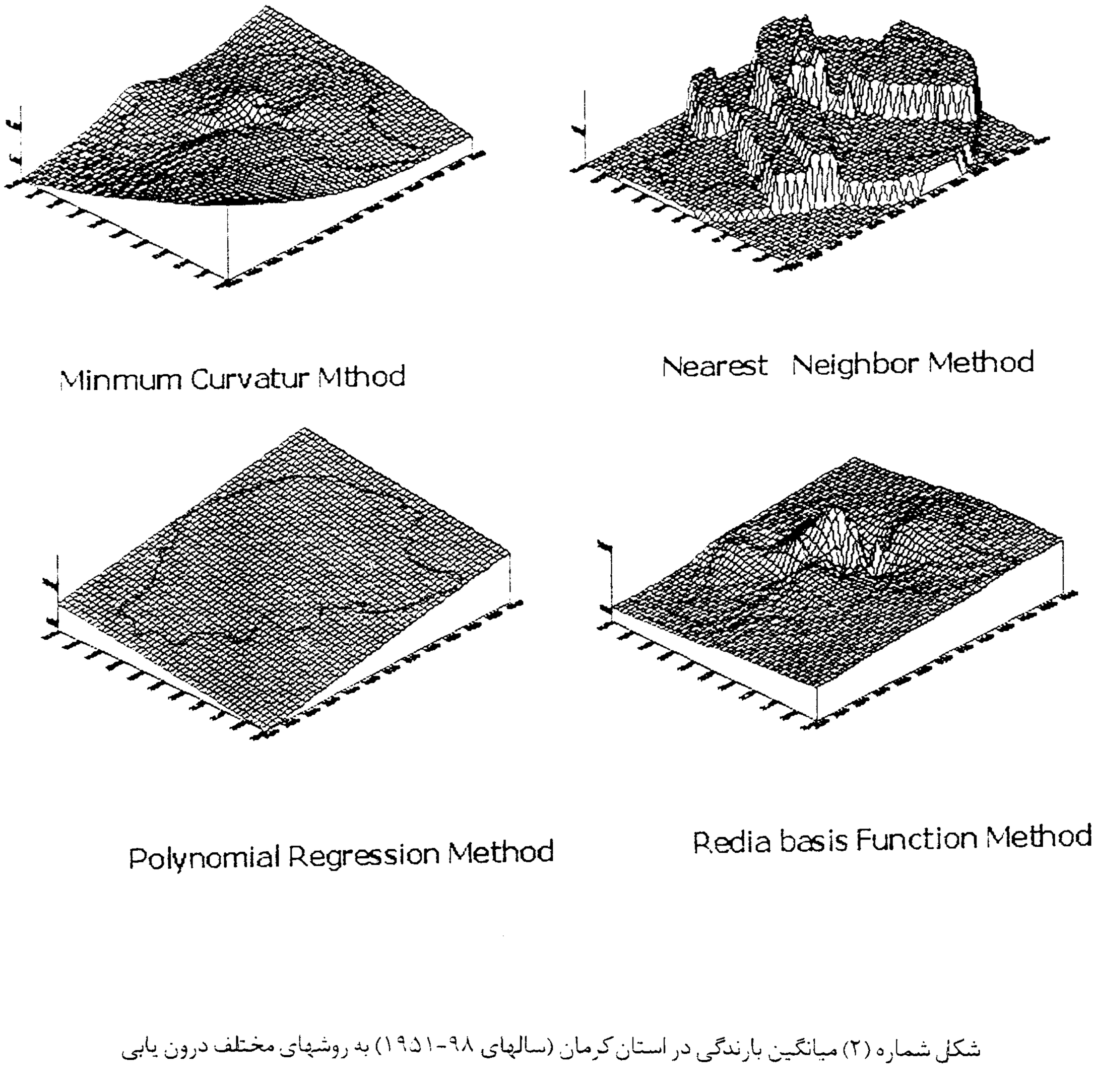
Shepard,s Method



Triangulation w/linear Interpolation

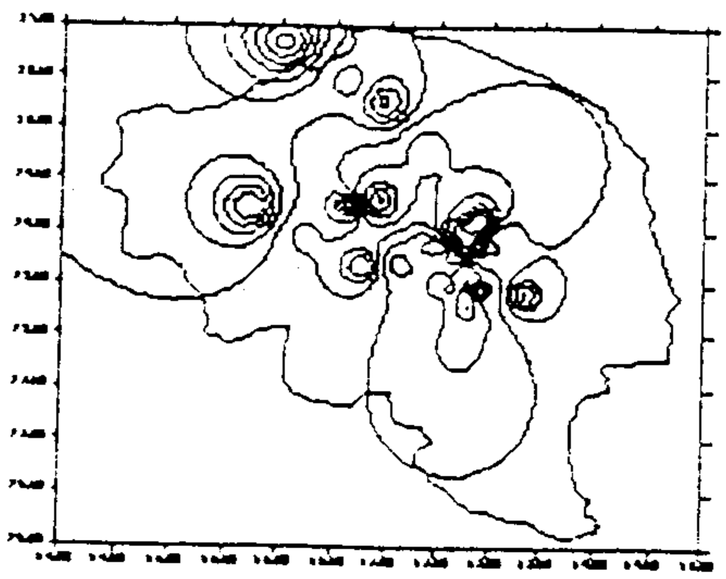
شکل شماره (۱) میانگین بارندگی در استان کرمان (سالهای ۹۸-۱۹۵۱) به روشهای مختلف درون یابی

ترسیم: قهرودی تالی، ۱۳۸۰

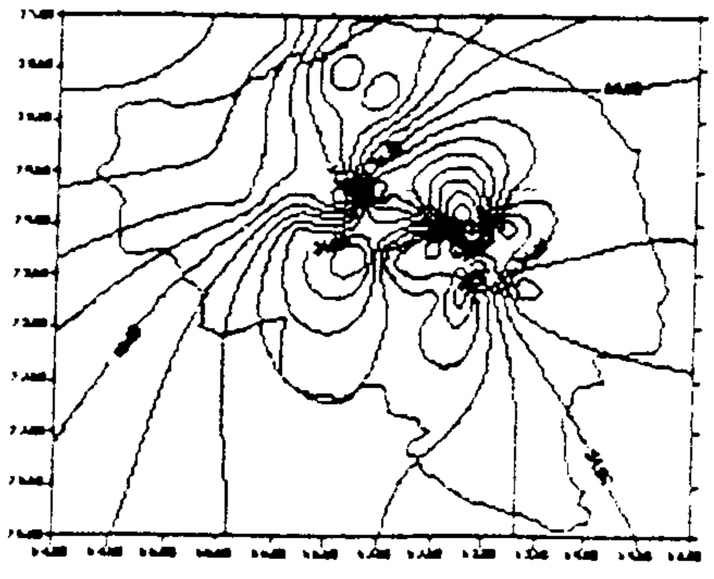


شکل شماره (۲) میانگین بارندگی در استان کرمان (سالهای ۹۸-۱۹۵۱) به روشهای مختلف درون یابی

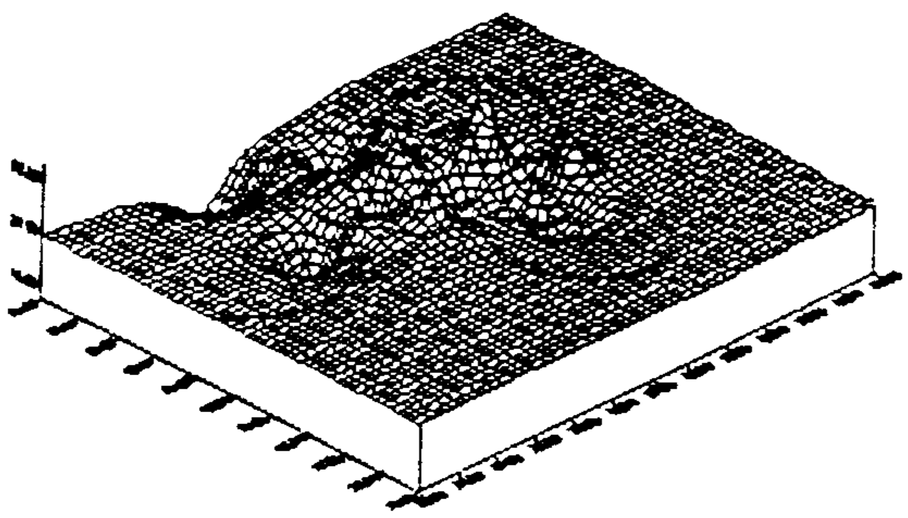
ترسیم: قهرودی تالی. ۱۳۸۰



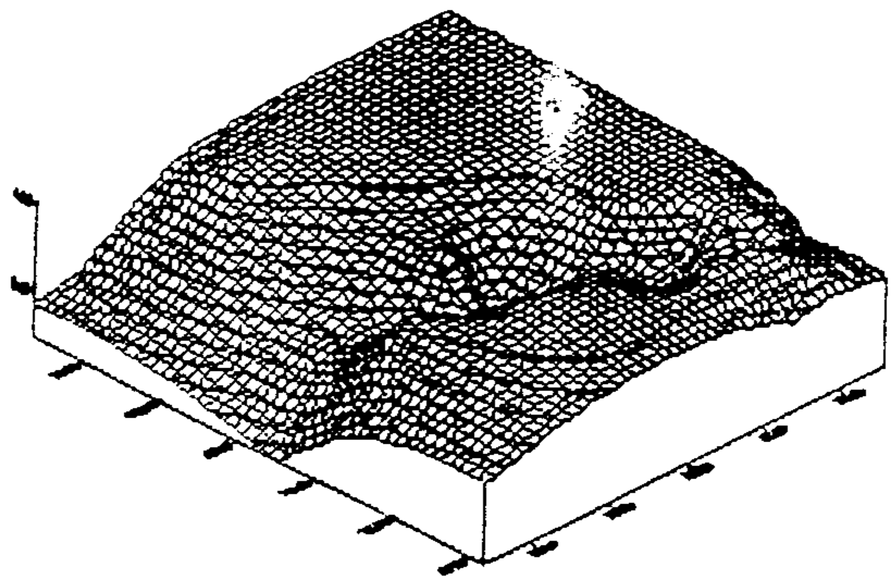
مدل مجذور فاصله معکوس



مدل کریجینگ



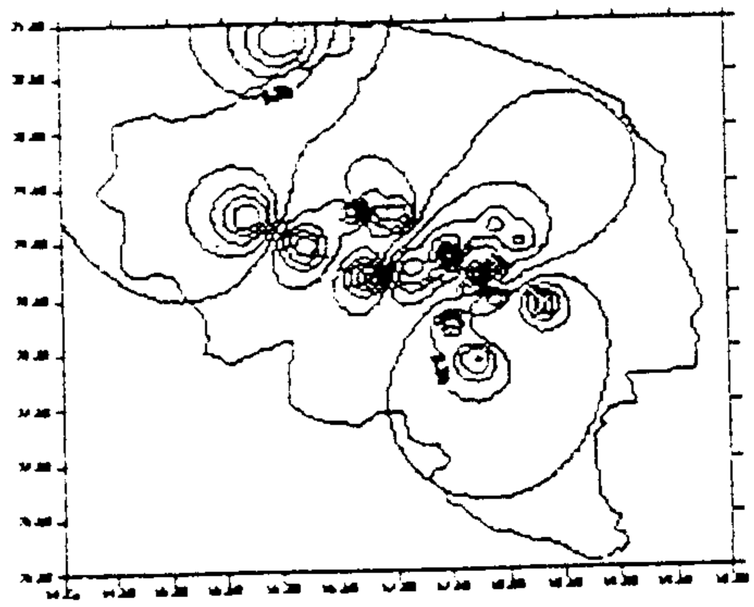
مدل مجذور فاصله معکوس



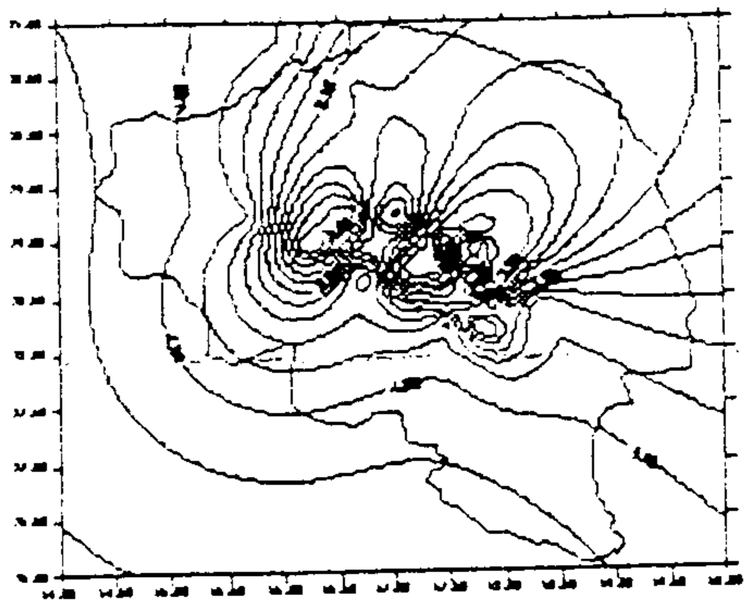
مدل کریجینگ

شکل شماره (۳) میانگین سالیانه بارندگی استان کرمان (سالهای ۹۸-۱۹۵۱)

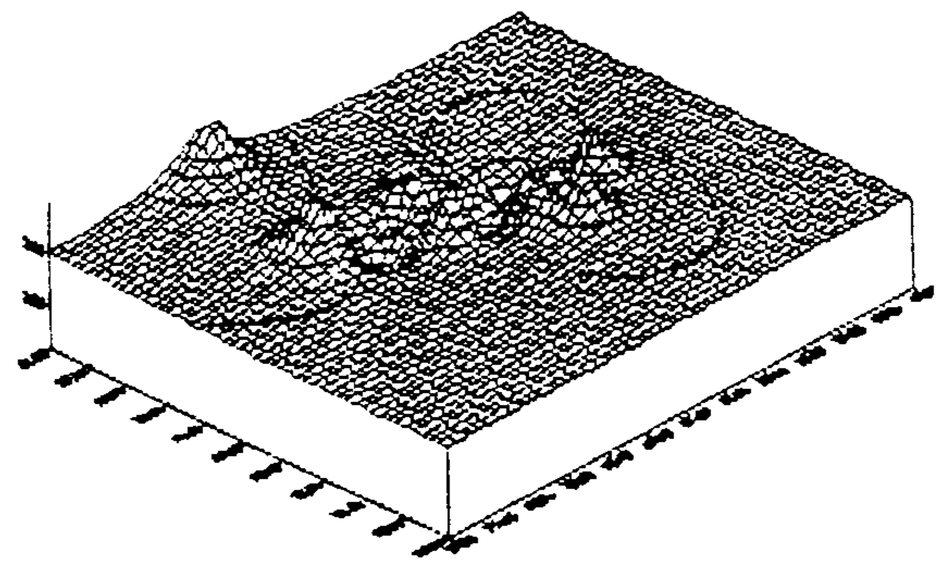
ترسیم: قهرودی تالی، ۱۳۸۰



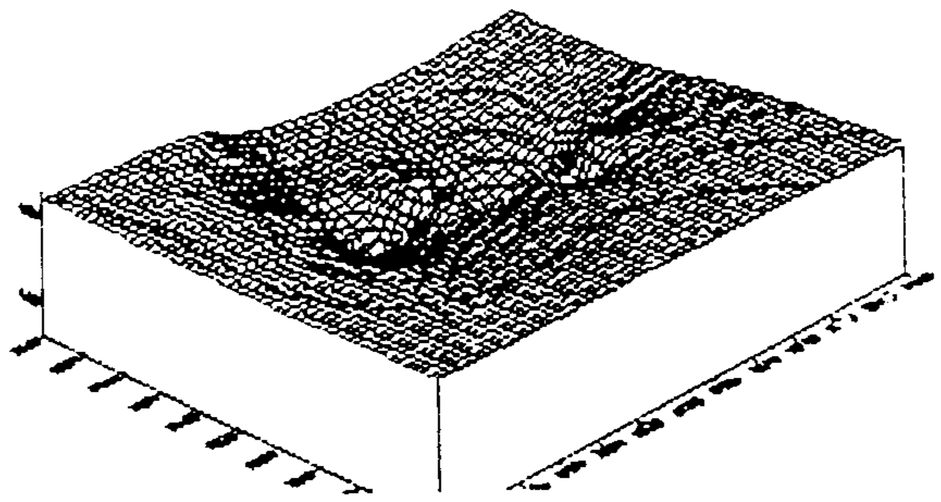
مدل مجذور فاصله معکوس



مدل کریجینگ



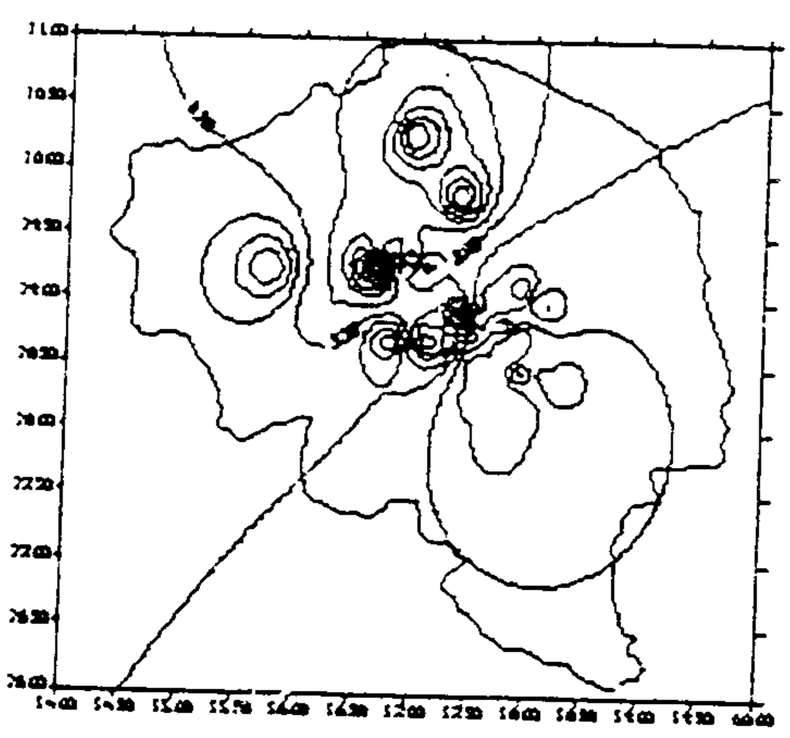
مدل مجذور فاصله معکوس



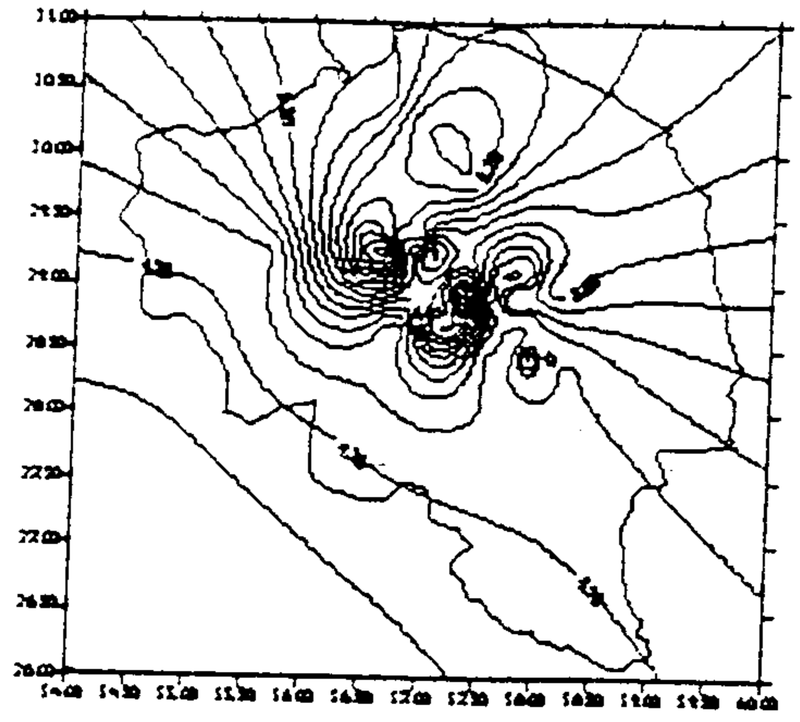
مدل کریجینگ

شکل شماره (۴) شاخص خشکسالی ماد ژانویه در استان کرمان (سالهای ۹۸-۱۹۵۱)

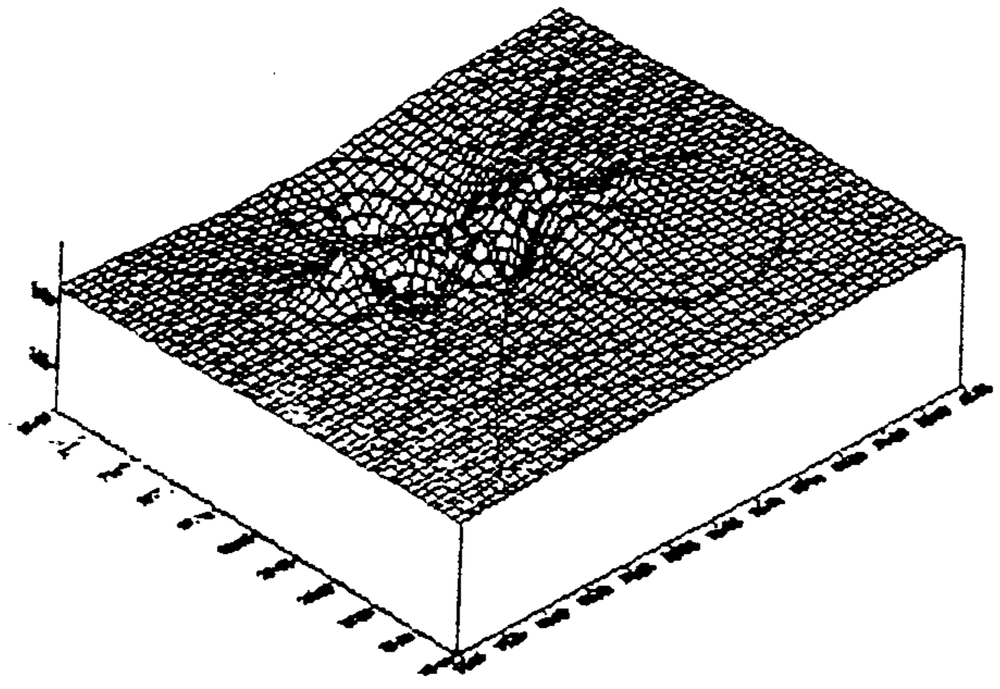
ترسیم: قهرودی تالی، ۱۳۸۰



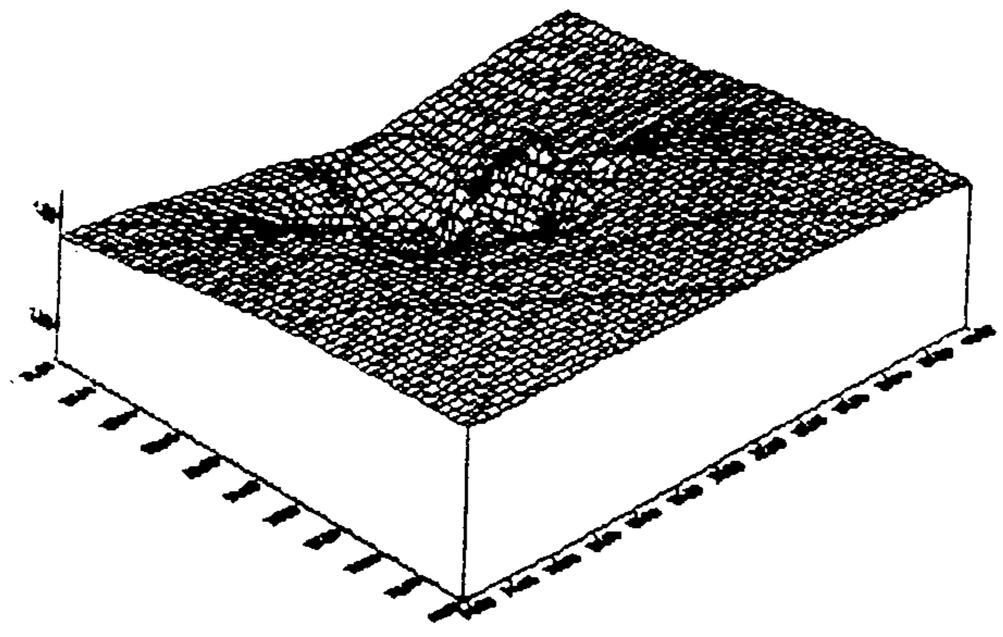
مدل مجذور فاصله معکوس



مدل کریجینگ



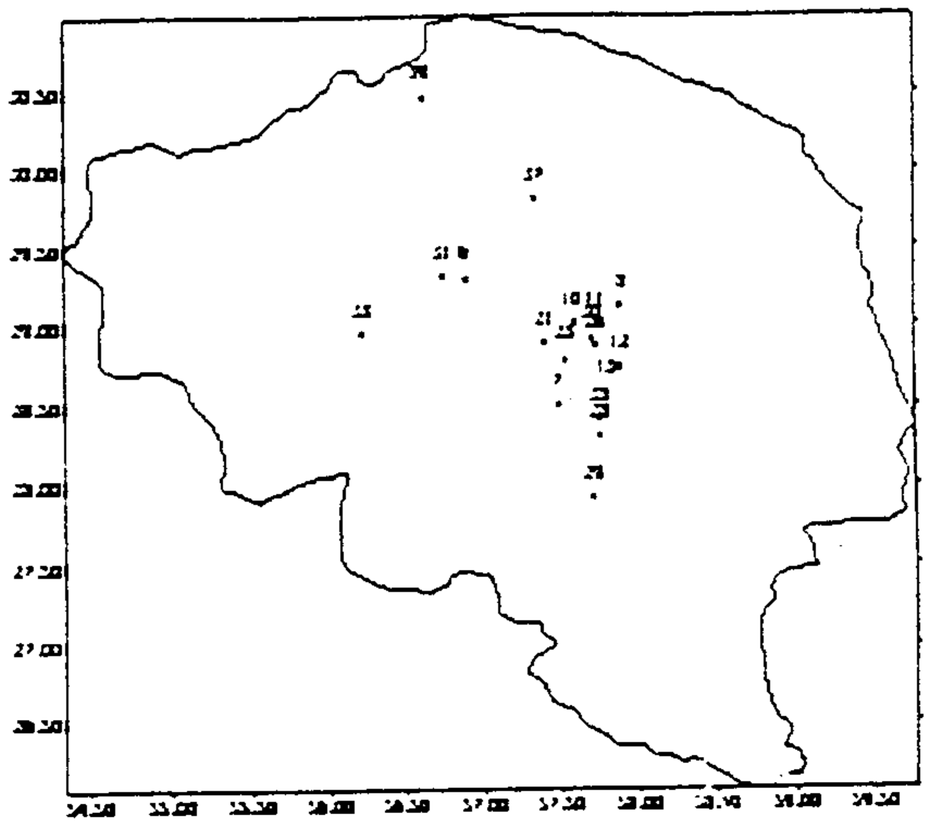
مدل مجذور فاصله معکوس



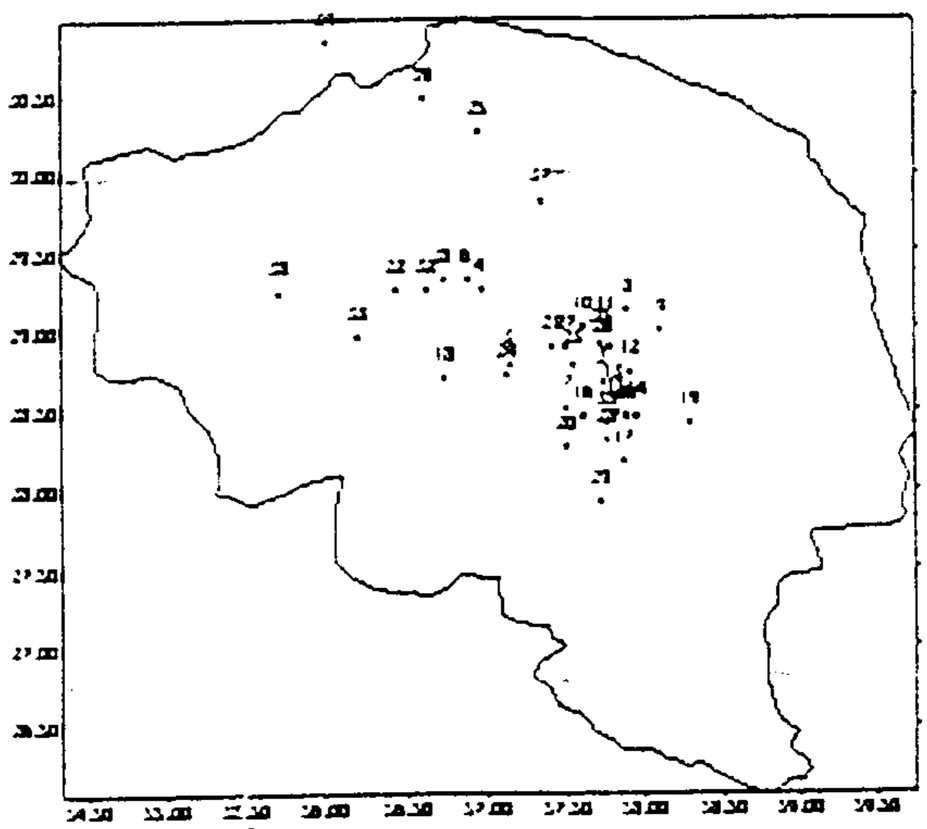
مدل کریجینگ

شکل شماره (۵) شاخص خشکسالی ماه فوریه در استان کرمان (سالهای ۹۸-۱۹۵۱)

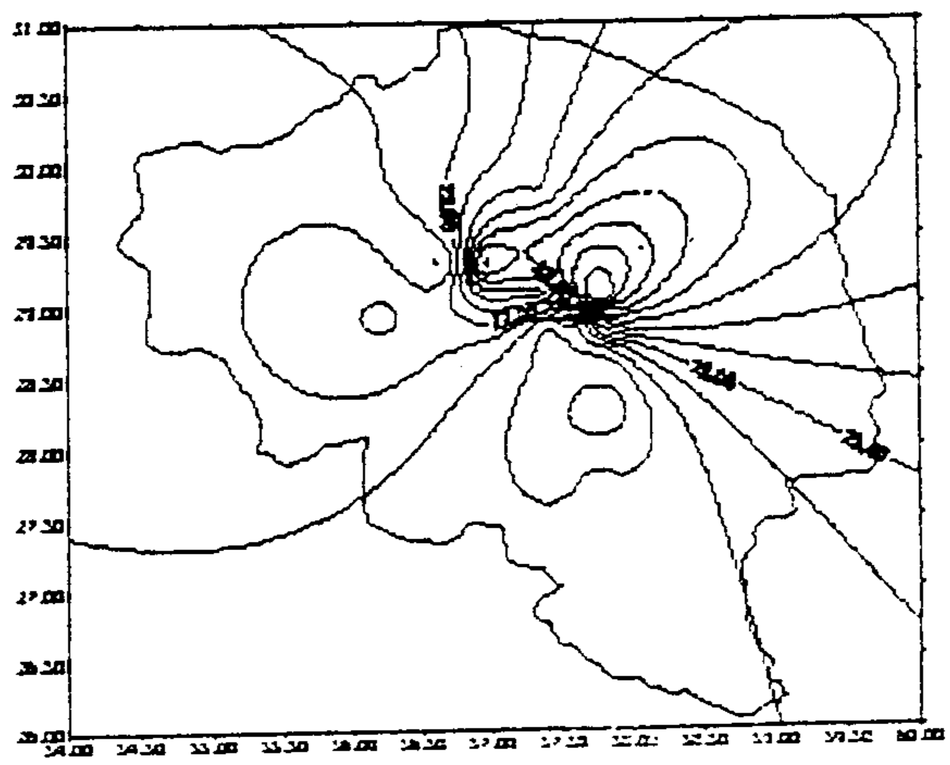
ترسیم: قهرودی تالی، ۱۳۸۰

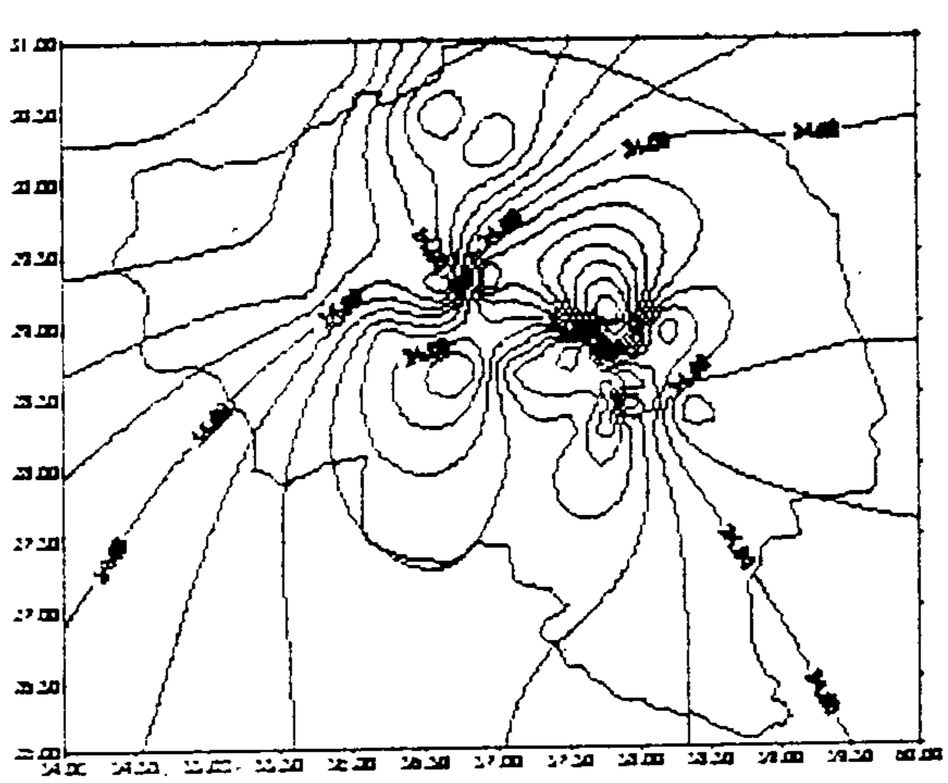


تعداد ایستگاه ۱۹



تعداد ایستگاه ۳۹

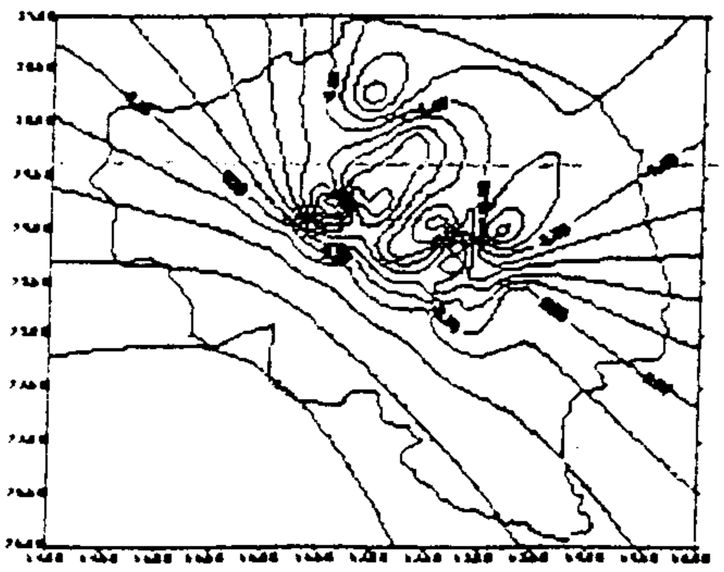




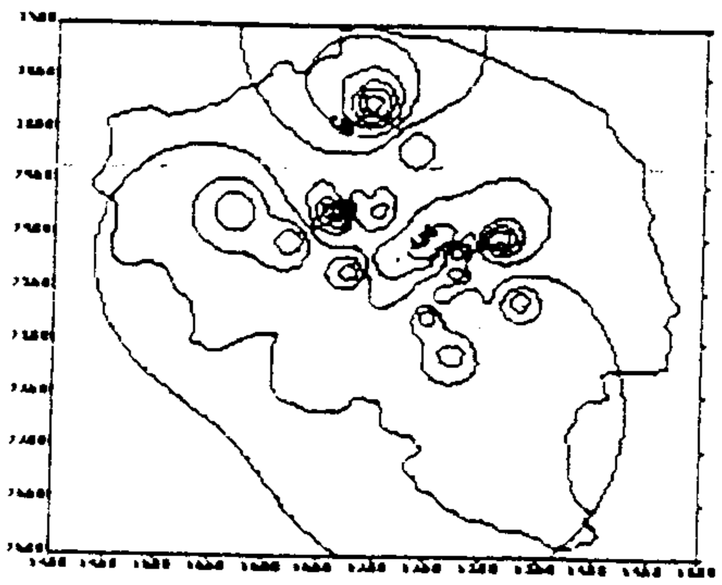
مدل کریجینگ

شکل شماره (۶) تخمین بارندگی در سطح استان کرمان با ۱۹ و ۳۹ ایستگاه (سالهای ۹۸-۱۹۵۱)

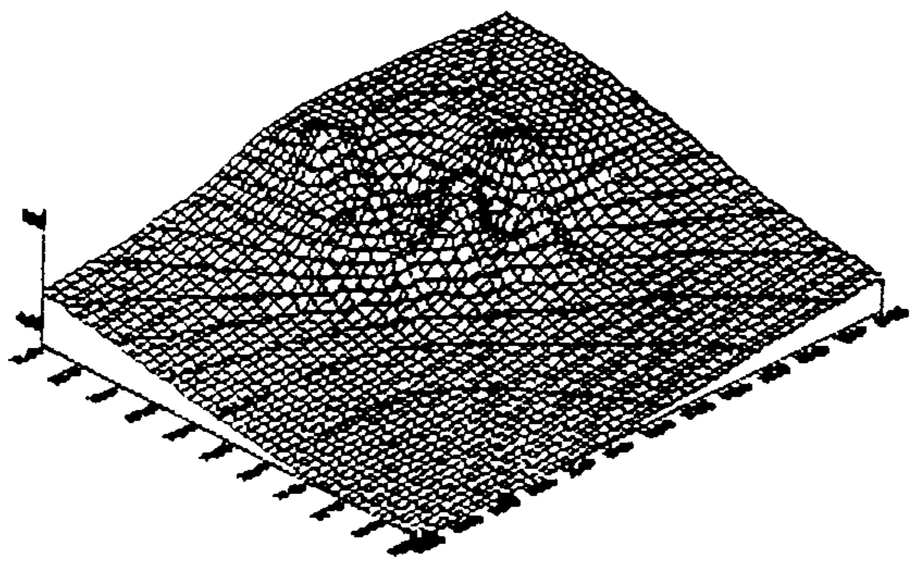
ترسیم: قهرودی تالی، ۱۳۸۰



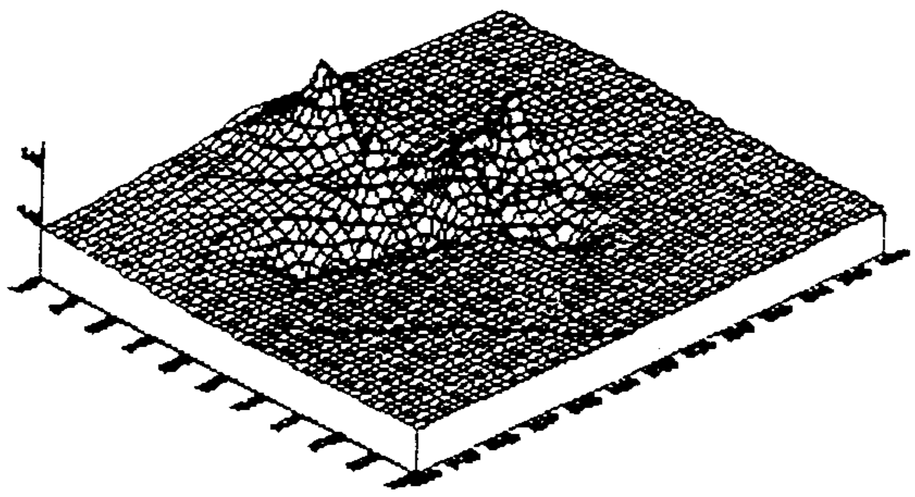
مدل کریجینگ



مدل مجذور فاصله معکوس



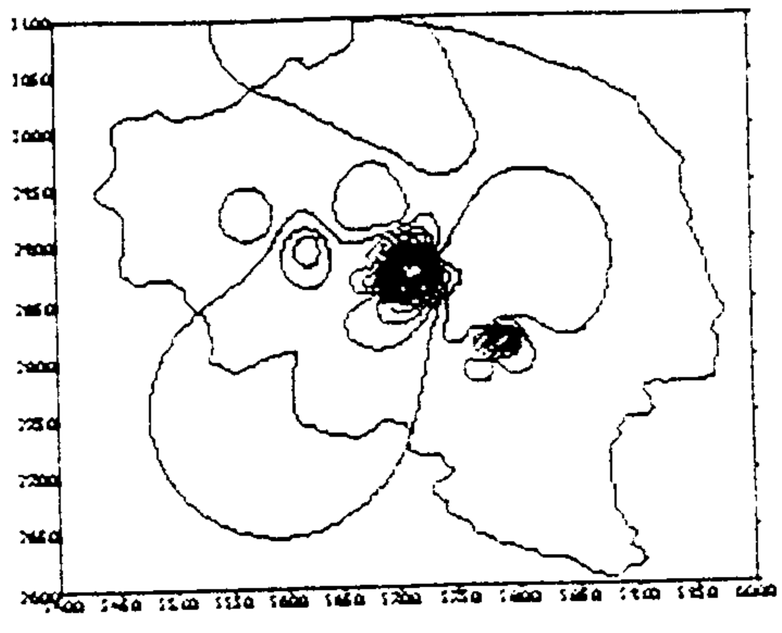
مدل کریجینگ



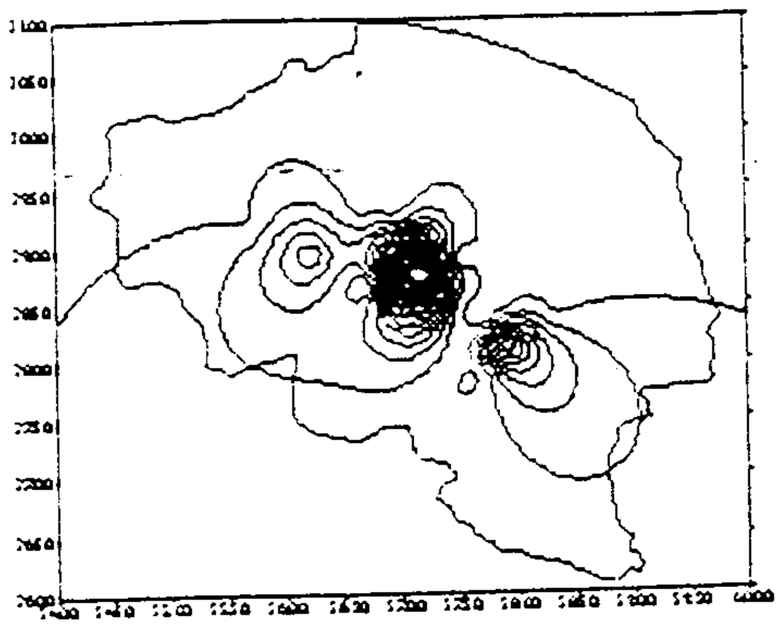
مدل مجذور فاصله معکوس

شکل شماره (۷) شاخص خشکسالی ماه می در استان کرمان (سالهای ۹۸-۱۹۵۱)

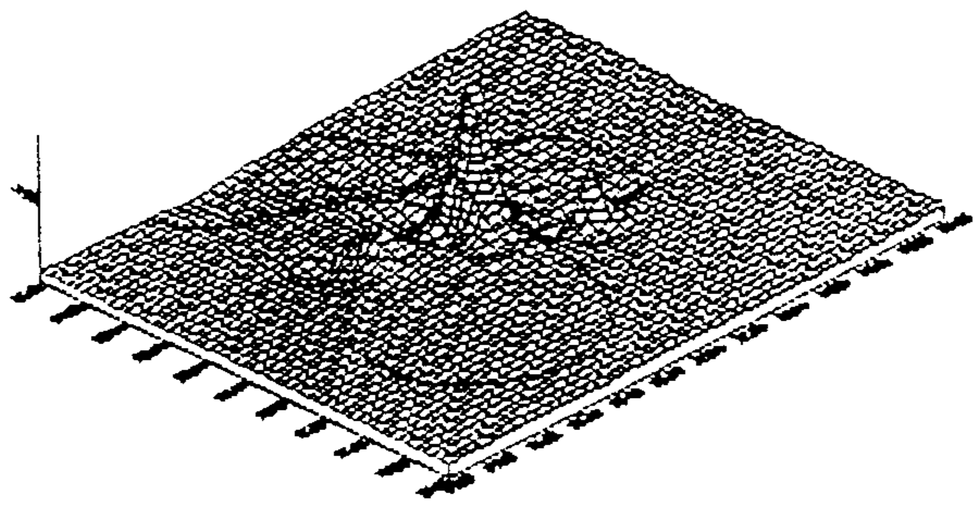
ترسیم: قهرودی تالی، ۱۳۸۰



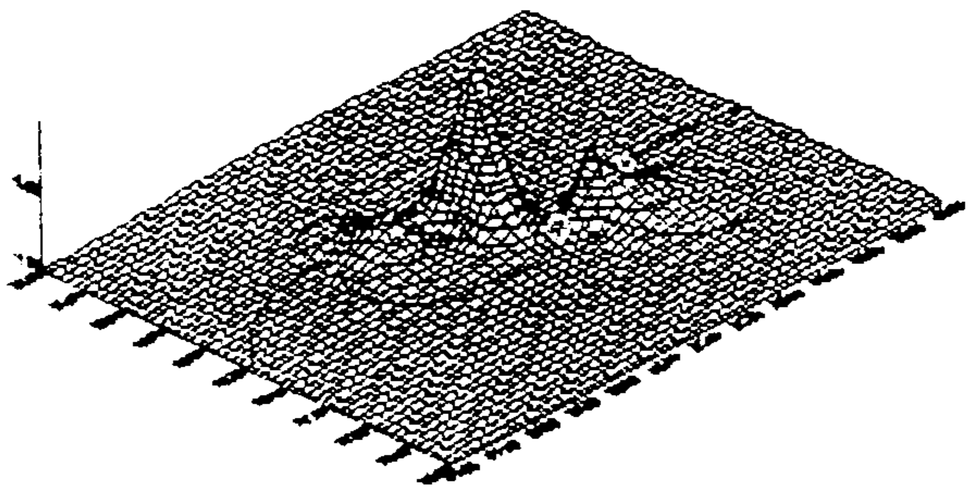
مدل مجذور فاصله معکوس



مدل کریجینگ



مدل مجذور فاصله معکوس



مدل کریجینگ

شکل شماره (۸) شاخص خشکسالی ماه اگوست در استان کرمان (سالهای ۹۸-۱۹۵۱)

ترسیم: قهرودی تالی، ۱۳۸۰

منابع و مآخذ

۱ـ حجازی زاده، زهرا، قهرودی تالی. منیژه، (۱۳۷۹)، "مدل پیش بینی خشکسالی در کرمان" مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله باکم آبی و خشکسالی. جلد اول ۱۳۷۹. ص ۱۶-۷.

2- Burrough, P.A., 1986, Principles of Geographical Information Systems for Land Resource Assessment, Monographs on Soil and Resources Survey NO. 12, Oxford Science Publications-Clarendon Press, Oxford.

3- Davis, John C., 1986 (Second Edition), Statistics and Data Analysis in Geology, John Wiley & Sons, New York, No 405-425.

4- England, E. and Sparks, A. (1992) GEO-EAS: Geostatistical Environmental Assessment Software. Las Vegas, Neveda: Enviromental Monitoring Systems Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency.

5- Fisher, N.I., T. Lewis, and B. J. J. Embleton Statistical Analysis of Spherical Data, Cambridge University Press, No 329

6- Helsel, D.R. "Less Than Obvious: Statistical Treatment of Data Below the Detection Limit," Environmental Science and Technology. 24(1990) : 1766.

7. Lam, N. S. "Spatial Interpolation Methods: A Review", The American Cartographer. 10(1983): 129-149.

8- M. A. Oliver and R. Webster (1990) "Kriging: a method of interpolation for geographical information system", INT. J. Geographical information Systems, VOL. 4. No. 3, 313-332

9- Noel A. C. Cressie "Statistics for Spatial Data", A. Wiley-Interscience Publication, 1991 [1] A. G. Journel and CH. J. Huijbregts " Mining Geostatistics", Academic Press 1981

10- Shepard, D. (1968) A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data, Proc. 23rd National Conference ACM, ACM, 517-524.

11- Wingle, W. L., 1992, EXamining Common Problems Associated with Various Contouring Methods, Particularly Inverse-Distance Methods, Using Shaded Relief Surfaces, Geotech 92 Conference Proceedings, 1992, Lakewood, Colorado.

12- Wingle, WLpoeter, EP and mckennaSA, (1994) "A Geostatistical Uncertainty Analysis Package Applied to Groundwater flow and Contaminant Transport Modeling" Department of Geology and Geological Engineering. Chapter9