

پهنه‌بندی اطلاعات بارندگی با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک و زمین‌آمار و مقایسه

با شبکه‌های عصبی مصنوعی

فرهاد میثاقی^۱ و کورش محمدی^۲

چکیده

در اکثر مسائل هیدرولوژیکی و مطالعات منابع آب، در دسترس بودن آمار و اطلاعات بارندگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. روش‌های آماری درون‌یابی متنوعی همانند نزدیکترین همسایگی وزنی، فاصله معکوس و انحنای کمینه و وجود دارند که به کمک آنها می‌توان خطوط همباران را استخراج نمود. اما به دلیل عدم کفایت آمار و اطلاعات موجود و دقت پایین اندازه‌گیری‌ها، تخمین حاصله چندان رضایت‌بخش نیست. طی چند دهه اخیر مبانی علم زمین‌آمار به خوبی گسترش یافته است و توانایی‌های این شاخه از آمار در بررسی و پیش‌بینی متغیرهای مکانی مشخص شده است. در این تحقیق با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک و زمین‌آمار، اطلاعات بارندگی در حوزه آبریز مارون درون‌یابی شده و با بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی، پهنه‌بندی باران صورت گرفته است تا بتوان خطوط همباران را استخراج نمود. در ادامه از شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان یک درونیاب مستقل استفاده شده است و نتایج حاصل از الگوریتم و مدل‌های مذکور با هم مقایسه شدند. نتایج نشان‌دهنده برتری روش‌های زمین‌آمار و تخمین‌گرهای کریجینگ و کوکریجینگ بود.

کلید واژه‌ها: درون‌یابی، زمین‌آمار، شبکه‌های عصبی مصنوعی، GIS

مقدمه

نیست. طی چند دهه اخیر مبانی علم زمین‌آمار بخوبی گسترش یافته است و توانایی‌های این شاخه از آمار در بررسی و پیش‌بینی متغیرهای مکانی مشخص شده است. تفاوت اصلی بین این روش با آمار کلاسیک آن است که در آمار کلاسیک نمونه‌های گرفته شده از یک جامعه آماری مستقل از یکدیگر بوده و وجود یک نمونه هیچگونه اطلاعاتی درباره نمونه بعدی نمی‌دهد، اما روش زمین‌آمار وجود همبستگی مکانی بین مقادیر یک متغیر در یک ناحیه را بررسی می‌کند.

در سالیان اخیر حرکتی مستمر از تحقیقات صرفاً تئوری به سمت تحقیقات کاربردی به خصوص در پردازش اطلاعات برای مسائلی که یا برای آنها راه

در اکثر مسائل هیدرولوژیکی و مطالعات منابع آب، در دسترس بودن آمار و اطلاعات بارندگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین دلیل همواره توجه دست‌اندرکاران این علم بر روی روش‌هایی بوده است تا بتوانند با استفاده از آنها، در نقاط فاقد آمار، اطلاعات بارندگی را به کمک داده‌های باران‌سنجی موجود تولید نمایند. روش‌های آماری درون‌یابی متنوعی همانند نزدیکترین همسایگی وزنی، فاصله معکوس، انحنای کمینه و... وجود دارند که به کمک آنها می‌توان خطوط همباران را استخراج نمود. اما بدلیل عدم کفایت آمار و اطلاعات موجود و دقت پایین اندازه‌گیری‌ها، تخمین حاصله چندان رضایت‌بخش

تاریخ دریافت: ۸۲/۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۸۵/۱/۲۱

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه تربیت مدرس
(kouroshm@modares.ac.ir)

۲- استادیار گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه تربیت مدرس

۳۱° عرض شمالی واقع شده است. مساحت این حوزه ۲۴۳۰۷ کیلومترمربع می‌باشد که حدود ۱۰۳۳۱ کیلومترمربع آن را مناطق کوهستانی و ۱۳۹۷۶ کیلومترمربع آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها تشکیل می‌دهند. از نظر تقسیم بندی کلی هیدرولوژی ایران، حوزه آبریز مارون بخشی از حوزه آبریز خلیج فارس بوده که به حوزه‌های آبریز کارون و زهره محدود می‌شود (۲). موقعیت این حوزه نسبت به کل ایران در شکل ۱ آمده است. آب و هوای حوزه مارون متأثر از عرض جغرافیایی کم، تغییرات ارتفاع در مناطق مختلف (صفر تا ۳۶۰۰ متر) و مجاورت با خلیج فارس در بخش‌های جنوبی می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه در این حوزه از حدود ۱۵۰ میلی‌متر در جلگه‌های پست ساحلی، تا ۹۰۰ میلی‌متر در ارتفاعات شمالی تغییر مینماید. رژیم بارش در این منطقه مدیترانه‌ای بوده که حداکثر نزولات جوی در ماه‌های آذر تا اسفند حادث می‌شود. منشأ عمده بارش‌های منطقه مربوط به جریانات هوای مرطوب وابسته به کم‌فشارهای جنوبی می‌باشد.

زمین آمار و آمار کلاسیک: روش‌های آمار کلاسیک درون‌یابی مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از: خطی^۴، نزدیکترین همسایگی^۵، توابع شعاعی^۶، فاصله معکوس^۷، انحنای کمینه^۸ و همبستگی چند متغیره^۹. الگوریتم این روش‌ها در اکثر مراجع علم آمار موجود است، به همین دلیل از ذکر آنها خودداری می‌شود و به تشریح روش زمین آماری و تخمین گرهای کریگینگ و کوکریگینگ بسنده می‌گردد.

پیشگامان تئوری‌های زمین آمار هوپر^{۱۰} و

حلی موجود نیست و یا براحتی قابل حل نیستند، آغاز شده است. با عنایت به این حقیقت، علاقه فزاینده‌ای در توسعه تئوریک سیستم‌های دینامیکی هوشمند مدل-آزاد^۱ که مبتنی بر داده‌های تجربی هستند، ایجاد شده است. شبکه‌های عصبی مصنوعی^۲ جزء این دسته از سیستم‌های دینامیکی قرار دارند که با پردازش روی داده‌های تجربی، دانش یا قانون نهفته در ورای این اطلاعات را به ساختار شبکه منتقل می‌کنند. به همین خاطر آنها را سیستم‌های هوشمند می‌نامند، چرا که بر اساس محاسبات روی داده‌های عددی یا مثال‌ها، قوانین کلی را فرا می‌گیرند. این سیستم‌های مبتنی بر هوش محاسباتی سعی در مدل‌سازی ساختار نروسیناپتیکی^۳ مغز بشر دارند.

در این تحقیق با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک و زمین آمار، اطلاعات بارندگی در حوزه آبریز مارون درون‌یابی گردید. سپس پهنه‌بندی باران با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام و خطوط همباران استخراج شده است. در ادامه از شبکه‌های عصبی مصنوعی بعنوان یک درونیاب مستقل استفاده شده است و نتایج حاصل از الگوریتم و مدل‌های مذکور با هم مقایسه شده‌اند. استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در علم زمین آمار سابقه بسیار کوتاهی داشته و با توجه به کاربردهای موفقیت آمیز آن در سایر شاخه‌های علوم، امکان استفاده از این مدل‌ها در پهنه‌بندی باران که تا کنون مورد مطالعه واقع نشده، بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوزه آبریز رودخانه مارون

در دامنه‌های جنوبی و جنوب غربی زاگرس میانی در ۳۵' ۴۸' و ۱۰' ۵۱' طول شرقی و ۳۰' ۳۱' و ۳۳'

4- Linear
5- Nearest Neighbors
6- Radial Basis Function
7- Inverse Distance
8- Minimum Curvature
9- Polynomial Regression
10- Hooper

1- Model-Free
2- Artificial Neural Networks
3- Neuro-Synaptic

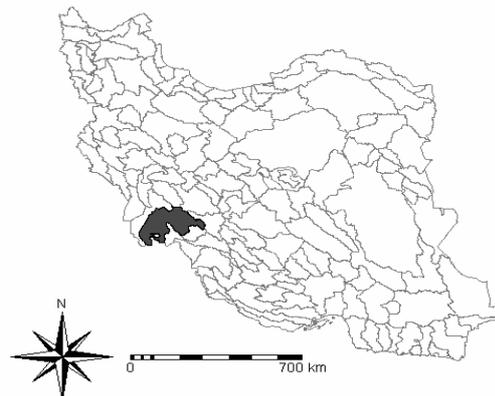
تغییرنا آن است که بتوان ساختار تغییر پذیری متغیر را نسبت به فاصله مکانی شناسایی نمود که آمار کلاسیک مجهز به چنین قابلیت‌هایی نمی باشد (۳). تابع نیم تغییرنا تغییرات یک پارامتر را با در نظر گرفتن فاصله به صورت معادله زیر نشان می دهد:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

که در آن: $Z(x_i), Z(x_i + h)$ مقدار متغیر در نقاط $x_i, x_i + h$ ، تعداد جفت نمونه های بکار رفته به ازای هر فاصله h از روش هایی که برای تخمین متغیر اندازه گیری نشده مورد استفاده قرار می گیرند، تخمین گرهای کریجینگ^۳ و کو-کریجینگ^۴ می باشند. روش میانبایی کریجینگ، یکی از روش های پیشرفته زمین آماری است که بر اساس تعریف نیم تغییر نما استوار می باشد. در روش کریجینگ تنها یک متغیر برای پیش بینی وجود دارد.

بر اساس تئوری کو-کریجینگ یک متغیر کمکی دیگر نیز بکار گرفته می شود. متغیر اصلی (Z_1) پارامتری است که در برخی از نقاط اندازه گیری شده است، همانند آمار و اطلاعات ثبت شده بارندگی در ایستگاه های باران سنجی و متغیر کمکی (Z_2) پارامتری است که در بیشتر نقاط و یا کلیه آنها اندازه گیری وجود دارد که به عنوان مثال می توان اطلاعات ارتفاعی در یک منطقه را نام برد. با استفاده از تغییرنمای متقابل^۵ بین متغیر اصلی و کمکی در الگوریتم تخمین گر، خطای حاصل از تخمین کاهش می یابد. این تئوری بر اساس تعریف نیم تغییر نما و تغییرنمای متقابل بنا شده است. تغییرنمای متقابل در میدان چند متغیره مورد نظر، با اندازه گیری و یافتن ارتباط بین کوواریانس میان دو متغیر و فاصله بین

واترمایر^۱ بودند که روی معادن طلا تحقیق می کردند. اولین مقاله در این زمینه توسط واترمایر در سال ۱۹۱۹ منتشر شد که در آن لزوم به کارگیری میانگین وزنی بجای میانگین حسابی بیان شده بود. درضمن شباهت بین مقادیر نمونه ها به عنوان تابعی از فاصله نمونه ها ارزیابی شد، که این ارتباط پایه اصلی علم زمین آمار را تشکیل می دهد.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبریز مارون نسبت به کل ایران

تفاوت اصلی آمار کلاسیک و زمین آمار این است که در آمار کلاسیک نمونه ها مستقل از یکدیگرند، در حالیکه در زمین آمار نمونه های مجاور تا فاصله معینی بهم وابسته اند (۷).

ابزاری که این همبستگی را بررسی می نماید، نیم تغییرنمای^۶ می باشد. تغییر واریانس بین نقاطی به فاصله h از یکدیگر، می تواند همبستگی متقابل بین مقدار متغیر را بین این نقاط، نشان دهد. در صورت وجود ساختار مکانی، طبیعی است که وابستگی مقدار متغیر در نقاط نزدیک به هم بیشتر از نقاط دور از هم باشد. اگر واریانس بین نقاطی به فاصله h کوچک باشد، نشانه وابستگی بیشتر متغیر بین آن نقاط است. این واریانس وابسته به فاصله، نیم تغییرنمای نامیده می شود که با $\gamma(h)$ نشان می دهند. هدف اصلی از برقرار کردن تابع نیم

3- Kriging

4- Co-Kriging

5- Cross-Variogram

1- Watermeyer

2- Semi-Variogram

سال ۱۹۹۴ در کانادا انجام شد، گوپتا^۵ نشان داد که از بین سه پارامتر مؤثر در معادله نفوذ آب، هدایت هیدرولیکی اشباع بیشترین تغییرات و کمترین همبستگی مکانی را نسبت به دو پارامتر ضریب جذب و سرعت نفوذ داشته است (۱۰). همچنین در سال ۱۹۹۰ نتایج حاصل از تخمین سطح ایستابی به روش زمین آمار برای بهینه نمودن شبکه های پایش در کشور مراکش ارائه گردید. این نتایج حاکی از برتری روش های زمین آمار بر روشهای مبتنی بر آمار کلاسیک بود (۹).

در سال ۲۰۰۱ نتایج تحقیقی که بر روی تغییرات مکانی رطوبت خاک، در چین شرقی با استفاده از روشهای زمین آمار انجام شده بود، ارائه گردید. بر اساس این نتایج هر چه اندازه گیری ها در عمق بیشتری از خاک صورت پذیرد، میزان خطای پیش بینی بیشتر است (۱۱).

در ایران نیز از این روش ها در موارد مختلف استفاده شده است. بعنوان مثال در سال ۱۳۷۵ برای تخمین انتقال فسفر در سیلاب خروجی از حوزه های آبخیز با استفاده از مقادیر فسفر اندازه گیری شده در حوزه از تخمین های زمین آماری استفاده گردید (۴). در مطالعه دیگری که در استان های شمالی ایران انجام شد، تغییرات منطقه ای بارندگی با استفاده از روش کریگینگ محاسبه گردید (۵). همچنین در تحقیقی از تخمین گرهای زمین آماری برای ایجاد شبکه بهینه پایش تغییرات سطح آب زیر زمینی دشت چمچمال استفاده شد (۶).

در تحقیقی که در محدوده مرکزی ایران انجام شد، تعداد ۴۰۳ ایستگاه هواشناسی با آمار سالانه و ماهانه ۳۰ ساله بارندگی، روشهای زمین آماری کریگینگ معمولی، کریگینگ با الگاریتم داده ها، کو-کریگینگ با متغیر کمکی ارتفاع، روش میانگین

نقاط اندازه گیری شده، در میانمایی مورد استفاده قرار می گیرد (۳).

تغییر نمای متقابل عبارتست از اختلاف بین دو اندازه گیری متغیر اول به فاصله h ضرب در اختلاف اندازه گیری متغیر دوم در همان نقاط، که به شکل رابطه زیر بیان می گردد:

$$\gamma_{RC}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z_R(x_i) - Z_R(x_i+h)] \times [Z_C(x_i) - Z_C(x_i+h)] \quad (2)$$

که در آن $Z_R(x_i), Z_R(x_i+h)$ مقدار متغیر اول در نقاط x_i, x_i+h و $Z_C(x_i), Z_C(x_i+h)$ مقدار متغیر دوم (کمکی) در نقاط x_i, x_i+h می باشند.

در این تخمین گرها برای ارتباط بین مقادیر تغییرنمای متقابل با فاصله جفتها از برازش مدلهایی مناسب همانند: کروی^۱، گوسی^۲، نمایی^۳، اثر قطعه ای تام^۴ و خطی، استفاده می شود.

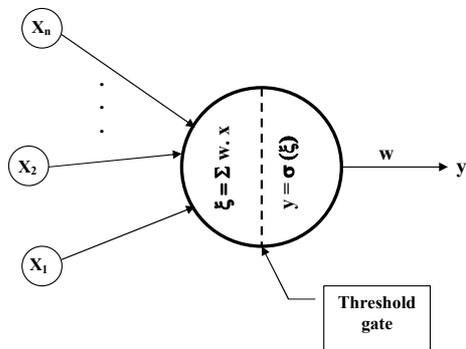
پس از مدل سازی تغییرات نیم تغییر نمای متغیر اصلی (Z_1) و متغیر کمکی (Z_2) و تغییرنمای متقابل Z_1 و Z_2 ، توسط مدل های آماری مذکور، محاسبات میانمایی بر اساس الگوریتم موجود انجام می گیرد. مقادیر تخمین زده شده به این طریق بسیار دقیق تر از حالتی می باشند، که از یک متغیر و در نقاط محدود برای میانمایی استفاده می گردد، خصوصاً اگر دو متغیر Z_1 و Z_2 از نظر مفهومی نیز به هم وابسته باشند مانند تغییرات میزان بارندگی که با تغییرات ارتفاع وابستگی خوبی دارد.

تحقیقات گسترده ای در زمینه به کارگیری زمین آمار و تخمین گر کریگینگ و در موضوعات مختلف انجام شده است. به عنوان مثال در تحقیقی که در

-
- 1- Spherical
 - 2- Gaussian
 - 3- Exponential
 - 4- Linear to sill

5- Guopta

انسان و شبکه عصبی بدن طراحی شود تا همانند آن قدرت یادگیری، تعمیم دهی و تصمیم گیری داشته باشد.



شکل ۲- مدل عمومی نرون در شبکه عصبی مصنوعی

در این شبکه ها هدف آن است که با معرفی تاریخچه عملکرد یک سیستم دینامیکی، مدل آموزش یافته و نحوه عملکرد سیستم در حافظه ذخیره شود و در مواردی که مدل قبلاً با آن مواجه نشده است، مورد استفاده قرار می گیرد. این گونه مدل ها در مورد فرآیندهایی که تعریف دقیق و درک خاصی از آنها وجود ندارد، بسیار موثر عمل می کنند. خصوصیت دیگر این مدل ها که آنها را نسبت به سایر روش ها و الگوریتم ها ممتازتر می نماید حساسیت کمتر آنها نسبت به وجود خطا در ورودی ها می باشد. علت این امر پردازش توزیعی اطلاعات^۴ می باشد. در این سیستم فعالیت های پیچیده با ساختاری شدیداً موازی انجام می شوند و به جای آنکه تمام بار فعالیت بر دوش یک واحد محاسباتی سریع قرار گیرد، تعداد زیادی واحدهای محاسباتی ساده به صورت مشترک انجام آن را به عهده دارند. این تقسیم کار پیامد مثبت دیگری نیز در پی دارد و آن این است که چون تعداد زیادی نرون در یک زمان درگیر فعالیت هستند، سهم هر یک از نرون ها چندان حائز اهمیت نیست. بنابراین وجود خطا در یکی از آنها و نتیجه آن تاثیر چندانی بر روی سایر واحدهای محاسباتی نخواهد داشت (۱).

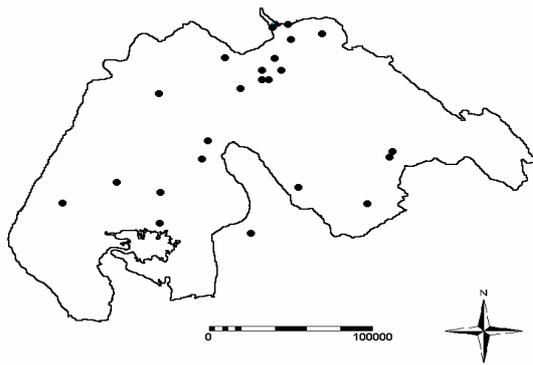
متحرک وزنی^۱ و TPSS^۲ برای پهنه بندی بارندگی استفاده شد. نتایج نشان داد که روش TPSS با استفاده از متغیر کمکی ارتفاع و توان^۲ بهترین دقت و کمترین انحراف را برای بارندگی سالانه و ماهانه دارد (۸).

شبکه های عصبی مصنوعی: اصطلاح شبکه عصبی مصنوعی برای توصیف توپولوژی های متنوع از اجزاء پردازشی ساده مرتبط با یکدیگر بکار می رود. اساس شبکه های عصبی مصنوعی با الهام از سیستم اعصاب و مغز انسان طراحی شده است. یک نرون مصنوعی دارای ورودی هایی (X) است که هر یک خروجی های نرون های دیگر می تواند باشد. پیوند عصبی در مدل نرون مصنوعی توسط وزن های^۳ ارتباطی W_{ij} از نرون i به نرون j نشان داده می شود. هر ورودی به نرون مصنوعی در وزن ارتباطی W_{ij} ضرب شده و مجموع نتایج حاصل از هر ورودی پس از اعمال در یک تابع (σ)، خروجی نرون را تشکیل می دهد. شکل ۲ مدل عمومی یک نرون در شبکه عصبی مصنوعی را نمایش می دهد. در این شکل تعدادی ورودی x_1, x_2, \dots, x_n وارد نرون می شوند که بطور خلاصه با بردار \vec{X} مشخص می شوند. هر یک از ورودی های نرون به یکی از سیگنال های ورودی متعلق است. هر سیگنال در یک وزن ارتباطی متناظر متشکل از w_1, w_2, \dots, w_n که بطور خلاصه با بردار \vec{W} نشان داده می شود، ضرب می گردد. مقادیر حاصل جمع شده و سپس در یک تابع اعمال می گردد تا بدین ترتیب مقدار خروجی تعیین شود.

در شبکه های عصبی مصنوعی سعی بر این است که ساختاری مشابه ساختار بیولوژیکی مغز

1- Weighted Moving Average
2- Thin Plate Smoothing Splines
3- Weights

4- Distributed Processing



شکل ۳- توزیع مکانی ایستگاه های باران سنجی
حوزه آبریز مارون

کمبود آماری تکمیل شده و سپس ایستگاه‌های دارای نقص آماری بیشتر تکمیل گردید. در نهایت بوسیله آزمون آماری Run Test تصادفی بودن همگنی آمار کلیه ایستگاه‌ها کنترل گردید.

از مجموع ۲۴ ایستگاه باران سنجی موجود در منطقه، ۶ ایستگاه برای صحت یابی نتایج حاصل از روش‌های مطالعاتی از مجموعه اطلاعات مورد استفاده، حذف شده است. از مجموعه اطلاعات موجود داده‌های باران سنجی دو ماه با میانگین بارش کم و زیاد برای صحت یابی روش‌های مذکور انتخاب شده‌اند، که ماه‌های بهمن سال ۱۳۵۳ و دی سال ۱۳۷۳ بودند.

معیارهای ارزیابی

به منظور ارزیابی و مقایسه نتایج حاصل از روش‌ها و مدل‌های بکار برده شده در تعیین میزان بارندگی در نقاط فاقد آمار از شاخص‌های آماری متوسط مجذور خطا^۱، متوسط قدرمطلق خطا^۲ و ضریب همبستگی R^2 به شرح زیر استفاده شده است.

$$MSE = \frac{\sum (S_i - O_i)^2}{n} \quad (۳)$$

$$MAE = \frac{\sum |S_i - O_i|}{n} \quad (۴)$$

دو ویژگی ذکر شده سبب افزایش طرفداران استفاده از این مدل‌ها در فرآیندهای هیدرولوژیکی شده است. چرا که عوامل موثر در برآوردهای هیدرولوژیکی بسیار متنوع بوده و اعمال کلیه آنها در مدل‌های طراحی شده بسیار مشکل است و مسئله را پیچیده می‌کند. همچنین وجود خطا در اندازه‌گیری‌های هیدرولوژیکی اجتناب ناپذیر بوده که با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توان تاثیر این خطاها را در خروجی مدل کاهش داد.

تکمیل، تصحیح و تطویل آمار: در این مطالعه

ابتدا کلیه داده‌های بارندگی ایستگاه‌های باران سنجی وزارت نیرو در حوزه مارون جمع‌آوری گردید. با توجه به ناقص بودن یا کم بودن طول دوره آماری تنها ۲۴ ایستگاه انتخاب گردید. مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. شکل ۳ توزیع این ایستگاه‌ها را در حوزه مطالعاتی نشان می‌دهد. با توجه به سال‌های موجود و مشترک برای هر یک از ایستگاه‌ها، در نهایت دوره مشترک آماری ۲۵ ساله از سال آبی ۱۳۵۳-۵۴ تا ۱۳۷۷-۷۸ برای مطالعه انتخاب گردید. انتخاب دوره آماری ۲۵ ساله به این علت بوده که اولاً داده‌های موجود در سال‌های اخیر با توجه به افزایش اطلاعات دیده بانها و تکنولوژی از دقت و اعتبار بیشتری برخوردارند و ثانیاً به دلیل خلاء کمتر اطلاعات در این بازه زمانی میزان داده‌های بازسازی شده کاهش می‌یافت.

برای بازسازی آمار ایستگاه‌ها از روش بیشترین همبستگی خطی با ایستگاه‌های مجاور استفاده شده است. بدین صورت که خلاء آماری هر یک از ایستگاه‌ها به کمک نزدیکترین ایستگاهی که با آن همبستگی خطی معنی‌دار داشته باشد، تکمیل شد. بازسازی آمار به صورت تدریجی انجام گرفت، به این صورت که ابتدا کلیه ایستگاه‌های با یک سال

1- Mean Square Error (MSE)

2- Mean Absolute Error (MAE)

که در این روابط O_i مقادیر مشاهده شده، S_i مقادیر شبیه سازی شده و n تعداد داده های مورد استفاده می باشد.

نتایج و بحث

برای استخراج نقشه همباران منطقه، ابتدا مدل رقومی منطقه تهیه گردید. این نقشه با استفاده از خطوط توپوگرافی رقومی شده نقشه های ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش به دست آمده است. با توجه به همبستگی بارش-ارتفاع که رابطه آن برای حوزه آبریز مارون برای ماه های مختلف محاسبه گردید، مدل رقومی ارتفاعی منطقه به مدل رقومی بارندگی تبدیل شد. این رابطه برای ماه های بهمن ۱۳۵۳ و دی ۱۳۷۳ بصورت زیر می باشد:

$$\text{Rain} = 0.0969 * \text{Height} + 68/894 \quad (6)$$

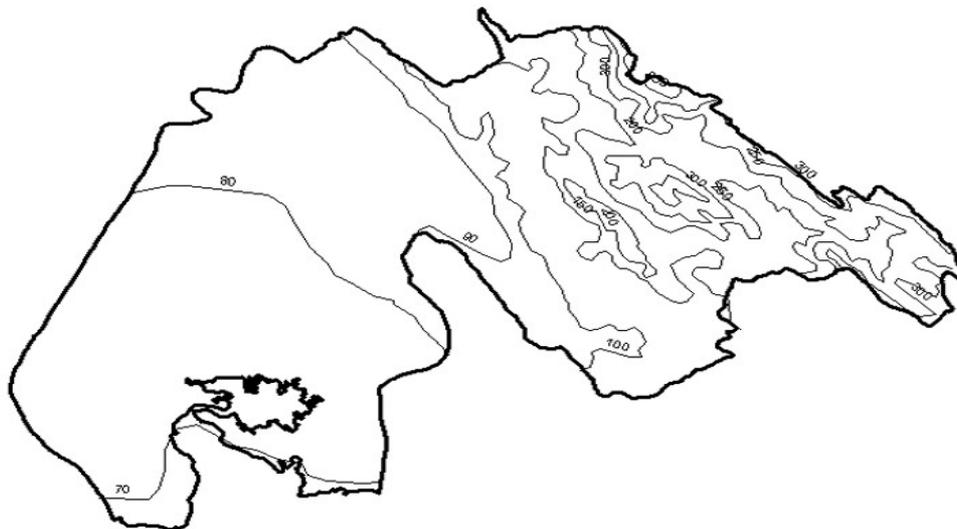
$$\text{Rain} = 0.0497 * \text{Height} + 22/721 \quad (7)$$

مقادیر ضریب همبستگی برای این دو رابطه به ترتیب برابر با ۰/۹۲ و ۰/۸۹ بود. بدین ترتیب و با استفاده از امکانات GIS، نقشه پهنه بندی بارندگی حوزه و خطوط همباران استخراج شدند. نقشه های همباران مذکور برای ماه های بهمن ۱۳۵۳ و دی ۱۳۷۳ در شکل های (۴) و (۵) ارائه گردیده اند. با کمک سایر الگوریتم های درونیابی شامل نزدیکترین همسایگی وزنی، فاصله معکوس، روش مثلثی خطی، چند متغیره، توابع شعاعی و انحنا کمی و با استفاده از آمار اندازه گیری شده در نقاط ایستگاه ها، توزیع مکانی بارندگی در حوزه بدست آمد. همچنین تخمین گر کریگینگ و کو-کریگینگ برای درونیابی بارندگی استفاده شد که با توجه به اطلاعات موجود در محل ایستگاه ها، مدل های مختلف نیم تغییر نما و تغییر نما متقابل آزمایش گردید.

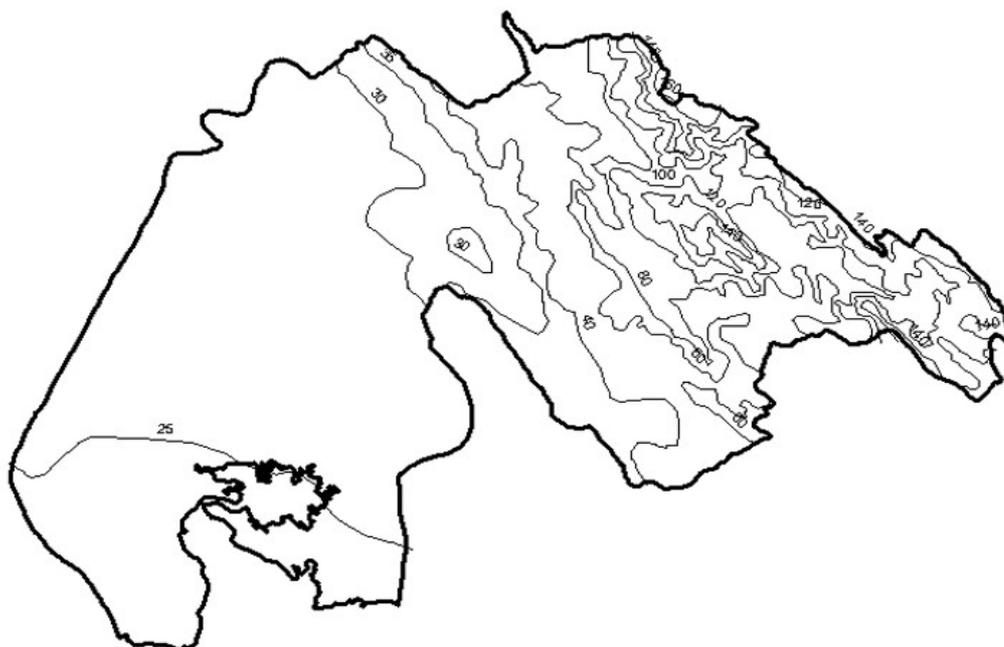
$$R^2 = \frac{n \left(\sum_{i=1}^n S_i O_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n S_i \sum_{i=1}^n O_i \right)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n S_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n S_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n O_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n O_i \right)^2 \right]}} \quad (5)$$

جدول ۱- مشخصات ایستگاه های باران سنجی در حوزه آبریز مارون

ارتفاع (متر)	مختصات ایستگاه (UTM)		نام ایستگاه
	Y	X	
۱۸۰۰	۳۴۹۴۳۸/۶۷	۴۰۸۲۷۲/۶۷	مال آقا
۶۷۵	۳۴۹۱۲۹۶/۰۲	۳۹۲۴۲۰/۵۲	باغ ملک
۷۴۰	۳۴۸۰۲۹۶/۴۲	۳۸۴۳۸۶/۶۵	گنداب
۹۰۰	۳۵۰۰۵۴۹/۲۶	۳۹۰۹۳۵/۳۰	قلعه تل
۳۵۰	۳۴۷۲۹۷۸/۵۱	۳۷۷۹۶۵/۹۸	زرد ماشین
۸۵۰	۳۵۰۰۶۱۷/۷۶	۳۸۴۶۱۲/۴۳	چشمه شیرین
۳۳۰	۳۴۶۷۴۳۶/۳۱	۳۷۷۹۰۱/۳۷	جوکنک
۴۰۰	۳۴۶۷۳۹۹/۸۵	۳۸۱۰۷۲/۴۹	ده سادات
۵۶۰	۳۴۲۴۳۸۷/۶۰	۴۴۴۲۷۴/۵۱	ایدنک
۱۵۵	۳۴۶۲۰۲۹/۲۳	۳۶۶۷۳۰/۵۰	پاگچی رامهرمز
۱۹۰	۳۴۰۲۵۷۸/۵۱	۳۹۶۲۹۹/۲۴	جم نظام
۳۰	۳۴۳۰۸۳۶/۳۶	۳۵۰۴۱۹/۷۲	مشارگه
۲۰	۳۴۱۹۷۹۷/۲۱	۳۴۷۰۷۸/۰۳	رامشیر
۱۷	۳۴۰۵۷۲۰/۶۶	۳۰۳۷۹۱/۹۸	گرگر
۵	۳۳۸۱۳۱۷/۹۵	۳۲۵۷۳۸/۷۶	بندر ماهشهر
۱۰	۳۳۹۳۳۱۷/۱۴	۲۷۶۳۹۹/۲۹	شادگان بوزی
۲۸۰	۳۴۸۰۶۰۸/۰۱	۳۵۹۰۴۶/۸۰	هفتگل
۴۰	۳۴۵۸۹۳۹/۰۲	۳۲۵۴۱۶/۰۱	کوپال نمره ۳
۳۳۳	۳۳۹۳۰۶۱/۶۳	۴۳۱۳۳۶/۸۸	سد شهدا
۳۰	۳۳۹۹۷۹۲/۶۰	۳۲۶۰۳۷/۳۵	کمپ جراحی
۳۲	۳۳۷۵۱۲۸/۳۳	۳۷۲۰۳۹/۶۱	دهملا
۴۸۰	۳۴۷۲۸۷۱/۸۹	۳۸۷۴۷۵/۱۹	میداوود
۶۰۰	۳۴۲۰۷۰۲/۲۰	۴۴۲۶۶۲/۳۴	پاقله
۸۵۰	۳۴۹۸۷۸۸/۷۷	۳۸۳۰۱۱/۵۷	دلی بختیار



شکل ۴- نقشه همبارش منطقه (بر حسب میلی متر) در بهمن ماه ۱۳۵۳ با استفاده از رابطه ۶



شکل ۵- نقشه همبارش منطقه (بر حسب میلی متر)

این روش ها برای ماه های مذکور در جداول ۴ و ۵ ارائه گردیده اند.

با توجه به خطای به دست آمده و ضریب همبستگی نسبتاً کم آن در مقایسه با تخمین گره های کریگینگ و کو-کریگینگ، این روش ها به خصوص شبکه توابع شعاعی از مزیت چندانی برخوردار نبوده، ولی با توجه به سادگی و سرعت بالای محاسبات پس از آموزش، همچنان میتواند بعنوان یکی از روش های منتخب بعد از تخمین گره های زمین آماری مطرح باشد. خصوصیات و توپولوژی این شبکه ها در جدول ۶ ارائه شده است.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده که در بخش قبل ارائه گردید، موارد زیر نتیجه می گردد:

از بین الگوریتم ها و روش های میانابایی آمار کلاسیک و زمین آمار، تخمین گره های زمین آماری نتیجه بهتری حاصل می نمایند. لذا تخمین گره های کریگینگ و کو-کریگینگ دارای این توانایی هستند که میزان بارندگی را در نقاط فاقد آمار با دقت قابل قبولی، برآورد نمایند.

از بین روش های میانابایی کلاسیک، روش انحنای کمینه نسبت به سایر الگوریتم ها توانایی مناسبی در برآورد بارندگی و میانابایی آن داراست. نتایج حاصل از نیم تغییر نما و تغییر نمای متقابل تجربی و مدل تئوری پرازش شده نشان از همبستگی بالای پارامتر بارندگی با ارتفاع می باشد.

مدل شبکه های عصبی مصنوعی دارای این توانایی هستند که به عنوان یک میان یاب مستقل متغیر بارندگی را در یک منطقه پیش بینی نمایند. خطای برآورد و میان یابی توسط این مدل ها نسبت به روش های زمین آماری بیشتر است، چرا که این مدل ها برای حل مسائل احتیاج به مجموعه الگوهای ورودی-خروجی دارند و چون این مجموعه

روش دیگری که برای تخمین توزیع بارندگی در منطقه بکار رفت، روش شبکه عصبی مصنوعی بود. در این مدل ها، آمار موجود در ۱۸ ایستگاه به عنوان ورودی در نظر گرفته شد. سپس کل حوزه آبریز به تعداد ۲۳۸ سلول مربعی تقسیم بندی گردید. خروجی مدل شبکه عصبی مصنوعی، مقدار بارندگی در مرکز هر یک از این سلول ها بود. با توجه به ۲۵ سال آمار بارندگی ماهانه، شبکه عصبی مصنوعی آموزش داده شده و توپولوژی های مختلف آن مورد آزمایش قرار گرفت. در نهایت دو مدل شبکه های پیش خور عمومی^۱ و توابع شعاعی^۲ بهترین نتایج را داشته اند که در اینجا ذکر می گردد. سایر شبکه هایی که آزمایش گردیدند، عبارت بودند از: شبکه های چند لایه پرسپترون^۳، شبکه های پودمانی^۴ و شبکه های فازی^۵.

از مجموعه ایستگاه های موجود در حوزه آبریز مارون، تعداد ۶ ایستگاه جهت صحت یابی روش ها و الگوریتم های بکار رفته در محاسبات استفاده نشده و مقادیر تخمین زده شده در این نقاط با مقدار اندازه گیری شده، مقایسه شد. نتایج این مقایسه ها برای ماه های بهمن ۱۳۵۳ و دی ۱۳۷۳ بترتیب در جداول ۲ و ۳ ارائه گردیده است. همانطور که ملاحظه میگردد در هر دو ماه مذکور، تخمین گره های کریگینگ و کو-کریگینگ کمترین خطا و بیشترین ضریب همبستگی را داشته اند. نقشه همبارش با استفاده از این دو روش محاسبه گردید، که برای نمونه نتایج درونیابی بارش بهمن ۱۳۵۳ با بکارگیری تخمین گر کو-کریگینگ و دیماه ۱۳۷۳ با استفاده از تخمین گر کریگینگ در شکل های ۶ و ۷ نشان داده شده است. مشخصات مدل های نیم تغییر نما و تغییر نمای متقابل برازش داده شده در

- 1- Generalized Feed Forward Networks (GFF)
- 2- Radial Basis Function Networks (RBF)
- 3- Multi Layer Perceptron (MLP)
- 4- Modular Neural Network (MNN)
- 5- Confic Network (Fuzzy Logic)

آماري در ميانيابي متغيرهاي مكاني باشند. اما به علت قابليت و توانايي اين مدل ها در تحليل روابط رگرسيوني، توصيه مي شود كه بصورت تركيبی با تخمين گرهاي زمين آماري مورد استفاده قرار گيرند.

با استفاده از تخمين گرهاي زمين آماري توليد مي شود، لذا خطاي ميانيابي افزايش مي يابد. چنين به نظر مي رسد كه مدل شبكه هاي عصبی مصنوعي به دلایل ذكر شده نمی توانند روش جایگزین مناسبی برای روش های زمين

جدول ۲- نتایج صحت يابی الگوریتمهای مختلف در بهمن ماه ۱۳۵۳

Method's Name	MSE	MAE	R ²
ANN (RBF)	۴۶۹/۴۷	۱۷/۵۶	۰/۸۱۲
Co-Kriging	۱۸۷/۴	۱۱/۲	۰/۹۵۴
Inverse Distance	۵۹۳/۵	۲۰/۶	۰/۸۳۷
Kriging	۱۹۱/۶	۱۱/۱	۰/۹۵۳
Linear Triangulation	۹۴۷/۸	۲۰۸/۸	۰/۵۵۷
Minimum Curvature	۲۳۵/۴	۱۲/۸	۰/۹۳۴
Polynomial	۳۶۰/۷	۱۷/۳	۰/۷۹۸
Rain Map	۲۱۸۴/۸	۳۳/۱	۰/۵۹۵
RBF	۶۰۱/۸	۲۱/۴	۰/۶۶۵

جدول ۳- نتایج صحت يابی الگوریتمهای مختلف در دیماه ۱۳۷۳

Method's Name	MSE	MAE	R ²
ANN (GFF)	۳۶۸/۵	۳۵۲/۴	۰/۷۶۵
Co-Kriging	۵۱/۸	۶/۲	۰/۹۸۶
Inverse Distance	۳۳۷/۱	۱۴/۸	۰/۷۴۸
Kriging	۱۱۴/۶	۹/۲	۰/۹۱۱
Linear Triangulation	۱۲۲/۴	۲۰۹/۴	۰/۵۰۹
Minimum Curvature	۱۷۵/۱	۱۱/۶	۰/۹۶۷
Polynomial	۱۶۷/۲	۱۱/۴	۰/۷۹۳
Rain Map	۵۸/۱	۶۹۴/۱	۰/۹۰۷
RBF	۵۱۰/۰	۱۴/۶	۰/۴۰۴

جدول ۴- مشخصات مدل های برازش شده در تخمین گر کریگینگ

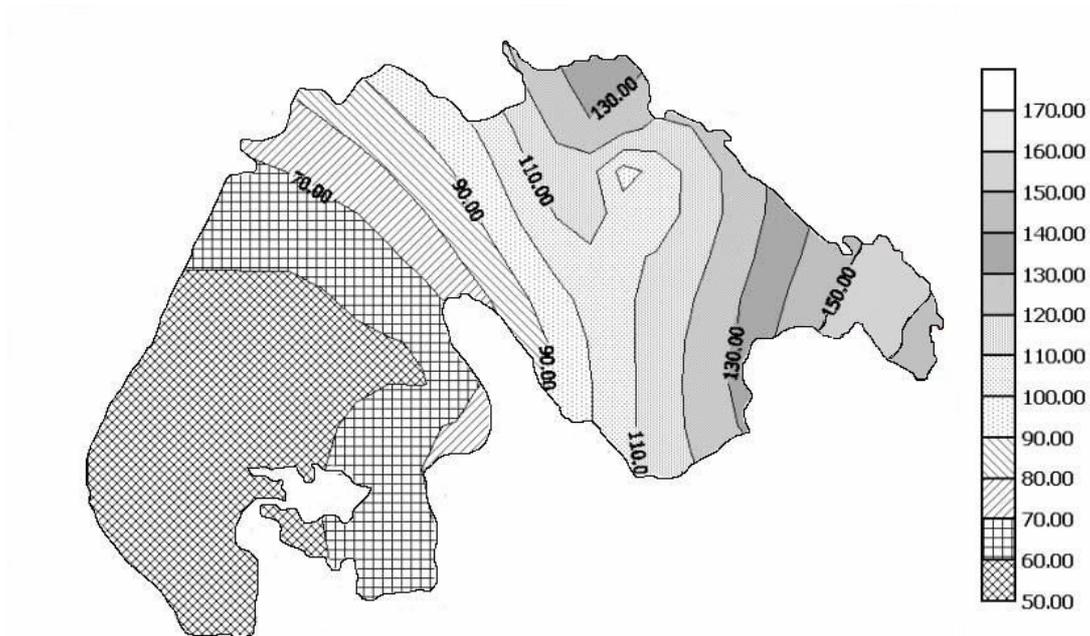
مجموعه اطلاعات	Semi-Variogram Model (Z1)	Nugget	Sill	R ²	RSS
بهمن ماه ۱۳۵۳	Spherical	۴۳	۳۱۹۶	۰/۶۷۶	۱۹۶۵۰۰۰
دی ماه ۱۳۷۳	Exponential	۱۱۵	۱۳۱۳	۰/۵۶۲	۴۱۹۷۵

جدول ۵- مشخصات مدل های برازش شده در تخمین گر کو-کریگینگ

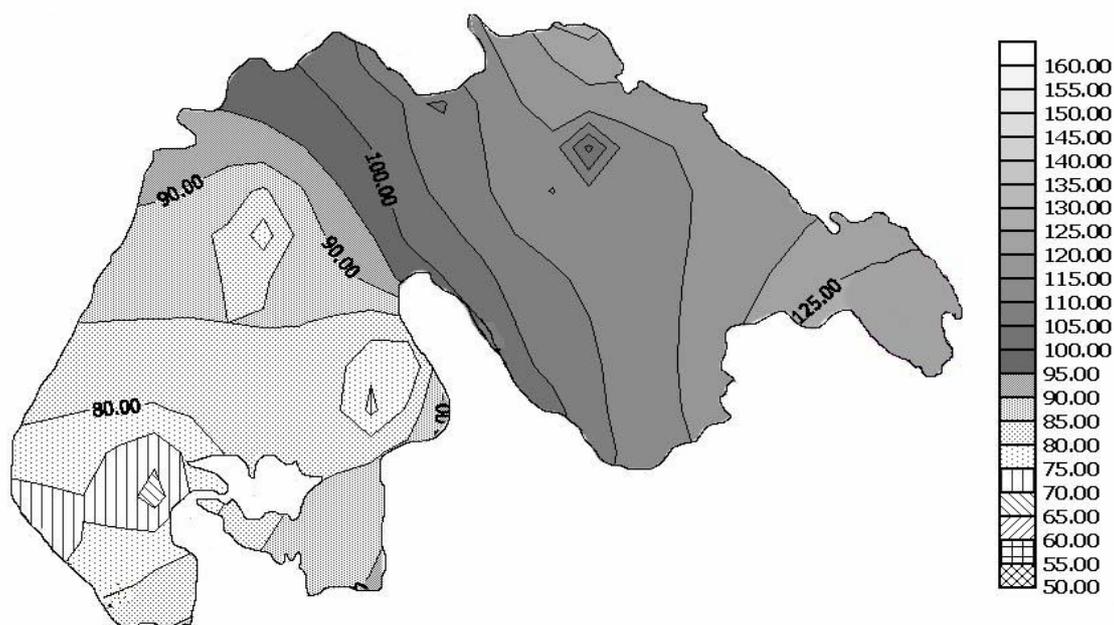
مجموعه اطلاعات	Models	Nugget	Sill	R ²	RSS	
بهمن ماه ۱۳۵۳	Semi-Variogram Model (Z ₁)	Spherical	۴۳	۳۱۹۶	۰/۶۷۶	۱۹۶۵۰۰۰
	Semi-Variogram Model (Z ₂)	Linear	۶۰۰۰	۱۵۰۶۱۷	۰/۷۲۶	۴۰۸۱۰۰۰
	Cross-Variogram Model (Z ₁ Z ₂)	Spherical	۴۰۰	۱۶۰۰۰	۰/۷۰۵	۳۱۱۴۰۰۰
دی ماه ۱۳۷۳	Semi-Variogram Model (Z ₁)	Exponential	۱۱۵	۱۳۱۳	۰/۵۶۲	۴۱۹۷۵۶
	Semi-Variogram Model (Z ₂)	Linear	۶۰۰۰	۱۵۰۶۱۷	۰/۷۲۶	۴۰۸۱۰۰۰
	Cross-Variogram Model (Z ₁ Z ₂)	Linear	۱۰	۳۱۱۱۰	۰/۷۲۲	۹۴۶۳۰۰۰

جدول ۶- مشخصات مدل های شبکه عصبی مصنوعی

نوع شبکه	توزیع نرونی	تابع محرک	مرحله محاسباتی	MSE	MAE	R ²
RBF	18-238	Tanh	آموزش	۱۲۸/۶۲	۲۲/۵	۰/۸۳۲
			صحت یابی	۴۶۹/۴۷	۱۷/۵۶	۰/۸۱۲
GFF	18-238-238	Tanh	آموزش	۱۴۵	۱۰/۶	۰/۸۳۴
			صحت یابی	۹۲۲/۹۲	۲۳/۹۱	۰/۶۰۶



شکل ۶- نقشه خطوط همباران (بر حسب میلی متر) حاصل از تخمین گر گر-کریگینگ (بهمن ۱۳۵۳)



شکل ۷- نقشه خطوط همباران (بر حسب میلی متر) حاصل از تخمین گر گر-کریگینگ (دی ۱۳۷۳)

منابع

- ۱- البرزی، م. ۱۳۸۰. آشنایی با شبکه های عصبی مصنوعی. چاپ اول. موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، ۱۵۸ ص.
- ۲- جاماب ۱۳۷۸. طرح جامع آب کشور- حوزه آبریز مارون. وزارت نیرو، سازمان مدیریت منابع آب.
- ۳- حسنی پاک، ع ۱۳۷۷. زمین آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران، ۳۱۴ ص.
- ۴- رضوانی، س ۱۳۷۵. کاربرد مدل ANSWERS برای تخمین انتقال فسفر در سیلاب خروجی از حوضه های آبخیز با استفاده از مقادیر فسفر اندازه گیری شده در حوضه آبخیز و مقادیر تخمین زده شده به وسیله روشهای ژئواستاتستیک. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ۲۷۵ ص.
- ۵- شمس الدینی، ع ۱۳۷۹. تغییرات منطقه ای بارندگی با استفاده از روش کریجینگ در استانهای شمالی. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ۱۶۹ ص.
- ۶- صفری، م ۱۳۸۱. تعیین شبکه پایش آب زیرزمینی دشت چمچمال با استفاده از تخمینگرهای زمین آماری. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۵۲ ص.
- ۷- مدنی، ح ۱۳۷۷. مبانی زمین آمار. دانشگاه صنعتی امیرکبیر، واحد تفرش، ۶۵۹ ص.
- ۸- موسوی نژاد، م و مهدیان، م ۱۳۷۹. تعیین روش میا نیابی مناسب برای بارندگی در اقلیم خشک و نیمه خشک حوزه مرکزی ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، مرکز آموزش عالی امام خمینی، ۱۶۳ ص.
- 9- Ben-Jemma, F., and Marino, M. A. 1990. Optimization of a groundwater well monitoring network. Int. Conf. on Optimizing the Resources for Water Management, Forth worth, Texas, April 17-21, 610-15.
- 10- Gupta, R. K. P. 1994. Modeling spatial patterns of three infiltration parameters. Canadian Agricultural Engineering, 36: 9-13.
- 11- Suxia, L., Xingguo, M., Haibin, L., Gongbing, P., and Robock, A. 2001. Spatial variation of soil moisture in China: Geostatistics characterization. Journal of Meteorological Society of Japan, 79: 555-74.