ارزیابی مدل های درون یابی محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی(GIS) در پهنه بندی داده های بارندگی استان فارس

سید امیر شمس نیا*[۱]، نادر پیرمرادیان[۲]

چکیده

داده های مربوط به بارندگی در هر منطقه نقشی بسیار مهم در بررسی مسائل هیدرولوژیکی و مطالعات منابع آب دارد. در دسترس بودن آمار و داده های بارندگی نیز از اهمیتی ویژه برخوردار است . در این میان مسئله ی بررسی پراکنش مکانی بارش ها بایستی مورد مطالعه قرار گیرد. روش های آماری درون یابی متنوعی وجود دارد که به کمک آنها می توان خطوط همباران را استخراج نمود ، اما به دلیل عدم کفایت آمار و داده های موجود و دقت پایین اندازه گیری ها، تخمین حاصله در برخی روش ها چندان رضایت بخش نیست . در دهه های اخیر مبانی دانش زمین آمار به خوبی گسترش یافته است و توانایی های این شاخه از آمار در بررسی و پیش بینی متغیرهای مکانی مشخص شده است . در این پژوهش از آمار بارندگی سالانه و مدل های گوناگون درون یابی استفاده شد. در بررسی مدل های زمین آمار نیز جهت تعیین پارامترهای مورد نیاز از نرم افزار GS^{+} استفاده گردید، سپس با استفاده از مدل های گوناگون درون یابی در محیط سامانه ی اطلاعات جغرافیایی (GIS)، پهنه بندی وضعیت بارش در استان فارس صورت گرفت . همچنین به منظور ارزیابی تخمین گرها، مقادیر درصد خطای هریک از مدل ها محاسبه شد. با توجه به نتایج به دست آمده ، مدل بهینه جهت پهنه بندی داده های بارش، تعیین و توصیه گردید.

واژه های کلیدی: مدل های درون یابی، زمین آمار، سامانه اطلاعات جغرافیایی، بارندگی.

[۱] - دانشجوی دکترای آبیاری و زهکشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

[۲] - استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز

* نویسنده و مسئول مقاله

پیشگفتار

در بررسی مسائل هیدرولوژیکی و منابع آب، تحلیل داده های بارندگی از اهمیتی ویژه برخوردار است. به همین دلیل همواره توجه دست اندرکاران این دانش بر روی روش هایی بوده است که بتوانند با استفاده از آنها، در نقاط فاقد آمار ، داده های بارندگی را به کمک داده های باران سنجی موجود تولید نمایند. روش های آماری درون یابی وجود دارد که به کمک آنها می توان خطوط همباران را استخراج نمود. طی چند دهه ی اخیر مبانی دانش زمین آمار به خوبی گسترش یافته است و توانایی های این شاخه از آمار در بررسی و پیش بینی متغیرهای مکانی مشخص شده است. تفاوت آمار کلاسیک با زمین آمار در این است که در آمار کلاسیک، اجزا یا نمونه هایی که از کل جامعه به منظور شناخت آن برداشت می شوند، فاقد داده های موقعیتی در فضا بوده و در نتیجه مقدار اندازه گیری شده یک کمیت معین در یک نمونه خاص هیچ گونه داده ای در مورد مقدار همان کمیت در نمونه ای دیگر به فاصله ی معلوم در بر نخواهد داشت. به بیان دیگر نتایج به دست آمده از اندازه گیری نمونه ها مستقل از موقعیت فضایی آنها مورد تحلیل قرار می گیرد. در حالی که در زمین آمار افزون بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه، موقعیت فضایی نمونه نیز مورد توجه قرار می گیرد. بنابراین می توان موقعیت فضایی نمونه ها را همراه با مقدار کمیت مورد نظر یکجا مورد تحلیل قرار داد. در زمین آمار به بررسی آن دسته از متغیرها پرداخته می شود که ساختار فضایی از خود بروز می دهند. بنابراین مزیت زمین آمار آن است که می توان با استفاده از داده های یک کمیت در مختصات معلوم ، مقدار همان کمیت را در نقطه ای با مختصات معلوم دیگر ، واقع در درون دامنه ای که ساختار فضایی حاکم است ، تخمین زد (حسنی پاک۱۳۷۷).

در سالیان اخیر حرکتی مستمر از پژوهش های تئوری به سمت پژوهش های کاربردی به ویژه در پردازش داده ها برای مسائلی که یا برای آنها راه حلی موجود نیست و یا براحتی قابل حل نیستند، آغاز شده است . پیشگامان تئوری های زمین آمار هوپر و واترمایر بودند که روی معادن طلا کار می کردند. نخستین مقاله در این زمینه توسط واترمایر در سال ۱۹۱۹ منتشر شد که در آن لزوم به کارگیری میانگین وزنی به جای میانگین حسابی بیان شده بود. در ضمن شباهت بین مقادیر نمونه ها به عنوان تابعی از فاصله آنها ارزیابی شد که این ارتباط پایه ی اصلی دانش زمین آمار را تشکیل می دهد. در زمین آمار بر خلاف آمار کلاسیک نمونه های مجاور تا فاصله ی معینی به هم وابسته اند (مدنی۱۳۷۷). این همبستگی توسط ابزاری به نام نیم تغییرنما بررسی می شود و در اصل اساس زمین آمار بر تعریف نیم تغییرنما استوار است (مک براتنی و وبستر۱۹۸۶). در تعریف نیم تغییرنما می توان از تعریف واریانس استفاده نمود. واریانس، وابستگی متقابل مقادیر دو نقطه به فاصله ی h را نشان می دهد. در زمین آمار واریانس توزیع اختلاف ها هنگامی که نقاط وابستگی زیادی با یکدیگر دارند ، اندک است. در اصل این واریانس بیانگر تاثیر نمونه ها در محیط پیرامون خود در یک ناحیه مثل حوزه آبخیز می باشد. این واریانس تغییرنما نامیده می شود. به آن دلیل که آنرا به صورت نمودار واریانس بر حسب فاصله ی h ترسیم می کنند و در ریاضی آنرا به صورت $2\gamma(h)$ نشان می دهند. مقدار $\gamma(h)$ را نیم تغییرنما می نامند (مدنی۱۳۶۹). ویژگی مهم نیم تغییرنما در این است که در جهات گوناگون می توان آنها را رسم نمود و روند ها را شناسایی کرد. برای استفاده از آن، لازم است ابتدا مدل تئوریکی به داده ها برازش داده شود و سپس از مدل نیم تغییرنمای به دست آمده، در فرآیند تخمین استفاده گردد. با استفاده از معادله ی ۱ می توان مقدار نیم تغییرنمای تجربی را محاسبه نمود (حسنی پاک۱۳۷۷).

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

$N(h)$: تعداد جفت نمونه های به کار رفته در محاسبه به ازای هر فاصله ای مانند h می باشد. شیوه های گوناگون درون یابی که در اینجا مورد مطالعه قرار می گیرند عبارتند از: مدل های وزن دهی معکوس فاصله (IDW) ، درون یابی موضعی (اسپیلاین) و کریجینگ. در روش وزن دهی معکوس فاصله مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم، با استفاده از مقدار همان کمیت

در نقاطی دیگر با مختصات معلوم به دست می آید. به بیان دیگر در این روش، ارزش یک متغیر براساس میانگین همسایه ها در محدوده های معین محاسبه می شود. به گونه ای که معکوس فواصل از نقاط مجهول وزن دهی می شود. هرچه فاصله ی نقاط مجهول از نقاط معلوم کاهش یابد ، وزن ارزش آن نقاط افزایش می یابد و نقاطی که ارزش آنها نا معلوم است ، با استفاده از نقاط اطراف در یک شعاع مشخص براساس معادله ی ۱ برآورد می شود (قهرودی تالی ۱۳۸۴ و بوت۲۰۰۰).

$$Z(x) = 1/N\left[\Sigma Z(x_i)\right] \qquad (۲)$$

اساس این روش بر مبنای این فرضیه است که در یک سطح درون یابی، اثر یک پارامتر بر نقاط اطراف یکسان نبوده و نقاط نزدیک ، بیشتر و نقاط دورتر ، کمتر تحت تاثیر قرار می گیرند. هرچه فاصله از مبدا افزایش می یابد، اثر پارامتر کمتر می شود. در پژوهشی که با استفاده از این روش صورت گرفته است ، جهت پهنه بندی خشکسالی با استفاده از شاخص استاندارد شده ی بارش و روش IDW، از توان دوم معکوس فاصله به اندازه ی سلول های ۲۰۰ متر و انجام محاسبات مربوطه، استفاده شده است. به کمک شاخص و روش یاد شده نقشه های پهنه بندی خشکسالی با استفاده از بارش ماهانه تهیه گردیده است (بداق جمالی و همکاران۱۳۸۱). در روش درون یابی موضعی ، توابع درون یابی ، معادلات ریاضی قطعه ای هستند که بر یک گروه کوچک از نقاط برازش داده می شوند. در حالی که پیوستگی بین منحنی ها نیز حفظ می شود. به بیان دیگر با درون یابی موضعی می توان حتی فقط برروی بخشی از داده ها عمل هموارسازی را انجام دهیم و پیوستگی بین منحنی ها را حفظ کنیم (قهرودی تالی۱۳۸۴). روش کریجینگ مهمترین و گسترده ترین روش درون یابی می باشد. کریجینگ روش درون یابی پیشرفته ای است که برای داده هایی که دارای روند موضعی تعریف شده ای باشند، مناسب است . این روش با کمترین واریانس تخمین، درون یابی می کند و میزان خطای آن تابع ویژگی های تغییرنما می باشد. اگر مطالعات مربوط به تشخیص مدل تغییرنما با دقت کافی انجام شود، درون یابی با روش کریجینگ از دقتی بالا برخوردار خواهد بود (قهرودی تالی۱۳۸۴). کریجینگ، همراه هر تخمین، مقدار خطای آن را نیز می دهد و به این ترتیب می توان مقدار متوسط خطاها را محاسبه کرد (حسنی پاک۱۳۷۷).

پژوهش هایی گسترده درزمینه ی به کارگیری زمین آمار و تخمینگر کریجینگ در موضوع های گوناگون انجام شده است. در پژوهشی که در کانادا انجام شد، گوپتا نشان داد که از بین سه پارامتر موثر در معادله ی نفوذ آب، هدایت هیدرولیکی اشباع بیشترین تغییرات و کمترین همبستگی مکانی را نسبت به دو پارامتر ضریب جذب و سرعت نفوذ داشته است (گوپتا۱۹۹۴). 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 روش های مبتنی بر آمار کلاسیک بود (بن جما و مارینو۱۹۹۰). در سال ۲۰۰۱ نتایج حقیقی که بر روی تغییرات مکانی رطوبت خاک در چین شرقی با استفاده از روش های زمین آمار انجام شده بود، ارائه گردید. براساس این نتایج هرچه اندازه گیری ها در عمق بیشتری از خاک صورت پذیرد، میزان خطای پیش بینی بیشتر است (ساکسیا و همکاران۲۰۰۱). در ایران نیز از این روش در مواردی گوناگون استفاده شده است. برای 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 (رضوانی۱۳۷۵). در مطالعه ای در استان های شمالی ایران تغییرات منطقه ای بارندگی با استفاده از روش کریجینگ محاسبه شد (شمس الدینی۱۳۷۹). در پژوهشی که جهت پهنه بندی داده های بارندگی با استفاده از روش های آمار کلاسیک و زمین آمار می باشد، نتایج نشان داد که تخمین گرهای زمین آماری نتایج بهتری را نسبت به آمار کلاسیک نشان می دهند و در میان تخمین گرهای زمین آمار کریجینگ و کوکریجینگ دارای این توانایی هستند که میزان بارندگی در نقاط فاقد آمار را با دقت قابل قبولی برآورد نمایند (مدنی۱۳۷۷). هدف از انجام این پژوهش ، استفاده از مدل های گوناگون درون یابی و پهنه بندی داده های بارش در محیط سامانه

اطلاعات جغرافیایی (GIS) است تا بدین ترتیب بتوان نقشه های همباران را استخراج نمود. همچنین در این مقاله جهت ارزیابی مدل ها، پس از بررسی وضعیت بارش نسبت به میانگین بلند مدت و تعیین درصد مقادیر خطا و میانگین خطای هریک از تخمین گرها، بهترین مدل در پهنه بندی داده های بارش تعیین می شود.

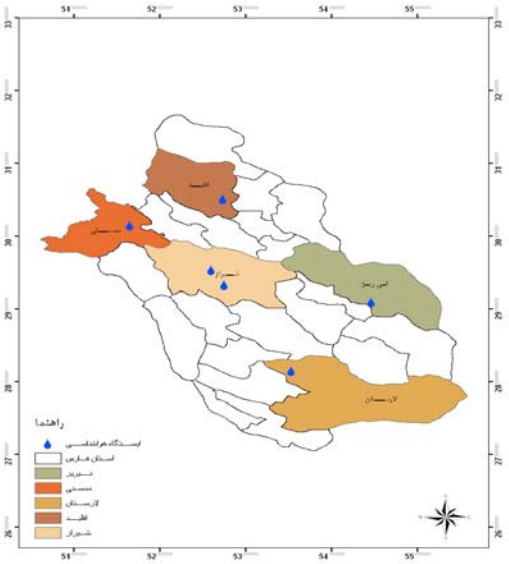
مواد و روش ها

در این پژوهش از داده های بارانسنجی ۹۰ ایستگاه در استان فارس و جهت بالابردن دقت درون یابی از ۳۵ ایستگاه در استان های مجاور (اصفهان، یزد، کرمان، هرمزگان، بوشهر و کهکیلویه و بویر احمد) استفاده گردید. با توجه به موارد گوناگونی که در مطالعات داده های هواشناسی مد نظر است ، یک دوره ی آماری مشترک ۳۰ ساله (۵۲- ۱۳۵۱تا ۸۱-۱۳۸۰)، جهت تجزیه و تحلیل آماری و بررسی دوره های تر و خشک انتخاب گردید.

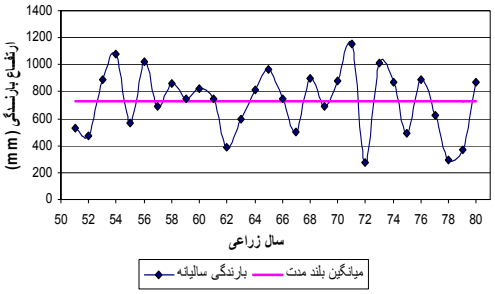
انتخاب دوره ی آماری ۳۰ ساله به این دلیل است که اولاً داده های موجود در سال های اخیر با توجه به افزایش اطلاعات دیده بان ها و پیشرفت فناوری از دقت و اعتبار بالاتری برخوردار است و ثانیا به دلیل خلاء کمتر داده ها در این بازه زمانی میزان داده های بازسازی شده کاهش می یافت. به منظور بهره گیری از آمارهای اشاره شده ، ابتدا داده های بارش ماهانه ی کلیه ی ایستگاهها به لحاظ صحت و همگنی از روش آماری ران تست، مورد بررسی قرار گرفت. با اطمینان از همگنی داده ها ، داده های مفقود شده ی هر ایستگاه با استفاده از داده های نزدیکترین ایستگاه مبنا و بکارگیری روش EM الگوریتم توسط نرم افزار SPSS برآورد گردید. این روش نسبت به روش های دیگر در تخمین داده های مفقود شده از دقتی بالاتر برخوردار است و می تواند بر اساس حداکثر تخمین مورد انتظار عمل نماید و با پردازش به صورت تکرار های متوالی، بهترین تخمین را اعمال نماید (فیگوئیردو ۲۰۰۴). از میان ۹۰ ایستگاه استان فارس، ۶ ایستگاه در بخش های گوناگون منطقه مورد مطالعه (شکل۱) انتخاب گردید تا در مراحل اولیه، وضعیت سال های تر و خشک مشخص شود. از ایستگاههای یاد شده جهت بررسی میزان بارش نسبت به میانگین بلند مدت و همچنین جهت ارزیابی نتایج بدست آمده از مدل های درون یابی استفاده گردید. سپس براساس نمودارهای یاد شده، جهت مقایسه ی روش های درون یابی ، سال های تر و خشک مشخص گردید و تحلیل های مربوط بر روی ۱۱۹ ایستگاه انجام گرفت . در این راستا به منظور تحلیل به روش کریجینگ و تعیین مدل نیم تغییرنمای مناسب و پارامترهای آن، از نرم افزار GS^+ استفاده شد. داده های مربوط به ویژگی های جغرافیایی و Z-Value که مقادیر بارش سالانه می باشد، به عنوان ورودی به نرم افزار داده شد. در این نرم افزار با اعمال مدل مورد نظر و انتخاب نیم تغییر نمای مناسب ، تحلیل های گوناگونی انجام گرفت. نتایج بدست آمده به نرم افزار GIS انتقال داده شد و براساس روش کریجینگ نقشه های پهنه بندی داده های بارش به صورت رستری ترسیم گردید . در روش وزن دهی معکوس فاصله و درون یابی موضعی نیز، داده های مربوط به ایستگاههای باراسنجی به نرم افزار GIS داده شد و براساس مدل های یاد شده نقشه های رستری تهیه گردید. تحلیل هایی گوناگون بر روی نقشه های رستری بدست آمده انجام گرفت و نقشه ها کلاس بندی شدند و برای آنها رستر کد تعریف گردید. در اینجا هدف از کلاس بندی ، مشخص کردن وضعیت بارش در مناطق گوناگون نسبت به میانگین بلند مدت است. پس از کلاس بندی، تجزیه و تحلیل های مکانی بر روی نقشه ها انجام گرفت ، تا ارتباط لازم بین عوارض برقرار شود. در نهایت، نقشه های پهنه بندی حاصله با نقشه ی استان فارس انطباق داده شد. سپس با مقایسه ی نتایج مدل های گوناگون درون یابی و نمودارهای بارش نسبت به میانگین بلندمدت در ایستگاههای منتخب، بهترین مدل درون یابی تخمین گر جهت پهنه بندی داده های بارندگی در استان فارس مشخص شد.

نتایج

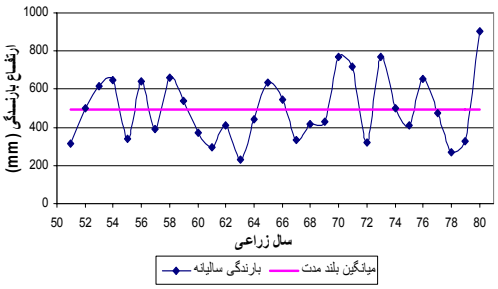
میزان بارندگی سالانه در هریک از سال های زراعی و میانگین بلند مدت در دوره آماری مورد نظر در هر یک از ایستگاههای منتخب استان فارس تعیین شد (شکل های ۲ تا ۷). بدین روش میزان کاهش یا افزایش بارش نسبت به میانگین بلند مدت و روند تغییرات بارش در سال های زراعی گوناگون نیز، مشخص گردید. نتایج حاصله از مقادیر تغییرات بارندگی سالانه نسبت به میانگین بلند مدت در هر یک از ایستگاهها، می تواند وضعیت بارش در رخداد خشکسالی یا ترسالی و امکان انتخاب سال های تر و خشک را فراهم نماید. بررسی نمودارها نشان می دهد که میزان بارش در سال های ۵۱، ۵۲، ۵۵، ۶۱، ۶۲، ۶۳، ۶۴، ۶۷، ۷۲، ۷۵ و ۷۸ تا ۷۹ در تمامی ایستگاههای منتخب کمتر از میانگین بلند مدت است و لذا این سال ها از نظر هواشناسی و بارندگی جزء سال های خشک طبقه بندی می شود. میزان بارش در سال های ۵۳، ۵۴، ۵۶ تا ۵۸، ۶۵، ۷۱، ۷۳، ۷۴ و ۷۶ تقریبا در تمامی ایستگاهها بیشتر از میانگین بلند مدت می باشد. لذا این سال ها جزو سال های تر طبقه بندی می شود. با توجه به نتایج بدست آمده از طبقه بندی سال های خشک و تر، جهت مقایسه ی مدل های درون یابی ، سال ۷۸ به عنوان سال خشک و سال ۷۴ به عنوان سال تر انتخاب می شوند.



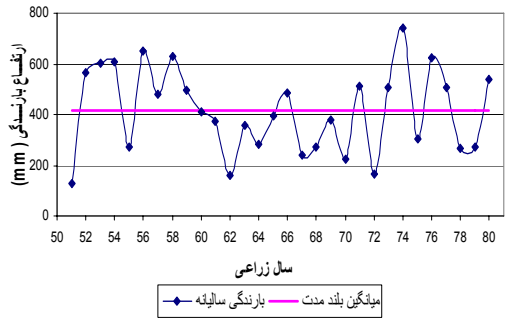
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاههای منتخب جهت صحت سنجی و ارزیابی مدل های درون یابی



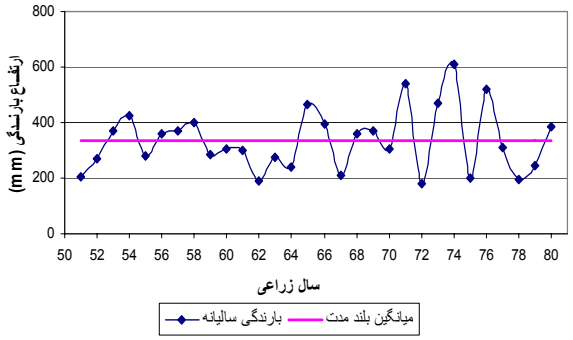
شکل ۲- میزان بارندگی سالیانه و متوسط بلند مدت ایستگاه ممسنی.



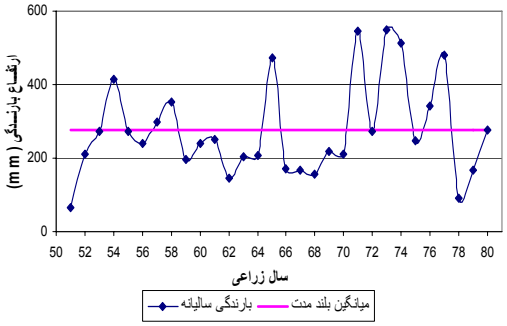
شکل ۳- میزان بارندگی سالیانه و متوسط بلند مدت ایستگاه اقلید.



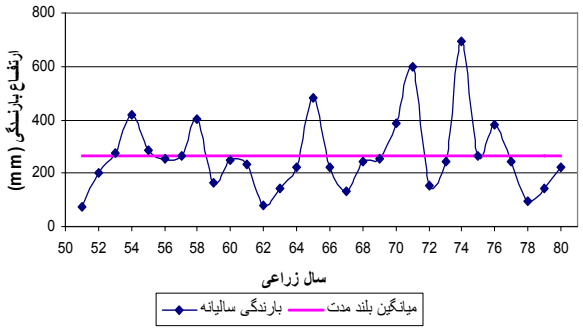
شکل ۴- میزان بارندگی سالیانه و متوسط بلند مدت ایستگاه مهارلو.



شکل ۵- میزان بارندگی سالیانه و متوسط بلند مدت ایستگاه شیراز.



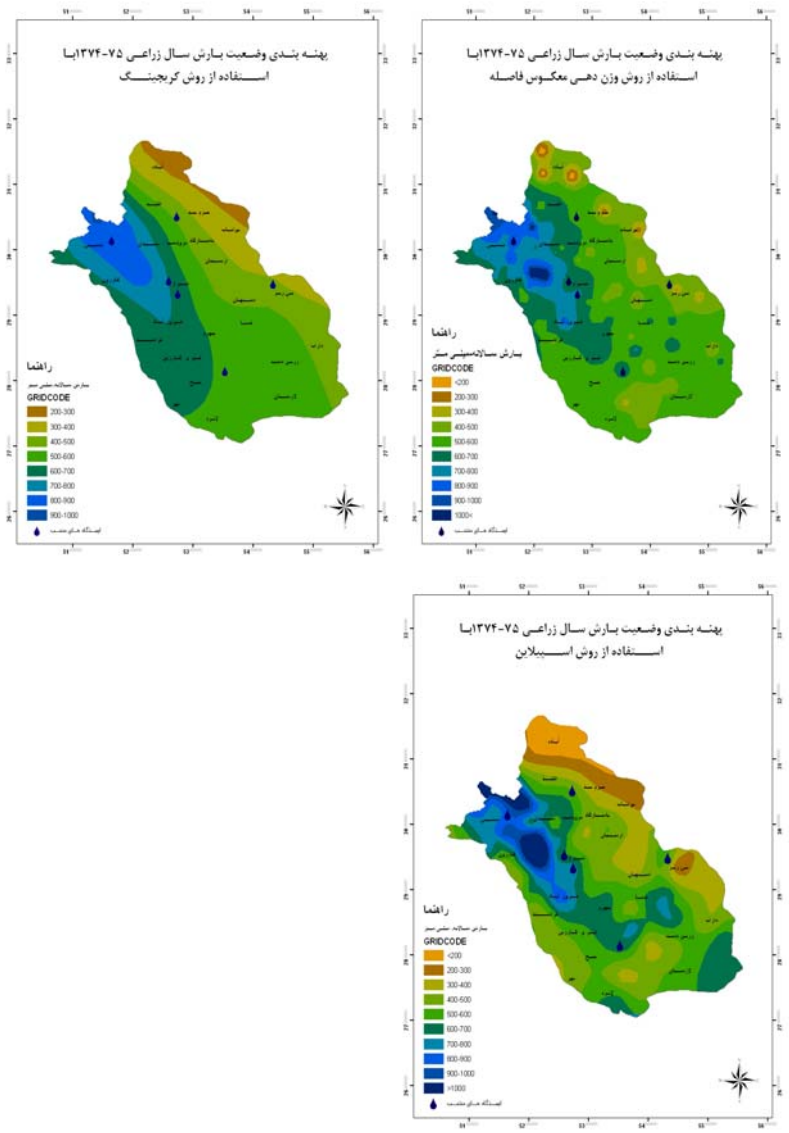
شکل ۶- میزان بارندگی سالیانه و متوسط بلند مدت ایستگاه نیریز.



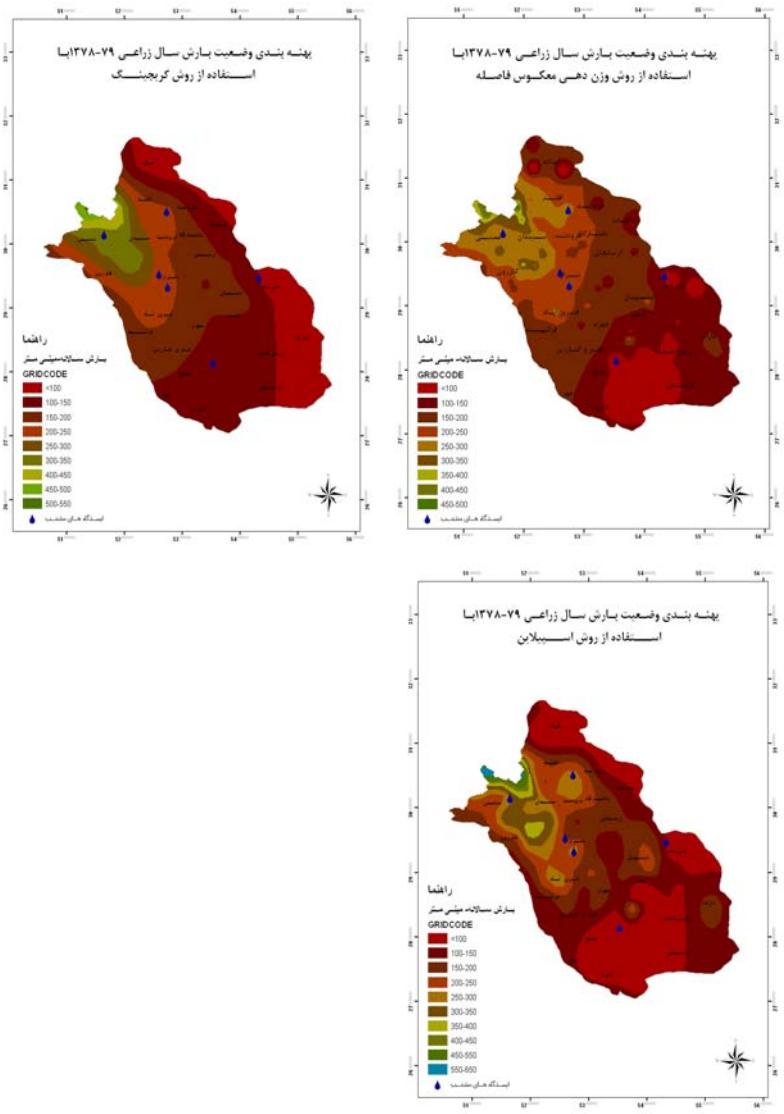
شکل ۷- میزان بارندگی سالیانه و متوسط بلند مدت ایستگاه لارستان.

شکل های ۸ و ۹ پهنه بندی داده های بارش استان فارس با استفاده از سه روش درون یابی وزن دهی معکوس فاصله، درون یابی موضعی و کریجینگ را نشان می دهند. شکل ۸ مربوط به سال های زراعی ۷۵-۱۳۷۴ می باشد که به عنوان سال تر و شکل (۹) مربوط به وضعیت بارش سال زراعی ۷۹-۱۳۷۸ است که به عنوان سال خشک پهنه بندی شده است. همان گونه که در هر دو شکل دیده می شود ، پهنه بندی به کمک روش وزن دهی معکوس فاصله به صورت لکه ای و خطوط شکسته بوده و نقشه های همباران به خوبی قابل تشخیص نیستند. نقشه های بدست آمده از روش درون یابی موضعی نیز تا حدودی وضعیت لکه ای شکل دارند، اما به دلیل آنکه خاصیت این مدل هموارسازی است و پیوستگی منحنی ها را حفظ می نماید (قهرودی تالی۱۳۸۴)، ترسیم خطوط همباران و پهنه بندی بهتر صورت گرفته است. نتایج بدست آمده از پهنه بندی بارندگی به کمک روش کریجینگ به خوبی و با دقت بالایی صورت گرفته است و حتی روند تغییرات بارش نیز کاملا قابل تشخیص است. روی هم رفته در مدل های وزن دهی معکوس فاصله و درون یابی موضعی دامنه تاثیر و محدوده ای که در آن درون یابی انجام می گیرد، تاثیر گذار نمی باشد و درون یابی فقط براساس فاصله و وزن انجام می گیرد، در حالی که به جز عامل فاصله عوامل دیگری نظیر دامنه تاثیر و واریانس خطا نیز موثر می باشند. در راستای بررسی پهنه بندی به کمک روش های گوناگون، مقادیر بارش اندازه گیری شده در ایستگاههای منتخب و مقادیر بارش بدست آمده با استفاده از روش های گوناگون درون یابی در جدول ۱ نشان داده شده است. به کمک جدول مذکور درصد خطای نسبی و میانگین خطای هریک از مدل ها نیز محاسبه گردیده است (جداول ۲و۳). نتایج حاکی از آن است که درصد نسبی خطا در بیشتر موارد و میانگین خطاها در مدل کریجینگ کمتر از سایر مدل ها بوده و این

مدل درون یابی را با دقتی بالاتر انجام می دهد. در مدل کریجینگ پس از آنکه ویژگی های نقاط بررسی گردید، نیم تغییرنمای بهینه در ۴ جهت صفر، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه ترسیم می شود که خود می تواند جهت بررسی رفتار مدل مورد استفاده قرار گیرد. در این مدل افزون بر تعیین میانگین خطاها، توزیع آنالیز آنها نیز قابل بررسی است که به کمک آن می توان بخش هایی را که خطا بالاست و برای کاهش آن به داده هایی بیشتر نیاز است را مشخص و تحت پوشش قرار داد (حسنی پاک۱۳۷۷). اما بررسی خطاها در هیچ کدام از مدل های وزن دهی معکوس فاصله و درون یابی موضعی انجام نمی گیرد و به همین علت است که در پهنه بندی با استفاده از مدل کریجینگ خطاهای احتمالی کاهش یافته و نقشه ها با دقتی بالا ایجاد می شوند. لذا با توجه به نتایج موجود روش کریجینگ به عنوان مدل بهینه در پهنه بندی داده های بارش در استان فارس تعیین و توصیه می گردد. مدل درون یابی موضعی نیز درصد خطای کمتری نسبت به مدل وزن دهی معکوس فاصله داشته و هموارسازی و درون یابی را با دقتی بیشتر انجام می دهد و با افزایش توان مدل ، نقش فاصله در درون یابی کم شده و پهنه بندی دقیق تری می تواند صورت گیرد.



شکل ۸- پهنه بندی وضعیت بارش سال زراعی ۷۵-۱۳۷۴ با استفاده از مدل های درون یابی (وزن دهی معکوس فاصله (IDW)، درون یابی موضعی (اسپیلاین)، کریجینگ).



شکل ۹- پهنه بندی وضعیت بارش سال زراعی ۷۹-۱۳۷۸ با استفاده از مدل های درون یابی (وزن دهی معکوس فاصله (IDW)، درون یابی موضعی (اسپیلاین)، کریجینگ).

جدول ۱- مقادیر بارش سالانه و مقادیر بارش تخمین زده شده با استفاده از مدل های گوناگون درون یابی در هریــک از ایستگاههای منتخب (برحسب میلی متر).

نام ایستگاه	مقادیر بارش سال زراعی۷۵-۱۳۷۴	تخمین بارش سال زراعی ۱۳۷۴-۷۵			مقادیر بارش سال زراعی۷۹-۱۳۷۸	تخمین بارش سال زراعی ۱۳۷۸-۷۹		
		مدل IDW	مدل Kriging	مدل Spline		مدل IDW	مدل Kriging	مدل Spline
ممسنی	۸۷۰/۵	۸۱۲/۹۵	۸۵۹/۲۵	۸۹۵/۲	۲۹۷	۲۷۴/۵	۳۰۸/۵	۲۸۰/۵
اقلید	۴۹۷	۵۷۸/۳۴	۴۶۶/۹	۴۱۹/۷۴	۲۶۸	۲۸۸/۵	۲۴۲/۳	۲۸۶/۱
مهارلو	۷۴۱	۷۸۴/۴	۶۸۳/۱	۷۸۰/۱	۲۶۹	۲۲۸/۴	۲۴۳/۸	۲۹۳/۵
شیراز	۶۱۱/۸	۶۷۴/۳۵	۶۵۴/۱۴	۶۷۰/۲۵	۱۹۲/۸	۲۳۴/۳	۲۱۱/۱	۱۶۲/۷
نیریز	۵۱۴	۵۷۴/۲	۴۵۳/۲	۵۷۰/۳۸	۹۱/۵	۹۸/۵	۹۴/۵	۹۷/۳
لارستان	۶۶۷	۶۱۸/۳	۵۸۶/۲	۶۲۷/۵	۹۶/۵	۸۱/۲	۱۰۴/۲	۸۳/۵

جدول ۲- درصد خطای مقادیر بارش تخمین زده شده ایستگاههای منتخب در هریک از مدل های درون یابی.

نام ایستگاه	درصد خطا- سال زراعی ۱۳۷۴-۷۵			درصد خطا- سال زراعی ۱۳۷۸-۷۹		
	مدل IDW	مدل Kriging	مدل Spline	مدل IDW	مدل Kriging	مدل Spline
ممسنی	۶/۶۱٪	۱/۲۹٪	۲/۸۳٪	۷/۵۷٪	۳/۸۷٪	۵/۵۶٪
اقلید	۱۶/۳۵٪	۶/۰۵٪	۱۵/۵۴٪	۷/۶۵٪	۹/۵۸٪	۶/۷۵٪٪
مهارلو	۵/۸۶٪	۷/۸۱٪	۵/۲۷٪	۱۵/۰۹٪	۹/۳۶٪	۹/۲٪
شیراز	۱۰/۲۲٪	۶/۹٪	۹/۵٪	۲۱/۵٪	۹/۴۹٪	۱۵/۱٪
نیریز	۱۱/۷٪	۱۱/۸٪	۱۰/۹٪	۷/۶۵٪	۳/۲۷٪	۶/۳۵٪
لارستان	۷/۳٪	۱۲/۱۱٪	۵/۹۲٪	۱۵/۸۵٪	۷/۹۷٪	۱۳/۴۷٪

جدول ۳- درصد میانگین خطای هر یک از مدل های درون یابی.

نام مدل	میانگین خطا (سال زراعی ۷۵-۱۳۷۴)	میانگین خطا (سال زراعی ۷۹-۱۳۷۸)
IDW	۹/۶۷٪	۱۲/۵۵٪
Kriging	۷/۶۶٪	۷/۲۵٪
Spline	۸/۳۲٪	۹/۴٪

منابع

بداق جمالی ج، جوانمرد س، شیرمحمدی و ر. ۱۳۸۱. پایش و پهنه بندی وضعیت خشکسالی استان خراسان با استفاده از نمایه استاندارد شده بارش. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. مجله شماره ۶۷. مقاله شماره۵۵۰. ۲۱-۴.

حسنی پاک ع ا. ۱۳۷۷. زمین آمار (ژئواستاتیستیک). موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران. ۳۱۴.

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 بوسیله روش های ژئواستاتیستیکی. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ۲۷۵.

شمس الدینی ع. ۱۳۷۹. تغییرات منطقه ای بارندگی با استفاده از روش کریجینگ در استان های شمالی. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ۱۵۲ صفحه.

قهرودی تالی م. ۱۳۸۴. سیستم های اطلاعات جغرافیایی در محیط سه بعدی(GIS سه بعدی در ArcGIS). انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تربیت معلم. ۲۷۳.

مدنی ح. ۱۳۶۹. زمین آمار(ترجمه). مرکز انتشارات صنعت فولاد. ۱۵۶.

مدنی ح. ۱۳۷۷. مبانی زمین آمار. دانشگاه صنعتی امیر کبیر، واحد تفرش. ۶۵۹.

میثاقی ف، محمدی ک. ۱۳۸۵. پهنه بندی اطلاعات بارندگی با استفاده از روش های آمار کلاسیک و زمین آمار و مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی. مجله علمی کشاورزی، جلد ۲۹، شماره ۴.

Ben-Jemma F, Marino MA. ۱۹۹۰ Optimization of a ground water well monitoring network. Int. Conf. on Optimizing the Resources for Water Management, Forth Worth, Texas, April ۱۷-۲۱, ۶۱۰-۱۵.

Booth B. ۲۰۰۰. Using ArcGIS ۳D Analyst. GIS by Esri. Copyright, Environmental Systems Research Institude.

Figueiredo MAT. ۲۰۰۴. Lecture notes on the EM algorithm. Portugal, instituto de telecomunicacoes, Instituto Superior Tecnico, ۱۰۴۹-۰۰۱ Lisboa.

Gupta RKP. ۱۹۹۴. Modeling spatial patterns of three infiltration parameters. Canadian Agricultural Engineering, ۳۶: ۹-۱۳.

Mackbratni AB, Webster R. ۱۹۸۶. Choosing functions for Semivariograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. J. Soil Sci. ۳۷: ۶۱۷-۶۳۹.

Suxia L, Xingguo M, Haibin L, Gongbing P, Robock A. ۲۰۰۱. Spatial variation of soil moisture in China: Geostatistics characterization. Journal of Meteorological Society of Japan, ۷۹: ۵۵۵-۷۴.