بررسی تغییرات منطقه‌ای بارش سالانه باکاربرد روش‌های زمین آمار (مطالعه‌ی موردی: استان فارس)

بهرام ثقفیان[۱] ، هما رزمخواه*[۲] و باقر قرمز چشمه[۳]

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱/۱۸

چکیده

درون یابی یکی از مهم‌ترین روش‌هایی است که اقلیم‌شناسان در مطالعات پهنه‌بندی از آن بهره مند می‌شوند. روش‌های درون‌یابی بر حسب ملاک‌های گوناگون قابل تقسیم می‌باشند. در این پژوهش تلاش بر آن است که ضمن معرفی روش درون یابی کریجینگ و کوکریجینگ، به عنوان یکی از روش‌های دقیق و پرکاربرد، مراحل انجام این فرایند با ذکر مثالی صورت گیرد. در این راستا، میانگین بارش سالانه‌ی ۱۲ ایستگاه سینوپتیک در استان فارس مورد بررسی قرار گرفت. بمنظور درون یابی میانگین بارش سالانه، در ابتدا سهمی واریوگرام تجربی محاسبه و ترسیم شد. سپس ۱۰ شبیه زمین آماری کریجینگ و کوکریجینگ با متغیر کمکی ارتفاع بر این سهمی واریوگرام برازش یافت و با کاربرد روش ارزیابی متوالی، خطای تخمین شبیه‌ها برآورد شد. نتایج نشان دادند که برازش شبیه گوسی کریجینگ و کوکریجینگ بر سهمی واریوگرام داده‌های بارش سالانه با دامنه‌ی تاثیر ۲۰۰ کیلومتر، بهترین الگو برای درون یابی میانگین بارش سالانه در منطقه‌ی مطالعاتی است. کاربرد متغیر کمکی ارتفاع برای درون یابی داده‌های بارش سالانه، در نتایج بهبودی حاصل نکرد.

واژه‌های کلیدی: درون یابی، کریجینگ، کوکریجینگ، میانگین بارش سالانه.

۱- استاد مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.

۳- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.

*- نویسنده‌ی مسئول مقاله:homarazmkhah@gmail.com

مقدمه

به فرایند برآورد ارزش‌های کمی، برای نقاط بدون داده، به کمک نقاط مجاور و معلوم، درون یابی می‌گویند. این فرایند به دلیل محدودیت داده‌های نقطه‌ای و ضرورت تدوین نقشه از کل یک پهنه، بمنظور تهیه‌ی نقشه‌های هم‌ارزش (هم‌باران، هم‌دما و ...) انجام می‌گیرد (عساکره، ۱۳۸۷). این کار معمولا برای یک شبکه یا گره، یا تمامی سلول‌های یک پهنه صورت می‌گیرد. بنابراین، درون یابی به معنای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های پهنه‌ای است (تسونگ، ۲۰۰۴). در تعیین ارزش یک نقطه تمامی نقاط مجاور و معلوم به گونه‌ی یکسان و همسان موثر نیستند. لذا، هر یک از نقاط یاد شده به تناسب تاثیرشان بر ارزش نقطه‌ی مجهول، حامل وزنی خواهند بود. روش‌های تعیین وزن‌های مرتبط با هر یک از نقاط سبب تکوین روش‌های گوناگونی در درون یابی شده است. ارکان اساسی در درون یابی عبارتند از: تعیین پیمونگاه (محدوده‌ای که متغیر مکانی در آن اندازه گیری شده و دارای ارزش معلوم می‌باشد) و تعیین شبکه که به معنی تشخیص اندازه‌ی بهینه برای سلول‌های نقشه است، به گونه‌ای که کیفیت و توان تفکیک نقشه به بهترین شیوه نمود یابد.

درون یابی را به چند روش می‌توان انجام داد. در ابتدا می توان این روش‌ها را به دو گروه جهانی[۱] و محلی[۲] طبقه‌بندی کرد. درون یابی جهانی تمامی نقاط معلوم را برای برآورد ارزش نقاط نامعلوم بکار می‌گیرد، در حالی که روش محلی برای برآورد هر نقطه‌ی نامعلوم، تنها نمونه‌هایی از نقاط معلوم را بکار می‌برد. در طبقه‌بندی دیگر، دقت روش ملاک طبقه‌بندی است. در روش دقیق[۳] مقادیر برآورد شده به مشاهدات (اندازه گیری‌ها) نزدیک‌تر است، درحالی‌که در روش غیر دقیق[۴]، تقریبی از ارزش‌ها بوده و سطحی را برآورد می‌کند که از پیمونگاه می‌گذرد. سومین ملاک طبقه‌بندی روش‌های درون یابی، مبتنی بر قطعی یا احتمالی بودن تخمین است. در روش قطعی، مقادیر تخمینی فاقد خطا، ولی در روش احتمالی، برآورد حاوی خطاست. روش‌های درون یابی، از هر نوع که باشند، می‌تواند به صورت معادله‌ی خطی یا غیر خطی باشند. این پژوهش بمنظور معرفی و روش مراحل درون یابی کریجینگ است. روش کریجینگ برای داده‌هایی که پراکنش نامنظم دارند، بکار می‌رود و روشی محلی، احتمالی، دقیق، خطی، نا اریب و با واریانس کمینه در یک نقطه می‌باشد (عساکره، ۱۳۸۷).

از کاربردهای روش‌های زمین آمار، تخمین میانگین بارش منطقه‌ای است. در این ارتباط، ایگوزکویزا (۱۹۹۸) بمنظور تخمین میانگین بارش حوضه‌ی آبخیز رود گودال هورس در اسپانیای شمالی، از روش‌های کلاسیک (سنتی) تیسن و کریجینگ معمولی (داده های بارش) و کوکریجینگ و کریجینگ همراه با روند (داده‌های بارش و ارتفاع) استفاده کرد. نتایج نشان دادند که کریجینگ همراه با روند به نتیجه‌ای مناسب‌تر می‌رسد. پرودهوم و رد (۱۹۹۹) در پژوهشی ثابت کردند که استفاده از داده‌های توپوگرافی به دقت پیش‌بینی بارش در روش کریجینگ معمولی کمک می‌کند. دروگو و همکاران (۲۰۰۲) بمنظور تهیه‌ی شبیهی تحلیلی برای تولید نقشه‌ی مکانی بارش‌های کوهستانی در شمال شرقی فرانسه، با کاربرد شبیه پلوویا[۵]، روش‌های وایازی خطی چند متغیره بین فراسنج‌های بارش و فراسنج‌های ریخت شناسی ناشی از شبیه رقومی دیجیتال[۶]، روش‌های چند متغیره‌ی زمین آماری نظیر کریجینگ همراه با روند و کوکریجینگ را بر داده‌های ۲۰ ساله‌ی شبکه‌ای شامل ۱۵۰ ایستگاه به مساحت ۳۰۰۰۰ کیلومتر مربع مقایسه کردند. دیاداتو و سسرالی (۲۰۰۵) با کاربرد روش‌های زمین آماری چند متغیره به تهیه‌ی نقشه‌های مکانی بارش در کوههای سانیو واقع در ایتالیای شمالی پرداختند. هدف از این پژوهش بررسی نقش شبیه رقومی دیجیتال در بهبود فرایند درون یابی در مقیاس‌های زیرحوضه‌ای برای تهیه‌ی نقشه‌های میانگین بارش سالانه و ماهانه‌ی بارش ۴۰ ساله در منطقه‌ای به وسعت ۱۴۰۰ کیلومتر مربع بود. به این منظور، افزون بر رابطه‌ی ساده‌ی وایازی خطی بین ارتفاع و بارش، روش وزن دهی عکس فاصله[۷] و کریجینگ

[1]- Global
[2]- Local
[3]- Exact
[4] -Inexact

[5]- PLUVIA
[6] -DEM
[7] -Inverse Distance Weights

معمولی نیز بکار رفت. ارزیابی نشان داد که روش وزن دهی عکس فاصله خطایی بیش‌تر از وایازی خطی و کریجینگ معمولی در برداشت. چنگ و همکاران (۲۰۰۸) بمنظور تخمین میانگین منطقه‌ای بارش و تخمین نقطه‌ای در مناطق بدون ایستگاه، به ارزیابی شبکه‌ی باران سنجی با کاربرد روش‌های زمین آمار پرداختند. تحلیل واریوگرام نشان داد که بارش ساعتی از تغییرات مکانی بالاتری نسبت به بارش‌های سالانه برخوردار است.

از دیگر کاربردهای این ابزار، بررسی کفایت ایستگاههای باران سنجی بمنظور اصلاح و گسترش آن می‌باشد. در این ارتباط، هیلاری و همکاران (۲۰۰۳) به ارزیابی تاثیر تراکم شبکه‌ی ایستگاههای آب و هواشناسی بر تخمین بارش سالانه و روزانه‌ی وقایع بارندگی و رواناب حوضه در شمال ایالات متحده آمریکا پرداختند. نتایج نشان دادند که افزایش تعداد ایستگاهها بر کیفیت تخمین توزیع مکانی بارش در منطقه موثر است. چن و همکاران (۲۰۰۷) بمنظور اصلاح شبکه‌ی باران سنجی کشور تایوان به ترکیب روش‌های کریجینگ و آنتروپی[1] پرداختند. نتایج نشان دادند که کم‌ترین تعداد ایستگاه باران سنجی لازم برای منطقه هفت ایستگاه است.

در ارتباط با تهیه‌ی نقشه‌های مکانی بارش و خشکسالی در ایران، قهرودی تالی (۱۳۸۱) به ارزیابی درون یابی به روش کریجینگ و وزن دهی عکس فاصله در استان کرمان پرداخت. نتایج نشان دادند که شبیه کریجینگ وابستگی زیادی به تعداد نقطه‌ی نمونه برداری، و فاصله‌ی آن‌ها از یکدیگر دارد، به گونه‌ای که با تغییر آن‌ها الگوی ساختار مکانی تغییر می‌کند. ثقفیان و رحیمی بندر آبادی (۱۳۸۴) قابلیت چند روش درون یابی از جمله میانگین متحرک وزنی و کریجینگ برای برآورد توزیع مکانی بارندگی ماهانه و سالانه‌ی جنوب غربی ایران را بررسی کردند. مقایسه‌ی روش‌ها با کاربرد روش اعتبارسنجی تقاطعی نشان داد که روش کوکریجینگ تغییرات مکانی بارندگی در منطقه را بهتر نشان داده و با توپوگرافی منطقه هماهنگی بیش‌تری دارد. کاربرد داده‌های بازسازی شده نیز دقت برآورد را کاهش می‌دهد. شقاقی و همکاران (۱۳۸۵) به ارزیابی تغییرات منطقه‌ای بارش ماهانه و سالانه‌ی حوضه‌ی کارون با کاربرد روش‌های زمین آمار پرداخته، با استفاده از داده‌های ۲۸ ایستگاه هواشناسی با دوره‌ی آماری ۲۸ ساله روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ با متغیر کمکی ارتفاع و وزن دهی عکس فاصله با توان‌های ۱ تا ۴ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که برای برآورد بارندگی ماهانه و سالانه روش کریجینگ تخمین بهتری به عمل آورد. میثاقی و محمدی (۱۳۸۵) به پهنه بندی اطلاعات بارندگی حوضه آبخیز مارون با استفاده از روشهای آمار کلاسیک(سنتی) و زمین آمار پرداختند و نتایج را با برآورد صورت گرفته با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی مقایسه کردند. مقایسه نتایج حاصل از روشهای مذکور بیانگر برتری روشهای زمین آمار و تخمینگرهای کریجینگ و کوکریجینگ بود. سلیمانی و همکاران (۱۳۸۵) نیز بمنظور تحلیل منحنی‌های عمق، سطح و تداوم بارش[2] در مناطق خشک و نیمه خشک به ارزیابی روش‌های گرادیان بارش، آمار کلاسیک (سنتی) و روش‌های زمین آمار پرداختند. در این پژوهش، پس از جمع آوری آمار و داده‌های ۵۹ ایستگاه باران سنجی واقع در محدوده‌ی مطالعاتی، بارندگی‌های فراگیر با تداوم ۱ تا ۳ روزه انتخاب و برای رسم نقشه‌های همباران مورد استفاده قرار گرفت. ارزیابی روش‌های وزن دهی عکس فاصله با توان‌های ۱ تا ۳ و روش کریجینگ نشان داد که روش کریجینگ در تعیین میانگین بارش در منطقه‌ی مورد مطالعه ارجح است. لذا، برای تهیه‌ی نقشه‌های هم‌باران ۱ تا ۳ روزه، منحنی‌های عمق، سطح و تداوم بارش بکار رفته و تبدیل بارندگی نقطه‌ای به میانگین بارش برای مساحتی تا ۲۰ هزار کیلومتر مربع در منطقه امکان پذیر شد و میانگین بارش تداوم‌های ۱ تا ۳ روزه به ترتیب برابر با ۱/۹۸، ۱/۷۴ و ۱/۴۸ محاسبه گردید. رحیمی بندرآبادی و ثقفیان (۱۳۸۶) به برآورد توزیع مکانی بارندگی با کاربرد نظریه‌ی مجموعه‌های فازی پرداختند. در این مطالعه، قابلیت روش فازی کریجینگ ارزیابی و سپس با روش‌هایی از جمله کریجینگ معمولی و کوکریجینگ برای برآورد بارندگی سالانه مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان دادند که روش فازی کریجینگ در

[1] -Entropy

[2]- Depth Area Duration(DAD)

هر دو حالت و در برون یابی داده‌ها بهتر از سایر روش‌ها عمل می‌کند. ضمن آن که با افزایش تعداد نقاط کمکی، خطای برآورد افزایش می‌یابد. عساکره (۱۳۸۷) به کاربرد روش کریجینگ در درون یابی بارش برای تهیه‌ی نقشه‌ی هم‌باران کشور پرداخت. در این پژوهش ۱۱ شبیه زمین آماری با سه فرض نبود روند در داده‌ها، وجود روند خطی و روند درجه‌ی دو بررسی شد و کریجینگ خطی به عنوان روش بهینه انتخاب گردید.

در این پژوهش تلاش بر آن است که روش درون یابی کوکریجینگ، به عنوان یکی از روش‌های دقیق و پرکاربرد کریجینگ، معرفی شده و مراحل انجام آن با ذکر مثالی صورت گیرد. در این راستا، میانگین بارش سالانه‌ی ۱۲ ایستگاه سینوپتیک در استان فارس مورد بررسی قرار گرفت. برای درون یابی، در ابتدا سهمی واریوگرام تجربی محاسبه و ترسیم گشت. سپس ۱۰ شبیه زمین آماری کریجینگ و کوکریجینگ بر این سهمی واریوگرام برازش یافت و با کاربرد روش ارزیابی متوالی[1]، خطای تخمین شبیه‌ها برآورد شد.

مواد و روش‌ها

روش‌های زمین آمار

در بررسی‌های آمار کلاسیک (سنتی)، نمونه‌هایی که از کل جامعه بمنظور شناخت برداشت می‌شوند، فاقد داده‌های موقعیت مکانی است، درحالی که در زمین آمار، افزون بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه، موقعیت مکانی نمونه نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. بدین منظور می‌توان موقعیت مکانی نمونه‌ها را همراه با مقدار کمیت مورد نظر یک‌جا مورد بررسی قرار داد. ممکن است، این ارتباط مکانی (فاصله‌ی و جهتی) بین مقدار یک کمیت در جامعه‌ی نمونه‌های برداشت شده، در قالب‌های ریاضی قابل بیان باشد، به این قالب‌های ریاضی ساختار مکانی گفته می‌شود. در زمین آمار می‌توان با کاربرد داده‌های یک کمیت در مختصات معلوم، مقدار همان کمیت را در نقطه‌ای با مختصات معلوم دیگر، واقع در دامنه‌ای که ساختار مکانی حاکم است، تخمین زد (حسنی پاک،۱۳۷۷). در این مورد برای تعیین رابطه‌ی مکانی پدیده‌ها از واریوگرام استفاده می‌شود که از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است.

$$2\gamma^*(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(xi+h) - z(xi)]^2$$

در رابطه‌ی بالا $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های بکار رفته در محاسبه به ازای هر فاصله‌ای مانند h است، بنابراین، تعداد جفت‌ها تابع h می‌باشد. معمولا، هر چه h افزایش یابد، تعداد جفت‌ها کم می‌شود. واریوگرام تجربی به بررسی و شناخت ویژگی‌های ساختاری متغیر ناحیه‌ای پرداخته و چگونگی تغییرات آن‌ها را بیان کرده و به گونه‌ای نقش تلخیص کننده‌ی داده‌ها را ایفا می‌کند. پیش از کاربرد واریوگرام‌های تجربی در تخمین، لازم است به آن‌ها مناسب‌ترین شبیه تئوری (نظری) را برازش داد. روش مشابه با برازش تابع توزیع احتمال به داده‌هایی است که نمودار فراوانی ستونی را تشکیل می‌دهند. از جمله شبیه‌های تئوریک (نظری) کاربردی در زمین آمار، می‌توان به شبیه‌های کروی، گوسی و نمایی اشاره کرد.

روش‌های برازش شبیه به واریوگرام عبارتند از: انتگرال واریوگرام، کم‌ترین مربعات وزنی و کریجینگ جک نایف. روش مورد استفاده در این پژوهش کرجینگ جک نایف است. با کاربرد این روش می‌توان فراسنج‌های واریوگرام را بدست آورد. برای این منظور، هر بار یکی از نقاط با داده‌ی معلوم حذف شده، سپس مقدار آن داده به روش کریجینگ تخمین زده می‌شود. خطای تخمین‌های کریجینگ باید میانگین صفر داشته و با خطاهای تخمین تئوریک برابر باشد. این تخمینگر خطی به شکل زیر تعریف می‌شود.

$$z(x_0) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i z^*(x_i)$$

که درآن N تعداد داده‌ها، $z(x_0)$ مشخصه‌ی تخمین زده شده درنقطه‌ی x_0، $z^*(x_0)$، مقدار اندازه گیری شده عددی مشخصه مورد بررسی در نقطه‌ی x_i، و λ_i وزن آماری است که به نمونه‌ی $z(x_i)$ واقع در همسایگی نقطه‌ی x_0 اختصاص می‌یابد. در حقیقت، هدف از کریجینگ یافتن وزن‌های آماری نمونه‌ها به گونه ای است که واریانس تخمین کمینه شود. بدین ترتیب، کریجینگ

[1]- Cross validation

را می‌توان روشی دانست که طی آن به مجموعه‌ی نمونه‌ها به گونه‌ای وزن آماری داده می‌شود که ترکیب خطی آن‌ها نه تنها نا اریب شود بلکه در بین سایر تخمینگرهای خطی کم‌ترین واریانس را نیز داشته باشد، بنابراین، برای این که تخمین $z(x_0)$ نا اریب باشد، باید مجموع ضرایب، یا وزن‌های آماری برابر با واحد در نظر گرفته شوند:

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

کریجینگ بر حسب ویژگی‌های ساختار مکانی به انواع کریجینگ ساده (با فرض معلوم بودن میانگین)، کریجینگ معمولی (میانگین مجهول)، کریجینگ عام (در شرایط وجود روند)، لوگ کریجینگ (نرمال سازی داده ها با استفاده از روش لگاریتم گیری) و کوکریجینگ تقسیم بندی می‌شود. با توجه به کاربرد روش آخر در این پژوهش، شرح بیش‌تری بر آن خواهیم داشت.

همان گونه که در آمار کلاسیک (سنتی) روش‌های چند متغیره برای تخمین وجود دارند، در زمین آمار نیز می‌توان به روش کوکریجینگ بر اساس همبستگی بین متغیرهای گوناگون، تخمین زد. این ویژگی باعث دقت بیش‌تر تخمین و صرفه جویی در هزینه با نمونه برداری کم‌تر می‌شود. توسعه‌ی این روش بیش‌تر به واسطه‌ی شرایطی بود که در آن از یک متغیر تعداد نمونه‌ی کمی در دست بود. محل‌هایی که در آن‌ها کمبود نمونه وجود دارد، به کمک متغیرهای ثانوی و با استفاده از همبستگی متقابل بین متغیرهای اصلی و ثانوی، تخمین زده می‌شود. اگر داده‌های تجربی به صورت $\{z_j(x_i), j=1,2,...m, i=1,2,.....n\}$ باشند، به گونه‌ای که m متغیر ناحیه‌ای ایستا در n نقطه‌ی نمونه برداری شده باشد، مقدار تخمین به روش کوکریجینگ در نقطه‌ی (x_0) برای m متغیر ناحیه‌ای از ترکیب خطی $n\times m$ داده به صورت زیر بدست می‌آید:

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^{N}\Lambda_i z^*(x_i)$$

که در آن مقادیر Λ_i مجهول بوده و باید تعیین شوند. معادله‌های کوکریجینگ، با کمینه کردن واریانس تخمین در شرایط حفظ شرط نا اریبی عمل می‌کنند. برای مطالعه‌ی بیش‌تر می‌توان به کتاب زمین آمار، نوشته‌ی دکتر علی اصغر حسنی پاک مراجعه کرد.

در این پژوهش، با کاربرد روش کریجینگ معمولی و کوکریجینگ، به برازش انواع شبیه‌ها بر واریوگرام داده‌های مکانی میانگین بارش سالانه در ایستگاههای مورد مطالعه پرداخته می‌شود. برای مقایسه‌ی نتایج بدست آمده از درون یابی روش‌های پرشماری وجود دارند. یکی از روش‌های معتبر به نام ارزیابی متوالی موسوم است. این روش با حذف یک نقطه‌ی معلوم از مجموع داده‌ها، بکارگیری نقاط باقیمانده برای برآورد نقطه‌ی حذف شده، محاسبه‌ی خطای برآورد و تکرار مراحل فوق برای تمامی داده‌های معلوم صورت می‌گیرد. آماره‌های تشخیصی شامل ریشه‌ی دوم مربعات خطا و مقدار استاندارد شده‌ی آن، میانگین خطای مطلق و میانگین خطای اریب می‌باشند. در این پژوهش، بیش‌تر معیار میانگین خطای مطلق (MAE)[1] و میانگین خطای اریب (MBE)[2] بکار رفته است که رابطه‌های آن‌ها در زیر آورده شده‌اند.

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|z^*(X_i) - z(X_i)\right|$$

$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(z^*(X_i) - z(X_i)\right)$$

در این روابطه n تعداد نقاط، $z^*(X_i)$ مقدار برآورد شده و $z(X_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده در نقطه‌ی معلوم می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، MAE گویای میانگین مطلق خطای هر روش و MBE نشانگر انحراف میانگین هر روش از میانگین داده‌های مشاهداتی می‌باشد (ثقفیان و رحیمی بندرآبادی، ۱۳۸۴).

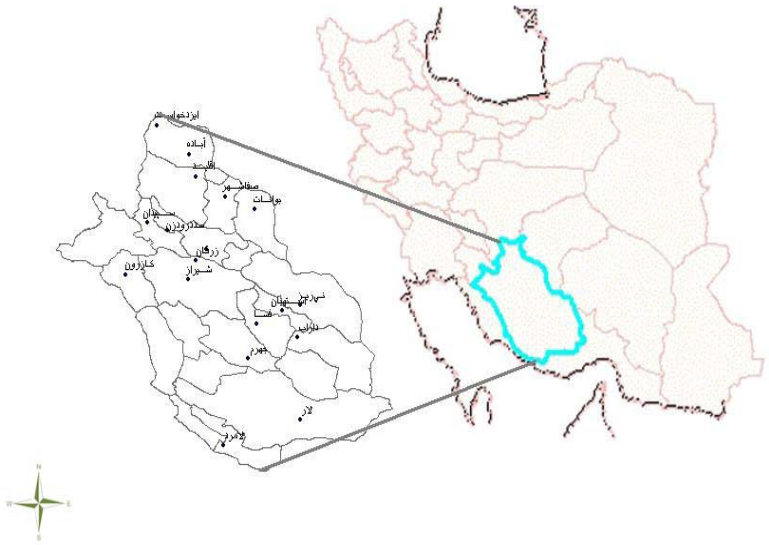
منطقه‌ی مورد مطالعه

استان فارس در جنوب ایران، بین مدارهای ۲۷ درجه و ۲ دقیقه و ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه‌ی عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۴۲ دقیقه و ۵۵ درجه و ۳۶ دقیقه‌ی طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. شکل ۱ موقعیت استان فارس را در جنوب ایران و پراکنش ایستگاههای هواشناسی آن را نشان می‌دهد. با حرکت از شمال و شمال غربی به جنوب و جنوب شرقی، سه ناحیه‌ی آب و هوایی قابل تفکیک است. ناحیه‌ی کوهستانی شمال، شمال غربی

[1] -Mean Absolute Error

[2] -Mean Bias Error

و غرب، با زمستان‌های سرد، تابستان معتدل و بارش به صورت باران و برف با میانگین سالانه‌ی ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر؛ ناحیه‌ی مرکزی با آب و هوای نسبتا معتدل و ارتفاعی کم‌تر از ناحیه‌ی قبل و اقلیمی نیمه خشک، با میانگین سالانه‌ی بارندگی ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر و ناحیه‌ی جنوب و جنوب شرقی که به علت کاهش ارتفاع و عرض جغرافیایی و موقعیت کوهها، بارندگی کم‌تری از دو ناحیه‌ی دیگر دارد، با زمستانی معتدل و تابستانی گرم که با میانگین سالانه‌ی بارندگی ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلیمتر ناحیه‌ی خشک این استان را در بر می‌گیرد (بی نام، ۱۳۷۳).



شکل۱- موقعیت استان فارس در جنوب ایران، و پراکنش ایستگاههای هواشناسی در آن.

ویژگی‌های جغرافیایی ایستگاههای مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده‌اند.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاههای تحت مطالعه.

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)
شیراز	سینوپتیک	۵۲:۳۲	۲۹:۳۶	۱۴۸۸
فسا	سینوپتیک	۵۳:۴۱	۲۸:۵۸	۱۲۸۸
آباده	سینوپتیک	۵۲:۴۰	۳۱:۱۱	۲۰۳۰
زرقان	سینوپتیک	۵۲:۴۳	۲۹:۴۷	۱۵۹۰
سد درودزن	سینوپتیک	۵۲:۱۶	۳۰:۱۳	۱۶۲۰
اقلید	سینوپتیک	۵۲:۳۸	۳۰:۵۴	۲۳۰۰
داراب	سینوپتیک	۵۴:۱۷	۲۸:۴۷	۱۰۹۸
لار	سینوپتیک	۵۴:۱۷	۲۷:۴۱	۷۹۲
لامرد	سینوپتیک	۵۳:۰۷	۲۷:۱۸	۴۱۱
نی ریز	سینوپتیک	۵۴:۲۰	۲۹:۱۲	۱۶۳۲
ایزدخواست	سینوپتیک	۵۲:۷۰	۳۱:۳۲	۲۱۸۸
بوانات	سینوپتیک	۵۳:۴۰	۳۰:۲۸	۲۲۳۱

داده های مورد استفاده و آزمون‌های اولیه

در این طرح با کاربرد نرم افزار SPSS فراسنج‌های آماری هر یک از ایستگاههای مورد مطالعه بررسی و میانگین بارش سالانه‌ی آن‌ها محاسبه شد (جدول ۲). از مهم‌ترین نتایج بدست آمده از تحلیل آماری بارش ۱۲ ایستگاه مورد مطالعه می‌توان به موردهای زیر اشاره کرد:

الف - مقادیر دامنه‌ی بارش حاکی از تغییرات زمانی پایین در مناطقی چون آباده و بالا در مناطقی چون لار و سد درودزن می‌باشد؛

ب - میانگین مجموع بارش ایستگاهها در دوره‌ی مورد بررسی برابر با ۲۶۶/۴ میلیمتر بوده است. سد درودزن از بیش‌ترین و آباده از کم‌ترین مقدار بارش برخوردار بوده‌اند.

جدول ۲- ویژگی آماری بارش ایستگاههای استان فارس.

ایستگاه	میانگین	میانه	حداکثر	حداقل	دامنه	چولگی	انحراف معیار
شیراز	۳۳۴/۳	۳۱۲/۰	۵۷۷/۶	۱۰۶/۵	۴۷۱/۰	۰/۳	۱۰۰/۷
فسا	۳۰۷/۹	۲۹۵/۰	۵۷۸/۵	۷۹/۵	۴۹۹/۰	۰/۵	۹۵/۲
آباده	۱۳۸/۴	۱۲۳/۰	۳۰۵/۰	۵۰/۵	۲۵۴/۵	۰/۹	۶۹/۵
زرقان	۳۳۰/۶	۳۰۷/۰	۵۳۹/۴	۱۰۷/۰	۴۳۲/۰	۰/۲	۸۲/۲
سد درودزن	۴۸۰/۰	۵۱۷/۰	۸۵۴/۵	۱۴۲/۳	۷۱۲/۰	۰/۱	۹۹/۰
اقلید	۳۲۵/۱	۳۱۹/۰	۶۱۶/۱	۱۰۴/۱	۵۱۲/۰	۰/۴	۷۶/۳
داراب	۲۶۳/۴	۲۳۰/۰	۶۱۶/۳	۹۵/۳	۵۲۴/۰	۱/۰	۹۸/۴
لار	۲۰۹/۳	۱۶۴/۰	۶۳۴/۱	۲۵/۱	۶۰۹/۰	۱/۸	۸۰/۲
لامرد	۲۲۵/۰	۲۱۳/۰	۵۳۳/۹	۳۵/۸	۴۹۸/۰	۰/۸	۶۵/۰
نیریز	۲۰۱/۲	۱۷۱/۰	۳۵۷/۰	۹۴/۸	۲۶۲/۰	۰/۷	۸۴/۵
ایزد خواست	۱۵۷/۴	۱۶۶/۰	۲۴۹/۵	۳۷/۵	۲۱۲/۰	۰/۱	۶۹/۹
بوانات	۲۲۹/۳	۲۲۵/۰	۳۲۰/۹	۱۳۴/۴	۱۸۶/۵	۰/۱	۷۱/۹
میانگین	۲۶۶/۴						

با توجه به این که آمار کلیه‌ی ایستگاهها در این طرح کامل نبود، با کاربرد ایستگاه مبنا و ایستگاههای مجاور، نقصان آمار ایستگاهها بازسازی شد و داده‌های مفقود (در مقیاس ماهانه) با کاربرد آمار ایستگاههای مبنا از روش تفاضل‌ها و نسبت‌ها مورد بازسازی قرار گرفت. همگنی و تصادفی بودن داده‌ها به روش غیرنموداری با کاربرد آزمون همگنی ران‌تست و استقلال داده‌ها با کاربرد آزمون ناپارامتری من- ویتنی به وسیله‌ی نرم افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت. آزمون همگنی ران تست، کلیه‌ی ایستگاههای مورد بررسی را همگن و آزمون من – ویتنی نیز ایستگاههای مورد بررسی را مستقل و همگن، نشان داد.

کاربرد روش‌های زمین آمار

بمنظور برازش شبیه‌های زمین آماری نیاز به آزمون بررسی نرمال بودن داده ها بود؛ بدین منظور، آزمون یاد شده در مورد داده‌ها انجام گرفت و به دلیل تطابق نداشتن توزیع آماری داده‌ها با توزیع نرمال، نرمال‌سازی داده‌ها با استفاده از تبدیل‌های گوناگون مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت با استفاده از تبدیل Box- Cox نرمال گردید. سپس شبیه‌های گوناگون درون‌یابی بر داده‌ها برازش داده شد و نتایج با استفاده از معیار MAE و MBE مورد ارزیابی قرار گرفت و مناسب‌ترین شبیه برازش داده شده انتخاب گردید. تحلیل‌های درون یابی در این پژوهش با کاربرد نرم افزار Arc Map صورت گرفته است. این نرم افزار یکی از قوی‌ترین نرم افزارهایی است که می‌توان از آن برای درون‌یابی و تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی بهره گرفت.

نتایج

بررسی تطابق توزیع آماری داده ها با توزیع نرمال

جدول ۳ بررسی تطابق توزیع آماری داده‌های میانگین بارش سالانه‌ی ایستگاهها را با توزیع نرمال نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تبدیل Box – Cox با فراسنج ۰/۲۲ به عنوان مناسب‌ترین تبدیل تشخیص داده شد.

جدول ۳- بررسی تطابق توزیع آماری داده‌های میانگین بارش سالانه ایستگاهها با توزیع نرمال.

نوع تبدیل		Skewness (چولگی)	Kurtosis (کشیدگی)
Non (بدون تبدیل)		۰/۷۳	۳/۶۳
Log (لگاریتمی)		-۰/۱۹	۲/۷۹
Box – Cox (Parameter)(فراسنج)	۰/۱	-۰/۱۱	۲/۸
	۰/۲	-۰/۰۲	۲/۸۴
	۰/۲۱	۰/۰۱۲	۲/۸۴
	۰/۲۲	۰/۰۰۰	۲/۸۴

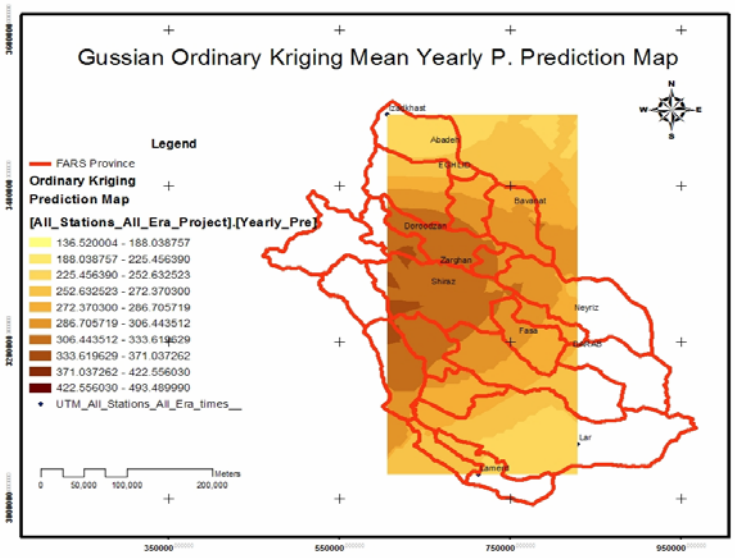
برازش شبیه‌های گوناگون درون یابی بر داده ها

شبیه‌های کروی، نمایی و گوسی بر داده‌های میانگین بارش سالانه برازش داده شد و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت. جدول ۴ شبیه‌های برازش داده شده بر میانگین بارش سالانه‌ی ایستگاهها و نتایج ارزیابی را نشان می‌دهد.

جدول۴- شبیه های برازش داده شده بر میانگین بارش سالانه ایستگاهها و نتایج ارزیابی.

شماره ردیف	روش درون یابی	شبیه	حالت	Major Range (دامنه اصلی)	Nugget (ناگت)	MBE	MAE
۱	Ordinary Kriging (کریجینگ معمولی)	کروی	Def.	۳۲۶۴۲۷	۱/۰۹	۷/۹۷	۶۸,۹۶
۲				۲۰۰۰۰۰	۰/۹۴	۷/۹۶	۶۲,۹۶
۳		نمایی		۲۶۲۵۶۵	۰/۹۱	۹/۹۶	۶۶,۸۵
۴				۱۰۰۰۰۰	۵/۴۷	۱۲/۳۷	۶۷,۵
۵		گوسی	Def.	۱۵۳۱۴۸	۰/۹۸	۹/۸۷	۶۳,۷۱
۶				۲۰۰۰۰۰	۱/۰۵	۷/۴۷	۶۱,۶۳
۷	Ordinary CoKriging (کوکریجینگ معمولی)	کروی	Def.	۴۵۶۱۹۷	۱/۱۶	۶/۴۷	۷۱,۲۲
۸		نمایی		۴۵۶۱۹۷	۱/۰۳	۶/۳۱	۶۹,۲۴
۹		گوسی	Def.	۳۶۴۶۶۷	۱/۲۲	۷/۲	۷۰,۸
۱۰				۲۰۰۰۰۰	۱/۰۵	۷/۵۳	۶۱,۵۳

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، از میان شبیه‌های برازش داده شده بر داده‌های میانگین بارش سالانه، شبیه‌های گوسی کریجینگ و کوکریجینگ با دامنه‌ی تاثیر ۲۰۰ کیلومتر از کم‌ترین میزان MAE، یا میانگین مطلق خطا، برخوردارند. افزون بر این، شبیه گوسی بیانگر پیوستگی مکانی بالا برای آن متغیر است. بنابراین، می‌توان گفت که داده‌های میانگین بارش سالانه از همبستگی مکانی بالایی برخوردارند. مقایسه‌ی نتایج بدست آمده از روش کریجینگ و کوکریجینگ نشان می‌دهند که کاربرد متغیر کمکی ارتفاع در روش کوکریجینگ، بهبودی ویژه در نتایج بوجود نیاورد. شکل ۲ نقشه‌ی پیش‌بینی میانگین بارش سالانه را در محدوده‌ی مطالعاتی استان فارس نشان می‌دهد. همان گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، با توجه به در نظر گرفتن دامنه‌ی درون‌یابی در روش‌های بکار رفته، نقشه‌ی پهنه بندی تنها برای محدوده ای از استان فارس تهیه شده است. بدیهی است، با افزایش تعداد ایستگاههای مورد بررسی، به گونه‌ای که محدوده‌ای وسیع‌تری از استان را در بر داشته باشد، می‌توان نقشه‌ی پهنه بندی کامل‌تری را ارایه کرد.



شکل ۲- نقشه‌ی پیش‌بینی میانگین بارش سالانه در محدوده‌ی مطالعاتی استان فارس.

بحث و نتیجه گیری

از روش‌های درون‌یابی زمین‌آمار بیش‌تر برای ارزیابی کفایت شبکه‌ی باران سنجی نیز استفاده می‌شود. افزایش شمار ایستگاههای باران سنجی در استان، به گونه‌ای که بتواند تغییرات مکانی ارتفاع را کامل‌تر پوشش دهد، به معنی بالا بردن تراکم ایستگاههای باران سنجی، بویژه در مناطق کوهستانی با شکل پیچیده‌ی زمین، می‌تواند مقدار خطای پیش‌بینی را کاهش داده و نتایجی دقیق‌تر بدست آورد. همان گونه که مشاهده شد، بخش بزرگی از استان، بویژه نیمه‌ی غربی که محل قرار گرفتن رشته کوههای زاگرس با پیچیدگی در شکل زمین است، ایستگاهی در بررسی صورت گرفته، لحاظ نشده است. از آن‌جا که بیش‌ترین مقدار بارش در دشت ارژن به ثبت رسیده است، ولی در این منطقه نیز ایستگاهی مورد بررسی قرار نگرفته است. بدیهی است، کاربرد آمار ایستگاههای کلیماتولوژی (اقلیم شناسی) و باران سنجی موجود در منطقه که به علت کمبود وقت قادر به جمع آوری و تجزیه و تحلیل آن‌ها نبوده‌ایم، صرفنظر از کوتاه بودن دوره‌ی آماری ثبت داده‌ها، می‌تواند منجر به بهبود نتایج شود. بنابراین، ارزیابی کفایت شبکه‌ی باران سنجی نیز می‌تواند با کاربرد نتایج بدست آمده صورت گیرد. از شکل نمودارهای برازش داده شده برای تجزیه و تحلیل و مناسب بودن نوع شبیه‌های برازش داده شده بر سهمی واریوگرام استفاده می‌شود، به گونه‌ای که شبیه گوسی معرف درجه‌ی بالای پیوستگی در متغیر ناحیه‌ای می‌باشد. پس می‌توان گفت که پیوستگی مکانی قابل ملاحظه‌ای در میانگین بارش سالانه برقرار است. گفتنی است که سهمی واریوگرام‌های یاد شده با فرض نبود روند، بر داده‌ها برازش یافت. لحاظ کردن انواع روندهای خطی، درجه‌ی ۲ و غیره می‌تواند منجر به بهبود پیش‌بینی شبیه‌های بدست آمده گردد. بازسازی داده‌های مفقود و طویل سازی دوره‌های آماری کوتاه مدت، در شماری از ایستگاهها صورت پذیرفت. این امر می‌تواند به عنوان یکی از منابع اصلی خطا مورد بررسی قرار گیرد. تهیه‌ی نقشه‌ی خطا و بررسی آن نیز می‌تواند به تحلیل مناسب‌ترین توزیع برازش داده شده بهبود بخشد. هم‌چنین، می‌توان نواحی دارای انحراف پیش بینی زیاد را تعیین و شبیه منتخب را اصلاح کرد.

در این پژوهش، ۱۰ شبیه درون یابی کریجینگ و کوکریجینگ بر داده‌های میانگین بارش سالانه‌ی ۱۲ ایستگاه سینوپتیک واقع در استان فارس برازش داده شده و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت. از این میان، شبیه کریجینگ و کوکریجینگ گوسی با دامنه‌ی ۲۰۰ کیلومتر به عنوان مناسب‌ترین شبیه برازش یافته انتخاب گردید. بسیاری از نواحی کشور، بویژه بیابان‌ها و کویرهای داخلی، نواحی با ارتفاع بیش از ۲۶۰۰ متر (که کانون‌های آبگیر

بشمار می‌آیند) فاقد ایستگاه اندازه‌گیری هستند. هم‌چنین، نواحی مجاور که از تباین اقلیمی بالایی برخوردارند، نظیر دامنه‌های شرقی زاگرس، از توزیع و تعداد ایستگاههای مناسبی برخوردار نمی‌باشند. شایسته است که تراکم شبکه‌ی ایستگاههای اقلیمی در این نواحی بهبود یابد تا برآوردهای درون‌یابی قرین دقت و صحت افزون‌تری شود. از آن‌جا که درون‌یابی با کاربرد داده‌های ایستگاههای مجاور صورت می‌گیرد، تباین اقلیمی شدید در نواحی مورد بررسی سبب نوعی ناهمسانگردی شده و عدم توانایی در برآورد دقیق را به همراه داشته است. بدیهی است تکمیل شبکه‌ی باران‌سنجی و افزایش دقت پیش‌بینی مقادیر میانگین بارش سالانه، سبب افزایش دقت نقشه‌های پیش‌بینی و تحلیل آن و بهبود گزینه‌های مدیریتی می‌شود.

منابع

۱- بی نام. ۱۳۷۳. جغرافیای استان فارس. گروه جغرافیایی دفتر و برنامه ریزی و تالیف کتب درسی، سال دوم آموزش متوسطه عمومی، شرکت چاپ و نشر ایران.

۲- ثقفیان، ب. و س. رحیمی بندرآبادی. ۱۳۸۴. مقایسه روشهای درون یابی و برون یابی برای برآورد توزیع مکانی مقدار بارندگی سالانه. تحقیقات منابع آب ایران. ۱(۲):۷۴-۸۴.

۳- حسنی پاک، ع. ۱۳۷۷، زمین آمار (ژئواستاتیستیک). انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول.

۴- رحیمی بندرآبادی، س. و ب. ثقفیان. ۱۳۸۶. برآورد توزیع مکانی بارندگی با کمک تئوری مجموعه های فازی، تحقیقات منابع آب ایران. ۳(۲): ۲۶-۳۸.

۵- سلیمانی، ک.، م. حبیب نژاد، ع. آبکار و م. بنی اسدی. ۱۳۸۵. تحلیل منحنی های عمق،سطح و تداوم بارندگی (D.A.D) با استفاده از روشهای زمین آماری در مناطق خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی، کفه نمک سیرجان)، بیابان ۱۱(۱): ۳۰-۴۲.

۶- شقاقی، م.، م. نظری فر، ر. مومنی و ز. زواره‌ای مقدم. ۱۳۸۵. بررسی تغییرات منطقه ای بارش ماهانه و سالانه حوضه کارون با استفاده از روشهای زمین آمار. اولین همایش منطقه‌ای بهره برداری بهینه از منابع آب حوضه های کارون و زاینده رود، شهرکرد.

۷- عساکره، ح. ۱۳۸۷. کاربرد روش کریجینگ در درون یابی بارش، مطالعه موردی، درون یابی بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ در ایران زمین. جغرافیا و توسعه.(۱۲): ۲۵-۴۲.

۸- قهرودی تالی، م. ۱۳۸۱. ارزیابی درون یابی به روش کریجینگ. پژوهشهای جغرافیایی. (۴۳): ۹۵-۱۰۸.

۹- میثاقی، ف. و ک. محمدی. ۱۳۸۵. پهنه بندی اطلاعات بارندگی با استفاده از روش های آمار کلاسیک و زمین آمار و مقایسه با شبکه های عصبی مصنوعی، مجله علمی کشاورزی. ۲۹(۴): ۱-۱۴.

10- Chen, Y., C. Wei, and H. Yeh. 2007. Rainfall network design using kriging and entropy. Hydrol. Proc. 22(3): 340-346.

11- Cheng, K., Sh. Lin, and J. J. Liou. 2008. Rain-gauge network evaluation and augmentation using geostatistics. Hydrol. Proc. 22: 2554-2564.

12- Diodato, N. and M. Ceccarelli. 2005. Interpolation processes using multivariate geostatistics for mapping of climatological precipitation mean in the Sannio Mountains (southern Italy), Earth Surface Proc. Landforms. 30: 259-268.

13- Drogue, G., J. Humbert, J., Deraisme, N., Mahr, and N. Freslon. 2002. A statistical-topographic model using an omnidirectional parameterization of the relief for mapping orographic rainfall. Inter. J. Climat. 22(5): 599-613.

14- Hilaire, A. S., T. B. Ouarda, M. Lachance, B. Bob, J. Gaudet, and C. Gignac. 2003. Assessment of the impact of meteorological network density on the estimation of basin precipitation and runoff: a case study. Hydrol. Proc. 17: 3561-3580.

15- Igúzquiza, E. P., 1998. Comparison of geostatistical methods for estimating the areal average climatological rainfall mean using data on precipitation and topography. Inter. J. Climat. 8(9): 1031– 1047.

16- Prudhomme, C. and D. Redd. 1999. Mapping extreme rainfall in a mountainous region using geostatistical techniques: A case study in Scotland. Inter. J. Climat. 19: 1337-1356.

17- Tssung, C. K. 2004. Introduction to geographic information system, 2nd edition, Mc Graw Hill.