جغرافیا و توسعه شماره ۳۰ بهار ۱۳۹۲
وصول مقاله : ۱۳۹۰/۷/۶
تأیید نهایی : ۱۳۹۱/۳/۱۸
صفحات : ۳۴-۲۳

# الگوسازی بارندگی غرب و جنوب غربی دریای خزر با استفاده از روش‌های درون‌یابی فضایی در محیط GIS

**دکتر بهروز سبحانی[۱]، دکتر بهروز ساری‌صراف[۲]، محمد آزادی مبارکی[۳] ، سیداسعد حسینی[۴]**

## چکیده

**تأثیر پدیده‌های جوی بر کره‌ی خاکی و به تبع آن زندگی بشر به حدی رسیده است که بی‌دانشی و عدم مدیریت در این بخش باعث تحمل هزینه‌های بسیار زیاد خواهد بود. محدوده‌ی مورد مطالعه با توجه به توپوگرافی و اقلیم حاکم بر آن، از این قاعده مستثنی نبوده و سالانه (در مواقع پر آبی) بارش‌های رگباری و شدید باعث وقوع سیلاب‌ها، لغزش در دامنه‌ها و فرسایش خاک‌های حاصلخیز آن می‌شود. لذا برآورد میزان پراکنش بارش در منطقه می‌تواند به اتخاذ برنامه‌ریزی‌های مناسب توسط مدیران در جهت جلوگیری از خسارات کمک اساسی کند. در پژوهش حاضر ابتدا با استفاده از روش‌های زمین آماری ضمن اینکه میانگین بارش دریافتی مناطق فاقد ایستگاه در محدوده‌ی مورد مطالعه برآورد شد، میزان دقت آنها نیز با استفاده از انواع مختلف روش‌های آماری (خطای قدر مطلق میانگین، میانگین خطای بایاس، درصد نسبی خطا و میانگین مربعات خطا) محاسبه گردید. بر اساس نتایج حاصله، روش‌های معکوس وزنی فاصله، کریجینگ آستانه خطی، دایره‌ای و نمایی در محدوده‌ی مورد مطالعه، به ترتیب نتایج درون‌یابی بهتری را نسبت به سایر روش‌ها دربر داشته‌اند لذا در پژوهش حاضر به منظور الگوسازی بارش و همچنین برآورد میزان بارش مناطق فاقد ایستگاه در محدوده‌ی مورد مطالعه از روش معکوس وزنی فاصله استفاده شد. بدین صورت که لایه‌های ماهانه، فصلی و سالانه‌ی بارش دریافتی برای محدوده‌ی مورد مطالعه ترسیم گردید. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که سامانه‌های خزری در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر (فصل پاییز) بیشترین تأثیر و نفوذ را در محدوده‌ی مورد مطالعه داشته و منجر به ریزش بارش‌های زیاد در منطقه می‌گردد.**

**کلیدواژه‌ها : الگوسازی بارندگی، دریای خزر، درون‌یابی فضایی، معکوس وزنی فاصله، اسپلاین، کریجینگ معمولی.**

۱- استادیار اقلیم‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی sobhani@uma.ac.ir
۲- استاد اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز Behrooz_sarraf2002@yahoo.com
۳- فوق لیسانس اقلیم‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی ( نویسنده مسؤول ) Azad_azadi281@yahoo.com
۴- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی Hosseini.asad8@gmail.com

**مقدمه**

امروزه یکی از روش‌های اساسی به منظور رسیدن به توسعه‌ی پایدار در برنامه‌ریزی‌ها و همچنین جلوگیری از خسارات وارده (از قبیل سیل، فرسایش، یخبندان و غیره)، اندازه‌گیری پارامترهای هواشناسی در مناطق فاقد ایستگاه‌های مربوطه می‌باشد. اندازه‌گیری پارامترهای هواشناسی به‌روش سنتی نیاز به شبکه‌های متراکم سینوپتیکی و باران‌سنجی دارد اما به دلیل موقعیت توپوگرافی و نیز مشکلات هزینه‌ای آن (به خصوص در کشورهای در حال توسعه و توسعه نیافته) ایجاد چنین شبکه‌ای غیرممکن می‌نماید *(گل محمدی و همکاران، ۱۳۸۷: ۲)*. منطقه‌ی مورد مطالعه از لحاظ موقعیت جغرافیایی در غرب و جنوب‌غرب دریای خزر قرار دارد. وضعیت توپوگرافی منطقه در طول مرز آن با دریای خزر از پیچیدگی خاصی حکایت می‌کند. همچنین با توجه به این که منطقه‌ی مورد مطالعه از مراکز مهم قطب کشاورزی و دامپروری کشور می‌باشد، بررسی تأمین نیاز رطوبتی و نیاز آبی آن از اهمیت خاصی برخوردار است. از طرف دیگر وجود بارش‌های رگباری در منطقه موجب لغزش‌های دامنه‌ای می‌شود که منجر به ویرانی جاده‌ها و تلفات جانی و مالی فراوانی شده است. بنابراین با توجه به موارد مذکور و به دلیل عدم پوشش کامل ایستگاه‌های باران‌سنجی در منطقه، برآورد بارش منطقه‌ای در مناطق مابین ایستگاه‌ها امری ضروری است.امروزه با پیشرفت تکنولوژی و انواع نرم‌افزارها این مسأله قابل حل می‌باشد، بدین صورت که برای حلّ مشکل مذکور از روش‌های مختلف درون‌یابی استفاده می‌شود. روش تخمین و برآورد میزان متغیر پیوسته را در مناطق نمونه‌گیری نشده در داخل ناحیه‌ای که مشاهدات نقطه‌ای پراکنده شده‌اند، درون‌یابی می‌گویند *(سنجری، ۱۳۸۸: ۲۴)*. لذا مطالعه‌ی توزیع بارشی آن از طریق روش‌های مختلف درون‌یابی علاوه بر اینکه میزان بارش دریافتی مناطق فاقد ایستگاه را در محدوده‌ی مورد مطالعه برآورد می‌کند ( که با توجه به این امر کمک مؤثری در برنامه‌ریزی توسعه‌ی آتی محدوده‌ی مورد مطالعه از لحاظ تأمین آبی می‌شود)، بلکه می‌توان با بررسی میزان دقت در تخمین بارش دریافتی مناطق فاقد ایستگاه در داخل محدوده‌ی مورد مطالعه به مقایسه‌ی میزان دقت روش‌های‌درون‌یابی در محدوده‌ی مذکور نیز پرداخت *(آزادی‌مبارکی، ۱۳۸۸: ۱)*. روش‌های مختلف درون‌یابی بسته به‌نوع متغیّر، دقت‌های متفاوتی را نشان می‌دهند. الگوریتم‌های متفاوتی برای درون‌یابی وجود دارد که برخی از آنها مبتنی بر روش‌های زمین آماری و ژئومتری می‌باشند. با توجه به امکان استفاده از این روش‌ها در سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) و استفاده‌ی روزافزون از این سامانه‌ها، اهمیت انتخاب روش مناسب توسط کاربران دو چندان می‌گردد. مسأله‌ای که درتحقیق حاضر مورد توجه است، بررسی مقادیر بارشی غرب و جنوب‌غرب دریای خزر می‌باشد. به منظور تحلیل‌های درست و مناسب در منطقه از آمار مربوط به میانگین بارش ایستگاه‌های سینوپتیک کشور آذربایجان، واقع در غرب دریای خزر نیز استفاده گردید.

**اهداف پژوهش**

در بطن پژوهش حاضر که برگرفته از یک طرح پژوهشی می‌باشد، علاوه بر هدف اصلی یک هدف فرعی نیز دنبال می‌شود. هدف اصلی، برآورد میزان بارش دریافتی مناطق فاقد ایستگاه منطقه‌ی مورد مطالعه به‌منظور جلوگیری از خسارات وارده و همچنین برنامه‌ریزی دقیق جهت توسعه‌ی پایدار در منطقه می‌باشد. در هدف فرعی نیز، به مقایسه‌ی میزان دقت روش‌های درون‌یابی فضایی در برآورد میانگین بارش برای مناطق فاقد ایستگاه در محدوده‌ی مورد مطالعه پرداخته می‌شود.

**تعریف مساله**

مطالعات‌جغرافیایی اساس آمایش سرزمین‌وبرنامه‌ریزی محیطی است. لذا شناخت جغرافیایی یک منطقه، اتخاذ تدابیر اساسی و منطقی را در قالب برنامه‌ی محیطی میسر خواهد ساخت. بارش و تغییرات آن به خصوص در کشور ما که در ناحیه‌ی خشک و نیمه-خشک جهان قرار دارد و بر اساس اطلس اقلیمی ایران در دوره‌ی ۹۰ -۱۹۶۱ میلادی بیش از دو سوم وسعت کشور دارای بارش سالانه‌ی کمتر از ۳۰۰ میلیمتر بوده، از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد *(آزادی، ۱۳۸۸: ۲۳)*. برنامه‌ریزی‌های کلان و پروژه‌های اقتصادی و عمرانی بر مبنای الگوهای طولانی مدت بارش استوار می‌باشند. از این‌رو تغییر در الگوهای بارشی (افزایشی یا کاهشی) و یا وقوع مواردی از قبیل خشکسالی و سیل در مدیریت منابع آب و طرح‌های کشاورزی مورد توجه قرار می‌گیرد. از بارزترین مسائل مورد بررسی بارندگی، مقدار بارش و همین‌طور توزیع مکانی آن می‌باشد. تحلیل ویژگی بارش‌ها در جهت جلوگیری از خسارات و استفاده‌ی بهینه از آنها نیز به عنوان یکی از مهم‌ترین راه‌کارهایی است که در هواشناسی و بررسی اقلیم‌های مناطق مختلف مورد توجه بوده است. در این پژوهش بر اساس داده‌های میانگین بارش ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه‌ی مورد مطالعه، داده‌های نقطه‌ای به سطح تعمیم داده شده و سپس با استفاده از روش-های علمی به برآورد بارش دریافتی مناطق فاقد ایستگاه پرداخته شده و میزان دقت روش‌های مختلف درون‌یابی باهم مقایسه شده است. برای تعمیم اطلاعات روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است *(Tobler, 1979; Markof, 1973; Raigh,1936) (Rhind, 1991; Flowerdew, 1989; Godchild, 1980* هر کدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی هستند و کاربر با توجه به نیاز خود و در نظر گرفتن میزان دقت و ویژگی‌های این روش‌ها از میان آنها بهترین روش را انتخاب می‌کند *(فرجی‌سبکبار و عزیزی، ۱۳۸۵: ۲)*.

همزمان با توسعه‌ی روش‌های جدید درون‌یابی، مقایسه میزان برآورد آنها نیز ضرورت دارد. مطالعات تطبیقی چندی توسط محققین انجام پذیرفته است تا به ارزیابی میزان دقت روش‌ها بپردازند. کوکینگ و سایرین برای تعیین دقت فضایی، روش مونت کارلو را پیشنهاد کرده‌اند.

سیسکاهونگ (۱۹۹۹) از مجذور میانگین مربعات خطا[1] و میانگین مربعات خطا[2]، مهدویان و همچنین سبکبار از روش خطای باياس میانگین[3] و خطای قدر مطلق میانگین[4] استفاده کرده‌اند.

**پیشینه‌ی تحقیق**

نخستین تجربه‌ها جهت به‌کارگیری روش‌های زمین آماری به مفهوم امروزی آن در محاسبات تخمین ذخیره معدن از حدود ۷۰ سال پیش با شناسایی مقدماتی الگوهای توزیع طلا در معادن آفریقای جنوبی شروع شد *(گل‌محمدی و همکاران، ۱۳۸۷: ۳)*.

هوپر[5] و واترمایر[6] پیش‌گامان تئوری‌های زمین آماری آماری بودند که بر روی معدن طلا تحقیق کردند. ایبان[7] و همکاران *(1998:211-225)*، با استفاده از روش‌های زمین آماری‌کریجینگ عمومی و معمولی به درون‌یابی فضایی و مکانی بارش و دما در جنگل‌های سوزنی برگ کانادا پرداخته و نقشه‌های مربوط برای هر ماه را در منطقه ترسیم کرده‌اند. رونالدو کرلی و همکاران *(Ronald Cearly at all, 2006: 413-421)*

طیّ تحقیقی تحت عنوان بررسی تغییرات فضایی و مکانی بارش در مناطق کوهستانی (مطالعه موردی جنوب کوه‌های اکودودیان درآند) با استفاده از روش‌های کریجینگ و تیسن به تعیین سطوح مختلف

**1-Root Mean Squre**
**2-Mean Squre Error**
**3-Mean Bias Error**
**4-Mean Absolute Error**
**5-Hooper**
**6-Watermeyer**
**7-Ian**

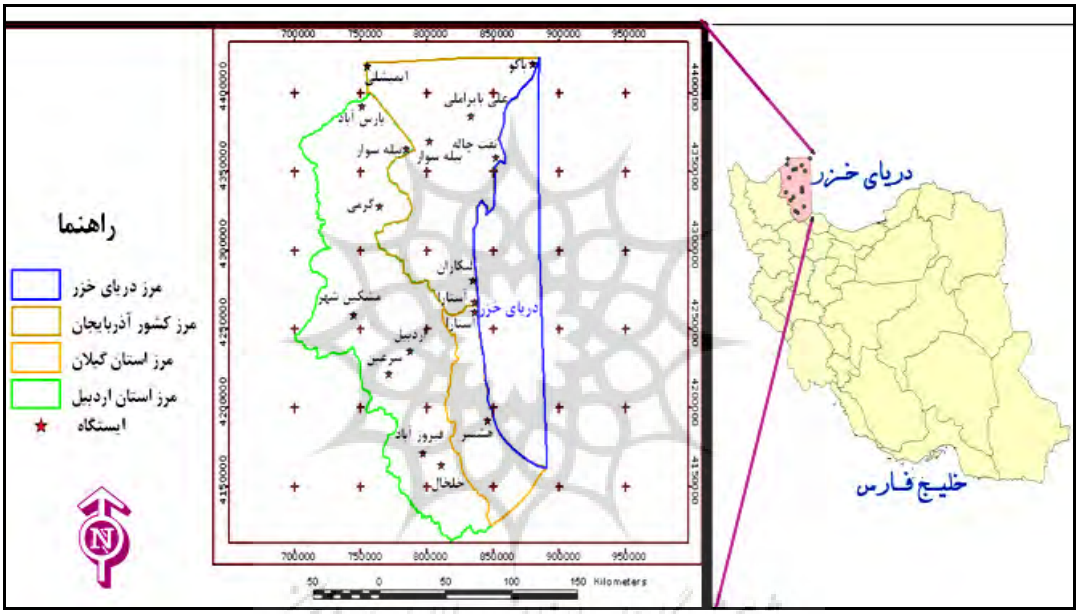
از لحاظ میزان بارش دریافتی در منطقه اقدام نموده‌اند که نتیجه‌ی تحقیق ایشان برتری کریجینگ را نسبت به روش تیسن نشان می‌دهد.

گاد[1] و همکاران *(۲۰۰۱: ۲۸۱-۲۷۳)*، با استفاده از روش‌های زمین آماری معکوس وزنی فاصله، کریجینگ و اسپلاین به حرکت‌شناسی و توزیع مکانی و زمانی طوفان‌ها پرداخته‌اند. جی، جی، کارا هرناندز[2] و همکاران *(۲۰۰۷: ۲۴۹-۲۳۱)*، با استفاده از روش کریجینگ، از داده‌های ۲۰۰ ایستگاه واقع در حوضه آبخیز مکزیکو طیّ دوره‌ی آماری ۱۹۷۸ الی ۱۹۸۵ بهره برده و توزیع بارشی روزانه‌ی آن را ترسیم نموده‌اند. این محققان در تحقیق حاضر به همبستگی بارش زیاد با افزایش ارتفاع در محدوده‌ی مورد مطالعه اشاره داشتند.

الیاس سایمیوناکیس[3] و همکاران *(۲۰۰۹: ۲۶- ۱۵)*، *۱۵)*، در تحقیقی به مقایسه‌ی مقادیر بارش‌های تخمین زده شده برای نواحی نیمه خشک افریقا توسط تکنیک‌های مختلف زمین آماری و تصاویر ماهواره‌ای پرداخته‌اند. در این تحقیق برتری استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نسبت به روش کریجینگ مشخص گردید. در ایران نیز از این روش‌ها در موارد مختلف استفاده شده است. به عنوان مثال در مطالعه‌ای که توسط شمس‌الدینی *(۱۳۷۹: ۶۹)* در استان‌های شمالی ایران انجام شد، تغییرات منطقه‌ای بارندگی با استفاده از روش کریجینگ محاسبه گردید. در تحقیقی دیگر که توسط مهدی‌زاده *(۱۳۸۱: ۱۵۱)*، انجام گردید، روش-های مختلف زمین آمار را برای برآورد دما و بارندگی در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه، مورد ارزیابی قرار گرفت. به طور کلی روش tpss با متغیّر کمکی و توان[2] برای برآورد دما و روش tpss با توان ۲ و بدون متغیّر کمکی در رابطه با بارندگی انتخاب گردید. رحیمی و مهدیان *(۱۳۸۲: ۵۱۳)*، با استفاده از کاربرد سه روش کریجینگ معمولی، میانگین متحرک و tpss، بارندگی ماهانه‌ی مناطق جنوب‌شرق کشور را برآورد نمودند. با توجه به نتایج این تحقیق، روش‌های tpss با توان ۲ و کریجینگ معمولی به ترتیب تخمین بهتری را ارائه می‌دهند. محمدزاده و همکاران *(۱۳۸۲: ۲۴۳)*، به بررسی روش‌های درون‌یابی برای داده‌های فضایی پرداختند و سپس میزان دقت آنها را با استفاده از معیار میانگین مربعات خطا برآورد نمودند که نتایج حاکی از برتری روش کریجینگ می‌باشد. اقدسی در سال ۱۳۸۳ به ارزیابی روش‌های زمین آمار برای ترسیم میدان عددی بارندگی‌های روزانه و سالانه پرداخت. ارزیابی روش‌ها در هر یک از مقیاس‌های زمانی سالانه، ماهانه، ده روزه و روزانه حاکی از آن است که مناسب‌ترین روش برای برآورد بارندگی روش tpss می‌باشد. لوک‌زاده در سال ۱۳۸۳ به ارزیابی روش‌های مختلف بازسازی خلاءهای آماری بارندگی در منطقه‌ی البرز مرکزی پرداخت. نتایج ارزیابی، روش نسبت نرمال را در ۶۲/۲ درصد موارد و معیار ضریب همبستگی همین روش را در ۵۳/۸ درصد موارد به عنوان مناسب‌ترین روش معرفی نمودند. گل‌محمدی در سال ۱۳۸۵ با استفاده از روش‌های زمین آماری و نیز با به‌کارگیری قابلیت‌های GIS به تخمین توزیع مکانی ضریب رواناب در سطح استان همدان پرداخت، به طور کلی روش کوکریجینگ عمومی با مدل دایره‌ای به عنوان بهترین روش برای تخمین توزیع مکانی ضریب رواناب در سطح استان همدان انتخاب شده است. میثاقی *(۱۳۸۵: ۱)*، در تحقیقی الگوریتم ترکیبی زمین آمار و شبکه‌ی عصبی مصنوعی را به منظور استخراج توزیع مکانی بارندگی، برای منطقه مارون در استان خوزستان بررسی نمود.از بین کلیه‌ی الگوریتم‌ها و روش‌های میان‌یابی بررسی شده، تخمین‌گرهای زمین آماری نتیجه‌ی بهتری حاصل می‌نمایند. لذا

**1-Gad**
**2-J. J. Carrera-Hernandes**
**3-Elias Symeonakis**

تخمین‌گرهای کریجینگ و کو-کریجینگ دارای این توانایی هستند که میزان بارندگی را در نقاط فاقد آمار با دقت قابل قبولی، برآورد نماید. عساکره *(۱۳۸۷: ۲۵)*، در تحقیقی به تشریح کاربرد کریجینگ در میان‌یابی بارش روز ۲۶/ ۱۲/ ۱۳۷۶، برای ایران زمین پرداخته است. بر اساس نقشه‌های به دست آمده میانگین بارش کشور طیّ روز مزبور ۷/۳ میلی‌متر برآورد شده است. سبحانی و همکاران (۱۳۸۸)، در تحقیقی به تحلیل رابطه‌ی زمانی و مکانی بارش‌های سواحل جنوب‌غرب دریای خزر با رژیم بارشی استان اردبیل در محیط GIS پرداخته‌اند. ایشان در این تحقیق به منظور درون‌یابی میانگین بارش در منطقه از روش‌های معکوس وزنی فاصله و اسپلاین کششی استفاده کرده‌اند. نتایج حاکی از برتری روش معکوس وزنی فاصله در امر درون‌یابی می‌باشد.




**شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌ها در محدوده مورد مطالعه**

*مأخذ : نگارندگان*

## مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه غرب و جنوب‌غرب دریای خزر می‌باشد که دارای پیچیدگی‌های توپوگرافی و اقلیمی زیادی است. وجود دریای خزر در شرق محدوده از یک طرف و به دلیل موقعیت خاص خود از طرف دیگر، تحت تأثیر توده هواهای مختلفی قرار می‌گیرد که دارای ویژگی‌های بارشی متفاوتی هستند (شکل ۱).

در این پژوهش انواع روش‌های درون‌یابی فضایی به منظور برآورد میزان‌بارش دریافتی و الگوسازی بارندگی برای غرب و جنوب‌غرب دریای خزر مورد بحث و بررسی قرار گرفت. سپس این روش‌ها با استفاده از داده‌های هواشناسی در داخل محدوده‌ی مورد مطالعه به اجرا گذاشته شدند. به منظور انجام پژوهش حاضر از روش‌های معکوس وزنی فاصله[1]، اسپلاین[2] منظم و کششی و انواع مختلف کریجینگ[3] معمولی بر اساس مدل‌های مختلف آن که از روش‌های متعارف در امر درون‌یابی توسط کاربران می‌باشند، استفاده شده است. در این محدوده ۱۷ ایستگاه سینوپتیک وجود دارد که نقاط شاهد برای کنترل دقت اطلاعات مشاهده شده و پیش‌بینی شده محسوب می‌شوند.

**1-Inverse Distance Weight**
**2-Spline**
**3-Kriging**

**انواع روش‌های درون‌یابی**

در حالت کلی سه روش برای درون‌یابی در Arc Map وجود دارد:

۱- روش معکوس وزنی فاصله، که برای مناطقی با پستی و بلندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر در صورتی که ایستگاه‌های مورد مطالعه در پستی و بلندی‌ها پراکنش داشته باشند از این روش استفاده می‌شود.

۲- اسپلاین، که در مورد مناطق مسطح کاربرد دارد.

۳- کریجینگ، که مخصوص مناطق کاملاً کوهستانی می‌باشد *(سنجری، ۱۳۸۸: ۲۳۴)*.

**- روش معکوس وزنی فاصله**

روش معکوس وزنی فاصله یکی از روش‌هایی است که در مطالعات جغرافیایی از آن زیاد استفاده می‌شود. در این روش مقادیر پیکسل‌های مجهول از طریق میانگین‌گیری مقادیر نقاط معلوم در نزدیکی هر پیکسل تخمین زده می‌شود. مقادیری که نزدیک‌تر به مرکز پیکسل هستند در تخمین مقدار نامعلوم، تأثیر یا وزن بیشتری دارند. به این مفهوم که در این روش هرچه فاصله از مرکز پیکسل مجهول بیشتر می‌شود، اثر بخشی پیکسل معلوم در تخمین نقطه‌ی مجهول و محاسبه‌ی میانگین آن کاهش پیدا می‌کند.

**- روش اسپلاین**

برای درون‌یابی بر اساس مدل اسپلاین از چند جمله‌ای‌ها استفاده می‌شود و از برازش یک تابع چند جمله‌ای بر اساس داده‌های نمونه، مقادیر نقاط نامعلوم برآورد می‌شوند. ویژگی اساسی اسپلاین این است که در سطح تغییرات ناگهانی وجود ندارد. در معادلات درجه دوم و سوم این انحناها به حداقل خود رسیده و در نتیجه یک سطح نسبتاً هموار به دست می‌آید. با توجه به تأثیر درجه بر دقت داده‌ها در درون‌یابی، هر چه درجه بالاتری انتخاب شود شکل حاصل هموارتر خواهد بود ولی به میزان قابل توجهی از دقت مدل کاسته می‌شود. این روش در تهیه‌ی منحنی‌های هم ارزش اقلیمی که سطح معینی از تعمیم در آنها مورد نظر می‌باشد مفید است. روش درون‌یابی اسپلاین با استفاده از معادله‌ی ۱ محاسبه می‌شود.

$$Z_{(x,y)} = T_{(x,y)} + \sum_{j=1}^{N} \lambda_j R(r_j) \qquad (۱)$$

که در آن N تعداد نقاط نمونه، $\lambda_i$ ضریب راه حل معادلات خطی، $r_j$ فاصله از نقطه نمونه j ام، و $T_{(x,y)}$ و با $R(r_j)$ با توجه به نوع گزینه، توسط کاربر تعیین می‌شود. این روش شامل دو نوع اسپلاین منظم و کششی می‌باشد *(سنجری، ۱۳۸۸: ۲۳۵)*.

**- کریجینگ**

کریجینگ یک روش زمین آمار برای درون‌یابی داده‌ها بر اساس واریانس فضایی است. این روش بر پایه‌ی مدل‌ها و روش‌های آماری پایه‌ریزی شده است. مدل ریاضی که برای این نوع درون‌یابی استفاده می‌شود عبارت است از:

$$z(S_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_{(i)} xz_{si} \qquad (۲)$$

که در آن:

$Z_{(si)}$ ،مقدار اندازه‌گیری شده (مقدار معلوم) در موقعیت jام، و $\lambda_{(i)}$، مقدار وزن نقاط معلوم در موقعیت jام به منظور تخمین مقادیر مجهول و N، تعداد نقاط معلوم،$(S_0)$، موقعیت مجهول *(سنجری، ۱۳۸۸: ۲۳۲)*. برای برآورد مقادیر بر اساس کریجینگ روش‌های مختلفی وجود دارد، در این پژوهش از روش‌های کریجینگ معمولی استفاده شده است. که شامل موارد زیر می‌شوند.

الف- وریوگرام دایره‌ای ب- وریوگرام نمایی

ج- وریوگرام گوسین د- وریوگرام کروی

چ- آستانه خطی

**- تعیین شبکه**

تعیین شبکه به معنی تشخیص اندازه‌ی بهینه برای یاخته‌های نقشه است. به‌طوری‌که کیفیت و توان تفکیک نقشه به بهترین نحو نمود یابد. در این راستا بهتر و معمول‌تر است که یاخته‌های مربعی برای نقشه طراحی شود *(عساکره، ۱۳۸۷: ۳۰)*. در پژوهش حاضر با توجه به مساحت محدوده‌ی مورد مطالعه، اندازه‌ی هر پیکسل ۵×۵ کیلومتر انتخاب گردید که مجموعاً ۱۷۲۵ سلول در محدوده‌ی مورد مطالعه تشکیل یافت. این شبکه‌بندی مبنای نقشه‌ها در همه‌ی روش‌ها قرار گرفت.

**- ارزیابی میزان خطا**

برای ارزیابی و بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی از روابط زیر استفاده شد:

میانگین‌مطلق خطا و میانگین‌بایاس خطا نشان‌دهنده‌ی میزان خطای مدل می‌باشند. بهترین مقدار آنها برابر صفر است که از طریق روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$MAE = \frac{\sum_{K=1}^{K} |X_K - Y_K|}{K} \qquad (۳)$$

$$MBE = \frac{\sum_{K=1}^{K} X_K - Y_K}{K} \qquad (۴)$$

در روابط فوق $X_K$ مقادیر مشاهداتی، $Y_K$ مقادیر برآورد شده و $K$ تعداد داده‌ها می‌باشد. برای محاسبه‌ی درصد خطا و میانگین مربعات خطا نیز از روابط زیر استفاده می‌شود که می‌تواند از صفر در عملکرد عالی تا بی‌نهایت تغییر کند :

$$Error_i = \frac{Obs_i - For_i}{Obs_i} \times 100 \qquad (۵)$$

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Obs_i - For_i)^2 \qquad (۶)$$

در روابط فوق $Obs_i$ و $For_i$ به ترتیب مقادیر مشاهداتی و برآورد شده و $n$ تعداد داده‌های مشاهداتی می‌باشد.

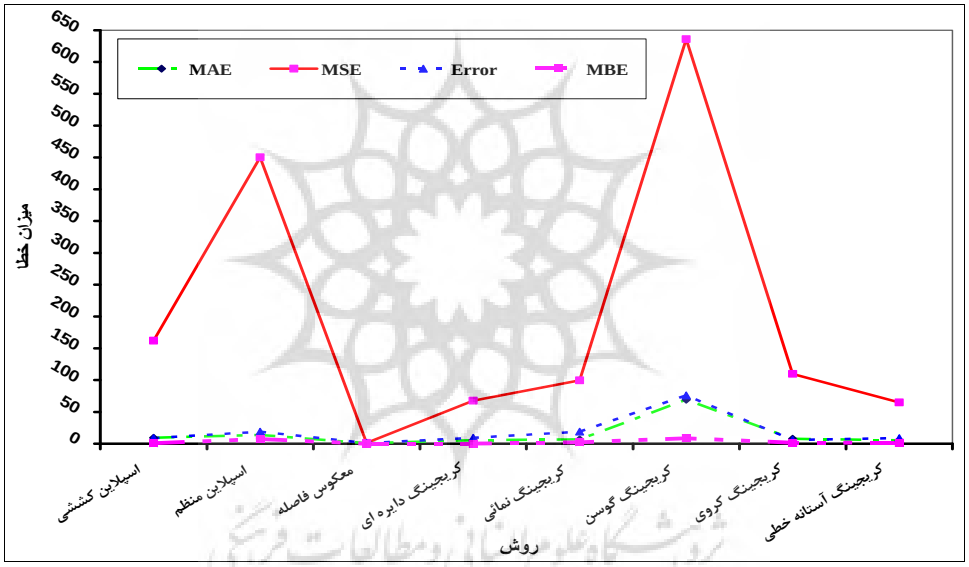
## بحث و نتایج

در پژوهش بر اساس اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی موجود در حوضه، روش‌های مختلف درون‌یابی بررسی شده و مقدار متوسط بارش برای کل محدوده‌ی مورد مطالعه بر اساس هر یک از روش‌های مورد استفاده، برآورد گردید (شکل‌های ۳ الی ۸). سپس به ارزیابی میزان دقت روش‌های به کار رفته پرداخته شد که نتایج آن در جدول (۱) قابل مشاهده است. شکل (۲) نیز میزان دقت روش‌های درون‌یابی را به صورت نمودار نمایش می‌دهد. با توجه به نتایج حاصله روش معکوس وزنی فاصله خطای کمتری را نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی نشان می‌دهد. بدین صورت که در هر چهار شاخص برآورد میزان خطا، مقدار عددی آن به صفر نزدیک‌تر می‌باشد که بیانگر میزان دقت بالای این روش در درون‌یابی میزان میانگین بارش محدوده‌ی مورد مطالعه (جنوب‌غرب و غرب دریای خزر) است. روش معکوس وزنی فاصله برای مناطقی با پستی و بلندی مورداستفاده قرارمی‌گیرد که پستی و بلندی‌های موجود در محدوده‌ی مورد مطالعه توجیهی بر این ادعا می‌باشد. روش‌های کریجینگ و آستانه خطی، دایره‌ایی و نمایی (جدول ۱)، از نظر میزان خطا به ترتیب بعد از روش معکوس وزنی فاصله قرار می‌گیرند.

**جدول ۱: نتایج مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی فضایی در محدوده‌ی مورد مطالعه**

| روش | MAE | MSE | Error | MBE |
|---|---|---|---|---|
| اسپلاین کششی | ۹/۲۷ | ۱۶۱/۹۱ | ۸/۸۷ | ۰/۶۶ |
| اسپلاین منظم | ۱۳/۷۹ | ۴۵۰/۱۶ | ۱۹/۱ | ۷/۲۴ |
| معکوس وزنی فاصله | ۰/۶۵ | ۱/۳۴ | ۱/۱ | ۰/۰۱ |
| کریجینگ دایره‌ای | ۵/۵۱ | ۶۷/۶۷ | ۹/۳۳ | ۰/۱۶ |
| کریجینگ نمائی | ۶/۷۴ | ۹۹/۴۸ | ۱۹/۱۸ | ۲/۳۶ |
| کریجینگ گوسن | ۶۹/۳۳ | ۶۳۵/۹۴ | ۷۵/۸۹ | ۸/۵۴ |
| کریجینگ کروی | ۷/۸۲ | ۱۰۹/۷۸ | ۵/۷۴ | ۱/۴۶ |
| کریجینگ آستانه خطی | ۵/۳۶ | ۶۴/۸۵ | ۸/۶۶ | ۱/۸۲ |

*مأخذ : نگارندگان*




**شکل ۲: مقایسه میزان خطا و دقت روش‌های درون‌یابی**

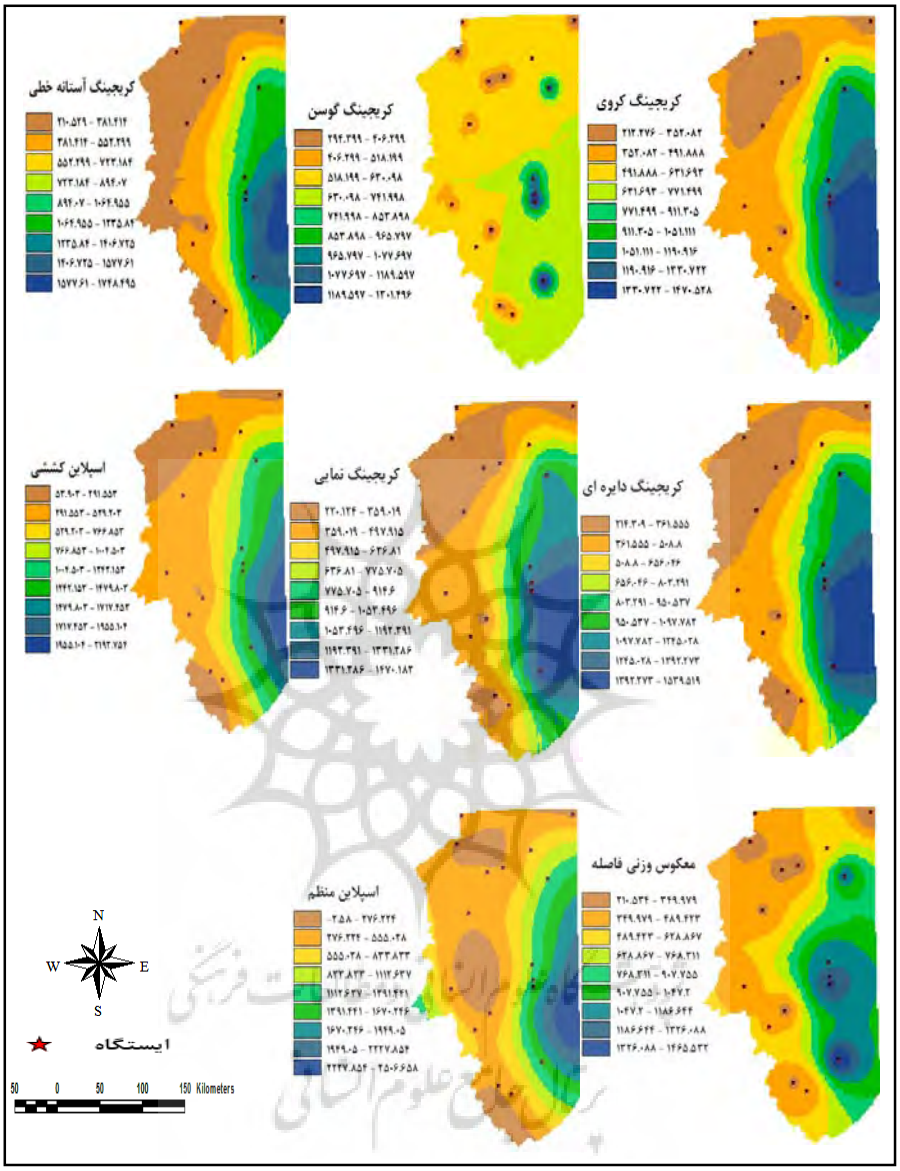
*مأخذ : نگارندگان*

نتایج بعضی محققان پیشین روش کریجینگ را به عنوان بهترین روش در امر درون‌یابی نشان می‌دهند اما باید متذکر شد که این امر زمانی صادق است که منطقه‌ی مورد مطالعاتی کاملاً کوهستانی باشد. لذا در این پژوهش برای محدوده‌ی مورد مطالعه که تماماً کوهستانی نیست، نمی‌تواند دقیق‌ترین روش باشد. همچنین با توجه به اینکه روش اسپلاین نیز برای مناطق کاملاً مسطح به کار می‌رود *(سنجری، ۱۳۸۸: ۲۳۲)*، باتوجه به پستی و بلندی‌های موجود در منطقه، نمی‌تواند مدل مناسبی در این نوع درون‌یابی به شمار آید. لذا در پژوهش حاضر به منظور الگوسازی بارش و همچنین برآورد میزان بارش مناطق فاقد ایستگاه در محدوده‌ی مورد مطالعه از روش معکوس وزنی فاصله استفاده گردید. بدین صورت که لایه‌های ماهانه، فصلی و سالانه‌ی بارش دریافتی برای محدوده‌ی مورد مطالعه ترسیم گردید و تأثیر بارش‌های خزری در غرب و جنوب‌غرب خزر مورد مطالعه قرار گرفت که نتایج آن به قرار زیر می‌باشند:

با تجزیه و تحلیل نقشه‌های خروجی چنین معلوم شد که در ماه‌های مربوط به فصل زمستان (ژانویه، فوریه، مارس)، سامانه‌ی خزری از یک طرف و ورود بادهای غربی از طرف دیگر منجر به ایجاد ناپایداری در منطقه شده و میزان بارش دریافتی ایستگاه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این امر باعث شده است که محدوده‌ی مورد مطالعه در فصل زمستان بارش نسبتاً خوبی داشته باشد. در فصل زمستان کمترین میزان بارش را ایستگاه پارس‌آباد دریافت می‌کند. در ماه‌های فصل بهار (به خصوص ماه می) سامانه‌های خزری بیشترین تأثیر را در مناطق جنوب غربی داشته است. از طرف دیگر، شاهد افزایش بارش ایستگاه‌های غربی (مشگین‌شهر و سرعین) هستیم که نتیجه‌ی ادغام نفوذ سامانه‌ی‌خزری و ناپایداری‌های حاصل از صعودهمرفتی در ارتفاعات غربی محدوده‌ی مورد مطالعه می‌باشد. در فصل بهار ایستگاه‌های بیله‌سوار و پارس‌آباد کمترین میزان بارش دریافتی را دارا می‌باشند. قابل ذکر است که در فصل بهار، بارش غرب محدوده‌ی مورد مطالعه بیشتر از بارش آن در فصل زمستان می‌باشد ولی بارش ایستگاه‌های جنوب‌غرب دریای خزر (آستارا و هشتپر) نسبت به بارش آن در فصل زمستان کاسته شده است. از آنجا که هوای مرطوب مدیترانه بر اثر گسترش بادهای غربی در فصل زمستان به این منطقه وارد می‌شوند و پس از پسروی بادهای غربی در آنجا باقی می‌مانند، این هوای مرطوب در ماه‌های مربوط به فصل بهار بر اثر تابش زیاد خورشید بر روی دامنه‌های آفتاب‌گیر و ایجاد ناپایداری، صعود و منجر به ریزش بارش می‌شود *(کاویانی و علیجانی، ۱۳۸۰: ۲۴۶)*

این امر، دلیل افزایش بارش ایستگاه‌های غربی استان اردبیل را در فصل بهار به خوبی توجیه می‌کند.

ایستگاه‌های سینوپتیک محدوده‌ی مورد مطالعه، در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر (فصل پاییز)، بیشترین تأثیر را از سامانه‌های خزری پذیرا می‌باشند. در این فصل، با توجه به اینکه سامانه‌ی حاکم بر منطقه سامانه‌ی خزری می‌باشد، در نتیجه از سمت شرق به غرب از میزان بارش منطقه کاسته می‌شود. سامانه‌ی خزری در ماه‌های فصل پاییز (به خصوص در ماه نوامبر و دسامبر) از محدوده‌ی بین ایستگاه‌های اردبیل و فیروزآباد نفوذ کرده و توانسته است ایستگاه سرعین را تا حد قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر قرار دهد و در نتیجه بر میزان بارش دریافتی آن تأثیر بگذارد. به طوری که در این فصل،بارش ایستگاه سرعین در بین ایستگاه‌های موجود در استان اردبیل بیشتر بوده و این امر به دلیل نفوذ سامانه‌ی خزری از محدوده‌ی مذکور به این منطقه بوده است. ایستگاه‌های جنوب‌غرب (هشتپر و آستارا) نیز در این فصل بیشترین تأثیر را از سامانه‌های خزری پذیرا می‌باشند. ایستگاه‌های سینوپتیک محدوده‌ی مورد مطالعه، کمترین تأثیر خود را از سامانه‌های خزری در ماه‌های فصل تابستان (جولای، آگوست، سپتامبر) پذیرا می‌باشند که به دلیل عدم فعال بودن سامانه‌های مذکور در این فصل می‌باشد. از بین ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در استان اردبیل، بجز دو ایستگاه بیله‌سوار و پارس‌آباد که بیشترین بارش خود را در ماه‌های نوامبر، اکتبر و دسامبر( فصل‌پاییز) دریافت می‌کنند، بقیه‌ی ایستگاه‌ها بیشترین بارش خود را در طیّ ماه‌های آوریل، می و ژوئن (فصل بهار) دارا می‌باشند که این امر به دلیل صعود همرفتی در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد.




**شکل ۳ الی ۸: لایه‌های خروجی هر یک از روش‌های درون‌یابی برای محدوده‌ی مورد مطالعه**

*مأخذ: نگارندگان*

## نتیجه

در هر پژوهشی به منظور رسیدن به نتیجه‌ی درست و منطقی لزوم آن می‌رود همه‌ی روش‌های موجود برای رسیدن به هدف، مورد بررسی قرار گیرد تا از بین نتایج به دست آمده از روش‌های متفاوت، هر کدام که بهترین نتیجه را در پی داشتند به عنوان مبنای کار قرار گیرد. در چنین شرایطی است که برنامه‌ریزی‌ها بهترین نتیجه را در جهت جلوگیری از خسارت‌های احتمالی و یا استفاده‌ی بهینه از منابع، خواهد داشت. مناطق غرب و جنوب‌غرب دریای خزر، همواره در معرض لغزش‌های دامنه‌ایی و سیلاب و سایر مخاطرات حاصل از بارندگی قرار دارد که دلیل اصلی آن مجاورت

منطقه با دریای خزر، تأثیرپذیری از بارش‌های حاصل از صعود همرفتی، قرارگیری در مسیر بادهای غربی و همچنین عدم آگاهی از میزان دریافت بارش در تمام منطقه می‌باشد (به دلیل عدم وجود ایستگاه‌های باران‌سنجی کافی در منطقه). به منظور حلّ مشکلات مذکور در منطقه و اتخاذ تدابیر اساسی و درست در منطقه اقدام به درون‌یابی بارش گردید. با توجه به اینکه در حالت کلی سه روش برای درون‌یابی وجود دارد، در پژوهش حاضر نیز با استفاده از هر سه روش مذکور اقدام به درون‌یابی میانگین بارش گردید. با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته چنین معلوم گشت که روش معکوس وزنی فاصله برای منطقه‌ی مورد مطالعه بهترین روش به منظور درون‌یابی و در نهایت بهترین روش برای الگوسازی بارش در منطقه می‌باشد. لذا مطالعات صورت گرفته بر اساس معکوس وزنی فاصله نشان دادند که سامانه‌های خزری در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر (فصل پاییز) بیشترین تأثیر و نفوذ را برای محدوده‌ی مورد مطالعه داشته و منجر به ریزش بارش‌های زیاد در منطقه می‌گردد. لازم به ذکر است که ایستگاه‌های سینوپتیک غرب دریای خزر (ایستگاه‌های موجود در استان اردبیل) علی‌رغم اینکه بیشترین بارش خود را در ماه‌های مربوط به فصل بهار دریافت می‌کنند، با وجود این باید اذعان کرد که سامانه‌های خزری نقش جزیی در این امر می‌توانند ایفاء کنند چرا که نقشه‌های حاصل از روش معکوس وزنی فاصله، سامانه‌های مذکور را بر روی محدوده‌ی مورد مطالعه در این فصل از سال ضعیف نشان می‌دهند و در نتیجه نفوذ این سامانه‌ها بجز در مواردی خاص به غرب دریای خزر ناممکن می‌باشد. لذا با توجه به اینکه در فصل بهار نفوذ بادهای غربی نیز به داخل محدوده‌ی مورد مطالعه کاملاً قطع می‌شود، بایستی به وجود ارتفاعات زیاد در غرب دریای خزر اشاره کرد که باعث صعود همرفتی هوا شده و در نتیجه ریزش بارش‌های زیاد در منطقه را باعث می‌گردد.

## منابع


۱- اقدسی، فاطمه (۱۳۸۳). ارزیابی چند روش زمین آماری ترسیم میدان عددی بارندگی روزانه و سالانه (مطالعه موردی دشت برخوار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی. دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

۲- آزادی‌مبارکی، محمد (۱۳۸۸). تحلیل رابطه‌ی زمانی و مکانی بارش‌های سواحل جنوب‌غرب دریای خزر با ایستگاه‌های سینوپتیک استان اردبیل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه محقق اردبیلی.

۳- رحیمی‌بندرآبادی، سیما؛ محمدحسین مهدیان (۱۳۸۲) بررسی تغییرات مکانی بارندگی ماهانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جنوب شرق کشور، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم. اصفهان.

۴- سبحانی، بهروز؛ برومند صلاحی؛ محمد آزادی؛ سیداسعد حسینی (۱۳۸۸). تحلیل رابطه‌ی زمانی و مکانی بارش‌های سواحل جنوب‌غرب دریای خزر با رژیم بارشی استان اردبیل در محیط GIS، دومین همایش ملی علوم جغرافیایی. دانشگاه پیام نور. استان آذربایجان غربی.

۵- سنجری،سارا (۱۳۸۸).راهنمای‌کاربردیArc GIS 9/3، چاپ چهارم. انتشارات عابد. تهران.

۶- شمس‌الدینی، علی (۱۳۷۹). تغییرات منطقه‌ای بارندگی با استفاده از روش کریجینگ در استان‌های شمالی، سمینار کارشناسی ارشد آبیاری دانشکده کشاورزی. دانشگاه شیراز.

۷- عساکره، حسین (۱۳۸۷) کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش، جغرافیا و توسعه. شماره ۱۲.

۸- فرجی سبکبار، حسنعلی؛ قاسم عزیزی (۱۳۸۵). ارزیابی میزان دقت روش‌های درون‌یابی (مطالعه موردی، الگوسازی بارندگی حوزه کارده مشهد)، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۵۸.

۹- کاویانی، محمدرضا، علیجانی، بهلول (۱۳۸۰). مبانی آب و هواشناسی. چاپ هشتم. انتشارات سمت، تهران.
۱۰- گل‌محمدی، گلمر؛ صفر معروفی؛ کوروش محمدی (۱۳۸۷). تعیین بهترین روش زمین آمار برای تخمین توزیع بارندگی در استان همدان با استفاده از GIS، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه تبریز.
۱۱- لوک‌زاده، صمد (۱۳۸۳). ارزیابی چند روش مختلف بازسازی خلاءهای آماری بارندگی در مقاطع زمانی مختلف در منطقه البرز مرکزی. پایان‌نامه کارشناسی ارشدهواشناسی کشاورزی.دانشکده کشاورزی. دانشگاه تهران.
۱۲- محمدزاده، محسن؛ رحیم صفری فافار (۱۳۸۲). مقایسه روش‌های درون‌یابی برای فضایی، نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم، جلد ۳، شماره ۳.
۱۳- مهدیزاده، مهیار (۱۳۸۱). ارزیابی روش‌های زمین آماری برای برآورد دما و بارندگی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تهران.
۱۴- میثاقی، فرهاد؛ کوروش محمدی (۱۳۸۵). پهنه‌بندی اطلاعات‌بارندگی با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک و زمین آمار و مقایسه با شبکه‌های عصبی مصنوعی، مجله علمی کشاورزی. جلد ۲۹. شماره ۴.
15- Burrough, P. A and R. A. Mcdonnell (1998). Principles of Geographical Information Systems, Oxford University Press.
16- Dubreuil (2004) Scale effects on runoff from experimental plots to catchments in agricultural areas in Normandy. J. Hydrol. 299.
17- Elias Symeonakis, Rogerio Bonifacio, Nick Drake (2009). A comparison of rainfall estimation techniques for sub-Saharan Africa, International journal of Applied Earth Observation And Geoinformation, Volume 11, Issue 1.
18- Flowerdew, R. and M. Green (1989). STATISTICAL Methods for Inference between Incompatible Zonal Systems, in Accuracy of Spatial Databases, Taylor and Francis.
19- Godchild, M. F. and N, F, and N. N-S lam. (1980). Areal Interpolation: A Variant of the Traditional Spatial Problem, Geo-processing 1.
20- Ian A. Nalder, Rossw. Wein (1998). Spatial interpolation of climatic Normals: test of a new method in the Canadian boreal forest, Agricultural and Forest Meteorology, Volume 92, Issue 4.
21- M.A. Gad, K.Tsanis (2001). A GIS Precipitation Method for Analysis op Storm Kinematics, Environmental Modeling & Software, Volume 16, Issue 3.
22- Mahdavian, M, H, et al, Investigation of Spatial interpolation Methods to Determind the Minimum Errore of Estimation case stady, Temperature and Evapotranspiration.
23- Raigh, J. K (1936). A Method of Mapping Densitaties of Population with Cape Cod as an Exampel, Geographical Review, 26.
24- Rhind, D. W (1991). Counting the People: the Role of GIS In Geographical Information Systems, Volume 2: Principles and Applications.
25- Rolando Celleri, Patrick Willems, Bert Debierre, Guido Wyseure (2006). Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes, Jurnal of Hydrology, Volume 329.
26- S. J. Gaskin, J. J. Carrera-Hernandes (2007). Spatial Temporal and Temperature in the Basin of Mexico, journal of Hydrology, Volume 336, Issues 3-4.
27- Tobler, W. R (1979). “Smooth phcnophylactic Interpolation for Geographical Regions, Jurnal of the American Statistical Association, 74.