

ارزیابی پهنه‌های بارشی با استفاده داده‌های ماهواره TRMM در استان فارس

محمود احمدی^{۱*}، مهدی نارنگی فرد^۲

۱- استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه یزد

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱/۲۳

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۲/۹/ ۲۳

چکیده

به جهت عدم توانایی ارائه داده‌های مکانی بارش با وضوح بالا با استفاده از ایستگاه‌های باران سنجی و محدودیت در انعکاس تغییرات مکانی بارندگی به طور موثر، به ویژه در مناطقی که در آن توزیع ایستگاه‌های هم‌دید و باران‌سنجی بسیار بالا است؛ لزوم بکارگیری تکنیک‌های سنجش از دور از اهمیت بیشتری برخوردار است. در دو دهه اخیر استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور جهت پژوهش‌های آب و هواشناسی رایج شده است. بدین جهت در این پژوهش، به منظور ارزیابی پهنه‌های بارشی در استان فارس از داده‌های ماهواره TRMM، به طور جداگانه برای فصول پاییز، زمستان، بهار و تابستان در بازه زمانی (۱۹۹۸-۲۰۱۲) استفاده شده است؛ سپس با بکارگیری روش میانابایی کریجینگ معمولی و وزن‌دهی معکوس فاصله نقشه پراکنش مکانی و زمانی الگوهای بارشی تهیه گردید و جهت ارزیابی مدل‌های درونیابی، از روش ریشه دوم مربع خطا (RMS) و مقدار استاندارد شده آن (RMSS) استفاده شد. یافته‌های پژوهش نشان داد بیشینه میانگین سالانه بارش در مناطق باختری و کمینه آن در نواحی جنوب و جنوب خاوری روی می‌دهد. همچنین تغییرات مکانی قابل توجهی در پهنه‌های بارشی در محدوده سرزمین پژوهش در مقیاس‌های فصلی و سالانه بجز در فصل تابستان وجود ندارد، در فصل تابستان کمترین میزان بارش و انحراف رخ می‌دهد که بر خلاف بارش سالانه از آرایش بارشی باختری- خاوری تبعیت نمی‌کند و بیشینه بارشی آن مربوط به مناطق جنوب خاوری است؛ نتایج ارزیابی روش‌های میانابایی نیز نشان داد روش کریجینگ با میزان خطا سالانه (RMS) ۲۸ در مقابل ۳۰ روش وزن‌دهی معکوس فاصله از میزان خطای کمترین برخوردار است، همچنین کمترین میزان خطا در تابستان و بیشترین در فصل زمستان محاسبه گردید.

واژه های کلیدی: بارش، ماهواره TRMM، پهنه‌بندی، تکنیک‌های زمین آمار، استان فارس

مقدمه

بارش پدیده‌ی حاصل از اندرکنش‌های پیچیده‌ی هواسپهر است (محمدی و مسعودیان، ۱۳۸۹)؛ بارندگی یک مولفه اساسی از چرخه آب جهانی، به عنوان یک پارامتر بوم‌شناسی، آب‌شناسی و هواشناسی است (جیا و همکاران، ۲۰۱۱) و به دلیل پیوند با اجزاء مختلف دستگاه اقلیم، رفتاری پیچیده دارد. رخداد بارش نیازمند تأمین شرایط متعددی است. مهیائی رطوبت، مهیائی ناپایداری عمیق، سرمایش و ... شرایط لازم برای رخداد بارش به‌شمار می‌آیند (مسعودیان و محمدی، ۱۳۸۹). دستیابی به پراکنش فضایی دقیق بارش ماهانه و ارزیابی شبیه‌سازی مدل‌های منطقه‌ای برای علوم محیطی به ویژه آب و هواشناسی اهمیت فراوان دارد. با توجه به تغییرپذیری زمانی و فضایی زیاد بارش و تراکم محدود ایستگاه‌های اندازه‌گیری، پیشرفت‌ها در زمینه تخمین بارش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بسیار با اهمیت جلوه می‌کند (حجازی-زاده و همکاران، ۱۳۹۱). برآورد مقدار بارش توسط ایستگاه‌های باران‌سنجی نشان دهنده توزیع نقطه‌ای بارش است، که در نتیجه هنگام محاسبه میانگین بارندگی در یک منطقه با استفاده از روش‌های آماری باعث بروز اشتباه می‌گردد (چن و همکاران، ۲۰۱۱). ارزیابی بارش از داده‌های ماهواره‌ای جایگزین قابل قبولی بجای استفاده از داده‌های زمینی جهت مدل‌های آب و هوایی/آب-شناسی منطقه‌ای و جهانی است (اود دین و همکاران، ۲۰۰۸). به طور کلی اندازه‌گیری‌های میزان بارندگی توسط ایستگاه‌های زمینی، رادارهای زمینی و ماهواره انجام می‌گیرد. بررسی بارندگی به روش سنتی نیاز به شبکه‌های باران-سنجی متراکم دارد که هم از لحاظ اجرایی و هم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. همچنین

اندازه‌گیری‌های بارش بر اساس فن‌آوری‌های زمین مینا (ایستگاه‌های باران‌سنجی) دارای مشکلاتی از قبیل عدم توانایی ثبت باران‌های رگباری، سنگین همرفتی و عموماً در مناطق قابل دسترسی نصب شده‌اند، همچنین از نظر شکل و قدرت تفکیک زمانی متفاوت عمل می‌کنند (متکان و همکاران، ۱۳۸۸). محاسباتی که برای بارش متداول است، در بیشتر نقاط جهان، برای تعیین خصوصیات کلی بارش کافی نمی‌باشند. زیرا محاسبات بارش از روی مشاهدات زمینی، در اکثر مواقع به صورت نقطه‌ای انجام می‌شود در حالی که بارش خود یک پدیده جوی است. در نتیجه استفاده از ابزارهای جدید مانند ماهواره‌های سنجش از دور به عنوان یک مکمل برای پر کردن این خلاء مورد نیاز می‌باشند (آذری و همکاران، ۱۳۸۸).

برای تخمین بارندگی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای تکنیک‌های مختلفی وجود دارد اما می‌توان آن‌ها را به سه گروه عمده‌ی روش‌های غیرمستقیم، مستقیم و ترکیبی تقسیم کرد. روش‌های غیر مستقیم بیشتر از تصاویر فروسرخ استفاده می‌کنند و بر اساس دمای سطح بالایی ابر، نرخ بارندگی را بیان می‌دارند. اما روش‌های مستقیم از ماکروویو غیرفعال استفاده می‌کنند. ارتباط بین بارندگی و تابش مایکروویو در مقایسه با فروسرخ (روش‌های غیرمستقیم) قابل اعتمادتر است، زیرا بخش ماکروویو طیف الکترومغناطیس قادر به نفوذ در ابر است و از آنجا که این طول موج‌ها با بخار آب موجود در جو واکنش نشان می‌دهند و باعث شناسایی آن‌ها می‌گردند، تخمین‌های بهتری از بارندگی‌های ناگهانی تولید می‌کنند. از آنجا که فراوانی مشاهدات ماکروویو غیر فعال نسبت به مرئی و فروسرخ کمتر است، هنگامی که برای تخمین بارندگی کوتاه مدت استفاده شوند خطای نمونه برداری افزایش می‌-

مناسب است. در نتیجه با توجه به این موضوع پهنه‌بندی بارش در استان فارس با کمک روش-های زمین‌آمار و داده‌های ماهواره TRMM در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفت.

پیشینه پژوهش

پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه بکارگیری داده‌های TRMM عمدتاً در زمینه پیش‌سیل و اعتبار سنجی و مقایسه این داده‌ها با داده‌های زمینی است، از جمله می‌توان به برآورد بارش در کویت با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM (اود دین و همکاران، ۲۰۰۸) و در کشور هند (میشرا و همکاران، ۲۰۱۲) اشاره کرد؛ همچنین المزرعی (۲۰۱۱) کالیبراسیون داده‌های بارش ماهواره TRMM را با استفاده از ۲۹ ایستگاه زمینی در بازه زمانی ۱۹۹۸ الی ۲۰۰۹ در عربستان انجام داد، که نتایج مقایسه روزانه داده‌ها به ویژه در فصل مرطوب از روند مشابه دو نوع داده با ضریب همبستگی ۰/۹، با سطح معنی‌داری ۹۹ درصد بارش بین داده‌های TRMM و اطلاعات زمینی در مقیاس ماهانه حکایت دارد. موفیت و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای با بکارگیری داده‌های TRMM بر مبنای سامانه آشکارساز سیل به اعتبارسنجی این سامانه و داده‌های زمین مینا در بنگلادش پرداختند. واریکودن و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی ویژگی‌های فضایی و زمانی شدت بارش در مالزی با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM، مورد مطالعه قرار دادند. در این رابطه در ایران نیز می‌توان به تحقیقات زیر اشاره کرد:

حاجی میررحیمی و فیضی‌زاده (۱۳۸۷) در پژوهشی میزان انطباق داده‌های رادار و TRMM با داده‌های بارش زمینی را مورد بررسی قرار دادند که سرانجام مشخص شد داده‌های رادار دارای

یابد، بنابراین طرح‌های ترکیبی با ترکیب این دو روش سعی در برطرف کردن مشکلات مذکور دارند (متکان و همکاران، ۱۳۸۸).

معرفی ماهواره TRMM^۱

این ماهواره در ۲۷ نوامبر سال ۱۹۹۷ با همکاری مشترک سازمان ملی هوانوردی سازمان فضایی آمریکا (NASA) و آژانس اکتشافات هوا فضای ژاپن (JAXA) به فضا پرتاب شد. هدف از پرتاب این ماهواره اندازه‌گیری بارندگی در سطح اقیانوس‌ها و مناطق گرمسیری و چگونگی تاثیر این بارش بر آب و هوای جهانی با استفاده از ابزار تصویربرداری میکروموج^۲ TMI، رادار بارش^۳ PR، و اسکندر فرورسرخ و مرئی^۴ VISIR است (کومروو و همکاران، ۲۰۱۱). علاوه بر این از اطلاعات این ماهواره می‌توان در اندازه‌گیری بارش در سطح خشکی‌ها و مخصوصاً مناطقی که دارای آمار و اطلاعات ثبت شده مناسبی نمی‌باشند استفاده نمود. این ماهواره در ارتفاع تقریبی ۳۵۰ کیلومتری زمین قرار داشته و دارای پنچ سنجنده اصلی است که هر یک به نوعی پارامترهای وابسته به بارش را اندازه‌گیری می‌کنند. ماهواره TRMM در هر روز چندین بار از مناطق مختلف کره زمین عبور کرده و اطلاعات لازم را برداشت می‌کند. تکرار برداشت‌ها و عبور این ماهواره برای مناطق مختلف کره زمین متفاوت است و بستگی به عرض جغرافیایی محدوده مورد نظر دارد (ارشادی و خیابانی، ۱۳۸۳).

فن‌آوری‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزاری برای پرکردن خلاء اطلاعاتی موجود و جهت ارزیابی و مطالعه مناطقی که با مشکل فقدان و کمبود آمار مواجه هستند،

-
- 1 - Tropical Rainfall Measuring Mission
 - 2 - TRMM Microwave Imager
 - 3 - Precipitation Radar
 - 4 - Visible and Infrared Scanner

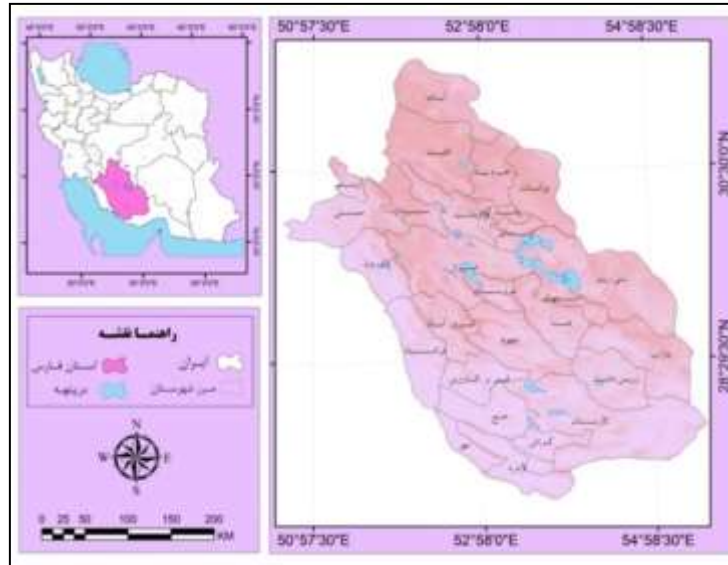
کمترین خطا همراه بود؛ همچنین در پژوهشی دیگر شمس‌نیا و پیرمردیان (۱۳۸۷) با استفاده از داده‌های ۹۰ ایستگاه باران‌سنجی در استان فارس، با بکارگیری روش‌های درون‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله، اسپیلاین و کریجینگ در دو سال زراعی همراه با ترسالی و خشکسالی پرداختند، که در نتیجه روش کریجینگ به عنوان بهترین روش پهنه‌بندی داده‌های بارش در تاریخ‌های مورد پژوهش تعیین گردید. ثقفیان و همکاران (۱۳۹۰) نیز میانگین بارش سالانه‌ی ۱۲ ایستگاه همدید در استان فارس مورد بررسی قرار دادند که روش کریجینگ و کوکریجینگ گوسی به عنوان مناسب‌ترین روش برازش یافته انتخاب گردید.

مواد و روش‌ها

استان فارس با وسعت ۱۲۵۶۹۷ کیلومتر مربع حدود ۷/۵ درصد مساحت کشور را در بر می‌گیرد. این استان با جمعیتی بالغ بر ۴۵۹۶۶۵۸ (۱۳۹۰) نفر حدود ۶ درصد جمعیت ایران را شامل می‌شود (شکل ۱). استان فارس در جنوب منطقه مرکزی ایران بین مدارهای ۲۷ درجه و ۲ دقیقه و ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۴۲ دقیقه و ۵۵ درجه و ۳۶ دقیقه طول خاوری از نیمروز گرینویچ قرار گرفته است. میانگین دما در سردترین ماه سال بین ۷- تا ۲- درجه‌ی سانتی-گراد و در گرم‌ترین ماه سال بین ۳۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد در نوسان است. جهت عمومی کوه‌های این استان شمال خاوری- جنوب باختری است و هر چه از طرف شمال به جنوب پیش می‌رویم از ارتفاع کوهستان به طور عمومی کاسته می‌شود.

همبستگی معناداری با داده‌های بارش زمینی در منطقه شمال باختری ایران می‌باشند. رضایی و رستمی (۱۳۸۷) در مقاله‌ای به توضیح نحوه انتشار نقشه بارش جهانی در کمترین فاصله زمانی پس از وقوع با استفاده از ماهواره TRMM و سایر ماهواره‌ها پرداخته شده است. جوانمرد و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از داده‌های ماهواره-TRMM TMI به مطالعه بروی توزیع مکانی و زمانی نرخ بارش‌های همرفتی و پوششی بر روی ایران پرداختند، با بررسی سامانه‌های بارشی همرفتی و پوششی، مشاهده شد که این دو سامانه بارشی در فصول پاییز و زمستان دارای الگو نسبتاً مشابه می‌باشند. اما الگوی دو سامانه بارشی در فصول بهار و بویژه تابستان نسبت به هم تغییر کرده، و بارش‌های همرفتی عمده بارش سطح زمین را تأمین می‌کنند. امیدوار و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی تطابق آمار بارندگی ماهواره TRMM با ایستگاه‌های اقلیمی زمینی در استان خراسان رضوی پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که میزان انطباق و همبستگی بالای ۹۵ درصد بین آمار بارندگی سالانه و همبستگی بالای ۹۹ درصد بین آمار بارندگی ماهانه ماهواره با آمار ایستگاه-های اقلیمی زمینی وجود دارد.

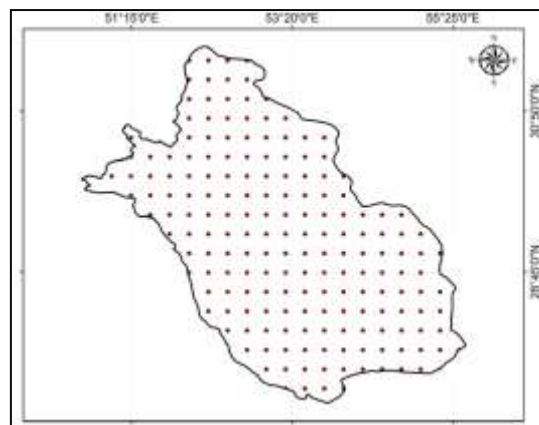
در زمینه پهنه‌بندی بارشی در محدوده سرزمینی استان فارس می‌توان به پژوهش‌های متکان و همکاران (۱۳۸۶) و یزدانی (۱۳۸۴) اشاره کرد، در این پژوهش با مقایسه دو روش درونیابی کریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی، جهت بارش روزانه مجزا دو روز متفاوت پرداخته شد، که بر اساس یافته‌های پژوهش مدل کریجینگ با



شکل ۱: نقشه موقعیت سیاسی منطقه مورد مطالعه

ماهواره TRMM به روش‌های میان‌یابی کریجینگ معمولی (OK) با اعمال مدل نیم-تغییرنا گوسی و وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) به کمک نرم‌افزار ARCGIS 9.3 انجام گرفت. در ادامه پراکنش مکانی و زمانی الگوهای بارشی در بازه زمانی سالانه و فصلی، همچنین دو روش درون‌یابی مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت.

نخست داده‌های بارشی استخراج شده از ماهواره TRMM از تارنمای <http://disc2.nascom.nasa.gov> در قالب داده‌های زمانی سالانه و فصلی در دوره زمانی ۱۵ ساله (۱۹۹۸-۲۰۱۲) با تفکیک مکانی $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ درجه مشتمل بر ۱۸۳ نقطه با فرمت ASCII دریافت گردید (شکل ۲). سپس در این پژوهش با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار پهنه‌بندی داده‌های بارشی مستخرج از



شکل ۲: موقعیت داده‌های بارشی ماهواره TRMM مورد استفاده در پژوهش

معلوم با استفاده از مقدار معلوم همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات مشخص به دست می‌آید (مظفری و همکاران، ۱۳۹۱). که به طور کلی

روش درون‌یابی مورد استفاده

تخمین زمین آماری، فرآیندی است که طی آن، مقدار یک کمیت مجهول در نقاطی با مختصات

شامل دو مرحله‌ی بررسی داده‌ها و تحلیل ساختاری اطلاعات، مطابق با تشریح تغییرپذیری مکانی متغیر و برآورد مکانی نقاط نمونه‌برداری نشده، می‌باشند (صفرراد و همکاران، ۱۳۹۲). در تعیین ارزش یک نقطه تمامی نقاط مجاور و معلوم به طور یکسان و همسان مؤثر نیستند. بدین دلیل هر یک از نقاط مزبور به تناسب تأثیرشان بر ارزش نقطه مجهول، حامل وزنی خواهند بود (عساکره، ۱۳۸۷).

روش کریجینگ

کریجینگ یک روش تخمین زمین آماری است که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار می‌باشد. می‌توان گفت این روش، بهترین تخمین‌گر خطی ناریب^۱ است و در قالب رابطه^۱ بیان می‌شود:

$$Z^* = \sum_{i=1}^n w_i z(x_i) \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه، Z^* مقدار متغیر مکانی برآورد شده، $Z(x_i)$ مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه^۲ X_i و w_i وزن آماری است که به نمونه^۳ X_i نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطه^۴ X_i در برآورد است (حسنی‌پاک، ۱۳۸۰). روش میان یابی کریجینگ بسته به کیفیت همبستگی و نحوه‌ی تغییرات مکانی پدیده‌ها و برحسب ارزش‌های مورد جستجو و همچنین ارتباط بین متغیر مورد بررسی و متغیرهای توضیحی دیگر به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند. از جمله: کریجینگ معمولی؛ با فرض غلبه‌ی مؤلفه‌ی همبستگی مکانی و به کارگیری مستقیم نیمه‌پراش نگار، ارزش مقداری (Z) در یک نقطه مثل Z_0 به شکل $Z_0 = \sum_{i=1}^s w_x z_x$ است (عساکره، ۱۳۸۷).

روش وزن دهی معکوس فاصله

از مهم‌ترین روش‌های درون‌یابی، روش وزنی‌دهی معکوس فاصله می‌باشد. در این روش وزن نقاط نمونه بر روی نقطه مجهول براساس فاصله‌ی بین نقاط معلوم و نقطه مجهول محاسبه می‌شود. این اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شوند، به طوری که توان‌های بزرگ تر اثر نقاط دورتر از نقطه‌ی مورد تخمین را کاهش می‌دهند و توان‌های کوچک‌تر وزن‌ها را به طول یکنواخت‌تری بین نقاط همسایه توزیع می‌کنند. معادله‌ی زیر (رابطه ۲) چگونگی محاسبه‌ی اوزان در این روش را نشان می‌دهد:

$$\lambda_i = \left\{ \frac{D_0}{D_i} \right\}^\alpha - 1 \quad \text{رابطه ۲}$$

λ_i : وزن نقطه نمونه A_i ، D_i : فاصله بین نقطه نمونه A_i و نقطه مجهول، α : توان وزن‌دهی و D_0 : شعاع همسایگی می‌باشد.

جهت ارزیابی و مقایسه‌ی مدل‌ها و روش‌های متفاوت درون‌یابی مورد بررسی، از آماره‌های متعددی مانند روش اعتبارسنجی متوالی^۲، روش خطای اریب میانگین^۳، خطای قدر مطلق میانگین^۴، مجذور مربعات خطا و مقدار استاندارد شده‌ی آن استفاده می‌شود (صفرراد و همکاران، ۱۳۹۲؛ نادری و همکاران، ۱۳۹۱؛ ذبیحی و همکاران، ۱۳۹۰؛ مهرشاهی و خسروی، ۱۳۸۹). جهت ارزیابی کارایی روش‌های میان‌یابی در این پژوهش به روش ریشه دوم مربع خطا (RMS)^۵ و مقدار استاندارد شده آن (RMSS)^۶ مورد استفاده قرار گرفت. که هرچه مقدار RMS و RMSS کمتر باشد، مدل اعمال شده دارای دقت آماری

2 - Cross Validation

3 - Mean Bias Error (MBE)

4 - Mean Absolute Error (MAE)

5 - Root Mean Square

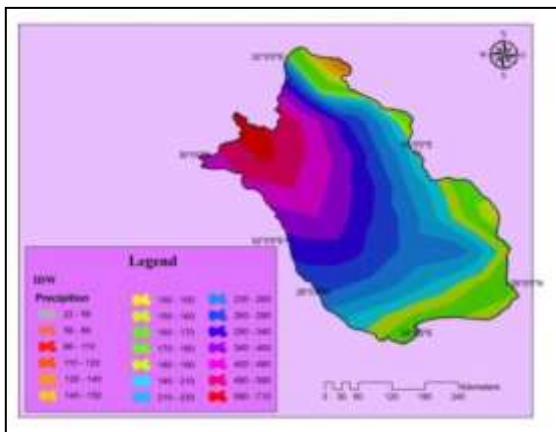
6 - Root Mean Square Standard

1 - Best Linear Unbiased Estimator

ماهواره TRMM، مقادیر داده‌های بارشی در استان فارس پهنه‌بندی گردید.

پهنه‌بندی بارش به روش کریجینگ معمولی و وزن‌دهی معکوس فاصله داده‌های TRMM پهنه‌بندی سالانه

با ملاحظه شکل های ۳ و ۴ الگوهای بارشی از غرب به سمت جنوب و شرق شاهد روند کاهشی است، بیشینه بارشی (پهنه همبارش ۴۸۰-۷۱۰ میلی‌متر) متعلق به مناطق غربی و به صورت منظم به سمت مرزهای پیرامون جنوب، شرق و شمال شرقی (پهنه بارشی ۲۱۰-۱۶۰ میلی‌متر) با روند کاهشی مواجه است.



شکل ۴: پهنه‌بندی میانگین بارش سالانه به روش وزن-دهی معکوس فاصله

معمولی (شکل ۱۰) و نمودار مربوط به همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده با روش کریجینگ معمولی و وزن‌دهی معکوس فاصله در شکل های ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۲ میزان ریشه دوم مربع خطا و مقدار استاندارد شده آن به ترتیب ۲/۲۸ و ۰/۸۴ می-باشد. با توجه به

بالتری خواهد بود معادلات محاسبه‌ی روش‌های بالا به قرار رابطه ۳ و ۴ است (مظفری و همکاران، ۱۳۹۱).

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - z(x_i))^2}$$

رابطه ۳

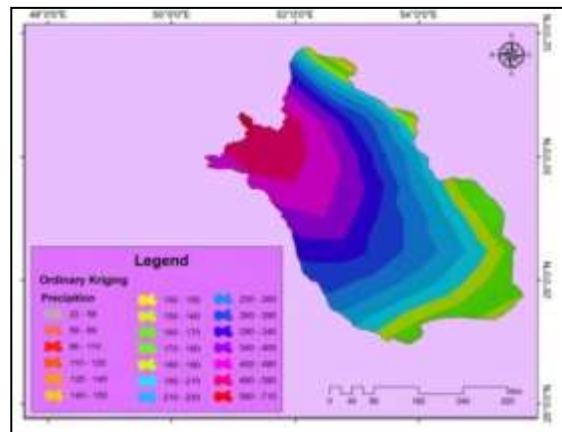
$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - z(x_i))^2}$$

رابطه ۴

که در آن: $Z^*(x_i)$: مقدار برآورد شده متغیر مورد نظر، $Z(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده متغیر مورد نظر، N تعداد داده‌ها، S : واریانس خطا می‌باشد.

نتایج پژوهش

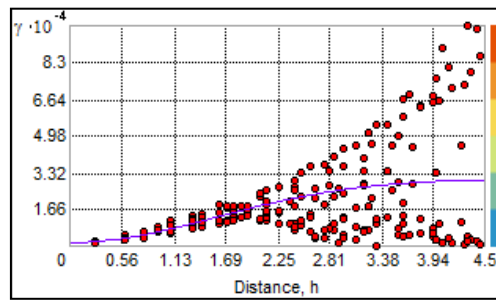
جهت دستیابی به اهداف پژوهش، پس از گردآوری داده‌های بارشی استحصال شده از



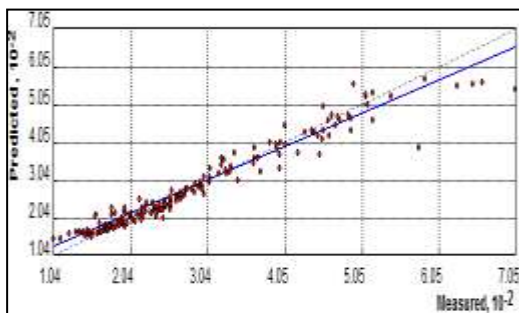
شکل ۳: پهنه‌بندی میانگین بارش سالانه به روش کریجینگ معمولی

نیم‌تغییرنمای مدل کریجینگ معمولی (شکل ۵) و نمودار مربوط به همبستگی بین مقادیر اندازه-گیری شده و برآورد شده با روش کریجینگ معمولی و وزن-دهی معکوس فاصله در شکل های ۶ و ۷ نشان داده شده است. پهنه‌بندی فصلی در فصل تابستان بیشینه بارش در مناطق جنوب خاوری می‌باشد و پس از آن مناطق غربی و کمترین میزان بارش به مناطق شمالی تعلق دارد (شکل های ۸ و ۹). نیم‌تغییرنمای مدل کریجینگ

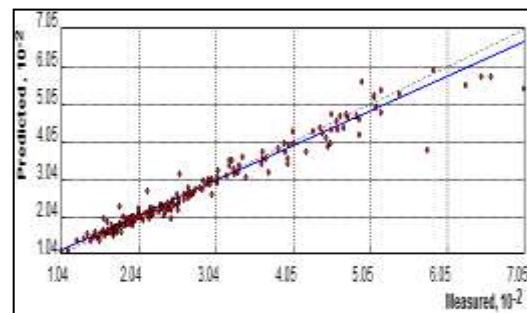
ارزیابی پهنه‌های بارشی با استفاده داده‌های ماهواره TRMM در استان فارس
 استاندارد شده آن به ترتیب ۲۸ و ۰/۶۵ محاسبه



شکل ۵: نیم تغییرنا کریجینگ معمولی به روش گوسین سالانه



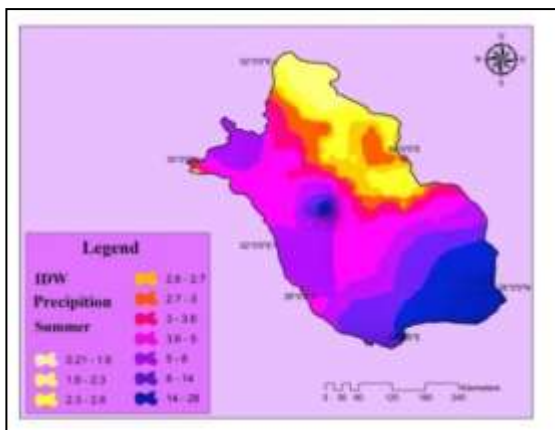
شکل ۷: رابطه بین مقدار مشاهده و برآورد شده با استفاده از تکنیک وزن‌دهی معکوس فاصله سالانه



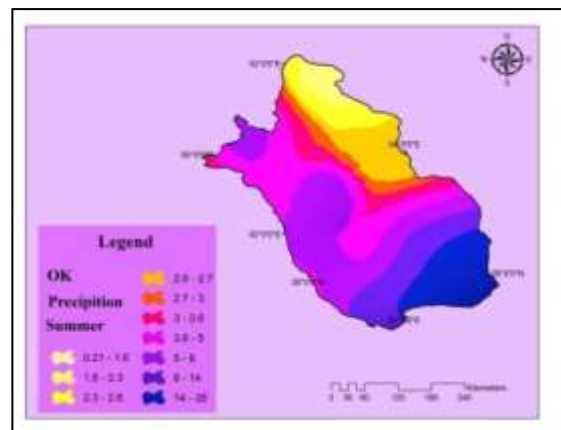
شکل ۶: رابطه بین مقدار مشاهده و برآورد شده با استفاده از تکنیک کریجینگ معمولی به روش گوسین سالانه

جدول ۱: نتایج ارزیابی روشهای درون یابی سالانه

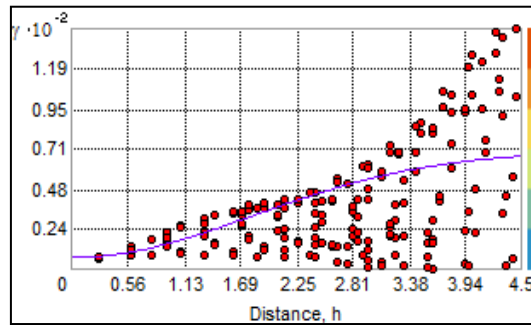
میزان خطا				مدل میانبایی	روش میانبایی
MEAN	RMSS	RMS	ASE		
-۱/۸۶۶	۰/۶۵۷	۲۸/۰۳	۴۲/۸۷	گوسین	کریجینگ معمولی
۲	-	۳۰/۲۶	-	-	وزن‌دهی معکوس فاصله



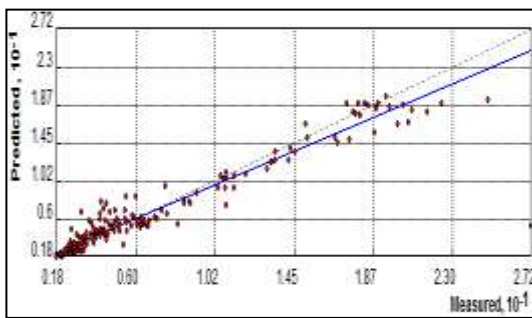
شکل ۹: پهنه‌بندی بارش به روش وزن‌دهی معکوس



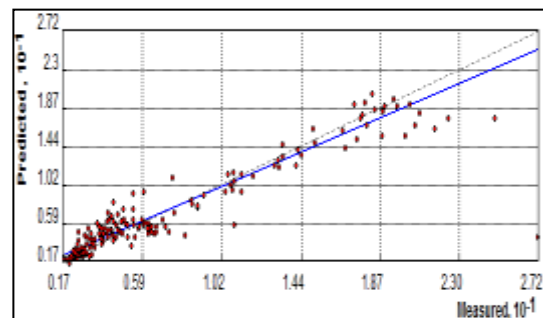
شکل ۸: پهنه‌بندی بارش به روش کریجینگ معمولی در



شکل ۱۰: نیم تغییرنا کریجینگ معمولی به روش گوسین فصل تابستان



شکل ۱۲: رابطه بین مقدار مشاهده و برآورد شده با استفاده از تکنیک وزن دهی معکوس فاصله فصل تابستان



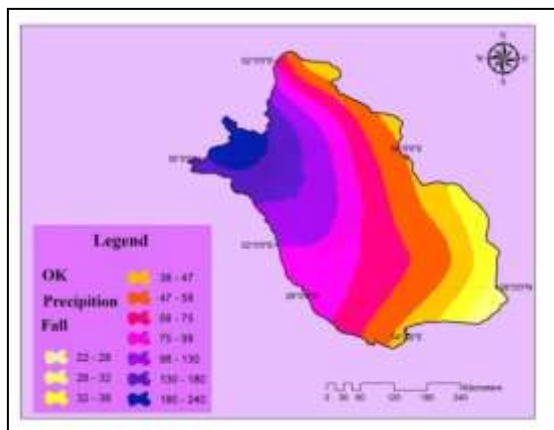
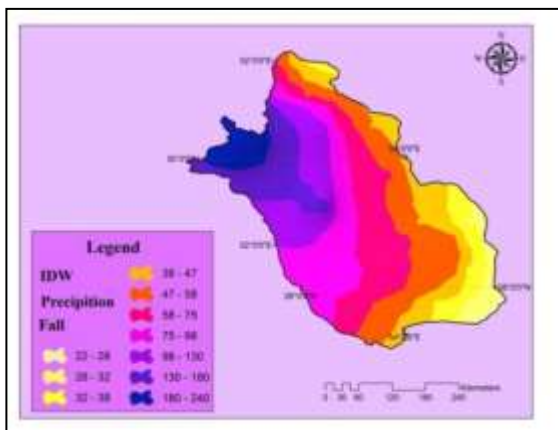
شکل ۱۱: رابطه بین مقدار مشاهده و برآورد شده با استفاده از تکنیک کریجینگ معمولی به روش گوسین فصل تابستان

جدول ۲: نتایج ارزیابی روش‌های درون یابی فصل تابستان

میزان خطا				مدل میان‌یابی	روش میان‌یابی
MEAN	RMSS	RMS	ASE		
۰/۰۳۶	۰/۸۴۳	۲/۲۸	۲/۷۲	گوسین	کریجینگ معمولی
-۰/۰۳۲	-	۲/۰۷۷	-	-	وزن دهی معکوس فاصله

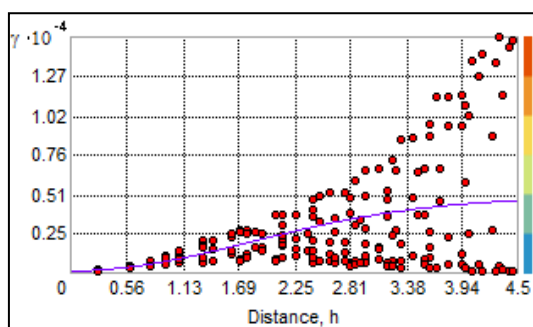
مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده با روش کریجینگ معمولی و وزن دهی معکوس فاصله در اشکال (شکل ۱۶) و (شکل ۱۷) نشان داده شده است. با توجه به (جدول ۳) میزان ریشه دوم مربع خطا و مقدار استاندارد شده آن به ترتیب ۹ و ۰/۷۱ می‌باشد.

در فصل پاییز توزیع بارش با بیشینه بارشی (پهنه بارشی ۲۴۰-۱۳۰ میلی‌متر) در باختر و کمینه بارش (پهنه بارشی ۲۲-۴۷ میلی‌متر) جنوب خاوری استان همراه است (شکل ۱۳) و (شکل ۱۴). نیم‌تغییرنمای مدل کریجینگ معمولی (شکل ۱۵) و نمودار مربوط به همبستگی بین

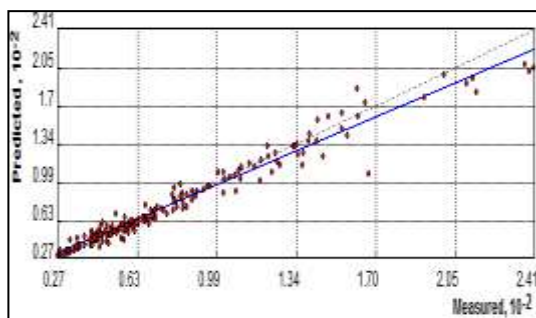


شکل ۱۴: پهنه‌بندی بارش به روش وزن‌دهی معکوس فاصله در فصل پاییز

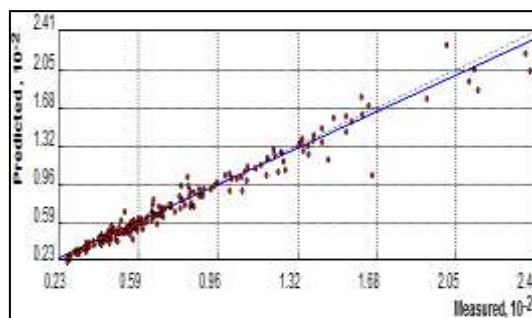
شکل ۱۳: پهنه‌بندی بارش به روش کریجینگ معمولی در فصل پاییز



شکل ۱۵: نیم تغییرنا کریجینگ معمولی به روش گوسین فصل پاییز



شکل ۱۷: رابطه بین مقدار مشاهده و برآورد شده با استفاده از تکنیک وزن‌دهی معکوس فاصله فصل پاییز



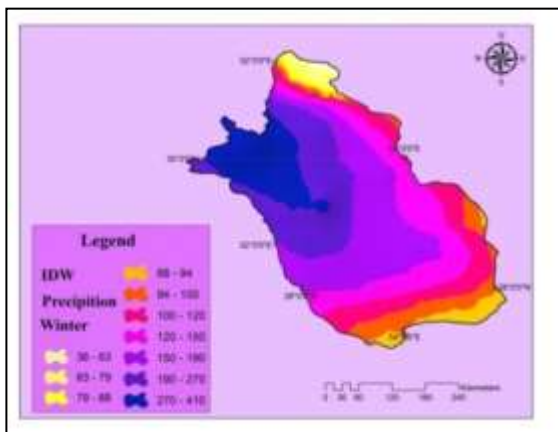
شکل ۱۶: رابطه بین مقدار مشاهده و برآورد شده با استفاده از تکنیک کریجینگ معمولی به روش گوسین فصل پاییز

جدول ۳: نتایج ارزیابی روش‌های درون یابی فصل پاییز

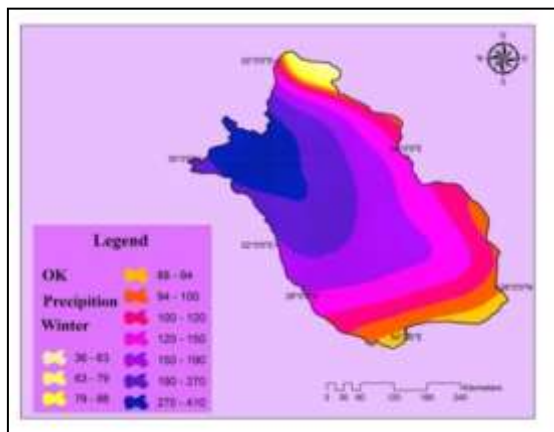
میزان خطا				مدل میانبایی	روش میانبایی
MEAN	RMSS	RMS	ASE		
-۰/۳۸۶	۰/۷۱۸	۹/۰۲	۱۲/۴۶	گوسین	کریجینگ معمولی
۰/۳۸۳		۹/۵۲۹	-	-	وزن‌دهی معکوس فاصله

کریجینگ معمولی و وزن‌دهی معکوس فاصله در شکل‌های ۲۱ و ۲۲ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۴ میزان ریشه دوم مربع خطا و مقدار استاندارد شده آن به ترتیب ۱۵/۴ و ۰/۶۲ می‌باشد.

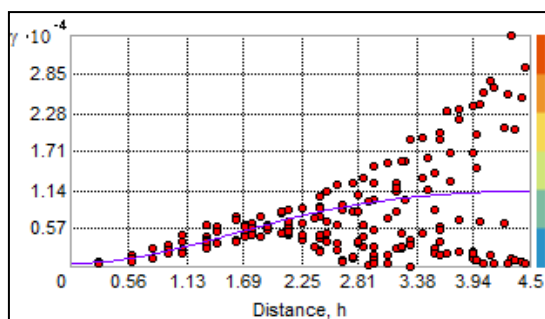
در فصل زمستان بیشینه بارش در مناطق غربی و کمترین میزان بارش نیز در شمال و مناطق جنوب شرقی استان رخ داده است (شکل ۱۸ و شکل ۱۹). نیم‌تغییرنمای مدل کریجینگ معمولی (شکل ۲۰) و نمودار مربوط به همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده با روش



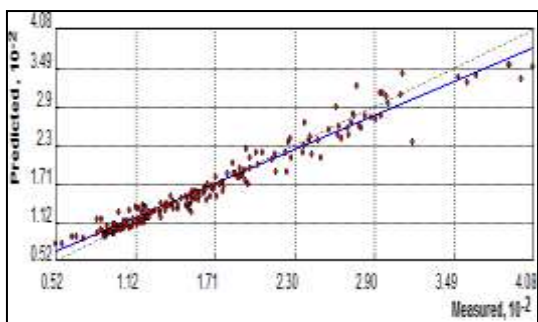
شکل ۱۹: پهنه‌بندی بارش به روش وزن‌دهی معکوس فاصله در فصل زمستان



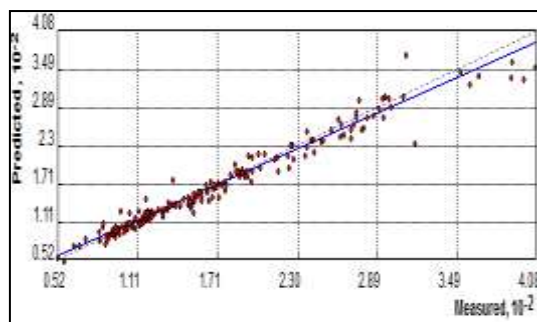
شکل ۱۸: پهنه‌بندی بارش به روش کریجینگ معمولی در فصل زمستان



شکل ۲۰: نیم‌تغییرنمای کریجینگ معمولی به روش گوسین فصل زمستان



شکل ۲۲: رابطه بین مقدار مشاهده و برآورد شده با استفاده از تکنیک وزن‌دهی معکوس فاصله



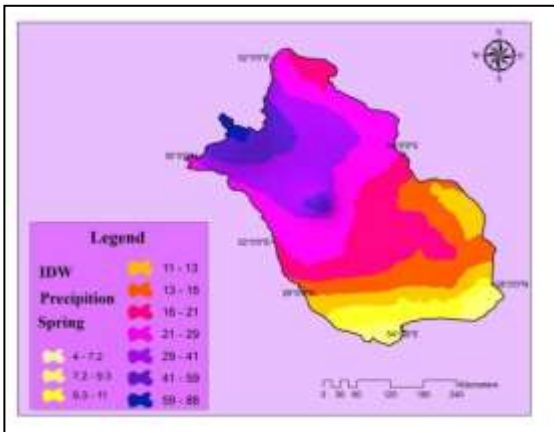
شکل ۲۱: رابطه بین مقدار مشاهده و برآورد شده با استفاده از تکنیک کریجینگ معمولی به روش گوسین فصل زمستان

جدول ۴ : نتایج ارزیابی روش‌های درون یابی فصل زمستان

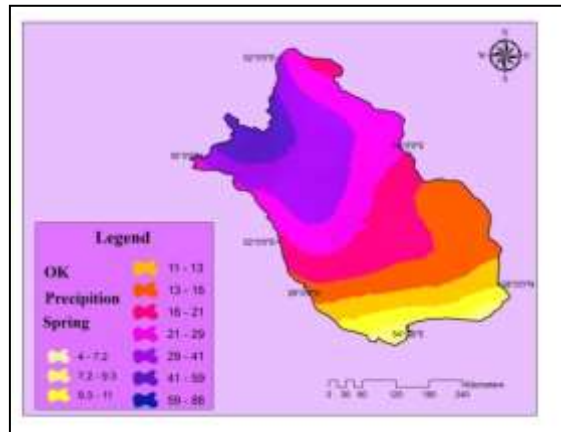
میزان خطا				مدل میانبایی	روش میانبایی
MEAN	RMSS	RMS	ASE		
-۱/۳۸۵	۰/۶۲۶	۱۵/۴۳	۲۴/۳۱	گوسین	کرچینگ معمولی
۱/۶	-	۱۶/۶۴	-	-	وزن‌دهی معکوس فاصله

کرچینگ معمولی و وزن‌دهی معکوس فاصله در شکل های ۲۶ و ۲۷ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۵ میزان ریشه دوم مربع خطا و مقدار استاندارد شده آن به ترتیب ۲۴/۴ و ۰/۸۸ می-باشد.

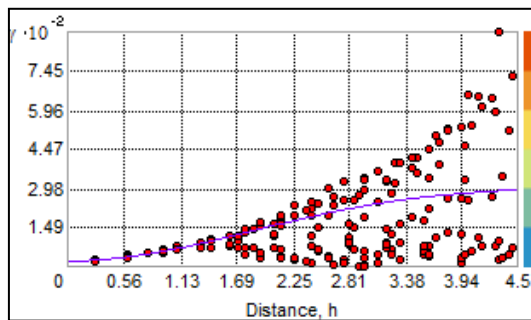
بیشینه بارشی در فصل بهار (پهنه بارشی ۴۱-۸۸ میلی‌متر) متعلق به مناطق غربی و کمینه آن در مناطق جنوبی و جنوب شرقی استان است (شکل ۲۳ و شکل ۲۴). نیم‌تغییرنمای مدل کرچینگ معمولی (شکل ۲۵) و نمودار مربوط به همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده با روش



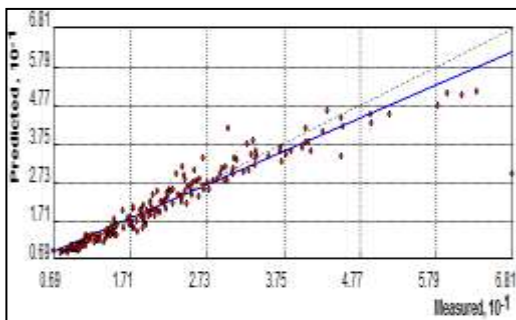
شکل ۲۴: پهنه‌بندی بارش به روش وزن‌دهی معکوس فاصله در فصل بهار



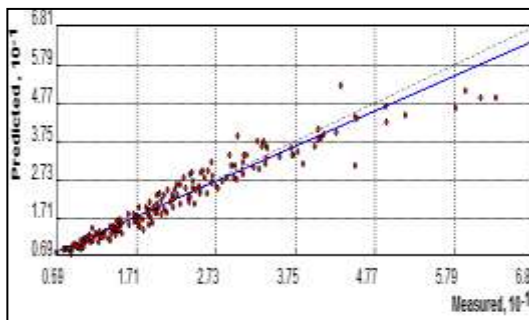
شکل ۲۳: پهنه‌بندی بارش به روش کرچینگ معمولی در فصل بهار



شکل ۲۵: نیم‌تغییرنمای کرچینگ معمولی به روش گوسین فصل بهار



شکل ۲۷: رابطه بین مقدار مشاهده و برآورد شده با استفاده از تکنیک وزن‌دهی معکوس فاصله فصل بهار



شکل ۲۶: رابطه بین مقدار مشاهده و برآورد شده با استفاده از تکنیک کریجینگ معمولی به روش گوسین فصل بهار

جدول ۵: نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی فصل بهار

میزان خطا				مدل میانبایی	روش میانبایی
MEAN	RMSS	RMS	ASE		
-۰/۱۵۴	۰/۸۸۵	۴/۲۴	۴/۸۰	گوسین	کریجینگ معمولی
۰/۱۳۵	-	۴/۰۴	-	-	وزن‌دهی معکوس فاصله

فصول بهار، تابستان، پاییز، زمستان و سالانه به ترتیب ۲۰، ۵، ۷۳، ۱۳۱ و ۲۳۶ میلی‌متر برآورد گردید. بیشترین مقدار انحراف معیار در زمستان ۷۶ و کمترین آن در تابستان ۵ می‌باشد.

در پایان مشخصات آماری فصول چهارگانه و سالانه داده‌های بارش ماهواره TRMM طی دوره آماری ۱۹۸۹-۲۰۱۲ در جدول ۶ نشان داده شده است. با توجه به اطلاعات جدول میانگین بارش در

جدول ۶: مشخصات آماری فصول چهارگانه و سالانه داده‌های بارش ماهواره TRMM طی دوره آماری ۱۹۸۹-۲۰۱۲

Season Value	Spring	Summer	Fall	Winter	Year
Min	۳/۹	۰/۲	۲۲	۳۶	۲۱
Max	۸۸	۲۷/۸	۲۴۱	۴۰۸	۷۰۵
Mean	۲۰	۴/۹	۷۳	۱۳۱	۲۳۶
Variance	۲۲۷	۲۶/۶	۲۴۹۵	۵۷۸۱	۱۸۱۰۸
Std.Dev	۱۵	۵/۱	۴۹	۷۶	۱۳۴
Skewness	۱/۹	۲/۲	۱/۳	۱/۳	۱/۴
Kurtosis	۶/۷	۷/۵	۴	۴/۳	۴/۴
Quartile 1	۱۰	۲/۱	۳۴/۹	۸۱	۱۴۳
Median	۱۵	۳	۵۵	۱۰۴	۱۹۳
Quartile 3	۲۳/۹	۵/۱	۹۸/۴	۱۵۹	۲۷۴

بحث و نتیجه گیری

اطلاعات مربوط به توزیع بارش با توجه به کاربردهای گوناگون هیدرولوژیکی از جمله مدیریت صحیح منابع آب، برآورد حداکثر بارش محتمل و تخصیص الگوی مناسب کشت، از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به تغییرات زیاد مکانی و زمانی بارش، برآورد مقدار این متغیر در مکان‌های فاقد ایستگاه اندازه‌گیری، به ویژه در مناطق کوهستانی و در زمانی که شبکه ایستگاه‌ها پراکنده باشند، امری دشوار می‌نماید (بیات و همکاران، ۱۳۹۰). استفاده از داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند کمک موثری در برآورد داده‌های بارشی به ویژه در مناطقی که با کمبود داده و اطلاعات مواجه هست باشد، همچنین در زمینه شناخت آرایش و نحوه توزیع الگوهای بارشی در زمان‌های متفاوت این روش از اهمیت دوچندانی برخوردار است. در این نوشتار با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و روش‌های زمین آمار کریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله به بررسی توزیع مکانی مقادیر میانگین بارش سالانه و فصلی در محدوده سرزمینی استان فارس پرداخته شد. با بررسی یافته‌ها می‌توان اشاره نمود که تغییرات و نوسانات قابل توجهی در پهنه‌های بارشی در محدوده مورد مطالعه در مقیاس‌های فصلی و سالانه بجز در فصل تابستان وجود ندارد. در فصل تابستان کمترین میزان بارش در استان فارس رخ می‌دهد که برخلاف بارش سالانه از آرایش بارشی باختری-خاوری تبعیت نمی‌کند؛ دلیل عمده این تغییر در آرایش بارشی، بخاطر تأثیرات و نفوذ موسمی‌های هند (جلالی و بلیانی، ۱۳۸۹) در اثر عقب نشینی زبانه پرفشار آزور به سطوح بالاتر و ایجاد بارش-های همرفتی (قادری و علیجانی، ۱۳۸۹) می‌باشد. در فصل پاییز با شروع بارش، شاهد تغییر در الگوهای بارشی هستیم که دلیل عمده آن تغییر

در سامانه‌های بارش‌زا ورودی به استان و حاکمیت سامانه‌های غربی می‌باشد. با شروع فصل زمستان به عنوان پر باران‌ترین فصل در سال الگوهای بارش همچنان روند باختری - جنوبی همراه است. که با گسترش وسعت پهنه بارشی بیشینه در استان و نفوذ بیشتر آن به سمت جنوب همراه می‌باشد. الگوهای بارشی در این فصل از توزیع یکنواخت-تری برخوردار است. پس از فصل زمستان با کاهش چشمگیر میزان بارش در فصل بهار، شاهد عقب نشینی پهنه‌های بارشی به سمت شمال استان است؛ به طور کلی پهنه‌های بارشی در استان فارس در طی فصل‌های پاییز، زمستان و بهار از الگوهای بارشی یکسانی تبعیت می‌کنند. اما در فصل تابستان به طور کلی شاهد تغییرات اساسی در الگوهای بارشی می‌باشیم. تغییرات بارش ناشی از تغییرات عوامل تولید کننده آن است. بی‌نظمی موجود در عوامل ایجاد بارش به توزیع مکان و زمانی بارش منجر می‌شود، که شامل عوامل صعود، هوای مرطوب و هستک‌های چگالش است که توسط گردش عمومی هواسپهر فراهم می‌شود (امیدوار و ترکی، ۱۳۹۱). در فصل تابستان شاهد کمترین میزان انحراف معیار در بارش و در مقابل در فصل زمستان شاهد بیشترین میزان انحراف معیار است. با ارزیابی روش‌های میانبایی روش کریجینگ با میزان خطا سالانه ریشه دوم مربع خطا (RMS) ۲۸ در مقابل ۳۰ روش وزن‌دهی معکوس فاصله از میزان خطای کمترین برخوردار است، همچنین کمترین میزان خطا در تابستان و بیشترین در فصل زمستان محاسبه گردید. در مقایسه با یافته‌های پژوهشگران دیگر در محدوده سرزمینی استان فارس، یافته‌های این پژوهش با یافته‌های ثقفیان و همکاران (۱۳۹۰) همخوانی دارد، با این تفاوت که از نظر مکانی میانبایی با استفاده از ۱۲ ایستگاه

(۱۳۸۷) در مقایسه بین روش وزن‌دهی معکوس فاصله و درون‌یابی موضعی و کریجینگ، روش کریجینگ به عنوان روش بهینه در پهنه‌بندی داده‌های بارش در استان فارس تعیین گردید.

همدید صورت گرفته و مناطق خاوری و باختری استان به دلیل عدم پوشش ایستگاه‌های زمینی بیرون از گستره پهنه‌بندی بارش قرار گرفته است و پوشش کاملی برای کل استان به همراه نداشته است. از سوی دیگر پژوهش شمس‌نیا و پیرمردیان

منابع

- آذری، ح.، متکان، ع.، شکیبیا، ع.، و پورعلی، ح.، ۱۳۸۸. شبیه‌سازی و هشدار سیل با تلفیق مدل‌های آشناس در GIS و برآورد بارش از طریق سنجش از دور، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال سوم، شماره ۹، ص ۳۹-۵۱.
- ارشادی، ع.، و خیابانی، حمید.، ۱۳۸۳. کاربرد سنجش از دور در ارزیابی سیستم یکپارچه منابع آب حوضه‌های آبریز مطالعه موردی: پروژه طرح جامع مدیریت منابع آب حوضه آبریز کابل، کارگاه آموزشی کاربرد GIS و RS در آبیاری و زهکشی، ص ۱۲۹-۱۴۴.
- امیدوار، ک.، و ترکی، م.، ۱۳۹۱. شناسایی الگوهای ریزش بارش‌های سنگین در استان چهارمحال بختیاری، مجله مدرس علوم انسانی- برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۶، شماره ۴، ص ۱۳۵-۱۶۲.
- امیدوار، ک.، فنودی، م.، و بنی‌واهب، ع.، ۱۳۹۲. بررسی تطابق آمار بارندگی ماهواره TRMM با ایستگاه‌های اقلیمی زمینی مطالعه موردی: ایستگاه‌های همدید استان خراسان رضوی، نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان.
- بیات، ب.، زهرایی، ب.، تقوی، فرحناز.، و ناصری، م.، ۱۳۹۰. ارزیابی روش‌های زمین‌آمار مکانی در تعیین الگوی فضایی بارش: تحقیق موردی حوضه آبریز دریاچه نمک، مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۵، شماره ۴، ص ۸۹-۱۱۰.
- ثقفیان، ب.، رزمخواه، ه.، و قرمز چشمه، ب.، ۱۳۹۰. بررسی تغییرات منطقه‌ای بارش سالانه با کاربرد روش‌های زمین‌آمار (مطالعه‌ی موردی: استان فارس)، مهندسی منابع آب، سال چهارم، شماره ۹، ص ۲۹-۳۸.
- جلالی، م.، و بلیانی، ی.، ۱۳۸۹. تحلیل همدید بارش‌های ماهانه و فصلی استان فارس طی دوره آماری ۱۹۸۲-۲۵۰۵ میلادی، فضای جغرافیایی، سال نهم، شماره ۳۱، ص ۱۵۹-۱۸۶.
- جوانمرد، س.، گلستانی، س.، و عابدینی، ی.، ۱۳۹۰. مطالعه و بررسی بر روی توزیع مکانی و زمانی نرخ بارش‌های همرفتی و پوششی بر روی ایران با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM-TMI، مقاله‌نامه کنفرانس فیزیک ایران، تهران، ص ۲۷۱۶-۲۷۱۹.
- حاجی‌میررحیمی، م.، و فیضی‌زاده، ب.، ۱۳۸۷. بررسی دقت داده‌های رادار زمینی و TRMM در برآورد بارش، همایش ژئوماتیک ۸۷، تهران.
- حجازی‌زاده، ز.، علیجانی، ب.، ضیاییان، پ.، کریمی، م.، و رفعتی، س.، ۱۳۹۱. ارزیابی بارش ماهواره 3B43 و مقایسه آن با مقادیر حاصل از تکنیک درونیابی کریجینگ، سنجش از دور و GIS ایران، سال چهارم، شماره ۳، ص ۴۹-۶۴.
- حسینی‌پاک، ع.ا.، ۱۳۸۰. تحلیل داده‌های اکتشافی، تهران، دانشگاه تهران، ۲۵۴ ص.

ماهواره در تخمین بارندگی، همایش ژئوماتیک، تهران.

-متکان، ع.، شکیبا، ع.، عاشورلو، د.، بذاق جمالی، ج.، و محمدیان، و.، ۱۳۸۸. قابلیت داده‌های ترکیبی مادون قرمز و مایکروویو غیر فعال سنجش از دور در تخمین بارندگی و پایش سیلاب (مطالعه موردی: استان گلستان)، سنجش از دور و GIS ایران، سال اول، شماره ۲، ص ۳۱-۴۴.

-محمدی، ب.، و مسعودیان، ا.، ۱۳۸۹. تحلیل همدید بارش‌های سنگین ایران مطالعه موردی: آبان ماه ۱۳۷۳، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۹، ص ۴۷-۷۰.

-مسعودیان، ا.، و محمدی، ب.، ۱۳۸۹. تحلیل فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت در زمان رخداد بارش‌های ابرسنگین ایران، چهارمین کنگره بین المللی جغرافیدانان جهان اسلام، زاهدان، ایران.

-مظفری، غ.، میرموسوی، ح.، و خسروی، ی.، ۱۳۹۱. ارزیابی روش‌های زمین‌آمار و رگرسیون خطی در تعیین توزیع مکانی بارش مورد: استان بوشهر، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۷، ص ۷۶-۶۳.

-مهرشاهی، د.، و خسروی، ی.، ۱۳۸۹. ارزیابی روش‌های میانابایی کریجینگ و رگرسیون خطی بر پایه مدل ارتفاعی رقومی جهت تعیین توزیع مکانی بارش سالانه (مطالعه موردی استان اصفهان)، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره چهاردهم، شماره ۴، ص ۲۳۳-۲۴۹.

-نادی، م.، جامعی، م.، بذرافشان، ج.، و جنت رستمی، س.، ۱۳۹۱. ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه (مطالعه‌ی موردی: استان خوزستان)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۴، شماره ۴، ص ۱۱۷-۱۳۰.

-یزدانی، آ.، ۱۳۸۴. مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی جهت بازسازی داده‌های بارندگی روزانه

-ذبیحی، ع.، سلیمانی، ک.، شعبانی، م.، و آبروش، ص.، ۱۳۹۰. بررسی توزیع مکانی بارش سالانه با استفاده از روش‌های زمین آماری (مطالعه‌ی موردی: استان قم)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۸، ص ۱۰۱-۱۱۲.

-رضایی، م.، و رستمی، ه.، ۱۳۸۷. انتشار نقشه بارش جهانی در کمترین فاصله زمانی بعد از وقوع با استفاده از ماهواره TRMM و سایر ماهواره‌ها، مجله سپهر، دوره هفدهم، شماره ۶۵، ص ۳۰-۳۳. -شمس‌نیا، ا.، و پیرمردیان، ن.، ۱۳۸۷. ارزیابی شبیه‌های درون‌یابی محیط سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) در پهنه‌بندی داده‌های بارندگی استان فارس، مهندسی آب، سال اول، شماره ۱، ص ۳۵-۴۵.

-صفراد، ط.، فرجی سبکبار، ح.، عزیزی، ق.، و عباسپور، ر.، ۱۳۹۲. تحلیل مکانی تغییرات بارش در زاگرس میانی از طریق روش‌های زمین‌آمار (۱۹۹۵-۲۰۰۴)، جغرافیا و توسعه شماره ۳۱، ص ۱۴۹-۱۶۴.

-عساکره، ح.، ۱۳۸۷. کاربرد روش کریجینگ در میانابایی بارش مطالعه موردی: میانابایی بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ در ایران زمین، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲، ص ۲۵-۴۲.

-قادری، ح.، علیجانی، ب.، ۱۳۸۹. تحلیل سینوپتیکی بارش‌های شدید لارستان، جغرافیای طبیعی، سال سوم، شماره ۸، ص ۱۷-۳۶.

-متکان، ع.، شکیبا، ع.، و یزدانی، آ.، ۱۳۸۶. درون‌یابی اطلاعات بارندگی روزانه استان فارس با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، سرزمین، سال چهارم، شماره ۱۳، ص ۱-۱۴.

-متکان، ع.، شکیبا، ع.، بذاق جمالی، ج.، عاشورلو، د.، محمدیان، و.، و بهارلو، ا.، ۱۳۸۸. قابلیت الگوریتم‌های ترکیبی مادون قرمز و مایکروویو

شهید بهشتی تهران.

استان فارس با استفاده از GIS. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم زمین، دانشگاه

-Almazroui, M., 2011. Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998–2009, Atmospheric Research, v. 99, p. 400–414.

-Chen, C., Yu, Z., li, li., and yang, C., 2011. Adaptability Evaluation of TRMM Satellite Rainfall and Its Application in the Dongjiang River Basin, Procedia Environmental Sciences, v. 10, P. 396-402.

-Jia, S., Zhu, W., Lü, A., and Yan, T., 2011. A statistical spatial downscaling algorithm of TRMM precipitation based on NDVI and DEM in the Qaidam Basin of China, Remote Sensing of Environment, v. 115, P. 3069-3079.

-Kummerow, C., Barnes, W., Kozu, T., Shiue J.S., and Simpson, J., 1998. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, v. 15, P. 809-817.

-Mishra, A.K., Gairola, R.M., and Agarwal, V.K., 2012. Rainfall Estimation from Combined Observations Using KALPANA-IR and

TRMM- Precipitation Radar Measurements over Indian Region, J Indian Soc Remote Sens, v. 40, p. 65–74.

-Moffitt, C.B., Hossain, F., Adler, F., Robert, K. Yilmaz, K., Pierce, and Harold F., 2011. Validation of a TRMM-based global Flood Detection System in Bangladesh, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 13, p. 165–177.

-Ud din, S., Al- Dousari, A., Ramdan, A., and Al Ghadban, A., 2008, Site-specific precipitation estimate from TRMM data using bilinear weighted interpolation technique: An example from Kuwait, Journal of Arid Environments, v. 72, p. 1320–1328.

-Varikoden, H., Samah, A.A., and Babu, C.A., 2010. Spatial and temporal characteristics of rain intensity in the peninsular Malaysia using TRMM rain rate, Journal of Hydrology, v. 387, p. 312–319.

<http://disc2.nascom.nasa.gov>