

استفاده از روش کم‌ترین مربعات در ایجاد مدل رقومی بارش^۱ (DPM)

محمدحسین رضائی مقدم^۲
خلیل ولیزاده کامران^۳
مهدی بلواسی^{۴*}
حسین خیری استیاری^۵
صیاد اصغری سرسکانرود^۶

چکیده

یکی از مراحل اصلی در مطالعات منابع آب برآورد توزیع مکانی بارندگی در مقیاس‌های زمانی متفاوت می‌باشد. مطالعه بارش به‌عنوان یک عنصر بسیار مهم و رکن اساسی در مطالعات بیلان آب و اساس برنامه‌ریزی‌های منابع طبیعی هر کشوری شناخته می‌شود. به‌دلیل کمبود ایستگاه‌های باران‌سنجی و نقطه‌ای بودن این ایستگاه‌ها، استفاده از مدلی که علاوه بر مقادیر بارش ایستگاه‌ها از عوامل دیگری همچون توپوگرافی، رطوبت و جهت‌شیب، بارش را درون‌یابی کند، ضروری است. لذا در این پژوهش داده‌های بارش و رطوبت از ۹ ایستگاه همدید و ۳۱ ایستگاه باران‌سنجی استان لرستان به‌مدت ۱۲ سال آماری اخذ و با استفاده از روش کم‌ترین مربعات روابط میان بارش با توپوگرافی و رطوبت به کمک نرم‌افزار Maple استخراج گردید؛ و سپس با اعمال این روابط در محیط GIS به‌کمک زبان برنامه‌نویسی پایتون مدل رقومی بارش ایجاد شد. نتایج حاصل از این

1- Digital Precipitation Model

۲- استاد گروه ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز.

۳- استادیار گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه تبریز.

۴- کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS دانشگاه تبریز.

۵- دانشیار گروه ریاضی کاربردی دانشگاه تبریز.

۶- استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه ارومیه.

Email: belvasi1@yahoo.com

مدل حاکی از آن بود که میزان بارش از ۰/۰۲ تا ۱۱/۶ میلی‌متر با مقدار اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه‌ها اختلاف دارد. همچنین برای سنجش کارایی این مدل، داده‌های بارش در سوم اردیبهشت رادار TRMM⁷ را با خروجی این مدل در همین روز مقایسه شد و این نتیجه به دست آمد که ضریب تعیین برای داده‌های رادار TRMM، ۷۹ درصد و برای مدل رقومی بارش ۸۶ درصد می‌باشد.

واژگان کلیدی: درون‌یابی بارش، روش کم‌ترین مربعات، استان لرستان، مدل رقومی بارش.

مقدمه

بارش^۸ یکی از عناصر مهم اقلیمی می‌باشد که در بیلان آب، ایجاد جریان‌های سطحی، وضعیت سفره‌های آب‌های زیرزمینی و به‌عنوان منبع مهم در تغذیه رودخانه‌ها و چشمه‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. بارش به‌دلیل پدیده‌های همراه خود همچون سیل در بخش‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی منجر به خسارات قابل توجهی می‌شود (دین‌پژوه و همکاران، ۱۳۸۲: ۸۱۱). به‌علاوه در مطالعات بیلان آب، کاهش عدم قطعیت در برآورد توزیع مکانی بارندگی اهمیت فراوانی دارد. روش‌های مختلفی برای تحلیل مکانی بارندگی بر اساس داده‌های نقطه‌ای حاصل از ایستگاه‌های باران‌سنجی وجود دارد. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های زمین‌آمار^۹ اشاره نمود. روش‌های زمین‌آمار به‌دلیل در نظر گرفتن همبستگی و موقعیت و آرایش مکانی داده‌ها، مورد توجه بسیاری از کاربردهای مهندسی هستند. مدل‌های زمین‌آمار همواره مورد توجه متخصصان علوم زمین بوده است. در ابتدا مدل‌های زمینی به‌صورت فیزیکی بودند و توسط لاستیک، پلاستیک، ماسه و غیره ساخته می‌شدند، از اواخر دهه ۱۹۵۰، رایانه وارد این رشته شد و از آن زمان به بعد مدل‌سازی سطح زمین به‌صورت عددی و رقومی انجام می‌شود که منجر به مبحث علمی به

7- Tropical Rainfall Measuring Mission

8- Precipitation

9- Geo statistical

نام مدل‌سازی رقومی زمین شد (ژیلین^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۵: ۲۱). با توجه به اینکه تولید سطوح پیوسته مورد استفاده برای نمایش اندازه‌گیری خاص یک توانایی کلیدی مورد نیاز در بیش‌تر کاربردهای سیستم اطلاعات جغرافیایی است (ترابی آزاد، ۱۳۸۹: ۲۵)؛ و به‌طور کلی چیزهای که به هم نزدیک‌ترند بیش‌تر از چیزهای که به هم دورترند به هم شبیه می‌باشند این یک قاعده بنیادی در علوم جغرافیایی است (تابلر^{۱۱}، ۲۰۰۹: ۲۳۶)؛ و این اساس درون‌یابی‌ها است. نظر به این که داده‌های بارش ایستگاه‌های هواشناسی به‌صورت نقطه‌ای است؛ و در مناطقی که ایستگاه‌های هواشناسی وجود ندارد لزوم ایجاد مدلی که بتوان با استفاده از آن علاوه بر مقادیر بارش ایستگاه‌ها از عوامل دیگری همچون توپوگرافی، رطوبت، جهت‌شیب، بارش را درون‌یابی کرد ضروری می‌باشد همچنین به دلیل کافی نبودن تعداد این ایستگاه‌ها و توپوگرافی شدید منطقه مورد مطالعه، تکنیک‌های موجود در نرم‌افزار ArcGIS نمی‌تواند از دقت کافی برخوردار باشد.

در این راستا مطالعاتی انجام شده است از جمله، برنت^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی کیفیت عملکرد ترکیبی داده‌های رادار و باران‌سنج در درون‌یابی در منطقه ساکسونی^{۱۳} آلمان پرداختند، نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده ترکیبی داده‌های رادار و باران‌سنج باعث افزایش دقت درون‌یابی می‌شود. ساران^{۱۴} و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی مکانی برای بارش پرداختند و آن‌ها دریافتند که برای بارش ماهانه، استفاده از روش‌های درون‌یابی زمین‌آماري چندمتغیره همراه با داده‌های ارتفاعی به نتایج دقیق‌تری می‌انجامد. پیزا^{۱۵} و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی مقایسه‌ای از تکنیک‌های درون‌یابی بارش ماهانه در سیسلی^{۱۶} ایتالیا پرداختند. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که روش‌های تک‌متغیره، بدون در نظر گرفتن مشخصه ارتفاع بیش‌ترین خطا و رگرسیون خطی بین

10- Zhilin

11- Tobler

12- Berndt

13- Saxony

14- Sarann

15- Piazza

16- Sicily

بارش و ارتفاع بهترین عملکرد را در مقیاس ماهانه را فراهم کرده است. سان^{۱۷} و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از تحلیل رگرسیون چندمتغیره ترکیبی با تصحیح باقی‌مانده داده‌های بارش ۵۶ ایستگاه را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها برای ایجاد مدل از ۵ عامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، طول و عرض جغرافیایی بهره گرفتند و به این نتیجه دست یافتند که این مدل می‌تواند برای تحقیقات علمی در مورد بارش به کار گرفته شود. کریستین^{۱۸} و همکاران (۱۹۹۸) با استفاده از DEM و بارش ماهانه، میانگین بیشینه و کمینه دمای ماهانه، تابش خورشیدی، در یک دوره آماری ۳۰ ساله به مدل‌سازی بارش پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که مدل‌های مربوط به رگرسیون چندجمله‌ای با خطای ۵ تا ۱۵ میلی‌متر برای بارش ماهانه قابل استفاده‌اند. زیلین و همکاران (۲۰۰۵) در کتابی تحت عنوان «مدل‌سازی رقومی زمین» به بررسی نظریه‌ها، روش‌ها، الگوریتم‌های مدل‌سازی رقومی زمین، نمایش DTM در پایگاه داده، تشکیل منحنی‌های میزان و دیگر اشکال گرافیک رایانه‌ای از DTM، تفسیر، کاربردها و تعمیم مدل‌سازی رقومی زمین بر موضوعات گروهی پرداختند.

یاراحمدی و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از داده‌های بارش ماهانه ۲۵ ایستگاه همدیدی کشور با استفاده از تحلیل رگرسیونی به بررسی ارتباط بارش با شاخص‌های اقلیمی پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که نوسان قطبی و نوسان اطلس شمالی با میزان بارش زمستانه ارتباط بیش‌تری نسبت به بارش پاییزه دارند. مهرشاهی و همکاران (۱۳۸۹) به ارزیابی روش‌های میانبایی کریجینگ و رگرسیون خطی بر پایه مدل ارتفاعی رقومی جهت تعیین توزیع مکانی بارش در استان اصفهان پرداختند، نتایج این تحقیق نشان داد که تابع رگرسیونی کسینوسی برای میانبایی بارش در استان اصفهان مناسب است. رسولی و همکاران (۱۳۸۶) میزان انطباق داده‌های رادار و TRMM با داده‌های بارش زمینی مورد بررسی قرار دادند؛ نتایج تحقیق نشان‌دهنده این واقعیت بود که داده‌های TRMM علی‌رغم انطباق نسبی با بارش‌های زمینی، نمی‌تواند جایگزین مناسبی برای ایستگاه‌های باران‌سنج کلاسیک

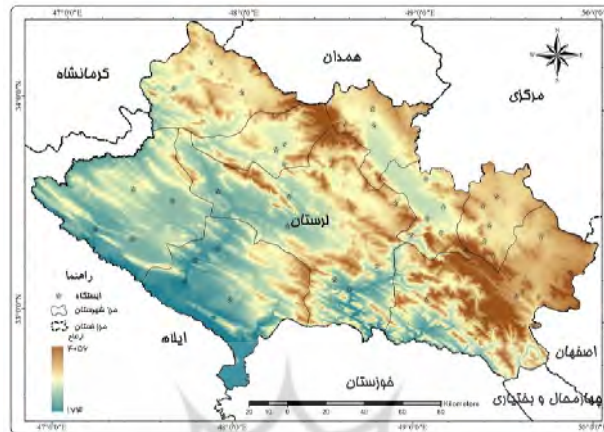
17- Sun

18- Christine

منظور گردند. حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی به بررسی داده‌های بارش TRMM و مقایسه آن با مقادیر حاصل از تکنیک درون‌یابی کریجینگ پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که میزان دقت این داده‌ها، در سطح ایران متفاوت است، به طوری که در جنوب رشته‌کوه البرز و نواحی مرکزی و تا اندازه‌ای نواحی شرقی ایران، دقت مناسبی ندارند؛ اما در نواحی غربی و جنوب کشور دقت آن‌ها را می‌توان مناسب برشمرد؛ و از آنجا که این داده‌ها در قیاس با برآوردهای حاصل از تکنیک درون‌یابی کریجینگ دقت کمتری دارد، کاربرد آن‌ها برای مقاصد علمی در ایران پیشنهاد نمی‌شود. بنابراین این تحقیق در صد مدل‌سازی بارش با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار و روش کم‌ترین مربعات^{۱۹} برای برآورد توزیع مکانی بارندگی ماهانه در سطح استان لرستان می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

استان لرستان با طول جغرافیایی $۰۳^{\circ} ۵۰' - ۵۱^{\circ} ۴۶'$ و عرض جغرافیایی $۲۲^{\circ} ۳۴' - ۳۷^{\circ} ۳۲'$ با مساحتی معادل ۲۸۵۵۹ کیلومتر مربع در غرب ایران قرار دارد. این استان از شمال با استان همدان، از شمال شرقی با استان مرکزی، از شمال غربی با استان کرمانشاه، از غرب و جنوب غربی با استان ایلام، از جنوب با استان خوزستان و از جنوب شرقی با استان چهارمحال و بختیاری و از شرق با استان اصفهان هم‌جوار می‌باشد. از ویژگی‌های طبیعی این منطقه کوهستانی بودن آن است به نحوی که قسمت هموار آن منحصر به چند دره آبرفتی و چند دشت کوچک می‌باشد. قله رفیعی از رشته‌کوه‌های زاگرس به‌طور موازی از شمال غرب به جنوب شرق سراسر این استان را فرا گرفته‌اند. به طوری که مرتفع‌ترین منطقه این استان اشترانکوه می‌باشد که ارتفاع آن از سطح دریا بیش از ۴۰۰۰ متر است و پست‌ترین منطقه آن در جنوبی‌ترین نقطه استان با ارتفاعی کم‌تر از ۲۰۰ متر در حوالی پلدختر قرار دارد که این اختلاف ارتفاع نقش مهمی در شکل‌گیری شرایط اقلیمی، پوشش گیاهی و توزیع و استقرار سکونتگاه‌های انسانی ایفا می‌کند (شکل ۱).



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای تولید مدل رقومی بارش از نرم‌افزارهای ArcGIS10 جهت ایجاد پایگاه داده، تحلیل‌های مکانی-فضایی و پیاده کردن مدل، ENVI4.8 جهت پردازش تصاویر، Maple12 برای حل معادلات حاصل از روش کم‌ترین مربعات از مدل DPM استفاده شده است. همچنین از داده‌های رطوبت و بارش ایستگاه‌های همدید و باران‌سنجی در بازه زمانی ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۹، DEM ۳۰ متری SRTM، تصاویر ماهواره‌ای TRMM²⁰ منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. جدول (۱) ایستگاه‌های همدید و باران‌سنجی را به همراه ارتفاع و بارش نشان می‌دهد، اعداد ۱ تا ۱۲ نماد ماه‌های شمسی از فروردین تا اسفند می‌باشند.

برای انجام این تحقیق ابتدا داده‌های مورد استفاده در قالب‌های مناسب، جهت تجزیه و تحلیل تبدیل شد؛ سپس برای یافتن ارتباط بارش با ارتفاع (جدول ۲)، ارتباط بارش با رطوبت (جدول ۳) و ارتباط بارش با ارتفاع و رطوبت (جدول ۴) از روش کم‌ترین مربعات استفاده

20- Tropical Rainfall Measuring Mission

گردید برای این منظور به کمک داده‌های بارش، ارتفاع و رطوبت ابتدا با اعمال روابط ۳ تا ۸ تعداد یک دستگاه معادلاتی شامل ۴۱ معادله چندجمله‌ای و ۵ مجهول (ضرایب چندجمله‌ای) برای هر ماه به صورت جداگانه ایجاد گردید، با توجه به این که تعداد معادلات از تعداد مجهولات بیش تر است حل این معادلات همواره با خطا مواجه است روش کمترین مربعات با مینم‌سازی خطا قادر به حل این معادله است (بابلیان، ۱۳۷۶: ۸۷). برای حل این معادلات ابتدا صورت ماتریسی این معادلات تهیه و سپس به کمک نرم‌افزار Maple12 ضرایب چندجمله‌ای برای هریک از معادلات بارش با ارتفاع، ارتباط بارش با رطوبت و ارتباط بارش با ارتفاع و رطوبت به صورت جداگانه برای هر ماه استخراج گردید. در نهایت با مینا قراردادن این معادلات برای منطقه مورد مطالعه در محیط GIS مدل رقومی بارش (DPM) ایجاد گردید.

جدول (۱) بارش ماهانه و ارتفاع ایستگاه‌های همدید* و باران‌سنجی

ایستگاه	ارتفاع	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
الشتر*	۱۵۶۷	۷۴/۵	۳۷/۱	۱/۱	۰/۲	۰/۵	۱/۲	۷/۷	۶۵/۴	۶۶/۴	۵۳/۲	۸۴/۰	۵۴/۸
کوه‌دشت*	۱۲۰۰	۵۹/۷	۲۹/۵	۱/۶	۰/۵	۰/۰	۱/۳	۶/۸	۶۱/۰	۶۱/۴	۷۱/۶	۶۶/۳	۴۱/۰
دورود*	۱۵۲۷	۱۱۹	۶۸/۰	۲/۹	۰/۱	۰/۱	۱/۳	۱۱/۷	۷۷/۷	۱۲۴	۷۱/۶	۱۰۴	۶۲/۶
نورآباد*	۱۸۵۹	۷۹/۹	۴۷/۳	۴/۳	۰/۱	۰/۵	۰/۸	۸/۲	۸۰/۵	۷۰/۱	۴۴/۸	۸۰/۲	۵۲/۱
پلدختر*	۷۱۴	۶۵/۰	۲۳/۸	۰/۳	۰/۱	۰/۷	۲/۵	۴/۴	۵۳/۳	۷۲/۳	۴۶/۶	۶۶/۲	۳۲/۰
بروجرد*	۱۶۲۹	۸۴/۸	۳۷/۰	۵/۰	۰/۶	۰/۳	۱/۸	۶/۷	۵۶/۵	۶۸/۶	۴۷/۵	۶۳/۹	۵۶/۵
ازنا*	۱۸۷۲	۸۵/۰	۵۶/۹	۷/۸	۰/۱	۰/۰	۲/۶	۹/۴	۴۱/۳	۸۷/۴	۵۳/۱	۶۸/۱	۳۹/۱
الیگودرز*	۲۰۲۲	۹۲/۰	۳۸/۰	۴/۸	۰/۸	۱/۶	۲/۷	۴/۶	۴۱/۴	۶۶/۱	۴۸/۴	۶۵/۶	۳۷/۱
خرم‌آباد*	۱۱۴۸	۸۳/۴	۳۳/۹	۱/۹	۰/۱	۰/۵	۱/۴	۷/۰	۶۳/۰	۷۷/۴	۵۵/۰	۶۷/۸	۴۷/۹
آبباریک	۲۳۸۰	۷۰/۰	۳۹/۸	۷/۸	۲/۰	۰/۰	۰/۰	۲۰/۳	۳۹/۰	۴۲/۹	۲۷/۸	۲۹/۰	۴۴/۵
آب‌سفید	۱۹۷۰	۴۰/۰	۱۶/۰	۱۲/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۸۰/۰	۶۱/۵	۲۰۰	۴۰/۰	۱۰۲
چم‌زمان	۱۸۳۰	۸۴/۲	۵۰/۳	۵/۰	۰/۲	۱/۱	۲/۴	۱۱/۶	۴۳/۰	۷۷/۷	۶۳/۳	۷۱/۵	۵۰/۷
برم	۱۷۳۰	۷۷/۷	۴۲/۷	۱/۷	۰/۰	۰/۰	۱/۲	۱۲/۵	۳۹/۸	۴۲/۳	۲۶/۸	۴۹/۷	۴۲/۰
دورود	۱۴۵۰	۱۱۹	۶۵/۸	۵/۹	۰/۰	۰/۰	۲/۷	۱۳/۷	۸۰/۰	۱۲۷	۷۹/۵	۱۰۴	۵۷/۱
تیره‌مروک	۱۵۶۰	۶۳/۷	۳۹/۶	۲/۲	۰/۰	۰/۰	۶/۱	۷/۶	۶۲/۲	۵۴/۸	۳۵/۴	۵۷/۸	۴۲/۶
دره‌تخت	۱۸۹۰	۱۲۷	۷۷/۴	۵/۱	۱/۱	۱/۰	۵/۲	۹/۰	۸۶/۴	۹۰/۹	۷۱/۷	۹۶/۱	۷۸/۰

۳۹/۰	۴۲/۳	۷۴/۸	۷۴/۳	۵۴/۰	۱۴/۵	۵/۵	۰/۰	۰/۰	۴/۸	۴۴/۸	۸۵/۸	۱۴۸۸	رحیم آباد
۵۳/۰	۸۰/۱	۵۲/۹	۸۹/۵	۶۵/۶	۱۳/۶	۲/۰	۰/۳	۱/۴	۵/۰	۴۹/۲	۹۵/۸	۱۶۰۰	سازمان آب
۱۴۶	۱۱۲	۷۵/۹	۱۱۴	۱۱۵	۱۷/۲	۹/۴	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۴۸/۹	۱۰۱	۱۲۹۰	چم چیت
۱۲۳	۱۷۳	۱۵۳	۲۱۲	۱۳۳	۷/۳	۳/۷	۰/۰	۰/۰	۰/۵	۶۰/۳	۱۳۰	۷۷۰	کشور
۶۱/۷	۱۰۰	۴۶/۷	۹۷/۳	۱۱۶	۱۳/۴	۱۴/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۶۸/۶	۱۶۱	۲۱۳۰	سکانه
۵۷/۷	۸۴/۰	۴۲/۷	۹۸/۰	۶۷/۰	۱۵/۳	۱۳/۷	۰/۰	۰/۰	۱۶/۷	۷۶/۳	۱۲۳	۱۹۸۰	کاظم آباد
۸۲/۰	۱۰۰	۸۲/۴	۹۸/۰	۱۰۱	۱۰/۷	۱۰/۲	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۶۰/۴	۱۵۷	۲۳۸۰	کاکلستان
۷۳/۸	۸۵/۵	۶۸/۱	۹۰/۵	۸۰/۱	۱۲/۸	۲/۱	۰/۳	۰/۲	۳/۷	۶۶/۰	۱۲۹	۱۹۳۰	کمندان
۶۷/۰	۱۲۶	۷۸/۲	۸۹/۰	۷۶/۷	۱۱/۷	۵/۶	۰/۰	۰/۰	۶/۳	۶۵/۶	۱۲۱	۱۹۷۰	ونایی
۳۶/۵	۹۱/۵	۸۸/۰	۲۰۹	۷۵/۰	۳۸/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۲/۵	۴۹/۵	۱۸۸	۱۴۵۰	دره تخت
۳۸/۶	۹۱/۵	۵۱/۵	۶۸/۲	۵۴/۲	۲/۵	۲/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱۷/۴	۵۱/۷	۹۰۰	تنگ سیاب
۸/۹	۹/۸	۸/۷	۷/۶	۷/۶	۱/۵	۰/۳	۰/۰	۰/۱	۰/۳	۲/۹	۱۰/۶	۱۱۴۵	چمانجیر
۲۷/۹	۵۰/۱	۳۷/۶	۷۸/۱	۱۰۲	۱۴/۷	۴/۳	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۶۰/۶	۸۹/۸	۱۲۰۰	خرم آباد
۳۵/۸	۶۸/۴	۴۱/۵	۵۹/۵	۱۰۱	۲۱/۳	۷/۳	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۵۳/۰	۹۷/۳	۱۷۲۰	دره تنگ
۵۲/۸	۷۰/۷	۵۴/۱	۷۴/۲	۵۶/۷	۱۰/۹	۰/۶	۰/۱	۰/۰	۱/۴	۴۴/۵	۹۷/۰	۱۷۵۰	دهنو
۴۸/۰	۹۴/۴	۷۰/۵	۶۱/۰	۷۳/۰	۳/۳	۱/۴	۰/۵	۰/۰	۲/۰	۳۶/۱	۶۹/۶	۹۵۵	دوآب
۱۸/۰	۵۵/۸	۳۰/۰	۶۳/۳	۳۳/۸	۰/۰	۳/۰	۰/۰	۰/۰	۱/۰	۱۳/۰	۷۵/۳	۱۳۰۰	رومشکان
۵۲/۶	۹۵/۶	۶۰/۱	۷۹/۶	۷۲/۸	۷/۷	۱/۶	۰/۲	۰/۴	۰/۴	۳۴/۴	۷۵/۶	۱۵۱۰	الشترسراب
۶۵/۷	۹۸/۳	۷۷/۳	۸۸/۷	۷۱/۱	۴/۰	۲/۶	۰/۰	۰/۰	۰/۵	۴۱/۵	۸۷/۵	۱۵۵۰	کاکارضا
۵۵/۸	۹۰/۳	۷۴/۱	۸۴/۷	۶۹/۱	۴/۹	۲/۱	۰/۰	۰/۰	۰/۴	۳۰/۷	۷۲/۳	۸۱۰	کشکان
۶۱/۶	۱۰۶	۵۷/۴	۳۶/۵	۸۸/۳	۷/۸	۱/۸	۰/۴	۰/۰	۳/۱	۳۰/۶	۷۱/۹	۱۷۸۰	کفراج
۴۶/۷	۸۸/۸	۴۸/۵	۶۹/۸	۷۲/۶	۵/۶	۴/۰	۰/۰	۰/۰	۲/۶	۲۹/۸	۸۱/۲	۱۲۵۰	کوهدشت
۶۳/۵	۱۱۲	۶۲/۱	۷۷/۸	۹۳/۱	۸/۰	۱/۰	۰/۸	۱/۳	۲/۵	۵۱/۹	۸۸/۵	۱۸۰۰	نورآباد

برای انجام این تحقیق ابتدا داده‌های مورد استفاده در قالب‌های مناسب، جهت تجزیه و تحلیل تبدیل شد؛ سپس برای یافتن ارتباط بارش با ارتفاع (جدول ۲)، ارتباط بارش با رطوبت (جدول ۳) و ارتباط بارش با ارتفاع و رطوبت (جدول ۴) از روش کم‌ترین مربعات استفاده گردید برای این منظور به کمک داده‌های بارش، ارتفاع و رطوبت ابتدا با اعمال روابط ۳ تا ۸ یک دستگاه معادلاتی شامل ۴۱ معادله چندجمله‌ای و ۵ مجهول (ضرایب چندجمله‌ای) برای هر ماه به صورت جداگانه استخراج گردید، با توجه به این که تعداد معادلات از تعداد

مجهولات بیش‌تر است حل این معادلات همواره با خطا مواجه است روش کم‌ترین مربعات قادر به حل این معادله با مینم‌سازی خطا است (بابلیان، ۱۳۷۶: ۸۷). برای حل این معادلات ابتدا صورت ماتریسی این معادلات تهیه و سپس به کمک نرم‌افزار Maple12 ضرایب چندجمله‌ای برای هریک از معادلات بارش با ارتفاع، ارتباط بارش با رطوبت و ارتباط بارش با ارتفاع و رطوبت به‌صورت جداگانه برای هر ماه استخراج گردید. در نهایت با مینا قراردادن این معادلات برای منطقه مورد مطالعه در محیط GIS مدل رقومی بارش (DPM) ایجاد گردید.

صحت‌سنجی نتایج

دقیق‌ترین راه برای ارزیابی کیفیت سطح خروجی، مقایسه مقادیر پیش‌بینی‌شده با مقدار اندازه‌گیری شده میدانی می‌باشد. بیش‌تر اوقات ممکن نیست دوباره به منطقه مورد مطالعه بازگشت و مجموعه داده‌های اعتبارسنجی مستقلی را جمع‌آوری کرد. یک راه‌حل برای ارزیابی این است که ارزش یک نقطه حذف می‌شود و مقدار آن براساس نقاط باقی مانده برآورد می‌گردد. سپس مقدار حذف شده به جای خود برگردانده می‌شود و این برآورد برای تمام نقاط به‌صورت مجزا انجام می‌گیرد. در پایان جدولی با دو ستون از مقادیر واقعی ایستگاه‌ها و مقادیر پیش‌بینی شده در مدل رقومی بارش به‌دست می‌آید که می‌توان به بر اساس آن و با استفاده از شاخص‌های آماری، دقت روش مورد نظر را ارزیابی نمود، این روش روش اعتبارسنجی متقاطع^{۲۱} نام دارد. هم‌چنین برای مقایسه نتایج این مدل، داده‌های تصاویر TRMM تصاویر رادار TRMM و داده‌های بارش در سوم اردیبهشت سال ۱۳۸۹ معادل با ۲۱ آوریل ۲۰۱۰ میلادی دانلود و به مقایسه بین مدل DPM و تصاویر حاصل از رادار TRMM پرداخته شد.

در تحلیل‌های آماری نیز نتایج حاصل را با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های آماری و دو شاخص دقت، ضریب تعیین (R^2) ^{۲۲} و شاخص خطای ریشه دوم میانگین مربع خطاها^{۲۳}، (RMSE) با هم مقایسه می‌شوند. این شاخص‌ها از روابط ذیل حاصل می‌شوند.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - t_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - t_i)^2}{n}}$$

پارامترهای O_i و t_i به ترتیب مقدار حاصل از ایستگاه‌ها و مقدار حاصل از داده‌های مدل رقومی بارش و n تعداد ایستگاه‌ها می‌باشند.

رادار ماهواره‌ای TRMM

رادار ماهواره‌ای TRMM محصول مشترک کشورهای ژاپن و امریکاست که با استفاده از تصاویر ارسالی این رادار امکان ثبت، تجزیه و تحلیل مداوم مقادیر بارش در سطح زمین فراهم می‌گردد (رسولی، ۱۳۹۰: ۱۴۵). ماهواره TRMM حاوی ۵ رادار متفاوت است که سه ابزار اصلی به منظور محاسبه ویژگی‌های بارش در محدوده اتمسفر زمین و ابزارهای دیگر این ماهواره ابزارهای ثانویه وظیفه ثبت سایر خصوصیات جوی را به عهده دارند (وانگ^{۲۴}، ۲۰۰۱: ۳۳۶). رادار بارش دارای قدرت تفکیک زمینی ۴ کیلومتر و عرض نوار ۲۲۰ کیلومتر است (کومرو^{۲۵}، ۲۰۰۰: ۱۹۶۸).

22- Correlation Coefficient

23- Root Mean Square Error

24- Wang

25- Kummerow

روش‌های درون‌یابی

داده‌های مکانی از نظر روش‌های تحلیل در GIS به دو شکل می‌باشند که درک آن‌ها اهمیت ویژه‌ای دارند. داده‌هایی که گسسته^{۲۶} یا منفصل^{۲۷} نامیده می‌شوند، عموماً داده‌های مطلق^{۲۸} می‌باشند. به این معنا که مرز این داده‌ها در طبیعت به‌طور دقیق قابل تعریف است اما داده‌های پیوسته^{۲۹} در طبیعت از یکپارچگی برخوردارند و هر موقعیتی در سطح زمین اندازه‌ای از آن را دارا می‌باشد. داده‌های پیوسته به دلیل پیوستگی که دارند قابل اندازه‌گیری در تمام سطوح نیستند، لذا به‌طور نمونه‌ای برداشت می‌شوند. برآورد میزان متغیر پیوسته را در مناطق نمونه‌گیری نشده در داخل ناحیه‌ای که مشاهدات نقطه‌ای پراکنده شده‌اند، درون‌یابی می‌گویند. در واقع درون‌یابی، تغییرات فضایی متغیر پیوسته را نمایش می‌دهد (قهرودی تالی، ۱۳۸۴: ۱۱۸). در محاسبات عددی، درون‌یابی روشی است برای یافتن مقدار تابع درون یک بازه، زمانی که مقدار تابع در تعدادی از نقاط گسسته معلوم است. یافتن مقدار تابع در خارج از این بازه را برون‌یابی گویند که عموماً از روش‌های مشابهی برای هر دو استفاده می‌شود (جان فروند، ۱۳۷۸: ۴۸۳).

روش کم‌ترین مربعات

استفاده از روش کم‌ترین مربعات برای برازش دادن یک منحنی در اوایل قرن نوزدهم توسط ریاضیدان فرانسوی آدرین لژاندر^{۳۰} پیشنهاد شده است (جان فروند، ۱۳۸۷: ۴۸۳).

برازش منحنی: اگر نقاط $(x_i, y_i); i=1, 2, \dots, n$ مفروض باشند چندجمله‌ای $P(x)$ چنان باشد که $S = \sum_{i=1}^{i=n} (y_i - P(x))^2$ کم‌ترین مقدار را داشته باشد در این صورت چندجمله‌ای

-
- 26- Discrete
 - 27- Discontinuous
 - 28- Categorical
 - 29- Continuous
 - 30- Legendre

$P(x)$ تقریب کم‌ترین مربعات^{۳۱} برای داده‌های $(x_i, y_i); i=1, 2, \dots, n$ نامند (بابلیان، ۱۳۷۶: ۱۲۰). در حالت کلی برای به‌دست آوردن چندجمله‌ای $P(x)$ فرض شود که:

$$p(x) = a_m x^m + a_{m-1} x^{m-1} + \dots + a_0; a_m \neq 0 \quad (۱)$$

چندجمله‌ای کم‌ترین مربعات درجه m باشد برای به دست آوردن ضرایب $P(x)$ ، از رابطه (۲) استفاده خواهد بود از:

$$\frac{\partial s}{\partial a_j} = 0; j = 0, 1, \dots, m \quad (۲)$$

معادلات حاصل از رابطه (۲) تشکیل یک دستگاه شامل $m+1$ معادله برای $m+1$ مجهول a_0, a_1, \dots, a_m را می‌دهند (وایت^{۳۲}، ۱۹۹۷: ۲۴۰). در صورت نیاز به پیش‌بینی‌های دقیق‌تر از یک مسئله باید عوامل تأثیرگذار بیش‌تری را اعمال شود. بنابر این

$$f(x_1, x_2, \dots, x_k) = a_m x_k + a_{m-1} x_{k-1} + \dots + a_1 x_1 + a_0 \quad (۳)$$

ضرایب این تابع برازش به کمک روش کم‌ترین مربعات برآورد می‌شوند. برای n نقطه داده‌ای

$$\{(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}, y_i); i = 0, 1, \dots, m\} \quad (۴)$$

برآوردهای روش کم‌ترین مربعات عبارت‌اند از مقادیر a_0, a_1, \dots, a_m که بر آن‌ها کمیت

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - (a_m x_{ik} + a_{m-1} x_{ik-1} + \dots + a_1 + a_0))^2 \quad (۵)$$

کمینه می‌شود. با مشتق جزئی گرفتن نسبت به a_i ها و مساوی صفر قرار دادن این مشتقات $k+1$ معادله نرمال به‌دست می‌آید (رابطه ۶).

31- Least Square

32- Wait

$$\begin{aligned} \sum y_i &= a_0 n + a_1 \sum x_{i1} + a_2 \sum x_{i2} + \dots + a_k \sum x_{ik} \\ \sum y_{i1} y_i &= a_0 \sum x_{i1} + a_1 \sum x_{i2}^2 + a_2 \sum x_{i1} x_{i2} + a_k \sum x_{ik} x_{i1} \quad (6) \\ \sum y_{ik} y_i &= a_0 \sum x_{ik} + a_1 \sum x_{ik} x_{i1} + a_2 \sum x_{ik} x_{i2} + \dots + a_k \sum x_{ik}^2 \end{aligned}$$

در معادلات (۶)، (۷) و (۸) جهت ساده‌نویسی از علامت \sum^x به جای $\sum_{i=1}^{i=n} x$ استفاده شده است. از حل دستگاه (۶) مقادیر a_i ها به دست می‌آیند که توسط آن‌ها خط کم‌ترین مربعات $f(x_1, x_2, \dots, x_k) = a_m x_k + a_{m-1} x_{k-1} + \dots + a_1 x_1 + a_0$ مشخص می‌شود (جان فروند، ۱۳۸۷: ۴۹۶). مدلی که در برازش خطی چندگانه به کار برده شده است (رابطه ۶)، به طرز جالبی به نمادگذاری ماتریسی تن می‌دهد (رابطه ۷).

$$\begin{pmatrix} n & \sum x_{i1} & \sum x_{i2} & \dots & \sum x_{ik} \\ \sum x_{i1} & \sum x_{i1}^2 & \sum x_{i1} x_{i2} & \dots & \sum x_{i1} x_{ik} \\ \sum x_{i2} & \sum x_{i1} x_{i2} & \sum x_{i2}^2 & \dots & \sum x_{i2} x_{ik} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum x_{ik} & \sum x_{ik} x_{i1} & \sum x_{ik} x_{i2} & \dots & \sum x_{ik}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_0 \\ y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} \quad (7)$$

برازش رویه^{۳۳} چندگانه: به طور کلی یک معادله ضمنی شامل سه متغیر x و y و z نمایش یک رویه یا سطح است (توماس، ۱۳۸۵: ۳۱۷). با مبنا قرار دادن روند برجسته و مهم‌تر در پیش‌بینی‌ها، رویه‌ای بین نقاط نمونه‌برداری شده برازش می‌شود؛ که این رویه نمونه ویژه و مشخصی از فرمول‌های ریاضی به نام چندجمله‌ای است. در این صورت مقدار مجهول را از روی مقدار مشخص شده روی رویه تعیین می‌شود. این رویه ممکن است بالای برخی از نقاط و یا پایین برخی از نقاط دیگر قرار بگیرد هدفی که درون‌یابی دنبال می‌کند این است میزان خطا مینیمم باشد (ترابی‌آزاد، ۱۳۸۹: ۳۶)؛ و این در واقع اساس روش کم‌ترین

مربعات در حالت رویه‌ای است. شکل ماتریسی معادله‌های نرمال رویه چندگانه در رابطه (۸) آمده است.

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n x_{1i}^2 & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{3i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{4i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{5i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{6i} \\ \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} & \sum_{i=1}^n x_{2i}^2 & \sum_{i=1}^n x_{2i}x_{3i} & \sum_{i=1}^n x_{2i}x_{4i} & \sum_{i=1}^n x_{2i}x_{5i} & \sum_{i=1}^n x_{2i}x_{6i} \\ \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{3i} & \sum_{i=1}^n x_{2i}x_{3i} & \sum_{i=1}^n x_{3i}^2 & \sum_{i=1}^n x_{3i}x_{4i} & \sum_{i=1}^n x_{3i}x_{5i} & \sum_{i=1}^n x_{3i}x_{6i} \\ \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{4i} & \sum_{i=1}^n x_{2i}x_{4i} & \sum_{i=1}^n x_{3i}x_{4i} & \sum_{i=1}^n x_{4i}^2 & \sum_{i=1}^n x_{4i}x_{5i} & \sum_{i=1}^n x_{4i}x_{6i} \\ \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{5i} & \sum_{i=1}^n x_{2i}x_{5i} & \sum_{i=1}^n x_{3i}x_{5i} & \sum_{i=1}^n x_{4i}x_{5i} & \sum_{i=1}^n x_{5i}^2 & \sum_{i=1}^n x_{5i}x_{6i} \\ \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{6i} & \sum_{i=1}^n x_{2i}x_{6i} & \sum_{i=1}^n x_{3i}x_{6i} & \sum_{i=1}^n x_{4i}x_{6i} & \sum_{i=1}^n x_{5i}x_{6i} & \sum_{i=1}^n x_{6i}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{1i}y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{2i}y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{3i}y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{4i}y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{5i}y_i \end{pmatrix} \quad (8)$$

یافته‌ها و بحث

نتایج به‌دست‌آمده از اعمال رابطه ۱ تا ۳ از جدول ۴ در مدل رقومی بارش در فصل بهار نشان می‌دهد که میزان بارش حاصل از مدل بارش، ۰/۲ تا ۷ میلی‌متر با مقدار اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه‌های همدید و باران‌سنجی اختلاف دارد؛ همچنین در این فصل بیش‌ترین خطای RMSE در فروردین‌ماه و کم‌ترین خطای RMSE در خردادماه می‌باشد (جدول ۵). بررسی ضرایب تعیین رطوبت و ارتفاع نشان می‌دهد که بارش در این فصل بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را از رطوبت به‌ترتیب در ماه فروردین و ماه خرداد پذیرفته است؛ و بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را از ارتفاع به‌ترتیب در ماه خردادماه و فروردین پذیرفته است و این به معنی است که تأثیر رطوبت در بارش در منطقه مورد مطالعه در فصل بهار به‌تدریج کم و تأثیر ارتفاع به‌تدریج افزایش یافته است (جدول ۵).

نتایج به‌دست‌آمده از اعمال رابطه ۴ تا ۶ از جدول ۴ در مدل رقومی بارش در فصل تابستان نشان می‌دهد که میزان بارش حاصل از مدل بارش، ۰/۰۲ تا ۰/۷ میلی‌متر با مقدار اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه‌های همدید و باران‌سنجی اختلاف دارد؛ همچنین در این فصل بیش‌ترین خطای RMSE در شهریورماه و کم‌ترین خطای RMSE در تیرماه می‌باشد (جدول ۵). بررسی ضرایب تعیین رطوبت و ارتفاع نشان می‌دهد که بارش در این فصل بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را از رطوبت به‌ترتیب در ماه تیر و ماه مرداد پذیرفته است؛ و بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را از ارتفاع به‌ترتیب در ماه مرداد و ماه تیر پذیرفته است و این به

معنی است که تأثیر رطوبت در بارش در منطقه مورد مطالعه در فصل تابستان ابتدا کاهش و سپس افزایش و تأثیر ارتفاع ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است (جدول ۵).

نتایج حاصل از اعمال رابطه ۷ تا ۹ از جدول (۴) در مدل رقومی بارش در فصل پاییز نشان می‌دهد که میزان بارش حاصل از مدل بارش، $0/3$ تا $11/6$ میلی‌متر با مقدار اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های همدید و باران‌سنجی اختلاف دارد که این اختلاف بیش‌ترین میزان اختلاف در فصل‌های سال است؛ همچنین در این فصل بیش‌ترین خطای RMSE در آذر ماه و کم‌ترین خطای RMSE در مهرماه می‌باشد (جدول ۵). بررسی ضرایب تعیین رطوبت و ارتفاع نشان می‌دهد که بارش در این فصل بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را از رطوبت به ترتیب در ماه مهر و ماه آبان پذیرفته است؛ و بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را از ارتفاع به ترتیب در ماه مهر و ماه آذر پذیرفته است و این به معنی است که تأثیر رطوبت در بارش در منطقه مورد مطالعه در فصل پاییز ابتدا کاهش و سپس افزایش تأثیر ارتفاع ابتدا به تدریج کاهش یافته است (جدول ۵).

نتایج به دست آمده از اعمال رابطه ۱۰ تا ۱۲ از جدول ۴ در مدل رقومی بارش در فصل زمستان نشان می‌دهد که میزان بارش حاصل از مدل بارش، $1/9$ تا $10/6$ میلی‌متر با مقدار اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های همدید و باران‌سنجی اختلاف دارد؛ همچنین در این فصل بیش‌ترین خطای RMSE در بهمن‌ماه و کم‌ترین خطای RMSE در دی‌ماه می‌باشد (جدول ۵). بررسی ضرایب تعیین رطوبت و ارتفاع نشان می‌دهد که بارش در این فصل بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را از رطوبت به ترتیب در دی‌ماه و بهمن پذیرفته است؛ و همچنین بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را از ارتفاع به ترتیب در ماه اسفند و دی آذر پذیرفته است و این به معنی است که تأثیر رطوبت در بارش در منطقه مورد مطالعه در فصل زمستان ابتدا کاهش و سپس افزایش تأثیر ارتفاع ابتدا به تدریج افزایش یافته است (جدول ۵).

جدول (۲) ارتباط بارش با ارتفاع (در این روابط h نمایانگر ارتفاع، $p(h)$ نمایانگر بارش با ارتفاع می‌باشد)

$p(h) = 4 \times 10^{-10} h^4 - 2 \times 10^{-6} h^4 + 0.0049 h^2 - 4.2019 h + 1321.9$	فروردین	۱
$p(h) = -3 \times 10^{-11} h^4 - 1 \times 10^{-7} h^3 + 8 \times 10^{-5} h^2 + 0.0012 h + 33.9$	اردیبهشت	۲
$p(h) = -6 \times 10^{-11} h^4 + 3 \times 10^{-7} h^3 - 0.0007 h^2 + 0.056 h - 166$	خرداد	۳
$p(h) = 9 \times 10^{-12} h^4 - 5 \times 10^{-8} h^3 + 9 \times 10^{-5} h^2 - 0.0766 h + 22.33$	تیر	۴
$p(h) = 2 \times 10^{-11} h^4 - 9 \times 10^{-8} h^3 + 0.0002 h^2 - 0.14 h + 42.361$	مرداد	۵
$p(h) = 1 \times 10^{-11} h^4 - 6 \times 10^{-8} h^3 + 0.0001 h^2 - 0.098 h + 33.501$	شهریور	۶
$p(h) = -3 \times 10^{-11} h^4 + 1 \times 10^{-7} h^3 - 0.0002 h^2 + 0.1928 h - 53.26$	مهر	۷
$p(h) = -7 \times 10^{-11} h^4 + 3 \times 10^{-7} h^3 - 0.0006 h^2 + 0.4803 h - 89.21$	آبان	۸
$p(h) = 2 \times 10^{-10} h^4 - 1 \times 10^{-6} h^3 - 0.0029 h^2 + 2.6003 h + 875.88$	آذر	۹
$p(h) = 2 \times 10^{-10} h^4 - 1 \times 10^{-6} h^3 - 0.0023 h^2 + 1.9679 h + 627.35$	دی	۱۰
$p(h) = 3 \times 10^{-10} h^4 - 2 \times 10^{-6} h^3 - 0.0037 h^2 + 3.2646 h + 1062.5$	بهمن	۱۱
$p(h) = 1 \times 10^{-10} h^4 - 8 \times 10^{-7} h^3 - 0.0017 h^2 + 1.4817 h + 474.27$	اسفند	۱۲

جدول (۳) ارتباط بارش با رطوبت (در این روابط r نمایانگر رطوبت، $p(r)$ نمایانگر بارش با رطوبت می‌باشد)

$p(r) = -0.0594 r^4 + 12.583 r^3 - 996.57 r^2 + 34987 r - 459293$	فروردین	۱
$p(r) = -0.0031 r^4 + 0.5739 r^3 - 39.963 r^2 + 1223 r - 13849$	اردیبهشت	۲
$p(r) = -0.3198 r^4 + 5.1943 r^3 - 26.801 r^2 + 48.931 r - 8.0206$	خرداد	۳
$p(r) = 432.31 r^4 - 239.29 r^3 - 297.33 r^2 + 186.44 r - 10.834$	تیر	۴
$p(r) = 0.0003 r^4 - 12.583 r^3 - 996.57 r^2 + 34987 r - 459293$	مرداد	۵
$p(r) = -0.0003 r^4 + 0.0311 r^3 - 1.2025 r^2 + 20.035 r - 119.51$	شهریور	۶
$p(r) = -0.0009 r^4 + 0.1233 r^3 - 6.1561 r^2 + 135.19 r - 1094.6$	مهر	۷
$p(r) = 0.0117 r^4 - 2.374 r^3 + 180.22 r^2 - 6053 r + 75941$	آبان	۸
$p(r) = 0.047 r^4 - 11.948 r^3 + 1137.9 r^2 - 48131 r + 763035$	آذر	۹
$p(r) = -0.0222 r^4 + 5.8149 r^3 - 569.9 r^2 + 24789 r - 403715$	دی	۱۰
$p(r) = -0.0013 r^4 + 0.3668 r^3 - 39.643 r^2 + 1892.3 r - 33601$	بهمن	۱۱
$p(r) = 0.0204 r^4 - 4.322 r^3 + 342.58 r^2 - 12043 r + 158458$	اسفند	۱۲

جدول (۴) ارتباط بارش با ارتفاع و رطوبت (در این روابط h ارتفاع، روابط r نمایانگر رطوبت و $p(r, h)$ نمایانگر ارتباط بارش با ارتفاع و رطوبت می‌باشد)

فروردین	۱	$p(r, h) = 136.4311390 - 1.619532221r + 0.0214300412h$
اردیبهشت	۲	$p(r, h) = 17.71224135 - 0.0119045568r + 0.0193950122h$
خرداد	۳	$p(r, h) = -3.21858627 - 0.080912246r + 0.00604878512h$
تیر	۴	$p(r, h) = 0.072016097 - 0.01399914036r + 0.00037144616h$
مرداد	۵	$p(r, h) = 0.601456146 - 0.0344263666r + 0.000477496773h$
شهریور	۶	$p(r, h) = 2.18154994 - 0.0273937952r + 0.00017384123h$
مهر	۷	$p(r, h) = 2.23841891 + 0.092332183r + 0.0014349385h$
آبان	۸	$p(r, h) = 57.77998574 + 0.18694931r - 0.0049450262h$
آذر	۹	$p(r, h) = 134.7461668 - 1.03230695r + 0.0046120835h$
دی	۱۰	$p(r, h) = 85.3086790 - 0.528486585r + 0.0008904409h$
بهمن	۱۱	$p(r, h) = 70.770370 - 0.08477169r + 0.005909320h$
اسفند	۱۲	$p(r, h) = 38.9371166 - 0.063218197r + 0.0075891687h$

جدول (۵) ضریب تعیین بارش و رطوبت RMSE

شاخص	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
RMSE	۴/۲۲	۳/۹۳	۰/۶۲	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۳۹	۰/۷۰	۵/۱۵	۴/۱۸	۲/۵۹	۴/۳۳	۳/۵۶
R^2 رطوبت	۰/۷۹	۰/۳۴	۰/۴۸	۰/۳۷	۰/۲۸	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۰۸	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۴۱
R^2 ارتفاع	۰/۳۶	۰/۴۶	۰/۷۵	۰/۵۰	۰/۷۸	۰/۵۴	۰/۵۵	۰/۳۶	۰/۱۵	۰/۳۵	۰/۴۰	۰/۸۱

مقایسه مدل رقومی بارش با تصاویر ماهواره TRMM

ارتباط بارش با توپوگرافی در سوم اردیبهشت ماه ۱۳۸۹

$$p(h) = -1 \times 10^{-10} h^4 + 6 \times 10^{-7} h^3 - 0.0011h^2 + 0.9585h - 266.27 \quad (9)$$

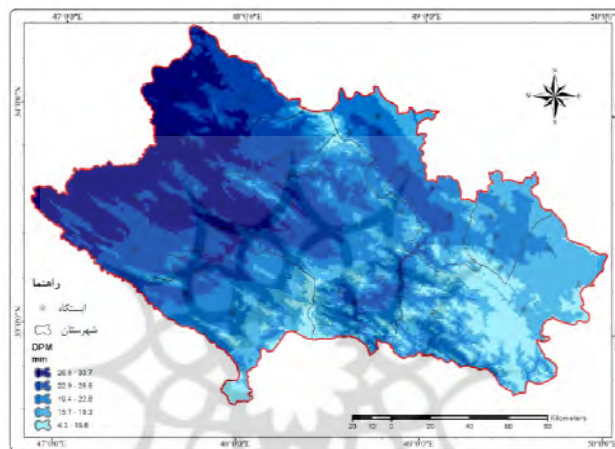
ارتباط بارش با رطوبت در سوم اردیبهشت ماه ۱۳۸۹

$$p(r) = -0.0169r^4 + 4.0025r^3 - 354.15r^2 + 13880r - 203284 \quad (10)$$

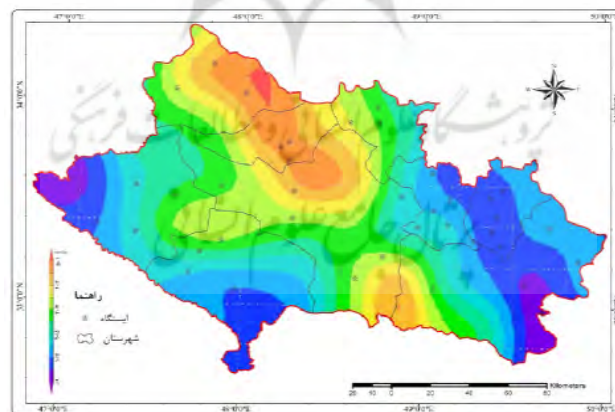
ارتباط بارش با توپوگرافی و رطوبت در سوم اردیبهشت ماه ۱۳۸۹

$$p(r, h) = -78.9843848 + 2.12659787r - 0.0197382311h \quad (11)$$

با توجه به نتایج به‌دست آمده از اعمال رابطه (۱۱) در مدل رقومی بارش ضریب‌تعیین در سوم اردیبهشت‌ماه ۸۷٪ می‌باشد؛ و میزان بارش از ۰ تا ۶/۶ میلی‌متر با مقدار اندازه‌گیری شده در این ایستگاه‌ها اختلاف دارد. ضمناً ضریب‌تعیین برای داده‌های TRMM ۷۹٪ است. شکل ۲ و ۳ به‌ترتیب نقشه‌های حاصل از مدل رقومی بارش و TRMM را نمایش می‌دهند.



شکل (۲) DPM لرستان در سوم اردیبهشت ۱۳۸۹



شکل (۳) نقشه بارش در روز سوم اردیبهشت ۱۳۸۹ ماهواره TRMM

نتیجه‌گیری

در این پژوهش نتایج حاصل از مدل رقومی بارش بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه بررسی شده است. برای این منظور از شاخص‌های آماری خطای ریشه‌ی دوم میانگین مربع خطاها (RMSE) و ضریب تعیین (R^2) استفاده شده است. نتایج نشان دادند که ریشه‌ی دوم میانگین مربع خطاها در ماه‌های پربارش (ماه‌های سرد) بیش‌تر از ماه‌های کم‌بارش (ماه‌های گرم) است (جدول ۵). همچنین بررسی ضرایب تعیین در جدول ۵ نشان دادند که میزان ارتباط بارش با ارتفاع، بارش با رطوبت در همه ماه‌های سال یکسان نیست به طوری که در مورد ارتفاع از فروردین تا مرداد روند افزایشی، از مرداد تا آذر روند کاهشی و از آذر تا اسفند روند افزایشی دارد. اما این ارتباط در مورد رطوبت روند خاصی را دنبال نمی‌کند. نتایج حاصل از مدل رقومی بارش نشان داد که میزان بارش در فروردین ۰/۲ تا ۵/۹ میلی‌متر، اردیبهشت ۳ تا ۷ میلی‌متر، خرداد ۰/۷ تا ۱/۴، تیر ۰/۰۲ تا ۰/۲ میلی‌متر، مرداد ۰/۱ تا ۰/۷ میلی‌متر، شهریور ۰/۲ تا ۰/۶ میلی‌متر، مهر ۰/۳ تا ۱/۷ میلی‌متر، آبان ۴/۱ تا ۱۱/۳ میلی‌متر، آذر ۱/۱ تا ۱۱/۶ میلی‌متر، دی ۱/۹ تا ۴/۵ میلی‌متر، بهمن ۳/۶ تا ۷/۵ میلی‌متر، اسفند ۲/۶ تا ۱۰/۶ میلی‌متر با مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها اختلاف دارند. نتایج این تحقیق با نتایجی که ساران و همکاران (۲۰۱۳)، پیرا و همکاران (۲۰۱۱)، کریستین و همکاران (۱۹۹۸) در مورد مدل‌سازی ماهانه بارش گرفته‌اند قابل مقایسه بوده و نتایج این تحقیق از دقتی بیش‌تر برخوردار است. همچنین این نتایج در مورد داده‌های TRMM در مقایسه با نتایج حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۱) برای داده‌های بارش TRMM همسو می‌باشد. با توجه به کمبود تعداد ایستگاه‌های هواشناسی در سطح کشور و نیاز به آگاهی از میزان بارش در مناطقی که فاقد ایستگاه‌های بارن‌سنجی هستند، پیشنهاد می‌شود که DPM برای کلیه استان‌های کشور تهیه گردد و به صورت یک تابع در درون ArcGIS و یا یک نرم‌افزار مجزا ایجاد گردد تا بتوان از آن در موارد مورد نیاز استفاده گردد.

منابع

- بابلیان، اسماعیل (۱۳۷۶)، «*تالیز عددی ۱*»، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
- ترابی‌آزاد، مسعود؛ سیه‌سرانی، امیر؛ افتخاری، امیر (۱۳۸۹)، «آموزش جامع تحلیل گر زمین‌آمار»، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تهران.
- جان فروند، راندل والپول (۱۳۷۸)، «*مار ریاضی*»، ترجمه: علی عمیدی و محمدقاسم وحیدی‌اصل، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
- جرج‌بی. توماس، راس‌ال. فینی (۱۳۸۵)، «حساب دیفرانسیل و انتگرال و هندسه تحلیلی»، ترجمه علی‌اکبر عالم‌زاده و داریوش بهمدی، *نشر پژوهش*، تهران.
- حجازی‌زاده، زهرا؛ علیجانی، بهلول؛ ضیاییان، پرویز؛ کریمی، مصطفی؛ رفعتی، سمیه (۱۳۹۱)، «ارزیابی بارش ماهواره‌ای ۳B۴۳ و مقایسه آن با مقادیر حاصل از تکنیک درون‌یابی کریجینگ»، *سنجش از دور و GIS/ایران*، سال چهارم، شماره ۳، صص ۶۴-۴۹.
- دین‌پژوه، یعقوب و همکاران (۱۳۸۲)، «انتخاب متغیرها به‌منظور پهنه‌بندی اقلیم بارش ایران با روش‌های چندمتغیره»، *مجله علوم کشاورزی ایران*، جلد ۳۴، شماره ۴، صص ۸۰۹-۸۲۳.
- رسولی، علی‌اکبر (۱۳۹۰)، «مقدمه‌ای بر هواشناسی و اقلیم‌شناسی ماهواره‌ای»، تبریز، انتشارات دانشگاه تبریز.
- رسولی، علی‌اکبر و حاجی میررحیمی، سیدمحمود (۱۳۸۶)، «ارزیابی بارش‌های سیل‌آسا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و رادار هواشناسی TRMM»، *دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی*، تهران.
- قهرودی تالی، منیژه (۱۳۸۴)، «*سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در محیط سه بعدی*»، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تربیت معلم، تهران.
- مهرشاهی، داریوش؛ خسروی، یونس (۱۳۸۹)، «ارزیابی روش‌های میان‌یابی 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، صص ۲۴۹-۲۳۴.

- یاراحمدی، داریوش؛ عزیزی، قاسم (۱۳۸۶)، «تحلیل چندمتغیره ارتباط میزان بارش فصلی ایران و شاخص‌های اقلیمی»، *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۶۲، صص ۱۶۱-۱۷۴.
- Berndt, C., Rabiei, E., & Haberlandt, U. (2014), "Geostatistical merging of rain gauge and radar data for high temporal resolutions and various station density scenarios", *Journal of Hydrology*, Vol.508, pp88-101.
- Christine, L., John, D., & Scott, V. (1998), "Mapping monthly precipitation, temperature and solar radiation for Ireland with polynomial regression and a digital elevation model", *Climate Research*, Vol.10, pp35-49.
- Kummerow, C., & Coauthors (2000), "The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit", *J. Appl. Meteor*, No. 39, pp1965-1982.
- Piazza, A.D., Loconti, F., Noto, L.V. & La Loggia, G. (2011), "Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily Italy", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol.13 No.3, pp396-408.
- Sarann, L., Catherine, C., & Aurore, D. (2013), "Different methods for spatial interpolation of rainfall data for operational hydrology and hydrological modeling at watershed scale", *Biotechnol Agron Soc Environ*, Vol. 17, No. 2, pp 392-406.
- Sun, R., Zhang, B., Tan, J. (2008), "A Multivariate regression Model for predicting precipitation in the Daqing Mountain", *Research and Development*, Vol. 28 No. 3/4, pp318-325.
- Tobler, W.R. (2009), "A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. Source: Economic Geography", Vol. 46, Supplement: Proceedings, International Geographical Union, Commission on Quantitative Methods, pp. 234-240 Published by: Clark University.

- Wait, R. (1997), "*The Numerical Solution of Algebraic Equations*", John Willy & Sons Ltd.
- Wang, Y., Jones, W. L., Park, J. & J. Zec, (2001), "Quantitative Rain Rate Estimates over Oceans using Quick SCAT, Oceanology Americas", NASA Oceanography Scientific Conference, April 3-4, Miami, FL, pp 322-331.
- Zhilin, L., Christopher Z., & Chris G., (2005), "*Digital Terrain Modeling Principles and Methodology*", CRC Press, 324 pages Corporate Blvd, Boca Raton, Florida.

