

ارزیابی و اصلاح محصولات دما و بارش TRMM در مازندران

مهدی نادى*، علیرضا یوسفی کبریا^۲

۱- استادیار هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران

۲- دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران

چکیده

امروزه با پیشرفت فن‌آوری سنجش از دور، به منظور دسترسی آسان‌تر محققین به متغیرهای آب و هوایی، توسعه محصولات ماهواره‌ای دما و بارش نسبت به تحلیل باندهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای، کاربرد بیشتری دارد. این محصولات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به تخمین متغیرهای دما و بارش در نقاط فاقد داده می‌پردازد و معمولاً با خطا همراه بوده و نیاز به واسنجی دارند. در این پژوهش کارایی محصولات دما و بارش ماهواره TRMM در استان مازندران بررسی شد و در نهایت یک مدل رگرسیون چندگانه برای تخمین دقیق دما و بارش با ترکیب محصولات ماهواره‌ای TRMM و عوارض زمینی، ارائه شد. به همین منظور از ۲۵ ایستگاه هواشناسی و ۴۸ تصویر ماهانه و سالانه دما و بارش ماهواره TRMM در دو سال ۲۰۱۴ و ۲۰۱۷ استفاده شد. نتایج نشان داد همبستگی داده‌های واقعی دما و بارش با محصولات ماهواره‌ای، طول جغرافیایی و ارتفاع در اکثر ماه‌ها در سطح ۵ درصد معنی دار است ولی بنظر عرض جغرافیایی تاثیر معنی‌دار بر نوسانات دما ندارد. تحلیل شاخص‌های خطا نشان داد دمای ماهواره TRMM مقدار دما را کمتر از داده‌های واقعی برآورد می‌کند. همچنین محصولات بارش ماهواره‌ای TRMM دارای خطای بالایی بوده، بطوریکه میزان بیش برآورد یا کم‌برآورد این ماهواره به بیش از ۱۵۰ میلی‌متر در سال می‌رسد. امادر این پژوهش با استفاده از روش اصلاحی پیشنهادی، برآورد دما ماهواره TRMM تا ۸۰ درصد کاهش و مقدار خطای تخمین دمای سالانه از ۳ درجه سانتی‌گراد به کمتر از ۱ درجه و خطای تخمین بارش ماهواره‌ای TRMM حدود ۲۵ تا ۴۰ درصد کاهش یافت. بررسی نقشه‌های هم‌دما و هم‌بارش سالانه ترسیم شده با روش پیشنهادی، بیانگر درک دقیق‌تر نقشه‌های بدست آمده از نوسانات فضایی دما و بارش نسبت به محصولات دما و بارش ماهواره TRMM است.

کلید واژه‌ها: متغیرهای کمکی، محصولات ماهواره‌ای، خطای اریبی، مازندران، رگرسیون خطی چندگانه.

مقدمه

قابل توجهی در رکوردهای اقلیمی زمینی از نظر مکانی و زمانی وجود دارد. به طور کلی، اطلاعات دما-بارش منسجم مکانی و زمانی پیش نیاز پروژه‌های سازگاری با تغییرات آب و هوایی در زمینه‌های منابع آب، بلایا و امنیت غذایی است (Wu et al, 2021). بنابراین، روش مبتنی بر ایستگاه‌های هواشناسی که کمبود تعداد ایستگاه‌ها وجود دارد، به‌ویژه زمانی که مناطق از نظر توپوگرافی پیچیده است، کافی نیست (Sun et al, 2018). به همین خاطر نیاز به یک فن‌آوری است که بتواند کمبود ایستگاه‌های هواشناسی در اندازه‌گیری متغیرهای دما و بارش و ایجاد یک شبکه دما و بارش در مناطق در حال توسعه و مکان‌های سخت‌گذر که امکان احداث ایستگاه هواشناسی وجود ندارد را برطرف کند (کاظمی قرانجه و همکاران، ۲۰۲۰).

علم سنجش از دور قابلیت بالایی در تخمین بزرگ مقیاس دما و بارش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای دارد (جتیان و همکاران، ۲۰۱۶). در سال‌های اخیر علوم جدیدی مانند سنجش از دور، روش‌های جدیدی را برای نظارت بر داده‌های محیطی ارزیابی و تجزیه و تحلیل داده‌های محیطی فراهم آورده است و قابلیت ارائه طیف وسیعی از پارامترهای مربوط به محیط را دارا می‌باشد. این فن‌آوری به‌عنوان یک منبع مهم و فزاینده‌ای از اطلاعات برای مطالعه تغییرات اقلیمی که بر میزان دما-بارش زمین تأثیر مستقیم دارد، مطرح می‌شود (Williamson et al, 2017). پژوهش‌های زیادی در این زمینه نیز انجام شده است، که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

شکری کوچک و همکاران (۱۴۰۱)، در تحقیقی به ارزیابی عملکرد پایگاه داده مدل جهانی همسان‌سازی داده‌های زمینی (GLDAS) در برآورد دو متغیر هواشناسی بارش و دمای هوا در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه در حوضه‌آبریز حله واقع در جنوب ایران پرداختند، نتایج نشان داد که عملکرد پایگاه داده GLDAS در برآورد دمای هوا نسبت به بارش بسیار مناسب‌تر می‌باشد به طوری که در مقیاس زمانی روزانه مقدار میانگین ضریب تعیین در یازده ایستگاه برای برآورد بارش به ترتیب ۰/۳۲۹ می‌باشد در حالی که عملکرد در برآورد دمای هوا با میانگین ضریب تعیین ۰/۹۳۴ بسیار مناسب می‌باشد. در مقیاس زمانی ماهانه نتایج نشان داد که عملکرد پایگاه داده GLDAS در برآورد هر دو متغیر دما و

مراکز علمی زیادی در سطح جهان، پژوهش بر روی مسائل مختلف آب و هوایی را به عنوان اولویت اساسی خود مطرح می‌نمایند. پیش‌بینی اقلیمی وضع هوا با دیدگاه بررسی چگونگی تغییرات روزانه وضعیت جو در لایه پایین، از مهمترین کارهایی است که در این مراکز انجام می‌گیرد (علی بخشی و همکاران، ۱۳۹۷). یکی از اساسی‌ترین عناصر اقلیمی که در پراکنش سایر عناصر اقلیمی نقش برجسته‌ای دارد، دما و بارش می‌باشد. از آنجاییکه دما و بارش نقش اساسی را در پهنه‌بندی‌ها و طبقه‌بندی‌های اقلیمی ایفا می‌کند، لذا نوسان‌ها و تغییرات آن‌ها نیز از اهمیت زیادی برخوردار است. نقش دمای هوا و بارش در افزایش تبخیر و تعرق، کاهش آب‌های سطحی و زیرزمینی، گسترش انواع بیماری‌ها، آتش‌سوزی جنگل‌ها، فرآیند ذوب یخچال‌ها و بروز خشکسالی و کم‌آبی برکسی پوشیده نیست (شریفی و همکاران، ۱۳۹۵). همچنین دمای هوا و بارش از مؤلفه‌های اساسی شناخت آب و هوا و از پارامترهای مهم مورد نیاز برای مطالعات هیدرولوژی، هواشناسی و کشاورزی است. این پارامتر نقش کلیدی در چگونگی انجام فرایندهای بیولوژیکی، فیزیکی و بیوژئوشیمیایی بین آب سپهر، زیست-کره و نیوار دارد؛ در نتیجه، اطلاع از این پارامترها در بسیاری از جنبه‌ها از جمله؛ مدل‌های شبیه‌سازی سامانه خاک-گیاه-اتمسفر و اجرای مدل‌های شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان لازم و ضروری است (علی بخشی و همکاران، ۱۳۹۷). امروزه سه روش اصلی اندازه‌گیری دما و بارش وجود دارد که شامل رادار آب و هوا، ایستگاه‌های هواشناسی و محصولات سنجش از دور باشد. رادار هواشناسی به دلیل گران بودن و استفاده آسان از آن به طور گسترده استفاده نمی‌شود (Sun et al, 2014). ایستگاه‌های هواشناسی موثرترین، دقیق‌ترین و پرکاربردترین روش هستند. با این حال، این روش دارای محدودیت‌هایی مانند تعداد ایستگاه‌ها و توزیع فضایی است که برای نمایش توپوگرافی پیچیده و مناطق بزرگ ضروری است. سری‌های زمانی آب و هوا برای مطالعات پایه تأثیرات تغییرات آب و هوا و پروژه‌های سازگاری از اهمیت زیادی برخوردار است. با این حال، در مناطق کوهستانی و در کشورهای در حال توسعه شکاف‌های

ترکیه در مقیاس ماهانه ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که TMPA و CHIRPS دقت بالاتری نسبت به محصولات PERSIANN دارند. خطای محصولات بارشی CHIRPS و TMPA را به ترتیب با ۲۳ میلی‌متر و ۱۹/۷ میلی‌متر بوده، در حالی که PERSIANN CCS، PERSIANN و PERSIANN CDR به ترتیب ۵۳/۷، ۵۱/۸ و ۳۴/۹ میلی‌متر بودند. پس از اصلاح شبکه بارشی TMPA با استفاده از رگرسیون خطی، خطای این شبکه از ۱۹/۷ به ۱۵/۷ میلی‌متر کاهش یافت.

با توجه به توسعه محصولات متنوع دما-بارش ماهواره‌ای مانند نقشه‌های دمای هوای زمین، نقشه‌های هم‌بارش و شبکه‌های متراکم و منظم داده‌های اقلیمی در سال‌های اخیر و البته خطای برآورد این شبکه‌ها در تخمین دما و بارش، بنظر می‌رسد ترکیب روش‌های درون‌یابی و محصولات دمای ماهواره‌ای می‌تواند باعث افزایش دقت در تهیه نقشه‌های هم‌دما و هم‌بارش گردد. بررسی مطالعات گذشته نشان داد استان مازندران بخصوص در ارتفاعات رشته کوه‌های البرز دارای توپوگرافی پیچیده بوده و اغلب ایستگاه‌های هواشناسی در بخش جلگه‌ای استان پراکنده بوده و به دلیل ارتفاعات سخت‌گذر آن امکان احداث متراکم ایستگاه‌های هواشناسی نیست (یوسفی و همکاران، ۲۰۲۱). از طرفی به دلیل قرارگیری بخشی از قله مرتفع ایران در ارتفاعات این استان و اهمیت ارتفاعات در مدیریت منابع آب، برنامه ریزی کشاورزی، مدیریت جنگل‌های هیرکانی و همچنین مدیریت گردشگری استان، دستیابی به داده‌های دقیق دما و بارش در نقاط ارتفاعی فاقد داده هواشناسی اهمیت بسزایی دارد. لذا هدف از انجام این پژوهش ارائه یک روش جدید برای افزایش دقت نقشه‌های هم‌دما و هم‌بارش بوسیله ترکیب محصول دما و بارش شبکه ماهواره‌ای TRMM با روش‌های درون‌یابی در استان مازندران و مقایسه آن با داده‌های ماهواره‌ای TRMM است. همچنین از روش ارائه شده در این تحقیق می‌توان برای اصلاح شبکه‌های دما و بارش نیز استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

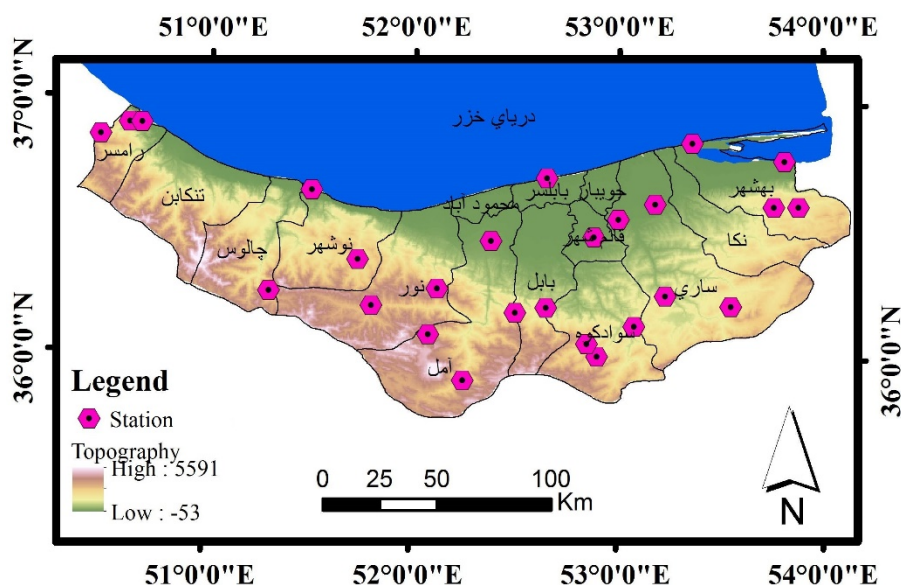
منطقه مورد مطالعه و داده‌های هواشناسی

استان مازندران در شمال ایران بین طول جغرافیایی ۳۴' ۵۰

بارش بسیار مناسب می‌باشد. خسروی و همکاران (۱۳۹۹)، تغییرات متوسط دما و بارش ماهانه دو ایستگاه سینوپتیک بندرعباس و میناب در دو دوره زمانی (۲۰۱۵-۲۰۱۴ و ۲۰۱۴-۲۰۱۳) و بر اساس خروجی مدل گردش عمومی جو CanESM2 و سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 مورد بررسی قرار دادند، سپس با استفاده از آزمون من-کندال، روند این دو پارامتر ارزیابی کردند. همچنین داده‌های شبیه‌سازی شده توسط این مدل‌ها با داده‌های مشاهداتی با استفاده از ضرایب (NS، R2، RMSE) مورد ارزیابی قرار گرفتند. بررسی این ضرایب، نشان‌دهنده توانایی بالای مدل SDSM در مدل‌سازی پارامتر بارش و دما در هر دو ایستگاه بوده است. آروین (۲۰۱۹)، به بررسی سری تصاویر ماهواره لندست ۸ جهت محاسبه و تخمین دمای هوای شهر اصفهان و منطقه اطراف آن پرداخت. برای برآورد دمای سطح زمین از روش الگوریتم پنجره مجزا استفاده شد. نتایج نشان داد کاربرد این روش بر روی تصاویر ماهواره‌ای منطقه اصفهان که از پوشش متنوع ناحیه شهری، فضای سبز و مناطق صنعتی عمده برخوردار است، توانایی این مدل و تناسب تصاویر مذکور را برای این منظور مناسب می‌باشد. زادمهر و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی به برآورد دمای خاک با استفاده از پارامترهای هواشناسی و مدل‌های شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLPNN)، ماشین یادگیری سریع (ELM) و رگرسیون خطی چندگانه (MLR) در استان خوزستان و در بازه‌ی زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۸، پرداختند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که دو مدل MLPNN و ELM دارای عملکردی تقریباً مشابه و بهتر از مدل رگرسیون خطی چندگانه بوده است، اما سرعت محاسبات مدل ELM بسیار بالاتر بوده است. یوسفی کبریا و همکاران (۲۰۲۱)، به مقایسه چهار روش درون‌یابی، کریجینگ، کوکریجینگ، وزنی عکس فاصله و گرادیان خطی سه بعدی به منظور تخمین بارش استان مازندران پرداختند، که بهترین روش مورد بررسی روش گرادیان خطی سه بعدی انتخاب شد، همچنین نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد، روش‌هایی که از متغیر ارتفاع به عنوان متغیر کمکی استفاده می‌کنند، نسبت به روش‌های دیگر از دقت بالاتری برخوردارند. حشام و همکاران (۲۰۲۱)، در مطالعه‌ای دقت محصولات بارشی PERSIANN، CHIRPS و TMPA را در حوضه آکدنیز

۵۰ سال می‌رسد، سایر ایستگاه‌های استان دارای داده‌های ۱۰ تا ۱۵ سال می‌باشند. لذا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای TRMM و داده‌های ماهواره‌ای اولاً می‌توان داده‌های مفقود ایستگاه‌ها را بازیابی کرده، ثانیاً با توجه به توپوگرافی پیچیده استان مازندران و کمبود ایستگاه‌های دما-بارش در مناطق مختلف استان بویژه مناطق کوهستانی، می‌توان با اصلاح شبکه دمایی-بارشی ماهواره TRMM، یک شبکه‌ی دما-بارشی برای استان ایجاد کرد. با بررسی دوره‌های آماری از داده‌های سال ۲۰۱۴ و ۲۰۱۷ برای انجام پژوهش انتخاب شدند، که در شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌ها مشخص شده است.

۱۰' ۵۴۵ و عرض جغرافیایی ' ۳۵۵۴۷ و ۳۶۵ ۳۵' در جنوب دریای مازندران (خزر) و در شمال رشته کوه البرز قرار دارد. شکل ناهمواری‌های استان مازندران به گونه‌ای است که به روشنی می‌توان آن‌ها را به دو قسمت جلگه‌ای و کوهستانی تقسیم کرد. امتداد و جهت رشته کوه‌های البرز به صورت دیواری مرتفع در مسافتی طولانی، خط ساحلی و جلگه‌های کناره‌ای دریای مازندران را محصور کرده است (نادی و دستی گردی، ۲۰۲۲). این مطالعه بر روی دما و بارش ماهانه و سالانه استان مازندران صورت می‌گیرد. طولانی‌ترین داده‌های دما و بارش را ایستگاه‌های بابلسر و رامسر دارا می‌باشند که طول داده‌های آماری آن‌ها به بیش از



شکل ۱. موقعیت مکانی ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در استان مازندران

ماهواره در هر روز چندین بار از مناطق مختلف کره زمین عبور کرده و اطلاعات لازم را برداشت می‌کند (Simpson et al, 1996).

اصلاح شبکه دما و بارش TRMM

رگرسیون خطی چندگانه یک روش تحلیل آماری برای پیدا کردن رابطه خطی بین یک متغیر پیش بینی شونده و یک یا چند متغیر پیش بینی کننده است. در این تحقیق از معادلات رگرسیون خطی ۴ بعدی برای اصلاح شبکه دما و بارش TRMM و تخمین مکانی دما و بارش استفاده شد. به طوریکه محصولات دما و بارش ماهواره‌ای TRMM در کنار

ماهواره TRMM

ماهواره TRMM از زمان راه اندازی خود در سال ۱۹۹۷ برای اندازه‌گیری میزان بارندگی به ویژه در مناطق گرمسیری فعال بوده است (Kummerow et al, 2000). این بستر دارای یک مکمل دوگانه از حسگرهای غیرفعال و فعال، TMI به عنوان غیرفعال و PR به عنوان حسگر فعال برای جمع‌آوری اطلاعات باران است. TMI شدت انتشار را در فرکانس‌های پنج کانالی اندازه‌گیری می‌کند. PR یک رادار اسکن الکترونیکی است که در فرکانس ۱۳/۸ گیگاهرتز اندازه‌گیری می‌کند. توان تفکیک مکانی در ثبت دما و بارش‌ها حداقل ۲۵/۰ در ۲۵/۰ درجه و حداکثر ۵ در ۵ درجه است. این

همبستگی قوی با عرض جغرافیایی نداشته است، همچنین داده‌های بارش در مقیاس سالانه همبستگی مناسبی با طول و عرض جغرافیایی داشته، اما بارش همبستگی قوی با این دو متغیر نداشته است. البته افزایش ارتفاع در اغلب ماه‌ها تاثیر منفی و معناداری بر مقدار دما و بارش (به جز ماه‌های کم بارش، انتهای فصل بهار و تابستان) در این استان دارد. به علاوه داده‌های دمایی در استان مازندران همبستگی ضعیفی با طول جغرافیایی دارد.

تصاویر ماهواره TRMM به عنوان پارامتر کمکی جدید در

$$\hat{f}_{(s_0)} = \hat{a}_0 + \hat{a}_1x + \hat{a}_2y + \hat{a}_3h + \hat{a}_4n \quad (1)$$

کنار متغیرهای عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و ارتفاع در معادله رگرسیونی، برای تخمین دما و بارش استان و رسم نقشه هم‌دما و هم‌بارش استفاده شد. با توجه به جداول شماره ۱ و ۲ ضریب تعیین معادلات رگرسیونی به جز در چند مورد بالای ۰/۸ برای دما می‌باشد. همچنین در مورد داده‌های سالانه دمایی نیز ضریب تبیین بیشتر از ۰/۹۰ بدست آمد. همچنین داده‌ی بارشی ماهواره TRMM نیز در اکثر ماه‌ها همبستگی و معنی‌داری مناسبی با بارش استان دارد. بر اساس معادلات جداول ۱ و ۲ شبکه دما-بارش ماهواره TRMM اصلاح شده و تخمین دما و بارش در سایر نقاط استان دقیق‌تر زده خواهد شد. در این معادلات، C_p و C_t به ترتیب دما اصلاح شده و بارش اصلاح شده می‌باشند، همچنین n داده‌ی ماهواره‌ای می‌باشد، X ، Y ، Z به ترتیب طول، عرض جغرافیایی و ارتفاع می‌باشد.

ارزیابی داده‌های دما- بارش ماهواره‌ی TRMM

از ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق درصد خطا و خطای اریب برای ارزیابی استفاده شد. ارزیابی داده‌ها نشان می‌دهد که بیشترین خطای تخمین دما در سال ۲۰۱۴ مربوط به ماه‌های ژانویه، فوریه، می و آگوست و در سال ۲۰۱۷ مربوط به ماه‌های ژانویه، نوامبر و دسامبر می‌باشد. همچنین کمترین خطا در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۷ مربوط به ماه‌های مارس و آوریل و دسامبر می‌باشد. نتایج شکل ۲ نشان می‌دهد که بیشترین خطای تخمین دما مربوط به اواخر فصل زمستان و کمترین خطا مربوط به فصل پاییز می‌باشد، که در جدول ۳ نیز مشخص است. همچنین ماهواره TRMM گرچه

ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی به عنوان پیش‌بینی کننده و متغیر دما و بارش ماهانه و سالانه به عنوان متغیر پیش‌بینی شونده استفاده شد. همچنین نقش محصولات ماهواره به عنوان متغیر کمکی در تخمین دما و بارش استان مازندران آزموده شد. معادله رگرسیونی ۴ بعدی مورد استفاده در این تحقیق به صورت رابطه ۱ تشکیل شد. که در رابطه ۱ \hat{a}_i ها پارامترهای معادله و x ، y ، h ، n به ترتیب طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و داده‌های ماهواره-ای می‌باشند.

معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی عدم قطعیت و محاسبه مقدار خطای روش اصلاح شبکه و ماهواره TRMM با داده‌های واقعی در این پژوهش از میانگین قدرمطلق خطا، میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق درصد خطا و خطای اریب که به ترتیب به صورت روابط ۲ تا ۴ استفاده شد (Ghaderpour et al, 2020) (Kruse et al, 2014)؛ که در روابط زیر، $\hat{Z}(Xi)$ مقدار برآورد شده و $Z(Xi)$ مقدار مشاهده شده و N تعداد داده‌ها هستند. در این پژوهش از نرم‌افزار Arc GIS 10.3، NDVI 5.3 و Excel 2016 استفاده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)]^2}{N}} \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|\hat{Z}(Xi) - Z(Xi)|}{\hat{Z}(Xi)} \quad (3)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\hat{Z}(Xi) - Z(Xi)] \quad (4)$$

نتایج و بحث

بررسی رابطه بین داده‌های دما، بارش و تصویر

ماهواره TRMM

ضرایب همبستگی دما و بارش ماهانه و سالانه داده‌های ایستگاهی با متغیرهای طول، عرض جغرافیایی، ارتفاع و ماهواره TRMM در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۷ انجام شد. نتایج نشان داد در اکثر ماه‌ها ضرایب همبستگی داده‌های دما و بارش با متغیرهای کمکی در سطح ۵٪ معنادار است. همچنین داده‌های دما در مقیاس سالانه همبستگی مناسبی با عرض جغرافیایی داشته به طوریکه از شمال به جنوب استان مازندران دما کاهش می‌یابد، اما در ماه‌های مختلف دما

بررسی میانگین مربعات خطا چنین استنباط می‌شود، که ماهواره TRMM، نتوانسته است تخمین مناسبی داشته باشند و اصلاح شبکه بارشی TRMM باعث افزایش دقت تخمین بارش شده است، به طوری که در سال ۲۰۱۷ (بارش سالانه) خطا خطای میانگین مربعات ماهواره‌های TRMM را ۴۳ درصد کاهش داده‌اند. همچنین در سال ۲۰۱۴ خطای ماهواره‌های TRMM، ۲۴ درصد کاهش داده است. بررسی میانگین مطلق درصد خطا و خطای اریب نشان دهنده‌ی تخمین کم برآوردی در اکثر ماه‌ها است که اصلاح شبکه‌ی بارش میانگین مطلق درصد خطا را کاهش داده و خطای اریب را به صفر رساند. نمودار باکس پلات میانگین مربعات خطا در شکل ۳ ارایه گردید. این شکل نشان می‌دهد محصول بارش ماهواره TRMM به تنهایی تخمین مناسبی از بارش نداشته است و کاهش خطای ماهواره توسط روش معرفی شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

همبستگی خوبی با داده‌های واقعی دارد اما به تنهایی نتوانسته تخمین مناسبی از دما داشته باشد و با توجه به مقدار منفی خطای اریبی در همه ماه‌های مورد بررسی بنظر محصولات دمای این ماهواره دچار خطای کم برآوردی می‌باشد. اصلاح شبکه ماهواره‌ی TRMM در سال ۲۰۱۷ باعث کاهش ۶۸ درصدی خطای ماهواره TRMM شد که این مقدار کاهش خطا در سال ۲۰۱۴، ۷۰ درصد بود. بررسی میانگین خطای اریب و میانگین مطلق درصد خطا نشان داد که ماهواره TRMM خطای بالایی داشته است و با اصلاح شبکه این میزان خطا کم شده است. به منظور درک بهتر از نوسانات ریشه میانگین مربعات خطا، نمودار باکس پلات ترسیم شد که در شکل ۲ نشان داده شده است. این شکل به خوبی کاهش خطای ماهواره TRMM توسط روش معرفی شده در این تحقیق (روش اصلاح شبکه) را نشان می‌دهد.

جدول ۱- معادله رگرسیونی اصلاح شبکه دمایی TRMM استان مازندران

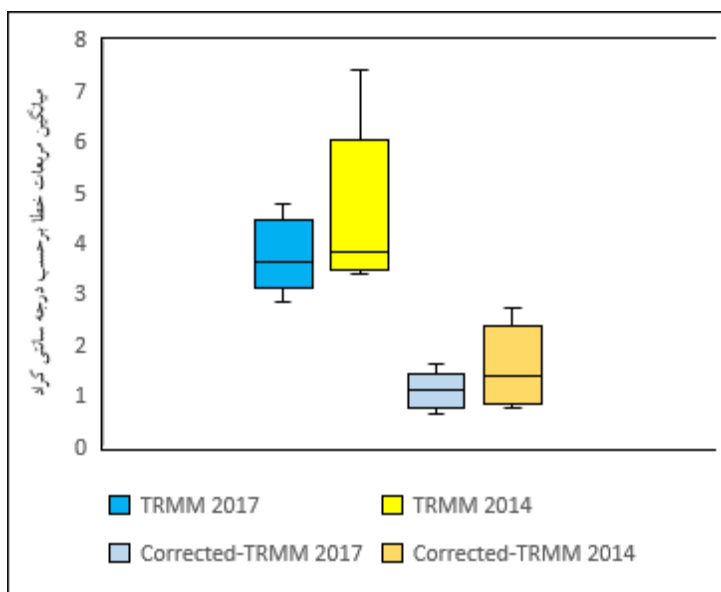
سال	ماه	معادله اصلاح شبکه دمایی TRMM	R ²
2017	ژانویه	$Ct = - 63.3 + 0.3 X + 1.5 Y - 0.003 Z - 0.03 n$	0.79
2014		$Ct = 3.8 + 0.6 X - 0.7 Y - 0.0036 Z + 0.12 n$	0.82
2017	فوریه	$Ct = - 192 + 1.03 X + 3.9 Y - 0.0013 Z - 0.19 n$	0.40
2014		$Ct = - 27.3 + 0.31 X + 0.55 Y - 0.0032 Z + 0.05 n$	0.82
2017	مارس	$Ct = - 156 + 1.3 X + 2.7 Y - 0.0016 Z - 0.11 n$	0.49
2014		$Ct = - 2.4 + 0.63 X - 0.52 Y - 0.003 Z + 0.05 n$	0.70
2017	آوریل	$Ct = 16.8 + 0.67 X - 1.02 Y - 0.003 Z + 0.12 n$	0.81
2014		$Ct = - 89.5 + 0.71 X + 1.9 Y - 0.0024 Z - 0.08 n$	0.84
2017	می	$Ct = 26 + 0.57 X - 1.02 Y - 0.0044 Z + 0.18 n$	0.84
2014		$Ct = - 137 + 1.09 X + 2.8 Y - 0.003 Z - 0.12 n$	0.86
2017	ژوئن	$Ct = - 53.3 + 0.86 X + 0.85 Y - 0.0042 Z + 0.01 n$	0.83
2014		$Ct = - 134 + 1.1 X + 2.8 Y - 0.0032 Z - 0.09 n$	0.89
2017	ژوئیه	$Ct = - 51.3 + 0.75 X + 0.1 Y - 0.0042 Z + 0.13 n$	0.84
2014		$Ct = - 91.9 + 0.81 X + 2.1 Y - 0.0033 Z + 0.02 n$	0.87
2017	اگوست	$Ct = 18 + 0.54 X - 0.64 Y - 0.0046 Z + 0.19 n$	0.72
2014		$Ct = - 123 + 1 X + 2.6 Y - 0.0031 Z - 0.07 n$	0.91
2017	سپتامبر	$Ct = - 126 + 1.12 X + 2.49 Y - 0.00332 Z - 0.002 n$	0.92
2014		$Ct = - 71.7 + 0.82 X + 1.45 Y - 0.0034 Z + 0.012 n$	0.86
2017	اکتبر	$Ct = - 84.1 + 0.87 X + 1.6 Y - 0.004 Z + 0.03 n$	0.92
2014		$Ct = - 107 + 1.02 X + 1.98 Y - 0.00352 Z - 0.0660 n$	0.95
2017	نوامبر	$Ct = - 96.2 + 0.83 X + 1.9 Y - 0.0036 Z - 0.019 n$	0.93
2014		$Ct = - 76.9 + 0.984 X + 1.08 Y - 0.00389 Z - 0.001 n$	0.9
2017	دسامبر	$Ct = - 45.1 + 0.41 X + 0.92 Y - 0.0032 Z - 0.023 n$	0.9
2014		$Ct = - 114 + 1.03 X + 1.9 Y - 0.0031 Z - 0.04 n$	0.82
2017	سالانه	$Ct = - 69.8 + 0.8 X + 1.2 Y - 0.0034 Z + 0.016 n$	0.93
2014		$Ct = - 88.9 + 0.9 X + 1.7 Y - 0.0033 Z - 0.03 n$	0.95

جدول ۲- معادله رگرسیونی اصلاح شبکه بارشی TRMM استان مازندران

سال	ماه	معادله اصلاح شبکه بارشی TRMM	R ²
2017	ژانویه	$C_p = -683 + 11.5 X + 2.5 Y - 0.0126 Z + 1.07 n$	0.21
2014		$C_p = -132 - 14.6 X + 26.1 Y - 0.0166 Z + 0.316 n$	0.57
2017	فوریه	$C_p = -847 + 18.8 X + 0.7 Y - 0.0022 Z - 0.70 n$	0.12
2014		$C_p = 920 + 5.3 X - 32.4 Y - 0.0236 Z + 0.867 n$	0.61
2017	مارس	$C_p = 249 - 1.12 X - 3.8 Y - 0.00750 Z + 0.561 n$	0.32
2014		$C_p = 1381 - 8.92 X - 22.7 Y - 0.0152 Z + 0.069 n$	0.26
2017	آوریل	$C_p = 420 - 4.58 X - 4.7 Y + 0.0157 Z + 0.145 n$	0.71
2014		$C_p = 1309 - 17.9 X - 9.4 Y + 0.00817 Z - 0.025 n$	0.49
2017	می	$C_p = 1372 - 9.19 X - 23.9 Y + 0.00204 Z + 0.250 n$	0.48
2014		$C_p = 1400 - 14.4 X - 17.0 Y + 0.00220 Z - 0.69 n$	0.39
2017	ژوئن	$C_p = 2602 - 9.6 X - 56.8 Y - 0.0169 Z + 0.774 n$	0.31
2014		$C_p = 1123 - 3.66 X - 25.1 Y + 0.00351 Z + 0.85 n$	0.18
2017	ژوئیه	$C_p = 3222 - 23.2 X - 54.0 Y - 0.00820 Z + 0.424 n$	0.54
2014		$C_p = 231 + 1.4 X - 7.8 Y - 0.0213 Z + 0.900 n$	0.36
2017	آگوست	$C_p = 1079 - 21.2 X + 3.0 Y - 0.0218 Z - 0.450 n$	0.72
2014		$C_p = 534 - 5.15 X - 6.9 Y - 0.0089 Z + 1.62 n$	0.26
2017	سپتامبر	$C_p = -2638 + 23.6 X + 43.6 Y - 0.0159 Z - 1.37 n$	0.14
2014		$C_p = 247 - 24.0 X + 28.6 Y + 0.0036 Z + 1.02 n$	0.19
2017	اکتبر	$C_p = -226 + 5.6 X - 0.1 Y + 0.0059 Z + 0.71 n$	0.12
2014		$C_p = -584 + 21 X - 16 Y - 0.0851 Z + 1.82 n$	0.62
2017	نوامبر	$C_p = -2008 + 10.8 X + 39.5 Y - 0.0335 Z + 1.46 n$	0.51
2014		$C_p = 220 - 21.8 X + 27.6 Y - 0.0246 Z + 0.316 n$	0.72
2017	دسامبر	$C_p = -1335 - 0.1 X + 38.7 Y - 0.0523 Z + 0.812 n$	0.61
2014		$C_p = -1101 + 0.1 X + 30.1 Y + 0.00747 Z + 0.887 n$	0.39
2017	سالانه	$C_p = 7980 - 53 X - 123 Y - 0.158 Z + 0.42 n$	0.27
2014		$C_p = 4566 - 89 X + 14 Y - 0.182 Z + 0.77 n$	0.67

جدول ۳- خطای اریب و میانگین مطلق درصد خطا دما

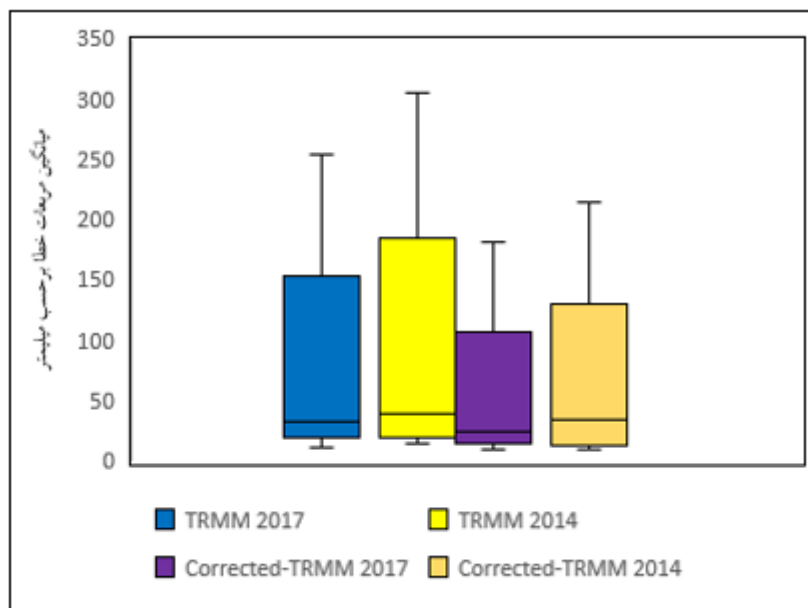
TRMM 2014		Corrected-TRMM 2014		TRMM 2017		Corrected-TRMM 2017		ماه
MBE	MAPE	MBE	MAPE	MBE	MAPE	MBE	MAPE	
-3.1	0.89	0	0.34	-1.5	2	0	0.76	ژانویه
-5.5	1.7	0	0.54	-1.4	0.53	0	0.51	فوریه
-3.9	0.62	0	0.31	-1.1	0.37	0	0.23	مارس
-1.2	0.18	0	0.09	-2	0.19	0	0.06	آوریل
-0.2	0.17	0	0.12	-3	0.17	0	0.05	می
-1.5	0.13	0	0.07	-2.7	0.13	0	0.04	ژوئن
-1.2	0.12	0	0.06	-1.4	0.09	0	0.04	ژوئیه
-0.4	0.14	0	0.1	-2.6	0.12	0	0.03	آگوست
-2.1	0.12	0	0.04	-1.1	0.09	0	0.05	سپتامبر
-1.8	0.16	0	0.05	-2.1	0.19	0	0.04	اکتبر
-2.6	0.3	0	0.06	-2.2	0.31	0	0.1	نوامبر
-2.8	0.66	0	0.17	-3.2	0.87	0	0.2	دسامبر
-2.2	0.2	0	0.04	-2	0.18	0	0.04	سالانه



شکل ۲- نمودار باکس پلات مقادیر میانگین مربعات خطای دما

جدول ۴- خطای اریب و میانگین مطلق درصد خطا بارش

TRMM 2014		Corrected-TRMM 2014		TRMM 2017		Corrected-TRMM 2017		ماه
MBE	MAPE	MBE	MAPE	MBE	MAPE	MBE	MAPE	
-0.7	0.4	0	0.3	34.0	0.53	0	0.31	ژانویه
-15.0	0.6	0	0.4	47.2	0.37	0	0.19	فوریه
-10.5	0.4	0	0.2	22.0	0.32	0	0.22	مارس
-0.6	1.1	0	0.5	5.0	0.83	0	0.64	آوریل
-1.6	0.9	0	0.7	7.2	1.5	0	1.1	می
-8.0	0.7	0	0.5	-18.4	2	0	1.5	ژوئن
-14.2	0.7	0	0.4	30.2	0.6	0	0.46	ژوئیه
-15.4	0.7	0	0.5	-11.4	0.82	0	0.6	اگوست
-34.1	0.9	0	0.7	-17.6	0.78	0	0.45	سپتامبر
-64.4	0.8	0	0.4	63.5	0.94	0	0.46	اکتبر
-15.8	0.6	0	0.4	5.7	0.4	0	0.28	نوامبر
-6.5	0.7	0	0.4	4.0	0.43	0	0.32	دسامبر
-186.8	0.4	0	0.2	78.9	0.35	0	0.21	سالانه



شکل ۳- نمودار باکس پلات مقادیر میانگین مربعات خطا بارش

ماهواره‌ی TRMM از دقت و صحت بالاتری برخوردار بوده و توزیع دمایی استان را بهتر نمایش می‌دهد. نقشه‌های همبارش سالانه ۲۰۱۴ و ۲۰۱۷ به منظور مقایسه و درک بهتر عملکرد روش اصلاح داده ماهواره‌ی TRMM در برآورد بارش ماهانه و سالانه استان مازندران در محیط نرم افزار GIS ترسیم شد و برای تهیه نقشه از معادلات جدول شماره ۳ استفاده شد. همچنین نقشه همبارش استان با استفاده از داده‌های شبکه ماهواره‌ی TRMM نیز تهیه گردید و در شکل ۵ قابل مشاهده می‌باشد. نقشه توزیع مجموع بارندگی در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۷ با استفاده از ماهواره‌ی TRMM نشان دهنده دامنه بارندگی استان در این دو سال بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر بوده است، همچنین بارش استان در غرب بیشتر بوده و هرچه به شرق می‌رویم از حجم بارشی استان کاسته می‌شود. از ایرادات وارد بر نقشه‌های همبارش رسم شده با استفاده از ماهواره‌ی TRMM تفکیک نکردن بارش سواحل از کوهستان استان است و ایراد دیگر آن تغییرات بارشی استان را این ماهواره بر اساس طول جغرافیایی تفکیک کرده است و بارش کوهستان‌های غرب کشور را بیشتر از سواحل استان تخمین زده‌اند. از بررسی نقشه‌های همبارش حاصل از روش اصلاح ماهواره TRMM در هر دو سال ۲۰۱۴ و ۲۰۱۷، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که از غرب به سمت شرق استان، میزان بارش کاهش پیدا

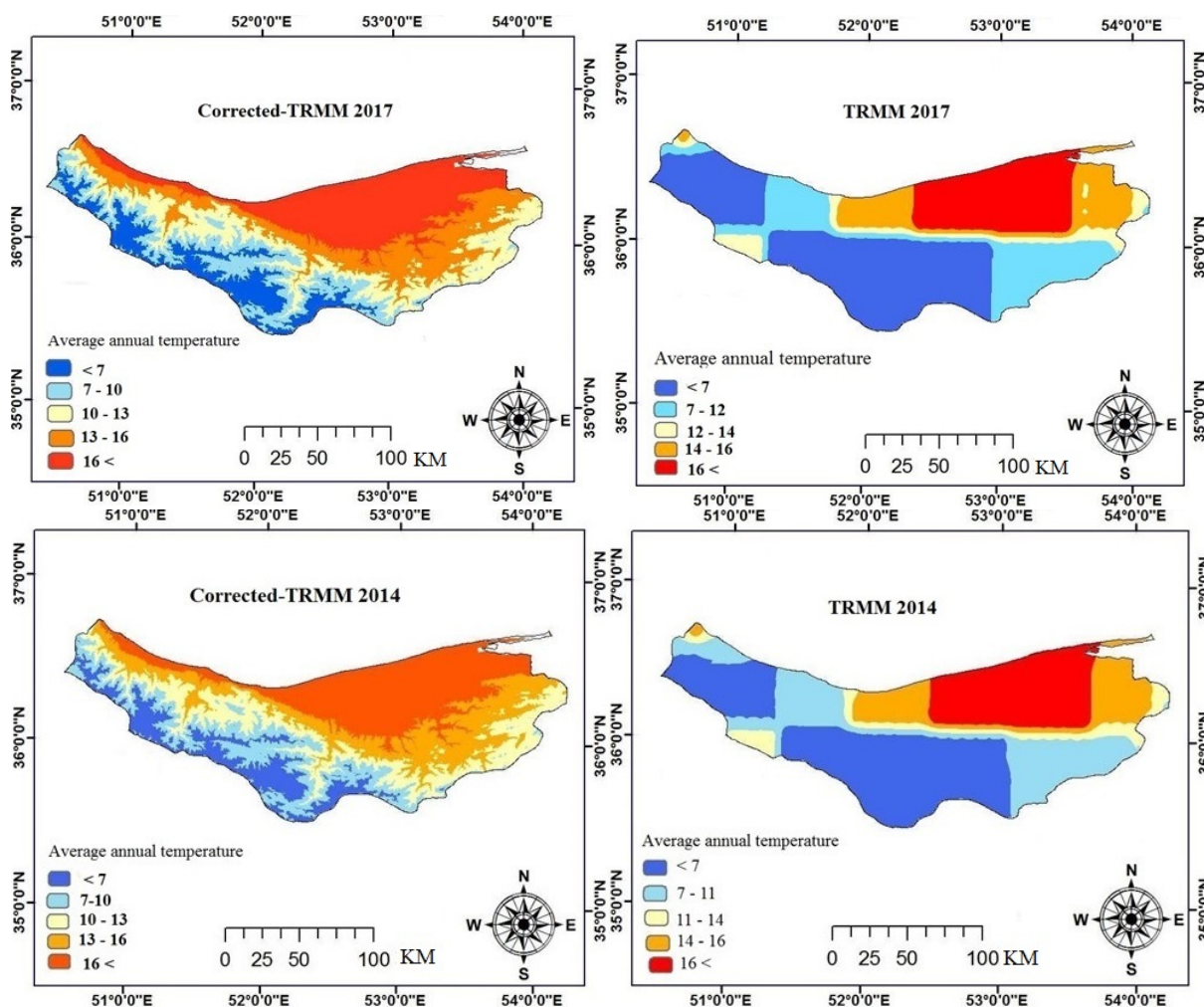
آنالیز نقشه‌های هم‌دما و هم‌بارش

به منظور مقایسه و درک بهتر عملکرد اصلاح داده‌های ماهواره TRMM در برآورد دمای سالانه استان مازندران، نقشه‌های هم‌دما سالانه ۲۰۱۴ و ۲۰۱۷ تهیه شدند. این نقشه‌ها در محیط نرم افزار ArcGIS ترسیم شد و برای تهیه نقشه، از معادلات جدول شماره ۲ استفاده شد، که در شکل ۴ قابل مشاهده می‌باشد.

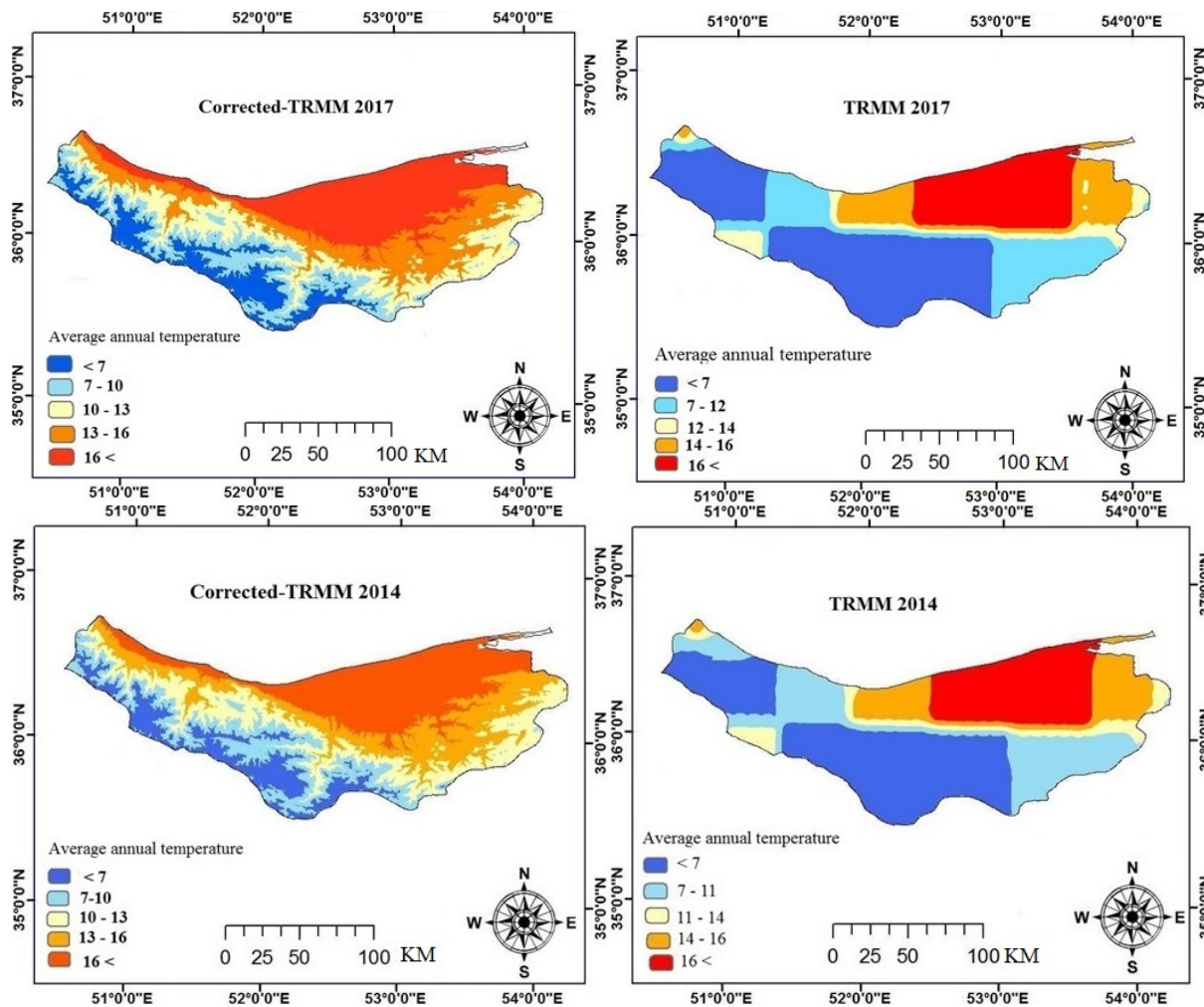
نقشه هم‌دما رسم شده اصلاحی ماهواره‌ی TRMM به خوبی محدوده دمایی ارتفاعات رشته کوه البرز را به نمایش درآورده‌اند. همچنین این نقشه هم‌دما به خوبی الگوریتم دمایی سواحل خزر را نشان می‌دهد، به گونه‌ای هرچه به سواحل شرقی استان پیش می‌رویم، دما افزایش می‌یابد، به طوری که محدوده هوای گرم استان را از سواحل شرقی تا شهر نوشهر نشان داده‌اند. نقشه‌های تولید شده به این روش توزیع مکانی بسیار مناسبی در محدوده غربی استان در نظر گرفته است و پراکندگی دمایی را به خوبی نشان داده است. با مشاهده این دو نقشه می‌توان دریافت که الگوی تغییرات مکانی دمای رشته کوه البرز از غرب تا تقریباً مناطق مرکزی استان تقریباً یکسان بوده و در نیمه شرقی استان مقدار دما افزایش می‌یابد. در مجموع ارزیابی نقشه‌های بدست آمده از ماهواره‌ی TRMM و روش اصلاحی بیانگر آن است که روش مورد استفاده در این پژوهش نسبت به

خاص غرب استان مازندران است. نقشه همبارش روش اصلاح TRMM بخش غربی استان را به چند بخش بارشی تفکیک کرده است. در مجموع ارزیابی دقیق نقشه‌های به دست آمده بیانگر آن است که نقشه رسم شده با روش اصلاحی نسبت به نقشه رسم شده با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای TRMM از دقت بالاتری برخوردارند.

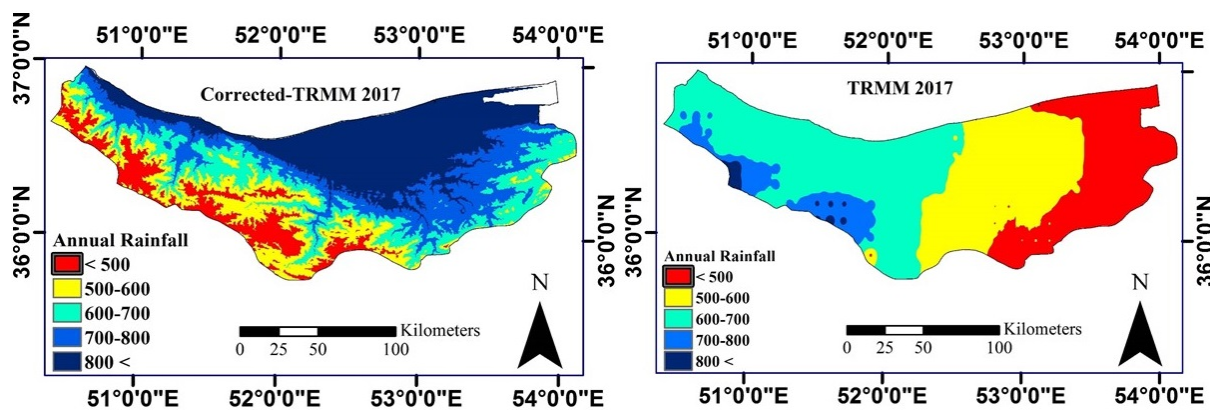
می‌کند. همچنین میزان بارش سواحل بیشتر از ارتفاعات می‌باشد، به طوری که بیشترین بارش را در ارتفاع کمتر از ۷۰۰ متر نشان می‌دهد و با افزایش ارتفاع تا ارتفاع ۲۰۰۰ متر میزان بارش کاهش پیدا می‌کند. تحلیل نقشه‌های همبارش نشان می‌دهد که حلقه پر بارش استان از سواحل غربی تا سواحل مرکزی استان در نزدیکی فریدون کنار تشکیل می‌شود همچنین شیب تغییرات بارش-ارتفاع در غرب استان بیشتر از شرق می‌باشد که دلیل آن توپوگرافی

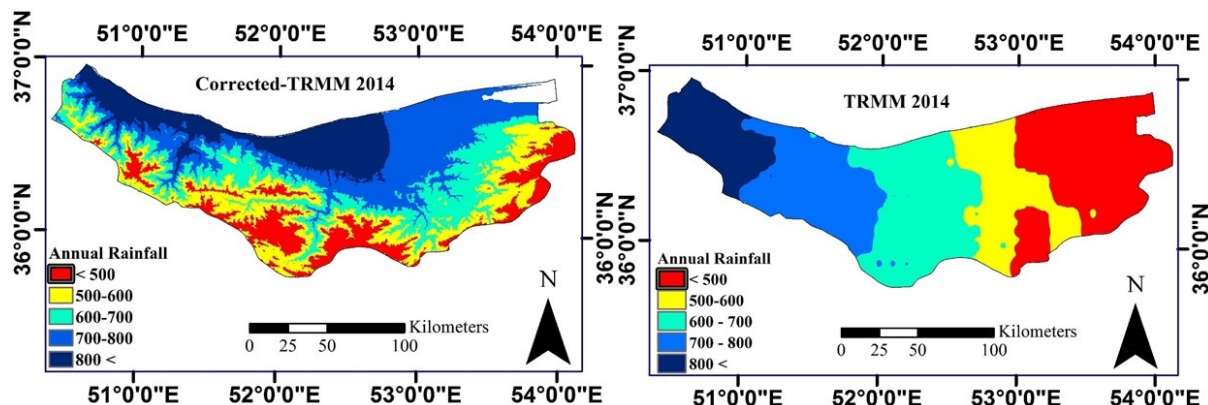


شکل ۴- نقشه هم‌دمای استان مازندران با تصاویر ماهواره ای و روش اصلاح شده



شکل ۴- نقشه هم‌دمای استان مازندران با تصاویر ماهواره ای و روش اصلاح شده





شکل ۵- نقشه همبارش استان مازندران با تصاویر ماهواره ای و روش اصلاح شده

نتیجه گیری

این تحقیق با هدف بررسی امکان استفاده از محصولات دما و بارش ماهواره‌ای TRMM و ارائه روشی برای کاربردی نمودن محصولات دمایی - بارشی این ماهواره انجام شد. نتایج کلی تحقیق بیانگر آن است که محصول دمایی ماهواره TRMM علی‌رغم همبستگی خوب با داده‌های واقعی ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی و قدرت تشخیص نقاط سرد و گرم استان، اما تقریباً در کل استان مقدار دما را کمتر از واقعیت برآورد می‌کند، همچنین مقدار بارش در استان را به خوبی تفکیک نکرده، به طوری که بارش سواحل و کوهستان‌ها را در مناطق غربی و شرقی یکسان برآورد کرده است. اصلاح این شبکه به افزایش دقت این ماهواره در تخمین دما و بارش کمک شایانی می‌کند. با توجه به همبستگی معنی‌دار دما و بارش در این منطقه با ارتفاع، عرض جغرافیایی و محصولات دما و بارش ماهواره، یک معادله اصلاحی ارائه شد که بتوان محصولات دما و بارش ماهواره TRMM را اصلاح کرده و دقت تخمین دما و بارش ماهواره‌ای TRMM را افزایش داد. نتایج گواه آن بود که ضمن رفع مشکل کم برآوردی دمایی محصولات ماهواره TRMM، دقت و صحت تخمین دما با این روش افزایش یافته به طوری که مقدار اریبی خطا به صفر رسید و همچنین روش ارائه شده درک دقیق‌تری از توزیع دما در منطقه می‌دهد، به طوری که خطای تخمین دمایی سالانه در روش ارائه شده در این تحقیق به کمتر از ۱ درجه سانتی‌گراد تقلیل یافت که اهمیت آن در مطالعات بررسی تغییرات اقلیم در نقاط فاقد داده درک می‌شود. چرا که مقدار خطای زیاد تخمین

دما به اندازه میزان افزایش دمایی ناشی از تغییرات اقلیم (۳ درجه سانتیگراد) بوده (Wilby et al, 2014) که مطالعات بررسی تغییرات اقلیم در نقاط فاقد داده دمایی را با تردیدهای زیادی همراه می‌کند. همچنین الگوی تغییرات دما در شرق و غرب و سواحل را به خوبی نمایان می‌سازد. به‌علاوه این روش باعث کاهش ۲۵ الی ۳۵ درصدی خطای تخمین داده‌های بارش شده و تخمین بهتری از داده‌های بارشی بخصوص در مناطق سخت‌گذر و فاقد داده ثبت‌شده بارش داشته است. تحلیل نمودار باکس پلات خطای روش‌ها نشان داد محصول بارش ماهواره TRMM دارای خطای تخمین بالایی بوده اما اصلاح آن با روش پیشنهادی در این تحقیق باعث بهبود بسیار خوب دقت ماهواره در تخمین بارش شد. تحلیل نقشه همبارش با روش اصلاحی نشان داد بیشتر مناطق غربی استان، میزان بارش بیش از ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر در سال را تجربه می‌کنند. نقشه‌های هم‌بارش نشان‌دهنده وقوع بارش کمتر در ارتفاعات شرقی نسبت به ارتفاعات غرب استان است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد، محصولات دما و بارش ماهواره‌ای به‌تنهایی دقت مناسبی در تخمین دما-بارش نداشته و استفاده از آن خطای اریبی زیادی به همراه دارد اما اصلاح آن‌ها باعث افزایش دقت تخمین دما-بارش و نقشه‌های هم‌دما و همبارش می‌شود. استفاده از روش به‌کار رفته در این پژوهش علاوه بر خطای پایین، زمان کمتری نیز صرف می‌کند و با استفاده از ساده‌ترین روش قابل محاسبه و تخمین می‌باشد و نیاز به انواع تصحیحات، استخراج داده از تصاویر ماهواره‌ای، دانلود تصاویر با حجم بالا نمی‌باشد و در زمان کم و حجم پایین و

- Journal of RS & GIS for Natural Resources, No.11, pp. 106-127.
7. Khosravi, H., H. Eskandari Damaneh, H. Azarnivand and A. Barati. 2021, Simulation and prediction of climatic parameters of temperature and precipitation in arid regions (Case study: Minab Plain, Iran). *Geography*, No. 18, pp. 110-127.
 8. Kummerow, C., J. Simpson, O. Thiele, W. Barnes, A. T. C. Chang, E. Stocker, R. F. Adler, A. Hou, R. Kakar, F. Wentz, P. Ashcroft, T. Kozu, Y. Hong, K. Okamoto, T. Iguchi, H. Kuroiwa, E. Im, Z. Haddad, G. Huffman, B. Ferrier, W. S. Olson, E. Zipser, E. A. Smith, T. T. Wilheit, G. North, T. Krishnamurti and K. Nakamura. 2000, The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit. *Journal of Applied Meteorology*. No. 39, pp. 1965-1982.
 9. Nadi, M and M. Dasti Gardi. 2021, preparation of climate map of Mazandaran province with extended Demarten method, Second National Conference on Environmental Change Using Remote Sensing Technology and GIS. <https://civilica.com/doc/1470778>.
 10. Sharifi, S.S., V. Rezaverdinejad and V. Nourani. 2016, Estimation of Daily Global Solar Radiation using Wavelet Regression, ANN, GEP and Empirical Models: A Comparative Study of Selected Temperature-Based Approaches, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, No. 3, pp. 131-145.
 11. Shokri Kuchak, S., A. Akhoond, M. Sharifi and V. Shokri Kuchak, 2022, Comparative Evaluation of Rain and Temperature Grid Data of Global Land Data Assimilation System (Case study: Helleh basin). *Journal of Water and Irrigation Management*, No.12, pp. 231-244.
 12. Simpson, J.A., W. S. Rholes and D. Phillips. 1996, Conflict in close relationships: an attachment perspective. *Journal of Personality and Social Psychology*, No. 71, pp. 899-914.
 13. Sun, H., Y. Chen, A. Gong, X. Zhao, W. Zhan and M. Wang. 2014, Estimating mean air temperature using MODIS day and night land surface temperatures. *Theor. Appl. Climatol.* No. 118, pp. 81-92.
 14. Sun, Q., C. Miao, Q. Duan, H. Ashouri, S. Sorooshian and K.L. Hsu. 2018, A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. *Reviews of Geophysics*, No. 56, pp. 79-107.
- اطلاعات مناسب قابل استفاده می‌باشد. از نتایج این پژوهش می‌توان برای رفع نواقص آماری ایستگاه‌ها، گسترش شبکه دمایی و بارشی استان و تخمین دما و بارش ارتفاعات فاقد ایستگاه هواشناسی مورد استفاده قرار گیرد.
- ### سپاس‌گزاری
- این تحقیق از محل طرح تحقیقاتی شماره ۰۲-۱۴۰۰-۰۷ توسط دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری حمایت شده و بدین‌وسیله از حمایت مالی معاونت پژوهشی این دانشگاه تشکر و قدردانی می‌گردد.
- ### منابع
1. Ali Bakhshi, M., A. Farid Hosseini, K. Davari, A. Alizadeh and M. Monica, 2019. GPM and MERRA satellite rainfall assessment Case study of Kashfarud catchment, *Watershed Management Research Journal*, No. 9, pp. 111-122.
 2. Arvin, A.B. 2019, Land Surface Temperature Detection Using of Satellite Images. *Journal of Natural Environmental Hazards*, No.19, pp. 92-102.
 3. Ghaderpour, E., A. Ben Abbes, M. Rhif, S.D. Pagiatakis and I.R. Farah. 2020, Non-stationary and unequally spaced NDVI time series analyses by the LSWAVE software. *International Journal of Remote Sensing*, No. 14, pp. 2374-2390. (In Persian)
 4. Hesham, A., A. Danandeh Mehr and D. Zafer Seker. 2021, EVALUATION AND CORRECTION OF DIFFERENT PRECIPITATION PRODUCTS OVER AKDENIZ BASIN, TURKEY. The 42nd Asian Conference on Remote Sensing (ACRS2021) 22-24th November, in Can Tho University, Can Tho city, Vietnam.
 5. Janatian, N., M. Sadeghi, S.H. Sanaeinejad, E. Bakhshian, A. Farid, S.M. Hasheminia and S. Ghazanfari. 2016, A statistical framework for estimating air temperature using MODIS land surface temperature data. *International Journal of Climatology*, No. 37, pp. 1181-1194.
 6. Kazemi Garajeh, M., B. Salmani and B. Feizizadeh. 2020, Evaluating the types of split window algorithms for calculating the land surface temperature to determine the best algorithm for MODIS sensor images.

17. Wu, Q., S. Ma, Z. Zhang, G. Wang and S. Zhang. 2021, Evaluation of nine precipitation products with ground-based measurements during 2001 to 2013 in alpine Upper Reach of Shule River Basin, northeastern edge of the Tibetan Plateau. *Theoretical and Applied Climatology*, No. 144, pp. 1101-1117.
18. Yousefi Kabria, A., M. Nadi and M. Jamei. 2021, Combining interpolation methods and precipitation products of TRMM satellite to increase the accuracy of rainfall maps in Mazandaran province. *Water and Soil Conservation*, No. 23, pp. 49-70.
15. Wilby, R.L., C.W. Dawson, C. Murphy, P. O'Connor and E. Hawkins. 2014, The Statistical Downscaling Model- Decision Centric (SDSM-DC): conceptual basis and applications. *Climate Research*, No. 61, pp. 259-276.
16. Williamson, SN., D.S. Hik, J.A. Gamon, A.H. Jarosch, F.S. Anslow G.K.C. Clarke and T. Scott Rupp. 2017, Spring and summer monthly MODIS LST is inherently biased compared to air temperature in snow covered sub-Arctic mountains. *Remote Sensing of Environment*, No. 189, pp. 14-24.