

بررسی زمانی - مکانی بارش با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)

مصطفی اکبری ینگه‌قلعه^۱، سیدحسین ثنائی‌نژاد^۲، علیرضا فریدحسینی^۳، مرتضی اکبری^۴

۱. دانش آموخته کارشناس ارشد هواشناسی دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسوول)

۲. دانشیار دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴. استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ وصول: ۱۳۹۶/۳/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۱۲

چکیده

اندازه‌گیری دقیق مقدار بارش نقش بسیار مهمی در درک و پیش‌بینی سیستم آب و هوایی دارد. در این تحقیق، جهت برآورد میزان بارش و بررسی تغییرات زمانی- مکانی از داده‌های محصول بارش 3B42 ماهواره TRMM برای دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ میلادی با شبکه‌های ۰/۲۵ درجه (تفکیک مکانی) در استان خراسان رضوی استفاده شد. جهت برآزش داده‌ها، پلاتی از داده‌های ماهواره با نقشه استان و با ۴۰ شبکه تهیه شد، بطوریکه هر شبکه تلفیقی از ایستگاه‌های هم‌دید، باران‌سنجی و داده‌های ماهواره است. در دوره آماری ده ساله، سال ۲۰۰۱، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ میلادی به ترتیب به عنوان سال‌های شاخص با بارش متوسط، پر بارش و کم بارش انتخاب شدند. پهنه‌بندی نقشه‌ها به روش زمین‌آمار و در محیط GIS ترسیم شد. مقایسه داده‌های روزانه نشان داد ایستگاه‌های باران‌سنجی تخمین بیشتری نسبت به داده‌های ماهواره راداری TRMM داشته و این تخمین در روزهای مربوط به ماه‌های آذر و آبان بیشتر از سایر ماه‌ها بوده است. ولی از نقطه نظر توزیع زمانی در اکثر مواقع، مقادیر ثبت شده ایستگاه‌های زمینی نسبت به داده‌های ماهواره‌ای، تخمین بالاتری را نشان داد. در بررسی داده‌های ماهانه، مشخص گردید که اطلاعات حاصل از ماهواره با داده‌های زمینی در توزیع زمانی و مکانی، هم‌خوانی زیادی به ویژه در ماه‌های پر بارش استان، مانند ماه‌های آذر، اسفند و فروردین داشته است. در بررسی فصلی نیز مشخص شد که هم‌خوانی معناداری بین داده‌های حاصل از ماهواره TRMM با داده‌های زمینی به خصوص در فصول پاییز و زمستان وجود دارد. لازم به توضیح است حتی در فصول کم‌بارش، که ایستگاه‌های زمینی هیچ داده‌ای را ثبت نکرده‌اند، ماهواره TRMM مقادیر قابل توجهی از بارش را در برخی ارتفاعات هم‌چون هزارمسجد و بینالود ثبت نموده است.

کلید واژگان: بارش، سنجش از دور، زمین‌آمار، کریجینگ، استان خراسان رضوی

مقدمه

بارندگی یکی از مهم‌ترین عناصر تعیین‌کننده هرنوع اقلیمی بوده که همواره مورد توجه متخصصان رشته‌های مختلف نیز قرار گرفته است. بارندگی در سطح زمین، دارای تغییرات مکانی و زمانی زیادی است (میر رحیمی و فیضی زاده، ۱۳۸۸). مطالعات نشان داده که میانگین بارندگی در سطح کره زمین متغیر بوده و نوسان دارد. در ایران نیز این تغییرات به طور سالانه بین ۲۰ میلی‌متر در کویر تا ۲۰۰۰ میلی‌متر در نواحی بندرانزلی متغیر است (علیزاده، ۱۳۹۴).

اندازه‌گیری و اطلاعات دقیق بارش، به ما کمک خواهد کرد تا درک درستی از آب، چرخه انرژی و پیش‌بینی سیستم آب و هوایی جهانی و مخاطرات طبیعی بدست آوریم. در سال‌های اخیر، روش‌های مختلفی جهت برآورد مقدار بارش و بررسی تغییرات آن، استفاده شده است. که می‌توان به مدل GCM^۱ برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی با استفاده از مدل‌های ترکیبی و سناریوها (زارع‌ایبانه و همکاران، ۱۳۹۴)، استفاده از شاخص‌های اقلیمی بارش استاندارد شده^۲ و شاخص خشک‌سالی^۳ (اکبری و همکاران، ۲۰۱۶) و یا برآورد تبخیر- ترقق مرجع بر حسب نمایه شناسایی خشک‌سالی (کوهی و همکاران، ۱۳۹۵) اشاره نمود. هرچند روش‌های بکارگرفته شده، کاربردی و نتیجه‌بخش بوده است ولی اختلاف زیادی میان نتایج حاصله از برآورد بارش در استفاده از این مدل‌ها دیده می‌شود؛ شاید علت اصلی آن، اندازه‌گیری در مقیاس‌های مختلف محلی یا منطقه‌ای و همچنین ناکافی بودن پارامترهای ورودی مدل‌ها باشد (Wolff et al., 2000).

علاوه بر روش‌های موجود، امروزه با به کارگیری ماهواره‌ها و رادارهای هواشناسی، ابزار جدید و پیشرفته‌ای مبتنی بر فن‌آوری سنجش از دور در اندازه‌گیری مقادیر دقیق بارش و دیگر عوامل اقلیمی، در دسترس متخصصان قرار گرفته است. ماهواره‌ها در شاخه‌های مختلف علوم زمین و فضا، از جمله مسایل مربوط به تغییرات آب و هوا کاربرد فراوان دارند (Robinson and Kulielt, 2000). یکی

از ماهواره‌هایی که اطلاعات ارزشمندی در زمینه بلایای طبیعی و به‌ویژه تغییرات آب و هوایی، در اختیار کاربران قرار می‌دهد، ماهواره TRMM^۴ است (غفوریان و همکاران، ۱۳۹۲). TRMM اولین ماهواره‌ای است که مأموریت اندازه‌گیری ساختار، نرخ و توزیع بارش‌های استوایی و نیمه استوایی را برعهده دارد و این هدف را با استفاده از ترکیب سنجنده‌های ماکروویو و رادار انجام می‌دهد (TRMM Data Users Handbook, 2001).

تا کنون مطالعات مختلفی در ارتباط با کاربرد ماهواره TRMM انجام شده است. میررحیمی و فیضی زاده (۱۳۸۷) میزان هم‌خوانی داده‌های همید زمین در غرب کشور را با داده‌های TRMM مورد بررسی قرار داده و میزان انطباق داده‌ها را ۷۳ درصد اعلام نمودند. در مطالعه‌های دیگر، اعتبارسنجی داده‌های بارش ماهواره TRMM با ایستگاه‌های خودکار هواشناسی، انطباق ۷۰ درصدی اطلاعات بارش ماهواره با ایستگاه‌های زمینی را نشان داد (عسکری و همکاران، ۱۳۸۶). رسولی (۱۳۸۴) برای مشخص نمودن الگوهای توزیع زمانی بارش‌های رعد و برقی شهر تبریز در دراز مدت به صورت سالانه و شبیه‌سازی تغییرات مکانی باران‌های ناشی از چند حادثه رعد و برق کوتاه مدت از آمارهای ایستگاه‌های زمینی و داده‌های TRMM استفاده نمود، نتایج حاکی از همبستگی بالای توزیع مکانی بارش سالانه با عوامل فیزیوگرافی بوده است. غفوریان و همکاران (۱۳۹۲) نیز برای تعیین مناطق مناسب جهت پایش خشک‌سالی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای TRMM در استان خراسان رضوی و در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه، نشان دادند که غیر از مقیاس زمانی یک ماهه، سازگاری خوبی بین داده‌های ماهانه ماهواره و ایستگاه زمینی وجود دارد. بارانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۰)، داده‌های 3b42 ماهواره TRMM را با داده‌های بارش شبکه‌بندی شده زمینی در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ میلادی ارزیابی نموده و نتایج آنها نشان داد که داده‌های ماهواره‌ای TRMM عملکرد موفق‌تری در پایش باران در کشور داشته است. جوان (۱۳۹۲)، در ارزیابی تطبیقی داده‌های ماهواره‌ای TRMM و داده‌های زمینی در بررسی مقدار بارندگی در

1. General Circulation Models
2. Standardized Precipitation Index, SPI
3. Reconnaissance Drought Index, RDI

مواد و روش‌ها

معرفی موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

استان خراسان رضوی یکی از استان‌های شمال شرقی ایران بوده که در بخش شمالی با کشور ترکمنستان و استان خراسان شمالی، از غرب با استان سمنان، از جنوب غربی و جنوب با استان خراسان جنوبی و از شرق با کشور افغانستان همسایه است. مساحت خراسان رضوی در حدود ۱۲/۶ میلیون هکتار بوده که از این نظر چهارمین استان بزرگ کشور است. خراسان رضوی از ۲۵ شهرستان و ۶۵ بخش تشکیل شده است.

وجود رشته کوه‌های مرتفع و مناطق کویری، دوری از دریا و وزش بادهای مختلف، موجب گوناگونی آب و هوا در مناطق مختلف آن گردیده است. در بیشتر بررسی‌های انجام گرفته از جمله؛ مطالعات آمایش خراسان، این استان به سه منطقه آب و هوایی شمال، مرکز و جنوب تقسیم می‌شود. بررسی وضعیت بارندگی آن نشانگر این است که در بیش از ۹۰ درصد استان توزیع مکانی و زمانی بارش‌ها و پراکندگی آنها یکنواخت و مشابه نیست. میزان ریزش‌های جوی به صورت باران و برف در ۱۵ درصد مساحت استان (نواحی شمال و شمال غربی) آن نسبتاً زیاد است (سایت سازمان هواشناسی کشور)^۲.

معرفی ماهواره TRMM

این ماهواره محصول مشترک کشورهای ژاپن و آمریکا است که در ۲۷ نوامبر سال ۱۹۹۷ میلادی پرتاب و در مدار ۳۵۰ کیلومتری از سطح زمین قرار گرفت و از ۳۱ ژانویه سال ۲۰۰۰ میلادی توزیع داده‌ها به صورت تقریباً هم‌زمان آغازگردید. محصولات آن از عرض جغرافیایی ۵۰ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه شمالی ارائه می‌گردد. بر طبق اطلاعات ارائه شده از طرف ناسا، توان تفکیک مکانی در ثبت بارش‌ها حداقل ۲۵/۲۵*۰/۲۵ و حداکثر ۵*۵ درجه است. این ماهواره 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

حوضه آبریز دریاچه ارومیه، با استفاده از داده‌های روزانه و ساعتی بارش، دما، فشار هوا در ۱۶ ایستگاه سینوپتیک در دوره آماری ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱، نشان داد که انطباق بالایی بین ارزیابی تطبیقی داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های زمینی وجود دارد. در جهان نیز نتایج بررسی در منطقه سیله‌ریکتا در کشور هند نیز نشان داد که بین داده‌های رادار داپلر^۱ و داده‌های TRMM انطباق ۹۰ درصدی وجود دارد (Sharma, 2003). در مطالعه‌ای دیگر، هم‌خوانی معناداری بین داده‌های فصلی حاصل از TRMM و داده‌های ثبت شده در باران‌سنج‌های زمینی در غرب مالزی مشاهده شد، ولی آنها مشخص نکردند، که عدم هم‌خوانی بیانگر کاهش و یا افزایش مقدار بارش است (Varikoden et al., 2007). در تحقیقی دیگر با استفاده از داده‌های TRMM، مقدار بارش رگبارهای تند را به میزان ۵۰ درصد کمتر از مقدار مشاهده شده برآورد نمودند (Bitew and Gebremichae, 2009). ژانگ و همکاران (Zang et al., 2011)، از داده‌های ایستگاه‌های زمینی برای یک دوره ۱۲ ساله و داده‌های ماهواره‌ای TRMM برای پیش‌خشک‌سالی در بخشی از چین استفاده نمودند. نتایج آنها نشان دهنده سازگاری مناسب داده‌های ماهانه زمینی و ماهواره‌ای برای پتانسیل پیش‌خشک‌سالی می‌باشد. پراکاش و گایرولا (Prakash and Gairola, 2013) نیز در تحقیق خود با استفاده از داده‌های در مناطق گرمسیری اقیانوس هند برای تجزیه و تحلیل موسمی آفریقایی-آسیایی-استرالیا و پیش‌بینی آرایه شناور، نشان دادند که همبستگی خطی معنی‌داری بین داده‌ها وجود دارد.

لذا در این پژوهش، جهت تخمین و بررسی زمانی-مکانی بارش از داده‌های راداری ماهواره TRMM و مقایسه آنها با داده‌های زمینی در یک دوره ۱۰ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰) استفاده شد. اطلاعات استخراج شده از داده‌های راداری هواشناسی و ایستگاه‌های زمینی در سطح استان خراسان رضوی با یکدیگر به صورت روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه مورد مقایسه قرار گرفت. برای انجام این پژوهش از روش‌های درونیابی احتمالی کریجنگ برای پهنه‌بندی و تحلیل منطقه‌ای استفاده گردید.

زمین متفاوت می‌باشد و بستگی به عرض جغرافیای محدودی دارد. به عنوان مثال محدوده شهر مشهد به طور متوسط ۴ بار در روز توسط این ماهواره اسکن و مشخصات بارش آن برداشت می‌شود. چرخش کامل زمین هر بار به مدت $91,538 \pm 0.026$ دقیقه زمان خواهد بود و ۱۶ مدار در روز، طی خواهد شد. زاویه میل ماهواره ۳۵ درجه است. داده‌های ماهواره در ساختارهای مختلف از جمله KMZ، TXT و ASCII و فایل‌های HDF (خود توصیف یا خود شرح) در اختیار کاربران قرار می‌گیرد. (TRMM Data Users Handbook, 2001). جدول ۱ مشخصات‌های مختلف ماهواره راداری TRMM را به همراه مشخصات مداری و محصولات آنها نشان می‌دهد.

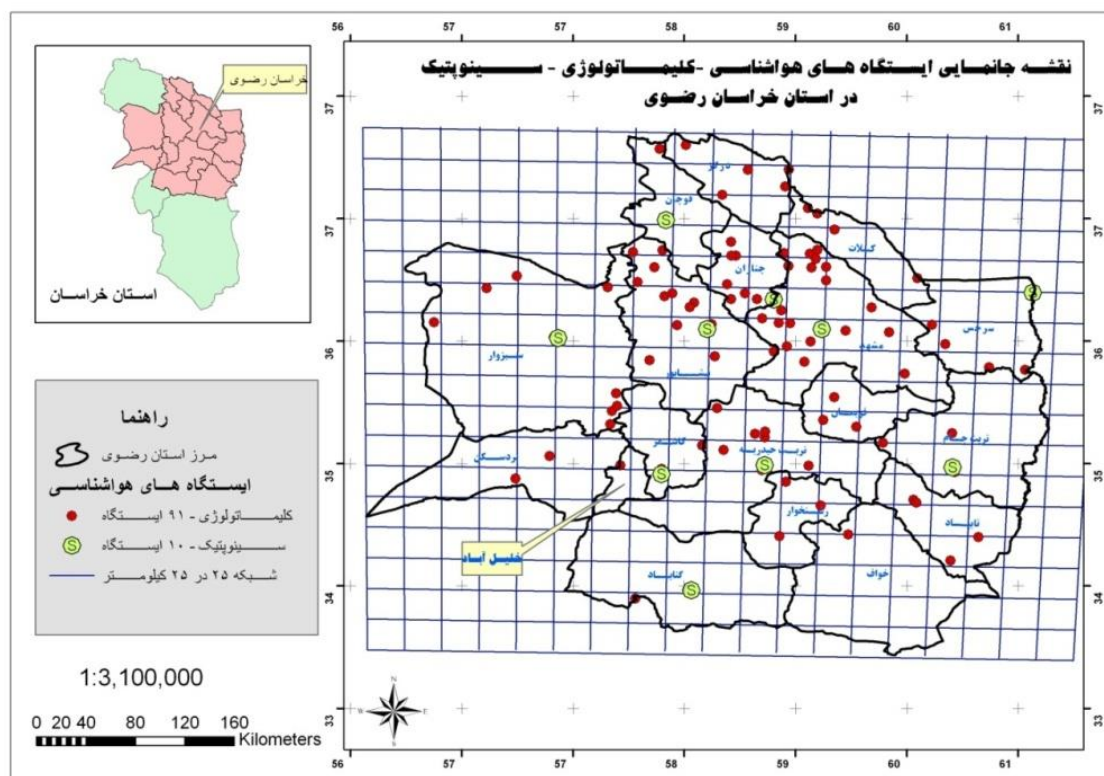
جدول ۱- سنجنده‌های ماهواره TRMM به همراه مشخصات و محصولات (TRMM Data Users Handbook, 2001).

سنجنده	محصولات	کاربرد	واحد چرخش	حجم تخمین
PR	1B21	کالیبراسیون قدرت دریافت	۱۶ بار هر روز	۱۴۹ مگا بایت
	1C21	بازتاب رادار	۱۶ بار هر روز	۱۴۹ مگا بایت
	2A21	نرمال سازی سطح مقطع رادار	۱۶ بار هر روز	۱۰ مگا بایت
	2A23	کیفیت رادار	۱۶ بار هر روز	۱۳ مگا بایت
	2A25	پروفیل بارش	۱۶ بار هر روز	۲۴۱ مگا بایت
	3A25	آمار ماهانه اجزای بارش	ماهانه 0.5×0.5 درجه	۴۰ مگا بایت
TMI	3A26	نرخ بارش ماهانه (روش آماری)	نقشه جهانی	۹,۳ مگا بایت
	1B11	دما	۱۶ بار هر روز	۱۴ مگا بایت
	2A12	پروفیل بارش	۱۶ بار هر روز	۹۷ مگا بایت
VIRS	3A11	بارش ماهانه اقیانوسی	نقشه جهانی	۵۳ مگا بایت
	1B01	پرتوافکنی	۱۶ بار هر روز	۹۲ مگا بایت
COMB	2B31	پروفیل بارش	۱۶ بار هر روز	۱۵۱ مگا بایت
	3B31	بارش ماهانه	نقشه جهانی	۴۴۲ کیلو بایت
	3B42	بارش روزانه	نقشه جهانی	۲۴۲ کیلو بایت
	3B43	بارش ماهانه	نقشه جهانی	۲۴۲ کیلو بایت

1. Precipitation Radar
2. TRMM Microwave Image
3. Visible and Infrared Scanner

اینکه داده‌های ماهواره، مجموعه‌ای از شبکه‌های ۰/۲۵*۰/۲۵ درجه هستند، بنابراین ابتدا پلاتی از نقشه خراسان رضوی تهیه شد و پس از برازش آن با پلاتی از ماهواره، اقدام به جداسازی شبکه‌های گردید و در نهایت ۴۰ شبکه حاصل شد که در آن شبکه ممکن است، ایستگاه باران سنجی یا ایستگاه همدید بصورت منفرد و یا هر دو و یا چندین ایستگاه باران‌سنجی و ایستگاه همدید به صورت مشترک وجود داشته باشند. شکل ۱ شبکه ۰/۲۵ درجه‌ای را به همراه ایستگاه‌های اقلیمی در سطح استان خراسان نمایش می‌دهد.

سطوح تولیدی ماهواره شامل؛ سطح یک: داده‌های پردازش نشده، سطح دو: زمین مرجع نمودن اطلاعات داده‌ها و متصل به سطح اجرایی صفر و پردازش وابسته به حسگر واحدهای فیزیکی و سطح سه: پارامترهای هواشناسی (TRMM Data Users Handbook, 2001). داده‌های بارش روزانه از 3B42 محصول سطح سوم ماهواره، به صورت کدهای اسکی با شبکه‌های ۰/۲۵*۰/۲۵ درجه‌ای (تفکیک مکانی) برای خراسان رضوی، از طریق سایت ناسا دریافت شد. این داده‌ها به دو صورت، نرخ بارش (میلی‌متر) و بارش تجمعی (میلی‌متر) دریافت می‌شوند. با توجه به



شکل ۱- نقشه مکانی ایستگاه‌های همدید و باران‌سنجی و ماهواره به همراه شبکه ۰/۲۵ درجه‌ای

میلادی (۱۳۷۹-۱۳۸۰ شمسی) سال پر بارش، سال ۲۰۰۸ میلادی (۱۳۸۰-۱۳۸۱ شمسی) سال کم بارش و سال ۲۰۰۱ میلادی (۱۳۸۱-۱۳۸۲ شمسی) به عنوان سالی با مقدار بارش متوسط، به عنوان سال‌های شاخص بر اساس میزان بارش انتخاب شدند. لذا داده‌ها، برای سه سال ۲۰۰۱، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ به صورت تفکیک شده، ذخیره شدند.

داده‌ها دوره زمانی مورد مطالعه

دوره زمانی در این تحقیق، از سال ۲۰۰۱ میلادی (سال ۱۳۷۹ شمسی) تا سال ۲۰۱۰ میلادی (سال ۱۳۸۸ شمسی) می‌باشد. داده‌های زمینی شامل ایستگاه‌های همدید استان، شامل ۱۰ ایستگاه و ۸۱ ایستگاه باران سنجی استفاده گردید. با بررسی داده‌ها در دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۱۰، سال ۲۰۰۴

$\gamma(h)$: مقدار واریوگرام (نیم تغییرنما) برای جفت نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند.
 $n(h)$: تعداد زوج نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند.
 $Z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر X .
 $(x_i + h)$: مقدار مشاهده شده متغیری که به فاصله h از Z قرار دارد.

صحت سنجی

تعیین یا برآورد میزان درستی و صحت داده، بزرگترین مسئله کسب داده است. متناسب با ساختار داده (بردار و یا رستر) و میزان شناخت موجود از پدیده‌ها، روش‌های مختلفی برای بررسی صحت داده وجود دارد. بطوریکه برای کنترل دقت زمینی نقشه‌های موضوعی که به واسطه روش‌های درونیابی به دست می‌آیند، مقایسه با واقعیت زمینی نمونه‌ای (حداقل سطحی معادل ۲ درصد منطقه و یا استفاده از یک سوم داده‌های موجود) روش مناسبی خواهد بود (مخدوم و همکاران، ۱۳۹۲) که در نهایت با استفاده از آماره‌های ریاضی مانند ضریب تبیین^۴ مورد صحت سنجی قرار می‌گیرد (Fakhire and Zilaie, 2014). لذا در این راستا، نقشه‌های حاصل از روش درونیابی کریجینگ با استفاده از یک سوم داده (حذف دو سوم داده‌ها) و مقایسه داده‌های اقلیمی و ایستگاه‌های زمینی طبق آماره $RMSE^5$ به عنوان یک آماره مناسب در ارزیابی مدل و ضریب همبستگی برای صحت‌سنجی استفاده شد. در حقیقت، ضریب همبستگی قدرت توزیع دهندگی داده‌ها را توضیح می‌دهد (Chai and Draxler, 2014).

نتایج و بحث

بر اساس هدف اصلی تحقیق که برآورد زمانی- مکانی بارش با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM می‌باشد، نتایج به صورت بررسی‌های روزانه، ماهانه و بر حسب فصول و بطور جداگانه انجام و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

تحلیل منطقه‌ای با روش درونیابی احتمالی

کریجینگ

برای تحلیل منطقه‌ای بارش، از روش درونیابی احتمالی (روش زمین آمار) استفاده شد. درونیابی زمین آماری، که توابع ریاضی و آماری را در درونیابی به کار می‌گیرند، یک درونیابی احتمالی است (Davidović et Hohn, 2013; al., 2010). مانند: روش کریجینگ^۱. کریجینگ یکی از روش‌های بسیار مناسب برای تحلیل فضایی و توزیع منطقه- ای داده‌های مکانی است. این روش با کمترین واریانس تخمین، درونیابی می‌کند و میزان فضای آن تابع مشخصات واریوگرام (ساختار فضایی) است. اگر مطالعات مربوط به واریوگرام و تشخیص مدل واریوگرام با دقت کافی انجام می‌شود درونیابی به روش کریجینگ با دقت بالایی همراه خواهد بود. کریجینگ از بهترین تخمین‌گرهای خطی نا اریب^۲ (B.L.U.E) است، که مقادیر یک متغیر را در نقاط نمونه‌برداری نشده به صورت ترکیب خطی از مقادیر همان متغیر در نقاط اطراف آن در نظر می‌گیرد (Li et al., 2007). هر قدر نمونه‌ها در فاصله دورتری قرار گرفته باشند، به همان نسبت وزن آماری که به آن‌ها داده می‌شود، کمتر است و در عین حال موقعیت نقطه و ناحیه، مدنظر قرار می‌گیرد. معادله کریجینگ به صورت رابطه (۳-۱۰) می‌باشد (Pyrz and Deutsch, 2014).

یکی از روش‌های محاسبه تغییرات مکانی یک متغیر، روش نیم تغییرنما^۳ می‌باشد. محاسبه منحنی نیم تغییرنما از مهم‌ترین عملیات زمین آمار است. به عبارتی دیگر، نیم تغییرنما اساسی‌ترین ابزار برای تشریح ارتباط مکانی یک متغیر هم‌چون بارش و کمیتی برداری است که درجه همبستگی مکانی شباهت بین نقاط اندازه‌گیری شده را بر حسب مربع تفاضل مقدار دو نقطه و با توجه به جهت و فاصله آنها نشان می‌دهد (حسنی‌پاک، ۱۳۹۴) (رابطه ۱):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h) \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2} \quad (1)$$

4. Coefficient Of Determination
 5. Root Mean Square Error, RMSE

1. Kriging Method
 2. Best Linear Unbiased Estimates
 3. Semivariogram

تجزیه و تحلیل داده‌های روزانه

داده‌های ماهواره‌ای و زمینی پس از دریافت، مورد بررسی و آزمون‌های آماری قرار گرفتند. مقایسه داده‌های روزانه نشان داد: ایستگاه‌های باران‌سنجی تخمین بیشتری نسبت به داده‌های ماهواره راداری TRMM داشته بطوریکه این تخمین در روزهای مربوط به ماه‌های آذر و آبان بیشتر از سایر ماه‌ها بوده است. ولی از نقطه نظر توزیع زمانی در شبکه‌هایی که ایستگاه‌های باران‌سنجی به صورت انفرادی و ترکیب ایستگاه‌های باران‌سنجی و همدید می‌باشد، انطباق بهتری حاصل گردید و در اکثر مواقع مقادیر ثبت شده ایستگاه‌های زمینی نسبت به داده‌های ماهواره‌ای، تخمین بالاتری از ثبت را نشان داد. اما در ترکیب ایستگاه‌های باران‌سنجی و همدید، روزهای ماه‌های اردیبهشت و فروردین به لحاظ توزیع زمانی هم‌خوانی بیشتری داشته است و این موضوع در تمام سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ نیز مصداق دارد.

نواحی که دارای آب و هوایی نیمه بیابانی می‌باشند مانند؛ سبزواری، کاشمر، جنوب تربت حیدریه، رشتخوار، سرخس، تربت جام و تایباد، ایستگاه‌های همدید با داده‌های ماهواره

توزیع زمانی بهتری به ویژه در روزهای ماه‌های اسفند و فروردین داشته است و بخش‌هایی که دارای آب و هوایی بیابانی بودند مانند؛ بردسکن، خوف، گناباد و بجستان، توزیع زمانی تنها در روزهای مربوط به آذر ماه و در سال ۲۰۰۴ هم‌خوانی بیشتری نشان داده است.

در خصوص روزهای که به صورت مستمر چندین روز بارش مداوم ثبت گردیده، این هم‌خوانی نزدیک‌تر بود. توزیع مکانی دشت مشهد و نیشابور و ایستگاه‌های اطراف آنها به جهت تعداد بیشتر ایستگاه‌های زمینی، هم‌خوانی بهتری نسبت به سایر دشت‌ها نشان داد. جدول ۲. مقایسه مقادیر بارش داده‌های ماهواره‌ای با ایستگاه زمینی گناباد با موقعیت (عرض جغرافیای ۳۴ درجه و طول جغرافیای ۵۸،۲۵ درجه) را به همراه ترکیبی از داده‌های ماهواره و (آذرماه ۱۳۸۰) را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود مقادیر بارش در ایستگاه همدید و ایستگاه باران‌سنجی تخمین‌های بیشتری نسبت به داده‌های ماهواره داشته است.

جدول ۲- مقایسه مقادیر بارش داده‌های ماهواره‌ای منطبق با ایستگاه‌های زمینی (همدید، باران‌سنجی) گناباد

مقادیر بارش داده‌های ماهواره‌ای شبکه منطبق با ایستگاه زمینی گناباد									
روز	۳	۴	۸	۱۲	۲۱	۲۲	۲۳	۲۵	۳۱
مقدار (میلی‌متر)	۱/۹۴	۱/۰۱	۰/۵	۰/۷۲	۰/۳۶	۶/۶۶	۰/۹۹	۲/۳۴	۱/۹۸
مقادیر بارش در ایستگاه همدید گناباد									
روز	۵	۱۰	۱۲	۱۳	۱۶	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
مقدار (میلی‌متر)	۱	۲	۱،۲	۲	۵	۰/۹	۰/۳	۰/۱	۱۲
مقادیر بارش در ایستگاه باران‌سنجی گناباد									
روز	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۵	۱۷	۱۸	۲۲
مقدار (میلی‌متر)	۱،۵	۵	۴	۲	۱	۷	۰/۵	۰/۵	۲،۵

۲۵ تخمین‌های بیشتری نسبت به داده‌های ماهواره‌ای نشان می‌دهند.

مقادیر بارش در ایستگاه همدید گناباد در روزهای ۱۲، ۲۳ و ۲۵ و ایستگاه باران‌سنجی گناباد در روزهای ۱۲، ۲۲، ۲۳ و

تجزیه و تحلیل داده‌های ماهانه

در مقایسه داده‌های ماهانه ماهواره‌ای و زمینی، سال ۲۰۰۱ میلادی (۸۰-۱۳۷۹ شمسی) به عنوان سالی با بارش متوسط مشخص شد که داده‌ها هم‌خوانی بالایی داشته (P value

<0.05) و اختلاف مقدار بارش میانگین، حداکثر ۳/۵۴ میلی‌متر و حداقل ۰/۰۸ میلی‌متر در ماه بوده است (جدول ۳). عدم انطباق کافی بین دو نوع داده را می‌توان به اختلاف دقت مکانی و زمانی آنها مرتبط دانست.

جدول ۳- میانگین و ماکزیمم داده‌های ماهانه ماهواره‌ای و ایستگاه زمینی سال ۲۰۰۱ میلادی (۸۰-۱۳۷۹ شمسی)

بارش/ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
ماهواره	۲/۷۳	۱/۴۹	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۳	۰/۱۱	۰/۲۳	۱/۹۸	۶/۳۷	۴/۵۴	۲/۰۷	۴/۶۷
زمینی	۵/۳۴	۵/۰۳	۰/۵۵	۰/۹۲	۰/۵۲	۰/۰۴	۰/۱۴	۳/۴۳	۴/۹۱	۱/۵۵	۳/۷۹	۴/۵۹
ماهواره	۱۳/۹۹	۴/۴۶	۱/۷۹	۱/۳۲	۳/۱۵	۱/۰۲	۱/۳۵	۸/۵۸	۲۲/۵	۱۰/۷	۱۲/۷	۹/۸۸
زمینی	۱۸/۸۵	۱۵/۳۳	۶	۸/۱۶	۱۱/۵	۱	۲/۷۵	۲۰	۹/۷	۱۰	۱۰/۲	۲۰

داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های زمینی در اکثر ماه‌های سال ۲۰۰۱ با هم هم‌خوانی داشتند، و تنها در ماه‌های آبان، آذر و دی داده‌های ماهواره تخمین بالاتری نشان داد (جدول ۴).

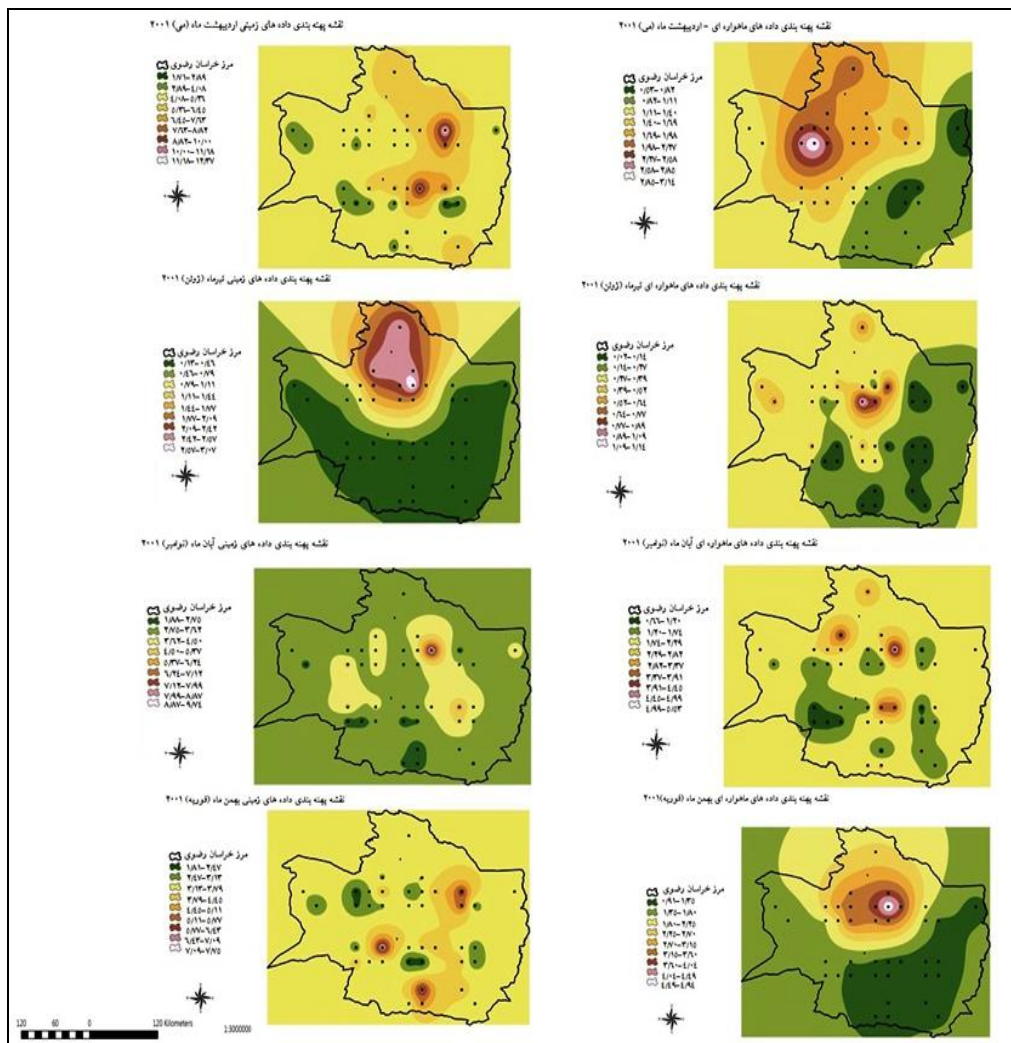
جدول ۴- مقادیر ضریب همبستگی و RMSE داده‌های ماهانه ماهواره‌ای و ایستگاه زمینی ۲۰۰۱ میلادی (۸۰-۱۳۷۹ شمسی)

ماه داده	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
ماهواره‌ای	*۰/۰۲۴	**۰/۰۷۳	۰/۰۳۷	*۰/۱۹	*۰/۰۸۳	۰/۲۵	**۰/۰۵	*۰/۳۸	*۰/۳۷	*۰/۳۲	۰/۲۷	**۰/۰۳
زمینی	*۰/۰۳۵	**۰/۰۴۲	۰/۱۲	*۰/۳۲	*۰/۰۲۷	۰/۰۰۳	**۰/۰۹	*۰/۲۸	*۰/۲۷	*۰/۱۳	۰/۰۱	**۰/۰۱
RMSE	۲/۶۱	۳/۵۴	۰/۲۶	۰/۶۳	۰/۲۹	۰/۰۷	۰/۰۹	۱/۴۵	۱/۳۶	۲/۹۹	۱/۷۲	۰/۰۸

* معنی‌دار در سطح اعتماد ۰/۰۵، ** معنی‌دار در سطح اعتماد ۰/۰۱

دشت مشهد و نواحی مرکزی مانند دشت نیشابور و داده‌های زمینی نیز در مناطق شمالی تخمین نموده‌اند. داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های زمینی در ایستگاه همدید گناباد و ایستگاه‌های باران‌سنجی گناباد و حسین‌آباد جنگل تخمین‌های مشابه‌ای نشان داده است. در بهمن ماه سال ۸۰-۷۹ هر دو داده، پراکنش کمترین بارش را در شرق، جنوب شرقی و جنوب غربی برآورد نمودند. داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های زمینی در اکثر ایستگاه‌های باران‌سنجی از قبیل ملک‌آباد، سرآسیاب شاندریز، تیمنک دارای تخمین‌های مشابه‌ای بوده‌اند. شکل ۲- نقشه‌های پهنه‌بندی (تحلیل منطقه‌ای) داده‌های ماهواره‌ای و زمینی را در ماه‌های مختلف سال ۸۰-۱۳۷۹ (۲۰۰۱ میلادی) نشان می‌دهد.

در اردیبهشت‌ماه سال ۸۰-۷۹، داده‌های ماهواره‌ای کمترین بارش را بخش‌های شمالی و شمال غربی استان (دشت نیشابور) و داده‌های زمینی در محدوده شمال شرقی (رشته کوه‌های هزار مسجد) تخمین نمودند. داده‌های ماهواره‌ای زمینی در ایستگاه همدید قوچان و کاشمر و همچنین ایستگاه باران‌سنجی کارخانه قند جوین تخمین‌های مشابه‌ای را نشان داده است. در تیرماه سال ۸۰-۷۹ داده‌های ماهواره‌ای کمترین بارش در بخش‌های شمالی و مرکزی و داده‌های زمینی در بخش‌های شمالی استان برآورد نمودند. داده‌های ماهواره و داده‌های زمینی در اکثر ایستگاه‌های همدید و باران‌سنجی سرخس، میامی، تیمنک نیز تخمین‌های مشابه‌ای نشان داده‌اند. در آبان ماه ۸۰-۷۹ داده‌های ماهواره‌ای کمترین بارش را بخش‌های شمالی استان مانند



شکل ۲- نقشه‌های پهنه‌بندی (تحلیل منطقه‌ای) داده‌های ماهواره‌ای و زمینی را در ماه‌های سال ۸۰-۱۳۷۹ (۲۰۰۱ میلادی)

نوع داده را می‌توان به اختلاف دقت مکانی و زمانی آنها مرتبط دانست. در ماه‌های فروردین، تیر، آذر، دی داده‌های ماهواره‌ای تخمین بالاتری داشته‌اند.

داده‌ها در سال ۲۰۰۴ میلادی (۸۳-۱۳۸۲ شمسی) به عنوان سال پربارش، هم‌خوانی بالایی نشان داده و اختلاف مقدار میانگین بارش حداکثر ۶/۴۷ میلی‌متر و حداقل ۰/۰۲ میلی‌متر در ماه است (جدول ۵). عدم انطباق کافی بین دو

جدول ۵- میانگین و ماکزیم ماهانه داده‌های ماهواره‌ای و زمینی سال ۲۰۰۴ میلادی (۸۳-۱۳۸۲ شمسی)

بارش/ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
میانگین	۷/۸۶	۳	۱/۱۳	۳/۲۴	۰/۲۹	۰/۱۰	۰/۹۸	۶/۵	۱۲/۷	۶/۸۹	۴/۲۹	۵/۶۲
زمینی	۴/۷۵	۳/۷۶	۱/۷۳	۰/۴۱	۰/۶۲	۰/۰۸	۰/۳۸	۴/۰۶	۶/۲۳	۹/۵۷	۶/۸	۹/۵۷
ماهواره	۱۵/۶۹	۷/۶	۴/۸۳	۱۴/۶	۱/۶۸	۰/۵۴	۱۵/۶	۱۹/۵	۳۴/۹	۱۷/۸	۱۲/۶	۱۳/۱
ماکزیم	۱۷/۵	۱۲	۱۴	۴	۱۰/۵	۱/۵۸	۳	۱۸	۱۶/۶	۲۵/۵	۱۷/۳	۱۱/۲

داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های زمینی در اکثر ماه‌های سال ۲۰۰۴ با یکدیگر هم خوانی داشتند (جدول ۶).

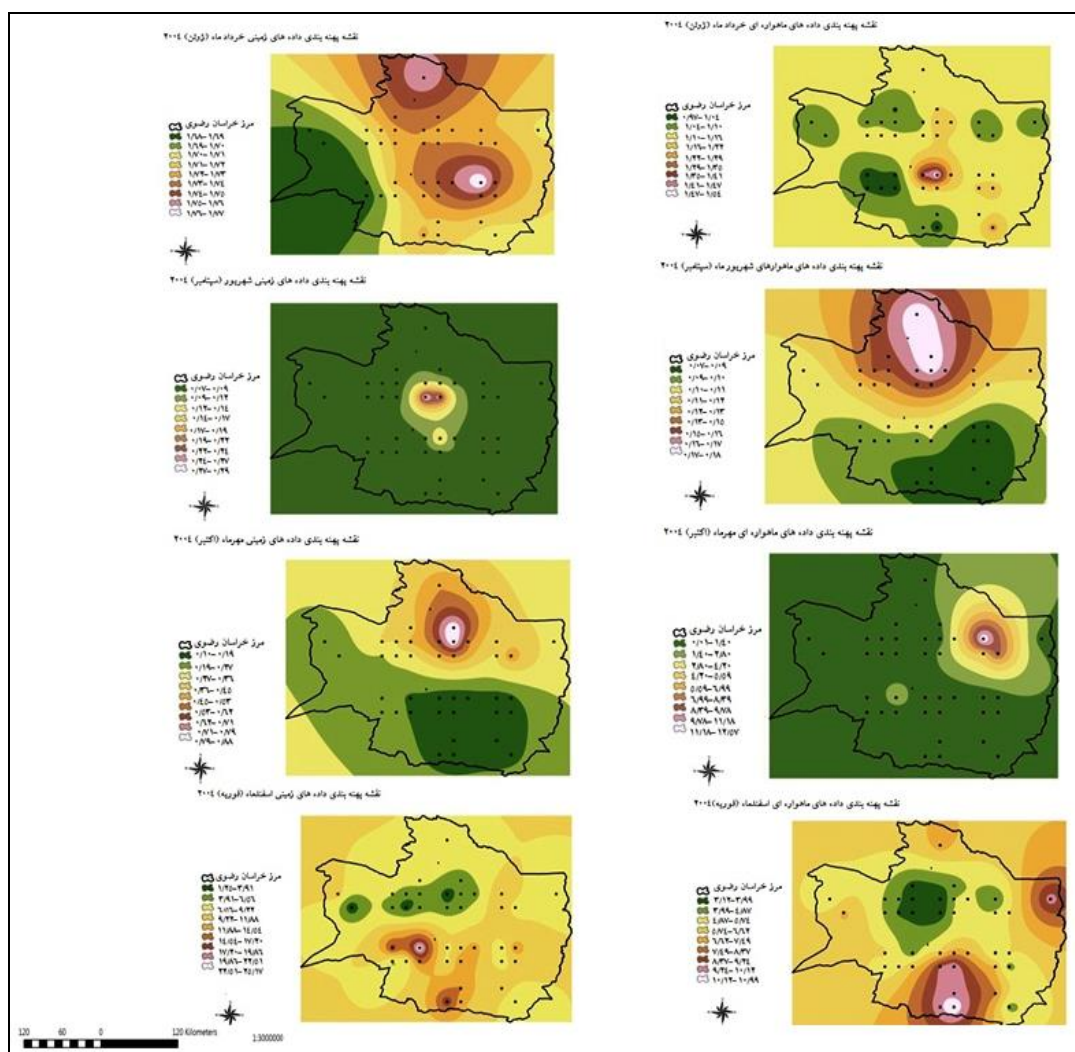
جدول ۶- مقادیر ضریب همبستگی و RMSE داده‌های ماهانه ماهواره‌ای و زمینی سال ۲۰۰۴ میلادی (۸۳-۱۳۸۲ شمسی)

ماه داده	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
ماهواره	**۰/۰۴۴	**۰/۰۷۳	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۸۳	۰/۲۵	*۰/۰۵	*۰/۳۸	*۰/۳۷	*۰/۳۲	۰/۲۷	**۰/۰۳
زمینی	**۰/۰۲۵	**۰/۰۴۲	۰/۱۲	*۰/۱۹	۰/۰۲۷	۰/۰۰۳	*۰/۰۹	*۰/۱۸	*۰/۲۷	*۰/۱۳	۰/۰۱	**۰/۰۱
RMSE	۰/۰۱۹	۰/۰۳۱	۰/۰۸۳	۰/۱۸	۰/۰۵۶	۰/۲۴۷	۰/۰۴	۰/۲	۰/۱	۰/۱۹	۰/۲۶	۴/۵۶

* معنی‌دار در سطح اعتماد ۰/۰۵، ** معنی‌دار در سطح اعتماد ۰/۰۱

جنوب، جنوب غربی و شرقی خراسان رضوی نشان می‌دهند. داده‌های ماهواره میانگین بارش را ۰/۹۸ میلی‌متر و پراکنش را در محدوده شمال شرقی و بیشترین عدد را ۱۵/۶۶ میلی‌متر و پراکنش آن را در تمامی مناطق خراسان رضوی به غیرنواحی شمال شرقی نشان می‌دهند. هر دو داده، پراکنش کمترین بارش را دشت مشهد تخمین نمودند. داده‌های ماهواره و داده‌های زمینی در اکثر ایستگاه‌های همدید و ایستگاه باران‌سنجی تخمین‌های مشابه‌ای نشان دادند. در اسفندماه ۸۳-۱۳۸۲ داده‌های زمینی، میانگین بارش را ۹/۵۷ میلی‌متر و پراکنش را در محدوده جنوب غربی مانند دشت گناباد و مه ولات و بیشترین عدد را ۲۵/۵ میلی‌متر و پراکنش آن را در محدوده شمالی استان خراسان رضوی نشان می‌دهند. داده‌های ماهواره میانگین بارش را ۵/۶۲ میلی‌متر و پراکنش را در محدوده جنوب در دشت گناباد و قسمتی از شمال شرقی مانند دشت سرخس و بیشترین عدد را ۱۳/۱۳ میلی‌متر و پراکنش آن را در محدوده شمالی استان مانند دشت نیشابور نشان می‌دهند. داده‌های ماهواره پراکنش کمترین بارش در جنوب و داده‌های زمینی پراکنش کمترین بارش بصورت پراکنده در نواحی جنوب غربی خراسان رضوی تخمین نمودند. داده‌های ماهواره و داده‌های زمینی در ایستگاه همدید کاشمر و ایستگاه باران‌سنجی گل‌مکان، درگز، بکاول، ارداک نیز تخمین‌های مشابه‌ای نشان دادند. شکل ۳- نقشه‌های پهنه‌بندی (تحلیل منطقه‌ای) داده‌های ماهواره‌ای و زمینی را در ماه‌های مختلف سال ۸۳-۱۳۸۲ (۲۰۰۴ میلادی) نشان می‌دهد.

در خرداد ماه ۸۳-۱۳۸۲ داده‌های زمینی، میانگین بارش را ۱/۷۳ میلی‌متر و پراکنش را در نواحی مرکزی و شمالی استان در دشت مشهد، چناران، قوچان و بیشترین عدد را ۱۴ میلی‌متر و پراکنش آن را در محدوده جنوب غربی استان در نواحی دشت سبزوار و بردسکن نشان دادند. در صورتی‌که داده‌های ماهواره‌ای میانگین بارش را ۱/۱۳ میلی‌متر و پراکنش را در نواحی مرکزی مانند دشت تربت حیدریه و رشتخوار در خراسان رضوی و بیشترین عدد را ۴/۸۳ میلی‌متر با پراکنش در نواحی جنوب و جنوب غربی استان مانند دشت گناباد و بردسکن نشان داده است. هر دو داده، پراکنش کمترین بارش را بصورت پراکنده در جنوب، نواحی مرکزی و جنوب شرقی تخمین نمودند. در شهریورماه ۸۳-۱۳۸۲ داده‌های زمینی، میانگین بارش را ۰/۰۸ میلی‌متر و پراکنش را در نواحی مرکزی استان خراسان رضوی و بیشترین عدد را ۱/۵۸ میلی‌متر و پراکنش آن را در تمامی مناطق خراسان رضوی به غیرنواحی مرکزی نشان می‌دهند. داده‌های ماهواره میانگین بارش را ۰/۱۰ میلی‌متر و پراکنش را در نواحی مرکزی و در امتداد شمالی استان مانند دشت مشهد، قوچان و چناران و بیشترین عدد را ۰/۵۴ میلی‌متر و پراکنش آن را در نواحی جنوب، جنوب غربی و شرقی خراسان رضوی نشان می‌دهند. داده‌های ماهواره پراکنش کمترین بارش در شمال و داده‌های زمینی پراکنش کمترین بارش در نواحی مرکزی خراسان رضوی تخمین نمودند. در مهرماه سال ۸۳-۱۳۸۲ داده‌های زمینی، میانگین بارش را ۰/۳۸ میلی‌متر و پراکنش را در نواحی شمال و شمال شرقی و بیشترین عدد را ۳ میلی‌متر و پراکنش آن را در نواحی



شکل ۳- نقشه‌های پهنه‌بندی (تحلیل منطقه‌ای) داده‌های ماهواره‌ای و زمینی را در ماه‌های سال ۸۳-۲۸۲ (۲۰۰۴ میلادی)

بارش، حداکثر ۳/۶۸ میلی‌متر و حداقل ۰/۰۳ میلی‌متر در ماه است. جدول ۷ میانگین و ماکزیمم داده‌های ماهانه ماهواره و زمینی سال ۲۰۰۸ میلادی را نشان می‌دهد.

داده‌ها در سال ۲۰۰۸ میلادی (۸۷-۱۳۸۶ شمسی) به عنوان سال کم بارش، از هم‌خوانی بالایی برخوردار بوده ($P < 0.05$) و میانگین خطای ریشه مربعات نزدیک به صفر (۰/۰۳۸) را نشان داده است. اختلاف مقدار میانگین

جدول ۷- میانگین و ماکزیمم داده‌های ماهانه ماهواره و زمینی سال ۲۰۰۸ میلادی (۸۷-۱۳۸۶ شمسی)

بارش / ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
ماهواره	۲/۹۳	۱/۶۵	۲/۲۲	۰/۲۲	۰/۳۴	۲/۰۴	۰/۵۶	۳/۹۶	۲/۹۹	۴/۰۵	۴/۳۳	۰/۹۸
زمینی	۶/۶۱	۲/۹۹	۲/۲۶	۰/۳۳	۰/۳۹	۲/۰۷	۰/۵۸	۴/۰۹	۳/۰۳	۴/۰۸	۴/۱۵	۱/۶۳
ماهواره	۹/۹۳	۴/۰۹	۹/۱۸	۷	۳/۵	۹	۷	۱۴	۱۲/۵	۱۰	۱۸/۴	۱۱/۷
زمینی	۱۶/۵۴	۶	۹/۱۸	۸	۴	۸	۶/۷	۱۳	۱۱/۸	۹/۵	۱۴/۲	۱۰/۸

جدول ۸ میانگین خطای ریشه مربعات و ضریب همبستگی داده‌های ماهانه ماهواره‌ای و زمینی سال ۲۰۰۸ میلادی نشان می‌دهد. بطوریکه داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های زمینی در اکثر ماه‌های سال ۲۰۰۸ با یکدیگر هم‌خوانی داشتند.

جدول ۸- مقادیر ضریب همبستگی و RMSE داده‌های ماهانه ماهواره‌ای و زمینی سال ۲۰۰۸ میلادی (۸۷-۱۳۸۶ شمسی)

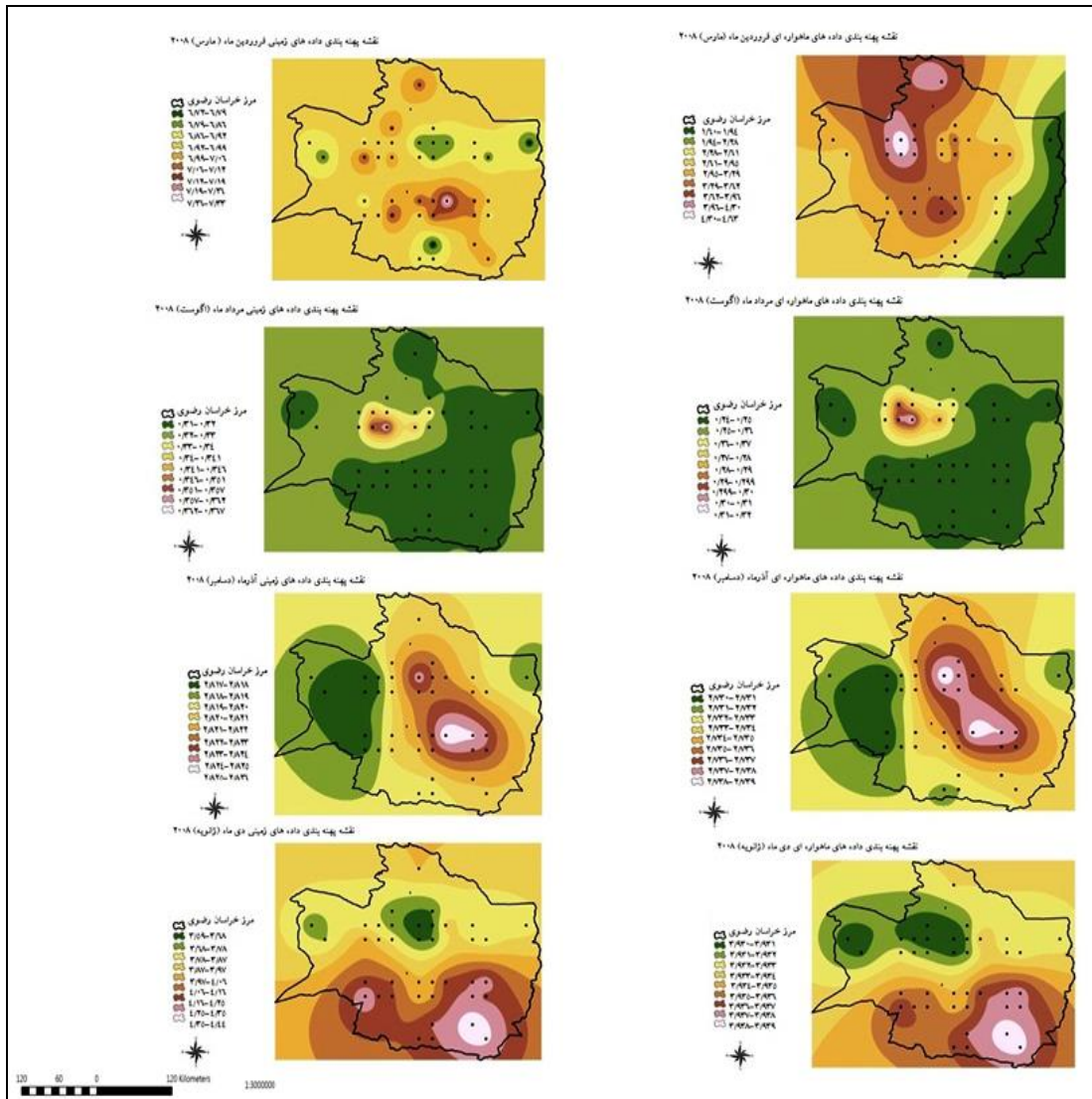
ماه	داده											
	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
ماهواره‌ای	**۰/۰۲۴	**۰/۰۷۳	۰/۰۳۷	۰/۰۱۹۳	**۰/۰۸۳	۰/۲۵۴	*۰/۰۵	۰/۰۳۸	*۰/۰۳۷	*۰/۰۳۲	*۰/۰۲۷	**۰/۰۳
زمینی	**۰/۰۳۵	**۰/۰۴۲	۰/۰۱۱۹	۰/۰۳۲۵	*۰/۰۲۷	۰/۰۰۳	*۰/۰۰۹	۰/۰۲۸	*۰/۰۲۷	*۰/۰۱۳	*۰/۰۰۱	**۰/۰۰۱
RMSE	۰/۰۱۱	۰/۰۳۱	۰/۰۸۲	۰/۱۲۳	۰/۰۵۶	۰/۲۴۲	۰/۰۰۴	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۹	۰/۲۶	۰/۰۲

* معنی‌دار در سطح اعتماد ۰/۰۵، ** معنی‌دار در سطح اعتماد ۰/۰۱

شمال، شمال شرقی و جنوب شرقی و بیشترین عدد را ۳ میلی‌متر و پراکنش آن را در محدوده شمال غربی و غرب خراسان رضوی مانند دشت سبزوار نشان می‌دهند. ضریب تبیین داده‌های زمینی ۰/۰۰۶ میلی‌متر می‌باشد. داده‌های ماهواره میانگین بارش را ۲،۷۳ میلی‌متر و پراکنش را در محدوده شمال، شمال شرقی و جنوب شرقی و بیشترین عدد را ۱۳/۹۹ میلی‌متر و پراکنش آن را در محدوده شمال غربی و غرب استان خراسان رضوی نشان می‌دهند. داده‌های ماهواره و داده‌های زمینی پراکنش کمترین بارش جنوب غربی (در محدوده باخرز) خراسان رضوی تخمین نمودند. داده‌های ماهواره و داده‌های زمینی در اکثر ایستگاه‌های هم‌دید و ایستگاه باران‌سنجی تخمین‌های مشابه‌ای نشان می‌دهند. در دی ماه ۸۷-۱۳۸۶ داده‌های زمینی، میانگین بارش را ۴/۰۸ میلی‌متر و پراکنش آن را در محدوده نوار مرکزی از شرق به غرب (در اطراف تربت جام، رشتخوار و بردسکن و بیشترین عدد را ۹/۵ میلی‌متر و پراکنش آن را در محدوده شمالی استان مانند دشت مشهد نشان می‌دهند. داده‌های ماهواره میانگین بارش را ۴/۰۵ میلی‌متر و پراکنش آن را در محدوده نوار مرکزی از شرق به غرب (تربت جام، رشتخوار، بردسکن) در خراسان رضوی و بیشترین عدد را ۱۰ میلی‌متر و پراکنش آن را در محدوده شمال و شمال غربی، در بخش‌هایی از دشت نیشابور و سبزوار نشان می‌دهند. داده‌های ماهواره پراکنش و داده‌های زمینی پراکنش کمترین بارش جنوب غربی خراسان رضوی تخمین نمودند.

در فروردین ۸۷-۱۳۸۶ داده‌های زمینی، میانگین بارش را ۶/۶۱ میلی‌متر و پراکنش آن را به صورت پراکنده در محدوده بخش‌های جنوبی مانند دشت رشتخوار و شمالی استان در دشت قوچان، درگز و نیشابور و بیشترین عدد را ۱۶/۵۴ میلی‌متر با پراکنش در بخش‌های جنوبی (دشت رشتخوار) و شمال شرقی (دشت سرخس و مشهد) نشان می‌دهند. داده‌های ماهواره میانگین بارش را ۲/۹۳ و پراکنش آن را در محدوده جنوب به سمت شمال غربی و بیشترین عدد را ۹/۹۳ میلی‌متر و پراکنش آن را در محدوده جنوب شرقی استان خراسان رضوی نشان می‌دهند. داده‌های ماهواره‌ای با پراکنش کمترین بارش در بخش شمالی (در محدوده دشت نیشابور) و داده‌های زمینی پراکنش کمترین بارش در بخش جنوبی (در اطراف دشت رشتخوار) استان خراسان رضوی تخمین نمودند. در مرداد ماه ۸۷-۱۳۸۶ داده‌های زمینی، میانگین بارش را میلی‌متر ۰/۳۹ و پراکنش آن را در محدوده شمالی استان و بیشترین عدد را ۴ میلی‌متر و پراکنش آن را در کلیه مناطق به غیردشت نیشابور نشان می‌دهند. داده‌های ماهواره میانگین بارش را ۰/۳۴ میلی‌متر و پراکنش آن را در محدوده شمالی و بیشترین عدد را ۳/۵ میلی‌متر و پراکنش آن را در کلیه مناطق به غیردشت نیشابور خراسان رضوی نشان می‌دهند. داده‌های ماهواره و داده‌های زمینی پراکنش کمترین بارش را در دشت نیشابور خراسان رضوی تخمین نمودند. در آذرماه ۸۷-۱۳۸۶ داده‌های زمینی، میانگین بارش را ۰/۳۸ میلی‌متر و پراکنش آن را در محدوده

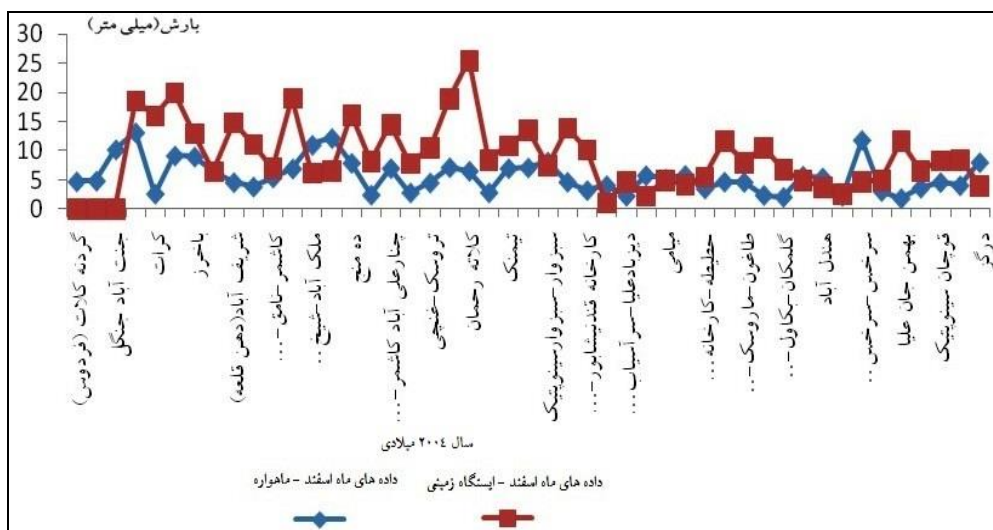
شکل ۴- نقشه‌های پهنه‌بندی (تحلیل منطقه‌ای) داده‌های ماهواره‌ای و زمینی را در ماه‌های مختلف سال ۸۷-۱۳۸۶



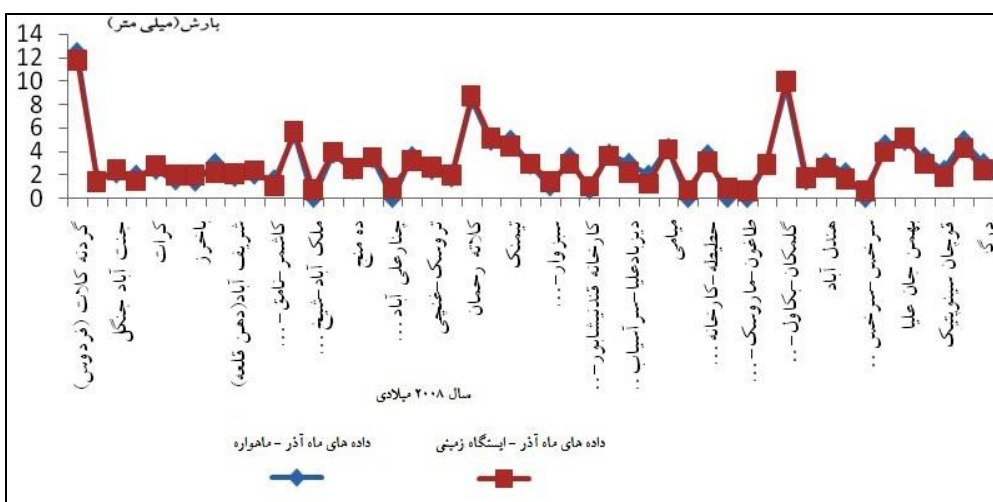
شکل ۴- نقشه‌های پهنه‌بندی (تحلیل منطقه‌ای) داده‌های ماهواره‌ای و زمینی را در ماه‌های سال ۸۷-۱۳۸۶ (۲۰۰۸ میلادی)

گایرولا (Prakash and Gairola, 2013) انطباق دارد. این در حالی است که در این پژوهش چند واقعه و در بازه ۱۰ ساله انطباقی در حدود ۷۳ درصد بین داده‌های زمینی و ماهواره‌ای به صورت بررسی ماهانه بدست آمد. شکل ۵ و ۶ مقایسه نقطه‌ای داده‌های بارش حاصل از ماهواره راداری TRMM و ایستگاه‌های زمینی را به صورت مقایسه نقطه‌ای در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ نشان می‌دهد.

لازم به ذکر است در تحقیقی که داده‌های همدید در غرب کشور با داده‌های TRMM تنها برای یک واقعه مانند ۶ دی‌ماه سال ۱۳۸۵ مورد بررسی قرار گرفته، میزان انطباق داده‌ها در حدود ۷۳ درصد اعلام شده است که با مطالعات میرحیمی و فیضی زاده (۱۳۸۷)، عسکری و همکاران (۱۳۸۶)، بارانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) و جوان (۱۳۹۲) در ایران و مطالعات شارما (Sharma, 2003) و پراکاش و



شکل ۵- مقایسه نقطه‌ای میانگین داده‌های بارش ماهواره و ایستگاه‌های زمینی اسفند ماه سال ۲۰۰۴ میلادی (۸۳-۱۳۸۲ شمسی)



شکل ۶- مقایسه نقطه‌ای میانگین داده‌های بارش ماهواره و ایستگاه‌های زمینی آذر ماه سال ۲۰۰۸ میلادی (۸۷-۱۳۸۶ شمسی)

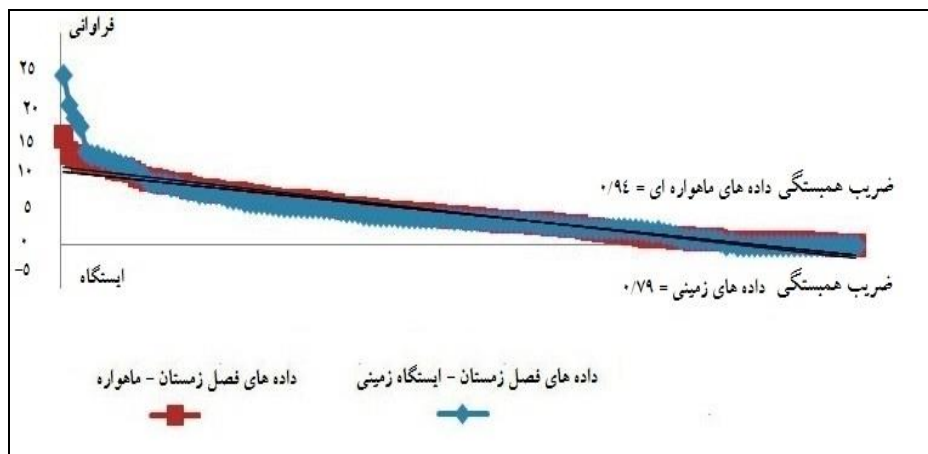
تجزیه و تحلیل داده‌های ماهواره‌ای و زمینی بر حسب فصل و سال ۲۰۰۱ میلادی (۸۰- ۱۳۷۹ شمسی)

اختلاف مقدار میانگین بارش، حداکثر ۴/۰۳ میلی‌متر و حداقل ۰/۰۱ میلی‌متر در ماه است. بیشترین هم‌خوانی

با مقایسه منطقه‌ای (سطحی) داده‌ها و رسم نقشه‌های پهنه‌بندی مشخص گردید که در اکثر نقشه‌ها، تخمین مقادیر حداکثر و متوسط بارش هم‌خوانی زیادی داشته است که با مطالعات پراکش و گابرولا (Prakash and Gairola, 2013) در مناطق گرمسیری اقیانوس هند انطباق دارد.

بارش ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی را در فصل زمستان سال ۲۰۰۱ میلادی (۸۰-۱۳۷۹ شمسی) نشان می‌دهد.

داده‌های زمینی و داده‌های ماهواره در فصل زمستان در حدود ۷۵ درصد و کمترین هم‌خوانی مربوط به فصل پائیز و در حدود ۴۰ درصد می‌باشد. شکل ۷ میانگین داده‌های

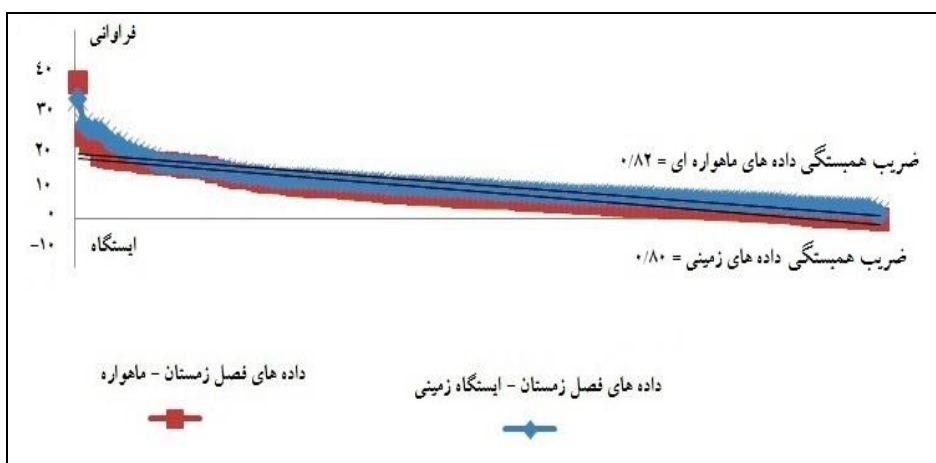


شکل ۷- میانگین داده‌های بارش ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی در فصل زمستان سال ۲۰۰۱ میلادی (۸۰-۱۳۷۹ شمسی)

مربوط به شرق و جنوب شرقی بوده است. کمترین هم‌خوانی داده‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای در فصل پائیز و بیشترین هم‌خوانی در فصل زمستان می‌باشد. شکل ۸ میانگین داده‌های بارش ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی را در فصل زمستان سال ۲۰۰۴ میلادی (۸۳-۱۳۸۲ شمسی) نشان می‌دهد.

سال ۲۰۰۴ میلادی (۸۲-۱۳۸۳ شمسی)

اختلاف مقدار میانگین بارش، حداکثر ۳/۱۹ میلی‌متر و حداقل ۰/۵۸ میلی‌متر در ماه است. در تمام فصول داده‌های ماهواره‌ای تخمین بیشتری ثبت شده است. در تمام فصول، توزیع مکانی میانگین بارش داده‌های زمینی در نواحی جنوبی خراسان رضوی و پراکنش بیشترین مقادیر بارش



شکل ۸- میانگین داده‌های بارش ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی در فصل زمستان سال ۲۰۰۴ میلادی (۸۳-۱۳۸۲ شمسی)

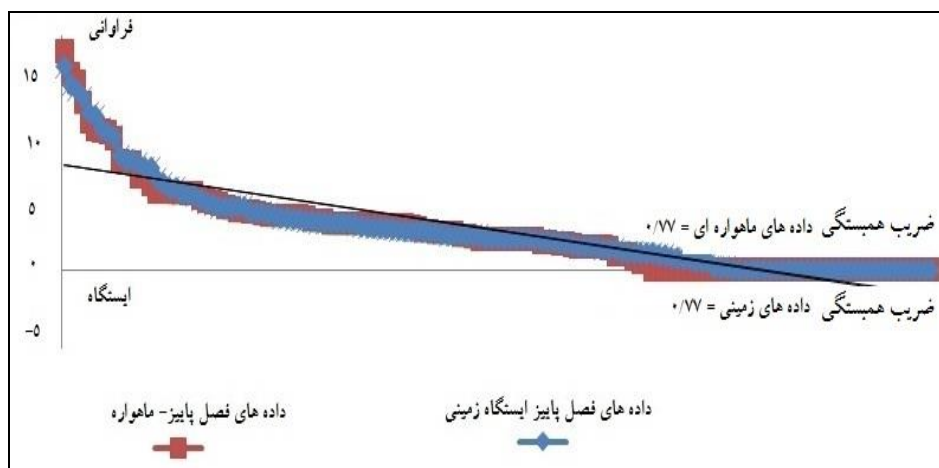
داده‌های زمینی تخمین بیشتری نشان دادند. بیشترین مقادیر بارش در توزیع مکانی داده‌های زمینی در نواحی مرکزی خراسان رضوی، مربوط به دشت گناباد و مشهد بوده است.

سال ۲۰۰۸ میلادی (۸۷-۱۳۸۶ شمسی)

اختلاف مقدار میانگین بارش، حداکثر ۱/۷۱ میلی‌متر و حداقل ۰/۰۷ میلی‌متر در ماه است. در تمام فصول سال،

سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۴ بوده است. شکل ۹ میانگین داده‌های بارش ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی را در فصل پاییز سال ۲۰۰۸ میلادی (۸۷-۱۳۸۶ شمسی) نشان می‌دهد.

بیشترین مقادیر بارش در توزیع مکانی میانگین بارش داده‌های ماهواره مربوط به جنوب شرقی استان خراسان رضوی بوده است. هم‌خوانی مقادیر میانگین بارش داده‌های زمینی و داده‌های ماهواره در سال ۲۰۰۸ بسیار بیشتر از



شکل ۹- نمودار میانگین داده‌های بارش ماهواره و ایستگاه‌های زمینی فصل پاییز سال ۲۰۰۸ میلادی (۸۷-۱۳۸۶ شمسی)

نتایج قابل قبولی حاصل خواهد شد که می‌توان از این داده‌ها در پژوهش‌های آب و هوا شناسی بهره برد. درخصوص داده‌های ماهانه، مشخص گردید که اطلاعات حاصل از ماهواره با داده‌های زمینی در توزیع زمانی و مکانی، هم‌خوانی معناداری به ویژه در ماه‌های پر بارش استان خراسان رضوی مانند آذر، اسفند و فروردین ماه داشته است. اختلاف مقدار بارش میانگین حداکثر ۶/۵۴ میلی‌متر در ماه بود و در شبکه‌هایی که متشکل از چند ایستگاه زمینی بود، این اختلاف میانگین بارش به کمترین مقدار خود رسید. این در حالی است که با عملیات کالیبراسیون می‌توان به اختلاف میانگین بارش کمتری نیز دست یافت.

بررسی فصلی داده‌های حاصل از ماهواره TRMM با داده‌های زمینی با توزیع زمانی و مکانی نشان داد که هم‌خوانی معنادار و بسیار زیادی بین داده‌ها به خصوص در فصول پاییز و زمستان وجود دارد. لازم به توضیح است حتی در فصول کم‌بارش که ایستگاه‌های زمینی هیچ داده‌ای ثبت نکرده‌اند، ماهواره TRMM مقادیر قابل توجهی برای برخی ارتفاعات هم‌چون هزارمسجد و بینالود ثبت نموده بود.

بررسی فصلی داده‌های حاصل از ماهواره TRMM با داده‌های زمینی با توزیع زمانی و مکانی نشان داد که هم‌خوانی معنادار و بسیار زیادی بین داده‌ها به خصوص در فصول پاییز و زمستان وجود دارد (انطباق با مطالعه ژانگ و همکاران (Zang et al., 2011) و واریکدن و همکاران (Varikoden et al., 2007) لازم به توضیح است حتی در فصول کم‌بارش که ایستگاه‌های زمینی هیچ داده‌ای ثبت نکرده‌اند، ماهواره TRMM مقادیر قابل توجهی برای برخی ارتفاعات هم‌چون هزارمسجد و بینالود ثبت نموده بود.

نتیجه‌گیری

در ارتباط با مقایسه نقطه‌ای بارش روزانه اطلاعات حاصل از ماهواره با داده‌های زمینی که با محوریت توزیع زمانی صورت پذیرفت، مشخص گردید که توزیع مکانی داده‌ها در دشت‌های نیشابور و مشهد هم‌خوانی بهتری از سایر نقاط در دشت‌های دیگر داشته که علت آن تراکم زیاد ایستگاه‌های زمینی در این دشت‌ها بوده است. در صورتی که اطلاعات حاصل از داده‌های ماهواره، قادر به تخمین دقیق مقدار بارش روزانه به صورت نقطه‌ای نبودند. لذا اگر اطلاعات حاصل از ماهواره با داده‌های زمینی ترکیب شوند،

2. Alizadeh, A., 2015, the Principles of Applied Hydrology, University of Imam Reza Press. 942 p.
3. Askari, Q., Poorbagheri, M., and Mobaraki, Z., 2008, TRMM satellite rainfall data validation obtained from automatic weather stations, http://www.civilica.com/Paper-GEO87-GEO87_023.html. 9 p.
4. Baranyzadh, A., paramedic, M.b., and Abedini, Y., 1390, Evaluation of satellite rainfall data with ground-based observations TRMM-3B43 using high-resolution recipitation networks (APHRODIT) in the second national conference on applied research in water resources of Iran, Zanjan University, May 29-28, 8 p.
5. Barnes, W. L., Barnes R. A., and Holmes, A. W., 1996, Characterization and calibration results from the Visible and Infrared Scanner(VIRS) for he Tropical Rainfall Measuring Mission(TRMM). SPIE, 2957, pp,266-276.
6. Bitew, M. M. and Gebremichael M., 2009, Evaluation Through Independent Measurements.
7. Chai, T., and R. R. Draxler, R. R. 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? Arguments against avoiding RMSE in the literature, *Geosci. Model Dev*, 7: 1247-1250. doi:10.5194/gmd-7-1247-2014.
8. Davidović, N., Prolović, V., and Stojić, D. 2010, Modeling of soil parameters spatial uncertainty by geostatistics. *Journal of Facta Universitatis*, 8: 111-118.
9. ESRI Arc Map, Copy Right 1999-2010, 380 New York Street, Redlands, CA 92373-8100, USA.
10. Fakhire, A., Zilaie, M. N., 2014, Comparison of Different Kriging Methods to Estimate the Tree Density. A Case Study: West of Karkheh in Southwest of Iran. *ProEnvironment/ProMediu*, No, 7, 20 p.
11. Ghafourian, H., Sanaeinejad, S.H., Davari, K., 2014, Investigation of Suitable Regions Determination for Drought Monitoring Using TRMM Satellite Data (Case Study: Khorasan Razavi Province), *Journal of Water and Soil*, No, 28, Vol, 3, pp. 639-648
12. Hajimirrahimi, M., Feizizadeh, b., 2008, Accuracy in estimating the TRMM precipitation radar data and ground, http://www.civilica.com/Paper-GEO87-GEO87_061.html, 7 p.
13. Hassanipak, A. A., 2015, Geostatistic. University of Tehran press. 328 p.

با مقایسه منطقه‌ای (سطحی) داده‌ها و رسم نقشه‌های پهنه‌بندی مشخص گردید که در اکثر نقشه‌ها، تخمین مقادیر حداکثر و متوسط بارش هم‌خوانی زیادی داشته است. علاوه بر آن، صحت‌سنجی در خصوص داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی با استفاده از یک سوم داده‌های موجود بیانگر نزدیکی داده‌های ماهواره با واقعیت زمینی است. با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش، تعدادی پیشنهاد به شرح زیر ارائه می‌شود:

- هرچه دوره زمانی مورد مطالعه طولانی‌تر باشد، اطلاعات حاصل از ماهواره نیز هم‌خوانی بیشتری با داده‌های زمینی نشان می‌دهد و از این موضوع می‌توان جهت پیش‌بینی میزان بارش و هشدار در مورد باران‌های سیل‌زا و کاهش خسارات، منابع آبی، مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا و حتی تغییر اقلیم استفاده نمود.

- هر چه منطقه مطالعاتی وسیع‌تر و گسترده‌تر باشد، کارایی و دقت داده‌های ماهواره بیشتر خواهد بود. ماهواره TRMM قدرت تفکیک مکانی ۵ درجه تا ۵ درجه را هم دارد.

- با توجه به اینکه اطلاعات حاصل از ماهواره TRMM نتایج قابل قبول در ارتفاعات در اختیار ما قرار داد، می‌تواند در سایر مناطق کوهستانی دیگر برای بررسی‌های آب و هوایی و مدیریت منابع آب سطحی کاربرد بهتری داشته باشند.

سپاسگزاری

این تحقیق، رایبه بخشی از نتایج پایان‌نامه کارشناسی ارشد، در گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد. لذا از زحمات بی دریغ، خالصانه، همراه با هدایت مکرر و عالمانه اساتید محترم و گرامی، کمال تشکر و سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

1. Akbari, M., Ownegh, M., Asgari, H.R., Sadoddin, A., and Hasan Khosravi, H., 2016, Drought Monitoring based on the SPI and RDI Indices under Climate Change Scenarios (Case Study: Semi-Arid Areas of West Golestan Province), *ECOPERSIA*, Vol. 4, No. 4, pp. 1585-1602.

- rainfall estimates with a highdensitygauge dataset for west africa. part II, validation of TRMM rainfall products. *Journal of Applied Meteorology*, No, 42, pp. 1355-1368.
24. Pyrcz, M. J., and Deutsch, C.V., 2014, *Geostatistical Reservoir Modeling*. 2nd ed. Oxford University Press. New York. 433 p.
 25. Robinso, M., Kulielt M. S., 2000, Improvements to TRMM Ground Validation Rainfall Estimates.2000, *Phys. Chem. Earth* , No, 25, pp. 971-976.
 26. Sharma, S., 2003, study of Precipitating systems by doppler weather radar and TRMM precipitation radar, Department of Physics, Kohima Science College, Jotsoma, Kohima, Nagaland, India- 797 002.
 27. Satya Prakash, R., Gairola, M., 2013, Validation of TRMM-3B42 precipitation product over the tropical Indian Ocean using rain gauge data from the RAMA buoy array.
 28. TRMM Data Users Handbook, National Space Development of Japan, 2001, Landsat Technical guide, GLCF, University of Maryland
 29. Varikoden. H., Samah, A. A., and Babu.C. A., 2007, Spatial and temporal characteristics of rain intensity in the peninsular Malaysia using TRMM rain rate.
 30. Wielicki, B. A., Barkstrom, B. R., Harrison, E. F., Lee, R. B., Smith, G. L., and Cooper, J. E., 1996, Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES): An earth observing system experiment. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, No, 77, pp. 853-868.
 31. Wolff, D. B., Marks, D. A., Amitai, E., Silberstein, D. S., Fisher, B. L., Tokay, A., Wang, J., and Pippitt, J. L., 2000, Ground Validation for the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM).
 32. Zare abyaneh, H., Ghabaei Sough, M., and Mosaedi, A., 2015, Drought Monitoring Based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) Under the Effect of Climate Change, *J. Water Soil*, No, 29, Vol, 2, pp. 384-392.
 33. Zang, W. B., Ruan B. Q., Li, J.G. and Huang, S. F., 2011, Analysis of extraordinary meteorological drought in Southwest China by using TRMM precipitation data. *Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research*, No, 8, pp. 97-106.
 14. Hohn, M., 2013, *Geostatistics and petroleum geology*. Springer Science & Business Media, 243 p.
 15. <http://www.irimo.ir/services/climate>
 16. Javan, Kh., Sari Saraf, B., Rasouli, A. A., Erfanian, M., 2013. Comparative evaluation of satellite data and ground data in estimating rainfall in the catchment area of Lake Urmia, PhD Dissertation, Tabriz University, 148 p.
 17. Javanmard, S., Golestani, S., and Abedini, Y.A., 2011, Study on spatial and temporal distribution of rainfall rate on Iran using satellite data from TRMM-TMI, National Conference on climate change and its impact on agriculture and the environment, http://www.civilica.com/Paper-NCCCIAE01-NCCCIAE01_228.html. 6 p.
 18. Kawanishi, T., Kuroiwa, H., Kojima, M., Oikawa, K., Kozu, T., Kumagai, H., kamoto, K., Okumura., N. M., Nishikawa, K., 2000, TRMM Precipitation Radar. *Adv. Space Res.*, No,25, pp. 969-972.
 19. Kouhi, M., Sanaeinejad, S. H., and Amini, M., 2017, The effect of the different ETo estimation methods on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation in several climatic zones of Iran, *Journal of Climate Research*, No, 3, Vol, 12, pp.47-66.
 20. Li, B.G., Ran, Y., Cao, J., Liu, W.X., Shen, W.R., Wang, X.J., Coveney, R.M., and Tao, S., 2007, Spatial structure and analysis and kriging of Dichlorophenyltrichloroethane residues in topsoil from Tianjin, China. *Journal of Geoderma*, No, 141, Vol, 1-2, pp. 71-77.
 21. Makhdoum, M. F., Darvishsefat, A. A., Jafarzadeh, H., and Makhdoum, A. F., 2013, *Environmental Evaluation and Planning by Geographic Information System*. Tehran University Press. 304 p.
 22. Motkan, A. A., Shakiba, A. R., Ashourlo, D., Bodaghii Jamali, J., and Mohamadian, W., 2009, Capability of the combined infrared and passive microwave remote sensing and monitoring rainfall and flood estimation (Case study: Golestan Province), *Journal of Remote Sensing and GIS Iran*, No, 1, Vol, 2, pp.31-44.
 23. Nicholson, S. E., Some, B., Mccollum, J., Nelkin, E., Klotter, D., Berte, Y., Diallo, B. M., Gaye, I., Kpabeba, G., Ndiaye, O., Noukpozoukou, J. N., Tanu, M. M., Thiam, A., Toure, A. A., and Traoren, A. K., 2003, Validation of TRMM and other