



اعتبارسنجی رادار داپلر در برآورد بارش‌های شدید روزانه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

میرکامل حسینی¹، هاشم رستم‌زاده^{2*} سعید جهانبخش اصل³ محمد امیدفر⁴

1- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه، تبریز، تبریز، ایران

2- دانشیار گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

3- استاد گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

4- رئیس پیش‌بینی اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی، تبریز، ایران

تاریخ پذیرش: 1401/10/28

تاریخ دریافت: 1401/08/16

چکیده

بارش مهم‌ترین عاملی است که در چرخه‌ی هیدرولوژی، دخالت مستقیم دارد. به دست آوردن اطلاعات دقیق بارش‌های شدید، برای تحلیل پدیده‌های گوناگون هیدرولوژیکی امری ضروری است. توفان‌های تندی سیلاب ساز در نواحی شمال غربی ایران بویژه حوضه دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر سبب جاری شدن سیل در این مناطق شده و خسارت‌های شدیدی از نظر جانی و مالی ایجاد کرده است. رادارهای هواشناسی توان اندازه‌گیری شدت بارش با تفکیک مکانی و زمانی مناسب برای محدوده وسیعی از حوضه‌ها را دارا می‌باشند. هدف از این تحقیق، بررسی میزان دقت داده‌های بارش‌های شدید (بارش‌های 25 میلی‌متر به بالا) رادار هواشناسی تبریز در یک دوره 8 ساله (2014-2021) و مقایسه آن‌ها با داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک در حوضه دریاچه ارومیه می‌باشد. برای مقایسه و ارزیابی بین داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و رادار از آماره‌هایی نظیر، ضریب همبستگی (R) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. مقایسه نقشه‌های حاصل از رادار داپلر و ایستگاه‌های سینوپتیک نشان داد که توزیع فضایی بارش حاصل از دو پایگاه داده یکسان نبوده و نواحی کم بارش و پربارش منطبق بر یکدیگر نیستند، به طوری که ضریب همبستگی بین بارش رادار و مشاهده شده 0/25 می‌باشد. همچنین نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنوف نشان داد که با توجه به اینکه p-value حاصل شده (0/000) عددی کوچک‌تر از مقدار خطای آزمون (0/05) است، پس اختلاف بین داده‌های بارش رادار و مشاهدات زمینی معنی‌دار است. در واقع مقادیر بارش ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی و رادار نتیجه واحدی را ارائه نمی‌دهند و هر دو جامعه آماری از توزیع یکنواختی برخوردار نیستند بنابراین داده‌های بارش رادار نمی‌تواند به جای داده‌های بارش ایستگاه‌ها استفاده شود.

کلمات کلیدی: آزمون آماری، بارش شدید، هیدرولوژی، رادار هواشناسی تبریز، حوضه آبریز دریاچه ارومیه.

1- مقدمه

بارش متغیری است که مقدار، شدت و نوع آن، در ابعاد مکانی و زمانی تغییر می‌کند (رزمی و همکاران، 1397: 91). بارش یکی از متغیرهای اصلی برای طیف گسترده‌ای از برنامه‌های هیدرولوژیکی، هواشناسی و مدل‌های آب و هوایی است (کین و همکاران¹، 2014، 650). بنابراین، برای طراحی، برنامه ریزی و مدیریت کارآمد این سیستم‌ها، که بسیاری از آن‌ها به اطلاعات کمتر از یک ساعت نیاز دارند، درک کامل شدت، مدت و فراوانی بارندگی‌های شدید در ارتباط با مدیریت منابع آب، پیش‌بینی سیل و هشدار سریع، عاملی بسیار مهم و ضروری است. (سان و همکاران²؛ 2018؛ تان و همکاران³؛ 2017؛ پراکاش و همکاران⁴؛ 2016). بارندگی شدید تهدیدات قابل توجهی برای سیستم‌های طبیعی و انسانی ایجاد می‌کند (پوشمان و همکاران⁵، 2021: 1195). پیش‌بینی می‌شود که فراوانی و بزرگی بارندگی‌های شدید در آینده افزایش یابد، به‌ویژه در مقیاس‌های زمانی کمتر از یک روز که منجر به رخداد بیشتر سیلاب‌های ناگهانی و رودخانه‌ای و رانش زمین می‌شود (دائو و همکاران⁶، 2020: 1). شناسایی و بررسی دقیق و ثبت رویدادهای بارش‌های شدید دشوار است. چرا که اینگونه بارش‌ها به ندرت رخ می‌دهند و تفکیک مکانی-زمانی و پوشش اطلاعاتی در مورد آن‌ها به طور کلی محدود است. مشکلات مربوط به مشاهدات باران سنج‌ها و تجزیه تحلیل آن‌ها ناشی از آن است که بیش از 50 درصد از رویدادهای شدید بارشی مشاهده شده، به ویژه در داده‌هایی با وضوح زمانی بالاتر، نادیده گرفته می‌شوند. محصولات سنجش بارش از دور با وضوح مکانی و زمانی بالا مانند آنچه که توسط رادار، ماهواره یا شبکه‌های پیوند مایکروویو ارائه می‌شوند ممکن است چنین مشکلی را حل کنند (لنگفلد و همکاران⁷، 2020: 2). رادارهای هواشناسی برای ثبت تغییرپذیری فضایی بارش‌های شدید، از جمله رویدادهایی با وسعت فضایی محدود، سیستم‌های مناسب در نظر گرفته می‌شوند (بورگا و همکاران⁸، 2008: 3884). داده‌های رادار روز به روز قابل دسترس‌تر می‌شوند و در تجزیه و تحلیل طوفان‌های همراه با بارش‌های شدید استفاده می‌شوند (هابرلند و برندت⁹، 2016: 81). مزیت اصلی استفاده از داده‌های رادار، ارائه تصویری کامل از رویدادهای بارش‌های شدید در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف است، زیرا بسیاری از رویدادهای بارش‌های شدید کوتاه مدت در مقیاس کوچک توسط شبکه معمولی بارش‌سنج‌ها ثبت نمی‌شوند از این رو، برآوردهای طوفان‌های همراه با بارش‌های شدید بر اساس داده‌های رادار، تصور می‌شود که تصویر فضایی قابل اعتمادتری نسبت به داده‌های ایستگاه درون‌یابی ارائه کنند (لنگفلد و همکاران¹⁰، 2019: 363). مطالعات زیادی در ارتباط با داده‌های رادار هواشناسی در اندازه‌گیری و تخمین

1- Qin, Y. et al.

2- Sun, W., & et al.

3- Tun, M., & et al.

4- Prakash, S., & et al.

5- Poschman, J., & et al.

6- Dao, D., & et al.

7- Lengfeld, K., & et al.

8- Borga, M., & et al.

9- Haberlandt & Berndt

10- Lengfeld & et al.

مقدار بارش صورت گرفته‌اند که به طور نمونه به مواردی از آن‌ها اشاره می‌شود: در تحقیقی در کشور آلمان به اعمال تصحیح بایاس برای ادغام داده‌های باران‌سنج و رادار پرداخته و به این نتیجه رسیدند که پس از اجرای تصحیح بایاس، نه تنها کیفیت داده‌های رادار بهبود یافت، بلکه عملکرد روش‌های درون‌یابی با استفاده از داده‌های رادار به عنوان اطلاعات اضافی نیز بهبود حاصل کرد و به طور کلی استفاده از داده‌های راداری اصلاح شده بایاس، در هیدرولوژی و هواشناسی بهتر از سایر روش‌های درونی‌یابی عمل می‌کنند (ربیعی و هابرلند، 2015: 545). در کشور سوئیس تجزیه و تحلیل بارش شدید منطقه‌ای بر اساس داده‌های راداری 10 ساله برای 159 منطقه برای هشدارهای رسمی خطرات طبیعی انجام گرفته است که نامبردگان سیستم Nowcasting را با هدف صدور هشدارهای بارش شدید برای مناطق کوچک شهری، حوضه‌های آبریز کوهستانی دورافتاده یا کاربران دیگر، ارائه داده‌اند (پانزیرا و همکاران، 2016: 2319). در ایالات متحده آمریکا با استفاده از مشاهدات بین رادار بارش دو فرکانسی GPM و رادارهای دو قطبی زمینی به اعتبارسنجی متقابل آن‌ها پرداخته شده است. نتایج تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته نشان دادند که بازتابنده‌های DPR Ku و Ka-band به خوبی با رادار زمینی با ضریب همبستگی تا 0/9 برای باند Ku و 0/85 برای باند Ka مطابقت داشته‌اند. نتیجه نهایی حاکی از آن بود که هر چند DPR میزان بارش بیشتری را در موارد همرفت کمتر از حد برآورد می‌کند، ولی عملکرد کلی آن رضایت بخش است (بیسواس و چاندرسکار، 2018). مقایسه بین بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی، رادار و ماهواره GPM برای تخمین عملکرد مدل‌سازی بارش-رواناب در یک حوضه آبریز کوهستانی در لهستان نشان داده که برای مدل‌سازی مبتنی بر رویداد سیل، تخمین بارش رادار منظم بوده و تخمین بارش ماهواره GPM می‌تواند قابل اطمینان‌ترین منابع داده بارش باشد (گیلوسکی و ناوالانی، 2018: 1773). در مطالعه‌ای به تخمین میزان بارش رادار در مراکش پرداخته‌اند. ارزیابی صحت برآورد بارش رادار در منطقه مورد مطالعه نشان داده که در مقایسه با دستگاه باران‌سنجی میزان بارش کمتر از حد برآورد شده است ولی تنظیم مدل و اعتبارسنجی در برابر داده‌های باران‌سنجی تأثیر مثبتی داشته و بهبود قابل توجهی در ساختار و شدت بارش با توجه به بارش‌های بارانی ثبت شده صورت گرفته است (سهلویی و مردانه، 2019: 2). در تحقیقی از داده‌های رادار برای توصیف بارندگی شدید در مقیاس‌های کوچک و کوتاه مدت در آلمان استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که بارش حاصل از شبکه رادار آلمان با وضوح مکانی 1 کیلومتری، ضرورت رادارها را برای مشاهده بارش شدید کوتاه مدت (1-6 ساعت) نشان می‌دهد و نیز عنوان کردند که فقط 17/3٪ از رخدادهای بارشی سنگین ساعتی این کشور از سال 2001 تا 2018 توسط شبکه ایستگاه باران‌سنجی ضبط شده‌اند. این مورد با

مطالعه مشابهی با استفاده از داده‌های شبکه رادار انگلیس برای سال 2014 مشخص شده است که، رخداد باران‌های سنگین ساعتی (روزانه) که توسط شبکه رادار شناسایی شده‌اند، فقط 36/6٪ از آن‌ها، توسط ایستگاه‌های باران سنجی نیز، اندازه‌گیری و ثبت شده‌اند. این موضوع بر اهمیت مشاهدات رادار هواشناسی با وضوح بالا را برای حل رخداد‌های بارشی در مقیاس کوچک تأکید می‌کند (لنگفلد و همکاران¹، 2020). در پژوهشی ویژگی‌های رویداد ناگهانی یک بارش شدید را که در مناطق ناهموار واقع در جنوب‌غربی چین توسط ماهواره و رادار هواشناسی داپلر، مشاهده شده بود انجام داده‌اند. تجزیه و تحلیل سازوکار شکل‌گیری رویداد‌های این بارش شدید ناگهانی، نشان داد که بارش از نوع توپوگرافیک (صعودی) در منطقه گرم و مرطوب رخ داده است، در حالی که مکانیزم بارش از نکته نظر بررسی سینوپتیکی جو حاکی از آن است که این بارش به دلیل همگرایی محلی و نفوذ زبانه سرد رخ داده است (لی و همکاران²، 2020: 2). ارزیابی محصولات GPM و تخمین کمی بارش رادار (QPE³) با استفاده از مشاهدات باران‌سنجی متراکم در منطقه خلیج بزرگ گوانگدونگ در چین نشان داد که هم محصولات GPM و هم QPE می‌توانند توزیع فضایی بارش را با دقت منعکس کنند. در میان این نتایج، توزیع فضایی QPE بیشترین سازگاری را با میزان بارش واقعی دارد، با این حال، QPE دارای اثرات تشخیص بهتری برای حوادث بارشی در شرایط طوفان‌های سنگین است، که نشان‌دهنده‌ی کاربرد هیدرولوژیکی این محصول می‌باشد (لی و همکاران⁴، 2020). در تحقیقی با استفاده از تصاویر رادار تبریز، شدت، مدت و نوع طوفان‌های تندری سیلاب‌ساز در استان آذربایجان شرقی را بررسی شده و برای تشخیص نوع، مدت و شدت طوفان تندری از تصاویر پیشینه بازتاب راداری و سطح مقطع قائم آن استفاده کرده‌اند. نتایج بررسی‌ها نشان دادند که اکثر طوفان‌های تندری سیلاب‌ساز در منطقه تحت پوشش رادار تبریز در استان آذربایجان شرقی از نوع تک سلولی و چندسلولی بوده که پس از حرکت و ادغام با یکدیگر تشکیل سلول‌های پیچیده را می‌دهند (ارکیان و همکاران، 1393: 52). تحلیل بارش‌های شدید روزانه حوضه آبریز دریاچه ارومیه در ارتباط با پردازش متناظر محصولات رادار داپلر و تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی نشان داد که با توجه به تفاوت موقعیت ثبت یا برآورد بارش سنجنده‌های مورد مطالعه، پهنه‌بندی هسته‌های پیشینه بارش‌های شدید منتخب نیز نسبت به فصول سال متفاوت بوده و ضریب همبستگی بین بارش‌های رادار و مشاهده شده در تاریخ مورد بررسی بین 0/16 تا 0/85 متفاوت می‌باشد و از همبستگی یکنواخت و بالایی برخوردار نیستند (امیدفر، 1396). در تحقیقی به کارایی رادار داپلر با استفاده از داده‌های بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه برای بارش اتفاق افتاده در مهرماه 1393 پرداخته‌اند. نتایج مطالعه نشان داد که رادار داپلر می‌تواند با دقت نسبتاً بالا و دید وسیع، ابزار مناسبی در جهت برآورد بارش باشد، اما در مناطق کوهستانی و مرتفع (مانند منطقه مورد مطالعه)،

1- Lengfeld & et al.

2- Li, X., & et al.

3- quantitative precipitation estimation

4- Li, S., & et al.

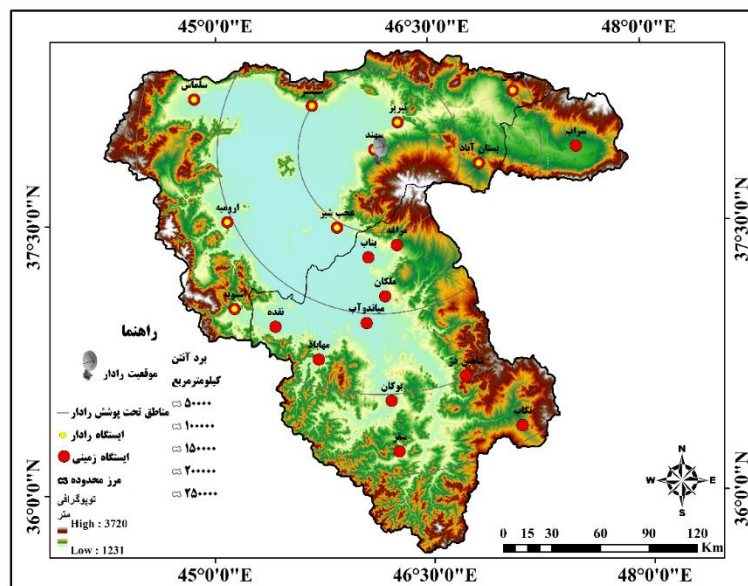
با توجه به اثر مسدود کنندگی امواج، در برخی نواحی مقدار خطا افزایش می‌یابد (رسولی و همکاران 1399). طوفانی نژاد و همکاران (1388)، یوسفی (1391)، قرابیگلی (1392)، میرزایی (1392)، اوجاقلو شهبابی (1395)، صوری (1396)، صلاحی و همکاران (1398)، صفرپور و همکاران (1398) و کریم‌خانی و همکاران (1399) با استفاده از داده‌های بارش رادار هواشناسی داپلر به مقایسه با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و شبیه‌سازی بارش و رواناب در حوضه‌های مختلف کشور پرداختند. بررسی مطالعات انجام یافته این است که میزان بارش اندازه‌گیری شده توسط رادار با میزان بارش دریافت شده در سطح زمین تفاوت دارد. این اختلاف علل متعددی دارد که برخی از آن‌ها به ماهیت رادار و برخی دیگر به شرایط آب و هوایی، شرایط زمانی و مکانی هر منطقه و ویژگی‌های سطح زمین بستگی دارد. در حالت کلی رادار داپلر مقدار بارش را کمتر از ایستگاه‌های هواشناسی برآورد می‌کند. از مهم‌ترین اهداف پژوهش حاضر می‌توان به اثبات کاربردی نمودن ابزار سنجش از دور در تحلیل بارش‌های شدید حوضه‌های آبریز، بویژه استفاده از ابزار بسیار مفید رادار داپلر اشاره نمود. فناوری جدید رادار هواشناسی به دلیل دارا بودن مقیاس مناسب قدرت تفکیک مکانی 1000 متر و تفکیک زمانی 15 دقیقه‌ای، می‌تواند به عنوان یک ابزاری سودمند سنجش از دور در کاهش خسارات وارده بسیار مفید و کارا باشد. البته وجود مشکلات متعدد در مورد پژوهش‌های کاربردی رادار داپلر تبریز از جمله، فرمت پیچیده داده‌های خام، قطعی رادار و عدم وجود داده‌های کامل و تأثیر زیاد کوه‌های اطراف در ایجاد خطا، سختی پژوهش دو چندان می‌شود. در کشور ایران همانند منابع خارجی، بیشتر تحقیقات برآورد بارش با استفاده از تصاویر رقومی ماهواره‌ای انجام شده و با توجه به نوپا بودن فن‌آوری رادار داپلر در داخل کشور، مطالعات کمی در مورد رادار داپلر انجام گرفته و به جرات می‌توان گفت خلاء بزرگی در این زمینه مشاهده می‌شود. در این پژوهش داده‌های بارش برآورد شده توسط رادار داپلر با بارش‌های ثبت شده ایستگاه‌های هواشناسی به عنوان داده‌های مشاهداتی مورد ارزیابی قرار گرفت و از آزمون‌های آماری که بیانگر ارتباط و همچنین ارزیابی خطا بین دو سری از داده‌ها هستند، استفاده شد.

2- داده‌ها و روش‌ها

2-1- معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در شمال غرب ایران با مساحت 51876 کیلومترمربع، بین مختصات $35^{\circ} 40'$ تا $38^{\circ} 30'$ عرض شمالی و $44^{\circ} 14'$ تا $47^{\circ} 53'$ طول شرقی واقع شده و یکی از شش حوضه آبریز اصلی کشور است. دریاچه ارومیه بین استان‌های آذربایجان غربی (46٪)، آذربایجان شرقی (43٪) و کردستان (11٪) قرار دارد و به وسیله بخش شمالی کوه‌های زاگرس و دامنه‌های جنوبی کوه سیلان و نیز دامنه‌های شمالی، غربی و جنوبی کوه سهند احاطه شده است و به عنوان بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین

اکوسیستم‌های آبی ایران و جهان به شمار می‌رود (ستاد احیای دریاچه ارومیه، 1394، 2-1). در شکل 1 موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه آبریز دریاچه ارومیه ارائه شده است.



شکل (1): موقعیت منطقه (محدوده) مورد مطالعه

Fig. (1): The study area

2-2- روش تحقیق

در این پژوهش از داده‌های بارش شدید روزانه‌ی (بارش‌های 25 میلی‌متر به بالا با استفاده از صدک 90) 9 ایستگاه سینوپتیک واقع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه در بازه‌ی زمانی 8 ساله از سال 2014 تا 2021 استفاده شده است (جدول 1). ایستگاه‌های دیگر حوضه به دلیل مسدود شدن امواج رادار و فاصله زیاد از رادار، تحت پوشش رادار نبوده و برای این پژوهش انتخاب نشده‌اند. داده‌های بارش روزانه‌ی ایستگاه‌ها و رادار هر دو از سازمان هواشناسی اخذ گردیده‌اند. همچنین برای مقایسه بین میانگین بارش‌ها در دو پایگاه داده‌ای زمینی و رادار از آزمون دو نمونه‌ای کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شده است. مهم‌ترین نرم‌افزارهایی که برای این مطالعه استفاده گردید عبارتند از: ArcMap (برای تشکیل پایگاه داده، تحلیل‌های فضایی زمین آماری و ترسیم نقشه‌ها)، WRADLIB¹ (برای کار با داده‌های خام رادار) و Rainbow (برای پردازش داده‌های رادار). در ادامه داده‌های زمینی به عنوان داده‌های شاهد با کمک مدل‌های آماری مختلف به منظور اعتبارسنجی و صحت

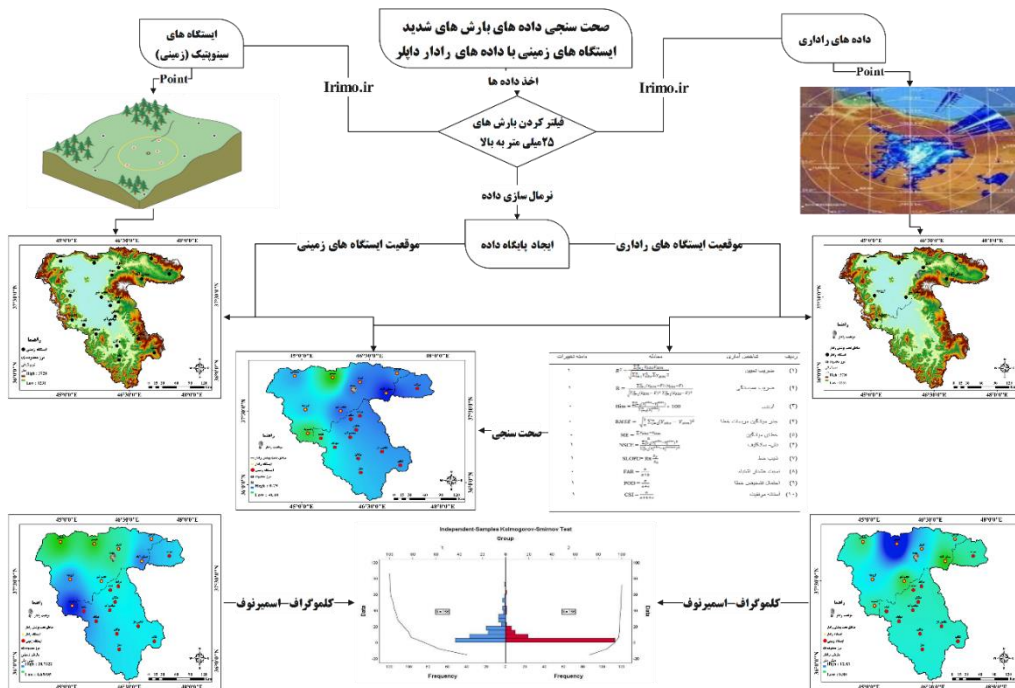
1- Weather Radar Library

سنجی داده‌های راداری مورد ارزیابی قرار گرفته و در نهایت داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و برآورد شده با هم مقایسه گردیده‌اند. در شکل 2 داده‌های بارش باران سنج و رادار مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

جدول (1): ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در این تحقیق

Table (1): Synoptic station for study area

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
1	ارومیه	45° 08'	37° 53'	1335
2	اشنویه	45° 13'	37° 05'	1414
3	بستان آباد	46° 85'	37° 85'	1750
4	تبریز	46° 17'	38° 05'	1364
5	سلماس	44° 76'	38° 18'	1386
6	سهند	46° 07'	37° 56'	1641
7	شبستر	45° 68'	38° 18'	1350
8	عجب‌شیر	45° 85'	37° 50'	1311
9	هریس	47° 10'	38° 25'	1950



شکل (2): فلوجارت مقایسه داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و رادار

Fig. (2): Flowchart comparison data from meteorological and radar stations

2-3- رادار داپلر تبریز

رادار داپلر تبریز یکی از رادارهای شبکه ملی رادار کشور در زمینه هواشناسی است که در منطقه شمال غرب ایران (در محل دانشگاه صنعتی سهند تبریز) نصب و راه اندازی شده است. این رادار از نوع متئور 1500 ساخت شرکت گماترونیک^۱ آلمان است و در باند فرکانسی رادارهای داپلری نوع C کار می کند. محصولات رادار تبریز در تارنمای سازمان هواشناسی کشور و مرکز پیش بینی تبریز به صورت برخط^۲، موجود بوده و در پیش بینی کوتاه مدت جوی و پژوهش های هواشناسی مورد استفاده قرار می گیرند. از مهم ترین کاربردهای رادار می توان به: تشخیص توزیع مکانی، تعیین شدت و مقدار بارش، ردیابی حرکت سامانه های جوی و شناسایی ساختار طوفان اشاره نمود. رادار رخداد بارش را در ناحیه وسیع تحت پوشش، با قدرت تفکیک زمانی و مکانی مناسب برآورد می کند که بر این اساس علاوه بر استفاده از داده های بارش برای مدیریت منابع آب و دیگر کاربردها، امکان آگاهی و اخطار به موقع برای رخداد سیل در یک منطقه وسیع را فراهم می سازد. با استفاده از بازتاب هایی که رادار دریافت می کند، مناطق دارای پتانسیل بارش تشخیص داده می شوند (امیدفر، 1396: 16). در جدول 2 مشخصات رادار هواشناسی تبریز و در جدول 3 شدت بارش برآورد شده با رادار برحسب مقدار ضریب بازتاب ارائه شده اند.

جدول (2): مشخصات رادار هواشناسی تبریز

Table (2): Tabriz weather radar specifications

METEOR 1500C	مدل رادار (دوقطبی)
0 تا 360 درجه	زاویه چرخش افقی
1640 متر	ارتفاع از سطح زمین
-2 تا 182 درجه	زاویه چرخش عمودی
250 کیلو وات	توان ارسالی
به شعاع 200 تا 250 کیلومتر	برد آنتن
8 متر	قطر آنتن
18 متر	ارتفاع دکل رادار
5/62 گیگا هرتز بر ثانیه	فرکانس عملیاتی
قابل تنظیم تا 6 درجه بر ثانیه	سرعت چرخش افقی/قائم

جدول (3): شدت بارش برآورد شده با رادار برحسب مقدار ضریب بازتاب

Table (3): Rainfall intensity estimated by radar according to the value of the reflection coefficient

نوع و شدت بارش	شدت تقریبی بارش (میلی‌متر)	مقدار ضریب بازتاب (برحسب دی سی‌بل)
ابرهای تقریباً بدون بارش	0.2	10
بارش خیلی کم (باران ریزه)	1	20
بارش کم	3	30
بارش متوسط	10	40
بارش شدید، رعد و برق و احتمال پایین وقوع تگرگ	50	50
بارش خیلی شدید، توفان و تگرگ	200	60

2-4- آزمون کلموگروف-اسمیرنوف

جهت مقایسه توزیع فراوانی مقادیر بارش ایستگاه‌های هواشناسی و رادار از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. در جدول (4) داده‌های بارش و رادار با آزمون کلموگروف-اسمیرنوف (فرض H_0 نشان از مطابقت توزیع یکسان مقادیر بارش زمینی با بارش رادار دارد، در حالی که فرض H_1 بیان می‌کند که مقادیر بارش زمینی و بارش رادار توزیع مشابهی ندارند) مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

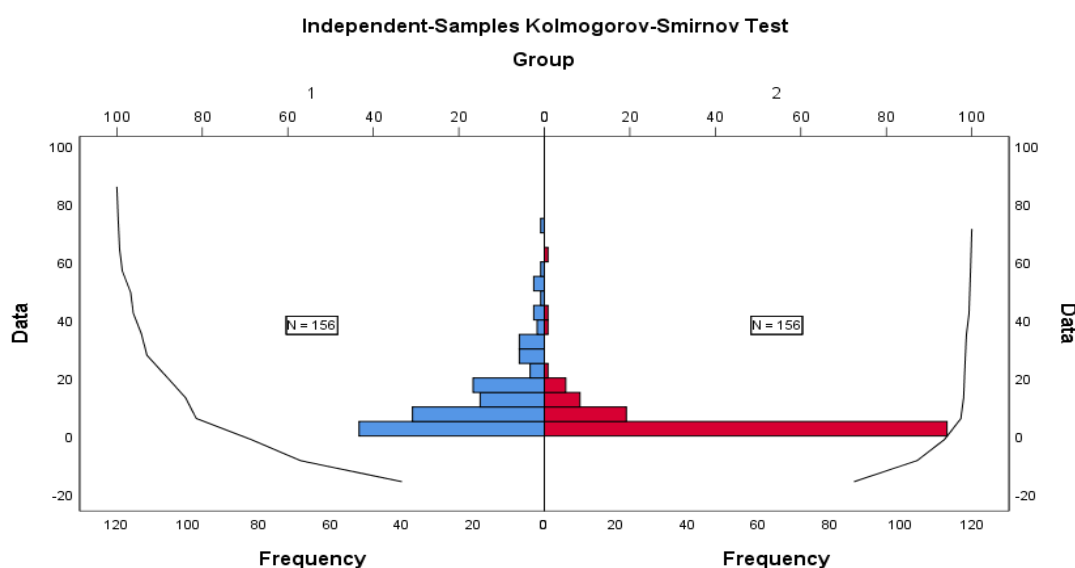
جدول (4): مقایسه داده‌های بارش ایستگاه‌های هواشناسی و رادار با آزمون کلموگروف-اسمیرنوف

Table (4): Comparison of precipitation data meteorological and radar stations using Kolmogorov-Smirnov test

Independent-Samples Kolmogorov-Smirnov Test Summary		
Total N		312
Absolute		.397
Most Extreme Differences	Positive	.032
	Negative	-.397
Test Statistic		3.510
Asymptotic Sig.(2-sided test)		.000

نتایج آماره‌های آزمون کلموگروف-اسمیرنوف نشان می‌دهند که با توجه به اینکه p-value حاصل شده (0/000) عدد کوچکتر از مقدار خطای آزمون (0/05) است، پس اختلاف بین داده‌های بارش ماهواره‌ای و مشاهداتی معنی‌دار است. به عبارت دیگر می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر بارش ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی و رادار نتیجه واحدی را ارائه نمی‌دهند و هر دو جامعه آماری از توزیع یکنواختی برخوردار نیستند و نیز مطابقت نسبی

بین داده‌های مشاهده شده ایستگاه‌های زمینی و رادار وجود ندارد بنابراین داده‌های رادار نمی‌توانند به جای داده‌های بارش ایستگاه‌ها استفاده شوند. در شکل 3 بارش ایستگاه‌های هواشناسی و رادار با آزمون کلموگروف-اسمیرنوف دو نمونه‌ای مقایسه شده‌اند.



شکل (3): مقایسه داده‌های بارش ایستگاه‌های هواشناسی و رادار با آزمون کلموگروف اسمیرنوف

Fig. (3): Comparison of precipitation data meteorological and radar stations using Kolmogorov-Smirnov test

2-5- اعتبارسنجی و صحت‌سنجی داده‌ها

برای ارزیابی دقت و صحت اطلاعات بارش، با هدف بررسی و مقایسه عملکرد داده‌های رادار با داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هواشناسی و میزان توانایی رادار در تشخیص رخداد بارش از اندیس‌های آماری مانند ضریب تعیین (R^2)، ضریب همبستگی (R)، جذر میانگین مربعات خطا¹ (RMSE)، خطای میانگین (ME)، اریبی (Bias) شاخص یا تابع نش ساتکلیف² (NSCE)، شیب خط (Slope)، نسبت هشدار اشتباه³ (FAR)، احتمال تشخیص خطا⁴ (POD) و شاخص آستانه موفقیت⁵ (CSI) استفاده شده است. برای ارزیابی دقت مدل‌های مورد استفاده در شناسایی متغیر بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه، فراوانی روزهای بارشی و غیربارشی برآورد شده توسط هریک از مدل‌ها با فراوانی روزهای بارشی و غیربارشی مشاهداتی هر ایستگاه مورد مقایسه

1- Root Mean Square Error
 2- Nash-Sutcliffe Efficiency
 3- False Alarm Ratio

4- Probability of Detection
 5- Critical Success Index

قرار گرفته است. برای این منظور ابتدا روزهای بارشی و غیربارشی ایستگاه‌ها و رادار به وسیله مدل‌ها به مقادیر صفر و یک تبدیل و سپس فراوانی پیش‌بینی‌های درست و نادرست هر مدل از رویدادهای بارشی و غیربارشی مشاهده‌ای در یک جدول توافقی (cross-tabulation) دو سویه مانند جدول 5 مرتب شد تا امکان مقایسه پیش‌بینی‌های مدل‌ها در برابر داده‌های مشاهداتی فراهم شود. سپس توان هر یک از مدل‌ها در پیش‌بینی درست روزهای بارشی و غیربارشی با استفاده از مجموعه‌ای از سنج‌های ارزیابی دقت مدل در پیش‌بینی درست رویدادهای مشاهده‌ای مورد بررسی قرار گرفت (ویلکز، ۲۰۱۱ و پرنده خوزانی، ۱۳۹۷: ۳۹).

جدول (۵): نمونه شماتیک جدول توافقی دو سویه (2x2) از بارش‌های برآوردی و ایستگاه‌های هواشناسی
Table (5): Schematic sample of two-way consensus table (2x2) of estimated precipitation and meteorological stations

جدول توافقی دو سویه (2x2)		مشاهده	
		YES	NO
پیش‌بینی	YES	A (Hit)	B (False alarm)
	NO	C (Miss)	D (Correct Rejection)

در جدول 5 حرف A (Hit) نشان‌دهنده‌ی روزهای بارشی است که به وسیله مدل پیش‌بینی درستی داشته‌اند، حرف B (False alarm) معرف روزهای غیربارشی که مدل آن‌ها را به اشتباه روز بارشی پیش‌بینی کرده است، حرف C (Miss) نشانه‌ی رویدادهای بارشی است که مدل پیش‌بینی آن‌ها را از دست داده است و حرف D (Correct rejection) روزهای غیربارش را نشان می‌دهد که مدل نیز بارشی بودن آن‌ها را به درستی رد کرده است. بر این اساس، فراوانی پیش‌بینی‌های درست (Hit) و نیز رخدادهایی که روی ندادن آن‌ها به درستی تأیید شده‌اند (Correct rejection) در یک مدل کارآمد بسیار زیاد بوده و در مقابل تعداد روزهایی که مدل پیش‌بینی آن‌ها را از دست داده (Miss) و یا آن‌ها را به اشتباه هشدار داده است (False alarm) ناچیز هستند. برای ارزیابی دقت یک مدل در پیش‌بینی درست یک رویداد (مثلاً بارش) سنج‌های زیادی ارائه شده‌اند که همه آن‌ها با استفاده از اطلاعات جدول 6 به ارزیابی و مقایسه مدل‌های مختلف می‌پردازند (رضیعی و همکاران، ۱۳۹۷: ۹۲).

جدول (6): معیارهای مورد استفاده برای اعتبارسنجی

Table (6): Criteria used for validation

دامنه تغییرات	معادله	شاخص آماری	ردیف
1	$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{sim} - \bar{Y})(Y_{obs} - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{sim} - \bar{Y})^2 \sum_{i=1}^n (Y_{obs} - \bar{Y})^2}}$	ضریب همبستگی	1
0	$\text{Bias} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})}{\sum_{i=0}^n (Y_i^{obs})} * 100$	اریبی	2
0	$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{obs} - Y_{sim})^2}$	جذر میانگین مربعات خطا	3
1	$\text{NSCE} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{mean})^2}$	نش- ساتکلیف	4
1	$\text{SLOPE} = R_x \frac{S_y}{S_x}$	شیب خط	5
0	$\text{FAR} = \frac{b}{a+b}$	نسبت هشدار اشتباه	6
1	$\text{POD} = \frac{a}{a+c}$	احتمال تشخیص خطا	7
1	$\text{CSI} = \frac{a}{a+b+c}$	آستانه موفقیت	8

در روابط جدول 5 Y_{obs} بارش ایستگاه‌های هواشناسی، Y_{sim} بارش تخمینی رادار داپلر، a روزهای بارشی که هم به وسیله ایستگاه و هم رادار درست تشخیص داده شده‌اند. b روزهای غیربارشی که رادار به اشتباه بارش پیش‌بینی کرده، c روزهای بارشی که رادار پیش‌بینی آن‌ها را از دست داده است، B ضریب رگرسیون، R همبستگی بین x و y ، S_y انحراف معیار متغیر x و S_x انحراف معیار متغیر y ، n تعداد داده‌ها است.

3- یافته‌ها و بحث

3-1- تجزیه و تحلیل مکانی بارش ایستگاه‌های هواشناسی و رادار داپلر

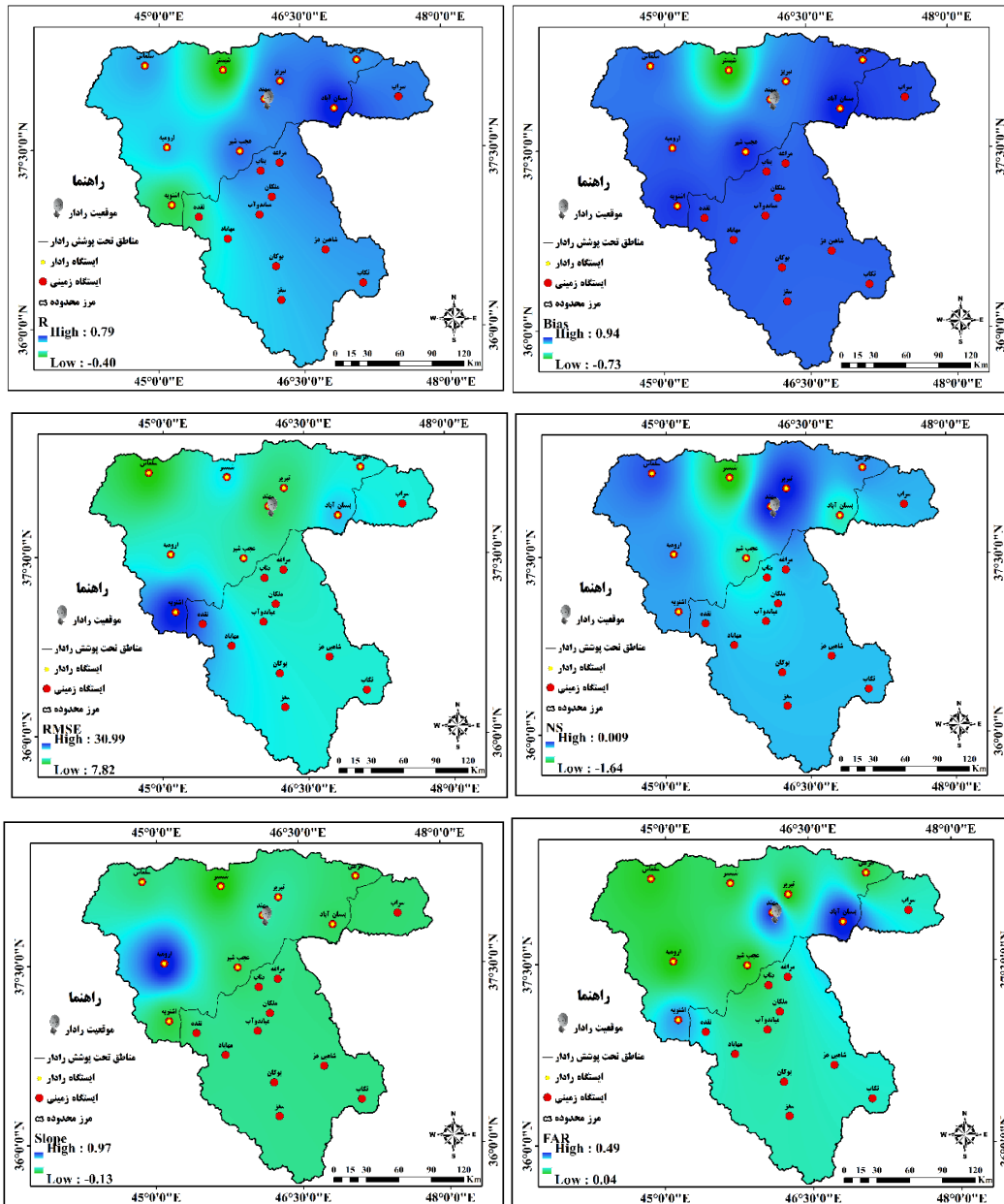
بررسی مقادیر ضریب همبستگی بین بارش ایستگاه‌های هواشناسی و برآورد شده به وسیله رادار در منطقه مورد مطالعه بیانگر درجات متفاوتی از دقت بارش برآورد شده توسط این سنجنده در ایستگاه‌های مناطق مختلف حوضه است (مقدار R در سطح حوضه از $-0/20$ تا $0/80$ متغیر است). این امر نشان می‌دهد که از نظر ضریب همبستگی دقت بارش روزانه حاصل از رادار در بعضی مناطق بسیار مناسب بوده و در برخی دیگر همبستگی کمتری دارد. ضریب همبستگی بیش از نیمی از ایستگاه‌ها بالای 40 درصد می‌باشد. ایستگاه بستان‌آباد با $0/80$ بیشترین و ایستگاه اشنویه با -20 دارای کمترین همبستگی می‌باشند. ارزیابی مقدار بایاس بین داده‌های

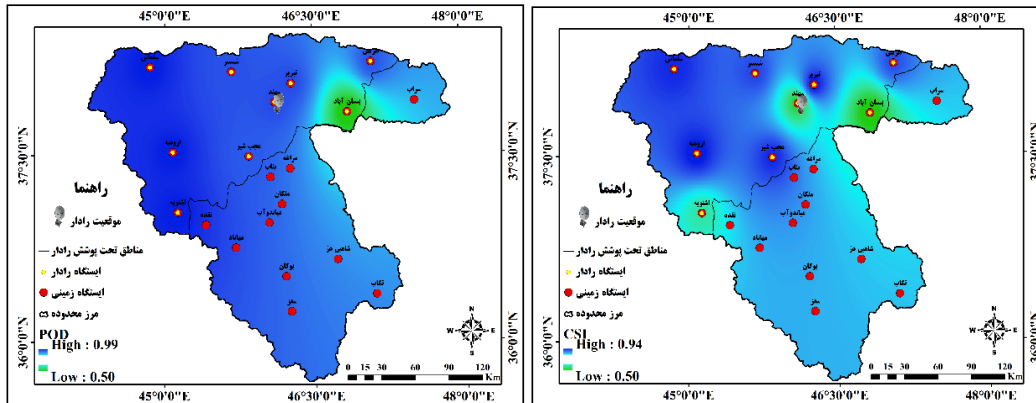
مشاهداتی و برآورد شده، نشان می‌دهد که این مقدار بین $-0/74$ تا $0/95$ متغیر است. ایستگاه بستان‌آباد دارای بیشترین بایاس مثبت با مقدار $0/95$ است که نشان‌دهنده‌ی بیش برآوردی و ایستگاه شبستر دارای بیشترین بایاس منفی با مقدار $-0/74$ است که نشان‌دهنده‌ی کم برآوردی رادار در این ایستگاه می‌باشد. جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) نشان می‌دهد که مقدار RMSE تمامی ایستگاه‌ها بیشتر از صفر است که نشان‌دهنده‌ی دقت کم رادار در برآورد بارش‌ها در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. ارزیابی شاخص نش ساتکلیف در این پژوهش نشان داد که بیشتر ایستگاه‌ها مقدار عددی بین منفی یک تا یک را داشته و نتایج رضایت بخشی را نشان نمی‌دهند. محاسبه شاخص شیب خط (Slope) نشان داد که در بیشتر مناطق داده‌های برآورد شده به وسیله رادار از خط رگرسیون (1:1) فاصله نسبتاً زیادی دارند و مقدار شیب خط از $-0/1$ تا 1 متفاوت می‌باشد. همچنین بررسی آزمون‌های آماری FAR، POD و CSI بین داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و برآورد شده رادار نشان داد که بیش از 90 درصد بارش‌های روزانه برآورد شده با رادار تشخیص درستی داشته‌اند که حاکی از دقت بسیار زیاد رادار در تشخیص بارش‌های روزانه و عملکرد قابل قبول آن می‌باشد در جدول (7) شاخص‌های آماری رخداد بارش‌های شدید روزانه زمینی و رادار داپلر ارائه شده‌اند. در شکل 4 داده‌های بارش زمینی و رادار با استفاده از مدل‌های آماری مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

جدول (7): آزمون‌های آماری رخداد بارش‌های شدید روزانه ایستگاه‌های هواشناسی و رادار

Table (7): Statistical tests of the occurrence of daily heavy precipitations of meteorological and radar stations

استان	ایستگاه	اعتبارسنجی داده‌ها						صحت سنجی داده‌ها			
		R2	R(XY)	Bias	RMSE	ME	NS	Slope	FAR	POD	CSI
آذربایجان شرقی	بستان‌آباد	0/64	0/8	0/95	21/39	16	-0/97	0/07	0/5	0/5	0/5
	تبریز	0/31	0/56	0/58	12/81	6/73	0/01	0/22	0/05	0/95	0/95
	سهند	0/25	0/5	0/55	11/34	5/66	0/003	0/24	0/45	0/95	0/55
	شبستر	0/17	-0/41	-0/74	19/79	-5/47	-1/65	-0/14	0/1	0/94	0/9
	عجب شیر	0/3	0/55	0/88	16	12/11	-1/03	0/07	0/07	0/93	0/93
	هریس	0/19	0/44	0/76	18/18	11/72	-0/47	0/08	0/11	0/94	0/89
آذربایجان غربی	ارومیه	0/11	0/33	0/72	17/32	10/74	-0/45	0/98	0/05	1	0/95
	اشنویه	0/04	-0/2	0/84	31	17/46	-0/52	-1/01	0/34	1	0/66
	سلماس	0/15	0/39	0/62	7/82	4/38	-0/23	0/14	0/07	1	0/93

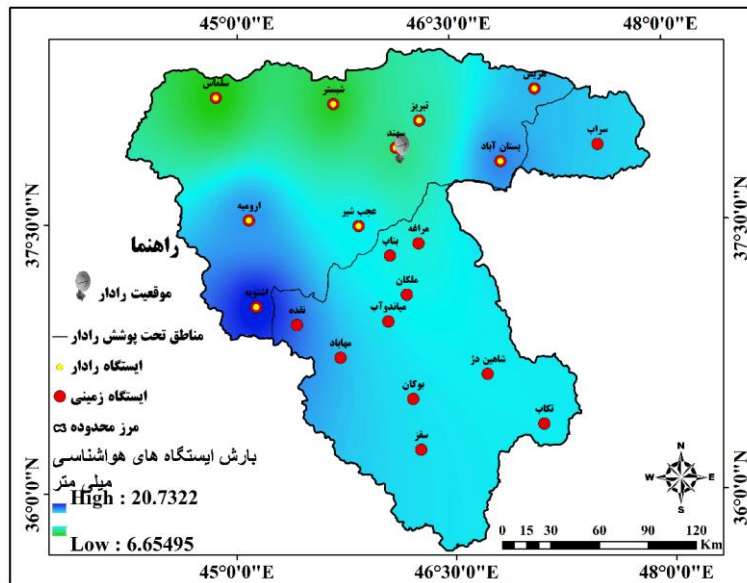




شکل (4): مقایسه بارش‌های شدید روزانه ایستگاه‌های هواشناسی و رادار با استفاده از آزمون‌های آماری

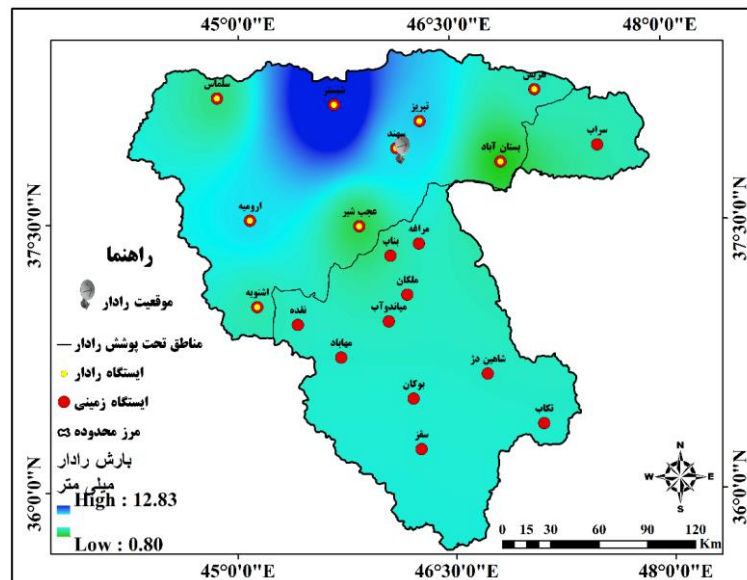
Fig. (4): Comparison of daily heavy precipitations of meteorological and radar stations using statistical tests

در شکل 5 و 6 میانگین بارش‌های ثبت شده حاصل از دو منبع داده‌ای یعنی بارش ثبت شده توسط ایستگاه‌های هواشناسی و رادار داپلر در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، جهت مقایسه با یکدیگر ارائه شده‌اند. با توجه به بارش ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی (شکل 5)، بیشترین میانگین بارش در نواحی غربی حوضه در ایستگاه اشنویه حدود 20 میلی‌متر و کمترین میانگین بارش در نواحی شمالی و شمال‌غربی حوضه یعنی ایستگاه‌های شبستر و سلماس حدود 6 میلی‌متر ثبت شده است اما توزیع مکانی میانگین بارش حاصل از رادار (شکل 6) نشان می‌دهد بیشترین میانگین بارش در شمال حوضه در ایستگاه شبستر حدود 12 میلی‌متر و کمترین میانگین بارش در شمال‌شرق حوضه در ایستگاه بستان‌آباد حدود 0/8 میلی‌متر می‌باشد. مقایسه دو نقشه در شکل‌های 5 و 6 نشان داد که میزان بارش ثبت شده در کلیه مناطق حوضه توسط رادار با میزان بارش ثبت شده توسط ایستگاه‌های هواشناسی متفاوت است و این تفاوت در مناطق دارای حداکثر و حداقل بارش کاملاً مشهود است.



شکل (5): نقشه‌ی میانگین بارش ایستگاه‌های هواشناسی

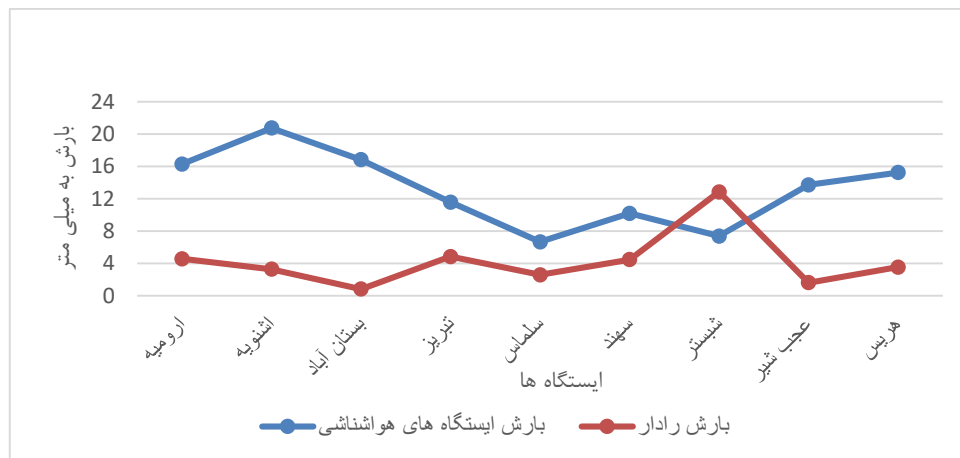
Fig. (5): Average precipitation map of meteorological stations



شکل (6): نقشه‌ی میانگین بارش های رادار داپلر

Fig. (6): Doppler radar average precipitation map

میانگین بارش حاصل از ایستگاه‌های هواشناسی و رادار به صورت نموداری در شکل 5 ارائه شده است. براساس این نمودار همانطور که نقشه‌های توزیع مکانی نیز نشان دادند، میزان بارش ثبت شده توسط ایستگاه‌های هواشناسی و رادار در کلیه ایستگاه‌ها با یکدیگر متفاوت هستند. بیشترین اختلاف در ایستگاه‌هایی مشاهده می‌شود که دارای بارش متوسط بیشتری می‌باشند، یعنی ایستگاه‌های اشنویه، بستان آباد و ارومیه، از سوی دیگر کمترین اختلاف در ایستگاه‌های دارای بارش کمتر مشاهده می‌شود. همچنین این نمودار نشان می‌دهد، رادار داپلر بارش را در اکثر ایستگاه‌ها کمتر از میزان واقعی (ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی) برآورد می‌کند.



شکل (7): مقایسه نمودار میانگین بارش ایستگاه‌های هواشناسی و رادار

Fig. (7): Comparison of average precipitation graph of meteorological and radar stations

4- نتیجه‌گیری

بارش‌های شدید مانند هر پدیده جوی دیگر در عین سودمندی در صورت عدم مدیریت می‌تواند خساراتی در پی داشته و گاهی اوقات به عنوان بلایای طبیعی ظاهر شده و پیامدهایی که از آن‌ها ناشی می‌شوند، ممکن است زندگی انسان‌ها را تهدید کنند. بارش‌های شدید می‌تواند خسارات سنگینی بر ساختارهای اقتصادی، اجتماعی و طبیعی وارد سازند. اما در نقطه مقابل، با شناسایی هسته‌های بیشینه بارش‌های شدید و با اعمال مدیریت صحیح، می‌توان بارش‌های شدید حوضه مورد مطالعه را به جای ایجاد خسارت، به دریاچه ارومیه انتقال داد. با توجه به کوهستانی و مرتفع بودن منطقه مورد مطالعه بر اثر مسدود کنندگی امواج در برخی نواحی مقدار خطا حتی 100 درصد هم افزایش می‌باید. دوما دوری از محل و افزایش ارتفاع امواج ارسالی موجب می‌گردد تا درصدی از توان امواج ارسالی از بالای ابرهای بارشی عبور کرده و به خاطر عدم برخورد با هدف، انعکاسی هم صورت نگیرد. همچنین در حالت کلی رادار داپلر مقدار بارش را کمتر از ایستگاه‌های هواشناسی برآورد می‌کند.

در این پژوهش داده‌های بارش برآورد شده توسط رادار داپلر با بارش‌های ثبت شده ایستگاه‌های هواشناسی به عنوان داده‌های مشاهداتی مورد ارزیابی قرار گرفت و از آزمون‌های آماری که بیانگر ارتباط و همچنین ارزیابی خطا بین دو سری از داده‌ها هستند، استفاده شد. مقایسه نقشه‌های حاصل از رادار داپلر و ایستگاه‌های زمینی نشان داد که توزیع فضایی بارش‌های حاصل از دو پایگاه داده یکسان نبوده و نواحی کم بارش و پربارش با یکدیگر منطبق نیستند. به طوری که ضریب همبستگی مکانی بین بارش‌های رادار و مشاهده شده $0/25$ می‌باشد. همچنین نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنوف نشان داد که با توجه به اینکه p -value به دست آمده $(0/000)$ عددی کوچکتر از مقدار خطای آزمون $(0/05)$ می‌باشد، پس اختلاف بین داده‌های بارش رادار و مشاهداتی معنی‌دار است. به عبارت دیگر مقادیر بارش‌های ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی و رادار نتایج واحدی را ارائه نمی‌دهند و هر دو جامعه آماری از توزیع یکنواختی برخوردار نیستند. بر این اساس داده‌های ماهواره‌ای نمی‌تواند به جای داده‌های بارش ایستگاه‌های زمینی در محدوده مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرند مگر اینکه برای مناطقی که به طور کامل در محدوده مسدود شدگی امواج رادار قرار دارند، رادارهای کوچک و ارزان قیمت نصب و مورد استفاده قرار گیرند (در مورد رادار تبریز بهتر است در جنوب استان آذربایجان غربی نصب شود). همچنین بانک اطلاعاتی مطمئن و قابل دسترس داده‌های خام رادار تهیه و در مواقع نیاز در اختیار پژوهشگران قرار گیرند.

5-منابع

- Arkian, F., KarimKhani, M., & Katiraie Boroujerdi, P. S. (2013). Study investigating of intensity, duration and type of flood mechanism thunderstorms in East Azarbijan by using Tabriz radar images, *Journal of marine Science & Technology Research*, 8 (4), 51-62. (In Persian)
- Bihamta, A., Goharnejad, H., & Moazzami, S., (2017). Study of precipitation data of GPM and TRMM Satellites in daily, monthly and seasonal scales in Tehran. *Iran Remote Sensing and GIS*, 10 (2), 45-60. (In Persian)
- Karimkhani, M., Azadi, M., Meshkati, A., & Ranjbar Saadatabadi, A., (2019). Impact of assimilation of Radar data on the simulation of squall line event, *Iran Journal Geophysics*, 14 (2), 63-82. (In Persian)
- Mirzaei Arjenki, S, Y., (2013). evaluation of precipitation data obtained from meteorological radar and their application in precipitation-runoff model (case study of Abu al-Abbas watershed), PhD thesis, Faculty of Water Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian)
- Ojaghloo Shahabi, S., Vazifedoust, M., Ashrafzadeh, A., & Bodagh-Jamali, J, (2016). The assessment of the influence of ground clutter on incorrect reflectivity appearance in Guilan meteorological radar products, *Iranian Journal of Geophysics*, 10 (3), 127-114. (In Persian)
- Omidfar, M., (2018), Analysis of Daily Intensive rainfalls of Urmia Lake Basin by Concurrent Doppler Radar Products and Satellite Images Processing, PhD thesis, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz. (In Persian)
- Omidfar, M., Rostamzadeh, H., & Sarisaraf, B., (2017). The Feasibility of Tabriz Doppler Radar in the Predicting of floods causing intensified rainfalls, *Hydrogeomorphology*, 15, 135-152. (In Persian)
- Parandeh Khouzani, A., (2017). An Investigating on spatial-temporal changes of snow cover of Zagros mountainous area and its linkage to Atmospheric circulation atterns and Climate changes, PhD thesis, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz. (In Persian)
- Qarabigli, F. (2012). Micro scaling of TRMM rainfall satellite data and its comparison with Doppler meteorological radar data in coastal areas of the Caspian Sea, Master's thesis, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gilan. (In Persian)
- Rasouli, A, A., Rostamzadeh, H., Sarisaraf, B., & Omidfar, M., (2019). Evaluation of Tabriz Doppler Radar data using synoptic stations concurrent data by analyzing intensive rainfall over Urmia lake basin, *Geography and planning*, 24 (72), 247-266. (In Persian)
- Raziei, T., Jahanbakhsh Asal, S., Parandeh Khouzani, A., & Sari Saraf, B., (2017). Assessing the accuracy of snow rain phase separation models at meteorological stations of the mountainous region of Zagros, *Iran Water Resources Research*, 14 (3), 85-102. (In Persian)

- Razmi, R., Hesami, N., Rabiei, Z., & Amininia, K., (2017). Analysis of atmospheric circulation patterns triggering of flooding precipitations in Babol-Rud catchment, *Hydrogeomorphology*, 14, 91-111. (In Persian)
- Safarpour, F., Khoshal Dastjerdi, J., & Masoodian, S. A., (2018). Forecast of heavy rainfall in west of Iran according to weather Radar estimates using the Z-R method, *Natural Environment Hazards*, 8 (22), 59-74. (In Persian)
- Salahi, A., Ashrafzadeh, A., & Vazifehdoust, M., (2018). Comparison of GPM Satellite Estimated Precipitation, Doppler Weather Radar and WRF Precipitation Forecasting Model with Ground Station Data in Gilan Province, 18th Iran Hydraulic Conference, Faculty of Civil Engineering, Campus of Technical Faculties, University Tehran. (In Persian)
- Social and Cultural Committee of Urmia Lake Restoration Headquarters, (2014). Paragraphs 3-4-6. (In Persian)
- Suri Demirchi Sofla, M., (2016). evaluation of the use of Doppler meteorological radar precipitation data in simulating surface runoff in Abual-Abbas basin in Khuzestan, Master's thesis, Faculty of Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian)
- Toufaninezhad, Z., Kamali, Gh, A., & Alizadeh M., (2008). use of high-resolution X-band weather Radar for areal rainfall estimation in small basins, *water and soil*, 23 (1), 57-67. (In Persian)
- Yousefi, F., (2012). Rainfall-runoff simulation with weather radar in Liqvan Basin, Master's thesis, Faculty of Agricultural Sciences, University of Tabriz. (In Persian)
- Biswas, S., & Chandrasekar, V. (2018). Cross-Validation of Observations between the GPM Dual-Frequency Precipitation Radar and Ground Based Dual-Polarization Radars, *Remote Sensing*, Vol: 10(11), 1773-1791.
- Borga, M., Gaume, E., Creutin, J. D., and Marchi, L.: Surveying flash floods: gauging the ungauged extremes, *Hydrol. Process*, 22, 3883–3885, <https://doi.org/10.1002/hyp.7111>, 2008.
- Dao, D. A., Kim, D., Kim, S., and Park, J. (2020). Determination of flood-inducing rainfall and runoff for highly urbanized area based on high-resolution radar-gauge composite rainfall data and flooded area GIS data, *Journal of Hydrology*, 584, 124704.
- Fabry, F., (2015), *Radar Meteorology Principles and Practice*, McGill University, Cambridge University Press, United Kingdom.
- Gilewski, P. G., & Nawalany, M. (2018). Inter-Comparison of Rain-Gauge, Radar, and Satellite (IMERG GPM) Precipitation Estimates Performance for Rainfall-Runoff Modeling in a Mountainous Catchment in Poland. *Water*, Vol, 10(11).
- Guo, H., Chen, S., Bao, A., Behrangi, A., Hong, Y., Ndayisaba, F., Hu, J., & Stepanian, P.M. (2016). Early assessment of Integrated Multi-Satellite Retrievals for Global Precipitation Measurement over China. *Atmos. Res*, 176–177 (2016), 121–133.

- Haberlandt, U. and Berndt, C.: The value of weather radar data for the estimation of design storms – an analysis for the Hann over region, *PROC. IAHS*, 373, 81-85, 2016.
- Lengfeld, K., Kirstetter, P. E., Fowler, H. J., Yu, J., Becker, A., Flamig, Z., Gourley, J., (2020). Use of radar data for characterizing extreme precipitation at fine scales and short durations. *Environmental Research Letters*, Vol: 15 (8).
- Lengfeld, K. Winterrath, T. Junghänel, Th. Hafer, M. & Becker, A. (2019). Characteristic spatial extent of hourly and daily precipitation events in Germany derived from 16 years of radar data, *Meteorol. Z.* Vol. 28, No. 5, 363–378.
- Li, X., Chen, Y., Wang, H., Zhang, Y., (2020). Assessment of GPM IMERG and radar quantitative precipitation estimation (QPE) products using dense rain gauge observations in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, China. *Atmospheric Research*, Vol: 236(15 May), 1-16.
- Li, S., Li, G., Wang, X., Li, C., Liu, H., Li, G., (2020). Precipitation Characteristics of an Abrupt Heavy Rainfall Event over the Complex Terrain of Southwest China Observed by the FY-4A Satellite and Doppler Weather Radar. *Water*, Vol: 12(9), 1-19.
- Rabiei, E. Haberlandt, U. (2015). Applying bias correction for merging rain gauge and radar data, *Journal of Hydrology*, 522, 544-557.
- Panziera, L. Gabella, M. Zanini, Z. Hering, A. Germann, U. & Berne, A. (2016). A radar-based regional extreme rainfall analysis to derive the thresholds for a novel automatic alert system in Switzerland, *Hydrology and Earth System Sciences*, 20, 2317–2332.
- Pöschman, J. M., Kim, D. Kronenberg, R. & Bernhofer, Ch. (2021). An analysis of temporal scaling behaviour of extreme rainfall in Germany based on radar precipitation QPE data. *Hazards Earth Syst. Sci.*, 21, 1195–1207.
- Prakash, S. Mitra, A. K., Paic, D. S., & AghaKouchak, A. (2016). From TRMM to GPM: How well can heavy rainfall be detected from space? *Advances in Water Resources* 88, 1–7.
- Qin, Y. Chen, Z. Shen, Y. Zhang, S. & Shi, R. (2014). Evaluation of satellite rainfall estimates over the Chinese Mainland. *Remote Sens*, 6(11), 11649–11672.
- Sahlaoui, Z., Mordane, S., (2019). Radar Rainfall Estimation in Morocco: Quality Control and Gauge Adjustment, *Hydrology*, Vol: 6 (2), 1-13.
- Sun, W. Sun, Y. Li, X. Wang, T. Wang, Y. Qiu, Q. & Deng, Z. (2018). Evaluation and Correction of GPM IMERG Precipitation Products over the Capital Circle in Northeast China at Multiple Spatiotemporal Scales. *Adv. Meteorol.* 4714173.
- Tan, M. & Duan, Z. (2017). Assessment of GPM and TRMM Precipitation Products over Singapore. *Remote Sens*, 9, 720, 1-16.
- Varikoden, H. Preethi, B. Samah, A. A., & Babu, C. A. (2011). Seasonal variation of rainfall characteristics in different intensity classes over Peninsular Malaysia. *J. Hydrol*, 404, 99–108.

Wilks, D. S. (2011). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences, Volume 100, Third Edition (International Geophysics)*, USA.

Yuan, F. Limin Zhang, O. Wun Soe, K. m., Ren, L. Zhao, C. Zhu, Y. Jiang, S. & Liu, A. (2019). Applications of TRMM- and GPM-Era Multiple-Satellite Precipitation Products for Flood Simulations at Sub-Daily Scales in a Sparsely Gauged Watershed in Myanmar. *Remote Sensing*, Vol: 11(2), 1-31.