

## بررسی کارایی رادار داپلر با استفاده از داده های بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه (مطالعه موردی بارش مهرماه ۱۳۹۳)

علی اکبر رسولی<sup>۱</sup>

هاشم رستم‌زاده<sup>۲</sup>

بهرروز ساری صراف<sup>۳</sup>

محمد امیدفر<sup>۴</sup>

### چکیده

با توجه به معضل کاهش مستمر حجم آب دریاچه ارومیه، شناسایی دقیق توزیع زمانی - مکانی بارش‌های محدوده حوضه آبریز دریاچه ارومیه از نقطه نظرهای اقلیم‌شناسی و هیدرولوژیکی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. رادارهای داپلر یکی از فناوری‌های جدید سنجش از دور فعال است که در سال‌های اخیر اطلاعات با ارزشی از ویژگی‌های ابر (نمایه<sup>۵</sup> سه‌بعدی، اندازه و نوع ذرات) و انواع بارش‌های ناشی از آن ارائه می‌دهد. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی کارایی و مزایای کاربردی استفاده از رادارهای داپلری در مطالعه و تحلیل بارش‌های شدید حوضه دریاچه ارومیه می‌باشد. برای این کار، به عنوان نمونه خروجی محصول برآورد بارش تجمعی رادار تبریز، با داده‌های اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های سینوپتیک، در روزهای ۲۹-۲۲ مهر ماه ۱۳۹۳ مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است. نتایج مطالعه نشان داد رادار داپلر می‌تواند با دقت نسبتاً بالا و دید وسیع، ابزار مناسبی در

۱- استاد گروه آب و هواشناسی، گروه آب و هواشناسی دانشگاه تبریز

۲- استادیار آب و هواشناسی، گروه آب و هواشناسی دانشگاه تبریز

۳- استاد گروه آب و هواشناسی، گروه آب و هواشناسی دانشگاه تبریز

۴- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، کارشناس اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی (نویسنده مسئول)

جهت برآورد بارش باشد، اما در مناطق کوهستانی و مرتفع (مانند منطقه مورد مطالعه)، با توجه به اثر مسدودکنندگی امواج<sup>۱</sup>، در برخی نواحی مقدار خطا حتی تا ۱۰۰ درصد نیز افزایش می‌یابد. البته این مشکل را می‌توان با استفاده از روش‌های درونیابی فضایی، به کمک اطلاعات سایر نقاطی که دارای دقت برآورد قابل قبول هستند مرتفع نموده و اطلاعات بدست آمده را به عنوان جایگزین مناسبی برای نقاط صعب العبور و فاقد ایستگاه، در مطالعات مدیریت منابع آب استفاده نمود.

**واژگان کلیدی:** بارش شدید، رادار داپلر، ارزیابی، حوضه دریاچه ارومیه، اثر مسدودکنندگی امواج.

## مقدمه

با توجه به معضل کاهش مستمر حجم آب دریاچه ارومیه، شناسایی دقیق توزیع زمانی-مکانی بارش‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌تواند از نقطه نظرهای اقلیم‌شناسی و هیدرولوژیکی بسیار حائز اهمیت تلقی گردد. برآورد مقدار بارندگی حاصل از سامانه‌هایی که در فصول مختلف و تحت شرایط جغرافیایی متنوع، بارش‌های متفاوتی را ایجاد می‌کنند، توسط ابزارها و روش‌های متنوع مورد مطالعه قرار گرفته و بسته به نوع روش و دقت ابزار بکار رفته، نتایج متفاوتی نیز بدست آمده است. ایستگاه‌های سینوپتیک به دلیل نقطه‌ای و محدودیت تعداد، نسبت به مساحت منطقه مورد مطالعه و سایر عوامل تاثیرگذار مثل وزش باد و خطای انسانی، در مقایسه با رادار و ماهواره دارای کارایی نسبتاً پایینی هستند. همچنین به دلیل این که برآورد بارش به کمک داده‌های رقومی ماهواره‌های فعال و غیر فعال به طریق غیر مستقیم و روابط تجربی انجام می‌گیرد، طبیعتاً نمی‌تواند میزان بارش واقعی را اندازه‌گیری نماید.

رادار داپلر تبریز یکی از ۱۲ رادار شبکه ملی رادار سازمان هواشناسی کشور است که در باند فرکانسی رادارهای داپلری نوع C کار می‌کند. این رادار برای پیش بینی‌های کوتاه‌مدت بارندگی، سیل و سامانه‌های ناپذیری هوایی و جاده‌ای قابل استفاده است. هم‌اکنون تصاویر

<sup>1</sup>-Beam Blockage

رادارتبریز در مرکز تهران و اداره پیش بینی تبریز به صورت برخط<sup>۱</sup>، موجود بوده و مورد استفاده در پیش بینی کوتاه مدت جوی و مطالعات علمی و تحقیقاتی می باشد. بارندگی ۲۷ مهر ماه ۱۳۹۳ شمال غرب کشور نسبت به میانگین بارش چند سال اخیر کم سابقه بوده و اکثر ایستگاه های استان بارش قابل توجهی را ثبت نمودند. لذا مطالعه رویداد مذکور به کمک ابزارهای دورسنجی مثل رادار و مقایسه آن با داده های ایستگاه های سینوپتیک می تواند نقاط قوت و ضعف و به طور کلی کارایی این ابزار را نشان دهد. هدف از این مطالعه بررسی کارایی و دقت ابزار سنجش از دوری رادار داپلر در مطالعه بارش های سنگین بوده که با توجه به نوپا بودن و کمبود مطالعات مشابه انجام یافته، می تواند نتایج آن در پژوهش های بعدی مورد استفاده محققان قرار گیرد.

نایر و سیری نواسان (۲۰۰۹)، المزوری (۲۰۱۰)، جوانمرد و همکاران (۲۰۱۰)، میشر (۲۰۱۲)، هاگویی و همکاران (۲۰۱۳) و در داخل کشور: قلی نژاد (۱۳۸۶)، حجازی زاده و همکاران (۱۳۹۰)، عرفانیان (۱۳۹۲)، مظفری و همکاران (۱۳۹۳)، داده های ایستگاه های باران سنج را با نتایج برآوردهای رادار ماهواره ای TRMM، مطالعه نموده و بطور کلی انطباق قابل قبولی را مابین ایستگاه های زمینی و رادار ماهواره ای بدست آورده و نتایج نشان داد برآوردهای رادار TRMM می تواند برای اکثر نواحی، ابزار مناسبی برای مطالعات بارندگی، مخصوصا در مناطق فاقد باران سنج باشد. همچنین: معظمی و همکاران (۲۰۱۳)، کویین و همکاران (۲۰۱۴)، علی محمد (۲۰۱۵)، غضنفری مقدم و همکاران (۱۳۹۰)، بارانی زاده و همکاران (۱۳۹۰) و کتیرایی بروجردی (۱۳۹۲)، داده های باران سنج را با خروجی برآورد ماهواره ای چندسنجنده ای پرشین<sup>۲</sup> مقایسه نمودند. نتایج نشان داد الگوریتم پرشین الگوی تغییرات مکانی بارش سالانه را به خوبی می شناسد ولی مقدار آن را در اغلب نقاط ایران به غیر از مناطق محدود خشک کویری، کم برآورد نموده و نمی تواند جایگزین مناسبی برای باران سنج باشد.

<sup>۱</sup>. Online

<sup>۲</sup>. PERSIANN

اما در مورد مقایسه دقت داده‌های باران‌سنج با رادار زمینی، بررسی منابع مطالعاتی نشان می‌دهد که در داخل کشور پژوهش در مورد رادار به دلیل نوبت بودن، اندک بوده و بیشتر در مطالعات خارجی به این مبحث پرداخته شده است که مهمترین تحقیقات انجام یافته در این قسمت آورده شده است: علم‌گیر (۲۰۰۹) در رساله دکتری خود تشخیص و برآورد بارش‌های شدید کشور بنگلادش، براساس رادار زمینی و ماهواره‌ای را مورد مطالعه قرارداد و نتیجه گرفت داده‌های TRMM، ۹۹/۹۵ درصد با داده‌های باران‌سنج مطابقت دارند، اما بطور کلی داده‌های TRMM مقدار بارش را نسبت به باران‌سنج بیشتر برآورد می‌کنند و برعکس در هنگام وقوع بارش‌های شدید و موسمی نسبت به داده‌های باران‌سنج مقدار برآوردی کمتر است. کیتز میلر و همکاران (۲۰۱۳) برآورد کمی بارش را با استفاده از روش‌های چندسنجنده‌ای رادار، ماهواره و باران‌سنج برای ورودی مدل هیدرولوژی و آشکارسازی هشدار سیل انجام دادند. استینر<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۹۵) داده‌های تخمینی رادار (درمقیاس ماهانه) را توسط شبکه باران‌سنجی برای بارش‌های همرفتی و یکنواخت ارزیابی نموده و نتایج قابل قبولی را برای هر دو نوع بارش، با رادار تنظیم شده<sup>۲</sup> توسط شبکه باران‌سنجی، به دست آوردند. سان و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از داده‌های رادار و باران‌سنج به برآورد سیل پرداخت. اووریم<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۹) کیلماتولوژی بارش‌های شدید را با رادار داپلر و داده‌های باران‌سنج هلند مطالعه نموده و نتیجه گرفتند که با تنظیم اولیه داده‌های رادار توسط باران‌سنج، دقت برآورد رادار برای مطالعات هیدرولوژی مناسب خواهد بود. در تحقیقی که شارما و همکاران (۲۰۰۳) در منطقه سیلمریکتای هند بر روی میزان تطابق داده‌های بارش رادار داپلر و ماهواره‌ای TRMM انجام دادند، نتایج نشان داد، داده‌های رادار و TRMM همبستگی بالایی (۰/۹) دارند. شنگ چن و همکاران (۲۰۱۲) برآورد بارش را به وسیله شبکه رادار زمینی و چهار الگوریتم ماهواره‌ای و یک شبکه نسبتاً فشرده‌ای از باران-سنج‌ها را برای رویداد تایفون سال ۲۰۰۹ روی کشور تایوان بررسی نمودند. نتایج نشان داد که همه داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای نسبت به داده‌های زمینی مقدار بارش را کمتر

1. Steiner

2. Calibrated

3. -Over rim

برآورد می کند. ویوکیونیک و ناچ (۲۰۱۴) بارش روزانه و ساعتی رادار داپلر صربستان را با داده های شبکه باران سنجی مقایسه نمودند. نتایج نشان داد ضرایب همبستگی در حالت دو قطبی اندکی بهتر از حالت تک قطبی بوده اما در حالت کلی تفاوت معنی داری مابین این دو نوع محصول بارشی به دست نیامد. هول<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۲) کاربرد رادارهای هواشناسی در برآورد خسارت تگرگ بر اتومبیل را مطالعه و نتیجه گرفتند که نسبت تخریب و خسارت وارده در فصل ژوئن و آگوست نسبت به سایر فصول قابل ملاحظه است. ییلماز و همکاران (۲۰۰۵) به مقایسه برآورد بارش بر اساس باران سنج، رادار و ماهواره با تاکید بر پیش بینی هیدرولوژیکی پرداختند. نلسون و پرات (۲۰۱۵) داده های بارش برآوردی توسط ماهواره، رادار و باران سنج را در سه مقیاس زمانی سالانه، ماهانه و روزانه مقایسه نموده و توافق بالایی را مابین دو سری بدست آوردند. در داخل کشور پژوهش های کمی در این مورد انجام یافته است. یزدانی و همکاران (۱۳۸۳) در دانشگاه تبریز مطالعاتی را در مورد همبستگی بین داده های رادار و ایستگاه های باران سنج انجام دادند. نتایج نشان داد کالیبراسیون رادار برای اندازه گیری مقدار بارش می تواند برآورد دقیقی از توزیع بارش در منطقه را ارائه دهد. حاجی میررحیمی (۱۳۸۶) مقادیر بارش برآوردی توسط رادار زمینی و ماهواره ای TRMM را مورد مقایسه قرارداد و همبستگی بالایی را مابین داده های رادار و ایستگاه های زمینی بدست آورد. طوفانی نژاد و همکاران (۱۳۸۷) در تحقیقی کاربرد رادارهای هواشناسی باند X در برآورد بارندگی حوضه های کوچک را مطالعه نموده و نتیجه گرفتند که داده های رادار مطابق روند سری زمانی داده های ثبت شده باران سنج بوده، اما این داده ها برای مقایسه، ابتدا نیاز به اصلاح و واسنجی دارد. محمدیها و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی برآورد سه رویداد بارندگی در سال های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ ما بین رادار داپلر تهران و سه باران سنج اطراف تهران را به روش Z-R مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که رادار تهران مقادیر بارش را کمتر از مقادیر باران سنج برآورد نموده و این اختلاف در بارش های شدید افزایش می یابد.

### مبانی نظری:

در این مطالعه داده‌های بارش تجمعی ایستگاه‌های سینوپیک منطقه مورد مطالعه و محصول بارش تجمعی روزانه رادار داپلر تبریز که توسط معادله رادار، با تبدیل شدت اکوی-بازگشتی به مقدار بارش تولید می‌شود، مورد استفاده قرار گرفته است. معادله رادار، رابطه مابین توان دریافتی آنتن ( $P_r$ ) را با توان ارسالی ( $P_t$ ) بیان می‌کند. از یک ذره در فاصله  $r$  با سطح مقطع بازتابش کننده  $A_t$ ، بیشترین توان دریافتی ایده‌آل آنتن (بافرض این که ذره تمامی انرژی ورودی را بازتابش کند) مطابق رابطه زیر خواهد بود (Battan:1973:25):

$$P_r = G^2 A_t a^2 (r) \frac{\lambda^2 P_t}{(4\pi)^3 r^4} \quad \text{معادله (۱)}$$

با توجه به معادله (۱) مشخص می‌شود که توان دریافتی با سطح مقطع بازتابش ذره  $A_t$  رابطه خطی دارد. سطح مقطع بازتابندگی موثر یک ذره، نسبت انرژی دریافتی و انرژی بازتابشی توسط همان ذره است که با  $\delta$  نمایش داده می‌شود. معادله رادار برای انرژی بازتابش شده هر بازتابش کننده منفرد مانند یک هواپیما یا یک پرند و همین‌طور برای یک قطره آب صادق است. با توجه به این که درجو واقعی، پراکنده کننده منفرد وجود ندارد بلکه مجموعه‌ای از ذرات در حجم نمونه واقع شده‌اند. لذا در این حالت  $P_r$  برای مجموعه‌ای از ذرات برابر است با:

$$P_r = G^2 a^2 (r) \frac{\lambda^2 P_t \text{tg}^2 \theta c \tau}{512 \pi^2 r^2} \sum \delta_i \quad \text{معادله (۲)}$$

در این رابطه  $\sum \delta_i$  سطح مقطع پراکنده کننده به عقب مؤثر برای همه ذرات در حجم پرتو،  $\theta$  زاویه پهنای پرتو،  $\tau$  پهنای پالس،  $C$  سرعت امواج و  $r$  فاصله حجم نمونه تا محل رادار است. سطح مقطع پراکنندگی به عقب  $\delta(D)$  هر ذره منفرد باید در تابع توزیع آن یعنی  $N(D)$  ضرب شود تا سطح مقطع پراکنندگی به عقب مؤثر مجموعه ذرات در حجم مورد نظر بدست آید:

معادله (۳)

$$n = \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} \delta(D)N(D)dD \equiv \sum_{i=1}^n \delta_i$$

در اینجا  $n$  تعداد ذره موجود در حجم  $V$  است. سطح مقطع پراکندگی به عقب مؤثر به صورت زیر است:

$$\delta = \pi^5 \left| k^2 \right| \frac{D^6}{\lambda^4} \quad \text{معادله (۴)}$$

که  $|k^2|$  ثابت دی الکترونیک است. با جایگذاری  $\delta$  در معادله (۴) و استفاده از تقریب رابلی، سطح مقطع پراکندگی به عقب مؤثر  $\eta$  به صورت زیر بدست می آید:

$$\eta = \frac{\pi^5}{\lambda^4} \left| k^2 \right| \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} N(D) D^6 dD \quad \text{معادله (۵)}$$

با جایگذاری سطح مقطع مؤثر پراکندگی  $\eta$  در معادله (۲) و با تعریف مقادیر ثابت رادار با مقدار  $C$  شکل نهایی معادله رادار برای توان رسیده بدست می آید:

$$P_r = C a^2 (r) \frac{|k^2|}{r^2} Z_e \quad \text{معادله (۶)}$$

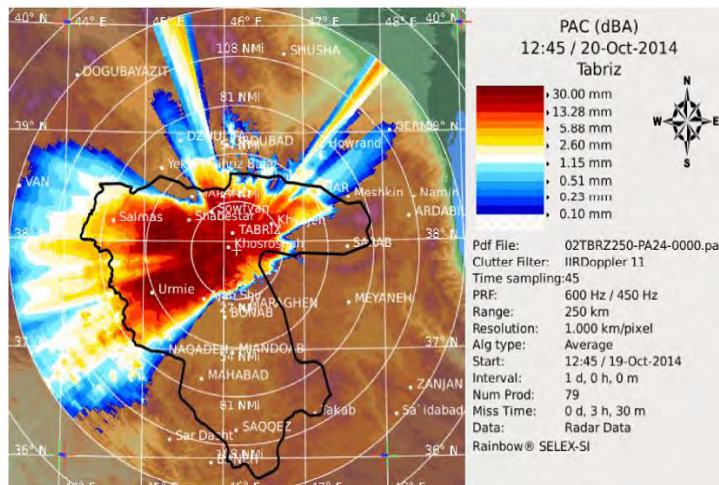
در این معادله  $Z_e$  یک متغیر هواشناسی است که با تعداد و اندازه ذرات موجود در حجم نمونه مشخص می شود و این مقدار برای ذرات مه رقیق ( $\frac{mm^6}{m^3}$  ۰/۰۰۱) و برای مقادیر بسیار بزرگ (تگرگ)، در حدود  $\frac{mm^6}{m^3}$  ۱۰۰۰۰۰۰ محاسبه می شود. لذا بهتر است این دامنه تغییرات گسترده، فشرده شود. برای این منظور فاکتور بازتابش لگاریتمی رادار بر حسب DBZ به صورت زیر تعریف می شود:

معادله (۷)

$$Z_e = 10 \log_{10} \left( \frac{Z}{1mm^6 / m^3} \right)$$

**مواد و روش‌ها:**

در این مطالعه داده‌های بارش تجمعی ایستگاه‌های سینوپیک منطقه مورد مطالعه و محصول بارش تجمعی روزانه رادار داپلر تبریز مورد استفاده قرار گرفته است. این محصول یکی از محصولات ثانویه رادار محسوب می‌شود که به کمک نرم افزار رادار<sup>۱</sup> از تجمیع محصول شدت بارش سطحی در بازه زمانی ۲۴ ساعته تولید شده و قدرت تفکیک زمانی آن ۱۵ دقیقه است. سایر مشخصات محصول از قبیل زمان شروع، تفکیک مکانی، حدکثر فاصله، فرکانس تکرار امواج ارسالی، نام فایل ذخیره شده، مقیاس رنگی داده‌ها و نام سایت رادار کنار محصول درج شده است.



شکل (۱) - محصول بارش تجمعی رادار در شدیدترین روز بارندگی.



شکل (۱) محصول بارش تجمعی رادار<sup>۱</sup> در شدیدترین روز بارندگی را نشان می دهد که موقعیت حوضه دریاچه ارومیه و فاصله از محل سایت رادار (دوایر هم مرکز با فاصله ۵۰ کیلومتری نسبت به هم) و موقعیت ایستگاه های مورد بررسی در آن مشخص گردیده است. همچنین برای مقایسه کمی اختلاف برآورد مابین رادار و ایستگاه ها شاخص های برآورد خطا مثل: میانگین خطا، میانگین خطای مطلق، میانگین مربع خطا و ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد که توسط روابط زیر بیان می شوند، مورد استفاده قرار گرفته اند:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})(G_i - \bar{G})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2 \sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2}} \quad \text{ضریب همبستگی پیرسون، معادله (۸):}$$

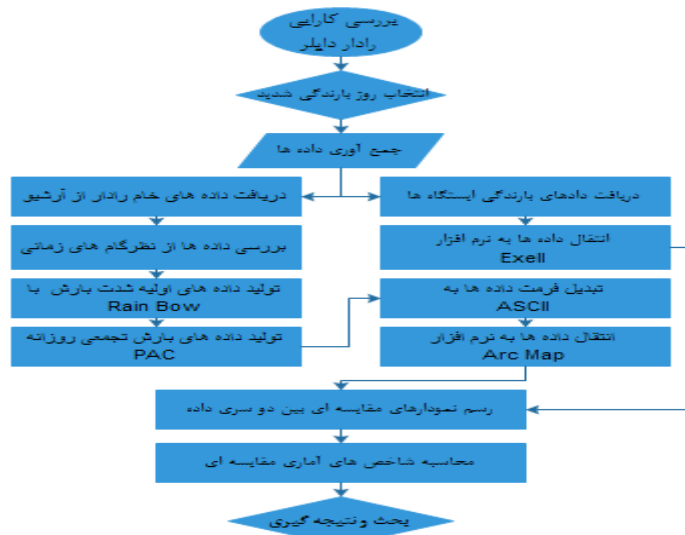
$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_i - G_i) \quad \text{شاخص خطای میانگین، معادله (۹):}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |R_i - G_i| \quad \text{شاخص خطای میانگین مطلق، معادله (۱۰):}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_i - G_i)^2} \quad \text{شاخص خطای میانگین مربعی، معادله (۱۱):}$$

در این روابط R مقدار بارش برآوردی رادار، G بارندگی اندازه گیری شده توسط باران-سنج و n تعداد داده ها می باشند. در شکل (۲) مراحل انجام تحقیق ترسیم شده است:

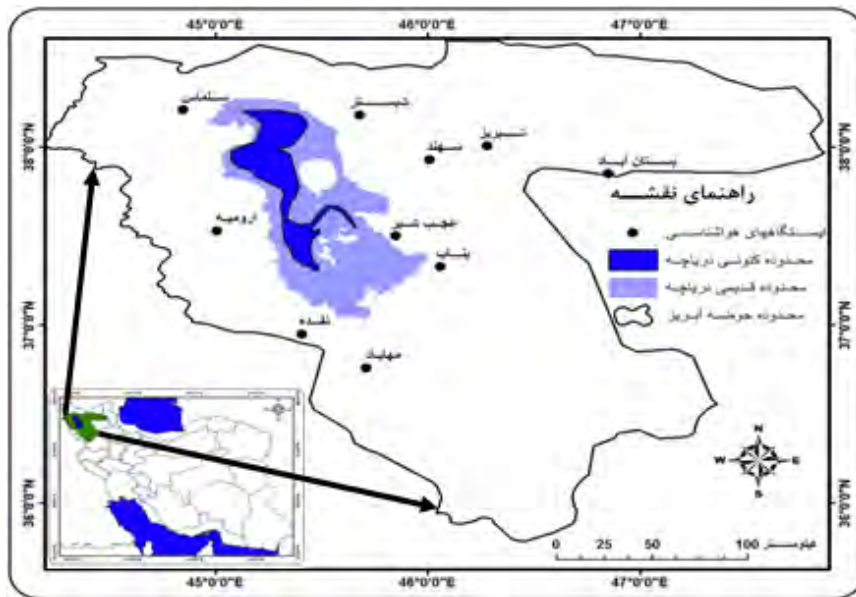
<sup>1</sup> - Precipitation Accumulated (PAC)



شکل (۲) - مراحل انجام تحقیق.

### ویژگی های جغرافیایی منطقه مورد مطالعه:

محدوده مورد مطالعه شامل استان های آذربایجان شرقی و غربی، کردستان می باشد. حوضه آبریز دریاچه ارومیه یکی از شش حوضه آبریز کشور است که در شمال غربی ایران و با مساحت ۵۱۸۶۶ کیلومتر مربع که معادل ۳/۲۱ درصد مساحت کل کشور بوده و ۹۰۰۰ کیلومتر مربع آن مناطق مسطح و ۳۵۲۰۰ کیلومتر مربع آنرا مناطق کوهستانی و ۷۸۰۰ کیلومتر مربع دریاچه و باطلاح های حاشیه ای تشکیل می دهد. این حوضه از نظر جغرافیایی بین مدار ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمال و ۴۴ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی قرار داشته و بیش از نیمی از مساحت استان های آذربایجان شرقی و غربی، قسمتی از استان کردستان را در بر گرفته و مجموعاً ۴۳ کانون شهری، ۱۴۴ دهستان و ۳۱۵۰ روستا با جمعیتی در حدود ۵ میلیون نفر را در خود جای داده است. در شکل (۲) موقعیت حوضه دریاچه ارومیه و ایستگاه های منطقه نشان داده شده است.



شکل (۳)-موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز دریاچه ارومیه و ایستگاه های سینوپتیک مورد مطالعه.

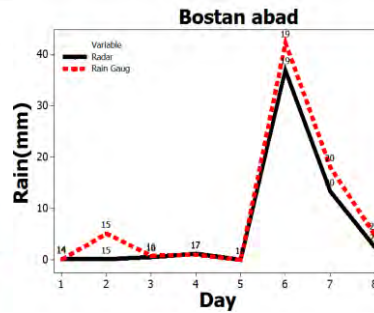
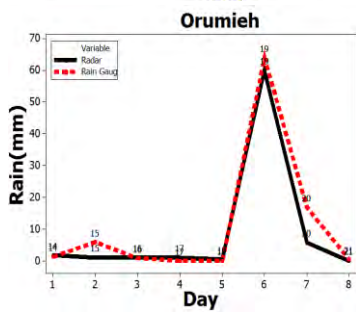
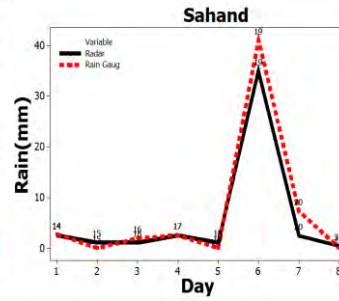
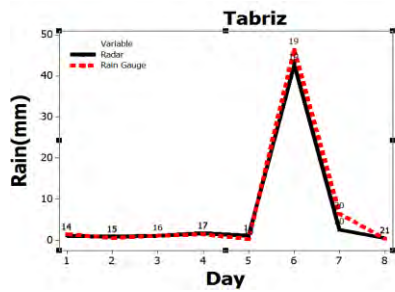
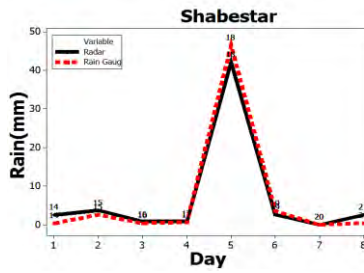
### یافته های تحقیق:

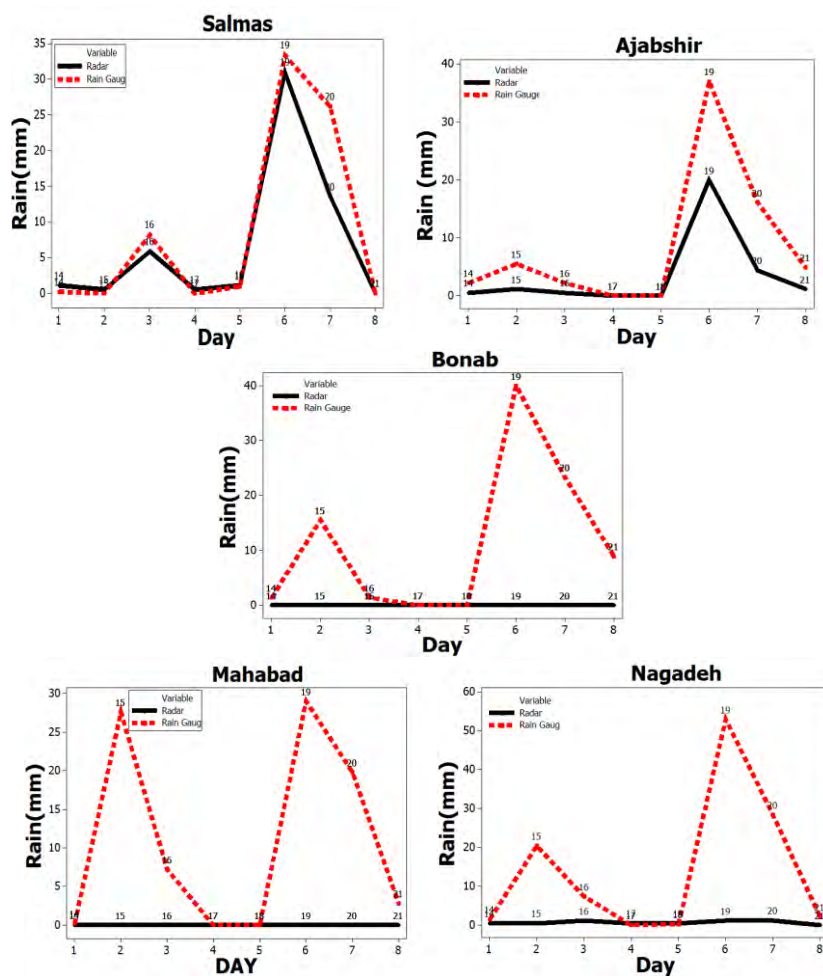
بارندگی روزهای ۱۴ الی ۲۱ اکتبر ۲۰۱۴ (۲۲ تا ۲۹ مهر ماه ۱۳۹۳) در حوضه آبریز دریاچه ارومیه توسط محصولات متنوع رادار مورد بررسی قرار گرفته و از میان آنها محصول بارش تجمعی ۲۴ ساعته، به دلیل همخوانی و همزمانی با داده های بارندگی تجمعی ایستگاه-ها، برای ۱۰ ایستگاه سینوپتیک اطراف دریاچه ارومیه مورد مقایسه عددی قرار گرفت.

به دلیل برخورد و تغییر مسیر امواج با ارتفاعات اطراف رادار، توپوگرافی و موقعیت جغرافیایی منطقه در دقت برآورد رادار تاثیر قابل توجهی داشته و با توجه به کوهستانی بودن منطقه برخی از شهرهایی که در فاصله برد مفید رادار قرار دارند، دارای تضعیف زیادی بوده و جزء نقاط کور محسوب می شوند؛ این نقاط در اصطلاح علم رادار مناطق مسدود شده نامیده می شوند که این مسئله در برخی از شهرها خطای زیادی (حتی تا ۱۰۰ درصد) ایجاد می کند. بنابراین برای مقایسه داده های رادار با ایستگاه ها (شکل ۴) بررسی دقت برآورد بارش

جداگانه در ایستگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نمودار مقایسه بارش تجمعی ۲۴ ساعته ایستگاه‌های شمال غرب دریاچه ارومیه (برای شهرهای تبریز، سهند و شبستر) با برآورد رادار در روزهای بارندگی شدید اکتبر ۲۰۱۴ انطباق بالایی داشته و تنها اختلاف در برآورد رادار در روزهای ۲۰ و ۲۱ در حدود ۵ میلیمتر کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه‌های سینوپتیک می‌باشد. ضریب همبستگی مابین داده‌ها ۰/۹۹۶ است که نزدیکی مقادیر اندازه‌گیری دو روش را تایید می‌کند. نکته قابل توجه در نمودار، تفاوت و جهش قابل-ملاحظه میزان بارندگی روز ۱۹ اکتبر نسبت به سایر روزها می‌باشد. بررسی نمودار شهرهای سلماس و ارومیه در غرب و بستان‌آباد در شرق دریاچه ارومیه، نشان‌دهنده دقت کمتر اما قابل‌قبولی برای برآورد بارندگی بوده و فقط در روزهای ۱۵،۲۰ تفاوت کمی باهم دارند. از دلایل کاهش دقت رادار برای ارومیه و سلماس می‌توان به اثر تضعیف ناشی از ابرهای بارشی موجود در مسیر برخورد امواج رادار، و برای بستان‌آباد برخورد با رشته‌کوه‌های سهند (ارتفاعات اطراف ایستگاه) اشاره نمود.

اما نمودار مقایسه‌ای بارندگی شهر عجبشیر با وجود نزدیکی به سایت رادار (۵۰ کیلومتری رادار) نشان‌دهنده اختلاف نسبتاً زیادی مابین برآورد رادار و ایستگاه‌ها می‌باشد. مهمترین عامل خطا، جهت‌گیری ارتفاعات جنوبی و رشته‌کوه‌های سهند است که هرچقدر به مناطق جنوبی‌تر حرکت می‌کنیم دقت رادار کاهش می‌یابد. نمودار مقایسه‌ای سایر شهرهای جنوبی مثل بناب، مهاباد و نقده نشان می‌دهند که رادار در برآورد بارندگی این مناطق خطایی ۱۰۰ درصدی داشته و مقدار بارش‌ها را تقریباً صفر نشان می‌دهد. در مجموع نتایج نشان می‌دهد که مناطق جنوبی، هم به دلیل فاصله زیاد از رادار و مهمتر از آن به دلیل اثر مسدودکنندگی امواج رادار، تقریباً تمام امواج بازگشتی از اهداف تضعیف گردیده و رادار مقدار بارش را صفر برآورد می‌کند (شکل ۴).





شکل (۴) - نمودار مقایسه‌ای بارش ۲۴ ساعته رادار و ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه.

بررسی مقادیر ضریب همبستگی نشان‌دهنده همبستگی بالا در روز ۱۷ اکتبر و همبستگی پایین در روز ۱۸ اکتبر و همبستگی متوسط را در سایر روزها بوده و با توجه به یک‌دست بودن اختلافها (کم بودن برآورد ایستگاه‌ها نسبت به رادار) ضرایب MAE و ME

در اکثر موارد مشابه و یا نزدیک هم می باشند علت بزرگ بودن شاخص های آماری خطا، ایستگاه های مسدود شده برای امواج رادار در نیمه جنوبی می باشند. (جدول ۱).

جدول (۱) - شاخص های آماری ارزیابی در روزهای مورد مطالعه.

شاخص های آماری مقایسه ای (روزهای ۱۵ تا ۲۱ اکتبر ۲۰۱۴)	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱
ضریب همبستگی پیرسون	۰/۶۱۶	۰/۵۹۲	۰/۹۱۱	۰/۲۶۷	۰/۶۲۶	۰/۶۰۲	۰/۵۴۵۹
شاخص خطای میانگین (ME)	۱۶/۶۳	۱۶/۶۴	۰/۲۶۸	۲/۴۱	۸/۸۸۰	۰/۳۵۱	۸/۰۲۱
شاخص خطای میانگین مطلق (MAE)	۱۶/۶۳	۱۶/۶۴	۰/۲۶۸	۲/۶۵	۹/۶۱۱	۰/۶۳۳	۸/۲۰
خطای میانگین مربعی (RMSE)	۷/۳۳	۲۲/۱۳	۰/۴۳۵	۳/۶۳	۱۳/۷۲	۰/۸۱۱	۸/۸۸

### نتیجه گیری

با توجه به هزینه بالای خرید تجهیزات، نصب و راه اندازی و تعمیر و نگهداری رادار و از طرف دیگر خلاء مطالعات کاربردی رادار، لزوم انجام پژوهش های سنجش کارایی رادار، در جهت کاربردی نمودن محصولات آن کاملاً مشهود است. از طرف دیگر با توجه به کوهستانی بودن منطقه در صورت مشخص نشدن نقاط کور، استفاده از آن دارای اشکال و خطا بوده و از ارزش مطالعات خواهد کاست. اما اگر میزان دقت و صحت آن در منطقه مورد ارزیابی و اعتبارسنجی و سپس تصحیح خطا انجام گیرد، نتایج حاصل از مطالعات کاربردی آن دقیق تر و مفیدتر خواهند بود. این مطالعه بطور کلی نتایج نشان دهنده تطابق خوب و قابل قبولی مابین اندازه گیری های بارندگی ثبت شده توسط ایستگاه های سینوپتیک و برآوردهای رادار داپلر تبریز در نیمه شمالی منطقه مورد مطالعه بوده، اما در نیمه جنوبی دو عامل باعث افزایش خطا گردیده است. عامل اول وجود موانع (کوه ها) مرتفع در نواحی جنوبی و جنوب غربی بوده که موجب عدم ارسال و یا دریافت امواج رادار گردیده است. عامل دوم که تاثیر کمتری دارد، دوری از محل رادار و افزایش ارتفاع امواج ارسالی است که موجب گردیده

تا درصدی از توان امواج ارسالی از بالای ابرهای بارشی عبور کرده و به خاطر عدم برخورد با هدف، انعکاسی هم روی ندهد.

**پیشنهاد:** برای کاهش اختلاف مابین داده‌ها دو راه‌حل پیشنهاد می‌شود. راه‌حل اول تغییر مکان سایت رادار به محلی مناسب و با بازدهی بیشتر است که از نظر عملی و سازمانی غیرممکن به نظر می‌رسد. راه‌حل دوم جمع‌آوری داده‌های دراز مدت کالیبره شده رادار برای انواع الگوهای بارندگی در فصول مختلف و برقراری رابطه همبستگی و تولید ضرایب کالیبراسیون برای تمام ایستگاه‌ها چند متغیره (متناسب با وضعیت ایستگاه نسبت به رادار) برای ایستگاه‌هایی که داده‌های رادار برای آنها همرا با خطا می‌باشد.



## منابع

- بارانی زاده، ا.، جوانمرد، س.، عابدینی، ی.، (۱۳۹۰)، صحت سنجی برآورد بارندگی الگوریتم ماهواره ای PERSIANN با داده های بارش زمینی شبکه بندی شده در ایران، کنفرانس فیزیک ایران، فیزیک میان رشته ای، صص ۲۶۱۵ - ۲۶۱۸.
- حاجی میررحیمی، م.، (۱۳۸۶)، ارزیابی تطبیقی مقادیر بارشی نظاره شده توسط سنجنده های ماهواره ای و رادار هواشناسی (محدوده مورد مطالعه شمال غرب کشور)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
- حجازی زاده، ز.، علیجانی، ب.، ضیائی، پ.، رفعتی، س.، (۱۳۹۱)، ارزیابی بارش ماهواره های 3B43 و مقایسه آن با مقادیر حاصل از تکنیک درون یابی کریجینگ، فصلنامه سنجش از دور و GIS ایران، سال چهارم، شماره سوم، صص ۴۹-۶۴.
- عرفانیان، مهدی، بابایی، س.، قنبرلو، ز.، (۱۳۹۱)، ارزیابی داده های بارش ماهواره TRMM و روش های مختلف زمین آماری برای تهیه نقشه متوسط بارندگی سالانه حوضه آبریز دریاچه ارومیه، سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، ساری.
- عرفانیان، مهدی، (۱۳۹۲)، ارزیابی و کالیبراسیون داده های باران ماهواره TRMM در مناطق خشک و نیمه خشک ایران، فصلنامه جغرافیا، سال سوم، شماره ۳، صص ۸۳-۹۵.
- قلی نژاد، ن.، (۱۳۸۶)، مدل سازی توزیع مکانی بارش های شدید منطقه سهند با استفاده از تصاویر ماهواره ای، پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما بهروز ساری صراف و علی-محمد خورشید دوست، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز.
- کتیرائی بروجردی، پ.، (۱۳۹۲)، مقایسه داده های بارش ماهانه ماهواره ای و زمینی در شبکه ای روی ایران، مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۷، شماره ۴، صص ۱۶۰-۱۴۹.
- کریم خانی، م.، ارکیان، ف.، (۱۳۹۳)، بررسی نوع طوفان های تندری منجر به سیل در منطقه آذربایجان شرقی، شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، صص ۲۵۷-۲۶۱.

- محمدیها، ا.، معماریان، م.، ریحانی‌پروری، م.، (۱۳۹۲)، ارزیابی برآوردهای رادار هواشناسی تهران از کمیت بارشی به روش Z-R برای سه رویداد بارش سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۱۱، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۹، شماره ۲، صص ۲۰۴-۱۸۷.
- مظفری، غ.، نارنجی‌فرد، م.، فنودی، م.، (۱۳۹۳)، بررسی پراکنش مکانی-زمانی بارش در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM، همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضاپایدر آمایش سرزمین، دانشگاه آزاد یزد.
- غضنفری مقدم، م.، علیزاده، ا.، موسوی‌بایگی، م.، فریدحسینی، ع.، و بنابیان اول، م.، (۱۳۹۰)، مقایسه مدل PERSIANN با روش‌های درون‌یابی به منظور کاربرد در تخمین مقادیر بارندگی روزانه (مطالعه موردی خراسان شمالی)، نشریه آب و خاک، دانشگاه فردوسی مشهد (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۲۵ (۱)، صص ۲۱۵-۲۰۷.
- Alamgir, Sh., (2009), Characterization and Estimation of Rainfall in Bangladesh Based on Ground Radar and Satellite Observations, PH.D thesis, Institute National Scientific, Bangladesh.
- Almazroui, M., (2010), Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998-2009, Atmospheric Research Journal, 99, PP. 400-414.
- Battan, L., (1973), Radar Observation of the Atmosphere, University of Chicago Press, pp. 324.
- Haque, R., (2013), Validation of TRMM Rainfall for Pangani River Basin in Tanzania, Journal Hydrology and Environment Research, VOL 1, NO1, pp. 30-40.
- Hohl, R., Schiesser, H., (2002), the use of weather radars to estimate hail damage to automobiles: an exploratory study in Switzerland, Atmospheric Research, VOL. 61, pp. 215-238.
- Javanmard, S, Yatagi, A., Nodzu, M., Bodag Jamali, J. and Kawamoto, H., (2010), Comparing high resolution gridded precipitation data with satellite rain fall estimate of TRMM 3B42 over Iran, Adv.Geo.sci., PP.119 – 125.

- Kitz Miller, D., Miller, D., Fulton, R., (2013), Radar and Multi sensor Precipitation Estimation Techniques in National Weather Hydrologic Operations, J. Hydro l. Eng. , NO18, PP.133-142.
- Mishra.A.K, (2012), Application of Merged Precipitation Estimation Technique to Study Intense Rainfall Events over India and Associated Oceanic Region, Atmospheric and Climate Scenes, 2, pp. 222-229.
- Moazeami, S., Golian, S., (2013), Comparison of PERSIANN and V7 TRMM Multi satellite precipitation Analysis (TMPA).products with rain gauge data J. Remote.sens.vol34, no.22, pp.8156-8171.
- Nair, S. & Srinivasan, G., (2009), Evaluation of multi satellite TRMM Derived Rainfall Estimate over a western state of India & journal of the meteorological society of Japan VOL.87, NO.6, pp. 927–939.
- Nelson,B., Part, O., (2015), Evaluation of precipitation Estimate over CONUS derived from Satellite, Radar and Rain gauge data sets at daily to annual Scales(2002-2012), Hydro l. Earth syst. Sci., 19, 20337-2056.
- Overeem, A., (2009), PHD Thesis, Climatology of extreme rainfall from rain gauges and Weather Radar, Wageningen University, the Netherlands.
- Sheng, Ch., (2012), Performance evaluation of radar and satellite rainfalls for typhoon Moroak over Taiwan: Are remote sensing products ready for gauge denial scenario of extreme events, Journal of Hydrology, NO 506, PP .4 – 13.
- Steiner,M., R., Houze, J. and Gutter,S., (1995),Climatologically characterization of three Dimensional storm structure from operational Radar and Rain Gauge Data Journal of Applied Meteorology, VOL 34, P.P1978 – 1959.
- Toofani Nejad, Z., (2007), Use of X Band Weather surveillance radar for areal rainfall estimation Wageningen University and Research Centre, M. Sc Thesis, The Netherlands.
- Vucinic, Z., & Najd, J. , (2014), Comparison of Polarize Techniques for precipitation estimation in Serbia & ERAD, Abstract, ID 197.

- Yazdani, A., Khalili, M. , Golkar, F., (2004), Weather radar calibration in central iran applying ground basedrain gauges data, Sixth international symposium on hydro logical Application of weather radar, 2-4 Feb 2004, Melbourne, Australia.
- Yilmaz, K., Hogue, T., Hsu, K., Soroshian, S., Gupta, H. and Wagener, T., (2005), Inter comparison of rain gauge, radar, and satellite-based precipitation estimates with emphasis on hydrologic forecasting, Journal of Hydro meteorology, VOL 6, pp 497-517.