

ارزیابی و واسنجی برآورد شدت بارش رادار گیلان با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های زمینی

سحر تاج‌بخش^{۱*}، فروغ مؤمن‌پور^۲، حسین عابد^۳، سمانه نگاه^۴ و نیما فرید مجتهدی^۲

۱. استادیار، گروه کاوش‌های جوی، پژوهشکده هواشناسی، تهران، ایران
 ۲. کارشناس، اداره پیش‌بینی هواشناسی گیلان، رشت، ایران
 ۳. رئیس، گروه تحقیقات هواشناسی کاربردی گیلان، رشت، ایران
 ۴. کارشناس، گروه تحقیقات هواشناسی کاربردی گیلان، رشت، ایران

(دریافت: ۹۶/۱۱/۲۵، پذیرش نهایی: ۹۷/۲/۲۵)

چکیده

هدف از این پژوهش، تعیین ضرایب رابطه مارشال-پالم برای بازتابش رادار هواشناسی گیلان با استفاده از شدت بارش دیدبانی شده است. به همین منظور، ابتدا وایازش توانی داده‌های بارش رادار هواشناسی (با استفاده از ضرایب پیش‌فرض در رابطه مارشال-پالم) بر حسب داده‌های باران‌سنج ایستگاه خودکار فرودگاه رشت استان گیلان در یک بازه سه‌ساله (۲۰۱۲-۲۰۱۵) انجام و ضرایب جدید شناسایی شدند. سپس، با اعمال ضرایب جدید، شدت بارش رادار دوباره محاسبه و مقادیر به‌دست‌آمده شدت بارش در هر دو حالت (با ضرایب پیش‌فرض و جدید)، با استفاده از آماره ریشه مجذور مربعات، با داده‌های دیدبانی باران‌سنج ایستگاه هواشناسی رشت مقایسه شدند. این مقایسه یک مرتبه بر اساس فصل‌های مختلف و مرتبه دیگر بر اساس شدت بارش‌ها انجام شد. نتایج بررسی‌های فصلی نشان از بهبود نسبی برآورد شدت بارش رادار پس از تصحیح ضرایب دارد به‌گونه‌ای که برآورد شدت بارش در ماه‌های مارس تا می (بهار)، ۳۸ درصد و ماه‌های دسامبر تا فوریه (زمستان) ۲۲ درصد اصلاح شد. طی ماه‌های ژوئیه تا نوامبر (تابستان و پاییز) تغییر قابل‌توجهی در برآورد شدت بارش دیده نشد. نتایج به‌دست‌آمده برای شدت بارش (بدون در نظر گرفتن فصل‌ها) نشان داد که پس از اعمال ضرایب جدید، بارش‌های متوسط و شدید به‌ترتیب ۲۵ و ۴۷ درصد بهبود داشته‌اند. این در حالی است که برای بارش با شدت ملایم، تغییری در نتایج بر اساس روش به‌کاررفته مشاهده نشد. به نظر می‌رسد تصحیح ضرایب برای بارش‌های شدیدتر کاربرد بیشتری دارد.

واژه‌های کلیدی: رابطه مارشال-پالم، شدت بازتاب رادار هواشناسی، ایستگاه خودکار هواشناسی، وایازش.

۱. مقدمه

محاسبه شدت بارش توسط رادار، یکی از روش‌های واسنجی رادار است که برای اصلاح شدت بارش رادار استفاده می‌شود. مطالعات زیادی درباره بررسی صحت بارش برآورد شده توسط رادار در دنیا انجام شده است. اینفالت و مهلیگ (۲۰۰۵)، با بررسی پنج رخداد بارندگی شدید خردمقیاس در شمال آلمان، شدت بارش را بر اساس داده‌های باران‌سنج و رادار مقایسه نمودند. مقایسه اندازه‌گیری‌های بارش توسط باران‌سنج و رادار در بارش‌های سنگین توسط فیشر و همکاران (۲۰۰۶) انجام شد. لی (۲۰۰۶) منابع خطای اندازه‌گیری‌های بارندگی رادارها را بر اساس متغیرهای توزیع اندازه قطره‌ها، رابطه Z-R و نوفه‌های مشاهده شده شناسایی نمود. توکای و همکاران (۲۰۰۹) در یک مطالعه میدانی، رابطه بازتابش و

رادار، یکی از ابزارهای سنجش از دور در هواشناسی برای شناسایی و پایش پدیده‌های جوی است. این ابزار با ارسال موج الکترومغناطیسی با توان مشخص به‌سوی جو، میزان توان برگشتی در اثر برخورد به یکی از پدیده‌های جوی (مانند باران) را ارزیابی نموده و با بررسی اختلاف میان توان موج ارسالی و برگشتی، به سنجش شرایط جوی و پدیده‌های وضع هوا از جمله بارش می‌پردازد. رادارها مشابه سایر ابزارهای سنجش از دور، دارای خطای اندازه‌گیری هستند. برخی از این خطاها ناشی از مشکلات سخت‌افزاری تجهیزات است که معمولاً به‌طور تجربی و با تکرار اندازه‌گیری‌ها قابل شناسایی می‌باشند برخی خطاهای دیگر می‌توانند با روش‌های واسنجی رادار کاهش یابند و اصلاح ضرایب روابط به‌کار رفته برای

داده‌های بارش اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های زمینی منطقه حدود ۳۰٪ نسبت به گذشته بهبود یافته است. موضوع داده‌گذاری به کمک داده‌های رادار نیز در بهبود برون‌داد مدل‌های پیش‌بینی عددی نقش بسزایی دارد و امروزه در این زمینه مطالعات متعددی در کشور انجام شده است (صفر و همکاران، ۱۳۹۱؛ نیستانی و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین کنترل کیفی داده‌های رادار با استفاده از ساختار برگشت‌پذیری نیز انجام شده است (صفر و همکاران، ۱۳۹۵). در مطالعه دیگری نیز صفر و احمدی گیوی (۱۳۹۶)، بهترین طرح‌واره همرفت یک مدل پیش‌بینی عددی به کمک داده‌های رادار را ارائه نمودند. بررسی داده و اطلاعات رادارهای هواشناسی بر کیفیت این اطلاعات می‌افزاید. در کشور کارهای زیادی در این خصوص انجام شده است. کاربردهای زیادی عوامل متعددی در دقت اندازه‌گیری شدت بارش به کمک رادار دخالت دارند که مهم‌ترین آنها در سه گروه شامل الف) سخت‌افزار و تجهیزات رادار، ب) عوامل فیزیکی و محیطی مانند، وابستگی پراکندگی به قطر ذرات، تغییرات نمایه بازتابش در راستای قائم، تضعیف امواج الکترومغناطیس توسط گازهای تشکیل دهنده جو و بارش، انتشار غیر معمول امواج الکترومغناطیس و غیره و ج) رابطه بین شدت بارش و مقدار بازتابش (رابطه Z-R) طبقه‌بندی می‌شوند. رابطه یاد شده اخیر، بر اساس ارتباط بین شدت بارش (R) و مقدار بازتابش اندازه‌گیری شده (Z) تعریف شده است (ریحانی‌پرووری، ۱۳۸۸). این رابطه یک رابطه تحلیلی - تجربی به صورت $Z = aR^b$ می‌باشد که به رابطه مارشال-پالمر معروف است و توسط مارشال و پالمر (۱۹۴۸) ارائه شده است. در این رابطه a و b به نوع بارش، فصل و عرض جغرافیایی بستگی دارد. با فرض اینکه داده‌های Z از دقت مناسب برخوردار باشند، به دست آوردن بهترین ثابت‌های a و b می‌تواند به داده‌های مناسب شدت بارش منتج گردد. برای به دست آوردن این ثابت‌ها می‌توان از مقایسه داده‌های بارش ثبت شده توسط باران‌سنج‌ها و داده‌های بازتابندگی رادار استفاده نمود.

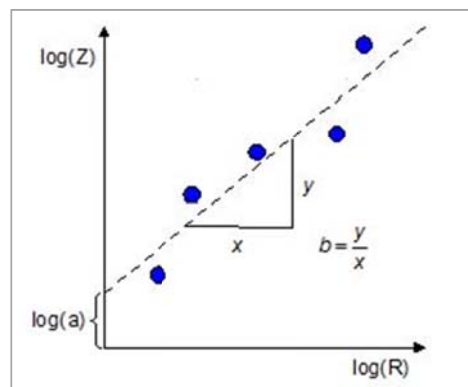
Z-R را با استفاده از نقطه‌گذاری قائم رادار و داده‌های چکه‌سنج (ابزاری برای اندازه‌گیری توزیع قطر ذرات و سرعت سقوط آنها) انجام دادند. وو و کیتزملر (۲۰۱۲) به کمک سامانه ملی چندگانه موزاییکی (NMQ)، شدت بارش‌ها را برای یک دوره بلند مدت تخمین زده و با اطلاعات شدت بارش تولید شده توسط رادار داپلر نظارتی وضع هوا (WSR-88D) مقایسه و ارزیابی نمودند. کی و همکاران نیز در سال ۲۰۱۴ داده‌های راداری بارش WSR-88D را با استفاده از دیدبانی‌های باد بهبود دادند. همچنین در همین سال، بلون و فابری داده‌های بازتابش رادار را برای اندازه‌گیری‌های مختلف واسنجی نمودند. کرانن و چاندرسکن (۲۰۱۴) نیز پرتوهای ضعیف بازتاب رادارهای دوگانه را برای بارش‌های خفیف آشکارسازی نموده و مقادیر شدت را به صورت کمی تخمین زده و آنها را اعتبارسنجی کردند. طبقه‌بندی بارش‌های زمستانی به کمک بازتابش رادارهای دوگانه توسط تامسون و همکاران در سال ۲۰۱۴ بر اساس فرضیه‌های خردفیزیکی انجام شد. مک‌رابرتز و نیلسن گامون (۲۰۱۷) به منظور استفاده بهینه از اطلاعات بارش رادارهای هواشناسی، روشی را برای آشکارسازی مقدار بارش در باریکه‌هایی که توسط موانع سخت مسدود شده‌اند، ارائه کردند. اسپیرز و همکاران (۲۰۱۷) نیز، مقدار بارش برآورد شده توسط رادار اندازه‌گیری جهانی بارش (GPM) و رادار منطقه آلپ کشور سوئیس را با یکدیگر مقایسه کردند. آنها نشان دادند با توجه به اینکه رادار GPM داده‌های بارش را در مقیاس جهانی تهیه می‌کند و اثرات اقلیمی و پستی و بلندی زمین نقش مهمی در این برآورد دارد، مقادیر بارش برآورد شده توسط GPM کمتر از مقدار رادار نصب شده در محل است. محمدیها و همکاران (۱۳۹۲) به کمک سه رویداد بارشی ضرایب رابطه‌ی Z-R را برای رادار هواشناسی تهران که به صورت $Z = 200R^{1.6}$ در نظر گرفته شده بود، مورد بازنگری قرار دادند و با تعریف مجدد این رابطه به صورت $Z = 100R^{1.3}$ ، نشان دادند که انطباق برآورد شدت بارش رادار هواشناسی تهران و

استخراج و با داده‌های دیدبانی مقایسه و سپس ضرایب رابطه شدت بارش بر حسب شدت بازتابندگی رادار برای رادار گیلان تعیین و نتایج به یکی از روش‌های آماری ارزیابی شود. به همین منظور در ادامه، به معرفی داده‌های موجود و روش انجام این مطالعه در بخش دوم پرداخته می‌شود. در بخش سوم، نتایج حاصل از این بررسی، تحلیل و تفسیر می‌شوند و در نهایت با ارزیابی نتایج این مطالعه، به نتیجه‌گیری حاصل از این بررسی ارائه می‌شود که در بخش چهارم این مقاله آمده است.

۲. داده‌ها و روش پژوهش

در این مقاله، از داده‌های بارش برآورد شده رادار گیلان، ایستگاه هواشناسی همدیدی رشت و ایستگاه هواشناسی کشاورزی رشت استفاده شده است. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی زمینی در جدول ۱ آمده‌اند. با توجه به ماهیت خروجی داده‌های رادار که در بازه زمانی ۱۵ دقیقه‌ای تولید می‌شوند، داده‌های باران‌نگار به جای باران‌سنج مورد استفاده قرار گرفته‌اند. داده مورد استفاده دیگر، داده‌های رادار بندر کیشهر می‌باشد. این رادار سال ۲۰۱۳ راه‌اندازی شده است که از نوع DP-MTEOR1600C در باند فرکانس رادارهای داپلر (c-band) با پلاریزاسیون دوگانه است و اطلاعات آن، توسط نرم‌افزار رنگین‌کمان (RAINBOW) پردازش می‌شود. بُرد رادار ۲۵۰ کیلومتر و توان ارسالی آن ۲۵۰ کیلووات است. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و پوشش مکانی و موقعیت جغرافیایی رادار در شکل ۲ آمده است.

یک مدل مناسب برای تعیین ثابت‌های a و b در رابطه نمائی $Z-R$ بر مبنای داده‌های رادار و باران‌سنج‌ها است، استفاده از رابطه $\log Z_i = b \log R_i + \log a$ با استفاده از روش وایزش برای تعیین مقادیر a و b می‌باشد (شکل ۱).

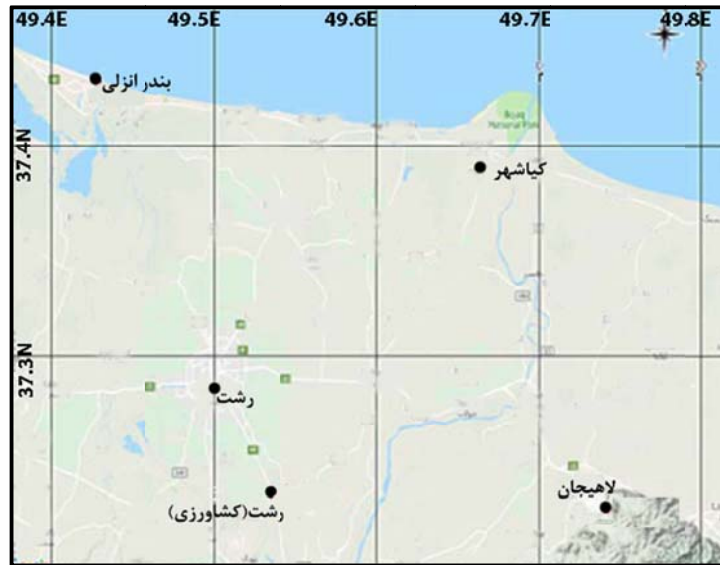


شکل ۱. تغییرات Z و R

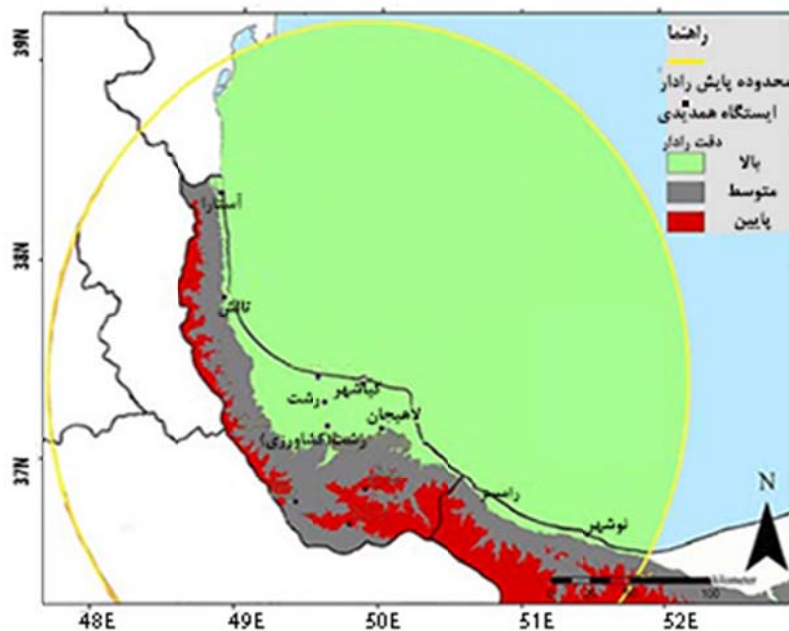
شایان ذکر است که اختلاف میان بارش ارزیابی شده توسط رادار و باران‌سنج‌ها، همواره ناشی از عدم واسنجی الکتریکی رادار یا انتخاب نادرست ثابت‌ها در رابطه $Z-R$ نیست. برخی از عدم تطابق‌ها می‌تواند به دلایل فیزیکی مانند تضعیف یا استتار جزئی پرتو رادار ایجاد شود. بخش دیگری از عدم همخوانی بین اطلاعات شدت بارش رادار و باران‌سنج می‌تواند ناشی از این حقیقت باشد که مقدار تخمین باران در باران‌سنج‌ها همیشه معتبرتر از سایر اندازه‌گیری‌ها نیست (ریحانی پروری، ۱۳۸۸). با این دیدگاه، در این مطالعه نیز کوشش می‌شود با هدف بهبود و ارتقای شدت بارش برآورد شده رادار هواشناسی، داده‌های رادار هواشناسی گیلان برای یک بازه منتخب

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی فرودگاهی رشت.

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	مشخصات جغرافیایی			نوع باران‌سنجی ایستگاه		
			طول	عرض	ارتفاع از تراز دریای آزاد (متر)	گراف	باران‌سنج	خودکار
۱	رشت فرودگاه	سینوپتیک	۴۹/۶۲	۳۷/۳۲	-۸/۶	موجود	موجود	موجود
۲	رشت کشاورزی	سینوپتیک	۴۹/۶۵	۳۷/۲	۲۴/۹	موجود	موجود	موجود



(الف)



(ب)

شکل ۲. الف) موقعیت جغرافیایی رادار کیشهر و ایستگاه‌های همدیدی و کشاورزی رشت، ب) پوشش مکانی محدوده فعالیت رادار کیشهر (خط زرد) و خط توپر مشکی مرزهایی استان‌ها را نشان می‌دهد.

جاروب (scan) ۱۵ دقیقه رادار تشکیل شود. به این ترتیب، هر ساعت شامل چهار جاروب کامل می‌شود. سایر مشخصات رادار گیلان در جدول ۲ آمده است.

برای تولید محصول، در بازه زمانی هشت دقیقه‌ای، ۲۰ زاویه ارتفاعی مختلف از صفر تا ۴۰ درجه پیمایش و ۷ دقیقه زمان صرف پردازش اطلاعات می‌شود تا یک

جدول ۲. مشخصات رادار هواشناسی کیشهر.

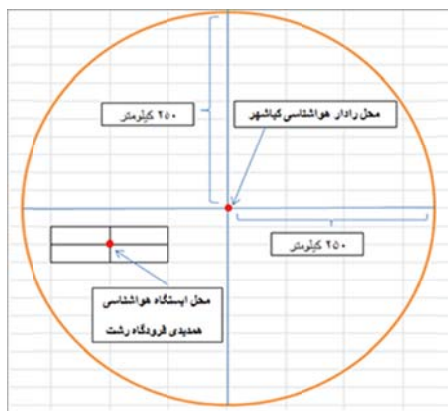
مشخصات	عنوان	مشخصات	عنوان
5 min	حداکثر زمان چرخش	37°23'	عرض جغرافیایی
RVP	پردازش سیگنال	49°53'	طول جغرافیایی
dual	قطبش	-22m	ارتفاع زمین
Kw	قدرت	30 cm	ارتفاع برج
Z=200R ^{1.6}	Z-R زمستان	C	باند
200R ^{1.6}	Z-R تابستان	degree	عرض پرتو
600 Hz	پیشینه PRF	MHz	فرکانس
1392	سال نصب و راه‌اندازی	1 min	حداقل زمان چرخش

کارشناسان نیز به صورت چشمی کنترل شدند. با توجه به زمان راه‌اندازی رادار گیلان، مقایسه داده‌ها برای سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶ مقدور است. برای واسنجی، بازه‌ی کوتاه زمان نمونه‌گیری ۱۵ دقیقه‌ای با هدف افزایش دقت کار هم‌زمان بین رادار و ایستگاه همدیدی انتخاب و با در نظر گرفتن اطلاعات در دسترس، تعداد موارد مورد بررسی، به ۴۰ روز در بازه‌ی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ کاهش یافت (جدول ۳).

پیش از مقایسه داده‌های باران‌سنج و رادار، برای اطمینان بیشتر بر صحت اطلاعات ایستگاه‌های خودکار، علاوه بر کنترل کیفی توسط نرم‌افزارهای موجود، از گزارش‌های دیدبانی همدیدی سه‌ساعته نیز استفاده شده است؛ به گونه‌ای که مجموع ۲۴ ساعته داده‌های بارش ۱۰ دقیقه‌ای باران‌سنج خودکار در هر روز با داده‌های بارش ایستگاه همدیدی (مجموع بارش روزانه از ساعت UTC ۰۶ تا ساعت UTC ۰۶ روز بعد) مقایسه و در نهایت توسط

جدول ۳. روزهای نهایی مورد استفاده در این مطالعه.

۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵
۰۸/۰۸	۰۱/۰۱	۰۷/۱۹
۰۹/۲۹	۰۱/۰۲	۰۸/۲۶
۰۹/۳۰	۰۱/۰۸	۰۹/۱۸
۱۰/۰۵	۰۱/۳۰	۱۰/۱۶
۱۰/۰۶	۰۱/۳۱	۱۰/۲۸
۱۰/۰۷	۰۲/۰۱	۱۰/۳۱
۱۰/۰۸	۰۲/۰۲	۱۱/۱۷
۱۱/۱۴	۰۲/۱۱	۱۱/۱۸
۱۱/۱۶	۰۲/۱۲	۱۲/۰۶
۱۱/۱۷	۰۲/۱۸	
۱۱/۱۹	۰۲/۱۹	
۱۱/۲۰	۰۵/۲۱	
۱۱/۱۲	۰۵/۲۲	
۱۱/۲۲	۰۵/۲۴	
۱۲/۰۴		
۱۲/۰۹		



شکل ۳. فاصله هوایی محل رادار گیلان و ایستگاه هواشناسی همدیدی فرودگاه رشت.

با توجه به تفاوت زمانی تولید داده‌های رادار و باران‌سنج، تطابق زمانی بین این دو سری داده ضروری است. همان‌گونه که گفته شد، محصولات تولید شده رادار در هر لحظه، حداقل ۷ دقیقه پیش تولید شده است. برای مثال، محصولی که ساعت ۱۰:۱۵ در دسترس می‌باشد، مربوط به بازه زمانی ۱۰:۰۰ تا ۱۰:۰۸ دقیقه است. از سوی دیگر داده‌های باران‌سنج در بازه ۱۰ دقیقه‌ای تولید می‌شود؛ بنابراین به نظر می‌رسد داده مربوط به ساعت ۱۰:۱۰ باران‌سنج با داده ۱۰:۱۵ رادار (مربوط به ۱۰:۰۸ است) بیشترین هم‌خوانی را داشته باشد (جدول ۴).

جدول ۴. تطبیق زمانی داده‌های باران‌سنج دیتالاگر با داده‌های رادار.

ساعت در دسترس بودن داده رادار	ساعت واقعی تولید داده رادار	ساعت تولید داده باران‌سنج	ساعت داده‌برداری
*		*	۱۰
	*		۱۰:۰۸
		*	۱۰:۱۰
*			۱۰:۱۵
		*	۱۰:۲۰
	*		۱۰:۲۳
*		*	۱۰:۳۰
	*		۱۰:۳۸
		*	۱۰:۴۰
*		*	۱۰:۴۵
		*	۱۰:۵۰
	*		۱۰:۵۳
*		*	۱۱

هر پیکسل صفحه راداری مبین مساحت یک کیلومتر مربع است (یک مربع به ضلع ۱ کیلومتر). در مقابل، باران‌سنج دارای اطلاعات نقطه‌ای می‌باشد، برای کاهش خطای ناشی از این مقایسه، به‌جای استفاده از تصاویر رادار، از فایل متنی (ASCII) مرتبط با هر تصویر استفاده شده است و به‌این ترتیب، مقادیر بازتاب راداری (dbz) متناسب با مکان باران‌سنج‌ها، با استفاده از فرمت متنی به دست آمده است. برای دسترسی به داده‌ها در بازه زمانی مورد نظر، با توجه به حجم زیاد داده‌های ورودی، نرم‌افزاری در محیط ویژوال بیسیک طراحی و نوشته شد تا داده‌های مورد نیاز از فایل متنی استخراج شوند. به این منظور، ابتدا، با استفاده از نرم‌افزار گوگل ارث (Google Earth)، فاصله هوایی ایستگاه هواشناسی فرودگاهی رشت و سایت رادار هواشناسی کیشهر تقریباً معادل ۲۶۵۰۰ متر برآورد شد (شکل ۳). به‌منظور تعیین مقادیر بارش در موقعیت رادار هواشناسی کیشهر و ایستگاه هواشناسی همدیدی فرودگاه رشت در فایل متنی، با توجه به گام مکانی ۱ کیلومتری رادار و فاصله‌های قائم و افقی تقریبی به‌دست‌آمده از تصویر گوگل، محل تقریبی ایستگاه هواشناسی همدیدی فرودگاه رشت تعیین شد.

شدت بارش رادار (SRI) برحسب mm/hr و بازتابش رادار (Z) بر حسب mm^6/m^3 و ایازش توانی گرفته شد و ضریب جدید a و همچنین توان جدید b محاسبه شدند. سپس، با جایگزینی مقادیر جدید a و b در رابطه توانی مارشال-پالمر، به همراه Z موجود، شدت بارش اصلاحی رادار (Z') به دست می‌آید. به‌منظور تعیین خطای تخمین مقادیر شدت بارش می‌توان از آماره تخمین خطای RMSE استفاده نمود (آخوند علی و همکاران، ۱۳۹۲).

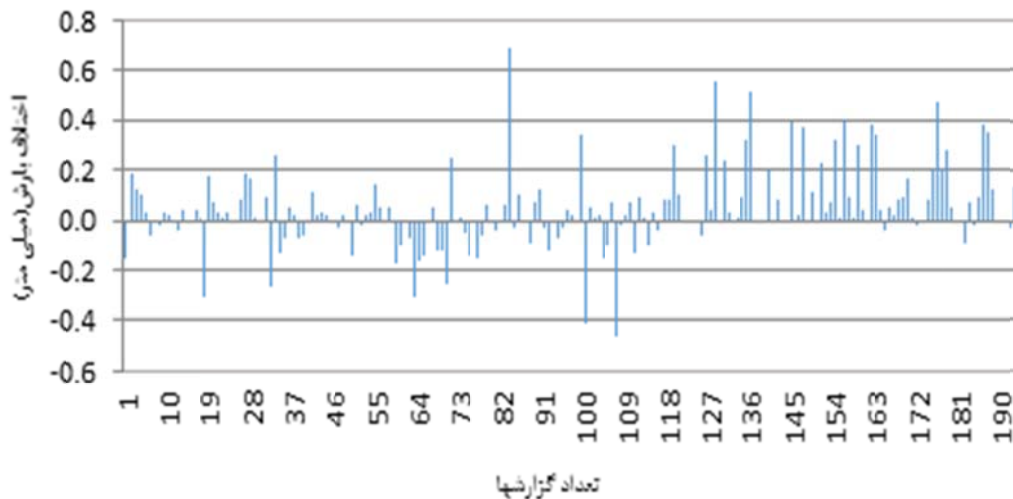
۳. نتایج

مقایسه اطلاعات بارش ایستگاه خودکار و غیر خودکار نشان داد که در طول دوره آماری مورد بررسی (۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵)، به‌جز چند مورد، تفاوت قابل توجهی بین این دو داده وجود ندارد. اختلاف بارش ثبت شده در ایستگاه همدیدی با بارش ثبت شده در ایستگاه خودکار به‌غیر از چند مورد، کمتر از ۱ میلی‌متر است (شکل ۴).

با توجه به عملکرد چرخشی رادار، تصاویر و داده‌های متناظر شدت بارش (SRI) آن، در سطوح ۰/۵، ۱ و ۱/۵ کیلومتر در دسترس است. پس از مقایسه داده‌های هر سه سطح با داده‌های ایستگاه‌های زمینی، اطلاعات سطح ۰/۵ کیلومتری، به‌عنوان مناسب‌ترین سطح برای مقایسه در نظر گرفته شد. واحد شدت بارش (SRI) در فایل متنی برحسب رادار با باند دوگانه (Dou Band Radar -dBR) و در رابطه مارشال-پالمر، میلی‌متر بر ساعت می‌باشد. برای یکسان‌سازی واحدها از رابطه زیر استفاده شده است.

$$(SRI (dBR)/10) = (SRI (\frac{mm}{hr}))^{10} \quad (1)$$

که در این رابطه $SRI (\frac{mm}{hr})$ شدت بارش بر حسب میلی‌متر بر ساعت و $SRI (dBR)$ شدت بارش به‌دست‌آمده از رادار بر حسب dBR است. در این مرحله برای ۳۰ رخداد بارش با شدت‌های شدید، متوسط و ملایم (بر اساس استاندارد سازمان هواشناسی جهانی، ۲۰۱۴) بین



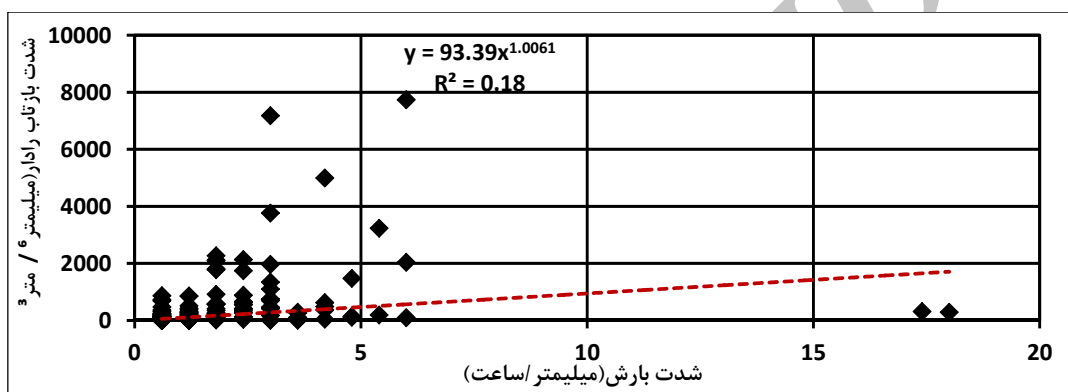
شکل ۴. اختلاف بارش ایستگاه خودکار و همدیدی.

مقادیر ضرایب جدید به صورت $a = 93/386$ و $b = 1/0061$ و ضریب تبیین R^2 ، معادل $0/17$ ، برای فصل زمستان به دست آمد. در شکل ۵-ب، سری زمانی تغییرات مقادیر شدت بارش رادار و بارانسنج برای فصل زمستان (ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه) دیده می‌شود. مقایسه نتایج قبل و بعد از اعتبارسنجی، نشان‌دهنده‌ی آن است که جذر میانگین مربع خطاهای مارشال-پالمر از $2/44$ به $1/89$ رسید و نشان‌دهنده‌ی کاهش ۲۲ درصدی جذر میانگین مربع خطاها می‌باشد.

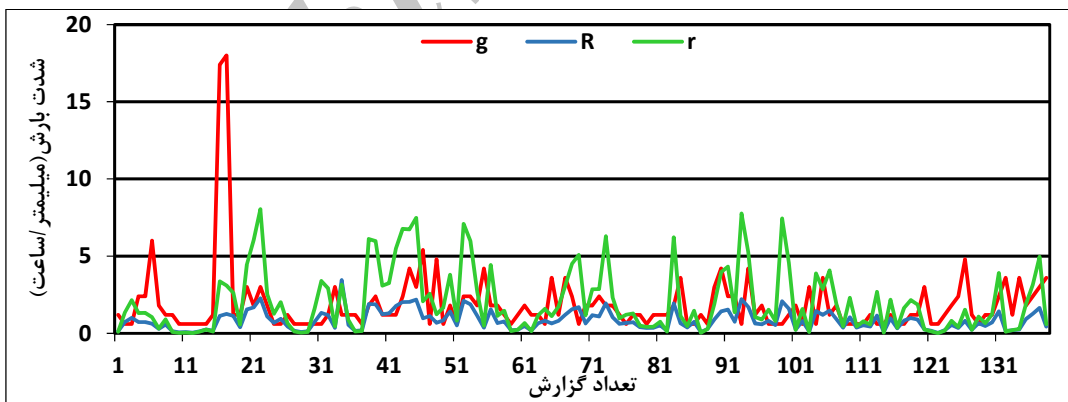
با اطمینان از صحت داده‌های ایستگاه خودکار، بارش اصلاحی بر اساس روشی که در بخش دوم اشاره شد، محاسبه و شدت بارش‌های دیدبانی شده و برآورد شده توسط رادار در فصول مختلف به شرح زیر با یکدیگر مقایسه شدند.

۳-۱. فصل زمستان (دسامبر، ژانویه و فوریه)

پس از بررسی و جداسازی داده‌های فصل زمستان، بررسی ۱۴۰ نمونه هم‌زمان امکان‌پذیر شد.



(الف)



(ب)

شکل ۵. الف) معادله و ابازش توانی بین شدت بارش بارانسنج و بازتابش رادار هواشناسی گیلان، ب) سری زمانی بارش بارانسنج (g)، رادار بدون اصلاح (R) و رادار اصلاح‌شده (r) برای فصل زمستان.

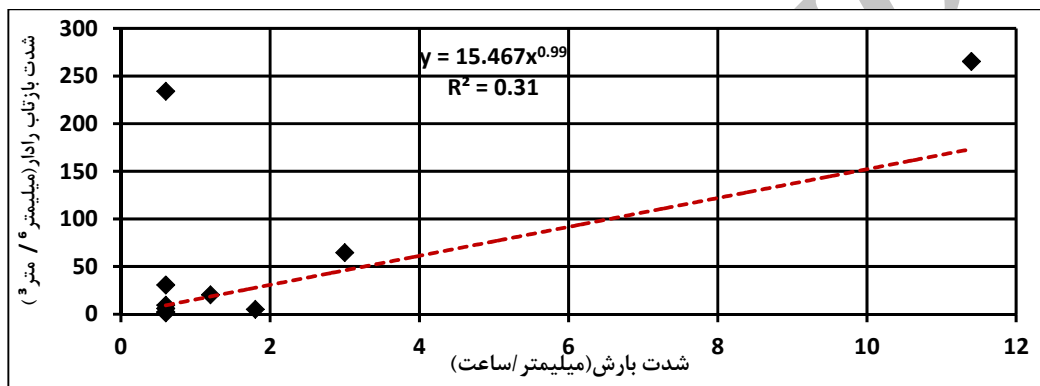
و می) نیز جذر میانگین مربع خط‌های مارشال-پالمر برابر $3/63$ بوده که با واسنجی، این عدد به $2/24$ رسید و نشان‌دهنده‌ی کاهش 38 درصدی جذر میانگین مربع خط‌ها می‌باشد.

۳-۳. فصل تابستان (ژوئن، ژوئیه و اوت)

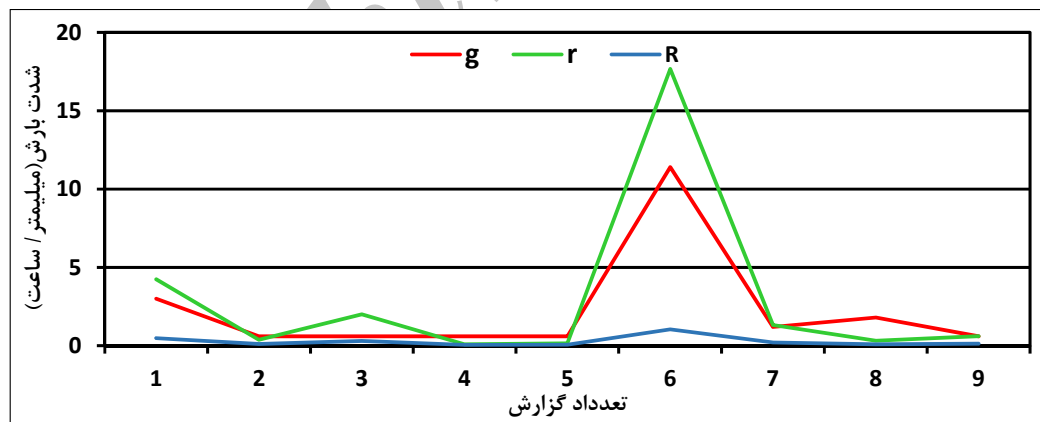
طی ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت، پس از بررسی و جداسازی داده‌ها، 45 داده هم‌زمان در دسترس می‌باشد.

۳-۲. فصل بهار (مارس، آوریل و می)

طی ماه‌های مارس، آوریل و می (فصل بهار)، با توجه به مشکلات پیش‌آمده در رادار و در نتیجه کمبود داده هم‌زمان با باران‌سنج، تنها 10 داده در دسترس بوده است. برای فصل بهار (شکل ۶-الف) مقادیر عددی ضرایب جدید به صورت $a=15/467$ و $b=0/9931$ و $R^2=0/30$ محاسبه شده است. با اعمال ضرایب جدید، تغییرات شدت بارش (r در شکل ۶-ب) به مقادیر دیدبانی (R در شکل ۶-ب) نزدیک‌تر شده است. در این فصل (مارس، آوریل

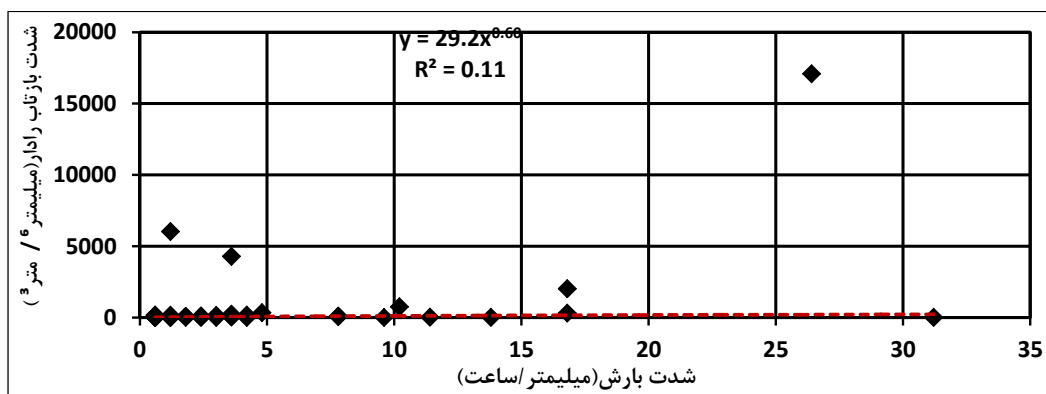


(الف)

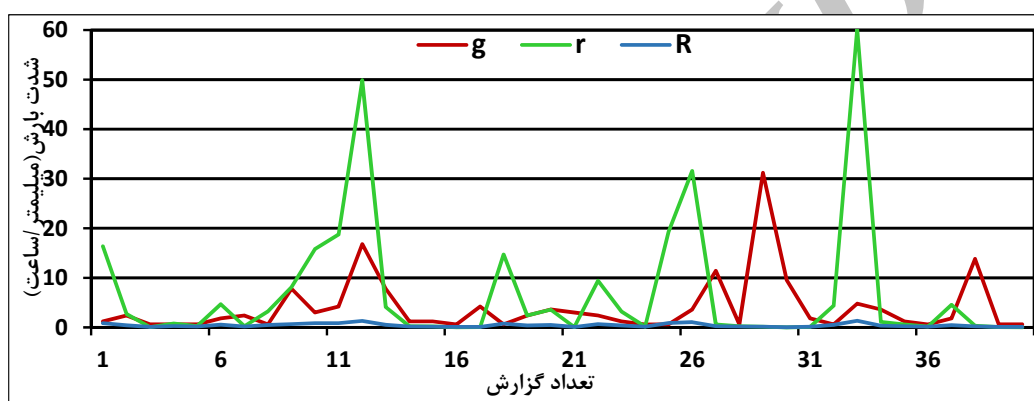


(ب)

شکل ۶. الف) مشابه شکل ۵-الف اما برای فصل بهار، ب) مشابه شکل ۵-ب اما برای فصل بهار.



(الف)



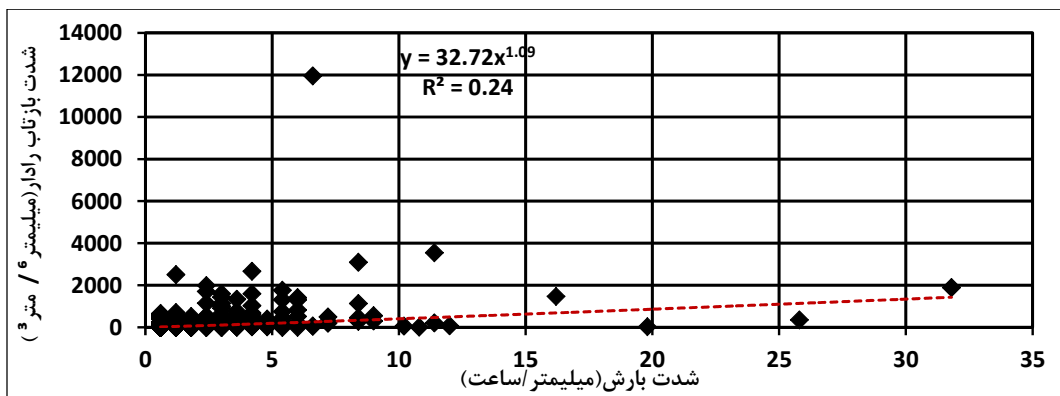
(ب)

شکل ۷. الف) مشابه شکل ۵-الف اما برای فصل تابستان، ب) مشابه شکل ۵-ب اما برای فصل تابستان.

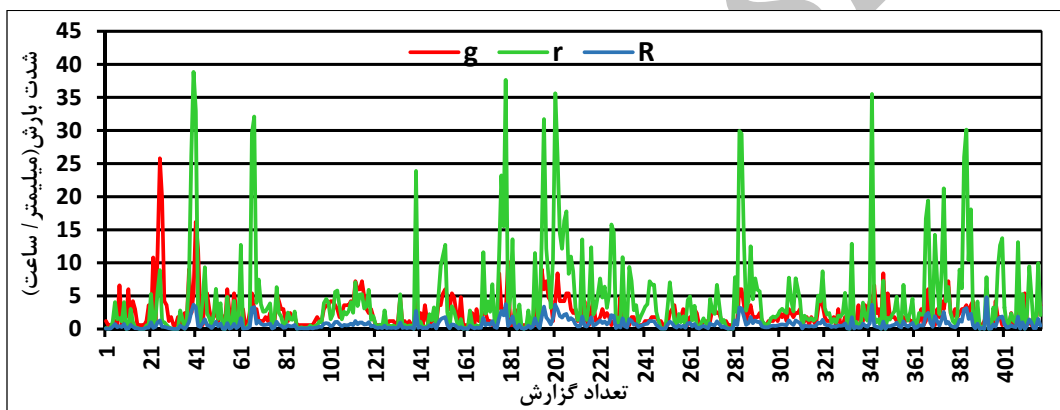
۳-۴. فصل پاییز (سپتامبر، اکتبر و نوامبر)

در ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر پس از بررسی و جداسازی داده‌ها، تعداد ۴۲۴ نمونه هم‌زمان جهت بررسی باقی ماند. مقادیر عددی ضرایب جدید معادل $a=32/717$ و $b=1/0.918$ و ضریب تبیین 0.23 محاسبه شده است (شکل ۸-الف). سری زمانی شدت بارش در رادار و باران‌سنج نیز برای سه ماه ژوئن، ژوئیه و اوت در شکل ۸-ب مشاهده می‌شود. مقایسه‌ی مقادیر شدت بارش برای قبل و بعد از اصلاح ضرایب، حاکی از آن است که جذر میانگین مربع خطاهای مارشال-پالمر برابر $2/8$ بوده که با واسنجی، این عدد تغییری نداشته است. به این ترتیب در فصل‌های زمستان و بهار بهترین اصلاح مقدار شدت بارش انجام شده است.

همان‌طور که از شکل ۷-الف دیده می‌شود، مقادیر عددی ضرایب جدید به صورت $a=29/204$ و $b=0/605$ و ضریب تبیین $R^2=0/113$ است. شکل ۷-ب سری زمانی داده‌های رادار و باران‌سنج را برای فصل تابستان (ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت) نشان می‌دهد. جذر میانگین مربع خطاهای مارشال-پالمر بر اساس مقادیر شدت بارش برای قبل و بعد از اصلاح ضرایب مقایسه شدند و نتایج نشان‌دهنده‌ی کاهش $1/3$ درصدی جذر میانگین مربع خطاها می‌باشد به گونه‌ای که این شاخص قبل اصلاح مقادیر شدت بارش معادل $6/9$ و پس از واسنجی، این عدد به $6/8$ رسید که در مقایسه با فصل بهار کاهش کمتری را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

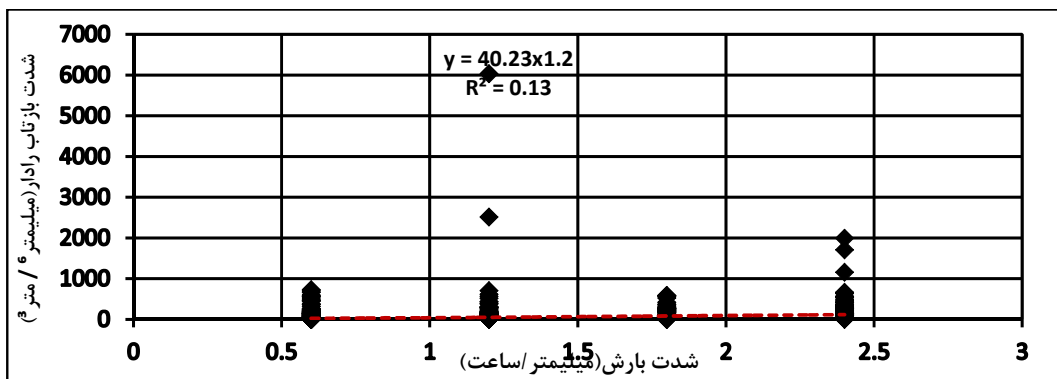
شکل ۸. الف) مشابه شکل ۵-الف اما برای فصل پاییز، ب) مشابه شکل ۵-ب اما برای فصل پاییز.

و در این مطالعه نیز برای رادار گیلان به شرح زیر انجام شده است.

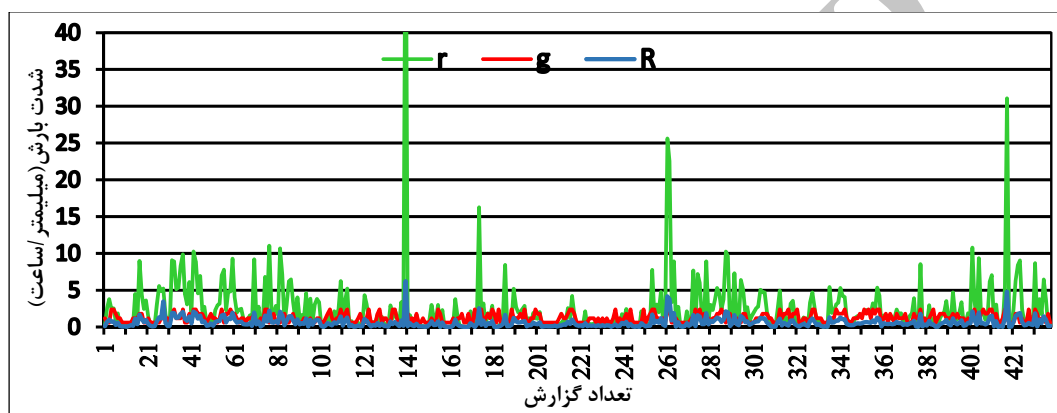
۳-۴-۱. بارش ملایم

برای شدت ملایم بارش‌ها، ضرایب جدید به صورت $a = 40/231$ و $b = 1/203$ و ضریب R^2 معادل $0/17$ محاسبه شد (شکل ۹-الف). مقایسه‌ی قبل و بعد از اصلاح ضرایب بر اساس شکل ۹-ب، نشان‌دهنده‌ی افزایش جذر میانگین مربع خطاهای مارشال-پالمر از $0/98$ به $1/7$ است.

مشابه بررسی فصلی تأثیر مقادیر اصلاح شده بارش، تغییرات ۱۵ دقیقه‌ای بارش در ایستگاه فرودگاه رشت بر اساس شدت بارندگی و بدون در نظر گرفتن فصول متفاوت نیز بررسی شده‌اند. شدت بارش بر اساس استانداردهای بین‌المللی عمدتاً در سه گروه ملایم، متوسط و شدید تقسیم‌بندی می‌شود (سازمان هواشناسی جهانی، ۲۰۱۴). مشابه این کار از سال‌های دور در دنیا متداول بوده است (لین و اسمیت، ۱۹۹۸؛ کرمونینی و بهینی، ۲۰۱۰؛ سوزانا و وارده، ۲۰۱۱)



(الف)



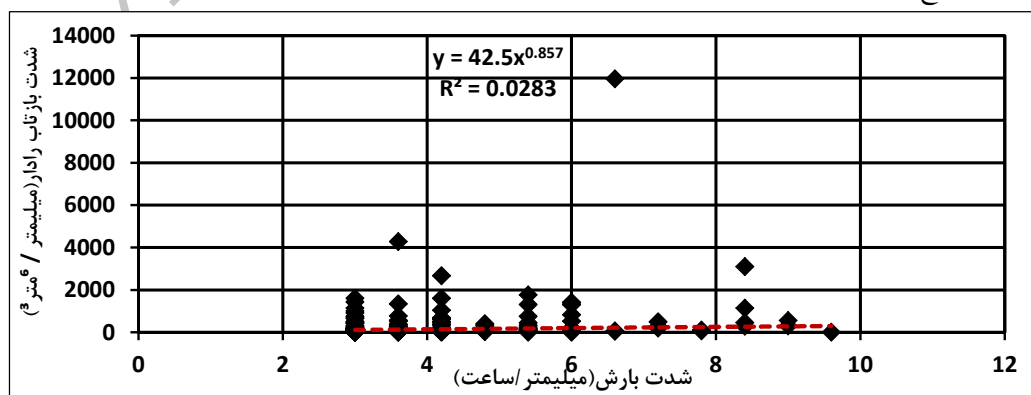
(ب)

شکل ۹. الف) معادله و ابازش توانی بین شدت بارش بارانسنج و بازتابش رادار برای بارش ملایم رادار هواشناسی گیلان، ب) سری زمانی بارش بارانسنج (g)، رادار بدون اصلاح (R) و رادار اصلاح شده (f).

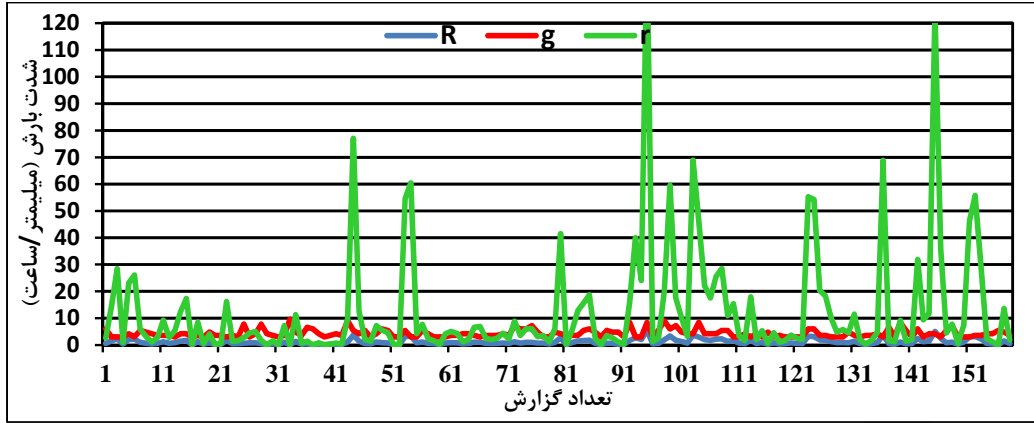
۳-۲. بارش متوسط

همانگونه که در شکل ۱۰-الف دیده می شود، ضرایب جدید a, b در بارش های متوسط، به صورت $a = 42/576$ و $b = 0/3574$ و ضریب تبیین معادل $0/0283$ به دست آمد. جذر میانگین مربع خطاها برای بررسی شدت بارش قبل و بعد از اصلاح به ترتیب معادل $3/8$ و $2/8$ بود.

همانگونه که در شکل ۱۰-الف دیده می شود، ضرایب جدید a, b در بارش های متوسط، به صورت $a = 42/576$ و $b = 0/3574$ و ضریب تبیین معادل $0/0283$ به دست آمد. جذر میانگین مربع خطاها برای بررسی شدت بارش قبل و بعد از اصلاح به ترتیب معادل $3/8$ و $2/8$ بود.



(الف)



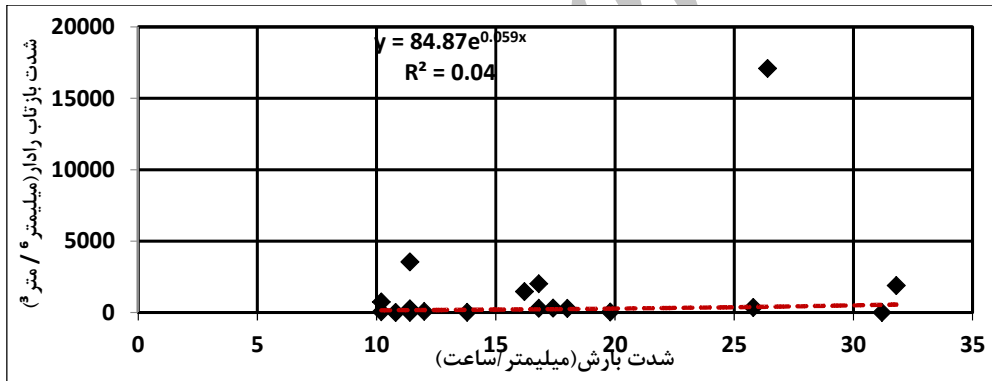
(ب)

شکل ۱۰. الف) مشابه شکل ۹-الف اما برای بارش با شدت متوسط، ب) مشابه شکل ۹-ب اما برای بارش با شدت متوسط.

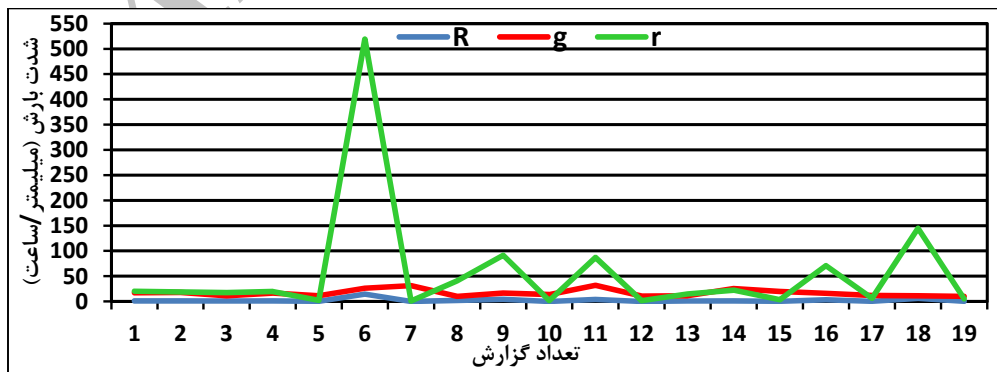
۳-۴-۳. بارش شدید

ضرایب جدید (شکل ۱۱-ب)، حاکی از آن است که جذر میانگین مربع خطاهای مارشال-پالمر برابر ۱۴/۸ بوده که با واسنجی، به ۷/۷ رسید.

ضرایب جدید a, b در بارش‌های شدید، به صورت $a=7/7587$ و $b=1/2312$ و ضریب تبیین ۰/۰۴۹۷ به دست آمد (شکل ۱۱-الف). مقایسه‌ی قبل و بعد از اصلاح



(الف)



(ب)

شکل ۱۱. الف) معادل شکل ۹-الف اما برای بارش با شدت متوسط، ب) معادل شکل ۹-ب اما برای بارش با شدت متوسط.

شده در فصول مختلف سال برای بارش‌های رادار، در جدول ۵ آمده است.

بررسی تغییرات ۱۰ دقیقه‌ای بارش اصلاحی رادار بر اساس شدت بارش و بدون در نظر گرفتن فصل‌ها نیز نشان می‌دهد در بارش متوسط به میزان ۲۵ درصد و در بارش شدید در حدود ۴۷ درصد بهبود حاصل گردید. این در حالی است که در بارش ملایم، این روش اصلاح، پاسخ نداد و بهبودی حاصل نشد. نتایج اعمال اصلاح ضرایب در خروجی شدت بارش رادار در جدول ۶ آمده است.

بررسی کلی نتایج این پژوهش در مطالعه تغییرات ۱۰ دقیقه‌ای شدت بارش اصلاح شده رادار نشان می‌دهد که در ماه‌های دسامبر تا می بیشترین بهبود رخ داده است به گونه‌ای که شدت بارش طی ماه‌های مارس تا می (فصل بهار) ۳۸ درصد و در ماه‌های دسامبر تا فوریه (فصل زمستان) حدود ۲۲ درصد اصلاح شده‌اند. همچنین در ماه‌های ژوئن تا اوت (فصل تابستان) کمترین بهبود حاصل شده است (حدود یک درصد) و در ماه‌های سپتامبر تا نوامبر نیز اصلاحی دیده نمی‌شود. نتایج ارزیابی‌های انجام

جدول ۵. تطبیق زمانی داده‌های باران‌سنج ایستگاه خودکار با داده‌های رادار بر اساس فصل‌ها.

نام ایستگاه	فصل	ضرایب پیش فرض		RMSE1	ضرایب جدید		RMSE2	تغییر (%)
		a	b		a'	b'		
فرودگاه رشت	DJF	۲۰۰	۱/۶	۲/۴	۹۳/۳۸	۱	۱/۸	-۲۲٪
	MAM	۲۰۰	۱/۶	۳/۶	۱۵/۴۶	۰/۹۹	۲/۴	-۳۸٪
	JJA	۲۰۰	۱/۶	۶/۹	۲۹/۲	۰/۶	۶/۸	-۱,۳٪
	SON	۲۰۰	۱/۶	۲/۸	۳۲/۷	۱/۰۹	۲/۸	۰٪

جدول ۶. مشابه جدول ۵ اما بر اساس شدت بارش‌ها.

نام ایستگاه	شدت بارش	ضرایب پیش فرض		RMSE1	ضرایب جدید		RMSE2	تغییر (%)
		a	b		a'	b'		
فرودگاه رشت	ملایم	۲۰۰	۱/۶	۰/۹	۴۰/۲	۱/۲	۱/۷	+۸۰٪
	متوسط	۲۰۰	۱/۶	۳/۸	۴۲/۵۷	۰/۸۵	۲/۸	-۲۵٪
	شدید	۲۰۰	۱/۶	۱۴/۸	۷/۷۵	۱/۲۳	۷/۷	-۴۷٪

۴. نتیجه‌گیری

ضرایب (a و b) تعیین شوند به گونه‌ای که برای شرایط مختلف بارش (مثلاً بارش در ماه‌های سرد و گرم) ضرایب می‌توانند متفاوت باشند. تعیین این ضرایب، با توجه به اطلاعات و داده‌های محلی، می‌تواند به‌عنوان یکی از روش‌ها در بهبود و ارتقای شدت بارش برآورد شده توسط رادار مؤثر باشد. در مطالعه حاضر ضرایب رابطه مارشال-پالم برای محاسبه شدت بارش رادار هواشناسی استان گیلان با استفاده از اطلاعات دیدبانی ارزیابی و بهبود داده شد. در این پژوهش، پس از بررسی اطلاعات موجود، بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ برای انجام این کار انتخاب شد که داده‌های دیدبانی زمینی و راداری در دوره زمانی مشترک موجود باشند. داده‌های شدت بارش برآورد شده توسط رادار و دیدبانی‌های انجام شده توسط باران‌سنج ایستگاه خودکار فرودگاه رشت استخراج شد. با توجه به این که هر پیکسل صفحه راداری مبین مساحت یک کیلومتر مربع است و در مقابل، باران‌سنج دارای اطلاعات نقطه‌ای می‌باشد، بنابراین جهت کاهش خطای ناشی از این نوع اندازه‌گیری، در این تحقیق به‌جای استفاده از تصاویر راداری، از فایل متنی مرتبط با هر تصویر استفاده شد. با انجام محاسبات مرتبط مقدار dbz تصاویر رادار متناسب با مکان باران‌سنج‌ها، در فایل متنی محاسبه و داده‌های مرتبط با ایستگاه استخراج شدند. بر اساس وایزش توانی بین این دو سری داده مستخرج از فایل متنی و دیدبانی، ضرایب جدید محاسبه و در رابطه Z-R جایگزین مقادیر پیش‌فرض شدند. به این ترتیب شدت بارش با اطلاعات جدید محاسبه شد. سپس با استفاده از آماره ریشه میانگین مربعات، خطای تخمین بارش برآورده شد. بررسی‌ها در دو دسته‌بندی بر اساس فصل و شدت بارش‌ها انجام شد. نتایج برای دسته‌بندی فصلی بهبود نسبی را نشان داد به گونه‌ای که برای فصل‌های بهار و زمستان به ترتیب ۳۸ و ۲۲ درصد اصلاح در شدت بارش ایجاد شد و برای فصول تابستان و پاییز تغییر خاصی مشاهده نشد. همچنین نتایج بررسی‌ها بر حسب دسته‌بندی بر اساس

امروزه، کیفیت پیش‌بینی مخاطرات جوی از جمله رخداد سیلاب و بارش‌های شدید با استفاده از ابزارهای سنجش از دور مانند رادار بهبود یافته است. رادارهای هواشناسی یکی از مهم‌ترین ابزارها در پیش‌بینی‌های بسیار کوتاه‌مدت می‌باشد و شدت بارش یکی از کاربردی‌ترین محصولات رادارهای هواشناسی است که به کمک رابطه مارشال-پالم تعیین می‌شود. در این رابطه توانی، ضرایب پیش‌فرضی وجود دارد که بهتر است برای مناطق جغرافیایی مختلف به‌صورت محلی تعیین شود. چندین عامل در بهبود کیفی و کمی محصولات رادار از جمله شدت بارش بر اساس شدت بازتابش دخیل می‌باشند که از مهم‌ترین آنها می‌توان به بهبود عوامل سخت‌افزاری و تجهیزات رادار، اصلاح عوامل فیزیکی و محیطی و همچنین اصلاح رابطه بین شدت بارش و مقدار بازتابش اندازه‌گیری شده (رابطه Z-R) اشاره نمود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که خطای ناشی از عوامل سخت‌افزاری بسیار ناچیز و قابل چشم‌پوشی است. خطای ناشی از عوامل فیزیکی و محیطی مانند پراکندگی، نمایه قائم بازتابش، تضعیف امواج الکترومغناطیسی در جو، انتشار غیرمعمول امواج الکترومغناطیسی و غیره می‌باشد که برخی از آنها به موقعیت مکانی رادار بستگی دارند و به دلیل ثبات نسبی آنها با زمان، شناسایی و تعیین اثرات آنها امکان‌پذیر می‌باشد اما برخی موارد دیگر مانند نمایه قائم بازتابش و تضعیف، به شرایط بارش، نوع بارش، شرایط دمایی جو و سایر موارد بستگی دارد و تصحیح اثرات آنها با مطالعه آماری و بلندمدت خروجی‌های مورد نظر انجام می‌شود. برآورد شدت بارش بر اساس رابطه Z-R اساساً به چگونگی توزیع اندازه ذرات قطرات بارش بستگی دارد. روابط متعددی برای ارتباط میان R (شدت بارش) و Z (مقدار بازتابش اندازه‌گیری شده) تعریف شده است که متداول‌ترین آنها رابطه نمایی Z-R به صورت $Z = aR^b$ است. مقادیر a و b ضرایب ثابتی نیستند و واسنجی بارش به این مفهوم اشاره دارد که مناسب‌ترین مقادیر برای این

شدت بارش، حکایت از بهبود بارش‌های متوسط و شدید دارد. بر اساس این دسته‌بندی شدت بارش‌ها در بارش متوسط به میزان ۲۵ درصد و در بارش شدید در حدود ۴۷ درصد بهبود حاصل گردید. این در حالی است که در بارش ملایم، این روش اصلاح، پاسخ نداد و بهبودی حاصل نشد. از این رو به نظر می‌رسد اصلاح رابطه مارشال-پالم بر اساس تغییر ضرایب می‌تواند تا حدی مقادیر عددی شدت بارش‌ها را اصلاح نماید. هرچند، همان‌گونه که گفته شد، شاخص‌ها و عوامل متعددی برای بهبود نتایج در محاسبات راداری دخیل می‌باشند؛ اما دیده شد که تعیین ضرایب محلی برای بارش‌هایی با شدت‌های شدید و متوسط نقش تأثیرگذاری در بهبود نتایج دارد و برای مناطقی از کشور که بارش‌های سیل‌آسا و شدید را بیشتر تجربه می‌کنند روش مناسبی برای تعیین شدت بارش بر اساس اطلاعات رادارهای هواشناسی می‌باشد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پروژه «ارزیابی برآورد بارش رادار گیلان با استفاده از داده‌های بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی گیلان (مرحله اول)» است که به تولید یک نرم‌افزار برای محاسبه شدت بارش اصلاحی در استان گیلان منجر شد و بدین وسیله از اداره کل هواشناسی استان گیلان و پژوهشکده هواشناسی و علوم جو برای تأمین منابع مالی، داده و اطلاعات هواشناسی و همچنین همکاری‌های علمی تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

آخوندعلی، ع.، رادمنش، ف. و شریفی، م.، ۱۳۹۲، ارزیابی و بهبود عدم قطعیت‌های موجود در داده‌های رادار اهواز با تأکید بر کالیبراسیون رابطه R-Z؛ مجله

McRoberts, B. and Nielsen-Gammon, J. W., 2017, Detecting of Beam Blockage in Radar-Based Precipitation Estimates. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 34(7),

زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته؛ شماره ۹. ذاکری، ز.، آزادی، م. و قادر، س.، ۱۳۹۴، بررسی اثر داده‌گذاری داده‌های ماهواره و ایستگاه‌های دیدبانی بر روی پیش‌بینی‌های مدل WRF، کنفرانس ملی هواشناسی ایران، اردیبهشت ۹۴، یزد.

ریحانی پرور، م.، ۱۳۸۸، خطاهای رادار در تخمین بارش و روش‌های کاهش خطا. نخستین سمینار فناوری سیستم‌های راداری؛ ۴ تا ۶ اسفند؛ دانشگاه صنعتی شریف.

صفر، م.، احمدی گیوی، ف. و محب‌الحجه، ع.، ۱۳۹۱، بررسی اثر گوارد داده‌های رادار در مدل عددی ARPS در شبیه‌سازی بارش حاصل از سامانه همدیدی ۳۱ مارس ۲۰۰۹ در منطقه تهران، مجله ژئوفیزیک ایران، ۶(۳)، ۹۴-۱۱۲.

صفر، م.، احمدی گیوی، ف. و گلستانی، ی.، ۱۳۹۵، کنترل کیفی داده‌های رادار هواشناسی با استفاده از ساختار افقی و قائم برگشت‌پذیری، مجله ژئوفیزیک ایران، ۱۰(۲)، ۱۲۰-۱۳۱.

صفر، م.، احمدی گیوی، ف.، ۱۳۹۶، گزینش طرح‌واره همرفت بهینه بر مبنای داده‌های رادار در حین اجرای مدل WRF برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت بارش، مجله فیزیک زمین و فضا، ۴۳(۳)، ۵۸۵-۶۰۰.

محمدیها، ا.، معماریان، م. و ریحانی پروری، م.، ۱۳۹۲، ارزیابی برآورد‌های رادار هواشناسی تهران از کمیت بارش به روش Z-R برای سه رویداد بارش سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱، فصلنامه فیزیک زمین و فضا، شماره ۳۷۲، ص ۱۸۷-۲۰۴.

نیستانی، الف.، قادر، س. و محب‌الحجه، ع.، ۱۳۹۱، کاربرست داده‌گذاری در مدل WRF برای شبیه‌سازی بارش ناشی از یک سامانه همدیدی در غرب ایران، مجله فیزیک زمین و فضا، ۱۱(۱)، ۱۰۱-۱۲۳.

Bellon, A. and Fabry, F., 2014, Real-Time Radar Reflectivity Calibration from Differential Phase Measurements. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 31(5), 1089-1097.

- <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-16-0174>.
- Cremonini, R. and Behini, R., 2010, Heavy rainfall monitoring by polarimetric c-band weather radars. *Water*, 2, 838-848.
- Einfalt, T. J. M. and Mehlig, B., 2005, Comparison of radar and raingauge measurements during heavy rainfall. *Water Science and Technology*, 51, 195-201.
- Fisher, O., GyuWan, Z., Zawadi, L. and Zak, I., 2006, Radar calibration by gauge, disdrometer, and polarimetry: Theoretical limit caused by the variability of drop size distribution and application to faset scanning operational radar data. *Journal of Hydrology*, 328, 83-97.
- Keränen, R. and Chandrasekar, V., 2014, Detection and Estimation of Radar Reflectivity from Weak Echo of Precipitation in Dual-Polarized Weather Radars. *Atmospheric and Oceanic Technology*, 31(8), 1677-1693.
- Lee, G. W., 2006, Sources of Errors in Rainfall Measurements by Polarimetric Radar: Variability of Drop Size Distributions, Observational Noise, and Variation of Relationships between R and Polarimetric Parameters. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 23(8), 2005-2026.
- Lynn Baeck, M. and Smith, J. A., 1998, Rainfall Estimation by the WSR-88D for Heavy Rainfall Events, *AMS Journal*, 13, 416-436.
- Marshall, J. S. and Palmer, W. M., 1948, Shorter Contributions, the Distribution of Raindrops with Size, *Journal of Meteorology*, 5, 165-167.
- Qi, Y., Zhang, J., Kaney, B., Langston, C. and Howard, K., 2014, Improving WSR-88D Radar QPE for Orographic Precipitation Using Profiler Observations, 15(3), 1135-1151.
- Speirs, P., Marco Gabella, M. and Berne, A., 2017, A Comparison between the GPM Dual-Frequency Precipitation Radar and Ground-Based Radar Precipitation Rate Estimates in the Swiss Alps and Plateau, *Journal of Hydrometeorology*, 18(5), 1247-1269.
- Suzana, R. and Wardah, T., 2011, Radar Hydrology: New Z/R Relationships for Klang River Basin, Malaysia, *International Conference on Environment Science and Engineering IPCBEE vol.8*, IACSIT Press, Singapore.
- Thompson, E. J. S., Rutledge, A., Dolan, B., Chandrasekar, V. and Leng Cheong, B., 2014, A Dual-Polarization Radar Hydrometeor Classification Algorithm for Winter Precipitation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 31(7), 1457-1481.
- Tokay, A., Hartmann, P., Battaglia, A., Gage, K. S., Clark, W. L. and Williams, Ch. R., 2009, A Field Study of Reflectivity and Z-R Relations Using Vertically Pointing Radars and Disdrometers. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 26(6), 1120-1134.
- WMO No. 306, 2014, *Manual on Codes*, International Codes, Vol. 1, Part 1.
- Wolff, D. B., Marks, D. A. and Petersen, W. A., 2015, General Application of the Relative Calibration Adjustment (RCA) Technique for Monitoring and Correcting Radar Reflectivity Calibration. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 32(3), 496-506.
- Wu, W., Kitzmiller, D. and Wu, Sh., 2012, Evaluation of Radar Precipitation Estimates from the National Mosaic and Multisensor Quantitative Precipitation Estimation System and the WSR-88D Precipitation Processing System over the Conterminous United States. *Journal of Hydrometeorology*, 13(3), 1080-1093.

Assessment and Calibration of Gilan Radar Precipitation intensity using ground station data

Tajbakhsh, S.^{1*}, Momenpoor, F.², Abed, H.³, Negah, S.² and Farid Mojtahedi, N.⁴

1. Assistant Professor, Atmospheric Survey Research Group, Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC), Tehran, Iran

2. Expert in the Meteorological Office of Gilan, Rasht, Iran

3. Head of the Applied Meteorological Research Group of Gilan, Rasht, Iran

4. Expert in Department of Applied Meteorology, Gilan, Rasht, Iran

(Received: 14 Feb 2018, Accepted: 15 May 2018)

Summary

Radar is a remote sensing instrument that sends electromagnetic waves with specific power to atmosphere and evaluates the amount of return power. It can then measure the difference between the send and return powers and detect atmospheric phenomena as clouds. Using this tool, there is a wide, continuous and integrated monitoring of atmospheric phenomena. Like any remote sensing device that has, data of weather radars can also have errors. One of the most important measures to eliminate or minimize the radar data errors is calibration, and correction of radar index coefficients. The purpose of this paper is to extract an appropriate relationship for precipitation intensity related to radar reflectivity in Gilan. The Gilan ground based radar installed at the Kiashahr Port is a German-made GEMATRONIK MTEOR1600C type operating in the dual-polarization Doppler radar frequency band (c-band). In general, in order to calibrate the weather radars, "a" and "b" coefficients are required to modify in the Marshall Palmer initial formula for the target area. For this purpose, we tried to estimate the coefficients of this relationship (the relationship between precipitation intensity and radar reflection intensity) in a three years period (2012-2015) and to find new coefficients. In this study, the Doppler filter method (IIR Doppler Filter) was used to remove clutters. This filter was installed in the signal processor. In order to calibrate the Gilan radar, the rain gauge data of the Rasht airport synoptic station was compared with radar data. In this way, the precipitation statistics of the meteorological station were extracted using available meteorological and sdata software in the selected period and were separated based on two views of the season and precipitation severity.

Then the precipitation intensity was calculated based on radar data. Due to the large amount of raw data in Rainbow software, the data format was converted from binary to text. In the next step, the power regression is made between meteorological radar data (in mm^6/m^3) and the automatic rain gauge (in mm / h), based on the existing default coefficients. Then, the new coefficient (a' and b') were determined by introducing the linear equation, a (a') and a new b (b'). In the third step, the precipitation intensity was re-calculated by applying new coefficients in radar measurements. Now, there are 2 precipitation intensity values which are obtained by default and new coefficients. The intensity precipitation values were compared with observation of meteorological data using root mean square error in different seasons regardless of intensity. The same process was performed for the severity of observed precipitation and calculated precipitation by the radar regardless of seasons. The most important results of this study are relative improvement of radar estimation from precipitation intensity after correction of coefficients, which was 38% in March to May (spring) and 22% in December to February (winter). During the months of July to November (summer and autumn), there was almost no improvement. Also, based on precipitation intensity (regardless of seasons), average accuracy of precipitation was increased by 25% and severe precipitation by 47%. While in gentle precipitation, this method did not work and there was no improvement.

Keywords: Marshall-Palmer relation, radar-reflector severity, automated meteorological station, regression.

* Corresponding author:

sahartajbakhsh@gmail.com