

## ارزیابی برآوردهای رادار هواشناسی تهران از کمیت بارش به روش Z-R برای سه رویداد بارش سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱

امیر محمدیها<sup>۱</sup>، محمدحسین معماریان<sup>۲\*</sup> و محمد ریحانی پروری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری هواشناسی، دانشگاه هرمزگان، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه یزد، ایران

<sup>۳</sup> کارشناس ارشد هواشناسی، سازمان هواشناسی کشور، تهران، ایران

(دریافت: ۹۱/۳/۱، پذیرش نهایی: ۹۲/۲/۲۴)

### چکیده

رادار هواشناسی برای برآورد بارش از رابطه بازتابش-بارندگی  $Z=ar^b$  با ضرایب  $a, b$  بهره می‌برد که این ضرایب از بارشی به بارش دیگر متفاوت هستند. این مقادیر در رادار تهران  $a=200$  و  $b=1/6$  در نظر گرفته می‌شوند که مناسب بارش‌های ملایم است. این امر موجب بروز خطا در برآورد بارش با رادار در بارندگی‌های گوناگون خواهد شد. هدف از این تحقیق، ارزیابی (تصحیح) برآوردهای رادار هواشناسی تهران از میزان بارش است. از این رو، در این بررسی، ۳ بازه ۱ تا ۴ دسامبر ۲۰۱۰، ۸ تا ۱۱ ژانویه ۲۰۱۱ و ۱۵ تا ۱۸ ژانویه ۲۰۱۱ که در همه آنها بارش باران گزارش شده بود انتخاب شد. به منظور بررسی نحوه برآورد رادار تهران از میزان بارش ۳ ایستگاه باران‌نگاری خودکار پاکدشت، قم و کوشک‌نصرت در نظر گرفته شد. نتایج اولیه بررسی نشان می‌دهد رادار هواشناسی تهران مقادیر بارش را کمتر از مقدار ثبت شده آن با باران‌نگارها برآورد می‌کند و این اختلاف میان رادار و باران‌نگار در قله‌های بارش بیشتر می‌شود. به منظور تصحیح مقادیر برآوردی بارش رادار تهران، برآوردهای رادار هواشناسی تهران به کمک داده‌های بارش این سه ایستگاه باران‌نگاری خودکار و با استفاده از رابطه لگاریتمی Z-R ارزیابی شد. به کمک این رابطه برای هر تاریخ بارش مقادیر جدیدی برای ضرایب معادله به‌دست آورده شد. پس از رسم معادله وایزشی خطی و به‌دست آوردن ضرایب جدید برای برآورد شدت بارش، روند تغییرات بارش رادار پیش و پس از تصحیح به همراه روند تغییرات بارش ثبت شده باران‌نگار رسم شد. در ادامه، نتایج نشان‌دهنده بهبود بسیار خوب برآوردهای رادار پس از اعمال ضرایب جدید است. نتایج مقایسه بارش تجمعی ۲۴ ساعته برآورد شده رادار با بارش باران‌نگار در این ۳ ایستگاه نشان می‌دهد بارش برآوردی رادار در ابتدا در حدود ۴۰٪ بارش باران‌نگار در ایستگاه‌های متفاوت است و پس از تصحیح ضرایب این مقدار به بالای ۹۰٪ مقادیر ثبت شده در باران‌نگار می‌رسد که نشان‌دهنده مناسب بودن ضرایب جدید به‌دست آمده برای معادله برآورد بارش رادار تهران است.

واژه‌های کلیدی: بارش، رادار هواشناسی، بازتابندگی، ارزیابی، باران‌نگار خودکار، تهران

## Evaluations of Tehran precipitation using meteorological radars, based on Z-R method during 2010 and 2011

Mohammadiha, A.<sup>1</sup>, Memarian, M. H.<sup>2</sup> and Reyhani Parvari, M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> P.h.D Student in Meteorology, Hormozgan University, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Faculty of Physics, Yazd University, Iran

<sup>3</sup> M.S.c in Meteorology, I.R. IRAN Meteorological Organization, Iran

(Received: 21 May 2012, Accepted: 14 May 2013)

### Summary

Meteorological radars estimate the precipitation using a reflection-precipitation relation as

E-mail: memarian@yazduni.ac.ir

نگارنده رابط: تلفن: ۰۹۱۳۲۵۱۳۶۴۹ دورنگار: ۰۲۱-۸۸۶۳۰۴۷۹

$Z=aR^b$  with  $a, b$  coefficients. These coefficients will change from one precipitation to the other one. For the Tehran radars they are considered as  $a=200$  and  $b=1.6$ . These values are proper when we have moderate precipitations. This assumption causes an error in the estimation of different precipitation which is done by radars. In order to know how the evaluations of rain are done by Tehran radars, we consider the amount of rain in three chosen rain recording stations which are Qom, Kooshk Nosrat and Pakdasht.

Our aim of these studies is to evaluate the estimation of the Tehran meteorological radars for different amounts of precipitations. Therefore three intervals, including 11/1/2010-11/4/2010, 1/8/2011-1/11/2011 and 1/15/2011-1/18/2011 have been chosen in which the precipitations have been reported.

The primary results indicate that Tehran meteorological radars estimate the amount of the precipitation less than the amounts which are registered by the rain – gauge of meteorological stations. These differences become more when the precipitation rates are considered. To amend the estimated values of the precipitation which are taken by Tehran radars, these amounts are evaluated by data which are given by rain recovery stations and finally are rescaled by the logarithmic relation Z-R. Using this relation new values for the concerned coefficients are obtained for different dates of precipitation. After depicting the linear regression equation and getting new coefficients to estimate the intensity of rain, we can access to a plot which indicates how the precipitation will change by employing the required corrections. We are also able to plot the precipitation changes in the used rain recording stations. The results indicate that we achieve good progress of estimations if we use new coefficients. Comparison of the gathered rain data by radars with the data of the rain recording stations shows a 40% agreement between them. If we use new coefficients, this agreement will increase to 90% which confirm that these new coefficients are appropriate in the evaluation equation of precipitation.

Results of this study illustrated that the error of the radar lies in two factors, the first one is that the raindrops absorb some of the radar signals and this causes that return signals to be reduced; therefore more rainfall intensity, weakens the wave reflections. The second reason is that the reflectivity values are proportion to sixth power of raindrops diameters and this means that the reflection of radar waves is affected by the droplet size and the larger droplet diameter increases the reflection, while the rainfall measured by rain gauge is not affected by droplet size, and value of the recorded rainfall or precipitation volume is not affected. In other words, the radar estimates precipitation more than the actual amount occurring in rainfall with larger drop size while estimates are less than the actual amount of precipitation in rainfall with smaller drop size.

**Keywords:** Rainfall, Meteorological radar, Reflectivity, Evaluation, Rain gauge, Automatic rain writing, Tehran

## ۱ مقدمه

اغلب رادارهای دوپلری پالسی (Pulse Doppler Radar) هستند که هم‌زمان با نمایان ساختن حرکت قطرات باران، توانایی محاسبه شدت بارش را نیز دارند. این رادارها علاوه بر تعیین ساختار توفان‌ها، می‌توانند در تشخیص وضعیت نامساعد جوی به کار گرفته شوند. معادله رادار به زبان ساده رابطه‌ای بین توان دریافتی

رادار هواشناسی یا رادار پایش هواشناسی (Radar Surveillance Weather) نوعی رادار است که به منظور محاسبه نحوه حرکت سامانه‌های هواشناسی، پیش‌بینی مکان آتی و شدت آنها، تعیین موقعیت محل بارش و برآورد نوع آن (باران، برف، تگرگ و مانند آن)، مورد استفاده قرار می‌گیرد. رادارهای هواشناسی جدید

رایلی ( $\delta = \pi^5 |k^2| \frac{D^6}{\lambda^4}$ ) (رایلی، ۱۸۷۱ و ۱۸۷۲) سطح مقطع بازپراکنندگی مؤثر  $\delta$  به صورت رابطه (۴) خواهد شد:

$$\sum \delta_i = \frac{\pi^5}{\lambda^4} |k^2| \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} N(D) D^6 dD, \quad (4)$$

که،  $|k^2| = (\varepsilon - 1)^2 / (\varepsilon + 2)^2$  است و  $|k^2|$  ثابت دی‌الکتریک و  $\varepsilon$  ضریب شکست است. رابطه (۴) نمایانگر ارتباط اساسی هواشناختی بین طول موج، ضریب شکست، سطح مقطع بازپراکنندگی مؤثر و قطر ذره است که برای هر کاربرد هواشناسی رادار، اساس و پایه است.

با جای‌گذاری  $\delta$  در رابطه (۲) شکل هواشناسی معادله رادار برای توان دریافتی به دست می‌آید:

$$P_r = G^2 a^2 (r) \frac{\lambda^2 P_t t g^2 \theta c \tau \pi^5}{512 \pi^2 r^2} |k^2| Z, \quad (5)$$

که فاکتور بازتابش،  $Z$  نامیده می‌شود و به صورت رابطه (۶) به دست می‌آید؛

$$Z = \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} N(D) D^6 dD. \quad (6)$$

با دانستن نوع ذرات (آب یا یخ) و مشخص بودن میزان تضعیف (غالباً مقدار تضعیف ناشناخته و از آن صرف نظر می‌شود، اما در رادارهای پیشرفته با نرم افزارهای قوی، میزان تضعیف با اعمال ضریب مناسب محاسبه می‌شود) معادله رادار ساده‌تر و به صورت رابطه (۷) نمایش داده می‌شود:

$$Z = C_2 P_r r^2 \quad \text{یا} \quad P_r = C_1 \frac{Z}{r^2}. \quad (7)$$

که در آن،  $Z$  یک پارامتر هواشناسی است و می‌توان آن را به وسیله تعداد و اندازه ذرات موجود در واحد حجم نمونه، در محدوده بسیار کوچک برای مه رقیق ( $\frac{mm^6}{m^3}$ ) تا مقادیر بسیار بزرگ (بیش از  $\frac{mm^6}{m^3}$ ) (۰/۰۰۱ تا ۱۰۰۰۰۰۰) برای تگرگ، مشخص کرد. لذا شایسته است این دامنه وسیع تغییرات فشرده‌سازی شود. بدین منظور  $Z$

آنتن ( $P_r$ ) نسبت به توان ارسالی ( $P_t$ ) آن است. از یک ذره در فاصله  $r$  با سطح مقطع بازتابنده (cross section back scattering) مؤثر  $\delta$ ، توان دریافتی  $P_r$ ، مطابق رابطه (۱) خواهد بود (باتن، ۱۹۷۳):

$$P_r = G^2 a^2 (r) \frac{\lambda^2 P_t}{(4\pi)^3 r^4} \delta, \quad (1)$$

که در آن،  $G$  بهره آنتن،  $a(r)$  تضعیف ناشی از گازها و بخار آب موجود در مسیر سیگنال دریافتی،  $\frac{P_t}{4\pi r^2}$  تابشی در محل ذره و  $G \lambda^2 / 4\pi$  سطح مقطع مؤثر آنتن است که تابعی از طول موج  $\lambda$  است.

رابطه (۱) در حکم معادله رادار شناخته می‌شود. این معادله برای انرژی بازتابش شده هر بازتابش کننده منفرد مانند یک هواپیما یا یک پرنده و همین‌طور برای یک قطره آب صادق است. در هواشناسی یک پراکنده کننده منفرد وجود ندارد بلکه مجموعه‌ای از ذرات در حجم نمونه پرتو واقع شده‌اند. لذا در این حالت  $P_r$  به صورت رابطه (۲) است:

$$P_r = G^2 a^2 (r) \frac{\lambda^2 P_t t g^2 \theta c \tau}{512 \pi^2 r^2} \sum \delta_i, \quad (2)$$

که در آن،  $\sum \delta_i$  سطح مقطع بازپراکنندگی مؤثر همه ذرات در حجم پرتو است که برابر  $V = \frac{\pi r^2 c \tau}{4} J^2 \theta$  است.  $\theta$  زاویه پهنای پرتو،  $\tau$  پهنای تپ (پالس)،  $C$  سرعت موج و  $r$  فاصله حجم نمونه تا رادار است. سطح مقطع بازپراکنندگی  $\delta(D)$  هر ذره منفرد باید در تابع توزیع آن یعنی  $N(D)$  ضرب شود تا سطح مقطع بازپراکنش مؤثر مجموعه ذرات در حجم مورد نظر از رابطه (۳) به دست آید:

$$n = \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} \delta(D) N(D) dD \equiv \sum \delta_i, \quad (3)$$

که در اینجا،  $D$  قطر قطرات و  $n$  تعداد ذره موجود در حجم  $V$  است.

با جای‌گذاری  $\delta$  در معادله (۳) با استفاده از تقریب

برحسب لگاریتم بازتعریف و برحسب  $dbz$  بیان می‌شود.

می‌توان از شدت پژواک‌های بازگشتی از اهداف، به‌منظور یافتن آهنگ بارش در حجم بررسی شده استفاده کرد. با بهره‌گیری از قانون رایلی (رایلی، ۱۸۷۱) که می‌بایست اندازه ذرات به اندازه کافی کوچک‌تر از طول موج رادار باشد، طول‌موج‌های به کار برده شده (۱ تا ۱۰ سانتی‌متر) تضمین می‌کند که پژواک بازگشتی با آهنگ بارش متناسب است.

شدت بارش با رابطه (۸) تعریف می‌شود:

$$R = \frac{3.6}{10^3} \frac{\pi}{6} \int_0^{\infty} N(D)V(D)D^3 dD, \quad (8)$$

که در این رابطه،  $V(D)$  سرعت حدی نزول قطره بارش است.

با توجه به تشابه دو رابطه (۷) و (۸) می‌توان این دو رابطه را به هم مرتبط کرد. بهترین رابطه تحلیلی-تجربی که بین  $R$  و  $Z$  به‌دست آمده، به‌صورت رابطه (۹) است:

$$Z = aR^b \quad (9)$$

مارشال و پالم (۱۹۴۸)، با تقریب معقولی، مقدار  $Z = 200R^{1/6}$  را برای شرایط بارش متوسط به‌دست آورده‌اند، کمیت  $Z$  معمولاً برحسب  $mm^3/m^3$  و  $R$  برحسب  $mm/h$  اندازه‌گیری می‌شود.

اندازه قطرات باران و توزیع آنها در یک حجم داده شده (مارشال و پالم، ۱۹۴۸) هم در یک نوع بارش و بسیار بیشتر از یک نوع بارش به نوع دیگر به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تغییر می‌کنند. بنابراین ثابت‌های  $a$  و  $b$  می‌توانند دارای دامنه تغییرات نسبتاً زیادی باشند.

مقدار پارامترهای  $a$  و  $b$  بستگی به عوامل زیر دارد (یوجنهور و استریکر، ۱۹۹۹):

۱- نوع بارش (بارش‌های رگباری، بارش‌های گسترده)  
 ۲- فصل (قطر قطرات بارش در زمستان کوچک‌تر از قطر قطره بارش در تابستان است).

۳- عرض جغرافیایی و کوهساری منطقه

البته همه این عوامل به‌نوعی به توزیع اندازه قطره‌های بارش و سرعت سقوط قطرات بارش مربوط می‌شود. هدف از ارزیابی یا تصحیح بارش، استخراج یک رابطه مناسب برای محاسبه شدت بارش از داده‌های بازتابش است. با فرض اینکه مقادیر  $Z$  دقت مناسبی دارند، به‌دست آوردن بهترین ثابت‌های  $a, b$  می‌تواند به داده‌های مناسب‌تر شدت بارش منتهی شود. جدول ۱ نتایج تعدادی از آزمایش‌های صورت گرفته در شرایط متفاوت بارش و ضرایب  $a$  و  $b$  به‌دست آمده در این آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در جدول نیز مشخص است ضریب  $a$  دارای مقادیر گسترده‌ای از  $16/6$  در بارش کوهستانی تا  $398$  برای بارش برف و ضریب  $b$  نیز دارای مقادیر متغیری از  $1/25$  تا  $2/87$  در شرایط بارندگی متنوع است.

برای محاسبه این ثابت‌ها، می‌توان از مقایسه داده‌های بارش که از باران‌نگارها به‌دست می‌آید و داده‌های بازتابندگی رادار استفاده نمود. به‌طور کلی پیشنهاد می‌شود برای داشتن بهترین تطابق داده‌ها با میزان واقعی بارش، فرایند ارزیابی در هر بارش برای مناطق و همچنین فصول مختلف به‌طور جداگانه انجام و ضرایب به‌طور جداگانه محاسبه و تصحیح شوند. پس از به‌دست آمدن ضرایب، باید آنها را در داده‌های راداری اعمال نموده تا مقادیر بارش تصحیح شده به‌دست آیند.

معمول‌ترین روش برای تعیین ضرایب  $a, b$ ، استفاده از روش وایازشی خطی (Linear Regression) با حداقل میانگین مربع خطا (RMSE) است.

داده‌های لازم برای تعیین ثابت‌های  $a, b$  عبارت‌اند از  $R_g$  (شدت بارش ثبت شده توسط باران‌نگار که میزان بارش ثبت شده در یک ساعت و واحد آن  $mm/h$  است) و مقدار بازتابندگی  $Z$  که به‌ترتیب از باران‌نگار و رادار به‌دست می‌آیند. چنانچه محور عمودی  $\log Z$  و محور افقی  $\log R$  باشد، با استفاده از این روش و به کمک روش وایازشی خطی با حداقل مربعات خطا، خطی از صفحه

کمینه بازه زمانی نمونه‌گیری نباید به گونه‌ای باشد که باعث ایجاد خطا شود (امیرزدانی و همکاران، ۲۰۰۲؛ کولیا و همکاران، ۲۰۰۳).

در خصوص تعداد باران‌نگارها برای تمامی مناطق، نظر واحدی را نمی‌توان ارائه داد. حداقل تعداد باران‌نگار، با تنوع اقلیمی محلی ارتباط مستقیم دارد، اما حداقل تعداد ۳ تا ۵ باران‌نگار در فاصله ۳۰ تا ۱۰۰ کیلومتری محل نصب رادار و با توزیع متناسب منطقه (در صورت موجود و در دسترس بودن ایستگاه‌ها) مورد نیاز است.

عبور داده می‌شود تا جذر مجموع مربعات فواصل هریک از نقاط تا خط کمینه شود. شیب این خط  $b$  و عرض از مبدا آن  $\log a$  خواهد بود.

در کل باران‌نگارهایی که بدین منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند، بایستی دقتی بهتر از  $0.5 \text{ mm/min}$  داشته باشند (بج و همکاران، ۱۹۹۸).

هرچه بازه نمونه‌گیری کوتاه‌تر باشد، دقت ارزیابی بالا می‌رود. به منظور رسیدن به یک عدد منطقی باید دقت کرد که هر پایش (scan) کامل رادار حدود ۱۵ دقیقه طول می‌کشد و پس از آن داده‌ها تولید می‌شوند؛ همچنین

جدول ۱. نسبت‌های تجربی بین عامل بازتابندگی (Z) و شدت بارش (R) - باتن، ۱۹۷۳.

نوع بارش	محل بارش	مرجع	رابطه تجربی
۹۸ توفان	ایسلان (انگلستان)	واکسلر، ۱۹۴۸	
۵ باران شدید	جنوب غربی انگلستان	واکسلر، ۱۹۴۸	
۵۰ توفان، انواع مختلف بارش کوهستانی	هاوایی	واکسلر، ۱۹۴۸	
رگبار (مشاهدات ۸ ماه)	استرالیا	هیگز، ۱۹۵۲	
بارش کوهستانی درون ابر	هاوایی	بلانچارد، ۱۹۵۳	
بارش کوهستانی در پایه ابر	هاوایی	بلانچارد، ۱۹۵۳	
بارش غیر کوهستانی-توفان تندی	هاوایی	بلانچارد، ۱۹۵۳	
۱۲۷۰ مشاهده ۱ دقیقه‌ای-همه نوع بارش	ایلینویز (امریکا)	جونز، ۱۹۵۵	
۵۶۰ مشاهده ۱ دقیقه‌ای-توفان تندی	ایلینویز (امریکا)	جونز، ۱۹۵۵	
۳۳۰ مشاهده ۱ دقیقه‌ای-بارش رگباری	ایلینویز (امریکا)	جونز، ۱۹۵۵	
۳۸۰ مشاهده ۱ دقیقه‌ای-بارش پیوسته	ایلینویز (امریکا)	جونز، ۱۹۵۵	
باران (برف دانه ذوب شده و ذرات شدیداً دانه دانه)، ۳۳۴ طیف ۶ باران	کوه البروس (روسیه)	لیتوینو، ۱۹۵۶	
باران (برف به هم چسبیده ذوب شده)، ۱۴۰ طیف، ۴ باران	کوه البروس (روسیه)	لیتوینو، ۱۹۵۶	
بارش پوششی دیس (استراتیفرم)، ۱۶ آوریل ۱۹۵۴	لکسینگتون (امریکا)	اطلس و جملا، ۱۹۵۷	

$(Z=1VIR^{1/3})$  استفاده کردند و با مقایسه نمودار سری زمانی بارندگی تجمعی برای داده‌های باران‌نگار و رادار به این نتیجه رسیدند که مقادیر برآورد شده با رادار و باران‌نگار هر دو دارای روندی یکسان هستند، اما رادار مقادیر کمتری را نسبت به باران‌نگارها برآورد کرده است.

## ۲ داده‌ها و روش کار

به منظور ارزیابی داده بارش رادار، ۳ ایستگاه خودکار باران‌نگاری قم، پاکدشت و کوشک نصرت انتخاب شدند که مختصات آنها در جدول ۲ ذکر شده است. موقعیت این ایستگاه‌ها در صفحه نمایش رادار در شکل ۱ نشان داده شده است.

داده مورد استفاده، داده ۱۰ دقیقه‌ای باران‌نگارهای خودکار و داده‌های رادار هواشناسی تهران است که از این داده‌ها و به کمک نرم‌افزار Rainbow (نرم‌افزاری برای تبدیل داده‌های رادار هواشناسی به تصویر که سازمان هواشناسی کشور از آن بهره می‌برد) محصول شدت بارش سطحی (Surface Rainfall Intensity) تولید شد.

داده‌های باران‌نگارهای خودکار و شدت بارش سطحی رادار به صورت بارش تجمعی ۳ ساعته، شروع از ساعت ۰۰:۰۰ UTC، به کار برده شده‌اند.

بازه آماری مورد نظر ۳ تاریخ ۷۲ ساعته بارش در منطقه است که عبارت‌اند از ۱ تا ۴ دسامبر ۲۰۱۰، ۸ تا ۱۱ ژانویه ۲۰۱۱ و ۱۵ تا ۱۸ ژانویه ۲۰۱۱. علت انتخاب این بازه‌ها، وقوع بارش گسترده و پوششی در منطقه بود که تقریباً در همه روزها وقوع بارش گزارش شده است.

## ۳ بحث نتایج

شایان گفتن است که چون در رادار مقادیر شدت بارش برحسب  $mm/h$  هستند، داده‌های بارش باران‌نگارها نیز به مقادیر شدت بارش تبدیل و در رابطه بازتابندگی قرار داده شده‌اند.

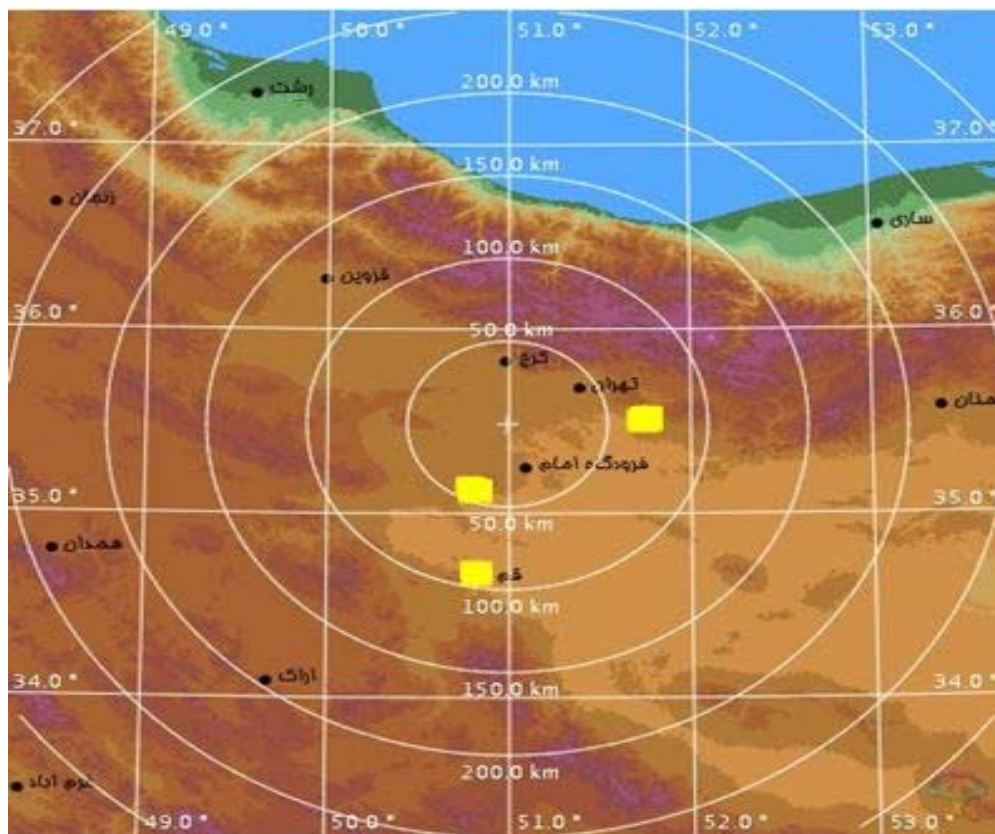
فیشر (۲۰۰۴) در یک بررسی میدانی از بین روابط متفاوت نمایی که برای برقراری بهترین رابطه میان  $Z$  و  $R$  عرضه شده‌اند، به این نتیجه رسید که ریشه مربع میانگین خطا (RMSE) برای رابطه ساده نمایی  $Z=aR^b$  کمتر از روابط دیگر است.

حیب و همکاران (۲۰۰۱) روش تبدیل توزیع شرطی (Conditional Distribution Transformation) را برای بهبود ارزیابی بارش رادار استفاده کردند. آنها یک شبکه باران‌نگاری در حکم زمین مرجع (geo reference) را به کار گرفتند. هدف از این روش پالایش خطاهای نسبی باران‌نگار از نمونه‌برداری‌های تایید شده رادار-باران‌نگار بود. به منظور تایید صحت بارش برآورد شده داده‌های بارش رادار (ناحیه‌ای)، با باران‌نگارها (نقطه‌ای) تطبیق داده شدند. روش CDT تایید کرد که طرح تبدیل توزیع نقطه-ناحیه مطرح شده، قادر به اصلاح توزیع‌های بارش ناحیه‌ای از روی اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای با دقت قابل قبولی است. در بررسی دیگری گیوون و زاوازدکی (۲۰۰۶) در آزمایشی، ارزیابی رادار را با استفاده از باران‌نگار، دیسدرومتر (Disdrometer) (ابزاری به منظور اندازه‌گیری توزیع اندازه قطرات) و قطبش‌سنجی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که مقایسه رادار-دیسدرومتر روشی است که کمتر تحت تاثیر منابع خطا قرار گرفته است و دقت بسیار بیشتری در ارزیابی رادار دارد. رابطه  $Z-R$  استخراج شده از داده‌های دیسدرومتر می‌تواند با به حداقل رساندن اثر تغییرپذیری توزیع اندازه قطرات (Drop size distribution)، دقت برآورد رادار را افزایش داد.

طوفانی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۷) داده‌های رادار را با ۴ باران‌نگار که روی یک خط پشت سر هم نصب شده و در کل منطقه پراکنده نبودند، ارزیابی کردند. آنها از رابطه مارشال-پالم (۱۹۴۸) که برای اقلیم هلند تنظیم شده بود

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های باران‌نگاری خودکار تحت پوشش رادار تهران که برای ارزیابی بارش رادار در این بررسی مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه و دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه و دقیقه)
پاکدشت (استان تهران)	۵۱ ۴۱	۳۵ ۲۹
قم (استان قم)	۵۰ ۵۱	۳۴ ۴۶
کوشک‌نصرت (استان قم)	۵۰ ۵۴	۳۵ ۰۵



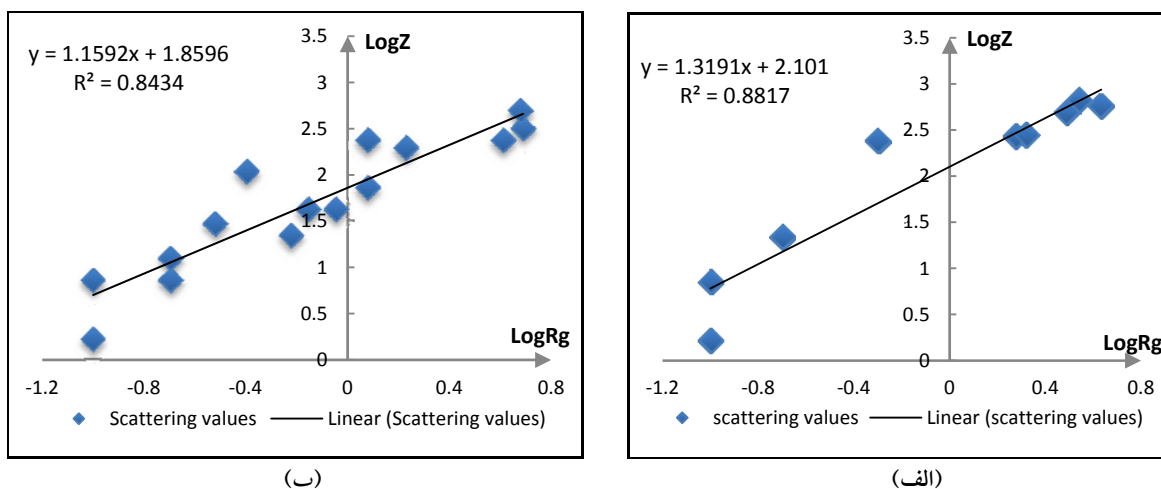
شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی خودکار در صفحه رادار هواشناسی تهران.

بارش ۱ تا ۴ دسامبر ۲۰۱۰، در ایستگاه پاکدشت نشان می‌دهد. پس از رسم خط وایزشی، ضرایب  $a$  و  $b$  تغییر می‌کنند که این ضرایب جدید با  $a'$ ،  $b'$  بیان خواهند شد. عرض از مبدا این نمودار  $\log a'$  و شیب خط،  $b'$  را نمایش می‌دهد. مقادیر ضرایب جدید در این ایستگاه به صورت  $a' = 126/2$  و  $b' = 1/319$  و با میانگین مربعات خطای  $R^2 = 0/882$  هستند.

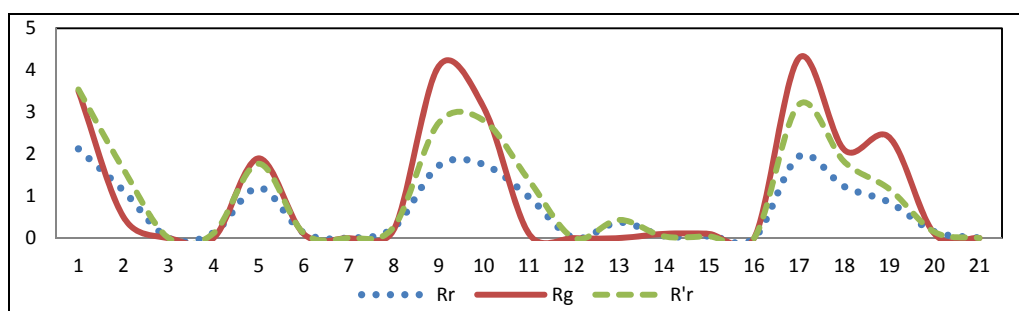
۳-۱-۱ نتایج ارزیابی در ایستگاه پاکدشت (بازه

زمانی ۱ تا ۴ دسامبر ۲۰۱۰)

به منظور بررسی ارتباط بین لگاریتم بازتابش رادار و لگاریتم شدت بارش باران‌نگار در ایستگاه پاکدشت، معادله وایزشی خطی (linear Regression) را که در رابطه (۹) معرفی شده بود، برای مقادیر پراکندگی داده‌ها رسم شد. شکل ۲-الف این معادله وایزشی خطی را برای



شکل ۲. معادله وایازشی میان لگاریتم بازتابش رادار و شدت بارش باران‌نگار برای بارش در بازه زمانی ۱ تا ۴ دسامبر ۲۰۱۰، برای ایستگاه پاکدشت و (ب) ایستگاه‌های قم و کوشک نصرت. این نمودار بر اساس رابطه تجربی مارشال-پالم (۱۹۴۸) که در آن  $\log Z = \log a + b \log R$  می‌باشد رسم شده است. عرض از مبدا نمودار  $\log a$  و شیب نمودار  $b$  را نمایش می‌دهد. محورهای قائم و افقی نیز به ترتیب نشان‌دهنده لگاریتم شدت بازتاب برگشتی به رادار و شدت بارش ثبت‌شده توسط باران‌نگار می‌باشند.



شکل ۳. مقایسه روند تغییرات ۳ ساعته میزان بارش رادار، باران‌نگار و بارش تصحیح شده رادار برای ایستگاه پاکدشت در بازه زمانی ۱ تا ۴ دسامبر ۲۰۱۰ خط ممتد میزان بارش باران‌نگار، نقطه‌چین میزان بارش اولیه رادار و خط‌چین میزان بارش تصحیح شده رادار را نمایش می‌دهند.

را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در قله‌های بارش برآورد رادار نسبت به میزان باران‌نگار مقادیر کمتر و مقادیر تصحیح شده، برآورد بهتری را از مقادیر واقعی نشان می‌دهد. در بازه زمانی ۱ مقدار برآورد رادار تقریباً  $2/1mm$  میلی‌متر است، درحالی‌که مقدار بارش باران‌نگار  $3/5mm$  است، ضرایب جدید با افزایش برآورد، مقدار  $3/5mm$  را نشان داده است که بر مقدار بارش باران‌نگار منطبق شده است. در بازه زمانی ۵ نیز رادار ابتدا میزان  $1/2mm$  را درحکم بارش نقطه‌ای منظور

با اعمال ضرایب  $a'$  و  $b'$  بر داده برآوردی رادار از شدت بارش، مقادیر شدت بارش برآوردی جدید حاصل می‌شود. مقادیر اولیه، مقادیر باران‌سنج و مقادیر تصحیح شده بارش در یک نمودار برای روزهای گوناگون و ایستگاه‌های متفاوت رسم شد. نمودارها روند تغییرات مقادیر بارش را نسبت به یکدیگر بیان می‌کنند. در این نمودارها،  $R_r$  نشان‌دهنده میزان بارش اولیه رادار،  $R_g$  میزان بارش باران‌نگار و  $R'r$  میزان تصحیح شده بارش رادار هستند. شکل ۳ روند تغییرات بارش در ایستگاه پاکدشت



تا ۳ شده است. در بازه زمانی ۵ بارش اولیه رادار  $1/1mm$ ، بارش باران‌نگار  $4/1mm$  و بارش تصحیح شده  $2/75mm$  را نشان می‌دهد (علت این بیش‌برآورد با ضرایب تصحیح شده یکی از ضعف‌های کاربرد این روش است زیرا تصحیح ضرایب، در حالتی که رادار مقادیر بارش را کمتر برآورد می‌کند منجر به افزایش مقادیر برآوردی بارش می‌شود و برعکس). در این بازه زمانی فاصله میان بارش باران‌نگار و رادار زیاد است و ضرایب جدید نیز نتوانسته‌اند به خوبی میزان برآورد را افزایش دهند. همین اتفاق در بازه زمانی ۹ و ۱۰ نیز تکرار شده و مقادیر برآوردی اولیه و تصحیح شده رادار کمتر از بارش باران‌نگار است. در بازه زمانی ۱۱ تا ۱۹ هم باران‌نگار و هم رادار مقادیر صفر را نشان می‌دهند که این حاکی از مطابقت خوبی بین داده باران‌نگار و رادار است. در قله بارش بعدی در بازه زمانی ۲۱ میزان بارش اولیه رادار  $1/75mm$ ، باران‌نگار  $4/1mm$  و بارش تصحیح شده مقدار  $5/2mm$  است. انطباق بسیار خوب بارش تصحیح شده رادار و باران‌نگار نشان‌دهنده عملکرد مناسب ضرایب ارزیابی در این بازه است.

در ایستگاه قم، در قله‌های بارش در بازه زمانی ۲، ۵ و ۲۱ همان روند دو ایستگاه قبلی تکرار شده است و به علت برآورد کمتر رادار از میزان بارش، پس از تصحیح نیز با وجود بهتر شدن مقادیر بارش، مجدداً برآورد رادار کمتر از میزان بارش باران‌نگار است. اما در بازه زمانی ۱۲، رادار  $1/1mm$  و باران‌نگار  $1/2mm$  را ثبت کرده‌اند که دو مقدار تقریباً با هم مساوی است؛ به همین دلیل، افزایش مقادیر بارش توسط ضرایب ارزیابی موجب بیش‌برآورد رادار در این بازه زمانی شده است به نحوی که بارش تصحیح شده رادار میزان  $2/9mm$  را برای بارش در این بازه زمانی نشان می‌دهد و در این قسمت خطای زیادی پس از ارزیابی در برآورد میزان بارش رخ داده که در شکل نیز مشهود است.

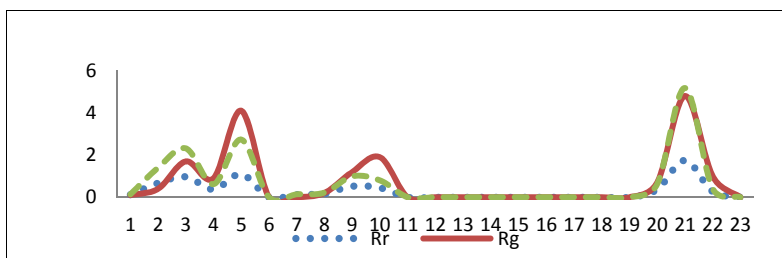
کرده است که با توجه به مقدار  $1/9mm$  ثبت شده در باران‌نگار، باز هم برآورد رادار کمتر از میزان واقعی است. با تصحیح مقدار بارش رادار به کمک ضرایب جدید در این بازه زمانی مقدار بارش برآوردی تصحیح شده رادار به  $1/8mm$  رسیده که از بهبود بسیاری برخوردار است. در بازه زمانی ۹ برآورد رادار از بارش  $1/7mm$  است، عمل ارزیابی برآورد را بیش از  $1mm$  افزایش داده و مقدار آن را به حدود  $2/75mm$  می‌رساند. اما مقدار تصحیح شده باز هم کمتر از مقدار مشاهدات باران‌نگار، در حدود  $mm$   $4/1$  است. در بازه زمانی ۱۷ و ۱۹ هم همین روند رخ می‌دهد و بهبود نسبی برآورد رادار از میزان بارش پس از تصحیح ضرایب روی داده است.

### ۳-۱-۲ نتایج ارزیابی در ایستگاه‌های کوشک‌نصرت

و قم (بازه زمانی ۱ تا ۴ دسامبر ۲۰۱۰)

همانند ایستگاه پاکدشت، به کمک رابطه (۹) تابع وایزشی خطی، برای مقادیر پراکندگی داده‌های شدت بارش رادار و باران‌نگار در ایستگاه‌های کوشک‌نصرت و قم رسم شد. شکل ۲-ب این معادله وایزشی خطی را برای بارش در بازه زمانی ذکر شده نشان می‌دهد. مقادیر ضرایب جدید به صورت:  $a'=72/3$  و  $b'=1/16$  و با میانگین مربعات خطای  $R^2=0/843$  به دست می‌آید.

مشابه با ایستگاه پاکدشت، ضرایب به دست آمده از معادله وایزشی، در ایستگاه‌های کوشک‌نصرت و قم را نیز به داده‌های رادار اعمال و روند زمانی تغییرات شدت بارش، برای رادار و باران‌نگار را رسم کردیم. این روندها در شکل ۴ برای ایستگاه کوشک‌نصرت و شکل ۵ برای ایستگاه قم نمایش داده شده است. برای ایستگاه کوشک‌نصرت در بازه زمانی ۳ رادار ابتدا مقدار  $1mm$ ، باران‌نگار  $1/7mm$  و بارش تصحیح شده رادار  $2/3mm$  را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر ضرایب ارزیابی موجب بیش‌برآورد (over estimate) میزان بارش در بازه زمانی ۱



شکل ۴. مشابه شکل ۳ اما برای ایستگاه کوشک نصرت.

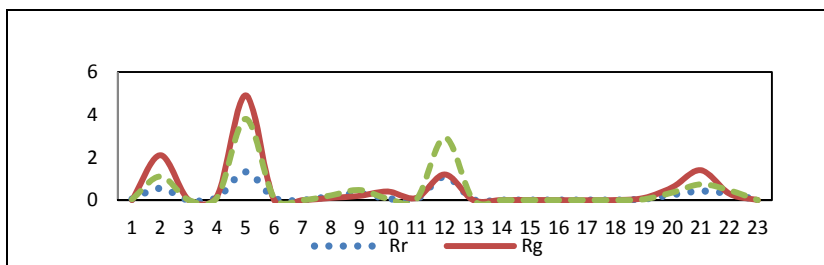
رادار برای این ایستگاه، در روز دوم صورت گرفته است. مقادیر بارش تجمعی ۲۴ ساعته در ایستگاه قم برای رادار، باران‌نگار و تصحیح شده رادار به ترتیب، ۲/۳، ۷/۳ و ۵/۴ میلی‌متر در روز ۱ دسامبر ۲۰۱۰ هستند؛ این مقادیر در این ایستگاه در تاریخ ۲ دسامبر ۲۰۱۰، به ترتیب ۱/۶، ۱/۹ و ۳/۵ میلی‌متر؛ و در تاریخ ۳ دسامبر ۲۰۱۰؛ ۱، ۲/۴ و ۱/۶ میلی‌متر است. این مقادیر در شکل ۶-ب نمایش داده شده است.

مقادیر بارش تجمعی ۲۴ ساعته در ایستگاه کوشک نصرت برای رادار، باران‌نگار و تصحیح شده رادار به ترتیب، ۳/۶، ۷/۴ و ۷/۵ میلی‌متر در روز ۱ دسامبر ۲۰۱۰ هستند؛ این مقادیر در این ایستگاه در تاریخ ۲ دسامبر ۲۰۱۰، به ترتیب ۱، ۳/۱ و ۱/۸ میلی‌متر؛ و در تاریخ ۳ دسامبر ۲۰۱۰؛ ۲/۴، ۶/۵ و ۶/۲ میلی‌متر است (شکل ۶-ج). همان‌گونه که از نتایج مشخص است، ضرایب ارزیابی بهترین نتایج را در این بازه زمانی بررسی در ایستگاه کوشک نصرت داشته‌اند.

۳-۱-۳ مقایسه بارش تجمعی ۲۴ ساعته (بازه زمانی ۱ تا ۴ دسامبر ۲۰۱۰)

پس از تصحیح مقادیر شدت بارش برآوردی رادار و بررسی روند تغییرات داده اولیه و تصحیح شده رادار با مقادیر باران‌نگار، به منظور تعیین دقت تصحیح، از مقادیر شدت بارش، مقادیر بارش تجمعی ۲۴ ساعته رادار، باران‌نگار و تصحیح شده رادار در ۳ ایستگاه به دست آمد. سپس این مقادیر با یکدیگر مقایسه شد. نتایج در هر ایستگاه و برای هر ۲۴ ساعت به طور جداگانه به صورت نمودار رسم شده است.

مقادیر بارش تجمعی ۲۴ ساعته در ایستگاه پاکدشت برای رادار، باران‌نگار و تصحیح شده رادار به ترتیب، ۴/۷، ۶/۲ و ۷/۴۵ میلی‌متر در روز ۱ دسامبر ۲۰۱۰ است؛ این مقادیر در تاریخ ۲ دسامبر ۲۰۱۰، به ترتیب ۴/۲، ۷/۵ و ۷/۴ میلی‌متر؛ و در تاریخ ۳ دسامبر ۲۰۱۰، به ترتیب ۴/۲، ۸/۹ و ۶/۳ میلی‌متر است (شکل ۶-الف). همان‌گونه که مشاهده می‌شود بهترین برآورد تصحیح بارش تجمعی

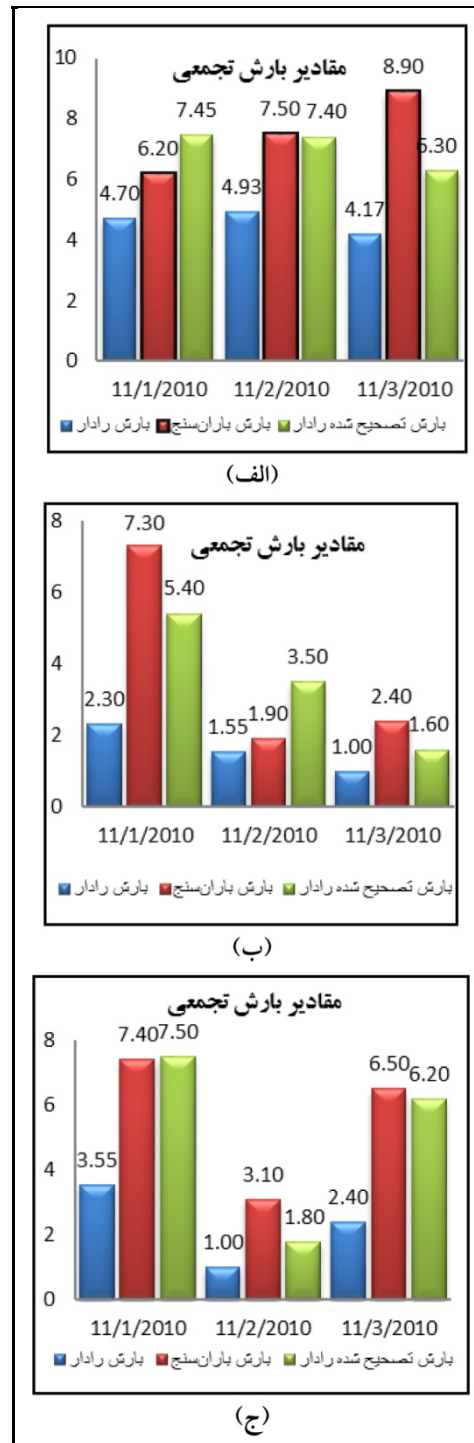


شکل ۵. مشابه شکل ۳ اما برای ایستگاه قم.

۳-۲-۱ نتایج در ایستگاه پاکدشت (بازه زمانی ۸ تا ۱۱ ژانویه ۲۰۱۱)

شکل ۷-الف خط وایازشی رسم شده بین داده‌های باران‌نگار و رادار را نمایش می‌دهد. ضرایب جدید در ایستگاه پاکدشت عبارت از:  $a'=۸۲/۳$  و  $b'=۱/۵۶$  و با میانگین مربعات خطای  $R^2=۰/۸۴۶$  است.

شکل ۸ تغییرات روند بارش اولیه رادار، باران‌نگار و بارش تصحیح شده رادار پس از اعمال ضرایب ارزیابی که برای ایستگاه پاکدشت رسم شده است، نمایش می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، هماهنگی میان داده‌های بارش رادار و باران‌نگار کمتر از مورد پیشین است. همچنین به علت کاهش ساعات بارش، بازه‌های زمانی ۳ ساعته وقوع بارش کمتر شده است. در بازه زمانی ۳، بارش اولیه رادار  $۱/۱۵mm$ ، باران‌نگار  $۱/۶mm$  و بارش تصحیح شده رادار  $۲mm$  است، به‌عبارت‌دیگر در این قله بارش، بارش باران‌نگار بیشتر از بارش برآوردی اولیه و کمتر از بارش تصحیح شده رادار است. در بازه زمانی ۷ نیز همچنان بارش تصحیح شده رادار بیشتر از بارش باران‌نگار است. مقادیر ثبت شده در این بازه، برای  $۱/۳۵mm$  برای برآورد بارش اولیه رادار،  $۱/۶mm$  برای بارش باران‌نگار و  $۲/۴mm$  برای مقادیر برآورد تصحیح شده رادار است. در بازه زمانی ۸، این مقادیر به‌ترتیب  $۱/۴$ ،  $۳/۱$  و  $۲/۵$  میلی‌متر برای بارش اولیه رادار، بارش باران‌نگار و بارش تصحیح شده رادار است. در بازه زمانی ۱۰، این مقادیر  $۰/۷$ ،  $۰/۱$  و  $۱/۲$  میلی‌متر هستند. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود یک قله بارش بین بازه‌های ۱۱ تا ۱۳ که در باران‌نگار ثبت شده است، با رادار در مقادیر بسیار پایین‌تری ارزیابی و برآورد شده است.



شکل ۶. مقایسه میزان بارش تجمعی ۲۴ ساعته رادار، باران‌نگار و تصحیح شده رادار در بازه زمانی ۱ تا ۴ دسامبر ۲۰۱۰ (الف) ایستگاه پاکدشت، (ب) ایستگاه قم و (ج) ایستگاه کوشک‌نصرت.

### ۲-۲-۳ نتایج در ایستگاه‌های قم و کوشک‌نصرت (بازه زمانی ۸ تا ۱۱ ژانویه ۲۰۱۱)

شکل ۷-ب خط وایزشی رسم شده بین داده‌های باران‌نگار و رادار را نمایش می‌دهد. ضرایب جدید در ایستگاه پاکدشت عبارت‌اند از:  $a'=۶۵/۶$  و  $b'=۰/۷۶۲$  و با میانگین مربعات خطای  $R^2=۰/۹۲۱$  است.

روند تغییرات بارش رادار، بارش باران‌نگار و بارش تصحیح شده رادار توسط نمودار برای کوشک‌نصرت و قم در شکل‌های ۹ و ۱۰ رسم شده است.

روند تغییرات و هم‌خوانی داده‌ها در ایستگاه کوشک‌نصرت بسیار خوب است. در بازه زمانی ۲ بارش برآوردی رادار، بارش باران‌نگار و بارش برآوردی تصحیح شده رادار به ترتیب  $۰/۴$ ،  $۰/۵$  و  $۰/۶$  میلی‌متر است. در بازه زمانی ۵ و در قله بارش، به ترتیب  $۰/۴۵$ ،  $۱$  و  $۰/۸$  میلی‌متر، در بازه زمانی ۹، به ترتیب  $۰/۸$ ،  $۲/۷$  و  $۲/۷$  در بازه زمانی ۱۰ مقادیر بارش به ترتیب  $۰/۸۵$ ،  $۴$  و  $۳$  میلی‌متر شده است. به‌وضوح مشاهده می‌شود که ارزیابی، بهبود بسیار خوبی در برآورد بارش رادار داشته است، به‌گونه‌ای که در بازه زمانی ۹ و ۱۰، عمل ارزیابی با افزایش تقریباً ۲ میلی‌متری برآورد میزان بارش، باعث انطباق بسیار بهتر داده‌ها شده است.

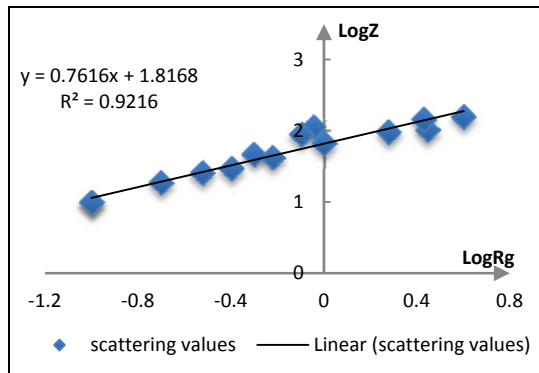
در ایستگاه قم، ضرایب ارزیابی موجب بیش‌برآورد میزان بارش رادار در ۲ قله بارش در بازه‌های زمانی ۳ و ۷ شده است و در بازه زمانی ۱۱، هر دو مقدار بارش برآوردی اولیه و تصحیح شده کمتر از بارش ثبت شده باران‌نگار هستند، اما ارزیابی در این بازه زمانی سبب بهبود برآورد تقریباً ۱ میلی‌متری بارش با رادار شده است. در بقیه بازه‌های زمانی هر سه مقدار تقریباً با هم انطباق و هم‌خوانی بسیار خوبی دارند و همان‌گونه که در شکل نیز مشاهده می‌شود مشابه ایستگاه‌های دیگر و بازه بررسی پیشین، اختلافات مقادیر فقط در قله‌های بارش رخ می‌دهد.

### ۳-۲-۳ مقایسه بارش تجمعی ۲۴ ساعته (بازه زمانی ۸ تا ۱۱ ژانویه ۲۰۱۱)

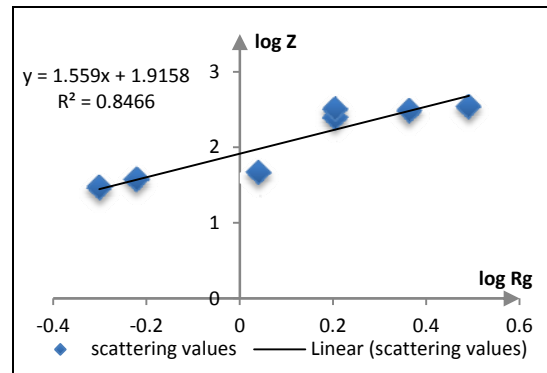
شکل ۱۱-الف مقادیر بارش تجمعی در ایستگاه پاکدشت، شکل ۱۱-ب در ایستگاه قم و شکل ۱۱-ج در ایستگاه کوشک‌نصرت را نشان می‌دهد. در ایستگاه پاکدشت در تاریخ ۸ ژانویه ۲۰۱۱، ۹ رادار و ۹ باران‌نگار بارشی را ثبت کرده‌اند. در تاریخ ۹ ژانویه ۲۰۱۱، بارش اولیه رادار  $۶/۳$ ، باران‌نگار  $۱۰/۸$  و بارش تصحیح شده رادار  $۱۱/۱$  میلی‌متر است. در تاریخ ۱۰ ژانویه ۲۰۱۱ بارش رخ داده در این ایستگاه کاهش داشته که به علت عبور سامانه بارشی از آن بوده است. در این تاریخ بارش رادار، باران‌نگار و تصحیح شده رادار به ترتیب  $۱/۶۵$ ،  $۴/۴$  و  $۲/۸۵$  میلی‌متر است.

مقادیر بارش تجمعی در ایستگاه قم، در تاریخ ۸ ژانویه ۲۰۱۱، بارش تجمعی اولیه رادار  $۰/۷۷۵$ ، باران‌نگار  $۰/۹$  و تصحیح شده رادار  $۲$  میلی‌متر است. در تاریخ ۹ ژانویه ۲۰۱۱ این مقادیر به ترتیب  $۳/۴$ ،  $۷/۷$  و  $۷$  میلی‌متر برای بارش اولیه رادار، بارش باران‌نگار و بارش تصحیح شده رادار است. در تاریخ ۱۰ ژانویه ۲۰۱۱ نیز در این ایستگاه، رادار و باران‌نگار بارشی را نشان نمی‌دهند.

در ایستگاه کوشک‌نصرت، در تاریخ ۸ ژانویه ۲۰۱۱، بارش تجمعی اولیه رادار  $۰/۴$  میلی‌متر است. این مقدار در همین تاریخ برای باران‌نگار  $۰/۵$  میلی‌متر بوده است. پس از تصحیح برآورد بارش، مقدار بارش تجمعی تصحیح شده رادار در این تاریخ  $۰/۶۵$  میلی‌متر شده است. در تاریخ ۹ ژانویه ۲۰۱۱ بارش تجمعی اولیه رادار  $۳/۳۵$ ، باران‌سنج  $۱۰/۳$  و تصحیح شده رادار  $۷/۹$  میلی‌متر شده است. در تاریخ ۱۰ ژانویه ۲۰۱۱ در این ایستگاه نیز رادار و باران‌نگار بارشی را نشان نمی‌دهند.

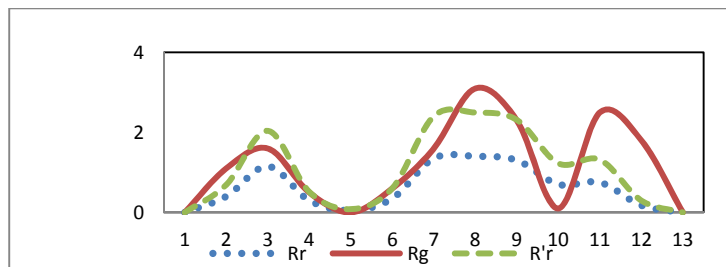


(ب)

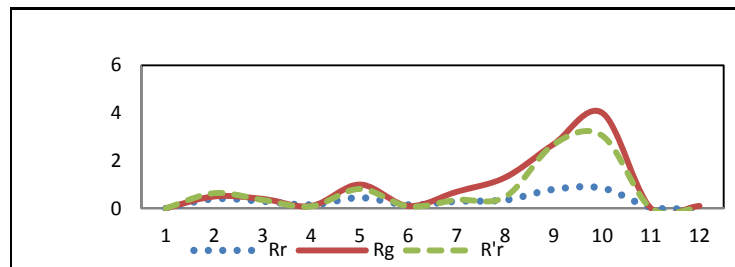


(الف)

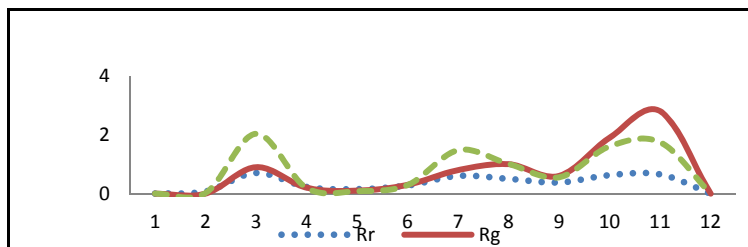
شکل ۷. مشابه شکل ۲ اما برای بارش در بازه زمانی ۸ تا ۱۱ ژانویه ۲۰۱۱. (الف) در ایستگاه پاکدشت و (ب) ایستگاه‌های قم و کوشک نصرت. (باقی توضیحات مشابه شکل ۲ می‌باشد.)



شکل ۸. مقایسه روند تغییرات ۳ ساعته بارش رادار، باران‌نگار و بارش تصحیح شده رادار برای ایستگاه پاکدشت در بازه زمانی ۸ تا ۱۱ ژانویه ۲۰۱۱ خط ممتد میزان بارش باران‌نگار، نقطه‌چین میزان بارش اولیه رادار و خط‌چین مقدار بارش تصحیح شده رادار را نمایش می‌دهند.



شکل ۹. مشابه شکل ۸ اما برای ایستگاه کوشک نصرت.



شکل ۱۰. مشابه شکل ۸ اما برای ایستگاه قم.

۳-۳-۱ نتایج در بازه زمانی ۱۵ تا ۱۸ ژانویه ۲۰۱۱

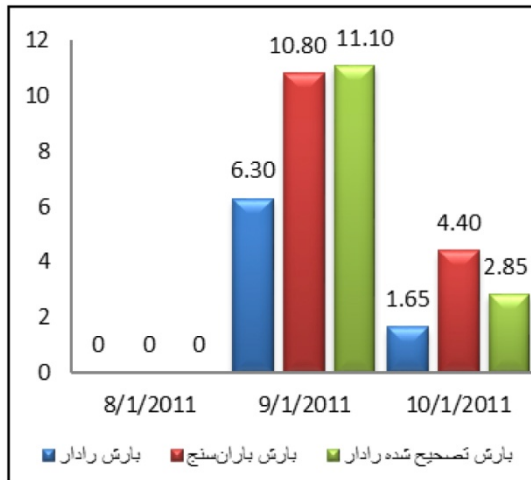
شایان گفتن است نوع بارش رخ داده در این تاریخ به گونه‌ای بود که رادار در هر ۳ ایستگاه مقادیر بارش را تقریباً مشابه برآورد می‌کرد، در نتیجه در تاریخ ۱۵ تا ۱۸ ژانویه ۲۰۱۱ مقادیر پراکندگی بازتابش-بارندگی هر ۳ ایستگاه را با هم در نظر گرفتیم و معادله وایزشی رسم شده نیز برای هر ۳ ایستگاه مشترک بود.

شکل ۱۲ خط وایزشی رسم شده بین داده‌های باران‌نگار و رادار را نمایش می‌دهد. ضرایب جدید در ایستگاه عبارت‌اند از:  $a' = 34/7$  و  $b' = 1/0.62$  و با میانگین مربعات خطای  $R^2 = 0.849$  هستند. نتایج وایزشی خطی در شکل ۴-۱۷ نشان داده شده است.

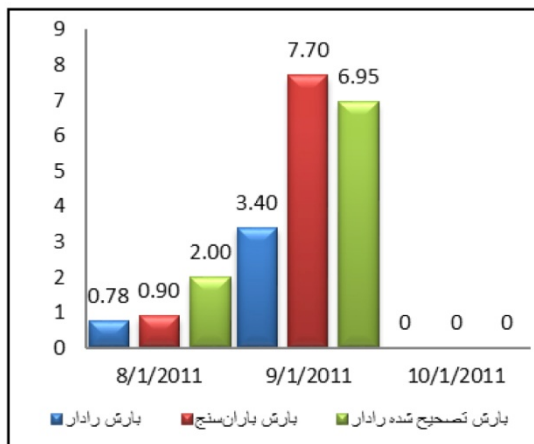
روند تغییرات بارش رادار، بارش باران‌نگار و بارش تصحیح شده رادار با نمودار برای پاکدشت، قم و کوشک‌نصرت در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ رسم و مقایسه شده است.

همان‌گونه که در شکل‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵ مشاهده می‌شود، اختلاف میان بارش برآوردی رادار و باران‌نگار در قله‌های بارش در این بازه نیز بسیار زیاد است و پس از اعمال ضرایب جدید، این اختلاف تا حد زیادی کاهش یافته است. برای ایستگاه پاکدشت در بازه زمانی ۵، میزان بارش اولیه رادار ۰/۴ میلی‌متر، بارش باران‌نگار ۱ میلی‌متر و بارش ثانویه رادار ۱/۳ میلی‌متر شده است. میزان بارش اولیه رادار، باران‌نگار و بارش تصحیح شده رادار در بازه زمانی ۶، به ترتیب ۰/۲۵، ۰/۶ و ۰/۶۵ میلی‌متر هستند. این مقادیر در بازه زمانی ۹، به ترتیب ۰/۶، ۳/۵ و ۲/۶ میلی‌متر شده‌اند.

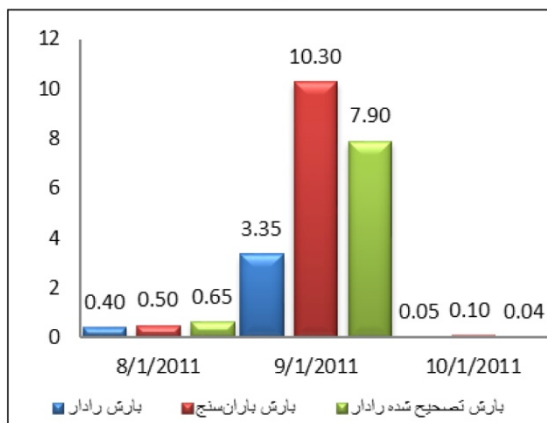
در ایستگاه قم میزان بارش اولیه رادار، باران‌نگار و بارش تصحیح شده رادار در بازه زمانی ۳، به ترتیب ۰/۳۵، ۰ و ۰/۴ میلی‌متر، در بازه زمانی ۵، ۰/۲، ۰/۶ و ۰/۴ میلی‌متر، و در بازه زمانی ۷، ۰/۴، ۱/۲ و ۱/۳ میلی‌متر است.



(الف)

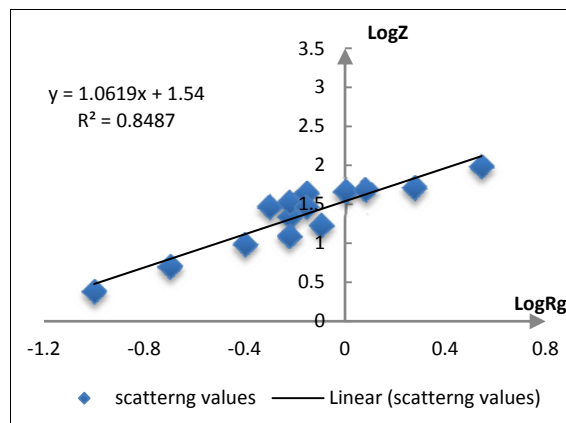


(ب)



(ج)

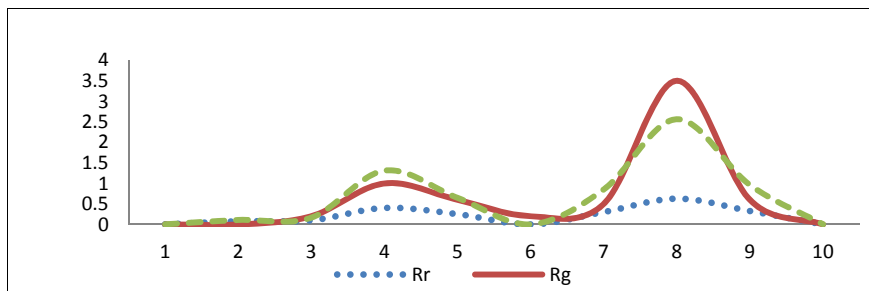
شکل ۱۱. مقایسه میزان بارش تجمعی ۲۴ ساعته رادار، باران‌نگار و تصحیح شده رادار برای ایستگاه پاکدشت در بازه زمانی ۸ تا ۱۱ ژانویه ۲۰۱۱ (الف) ایستگاه پاکدشت، (ب) ایستگاه قم و (ج) ایستگاه کوشک نصرت.



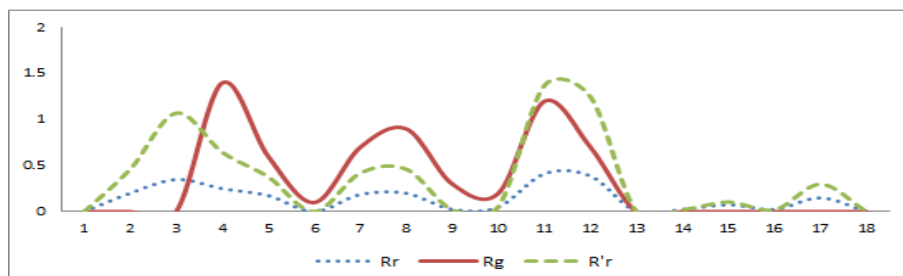
شکل ۱۲. معادله وایازشی میان لگاریتم بازتابش رادار و شدت بارش باران‌نگار برای بارش در بازه زمانی ۱۵ تا ۱۸ ژانویه ۲۰۱۱ برای هر ۳ ایستگاه. (باقی توضیحات مشابه شکل ۲ می‌باشد).

تصحیح شده رادار است. در بازه زمانی ۹، میزان بارش اولیه رادار، باران‌نگار و بارش تصحیح شده رادار به ترتیب ۰/۳، ۰/۷ و ۰/۸ میلی‌متر است. و در بازه زمانی ۱۰ مقادیر بارش به ترتیب، ۰/۴، ۱/۹ و ۱/۵ میلی‌متر شده‌اند.

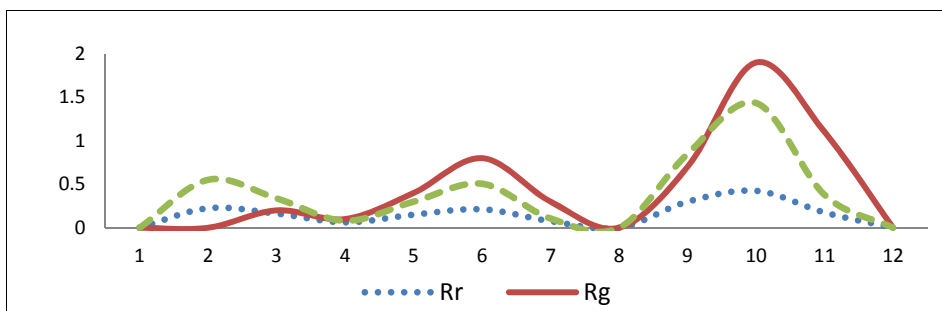
در ایستگاه کوشک‌نصرت، میزان بارش اولیه رادار، باران‌نگار و بارش تصحیح شده رادار در بازه زمانی ۳، به ترتیب ۰/۱۵، ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌متر، در بازه زمانی ۵ این مقادیر به ترتیب ۰/۱۵، ۰/۴ و ۰/۳ برای میزان بارش اولیه رادار، باران‌نگار و بارش



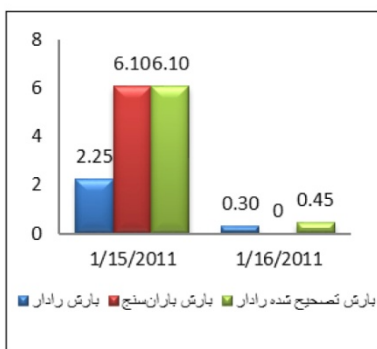
شکل ۱۳. مقایسه روند تغییرات ۳ ساعته بارش رادار، باران‌نگار و بارش تصحیح شده رادار برای ایستگاه پاکدشت در بازه زمانی ۱۵ تا ۱۸ ژانویه ۲۰۱۱ خط ممتد بارش باران‌نگار، نقطه چین بارش اولیه رادار و خط چین بارش تصحیح شده رادار را نمایش می‌دهند.



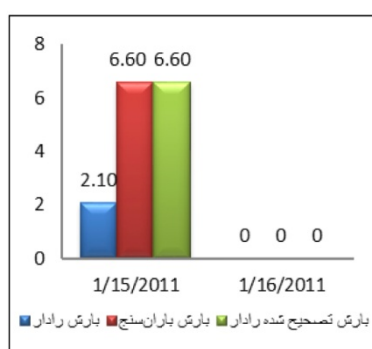
شکل ۱۴. مشابه شکل ۱۳ اما برای ایستگاه قم.



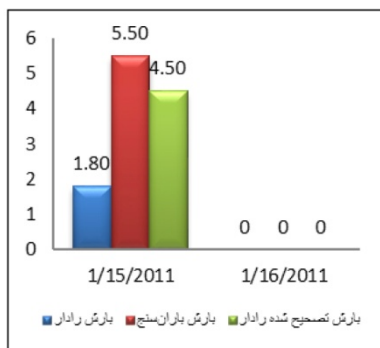
شکل ۱۵. مشابه شکل ۱۳ اما برای ایستگاه کوشک نصرت.



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۱۶. مقایسه میزان بارش تجمعی ۲۴ ساعته رادار، باران‌نگار و تصحیح شده رادار برای ایستگاه پاکدشت در بازه زمانی ۱۵ تا ۱۸ ژانویه ۲۰۱۱ (الف) ایستگاه پاکدشت، (ب) ایستگاه قم و (ج) ایستگاه کوشک نصرت.

۱۶-ب در ایستگاه قم و شکل ۱۶-ج در ایستگاه کوشک نصرت را نشان می‌دهد. در تاریخ ۱۵ ژانویه ۲۰۱۱، میزان بارش تجمعی برآوردی اولیه رادار ۲/۱، باران‌نگار ۶/۶ و بارش تصحیح شده رادار ۶/۶ میلی‌متر

۳-۳-۲ مقایسه بارش تجمعی ۲۴ ساعته (بازه زمانی ۸ تا ۱۱ ژانویه ۲۰۱۱) در این تاریخ نیز به همان روش پیشین عمل شد. شکل ۱۶-الف مقادیر بارش تجمعی در ایستگاه پاکدشت، شکل



کاهش محصولات بازتاب و در نتیجه کاهش میزان مقادیر برآوردی رادار از بارش می‌شود.

دوم اینکه طبق رابطه (۶) میزان بازتابندگی با توان ششم قطر قطرات باران رابطه دارد و این بدان معنی است که بازتاب امواج رادار متأثر از قطرات با اندازه بزرگ‌تر است و هرچه ابعاد قطرات بزرگ‌تر باشد میزان  $Z$  افزایش می‌یابد، در صورتی که بارش اندازه‌گیری شده با باران‌نگار متأثر از اندازه قطرات نیست و میزان بارش ثبت شده و یا به عبارتی حجم بارش دارای اهمیت است. این خطا نیز موجب برآورد اشتباه رادار از میزان بارش می‌شود. به عبارت دیگر رادار بارندگی‌های با اندازه قطرات درشت‌تر را بیشتر از میزان واقعی بارش رخ داده و بارندگی‌های با اندازه قطرات ریزتر را کمتر از میزان واقعی بارش برآورد می‌کند.

همچنین ارزیابی نشان می‌دهد، در این ۳ بازه بررسی شده، ضرایب متوسط رابطه مارشال-پالم (۱۹۴۸) که در آن  $a=200$  و  $b=1/6$  در نظر گرفته شده است، منجر به برآورد کمتر مقدار بارش در ۳ ایستگاه پاکدشت، قم و کوشک‌نصرت در رادار تهران می‌شود و می‌بایست این ضرایب تصحیح شود. نتایج ارزیابی ۳ بازه بارش مورد بررسی نشان می‌دهد که ضریب  $a$  برای رادار تهران باید در حدود ۱۰۰ و  $b$  حدود  $1/3$  در نظر گرفته شود تا رادار مقادیر بهتری از لحاظ کمی به دست دهد.

از دیگر نتایج این پژوهش آن است که در این بررسی موردی، مقادیر ارزیابی شده رادار به شکل قابل ملاحظه‌ای دقت برآورد رادار را افزایش داده است. پیشنهاد می‌شود که به منظور کاربرد داده‌های برآوردی بارش رادار در تحقیقات آینده، پس از ارزیابی روی داده‌های بارش رادار و تصحیح آنها، از این مقادیر برای کاربردهای گوناگون هواشناسی از جمله به منزله داده دیدبانی در راستی آزمایی پیش‌بینی مدل‌های عددی هواشناسی استفاده شود. زیرا رادار با تحت پوشش قرار دادن منطقه تقریباً وسیع،

است. در این ایستگاه در تاریخ ۱۶ ژانویه ۲۰۱۱ بارشی ثبت نشده است که به علت عبور سامانه بارشی از آن ایستگاه بوده است.

مقادیر بارش تجمعی در ایستگاه قم، در تاریخ ۱۵ ژانویه ۲۰۱۱، بارش تجمعی اولیه رادار ۲/۲۵، باران‌نگار ۶/۱ و تصحیح شده رادار ۶/۱ میلی‌متر است. در تاریخ ۱۶ ژانویه ۲۰۱۱ این مقادیر به ترتیب ۰/۳، ۰ و ۰/۴ میلی‌متر برای بارش اولیه رادار، بارش باران‌نگار و بارش تصحیح شده رادار است. علت اینکه رادار در تاریخ ۱۶ ژانویه ۲۰۱۱ بارش کمی را نشان می‌دهد اما باران‌نگار مقدار آن را صفر ثبت کرده است که علت آن می‌تواند این باشد که بارش روی داده در این تاریخ در ارتفاعات بالا و به صورت باران‌ریزه بوده و به سطح زمین نرسیده است که با باران‌نگار ثبت شود.

در ایستگاه کوشک‌نصرت، در تاریخ ۱۵ ژانویه ۲۰۱۱، بارش تجمعی اولیه رادار ۱/۰۸ میلی‌متر است. این مقدار در همین تاریخ برای باران‌نگار ۵/۵ میلی‌متر بوده است. پس از تصحیح برآورد بارش، مقدار بارش تجمعی تصحیح شده رادار در این تاریخ ۴/۵ میلی‌متر شده است. در تاریخ ۱۶ ژانویه ۲۰۱۱ در این ایستگاه نیز بارشی ثبت نشده است.

#### ۴ نتیجه‌گیری

با دقت در شکل‌هایی که مقایسه روند تغییرات شدت بارش رادار، باران‌نگار و بارش تصحیح شده رادار (برای نمونه شکل‌های ۳، ۴ و ۵) مشاهده می‌شود که رادار تهران در برآورد این مقادیر در قله‌های بارش دچار اشتباه شده و مقادیر را بسیار کمتر ثبت می‌کند. علت این موضوع در دو نکته است، اول اینکه قطرات باران بخشی از امواج ارسالی رادار را جذب می‌کنند و موجب کاهش امواج بازگشتی می‌شوند؛ در نتیجه هر چه میزان بارش بیشتر باشد تضعیف امواج بیشتر می‌شود و کاهش امواج بازگشتی باعث

- Saurouni, A., 1998, Evaluation of atmospheric anomalous propagation conditions: an application for weather radars, an application for weather radars, remote sensing for agriculture, ecosystems, and hydrology, E. T. Engman, edition, International Society for Optical Engineering (SPIE Proceedings), **3499**, 111-113.
- Fisher, O., 2004, Z-R relationship derived from Czech distrometer data, In proceeding of ERAD conference, Visiby, Sweden.
- Gyuwon, L. and Zawadzki, I., 2006, Radar calibration by gage, disdrometer and polarimetry, Theoretical limit caused by the variability of drop size distribution and application to fast scanning operational Radar Data, *J of Hydrology*, **328**, 83-97.
- Habib, E., and Krajewski, W. F., 2001: uncertainty analysis of the TRMM ground validation Radar-rainfall products: application to the Teflun-B field campaign, *J of Applied meteorology*, **41**, 558-572.
- Kollias, P., Tenerelli, J., Albrecht, B. A. and Trimble, P., 2003, A multi-year high resolution precipitation product for south Florida using NEXRAD and gauges, 31st International Conference on Radar Meteorology, 8-12 Aug 2003, Seattle, Washington USA.
- Marshall, J. S. and Palmer, W. M., 1948, The distribution of raindrops with size, *J. of meteorology*, **5**, 165-166.
- Rayleigh, L., 1871, On Scattering of light by small particles, *philosophical Magazine*, **41**, 447-451.
- Rayleigh, L., 1872, Investigation of the disturbance produced by a spherical obstacle on the waves of sound, proceeding of the London Mathematical Society, **4**, 253-283.
- Uijlenhoet, R. and Stricker, J. N. M., 1999, A consist rainfall parameterization based on the exponential raindrop size distribution, *J. of Hydrology*, **218**, 101-127.
- محدودیت‌های نصب ایستگاه باران‌نگاری را مرتفع می‌سازد و تعداد داده‌های دیدبانی را بسیار افزایش می‌دهد.
- بهترین نتایج ارزیابی در تصحیح بارش تجمعی ۲۴ ساعته دیده شد و مقادیر بارش تجمعی تصحیح شده رادار به میزان ثبت شده آن توسط باران‌نگار بسیار نزدیک شد و این مقدار تقریب بسیار خوبی از بارش باران‌نگار به‌شمار می‌رود.
- از جمله کاستی‌های این تحقیق نیز می‌توان به تعداد روزهای در نظر گرفته شده اشاره کرد که برای تعیین ضرایب مطمئن‌تر لازم است این بازه‌ها افزایش یابد. البته درنهایت ضرایب به‌دست آمده دارای دقت صددرصدی نیستند و همواره کمبودهایی در کار وجود خواهد داشت.
- مراجع
- طوفانی‌نژاد، ز، علی‌زاده، م. و کمالی، غ.، ۱۳۸۷، کاربرد رادارهای هواشناسی باند X در برآورد میزان بارندگی در حوضه‌های کوچک، م. آب و خاک، **۲۳**(۱)، ۵۷-۷۶.
- Amiryazdani, F., khalili, M., Golkar, F. and kalantarzadeh, M., 2004, Weather radar calibration in central Iran applying ground based rain gauges data, Six<sup>th</sup> International Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar, 2-4 Feb 2004, Melbourne, Australia.
- Battan, L., 1973, radar observation of the Atmosphere, Published by Cbls\Ceramic Books & Literature, 334 pages.
- Bech, J., Codina, B., Lorente, J., Bebbington, D.,