

بررسی اثر کلاتر زمین در بروز بازتابندگی کاذب در تولیدات رادار هواشناسی گیلان

سعید اوجاقلو شهبابی¹، مجید وظیفه دوست^{2*}، افشین اشرف زاده² و جواد بداق جمالی³

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه گیلان

² استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه گیلان

³ استادیار، دانشکده محیط زیست

(تاریخ دریافت: 94/10/14، تاریخ پذیرش: 95/02/13)

چکیده

بررسی تولیدات رادار هواشناسی گیلان (SRI و PPI) در بازه زمانی پاییز و زمستان 1393 نشان دهنده وجود نوعی خطا در این داده‌ها است که به صورت گسترده‌ای موجب بروز بازتابندگی کاذب در آنها شده است، تا آنجا که میانگین روزانه بازتابندگی کاذب در محل ایستگاه هواشناسی لاهیجان به 47 dBZ می‌رسد. در پژوهش حاضر نقش کلاتر زمین در بروز بازتابندگی کاذب در این سامانه راداری مورد بررسی قرار گرفت. روش مورد استفاده برای این کار مطالعه همپوشانی نقشه انسداد پرتو رادار و نقشه میانگین بازتابندگی کاذب به‌ازای تغییر در زاویه ارتفاع آنتن رادار است. نتایج نشان داد که کلاتر زمین عامل اصلی بروز بازتابندگی کاذب در 75/34% از پیکسل‌های تصویر است. همچنین مقدار واقعی زاویه ارتفاع آنتن رادار با مقایسه میانگین فاصله پیکسل‌های حاوی انسداد پرتو و پیکسل‌های حاوی بازتابندگی کاذب از محل نصب رادار برابر با $0/20^\circ$ تعیین شد. در نظر گرفتن بازه‌های مکانی دونات‌شکل با شعاع 5 کیلومتر حول آنتن رادار و نحوه استفاده از آن برای تعیین مقدار واقعی زاویه ارتفاع آنتن از جمله نوآوری‌های صورت گرفته در این پژوهش است. در ادامه، با توجه به ضرورت وجود معیاری برای قضاوت راجع به میزان اثربخشی اقدامات صورت گرفته برای تضعیف خطای کلاتر زمین در محصولات رادار هواشناسی گیلان، روشی بر مبنای همبستگی میان ارتفاع بارش 24 ساعته راداری و مقادیر متناظر ایستگاهی آن توسعه یافته است که می‌توان به کمک آن بیشینه خطای قابل چشم‌پوشی کلاتر زمین را، با استفاده از رابطه $Z = 200R^{1.6}$ به دست آورد. مقادیر عددی حاصل از این روش بر حسب dBZ در ایستگاه‌های رشت (فرودگاه)، رشت (کشاورزی)، بندر انزلی، تالش، لاهیجان، جیرنده، ماسوله، دیلمان و منجیل به ترتیب برابر با 3/748، -1/638، -6/074، -14/952، -3/611، -1/482، 12/466، 4/872 و 6/852 محاسبه شد. همچنین مقدار 9/536 dBZ برای کل ایستگاه‌ها به صورت توأمان به دست آمد که با توجه به پراکندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌تواند به کل تصویر رادار تعمیم یابد. نتایج نشان می‌دهد که با وجود قابل توجه بودن میانگین خطای کلاتر در روزهای خشک (بدون بارندگی)، همبستگی نزدیکی بین ارتفاع بارش 24 ساعته راداری و مقادیر متناظر ایستگاهی آن وجود دارد، به گونه‌ای که ضریب این همبستگی در 7 ایستگاه رشت (فرودگاه)، رشت (کشاورزی)، بندر انزلی، لاهیجان، جیرنده، دیلمان و منجیل در سطح 1% معنی‌دار است و در دو ایستگاه تالش و ماسوله نیز مقادیر بالایی برای ضریب همبستگی به دست آمده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که وجود کلاتر در تولیدات رادار هواشناسی گیلان در تاریخ‌های مورد بررسی منعی بر قابلیت کاربرد و پژوهش بر این داده‌ها ایجاد نمی‌کند، هرچند استفاده از آنها نیازمند به دقتی مضاعف است.

واژه‌های کلیدی: رادار هواشناسی داپلر، کلاتر زمین، بازتابندگی، زاویه ارتفاع آنتن، گیلان

1 مقدمه

باران تشکیل‌دهنده قسمت عمده نزولات جوئی در عرض‌های جغرافیایی پایین و میانی است (مهدوی، 1384). کاستی‌های موجود در اندازه‌گیری نقطه‌ای باران، از جمله کاهش دقت اندازه‌گیری بارش در سطح یک منطقه با کم شدن تراکم ایستگاه‌های هواشناسی در آن و پایین‌تر بودن دقت زمانی و مکانی اندازه‌گیری ماهواره‌ای بارش نسبت به رادارهای هواشناسی، موجب شده است که استفاده از سامانه‌های هواشناسی راداری به‌عنوان راهی مناسب برای افزایش دقت اندازه‌گیری بارش مورد توجه قرار گیرند (فراینگلی، 1392؛ وحدانی، 1392؛ فون‌دیبیک و همکاران، 2010؛ سیاچ و کراژوسکی، 2006).

داده‌های تولیدشده توسط رادارهای هواشناسی ممکن است حاوی خطاهای مختلفی باشند، لذا قبل از مورد استفاده قرار دادن این داده‌ها باید آنها را از نظر میزان تأثیرپذیری از منابع خطا مورد ارزیابی قرار داد. یکی از این عوامل بروز خطا در داده‌های رادارهای هواشناسی، کلاتر (clutter) است. کلاتر ثابت یا زمینی (ground clutter) سیگنال‌های ناخواسته‌ای است که از بازتابش موانع غیرهواسنجی مانند کوه‌ها، ساختمان‌ها و کارخانجات صنعتی ایجاد می‌شود. چنین موانعی باعث می‌شوند که سیگنال‌ها به پشت آنها نرسد و هرآنچه در پشت این موانع قرار دارد از دید رادار دور بماند (آخوندعلی و همکاران، 1392؛ گرسنتیر و همکاران، 2002؛ کریسمن و همکاران، 1995). در بسیاری مواقع، اندازه‌گیری بارش توسط رادارهای هواشناسی تحت تأثیر کلاتر زمین قرار می‌گیرد. از جمله این موارد می‌توان به اندازه‌گیری بارش در مجاورت سطح زمین در محل ناهمواری‌های کوهستانی اشاره کرد. باید دانست که کلاتر زمین حذف‌شدنی نیست و تنها، در صورت انجام طراحی‌های دقیق، می‌توان اثر آن را کاهش داد. روش اول کاهش اثر کلاتر زمین، که به‌ویژه در ارتفاعات مورد

کاربرد قرار می‌گیرد، استفاده از آنتن‌هایی با پرتو جانبی (sidelobe) اندک است که می‌توانند جزء کلاتر بازتابش دریافتی را به حداقل برسانند. راه‌حل دوم استفاده از طول موج‌های کوتاه‌تر است. کاربرد این طول موج‌ها نسبت سیگنال به کلاتر را بهبود می‌بخشد (اسکولنیک، 2008). دو روش فوق‌الذکر در مرحله طراحی سامانه‌های راداری مورد توجه قرار می‌گیرند. اما برای کاهش اثر کلاتر زمین بر داده‌های رادارهای هواشناسی پس از نصب و راه‌اندازی آنها نیز روش‌هایی توسعه داده شده است. طوفانی‌نژاد و همکاران (1388) در چارچوب بررسی کاربرد رادارهای هواشناسی X-band در برآورد میزان بارندگی، از میانگین تصاویر راداری در شرایط خشک (بدون بارندگی) برای تهیه نقشه‌ی میانگین کلاتر زمینی استفاده کردند. محققین در این پژوهش حد آستانه بازتابندگی رادار را طوری انتخاب کردند که 90% از کلاتر زمین از تصاویر حذف شود. ایشان مقدار 25 dBZ را به‌عنوان حد آستانه پذیرفتند. آخوندعلی و همکاران (1392) در تلاش برای ارزیابی و بهبود عدم قطعیت‌های موجود در داده‌های رادار هواشناسی اهواز، اثر تغییر زاویه ارتفاعی پرتو رادار را بر انسداد پرتوهای آن مورد مطالعه قرار دادند و در نهایت زاویه ارتفاعی 0/644 درجه را به‌عنوان حداقل زاویه بهینه پذیرفتند.

تورس و زرنیک (1999) استفاده از یک صافی (فیلتر) تضعیف‌کننده کلاتر زمین مبتنی بر وایازش (رگرسیون-گیری) را مورد بررسی قرار دادند و با اعمال این صافی بر یک سیگنال بارش واقعی کارایی این روش را در حذف کلاتر زمین نشان دادند. برای انجام این پژوهش از رادارهای هواشناسی شبکه راداری NEXRAD استفاده شد.

هابرت و همکاران (2009) از یک الگوریتم فازی برای تشخیص بارش از کلاتر زمین استفاده کردند. ایشان از قابلیت تشخیص و صاف کردن به‌هنگام پردازنده‌های

محدوده مکانی مورد مطالعه در این پژوهش استان گیلان است که در عرض جغرافیایی 36/56 تا 38/45 درجه شمالی و طول جغرافیایی 48/57 تا 50/61 درجه شرقی قرار دارد. بازه زمانی تحقیق نیز به پاییز و زمستان 1393 هجری شمسی محدود است.

1-2 رومی سازی تصاویر PNG و تهیه نقشه میانگین بازتابندگی کاذب

برای تهیه نقشه میانگین بازتابندگی کاذب از تصاویر بازتابندگی موسوم به شاخص موقعیت مسطحاتی (PPI; Plan Position Indicator) تولیدشده توسط رادار هواشناسی گیلان در تاریخ 1393/10/5 مصادف با 2014/12/26 میلادی استفاده شد. علت انتخاب این تاریخ اولاً عدم ثبت بارش در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه و ثانیاً حداقل بودن پوشش ابر در آسمان استان گیلان بود، به گونه‌ای که تولیدات ابر (cloud products) سنجنده مودیس (MODIS) از ماهواره آکوا (Aqua) پوشش ابر از آسمان استان گیلان در این تاریخ را در نواحی با رقوم ارتفاعی بیش از 50 متر برابر 8/06 درصد و در نواحی با رقوم ارتفاعی کمتر از 50 متر تنها برابر 0/30 درصد نشان داد. بنابراین علاوه بر اطمینان از عدم وقوع بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه، از عدم وقوع بارش در نواحی بین ایستگاهی در این روز نیز اطمینان حاصل شد. توضیح آن که، در گام اول پژوهش حاضر برای تهیه نقشه میانگین بازتابندگی کاذب از روش میانگین بازتابندگی در شرایط خشک (بدون بارندگی) استفاده شده است. لذا باید از عدم وقوع بارش در کلیه پیکسل‌های تصویر که بازتابندگی کاذب در آنها بروز کرده است نیز اطمینان حاصل می‌شد. این پیکسل‌ها عمدتاً خارج از محدوده رصد ایستگاه‌های هواشناسی و در نواحی بین ایستگاهی واقع بودند.

پیشرفته برای این کار استفاده کردند. برای انجام این تحقیق از یک رادار S-band از شبکه رادارهای هواشناسی NEXRAD، واقع در شهر دنور از ایالت کلرادو، استفاده شد.

فردریک و ژرمن (2009) تأثیر کلاتر زمین بر تخمین متغیرهای پلاریمتری رادار هواشناسی، از جمله بازتابندگی افقی (Z_h ; horizontal reflectivity) و بازتابندگی دیفرانسیلی (Z_{dr} ; differential reflectivity)، را مورد بررسی قرار دادند. ایشان تلاش کردند تا حد آستانه‌ای را برای کلاتر زمین بیابند که به‌ازای آن اثر نامطلوب کلاتر زمین بر متغیرهای پلاریمتری مورد بررسی تا رسیدن به آن حد آستانه از یک مقدار پیش‌فرض فراتر نرود. در این پژوهش 3 رویداد بارش مورد مطالعه قرار گرفت. رادار هواشناسی مورد استفاده از نوع داپلر، پلاریمتریک، C-band و با زاویه ارتفاع $0/8^\circ$ بود. موقعیت مکانی رادار مورد مطالعه در 3 کیلومتری جنوب غربی شهر پاریس در کشور فرانسه بود.

2 روش تحقیق

پژوهش حاضر در دو مرحله به‌انجام رسید. در مرحله اول نشان داده شد که عامل اصلی بروز بازتابندگی کاذب در تولیدات تصویری رادار هواشناسی گیلان کلاتر زمین است. در مرحله دوم بیشینه خطای قابل چشم‌پوشی کلاتر زمین، با استفاده از رابطه $Z = 200R^{1.6}$ ، تعیین شد. برای این کار، به کمک ارتفاع بارش 24 ساعته راداری و مقادیر متناظر ایستگاهی آن نموداری ترسیم شد که عرض از مبدأ حاصل از واپازش خطی بر این نمودار مبین بیشینه خطای قابل چشم‌پوشی کلاتر زمین بود. همچنین نقشه میانگین کلاتر زمین در شرایط خشک (بدون بارندگی) برای رادار هواشناسی گیلان تهیه شد و به کمک آن کارایی این روش در تعیین آستانه تشخیص کلاتر زمین نیز مورد بحث قرار گرفت.

که Z بازتابندگی اندازه گیری شده توسط رادار بر حسب mm^6/m^3 و R شدت بارش بر حسب mm/hr هستند (اسکولنیک، 2008).

جدول 1. مقادیر بازتابندگی جایگزین شده به جای رنگ پیکسل در فرآیند رقمی سازی تصاویر PPI (dBZ) رادار هواشناسی گیلان با فرمت PNG.

رنگ	RGB*			PPI (dBZ)		PPI(dBZ)
	red	green	Blue	کمینه	بیشینه	
	200	200	200	-10	1	-1/68
	165	255	255	1	12	9/32
	110	200	255	12	16	14/45
	55	145	255	16	20	18/45
	0	90	255	20	24	22/45
	170	255	0	24	28	26/45
	128	206	0	28	32	30/45
	85	156	0	32	36	34/45
	43	107	0	36	40	38/45
	0	57	0	40	44	42/45
	255	255	0	44	48	46/45
	255	192	0	48	52	50/45
	255	128	0	52	56	54/45
	255	64	0	56	60	58/45
	190	0	0	60	64	62/45
	255	0	255	64	68	66/45

RGB عنوان تابع رنگ مورد استفاده در فرآیند رقمی سازی تصاویر رادار هواشناسی گیلان است. red، green و blue نیز متغیرهای سه گانه این تابع رنگ هستند.

با توجه به آن که Z می تواند مقادیر عددی بزرگ را نیز اختیار کند لذا در گزارش مقدار Z از صورت لگاریتمی آن، که از روابط (2) و (3) قابل محاسبه است، استفاده می شود (اسکولنیک، 2008؛ فانگ، 2004):

$$Z_{\text{mm}^6/\text{m}^3} = 10^{dBZ/10}, \quad (2)$$

$$dBZ = 10 \log_{10} \left(Z_{\text{mm}^6/\text{m}^3} \right). \quad (3)$$

برای محاسبه میانگین مقدار Z نیز از رابطه (4) استفاده شده است:

$$Z_{\text{ave}} = \frac{Z_{\text{min}} + Z_{\text{max}}}{2}, \quad (4)$$

داده برداری رادار هواشناسی گیلان در فواصل زمانی 15 دقیقه ای انجام می شود، لذا تعداد تصاویر تولید شده به ازای هر یک از انواع داده ها می تواند تا 96 عدد باشد. این تصاویر به صورت لینک های ftp از وبگاه شبکه ملی رادارهای هواشناسی ایران در فرمت PNG قابل دانلود هستند.

تصاویر رادار هواشناسی گیلان طبقه بندی شده هستند. به عبارت دیگر کل داده های اندازه گیری شده به 16 بازه عددی مجزا تفکیک می شوند و هر بازه با یک رنگ و یک تابع RGB خاص نمایش داده می شود. RGB (Red, Green, Blue) تابعی برای تخصیص رنگ به پیکسل های تصویر است. هر کدام از متغیرهای red، green و blue در این تابع می توانند مقادیری بین 0 تا 255 دریافت کنند. ترکیب های مختلف این اعداد رنگ های متفاوتی تولید می کند. بنابراین، با شناسایی مقدار تابع RGB در هر پیکسل از تصویر و مقایسه آن با راهنمای تصویر، می توان محدوده عددی بازتابندگی هر پیکسل را از روی رنگ آن تشخیص داد (جدول 1).

برای رقمی سازی تصاویر PNG تنها اطلاع از محدوده عددی بازتابندگی یک پیکسل کافی نیست، بلکه نیاز است یک عدد مشخص جایگزین رنگ پیکسل شود. در این پژوهش از متوسط مقادیر بیشینه و کمینه بازتابندگی هر پیکسل به عنوان عدد جایگزین شونده به جای رنگ آن پیکسل استفاده شده است (جدول 1). با توجه به لگاریتمی بودن مقادیر بازتابندگی، به صورت خطی بین مقادیر بیشینه و کمینه آن میانگین گیری نشده است. رابطه مورد استفاده در تبدیل بازتابندگی اندازه گیری شده توسط رادار به شدت بارش در رادار هواشناسی گیلان به صورت رابطه (1) است:

$$Z = 200R^{1.6}, \quad (1)$$

که Z_{min} بازتابندگی کمینه، Z_{max} بازتابندگی بیشینه و Z_{ave} بازتابندگی متوسط، هر سه برحسب mm^6/m^3 هستند.

بنابراین برای محاسبه بازتابندگی متوسط، ابتدا مقادیر dBZ_{min} و dBZ_{max} از راهنمای تصاویر PNG استخراج شده و به کمک رابطه (2) به Z_{min} و Z_{max} تبدیل شدند، سپس مقدار متوسط آنها از رابطه (4) محاسبه شد و در نهایت با استفاده از رابطه (3)، که صورت بازآرایی شده رابطه (2) است، بازتابندگی متوسط در مقیاس dBZ به دست آمد.

معمول فرآیند رقمی سازی فایل های PNG، 96 تصویر بازتابندگی رقمی بود. نقشه میانگین بازتابندگی کاذب بر مبنای این 96 تصویر تهیه شد. در واقع مقدار عددی هر پیکسل از نقشه میانگین بازتابندگی کاذب برابر شد با میانگین مقادیر 96 پیکسل متناظر موجود در این 96 تصویر رقمی. مراحل رقمی سازی فایل های PNG و تهیه نقشه میانگین بازتابندگی کاذب به کمک نرم افزارهای ERDAS imagine 9.1 و MATLAB 7.11.0 (R2010b) انجام شد.

2-3 داده های ایستگاهی

داده های ایستگاهی مورد استفاده شامل آمار بارش 24 ساعته 9 ایستگاه هواشناسی استان گیلان است (جدول 2).

جدول 2. مشخصات ایستگاه های هواشناسی مورد استفاده در پژوهش حاضر.

نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی		ارتفاع (متر)
	عرض شمالی	طول شرقی	
رشت (فرودگاه)	37/32	49/62	-8/6
رشت (کشاورزی)	37/20	49/65	24/6
بندر انزلی	37/48	49/45	-23/6
منجیل	36/73	49/42	338/3
تالش	37/82	48/87	7/0
جیرنده	36/70	49/80	1581/4
لاهیجان	37/20	50/02	34/2
ماسوله	37/15	48/98	1080/9
دیلمان	36/88	49/92	1447/6

محصول فرآیند رقمی سازی فایل های PNG، 96 تصویر بازتابندگی رقمی بود. نقشه میانگین بازتابندگی کاذب بر مبنای این 96 تصویر تهیه شد. در واقع مقدار عددی هر پیکسل از نقشه میانگین بازتابندگی کاذب برابر شد با میانگین مقادیر 96 پیکسل متناظر موجود در این 96 تصویر رقمی. مراحل رقمی سازی فایل های PNG و تهیه نقشه میانگین بازتابندگی کاذب به کمک نرم افزارهای ERDAS imagine 9.1 و MATLAB 7.11.0 (R2010b) انجام شد.

2-2 تهیه نقشه انسداد پرتو رادار هواشناسی گیلان ارتفاع پرتو رادارهای هواشناسی با دور شدن از آنتن رادار به صورت نمایی افزایش می یابد. رابطه بین فاصله از رادار و ارتفاع پرتو آن به صورت ذیل است (یوتر، 2003):

رابطه (4) اختلاف ارتفاع پرتو رادار از سطح زمین بر حسب کیلومتر، h_0 ارتفاع آنتن رادار بر حسب کیلومتر، r فاصله از رادار بر حسب کیلومتر، R شعاع زمین در محل نصب رادار بر حسب کیلومتر و ϕ زاویه ارتفاع آنتن رادار

$$h \cong h_0 - \frac{4}{3}R + \sqrt{r^2 + \left(\frac{4}{3}R\right)^2} + 2r\frac{4}{3}R \sin \phi, \quad (4)$$

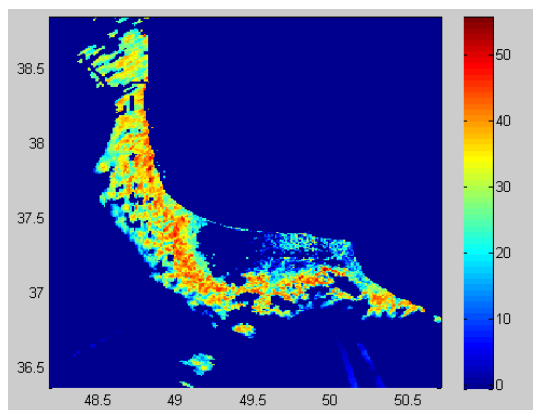
که h اختلاف ارتفاع پرتو رادار از سطح زمین بر حسب کیلومتر، h_0 ارتفاع آنتن رادار بر حسب کیلومتر، r فاصله از رادار بر حسب کیلومتر، R شعاع زمین در محل نصب رادار بر حسب کیلومتر و ϕ زاویه ارتفاع آنتن رادار

4-2 نتایج و بحث

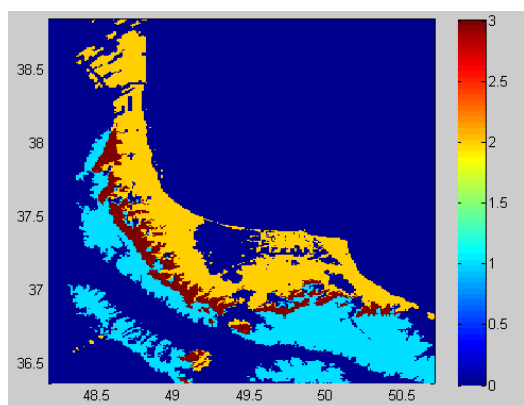
1-4-2 بررسی علت بروز بازتابندگی کاذب در

تولیدات رادار هواشناسی گیلان

نگاهی به تولیدات رادار هواشناسی گیلان، از جمله محصولات PPI و SRI، در بازه زمانی پاییز و زمستان 1393 نشان می‌دهد که تصاویر تولیدشده توسط این سامانه راداری در روزهای فاقد بارش نیز بازتابندگی قابل توجهی را ثبت می‌کنند. در پژوهش حاضر نقش کلاتر زمین، به‌عنوان عاملی که می‌تواند چنین تأثیر گسترده‌ای بر امواج راداری بگذارد، در بروز بازتابندگی کاذب در محصولات رادار هواشناسی گیلان مورد بحث قرار می‌گیرد. شکل 1 نقشه انسداد پرتو رادار به‌ازای $\phi = 0/50^\circ$ ، چنانچه در راهنمای تصاویر رادار هواشناسی گیلان ذکر شده است، را نشان می‌دهد. ϕ زاویه ارتفاع آنتن رادار است. در شکل 2 نیز میانگین بازتابندگی کاذب رادار در تاریخ 1393/10/5 قابل مشاهده است. از ترکیب شکل‌های 1 و 2، شکل 3 حاصل شده است. در شکل 3 پیکسل‌های زردرنگ حاوی بازتابندگی کاذب و پیکسل‌های به‌رنگ فیروزه‌ای حاوی انسداد پرتو آن هستند. پیکسل‌های به‌رنگ قهوه‌ای نیز از هم‌پوشانی پیکسل‌های زرد و آبی حاصل شده‌اند.

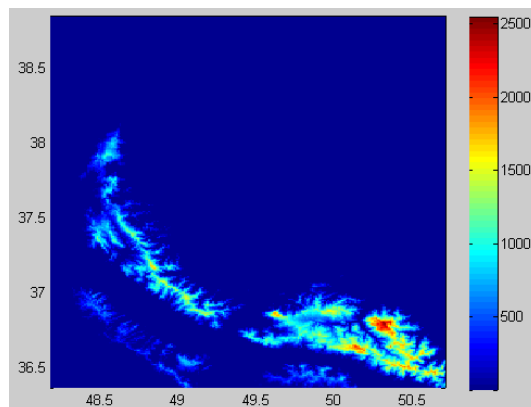


شکل 2. نقشه میانگین بازتابندگی کاذب در رادار هواشناسی گیلان در واحد dBZ به‌تاریخ 1393/10/5 هجری شمسی مصادف با 2014/12/26 میلادی.



شکل 3. میزان هم‌پوشانی (پیکسل‌های قهوه‌ای) نقشه میانگین بازتابندگی کاذب (پیکسل‌های زرد) و نقشه انسداد پرتو (پیکسل‌های فیروزه‌ای) در رادار هواشناسی گیلان به‌ازای $\phi = 0/50^\circ$.

شکل 3 نشان می‌دهد که به‌ازای $\phi = 0/50^\circ$ تنها در 24/3% از پیکسل‌ها هم بازتابندگی کاذب مشاهده شده است و هم پرتوهای گسیل‌شده از رادار توسط ناهمواری‌های سطح زمین مسدود شده‌اند. به‌عبارت دیگر، شکل‌های 2 و 3 تنها در 24/3% از پیکسل‌ها هم‌پوشانی دارند. اکنون می‌توان پرسید چرا در 75/7% از پیکسل‌های حاوی خطا (پیکسل‌های زردرنگ در شکل 3) انسداد پرتو مشاهده نشده است؟ علت بروز خطا در این بخش از تصویر چیست؟ در پاسخ به این سؤال، به‌نظر می‌رسد زاویه ارتفاع آنتن (ϕ) از مقدار مندرج در راهنمای تصاویر



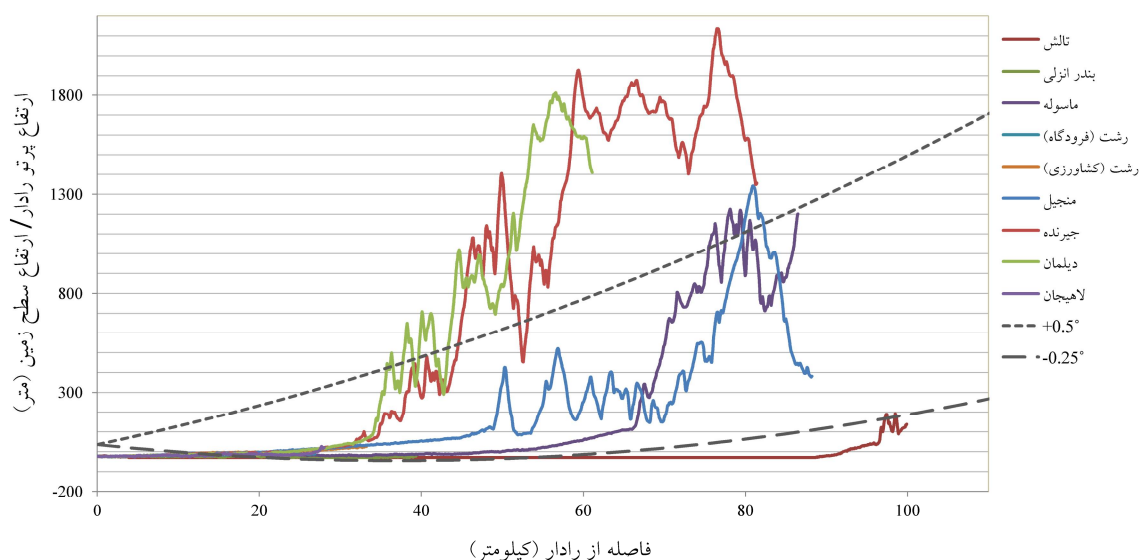
شکل 1. نقشه انسداد پرتو رادار هواشناسی گیلان در واحد متر به‌ازای $\phi = 0/50^\circ$ در محدوده مکانی مورد مطالعه.

(پیکسل‌های به‌رنگ فیروزه‌ای) را نشان می‌دهد. بنابراین با کاهش مقدار ϕ می‌توان بروز بازتابندگی کاذب در درصد بیشتری از پیکسل‌ها را با انسداد پرتو رادار، و یا به‌عبارت دیگر با خطای کلاتر زمین، توجیه کرد. همچنین مقادیر منفی مشاهده شده در شکل 4 و هلال آبی‌رنگ حول رادار در شکل 5 ($\phi = -0/25^\circ$) بیان‌گر آن هستند که با منفی‌شدن مقدار ϕ بخشی از پرتوهای رادار در مجاورت محل نصب آن (در فواصل حدود 10 تا 50 کیلومتری از آنتن رادار) توسط سطح زمین و دریا مسدود می‌شوند. ضریب همبستگی پیرسون بین تغییر زاویه ارتفاع آنتن رادار و تغییر درصد پیکسل‌های دارای خطای کلاتر زمین برابر با $-0/987$ به‌دست می‌آید (شکل 6). این همبستگی در سطح 1% معنی‌دار است. بنابراین می‌توان علت اصلی بروز بازتابندگی کاذب در محصول موسوم به شاخص موقعیت مسطحاتی (PPI) رادار هواشناسی گیلان را وجود خطای کلاتر زمین دانست.

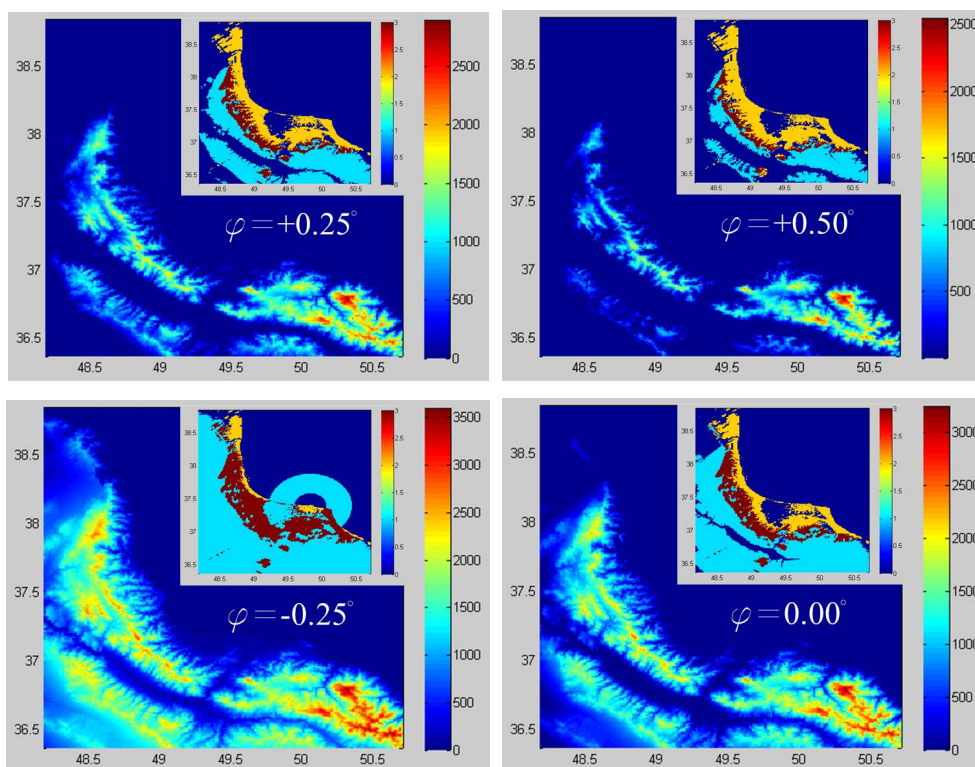
تولیدشده توسط رادار هواشناسی گیلان ($0/50^\circ$) کمتر است و این امر موجب مغایرت بین نقشه انسداد پرتو (شکل 1) و نقشه میانگین بازتابندگی کاذب (شکل 2) شده است. در ادامه درستی این موضوع مورد بررسی قرار می‌گیرد.

همان‌طور که در شکل 4 مشاهده می‌شود، در صورتی که $\phi = 0/50^\circ$ باشد، پرتو رادار در مسیر چهار ایستگاه هواشناسی ماسوله، منجیل، جیرنده و دیلمان توسط ناهمواری‌های سطح زمین مسدود خواهد شد. با کاهش مقدار ϕ از $0/50^\circ$ تا $-0/25^\circ$ ارتفاع پرتو رادار از سطح زمین رفته‌رفته کمتر می‌شود و در نتیجه در تعداد بیشتری از ایستگاه‌های هواشناسی، از جمله لاهیجان و تالش، کلاتر زمین ایجاد می‌شود.

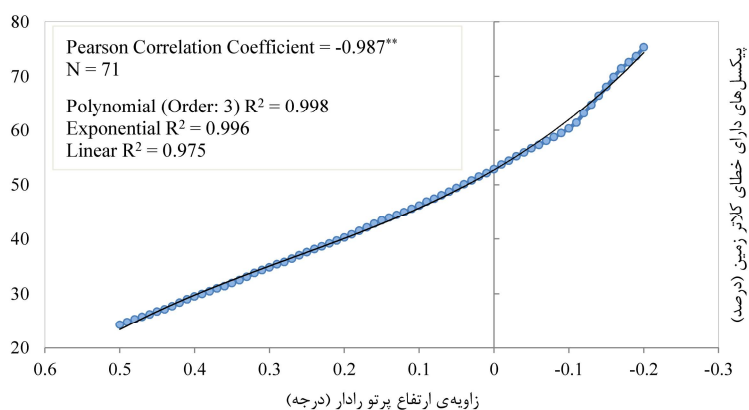
شکل 5 نتیجه کاهش مقدار ϕ بر افزایش هم‌پوشانی پیکسل‌های حاوی بازتابندگی کاذب (پیکسل‌های زردرنگ) و پیکسل‌های حاوی انسداد پرتو محاسباتی



شکل 4. ارتفاع نسبی پرتو رادار و سطح زمین در محل ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در پژوهش.



شکل 5. تغییر نقشه انسداد پرتو رادار هواشناسی گیلان و نقشه هم‌پوشانی متناظر آن به‌ازای تغییر زاویه ارتفاع آنتن رادار.



شکل 6. بررسی همبستگی بین زاویه ارتفاع آنتن رادار (ϕ) و درصد پیکسل‌های دارای خطای کلاتر زمین.

رادار نیز افزایش می‌یابد. پیکسل‌های فیروزه‌ای رنگ مذکور، که می‌توان آنها را پیکسل‌های فاقد توجیه نامید، نقاطی از نقشه هستند که در آنها خطای انسداد پرتو محاسباتی وجود دارد اما هیچ‌گونه بازتابندگی کاذب در تصاویر راداری مشاهده نشده است. ظهور پیکسل‌های فاقد توجیه به‌ازای کاهش مقدار ϕ نشان می‌دهد که نمی‌توان

همان‌طور که در شکل 5 نشان داده شد، با کاهش مقدار ϕ درصد هم‌پوشانی پیکسل‌های حاوی بازتابندگی کاذب مشاهداتی (پیکسل‌های زردرنگ) و پیکسل‌های حاوی خطای انسداد پرتو محاسباتی (پیکسل‌های به‌رنگ فیروزه‌ای) پیوسته افزایش می‌یابد، اما در عین حال تعداد پیکسل‌های فیروزه‌ای رنگ با فاصله کمتر از 50 کیلومتر از

می‌شوند و از دیگر سو تعداد پیکسل‌های فاقد توجیه حداقل خواهد بود (جدول 4).

2-4-2 تعیین بیشینه خطای قابل چشم‌پوشی کلاتر

زمین در محصولات رادار هواشناسی گیلان با توجه به بروز گسترده خطای کلاتر زمین در تصاویر تولیدی رادار هواشناسی گیلان (شکل 2) ضرورت دارد اقداماتی برای تضعیف این خطا صورت گیرد، در چنین شرایطی لازم است معیاری در دست باشد تا از میزان اثربخشی اقدامات اصلاحی اطمینان حاصل شود.

برای این کار ابتدا از نقشه میانگین خطای کلاتر زمین برای تشخیص میزان تأثیرپذیری محصولات رادار هواشناسی گیلان از کلاتر زمین استفاده شد و در ادامه، امکان تعیین بیشینه خطای قابل چشم‌پوشی کلاتر زمین به کمک همبستگی بارش‌های راداری و ایستگاهی مورد بررسی قرار گرفت.

طوفانی نژاد و همکاران (1387) برای تعیین آستانه تشخیص خطای کلاتر از نقشه میانگین خطای کلاتر در شرایط خشک (بدون بارندگی) استفاده کردند. ایشان با اختیار حد آستانه 25 dBZ توانستند 90% از خطای کلاتر موجود در تصاویر رادار را حذف کنند. پیرو این نتایج، در پژوهش حاضر از تصاویر موسوم به شاخص موقعیت مسطحاتی (PPI) تولیدشده توسط رادار هواشناسی گیلان در تاریخ 1393/10/5 مصادف با 2014/12/26 میلادی برای تهیه نقشه میانگین خطای کلاتر زمین استفاده شد (شکل 2). همان‌طور که از شکل 2 پیداست، مقدار عددی میانگین خطای کلاتر زمین در بعضی از پیکسل‌های تصویر به بیش از 50 dBZ نیز می‌رسد. جدول 5 مقدار میانگین خطای کلاتر زمین در ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

ϕ را به هر اندازه دلخواه کوچک فرض کرد. لذا برای تشخیص ϕ واقعی در رادار هواشناسی گیلان نیاز است معیار دیگری نیز توسعه داده شود.

در این پژوهش ابتدا یک بازه مکانی دونات‌شکل به پهنای 5 کیلومتر حول رادار در نظر گرفته می‌شود. سپس میانگین فاصله پیکسل‌های حاوی بازتابندگی کاذب موجود در این بازه‌ی مکانی از محل نصب رادار (D_r) و تعداد این پیکسل‌ها (N_r) محاسبه می‌شود. اکنون به‌ازای کاهش مقدار ϕ از 0/5+ تا 0/5- درجه در گام‌های 0/01 درجه‌ای، میانگین فاصله‌ی پیکسل‌های حاوی خطای انسداد پرتوی که در درون بازه‌ی مکانی دونات‌شکل قرار دارند از محل نصب رادار (D_0) و تعداد این پیکسل‌ها (N_0) محاسبه می‌شود. بدین ترتیب ϕ مطلوب زاویه‌ای خواهد بود که دو شرط ذیل را دارا باشد:

$$1- \text{Minimum}\{(D_0 - D_r) \geq 0\}$$

$$2- \text{Minimum}\{(N_r - N_0) \geq 0\}$$

شرط اول به معنی حداقل بودن مقادیر مثبت $D_0 - D_r$ و شرط دوم به معنی حداقل بودن مقادیر مثبت $N_r - N_0$ است.

جدول 3 نمونه‌ای از محاسبات فوق‌الذکر برای شعاع 40 تا 45 کیلومتری از محل نصب رادار هواشناسی گیلان را نشان می‌دهد. ϕ مطلوب در این جدول برای شعاع 40 تا 45 کیلومتری برابر با 0/11- درجه به دست آمده است. در ادامه، محاسبات مشابهی برای 6 بازه مکانی دیگر انجام شد. نتایج نشان داد که با نزدیک‌تر شدن بازه‌ی مکانی مفروض به محل نصب رادار رفته‌رفته از مقدار عددی ϕ مطلوب کاسته می‌شود تا نهایتاً به مقداری ثابت برسد (جدول 4). این مقدار ثابت، که برابر با 0/20- محاسبه شده است، ϕ واقعی رادار هواشناسی گیلان خواهد بود. بنابراین در 0/20- ϕ از یک سو 75/3% از پیکسل‌های دارای بازتابندگی کاذب با بروز خطای کلاتر زمین توجیه

جدول 3. نمونه محاسبات تعیین زاویه ارتفاع آنتن رادار به کمک مقایسه میانگین فاصله پیکسل‌های حاوی انسداد پرتو و پیکسل‌های حاوی بازتابندگی کاذب از محل نصب رادار به‌ازای بازه مکانی 40 تا 45 کیلومتری از رادار هواشناسی گیلان.

ϕ (°) ¹	N_{ref} ²	$N_{overlab}$ ³	$P_{overlab}$ (%) ⁴	$N_{blocked}$ ⁵	N_r ⁶	D_r (km) ⁷	N_o ⁸	D_o (km) ⁹	$D_o - D_r$ (m)	N_r
0/00	8203	4335	52/85	7081	281	42/476	171	42/574	97	110
-0/01	8203	4406	53/71	7142	281	42/476	178	42/553	77	103
-0/02	8203	4462	54/39	7196	281	42/476	187	42/579	102	94
-0/03	8203	4530	55/22	7256	281	42/476	192	42/577	100	89
-0/04	8203	4585	55/89	7323	281	42/476	198	42/583	106	83
-0/05	8203	4648	56/66	7383	281	42/476	205	42/605	128	76
-0/06	8203	4699	57/28	7441	281	42/476	211	42/577	101	70
-0/07	8203	4761	58/04	7509	281	42/476	223	42/577	100	58
-0/08	8203	4819	58/75	7572	281	42/476	233	42/584	107	48
-0/09	8203	4878	59/47	7651	281	42/476	243	42/560	84	38
-0/10	8203	4950	60/34	7733	281	42/476	248	42/553	76	33
-0/11	8203	5035	61/38	7815	281	42/476	260	42/520	44	21
-0/12	8203	5179	63/14	7895	281	42/476	284	42/496	20	-3
-0/13	8203	5313	64/77	7970	281	42/476	292	42/490	14	-11
-0/14	8203	5448	66/41	8060	281	42/476	297	42/471	-6	-16
-0/15	8203	5581	68/04	8165	281	42/476	306	42/475	-1	-25
-0/16	8203	5732	69/88	8274	281	42/476	316	42/484	8	-35
-0/17	8203	5864	71/49	8451	281	42/476	328	42/501	24	-47
-0/18	8203	5957	72/62	8615	281	42/476	339	42/501	25	-58
-0/19	8203	6047	73/72	8779	281	42/476	355	42/499	23	-74
-0/20	8203	6180	75/34	8938	281	42/476	379	42/536	60	-98

1. ϕ : زاویه ارتفاع آنتن رادار

2. N_{ref} : تعداد پیکسل‌های حاوی بازتابندگی کاذب در کل تصویر (بین عرض جغرافیایی 36/56 تا 38/45 درجه شمالی و طول جغرافیایی 48/57 تا 50/61 درجه شرقی)

3. $N_{overlab}$: تعداد پیکسل‌های حاوی هم‌پوشانی در کل تصویر

4. $P_{overlab}$: درصد پیکسل‌های حاوی هم‌پوشانی از کل تعداد پیکسل‌های حاوی بازتابندگی کاذب در کل تصویر

5. $N_{blocked}$: تعداد پیکسل‌های حاوی انسداد پرتو رادار در کل تصویر

6. N_r : تعداد پیکسل‌های حاوی بازتابندگی کاذب واقع در شعاع 40 تا 45 کیلومتری از محل نصب رادار

7. D_r : میانگین فاصله پیکسل‌های حاوی بازتابندگی کاذب واقع در شعاع 40 تا 45 کیلومتری از محل نصب رادار

8. N_o : تعداد پیکسل‌های حاوی هم‌پوشانی واقع در شعاع 40 تا 45 کیلومتری از محل نصب رادار

9. D_o : میانگین فاصله پیکسل‌های حاوی هم‌پوشانی واقع در شعاع 40 تا 45 کیلومتری از محل نصب رادار

مقادیر بازتابندگی کمتر از 12/146 dBZ را به‌عنوان خطای کلاتر زمین در نظر گرفته و پالایش (فیلتر) کنیم، خطای اندازه‌گیری ارتفاع بارش روزانه (24 ساعته) توسط رادار هواشناسی گیلان در نتیجه این کار در ایستگاه مذکور بالغ بر 5/0 میلی‌متر خواهد بود. این وضعیت در مورد سایر ایستگاه‌های هواشناسی حاوی خطای کلاتر زمین حادث‌تر است، به‌گونه‌ای که مقدار خطای اندازه‌گیری

نتایج نشان می‌دهند مقدار میانگین خطای کلاتر زمین در 6 ایستگاه هواشناسی بزرگ‌تر از صفر (mm^6/m^3) است (جدول 5). ارتفاع بارش 24 ساعته معادل این مقادیر خطا نشان می‌دهند که نمی‌توان از آنها به‌عنوان آستانه تشخیص خطای کلاتر زمین، و در نتیجه بیشینه خطای قابل چشم‌پوشی کلاتر زمین، در روزهای حاوی بارش استفاده کرد. برای مثال، اگر در ایستگاه هواشناسی فرودگاه رشت

برابر با بیشینه خطای قابل چشم‌پوشی کلاتر زمین است زیرا به‌ازای هر بازتابندگی بزرگ‌تر از این مقدار وقوع یک رویداد بارش متصور می‌باشد و لذا بازتابندگی‌های بزرگ‌تر از این مقدار قابل حذف نیستند. البته معنی‌دار بودن ضریب این همبستگی و اختلاف مقادیر راداری و زمینی در تخمین ارتفاع بارش، که ناشی از عدم واسنجی (کالیبراسیون) ضرایب رابطه Z-R است، نیز بر دقت نتایج این روش مؤثر هستند. جدول 6 خلاصه نتایج حاصله را نشان می‌دهد.

جدول 4. تشخیص مقدار واقعی زاویه ارتفاع آنتن رادار به‌کمک بررسی

روند تغییرات درصد پیکسل‌های حاوی هم‌پوشانی

بازه مکانی	ϕ ($^{\circ}$) ¹	P_{overlab} (%) ²	N_{or} ³
42/50-47/50	-0/06	57/28	3504
40/00-45/00	-0/11	61/38	3168
37/50-42/50	-0/15	68/04	2622
35/00-40/00	-0/19	73/72	2156
32/50-37/50	-0/20	75/34	2023
30/00-35/00	-0/20	75/34	2023
27/50-32/50	-0/20	75/34	2023

1. ϕ : زاویه ارتفاع آنتن رادار

2. P_{overlab} : درصد پیکسل‌های حاوی هم‌پوشانی از کل تعداد پیکسل‌های

حاوی بازتابندگی کاذب در کل تصویر (بین عرض جغرافیایی 36/56 تا

38/45 درجه شمالی و طول جغرافیایی 48/57 تا 50/61 درجه شرقی)

N_{or} : تعداد پیکسل‌های حاوی بازتابندگی کاذب و فاقد انسداد پرتو رادار در کل تصویر.

راداری ارتفاع بارش 24 ساعته در ایستگاه هواشناسی لاهیجان به 759/3 میلیمتر می‌رسد. لذا استفاده از نقشه میانگین خطای کلاتر زمین در یک روز خشک برای تعیین بیشینه خطای قابل چشم‌پوشی کلاتر زمین در شرایط فعلی رادار هواشناسی گیلان مناسب نیست، اگرچه این روش برای تشخیص وجود یا عدم وجود خطای کلاتر زمین در نقاط مختلف تحت‌رصد این رادار کارا است. در ادامه، روشی برای تعیین بیشینه خطای قابل چشم‌پوشی کلاتر زمین توسعه داده شده و مورد بحث قرار می‌گیرد.

روش پیشنهادی در پژوهش حاضر بر مبنای نحوه همبستگی میان ارتفاع بارش 24 ساعته راداری و مقادیر متناظر ایستگاهی آن توسعه یافته است (شکل 7). همان‌طور که در شکل 7 می‌توان دید، همبستگی بین متغیرهای مورد مطالعه مثبت است. به‌عبارت دیگر، به‌ازای افزایش یا کاهش ارتفاع بارش حاصل از باران‌سنجی ایستگاهی، مقدار متناظر راداری آن نیز به‌ترتیب افزایش یا کاهش می‌یابد. همچنین در شکل 7، مقدار عددی عرض از مبدأ خط وایزش نیز مثبت است. این وضعیت در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود (جدول 6). بنابراین، اولاً می‌توان به‌کمک مثبت‌بودن عرض از مبدأ این نمودار به یک مقدار عددی به‌عنوان آستانه تشخیص خطای کلاتر زمین دست یافت. ثانیاً این مقدار آستانه‌ای

جدول 5. مقادیر عددی میانگین بازتابندگی کاذب (خطای کلاتر زمین) مشاهده‌شده در روز 1393/10/5 مصادف با 2014/12/26 میلادی در 9 ایستگاه هواشناسی

مورد مطالعه.

ردیف	ایستگاه هواشناسی	میانگین بازتابندگی کاذب		شدت بارش معادل (mm/hr)	ارتفاع بارش معادل 24 ساعته (mm)
		dBZ	Z (mm ⁶ /m ³)		
1	رشت (فرودگاه)	12/146	16/391	0/209	5/0
2	رشت (کشاورزی)	18/757	75/107	0/542	13/0
3	بندر انزلی	31/630	1455/355	3/457	83/0
4	تالش	39/426	8762/522	10/617	254/8
5	لاهیجان	47/014	50279/066	31/639	759/3
6	چیرنده	-	0	0	0
7	ماسوله	22/996	199/337	0/998	24/0
8	دیلمان	-	0	0	0
9	منجیل	-	0	0	0

جدول 6. بیشینه مقادیر عددی قابل پذیرش خطای کلاتر زمین در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه.

ردیف	ایستگاه	P_{cc}^1	$S_{reg.}^2$	$H_{0-Daily} (mm)^3$	Hour (hr) ⁴	R (mm/hr) ⁵	Z (dBZ) ⁶
1	رشت (فرودگاه)	0/891**	0/3200	0/2377	11/18	0/0213	-3/748
2	رشت (کشاورزی)	0/908**	0/2241	0/3088	10/72	0/0288	-1/638
3	بندر انزلی	0/739**	0/3688	0/1526	10/03	0/0152	-6/074
4	تالش	0/488	0/6131	3/4744	11/08	0/3136	14/952
5	لاهیجان	0/743**	0/3270	0/2867	13/22	0/0217	-3/611
6	جیرنده	0/871**	0/1571	0/0436	1/48	0/0295	-1/482
7	ماسوله	0/496	0/2068	3/9317	17/93	0/2193	12/466
8	دیلمان	0/999**	0/2577	0/1654	2/25	0/0735	4/872
9	منجیل	0/792**	0/1346	0/3695	3/78	0/0978	6/852
10	کل ایستگاه‌ها	0/652**	0/3033	1/3060	9/08	0/1438	9/536

1. P_{cc} : ضریب همبستگی پیرسون بین بارش روزانه حاصل از داده‌برداری راداری و مقادیر متناظر حاصل از باران‌سنجی ایستگاهی آن؛ به‌ازای هر ضریب همبستگی مفروض X، X^* معنی‌دار در سطح 5% و X^{**} معنی‌دار در سطح 1% است.

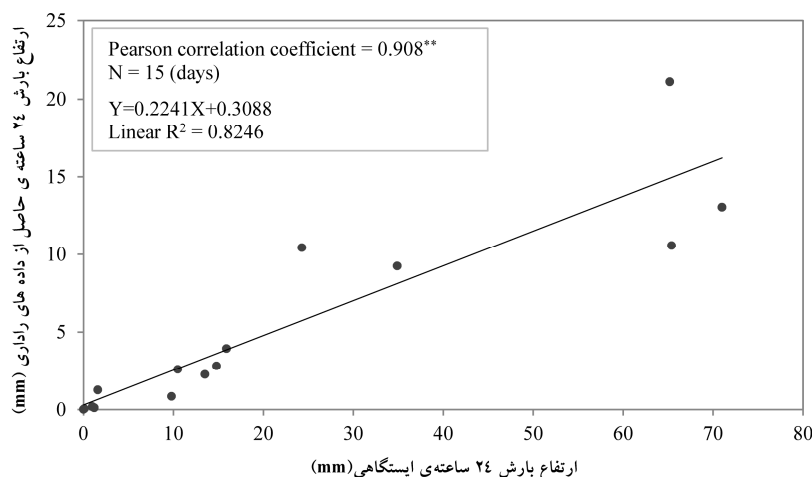
2. $S_{reg.}$: شیب خط وایزش

3. $H_{0-Daily}$: عرض از مبدأ خط وایزش؛ مقدار این متغیر برابر است با بیشینه ارتفاع بارش روزانه به‌دست‌آمده از داده‌های رادار که به‌ازای آن ارتفاع بارش روزانه ایستگاهی برابر صفر باشد.

4. Hour: میانگین روزانه ساعات بارش در رویدادهای بارش مورد مطالعه

5. R: شدت بارش متوسط به‌دست‌آمده از تقسیم $H_{0-Daily}$ بر Hour

Z: بازتابندگی معادل شدت بارش متوسط (R)، به‌دست‌آمده از رابطه $Z = 200R^{1.6}$ که می‌توان آن را به‌عنوان بیشینه خطای قابل چشم‌پوشی کلاتر زمین در نظر گرفت.



شکل 7. نمونه روند تغییرات ارتفاع بارش 24 ساعته حاصل از داده‌های رادار هواشناسی گیلان برحسب تغییرات ارتفاع بارش 24 ساعته زمینی در ایستگاه هواشناسی رشت (کشاورزی).

در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه مثبت است. بنابراین در هر یک از این ایستگاه‌ها یک بازتابندگی (Z) خاص قابل محاسبه است که به‌ازای مقادیر کمتر از آن احتمالاً مقدار ارتفاع بارش اندازه‌گیری‌شده در سطح زمین برابر با صفر

در تهیه جدول 6 از 5 محصول (dBZ) PPI در فرمت PNG و 10 محصول (dBR) SRI در فرمت ASCII (جمعاً 15 روز) استفاده شد. همان‌طور که ارقام جدول 6 نشان می‌دهند، مقدار عددی عرض از مبدأ معادله خط وایزش

می‌باشد (تنها به‌ازای بازتابندگی‌های بزرگ‌تر از آن احتمال وقوع بارش وجود دارد). در اینجا مؤکداً از قید «احتمالاً» استفاده می‌شود زیرا محاسبه این مقدارِ حدی برای بازتابندگی مبتنی بر استفاده از واپازش بوده و ماهیتی احتمالاتی دارد. این مقدار حدی را می‌توان به‌عنوان بیشینه خطای قابل چشم‌پوشیِ کلاتر زمین پذیرفت، زیرا بیانگرِ بیشینه بازتابندگی رادار است که می‌توان بارش ایستگاهی متناظر آن را برابر صفر در نظر گرفت.

3 نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، با مطالعه همپوشانی نقشه انسداد پرتو و نقشه میانگین بازتابندگی کاذب رادار به‌ازای تغییر در زاویه ارتفاع آنتن رادار، نشان داده شد که کلاتر زمین عامل اصلی بروز بازتابندگی کاذب در 75/34% از پیکسل‌های تصاویر موسوم به شاخص موقعیت مسطحاتی (PPI) تولیدشده توسط رادار هواشناسی گیلان است. همچنین مقدار واقعی زاویه ارتفاع آنتن رادار به‌کمک مقایسه میانگین فاصله پیکسل‌های حاوی انسداد پرتو و پیکسل‌های حاوی بازتابندگی کاذب از محل نصب رادار، با استفاده از رابطه $Z = 200R^{1.6}$ ، در بازه زمانی مورد مطالعه برابر با $0/20^\circ$ تعیین شد.

در ادامه، با توجه به ضرورت وجود معیاری برای قضاوت راجع به میزان اثربخشی اقدامات صورت گرفته برای تضعیف خطای کلاتر در محصولات رادار هواشناسی گیلان، روشی بر مبنای نحوه همبستگی میان ارتفاع بارش 24 ساعته راداری و مقادیر متناظر ایستگاهی آن توسعه یافت که می‌توان به‌کمک آن بیشینه خطای قابل چشم‌پوشیِ کلاتر زمین را به‌دست آورد. مقادیر عددی حاصل از این روش بر حسب dBZ در ایستگاه‌های رشت (فرودگاه)، رشت (کشاورزی)، بندر انزلی، تالش، لاهیجان، جیرنده، ماسوله، دیلمان و منجیل به‌ترتیب برابر با -3/748، -1/638، -6/074، 14/952، 3/611، -1/482،

نتایج نشان می‌دهد که با وجود قابل توجه بودن میانگین خطای کلاتر زمین در روزهای خشک (بدون بارندگی)، همبستگی قابل قبولی بین ارتفاع بارش 24 ساعته راداری و مقادیر متناظر ایستگاهی آن وجود دارد، به‌گونه‌ای که ضریب این همبستگی در 7 ایستگاه رشت (فرودگاه)، رشت (کشاورزی)، بندر انزلی، لاهیجان، جیرنده، دیلمان و منجیل در سطح 1% معنی‌دار است و در دو ایستگاه تالش و ماسوله نیز مقادیر بالایی برای ضریب همبستگی به‌دست آمده است.

همچنین می‌توان افزود، اگرچه استفاده از داده‌های راداری در فرمت ASCII ایده‌آل است اما با توجه به هدف مطالعه می‌توان پژوهش‌هایی را بر مبنای داده‌های با فرمت PNG نیز توسعه داد. این موضوع به‌ویژه در مطالعات امکان‌سنجی صادق است. قرابگی (1392) نیز در جریان مقایسه داده‌های بارش رادار هواشناسی داپلر خزر شرقی و داده‌های بارش ماهواره TRMM به‌نتیجه‌ای مشابه دست یافته است.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از زحمات و راهنمایی‌های سرکار خانم مهندس سحر اوجاقلو شهابی در به اشتراک‌گذاری تجربیات ارزشمندشان در استفاده از نرم‌افزار Matlab تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از سرکار خانم ساناز اوجاقلو شهابی نسبت به قبول زحمت ترجمه و تدوین متن نامه‌های انگلیسی مرتبط با انجام پژوهش حاضر تشکر می‌شود. توفیقات روزافزون ایشان را از پروردگار منان خواستاریم.

- structure in small-scale rainfall in Central Oklahoma: *Advances in Water Resources*, **29**, 1450–1463.
- Fang, F., 2004, Raindrop Size Distribution Retrieval and Evaluation Using an S-Band Radar Profiler: MSc thesis, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Central Florida, Orlando, Florida, 118 pp.
- Friedrich, K., and Germann, U., 2009, Influence of ground clutter contamination on polarimetric radar parameters: *J. Atmospheric and Oceanic Technology*, **26**, 251–269.
- Gerstner, T., Meetschen, D., Crewell, S., Griebel, M., and Simmer, C., 2002, Case study: Visualization of local rainfall from weather radar measurements: University of Bonn. 2001. (Sited in: <http://wissrech.iam.uni-bonn.de/research/pub/gerstner/meteo.pdf>, 21/01/2015).
- Hubbert, J. C., Dixon, M. and Ellis, S. M., 2009, Weather radar ground clutter. Part II: Real-time identification and filtering: *J. Atmospheric and Oceanic Technology*, **26**, 1181–1197.
- Skolnik, M. I., 2008, *Radar Handbook* (third edition), McGraw-Hill, 1352 pp.
- Torres, S. M., and Zrnich, D. S., 1999, Ground clutter canceling with a regression filter: *J. Atmospheric and Oceanic Technology*, **16**, 1364–1372.
- van de Beek, C. Z., Leijnse, H., Stricker, J. N. M., Uijlenhoet, R., and Russchenberg, H. W. J., 2010, Performance of high-resolution X-band radar for rainfall measurement in the Netherlands: *Hydrology and Earth System Sciences*, **14**, 205–221.
- Yuter, S. E., 2003, *Precipitation radar*: Department of Atmospheric Sciences, University of Washington, 42 pp.
- منابع
 آخوندعلی، ع.، رادمنش، ف.، میرزایی، س.، و شریفی، م.، 1392، ارزیابی و بهبود عدم قطعیت‌های موجود در داده‌های رادار اهواز با تأکید بر کالیبراسیون رابطه Z-R: مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، **9**، 31–42.
- طوفانی‌نژاد، ز.، کمالی، غ.، و علیزاده، م.، 1388، کاربرد رادارهای هواشناسی باند X در برآورد میزان بارندگی در حوضه‌های کوچک: مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، **23** (1)، 57–67.
- قوابیگلی، ف.، 1392، ریزمقیاس کردن داده‌های ماهواره‌ای TRMM و مقایسه آن با داده‌های رادار هواشناسی داپلر در مناطق ساحلی دریای خزر: پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.
- مهدوی، م.، 1384، هیدرولوژی کاربردی (جلد اول): مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، 342 صفحه.
- وحدانی، ا.، 1392، هوا و اقلیم‌شناسی، نشر آبیژن، 576 صفحه.
- Chrisman, J. N., Rinderknecht, D. M., and Hamilton, R. S., 1995, WSR-88D clutter suppression and its impact on meteorological data interpretation: First WSR-88D user's conference, Norman, Oklahoma, USA, WSR-88D operational support facility, 1994.
- Ciach, G. J., and Krajewski, W. F., 2006, Analysis and modeling of spatial correlation