

بررسی پیش‌بینی‌های مدل WRF برای آب بارش‌شو و ارتباط آن با برآورد بارش به کمک داده‌های رادار تهران

امیر محمدیها^۱، محمد حسین معماریان^{۱*}، مجید آزادی^۲ و محمد ریحانی پروری^۳

^۱دانشگاه یزد، یزد، ایران

^۲پژوهشکده هواشناسی و علوم جوی، تهران، ایران

^۳سازمان هواشناسی کشور

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۳/۳، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۴/۷)

چکیده

آب بارش‌شو (PW)، یکی از کمیت‌های مهم هواشناختی است که همواره مورد توجه ویژه دانشمندان فیزیک ابر بوده است. در حقیقت آب بارش‌شو برآوردی از ستون بخار آب در کل جو و حاصل همگرایی بخار آب در سطوح پایین جو است. آگاهی از ارتباط بین این کمیت با مقدار و شدت بارش، در پیش‌بینی وضعیت جو، از جمله امکان پیش‌بینی کوتاه‌مدت احتمال وقوع سیل دارای اهمیت زیادی است. هدف از این پژوهش بررسی ارتباط بین دو کمیت بارش و آب بارش‌شوی ابر به کمک داده‌های رادار هواشناسی تهران و سپس بررسی دقت و مهارت مدل در پیش‌بینی و شبیه‌سازی میزان و تغییرات کمیت آب بارش‌شو است. بدین‌منظور ابتدا در سه ایستگاه باران‌سنجی پاکدشت، کوشک‌نصرت و قم به بررسی ارتباط بین محتوای آب مایع و بارش‌سنجش شده با رادار در دوره زمانی ۱ تا ۴ نوامبر ۲۰۱۰ پرداخته شد.

نتایج نشان می‌دهد که اگر مقدار آب بارش‌شوی ابر اندازه‌گیری شده با رادار از ۰/۱ میلی‌متر بیشتر شود، بارش در آن منطقه آغاز می‌شود. سپس پیش‌بینی‌های جوی مدل عددی WRF از کمیت آب بارش‌شو با دیدبانی‌های متناظر از رادار هواشناسی مقایسه شد. نتایج بررسی مهارت قابل‌قبول مدل عددی WRF را در پیش‌بینی مقدار و تغییرات زمانی و مکانی این کمیت نشان می‌دهد که برای مقادیر بیشتر از ۰/۱ میلی‌متر در آب بارش‌شوی ابر سنجش شده با رادار، مدل نیز مقادیر بیشتر از ۲۰ میلی‌متر را در کل آب بارش‌شوی جو نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آب بارش‌شو، بارش، پیش‌بینی، مدل عددی WRF، رادار هواشناسی، باران‌سنج خودکار

Study of WRF model predictions for precipitable water and its relation with estimated precipitation by Tehran weather Radar

Amir Mohammadiha^{1*}, Mohammad Hossein Memarian¹, Majid Azadi² and Mohammad Reyhani Parvari³

¹University of Yazd, Yazd, Iran

²Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC)

³I. R. IRAN Meteorological Organization, Iran

(Received: 23 May 2012, accepted: 28 June 2014)

Summary

Precipitable water (PW) is an important meteorological quantity that cloud physics scientists have paid special attention to it. In fact, PW can be an estimation of the total

*Corresponding author:

memarian@yazduni.ac.ir

*نگارنده رابط:

column water vapor in the atmosphere which is the result of convergence of water vapor in the lower atmosphere. Awareness of the relationship between this quantity and rainfall amount and intensity is important in predicting the atmospheric conditions. In most part of the world, PW is measured with weather radars and satellites.

The first purpose of this research is to find a relationship between precipitation and cloud precipitable water by utilizing Tehran weather radar data. The second purpose is checking the accuracy and skill of WRF model in forecasting and simulating the PW value and its changes. For fullfilling this purpose, particular rain gauges with the ability to record rainfall in short intervals (e.g. 1 hour intervals) are needed. Thus, three automatic rain gauges of Meteorological Organization (Pakdasht, Kooshk-e-Nosrat and Qom) were chosen. The Rainbow software was used to illustrate the Pakdasht, Kooshk-e-Nosrat and Qom Radar data. Desired products of radar data for this research were Surface Precipitation Intensity (SRI) and Vertical Integrated Liquid (VIL) (Actually VIL product is cloud precipitable water). For running the WRF model, three domains were considered including a 36 km horizontal range of parent domain and two nest domains with ranges of 12 and 4 km. It is worth noting that the relation between cloud precipitable water (CPW) and precipitation of radar measurements was investigated in the time period of 11/1/2010-11/4/2010.

The following results were obtained by comparing the quantity of the cloud precipitable water (CPW) and radar surface rainfall intensity (SRI) in three considered stations. It was found that before the beginning of the rainfall, the amount of CPW of cloud always increases, and then with passing the amount of CPW through the 0.1 mm at that station, the radar shows SRI product on its display screen; this means that the rainfall is recorded by radar. After starting of the precipitation, the general trends of rainfall amounts would follow the trends in precipitable water values. However, the radar recorded a less SRI product at Kooshk-e-Nosrat and Qom stations compared with Pakdasht station for similar amounts of CPW. Meanwhile, the WRF model predictions for PW were compared with observations of this quantity by the weather Radar. Finally, it should be noted that the outcomes of model predictions for PW and Radar observations for CPW in the region under the cover of Tehran Weather Radar showed a very high accuracy (significant correlation at 5% significance level) in temporal-spatial forecasting and also in model simulation outputs for the changes of PW quantity. The results also revealed that whenever predicted PW by model having values more than 20 mm, radar observations displayed values more than 0.1 mm for the CPW.

Keywords: Precipitable water, precipitation, prediction, WRF model, weather radar, automatic rain gauge

هواشناسی و آب‌شناسی است. این کمیت می‌تواند راه‌گشای بسیاری از مسئله‌های هواشناسی در پیش‌بینی دقیق وضعیت جو، برآورد بارش و رواناب باشد. آب‌شناسان برای برآورد بیشینه بارش محتمل، که عامل مهمی در تعیین محاسبات مربوط به مخازن و سرریز سدها و نیز پیش‌بینی وقوع سیلاب است، آب بارش‌شوی کل را در محاسبات خود لحاظ می‌کنند (مباشری و همکاران، ۱۳۸۹).

۱ مقدمه
به همه بخار آب موجود در یک ستون قائم از جو با سطح مقطع واحد، که قابلیت بارش دارد، آب بارش‌شوی کل (Total Precipitable Water) می‌گویند. این ستون، از سطح زمین آغاز و تا نقطه پایانی بخار آب در جو ادامه پیدا می‌کند (واژه‌نامه هواشناسی انجمن هواشناسی آمریکا). پیش‌بینی آب بارش‌شو از مسئله‌های مشترک

هوایزها، ساختار قائم دما، فشار جو، جهت و سرعت باد و غیره بستگی دارد (مباشری، ۱۳۷۹).

با این حال این دو کمیت با هم ارتباط نزدیکی دارند به این علت که میزان بخار آب موجود در جو، مهم‌ترین عامل شکل‌گیری ابر است و در نهایت می‌تواند باعث وقوع بارندگی شود. با استفاده از برآورد این شاخص در پیش‌بینی کمی بارش، می‌توان از بروز خسارات جانی و مالی ناشی از حوادث اجتناب‌ناپذیر سیل کاست و از سوی دیگر با محاسبه آب بارش‌شوی ابر می‌توان عملیات بارورسازی ابرها را با احتمال موفقیت بیشتری عملی ساخت (صادقی حسینی و همکاران، ۱۳۸۴). این کمیت در اکثر نقاط جهان با رادارها و یا ماهواره‌های هواشناسی اندازه‌گیری می‌شود.

رادار هواشناسی یا رادار پایش هواشناسی (Weather Surveillance Radar) 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 بیشتر رادارهای دوپلری پالسی (Pulse Doppler Radar) هستند که هم‌زمان با نمایان ساختن حرکت قطرات باران، توانایی محاسبه شدت بارش را نیز دارند. این داده‌ها می‌توانند برای تعیین ساختار توفان‌ها و قابلیت منجر شدن آنها به وضعیت نامساعد جوئی به کار برده شوند. همچنین رادار هواشناسی با پوشش ناحیه‌ای گسترده، اندازه‌گیری‌های پیوسته مکانی و با فواصل زمانی کوتاه از پدیده‌های جوئی فراهم می‌کند (چامچین و همکاران، ۲۰۰۳).

سایتو و کیمورا (۱۹۹۸) تغییرات روزانه سامانه‌های همرفتی و بارندگی‌ها در منطقه مرکزی ژاپن را با تغییرات در بسامد بازتاب‌های بازگشتی رادار بررسی کردند. آنها دریافتند همرفت‌های روزانه در اطراف مناطق کوهستانی فعال می‌شوند درحالی‌که همرفت‌های شبانه در زمین‌های

یک ستون هوا با سطح مقطع 1cm^2 را در نظر بگیرید. اگر dz عنصر هوای ارتفاع z باشد، میزان آب بارش‌شو (w) در این ستون هوا بین دو ارتفاع z و $z+dz$ به صورت زیر محاسبه می‌شود (راخچاه و سینگاه، ۲۰۰۹):

$$w = \int_z^{z+dz} \rho_w dz, \quad (1)$$

که ρ_w چگالی بخار آب است. براساس معادله آب‌ایستایی می‌توان رابطه را بازنویسی کرد:

$$w = -\frac{1}{g} \int_{Pz}^{Pz+dz} \frac{\rho_w}{\rho_a} dP \cong -\frac{1}{g} \int_{Pz}^{Pz+dz} q dP, \quad (2)$$

که ρ_a چگالی هوای خشک، $q = \rho_w / \rho_a$ رطوبت ویژه، g شتاب گرانی و P فشار جو در ارتفاع z است. در صورتی که فشار برحسب میلی‌بار و q برحسب گرم بر کیلوگرم بیان شود یکای آب بارش‌شو برحسب سانتی‌متر خواهد بود.

معادله بالا را می‌توان به منظور تعیین آب بارش‌شو بین دو سطح یک توده هوا که فشار و رطوبت متغیر دارند مورد استفاده قرار داد. مقدار رطوبت را می‌توان از رابطه $q = 662e/P$ ($g \cdot \text{kg}^{-1}$) به دست آورد که در آن e فشار بخار است (راخچاه و سینگاه، ۲۰۰۹).

باید توجه داشت بارش و آب بارش‌شو دو مفهوم مجزا از هم هستند. از لحاظ تعریف در هواشناسی، بارش هرگونه رطوبت متراکم شده‌ای (به صورت‌های گوناگون مانند باران، برف، تگرگ و مانند آن) از چگالش بخار آب جوئی است که تحت نیروی گرانی سقوط می‌کند و به سطح زمین فرو می‌ریزد. اما آب بارش‌شو به این مفهوم است که اگر با توجه به نسبت آمیختگی، تحت شرایطی دمای هوا به کمتر از دمای نقطه شبنم برسد، پیش‌بینی شود که چه مقدار از کل رطوبت ستون جو به قطرات ریز مایع تبدیل می‌شود و برحسب ارتفاع ستون آب موجود بیان می‌شود. اینکه چه مقدار از این آب به سطح زمین خواهد رسید به بسیاری از پارامترهای دیگر مثل مقدار و نوع

نام‌های ARW و NMM بررسی و نتایج آزمایش‌های دو مدل را با برون‌دادهای رادار در حکم مرجع سنجش، مقایسه کردند. نتایج بررسی، نشان‌دهنده کیفیت بهتر پیش‌بینی‌های مدل ARW نسبت به مدل NMM برای پیش‌بینی شرایط همرفتی شدید با توجه به داده‌های راداری بود.

صادقی حسینی و همکاران (۱۳۸۴) با محاسبه آب بارش‌شو به روش ترمودینامیکی و از روی نمودارهای هواشناختی Skew-Tlnp و مقایسه آن با بارش اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه‌های زمینی منطقه تهران، رابطه‌ای برای پیش‌بینی کمی بارش به دست آوردند. داده‌های نمودار ترمودینامیکی به کمک رادیوگمانه تهران تهیه شد. در این پژوهش براساس کارهای پژوهشگران فیزیک ابر در کاربرد آب بارش‌شو در برآورد قابلیت بارورسازی ابرها، این آستانه برای ابرهای همرفتی تهران بین ۲۰ تا ۲۵ میلی‌متر برآورد شد. علاوه بر آن، آستانه ۷ میلی‌متر آب بارش‌شو برای احتمال وقوع بارش به دست آمد. به بیان دیگر هنگامی که آب بارش‌شو کمتر از ۷ میلی‌متر باشد، انتظار بارشی روی تهران نمی‌رود. در یک بررسی تکمیلی، برای پیش‌بینی احتمال وقوع سیل نیز از محتوای آب مایع استفاده شده است و نتیجه این بررسی آستانه ۳۵-۴۰ میلی‌متر آب بارش‌شو را برای احتمال وقوع سیل در تهران به دست آوردند.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی خودکار تحت پوشش رادار تهران که برای بررسی تناسب بین محتوای آب مایع و شدت بارش سطحی رادار در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

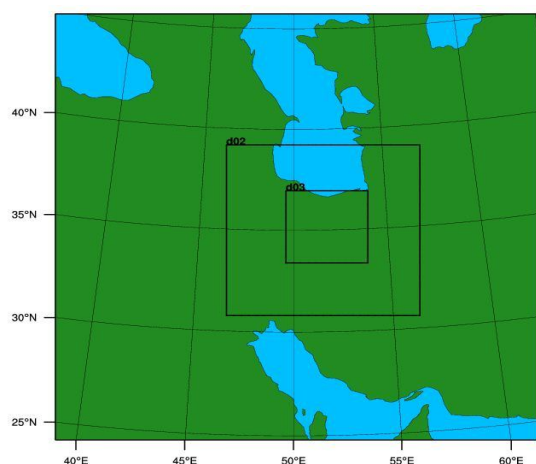
نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه و دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه و دقیقه)
پاکدشت (استان تهران)	۵۱ ۴۱	۳۵ ۲۹
قم (استان قم)	۵۰ ۵۱	۳۴ ۴۶
کوشک‌نصرت (استان قم)	۵۰ ۵۴	۳۵ ۰۵

هموار و یا اقیانوس‌ها شکل می‌گیرند که با مشاهدات صورت گرفته ایستگاه‌های بارندگی در پژوهش‌های گذشته به‌طور کامل همخوانی داشت. همچنین آنها به‌منظور بررسی تغییرات بارش روزانه از یک مدل دو بُعدی بهره بردند. نتایج تحقیقات نشان‌دهنده انطباق و ارتباط خوبی بین بارندگی و ناپایداری‌های همرفتی، که می‌تواند توصیف مناسبی از آب قابل بارش باشد، بود. البته نتایج تحقیقات آنها برای توصیف بارندگی‌های شبانه کافی نبود زیرا آزمایش‌ها بر اساس یک مدل دو بُعدی آرمانی صورت گرفته بود.

زنگ (۱۹۹۹) ارتباط میزان بارش، دمای قله ابر و آب بارش‌شو را در مناطق حاره بررسی کرد و با جمع‌آوری و واری داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی، روشی برای تصحیح ضرایب تناسب معادلات ارتباط دو کمیت آب بارش‌شو و میزان بارش مشاهده شده به دست آورد. او کیفیت داده‌هایش را با داده‌های NAVP (NASA Water Vapor Project) و GPI (GOES Precipitation Index) راستی‌آزمایی کرد.

ساتو و کیمورا (۲۰۰۵) ارتباط بین آب بارش‌شو و پایداری ایستایی را در اطراف کوهستان‌های مرکزی ژاپن در طول فصل گرم به کمک مشاهدات رادار بررسی کردند. توزیع بسامد بازگشتی رادار که نمایش‌دهنده تغییرات بارش است با داده‌های آب بارش‌شو GPS مقایسه و ناپایداری همرفتی، با استفاده از مدل RAMS (Regional Atmospheric Modeling System) ارزیابی شد. نتایج تحقیقات آنها روشن ساخت که نسیم دریا به کوه با افزایش آب بارش‌شو، و نیز همگرایی باد در سطوح پایین جو همراه است که با همگرایی بخار آب و بالا بردن آن باعث افزایش بسیار زیاد آب بارش‌شو در قسمت شمالی کوهستان می‌شود.

کاک و همکاران (۲۰۰۵) یک توفان زمستانی میان‌مقیاس جوی را به کمک دو بخش از مدل WRF به



شکل ۱. حوزه‌های در نظر گرفته شده برای مدل WRF- حوزه اول یا مادر با تفکیک افقی ۳۶ کیلومتر محدوده ۲۲-۴۶ درجه شمالی و ۳۳-۶۶ درجه شرقی (کشور ایران) را می‌پوشاند. حوزه دوم یا آشیانه درون حوزه مادر با تفکیک افقی ۱۲ کیلومتر است و محدوده ۳۰-۳۹ درجه شمالی و ۴۶-۵۷ درجه شرقی را پوشش می‌دهد. حوزه سوم یا آشیانه درون حوزه دوم با تفکیک افقی ۴ کیلومتر است و محدوده ۵-۳۲/۵-۳۶/۵ درجه شمالی و ۴۹-۵۳/۵ درجه شرقی (با مرکزیت تهران) را پوشش می‌دهد.

۲-۲ بحث روی نتایج

۲-۲-۱ مقایسه کمیت‌های محتوای آب مایع و شدت

بارش رادار

در این بخش به بررسی و مقایسه دو کمیت محتوای آب مایع و شدت بارش سطحی رادار پرداخته خواهد شد. بدین منظور دو محصول محتوای آب مایع (VIL) و شدت بارش سطحی رادار (SRI)، تولید و برای مقایسه، مقادیر مشابه لحظه‌ای این دو کمیت در نمودار رسم شد. شکل‌های ۲ تا ۹ روند تغییرات دو کمیت VIL و SRI را برای ایستگاه‌های پاکدشت، کوشک‌نصرت و قم نشان می‌دهد.

شایان ذکر است که به سبب کوچکی مقادیر محصول محتوای آب مایع رادار، ۱۰ برابر مقادیر آنها با مقادیر محصول شدت بارش سطحی رادار مقایسه شد تا بهتر بتوان دو کمیت و ارتباط آن دو را بررسی کرد.

۲ روش تحقیق

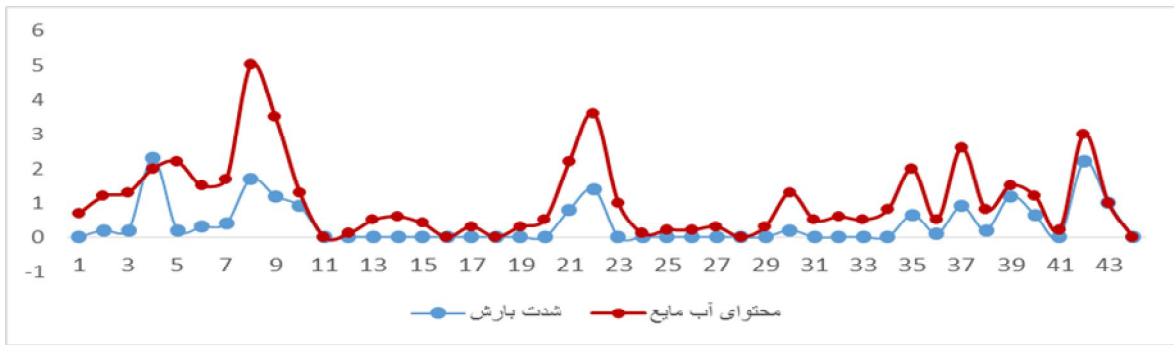
۲-۱ داده‌ها و روش کار

در این پژوهش یک بازه ۳ روزه از تاریخ ۱ تا ۴ نوامبر ۲۰۱۰ که در منطقه تحت پوشش رادار تهران بارش رخ داده بود انتخاب شد.

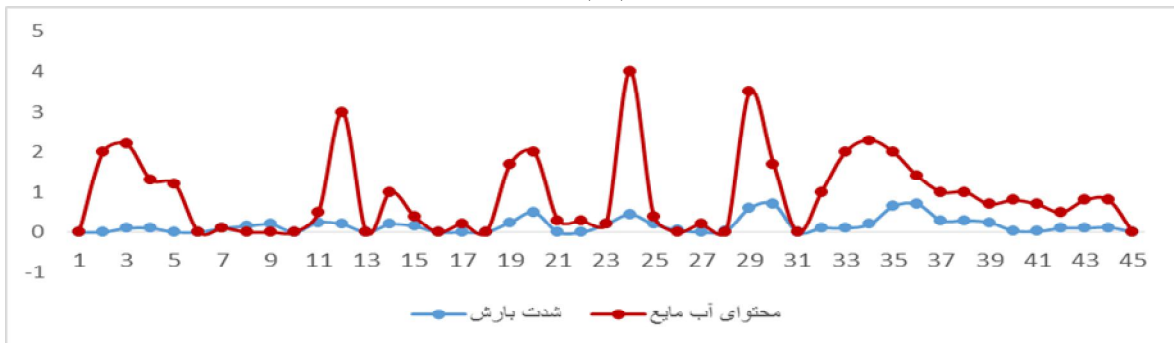
داده‌های دیدبانی بارندگی شامل داده‌های باران‌سنج‌های خودکار و داده‌های رادار هواشناسی تهران، در دوره موردنظر (۱ تا ۴ نوامبر ۲۰۱۰) است. به کمک نرم‌افزار Rainbow (نرم‌افزاری برای تبدیل داده‌های رادار هواشناسی به تصویر که سازمان هواشناسی کشور از آن بهره می‌برد)، از داده‌های دریافتی رادار، محصولات مورد نظر، شامل شدت بارش سطحی (SRI) و محتوای آب مایع (Vertical Integrated Liquid)، تولید شد.

به منظور بررسی ارتباط بین دو محصول محتوای آب مایع و شدت بارش سطحی رادار نیز ۳ ایستگاه پاکدشت، کوشک‌نصرت و قم انتخاب شد که مختصات آنها در جدول ۱ آمده است.

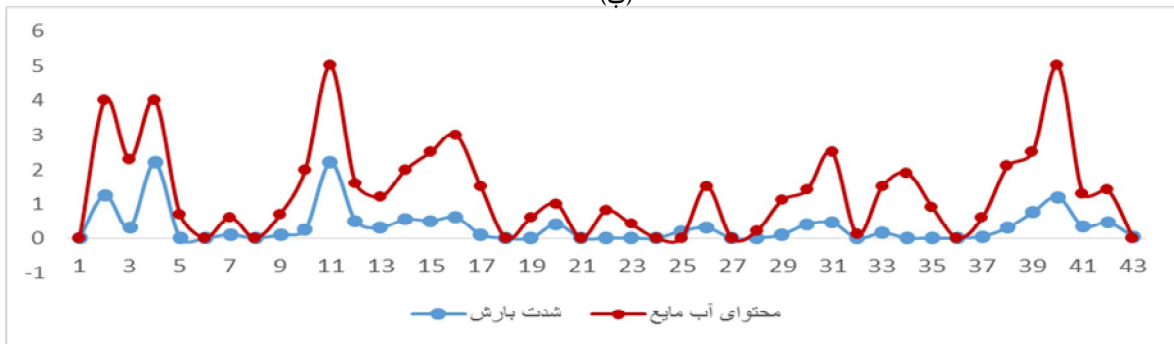
برای اجرای مدل WRF سه حوزه در نظر گرفته شد که حوزه مادر دارای تفکیک افقی ۳۶ کیلومتر و حوزه‌های آشیانه دارای تفکیک افقی ۱۲ و ۴ کیلومتر هستند. به منظور بررسی‌ها از حوزه سوم بهره برده شد. این حوزه‌ها در شکل ۱ نمایش داده شده‌اند. اجرای مدل به صورت روزانه و برای ساعت UTC ۰۰ بود و پیش‌بینی تا ۷۲ ساعت آینده تولید شده است. از داده‌های NCEP FNL برای شرایط مرزی و جانبی در مدل استفاده شد. این داده‌ها دارای تفکیک افقی ۱ درجه و برای هر ۶ ساعت در دسترس است. این داده‌ها از وبگاه اینترنتی (<http://dss.ucar.edu/>) گرفته شده است.



(الف)

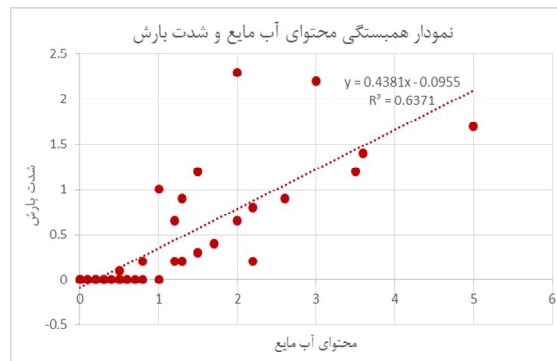


(ب)



(ج)

شکل ۲. مقایسه روند تغییرات شدت بارش و آب بارش شو رادار در (الف) ایستگاه پاکدشت، (ب) کوشک نصرت، (ج) قم در بازه ۱ تا ۴ نوامبر ۲۰۱۰. محور افقی زمان و محور قائم مقادیر کمیت‌ها را نشان می‌دهد. خط آبی رنگ نشان‌دهنده روند تغییرات شدت بارش و خط سرخ‌رنگ تغییرات محتوای آب مایع است.



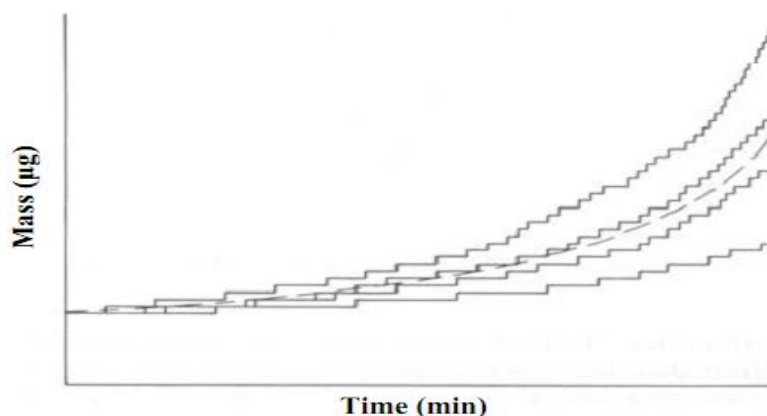
شکل ۳. همبستگی میان دو متغیر محتوای آب مایع و شدت بارش.

بارش سطحی در این دو ایستگاه کمتر است. شکل ۵-الف نمایش‌دهنده نمودار بافت‌نگار (هیستوگرام) دو متغیر محتوای آب مایع و شدت بارش ایستگاه پاکدشت در ساعت‌های مورد بررسی در این مقاله است. شکل‌های ۵-ب و ۵-ج نیز نمودار بافت‌نگار دو متغیر مورد بررسی را به ترتیب در ایستگاه‌های کوشک‌نصرت و قم نمایش می‌دهند. به کمک این نمودار می‌توان مقادیر دقیق لحظه‌ای هر متغیر و ارتباط کمی آنها را مشاهده کرد.

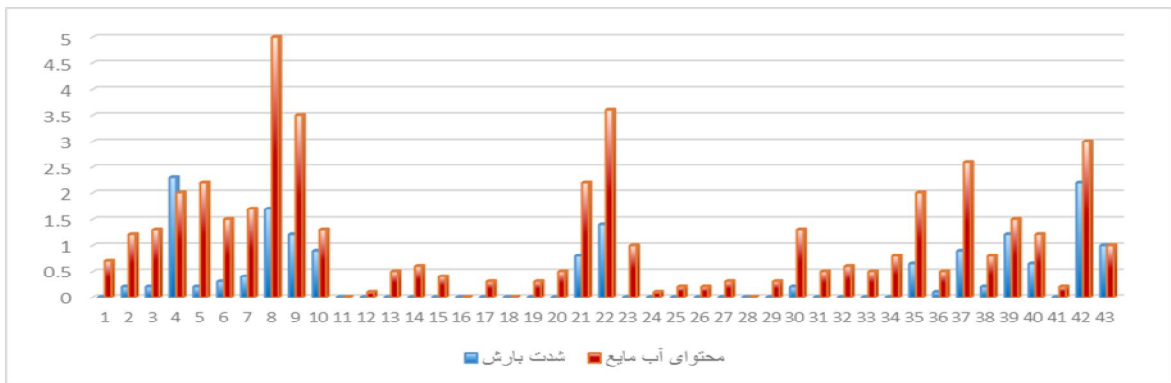
۲-۲-۲ بررسی پیش‌بینی آب بارش‌شو و دیدبانی‌های رادار

از آنجاکه کمیت آب بارش‌شو یک کمیت لحظه‌ای است، دیدبانی آن نیازمند سامانه‌ای است که بتواند به صورت لحظه‌ای آن را اندازه‌گیری کند. رادار هواشناسی از جمله تجهیزات دارای قابلیت سنسجش مداوم جو است و می‌توان از آن به منزله مرجع مقایسه پیش‌بینی‌های مدل استفاده کرد.

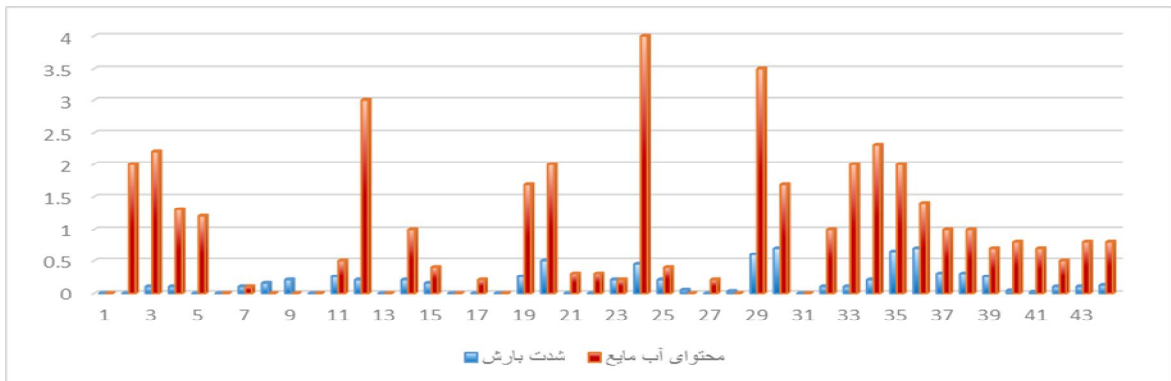
همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود میان مقادیر دو کمیت محتوای آب مایع و شدت بارش، ارتباط معناداری وجود دارد. اولین نکته قابل اشاره این موضوع همان روند شکل ۲-الف در شکل‌های ۲-ب و ۲-ج نیز مشاهده می‌شود و در اینجا نیز با عبور مقادیر VIL از mm ۰/۱ شاهد رخداد بارش هستیم. البته با کمی دقت در دو ایستگاه کوشک‌نصرت و قم مشاهده می‌شود که در مقادیر مشابه محتوای آب مایع در ایستگاه پاکدشت، شدت بارش سطحی در این دو ایستگاه کمتر از میزان آن در ایستگاه پاکدشت است. به بیان دیگر به ازای مقادیر مشابه کمیت VIL در ایستگاه پاکدشت، شدت بارش کمتری در رادار ثبت شده است. علت این موضوع نیز در همین نکته نهفته است که وقوع بارش و شدت آن به اندازه قطرات بستگی دارد و شکل‌گیری قطرات بزرگ‌تر درون ابر علاوه بر اینکه به آب چگالیده بیشتری نیاز دارد به هسته‌های میعان موجود درون ابر نیز وابسته است. این موضوع می‌تواند علت کمتر بودن شدت بارش در ایستگاه‌های کوشک‌نصرت و قم نسبت به پاکدشت باشد که با وجود مقادیر مشابه در محتوای آب مایع، شدت



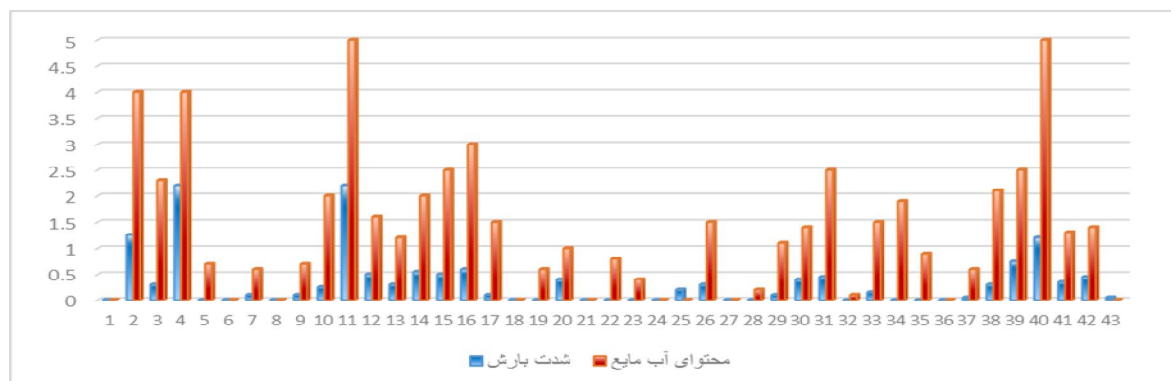
شکل ۴. چگونگی افزایش جرم قطره‌های آب با گذشت زمان و افزایش ضخامت ابر و میزان آب بارش‌شو (راجرز و یو، ۱۹۹۶)



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۵. نمودار بافت‌نگار محتوای آب مایع و شدت بارش رادار برای ایستگاه (بالا) پاکدشت، (وسط) کوشک‌نصرت و (پایین) قم.

کمیت آب بارش شو در مدل، همان‌گونه که در مقدمه معرفی شد، عبارت از آب بارش شو در یک ستون از سطح تا بام جو است، اما رادار محتوای آب مایع را به کمک محصول VIL اندازه‌گیری می‌کند. تفاوت عمده این دو کمیت در این است که آب بارش شو در همه جای جو وجود دارد و حتی مقادیر آن روی دریاها بسیار زیاد است اما این مقادیر زیاد همواره نشان‌دهنده امکان وقوع بارش

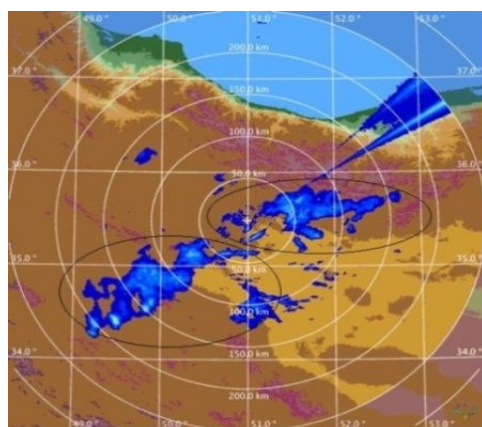
در این بخش به صورت کیفی، توانایی مدل WRF در پیش‌بینی کمیت آب بارش شو در منطقه تحت پوشش رادار تهران، به کمک تصاویر راداری از کمیت محتوای آب مایع، پیش‌بینی‌ها ارزیابی خواهند شد تا دقت مدل در این مورد سنجش شود. در شکل‌های ۶ تا ۱۱ نقشه‌های برون‌داد مدل WRF از کمیت آب بارش شو با تصاویر هم‌زمان رادار از محتوای آب مایع عرضه شده است.

محتوای آب مایع به کمک رادار منطبق است و فقط یک جابه‌جایی کوچک مکانی در پیش‌بینی مدل نسبت به دیدبانی رادار وجود دارد. علت این جابه‌جایی‌های کوچک مکانی و زمانی در پیش‌بینی‌های مدل به این علت است که بارش و آب بارش‌شو متغیرهای لحظه‌ای، دارای ساختار بسیار ریز و جزئی و دارای تغییرپذیری بسیار زیاد هستند که منجر به تغییرات بسیار زیاد آنها در منطقه می‌شود و از آنجا که مدل عددی مقادیر این متغیرها را از روی پارامترهای دیگر هواشناختی پیش‌بینی می‌کند این رویداد معمولاً در پیش‌بینی‌ها مشاهده شده و ایجاد خطا نیز می‌کند. شایان ذکر است که همواره امکان وقوع جابه‌جایی‌های کوچک مکانی و زمانی در پیش‌بینی‌های مدل نسبت به دیدبانی وجود دارد.

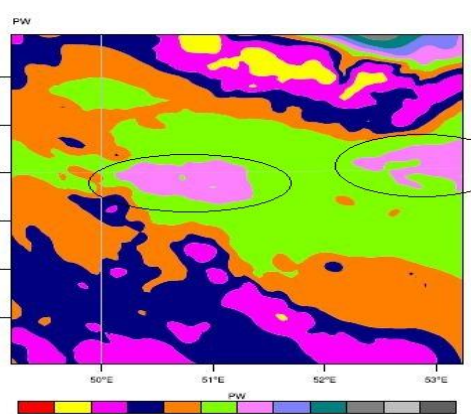
شکل ۷ مقدار کمیت آب بارش‌شو و محتوای آب مایع را در ساعت UTC ۰۳:۰۰ تاریخ ۱ نوامبر ۲۰۱۰ نشان می‌دهد. انتقال بیشینه آب بارش‌شو و محتوای آب مایع به سمت راست هم در تصویر رادار و هم در پیش‌بینی‌های مدل دیده می‌شود که نشان‌دهنده حرکت سامانه بارشی است. هرچند هم‌پوشانی خوبی بین دو نقشه وجود دارد ولی از نظر مقدار، میزان آب بارش‌شوی پیش‌بینی شده با کمک مدل، نسبت به دیدبانی‌های رادار کوچک‌تر است،

نیست. با این حال محتوای آب مایع فقط در مکان‌هایی که ابر وجود دارد دارای مقدار است و در بقیه جاها مقدار آن صفر است.

همان‌گونه که در بخش ۲-۲-۱ نیز به آن اشاره شد، اگر کمیت VIL از مقدار ۰/۱ میلی‌متر بالاتر رود در آن نقاط با احتمال بسیار زیادی انتظار وقوع بارش وجود دارد. شکل ۶-الف کمیت آب بارش‌شوی پیش‌بینی شده با مدل WRF و ۶-ب محصول VIL رادار را در ساعت UTC ۰۲:۰۰ تاریخ ۱ نوامبر ۲۰۱۰ نشان می‌دهد. حلقه‌های سمت چپ و سمت راست در تصویر رادار و مدل مقادیر بیشینه را نمایش می‌دهند. یکی از مقادیر آب بارش‌شو بیشینه پیش‌بینی شده با مدل تقریباً بین عرض‌های ۳۴/۵ تا ۳۵/۵ درجه شرقی و طول ۵۰ تا ۵۱/۵ درجه شمالی قرار دارد، همچنین محصول VIL رادار بین عرض‌های ۳۴ تا ۳۵/۵ درجه و طول ۴۹ تا ۵۱ درجه قرار گرفته است. دومین مقدار بیشینه آب بارش‌شوی پیش‌بینی مدل بین عرض ۳۵ تا ۳۵/۵ درجه و طول ۵۰ تا ۵۲ درجه مشاهده می‌شود، مشاهدات رادار نیز یک بیشینه بین عرض‌های ۳۵ تا ۳۶ و طول ۵۱ تا ۵۳ درجه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود پیش‌بینی‌های کمیت آب بارش‌شو با استفاده از مدل تا حد زیادی با مقدار دیدبانی شده



(ب)



(الف)

شکل ۶. (الف) کمیت آب بارش‌شو پیش‌بینی شده با مدل WRF (ب) محتوای آب مایع، دیدبانی شده با رادار- ساعت UTC ۰۲:۰۰ تاریخ ۱ نوامبر ۲۰۱۰- مقادیر بیشینه در هر دو تصویر با حلقه‌هایی مشخص شده‌اند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود این بیشینه‌ها تقریباً متناظر هستند.

شرق سوی سامانه بارشی است. آب بارش شوی پیش‌بینی شده با مدل در این ساعت نیز انطباق معناداری با مقدار دیدبانی شده VIL به کمک رادار دارد و دو شکل تقریباً مشابه یکدیگرند.

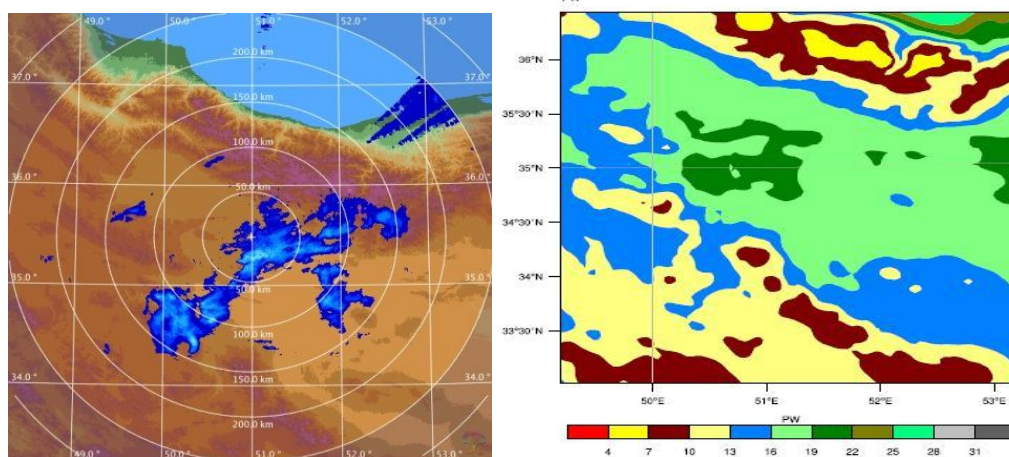
با گذشت ۱ ساعت در ساعت UTC ۱۴۰۰، تغییر چندانی در موقعیت سامانه بارشی مشاهده نمی‌شود (شکل ۹). مدل در این ساعت منطقه وسیع‌تری را برای مقادیر بالاتر از ۲۰ میلی‌متر این کمیت نشان می‌دهد و مناطق بیشینه آب بارش‌شو را بین عرض‌های ۳۴ تا ۳۶ و طول ۵۰ تا ۵۳ درجه نمایش می‌دهد. مشاهدات رادار مقادیر محصول VIL را بین عرض ۳۴/۵ تا ۳۶ و طول ۵۱ تا ۵۳ نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مقادیر رادار منطقه کوچک‌تری را نسبت به پیش‌بینی‌های مدل در بر می‌گیرد.

همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود در ساعت UTC ۲۰۰۰ با وجود اینکه رادار مناطق وجود محتوای آب مایع را بسیار کوچک دیدبانی کرده است اما مدل منطقه‌ای گسترده را برای مقادیر بالای ۲۰ میلی‌متر آب بارش‌شو پیش‌بینی می‌کند.

به گونه‌ای که مدل یک منطقه وسیع با مقادیر بزرگ‌تر از ۱۶ میلی‌متر برای آب بارش‌شو بین عرض‌های ۳۴ تا ۳۶ و طول ۴۹ تا ۵۳ درجه پیش‌بینی می‌کند. با وجود این، دو منطقه بیشینه کوچک با مقادیر زیاد ۱۹ میلی‌متر یکی بین عرض‌های ۳۴/۵ تا ۳۵/۵ و طول ۵۰ تا ۵۱/۵ و دیگری به موازات اولی و بین طول ۵۳ تا ۵۴ درجه دیده می‌شود. حال آنکه رادار یک منطقه تقریباً پیوسته بین عرض‌های ۳۴/۵ تا ۳۶ و طول ۵۰ تا ۵۳ درجه را برای محصول VIL نشان می‌دهد.

با مقایسه مقادیر مشاهده می‌شود با وجود اینکه مقادیر بیشینه مدل منطقه کوچک‌تری از مشاهدات رادار را نشان می‌دهند اما مدل توانسته است وجود یک منطقه گسترده از این کمیت را در منطقه تهران و قم با مقادیر ناچیز کوچک‌تر به درستی پیش‌بینی کند.

شکل ۸ نشان‌دهنده مقدار آب بارش‌شو و محتوای آب مایع در ساعت UTC ۱۳۰۰ در تاریخ ۱ نوامبر ۲۰۱۰ است. این تصویر افزایش گستردگی کمیت آب بارش‌شو و محتوای آب مایع در این ساعت را نشان می‌دهد. انتقال بیشتر این کمیت به سمت شرق نشان‌دهنده حرکت



شکل ۷. مشابه شکل ۶ اما در ساعت UTC ۰۳۰۰ تاریخ ۱ نوامبر ۲۰۱۰.

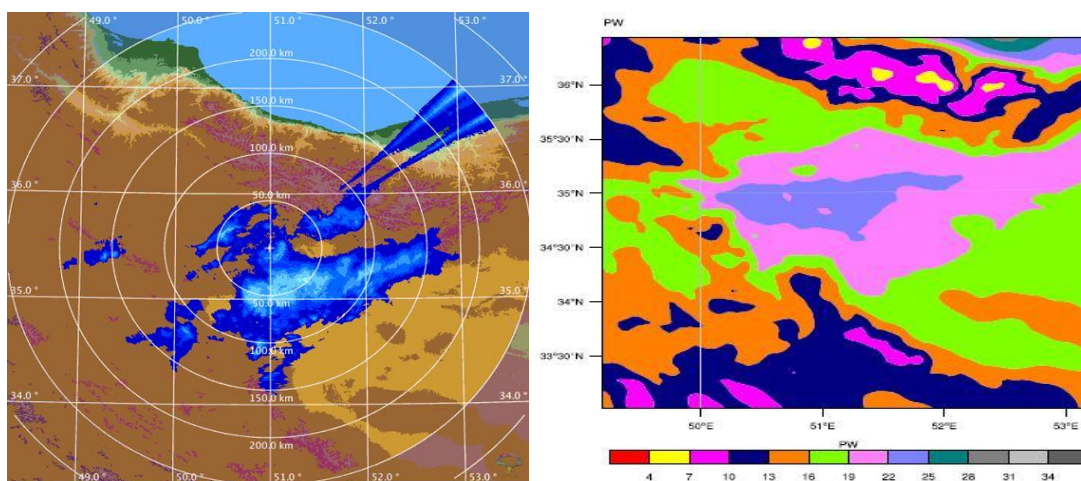
پژوهش روشن ساخت که در مورد این بازه انتخاب شده در هر ۳ ایستگاه مورد بررسی، هر گاه میزان محتوای آب مایع از مقدار ۰/۱ فراتر می‌رود بارش در آن نقطه ثبت می‌شود. به عبارت دیگر، متغیر محتوای آب مایع می‌تواند سنجه خوبی برای پیش‌بینی وقوع و یا وقوع نیافتن بارش در منطقه‌ای خاص باشد.

از طرف دیگر بخش انتهایی این تحقیق نشان داد که مدل عددی WRF، مدل عددی با قابلیت‌های بسیار خوب در برآورد کمیت آب بارش‌شو است و این توانایی را به صورت کیفی در مقایسه نقشه‌های الگوی تغییرات ساعتی این متغیر با متغیر محتوای آب مایع که از داده‌های رادار هواشناسی به دست آمده است می‌توان مشاهده کرد. در انتها پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آینده با افزایش دوره بررسی و تعداد ایستگاه‌ها بتوان به نتایج کمی با دقت بیشتری دست یافت که به علت نبود دسترسی مناسب به داده‌های رادار تهران، در تحقیق حاضر، چنین امری ممکن نبود.

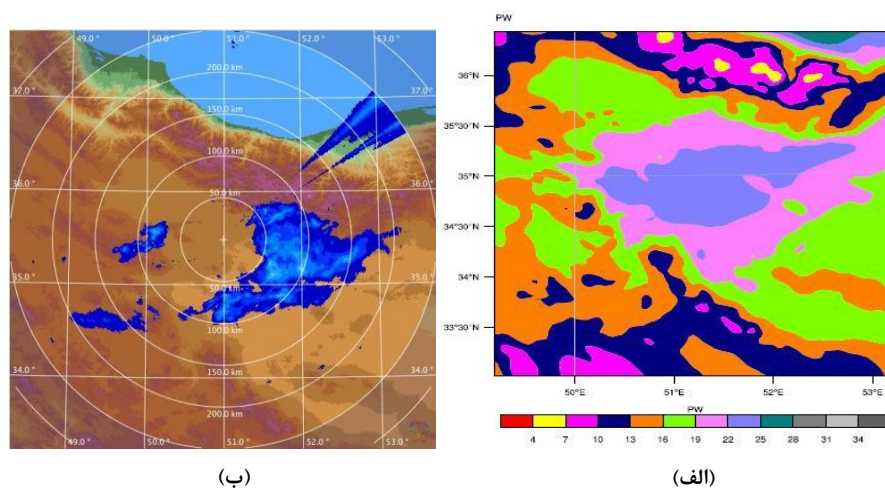
در شکل ۱۱ تغییرات آب بارش‌شو در ساعت UTC ۲۳۰۰ تاریخ ۱ نوامبر ۲۰۱۰ مشاهده می‌شود. یک میدان گسترده ولی گسسته در محتوای آب مایع در تصویر رادار (۱۱-ب) دیده می‌شود که بین عرض ۳۴ تا ۳۶/۵ درجه شمالی و طول ۵۰ تا ۵۲ درجه شرقی قرار دارد. حال اگر به کمیت آب بارش‌شو پیش‌بینی شده مدل توجه شود (۱۱-الف)، مقادیر بیشینه این کمیت بین عرض ۳۳/۵ تا ۳۵/۵ شمالی و طول ۵۰ تا ۵۳ درجه شرقی قرار دارند. مجدداً مهارت مدل در پیش‌بینی مقدار و تغییرات این متغیر در حد قابل‌قبولی تأیید می‌شود. برای ساعت‌های دیگر مورد بررسی هم نتایج به همین شکل به دست آمد.

۳ نتیجه‌گیری

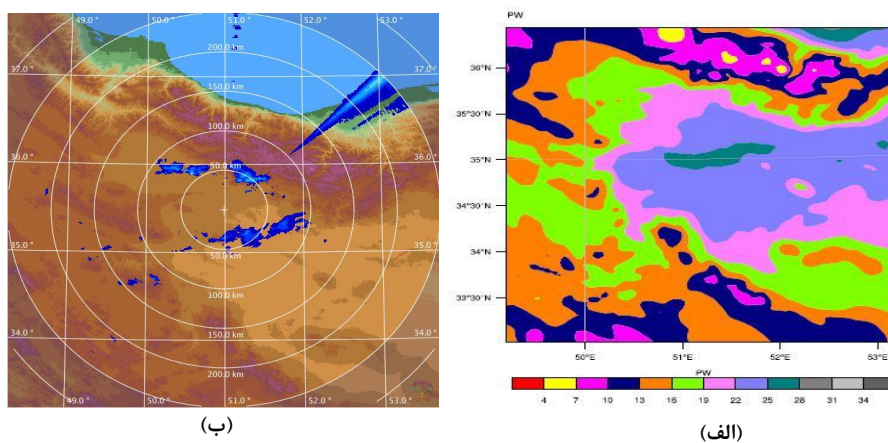
این تحقیق نشان می‌دهد که بین دو کمیت محتوای آب مایع و شدت بارش، رابطه بسیار نزدیکی وجود دارد و نتایج، ضریب همبستگی در حدود ۶۴٪ را بین دو کمیت در این بازه انتخاب شده نشان می‌دهد. همچنین این



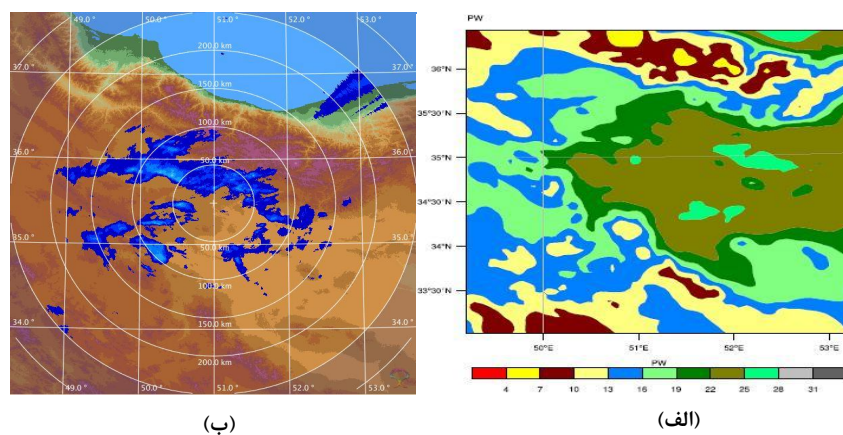
شکل ۸. مشابه شکل ۶ اما در ساعت ۱۳۰۰ UTC تاریخ ۱ نوامبر ۲۰۱۰.



شکل ۹. مشابه شکل ۶ اما برای ساعت ۱۴۰۰ UTC تاریخ ۱ نوامبر ۲۰۱۰. بیشینه‌ها در شکل‌های الف و ب کاملاً منطبق هستند و مدل به‌خوبی توانسته آب بارش‌شو را پیش‌بینی کند.



شکل ۱۰. مشابه شکل ۱۰ اما برای ساعت ۲۰۰۰ UTC تاریخ ۱ نوامبر ۲۰۱۰- کاهش پوشش ابر و در نتیجه کم‌شدن محتوای آب مایع در شکل ب مشاهده می‌شود. اما مدل همچنان مقادیر آب بارش‌شو را گسترده و با مقادیر بالای ۲۰ میلی‌متر پیش‌بینی می‌کند.



شکل ۱۱. مشابه شکل ۶ اما برای ساعت ۲۳۰۰ UTC تاریخ ۱ نوامبر ۲۰۱۰- گستردگی مقادیر بالای ۲۰ میلی‌متر آب بارش‌شو در شکل الف و هم‌زمان افزایش گستردگی در محتوای آب مایع رادار در شکل ب مشاهده می‌شود.

- The use of simulated Radar reflectivity fields in the diagnosis of mesoscale phenomena from high-resolution WRF model forecasts, 11th conference Mesoscale process/32nd Conference on Radar Meteorology, Albuquerque, New Mexico, American Meteorological Society.
- Rakhecha, P. R., and Singah, V. P., 2009, Applied Hydrometeorology: Springer.
- Rogers, R. R., and Yau, M. K., 1996, A Short Course in Cloud Physics: Third edition, Butterworth-Heinemann.
- Saitoh, T., and Kimura, F., 1998, Diurnal variation of convective precipitation in Chubu-Kanto area in the summer: Tenki Journal of Meteorological Society of Japan, **45**, 541-549.
- Sato, T., and Kimura, F., 2005, Diurnal cycle of convective instability around the Central Mountains in Japan during the warm season: J. Atmos. Sci., **62**, 1626-1636.
- Zeng, X., 1999, The Relationship among precipitation, cloud-top temperature, and precipitable water over the Tropics: J. of Climate, **12**, 2503- 2514.
- http://glossary.ametsoc.org/wiki/Precipitable_water.
- منابع
- صادقی حسینی، س. ع.، حجام، س.، و تفنگ ساز، پ.، ۱۳۸۴، ارتباط آب قابل بارش ابر و بارندگی دیدبانی شده در منطقه تهران: مجله فیزیک زمین و فضا، **۳۱**(۲)، ۲۱-۱۳.
- مباشری، م. ر.، ۱۳۷۹، آشنائی با فیزیک هوا، انتشارات آستان قدس رضوی، شرکت بهنشر.
- مباشری، م.، باقرکردی، س. م.، فرج‌زاده اصل، م.، و صادقی نائینی، ع.، ۱۳۸۹، برآورد آب بارش‌شو کلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و داده‌های رادیوسوند ناحیه تهران، فصلنامه علمی پژوهشی مدرس علوم انسانی، **۱۴**(۱)، ۱۰۷-۱۲۶.
- Chumchean, S., Seed, A., and Sharma, A., 2003, Effect of Radar beam geometry on radar rainfall estimation: Weather Radar Information and Distributed Hydrological Modeling, **282**, 3-11.
- Koch, S. E., Ferrier, B. S., Stoelinga, M. T., Szoke, E. J., Weiss, S. J., and Kain J. S., 2005,