

## بررسی بارش‌های همرفتی کوتاه مدت منجر به رخداد سیل در منطقه کن و سیجان (مطالعه موردی: ۲۸ تیرماه ۱۳۹۴)

عباس رنجبر سعادت آبادی\*، محمد مرادی

دانشیار پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، محل کار پژوهشکده هواشناسی و علوم جو تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۷/۶ ، تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۱۴

### چکیده

در ۲۸ تیر ۱۳۹۴ ریزش بارش‌های بسیار شدید همرفتی در مدت زمان بسیار کوتاهی منجر به وقوع سیل مهیبی در منطقه کن و سیجان شد. شدت زیاد بارش در مساحت کوچک از عوامل اصلی رخداد این سیل مخرب بود. بمنظور بررسی این بارش‌های همرفتی از داده‌های دیدبانی، محصولات رادار، نقشه‌های هواشناسی و برای شبیه‌سازی بارش از مدل منطقه‌ای پیش‌بینی WRF استفاده شد. مدل با سه دامنه تو در تو و تفکیک افقی ۱۸، ۶ و ۲ کیلومتر و گام‌های زمانی ۱ ساعته اجرا شد. نتایج بیانگر مساعد بودن شرایط ترمودینامیکی و همرفتی برای رخداد ناپایداری‌های شدید در بعدازظهر روز مذکور می‌باشد. همچنین روند تغییرات شاخص‌های ناپایداری و بارش حاصل از برونداد مدل در ساعت‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ گرینویچ نشان دهنده بیشینه مقدار آن در زمان رخداد سیل می‌باشد. توسعه سامانه کم فشار در نواحی مرکزی ایران و تهران و استقرار زبانه‌های پرفشار بر روی دریای خزر، سبب گردانیدن شدید فشار روی رشته کوه البرز گردیده که با عبور ناوه از سطوح میانی و بالایی وردسپهر و وجود هوای سرد در این ترازها همراه شده است. با توجه به زمان رخداد توفان در منطقه ی تهران، جبهه سرد فعال مجاور سطح زمین به علت رسیدن آن به تهران در ساعت بیشینه دما، تقویت شده و بر شدت ناپایداری‌ها افزوده و رگبارهای شدید ناگهانی در غرب تهران ایجاد نموده است. با حرکت سامانه به سمت شرق، به علت کاهش گردانیدن دمایی و اثرات اصطکاک سطحی از فعالیت توفان کاسته شده است.

کلمات کلیدی: بارش‌های همرفتی، الگوهای جوی، سیل، منطقه کن و سیجان

پدیده‌های مخرب جوی می‌توانند خسارات جانی و مالی زیادی را در برداشته باشند. این پدیده‌ها دارای مقیاس‌های زمانی و مکانی متفاوتی بوده و برای شناسایی و تحلیل آن‌ها نیاز به ابزارهای خاص است. بدون شک بارش‌های همرفتی منجر به سیل نیز یکی از مخاطرات جوی مخرب در مناطق مختلف جهان محسوب می‌شود. امروزه افزایش ساخت و سازها و گسترش شهرها در پهنه‌های سیل خیز رودخانه‌ها و به دنبال آن کاهش سطح نفوذپذیری خاک و افزایش ضریب رواناب‌ها، آسیب‌پذیری در برابر سیلاب را دو چندان نموده است. سیل‌های بهاره و تابستانه در منطقه ی کن و امامزاده داود، در سال‌های مختلف خسارت‌های جانی و مالی بسیار زیادی را بر جای گذاشته‌اند. در سیل بیست و هشتم تیر ماه سال ۱۳۹۴، که در مناطق مرتفع استان‌های تهران (در حوضه ی آبریز کن در زیر حوضه ی سولقان) و البرز رخ داد، خسارات مالی فراوانی به مناطق مسکونی و زیربنائی منطقه وارد شد و متأسفانه سبب از بین رفتن تعدادی از هموطنان شد. در پژوهشی که با موضوع آسیب‌پذیری منطقه ۵ تهران در مقابل سیلاب انجام شد به این نتیجه رسیدند که منطقه ی تهران، بالاخص در حوضه ی کن، تحت تاثیر تغییرات کاربردی در ۱۰ سال اخیر، دچار کاهش آستانه‌ی بارش در تولید سیلاب شده است و پهنه‌هایی که در حریم خطوط تمرکز رواناب بوده، بیشتر مورد تخریب قرار گرفته است (قهرودی تالی و همکاران، ۱۳۹۲). توفان‌های تندی و رگبارهای شدید همرفتی عوامل اصلی رخداد اغلب سیل‌های بهاره و تابستانه است. ترکیب سه فرآیند ناپایداری، رطوبت و همگرایی در سطوح پایین جو نقش اساسی در احتمال رخداد توفان‌های تندی ایفا می‌کنند (تاجبخش و همکاران، ۱۳۸۸). در تحقیقی، علل وقوع بارش‌های سنگین و سیل‌آسا در جنوب غرب ایران، تقویت و تشدید فعالیت مرکز کم فشار مونسونی سودانی و منطقه همگرایی دریای سرخ و تبدیل آن به سیستم دینامیکی و ترمودینامیکی دینامیکی بیان شد (لشکری، ۱۳۷۵).

قندهاری و همکاران (۱۳۸۵) عملکرد مدل پیش

بینی منطقه ای MM5 را برای شبیه سازی بارش های رگباری در جنوب و جنوب غربی ایران با استفاده از طرحواره همرفت گول و طرحواره لایه مرزی بلک مورد بررسی قراردادند. نتایج کار آنها نشان داد که مدل در اکثر این موارد نتایج نسبتاً قابل قبولی را از لحاظ کیفی تولید نموده و بخوبی توانایی پیش بینی بارش های رگباری خصوصاً حاصل از سامانه سرد را دارد. رسولی و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی الگوهای همدیدی پرفشار سیبری و کم فشارهای مدیترانه، دریای سیاه و سودان در فصول بارشی زمستان و بهار، کم فشارهای مونسون و خلیج فارس در فصل تابستان، نتیجه گرفتند که تقویت سامانه‌ی پرفشار سیبری در بهار می‌تواند موجب پدید آمدن گرادیان فشار در نواحی شمالی کشور و به دنبال آن افزایش ناپایداری‌ها و بارش‌های بهاری گردد.

ترنتمن و همکاران (۲۰۰۹)، با شبیه سازی چند مورد از بارش‌های همرفتی در جنگل‌های جنوب غرب آلمان، نشان دادند که حداکثر انرژی همرفتی در دسترس برای این بارش‌ها در اوایل بعد از ظهر رخ می‌دهد. همچنین در بررسی بارش‌های سنگین در جنوب شرق ایتالیا نشان داده شد که جت سطح پایین نتیجه شده از الگوی بزرگ مقیاس، محیط ناپایدار همرفتی را ابقاء می‌کند و در تمامی وقایع بارش سنگین، موجب فرارفت توده هوای مرطوب در سطوح خیلی پایین می‌شود (مسترانجلو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). یامانی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی و مقایسه توفان‌های ضعیف و شدید محلی همرفتی در بنگلادش در طی سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۰۵ به این نتیجه رسیدند که توفان‌های شدید نسبت به توفان‌های ضعیف با افزایش دما در لایه های پایین، کاهش دما در لایه های میانی، افزایش مقدار بخار آب در لایه‌های پایین تر جو و زیاد شدن باد جنوبی همراه بوده و این شرایط ناپایداری حرارتی بزرگی را در توفان‌های شدید به وجود می‌آورد. لیمن<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۵)، در بررسی الگوهای همدیدی سطوح بالای وردسپهر و سطح زمین به این نتیجه دست

1 Mastrangelo

2 Yamane

3 Lyman

لایه مرزی) و Grell-Devenyi (طرحواره همرفت) و Mellor-Yamanda-Janjic (طرحواره لایه مرزی) که هر دو از طرحواره لایه مرزی Mellor-Yamanda-Janjic استفاده شده نسبت به سایر پیکربندی‌ها به واقعیت نزدیک تر است. در مطالعه‌ای دیگر که توسط پروسنجیت<sup>7</sup> و همکاران (۲۰۰۸) بر روی دو توفان شدید به وسیله مقایسه طرحواره‌های پارامترسازی‌های همرفتی مدل WRF انجام دادند به این نتیجه رسیدند که طرحواره Grell-Devenyi در محاسبه شاخص‌های  $LI^{10}$ ،  $KI$ ،  $CAPE$  و  $TTI^{11}$  نسبت به دیگر طرحواره‌ها عملکرد بهتری دارد و در الگوهای زمانی و مکانی بارش‌ها نیز با مشاهدات هم خوانی مناسبی دارد. در این تحقیق رخداد بارش‌های همرفتی شدید کوتاه مدت در منطقه ی شمال غرب تهران بررسی شد. برای این منظور شبیه‌سازی عددی بارش توسط مدل پیش بینی عددی وضع هوا (WRF-ARW) انجام شد. سپس از داده‌های دیدبانی، تصاویر رادار و الگوهای جوی برای تحلیل و بررسی رخداد سیل استفاده شد.

### مواد و روش‌ها

موقعیت و محدوده حوضه ی آبریز رودخانه کن در شکل ۱ نشان داده شده است. این حوزه آبریز با مساحتی برابر با ۴۵۰ کیلومتر مربع در پنج کیلومتری شمال غرب تهران بین طول جغرافیایی ۱۰° ۵۱' و ۲۳° ۵۱' شرقی و عرض جغرافیایی ۴۶° ۳۵' تا ۵۸° ۳۵' شمالی قرار دارد. از شمال، شمال غرب و شمال شرقی به حوضه آبریز رودخانه کرج، از شرق به حوضه آبریز فرحزاد و حصارک و از جنوب غرب به حوضه آبریز چیتگر محدود می‌گردد.

این حوضه از زیر حوضه‌های مختلفی تشکیل شده است. بلندترین ارتفاع حوضه (۳۸۴۰ متر) در زیر حوضه امامزاده داود و کمترین ارتفاع آن (۱۲۶۰ متر) در زیر حوضه پایین دست سولقان قرار گرفته است. این حوضه

پیدا کردند که وقوع پدیده های اقلیمی و مخاطرات طبیعی از جمله سیل ارتباط قوی با وضعیت کمی و کیفی استقرار سیستم هایهمدیددی سطوح بالا و سطح زمین دارند. دی میترکو<sup>۴</sup> و همکاران(۱۹۹۷)، در بررسی عوامل پیدایش سیل تابستان ۱۹۹۷ در لهستان به این نتیجه رسیدند که بارندگی با دوره بازگشت طولانی و سازه های نامناسب باعث وقوع سیل و تشدید خسارات گردیده است. در پیش بینی سیل شدید ۲۴ اکتبر ۲۰۰۸ در صحرای سینا با استفاده از مدل پیش بینی منطقه ای WRF، مقدار بارندگی حاصل از برون داد مدل در ایستگاه ۱۱/۶ میلی متر بدست آمده که با مقدار اندازه گیری شده (۱۰/۶ میلی متر) هم خوانی مناسبی دارد(السامانی<sup>۵</sup>، ۲۰۱۰). نوری وهمکاران (۱۳۹۲) الگوهای همدیددی- دینامیکی رویدادهای بارشی سنگین همرفت و غیر همرفت سواحل جنوبی خزر را با استفاده از مدل WRF بررسی کرده و نتیجه گرفتند که مدل در پیش بینی مقدار و الگوی مکانی بارش‌های ناشی از الگوهای همدیددی پرفشار، ضعیف تر از الگوهای همدیددی کم فشار عمل می‌کند. مزرعه فراهانی و همکاران(۱۳۸۸) با مطالعه اثر تغییر تفکیک افقی مدل میان مقیاس MM5 در شبیه سازی بارش ناشی از یک سامانه ی همدیددی در ایران، نتیجه گرفتند که مدل قادر به شبیه سازی مناسب میدان بارش است و با کاهش فاصله شبکه‌ای، میدان بارش دقت کیفی قابل قبولی پیدا می‌کند. پارامترسازی‌های فیزیکی مدل WRF به چند دسته تقسیم می‌شود شامل پارامترسازی‌های خرد فیزیک، کومولوس، لایه ی سطحی، زمین- سطح، لایه مرزی سیاره‌ای و تابش جوی(میچالاکس و همکاران، ۲۰۰۱، اسکاماروک و همکاران، ۲۰۰۵). آزادی و همکاران (۱۳۸۸)، عملکرد مدل WRF در ایران برای پیش بینی بارش با استفاده از طرحواره‌های فیزیکی مختلف را ارزیابی کرده و نشان دادند که از بین ۶ پیکربندی به کار رفته، دو پیکربندی Kain-Fritsch (طرحواره همرفت) و Mellor-Yamanda-Janjic (طرحواره

7 Prosenjit

8 Convective Available Potential Energy

9 K Index

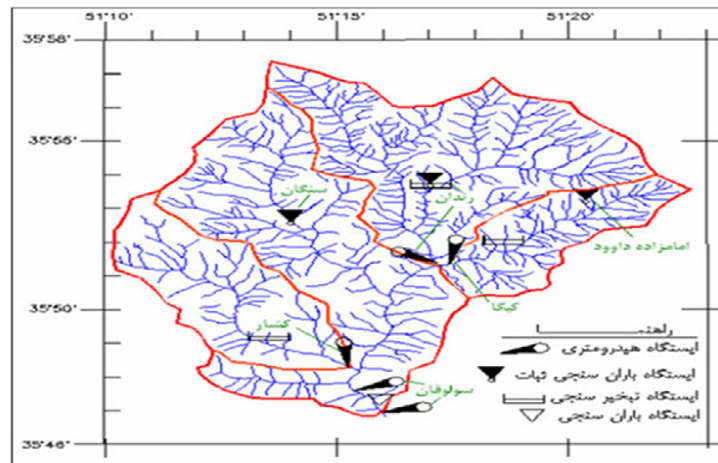
10 Lifted Index

11 Total Totals Index

4 Dmyterko

5 Samany

6 Land-surface



شکل ۱. محدوده حوضه آبریز رودخانه کن و موقعیت ایستگاه های باران سنجی

مدل، شامل داده های آنالیز شده GFS<sup>15</sup> ( $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ) می باشد. طرحواره های فیزیکی انتخاب شده بر اساس مطالعات قبلی (شو و همکاران، ۲۰۰۹) شامل: طرحواره خردفیزیک: Thompson، طرحواره کومولوس (همرفت): Mellor-Grell-Devenyi، طرحواره لایه مرزی: Yamada-Janjic، طرحواره تابش طول موج بلند: RRTM و کوتاه Dudhia، زمین سطح: Noah Ism و لایه سطحی: Janjic می باشد. دامنه ی شبیه سازی مدل برای دامنه های اول، دوم و سوم (دامنه ی اصلی که به رنگ زرد نمایش داده شده است) در شکل (۲) نشان داده شده است.

پس از شبیه سازی رخداد بارش ها توسط مدل، از نمودارهای ترمودینامیکی حاصل از برون داد مدل در دامنه ی سوم جهت تعیین میزان ناپایداری در محیط، نیز استفاده شد. شاخص های ناپایداری مذکور در ساعت های ۰۳، ۰۶، ۰۹، ۱۲ و در ساعت وقوع توفان، ۱۵ گریجویچ، مورد تحلیل قرار گرفت. علاوه بر آن، تصاویر رادار هواشناسی تهران مربوط به بیشینه بازتابش MAX(dbz)<sup>16</sup> مورد بررسی قرار گرفت. در انتها نیز از داده های ثبت شده ایستگاه باران سنجی سیجان، جهت صحت سنجی مقادیر بارش حاصل از برون داد مدل استفاده شد.

از شش رودخانه به نام های امامزاده داود، رندان، تالون، کسار، سنگان و الیاس تشکیل شده که در پایین دست حوضه (قبل از ورود به دشت)، رودخانه کن و سولقان را تشکیل می دهند.

در این تحقیق، ابتدا با توجه به تاریخ وقوع سیل، برای بررسی الگوهای جوی بزرگ مقیاس از نقشه های فشار سطح زمین و ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰، ۵۰۰ هکتوپاسکال برگرفته از سازمان هواشناسی کشور استفاده شد. در ادامه از شاخص های ارزیابی ناپایداری شامل مجموع مجموعه ها (TT)، شاخص (KI)K، شاخص شوالتر (SI)<sup>12</sup>، شاخص فرازش (LI) و انرژی پتانسیل در دسترس همرفتی (CAPE) که یک سری روابط تجربی می باشند به منظور تعیین ناپایداری جو استفاده شد. داده های جو بالای ایستگاه مهرآباد از سایت دانشگاه وایومینگ<sup>13</sup> استخراج گردید و توسط نرم افزار RAOB<sup>14</sup>، نمودارهای ترمودینامیکی رسم و شاخص های ناپایداری حاصل از آن در ساعت های ۰۰ و ۱۲ گریجویچ بررسی شد. در گام بعدی به منظور شبیه سازی بارش در رخداد سیل کن و سیجان به وسیله مدل WRF با سه دامنه تو در تو (شکل ۲) با تفکیک مکانی ۱۸، ۶ و ۲ کیلومتر و گام زمانی یک ساعته صورت پذیرفت. داده های ورودی

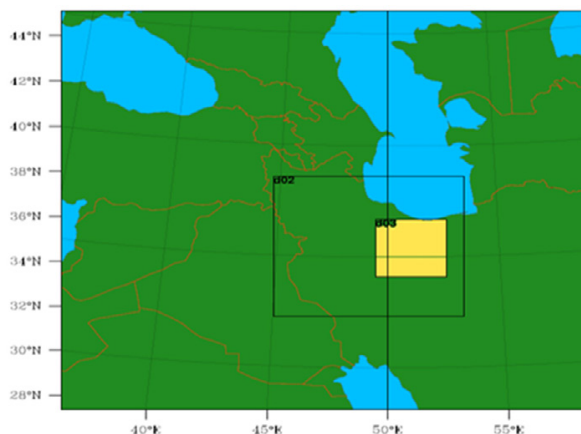
12 Showalter Index

13 <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

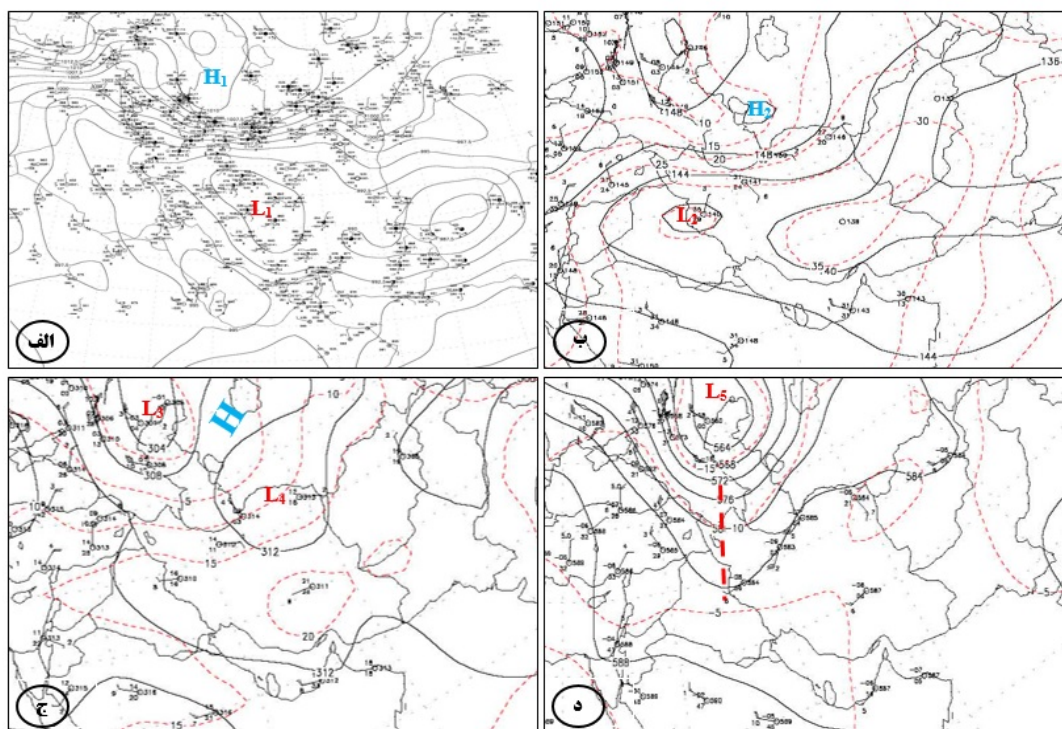
14 RAOBwinsonde Observation program

15 Global Forecasting System

16 Maximum(decibels of Z)



شکل ۲. دامنه های شبیه‌سازی شده توسط مدل WRF-ARW



شکل ۳. الگوهای جوی الف) سطح زمین، ب) ۸۵۰، ج) ۷۰۰ و د) ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۲۸ تیر ۱۳۹۴ در منطقه ایران در ساعت ۱۲ گرینویچ (در نقشه های سطوح بالا، خط چین ها و خطوط تو پر به ترتیب معرف هم مقدارهای دما و ارتفاع ژئو پتانسیلی می باشند)

### نتایج و بحث

#### الگوهای جوی بزرگ مقیاس

هکتوپاسکال (L1) در نواحی از جنوب تا مرکز ایران مستقر شده و زبانه آن تا بخش‌های شمال شرقی عراق گسترش یافته و گرادیان فشاری مناسبی در محل تلاقی این دو ایجاد شده است. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۳-ب)، سامانه پراارتفاع (H2) بر روی دریای خزر و نوار شمالی

در الگوی جوی سطح زمین ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۲۸ تیرماه ۱۳۹۴ (شکل ۳-الف)، زبانه‌های سامانه پرفشار روی دریای خزر (H1)، و سامانه کم فشار با مرکز ۹۹۰

ایران، و سامانه کم ارتفاع در سایر نواحی کشور حاکم است. گرادیان دمایی و پربندی مناسبی در نوار شمالی کشور مشاهده می‌شود. کم فشار حرارتی در این روز از روی هند و پاکستان تا مرکز کشور توسعه یافته به نحوی که مرکز آن با هم ارتفاع ۱۴۰ ژئوپتانسیل دکامتر و هم دمای ۳۵ درجه سلسیوس بسته شده است. با حاکم شدن هوای گرم برای روی ایران، دمای هوا در منطقه تهران روی این تراز به ۳۱ درجه سلسیوس رسیده است. داده های ایستگاه جو بالای تهران در این تراز، جو نسبتاً خشکی را در این ساعت نشان می‌دهد به طوری که تفاوت دما و دمای نقطه شبنم در این نقطه به ۲۴ درجه سلسیوس رسیده است.

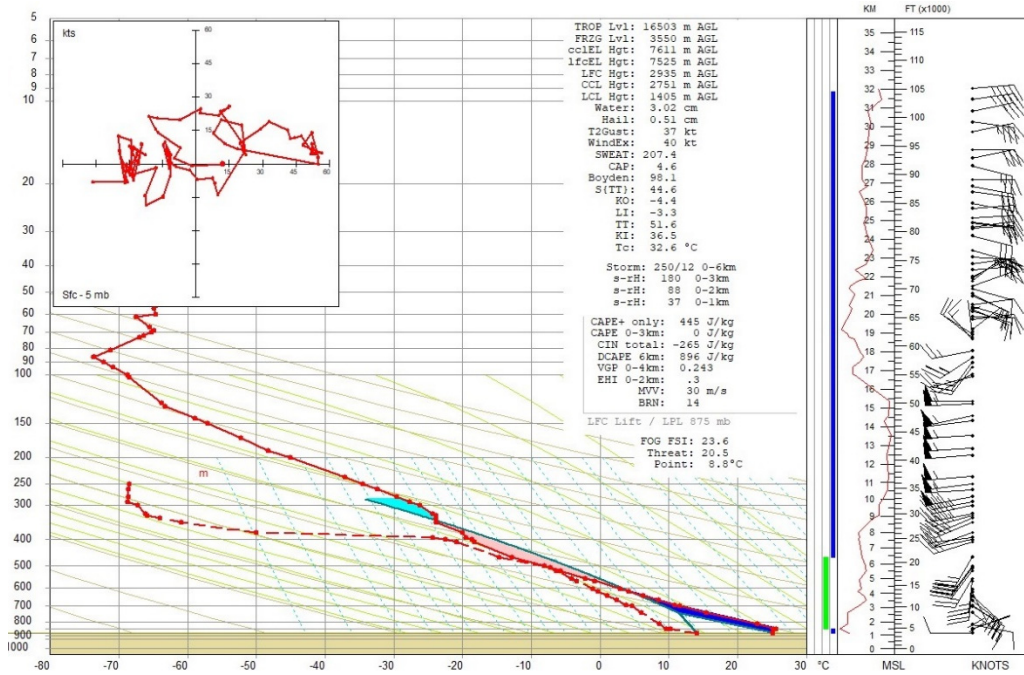
در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۳-ج)، دو سامانه کم ارتفاع (L4) و (L3) به ترتیب بر روی بخش شمالی خزر و شمال شرق ایران قرار گرفته است. گرادیان شدید دمایی در نوار شمالی کشور مشاهده می‌شود و دمای هوا در منطقه تهران روی این تراز به ۱۴ درجه سلسیوس رسیده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۳-د)، سامانه کم ارتفاع قوی بر روی دریای خزر قرار گرفته بطوریکه ناوه آن (خط چین قرمز) از شمال دریای خزر به سوی شمال غرب و غرب کشور می‌باشد و منطقه تهران نیز به تدریج در دامنه فعالیت آن قرار می‌گیرد. گرادیان شدید پربندی در دریای خزر مشاهده می‌شود و گسترش هوای سرد عرض های بالاتر به سوی نوار شمالی کشور می‌باشد به گونه ای که دمای هوا در منطقه تهران روی این تراز به ۹- درجه سلسیوس رسیده است. بر این اساس مهمترین ویژگی های الگوهای جوی حاکم در این روز استقرار هوای گرم و آرام در ترازهای پایین وردسپهر و هوای سرد در ترازهای میانی وردسپهر، وجود گرادیان شدید دمایی و پربندی بر روی نوار شمالی کشور، استقرار سامانه کم ارتفاع قوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی خزر و گسترش ناوه آن بر روی شمال غرب و غرب کشور می‌باشد.

بررسی شاخص های ناپایداری ایستگاه تهران- مهرآباد برای بررسی شرایط ترمودینامیکی و وضعیت

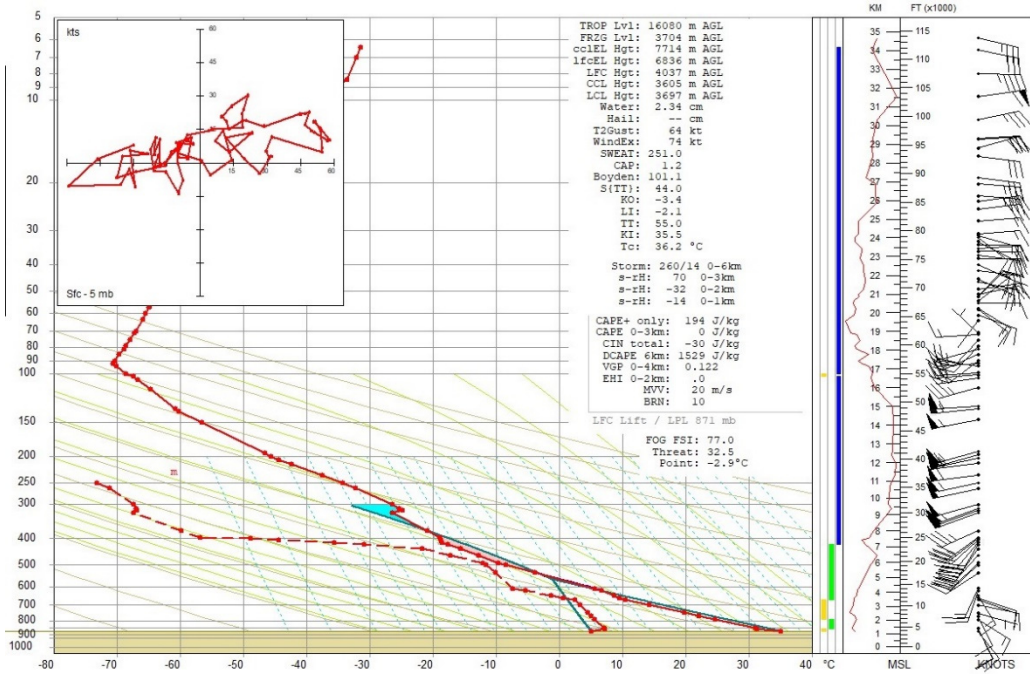
ناپایداری جو در روز رخداد بارش همرفتی و به دنبال آن رخداد سیل، شاخص های ناپایداری جو شامل SI، LI، TT، KI و CAPE در ایستگاه مهرآباد (تهران) محاسبه شد. برای این منظور از نرم افزار RAOB استفاده گردید و نقشه های ترمودینامیکی مربوط به داده های جو بالای روز ۲۸ تیر ۱۳۹۴ در ساعت های ۰۰ و ۱۲ گرینویچ ترسیم شد (شکل های ۴ و ۵). با توجه به شکل (۴)، در ساعت ۰۰ گرینویچ مقادیر شاخص های ناپایداری  $TT = 51/6^{\circ}C$  و  $KI = 36/5$  بدست آمده که با توجه به احتمال وقوع توفان بر اساس شاخص TT (میلر، ۱۹۷۹) و K (روپرتیس، ۲۰۰۵)، با احتمال وقوع ۸۰٪ شانس برای رخداد توفان شدید همراه است. همچنین در این ساعت با توجه به شاخص های LI و SI که به ترتیب  $3/3^{\circ}C$  و  $2/1^{\circ}C$  می‌باشند و بر اساس احتمال وقوع توفان بر اساس شاخص LI (گالوی، ۱۹۵۶) و SI (شووالتر، ۱۹۵۶)، بیانگر رشد ناپایداری های همرفتی در حد توفان متوسط و یا شدید می‌باشند. مقدار انرژی پتانسیل در دسترس همرفتی (CAPE) نیز با توجه به همگرایی نمایه های قائم دما و رطوبت، برابر  $445 J/kg$  است. در این شکل با توجه به اینکه ارتفاع تراز همرفت آزاد (LFC) کمتر از ۳۰۰۰ متر می‌باشد و با وجود چینش نسبتاً شدید باد در تراز زیرین در مجاورت سطح زمین، امکان رشد ناپایداری و شکل گیری ابرهای پایین و میانی وجود دارد.

همان طور که در شکل (۵)، در نمودار ترمودینامیکی ساعت ۱۲ گرینویچ دیده می‌شود، نواحی ناپایدار (CAPE+) از حدود تراز ۵۵۰ تا ۴۰۰ هکتوپاسکال (مناطق هاشورخورده قرمز) را در بر گرفته است. شاخص های ناپایداری (جدول) در این ساعت  $2/1$  LI و  $6/2$  SI به دست آمده است که بر اساس جدول احتمال وقوع توفان بر اساس شاخص LI و SI، نشانه های متوسط توفان تندی شدید وجود دارد. شاخص TT و KI نیز  $55^{\circ}C$  و  $35/5$  بدست آمده است که نشان دهنده احتمال وقوع ۸۰٪ و شانس رخداد توفان شدید می‌باشد و از این رو شرایط مساعدی برای

بررسی بارش‌های همرفتی کوتاه مدت منجر به رعدا سیل در منطقه کن و سپان ...

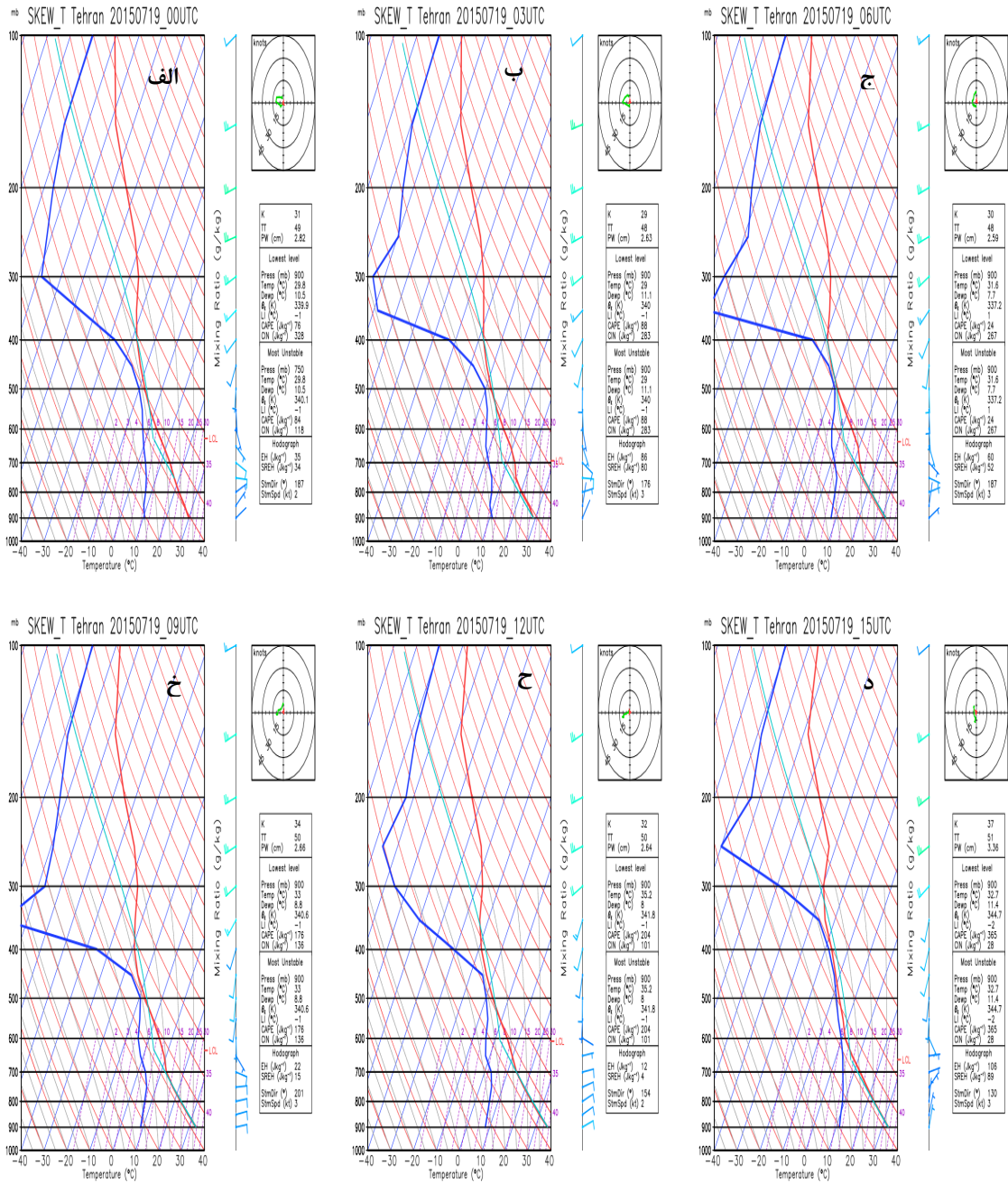


شکل ۴. نمودار ترمودینامیکی روز ۲۸ تیر ۱۳۹۴ ایستگاه تهران- مهرآباد، ساعت ۰۰ گرینویچ



شکل ۵. نمودار ترمودینامیکی روز ۲۸ تیر ۱۳۹۴ ایستگاه تهران- مهرآباد، ساعت ۱۲ گرینویچ

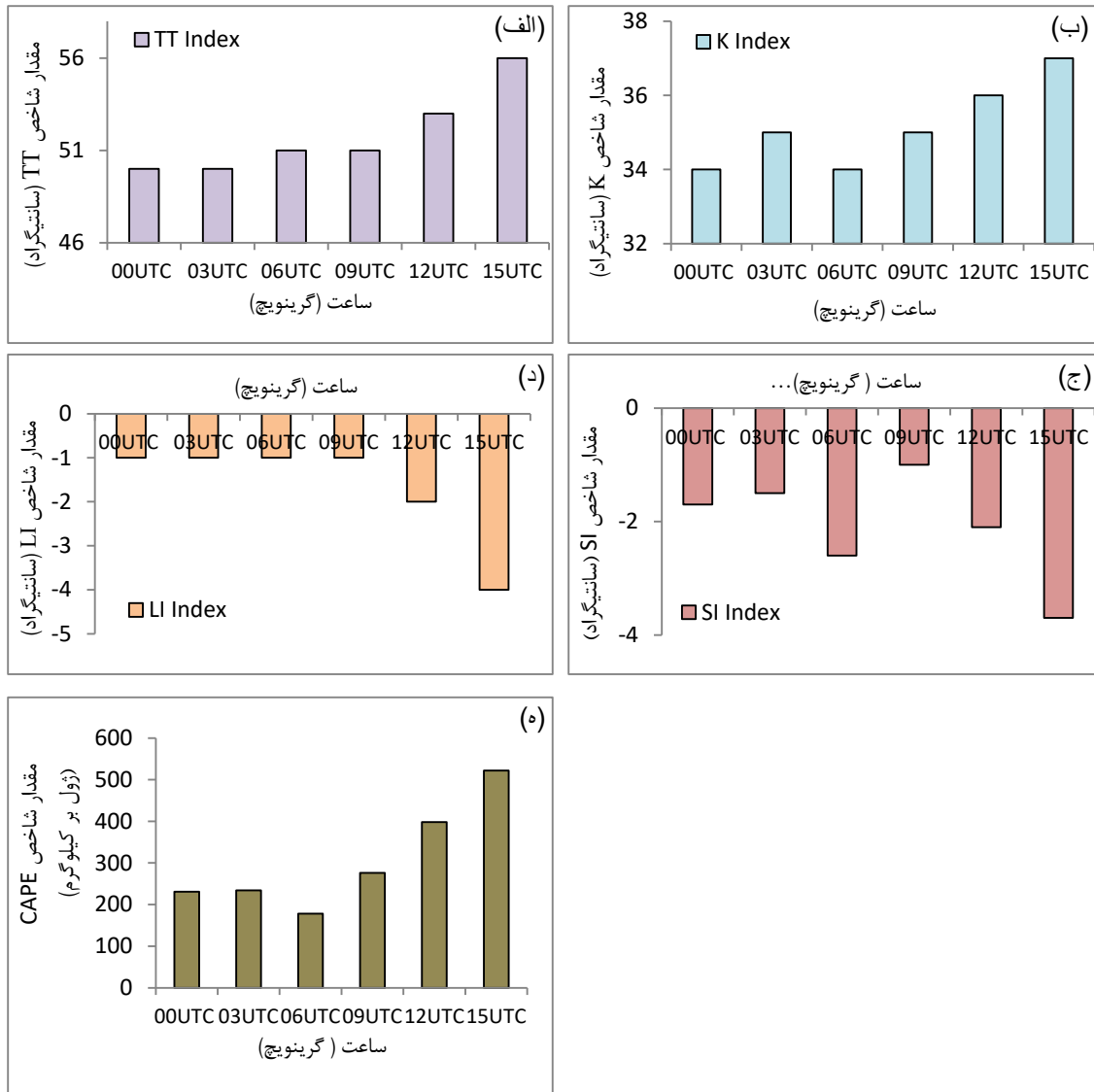




شکل ۶. نمودار ترمودینامیکی حاصل از برونداد مدل در ساعت‌های الف (۰۰، ب (۰۳، ج (۰۶، خ (۰۹، ح (۱۲ و د (۱۵ گرینویچ در روز ۲۸ تیر ۱۳۹۴.

با توجه به داده‌های ثبت شده در ایستگاه خودکار باران‌سنجی سیجان (شکل ۹)، در زیر حوضه سولقان، در این منطقه بارش رگباری از ساعت ۱۹:۲۴ به وقت محلی (حدود ساعت ۱۵ گرینویچ)، آغاز شده است و پس از گذشت یک ساعت، مقدار بارش تجمعی به ۱۳/۴

بیشینه‌ی بارش در حوضه‌ی آبریز مورد مطالعه در ایستگاه سنگان (۲۵ میلی‌متر) روی داده و ایستگاه‌های واقع در بخش شیب شمالی کوه (سیرا، آزمو، سیجان، امیرکبیر) مقادیر بارش کمتری را نشان می‌دهد (شکل ۸).



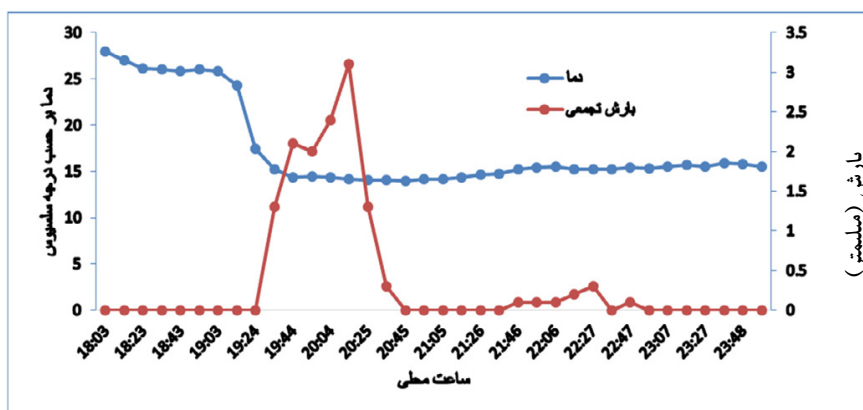
شکل ۷. نمودار شاخص های (الف) TT، (ب) K، (ج) SI، (د) LI و (ه) CAPE حاصل از پرونداد مدل در ساعت های ۰۰، ۰۳، ۰۶، ۰۹، ۱۲ و ۱۵ گرینویچ در روز ۲۸ تیر ۱۳۹۴

جدول ۲. بارش تجمعی ۲۴ ساعته (گزارش روز ۱۳۹۴/۴/۲۹) ایستگاه های هواشناسی استان های البرز و تهران

استان البرز	کرج	طالقان	هشتگرد	خوزن کلا	نسا	آزموت	بلیقان	سیرا	سیجان	امیرکبیر
مقدار بارش (mm)	۲/۶	۱۵/۱	۸/۸	۲۳	۲۰	۱۸	۷/۵	۷/۲	۱۳/۴	۱۱/۵
استان تهران	مهرآباد	شهریار	چیتگر	سولقان	سنگان	ژئوفیزیک	اقدسیه	لواسان	دماوند	فیروزکوه
مقدار بارش (mm)	۹/۶	۱۰/۴	۱۹/۶	۱۶/۳	۲۵	۲/۶	۳/۶	۱/۲	۱۲/۶	۲۱/۶



شکل ۸. بارش تجمعی ۲۴ ساعته (بر حسب میلی متر) تعدادی از ایستگاه‌های هواشناسی استان‌های البرز و تهران



شکل ۹. دما و بارش ده دقیقه‌ای در ایستگاه خودکار سیجان در روز ۲۸ تیر ۱۳۹۴ (منبع داده: سازمان هواشناسی کشور)

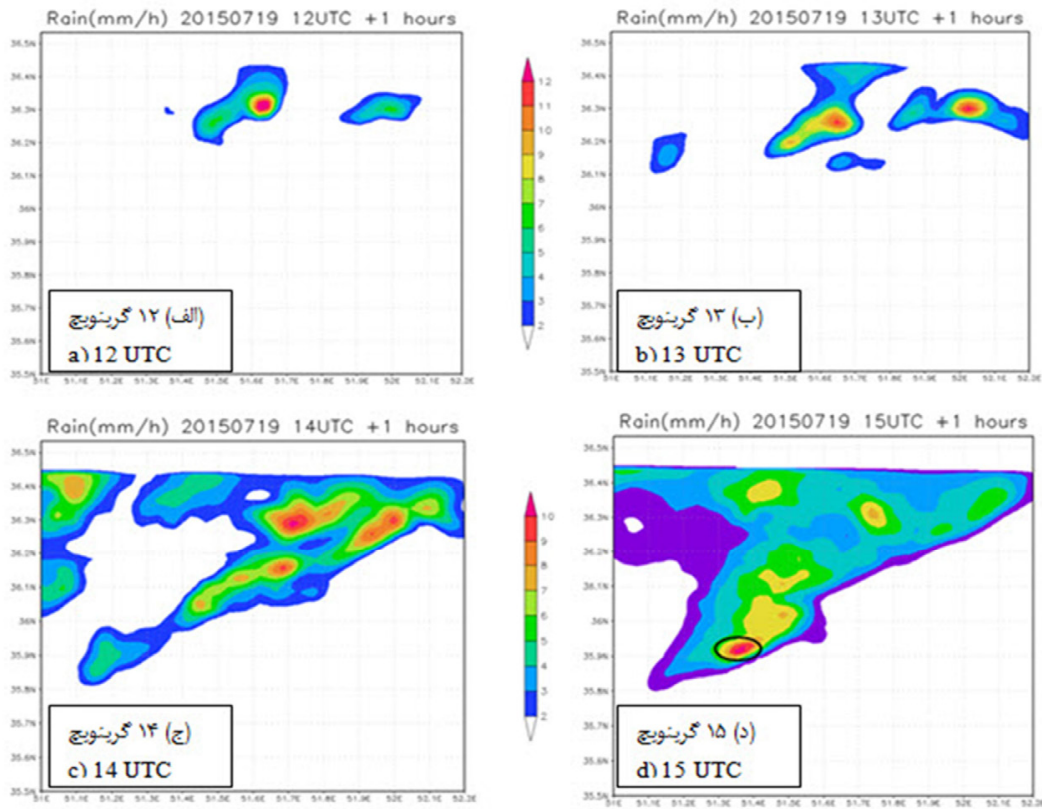
بارش یک ساعته در ساعت ۱۵ گرینوچ (شکل ۱۰-د) ۱۰ تا ۱۶ میلی‌متر در حوضه کن و سولقان پیش بینی شده است که با داده‌های ثبت شده توسط ایستگاه خودکار باران سنجی تطابق خوبی را نشان می‌دهد.

#### تصاویر رادار هواشناسی

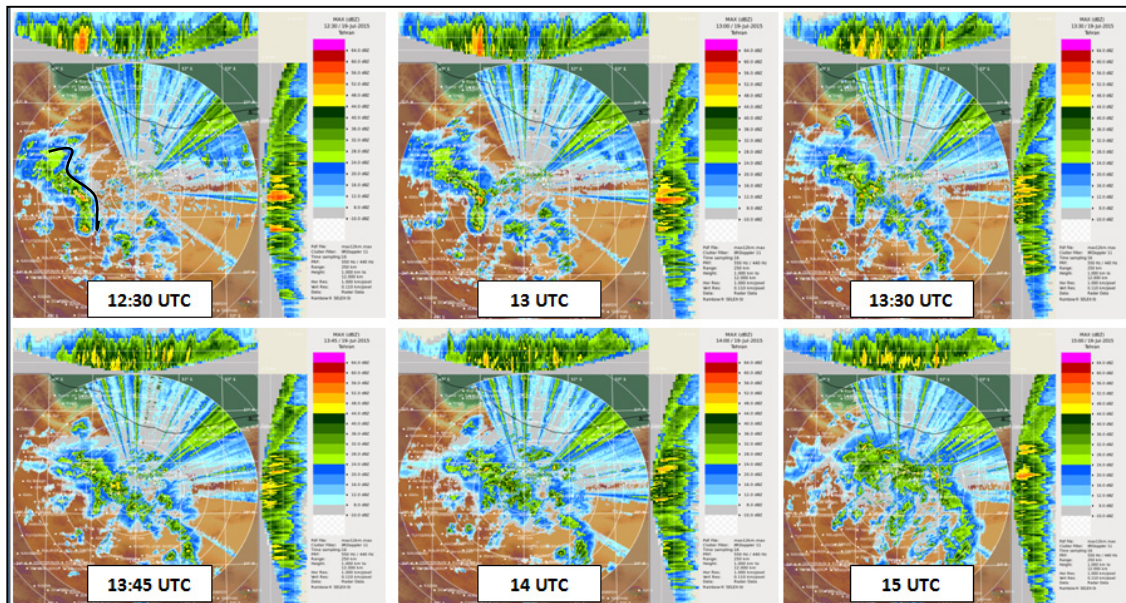
در شکل (۱۱) بیشینه بازتابش MAX(dbz) رادار تهران از ساعت ۱۲:۳۰ گرینوچ تا ساعت ۱۵:۰۰ گرینوچ روز ۲۸ تیرماه ۱۳۹۴ نشان داده شده است. در ساعت ۱۲:۳۰ گرینوچ منطقه‌ای از ابرهای همرفتی (رنگ‌های

میلی متر می‌رسد. بیشترین بارش ده دقیقه‌ای در ساعت ۲۰:۱۵ دقیقه به میزان سه میلی متر ثبت شده است. در طول ۵۰ دقیقه بارش تجمعی بیش از ۱۰ میلی متر توسط ایستگاه خودکار سیجان به ثبت رسیده است.

در شکل (۱۰)، نقشه‌های بارش یک ساعته حاصل از برون‌داد مدل (دامنه ی سوم) در ساعت‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ گرینوچ آورده شده است. برای ساعت‌های ۱۲ و ۱۳ گرینوچ، بارش قابل ملاحظه‌ای در حوضه کن و سولقان پیش‌بینی نشده است ولی در ساعت ۱۴ گرینوچ حداکثر بارش یک ساعته را حدود ۴ میلی‌متر نمایش می‌دهد. مقدار



شکل ۱۰. نقشه های بارشیک ساعته(میلی متر بر ساعت) حاصل از برون‌دا د مدل در زمان های (الف) ۱۲، (ب) ۱۳، (ج) ۱۴ و (د) ۱۵ گرینویچ در روز ۲۸ تیر



شکل ۱۱. بیشینه بازتابش (MAX(dbz)) در روز ۲۸ تیر ۱۳۹۴

شاخص‌های ناپایداری از ساعت ۰۰ گرینویچ به تدریج افزایش یافته تا اینکه در ساعت رخداد توفان تندی به بیشترین مقدار خود رسیده است. با توجه به اینکه در زمان رخداد بارش‌های همرفتی شدید، شهر تهران در شرایط بیشینه دما قرار داشته، احتمال می‌رود که علاوه بر عوامل هم‌دیدگی و ناپایداری همرفتی، اثرات شهری نیز در تقویت گرادیان دما و جبهه سرد نقش داشته است. بنابراین فعالیت شدید و سریع سامانه در بازه زمانی در حدود کمتر از یک ساعت سبب رخداد بارش همرفتی سنگین و رخداد سیل در مدت کوتاهی در منطقه ی مورد مطالعه گردیده است. باید توجه داشت که بروز سیل به ویژه در حوضه‌های کوچکی مانند رود کن و سیجان، می‌تواند علاوه بر بارش سنگین، به عوامل دیگری مانند فیزیوگرافی حوضه، مهندسی رودخانه، ساخت وسازهای صورت گرفته بستگی داشته باشد. اما رخداد بارش‌های همرفتی شدید کوتاه مدت در ایجاد این سیل نقش اساسی داشته است. با توجه به زمان رخداد این بارش‌ها، بنظر می‌رسد اثرات شهری مانند جزیره ی گرمایی و تغذیه رطوبتی بیشتر می‌تواند در شدت این بارش‌ها نقش داشته باشد.

### مراجع

- ۱- آزادی، مجید، کلاته سفری، زهرا و جعفری، سمیه، ارزیابی عملکرد مدل WRF در ایران برای پیش بینی بارش با استفاده از طرحواره های فیزیکی مختلف، مطالعه موردی، دوازدهمین کنفرانس دینامیک شاره ها، ۱۳۸۸.
- ۲- پژوهشکده هواشناسی، ۱۳۸۸، گزارش نهایی پروژه اعمال پیش بینی همادی به مدل WRF، صفحات ۴ و ۷۳.
- ۳- تاج بخش، سحر، غفاریان، پروین و میرزایی، ابراهیم، ۱۳۸۸، روشی برای پیش بینی رخداد توفان های تندی با طرح دو مورد بررسی موردی، مجله فیزیک و فضا، دوره ۳۵، شماره ۴، صفحه ۱۴۷-۱۶۶.
- ۴- رازدار، بابک، قویدل، آریامن، ذوقی، محمد جواد و پیروز، بهروز، آثار و دلایل وقوع سیلاب های شهری، اولین کنفرانس ملی مدیریت سیلابهای شهری، ۱۳۸۹.
- ۵- رسولی، علی اکبر، بابائیان، ایمان، قائمی، هوشنگ و زوارضا، پیمان، تحلیل سری‌های زمانی فشار مراکز الگوهای سینوپتیکی موثر بر بارش‌های فصلی ایران، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۷، ۱۳۹۱.
- ۶- عباسی، محمد، ارزیابی اقدامات فنی آبخیزداری به کمک مدل ریاضی HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه کن استان تهران)، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ص ۴۰۳، ۱۳۸۸.
- ۷- قندهاری، شهرزاد؛ مشکواتی، امیر حسین و مزرعه فراهانی،

سبز تیره، زرد و قرمز) و خط اسکوال (خط قرمز رنگ) در جلوی توفان دیده می‌شود. بررسی تصاویر نشان می‌دهد که بیشینه بازتابش حالت قوسی شکل دارد و دارای حرکتی رو به جلو (از جنوب غرب به شمال شرق) و مستقیم همراه با یک توفان باد چرخندی گسترده و باند سریع حرکت رگباری و رعدوبرق می‌باشد. این شرایط با هوای گرم و مرطوب در ترازهای پایین و هوای سرد و خشک در ترازهای بالا همراه شده است و معمولاً الگوی عمودی رطوبت در پیدایش و تولید این حالت قوسی شکل موثر است. در ساعت ۱۳:۳۰ گرینویچ سلول‌های قوسی شکل در حال جدا شدن از هم هستند و شایان ذکر است که سلول‌های جدا شده بعد از ادغام تشدید و منجر به گرادیان بازتابی زیاد در جلوی سیستم همرفتی شده است. بیشینه بازتابش از ساعت ۱۲:۳۰ گرینویچ تا ۱۴ گرینویچ در حدود ۳۲dbz تا ۴۸ ثبت شده و در ساعت ۱۵ گرینویچ در موقعیت جغرافیایی تهران به ۵۶dbz نیز رسیده که بیانگر وجود ابرهای همرفتی توسعه یافته قائم با محتوای آب قابل بارش زیاد می‌باشد.

### جمع‌بندی

در روز ۲۸ تیرماه سال ۱۳۹۴ فعالیت سامانه کم فشار که با جبهه سرد و خط ناپایدار همراهی شده بود مناطقی از نواحی غرب، شمال غرب و مرکز ایران را تحت تأثیر قرار داد. جبهه سرد این سامانه در حدود ساعت ۱۲ گرینویچ در بخش‌هایی از توحی مرکزی و در حدود ساعت ۱۴ گرینویچ در منطقه غرب تهران فعال بوده است. الگوی جوی بزرگ مقیاس ۵۰۰ هکتوپاسکال، بیانگر استقرار پشته ارتفاعی بر روی منطقه تهران از ساعت ۰۰ تا ۱۲ روز ۲۸ تیرماه می‌باشد که سبب گرم شدن بیشتر و انباشت حداکثری انرژی در لایه‌های زیرین جو در منطقه گردیده و از ساعت ۱۲ گرینویچ بتدریج منطقه تهران در جلوی ناوه ترازهای میانی وردسپهر که با هوای سرد و خشک همراهی می‌شود قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از شبیه سازی این سامانه نشان می‌دهد که

- 2001, Development in Teracomputing, Pricedings of the Iinth ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology, W. Zwiefelhofer and N. Kreitz, Eds., World Scientific, 269-276.
- 20- Lyman R .E. Schroeder T.A and Branes G.M(2005) the heavy rain event of 29 october 2000 in Hana, Maui, weather and forecasting 20:394-414.
- 21- Miller, R.C., 1972, Notes on Analysis and Severe-storm Forecasting Procedures of the Military Warning Center. Air Weather Service (MAC), Technical Report. 200, Scott Air Force Base, IL, 181 pp.
- 22- Robert p. Hrnack, Donald T. Jensen and Joseph R, cermac III (1998) investigation of upper-air. Conditions occurring with heavy summer rain in UTA international journal of climatology int.
- 23- Prosenjit Chatterjee, D and Pradhan, De. U.K., 2008, Simulation of local sever storm mesoscale model MM5. Indian Journal of Radio & Space Physics, Vol. 37, PP. 419-433.
- 24- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Wang, W. and Powers, J. G., 2005, A description of the advanced research WRF, Version 2, NCAR Tech, Note NCAR/TN-4681STR, 94pp.
- 25- Showalter, A. K., 1953: A stability index for thunderstorm forecasting. Bull. Amer. Meteor. Soc. 34. 250-252
- 26- Trentmann, J., Keil, C., Salzmman, M., Barthlott, C., (2009) Multi-model simulations of a convective situation in low-mountain terrain in central Europe, Meteorology and Atmospheric Physics, NO 103, PP. 95-10.
- 27- Xu, J., Rugg, S., Byerle, L. and Liu, Z., 2009, Weather forecasts by the WRF-ARW model with the GSI data assimilation system in the complex terrain areas of southwest Asia: Weather and Forecasting, 24, 987-1008.
- 28- Yamane Yusuke, Taiichi Hayashi and Ashraf Mahmood Dewan, Fatima Akter, 2010, Severe local convective storms in Bangladesh: Part II, Environmental conditions, Atmospheric Research, NO. 95, PP. 407-418.
- مجید، ۱۳۸۵، بررسی عملکرد مودی مدل میان مقیاس MM5 در شبیه سازی بارش های رگباری، همایش پیش بینی عددی وضع هوا، ۱۳۸۵.
- ۸- قهرودی تالی، منیژه و مجیدی هروی، آیتنا، آسیب پذیری منطقه ۵ تهران در مقابل سیلاب، دومین کنفرانس بین المللی مخاطرات محیطی، ۱۳۹۲.
- ۹- قویدل رحیمی، یوسف، کاربردهای شاخص های ناپایداری جوی برای آشکار سازی و تحلیل دینامیک توفان تندرری روز ۵ اردیبهشت ۱۳۸۹ تبریز، فصلنامه فضای جغرافیایی، سال ۱۱، شماره ۳۴: ۱۸۲ - ۲۰۸ . ۱۳۹۰.
- ۱۰- لشکری، حسن، الگوی سینوپتیکی بارش های شدید جنوب غرب ایران، پایان نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۵.
- ۱۱- مزرعه فراهانی، مجید. وظیفه، احد و آزادی، مجید، بررسی اثر تغییر تفکیک افقی مدل میان مقیاس MM5 در شبیه سازی بارش حاصل از سامانه همدیدی اکتبر ۲۰۰۴ روی ایران، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۵(۴)، ۱۴۶-۱۳۱، ۱۳۸۸.
- ۱۲- نوری، حمید. غفور، حسنعلی. مسعودیان، سید ابوالفضل و آزادی، مجید، بررسی الگوهای همدیدی-دینامیکی رویدادهای بارشی سنگین همرفت و غیر همرفت سواحل جنوبی خزر با استفاده از مدل عددی یش بینی هوا (WRF)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۸، شماره دوم، ۱۳۹۲.
- 13- Bluestein, H. B., 1993: Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes. Vol II. OxfordPress, 594 pp.
- 14- Derubertis, D., 2005, Recent Trends in for Common Stability Indices Derived from U.S Radiosonde Observations, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 19, No. 3, PP. 309-323.
- 15- Dmyterko. E. ciesla. A. and Bruchwald .A. (1997) the flood. sylwan.vd .141 .Issue 12, pp, 113-125.
- 16- El-Samany, M. (2010), Forecasting of Flash Floods Over Wadi Waiter-Sinai Pesninsula Using the Weather Research and Forecasting(WRF) Model, Vol 3, Issue 2:88-95.
- 17- Galway, J. G., 1956. The lifted index as a predictor of latent instability. Bulletin of the American Meteorological Society 37, 528-529.
- 18- Mastrangelo, D., Horvath, K., Riccio, A., Miglietta, M.M., (2011) Mechanisms for convection development in a long-lasting heavy precipitation event over southeastern Italy, Atmospheric Research, 100, 586-602.
- 19- Michalakes, j., Chen, S., Dudhia, J., Hart, L., Klemp, J., Middlecoff, J. and Shamarock, W.,

## Investigation of short-duration convective rainfall leads to Flashflood event in Kan and Sijan Regions (Case Study: July 19, 2015)

**Abbas Ranjbar SaadatAbadi\* , Mohammad Moradi**

*Associate Prof. of Atmospheric Science and Meteorological Research (ASMERC), Tehran, Iran*

\*Corresponding Author Email: [aranjbar@gmail.com](mailto:aranjbar@gmail.com)

Received: 28 September 2019, accepted: 04 December 2019

### ABSTRACT

On July 19, 2015, very heavy convective rainfall in a very short period of time led to a terrible flashflood in Kan and Sijan. High intensity rainfall in a small area of about 300 km<sup>2</sup> was one of the main causes of this devastating flood. In order to study these convective precipitations, observation data, radar products, meteorological maps were used and the WRF regional forecast model was used to simulate precipitation. The model was implemented with three nested domains with horizontal resolution of 18, 6 and 2 km and 1 hour time steps. The results indicate that the thermodynamic and convective conditions are suitable for the occurrence of severe instabilities in the afternoon of the day (19th July 2015). Also, the trend of changes in instability indices and precipitation resulting from the model output at 12, 13, 14 and 15 Greenwich mean time indicates its maximum value at the time of the flood. The development of low-pressure system in the central regions of Iran and Tehran and the establishment of high-pressure plums on the Caspian Sea, has caused a severe pressure gradient on the Alborz mountain range, which is accompanied by the passage of the through the middle and upper levels of atmosphere and cold weather at these levels. At the time of storm occurrence in the Tehran region, the active cold front adjacent to the ground due to its arrival in Tehran at the maximum temperature, has been intensified and led to the instability severity enhancement and caused sudden heavy rain (flash flood) in the west of Tehran. With the movement of the system to the east, due to the reduction of temperature gradient and the effects of surface friction, the activity of the storm is reduced.

**Keywords:** *Convective rainfall, Atmospheric patterns, Flashflood, Kan and Sijan Regions*

### HOW TO CITE THIS ARTICLE

Ranjbar SaadatAbadi, A.; Moradi, M. (2020). Investigation of short-duration convective rainfall leads to Flashflood event in Kan and Sijan Regions (Case Study: July 19, 2015). *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 3(1): 1-14

### COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

