

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

عباس رنجبر سعادت آبادی^۱، سحر تاجبخش^۲، محمد مرادی^۲

^۱ دانشیار پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، محل کار پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو

^۲ استادیار پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، محل کار پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۷، تاریخ پذیرش: ۹۷/۵/۲۵

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. برای بررسی این بارش‌های همرفتی از داده‌های دیدبانی، محصولات رادار، نقشه‌های هواشناسی و برای شبیه‌سازی بارش از مدل WRF استفاده شد. مدل با سه دامنه تو در تو و تفکیک افقی ۱۸، ۶ و ۲ کیلومتر و گام‌های زمانی یک ساعته اجرا شد. نتایج بیانگر مساعد بودن شرایط ترمودینامیکی و همرفتی برای رخداد ناپایداری‌های شدید در بعدازظهر این روز می‌باشد. همچنین روند تغییرات شاخص‌های ناپایداری و بارش حاصل از برون‌داد مدل در ساعت‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ گرینویچ نشان دهنده‌ی بیشینه مقدار آن در زمان رخداد سیل می‌باشد. توسعه سامانه‌ی کم‌فشار در نواحی مرکزی ایران و ناحیه تهران و استقرار زبانه‌های پرفشار بر روی دریای خزر، سبب گرادیان شدید فشار روی رشته‌ی 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 منطقه‌ی 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 گرادیان دمایی و اثرات اصطکاک سطحی از فعالیت توفان کاسته شده است.

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

مقدمه

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 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 مقابل سیلاب را دوچندان نموده است. سیل‌های بهاره و تابستانه در منطقه‌ی کن و امامزاده داود، تا کنون 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 حوضه‌ی آبریز کن در زیر حوضه‌ی 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 گردید. در پژوهشی که با موضوع آسیب‌پذیری منطقه ۵ تهران در مقابل سیلاب انجام شد به این نتیجه رسید که منطقه‌ی تهران، بالاخص در حوضه‌ی 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 تندری 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 تندری ایفا می‌کنند (تاجبخش و همکاران، ۱۳۸۸). 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 MM5 را

برای شبیه‌سازی بارش‌های رگباری در جنوب و جنوب غربی ایران را بررسی کردند. برای این منظور از طرحواره همرفت گول و طرحواره لایه مرزی بلک استفاده نمودند. نتایج کار آنها نشان داد که مدل در اکثر این موارد نتایج نسبتاً قابل قبولی را از لحاظ کیفی تولید نموده و بخوبی توانایی پیش‌بینی بارش‌های رگباری خصوصاً حاصل از سامانه سرد را دارد. رسولی و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی الگوهای سینوپتیکی پرفشار سبیری و کم‌فشارهای مدیترانه، دریای سیاه و سودان در فصول بارشی زمستان و بهار، کم‌فشارهای مونسون و خلیج فارس در فصل تابستان، نتیجه گرفتند که تقویت سامانه‌ی پرفشار سبیری در بهار می‌تواند موجب پدید آمدن گردان‌های فشار در نواحی شمالی کشور و به تبع آن افزایش ناپایداری‌ها و بارش‌های بهاری گردد.

ترنتمن و همکاران (۲۰۰۹)، با شبیه‌سازی 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 منتج شده از الگوی بزرگ مقیاس، محیط ناپایدار همرفتی را ابقاء می‌کند و در تمامی وقایع بارش سنگین، موجب فرارفت توده‌های مرطوب در سطوح خیلی پایین می‌شود (مسترانجلو^۱ و همکاران، ۲۰۱۱). یامانی^۲ 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 لایه‌های پایین، کاهش دما در لایه‌های میانی، افزایش مقدار بخار آب در لایه‌های پایین‌تر جو و زیاد شدن باد جنوبی همراه بوده و این شرایط ناپایداری حرارتی بزرگی را در توفان‌های شدید به وجود می‌آورد. لیمن^۳ و همکاران (۲۰۰۵)، در بررسی الگوهای همدیدی سطوح بالای وردسپهر و سطح زمین به این

1-Mastrangelo

2-Yamane

3-Lyman

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 نزدیکتر است. در مطالعه‌ای دیگر که توسط پروسنجیت^۷ 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 $^{*}LI$ ، $^{*}KI$ ، $^{*}CAPE$ و $^{*}TTI$ نسبت به دیگر طرحواره‌ها عملکرد بهتری دارد و در الگوهای زمانی و مکانی بارش‌ها نیز با مشاهدات همخوانی مناسبی دارد. در این مطالعه رخداد بارش‌های همرفتی شدید کوتاه مدت در منطقه ی شمال غرب تهران بررسی شد. برای این منظور شبیه‌سازی عددی بارش توسط مدل پیش‌بینی عددی وضع هوا (WRF-ARW) انجام شد. سپس از داده‌های دیدبانی، تصاویر رادار و الگوهای جوی برای بررسی رخداد سیل استفاده گردید.

== داده‌ها و روش تحقیق

شکل (۱) حوضه ی آبریز رودخانه کن را نشان می دهد. این حوزه آبریز با مساحتی برابر با ۴۵۰ کیلومتر مربع در پنج کیلومتری شمال غرب تهران بین طول جغرافیایی $51^{\circ}10'$ و $51^{\circ}23'$ شرقی و عرض جغرافیایی $35^{\circ}46'$ تا $35^{\circ}58'$ 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 ی پایین دست سولقان قرار گرفته است. این حوضه از شش رودخانه به نام‌های امامزاده داود، رندان، تالون،

7-Prosenjit

8-Convective Available Potential Energy

9-K Index

10-Lifted Index

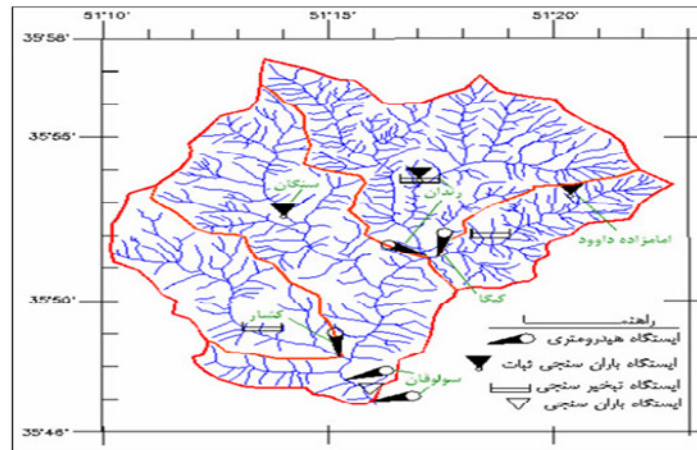
11-Total Totals Index

نتیجه دست پیدا کردند که وقوع پدیده‌های اقلیمی و مخاطرات طبیعی از جمله سیل ارتباط قوی با وضعیت کمی و کیفی استقرار سیستم‌های سینوپتیکی سطوح بالا و سطح زمین دارند. دی میتروکو^۴ و همکاران (۱۹۹۷)، در بررسی عوامل پیدایش سیل تابستان ۱۹۹۷ در لهستان به این نتیجه رسیدند که بارندگی با دوره بازگشت طولانی و سازه‌های نامناسب باعث وقوع سیل و تشدید خسارات گردیده است. در پیش‌بینی سیل شدید ۲۴ اکتبر ۲۰۰۸ در صحرای سینا با استفاده از مدل WRF، مقدار بارندگی حاصل از برون‌داد مدل در ایستگاه ۱۱/۶ میلی متر بدست آمده که با مقدار اندازه‌گیری شده (۱۰/۶ میلی متر) همخوانی مناسبی دارد (السامانی^۵، ۲۰۱۰). نوری و همکاران (۱۳۹۲) الگوهای همدیدی-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 پیش‌بینی مقدار و الگوی مکانی بارش‌های ناشی از الگوهای همدیدی پرفشار، ضعیف‌تر از الگوهای همدیدی کم فشار عمل می‌کند. مزرعه فراهانی و همکاران (۱۳۸۸) با مطالعه اثر تغییر تفکیک افقی مدل میان مقیاس MM5 در شبیه‌سازی بارش ناشی از یک سامانه ی همدیدی در ایران، نتیجه گرفتند که مدل قادر به شبیه‌سازی 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^۶، لایه مرزی سیاره‌ای و تابش جوی (میچالاکس و همکاران، ۲۰۰۱، اسکاماروک و همکاران، ۲۰۰۵). آزادی و همکاران (۱۳۸۸)، عملکرد مدل WRF در ایران برای پیش‌بینی 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 لایه مرزی) و Grell-

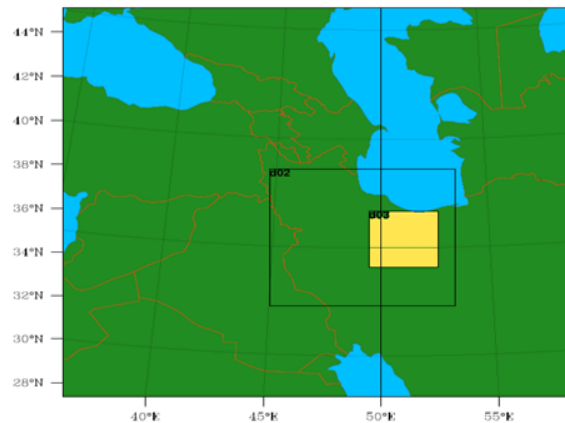
4-Dmyterko

5-Samany

6-Land-surface



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



شکل ۲. دامنه های شبیه سازی شده توسط مدل WRF-ARW

جو بالای ایستگاه مهرآباد از سایت دانشگاه وایومینگ^{۱۳} استخراج گردید و توسط نرم افزار RAOB^{۱۴}، نمودارهای ترمودینامیکی رسم و شاخص های ناپایداری حاصل از آن در ساعت های ۰۰ و ۱۲ گرینویچ بررسی شد. در گام بعدی به منظور، شبیه سازی بارش در رخدادهای سیل کن و سیجان به وسیله مدل WRF با سه دامنه تو در تو با تفکیک مکانی ۱۸، ۶ و ۲ کیلومتر و گام زمانی یک ساعته صورت پذیرفت (شکل ۲). داده های ورودی مدل، شامل داده های آنالیز شده GFS^{۱۵} (0.5°×0.5°) می باشد. طرحواره های فیزیکی انتخاب شده بر اساس مطالعات قبلی (شو و همکاران، ۲۰۰۹) به شرح زیر می باشد:

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

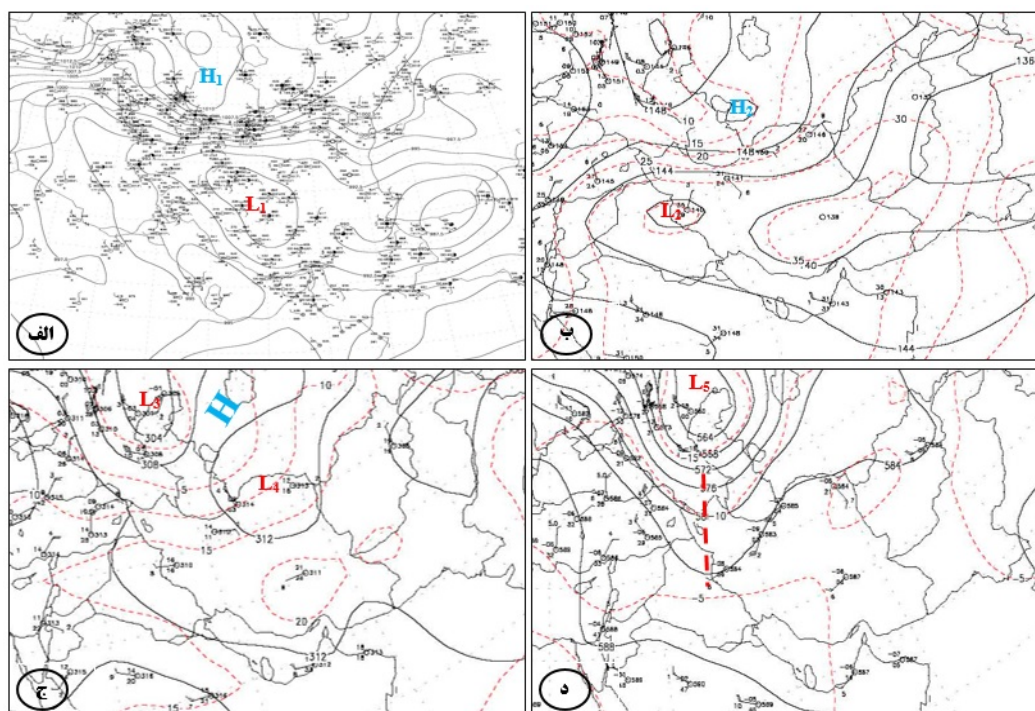
14-RAwinsonde Observation program

15-Global Forecasting System

کشار، 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 (SI¹²)، 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

12-Showalter Index



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 نقشه‌های سطوح بالا، خط چین‌ها و خطوط تو پر به ترتیب معرف هم‌مقدارهای دما و ارتفاع ژئوپتانسیلی می‌باشند)

شده ایستگاه باران سنجی سیجان، جهت صحت سنجی مقادیر بارش حاصل از برون‌داد مدل استفاده گردید.

نتایج و بحث

الگوهای جوی بزرگ مقیاس

در الگوی جوی سطح زمین ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۲۸ تیرماه ۱۳۹۴ (شکل ۳-الف)، زبانه‌های سامانه پرفشار روی دریای خزر (H_1)، و سامانه کم فشار با مرکز ۹۹۰ هکتوپاسکال (L_1) 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 (H_2) بر روی دریای خزر و نوار شمالی 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

طرحواره خردفیزیک: Thompson، طرحواره کومولوس (همرفت): Grell-Devenyi، طرحواره لایه مرزی: Mellor-Yamada-Janjic، طرحواره تابش طول موج بلند: RRTM و کوتاه Dudhia، زمین سطح: Noah، Ism و لایه سطحی: Janjic می‌باشد. دامنه‌ی شبیه‌سازی مدل برای دامنه‌های اول، دوم و سوم (دامنه‌ی اصلی که به رنگ زرد نمایش داده شده است) در شکل (۲) نشان داده شده است.

پس از شبیه‌سازی رخداد بارش‌ها توسط مدل، از نمودارهای ترمودینامیکی حاصل از برون‌داد مدل در دامنه‌ی سوم جهت تعیین میزان ناپایداری در محیط، نیز استفاده شد. شاخص‌های ناپایداری مذکور در ساعت‌های ۰۰، ۰۳، ۰۶، ۰۹، ۱۲ و در ساعت وقوع توفان، ۱۵ گرینویچ، مورد تحلیل قرار گرفت. علاوه بر آن، بررسی تصاویر رادار هواشناسی تهران مربوط به بیشینه بازتابش $MAX^{16}(dbz)$ انجام شد. در انتها نیز از داده‌های ثبت

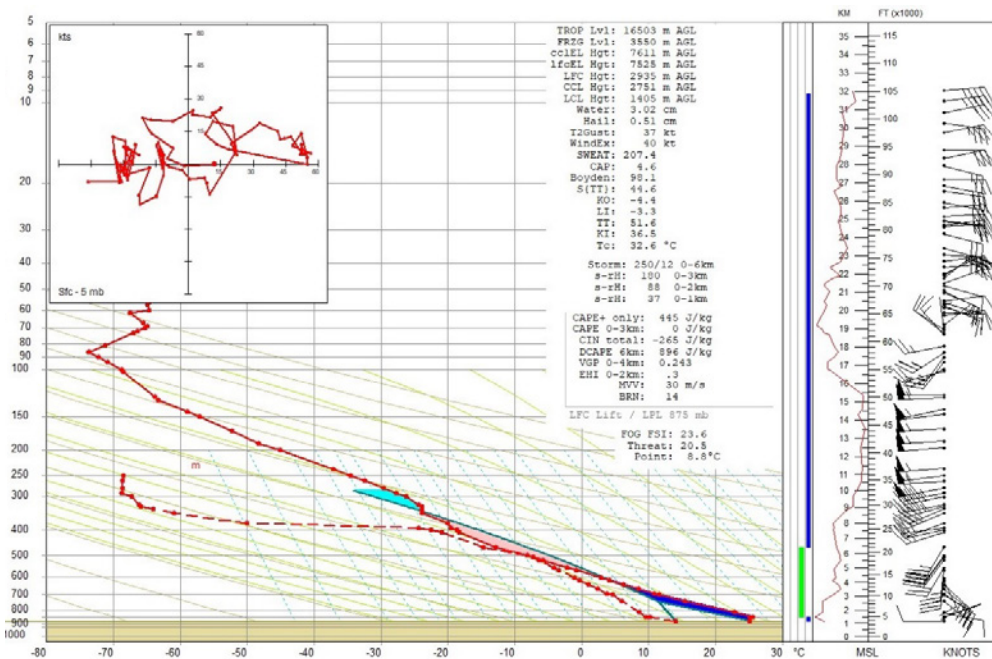
16-Maximum(decibels of Z)

بالاتر به سوی نوار شمالی کشور می باشد و 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 و رددسپهر و هوای سرد در ترازهای میانی و رددسپهر، 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 می باشد.

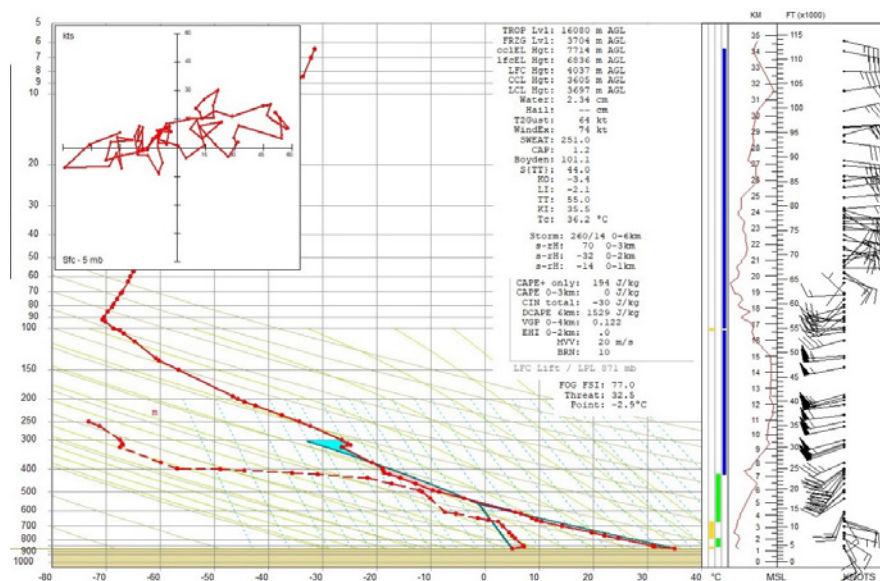
بررسی شاخص های ناپایداری ایستگاه تهران-مهرآباد برای بررسی شرایط ترمودینامیکی و وضعیت ناپایداری جو در روز رخداد بارش همرفتی و به دنبال آن رخداد سیل، شاخص های ناپایداری جو شامل SI، LI، KI، TT و CAPE در ایستگاه مهرآباد(تهران) محاسبه شد. برای این منظور از نرم افزار RAOB استفاده شد و نقشه های ترمودینامیکی 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

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 می دهد 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 (L3) و (L4) به ترتیب بر روی بخش شمالی خزر و شمال شرق ایران قرار گرفته است. گرادیان شدید دمایی در نوار شمالی کشور مشاهده می شود 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 می باشد و منطقه تهران نیز به تدریج در دامنه فعالیت آن قرار می گیرد. گرادیان شدید پربندی در دریای خزر مشاهده می شود و گسترش هوای سرد عرض های



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



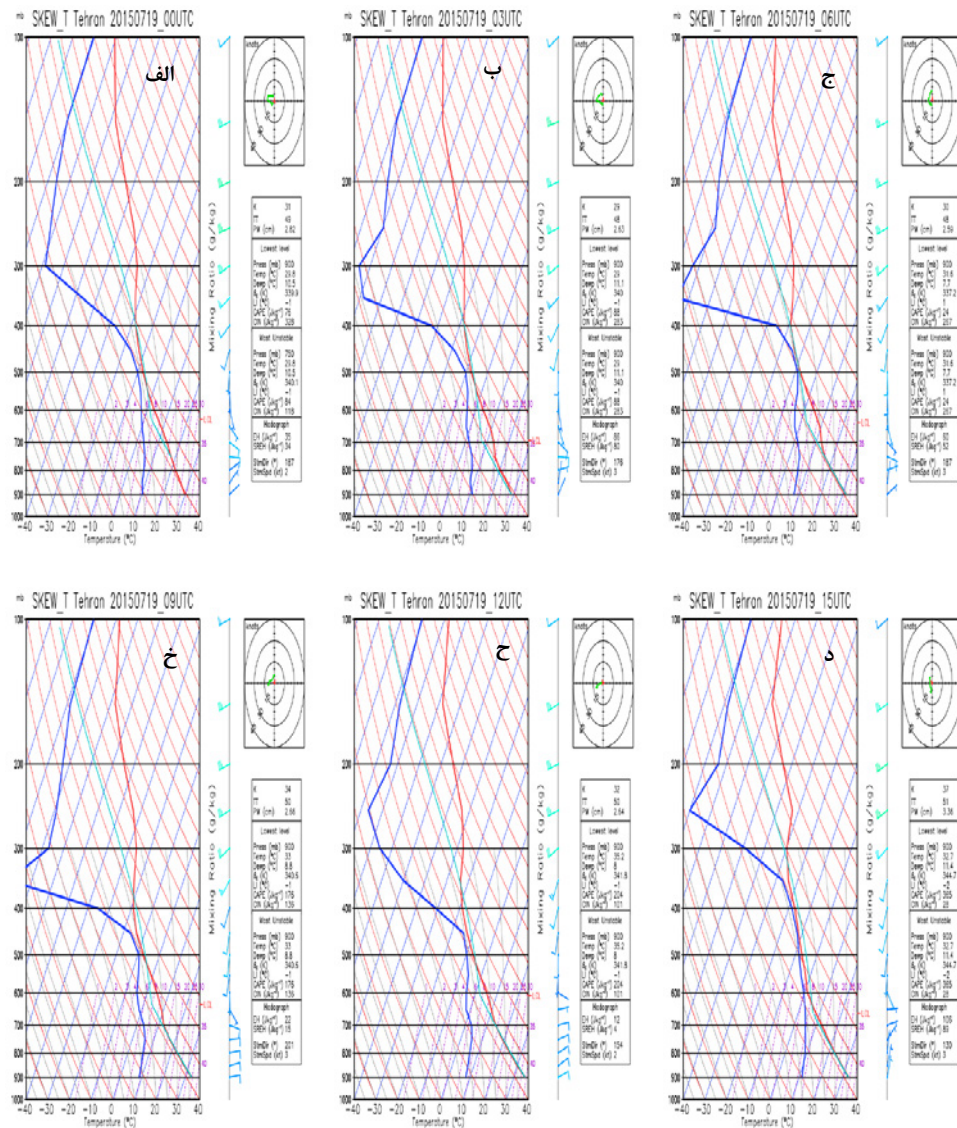
شکل ۵. نمودار ترمودینامیکی روز ۲۸ تیر ۱۳۹۴ ایستگاه تهران- مهرآباد، ساعت ۱۲ گرینویچ

جدول ۱- شاخص‌های ناپایداری حاصل از رادیوگمانه برای ایستگاه تهران-مهرآباد روز ۲۸ تیر ۱۳۹۴

ایستگاه تهران- مهرآباد- ساعت ۰۰ گرینویچ		ایستگاه تهران- مهرآباد- ساعت ۱۲ گرینویچ	
عنوان شاخص	مقدار عددی	عنوان شاخص	مقدار عددی
LI (°C)	-3/3	LI (°C)	-2/1
SI (°C)	-1/8	SI (°C)	-2/6
KI (°C)	36/5	KI (°C)	35/5
TT (°C)	51/6	TT (°C)	55
SWEAT	207/4	SWEAT	251
CAPE (j/kg)	445	CAPE (j/kg)	195

مجاورت سطح زمین، امکان رشد ناپایداری و شکل‌گیری ابرهای پایین و میانی وجود دارد. همان‌طور 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. شاخص‌های ناپایداری (جدول ۱) در این ساعت $LI = -2/1^{\circ}C$ و $SI = -2/6^{\circ}C$ به دست آمده است که بر اساس جدول احتمال وقوع توفان بر اساس شاخص LI و SI، نشانه‌های متوسط توفان تندی شدید وجود دارد. شاخص TT و KI نیز $55^{\circ}C$ و $35/5^{\circ}C$ بدست آمده است که نشان دهنده احتمال وقوع ۸۰٪ و ۸۰٪ شانس رعداد توفان شدید می‌باشد و از این رو شرایط مساعدی برای توفان تندی و بارش شدید مهیا است.

ناپایداری $TT = 51/6^{\circ}C$ و $KI = 36/5^{\circ}C$ 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 رعداد توفان شدید همراه است. همچنین در این ساعت با توجه به شاخص‌های LI و SI که به ترتیب $3/3^{\circ}C$ و $-1/8^{\circ}C$ می‌باشند و بر اساس احتمال وقوع توفان بر اساس شاخص LI (گالوی، ۱۹۵۶) و SI (شووالتر، ۱۹۵۶)، بیانگر رشد ناپایداری‌های همرفتی در حد توفان متوسط و یا شدید می‌باشند. مقدار انرژی پتانسیل در دسترس همرفتی (CAPE) نیز با توجه به همگرایی نمایه‌های قائم دما و رطوبت، برابر $445 j/kg$ است. در این شکل با توجه به اینکه ارتفاع تراز همرفت آزاد (LFC) کمتر از ۳۰۰ متر می‌باشد و با وجود چینه نسبتاً شدید باد در تراز زیرین در



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

برونداد مدل پیش‌بینی عددی وضع هوا

بررسی شاخص‌های ناپایداری

در شکل (۶)، نمودارهای ترمودینامیکی حاصل از برون داد مدل در ساعت‌های ۰۰، ۰۳، ۰۶، ۰۹، ۱۲ گرینویچ و در زمان رخداد توفان تندری منجر به سیل، یعنی ساعت ۱۵ گرینویچ آورده شده است.

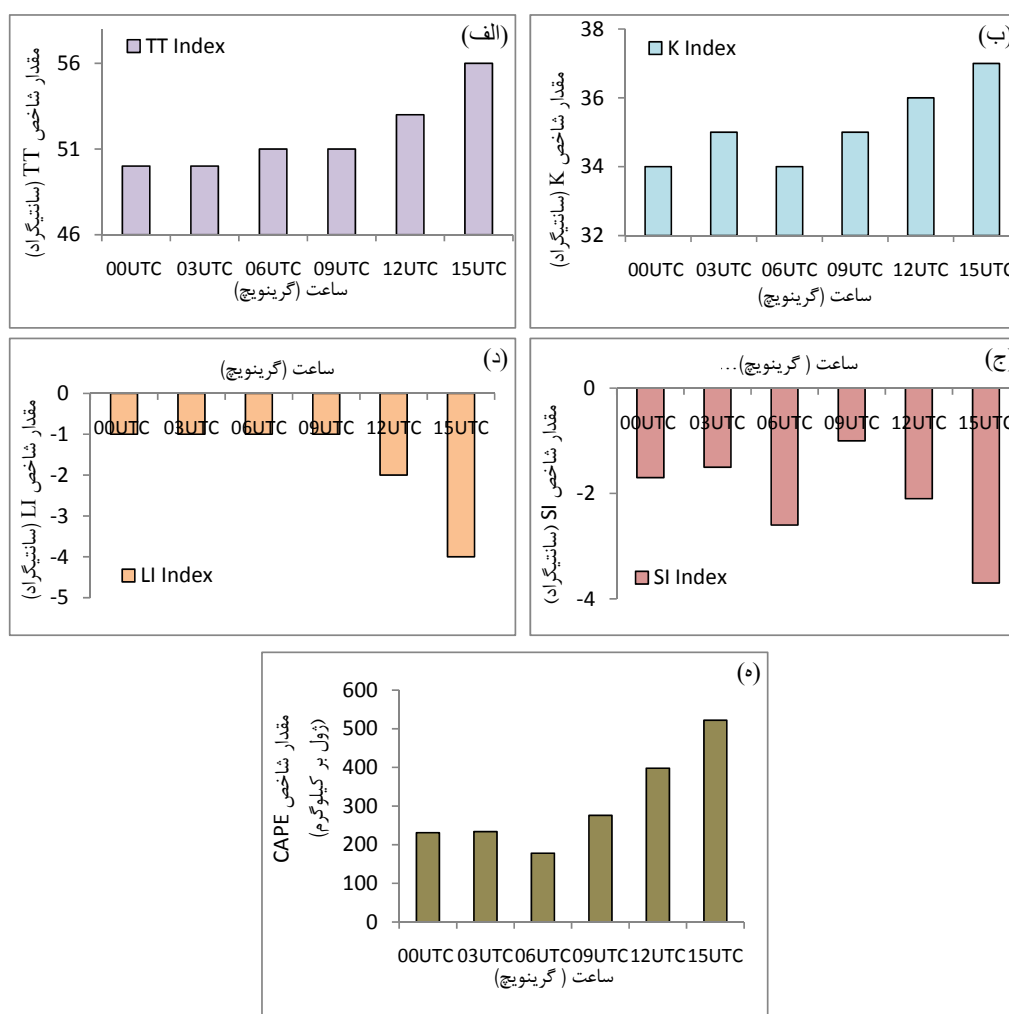
با توجه به شکل (۶-الف) در ساعت ۰۰ گرینویچ، شاخص بازدارندگی از همرفت، مقدار 328 j/kg برآورد شده است. طبق جدول احتمال عدم وقوع توفان بر

اساس شاخص CIN (بلواشتاین، ۱۹۹۳^{۱۷})، اگر درپوش قوی باشد ($\text{CIN} > 200 \text{ j/kg}$)، انرژی موجود در لایه زیرین آن برای تشکیل ابرهای کومه‌ای آزاد نمی‌شود و برای رخداد توفان تندری، محدوده CIN باید بین ۵۰ تا 150 j/kg باشد. اما با توجه به شکل‌های (۶-ب تا ۶-د)، مقدار CIN روند کاهشی داشته به طوری که در ساعت ۰۹ گرینویچ (شکل ۶-خ)، این مقدار به 136 j/kg کاهش یافته است. بنابراین انرژی لازم جهت تشکیل

ساعت ۱۵ گرینویچ به طور نسبی رو به افزایش هستند و در ساعت ۱۵ گرینویچ یعنی در زمان شروع رعداد توفان تندری و رعداد سیل، تمامی شاخص‌ها افزایش قابل توجه داشته‌اند، در این ساعت مقادیر شاخص‌ها $LI = -4^{\circ}C$ ، $SI = -3/7^{\circ}C$ ، $K = 37^{\circ}C$ ، $TT = 56^{\circ}C$ و $CAPE = 522j/kg$ برآورد شده است که با احتمال رعداد توفان تندری و بارش شدید همراه می‌باشند.

بررسی بارش حاصل از برون‌داد مدل (ناحیه سوم) بارش تجمعی ۲۴ ساعته (گزارش روز ۱۳۹۴/۴/۲۹) ایستگاه‌های هواشناسی استان‌های البرز و تهران

ابرهای کومه‌ای و کومولونیمبوس می‌تواند فراهم باشد. در شکل (۷)، نمودارهای مربوط به شاخص‌های الف) K ، ب) TT ، ج) SI ، د) LI و ه) $CAPE$ حاصل از برون‌داد مدل در ساعت‌های ۰۰، ۰۳، ۰۶، ۰۹، ۱۲ و ۱۵ گرینویچ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۷، در ساعت ۱۲ گرینویچ، لایه بازدارندگی از همرفت (CIN) شکسته شده و همه شاخص‌های ناپایداری در این ساعت نسبت به ساعت‌های قبل افزایش داشته‌اند، به‌طوری‌که شاخص $TT = 53^{\circ}C$ ، $SI = -2/6^{\circ}C$ ، $K = 36^{\circ}C$ و $LI = -2^{\circ}C$ و $CAPE = 400j/kg$ محاسبه شده است که بیانگر احتمال رعداد توفان متوسط یا شدید می‌باشد. این شاخص‌ها تا



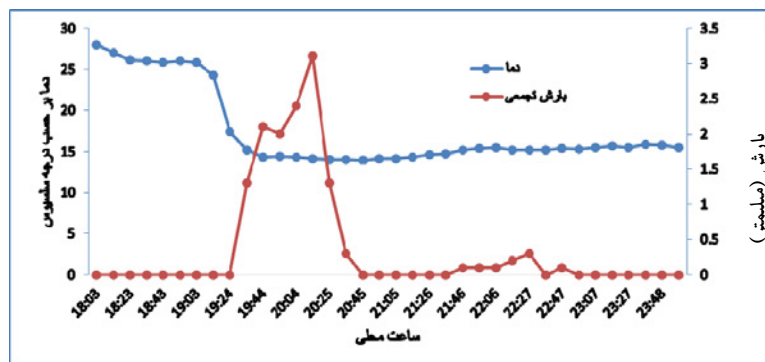
شکل ۷. نمودار شاخص‌های الف) TT ، ب) K ، ج) SI ، د) LI و ه) $CAPE$ حاصل از برون‌داد مدل در ساعت‌های ۰۰، ۰۳، ۰۶، ۰۹، ۱۲ و ۱۵ گرینویچ در روز ۲۸ تیر ۱۳۹۴

جدول ۲. بارش تجمعی ۲۴ ساعته (گزارش روز ۱۳۹۴/۴/۲۹) ایستگاه‌های هواشناسی استان‌های البرز و تهران

استان البرز	کرج	طالقان	هشتگرد	خوزن کلا	نسا	آزموت	بلیقان	سیرا	سیجان	امیرکبیر
مقدار بارش (mm)	2/6	15/1	8/8	23	20	18	7/5	7/2	13/4	11/5
استان تهران	مهرآباد	شهریار	چیتگر	سولقان	سنگان	ژئوفیزیک	اقدسیه	لواسان	دماوند	فیروزکوه
مقدار بارش (mm)	9/6	10/4	19/6	16/3	25	2/6	3/6	1/2	12/6	21/6
ورامین	4/6									



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)

عرض جغرافیایی (مانند ایستگاه‌های چیتگر و ژئوفیزیک) قرار دارند، مقدار بارش در غرب شهر تهران نسبت به مرکز شهر قابل ملاحظه (۱۹/۶ میلی متر در مقابل ۲/۶ میلی متر) است که احتمال می‌رود که اثرات جزیره گرمایی شهری می‌تواند در این ارتباط نقش داشته باشد. بیشینه ی بارش در حوضه ی آبریز مورد مطالعه در

(جدول ۲) نشان می‌دهد که مقدار بارش در نواحی غربی و شمال غربی استان تهران قابل ملاحظه بوده و بیشترین بارش در ایستگاه سنگان به مقدار ۲۵ میلی متر ثبت گردیده است. مقایسه بارش ایستگاه‌ها بیانگر گرادیان شدید بارش در منطقه شهری غیرکوهستانی است. همچنین در ایستگاه‌هایی که تقریباً در یک

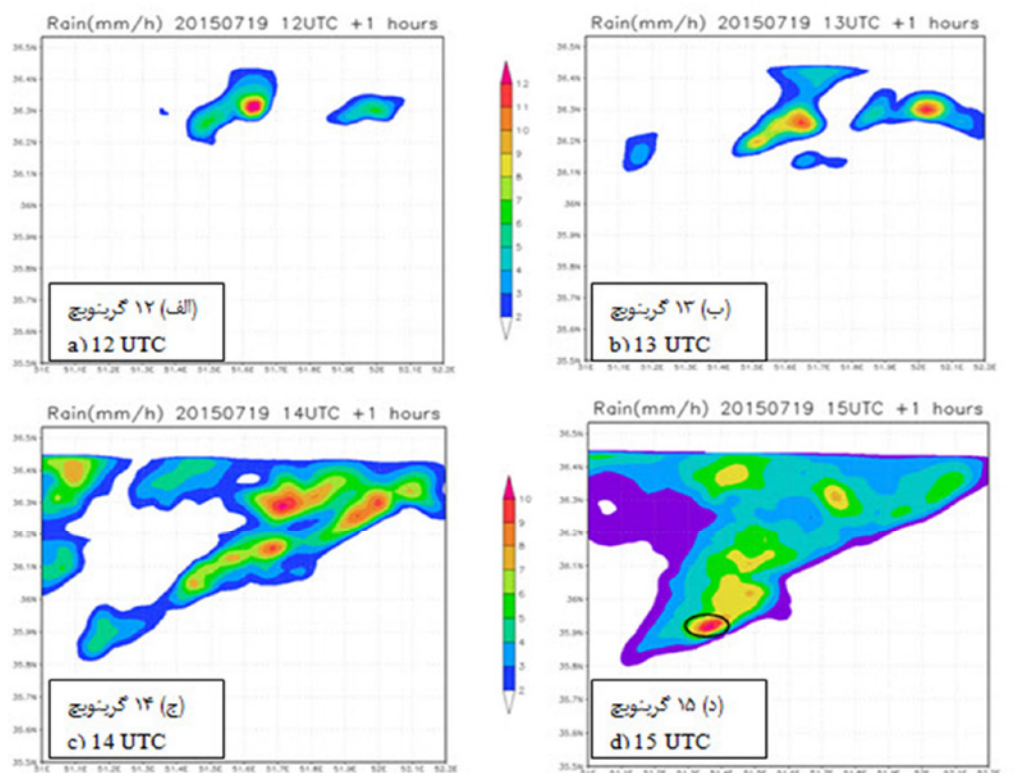
بارش یک ساعته را حدود ۴ میلی‌متر نمایش می‌دهد. مقدار بارش یک ساعته در ساعت ۱۵ گرینویچ (شکل ۱۰-د) ۱۰ تا ۱۶ میلی‌متر در حوضه کن و سولقان پیش بینی شده است که با داده‌های ثبت شده توسط ایستگاه خودکار باران سنجی تطابق خوبی را نشان می‌دهد.

تصاویر رادار هواشناسی

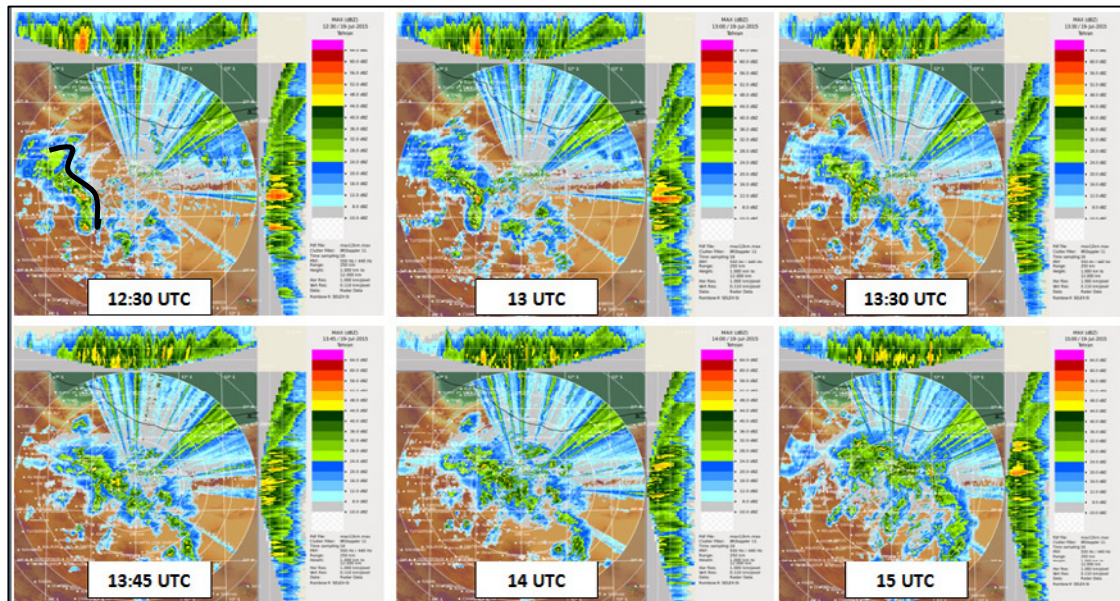
در شکل (۱۱) بیشینه بازتابش MAX (dbz) رادار تهران از ساعت ۱۲:۳۰ گرینویچ تا ساعت ۱۵:۰۰ گرینویچ روز ۲۸ تیرماه ۱۳۹۴ نشان داده شده است. در ساعت ۱۲:۳۰ گرینویچ منطقه‌ای از ابرهای همرفتی (رنگ‌های سبز تیره، زرد و قرمز) و خط اسکوال (خط قرمز رنگ) در جلوی توفان دیده می‌شود. بررسی تصاویر نشان می‌دهد که بیشینه بازتابش 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

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). با توجه به داده‌های ثبت شده در ایستگاه خودکار باران سنجی 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 میلی‌متر می‌رسد. بیشترین بارش ده دقیقه‌ای در ساعت ۲۰:۱۵ دقیقه به میزان سه میلی‌متر ثبت شده است. در طول ۵۰ دقیقه بارش تجمعی بیش از ۱۰ میلی‌متر 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 گرینویچ آورده شده است. برای ساعت‌های ۱۲ و ۱۳ گرینویچ، بارش قابل ملاحظه‌ای در حوضه کن و سولقان پیش‌بینی نشده است ولی در ساعت ۱۴ گرینویچ حداکثر



شکل ۱۰. نقشه‌های بارش یک ساعته (میلی‌متر بر ساعت) حاصل از برون‌داد مدل در زمان‌های (الف) ۱۲، (ب) ۱۳، (ج) ۱۴ و (د) ۱۵ گرینویچ در روز ۲۸ تیر ۱۳۹۴



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

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 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 همدیدی 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،

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 ۳۲ dbz تا ۴۸ ثبت شده و در ساعت ۱۵ گرینویچ در موقعیت جغرافیایی تهران به ۵۶ dbz نیز رسیده که بیانگر وجود ابرهای همرفتی توسعه یافته قائم با محتوای آب قابل بارش زیاد می‌باشد.

نتیجه‌گیری

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. بطوریکه جبهه سرد این سامانه در حدود ساعت ۱۲ گرینویچ در بخش‌هایی از نواحی مرکزی و در حدود ساعت ۱۴ گرینویچ در منطقه غرب تهران فعال

مخاطرات محیطی، ۱۳۹۲.

قویدل رحیمی، یوسف، کاربردهای شاخص‌های ناپایداری جوی برای آشکار سازی و تحلیل دینامیک توفان تندری روز ۵ اردیبهشت ۱۳۸۹ تبریز، فصلنامه فضای جغرافیایی، سال ۱۱، شماره ۳۴: ۱۸۲-۲۰۸، ۱۳۹۰.

لشکری، حسن، الگوی سینوپتیکی بارش‌های شدید جنوب غرب ایران، پایان نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۵.
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.

نوری، حمید، غیور، 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.

Bluestein, H. B., 1993: Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes. Vol II. Oxford Press, 594 pp.

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.

Dmyterko. E. ciesla. A. and Bruchwald .A. (1997) the flood. sylwan.vd .141. Issue 12, pp, 113-125.

El-Samany, M. (2010), Forecasting of Flash Floods Over Wadi Waiter-Sinai Peninsula Using the Weather Research and Forecasting (WRF) Model, Vol 3, Issue 2: 88-95.

Galway, J. G., 1956. The lifted index as a predictor of latent instability. Bulletin of the American Meteorological Society 37, 528-529.

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.

Michalakes, j., Chen, S., Dudhia, J., Hart, L., Klemp,

می‌تواند علاوه بر بارش سنگین، به عوامل دیگری مانند فیزیوگرافی حوضه، مهندسی رودخانه، ساخت و سازهای 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.

منابع

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.

پژوهشکده هواشناسی، ۱۳۸۸، گزارش نهایی پروژه اعمال پیش بینی همدای به مدل WRF، صفحات ۴ و ۷۳.

تاج بخش، سحر، غفاریان، پروین و میرزایی، ابراهیم، ۱۳۸۸، روشی برای پیش بینی رخداد توفان‌های تندری با طرح دو مورد بررسی موردی، مجله فیزیک و فضا، دوره ۳۵، شماره ۴، صفحه ۱۴۷-۱۶۶.

رازدار، بابک، قویدل، آریامن، ذوقی، محمد جواد و پیروز، بهروز، آثار و دلایل وقوع سیلاب های شهری، اولین کنفرانس ملی مدیریت سیلابهای شهری، ۱۳۸۹.

رسولی، علی اکبر، بابائیان، ایمان، قائمی، هوشنگ و زواررضا، پیمان، تحلیل سری‌های زمانی فشار مراکز الگوهای سینوپتیکی موثر بر بارش‌های فصلی ایران، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۷، ۱۳۹۱.

عباسی، محمد، ارزیابی اقدامات فنی آبخیزداری به کمک مدل ریاضی HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه کن استان تهران)، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ص ۳ و ۴، ۱۳۸۸.

قندهاری، شهرزاد مشکواتی، امیر حسین و مزرعه فراهانی، مجید، ۱۳۸۵، بررسی عملکرد موردی مدل میان مقیاس MM5 در شبیه سازی بارش های رگباری، همایش پیش بینی عددی وضع هوا، ۱۳۸۵.

قهرودی تالی، منیژه و مجیدی هروی، آنتیا، آسیب پذیری منطقه ۵ تهران در مقابل سیلاب، دومین کنفرانس بین المللی

- 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.
- Showalter, A. K., 1953: A stability index for thunderstorm forecasting. Bull. Amer. Meteor. Soc. 34. 250-252
- Trentmann, J., Keil, C., Salzmann, 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.
- 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.
- 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.
- J., Middlecoff, J. and Shamarock, W., 2001, Development in Teracomputing, Priceedings of the Iinth ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology, W. Zwiefelhofer and N. Kreitz, Eds., World Scientific, 269-276.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

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

Abbas Ranjbar SaadatAbadi^{1,*}, Sahar Tajbakhsh², Mohammad Moradi²

1- Associate Prof. of Atmospheric Science and Meteorological Research (AS MERC), Tehran, Iran

2- Assistance Prof. of Atmospheric Science and Meteorological Research (AS MERC), Tehran, Iran

*Corresponding Author Email: aranjbar@gmail.com

Received: 27 April 2018, accepted: 16 August 2018

ABSTRACT

The flood of the Kan and Sijan areas in Tehran Province in 19 July 2015, is considered as short-duration convective rainfall leading to flashflooding in an area of about 300 km² due to intense rainfall in a short period of time in small basin area, resulting in the loss of peoples' belongings living in the area. In this paper, one of the devastating floods in Tehran Province is studied from a meteorological perspective, using WRF model and weather patterns. The results of the simulated instability indicators are considered to be suitable for the structure of the atmosphere. The lack of preventative factors of convection created a severe instability and rainfall amounts resulting from the model outputs at the time of the occurrence flood, which is also well simulated by the model. Large-scale atmospheric patterns of 19 July, the existence of the thermal low pressure center of Iran and Tehran area. The gradual expansion of the thermal low pressure to the central areas of the country, and the establishment of the high pressure plumes on the Caspian coast with intense pressure gradient on the central Alborz that are accompanied with the trough of the middle and upper levels of the atmosphere are considered as favorable conditions for the occurrence of extreme precipitation.

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

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Ranjbar SaadatAbadi, A.; Tajbakhsh, S.; Moradi M., (2018). A study of short-duration convective rainfall leads to Flashflood event in Kan and Sijan Regions (Case Study: July 19, 2015). *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 1(2): 163-176.

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/>).

