

واکاوی امکان احتمال به موقع و صدور پیش‌آگاهی لازم در توفان تندری و سیل تیر ۱۳۹۴ تهران برای کاهش آسیب‌پذیری



فاطمه درگاهیان*

عضو هیأت علمی بخش تحقیقات بیابان سازمان جنگل‌ها و مراتع، تهران، ایران

رحمان پرنو (pip_rir@yahoo.com)

کارشناس ارشد هواشناسی استان خوزستان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۲۹ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۶/۳۰)

چکیده

توفان تندری و سیل تیر ۱۳۹۴ تهران، همزمان ۱۰ استان کشور را در بر گرفت؛ بنابراین پدیده‌ای محلی نبود، بلکه در مقیاسی بزرگ و سینوپتیک رخ داد که در گردش عمومی جو و پدیده‌های بزرگ‌مقیاسی مانند تغییرات تاوه قطبی ریشه دارد. در فصل گرم، همزمانی قدرت همرفت و فراهم بودن شرایط دینامیک جو می‌تواند پتانسیل وقوع توفان‌های تندری را فراهم کند. در این تحقیق با استفاده از نقشه‌های پیش‌یابی، اطلاعات ایستگاه جو بالا، شرایط سینوپتیکی و شاخص‌های ترمودینامیک مانند PW, CAPE, SWEAT, LI, TT, K، رخداد توفان تندری ۲۸ تیر ۱۳۹۴ تهران به‌منظور بررسی امکان پیش‌بینی آن واکاوی شد؛ نتایج نشان داد که هم شرایط سینوپتیکی و هم شاخص‌های ترمودینامیکی ایستگاه جو بالا در فرودگاه مهرآباد تهران، پیش‌بینی وقوع سیل با احتمال متوسط به بالا را نشان داده‌اند؛ بنابراین در صورت دسترسی و رصد به موقع نقشه پیش‌یابی هوا و اطلاعات جو بالا و همچنین وجود سیستم هشدار سریع برای اطلاع‌رسانی، توفان‌های تندری به‌ویژه توفان‌هایی که با بارندگی همراه‌اند، پیش‌بینی‌پذیر و کاهش خسارات ناشی از آنها امکان‌پذیر است.

واژه‌های کلیدی: ایستگاه جو بالا، توفان‌های تندری، شاخص‌های ترمودینامیکی، شرایط سینوپتیکی، نقشه‌های پیش‌یابی.

مقدمه

توفان‌های تندری از جمله پدیده‌های جوی هستند که با پیامدهایی همچون سیل، نگرگ، رعدوبرق، وزش باد شدید، گردوغبار و غیره همراه است؛ تحلیل همدیدی رخداد این توفان‌ها نشان می‌دهد [۲،۴،۷،۸]، در صورت دسترسی به منابع رطوبت کافی، آنها می‌توانند سبب بارش سنگین و سیل و در صورت دسترسی نداشتن به رطوبت منجر به توفان گردوغبار شوند و دید را حتی به کمتر از ۵۰ متر برسانند (۱۲ خرداد ۱۳۹۳ تهران) [۷]. در رخداد توفان‌های تندری شرایط دینامیکی و همرفت، همزمان دخالت دارند. بیشتر توفان‌های تندری در منطقه تحقیق (تهران) از اواخر اردیبهشت به بعد رخ داده‌اند؛ زیرا در این موقع از سال فرایند همرفت حاکمیت دارد و مساعد بودن شرایط دینامیکی جو می‌تواند به وقوع آنها کمک کند؛ بنابراین توفان‌های تندری که ماهیت جبهه‌ای و سیستمی داشته باشند، از شدت بیشتری برخوردارند [۱۴]. در زمینه توزیع زمانی و مکانی پدیده توفان تندری، تحقیقاتی به صورت منطقه‌ای در قسمت‌های مختلف کشور انجام گرفته است: در بررسی توفان‌های تندری در تبریز [۵] و اردبیل [۱۲]، بیشترین رخدادها در اردیبهشت و در فصل بهار دیده شد. هرچند در بررسی آماری توفان‌های تندری در کوه‌رنگ، بیشترین فراوانی رخداد توفان در فروردین ماه بود [۱۷]. از نظر تغییرات روزانه، بعدازظهر و اوایل شب، بهترین زمان برای رخداد توفان تندری است؛ زیرا پدیده همرفت با توجه به تغییرات دمای سطح زمین در بعدازظهر به بیشترین شدت خود می‌رسد. بررسی توفان‌های تندری در غرب کشور نیز بیانگر احتمال بیشتر رخداد آن در بعدازظهر و اوایل شب بوده است [۱۸]. علاوه بر مطالعات موردی یادشده که در نقاط مختلف و بیشتر در نیمه غربی کشور انجام گرفته است، تحقیقی جامع در زمینه اقلیم‌شناسی این پدیده در ایالت داکوتای آمریکا صورت گرفت [۲۲]. تحقیقی نیز در ایران در زمینه واکاوی زمانی انواع توفان تندری با استفاده از داده‌های ۴۶ ایستگاه سینوپتیک در یک دوره ۲۳ ساله انجام گرفته که براساس آن توفان تندری متلاطم همراه با باران بیشتر در اردیبهشت و در بعدازظهر رخ می‌دهد [۳]. در زمینه پیش‌بینی این پدیده در داخل و خارج نیز مطالعاتی انجام گرفته است [۱،۱۸،۱۹،۲۰]. بررسی زمان وقوع توفان‌های تندری در منطقه تحقیق نشان داد که این توفان‌ها بیشتر در بعدازظهر و اوایل شب رخ داده‌اند [۹].

بررسی وضعیت اقلیمی در سال ۲۰۱۵ نشان داد که یکی از اثرهای تغییر اقلیم، افزایش رخدادهای حدی اقلیمی از جمله توفان‌های تندری است [۱۹]. این پدیده در مقیاس زمانی کوتاه و سریع شکل می‌گیرد. استفاده از سیستم‌های راداری خودکار در مقیاس چندساعته برای

پیش‌بینی آنها مفید است [۲۴]. مؤسسه همکاری‌های هواشناسی مطالعات ماهواره‌ای دانشگاه ویسکانسین-مدیسون آمریکا تصاویر با کیفیت را درباره زمان واقعی رخداد پدیده توفان تندری شبیه‌سازی می‌کند [۲۵]. از اطلاعات سنجش از دور برای ارزیابی صحت پیش‌بینی پدیده توفان تندری توسط مدل پیش‌بینی عددی WRF^۱ در چین استفاده شده است [۲۶]. در این پژوهش با توجه به امکانات موجود، احتمال توفان تندری ۲۸ تیر ۹۴ در تهران به‌منظور پیش‌بینی به‌موقع آن برای کاهش خسارات جانی و مالی واکاوی شد.

روش تحقیق و تحلیل

به‌منظور واکاوی احتمال پیش‌بینی رخداد توفان تندری ۲۸ تیر ۱۳۹۴ در تهران با توجه به مقیاس سینوپتیکی رخداد توفان و ارتباط آن با اجزای سیستم گردش عمومی جو مانند تاوه قطبی ناوه و جت قطبی و جت جنب حاره نقشه سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال از سایت نوا اخذ شد. در سایت سازمان هواشناسی کشور نقشه‌های زمان واقعی و نقشه‌های پیش‌یابی بر اساس مدل‌های پیش‌بینی عددی موجود، برای سطوح مختلف جو در بازه‌های زمانی ۲۴ تا ۱۶۸ ساعت آینده برای هفت روز موجود است؛ اما چون این نقشه‌ها در مقیاس نیمکره بودند، فایل داده‌ها از سایت انبساط برای ساعت 12UTC قبل از رخداد توفان اخذ و در نرم‌افزار گرس برنامه‌نویسی و به‌صورت نقشه‌های ترکیبی ترسیم شد. در سطح ۲۵۰ میلی‌باری موقعیت تاوه قطبی و همچنین موقعیت جت جنب حاره و جت قطبی بررسی شد. در نقشه ترکیبی سطح ۵۰۰ میلیباری عبور امواج کم‌دامنه تراز میانی جو و مقادیر مربوط به امگا در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال به‌منظور بررسی میزان و شدت ناپایداری نشان داده شد. در سطح ۸۵۰ میلی‌باری فرارفت هوای سرد در ترازهای پایین جو با بررسی نقشه هم‌فشار و هم‌دما، هم‌زمان بررسی شد. در سطح زمین، موقعیت قرارگیری زبانه پرفشار که موجب نفوذ جریانات سرد شمالی شده در برخورد با زبانه کم‌فشار حرارتی گرم و مرطوب تجزیه و تحلیل شد. علاوه‌بر بررسی شرایط سینوپتیکی از شاخص‌های ترمودینامیکی ایستگاه سینوپتیک مهرآباد استفاده شد. نقشه‌های پیش‌یابی پهنه‌بندی‌شده پارامترهای ناپایداری که برای ۲۴ ساعت آینده و تنها برای چهار پارامتر موجود است از سایت نوا^۲ و سایت اداره کل هواشناسی استان خوزستان تهیه شد. داده‌های مربوط به جو بالا و نمودار اسکیتیوی آن از سایت دانشگاه وایومینگ^۳ دریافت شد.

1. weather research and forecasting

2. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/african_desk/cpc_intl/casia

3. weather.uwyo.edu/upperair/indices.html

مقدار این شاخص‌ها در دو نوبت صبح و عصر روز رخداد توفان برای ایستگاه جو بالای فرودگاه مهرآباد استخراج و با جدول مربوط به احتمال رخداد توفان تندی مقایسه شد (جدول ۱). شاخص‌های ناپایداری شامل K^6 ، TT^5 ، LI^4 ، $SWEAT^3$ ، $CAPE^2$ ، PW^1 بودند.

جدول ۱. شاخص‌های ارزیابی میزان ناپایداری و احتمال وقوع توفان

شاخص	شاخص	شاخص	شاخص	شاخص	میزان ناپایداری و احتمال وقوع توفان
CAPE	SWEAT	LI	TT	K	
۰-۱۰۰	۱۵۰-۳۰۰	۰ تا ۲-	۴۴-۵۰	۲۱-۲۵	احتمال وقوع کم
۱۰۰-۲۵۰	۳۰۰-۴۰۰	۳- تا ۵-	۵۱-۵۲	۲۶-۳۰	احتمال وقوع متوسط
۲۵۰-۴۰۰	۴۰۰ و بیشتر	۶-	۵۳-۵۶	۳۱-۳۵	احتمال وقوع زیاد

بحث

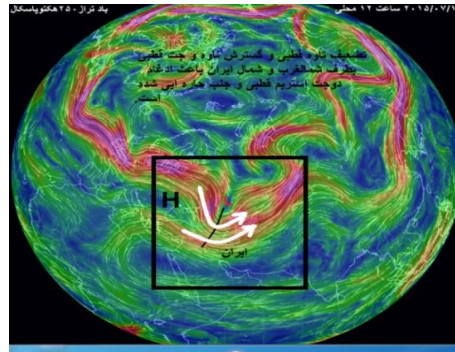
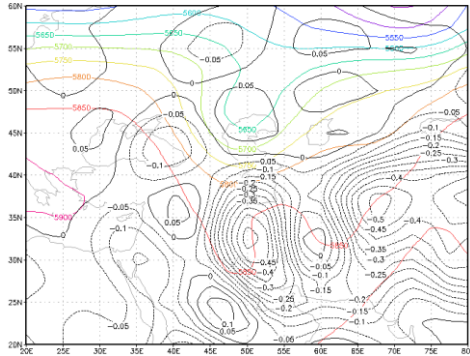
سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال

در شکل ۱ به علت ضعیف شدن تاوه قطبی، نفوذ ناوه و جت قطبی به شمال و شمال غرب ایران و ادغام شدن جت قطبی و جنب حاره، شرایط برای بارش‌های تندی جبهه‌ای و کاهش دما بخصوص در شمال و شمال غرب کشور فراهم شده است. کاهش دما نسبت به بیشینه هفت روز قبل در اردیبهیل ۲۲ درجه و در فرودگاه تبریز ۱۲ درجه کاهش داشت (سازمان هواشناسی کشور) [۹].

سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال (ارتفاع ژئوپتانسیل) و امگای سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال

در شکل ۲، خطوط ممتد ارتفاع ژئوپتانسیل در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و خطوط منقطع مقدار امگا در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۲ UTC را نشان می‌دهد. وجود امواج کم‌دامنه تراز میانی جو در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و مقدار امگای منفی زیاد در منطقه رخداد توفان تندی، ناپایداری شدیدی در روز رخداد توفان را نشان می‌دهد.

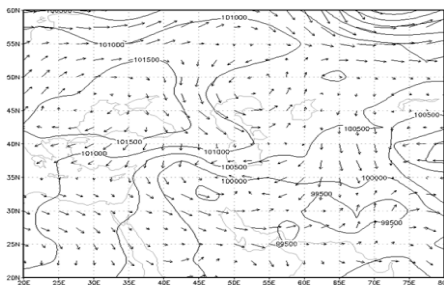
1. Precipitable water
2. Convective Available Potential Energy
3. Severe Weather Threat index
4. Lifted index
5. Totals totals index
6. K index



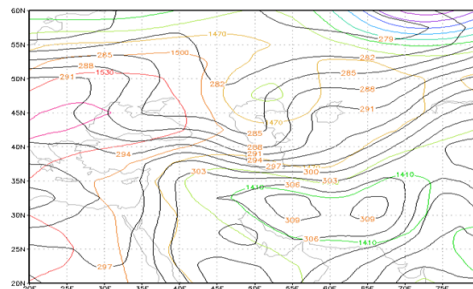
شکل ۲. نقشه ترکیبی سطح ۵۰۰ و امگا در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال 12UTC روز، ۲۸ تیر ۱۳۹۴

شکل ۱. سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال، روز ۲۸ تیر ۱۳۹۴

فرارفت هوای سرد در سطح ۸۵۰ میلی‌باری و بررسی شرایط سطح زمین در منطقه تحقیق، منحنی هم‌ارتفاع و هم‌دما، یکدیگر را قطع کرده‌اند و همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده، درست همان جایی که جریان هوا صعودی و بیشترین سرعت قائم منفی بوده، فرارفت هوای سرد از عرض‌های بالا رخ داده است. در سطح زمین یک کم‌فشار بسته ۹۹۵ هکتوپاسکال حاکمیت دارد که زبانه آن تا عرض‌های بالا و منطقه مورد مطالعه گرما و رطوبت را آورده و موجب رشد ابرهای cb شده است. از عرض‌های بالا زبانه یک مرکز پرفشار تا منطقه تحقیق مطالعه با خود سرمای لازم را آورده است (شکل ۴).



شکل ۴. موقعیت فشار سطح زمین، نقشه ترکیبی فشار و میدان باد، 12UTC روز ۲۸ تیر ۱۳۹۴



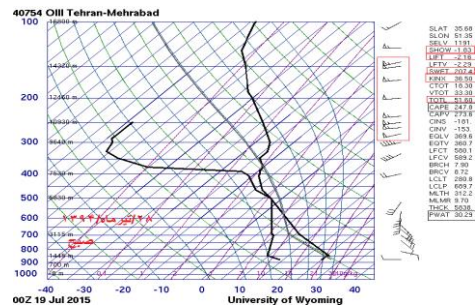
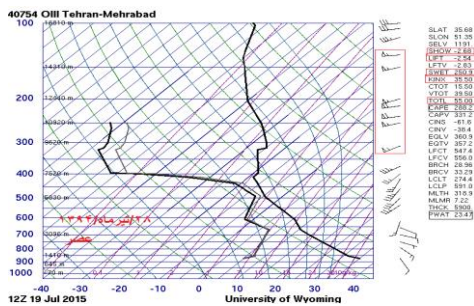
شکل ۳. فرارفت هوای سرد: نقشه ترکیبی دما و فشار سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال 12UTC ۲۸ تیر ۱۳۹۴

بررسی شاخص‌های ترمودینامیکی ایستگاه فرودگاه مهرآباد

بررسی نمودارهای اسکیتوی نوبت‌های صبح و عصر ایستگاه فرودگاه، جهش خوبی را در شاخص‌های ناپایداری نشان می‌دهد (شکل‌های ۵ و ۶).

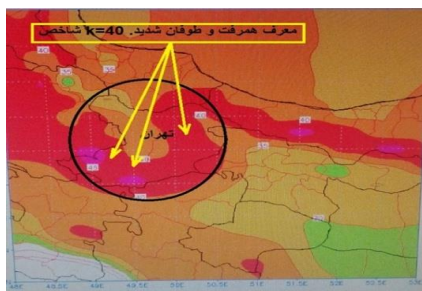
شاخص K

مقدار این شاخص در صبح ۳۶/۵ و در عصر ۳۵/۵ است که پتانسیل یک همرفت متوسط تا شدید، با احتمال ۶۰ تا ۸۰ درصد را نشان می‌دهد. مقدار این شاخص (شکل‌های ۷ و ۸) در برخی از مناطق تهران به ۴۵ رسید که معرف پتانسیل ناپایداری شدید با احتمال ۹۰ درصد است.

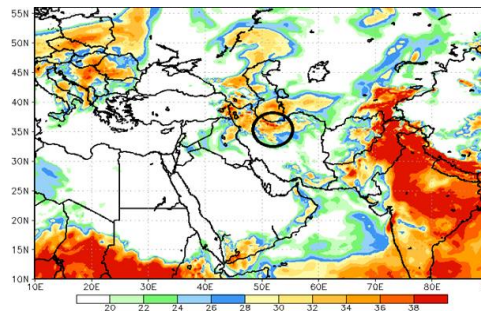


شکل ۶. نمودار اسکیتوی نوبت عصر ایستگاه فرودگاه مهرآباد، روز ۲۸ تیر ۱۳۹۴

شکل ۵. نمودار اسکیتوی نوبت صبح ایستگاه فرودگاه مهرآباد، روز ۲۸ تیر ۱۳۹۴



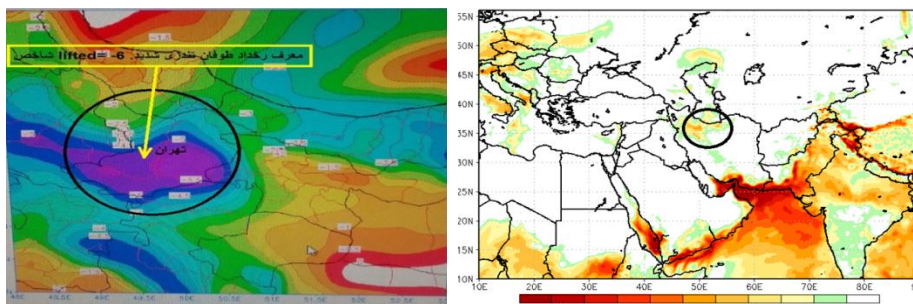
شکل ۸. پیش‌بینی شاخص K در ساعت 00UTC برای 12UTC (هواشناسی خوزستان)



شکل ۷. پیش‌بینی شاخص K در ساعت 00UTC برای 12UTC (سایت نوا)

شاخص LI

مقدار این شاخص در صبح ۲/۱۶- و در عصر ۲/۵۴- است که بیانگر احتمال وقوع توفان متوسط است و در شکل‌های ۹ و ۱۰، که مقدار این شاخص را به طور منطقه‌ای و نه نقطه‌ای نشان می‌دهد، احتمال یک توفان شدید وجود داشته است.



شکل ۱۰. پیش‌بینی شاخص LI در ساعت 00UTC برای 12UTC (هواشناسی خوزستان)

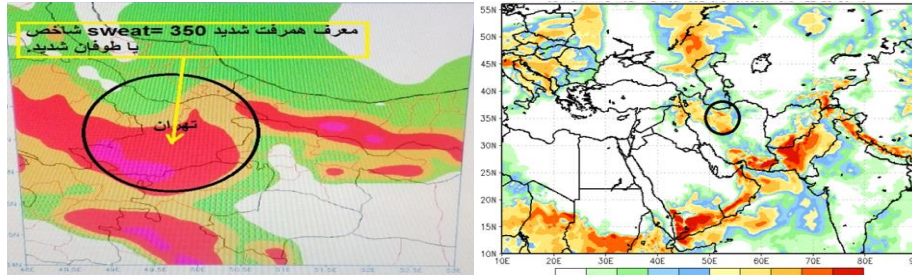
شکل ۹. پیش‌بینی شاخص LI در ساعت 00UTC برای 12UTC (سایت نوا)

شاخص TT

این شاخص در نوبت صبح ۵۲ و در نوبت عصر ۵۵ بود که بیانگر پیش‌بینی احتمال توفان شدید است براساس نقشه پیش‌یابی پهنه‌بندی این شاخص در شکل ۱۱، احتمال رخداد توفان شدید و گسترده را می‌توان پیش‌بینی کرد.

شاخص تهدیدکننده هوای بد (SWEAT Index)

شکل ۱۲، احتمال وقوع توفان fiksfi شدید در تهران را نشان می‌دهد. در نمودار اسکمیوتی مقدار این شاخص در نوبت صبح فرودگاه مهرآباد ۲۰۷/۴ و در نوبت عصر ۲۵۰/۹ بوده است در شکل ۱۲، پهنه‌بندی مقدار این شاخص ۳۵۰ است، درحالی که مقدار آن در غرب تهران بیش از ۴۰۰ است که نشان‌دهنده شدت بیشتر توفان در آن مناطق است.



شکل ۱۲. پهنه‌بندی پیش‌بینی شاخص SAWET ساعت 00UTC برای 12UTC (هواشناسی خوزستان)

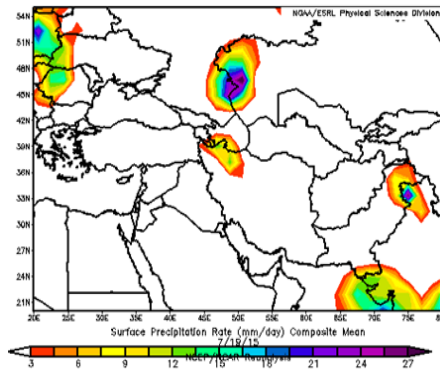
شکل ۱۱. پهنه‌بندی پیش‌بینی شاخص TT ساعت 00UTC برای 12UTC (سایت نوا)

انرژی پتانسیل قابل دسترسی (CAPE)

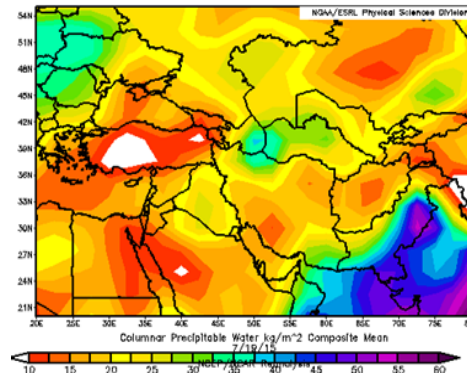
این پارامتر معرف بیشینه انرژی در دسترس برای صعود بسته هوا و رطوبت است. مقادیر آن در نوبت صبح ۲۷۳/۶ و در نوبت عصر ۲۸۸ است که معرف پتانسیل ناپایداری متوسط است.

آب قابل بارش (PW)

هرچه عدد مربوط به آب قابل بارش بر روی یک منطقه بیشتر باشد، مقدار بارش احتمالی نیز بیشتر خواهد بود. مقدار این شاخص در نوبت صبح ۳۰/۲۹ و در نوبت عصر ۲۳/۴۱ است. براساس شکل‌های ۱۳ و ۱۴، منطقه تحقیق بیشترین آب قابل بارش و بارندگی را داشته است.



شکل ۱۴. مقدار بارندگی (میلی‌متر)



شکل ۱۳. مقدار آب قابل بارش (میلی‌گرم بر متر مربع)

نتیجه‌گیری

وقوع توفان‌های تندری جزئی از ماهیت اقلیم کشور ماست که هر ساله در مناطق مختلف خسارات جانی و مالی زیادی را به همراه دارد. رخداد این نوع توفان‌ها در مناطقی مانند تهران به دلیل اهمیت راهبردی و جمعیت زیاد، در مقیاس کلان امنیت سیاسی کشور را با خطر جدی مواجه می‌کند. بیشتر مطالعاتی که در زمینه توفان‌های تندری در کشور انجام گرفته، شاخص‌های دینامیکی و سینوپتیکی در زمان واقعی بررسی کرده [۱۲، ۲، ۴، ۶]، اما در پژوهش حاضر واکاوی احتمال پیش‌بینی آن براساس امکانات موجود، مورد توجه بوده است.

در سطح ۲۵۰ میلی‌باری، گسترش جت قطبی به سمت شمال و شمال غرب ایران و ادغام دو جت قطبی و جنب حاره به وزش باد شدید و ناپایداری زیاد منجر شده است. در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال عبور امواج کم‌دامنه، در سطوح پایین جو به‌ویژه سطح ۸۵۰ میلی‌باری فرارفت هوای سرد، در سطح زمین نفوذ زبانه پرفشار از سمت عرض‌های بالا با عبور از روی دریای خزر که با خود رطوبت لازم و کافی را به همراه آورده و همچنین نفوذ زبانه کم‌فشار از سمت عرض‌های پایین شرایط سینوپتیک را برای رخداد یک توفان تندری متوسط تا شدید پیش‌بینی پذیر کرده است. بررسی آستانه شاخص‌های ناپایداری ایستگاه جو بالای مهرآباد تهران، ناپایداری متوسط تا شدید را نشان می‌دهد. بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی پیش‌یابی این شاخص‌ها برای تهران به‌ویژه غرب آن رخداد یک توفان تندری شدید را پیش‌بینی پذیر کرده است. توفان تندری ۲۸ تیر ۱۳۹۴ تهران یک توفان تندری محلی نبود و در وقوع آن دو سازوکار همرفت و سیستم جبهه‌ای همراهی داشتند. براساس نقشه‌های پیش‌یابی، اطلاعات جو بالا و نقشه‌های پیش‌یابی مربوط به پهنه‌بندی این شاخص‌ها از سایت نوا، رخداد این‌گونه توفان‌های خسارت‌بار و تقریباً بزرگ‌مقیاس را می‌توان پیش‌بینی کرد. با استفاده از تصاویر متنوع راداری و ماهواره‌ای به‌صورت آنلاین و مجهز شدن به امکانات هشدار سریع به‌منظور ارسال اخطاربه‌ها و هشدارهای مرکز پیش‌بینی هوا، در آینده می‌توان توفان تندری را با دقت و احتمال بیشتری پیش‌بینی کرد.

منابع

- [۱]. تاجبخش، سحر؛ غفاریان، پروین؛ میرزایی، ابراهیم (۱۳۸۸). روشی برای پیش‌بینی رخداد توفان‌های تندری، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۲۵ شماره ۴: ۱۶۶-۱۴۷.

- [۲]. ثنایی‌نژاد، سید حسن؛ صالحی، حسن؛ بابائیان، ایمان (۱۳۸۹) تحلیل سینوپتیکی و دینامیکی پدیده‌های همرفتی محلی به‌منظور پیش‌بینی آنها، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران: ۲۳۷-۲۳۴.
- [۳]. خالصی، فریده (۱۳۹۳). واکاوی زمانی توفان‌های تندری در ایران، دوفصلنامه آب و هواشناسی کاربردی سال ۱، شماره ۱: ۶۰-۴۷.
- [۴]. خزایی، مهدی (۱۳۹۳). تحلیل همدیدی توفان‌های تندری مخاطره‌آمیز اصفهان، نشریه دانش مخاطرات، دوره ۱، شماره ۲: ۲۱۵-۲۰۱.
- [۵]. خوشحال دستجردی، جواد؛ قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۶). شناسایی ویژگی‌های سوانح محیطی منطقه شمال غرب ایران (نمونه مطالعاتی خطر توفان‌های تندری در تبریز)، فصلنامه مدرس علوم انسانی، ویژه‌نامه جغرافیا: ۱۱۵-۱۰۱.
- [۶]. خالدی، شهریار؛ خوش‌اخلاق، فرامرز؛ خزایی، مهدی (۱۳۸۹). تحلیل همدیدی توفان‌های تندری سیلاب‌ساز استان کرمانشاه، مجله چشم‌انداز جغرافیایی، سال پنجم، شماره ۱۳: ۴۱-۲۱.
- [۷]. سازمان هواشناسی کشور، اداره کل هواشناسی استان خوزستان و لرستان، ۱۳۹۴، آمار و اطلاعات هواشناسی و نقشه‌های پیش‌یابی.
- [۸]. رسولی، علی‌اکبر؛ جوان، خدیجه (۱۳۹۱). تحلیل روند وقوع توفان‌های رعدوبرقی در نیمه غربی ایران با کاربرد آزمون‌های ناپارامتری، فصلنامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی، سال دوازدهم، شماره ۳۸: ۱۲۶-۱۱۱.
- [۹]. رنجبر سعادت‌آبادی، عباس؛ امینی نفیسه (۱۳۸۹). مطالعه بارش‌های شدید فصل تابستان استان گلستان، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال اول، شماره‌های اول و دوم.
- [۱۰]. رحیمی، بهروز؛ ظهوریان، امیرحسین، تحلیل توفان حبوب ۱۲ خرداد سال ۹۳ در تهران. گزارش علمی اداره کل هواشناسی خراسان رضوی.
- [۱۱]. صادقی حسینی، سید علی‌رضا؛ رضائیان، مهتاب (۱۳۸۵). بررسی تعدادی از شاخص‌های ناپایداری و پتانسیل بارورسازی ابرهای همرفتی منطقه اصفهان، مجله فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۲، شماره ۲: ۹۸-۸۳.
- [۱۲]. صلاحی، برومند (۱۳۸۹). بررسی ویژگی‌های آماری و همدیدی توفان‌های تندری استان اردبیل، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۲: ۱۴۱-۱۲۹.
- [۱۳]. عسگری، احمد؛ محبی، فرشته (۱۳۸۹). مطالعه آماری - همدیدی توفان‌های تندری در استان خوزستان، چهارمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، صص ۱۱۹-۱۱۱.

- [۱۴]. علیجانی، بهلول (۱۳۸۱). آب و هواشناسی سینوپتیک، چ اول، تهران: سمت.
- [۱۵]. قائمی، هوشنگ؛ عدل، محمود (بی‌تا). ناپایداری و توفان‌های رعد و برق، انتشارات آموزش سازمان هواشناسی.
- [۱۶]. قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۹). نگاشت و تفسیر سینوپتیک اقلیم با استفاده از نرم‌افزار Grads، چ اول، تهران: سها دانش.
- [۱۷]. میراحمدی، اکبر (۱۳۹۱). بررسی ویژگی‌های آماری توفان‌های تندی در کوه‌رنگ بختیاری، همایش ملی انتقال آب بین حوضه‌ای: ۶-۱.
- [۱۸]. محمدی، فرشته؛ صلاحی، برومند؛ همتی، رسول (۱۳۹۱). بررسی توفان‌های تندی غرب کشور با رویکرد کاهش خسارات محصولات کشاورزی، همایش ملی توسعه پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک.
- [19]. Jessica Blunden, Derek S. Arndt, 2016, State of the Climate in 2015, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 97, No. 8.
- [20]. Sandy Dance, Elizabeth Ebert, David Scurrah, 2010, Thunderstorm Strike Probability Nowcasting, Journal Atmospheric and Oceanic Technology, Vol. 27, No. 1.
- [21]. Noah A. Lock, Adam L. Houston, 2014, Empirical Examination of the Factors Regulating Thunderstorm Initiation, Monthly Weather Review, Vol. 142, No. 1.
- [22]. Mohee. Faizul M, Miller. Craig. (2010). Climatology of thunderstorm for North Dakota, 2002–06, Meteorology and climatology. 49: 1881-189.
- [23]. Rebecca M. Cintineo, David J. Stensrud, 2013, On the Predictability of Supercell Thunderstorm Evolution, Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 70, No. 7.
- [24]. Sandy Dance, Elizabeth Ebert, David Scurrah, 2010, Thunderstorm Strike Probability Nowcasting Journal Atmospheric and Oceanic Technology, Vol. 27, No. 1.
- [25]. Thomas J. Greenwald, R. Bradley Pierce, Todd Schaack, Jason Otkin, Marek Rogal, Kaba Bah, Allen Lenzen, Jim Nelson, Jun Li, Hung-Lung Huang, 2016, Real-Time Simulation of the GOES-R ABI for User Readiness and Product Evaluation, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 97, No. 2.
- [26]. Xiaohang Wen, Shihua Lu, Jiming Jin, 2012, Integrating Remote Sensing Data with WRF for Improved Simulations of Oasis Effects on Local Weather Processes over an Arid Region in Northwestern China, Journal of Hydrometeorology, Vol. 13, No. 2.
- [27]. <http://weather.uwyo.edu/upperair/indices.html>
- [28]. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/african_desk/cpc_intl/casia