نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی سال ششم شماره بیست و سوم و بیست و چهارم پاییز و زمستان ۱۳۹۴

بررسی عددی توفان‌های تندری توسط مدل WRF- ARW در تهران (۱۰ مطالعه موردی)

غلامرضا دینی‌دوست ، فروزان ارکیان ، عباس رنجبر ، ابراهیم میرزایی

۱- کارشناسی ارشد هواشناسی، سازمان هواشناسی

۲- دکترای هواشناسی، استادیار، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

۳- دکترای هواشناسی، استادیار، پژوهشکده هواشناسی

۴- دانشجوی دکترای هواشناسی، مربی، سازمان هواشناسی

تاریخ وصول مقاله: ۹۴/۰۲/۰۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۰۶/۰۷

چکیده

واژگان کلیدی: تهران، توفان تندری، مدل عددی میان مقیاس ، طرحواره‌های فیزیکی، شاخص‌های ناپایداری

مقدمه

توفان تندري از معدود پديده‌هاي است كه ايمني و سلامت پرواز را در بالاترين درجه به خطر مي اندازد، به بيان ديگر توفان تندري مخرب‌ترين پديده جوي و يك تهديد جدي در هوانوردي مي‌باشد، بنابراين پيش بيني به موقع آن مي‌تواند خسارت‌هاي ناشي از اين پديده را كاهش دهد. اين پديده، ميان مقياس و در برخي موارد خرد مقياس بوده و اغلب مدل‌هاي عددي پيش بيني وضع هوا در پيش بيني آنها دچار مشكل مي‌شوند. از سوي ديگر مقياس زماني و مكاني اين پديده پيش بيني آن را مشكل‌تر نموده است . عدم امكان دسترسي به داده‌هاي جو بالا در بسياري از نقاط كره زمين موجب شده مدل‌هاي پيش بيني عددي از مهمترين ابزارهاي تعيين اين گونه شاخص‌ها باشند . در مطالعه‌اي آستانة شاخص‌هاي ناپايداري براي پيش بيني تگرگ تعيين شده‌اند ( ) و در مطالعه‌اي ديگر نيز با شبيه‌سازي بر روي دو توفان شديد به وسيله طرحواره‌هاي پارامترسازي‌هاي همرفتي مدل نشان داده شد كه طرحواره كومولوس گرل در محاسبه شاخص‌هاي ناپايداري ، ، و نسبت به ديگر طرحواره‌ها عملكرد بهتري دارد و الگوهاي زماني و مكاني بارشها نيز با مشاهدات همخواني مناسبي دارد ( ). اگر چه خطا در تمام طرحواره‌هاي خرد فيزيكي مورد آزمايش وجود دارد ولي بايد به اين نكته اشاره كرد كه برخي از خطاها ممكن است بيشتر به دليل خطاهاي ديگر مدل، مانند انتخاب ديناميك نادرست، تاثيرات لايه مرزي و خطا در ترسيم حركات عمودي باشد( ). همچنين در مطالعه‌اي ديگر، طرحواره تامسون در محاسبه شاخص‌هاي ناپايداري ، و عملكرد بهتري نسبت به ديگر طرحواره‌هاي خرد فيزيك مدل داشته است (. در ايران نيز مطالعاتي در خصوص پيش بيني توفان تندري توسط مدل صورت گرفته است (تاج بخش و همكاران، ۱۳۸۷) و يا به عنوان نمونه بر اساس تحقيقات انجام شده، در شبيه‌سازي بارش‌هاي رگباري جنوب و جنوب غرب كشور مناسب‌ترين طرحواره گرل و طرحواره لايه مرزي يك آدر شناخته شده‌اند (زينده‌داري و همكاران، ۱۳۸۵). اما درخصوص مدل و شاخص‌هاي ناپايداري حاصل از برونداد مدل مطالعات كمتري صورت گرفته است. از اين رو در اين تحقيق ده مورد رخداد توفان تندري در تهران با استفاده از مدل پيشرفته عددي پيش بيني و پژوهش وضع هوا بررسي مي‌شود. از آن جائيكه هدف در اين پژوهش، ارزيابي عملكرد مدل در پيش بيني شرايط ناپايدار در جو مي باشد برخي از شاخص‌هاي ناپايداري از قبيل ، ، شاخص شوالتر ( )، شاخص مجموع مجموعه‌ها ( )، شاخص و انرژي پتانسيل در دسترس همرفتي ( ) انتخاب و توسط برونداد مدل محاسبه مي‌شوند. جهت صحت سنجي مدل در تخمين مقادير شاخص‌ها، از داده‌هاي راديوگمانه نيز استفاده مي‌شود.

مواد و روشها

داده‌هاي مورد استفاده

داده‌هاي مشاهداتي ايستگاه مهرآباد كه در اين تحقيق به كار رفته مربوط مي‌شود به ده مورد توفان تندري كه توسط ديدباني تشخيص، و با كدهاي ۹۵، ۹۶ و۹۷ ثبت شده‌اند.

داده‌هاي جو بالاي ايستگاه مهرآباد براي ده مورد توفان تندري استخراج شد و با توجه به جدول (۱) اين داده‌ها شامل شاخص‌هاي ناپايداري حاصل از نمودارهاي ترموديناميكي در ساعت‌هاي ۰۰ و ۱۲ مي‌باشند. شاخص‌هاي ناپايداري توسط برونداد مدل نيز محاسبه شده و از طريق اين داده‌ها صحت سنجي مي‌شوند.

داده‌های جهانی FNL که دارای قدرت تفکیک یک درجه در راستای طول و عرض جغرافیایی است به عنوان ورودی مدل به کار می‌روند.

تاریخ / شاخص ناپایداری							
۲۰۰۶-٤-۲٦	۰۰	-۰/۱٤	۳۱/۷	٤۹/٤	۰/۳٦	۱۵۵/۹	٤۷/۱۷
	۱۲	-۲/۵٦	۳۳/٤	۵٤/۲	-۱/۵۲	۲۲۱/۳٦	٤٦۲/۲٤
۲۰۰۷-٤-۲۸	۰۰	۲/۱۵	۳۳	٤٦/۵	۱/۸۸	۱٤۹/۱۹	۰
	۱۲	-۳/۳۹	۳۵/۳	۵۵/۲	-۳/۲۹	۲۸٤/۹۱	۷۹۱/۵۸
۲۰۰۷-۵-۱۳	۰۰	۱/۳۲	۲۷/۱	٤٦/٤	۲/۰۱	۱۰٦/۸۵	۰
	۱۲	-۱/۸٤	۲۸/۳	۵۲/٤	-۱/۱۵	۱٦۷/۸۸	۱٦٤/۲۱
۲۰۰۷-٦-۵	۰۰	-۱/٤٤	۳۰/۱	۵۱/٦	-۰/۹۲	۱۷٦/۳	۱۳۵
	۱۲	-۳/۵۹	۳۵/۵	۵۵	-۲/٦۲	۲۳۲/۷	٦۷٤/۵
۲۰۰۹-٤-۳۰	۰۰	۲/۹۱	۲۵/۱	٤۵/۸	۳/۲۲	۱٤۲/۳	۰
	۱۲	-۲/۹۵	۳٦/۸	۵٤/٦	-۲/۹۵	۲۵٦/۱	۵۱۳/٦
۲۰۱۰-٤-۹	۰۰	-۱/۳۷	۳۳/۹٤	۵۳/۲۷	-۱/۳۷	۲۰۵/٦	۱۰٦/۵
	۱۲	-۰/۷۵	۳٤/۲	۵۱	-۰/۲۹	۱۷۷/۸	۱۰۳/٤
۲۰۱۰-٤-۱۸	۰۰	۰/۳۲	۳٤/۵	٤۸/٤	۰/۵۸	۱٦۷/٤	۸۳/۳۲
	۱۲	-۲/۰٤	۳٦	۵٤/٦	-۲/۰۱	۲۰۹/۲	٤۰٦/۲
۲۰۱۲-٦-۳۰	۰۰	-۰/۳۹	۲۹/۷	۵۱/٤	-۰/۷۱	۱۵۲	۱۰/۰۸
	۱۲	-۵/٦۱	٤۱/۳	٦۳/٤	-۷/۸۷	۵۷۵/٦	۱۲۱۱
۲۰۱۲-۷-۱۵	۰۰	-۱/۳۱	۳۳/۹	۵۱/۲	-۱/۲۲	۱۸۷/٦	۳۱/۳۱
	۱۲	-۳/۸٤	٤۰/٤٦	۵٦/۹٦	-۳/۸۸	۳۰۱/۸۳	٤۸۵/۰۸
۲۰۱۳-۵-۱۳	۰۰	-۰/۳٦	۳۰/۳	۵۱	۰/۱۵	۱۰۷/۵۸	۱۹/۷۲
	۱۲	۳/۰۲	۲۱/۵	٤۵/۲	۲/۹٤	۳۸	۰

مدل

سامانه مدل‌سازی پیشرفته یک مدل میان‌مقیاس و سامانه‌ای انعطاف‌پذیر با قابلیت‌های فراوان است که می‌توان وضعیت‌های مختلف جو را با استفاده از آن شبیه‌سازی نمود. این مدل در طی چند سال گذشته در حال توسعه بوده است، مدل مذکور قابل نصب بر روی سامانه‌های مختلف و رایانه‌های شامل خوشه رایانه‌ها می‌باشد، محدوده کاربرد آن بسیار وسیع است و گستره بین چندین متر تا هزاران کیلومتر را تحت پوشش قرار می‌دهد و با استفاده از تغییر حالت‌های متفاوت پارامترسازی‌های فیزیکی موجود در مدل می‌توان گستره وسیعی از اجراها را به انجام رساند (پژوهشکده هواشناسی، ۱۳۸۸). در این تحقیق با تغییر بعضی از پارامترهای فیزیکی سعی به رسیدن به یک طرحواره مناسب جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی توفان تندری شده است. انواع پارامترسازی‌های فیزیکی مدل به چند دسته تقسیم می‌شوند که هر کدام از آنها دارای چند

حالت متفاوت است. دسته‌هاي مذكور شامل پارامترسازي‌هاي فيزيكي مربوط به خرد فيزيك، كومولوس، لايه سطحي، زمين-سطح، لايه مرزي سياره‌اي و تابش جوي هستند.

شاخص‌هاي ناپايداري

شاخص‌هاي ارزيابي پايداري كه به شاخص‌هاي ناپايداري معروف مي‌باشند، روابط تجربي مي‌باشند كه به كمك آنها مي‌توان مناطق ناپايدار جو را تعيين نمود. استفاده از شاخص‌هاي ناپايداري جهت پيش‌بيني توفان‌هاي تندري توده هوا مي‌باشند كه امروزه در جهان مورد توجه بسياري از هواشناسان قرار گرفته‌اند. شاخص بالابري ( )، يكي از مهمترين شاخص‌هاي شناسايي توفان تندري است كه براي ارزيابي ناپايداري بسته هوا در سطوح زيرين ورد سپهر (نزديك سطح زمين) مورد استفاده قرار مي‌گيرد. مقادير منفي نشان از لايه مرزي ناپايدار مي‌باشد و افزايش آن موجب افزايش شناوري منفي شده و به اين ترتيب بسته هوا از لايه مرزي صعود مي‌كند. شاخص شووالتر ( )، براساس ارزيابي شرايط پايداري يا ناپايداري بسته هوا در تراز ۸۵۰ ميلي‌باري تعريف مي‌شود. مقادير منفي اين شاخص نشان مي‌دهد كه بخش‌هاي بالايي لايه مرزي تا ورد سپهر مياني ناپايدار است. در چنين شرايطي همرفت رخ مي‌دهد. شاخص ( )، از اين شاخص براي شناسايي و پيش بيني توفان‌هايي استفاده مي‌شود كه منشاء وقوع آنها توده هوا مي‌باشد. همچنين مي‌توان از آن براي توفان‌هايي كه سازو كارهاي ديناميكي ندارند نيز استفاده نمود. معرف احتمال وقوع توفان به صورت تابعي برحسب آهنگ كاهش قائم دما بين ترازهاي ۸۵۰ و ۵۰۰ هكتوپاسكال ( )، محتواي رطوبت بر حسب دماي نقطه شبنم در تراز ۸۵۰ هكتوپاسكال ( ) و عمق لايه مرطوب در تراز ۷۰۰ هكتوپاسكال ( ) مي‌باشد. شاخص مجموع مجموع‌ها ، شاخصي است كه از ديگر شاخص‌ها به علت تركيب دو شاخص مجموع ديگر، قابل اعتمادتر مي‌باشد. اين شاخص به رطوبت تراز ۸۵۰ هكتو پاسكال بسيار وابسته است. چنانچه ناپايداري در اثر هواي سرد سطوح بالايي جو باشد و در سطوح زيرين جو رطوبت كافي موجود باشد، شاخص مجموع مجموع‌ها بيش از ديگر شاخص‌ها قابل اعتماد مي‌باشد. شاخص تهديدكننده هواي بد ، شاخص تجربي ديگري مي‌باشد كه براي تعيين احتمال وقوع توفان شديد يا ديو بادها بكار مي‌رود. اين شاخص براي شناسايي و تشخيص دوره‌هاي تندري و غير تندري توفان استفاده مي‌شود. شاخص تركيبي از عوامل توسعه و تقويت توفان نظير رطوبت و ناپايداري مي‌باشد. مزيت اين پارامتر استفاده از پارامتر سرعت باد در سطوح زيرين جو است؛ زيرا تنها عامل تعيين كننده دوام پايداري توفان تندري باد مي‌باشد. انرژي پتانسيل در دسترس همرفتي مثبت (+)، معرف شناوري قائم مثبت بسته هوايي است كه بطور بي دررو در حال صعود مي‌باشد. اين پارامتر معرف بيشينه انرژي در دسترس براي صعود بسته هوا و رطوبت مي‌باشد. اين پارامتر به انرژي شناوري نيز معروف است و روي نمودارهاي ترموديناميكي معرف محدوده‌اي است بين نيمايه قائم دماي محيط و رطوبت بي دررو كه تراز همرفت آزاد را به تراز هم ارز مرتبط مي‌سازد. در اين تحقيق، شش شاخص ناپايداري كه از بررسي و برونداد مدل حاصل خواهند شد و مورد استفاده قرار خواهند گرفت در جدول (۲) آورده شده است.

	٤٤
	٣٣
	٠
	٣٠٠
	-٣
	١٠٠٠

میانگین خطاي مطلق و میانگین انحراف خطا

در این تحقیق به منظور تعیین صحت مدل، با توجه به مقادیر حاصل از ٤ پیکربندي ذکر شده و رادیوگمانه، دقت هر پیکربندي از طرحواره‌ها با توجه به معیارهاي آماري میانگین خطاي مطلق ( ) و میانگین انحراف خطا ( ) محاسبه شده‌اند. در تعیین صحت مدل با مقدار صفر آن نشان دهنده صحت ١٠ درصد است و هر قدر مقدار آن از صفر فاصله داشته باشد حاکي از کم شدن صحت مدل است. معیار ارزیابي بیانگر میانگین انحراف است. این معیار علاوه بر دارا بودن علامت مثبت (بیش برآوردي مدل) و یا منفي (کم برآوردي مدل) مقدار انحراف از مقادیر رادیوگمانه را نیز نشان مي دهد.

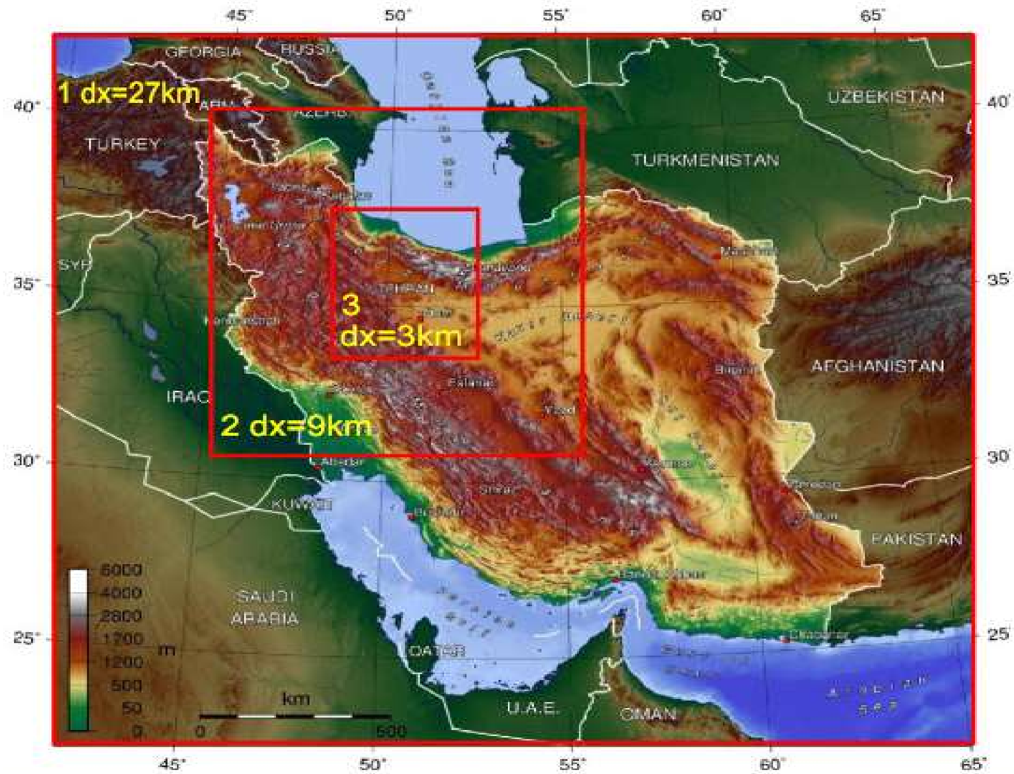
روش تحقیق

در این تحقیق مدل با چهار پیکربندي مختلف و به صورت پیش‌بیني‌هاي ٤٨ ساعته اجرا شده است و گام زماني بین بروندادهاي مدل یک ساعت مي‌باشد. از برخي فراسنج‌هاي بدست آمده از برونداد مدل از قبیل دما، نقطه شبنم و رطوبت نسبي جهت تخمین شاخص‌هاي ناپایداري جو از قبیل شاخص شوالتر ( )، شاخص ، شاخص ، شاخص مجموع مجموعه‌ها ( )، شاخص و انرژي پتانسیل در دسترس همرفتي ( ) استفاده مي‌شود. بدین ترتیب از طریق این شاخص‌ها، پیش آگاهي از شرایط ناپایداري در زمان وقوع توفان صورت مي‌پذیرد. جهت صحت سنجي نتایج مدل، از مقادیر شاخص‌هاي مذکور که حاصل از مشاهدات در ایستگاه مهرآباد مي‌باشند (جدول ٢-١) در ساعت ١٢ استفاده مي‌شود. در شکل (١-٢)، دامنه‌هاي انتخابي و در جدول (٢-٣)، چهار پیکربندي انتخابي براي اجراي مدل آورده شده است.

بحث و نتایج

در این پژوهش ده مورد توفان تندري توسط مدل با چهار پیکربندي از طرحواره‌هاي فیزیکي بررسي شدند و مقادیر شاخص‌هاي ، ، ، ، و توسط مدل براي هر یک از پیکربندیها محاسبه گردید. میانگین خطاي مطلق و میانگین انحراف خطاي هر یک از شاخص‌ها محاسبه شده است (جدول ٣-١). با توجه به نتایج، پیکربندي سوم با پارامترسازي‌هاي فیزیکي شامل خرد فیزیک ، کومولوس (همرفت) ، لایه مرزي ، تابش جوي بلند و کوتاه ، زمین سطح و لایه سطحي در بررسي و پیش بیني توفان‌هاي تندري در ایستگاه

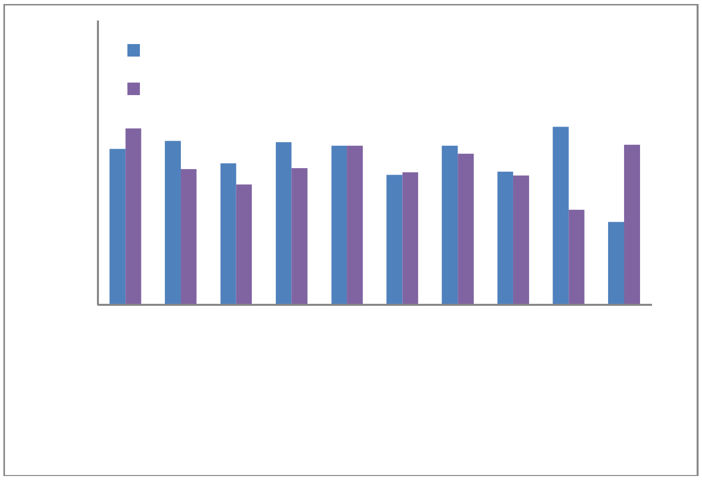
هران- مهرآباد، مقادير دقيقتري را براي شاخص‌هاي مذكور ارائه كرده است. بنابراين در ادامه جهت ارزيابي توانايي مدل در شناسايي شرايط ناپايدار در محيط از رويداد حاصل از اين طرح‌واره استفاده مي‌شود.



پارامترسازي هاي فيزيكي		پيكربندي ۱	پيكربندي ۲	پيكربندي ۳	پيكربندي ۴
ميانگين خطاي مطلق ( )		۳/۶۸	۴/۰۵	۳/۳۳	۳/۵۶
		۵	۵/۳۶	۴/۳۷	۴/۰۹
		۲/۵۳	۲/۶۳	۲/۲	۲/۱
		۲/۸۵	۲/۷۵	۲/۵۵	۲/۵۹
		۸۶/۲۲	۸۸/۸۱	۸۵/۹۸	۸۰/۴۸
		۲۹۵/۳	۳۰۹/۷	۳۲۱/۱	۲۶۰
پارامترسازي هاي فيزيكي		پيكربندي ۱	پيكربندي ۲	پيكربندي ۳	پيكربندي ۴
ميانگين انحراف خطا ( )		- ۰/۹۲	- ۱/۷۷	- ۰/۸۷	- ۱/۷۲
		- ۲/۱۶	- ۱/۷۲	- ۱/۰۳	- ۱/۷۷
		۰/۸۸	۱/۳۱	۰/۹۹	۱/۴
		۱/۰۹	۱/۴۹	۰/۹۹	۱/۹۹
		۴۷/۶۸	۴۶/۸۹	۴۲/۵۴	۳۶/۷۴
		-۸۷/۵	-۱۷۱/۳	-۳۶/۱	-۱۷۸

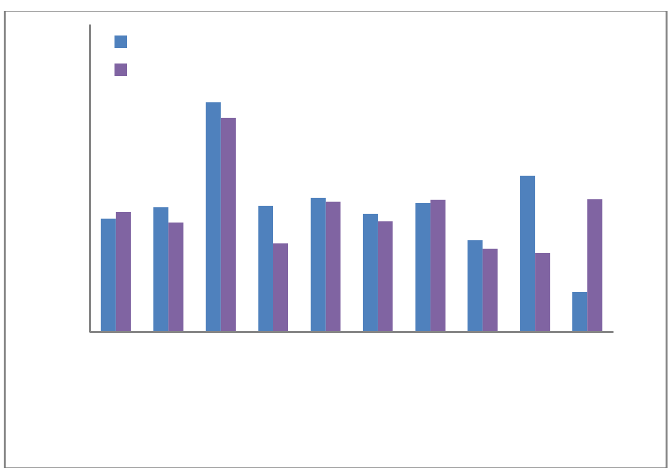
شاخص

با توجه به شكل (۳-۱)، تخمين مقدار شاخص در ساعت ۱۲ توسط مدل، براي تمام موارد توفان به صورت پايين برآورد صورت گرفته است كه به طور كلي داراي ميانگين انحراف خطا ۰/۸۷- مي‌باشد. بر طبق آستانه هاي تعريف شده در دو مورد احتمال رخداد ضعيف توفان، در هفت مورد احتمال رخداد متوسط و در يك مورد نيز احتمال شديد توفان را پيش بيني مي‌كند. در اين ساعت شاخص با ميانگين خطاي مطلق ۳/۳۳ در تمام توفان ها با پيش برآوردي مدل همراه است و راديوگمانه ها نيز در شش مورد احتمال رخداد متوسط توفان را بيان مي‌كنند. در اين ساعت در دو مورد مدل با راديوگمانه ها در شبيه سازي و پيش بيني توفان اختلاف قابل توجهي داشته است. در توفان دهم، راديوگمانه با مقدار ۵۶/۹ نسبت به مدل با مقدار ۴۶/۶ در وضعيت خوبي است ولي در توفان دهم، شاخص حاصل از راديوگمانه ها با مقدار ۴۵/۲ نسبت به مقدار ۵۱/۷ حاصل از برونداد مدل، عملكرد خوبي نداشته است.



شاخص

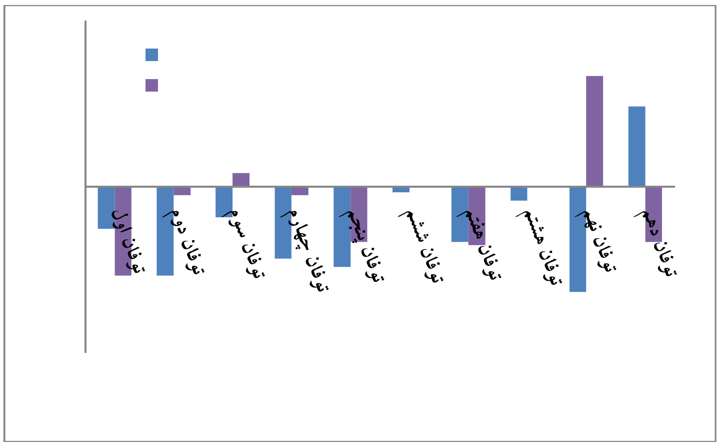
همانطور که در شکل (۳-۲) مشاهده می‌شود، مقدار شاخص در این ساعت توسط مدل، برای هفت مورد توفان به صورت پایین برآورد صورت گرفته است که به طور کلی دارای میانگین انحراف خطا ۱/۰۳- می‌باشد و این شاخص در یک مورد با احتمال رخداد ۱۰۰% توفان، در سه مورد با احتمال رخداد ۸۰ تا ۹۰%، در سه توفان با احتمال رخداد ۶۰ تا ۸۰% و در سه مورد نیز با احتمال رخداد ۴۰ تا ۶۰% توفان را پیش بینی می‌کند. در این ساعت شاخص با میانگین خطای مطلق ۴/۳۷ در سه توفان با بیش برآوردی مدل همراه است و رادیوگمانه نیز در دو توفان با احتمال رخداد ۱۰۰% ، در سه مورد با احتمال رخداد ۸۰ تا ۹۰%، در سه توفان با احتمال رخداد ۶۰ تا ۸۰% و در سه مورد نیز احتمال رخداد ۴۰ تا ۶۰% توفان را بیان می‌کند. در این ساعت در دو مورد مدل با رادیوگمانه در شبیه‌سازی و پیش بینی توفان اختلاف قابل توجهی داشته است. در توفان نهم، رادیو گمانه با مقدار ۴۰/۴ نسبت به مدل با مقدار ۲۷/۸ در وضعیت خوبی است ولی در توفان دهم، شاخص حاصل از رادیوگمانه با مقدار ۲۱/۵ نسبت به مقدار ۳۶/۶ حاصل از برونداد مدل، عملکرد خوبی نداشته است.



شاخص

در شكل (۳-۳) برآورد شاخص در ساعت ۱۲ توسط مدل، براي هفت مورد طوفان به صورت يافتني برآورد صورت گرفته است كه به طور كلي داراي ميانگين انحراف خطا ۰/۹۹ مي‌باشد. بر اين اساس در هفت مورد احتمال رخداد ضعيف تا متوسط طوفان و در دو مورد نيز احتمال رخداد جوي پايدار را پيش بيني مي‌كند. در اين ساعت شاخص با ميانگين خطاي مطلق ۲/۲ در سه طوفان با پيش برآوردي مدل همراه است و راديوگمانه‌ها نيز در

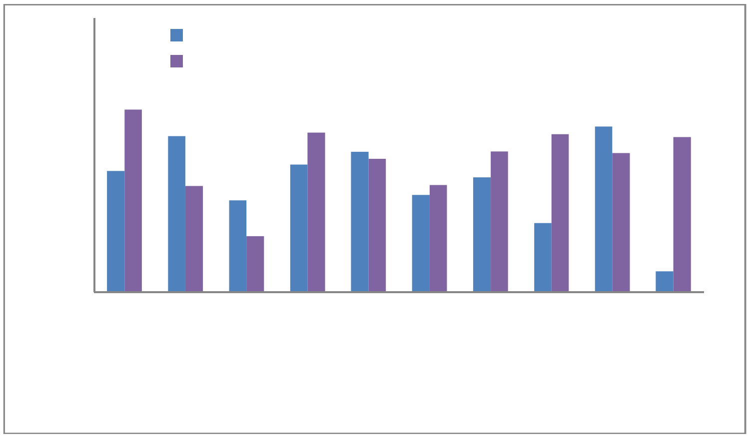
مورد احتمال رخداد ضعيف تا متوسط طوفان را بيان مي‌كند و در يك مورد نيز احتمال رخداد جوي پايدار را پيش بيني مي‌كند. در اين ساعت در دو مورد مدل با رادیوگمانه‌ها در شبيه سازي و پيش بيني طوفان اختلاف فاز توجهي داشته است. در طوفان نهم، رادیو گمانه‌ها با مقدار -۳/۸ نسبت به مدل با مقدار ٤ در وضعيت خوبي است ولي در طوفان دهم، شاخص حاصل از رادیوگمانه‌ها با مقدار ۲/۹ نسبت به مقدار -۲ حاصل از برونداد مدل، عملكرد خوبي نداشته است.



شاخص

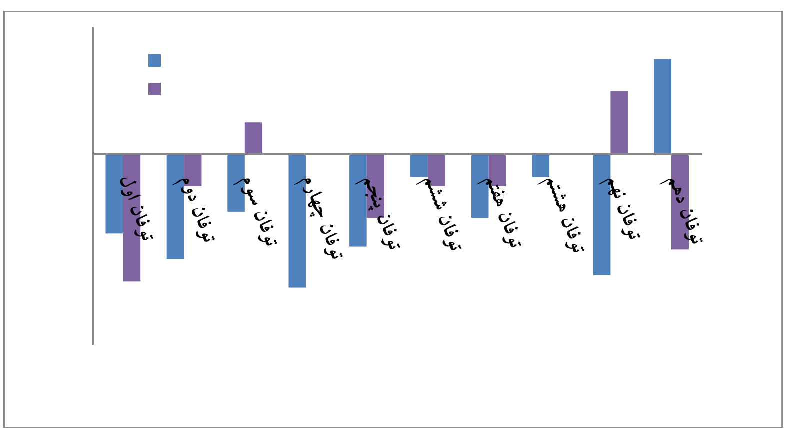
همانطور كه در شكل (۳-٤) مشاهده مي‌شود، تخمين مقدار شاخص در ساعت ۱۲ توسط مدل، براي چهار مورد طوفان به صورت يافتني برآورد صورت گرفته است كه به طور كلي داراي ميانگين انحراف خطا ٤۲/٥٤ مي‌باشد و در يك مورد احتمال رخداد متوسط طوفان، در هفت مورد احتمال رخداد ضعيف و در يك مورد هم جوي پايدار را پيش بيني مي‌كند. در اين ساعت شاخص با ميانگين خطاي مطلق ۸٥/۹۸ در شش طوفان با پيش برآوردي مدل همراه است و رادیوگمانه‌ها نيز در

يك مورد احتمال رخداد متوسط طوفان، در هفت مورد نيز احتمال رخداد ضعيف و در دو مورد هم جوي پايدار را پيش بيني مي‌كند. در اين ساعت در دو مورد مدل با رادیوگمانه‌ها در شبيه سازي و پيش بيني طوفان اختلاف فاز توجهي داشته است. در طوفان هشتم، رادیو گمانه‌ها با مقدار ۱۲٦ نسبت به مدل با مقدار۲۸۸/٤ و در طوفان دهم نيز شاخص حاصل از رادیوگمانه‌ها با مقدار ۳۸ نسبت به مقدار ۲۸۲/٦ حاصل از برونداد مدل، وضعيت خوبي نداشته است و مدل در شبيه سازي و پيش بيني طوفان عملكرد بهتري داشته است.



شاخص

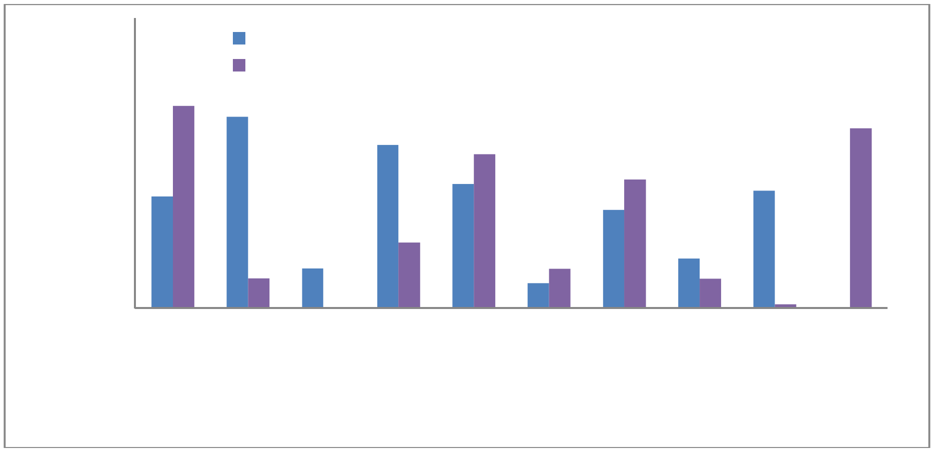
در شكل (٥-٣) در ساعت ١٢ شاخص با ميانگين خطاي مطلق ٢/٥٥ در هفت طوفان با بيش برآوردي مدل همراه است و براي مقدار شاخص در همين ساعت توسط مدل، براي سه مورد طوفان به صورت پايين برآورد صورت گرفته است كه به طور كلي داراي ميانگين انحراف خطا ٠/٩٩ مي‌باشد. براين اساس در دو مورد احتمال رخداد ضعيف يا متوسط طوفان، در شش مورد احتمال رخداد رگبار و در دو مورد نيز احتمال رخداد جوي پايدار را پيش بيني مي‌كند و راديوگمانه نيز در سه طوفان احتمال رخداد ضعيف يا متوسط، در شش مورد احتمال رخداد رگباران و در يك مورد نيز احتمال رخداد جوي پايدار را پيش بيني مي‌كند. در اين ساعت در دو مورد مدل با راديوگمانه در شبيه سازي و پيش بيني طوفان اختلاف قابل توجهي داشته است. در طوفان هفتم، راديو گمانه با مقدار -٣/٨ نسبت به مدل با مقدار ٢ در وضعيت خوبي است ولي در طوفان دهم، شاخص حاصل از راديوگمانه با مقدار ٣ نسبت به مقدار -٣ حاصل از برونداد مدل، عملكرد خوبي نداشته است.



شاخص

همانطور كه در شكل (٦-٣) مشاهده مي‌شود تخمين مقدار شاخص در ساعت ١٢ توسط مدل، براي پنج مورد طوفان به صورت پايين برآورد صورت گرفته است كه به طور كلي داراي ميانگين انحراف خطا ٣٦/١- مي‌باشد. براين اساس در چهار مورد احتمال رخداد ضعيف طوفان، در

شش مورد نيز احتمال رخداد جوي بارز را پيش بيني مي‌كند. در اين ساعت شاخص با ميانگين خطاي مطلق ۳۲۱/۱ در پنج توفان با پيش برآوردي مدل همراه است و رادیوگمانه‌ها نيز در شش مورد احتمال رخداد ضعيف توفان و در چهار مورد نيز احتمال رخداد جوي بارز را پيش بيني مي‌كنند. در اين ساعت در دو مورد مدل با رادیوگمانه‌ها در شبیه سازي و پيش بيني توفان اختلاف قابل توجهي داشته است. در توفان نهم، رادیو گمانه‌ها با مقدار ۴۸۵ نسبت به مدل با مقدار ۱۵ در وضعيت خوبي است ولي در توفان دهم، شاخص حاصل از رادیوگمانه‌ها با مقدار ۰ نسبت به مقدار ۷۴۴ حاصل از برونداد مدل، عملكرد خوبي داشته است.



نتيجه گيري

بررسي و پيش بيني توفان تندري همواره از موضوعات مورد توجه پيش بيني‌ها در مركز پيش بيني سازمان هواشناسي مي‌باشد، بنابراين پيش بيني به موقع آن مي‌تواند خسارت‌هاي ناشي از اين پديده را كاهش دهد. از اين رو در اين مقاله به بررسي و مطالعه ده مورد توفان تندري به كمك برخي شاخص هاي ناپايداري حاصل از برونداد مدل پرداخته شد. با توجه به نتايج، بيشتر كميت‌هاي از طرح‌واره‌هاي فيزيكي شامل خرد فيزيك: ، كومولوس (همرفت): ، لايه مرزي: ، تابش جو بلند: و كوتاه: ، زمين سطح: و لايه سطحي: در بررسي و پيش بيني توفان‌هاي تندري در ايستگاه مهرآباد، مقادير دقيق‌تري را براي شاخص‌هاي ناپايداري ارائه كرده است، به طوري كه شاخص حاصل از برونداد مدل در ساعت ۱۲ در ۳۰% موارد احتمال رخداد توفان شديد، ۶۰% توفان متوسط و در ۱۰% نيز رخداد توفان ضعيف را پيش بيني نموده است. در همين ساعت شاخص از ده مورد توفان، يك مورد را با ۱۰۰% احتمال رخداد، سه مورد را با ۸۰ % احتمال رخداد، سه مورد را با ۷۵% احتمال و در سه مورد ديگر را نيز با ۵۵% احتمال رخداد توفان پيش بيني كرده است. شاخص نيز در ۳۰% موارد احتمال رخداد ناپايداري متوسط، در ۴۰ % احتمال ناپايداري ضعيف و در ۲۰% موارد نيز احتمال رخداد جوي بارز را در ساعت ۱۲ پيش بيني مي‌كند. شاخص حاصل از برونداد مدل در ساعت ۱۲ نيز در ۲۰% موارد احتمال رخداد متوسط توفان، در ۶۰% احتمال ضعيف رگبار باران و در ۲۰% نيز احتمال جوي بارز و در همين ساعت شاخص در ۴۰% موارد احتمال ضعيف توفان و در ۶۰% نيز احتمال رخداد جوي بارز را پيش بيني كرده است. در مورد شاخص با توجه به نتايج به نظر مي‌رسد از اين شاخص

براي بررسي توفانهاي بسيار شديد استفاده ميشود كه البته نياز به مطالعه بيشتري در اين خصوص دارد.

منابع