

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۵/۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۶/۱۰

## تحلیل زمانی مکانی روند شمار روزهای طوفانهای تندری در ایران زمین

محمد دارند\*

استادیار اقلیم‌شناسی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان

مهتاب نریمانی، ژیلا شریعتی، شرمین نامداری

دانشجوی کارشناسی اقلیم‌شناسی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان

### چکیده

برای انجام این پژوهش از داده‌های ماهانه‌ی شمار روزهای همراه با طوفانهای تندری مربوط به ۵۰ ایستگاه همدید ایران زمین طی بازه‌ی زمانی ۱۹۸۰/۱ تا ۲۰۱۰/۱۲ استفاده شد. یک پایگاه داده گاه‌جای در ابعاد ۳۷۲×۵۰ ایجاد شد که بر روی سطرها زمان (ماهها) و بر روی ستونها مکان یا ایستگاههای همدید مورد واکاوی قرار داشت. برای واکاوی وردایی شمار روزهای همراه با طوفانهای تندری از آزمون ناپارامتریک من کندال بهره گرفته شد. معناداری روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد آزمون شد. جهت برآورد نرخ وردایی از تحلیلگر شیب سن بهره بردیم. یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که بسامد روزهای همراه با طوفانهای تندری ایران زمین وردایی معناداری را طی دوره‌ی مورد واکاوی تجربه کرده‌اند. در اغلب ماههای سال، بسامد رخداد این مخاطره‌ی جوی بر روی ایستگاههای همدید افزایش یافته است. روند افزایشی اغلب ایستگاههای واقع در شمال غرب، غرب، شمال و شمال شرق کشور در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار است. گستره و نرخ افزایش بسامد روزهای همراه با طوفانهای تندری در فصل بهار نسبت به سایر فصول دیگر سال بیشتر است. برخلاف سایر ماههای دیگر سال در ماه مارس اغلب ایستگاههای نیمه‌ی غربی کشور روند کاهشی معناداری را تجربه کرده‌اند. به نظر می‌رسد که دلیل وردایی مشاهده شده در بسامد رخداد این پدیده‌ی فرین جوی ناشی از وردایی کنش سامانه‌های همدید مقیاس موثر بر اقلیم ایران زمین است. افزایش کنش و اچرخندی سامانه‌ی سیبری در فصل بهار

و تابستان منجر به شرایط دگر فشار بر روی نیمه‌ی شمالی کشور می‌شود و افزایش رخنمود طوفانهای تندری را برای این بخش از گستره‌ی ایران زمین در پی خواهد داشت. همچنین کاهش بسامد رخداد طوفانهای تندری در ماه مارس نیز ناشی از کاهش کنش چرخندی سامانه‌های سودانی و مدیترانه‌ای در این ماه از سال است.

**کلمات کلیدی:** طوفانهای تندری، وردایی، آزمون ناپارامتریک، ایران.

### پیشگفتار

با وجود اینکه طوفانهای تندری مقیاس محلی دارند ولی گونه‌های شدید رخداد این پدیده همراه با بارش سنگین، تگرگ، تندبادهای شدید یا تورناوهای هستند که می‌توانند منجر به خسارات قابل توجهی در بخش کشاورزی، سازه‌ها یا تسهیلات زیرساختی و غیره شوند. اگر از نگاه گرمایش جهانی به این پدیده بنگریم پرسشی که مطرح می‌شود آن است که آیا شواهدی وجود دارد که نشان دهد بسامد رخداد و شدت طوفانهای تندری افزایش یافته‌اند یا خیر؟.

نویسنده مسئول: محمد دارند، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان، darand\_mohammad@yahoo.com

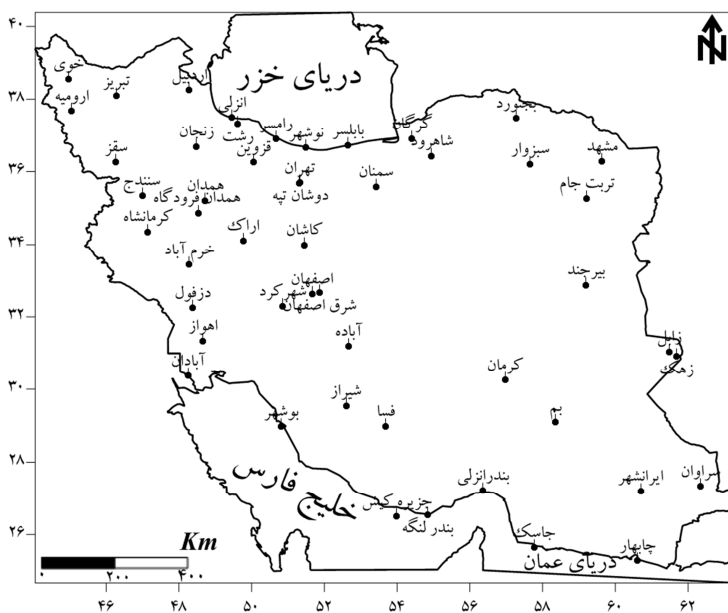
هوای مرطوب در یک مکان به دلیل ناپیکنواختی در گرمایش سطحی ناپایدار شود و در راستای عمودی صعود کند، یا به دلیل نقش مانع توپوگرافی نظیر یک کوه یا رشته کوه صعود اوروگرافیک داشته باشد و یا به دلیل حضور یک جبهه هوا در منطقه صعود کند. پژوهشهای متعددی طی سالهای اخیر توسط پژوهشگران مختلف بر روی وردایی شدت، بسامد و دلیل رخداد آنها در جهان انجام شده است. برای نمونه دیویس و والش (۲۰۰۸) بسامد شمار روزهای همراه با رخداد طوفانهای تندری جنوب شرق استرالیا را مطالعه کردند. یافته‌های آنها نشان داد که طی دوره آماری مورد واکاوی ۲۰۰۴-۱۹۴۱ بسامد روزهای همراه با طوفانهای تندری افزایش معنادار را از خود نشان می‌دهند. رابینسون و همکاران (۲۰۱۳) پراکنش مکانی زمانی طوفانهای تندری شدید را به کمک روش‌های ریزمقیاس نمایی دینامیکی با تفکیک مکانی بالا را واکاوی کردند. برخلاف یافته‌های حاصل از مدل‌سازی‌ها، روند معناداری در بسامد رخداد طوفانهای تندری برپایه‌ی مشاهدات ثبت شده طی بازه‌ی زمانی ۳۰ ساله‌ی ۲۰۰۹-۱۹۹۰ مشاهده می‌شود. همچنین هماهنگی با یافته‌های حاصل از مدل‌سازی‌ها، هیچ‌گونه روند معناداری در شرایط محیطی که شکل‌گیری طوفانهای تندری را ایجاد می‌کنند، مشاهده نشد. ماندلا و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که بین بسامد رخداد چرخندهایی که از جنوب وارد کشور ایستونیا در شمال شرق اروپا می‌شوند و طوفانهای تندری ارتباط معناداری وجود دارد. همچنین شدت و بسامد طوفانهای تندری ناشی از چرخندهای جنوبی بیشتر از سایر طوفانهای تندری است که در منطقه رخنمود دارند. بر پایه‌ی یافته‌های یانگ و لی (۲۰۱۴) ارتباط معناداری بین بسامد و شدت طوفانهای تندری با آلودگی هوا در کشور چین وجود دارد. گال و همکاران (۲۰۱۴) به واکاوی زمانی مکانی شدت و بسامد رخداد طوفانهای تندری سوئیس پرداختند. نتایج حاصل از بکارگیری روش ناپارامتریک آماری من کندال بر روی سری زمانی بسامد رخداد طوفانهای تندری نشان داد

اگرچه به باور برخی پژوهشگران افزایش بسامد روزهای همراه با طوفانهای تندری نمایه‌ی خوبی جهت شناخت وردایی رخداد‌های فرین اقلیمی و تأیید گرمایش جهانی است (بولتن اقلیمی نیجریه، ۲۰۱۱) ولی پاسخ به این پرسش مشکل است چرا که سامانه‌های پایش سطح زمین در حال حاضر هنوز آنقدر ریز نیستند تا رخداد‌های همرفتی را ضبط و ثبت کنند. تکنیک‌های سنجش از دوری نیز هنوز قادر به شناسایی دقیق اینگونه رخدادها نیستند (کانز و همکاران، ۲۰۰۹). در گزارش‌های سال ۲۰۰۷ و ۲۰۱۲ هیأت بین دول تغییر اقلیم نیز آمده است که به دلیل ناهمگنی داده‌ها و سامانه‌های نامناسب پایش طوفانهای تندری، تورنادوها و تگرگ که در مقیاس مکانی کوچک رخ می‌دهند، اعتماد به روند مشاهده شده اینگونه پدیده‌های کوچک مقیاس، پایین است (هیأت بین دول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷؛ ۲۰۱۲). یکی از راههای گریز از این مشکل واکاوی ارتباط بین رخداد طوفانهای تندری با شرایط جوی بزرگ مقیاس است. وردایی شرایط جوی هم‌مدید مقیاس با این پیش فرض که نقش مستقیمی بر شدت یا بسامد شمار روزهای همراه با طوفانهای تندری دارند، می‌تواند روش مناسبی باشد. اگرچه سازوکارهای دقیق طوفانهای تندری بسیار پیچیده هستند و هنوز کاملاً شناخته نشده‌اند ولی بطور کلی برای رخداد آنها شرایط زیر قبل از رخداد آنها در محیطی که استعداد پدیده‌ی همرفت دارد باید وجود داشته باشد: الف) ناپایداری جوی، ب) رطوبت در ترازهای پایین جو و ج) یک مکانیسم صعود بسیار شدید و قوی (دوس ویل، ۱۹۸۷؛ هوضه، ۱۹۹۳). دو شرط الف و ب را می‌توان با بکارگیری نمایه‌هایی که پتانسیل همرفتی جو را منعکس می‌کنند، واکاوی و شناسایی کرد. در بسیاری از پژوهش‌های انجام شده بر روی طوفانهای تندری از این نمایه‌ها که بر پایه‌ی دما، دمای نقطه‌ی شبنم در ترازهای مورد نظر و برخی اوقات نیروی محرکه‌ی حاصل از چینش باد هستند، استفاده شده است. بطور کلی در یک دسته‌بندی کلی هنگامی یک طوفان تندری شکل می‌گیرد که

## داده و روش‌شناسی

برای انجام این پژوهش داده‌های بسامد رخداد روزهای همراه با طوفانهای تندری بر روی ۵۰ ایستگاه همدید ایران زمین طی بازه‌ی زمانی ۱۹۸۰/۱ تا ۲۰۱۰/۱۲ استفاده شد. شکل ۱ موقعیت مکانی ایستگاههای همدید مورد واکاوی در این پژوهش را نشان می‌دهد. یک پایگاه داده زمان مکان در ابعاد ۳۷۲×۵۰ ایجاد شد که بر روی سطرها زمان (ماهها) و بر روی ستونها مکان یا ایستگاههای همدید مورد واکاوی قرار داشت. برای شناخت وردایی شمار روزهای همراه با طوفانهای تندری از آزمون ناپارامتریک من کندال بهره گرفته شد. معناداری روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد آزمون شد. جهت برآورد نرخ وردایی از تحلیلگر شیب سن بهره بردیم

که بر روی ۲۰ درصد پیمونگهای مورد واکاوی روند افزایشی معناداری طی دوره‌ی ۳۰ سال گذشته مشاهده می‌شود. در ایران زمین نیز پژوهش‌هایی بر روی طوفانهای تندری انجام شده است که برای نمونه می‌توان به حجازی‌زاده (۱۳۷۹)، خوشحال و قویدل رحیمی (۱۳۸۶)، برومند (۱۳۸۹)، عسگری و محبی (۱۳۸۹) و خالصی (۱۳۹۳) اشاره کرد. هدف از انجام این پژوهش پاسخ به پرسش‌های زیر است. آیا بسامد رخداد طوفانهای تندری ایران زمین طی دوره‌ی مورد واکاوی وردایی معناداری را تجربه کرده‌اند؟ پراکنش مکانی وردایی بسامد رخداد طوفانهای تندری ایران به چه صورت است؟ به لحاظ زمانی در کدامیک از ماههای سال گستره و نرخ وردایی بیشتری مشاهده می‌شود؟ نرخ وردایی بسامد رخداد اینگونه روزها بر روی گستره‌ی ایران زمین چقدر است؟



شکل (۱): موقعیت مکانی ایستگاههای همدید مورد واکاوی در این پژوهش

مقابل وجود روند استفاده می‌گردد. کاربرد این روش توسط سازمان جهانی هواشناسی توصیه شده است. مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر می‌باشد:

گام اول محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با یکدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر  $S$  به صورت زیر:

آزمون ناپارامتریک من کندال توسط من در سال ۱۹۴۵ ارائه و سپس توسط کندال در سال ۱۹۴۸ بسط و گسترش یافت. این آزمون را می‌توان بر روی یک سری زمانی که نرمال نیست و از هیچ توزیع خاصی پیروی نمی‌کند برآزش داد. از این روش برای آزمون فرض تصادفی بودن توالی داده‌ها در

تأیید می‌شود که  $Z > Z_{\alpha/2}$  یا  $Z < -Z_{\alpha/2}$  باشد (گان<sup>۱</sup>)، اگر  $Z$  کوچکتر از صفر باشد، روند منفی سری زمانی طوفانهای تندری بر روی ایستگاه مورد نظر را تأیید می‌کنیم و در صورتی که  $Z$  بزرگتر از صفر باشد، روند مثبت سری زمانی را رد نمی‌کنیم. برای برآورد نرخ وردایی از تخمینگر شیب سن بهره گرفته شد. این آزمون یک روش ساده ناپارامتریک است که توسط سن در سال ۱۹۶۸ ارائه شد. اگر مدل خطی  $f(t)$  به صورت زیر باشد.

$$f(t) = Qt + B \quad (۶)$$

که  $Q$  شیب و  $B$  ثابت و عرض از مبدأ است. جهت محاسبه‌ی شیب  $Q$ ، شیب همه‌ی جفت داده‌ها به کمک رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$Q_i = \frac{(x_j - x_k)}{j - k}, i = 1, 2, \dots, N, j > k \quad (۷)$$

اگر سری زمانی  $X$  دارای  $n$  مقدار باشد، تعداد شیب‌های محاسبه شده  $Q$  برابر با  $N = n(n-1)/2$  خواهد بود. تخمینگر شیب سن برابر با میانه‌ی  $N$  مقدار  $Q_i$  است. مقادیر  $Q_i$  از کوچک به بزرگ مرتب می‌شود و شیب سن به کمک رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$Q = \begin{cases} \frac{Q_N + 1}{2} \\ \frac{1}{2} \left( \frac{Q_N}{2} + \frac{Q_N + 2}{2} \right) \end{cases} \quad (۸)$$

اگر  $N$  فرد باشد از رابطه‌ی اول و اگر زوج باشد از رابطه‌ی دوم استفاده می‌شود. فاصله‌ی اطمینان آزمون دو طرفه‌ی روش ناپارامتریک شیب سن برپایه‌ی توزیع نرمال بدست می‌آید. گام بعد محاسبه‌ی  $C_a$  در سطوح اطمینان مورد نظر است که به کمک رابطه‌ی زیر بدست می‌آید.

$$C_a = Z_{1-\frac{\alpha}{2}} * \sqrt{\text{Var}(s)} \quad (۹)$$

که در آن  $Z$  آماره توزیع نرمال استاندارد است که برای سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۱/۹۶ خواهد بود. گام بعد محاسبه‌ی

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (۱)$$

که  $n$  تعداد مشاهدات سری و  $X_j$  و  $X_k$  به ترتیب داده‌های  $j$  ام و  $k$  ام سری هستند. تابع علامت نیز به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (۲)$$

گام دوم محاسبه واریانس به کمک یکی از روابط زیر:

$$\text{if } n > 10 \quad (۳)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18}$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{if } n < 10 \quad (۴)$$

که  $n$  تعداد داده‌های مشاهده‌ای،  $m$  معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و  $t$  نشان‌دهنده فراوانی داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد.

در گام سوم آماره  $Z$  توسط یکی از روابط زیر تعیین می‌گردد:

$$S > 0 \quad \text{if } Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \\ 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \end{cases} \quad (۵)$$

گام چهارم آزمون فرض است. فرض صفر بر عدم وجود روند و تصادفی بودن آن دلالت دارد. به بیانی دیگر  $Z$  به لحاظ آماری معنی دار نیست (سری زمانی طوفانهای تندری بر روی ایستگاه مورد نظر از خود روندی نشان نمی‌دهد). زمانی این فرض تأیید می‌شود که  $-Z_{\alpha/2} < |Z| < Z_{\alpha/2}$  باشد. مقادیر  $Z_{\alpha/2}$  انحراف نرمال استاندارد ( $Z$  جدول) است و  $\alpha$  سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود. فرض مقابل یا فرض یک بر وجود روند دلالت دارد و بدین معنی است که  $Z$  به لحاظ آماری معنی دار است. زمانی این فرض

<sup>۱</sup> - Gan

حدود اعتماد بالا و پایین ( $M_1$  و  $M_2$ ) است که برپایه‌ی روابط زیر بدست خواهد آمد.

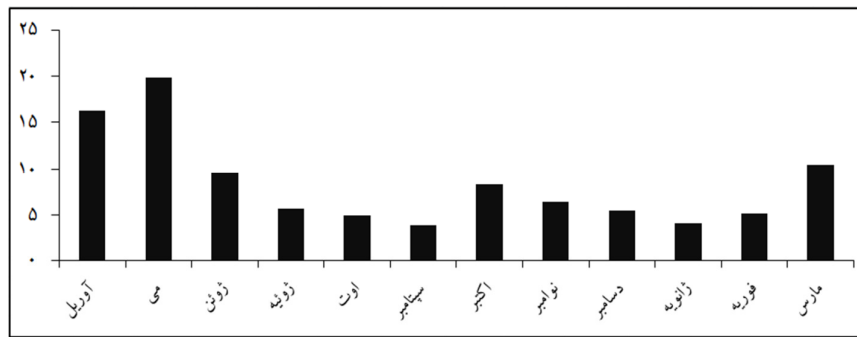
$$\begin{cases} M_1 = \frac{N' + C_a}{2} \\ M_2 = \frac{N' - C_a}{2} \end{cases} \quad (10)$$

که  $N'$  تعداد شیب‌های محاسبه شده در گام‌های نخستین است. گام نهایی آزمون فرض است که بر پایه‌ی شیب‌های محاسبه شده  $M_1$  امین و  $M_2+1$  امین شیب‌ها استخراج می‌شود. اگر عدد صفر بین دو شیب استخراج شده قرار گیرد فرض صفر تأیید می‌شود و سری زمانی داده‌ها بدون روند است. در صورتی که عدد صفر بین دو شیب محاسبه شده قرار نگیرد سری زمانی مورد نظر در سطح اطمینان مورد نظر روند معناداری از خود نشان می‌دهد.

### یافته‌های پژوهش

همانطور که یاد شد رخداد طوفانهای تندری شرایط خاصی را می‌طلبد. بنابراین انتظار می‌رود که بر روی ایران نیز بیشترین بسامد رخداد طوفانهای تندری در مکانهایی اتفاق بیافتد که رطوبت جوی به کمک گرمایش همرفتی، ناهموازی و جبهه‌ای ناپایدار شده و ابرهایی از خانواده‌ی کومولوس‌ها (کومولونیمبوس) را تشکیل و در نهایت طوفانهای تندری را به همراه داشته باشند. از لحاظ مکانی بیشترین بسامد رخداد سالانه‌ی طوفانهای تندری مربوط به ایستگاههای واقع در مناطق کوهستانی شمال غرب و غرب کشور است. ایستگاه همدید تبریز با متوسط سالانه‌ی حدود ۳۵ روز همراه با طوفانهای تندری پربسامدترین ایستگاه ایران زمین است. ایستگاههای زنجان، قزوین، ارومیه، دزفول، خوی و اردبیل نیز به ترتیب با متوسط سالانه‌ی ۳۰، ۲۸/۷، ۲۸، ۲۶/۵ و ۲۴/۷ روز در مرتبه‌های بعدی قرار دارند. در حالیکه ایستگاههای جاسک و بم در جنوب ایران کم‌بسامدترین طوفانهای تندری را تجربه می‌کنند (شکل ۷). متوسط بسامد روزهای همراه با طوفانهای تندری ایران زمین حدود ۱۵ روز در سال است. از لحاظ زمانی بیشترین بسامد رخداد طوفانهای تندری ایران زمین در

ماه می رخ می‌دهد. حدود ۲۰ درصد از بسامد رخداد طوفانهای تندری در این ماه از سال رخ می‌دهد. ماههای آوریل، مارس و ژوئن نیز به ترتیب با ۱۶/۲، ۱۰/۵ و ۹/۶ درصد در رتبه‌های بعدی بیشترین بسامد رخداد قرار دارند. در ماه می نسبت به ماه آوریل با افزایش زاویه‌ی تابش خورشید بلندیهای آفتابگیر ایران زمین تابش بیشتری دریافت می‌کنند و رطوبت نیز به قدر کافی در جو در دسترس است بنابراین انتظار می‌رود که در این برج از سال بیشترین بسامد رخداد طوفانهای تندری ایران زمین رخنمود داشته باشد. علاوه بر موارد ذکر شده به نظر می‌رسد که نایکنواختی گرمایش سطحی نیز در این ماه از سال نسبت به سایر ماههای دیگر سال نیز بیشینه است. دامنه‌های پشت به آفتاب روبه شمال برف‌پوش به دلیل قرار گرفتن در سایه تابش کمتری دریافت می‌کنند و بنابراین شیو تابش دریافتی در اثر نایکنواختی گرمایش سطحی ناپایداری همرفتی را تقویت می‌بخشند. در دامنه‌های پشت به آفتاب بدون پوشش برف نیز شرایطی مشابه ایجاد می‌شود. با افزایش زاویه‌ی تابش خورشید و یکنواختی تابش دریافتی ایران زمین بویژه در ماههای گرم سال (فصل تابستان) و نبود رطوبت کافی در جو و چیره شدن زبانه‌ی واچرخندی پرفشار جنب حاره بر ایران زمین طبیعی است که از بسامد رخداد طوفانهای تندری ایران زمین کاسته می‌شود. بنابراین اگر از نگاه فصلی به بسامد رخداد این پدیده‌ی جوی بنگریم می‌توان گفت که حدود ۴۶ درصد از بسامد طوفانهای تندری مربوط به فصل بهار است. این در حالی است که در فصل تابستان تنها ۱۴/۴ درصد از بسامد طوفانهای تندری ایران زمین رخنمود دارند. در ماههای گذر، از فصل گرم به فصل سرما (اکتبر) و از فصل سرد به فصل گرما (مارس) نیز بسامد رخداد قابل توجه است (شکل ۲). با پایان گرفتن دوره‌ی خشک گرم تابستانه و جابه‌جا شدن جنوب‌سوی پرفشار جنب‌حاره‌ای و ورود امواج بادهای غربی ناپایدار و شار رطوبت در داخل جو ایران توسط سامانه‌های چرخندی و واچرخندی بر بسامد رخداد طوفانهای تندری ایران زمین در ماه اکتبر افزوده می‌شود.



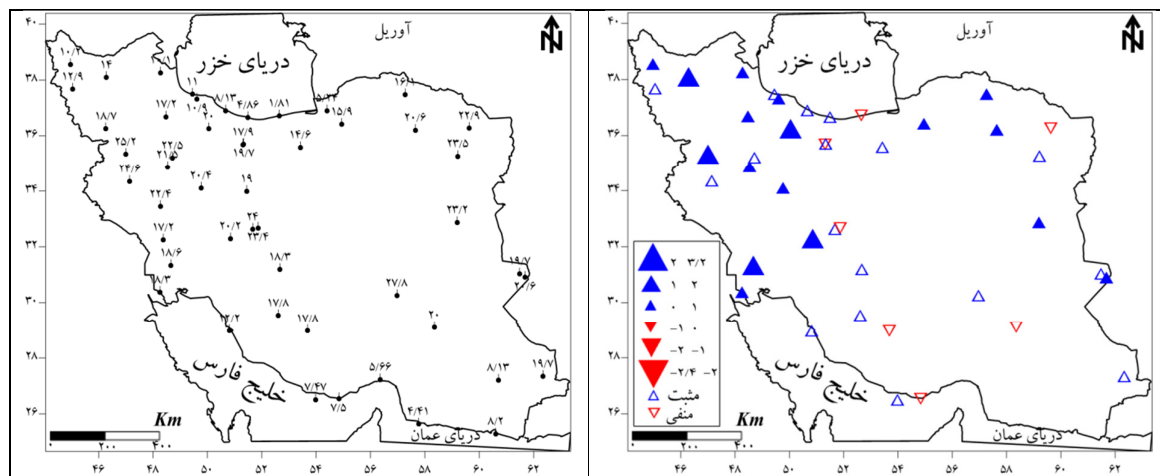
شکل (۲): توزیع زمانی بسامد رخداد روزهای همراه با طوفانهای تندری در ایران زمین بر حسب درصد

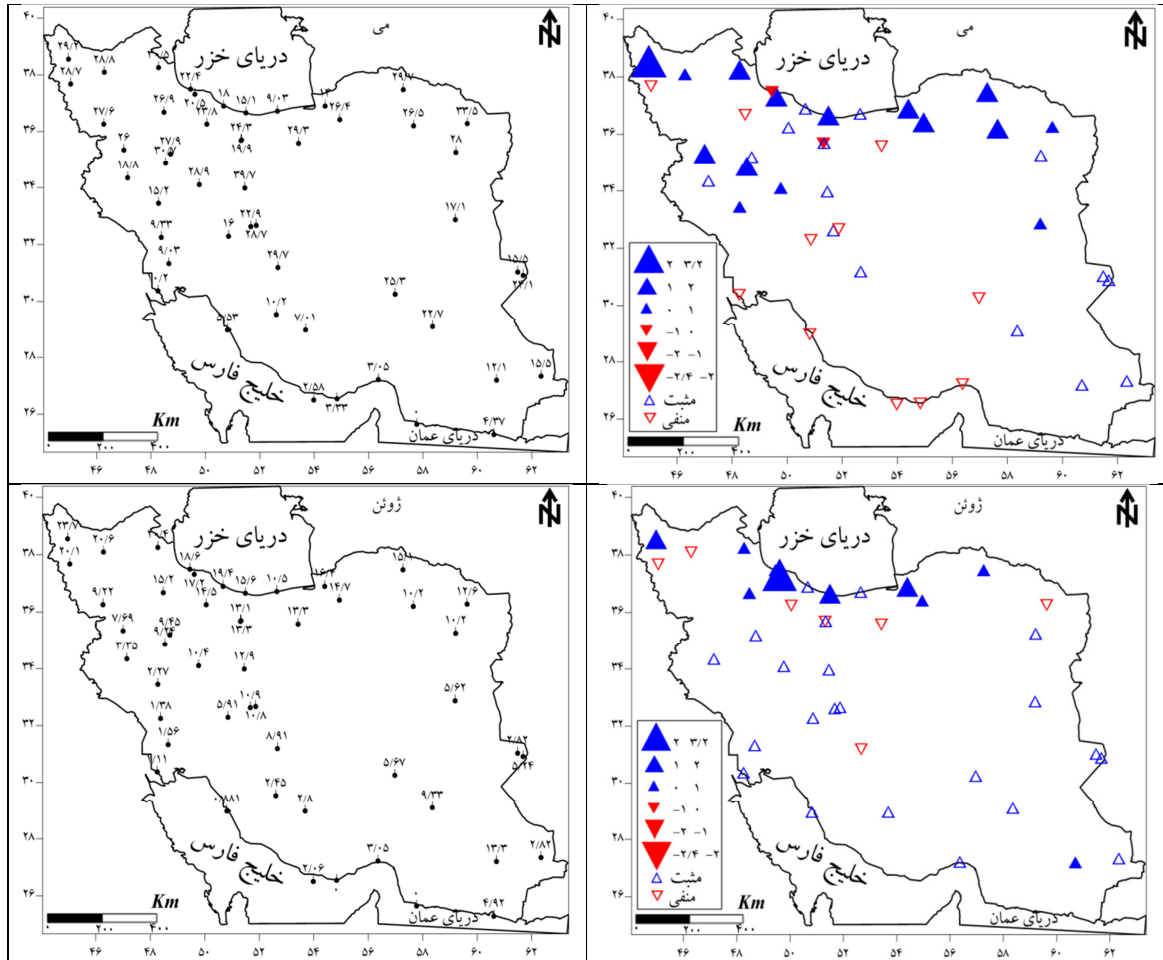
سواحل جنوبی دریای خزر روند مثبت و معناداری را از خود نشان می‌دهند. نرخ افزایشی بسامد روزهای همراه با طوفانهای تندری در ایستگاههای خوی و رشت به ترتیب در ماههای می و ژوئن قابل توجه است. حدود ۲ الی ۳/۲ روز به ازای هر دهه به بسامد رخداد این پدیده‌ی جوی افزوده شده است. همانطور که یاد شد در فصل تابستان به دلیل مهیا نبودن شرایط رخداد طوفانهای تندری بر روی گستره‌ی ایران زمین بسامد رخداد آن نسبت به سایر فصول سال کمتر است. بطور متوسط بین ۵ الی ۱۰ درصد از تعداد کل طوفانهای تندری شمال غرب کشور در این فصل از سال رخ می‌دهد. طی فصل تابستان نیز همانند فصل بهار بر بسامد روزهای رخداد طوفانهای تندری اغلب ایستگاههای ایران زمین افزوده شده است. ایستگاههای جنوب سواحل دریای خزر و شمال غرب کشور روند معناداری را طی این فصل از سال تجربه کرده‌اند. نرخ افزایشی این پدیده بر روی ایستگاه همدید خوی در شمال غرب کشور در ماه ژوئیه همانند ماه می قابل ملاحظه است. در ماههای ژوئیه و اوت در برخی از ایستگاههای مرکزی و شرق کشور روند کاهشی بسامد این پدیده مشاهده می‌شود ولی روند کاهشی در هیچ یک از آنها به لحاظ آماری معنادار نیست. وردایی روزهای همراه با طوفانهای تندری ایران زمین طی ماه اکتبر نیز همانند ماه سپتامبر از فصل تابستان است. روند افزایشی بسامد رخداد این پدیده در سواحل جنوبی دریای خزر، خوی و سمنجان در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار است. نرخ وردایی ایستگاه همدید نوشهر نسبت به سایر ایستگاههایی که

در شکل‌های ۳ الی ۶ نتایج حاصل از برازش آزمون ناپارامتریک من‌کنندال بر روی سری زمانی ماهانه‌ی بسامد روزهای همراه با طوفانهای تندری ایستگاههای ایران زمین و نسبت بسامد روزهای همراه با طوفانهای تندری به کل سال بر حسب درصد آمده است. مثلث‌های آبی رنگ توپر و مثلث‌های قرمز رنگ توپر به ترتیب روند مثبت و روند منفی معنادار را در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان می‌دهند. مثلث‌های توخالی بیانگر عدم معناداری روند در سطح اطمینان مورد واکاوی در این پژوهش هستند. همانطور که در شکل ۳ آمده است نسبت بسامد روزهای همراه با طوفانهای تندری اغلب ایستگاههای ایران زمین در ماه می نسبت به دو ماه دیگر فصل بهار (آوریل و ژوئن) بیشتر است. بطور متوسط حدود ۲۹ الی ۳۰ درصد از کل تعداد روزهای طوفانهای تندری غرب و شمال غرب کشور در ماه می رخ می‌دهد. ایستگاه کاشان حدود ۴۰ درصد از طوفانهای تندری خود را در ماه می تجربه می‌کند. بسامد رخداد طوفانهای تندری در فصل بهار بر روی اغلب ایستگاههای همدید مورد واکاوی ایران زمین روند مثبتی را تجربه کرده‌اند. در دو ماه آوریل و می گستره‌ی روند معنادار افزایشی نسبت به ماه ژوئن بیشتر است و اغلب ایستگاههای واقع در غرب، شمال غرب، شمال و شمال شرق کشور روند افزایشی معناداری را در سطح اطمینان ۹۵ درصد از خود نشان می‌دهند. در ایستگاههای همدید انزلی و مهرآباد تهران در ماه می از بسامد این پدیده کاسته شده و روند کاهشی آنها معنادار است. در ماه ژوئن از فصل بهار اغلب ایستگاههای واقع در

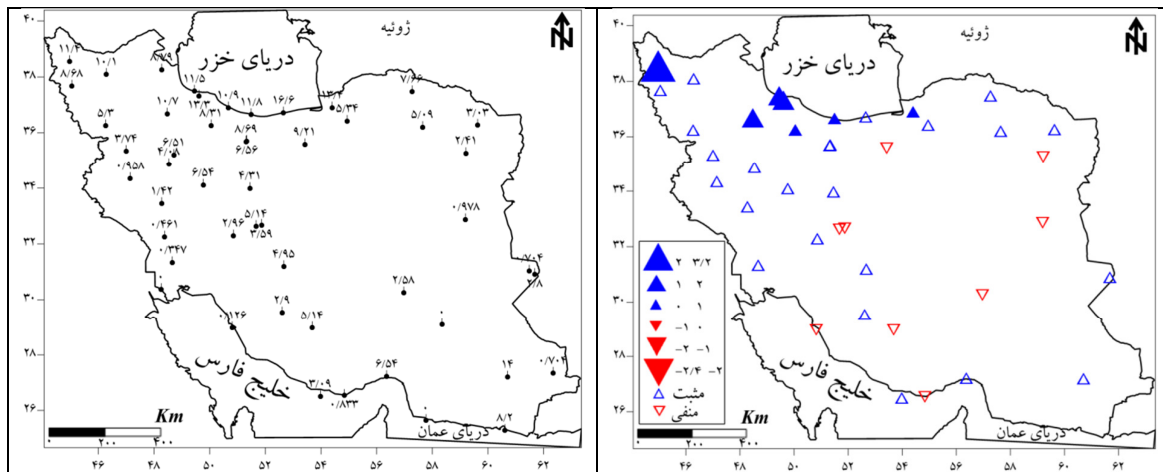
دارد. دلیل آن را می‌توان در ناپایداری‌ها و شرایط رخداد طوفانهای تندری جستجو کرد که در این فصل از سال توسط امواج بادهای غربی در ترازهای بالا و اندرکنش بین سامانه‌های چرخندی سودان و واچرخندی سبیری و اروپایی ایجاد می‌شود. اگرچه روند افزایشی بسامد روزهای همراه با طوفانهای تندری در اغلب ایستگاههای ایران زمین طی ماههای ژانویه و فوریه همانند دو ماه نوامبر و دسامبر دیده می‌شود ولی تنها روند افزایشی در ایستگاههای کیش و اهواز به لحاظ آماری معنادار هستند. نکته قابل توجه آن است که در سه ماهه زمستان نرخ کاهشی بسامد روزهای همراه با طوفانهای تندری ایستگاه همدید بوشهر در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار است. در ماه دسامبر گستره‌ی روند کاهشی در مقایسه با کلیه‌ی ماههای سال بیشتر است و روند کاهشی معنادار بطور الگوی فضایی منظمی در نیمه‌ی غرب کشور معنادار است. بیشترین نرخ کاهشی این پدیده مربوط به ایستگاه همدید بوشهر است که در آن نرخ کاهشی ۲ الی ۲/۴ روز به ازای هر دهه است.

روند افزایشی معناداری را تجربه کرده‌اند، بیشتر است و حدود ۱ الی ۲ روز به ازای هر دهه به بسامد روزهای همراه با این پدیده جوی در این ایستگاه افزوده شده است. اگرچه در اغلب ایستگاههای مورد واکاوی در این پژوهش بر بسامد روزهای همراه با طوفانهای تندری در ماههای نوامبر و دسامبر افزوده شده است ولی روند افزایشی این پدیده در نوامبر تنها بر روی ایستگاههای گرگان، سنندج و خرم‌آباد و در ماه دسامبر بر روی دو ایستگاه همدید اهواز و خرم‌آباد در جنوب غرب کشور به لحاظ آماری معنادار هستند. در ایستگاه همدید بوشهر نیز روند کاهشی در ماه دسامبر معنادار است. برخلاف ایستگاههای واقع در نیمه‌ی شمالی کشور، در ایستگاههای نیمه‌ی جنوبی کشور تعداد روزهای همراه با طوفانهای تندری در فصل زمستان بیشتر است. در برخی از ایستگاههای واقع در شمال غرب کشور کمتر از ۱ درصد از تعداد کل روزهای طوفانهای تندری در فصل زمستان رخ می‌دهد در حالیکه در ایستگاه همدید جاسک در سواحل جنوبی کشور حدود ۶۲ درصد از کل تعداد روزهای همراه با طوفانهای تندری در این ایام از سال رخنمود

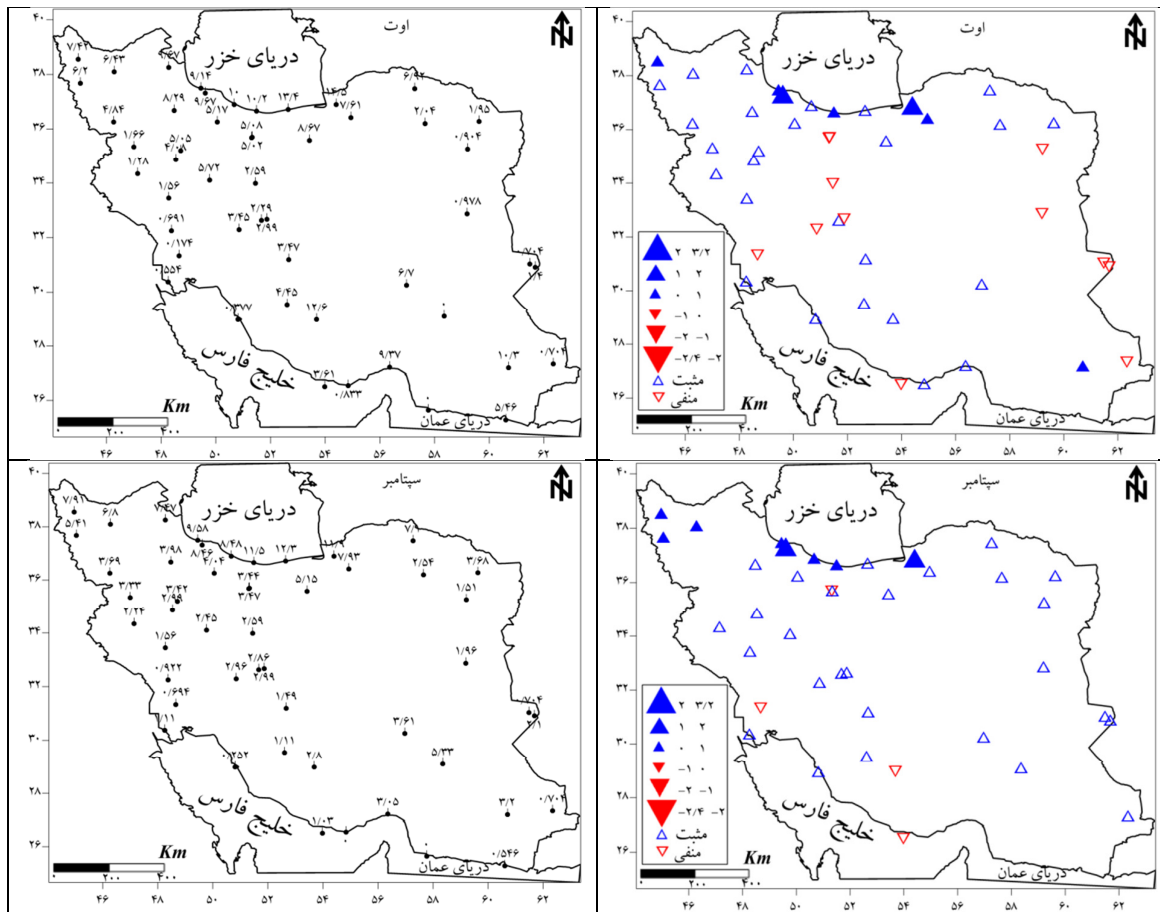




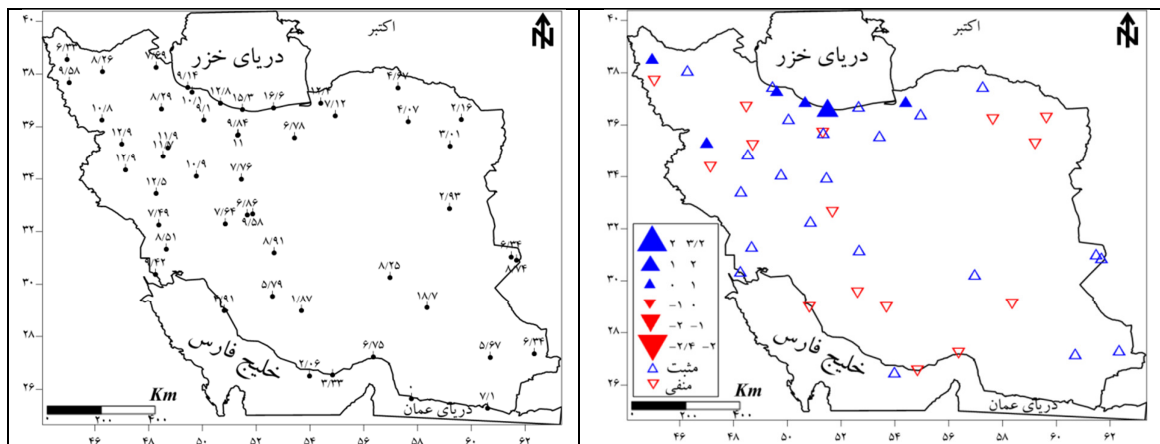
شکل (۳): وردایی بسامد روزهای همراه با طوفانهای تندری (راست) و نسبت تعداد روزهای همراه با طوفانهای تندری به کل سال بر حسب درصد (چپ) در فصل بهار

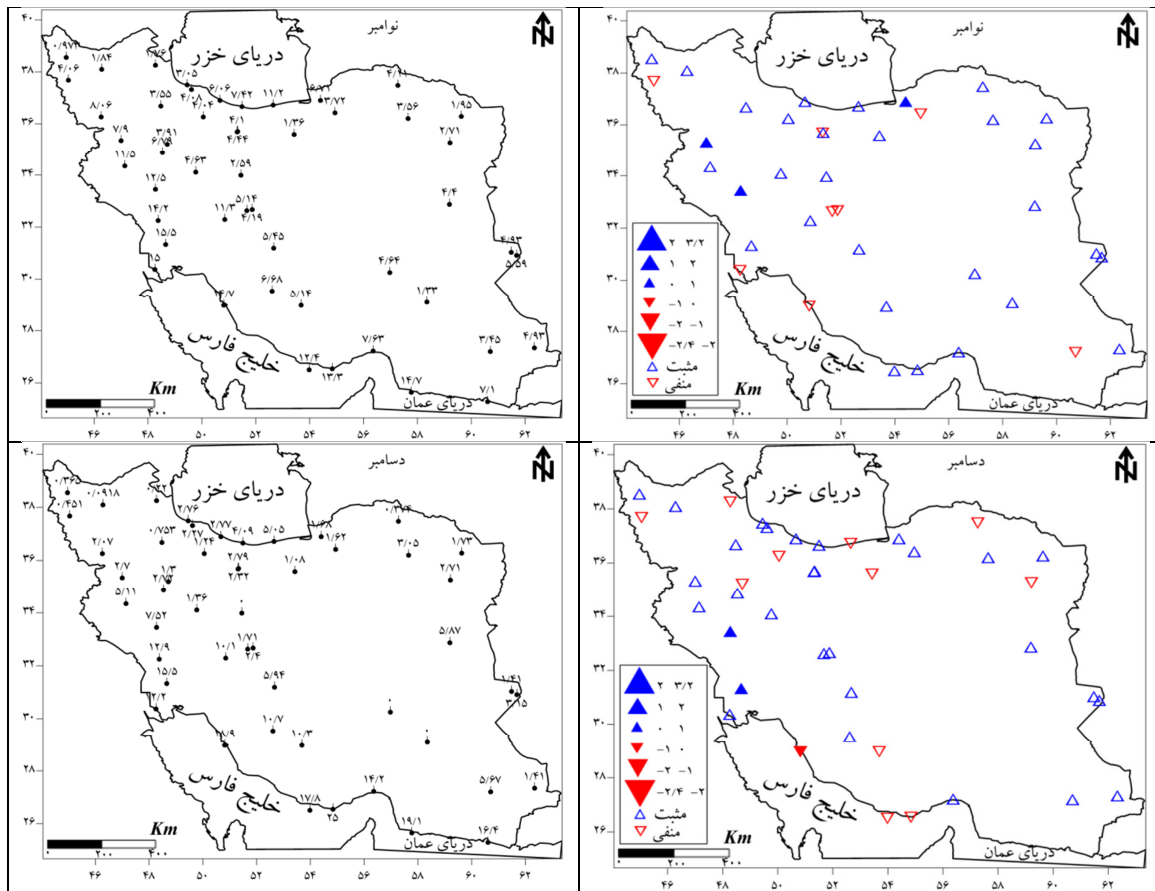




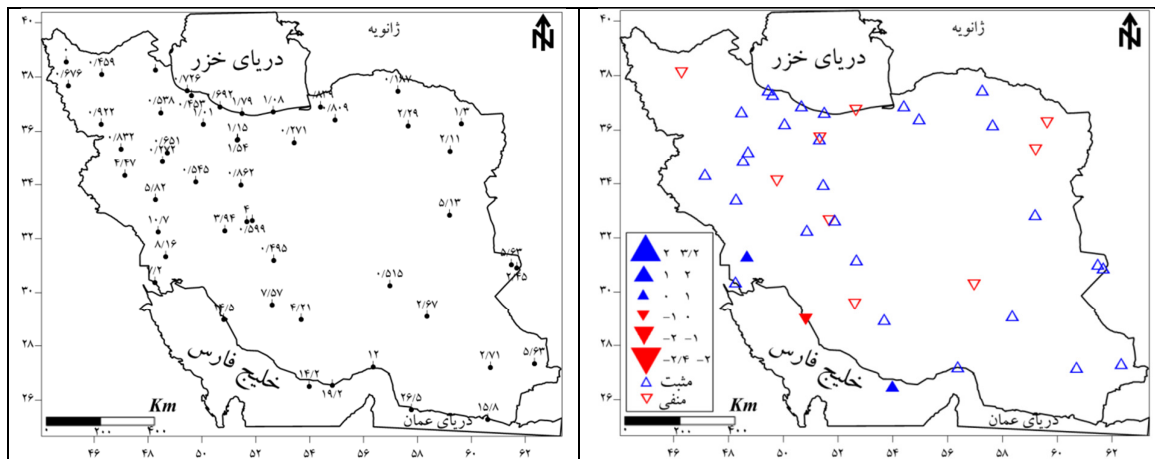


شکل (۴): وردایی بسامد روزهای همراه با طوفانهای تندری (راست) و نسبت تعداد روزهای همراه با طوفانهای تندری به کل سال بر حسب درصد (چپ) در در فصل تابستان





شکل (۵): وردایی بسامد روزهای همراه با طوفانهای تندری (راست) و نسبت تعداد روزهای همراه با طوفانهای تندری به کل سال بر حسب درصد (چپ) در فصل پاییز





## نتیجه گیری

طوفانهای تندری یکی از مخاطرات مهم جوی هستند که رخنمود آن شرایطی خاصی را می طلبد. متوسط تعداد روزهای همراه با طوفانهای تندری در ایران زمین حدود ۱۵ روز در سال است. در شمال غرب کشور بسامد رخداد این پدیده‌ی جوی بیشینه است. در تبریز بطور متوسط ۳۵ روز در سال طوفانهای تندری رخنمود دارند. در حالی که در نیمه‌ی جنوبی (بویره جنوب شرق) کشور بسامد رخداد کمتر از ۵ روز در سال است. بسامد هر چند اندک طوفانهای تندری در برخی مناطق ایران زمین خسارات بسیار چشم گیری را به دنبال دارند. بویره رخداد سیل‌های ناگهانی خارج از فصل همراه با طوفانهای تندری هر ساله منجر به مشکلات اقتصادی زیادی در گستره‌ی ایران زمین می‌شود. از نگاه زمانی پربسامدترین طوفانهای تندری گستره‌ی ایران زمین مربوط به فصل بهار است. در ماه می گستره‌ی ایران زمین حدود ۲۰ درصد از تعداد کل روزهای همراه با طوفانهای تندری را تجربه می‌کند. برازش آزمون ناپارامتریک من کندال بر روی سری زمانی روزهای همراه با طوفانهای تندری ایران زمین نشان داد که طی بازه‌ی زمانی مورد واکاوی و ردایی معناداری در بسامد رخداد این مخاطره‌ی جوی بر روی گستره‌ی ایران زمین مشاهده می‌شود. در سه ماهه‌ی فصل بهار که حدود ۴۶ درصد از کل تعداد روزهای همراه با طوفانهای تندری مشاهده می‌شود، بر روی اغلب ایستگاههای همدید مورد واکاوی در این پژوهش روند افزایشی در بسامد رخداد این پدیده مشاهده می‌شود. در ایستگاههای واقع در غرب، شمال غرب، شمال شرق و شمال کشور افزایش رخنمود طوفانهای تندری در سطح اطمینان آماری ۹۵ درصد معنادار است. نرخ و ردایی روزهای همراه با طوفانهای تندری در ایستگاههای شمال غرب کشور طی این فصل از سال نسبت به سایر مناطق دیگر بیشینه است. در ایستگاه خوی به ازای هر دهه ۲ الی ۳/۲ روز به بسامد رخداد طوفانهای تندری افزوده شده است. اگرچه گستره‌ی ایستگاههای دارای

وردایی معنادار طی فصول تابستان و پاییز به نسبت فصل بهار کمتر است ولی روند افزایشی این مخاطره‌ی جوی در اغلب ایستگاههای مورد واکاوی مشاهده می‌شود. برخلاف ماههای دیگر سال در ماه مارس گستره‌ی روند کاهش طوفانهای تندری بیشتر از گستره‌ی روند افزایشی است و از لحاظ پراکنش مکانی اغلب ایستگاههای نیمه‌ی غربی کشور روند کاهش و معناداری را طی این ماه از سال تجربه کرده‌اند. بیشترین نرخ کاهش بسامد طوفانهای تندری مربوط به ایستگاه همدید بوشهر در جنوب غرب کشور است که در آن نرخ کاهش این پدیده ۲ الی ۲/۴ روز به ازای هر دهه است. اگرچه باور ارتباط بین گرمایش جهانی و افزایش رخنمود طوفانهای تندری به عنوان یک پدیده‌ی فرین اقلیمی چندان قوی نیست ولی به نظر می‌رسد که افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی با دگرگونی در کنش سامانه‌های همدید مقیاس بر و ردایی بسامد رخداد طوفانهای تندری بویره گونه-های جبهه‌ای نقش بسزایی دارند. بر پایه‌ی نتایج حاصل از واکاوی و ردایی شدت کنش سامانه‌های همدید مقیاس موثر بر اقلیم ایران زمین، شدت سامانه‌ی واچرخندی سیبری در فصول گرم سال (بهار و تابستان) افزایش معناداری را از خود نشان می‌دهد (دارند، ۱۳۹۳). به نظر می‌رسد که افزایش کنش این سامانه طی این دوره از سال بر ایجاد شرایط دگر فشار در نیمه‌ی شمالی کشور نقش بسزایی دارد. نفوذ زبانه‌ی واچرخندی سامانه‌ی سیبری و ریزش هوای سرد آن در برخورد با هوای گرم رویه‌ی ایران زمین (کم فشار سطحی) و بلندیها منجر به ناپایداری شده و افزایش رخنمود طوفانهای تندری طی این دو فصل از سال را می‌توان به کمک آن توجیه کرد. اگرچه نمی‌توان از نقش تغییرات کاربری اراضی در نایکنواختی گرمایش رویه‌ی زمین و طوفانهای تندری همرفتی غافل بود. همچنین می‌توان کاهش بسامد رخداد طوفانهای تندری نیمه‌ی غربی کشور را به کاهش کنش سامانه‌ی چرخندی بارش‌زای سودان و مدیترانه طی این ماه از سال ارتباط داد.

## منابع

- Downscaling. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 52, pp: 2147-2161.
- 10- Gaal, L, Molnar, P and Szolgay, J (2014): Spatial analysis of intense thunderstorms in Switzerland and temporal trends in their occurrence, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 16, EGU2014-11136-1.
- 11- Houze RA. (1993): *Cloud Dynamics*. Academic Press: San Diego.
- 12- IPCC, (2012): *Summary for Policy Makers, Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, USA, p. 6.
- 13- IPCC, *Climate Change (2007): Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Geneva, Switzerland), 2007*.
- 14- Kunz M, Sander J and Kottmeier Ch (2009): Recent trends of thunderstorm and hailstorm frequency and their relation to atmospheric characteristics in southwest Germany, *International journal of climatology*, 29, pp:2283-2297.
- 15- Mandla, K, Enno, S.E and Sepp, M (2014): Thunderstorms caused by southern cyclones in Estonia, *Estonian Journal of Earth Sciences*, 63(2), pp: 108-117.
- 16- Nigeria Climate Review Bulletin (2011): Rainfall patterns over the south east. Retrieved from: <http://www.nimetng.org>.
- 17- Yang X and Z Li. (2014): Increases in thunderstorm activity and relationships with air pollution in southeast China. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, 119(4), doi:10.1002/2013JD021224.
- ۱- حجازی زاده، زهرا (۱۳۷۹)، بررسی عوامل سینوپتیکی بارش و طوفان‌های توام با رعد و برق غرب کشور، مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تربیت معلم، ۸: ۲۶-۵.
- ۲- خالصی، فریده (۱۳۹۳)، واکاوی زمانی طوفان‌های تندی در ایران، *دوفصلنامه آب و هواشناسی کاربردی*، ۱: ۶۰-۴۷.
- ۳- دارند، محمد (۱۳۹۳)، شناسایی تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل، تاوایی و فشار تراز دریای الگوهای گردش جوی غالب موثر بر اقلیم ایران زمین، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۳: ۳۷۴-۳۴۹.
- ۴- خوشحال دستجردی، جواد و قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۶)، شناسایی ویژگی‌های مخاطرات محیطی منطقه شمال غرب ایران (نمونه مطالعاتی: خطر طوفان‌های تندی در تبریز)، *مدرس علوم انسانی*، ویژه نامه جغرافیا، ۵۳: ۱۱۵-۱۰۱.
- ۵- صلاحی، برومند (۱۳۸۹)، بررسی ویژگی‌های آماری و هم‌مدیدی طوفان‌های تندی استان اردبیل، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۷۲: ۱۴۲-۱۲۹.
- ۶- عسگری، احمد و محبی، فرشته (۱۳۸۹)، مطالعه آماری هم‌مدیدی طوفان‌های تندی در استان خوزستان، *چهارمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم*، ۱۱۹-۱۱۱.
- 7- Davis, S and Walsh, K.J.E (2008): Southeast Australian thunderstorms: are they increasing in frequency?, *Aust. Met. Mag*, 57, pp: 1-11.
- 8- Doswell CA III. (1987): The distinction between large-scale and mesoscale contributions to severe convection: A case study example. *Weather and Forecasting* 2, pp: 3-16.
- 9- Robinson, E.D., Robert J. Trapp, and Michael E. Baldwin, (2013): *The Geospatial and Temporal Distributions of Severe Thunderstorms from High-Resolution Dynamical*

