

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۴، شماره پیاپی ۱۱۷

S. Jahsnbakhsh asll, Ph.D
H. Mirhashemi
M. Belvasi

سعید جهانبخش اصل، استاد دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا، گروه آب و هواشناسی
حمید میرهاشمی، دانشجوی دکتری دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا، گروه آب و هواشناسی
مهدی بلواسی، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا، گروه آب و هواشناسی

E-mail: s_jahan@tabrizu.ac.ir

شماره مقاله: ۱۰۱۵ صص: ۳۳-۴۶
ووصول: ۹۳/۲/۲۵ پذیرش: ۹۳/۸/۸

بررسی روند تغییرات فراوانی روزهای همراه با توفان تندری در ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتریک

چکیده

توفان‌های تندری از جمله پدیده‌های آب و هوایی هستند که گاهی می‌توانند باعث خسارات جبران‌ناپذیری به زیست بوم گردند. بدین منظور، در مطالعه حاضر برای شناسایی وجود روند در فراوانی روزهای همراه با توفان تندری در پهنه ایران، از آمار ۳۳ ایستگاه همدید که دارای آمار بلندمدت، از بدو تأسیس تا سال ۲۰۰۵ بودند، بهره گرفته شد. ابتدا با اعمال روش‌های ناپارامتری من - کندال و تخمینگر شیب سن بر روی چهار سری زمانی فصلی و یک سری زمانی سالانه هر ایستگاه، معناداری آنها ارزیابی شد. همچنین، برای تشخیص سال آغاز روند از آزمون نموداری گام به گام من - کندال استفاده شد. یافته‌ها نشان می‌دهند که نقطه بیشینه فراوانی مکانی روزهای توأم با توفان تندری در پهنه ایران تابع زمان است. ارزیابی روند توسط هر دو آزمون گویای آن است که کلیه روندهای معنادار در تمام سری‌ها به جز سری سالانه ایستگاه بم از نوع افزایشی هستند. بدین ترتیب، با توجه به مشابهت زیاد نتایج دو آزمون می‌توان روند کلی توفان تندری را در ایران، در هر پنج سری زمانی از نوع افزایشی دانست. در این رابطه بیشترین و کمترین روند، به ترتیب مربوط به سری زمانی سالانه و سری زمانی زمستانه هستند؛ به طوری که در سری زمانی سالانه روند ۵۸٪ ایستگاه‌ها معنادار بودند. همچنین، آزمون گام به گام آشکار کرد که در سری زمانی سالانه اکثر روندهای معنادار از دهه‌های ۷۰ و ۸۰ میلادی آغاز شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: روش‌های ناپارامتری، من - کندال، تخمینگر شیب سن، توفان تندری، ایران

مقدمه

بنا بر تصویب سازمان جهانی هواشناسی، اگر تندر در ایستگاهی شنیده شود، توفان تندری گزارش می‌شود. تندر، نوفه تخلیه آذرخشی است و اگر آذرخش در فاصله زیادی روی دهد، به علت اختلاف زیاد میان سرعت نور و سرعت صوت، صدای آن با تأخیر چشمگیری دریافت می‌شود. بدینسان، توفان‌های تندری را به کمک نمود الکتریکی‌شان تعریف می‌کنند (بایرز، ۱۳۷۷: ۴۰۹). سامانه‌های رعدوبرقی از جمله پدیده‌های ماه‌های گرم سال هستند

(استرلینگ^۱، ۱۹۹۱: ۲۱۴ و رسولی، ۲۰۰۴) که بعضاً به عنوان پدیده‌هایی مخرب تجلی می‌یابند. در نگاهی کلی، سامانه‌های رعدوبرقی به مثابه بسته هوای ترمودینامیکی شناخته می‌شوند که در شرایط خاصی در جو زمین ایجاد شده و در صورت وجود فاکتورهای مؤثر و مساعد محیطی می‌توانند در حالات تک یاخته‌ای، چندیاخته‌ای و یا بزرگ یاخته‌ای باعث وقوع رعد و برق، بادهای شدید، گردباد، ریزش تگرگ و نزول باران‌های شدید گردند (رسولی، ۲۰۰۴). بنابراین تغییر زمانی - مکانی چنین پدیده‌ای به علت عدم انطباق با شرایط و پوشش محیط سطحی می‌تواند نتایج فاجعه‌باری به بار آورد.

وانگهی مطالعات فراوانی در زمینه توفان‌های تندری، چه از لحاظ بررسی دینامیکی - ترمودینامیکی و چه از لحاظ بررسی آماری در متون علمی ایران و جهان صورت گرفته است؛ از قبیل: چانگ^۲ و همکاران (۲۰۰۶) تأثیر توسعه شهرنشینی شهر تاپی را در افزایش فعالیت توفان‌های تندری که در بعدازظهر رخ می‌دهند، بررسی کردند. نتایج این مطالعه گویای آن است که شهرسازی باعث افزایش ۱/۵ درجه سلسیوس میانگین دمای روزانه، کاهش ۱ درجه سلسیوس دامنه دمای روزانه، افزایش بیش از ۶۷٪ در فراوانی توفان‌های تندری بعدازظهر - غروب و افزایش ۷۷٪ بارش حاصله از توفان‌های تندری را موجب شده بود. فین و هو^۳ (۲۰۱۱) با تجزیه و تحلیل خصوصیات آذرخش در یک توفان تندری همراه با تندباد، در استان شاندونگ چین به این نتیجه رسیدند که باد مخرب، متناظر با فعالیت‌های آذرخشی است؛ به طوری که می‌توان آذرخش را به عنوان یک شاخص برای باد شدید در نظر گرفت. چادوری و میددی^۴ (۲۰۱۳) تأثیر پارامترهای هواشناسی و آلودگی محیطی را بر روی توفان تندری و عملکرد آذرخش‌های که پیش از فصل مونسون بر روی کلان شهر کلکته در هند اتفاق افتاده بودند، مطالعه کردند. بدین جهت، ایشان از انرژی قابل دسترس همرفتی و تراز تراکم همرفتی^۵ برای مشاهده نقش انرژی همرفتی و تراز پایه ابر در عملکرد توفان تندری و آذرخش استفاده نمودند. از سویی، ذرات معلق در هوا مانند اکسیدهای گوگرد و اکسیدهای نیتروژن را برای درک دقیق تأثیرات همه پارامترها در توفان تندری و آذرخش نیز بررسی کردند. نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر آن است که خواه پایه ابر در نزدیک سطح زمین تشکیل شده باشد و یا در ترازهای بالاتر، غلظت ذرات معلق بیش از ۲۴۰ میکروگرم در مترمکعب مقدار آهنگ آذرخش را افزایش می‌دهد. خوشحال دستجردی و قویدل رحیمی (۱۳۸۶) در مطالعه‌ای با استفاده از روش‌های آماری به بررسی خصوصیات زمانی و آماری توفان‌های تندری تبریز پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر آن است که در خلال توفان‌های تندری پدیده‌های آب و هوایی مخربی همچون: تگرگ، رگبارهای شدید و سیل آسا، بادهای شدید و آذرخش پدیده غالب آب و هوای تبریز هستند. رسولی و همکاران (۱۳۸۶) با مطالعه توزیع زمانی بارش‌های رعد و برقی شمال غرب ایران نتیجه گرفتند که بارش‌های رعد و برقی منطقه در دوره گرم سال یا متأثر از سامانه‌های رعد و برقی توده هوایی هستند که در خود ناحیه و بر اثر تابش مستقیم خورشید به وجود می‌آیند و یا با عبور هوای سرد بر روی سطوح گرم و افزایش دما ناپایدار شده و به طور محلی بارندگی‌هایی را موجب شده‌اند.

1 - Easterling

2 - Chang Chen

3 -Feng and Hu

4 -Chaudhuri & Middey

5 - convective condensation level (CCL)

تاج‌بخش و همکاران (۱۳۸۸) در پژوهشی سعی نمودند شیوه پیش‌یابی وقوع توفان تندی را با استفاده از درخت تصمیم‌گیری عرضه نمایند. آنها با تحلیل برخی از مهم‌ترین خروجی‌های مدل منطقه‌ای MM^5 دریافتند که شاخص‌های بزرگ مقیاس وقوع توفان تندی، از جمله: شیو شدید فشار در سطح زمین، خشک بودن لایه میانی جو و ابرهای کومه‌ای باران‌زا، کم و بیش مشابه دیگر ناپایداری‌ها جوی هستند. لذا الگوهای بزرگ مقیاس کمک مؤثری در شناسایی دقیق این پدیده ندارند و فقط می‌توانند به صورت کیفی وقوع این گونه پدیده‌های جوی را پیش‌یابی نمایند. بررسی متون علمی نشان می‌دهد که تاکنون روند تغییرات پدیده توفان تندی در کل ایران، با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری من - کندال و تخمینگر شیب سن انجام نگرفته است؛ بنابراین، در پژوهش حاضر برآینم تا با توجه به اثرهای مخربی که وقوع پدیده توفان تندی در برخی مواقع به همراه دارد، ضمن بررسی فراوانی وقوع در مقیاس زمانی - مکانی و روند آن در ایران، کارایی روش‌های مربوطه را در تبیین روند فراوانی روزهای تندی مورد آزمون قرار دهیم.

داده‌ها و روش پژوهش

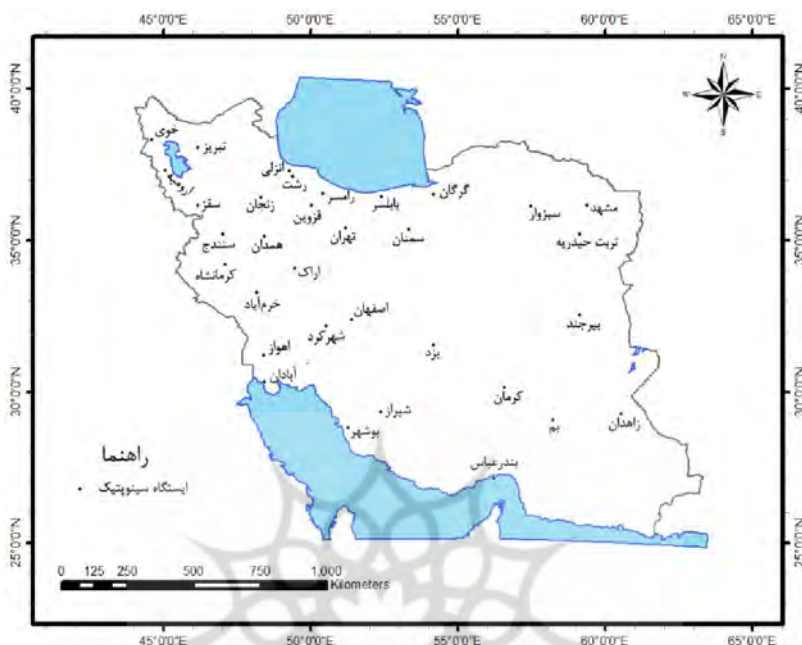
به منظور انجام این مطالعه، نخست آمار روزهای همراه با توفان تندی ۳۳ ایستگاه همدید کشور از سازمان هواشناسی اخذ شد که پراکنش مکانی این ایستگاه‌ها در شکل (۱) نمایش داده شده است. علت انتخاب این ایستگاه‌ها دارا بودن آمار پیوسته و درازمدت (حداقل ۴۰ سال) از بدو تأسیس تا سال ۲۰۰۵ و همچنین، پراکندگی مناسب مکانی آنها بوده است. در گام بعدی مقادیر فصلی و سالانه برای هر سال به صورت جداگانه مشخص شد و برای آشکارسازی فراوانی وقوع توفان تندی در مقیاس مکانی، آزمون همبستگی پیرسون بین ارتفاع، عرض و طول جغرافیایی هر ایستگاه با مقادیر فصلی و سالانه آن ایستگاه اعمال گردید. سپس برای تعیین روند در هر یک از سری‌های زمانی توفان تندی، به علت وابسته نبودن توزیع احتمال سنجه آزمون‌های ناپارامتری به شکل توزیع دیدبانی‌ها؛ یعنی به علت عدم تأثیرپذیری از مقادیر غیرمعمول و دورافتاده داده‌ها، و در نتیجه، مقاوم بودن نسبت به خطاهای احتمالی (لانزنت، به نقل از کتیرایی و همکاران، ۱۳۸۵: ۷۲)، ماهیت گسسته بودن داده‌های ورودی، و نیز به سبب آنکه این آزمون‌ها نیاز به مفروضات متعدد نداشته (منصورفر، ۱۳۸۷: ۱) و آسان‌تر بودن فهم آنها نسبت به آزمون‌های پارامتری (اسپرنت و اسمیتون^۱، ۱۳۸۶: ۱۱) از دو آزمون ناپارامتری من - کندال^۲ و تخمینگر شیب سن^۳ استفاده شد. همچنین، برای شناسایی زمان شروع روند، روش نموداری گام به گام آزمون من - کندال به کار گرفته شد.

ویژگی‌های عمومی توفان تندی در مقیاس زمانی سالانه و فصلی

بررسی فراوانی مکانی - زمانی رخداد توفان تندی حاکی از آن است که بیشینه فراوانی رخداد این پدیده در کشور ایران تابع زمان است؛ به طوری که در هر زمان این بیشینه فراوانی دچار جابه‌جایی مکانی می‌گردد (جدول ۱). از این رو می‌توان تشخیص داد که سازوکارهای موجد تندر از لحاظ مکانی بر حسب زمان در ایران متفاوت هستند.

1- Sprent and Smeeton
2 - Man-Kendall
3 - Sen's Estimator

چون شناسایی سازوکار غالب و مؤثر در رخداد توفان تندری در مقیاس سالانه به سختی صورت می‌پذیرد، سعی شده است با استفاده از داده‌های فراوانی توفان تندری در مقطع فصلی و بهره‌گیری از مطالعات گذشته، این سازوکارهای مؤثر تا حدودی بازشکافی گردد.



شکل (۱) پراکنش مکانی ایستگاه‌ها مورد استفاده در ایران

همان گونه که در بالا گفته شد و از جدول (۱) مشخص است، مرکز بیشینه فراوانی و پراکنش مکانی فراوانی رخداد توفان تندری با توجه به سازوکار موجد آن، در هر زمان خاص در ایران دارای پراکنش ویژه‌ای است؛ به گونه‌ای که در فصول پاییز و زمستان مرکز بیشینه فراوانی روزهای همراه با توفان تندری در بوشهر و در فصول بهار، تابستان و مقطع سالانه در تبریز جای می‌گیرد. پراکنش مکانی فراوانی روزهای توفان تندری در مقطع فصلی مبین آن است که بین میانگین فراوانی این روزها با عرض جغرافیایی در فصول بهار و تابستان رابطه مثبت و در فصول زمستان و پاییز رابطه منفی معناداری در سطح ۹۹٪ اطمینان وجود دارد. همچنین، روزهای توفان تندری فصول بهار و پاییز با ارتفاع به ترتیب رابطه مثبت و منفی معناداری در سطح ۹۹٪ اطمینان دارند، در حالی که در فصل زمستان چنین رابطه‌ای با ارتفاع وجود ندارد؛ اما در فصل تابستان رابطه منفی معناداری در سطح ۹۰٪ اطمینان وجود دارد. در رابطه با طول جغرافیایی تنها در فصل زمستان رابطه مثبت معناداری در سطح ۹۵٪ اطمینان وجود دارد. به طور کلی، در مقیاس سالانه، میانگین فراوانی روزهای توفان تندری با طول جغرافیایی رابطه منفی و با عرض جغرافیایی رابطه مثبت معناداری در سطح ۹۹٪ اطمینان دارند.

جدول (۱) میانگین فراوانی روزهای همراه با توفان تندری در ایران طی بازه زمانی فصلی و سالانه

ایستگاه	زمان	سالانه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
آبادان	۱۳/۲۴	۴/۵۸	۳/۹۶	۰/۰۹	۴/۶	
اراک	۹/۷۶	۰/۹۸	۶/۰۸	۱/۴۲	۱/۲۸	
ارومیه	۲۱/۷۶	۰/۷۱	۱۳/۷۶	۴/۵۱	۲/۷۸	
اصفهان	۵/۲	۰/۷۱	۳/۳۶	۰/۴۵	۰/۶۷	
انزلی	۱۸/۳۳	۰/۴۷	۹/۴۷	۵/۶	۲/۷۸	
اهواز	۱۰/۳۱	۳/۲۷	۲/۸۵	۰/۱۷	۴/۱۹	
بابلسر	۷/۶۴	۰/۲۹	۱/۷۸	۳/۱۵	۲/۴۲	
بم	۲/۸۶	۰/۴۹	۱/۵۷	۰/۱۸	۰/۶۱	
بندرعباس	۱۱/۹۶	۴/۵۷	۱/۴۵	۲/۱۶	۳/۷۸	
بوشهر	۲۰/۲۹	۸/۲۹	۳/۸	۰/۰۹	۸/۱۱	
بیرجند	۱۱/۶۶	۳/۹۸	۵/۶۸	۰/۴۸	۱/۵۲	
تبریز	۲۷/۴۴	۰/۶	۱۸/۳۵	۶/۰۵	۲/۴۴	
تربت حیدریه	۸/۸۳	۲/۳۴	۵/۳۲	۰/۳۰	۰/۸۷	
تهران	۱۶/۳۳	۱/۶۹	۹/۵۵	۲/۶۹	۲/۴	
خرم آباد	۱۷/۱۶	۳/۹۳	۷/۲۴	۰/۶۰	۵/۳۱	
خوی	۲۱/۲۶	۰/۵۹	۱۳/۹۳	۴/۹۸	۱/۷۶	
رامسر	۱۲/۹۸	۰/۵۲	۶/۴	۳/۵	۲/۵۶	
رشت	۱۰/۶	۰/۳۸	۵/۲۸	۳/۲۸	۱/۶۶	
زاهدان	۶/۸۹	۰/۳۸	۵/۲۸	۳/۲۸	۱/۶۶	
زنجان	۲/۴۴	۱/۲	۱۲/۳۸	۴/۴	۲/۴۶	
سبزوار	۸/۳۷	۱/۷۵	۵/۰۲	۰/۶۷	۰/۹۴	
سقز	۱۱/۲۷	۲/۳۱	۶/۴۹	۱/۳۳	۲/۳۱	
سمنان	۸/۲۴	۰/۷۸	۴/۸۸	۱/۸۸	۰/۷۱	
سنندج	۱۲/۵۴	۱/۴۳	۷/۳۷	۱/۲۲	۲/۵۲	
شهرکرد	۷/۷۸	۱/۵۳	۳/۱۲	۰/۶۵	۲/۳۳	
شیراز	۱۱/۱۸	۴/۰۲	۳/۴	۱/۰۵	۲/۷۱	
قزوین	۲۱/۱۳	۱/۹۴	۱۲/۵۷	۳/۳۲	۳/۳	
کرمان	۴/۵۱	۰/۹۳	۲/۲۴	۰/۸۰	۰/۵۵	
کرمانشاه	۱۸/۴	۳/۹۵	۸/۹۱	۰/۷۸	۴/۷۶	
گرگان	۷/۲۸	۰/۳۰	۲/۵۵	۲/۹۴	۱/۴۹	
مشهد	۱۱/۷۵	۱/۹۶	۸/۲۲	۰/۷۵	۰/۸۲	
همدان نوژه	۱۵/۳۳	۱/۴۷	۹/۲۵	۱/۸۵	۲/۷۵	
یزد	۳/۶۴	۰/۵۳	۲/۵۵	۰/۳۲	۰/۲۵	

با این تفاسیر می توان استنباط نمود که ترکیب شرایط محلی و عوامل بیرونی در هر زمان نقش تعیین کننده ای در بروز

توفان تندری در ایران دارند؛ به طوری که در فصل تابستان به علت حرکت رودباد جنب‌حاره‌ای به سمت شمال، تمام ایران در جنوب البرز تحت سیطره مرکز پرفشار جنب حاره‌ای آזור قرار می‌گیرد (علیجانی، ۱۳۸۵: ۲۷ و مسعودیان، ۱۳۹۰: ۳۳). لذا به جز قلمرو شمال غرب، نواحی ساحلی خزر و گوشه جنوب شرقی کشور، توفان تندری در سایر نقاط کشور در این وقت سال به ندرت رخ می‌دهد.

بنابراین، در نواحی ساحلی خلیج فارس علی‌رغم مهیا بودن شرایط محلی برای وقوع ناپایداری‌های شدید حرارتی، توفان تندری به ندرت رخ می‌دهد؛ به طوری که کمترین میزان رخداد در کل کشور در این فصل مربوط به ایستگاه بوشهر است؛ در صورتی که در فصل زمستان به علت خارج شدن زبانه پرفشار آזור و ورود سامانه‌های غربی و جنوب‌غربی به کشور، فراوان‌ترین روزهای توفان تندری در سواحل جنوبی و مناطق جنوب غربی و غرب کشور رخ می‌دهد؛ به طوری که ایستگاه بوشهر در این فصل پربسامدترین ایستگاه از لحاظ رخداد توفان تندری است (عامل غالب در ایجاد این توفان‌های تندری پدیده‌های دینامیکی هستند). با وجود این، در نواحی شمال‌غربی، و مرکزی کشور، سواحل خزر و کوهپایه‌های شرقی زاگرس، توفان تندری به ندرت رخ می‌دهد. علت بسامد کم این پدیده در شمال‌غرب وجود دمای پایین و ورود تهاجمات سرد به منطقه در این موقع از سال، قرارگیری مسیر سامانه‌های جبهه‌ای در عرض‌های میانی و جنوبی کشور است. به عبارتی، شرایط جهت همرفت حرارتی و دینامیکی مهیا نیست.

در فصل بهار چون هنوز ایران کاملاً تحت سیطره پرفشار جنب‌حاره‌ای قرار نگرفته و به دلیل گرمای هوا، جو از رطوبت خوبی برخوردار است و حاکمیت همرفت، توفان‌های تندری را پدید می‌آورد (مسعودیان، ۱۳۹۰: ۱۴۲)، چنانکه شمال‌غرب دارای پربسامدترین روزهای توفان تندری در قیاس با سایر مناطق کشور است که این توفان‌های تندری ناشی از ترکیب پدیده دینامیکی و شرایط ویژه محلی هستند (علیجانی، ۱۳۸۵: ۷۸).

یافته‌های پژوهش

در این مطالعه روند تغییرات پدیده توفان تندری توسط آماره‌های دو آزمون ناپارامتری من - کندال و تخمینگر شیب سن شامل یک سری زمانی سالانه و چهار سری فصلی در کلیه ایستگاه‌ها محاسبه و در سطوح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪، معناداری این آماره‌ها آزمون شد (جدول ۲). همان‌گونه که از جدول (۲) پیداست، در پاره‌ای از سری‌های زمانی ایستگاه‌ها، ناهماهنگی و عدم انطباقی بین آماره‌های دو آزمون مورد استفاده، در تعیین روند و معناداری آن دیده می‌شود؛ به طوری که یک آزمون روند تغییرات یک ایستگاه را معنادار و آزمون دیگر آن را غیرمعنادار و حتی بدون روند بیان می‌دارد (تابستان شهرکرد و پاییز قزوین،....). در این راستا، با ملاحظه متون علمی مربوطه و بررسی داده‌های سری زمانی آشکار شد که با افزایش داده‌های صفر در سری‌های زمانی، آماره آزمون من - کندال به سمت ارقام بزرگ متمایل می‌گردد. لذا درجه اعتمادپذیری آن کاهش یافته، سری را با روند معنادار تشخیص می‌دهد. در صورتی که آزمون تخمینگر شیب سن دچار چنین خطایی نمی‌گردد و به نحو بهینه عدم روند را در چنین سری‌های تشخیص می‌دهد. بنابراین، توجه خود را بدین مهم معطوف می‌داریم که در صورت عدم تطابق نتایج دو آزمون در بیان معناداری یک سری زمانی، داده‌های آن را مورد ملاحظه قرار دهیم و در صورت مشاهده وضعیت فوق، تشخیص آزمون تخمینگر شیب را بپذیریم.

بررسی آماره هر دو آزمون نشان می‌دهد که در میان تمام سری‌های زمانی بیشترین و معنادارترین روندها مربوط به سری سالانه است. اما پرسشی بدین صورت مطرح است که آیا وجود روند فصلی در روند سالانه منعکس می‌گردد؟ بدینسان، به طور پیش‌فرض روند سالانه از روند فصلی بیشتر و یا مساوی آن است (در آزمون تخمینگر شیب). در نتیجه، مقایسه روند سالانه با فصلی امری از پیش مشخص است؛ اما تحلیل‌ها نشان داد که این پیش‌فرض در صورتی صحیح است که روندهای فصلی هم‌جهت باشند و یا وزن یکی از روندهای غیر هم‌جهت بسیار وزن‌تر از روند دیگر باشد. همچنین وجود چند روند هم‌جهت غیرمعنادار فصلی ممکن است به روند معنادار سالانه بینجامد (ایستگاه‌های اراک، سنندج و سمنان)؛ لذا روند فصلی ممکن است معنادار؛ ولی روند سالانه غیرمعنادار باشد.

همچنانکه از جدول (۲) پیداست، هر سه نوع روند در سری سالانه دیده می‌شوند. ارزیابی آماره‌های دو آزمون بیانگر آن است که تمام ایستگاه‌ها به جز ایستگاه‌های اصفهان و کرمانشاه دارای روند هستند. دو ایستگاه بم و آبادان دارای روند منفی و سایر ایستگاه‌ها دارای روند مثبت هستند. لذا برای بررسی این عدم تقارن در بین ایستگاه‌ها ابتدا باید به منشأ و عامل ایجادگر توفان تندی در این مکان‌ها اشراف داشت؛ مثلاً در چه منطقه‌ای عوامل فرامنطقه‌ای و در چه مناطقی عوامل محلی وزن بیشتری در ایجاد توفان تندی دارند. از طرفی، چون عوامل فرامنطقه‌ای در مقیاسی بزرگ تأثیر می‌گذارند، پس چند ایستگاه در مجاور هم باید روند تقریباً مشابهی را ارائه نمایند. بنابراین، چون نوع سازوکار موجود توفان تندی در سری فصلی نمود بیشتری پیدا می‌کند؟ نخست به بررسی سری‌های فصلی پرداخته می‌شود.

فصل زمستان: بررسی آماره‌های دو آزمون نشان می‌دهد که کمترین روند معنادار توسط هر دو آزمون مربوط به فصل زمستان است. همچنین، ملاحظه داده‌ها روشن می‌کند که کم‌بسامدترین سری از لحاظ رخداد توفان تندی، در مقیاس کل کشور، سری زمستان است؛ به صورتی که در بیشتر ایستگاه‌ها، فصل زمستان کمترین سهم را از لحاظ فراوانی روزهای همراه با توفان تندی به خود اختصاص می‌دهد؛ یعنی در این فصل شرایط رخداد توفان تندی در بیشتر ایستگاه‌ها کمتر مهیا می‌گردد؛ زیرا در بیشتر مناطق کشور سرمایه‌های محلی یا تهاجمات سرد اجازه ایجاد همرفتی حرارتی را نمی‌دهند و یا در مسیر توفان‌های تندی ناشی از سامانه‌های جبهه‌ای قرار ندارند؛ به صورتی که در برخی از مناطق غربی به علت قرارگیری در مسیر سامانه‌های جبهه‌ای شاهد رخداد توفان تندی قابل توجهی نسبت به سایر مناطق دیگر هستیم (خرم‌آباد، کرمانشاه، جدول ۱).

به طور کلی، آماره‌های هر دو آزمون گویای آن است که ایستگاه‌های بوشهر، اهواز و بندرعباس دارای روند افزایشی معنادار در سطح ۹۹٪ اطمینان و شیب خطی بیش از ۰/۱ روز در سال هستند. همچنین، ایستگاه شیراز دارای روند افزایشی معنادار در سطح ۹۵٪ اطمینان و شیب خط ۰/۰۸ است. سایر ایستگاه‌ها یا فاقد روند بوده و یا روند آنها معنادار نیست. عمده‌ترین علت آن را می‌توان در تندی نبودن فصل زمستان اکثر ایستگاه‌ها دانست. بررسی نمودار گام به گام من - کندال برای تعیین نقاط جهش و آغاز روند گویای آن است که نقطه جهش و آغاز روند افزایشی هر چهار ایستگاه در دهه‌های ۷۰ و ۸۰ میلادی رخ داده است (شکل ۴). لذا با توجه به نزدیکی هر چهار ایستگاه به همدیگر و یکسان بودن جهت روند و سال شروع روند می‌توان استنباط نمود که تغییرات فرامنطقه‌ای نقش عمده‌ای در افزایش روند روزهای توفان تندی این منطقه داشته است.

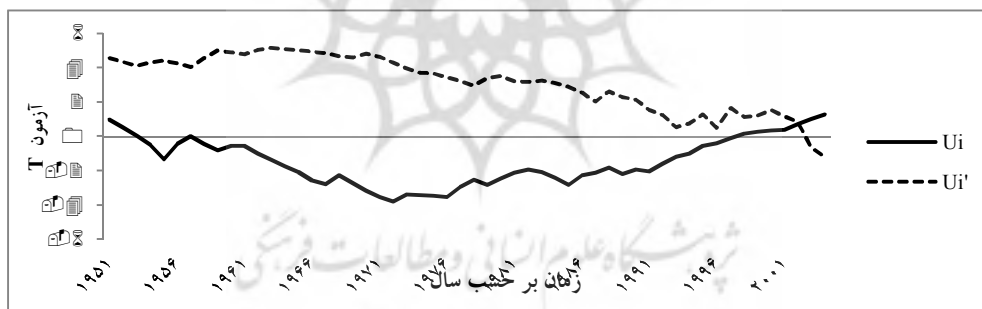
جدول ۲) نتایج حاصل از آماره‌های آزمون من - کندال تخمینگر شیب سن در سطوح اعتماد ۹۵٪ و ۹۹٪ $Q =$ شیب میانه؛ $Z =$ آماره

من - کندال، * معناداری در سطح ۹۵٪، ** معناداری در سطح ۹۹٪ اطمینان

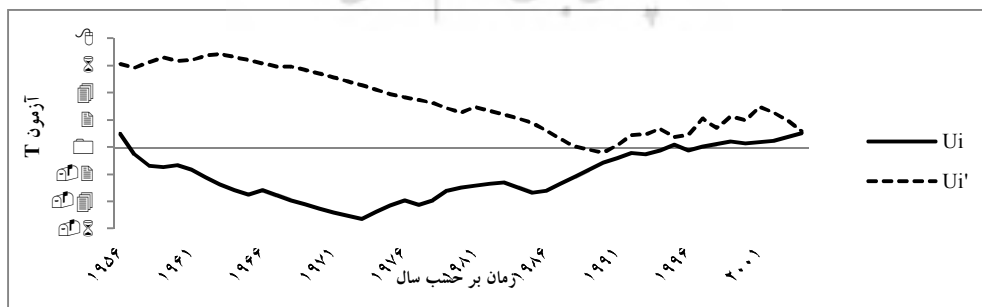
پاییز		تابستان		بهار		زمستان		سالانه		ایستگاه
Z	Q	Z	Q	Z	Q	Z	Q	Z	Q	
-۰/۲۳	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۰۰	-۱/۱	۰/۰۰	-۰/۹۸	۰/۰۰	-۱/۲	-۰/۰۵	آبادان
*۲/۷	۰/۰۲	۱/۶۷	۰/۰۰	۱	۰/۰۴	۰/۴	۰/۰۰	**۲/۷	**۰/۱۳	اراک
*۲/۱	۰/۰۳	*۲/۲۲	۰/۰۶	*۲/۴۳	*۰/۱۴	*۲/۳۹	۰/۰۰	**۳/۱۵	**۰/۲۴	ارومیه
۰/۸۳	۰/۰۰	-۰/۱۲	۰/۰۰	-۱/۴۱	-۰/۰۲	۱/۱۶	۰/۰۰	-۰/۸۳	۰/۰۰	اصفهان
۰/۶۳	۰/۰۰	۱/۶۴	۰/۰۶	۱/۵۵	۰/۰۷	۰/۸	۰/۰۰	*۲/۲۸	۰/۱۵	انزلی
**۶/۱	**۰/۲	۰/۴۹	۰/۰۰	**۴/۴	**۰/۱	*۵/۷	**۱/۶	**۶/۱	**۰/۵۳	اهواز
۱/۵۳	۰/۰۰	۰/۴۹	۰/۰۰	۰/۳۴	۰/۰۰	-۰/۳۱	۰/۰۰	۰/۹۹	۰/۰۴	بابلسر
-۱/۱۴	۰/۰۰	-۱/۲۶	۰/۰۰	-۲/۱	۰/۰۰	-۰/۴۹	۰/۰۰	**۰/۳	-۰/۰۷	بم
۰/۳۹	۰/۰۰	*۲/۵۳	۰/۰۴	۰/۳۳	۰/۰۰	**۳/۸۳	۰/۱۱	**۲/۸۵	*۰/۱۸	بندرعباس
**۳/۴	**۱/۷۵	۰/۵۵	۰/۰۰	**۲/۷۳	۰/۰۷	**۴/۳۲	**۲/۱	**۴/۶۴	**۰/۴۳	بوشهر
۱/۸۷	۰/۰۰	۰/۳۸	۰/۰۰	-۰/۷۳	۰/۰۰	۱/۵	۰/۰۳	۰/۶۵	۰/۰۳	بیرجند
*۲/۱۲	۰/۰۳	*۲/۰۵	۰/۰۹	۲/۲۲	۰/۱۵	۱/۷۹	۰/۰۰	**۲/۹۴	**۰/۲۹	تبریز
۱/۸۶	۰/۰۰	۰/۷۵	۰/۰۰	۱/۳	۰/۰۴۳	۰/۶	۰/۰۰	۱/۹۳	۰/۰۷۴	تربت حیدریه
۱/۰۵	۰/۰۰	۱/۲۷	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۹۷	۰/۰۰	۰/۸۸	۰/۰۵	تهران
**۲/۷	*۰/۰۸۶	*۲/۰۸	۰/۰	۱/۶۳	۰/۰۷	**۳/۱۸	۰/۰۸	**۳/۵	**۰/۲۶۵	خرم آباد
۱/۲۵	۰/۰۰	**۲/۸۲	*۰/۱۴	*۲/۲۸	*۰/۲۹	۰/۸۷	۰/۰۰	**۲/۷۳	**۰/۴۶۵	خوی
*۲/۴۵	۰/۰۴	*۲/۴۴	۰/۰۷	**۳/۵	**۰/۱۵	-۰/۸۷	۰/۰۰	**۴/۳	**۰/۲۹	رامسر
**۳/۸	۰/۰۵	**۵/۴۵	**۱/۷	**۵/۸	**۰/۲۵	۰/۹۷	۰/۰۰	**۶/۳	**۰/۵۷	رشت
۲/۱	۰/۰۰	۰/۴۲	۰/۰۰	*۲/۲۲	۰/۴	*۱/۹۸	۰/۰۰	*۲/۵۱	۰/۱	زاهدان
**۳/۶۳	*۰/۷	**۴/۸۵	**۱/۷	**۵/۰۸	**۰/۳۹	*۲/۰۹	۰/۰۰	**۵/۹	**۰/۷۴	زنجان
۰/۰۰	*۲/۲۶	*۲/۴۲	۰/۰۰	*۲/۰۳	۰/۲۸	**۳/۱	۰/۰۱	**۳/۵۱	**۰/۰۲	سبزوار
۱/۱۵	۰/۰۰	۱/۸	۰/۰۰	۱/۴۸	۰/۰۷	۱/۰۶	۰/۰۰	*۲/۱۹	۰/۱۳	سقز
*۲/۱۷	۰/۰۰	**۲/۶۶	۰/۰۵	**۳	*۰/۱۲۵	*۲/۳۶	۰/۰۰	**۳/۶۲	**۰/۲۷	سمنان
**۲/۶۵	۰/۰۶	۱/۰۹	۰/۰۰	۰/۹۸	۰/۰۵	۰/۲	۰/۰۰	**۲/۷۵	*۰/۱۹	سندج
**۴/۷۵	**۰/۱	*۲/۱۸	۰/۰	**۴/۳	**۰/۱۲	**۳/۷۶	۰/۰۵	**۵/۷۲	**۰/۰۳	شهرکرد
**۲/۸۸	۰/۰۶	۰/۷۳	۰/۰۰	۱/۲۵	۰/۰۰	**۳/۲۲	*۰/۸	**۳/۷۷	**۰/۱۹	شیراز
*۳	۰/۰۷	**۴/۷	**۱/۲	**۴/۶۴	**۰/۱۳	*۲/۳۱	۰/۰۳	**۵/۵۷	**۰/۵۳	قزوین
۰/۵۲	۰/۰۰	۰/۳۹	۰/۰۰	۱/۶۵	۰/۰۰	-۰/۱۳	۰/۰۰	۱/۰۹	۰/۰۳	کرمان
۰/۷۶	۰/۰۰	-۰/۴۸	۰/۰۰	-۰/۲۸	۰/۰۰	-۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۰۰	کرمانشاه
**۴/۹۱	۰/۰۷	**۵/۹۳	**۱/۴	**۴/۹۶	*۰/۱	**۳/۰۳	۰/۰۰	**۶/۴	**۰/۰۴	گرگان
۰/۱۵	۰/۰۰	*۲/۴	۰/۰۰	۱/۰۲	۰/۰۴	۱/۷۸	۰/۰۰	۱/۷۳	۰/۱۱	مشهد
۱/۵۱	۰/۰۲	*۲/۴۱	۰/۰۲	**۲/۸۲	*۰/۱۴	۱/۷۲	۰/۰	**۴/۲۳	**۰/۲۶	همدان نوژه
۰/۹۴	۰/۰۰	-۰/۵۴	۰/۰۰	۱/۹۵	۰/۰۳	*۲/۱۲	۰/۰۰	*۲/۱۲	۰/۰۵	یزد

از عوامل اصلی رخداد بارش‌های رگباری (و به نوعی رخداد توفان تندری) در مناطق جنوب و جنوب غرب و غرب کشور ورود سامانه‌های سودانی به این مناطق است؛ به نحوی که دو مسیر در ادغام با سامانه‌های مدیترانه‌ای از سمت غرب و جنوب غرب کشور وارد می‌شوند و سه مسیر به صورت مستقل: الف) از سمت شمال عربستان، کویت و خوزستان؛ ب) از طریق شمال عربستان و استان بوشهر و ج) از طریق مرکز عربستان و استان هرمزگان وارد کشور می‌شوند (لشکری، ۱۳۸۱: ۱۴۳-۱۵۴). بنابراین، چون ایستگاه‌های مورد نظر در مسیرهای این سامانه قرار دارند، احتمالاً یکی از اصلی‌ترین دلایل روند افزایشی روزهای توفان تندری ایستگاه‌های مذکور، افزایش تعداد این سامانه‌ها یا مرطوب‌تر شدن آنهاست. همچنین، باید ذکر نمود که دو ایستگاه خرم‌آباد و شهرکرد به ترتیب با شیب خط ۰/۰۸ و ۰/۰۵ دارای آغاز روند افزایشی در دهه ۷۰ هستند؛ به طوری که در انتهای سال آماری دو منحنی همدیگر را قطع می‌کنند (اگر سال‌های آماری جدید اضافه شوند، احتمالاً روند دو ایستگاه مذکور نیز معنادار می‌شود)؛ اما این روندها معنادار نبود (شکل‌های ۲ و ۳).

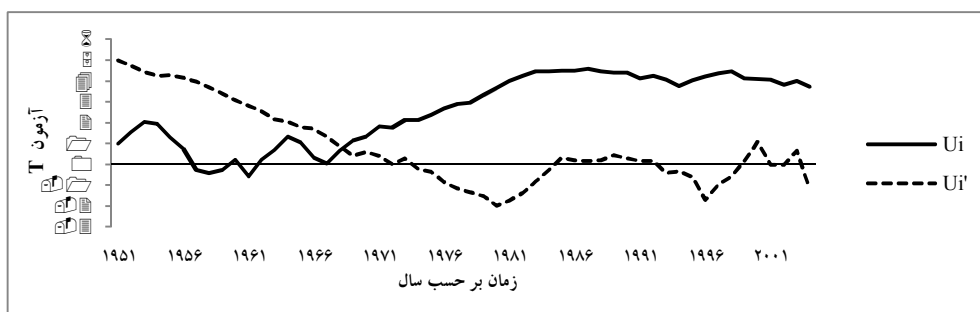
فصل پاییز: ایستگاه‌های بوشهر و اهواز، در سطح ۰/۹۹ اطمینان و شهرکرد، خرم‌آباد و زنجان در سطح ۰/۹۵ اطمینان دارای روند مثبت معناداری هستند. روند افزایشی ایستگاه‌های اهواز (شکل ۵)، خرم‌آباد و شهرکرد از دهه ۷۰ و روند افزایشی ایستگاه بوشهر از دهه ۶۰ آغاز می‌گردد؛ اما انجام آزمون گام به گام من - کندال، روند را برای زنجان به علت خارج نشدن منحنی‌های توالی از منطقه بحرانی، غیر معنادار برآورد نمود.



شکل ۲) الگوی زمانی روند تندر زمستانه ایستگاه خرم‌آباد بر مبنای توالی آماره‌های آزمون من - کندال



شکل ۳) الگوی زمانی روند تندر زمستانه ایستگاه شهرکرد بر مبنای توالی آماره‌های آزمون من - کندال

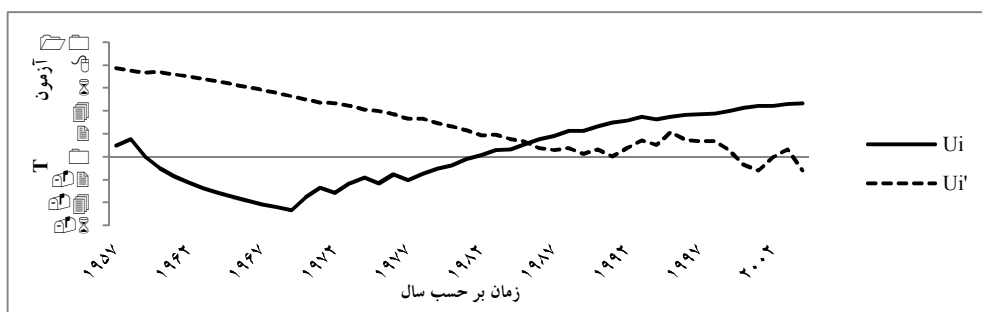


شکل ۴) الگوی زمانی روند تندر زمستانه ایستگاه بوشهر بر مبنای توالی آماره‌های آزمون من - کندال

برخی از ایستگاه‌ها؛ به خصوص ایستگاه‌های شمال غرب و سواحل دریای خزر دارای روند افزایشی بوده؛ اما این روندها معنادار نیست. سایر ایستگاه‌ها فاقد روند هستند. از آنجایی که سامانه‌های سودانی از حدود آبان‌ماه به ایران وارد می‌شوند و بیشتر مناطق جنوبی، غربی و جنوب غربی را تحت تأثیر قوی قرار می‌دهند و با توجه به اینکه ایستگاه‌های مذکور در مسیر ورود این سامانه‌ها قرار دارند، می‌توان همان تحلیل زمستان را برای پاییز با اندکی تغییر پذیرفت. بدین ترتیب، می‌توان اذعان نمود عامل مؤثر در افزایش روزهای توفان تندری در این مناطق در فصول پاییز و زمستان افزایش در بسامد ورود این سامانه‌ها یا مرطوب‌تر شدن آنهاست (البته، این مهم نیاز به تحلیل‌های همدید دقیق دارد).

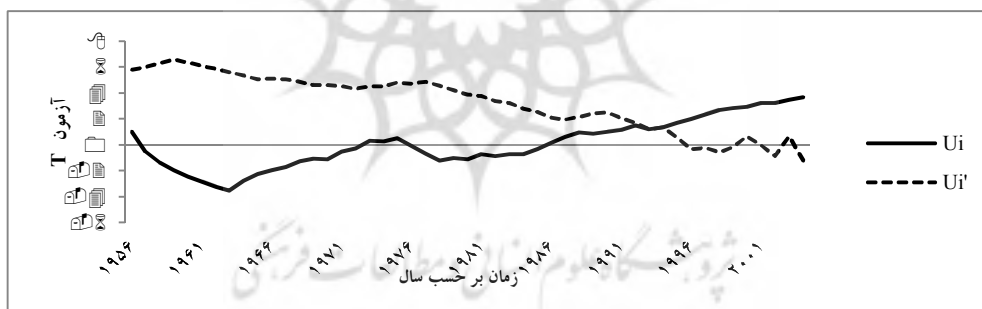
فصل تابستان: ایستگاه‌های رشت، گرگان، خوی، زنجان (شکل ۶) و قزوین در سطح ۹۹٪ اطمینان دارای روند افزایشی معنادار هستند و سایر ایستگاه‌های شمال غرب و سواحل خزر دارای روند افزایشی، البته غیرمعنادار هستند. از این رو، چون منشاء همرفت‌های شدید در این وقت از سال در سواحل خزر بیشتر ناشی از شرایط محلی است، احتمالاً تغییر کاربری زمین و یا افزایش اختلاف دمای بین آب و ساحل، نقش مؤثرتری در ایجاد روند افزایشی توفان تندری ایفا نموده‌اند. مابقی ایستگاه‌های مورد استفاده فاقد روند هستند. شاید علت اصلی نبود روند در این ایستگاه‌ها عقب نشینی بادهای غربی به سمت عرض‌های بالا و عدم ورود سامانه‌های دینامیکی و غلبه مرکز پرفشار جنب‌حاره‌ای (مسعودیان ۱۳۹۰: ۳۳) در این مناطق باشد که مانع از شکل‌گیری هرگونه حرکت صعودی می‌گردد. لذا در مناطقی که در این فصل تحت سیطره مرکز پرفشار جنب‌حاره‌ای قرار دارند، تنها تغییرات محلی و منطقه‌ای (مانند سواحل خزر) نمی‌تواند باعث شکل‌گیری روند معنادار در رخداد توفان تندری گردد. در این صورت باید عوامل فرامنطقه‌ای در این موقع از سال نیز دچار تغییر گردند.

فصل بهار: ایستگاه‌های زنجان، قزوین، خوی رشت، رامسر، شهرکرد و اهواز در سطح ۹۹٪ اطمینان و ایستگاه‌های گرگان، ارومیه، سمنان و همدان نوزده در سطح ۹۵٪ اطمینان دارای روند افزایشی معنادار هستند. ایستگاه زنجان با شیب ۰/۳۹ روز در سال و ایستگاه گرگان با ۰/۱ روز در سال، به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین افزایش فراوانی روزهای همراه با توفان تندری را در بین ایستگاه‌های معنادار، دارا هستند. مقایسه ایستگاه‌های معنادار فصول تابستان و بهار واقع در سواحل خزر و شمال غرب گویای آن است که روند افزایشی اکثر ایستگاه‌ها از دهه ۸۰ آغاز شده است (ایستگاه رشت، شکل ۷).

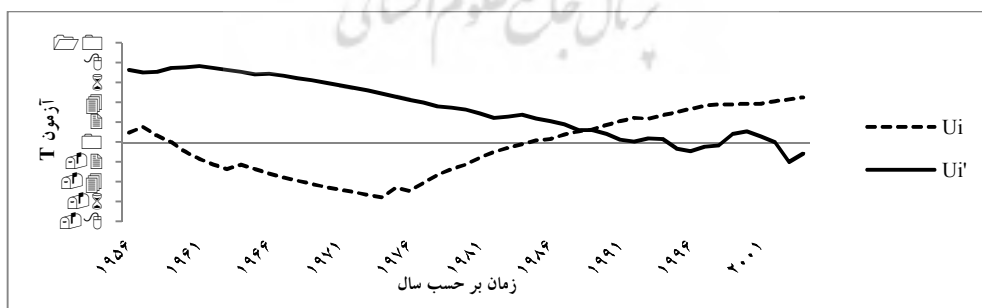


شکل ۵) الگوی زمانی روند تندر پاییزه ایستگاه اهواز بر مبنای توالی آماره‌های آزمون من - کندال

ایستگاه‌هایی که در فصل تابستان معنادار بوده‌اند، در فصل بهار نیز معنادار هستند. از این رو، می‌توان بیان نمود که احتمالاً سازوکار موجب تندر در دو فصل بهار و تابستان در این مناطق تا حدودی (به طور جداگانه) شبیه به هم است. بنابراین، روند افزایشی در شدت این سازوکار (البته، با شدت کمتری در فصل تابستان) باعث روند افزایشی در فراوانی روزهای تندری شمال غرب و سواحل خزر شده است. البته، عوامل محلی در سواحل خزر نقش بارزتری در ایجاد روند افزایشی تندر نسبت به شمال غرب دارند؛ زیرا پراکنش مکانی روند در سواحل خزر ناموزون است؛ در صورتی که در شمال غرب پراکنش مکانی روند موزون‌تر و سال آغاز و نقطه جهش در اکثر ایستگاه‌ها نزدیک به هم است. شاید علاوه بر تغییر کاربری زمین و افزایش دما، افزایش ورود جبهه سرد در مقیاس همدید (رسولی و همکاران ۱۳۸۶: ۱۶۹) باعث روند افزایشی در فراوانی رخداد توفان تندری در شمال غرب گردیده است.



شکل ۶) الگوی زمانی روند تندر تابستانه ایستگاه زنجان بر مبنای توالی آماره‌های آزمون من - کندال

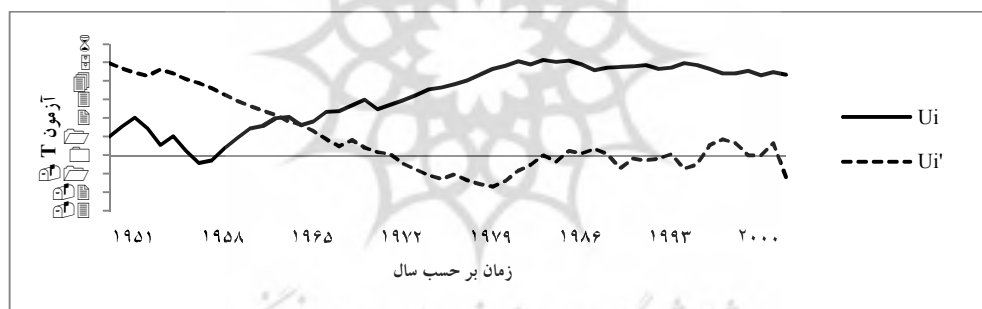


شکل ۷) الگوی زمانی روند تندر بهاره ایستگاه رشت بر مبنای توالی آماره‌های آزمون من - کندال

در مقیاس سالانه، ۵۸٪ ایستگاه‌ها در سطح ۹۹٪ و ۹۵٪ اطمینان دارای روند معناداری مثبت هستند. ایستگاه‌های اصفهان، آبادان و بم دارای روند کاهشی هستند. روند ایستگاه بم توسط آزمون من - کندال معنادار تشخیص داده شد؛ اما بررسی آمار این ایستگاه حاکی از وجود سال‌های زیادی با عدم رخداد توفان تندری است؛ یعنی داده‌های صفر این

ایستگاه فراوان هستند. بدینسان نمی‌توان به آماره معناداری آزمون من - کندال در این مورد اعتماد ورزید. بنابراین، با توجه به آماره آزمون تخمینگر شیب، روند این ایستگاه مانند دو ایستگاه دیگر غیرمعنادار تشخیص داده می‌شود. سایر ایستگاه‌ها روند مثبت غیرمعناداری را نمایش می‌دهند. همچنین، روند ایستگاه اراک توسط دو آزمون من - کندال و تخمینگر شیب در سطح ۹۹٪ معنادار ارزیابی شد؛ اما آزمون من - کندال گام به گام، روند ایستگاه مربوطه را به علت خارج نشدن از ناحیه بحرانی غیرمعنادار تشخیص داد.

مقایسه پراکنش مکانی ایستگاه‌های معنادار آشکار می‌کند که اکثر آنها در سواحل خزر، شمال غرب، غرب، جنوب غرب و سواحل جنوبی قرار دارند؛ یعنی در مکان‌هایی که در مسیر شار رطوبت و یا موج‌های کوتاه و سامانه‌های جبهه‌ای ورودی به کشور قرار دارند. در نیمه شرقی کشور تنها ایستگاه سبزواری دارای روند معنادار مثبت است؛ به طوری که ایستگاه‌های پیرامون این ایستگاه (مشهد و تربت حیدریه) فاقد روند هستند. از این رو، به احتمال فراوان تغییر شرایط محلی نقش مؤثری در ایجاد این روند نموده است. بررسی آزمون گام به گام من - کندال برای تعیین نقاط آغاز روند گویای آن است که تغییرات اکثر ایستگاه‌های کشور از دهه‌های ۸۰ و ۹۰ میلادی آغاز شده؛ در حالی که آغاز روند دو ایستگاه جنوبی کشور (بندرعباس و بوشهر) در اواخر دهه ۶۰ میلادی اتفاق افتاده است (شکل ۸)؛ به طوری که میانگین روزهای همراه با توفان تندی بعد از سال ۶۷ میلادی (آغاز روند)، نسبت به سال‌های قبل از آن حدود ۲/۵ برابر است.



شکل ۸) الگوی زمانی روند تندر سالانه ایستگاه بوشهر بر مبنای توالی آماره‌های آزمون من - کندال

ملاحظه شیب میانه (شدت افزایش) در مقیاس سالانه گویای آن است که ایستگاه زنجان با شیب ۰/۷۴ روز در سال و ایستگاه اراک با شیب ۰/۱۳ روز در سال به ترتیب بیشترین و کمترین فراوانی افزایش روزهای توفان تندی را در میان ایستگاه‌های معنادار دارا هستند؛ در حالی که بیشترین افزایش میانگین روزهای پس از آغاز روند نسبت به قبل از آغاز آن مربوط به ایستگاه گرگان با نسبت ۸ برابر است. سایر ایستگاه‌ها به طور متوسط افزایشی در حدود ۲/۵ برابر دارند، و این نشان از تغییر اساسی در آب و هوای منطقه دارد.

نتیجه گیری

پراکنش مکانی - زمانی روزهای توفان تندری، بیانگر آن است که سازوکار ایجاد این پدیده در ایران متفاوت است. لذا با توجه به فعال بودن این سازوکارها در هر یک از فصول سال، شرایط رخداد آن در یکی از مناطق کشور مهیا می گردد. در این راستا، مرکز بیشینه فراوانی رخداد توفان تندری در طی فصول سال دچار جا به جایی مکانی می شود؛ به طوری که براساس آمار ۵۰ ساله، مرکز بیشینه فراوانی روزهای توفان تندری در فصول بهار و تابستان در شمال غرب با مرکزیت تبریز و در فصول پاییز و زمستان در سواحل خلیج فارس و غرب ایران با مرکزیت بوشهر قرار دارد. در این رابطه نواحی مرکزی ایران و کوهپایه های شرقی زاگرس به علت کمبود رطوبت، شرایط بادپناهی و کم بسامد بودن سامانه های دینامیکی دارای کمترین میزان رخداد توفان تندری هستند.

بررسی روند تغییرات فراوانی روزهای همراه با توفان تندری، در چهار سری فصلی و یک سری سالانه توسط دو آزمون من - کندال و تخمینگر شیب سن در سطوح اطمینان ۹۹٪ و ۹۵٪ حاکی از آن است که کلیه روندهای معنادار در تمام سری ها به جز سری سالانه ایستگاه بم از نوع افزایشی هستند. به طور کلی، در بیشتر موارد، نتایج دو آماره شبیه به هم بوده و در هیچ موردی تشخیص متضادی از جهت افزایشی و کاهششی نشان دادن هر یک از سری ها براساس آماره هر دو آزمون مشاهده نشد. با وجود این، آماره من - کندال نسبت به آماره تخمینگر شیب سن روندها را معنادارتر تشخیص داد. همچنین، در سری های که دارای عدد صفر فراوان هستند، آماره من - کندال به سمت اعداد بزرگ متمایل گردید. لذا روند غیرمعنادار را معنادار تشخیص داد (ایستگاه بم در سری سالانه...؛ در صورتی که آماره تخمینگر شیب به علت حساس نبودن به چنین مسأله ای عدم روند معنادار را به درستی تشخیص داد. بنابراین، در استفاده از آزمون من - کندال در سری های که دارای اعداد صفر هستند، باید جانب احتیاط را نگه داشت و چندان به تشخیص آن اعتماد نکرد.

نتایج گویای آن است که کمترین و بیشترین روند معنادار توسط هر دو آزمون به ترتیب مربوط به سری زمستانه و سری سالانه است؛ به طوری که در سری سالانه ۵۸٪ ایستگاه دارای روند معنادار بودند. همچنین، شدیدترین و خفیف ترین شیب خط معنادار در هر پنج سری به ترتیب مربوط به سری سالانه و سری پاییز ایستگاه زنجان بود. نتایج ناشی از آزمون توالی گام به گام من - کندال مشخص نمود که بیشتر روندها از دهه های ۷۰ و ۸۰ میلادی شروع شده اند. همچنین، بازشکافی عوامل مؤثر در رخداد طوفان تندری از حیث زمانی - مکانی گویای آن است که در فصول زمستان و پاییز بیشتر توفان های تندری از نوع جبهه ای بوده؛ لذا تغییرات سامانه های موجد آنها (سودانی، ادغامی و مدیترانه ای) نقش مؤثری در روند افزایشی روزهای تندری در مناطق معنادار داشته است (سواحل جنوب، جنوب غربی و غرب کشور)؛ اما در فصل تابستان بیشتر تغییرات محلی باعث ایجاد روند در مناطقی مانند سواحل خزر گشته است. به طور کلی، با توجه به اینکه توفان تندری به صورت نمودی از شرایط حرارتی و رطوبتی منطقه ای و شرایط حرارتی - رطوبتی و قدرت سامانه های دینامیکی است؛ لذا هر تغییری در فراوانی رخداد آن می تواند بازگوکننده تغییر در پارامترهای مذکور باشد. در نتیجه، با توجه به یافته های این مطالعه می توان بیان داشت که جلوه ای از تغییر آب و هوا در ایران به وقوع پیوسته است. با این حال، تحقیقات نوین در مورد سایر پارامترها می تواند بر این مهم صحنه گذاشته و یا آن را رد نماید.

منابع

- ۱- اسپرنت، پی و اسمیتون، ان. سی. (۱۳۸۶). *روش‌های آماری ناپارامتری کاربردی*، برگردان: حسینعلی نیرومند، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ دوم، ۵۷۶ ص.
- ۲- خوشحال دستجردی، جواد و قویدل رحیمی، یوسف. (۱۳۸۶). شناسایی ویژگی‌های سوانح محیطی منطقه شمال غرب ایران (نمونه مطالعاتی: خطر توفان‌های تندری در تبریز). *نشریه مدرس علوم انسانی - برنامه ریزی و آمایش فضا*، ش ۴۴، صص ۱۰۱-۱۱۶.
- ۳- زُبرت بابرز، هریس. (۱۳۷۷). *هواشناسی عمومی*، برگردان، تاج الدین بنی‌هاشم و همکاران، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی.
- ۴- رسولی، علی اکبر؛ بوداق جمالی، جواد و جلالی، اورج. (۱۳۸۶). توزیع زمانی بارش‌های رعدوبرقی منطقه شمال غرب ایران، *مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم انسانی)* ش ۲۲، صص ۱۵۵-۱۷۰.
- ۵- علیجانی، بهلول. (۱۳۸۵). *آب و هوای ایران*، انتشارات پیام نور.
- ۶- غیور، حسنعلی و عساکره حسین. (۱۳۸۲). کاربرد مدل‌های فوریه در برآورد دمای ماهانه و آینده‌نگری آن، مطالعه موردی: دمای مشهد، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر آب و هوا، دانشگاه اصفهان.
- ۷- کتیرایی، پری‌سیما، حجام، سهراب و ایران‌نژاد پرویز. (۱۳۸۶). سهم تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه در روند بارش در ایران طی دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱، *مجله فیزیک زمین و فضا*، ش ۱، صص ۶۷-۸۳.
- ۸- لشکری، حسن. (۱۳۸۱). مسیریابی سامانه‌های کم فشار سودانی ورودی به ایران، *فصلنامه مدرس علوم انسانی*، ش ۲، صص ۱۳۳-۱۵۷.
- ۹- مسعودیان، سید ابوالفضل. (۱۳۹۰). *آب و هوای ایران*، انتشارات شریعه توس، ۲۷۷ ص.
- ۱۰- منصورفر، کریم. (۱۳۸۷). *روش‌های پیشرفته آماری*، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دوم، ص ۴۵۹.
- 11- Chaudhuri, S and Middey, A. (2013). Effect of meteorological parameters and environmental pollution on thunderstorm and lightning activity over an urban metropolis of India. *J, Urban Climate* 3 (2013) 67-75.
- 12- Cheng Chen, T., Yu Wang, S., Cheng Yen, M. (2006). Enhancement of Afternoon Thunderstorm Activity by Urbanization in a Valley: Taipei, *J: Applied meteorology and climatology*, V:46, pp: 1324-1340.
- 13- Easterling, R. D. (1991). Climatological Patterns of Thunderstorm Activity In South-Eastern USA. *International Journal of Climatology*. 36, 213-221.
- 14- Feng, G. and Hu, X. (2011). Analysis of Lightning Characteristics in a Thunderstorm with Gust, *Procedia Earth and Planetary Science*. 2, 205- 211.
- 15- Lindzen, R. S. (1990). some coolness concerning global warming. *Bull Am Meteorol Soc*. 71, 288-299.
- 16- Rasouli, A. A. (2004). Temporal and spatial study of thunderstorm rainfall in the greater Sydney region, *International Conference on storms*. Australia.