

روند تغییرات زمانی مخاطره توفان‌های تندri در ایران

یوسف قویدل رحیمی^{۱*}، پرستو باغانان^۲، منوچهر فرجزاده اصل^۳

- ۱- استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات آب و هوایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- ۳- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

دریافت: 93/8/6 پذیرش: 93/11/5

چکیده

در این پژوهش از داده‌های فراوانی وقوع ماهیانه روزهای توأم با توفان تندri 25 ایستگاه سینوپتیک کشور در بازه زمانی 1960 تا 2010 استفاده شده است. همچنین، تغییرات زمانی توفان‌های تندri ایران با استفاده از روش‌های تحلیل خوش‌های سلسه‌مراتبی وارد با مجزور فاصله‌اقلیدسی و آزمون ناپارامتری من کنдал بررسی شده است. با توجه به بررسی‌های تحلیل خوش‌های، سه ناحیه اقلیمی با روندهای مشابه از نظر فراوانی وقوع توفان‌های تندri شناسایی شد: منطقه شمال غرب و شمال میانی؛ نیمة‌غربی و شمال شرق؛ نیمة‌جنوبی، سواحل دریای خزر، بخش‌های مرکزی و شرقی کشور. نتایج بررسی توزیع زمانی توفان‌های تندri ایران نشان می‌دهد بیشترین فراوانی رخداد این پدیده در ماههای می، آوریل، زوئن و اکتبر است. در بازه زمانی فصلی نیز اوج فعالیت توفان‌های تندri در بهار و پاییز متوجه شده است. علاوه بر این، از نظر مکانی در بازه‌های زمانی ماهیانه، فصلی و سالیانه حداقل فراوانی وقوع توفان‌های تندri در مناطق شمال غرب و غرب بسیار بیشتر از سایر مناطق ایران است. شبیه روند تغییرات وقوع توفان‌های تندri ایران نشان می‌دهد روند تغییرات در کل بازه‌های زمانی ماهیانه، فصلی و سالیانه افزایشی بوده و براساس نتایج آزمون من کنдал معنادار است.

واژه‌های کلیدی: توفان تندri، مخاطره آب و هوایی، تحلیل زمانی، تحلیل روند، ایران.

۱- مقدمه

پدیده جوی توفان تندri از مهم‌ترین و مخرب‌ترین مخاطرات اقلیمی است و در ایران نیز در تمام مناطق آب و هوایی رخ داده و همه‌ساله خسارات فراوانی بهار می‌آورد. بدلیل اهمیت فراوان توفان‌های تندri و خسارات سنگین آن در سالیان متولی، در ارتباط با تحلیل زمانی و مکانی، روند و بررسی



رفتار وقوع توفان‌های تندری و پدیده‌های توأم با آن، محققان زیادی به بررسی این پدیده‌اقلیمی پرداخته‌اند. شانون¹ (1976: 482) پس از بررسی فراوانی توفان‌های تندری دنیا و روند آن‌ها نتیجه گرفته که حد کمینه فراوانی وقوع توفان‌های تندری در دوره 1951-1970 از 10-30 درصد زیر میانگین 70 ساله، در بخش‌هایی از جنوب اروپا متتمرکز است. استنلی و شانون² (1985: 6181) نشان داده‌اند که آمریکای شمالی از 1901-1945 شاهد افزایش 14 درصدی در فراوانی وقوع تندری بوده است. گرانت³ (1992: 18215) در بررسی توفان‌های تندری آفریقا جنوبی و اروپا دریافت که در تابستان توفان تندری در قاره آفریقا افزایش چشم‌گیری دارد. مولینی و پونتیکیس⁴ (1995: 1085) پس از مطالعه شرایط رخداد توفان‌های تندری فرانسه به این نتیجه رسیدند که وقوع توفان تندری با نوسانات کمربند همگرایی بین حاره‌ای در ارتباط است و این نوسان از مارس تا آگوست افزایش و از سپتامبر تا فوریه کاهش می‌یابد. دای⁵ (2000: 1092) معتقد است وقوع توفان‌های تندری بیشتر در بعدازظهرها و نواحی خشک در تمام فصول رخ می‌دهد. آلتاراتز⁶ و همکاران (2003: 2060) در مطالعه فعالیت رعدوبرق در سواحل شرقی مدیترانه متوجه شدند که تمرکز اصلی توفان‌های تندری در طول کرانه‌ای سواحل روی داده و از سواحل دریا به‌سمت بخش‌های شمالی و مرکزی شهر نیز رخداد آن مشاهده می‌شود. شوستر⁷ و همکاران (2005: 1633) در پژوهش خود دریافتند که توفان‌های تندری منجر به بارش تگرگ در نیوساوث ولز، اغلب در دوره سرد سال رخ می‌دهد؛ اما اوج فعالیت زمانی آن‌ها در نوامبر و دسامبر متتمرکز است. رسولی (2006: 5) پس از بررسی توزیع زمانی و مکانی بارش‌های توفان‌های تندری سیدنی متوجه شد که این پدیده در بهار و تابستان و طی اواخر بعدازظهر و آغاز غروب و بیشتر در نواحی ساحلی و کوه‌ها و کمتر در زمین‌های پست داخل حوضه سیدنی روی می‌دهد. چادهوری⁸ (2008: 123) در بررسی حرکات پایین‌سو در توفان‌های تندری به این نتیجه رسید که توفان‌های تندری شدید کلکته قبل از شروع فصل موسومی (اویل تا می) و در تراز 700 هکتوپاسکال به‌موقع می‌پیوندد. کانز⁹ و همکاران (2009: 2283) در پژوهشی به بررسی روند توفان‌های تندری و توفان‌های تگرگ و رابطه آن‌ها با ویژگی‌های جوی جنوب غربی

1. Changnon

2. Stanley & Changnon

3. Grandt

4. Molinie & Pontikis

5. Dai

6. Altaratz

7. Schuster

8. Chaudhuri

9. Kunz

آلمان پرداخته و متوجه افزایش زیادی در فراوانی وقوع روزهای تگرگی شده‌اند. فلورین^۱ (2010: 407) تغییرات فعالیت و فراوانی رخداد توفان تندri در واسلو را بررسیده و دریافته که زمان شروع توفان تندri از ۱۷ آوریل تا ۲۸ ماه می‌است. به طور کلی، در غرب واسلو طول فصل وقوع توفان تندri کمتر از شرق است؛ ولی شدت آن در غرب بیشتر غرب واسلو است. برپایه مطالعه پیتسو^۲ و همکاران (2013: 5231) در برزیل، توفان‌های تندri سائوپائولو و کامپیانس افزایش چشمگیری داشته، ریودوژانیرو فاقد روند افزایشی بوده و به طور کلی افزایش فعالیت توفان‌های تندri در این مناطق با رخداد ال نینو و لانینا در ارتباط است. به عقیده موروگاول^۳ و همکاران (2014: 3179) وضعیت اقلیمی و توپوگرافی شمال و مرکز هند، شمال شرق پاکستان و بنگالادش شرایط مطلوبی را برای تشکیل توفان‌های تندri و صاعقه فراهم کرده است.

به طور کلی درباره تحلیل زمانی و مکانی توفان‌های تندri در ایران پژوهش چندانی انجام نشده و بیشتر مطالعات در زمینه بررسی‌های آماری، همدید و دینامیک است. از تحقیقات انجام‌گرفته در ایران می‌توان به این موار اشاره کرد:

غیبی و همکاران (2005: 329) در مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شبکه‌های عصبی اقدام به تعیین ویژگی‌ها و طبقه‌بندی توفان‌های تندri مناطق جنوب و جنوب غرب ایران کرده‌اند. نتایج پژوهش جلالی و همکاران (1385: 18) نشان می‌دهد اغلب بارش‌های تندri اهر در فصل‌های بهار و تابستان و طی ساعات بعدازظهر و اویل شب رخ می‌دهد. خورشیددوست و قویدل رحیمی (48: 1385) در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که بیشترین میزان وقوع توفان‌های تندri ایران در منطقه شمال غرب ایران و در فصل بهار بهویژه اردیبهشت رخ می‌دهد. نتیجه پژوهش یادشده به صورت یک مونوگرافی آماری برای ایستگاه تبریز در مقاله خوشحال دستجردی و قویدل رحیمی (101: 1386) تکرار شده است.

به دلیل اهمیت فراوان توفان‌های تندri و زیان‌های اقتصادی و مالی ناشی از آن و با توجه به خسارات سنگین و صدمات جبران‌ناپذیر بعضی از توفان‌های تندri، و همچنین با عنایت به شروع ناگهانی و نداشتن زمان کافی جهت مقابله و چاره‌اندیشی دریابر این پدیده اقلیمی، ضرورت بررسی بیشتر آن در کشور احساس می‌شود. این پژوهش با هدف بررسی توزیع زمانی توفان‌های تندri در ایران انجام‌گرفته و در صدد واکاوی تغییرات زمانی و تبیین روند بلندمدت زمانی وقوع توفان‌های تندri است.

1. Florin

2. Pinto

3. Murugavel



عموماً در یک پهنه جغرافیایی وسیع، توزیع زمانی مخاطره توفان‌های تندری تابعی از زمان است؛ به این شکل که تمرکز زمانی توفان‌های تندری علاوه بر توزیع جغرافیایی خاصی که دارد، در زمان‌های مشخصی از سال قرار دارد که در آن زمان‌ها یا به‌اصطلاح فصول یا ماه‌های فصل خاص، بیشترین تعداد توفان تندری وقوع می‌یابد. مسئله مهمی که در این پژوهش به آن پرداخته شده، تعیین خط سیر زمانی بلندمدت تمرکز زمانی وقوع توفان‌های تندری ایران است که نشان می‌دهد آیا توزیع سری زمانی توفان‌های تندری ایران در زمان‌های اوج، مشمول تغییرات افزایشی یا کاهشی شده‌اند یا نه. وجود روند معنادار در توزیع زمانی وقوع توفان‌های تندری که در ارتباط با بیلان تبخیر و تعرق و دماسه، می‌تواند یکی از نشانه‌های وقوع تغییر آب‌وهواستی در یک فضای جغرافیایی وسیع باشد. بر این اساس، هدف تحلیل زمانی فراوانی وقوع توفان‌های تندری پی بردن به وجود یا نبود روند معنادار و به‌تبع آن، وقوع تغییرات آب‌وهواستی یا در یک کلام، تغییرپذیری زمانی وقوع توفان تندری در ایران است.

2- داده‌ها و روش‌ها

داده‌های فراوانی وقوع ماهیانه توفان‌های تندری 25 ایستگاه سینوپتیک در بازه آماری 51 ساله (1960-2010) است که از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده. توزیع جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح ایران در شکل یک دیده می‌شود.



شکل 1 پراکنش جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در پهنه ایران

پس از مرتب کردن و ایجاد پایگاه اطلاعاتی ماهیانه توفان‌های تندری، با استفاده از داده‌های ماهیانه و محاسبه مجموع سه‌ماهه هر فصل، سری‌های فصلی و با محاسبه مجموع دوازده ماه سال، سری زمانی سالیانه بدست آمد. پس از استخراج داده‌ها به دلیل حجم زیاد آن‌ها و پراکنش ناهمگون ایستگاه‌های مورد مطالعه، از روش تحلیل خوش‌های سلسله‌مراتبی وارد با مجازور فاصله اقلیدسی به منظور ناحیه‌بندی اقلیمی ماهیانه، فصلی و سالیانه روزهای همراه با توفان‌های تندری استفاده شد.

برای تبیین و تفهیم بهتر وضعیت نوسانات زمانی توفان‌های تندری، با استفاده از مؤلفه روند تحلیل سری‌های زمانی اقدام به ترسیم و تحلیل روند بلندمدت فراوانی وقوع توفان‌های تندری ماهیانه، فصلی و سالیانه شد. همچنین، از آماره من کنال، روش متداول آماری، برای آشکارسازی معناداری روند تغییرات سری توفان‌های تندری استفاده شد.

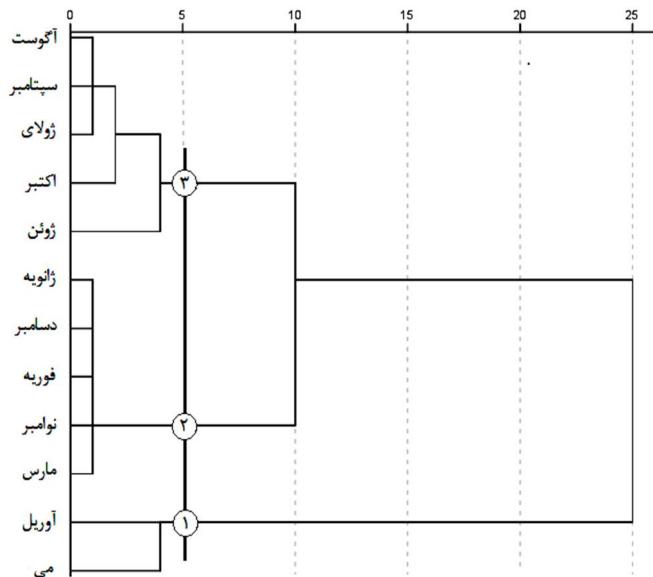
3- نتایج و بحث

1-1- تحلیل‌های ماهیانه

تحلیل‌های آماری و بررسی توزیع زمانی و مکانی توفان‌های تندری نشان می‌دهد فعالیت‌های ماهیانه توفان‌های تندری از اوایل فصل بهار در ماه‌های می، آوریل و ژوئن به حداقل رسیده است و پس از آن بالاترین فراوانی وقوع در ماه اکتبر در فصل پاییز در نیمه غربی کشور به‌ویژه در شمال غرب و غرب کشور مشاهده می‌شود. روند ماهیانه توفان‌های تندری از ماه‌های فصل پاییز به‌سمت ماه‌های ژانویه و فوریه در فصل زمستان و از اواخر ماه ژوئن به‌سمت تابستان کاهش بسیاری می‌یابد؛ به‌طوری که کمترین مقدار وقوع توفان‌های تندری در ماه‌های آگوست، سپتامبر، ژانویه و فوریه است. از نظر فضایی نیز، کمترین مقدار توفان‌های تندری در نواحی جنوب شرق، جنوب، بخش‌های مرکزی و شرق کشور اتفاق می‌افتد. با توجه به تمرکز ماهیانه رخداد توفان‌های تندری در ماه می، تحلیل‌های ماهیانه براساس فراوانی وقوع توفان‌های تندری ماه می انجام شده است.

برای طبقه‌بندی فراوانی ماهیانه وقوع توفان‌های تندری، تحلیل خوش‌های توفان‌های تندری در شکل شماره دو صورت گرفته است. برشی سه‌خوش‌های از فراوانه ماهیانه وقوع طوفان‌های تندری که تجانس زیادی نیز داشته، حاکی از تمرکز بیشینه وقوع توفان‌های تندری در خوشة

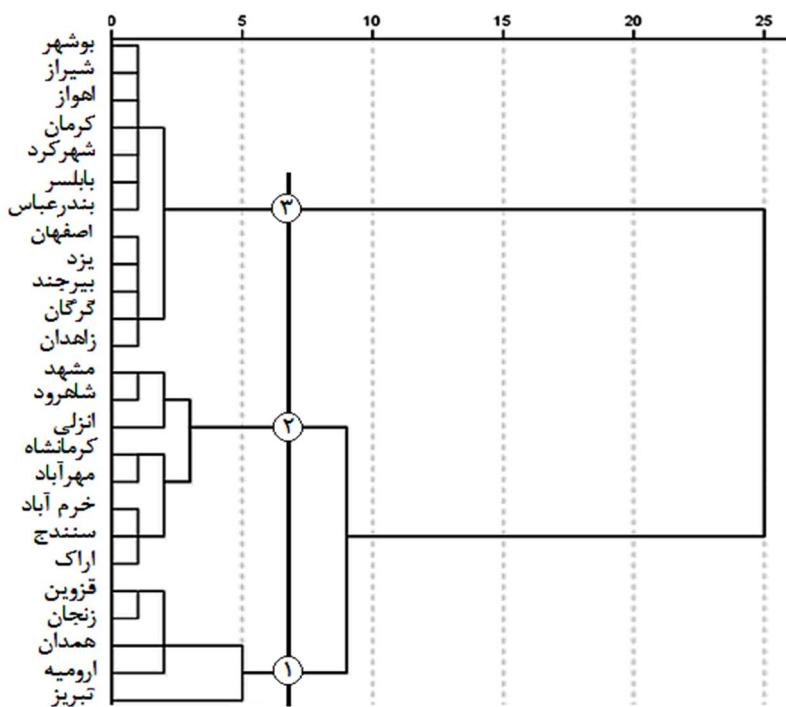
اول (مشتمل بر ماه‌های می و آوریل) است. از نظر فراوانی و قوع توفان‌های تندri دو خوشة بعدی به ترتیب خوشة دوم (شامل ماه‌های مارس، نوامبر، فوریه، دسامبر و ژانویه) و خوشة سوم (که دارای کمینه و قوع توفان‌های تندri بوده و دربرگیرنده ماه‌های ژوئن، اکتبر، ژولای، سپتامبر و آگوست است) هستند.



شکل 2 دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی فراوانی ماهیانه وقوع توفان‌های تندری ایران براساس پرش سه‌خوشه‌ای

برای خوشبندی مکانی فراوانی وقوع توفان‌های تندری در ماه می، یک برش سه‌خوشه‌ای روی درخت خوشبندی، موجب بهترین تفکیک بین ایستگاه‌ها شد که براساس آن ایستگاه‌های غرب میانی و شمال غرب ایران در تبریز، ارومیه، همدان، زنجان و قزوین در گروه اول قرار گرفتند. در این گروه به طور میانگین حدود ۳۳۶ توفان تندری در ماه می به‌وقوع پیوند دارد. در گروه دوم ایستگاه‌های اراك، سنتنج، خرم‌آباد، مهرآباد، کرمانشاه، انزلی، شاهroud و مشهد با پیش از ۱۶۷ توفان تندری جای‌گزین شدند. در گروه سوم نیز دوازده ایستگاه در

نواحی مرکزی و جنوبی کشور خوش‌گزینی شدند که کمترین فراوانی در این خوش به ایستگاه بندرعباس با نوزده رخداد تعلق دارد (شکل ۳).

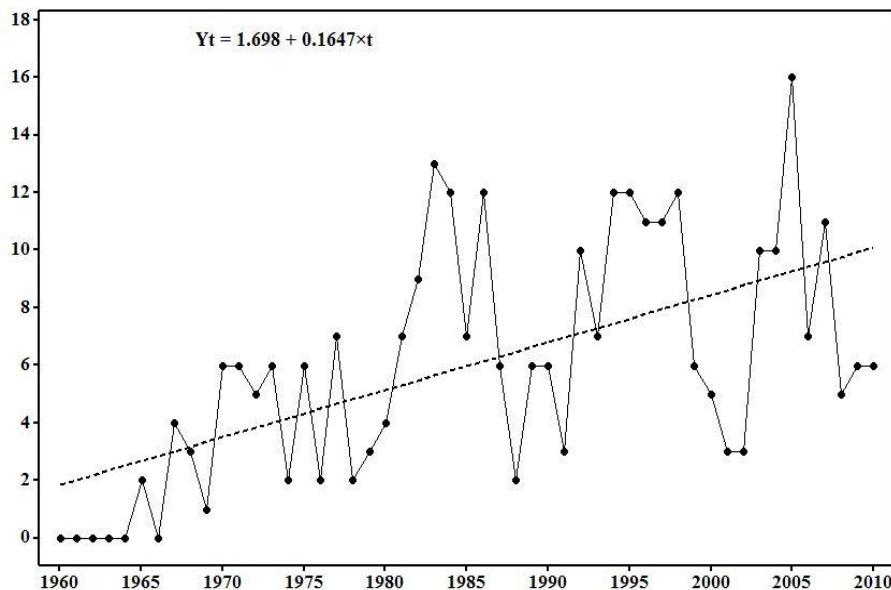


شکل ۳ دندروگرام حاصل از خوشبندی فراوانی مکانی وقوع توفان‌های تندri ماه می ایران براساس برش سه‌خوشه‌ای

به منظور تبیین تغییرات زمانی توفان‌های تندri ماه می از مؤلفه روند خطی سری زمانی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد به جز ایستگاه‌های بندرعباس و بوشهر در سواحل جنوبی کشور، اصفهان در بخش مرکزی و کرمانشاه در غرب که روند وقوع توفان‌های تندri در آن‌ها نزولی بوده، در سایر ایستگاه‌های سطح کشور روند تغییرات زمانی فراوانی وقوع توفان‌های تندri صعودی بوده و این روند افزایشی به خصوص در ایستگاه‌های قزوین، شاهرود و زنجان بسیار شدیدتر است. در این زمینه برای نمونه، روند توفان‌های تندri

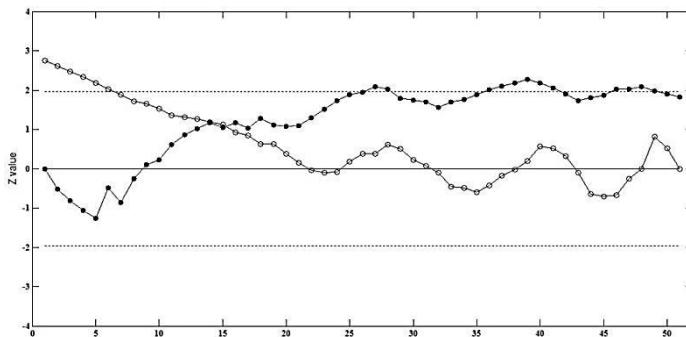


ایستگاه زنجان در شمال غرب کشور، به عنوان یکی از ایستگاه‌هایی که وقوع توفان‌های تندri ماه می در آن روند تغییرات زمانی نسبتاً شدیدی دارد، بررسی شده است. با توجه به شکل شماره چهار، روند افزایشی وقوع توفان‌های تندri ایستگاه زنجان شدید بوده و با نزدیک شدن به سال‌های اخیر تشدید شده است.



شکل 4 روند تغییرات بلندمدت توفان‌های تندri ایستگاه زنجان در ماه می

بیشترین فراوانی وقوع توفان‌های تندri در سال 2006 با 16 رخداد و کمترین فراوانی در دهه 60 با صفر رخداد اتفاق افتاده است. با توجه به عرض از مبدأ $1/69$ و تغییرات مثبت افزایشی بیش از $0/16$ در هر سال می‌توان گفت این تغییرات شدید با توجه به نمودار من کنдал که همیگر را داخل محدوده معنادار 95 درصد ($\pm 1/96$) قطع کرده‌اند، کاملاً معنادار است و در آینده نیز به احتمال 95 درصد استمرار خواهد داشت.

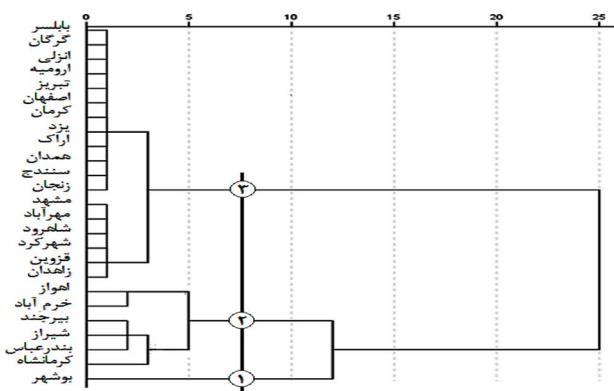


شکل ۵ نمودار من کندا معدن دار فراوانی وقوع توفان تندری ماه می زنجان

3-2- تحلیل فصلی تغییرات زمانی وقوع توفان های تندری ایران

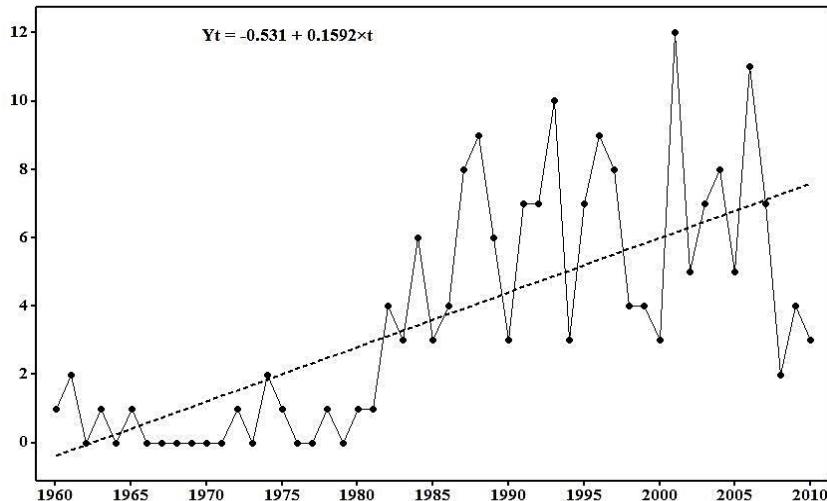
3-2-3- فصل زمستان

با توجه به شکل دندروگرام حاصل از تحلیل خوشبندی سلسله‌مراتبی وارد، یک برش سه‌خوشبندی از درخت خوشبندی، موجب تفکیک منطقی ایستگاه‌ها به سه خوشبندی همگن و مجزا شد (در شکل شش دیده می‌شود). در خوشبندی اول، ایستگاه بوشهر با ۴۶۷ رخداد که بیشینه فراوانی وقوع توفان‌های تندری زمستانی است، قرار گرفت. خوشبندی دوم مشتمل بر ایستگاه‌های کرمانشاه، بندرعباس، شیراز، بیرون‌جند، خرم‌آباد و اهواز است. هجده ایستگاه باقی‌مانده که بیشتر شامل مناطق نیمه شمالی و مرکزی کشور هستند، در خوشبندی سوم خوشبندی گردند.

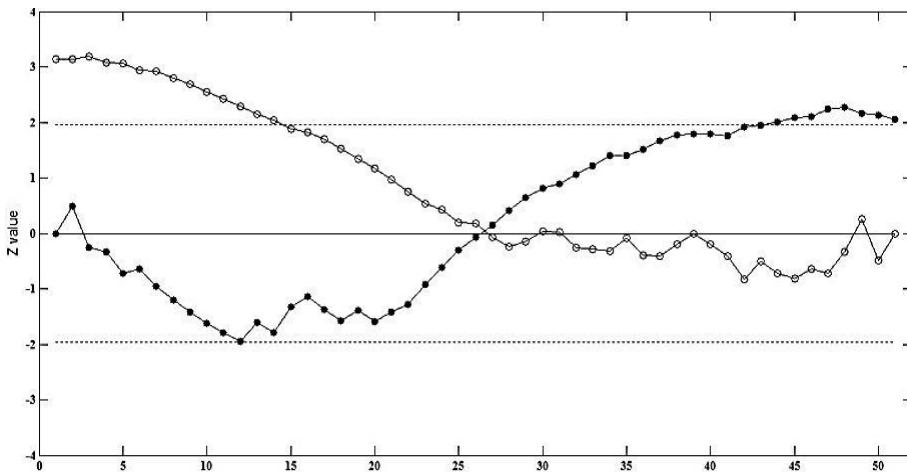


شکل ۶ دندروگرام حاصل از خوشبندی فراوانی مکانی وقوع توفان‌های تندری زمستانه ایران براساس برش سه‌خوشبندی

به منظور آگاهی از وضعیت زمانی نوسانات توفان‌های تندری در فصل زمستان، روند تغییرات بلندمدت توفان‌های تندری بررسی شد. براساس این تحلیل، به جز ایستگاه‌های بابلسر در سواحل دریای خزر و کرمانشاه در غرب که روندی نزولی در زمستان دارند، در بقیه ایستگاه‌ها روند افزایشی حاکم است که این روند در ایستگاه‌های شهرکرد، قزوین، خرم‌آباد، مشهد و اهواز شبیه‌تر است. روند تغییرات توفان‌های تندری زمستانه اهواز در جنوب غرب کشور که بیشترین شبیه تغییرات در بین ایستگاه‌های مطالعه را دارد، در شکل هفت ترسیم شده است. ملاحظه می‌شود که روند کلی تغییرات زمانی توفان‌های تندری اهواز بهشدت صعودی است. توفان‌های تندری اهواز در دهه ۶۰ تا ۷۰ روند کاهشی داشته و در دهه ۸۰ روند افزایشی بسیار شدیدی دارا بوده که تا آخر سری استمرار پیدا کرده است. نقطه اوج زمانی وقوع توفان‌های تندری اهواز در زمستان ۲۰۰۱ با ۱۲ بار وقوع توفان تندری کاملاً قابل تشخیص است. شبیه تغییرات مثبت روند فراوانی وقوع زمستانه توفان‌های تندری اهواز با شدت تقریباً $0/16$ در سال، رقمی قابل توجه است که با توجه به نمودار آزمون من کندال مندرج در شکل هشت، با سطح اطمینان ۹۵ درصد به شکلی کاملاً روشن و معنادار تداوم می‌یابد.



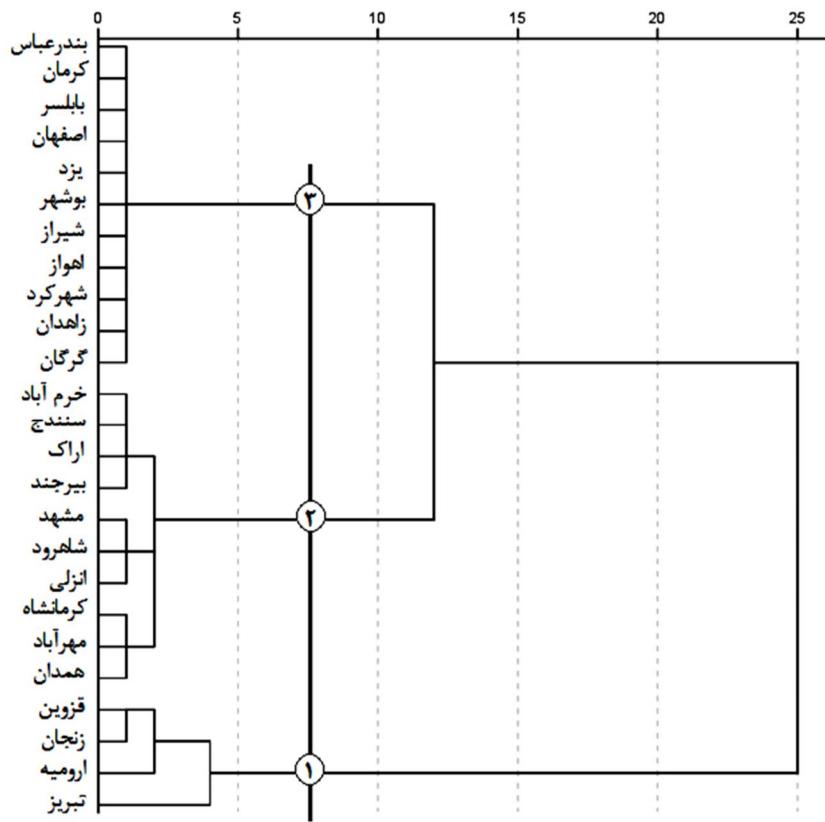
شکل ۷ روند خطی تشدید تغییرات بلندمدت وقوع زمستانه توفان‌های تندری در ایستگاه اهواز



شکل 8 نمودار من کندال معنادار فراوانی وقوع توفان تندری زمستانی اهواز

2-2-3- فصل بهار

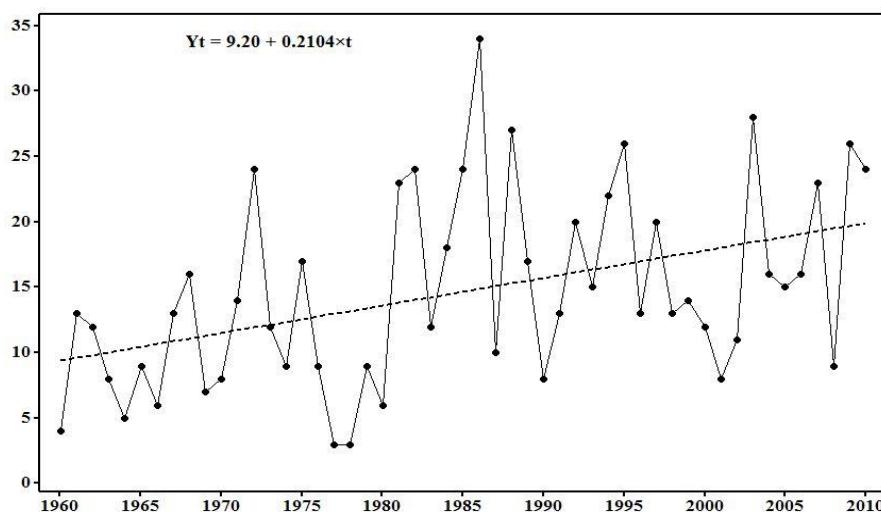
طبقه‌بندی فراوانی وقوع توفان‌های تندری بهاره با یک برش سه‌خوشه‌ای بر درخت خوش‌بندی (شکل نه) انجام شده است. در این خوش‌بندی ایستگاه‌های تبریز، ارومیه، زنجان و قزوین در شمال غرب با بیش از 645 توفان تندری در خوشة اول قرار دارند. در خوشة دوم ایستگاه‌های همدان، مهرآباد، کرمانشاه، انزلی، شاهروド، مشهد، بیرجند، اراک، سنتوج و خرم‌آباد که نیمه شمالی و کمی از بخش‌های شرقی و غربی کشور را دربرمی‌گیرند، جای‌گزین شده‌اند. در خوشة سوم نیز ایستگاه‌های زاهدان، شهرکرد، اهواز، شیراز، بوشهر، یزد، اصفهان، کرمان و بندرعباس در مناطق مرکزی و جنوبی کشور و ایستگاه‌های بابلسر و گرگان در سواحل خزر خوش‌گزینی کرده‌اند.



شکل ۹ دندروگرام حاصل از خوشبندی فراوانی مکانی وقوع توفان‌های تندری بهاری ایران براساس برش سه‌خواهی

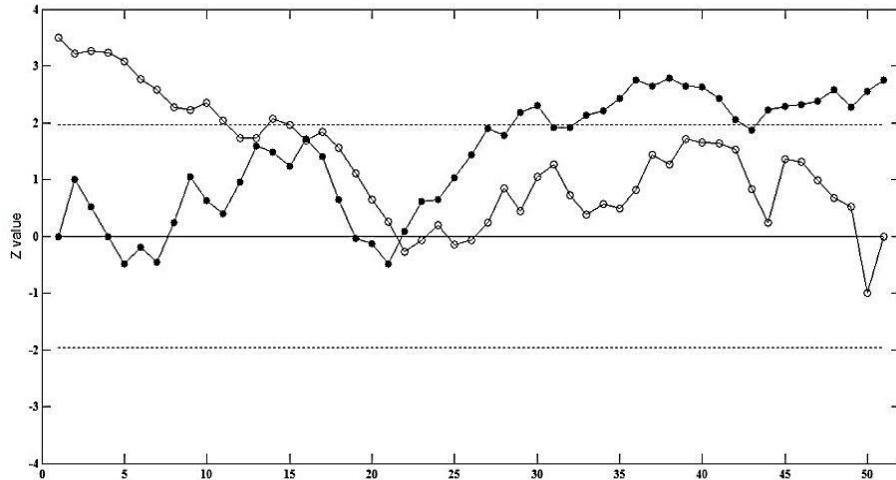
در بررسی نوسانات زمانی فراوانی توفان‌های تندری بهاره در ایران، روند زمانی وقوع توفان‌های تحلیل شد. براساس نتایج این بررسی، روند تغییرات زمانی وقوع توفان‌های تندری در ایستگاه‌های اهواز، قزوین، گرجان، کرمان، خرم‌آباد، شهرکرد، یزد، زنجان، ایستگاه‌های ساحلی شمالی و جنوبی، منطقه غرب و بخش‌های مرکزی به شدت صعودی و افزایشی است. با توجه به شدت روند در تغییرات زمانی وقوع توفان‌های تندری بهاره در ارومیه در خوشة اول، روند خطی و نمودار من کندال فصل بهار ارومیه به عنوان ایستگاه نمونه

فصل بهار انتخاب شد. همان‌گونه که در شکل ده دیده می‌شود، روند تغییرات زمانی شدید ارومیه در بهار با میزان ۰/۲۱ در سال، رقم چشم‌گیری است.



شکل ۱۰ روند تغییرات بلندمدت توفان‌های تندri ایستگاه ارومیه در فصل بهار

نقطه اوج وقوع توفان‌های تندri بهاره در ارومیه وقوع ۳۴ توفان تندri در بهار ۱۹۸۵ است که پرفراوانی‌ترین بهار از نظر حدوث توفان‌های تندri در طول دوره آماری بوده است. جالب است که در سال‌های ۱۹۷۷ و ۱۹۷۸ فراوانی وقوع توفان‌های تندri بهاره ارومیه حضیض سه بار وقوع توفان تندri بهاره در ارومیه نیز رقم زیادی است و نشان می‌دهد که فراهم بودن فراوانی وقوع توفان تندri بهاره در ارومیه نیز رقم زیادی است و نشان می‌دهد که فراهم بودن یا نبودن شرایط دینامیک و ترمودینامیک، فراوانی وقوع توفان‌های تندri بهاره ارومیه و کل منطقه شمال غرب را بهشت تحت تأثیر قرار می‌دهد. این میزان تغییرات با توجه به آزمون من Kendall که نمودار آن در شکل یازده آمده، کاملاً در محدوده ۹۵ درصد معنادار بوده و از نظر زمانی با همان مقدار احتمال، روند افزایشی مذکور باشد و ضعف‌های محتمل در آینده نیز استمرار خواهد داشت.

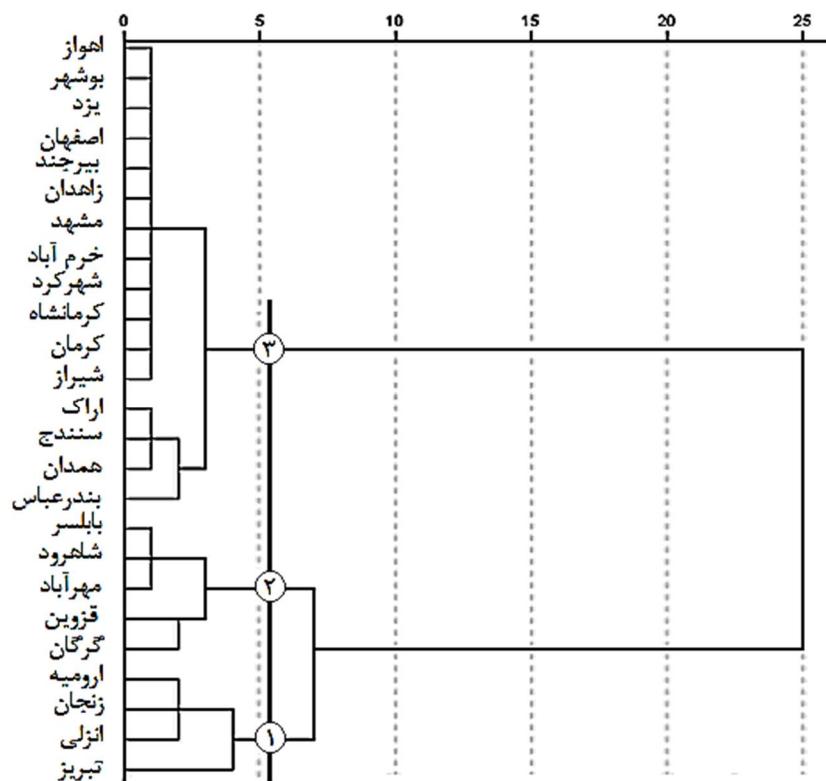


شکل 11 نمودار من کن达尔 معنادار فراوانی وقوع توفان تندري بهاره ارومیه

نکته در خور توجه نمودار من کن达尔 ارومیه وجود سه نقطه تماس در سری زمانی فراوانی وقوع توفان‌های تندري بهاره است که دو نقطه برخورد اول نقاط جهش یا تغییر در میانگین بلندمدت و نقطه برخورد آخر - که پس از آن روند سری معکوس می‌شود و رو به بالا حرکت می‌کند - نقطه عطف یا نقطه تغییر سری است.

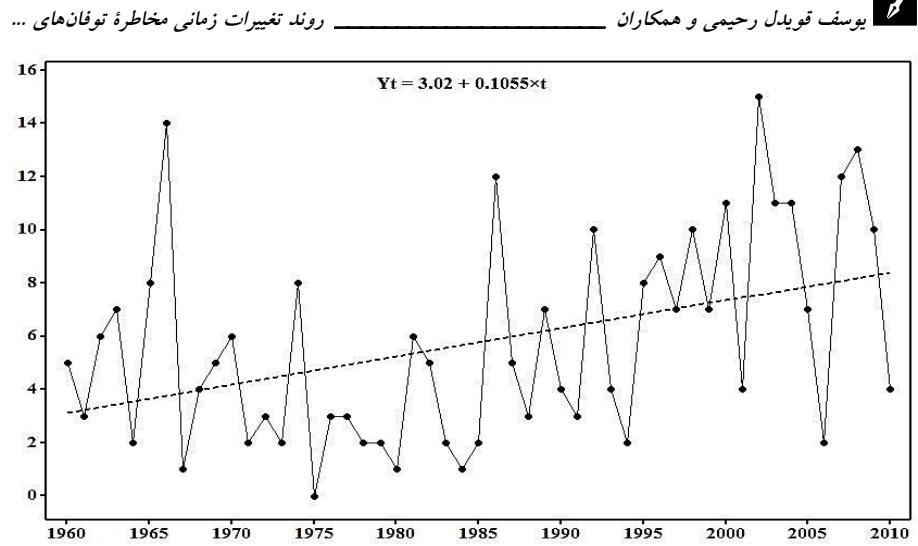
3-2-3- فصل تابستان

طبقه‌بندی ایستگاه‌ها بر مبنای تحلیل خوش‌های وارد و یک برش سه‌خوش‌های از دندروگرام به دست آمده نشان می‌دهد در خوشة اول ایستگاه‌های تبریز، ارومیه، زنجان و انزلی در شمال غرب و شمال کشور دارای بیشترین فراوانی وقوع توفان‌های تندري تابستانه هستند. در خوشة دوم گرگان در سواحل دریای خزر و مهرآباد و شاهروド جای گزین شده‌اند. شانزده ایستگاه دیگر که بیشتر مناطق جنوبی و مرکزی کشور را دربرمی‌گیرند، در خوشة سوم خوشه گزین شده‌اند. اعضای خوشة سوم با دربرگرفتن حدود 65 درصد مساحت کل کشور، کمترین فراوانی توفان‌های تندري تابستانه را در ایران دارایند (شکل 12).

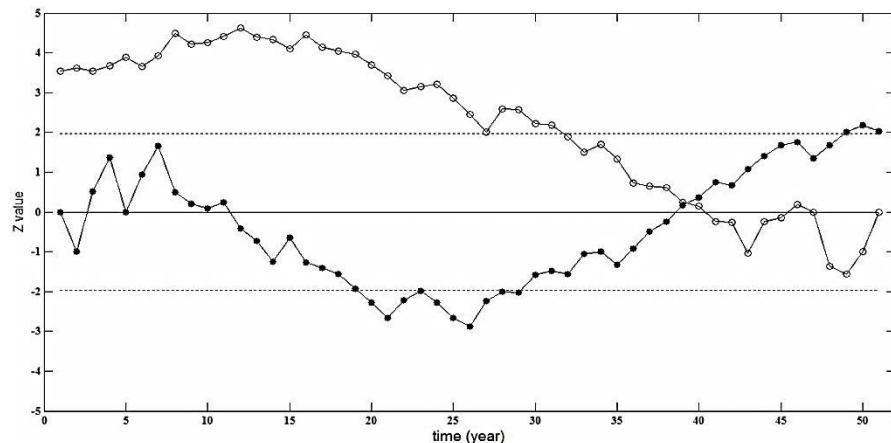


شکل 12 دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی فراوانی مکانی وقوع توفان‌های تندri تابستانی ایران براساس برش سخنه‌های

روند تغییرات بلندمدت زمانی فراوانی و قوع توفان‌های تندری تابستانی در اکثر ایستگاه‌ها افزایش ملایمی داشته؛ اما روند تغییرات در ایستگاه‌هایی مثل اهواز، قزوین، گرگان، شاهرود و زنجان افزایش شدیدی را نشان می‌دهد. روند تغییرات زمانی فراوانی حدوث توفان‌های تندری ایستگاه انزلی در حاشیه سواحل جنوب غربی دریای خزر به علت وقوع بیشترین رخداد توفان‌های تندری در این فصل، به عنوان نمونه فصل تابستان در شکل سیزده درج شده است.



شکل 13 روند تغییرات بلندمدت وقوع توفان‌های تندری تابستانی ایستگاه بندر انزلی



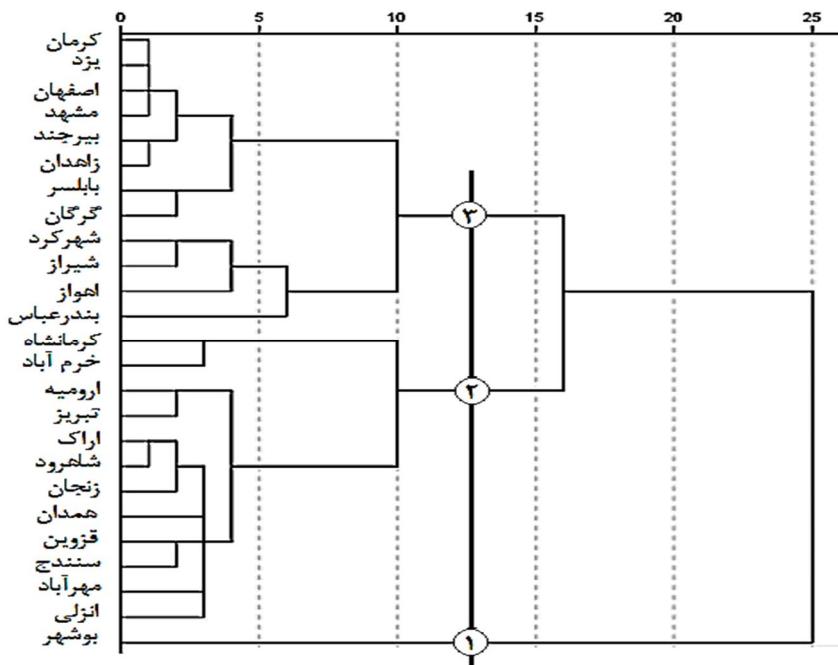
شکل 14 نمودار من کنداز معنادار فراوانی وقوع توفان‌های تندری تابستانی ایستگاه بندر انزلی

براساس شکل شماره سیزده، در دهه شصت وقوع توفان‌های تندری در انزلی افزایش بسیاری یافته، از دهه هفتاد تا اوخر دهه نود کاهش پیدا کرده و از ابتدای دهه اخیر، باز هم روند صعودی یافته است. روند افزایشی روزهای توانم با توفان‌های تندری در انزلی بیانگر تشدید فعالیت این پدیده در سال‌های اخیر است. کمینه وقوع توفان‌های تندری تابستانه بندر

انزلی در سال ۱۹۷۵ بدون توفان و بیشینه آن در تابستان سال ۲۰۰۳ با ۱۳ روز توانم با توفان تندری مورد محاسبه قرار گرفت. روند تغییرات زمانی وقوع روزهای توانم با توفان تندری بندر انزلی (شکل ۱۳) نشان از افزایش بسیار زیاد سالیانه ۰/۱ است که با توجه به نمودار من کندال مندرج در شکل چهاردهم، در محدوده احتمال ۹۵ درصد کاملاً معنادار بوده و به همان میزان، احتمال روند مذکور در آینده نیز تداوم خواهد یافت.

4-2-3- فصل پاییز

با توجه به شکل دندروگرام حاصل از فراوانی حدوث پاییزی توفان‌های تندری، ایستگاه‌های مطالعه با یک برش سه‌خوشه‌ای تفکیک شدند (شکل ۱۵). در این خوشه‌بندی، فقط ایستگاه بوشهر در سواحل شمال غربی خلیج فارس که دارای بیشترین مقادیر رخداد توفان‌های تندری پاییزه ایران است، در خوشه اول خوشه‌گزینی کرده است.

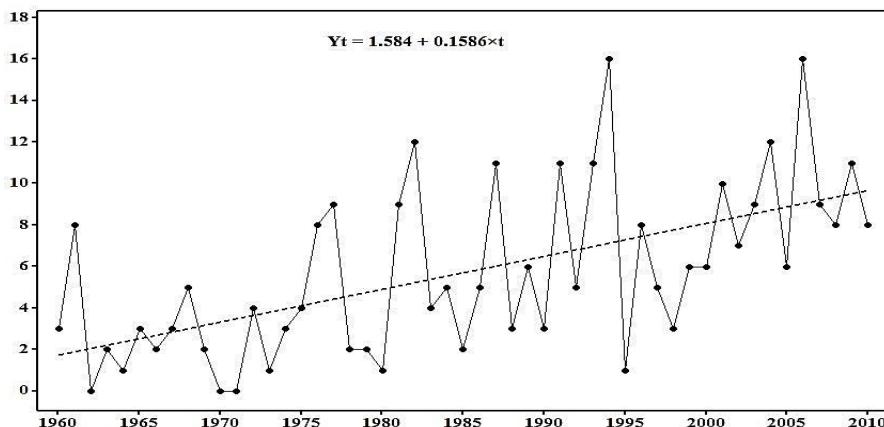


شکل ۱۵ دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی فراوانی مکانی وقوع توفان‌های تندری پاییزی ایران براساس برش سه‌خوشه‌ای



در خوشة دوم، دوازده ایستگاه خرمآباد، کرمانشاه، ارومیه، تبریز، اراک، شاهرود، زنجان، همدان، قزوین، سمنان، مهرآباد و بندر انزلی که با پراکنش بیشتر در شمال غرب، شمال شرق و غرب میانه هستند، جای گزین شده‌اند. بندرعباس، اهواز، شیراز، کرمان و زاهدان واقع در مناطق جنوبی، شهرکرد در غرب، گرگان و بابلسر در سواحل دریای خزر، و بیرجند، مشهد، اصفهان و یزد در نواحی شرقی و مرکزی کشور نیز با حدود 48 درصد مساحت کشور به صورت پراکنده در خوشة سوم قرار گرفته‌اند.

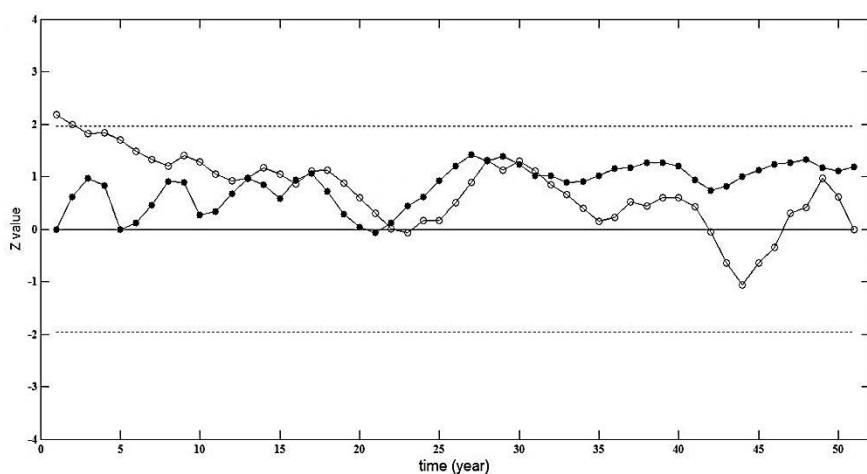
در بررسی تغییرات بلندمدت توفان‌های تندری پاییزی مشخص شد که روند تغییرات کل ایستگاه‌های مطالعه مثبت و افزایشی است. شدیدترین شیب روند افزایشی در این دوره به ایستگاه‌های اهواز، گرگان، شهرکرد و زنجان تعلق دارد. روند تغییرات زمانی شدید ایستگاه خرمآباد در غرب کشور به صورت نمونه، به عنوان ایستگاهی که دارای بیشینه فراوانی رخداد پاییزه توفان‌های تندری است، در شکل شانزده ترسیم شده است.



شکل 16 روند تغییرات بلندمدت توفان‌های تندری پاییزی ایستگاه خرمآباد

روند خطی تغییرات زمانی توفان‌های تندری خرمآباد نشان می‌دهد میزان آن طی بازه آماری 51 ساله رقمی در حدود 0/16 افزایش سالیانه بوده که عدد بسیار چشم‌گیری است. برمنای آزمون من کندا، روند تغییرات زمانی توفان‌های تندری پاییزه خرمآباد (در شکل 17) با

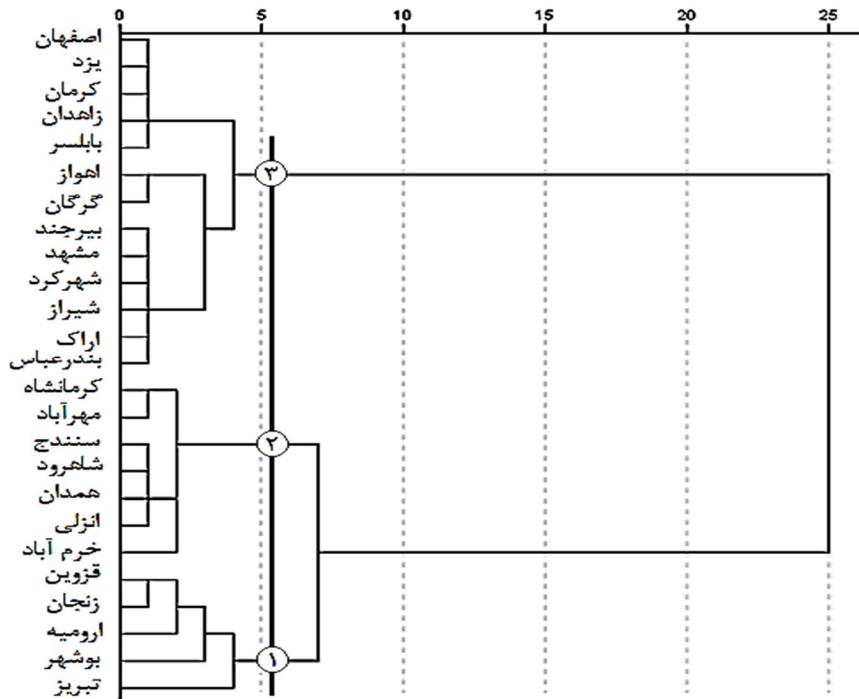
چندین بروخورد در اوایل سری - که نشان‌دهنده تغییر چندباره در میانگین بلندمدت سری هستند - نهایتاً از مشاهده ۳۲ به بعد، تغییر میانگین بلندمدت باز و معناداری پیدا کرده که این نقطه آخر، نقطه عطف سری زمانی حدوث پاییزی روزهای توأم با توفان تندی ایستگاه خرمآباد به شمار می‌آید. با یک احتمال ۹۵ درصدی، روند تغییرات افزایشی وقوع روزهای توأم با توفان تندی ایستگاه خرمآباد در سال‌های آتی نیز تداوم خواهد یافت.



شکل ۱۷ نمودار من کندا معنادار فراوانی وقوع توفان تندی پاییزی خرمآباد

3-3- تحلیل سالیانه

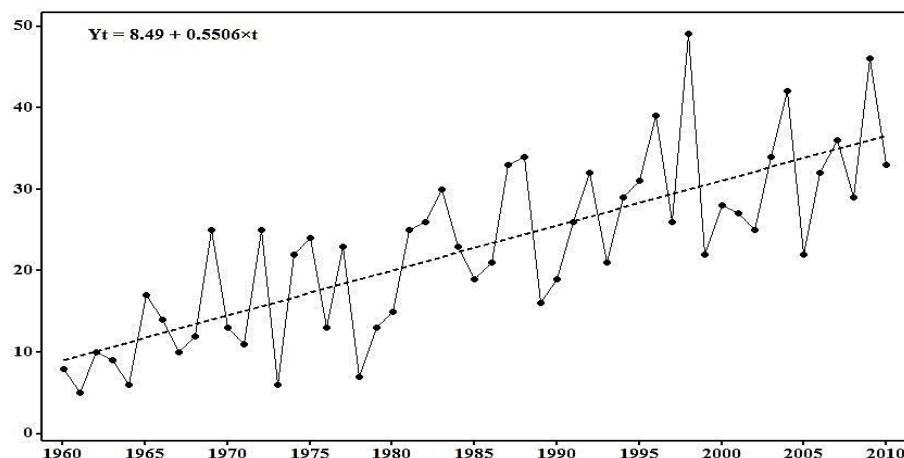
به منظور بررسی تجانس ایستگاه‌های مطالعه از نظر رخداد توفان‌های تندی سالیانه، پس از انجام تحلیل خوش‌های سلسله‌مراتبی وارد و برش خوش‌های درنهایت سه خوش‌های مجزا مطابق شکل هجده تفکیک شد. در خوش‌های اول ایستگاه‌های تبریز، ارومیه، زنجان و قزوین در مناطق شمال غربی و غرب میانی و بوشهر در جنوب کشور خوش‌گزین شدند. ایستگاه‌های خرمآباد، بندر انزلی، همدان، شاهروند، ستنده، مهرآباد و کرمانشاه نیز در خوش‌های دوم قرار گرفتند. سیزده ایستگاه دیگر نیز در خوش‌های سوم جای‌گزین شدند. اعضای خوش‌های سوم با اینکه ۵۲ درصد مساحت کل ایران را دارند، دارای کمترین فراوانی وقوع روزهای توأم با توفان‌های تندی سالیانه هستند.



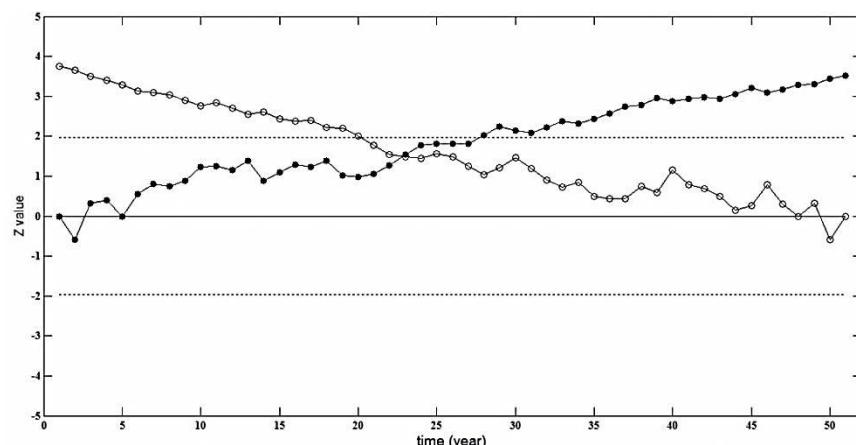
شکل ۱۸ دنдрوگرام حاصل از خوشبندی فراوانی مکانی وقوع توفان‌های تندri سالیانه ایران براساس برش سه‌خواهی

برای تحلیل نوسانات زمانی وقوع توفان‌های تندri سالانه ایران، روند بلندمدت خطی توفان‌های تندri سالیانه تحلیل شد. با توجه به روند تغییرات بلندمدت سالیانه وقوع روزهای تؤام با توفان تندri ایستگاه‌های مطالعه معلوم شد که کل ایستگاه‌ها افزایش توفان‌های تندri از ۱۹۶۰ تا دهه اخیر را داشته‌اند. در نیمه شمالی کشور ایستگاه‌های اراک، قزوین، گرگان، خرم‌آباد، مشهد، سمندج، شهرکرد و زنجان و در بخش جنوبی ایران ایستگاه‌های اهواز، کرمان و شیراز روند افزایشی شدیدتری در مقایسه با سایر ایستگاه‌های مطالعه داشته‌اند. با توجه به کثرت فراوانی وقوع توفان‌های تندri در شمال غرب ایران و با توجه به شدت و شیب بیشتر روند تغییرات زمانی وقوع توفان‌های تندri در ایستگاه قزوین، برای نمونه روند تغییرات زمانی وقوع توفان‌های تندri سالیانه قزوین تحلیل شد. همان‌طور که در شکل نو兹ده مشاهده

می‌شود، روند تغییرات سری زمانی توفان‌های تندری سالیانه قزوین با شیب زیاد به میزان ۰/۵۵ بهشدت در حال افزایش است. حضیض سری زمانی وقوع توفان‌های تندری قزوین در دهه ۶۰ و اوج آن در سال ۱۹۹۸ با فراوانی ۴۹ روز توأم با وقوع توفان تندری رخ داده است.



شکل ۱۹ روند تغییرات بلندمدت توفان‌های تندری سالیانه ایستگاه قزوین



شکل ۲۰ نمودار من کن达尔 معنادار فراوانی وقوع توفان تندری سالیانه قزوین



نمودار مربوط به آماره من کندال ترسیم شده در شکل بیست بیانگر معنادار بودن این تغییرات رو به افزایش بوده و به احتمال 95 درصد در سالهای آتی، روند افزایشی وقوع توفان‌های تندری سالیانه ایستگاه قزوین باشد و ضعف‌هایی ادامه پیدا خواهد کرد.

4- نتیجه

در پژوهش حاضر، با استفاده از روش‌های تحلیل خوش‌های سلسه‌مراتبی وارد با مجدور فاصله اقلیدسی، روند خطی و آزمون من کندال به بررسی توزیع زمانی و تحلیل وضعیت تغییرپذیری و روند تغییرات بلندمدت توفان‌های تندری پرداخته شد. با توجه به خوش‌بندی به دست آمده از طبقه‌بندی، مناطق مختلف کشور به نواحی همگن از نظر رخداد فراوانی وقوع توفان‌های تندری، به سه خوشۀ مجزا (براساس شکل 18) تقسیم شده‌اند که خوش‌های مذکور منطقه شمال غرب، غربی، نیمه جنوبی (سواحل بوشهر و بندرعباس)، مناطق شمالی (سواحل بندر انزلی و بابلسر)، میانی و شمال شرقی و بخش‌های مرکزی و شرقی کشور را شامل می‌شوند. این تقسیم‌بندی گویای این است که به ترتیب در مناطق ذکر شده، از فراوانی وقوع توفان‌های تندری کاسته می‌شود. تحلیل‌های زمانی وقوع توفان‌های تندری ایران مشخص کرد که در بازه زمانی ماهیانه به ترتیب ماه‌های می، آوریل، زوئن و اکتبر دارای بیشترین فراوانی وقوع توفان‌های تندری هستند و در ماه‌های ژانویه و فوریه در زمستان و سپتامبر و آگوست در تابستان کمترین مقدار فراوانی رخداد توفان‌های تندری وقوع یافته‌اند. نتایج تحلیل‌های فصلی نیز نشان می‌دهد که فصل بهار دوره اوج فعالیت توفان‌های تندری در نیمه غربی به خصوص شمال غرب و غرب کشور در ایستگاه‌هایی نظیر تبریز، ارومیه، زنجان، قزوین، کرمانشاه، خرم‌آباد و همدان با میانگین فصلی بیش از صد توفان تندری در سال است. پس از فصل بهار، دومین فصل فوران توفان‌های تندری ایران پاییز و سپس فصل زمستان است. کمترین مقدار فراوانی وقوع توفان‌های تندری در فصل تابستان به علت کمبود شرایط رطوبت و صعود در تمام نواحی کشور ملاحظه می‌شود. همچنین، روند کلی تغییرات زمانی توفان‌های تندری در سطح کشور در ایستگاه‌های مورد مطالعه تقریباً در تمام مقاطع زمانی ماهیانه، فصلی و سالیانه به صورت ملایم و تدریجی با افت و خیزهای متعددی رو به بالا و صعودی است و روند

تدریجی تغییرات سری‌های زمانی مختلف ماهیانه، فصلی و سالیانه افزایش زیادی را در مقایسه با ابتدای سری نشان می‌دهند که با توجه به نمودارهای آزمون گرافیک من کندال، در اغلب بازه‌های زمانی و اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه شبیه صعودی روند تغییرات زمانی به شکلی کاملاً واضح معنادار است. روند افزایشی در تمام بازه‌های زمانی معنادار است. نتایج این مطالعه یافته‌های پژوهش‌های قبلی در ایران را - که در بخش پیشینه تحقیق مطرح شد - با سطح اطمینان بیشتری و در فصولی غیر از بهار و ماه می تأیید می‌کند. همچنین برپایه مطالعات انجام گرفته، تغییرات وقوع توفان‌های تندri مختص به زمان نبوده؛ بلکه دارای تغییرات فضایی است و هسته‌های پیشینه آن در مناطق کوهستانی شمال غرب، غرب و پس از آن در مناطق ساحلی جنوبی و شمالی ایران مستقر هستند (باغبانان، ۱۳۹۳: ۱). درباره علل شدت و ضعف فراوانی وقوع توفان‌های تندri ایران نیز مطالعات اخیر ثابت کرده‌اند که علاوه بر ابعاد سینوپتیک و توپوکلیماتیک، بخش عمده‌ای از شدت و ضعف زمانی و مکانی تغییرات توفان‌های ایران به الگوهای پیوند از دور نیم‌کره شمالی (به‌ویژه در قسمت غرب که شامل شمال غرب، غرب و جنوب غرب ایران می‌شود) به خصوص الگوی نوسانات اطلسی شمالی و الگوی دریای شمال - خزر و نیم‌کره جنوبی (در مناطق مرکزی، جنوبی و شرق ایران) که بیشتر شامل الگوی پیوند از دور انسو می‌شود، بستگی دارند (همان، ۱۰۳).

5- منابع

- باغبانان، پرستو، تحلیل زمانی و مکانی توفان‌های تندri ایران و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی، تهران، ۱۳۹۳.
- جلالی، اورج، علی‌اکبر رسولی و بهروز ساری صراف، «توفان‌های تندri و بارش‌های ناشی از آن در محدوده شهر اهر»، جغرافیا و برنامه‌ریزی، ش ۲۴، صص ۱۸-۳۳، ۱۳۸۵.
- خوشحال دستجردی، جواد و یوسف قویدل رحیمی، «شناسایی ویژگی‌های سوانح محیطی منطقه شمال غرب ایران (نمونه مطالعاتی: خطر توفان‌های تندri در تبریز)»، مدرس علوم انسانی، ش ۵۳، صص ۱۰۱-۱۱۵، ۱۳۸۶.



– محمد خورشیددوست، علی و یوسف قویدل رحیمی، «کاربست نرم‌افزار Digital Atmosphere 2000 در تحلیل فضایی پدیده‌های اقلیمی ایران»، *فصلنامه جغرافیا* سرزمین، ش. 12، صص 48-58.

- Altaratz, O. Et al., "Lightning Activity over Land and Sea on the Eastern Coast of the Mediterranean", *Monthly Weather Review*, Vol. 131, Pp. 2060-2070, 2003.
- Baghbanan, P., *Spatio-Temporal analysis of Thunderstorms in Iran and its relation sheep's with Teleconnection Patterns*, MA. Dissertation, Faculty of Humanities, Department of Physical Geography, Tarbiat Modares University, Tehran, 2014. [in Persian]
- Changnon, Jr.S.A., "Secular Trends in Thunderstorm Frequencies", *Electrical Processes in Atmospheres*, Pp. 482-487, 1976.
- Chaudhuri, S., "Identification of the Level of Downdraft Formation during Severe Thunderstorms: a Frequency Domain Analysis", *Meteorology and Atmospheric Physics*, Vol. 102, No. 1 & 2, Pp. 123-129, 2008.
- Dai, A., "Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part I: Seasonal and Interannual Variations", *Journal of Climate*, Vol. 14, No. 6, Pp. 1092-1111, 2001.
- Florin Necula, M., "Recent Changes in Thunderstorm Activity in Vaslui", *Present Environment and Sustainable Development*, Vol.4, Pp. 407-414, 2010.
- Geiby, A. Et al., "Thunderstorm Identification from AMSU-B Data Using and Artificial Neural Network", *Meteorological Application*, Vol. 10, No. 4, Pp. 329-336, 2005.
- Grandt, C., "Thunderstorm Monitoring in South Africa and Europe by Means of Very Low Frequency Sferics", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012)*, Vol. 97, No. D16, Pp. 18215-18226, 1992.
- Jalali, O., A.K. Rasouli & B. Sari Saraf, "Thunderstorms and Its Derivate Rainfalls in Ahar Urban Area", *Geography and Planning*, No. 24, Pp. 18-33, 2006. [in Persian]

- Khoshhal Dastjerdi, J. & Y. Ghavidel Rahimi, "Identification of Environmental Hazards Properties in North West Region of Iran: A Case Study of Thunderstorm hazards in Tabriz", *Modares Humanities*, No. 53, Pp. 101-115, 2007. [in Persian]
- Kunz, M., J. Sander & Ch. Kottmeier, "Recent Trends of Thunderstorm and Hailstorm Frequency and Their Relation to Atmospheric Characteristics in Southwest Germany", *International Journal of Climatology*, Vol. 29, No. 15, Pp. 2283-2297, 2009.
- Mohammad Khorshiddoust, A. & Y. Ghavidel Rahimi, "The Application of Digital Atmosphere 2000 Software in Spatial Analysis of Climatic phenomena in Iran", *Sarzamin Quarterly Journal*, No. 12, Pp. 50-65, 2006. [in Persian]
- Molinié, J. & C.A. Pontikis, "Climatological Study of Tropical Thunderstorm Clouds and Lightning Frequencies on the French Guyana Coast", *Geophysical Research Letters*, Vol. 22, No. 9, Pp. 1085-1088, 1995.
- Murugavel, P., S.D. Pawar & V. Gopalakrishnan, "Climatology of Lightning Over Indian Region and Its Relationship with Convective Available Potential Energy", *International Journal of Climatology*, Vol. 34, No. 11, Pp. 3179-3187, 2014.
- Pinto, O. Jr., I.R.C.A. Pinto & M.A.S. Ferro, "A Study of the Long-Term Variability of Thunderstorm Days in Southeast Brazil", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 118, No. 11, Pp. 5231-5246, 2013.
- Rasuly, A.A., *Temporal and Spatial Study of Thunderstorm Rainfall in the Greater Sydney Region*, Ph.D Thesis, School of Geoscience, University of Wollongong, Australia (New South Wales), 1996.
- Schuster, S.S., R.J. Blong & M.S. Speer, "A hail Climatology of the Greater Sydney area and New South Wales, Australia", *International Journal of Climatology*, Vol. 25, No. 12, Pp. 1633-1650, 2005.
- Stanley, A. & Jr. Changnon, "Secular Variations in Thunder-Day Frequencies in the Twentieth Century", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012)*, Vol. 90, No. D4, Pp. 6181-6194, 1985.