

روند تغییرات زمانی مخاطره توفان‌های تندری در ایران

یوسف قویدل رحیمی^{1*}، پرستو باغبانان²، منوچهر فرج‌زاده اصل³

- 1- استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- 2- دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات آب‌وهوایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- 3- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

پذیرش: 93/11/5

دریافت: 93/8/6

چکیده

در این پژوهش از داده‌های فراوانی وقوع ماهیانه روزهای توأم با توفان تندری 25 ایستگاه سینوپتیک کشور در بازه زمانی 1960 تا 2010م استفاده شده است. همچنین، تغییرات زمانی توفان‌های تندری ایران با استفاده از روش‌های تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی وارد با مجذور فاصله اقلیدسی و آزمون ناپارامتری من کندال بررسی شده است. با توجه به بررسی‌های تحلیل خوشه‌ای، سه ناحیه اقلیمی با روندهای مشابه از نظر فراوانی وقوع توفان‌های تندری شناسایی شد: منطقه شمال غرب و شمال میانی؛ نیمه غربی و شمال شرق؛ نیمه جنوبی، سواحل دریای خزر، بخش‌های مرکزی و شرقی کشور. نتایج بررسی توزیع زمانی توفان‌های تندری ایران نشان می‌دهد بیشترین فراوانی رخداد این پدیده در ماه‌های می، آوریل، ژوئن و اکتبر است. در بازه زمانی فصلی نیز اوج فعالیت توفان‌های تندری در بهار و پاییز متمرکز شده است. علاوه بر این، از نظر مکانی در بازه‌های زمانی ماهیانه، فصلی و سالیانه حداکثر فراوانی وقوع توفان‌های تندری در مناطق شمال غرب و غرب بسیار بیشتر از سایر مناطق ایران است. شیب روند تغییرات وقوع توفان‌های تندری ایران نشان می‌دهد روند تغییرات در کل بازه‌های زمانی ماهیانه، فصلی و سالیانه افزایشی بوده و براساس نتایج آزمون من کندال معنادار است.

واژه‌های کلیدی: توفان تندری، مخاطره آب‌وهوایی، تحلیل زمانی، تحلیل روند، ایران.

1- مقدمه

پدیده جوی توفان تندری از مهم‌ترین و مخرب‌ترین مخاطرات اقلیمی است و در ایران نیز در تمام مناطق آب‌وهوایی رخ داده و همه‌ساله خسارات فراوانی به بار می‌آورد. به دلیل اهمیت فراوان توفان‌های تندری و خسارات سنگین آن در سالیان متوالی، در ارتباط با تحلیل زمانی و مکانی، روند و بررسی

Email: ghavidel@modares.ac.ir

* نویسنده مسئول مقاله:



رفتار وقوع توفان‌های تندری و پدیده‌های توأم با آن، محققان زیادی به بررسی این پدیده اقلیمی 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 متمرکز است. استنلی و شانون² (1985: 6181) نشان داده‌اند که آمریکای شمالی از 1901-1945 شاهد افزایش 14 درصدی در فراوانی وقوع تندری بوده است. گرانٹ³ (1992: 18215) در بررسی توفان‌های تندری آفریقای 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 بین‌حاره‌ای 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 کرانه‌های سواحل روی داده و از سواحل دریا به سمت 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 نیوساوت ولز، اغلب در دوره سرد سال رخ می‌دهد؛ اما اوج فعالیت زمانی آن‌ها در نوامبر و دسامبر متمرکز 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 موسمی (آوریل تا می) و در تراز 700 هکتوپاسکال به‌وقوع 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. فلورین¹ (2010: 407) تغییرات فعالیت و فراوانی رخداد توفان تندی در واسلو را بررسی کرده و دریافته که زمان شروع توفان تندی از 17 آوریل تا 28 ماه می است. به‌طور کلی، در غرب واسلو طول فصل وقوع توفان تندی کمتر از شرق است؛ ولی شدت آن در غرب بیشتر غرب واسلو است. برپایه مطالعه پیتو² و همکاران (2013: 5231) در برزیل، توفان‌های تندی ساووپائولو و کامپاناس افزایش چشم‌گیری داشته، ریودوژانیرو فاقد روند افزایشی بوده و به‌طور کلی افزایش فعالیت توفان‌های تندی در این مناطق با رخداد ال نینو و لائینا در ارتباط است. به‌عقیده موروگاول³ و همکاران (2014: 3179) وضعیت اقلیمی و توپوگرافی شمال و مرکز هند، شمال شرق پاکستان و بنگلادش شرایط مطلوبی را برای تشکیل توفان‌های تندی و صاعقه فراهم کرده است.

به‌طور کلی درباره تحلیل زمانی و مکانی توفان‌های تندی در ایران پژوهش‌چندانی انجام نشده و بیشتر مطالعات در زمینه بررسی‌های آماری، همدید و دینامیک است. از تحقیقات انجام‌گرفته در ایران می‌توان به این موارد اشاره کرد:

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

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

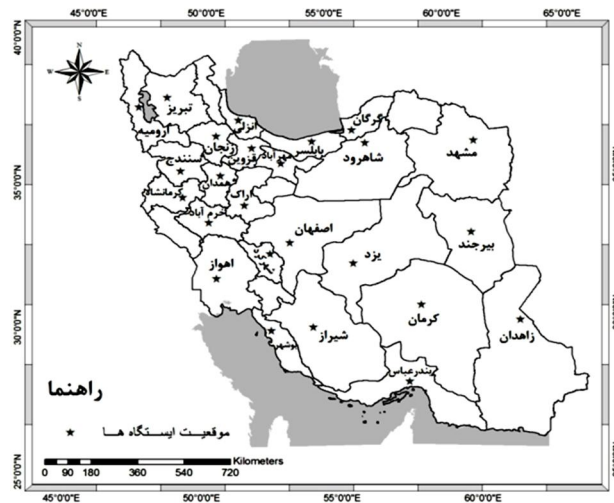
1. Florin
2. Pinto
3. Murugavel



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 به اصطلاح 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 تخییر و تعرق و دماست، می‌تواند یکی از نشانه‌های وقوع تغییر آب‌وهوایی در یک فضای جغرافیایی وسیع باشد. بر این اساس، هدف تحلیل زمانی فراوانی وقوع توفان‌های تندری بی بردن به وجود یا نبود روند معنادار و به تبع آن، وقوع تغییرات آب‌وهوایی 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 ماهیان 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 به دست آمد. پس از استخراج داده‌ها به دلیل حجم زیاد آن‌ها و پراکنش ناهمگون ایستگاه‌های مورد مطالعه، از روش تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی وارد با مجذور 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 کندال، روش متداول آماری، برای آشکارسازی معناداری روند تغییرات سری توفان‌های تندری استفاده شد.

3- نتایج و بحث

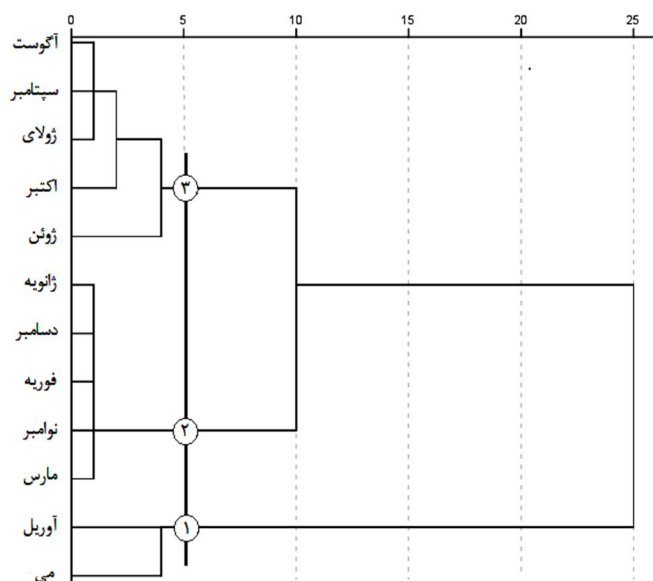
3-1- تحلیل‌های ماهیانه

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 حداکثر رسیده است و پس از آن بالاترین فراوانی وقوع در ماه اکتبر در فصل پاییز در نیمه غربی کشور به ویژه در شمال غرب و غرب کشور مشاهده می‌شود. روند ماهیانه توفان‌های تندری از ماه‌های فصل پاییز به سمت ماه‌های ژانویه و فوریه در فصل زمستان و از اواخر ماه ژوئن به سمت تابستان کاهش بسیاری می‌یابد؛ به طوری 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 فراوانی ماهیانه وقوع توفان‌های تندری که تجانس زیادی نیز داشته، حاکی از تمرکز بیشینه وقوع توفان‌های تندری در خوشه

یوسف قوبدل رحیمی و همکاران _____ روند تغییرات زمانی مخاطره توفان‌های ...

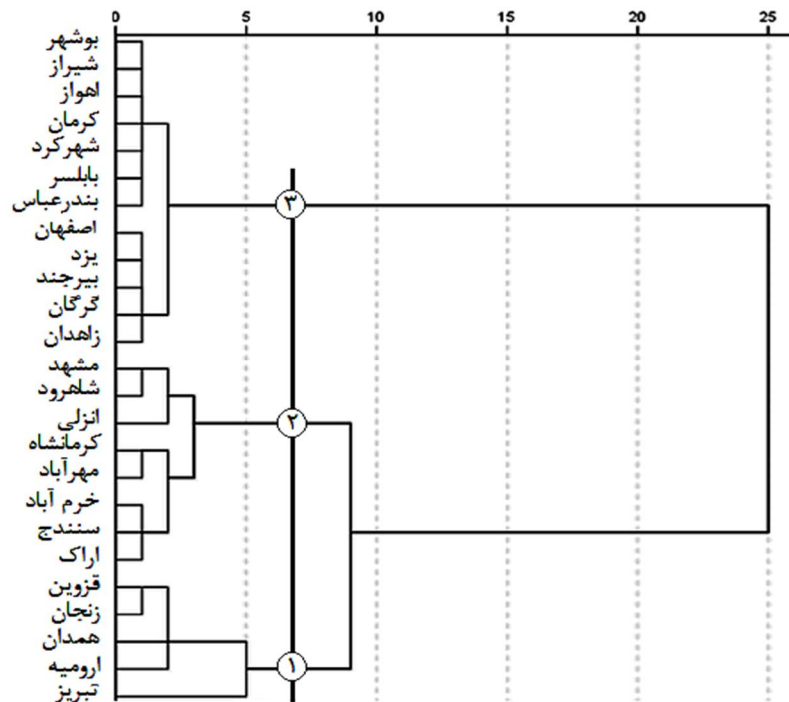
اول (مشمتمل بر ماه‌های می و آوریل) است. از نظر فراوانی وقوع توفان‌های تندری دو خوشه بعدی به ترتیب خوشه دوم (شامل ماه‌های مارس، نوامبر، فوریه، دسامبر و ژانویه) و خوشه سوم (که دارای کمینه وقوع توفان‌های تندری بوده و دربرگیرنده ماه‌های ژوئن، اکتبر، ژولای، سپتامبر و آگوست است) هستند.



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

برای خوشه‌بندی مکانی فراوانی وقوع توفان‌های تندری در ماه می، یک برش سه‌خوشه‌ای روی درخت خوشه‌بندی، 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 به‌طور میانگین حدود 336 توفان تندری در ماه می به‌وقوع می‌پیوندد. در گروه دوم ایستگاه‌های اراک، سنندج، خرم‌آباد، مهرآباد، کرمانشاه، انزلی، شاهرود و مشهد با بیش از 167 توفان تندری جای‌گزین شدند. در گروه سوم نیز دوازده ایستگاه در

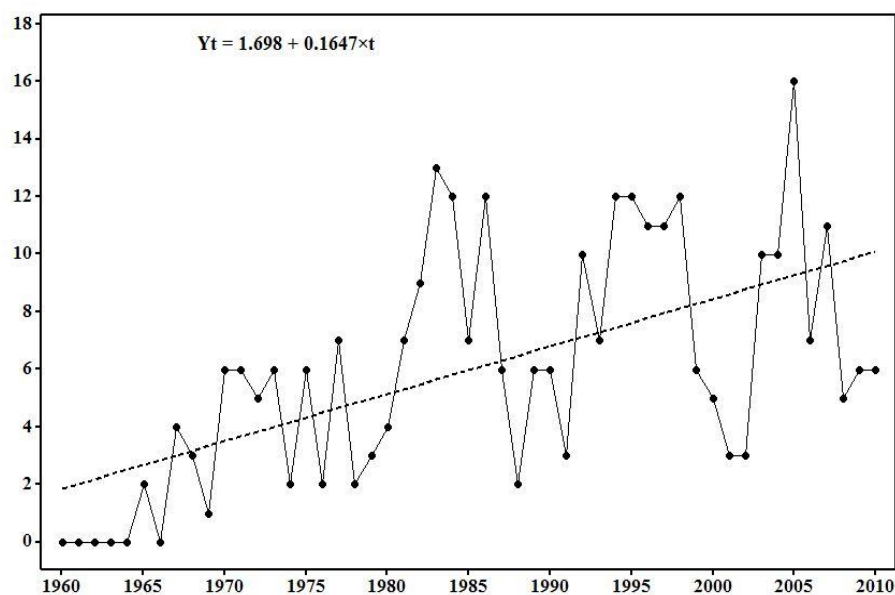
نواحی مرکزی و جنوبی کشور خوشه‌گزینی شدند که کمترین فراوانی در این خوشه به ایستگاه بندرعباس با نوزده رخداد تعلق دارد (شکل 3).



شکل 3 دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی فراوانی مکانی وقوع توفان‌های تندری ماه می ایران براساس برش سه‌خوشه‌ای

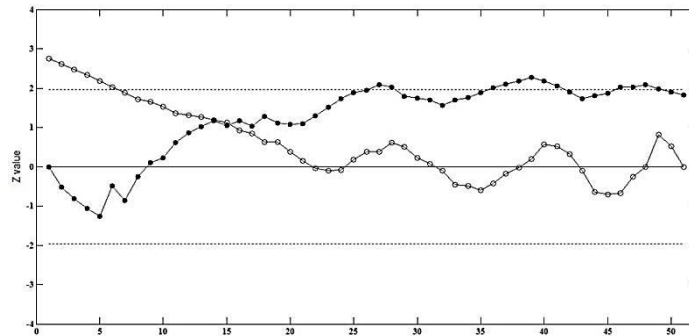
به‌منظور تبیین تغییرات زمانی توفان‌های تندری ماه می از مؤلفه روند خطی سری زمانی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد به‌جز ایستگاه‌های بندرعباس و بوشهر در سواحل جنوبی کشور، اصفهان در بخش مرکزی و کرمانشاه در غرب که روند وقوع توفان‌های تندری در آن‌ها نزولی بوده، در سایر ایستگاه‌های سطح کشور روند تغییرات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

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



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

بیشترین فراوانی وقوع توفان‌های تندری 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 کندال که همدیگر را داخل محدوده معنادار 95 درصد (خط $\pm 1/96$) قطع کرده‌اند، کاملاً معنادار است و در آینده نیز به احتمال 95 درصد استمرار خواهد داشت.

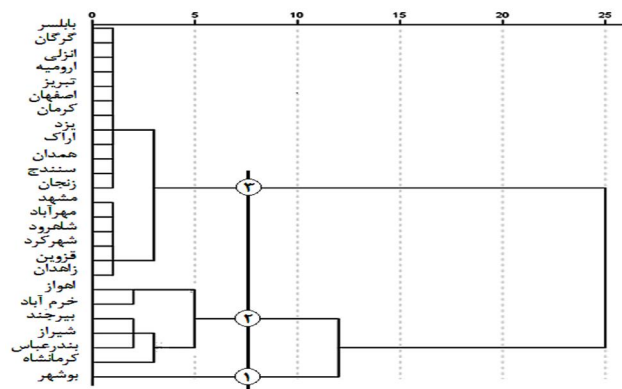


شکل 5 نمودار من کندال معنادار فراوانی وقوع توفان تندری ماه می زنگان

3-2- تحلیل فصلی تغییرات زمانی وقوع توفان‌های تندری ایران

3-2-1- فصل زمستان

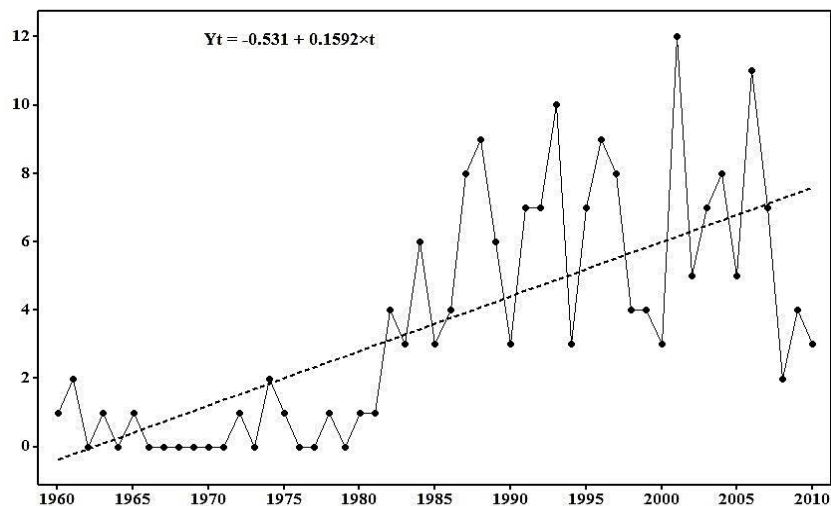
با توجه به شکل دندروگرام حاصل از تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی وارد، یک برش سه‌خوشه‌ای از درخت خوشه‌بندی، موجب تفکیک منطقی ایستگاه‌ها به سه خوشه همگن و مجزا شد (در شکل شش دیده می‌شود). در خوشه اول، ایستگاه بوشهر با 467 رخداد که بیشینه فراوانی وقوع توفان‌های تندری زمستانی است، قرار گرفت. خوشه دوم مشتمل بر ایستگاه‌های کرمانشاه، بندرعباس، شیراز، بیرجند، خرم‌آباد و اهواز است. هجده ایستگاه باقی‌مانده که بیشتر شامل مناطق نیمه شمالی و مرکزی کشور هستند، در خوشه سوم خوشه‌گزینی کردند.



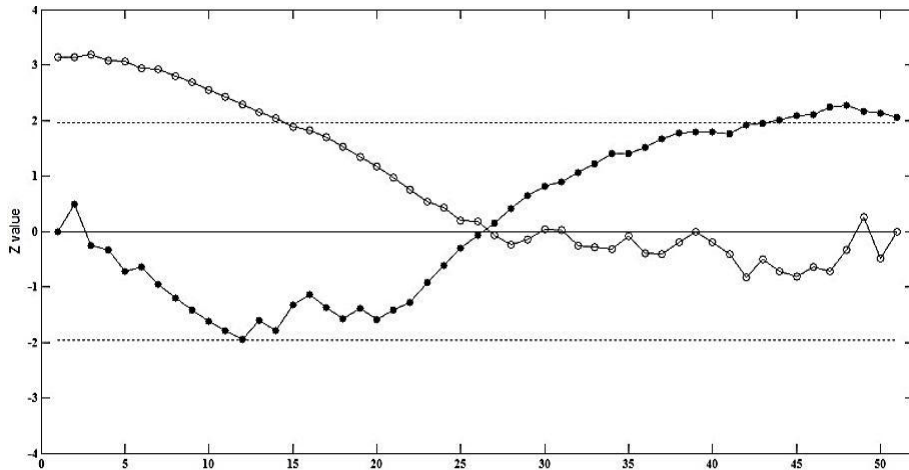
شکل 6 دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی فراوانی مکانی وقوع توفان‌های تندری زمستانه ایران براساس برش سه‌خوشه‌ای



به‌منظور آگاهی از وضعیت زمانی نوسانات توفان‌های تندری در فصل زمستان، روند تغییرات بلندمدت توفان‌های تندری بررسی شد. براساس این تحلیل، به‌جز 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 شیب بیشتری دارد. روند تغییرات توفان‌های تندری زمستانه اهواز در جنوب غرب کشور که بیشترین شیب 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 60 تا 70 روند کاهشی داشته و در دهه 80 روند افزایشی بسیار شدیدی دارا بوده که تا آخر سری استمرار پیدا کرده است. نقطه اوج زمانی وقوع توفان‌های تندری اهواز در زمستان 2001 با 12 بار وقوع توفان تندری کاملاً قابل تشخیص است. شیب 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 من‌کنندال مندرج در شکل هشت، با سطح اطمینان 95 درصد به‌شکلی کاملاً روشن و معنادار تداوم می‌یابد.



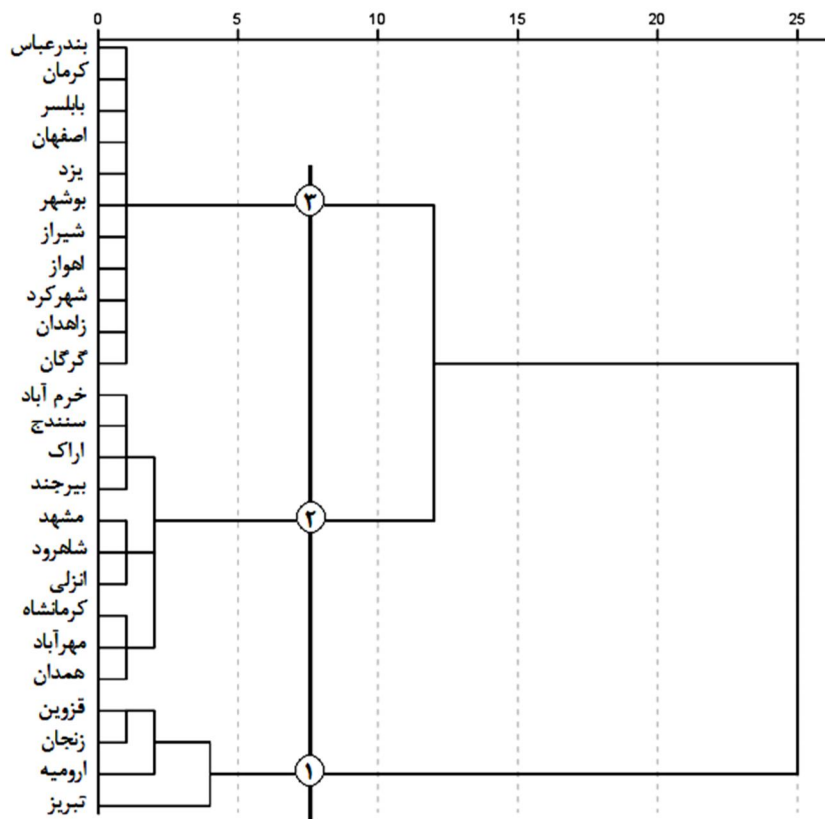
شکل 7 روند خطی تشدید تغییرات بلندمدت وقوع زمستانه توفان‌های تندری در ایستگاه اهواز



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

3-2-2- فصل بهار

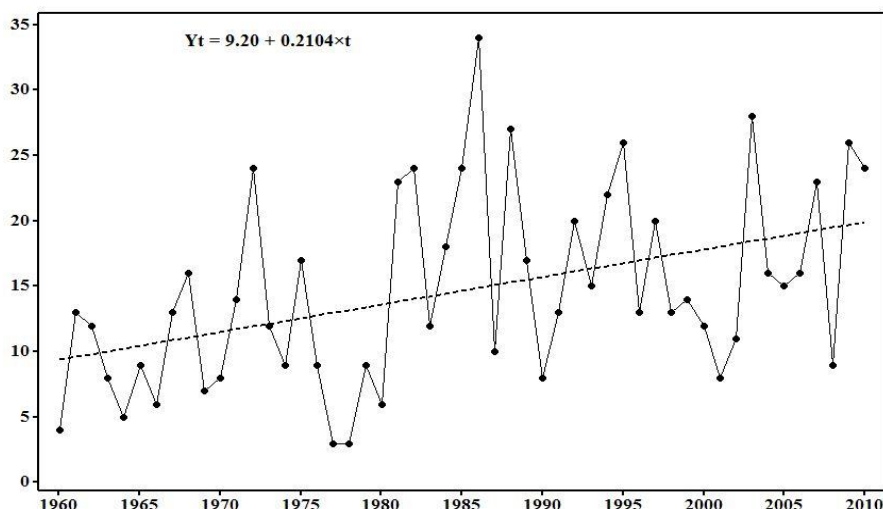
طبقه‌بندی فراوانی وقوع توفان‌های تندی بهاره با یک برش سه‌خوشه‌ای بر درخت خوشه‌بندی (شکل نه) انجام شده است. در این خوشه‌بندی ایستگاه‌های تبریز، ارومیه، زنجان و قزوین در شمال غرب با بیش از 645 توفان تندی در خوشه اول قرار دارند. در خوشه دوم ایستگاه‌های همدان، مهرآباد، کرمانشاه، انزلی، شاهرود، مشهد، بیرجند، اراک، سنندج و خرم‌آباد که نیمه شمالی و کمی از بخش‌های شرقی و غربی کشور را دربرمی‌گیرند، جای‌گزین شده‌اند. در خوشه 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 خوشه‌گزینی کرده‌اند.



شکل 9 دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی فراوانی مکانی وقوع توفان‌های تندری بهاری ایران براساس برش سه‌خوشه‌ای

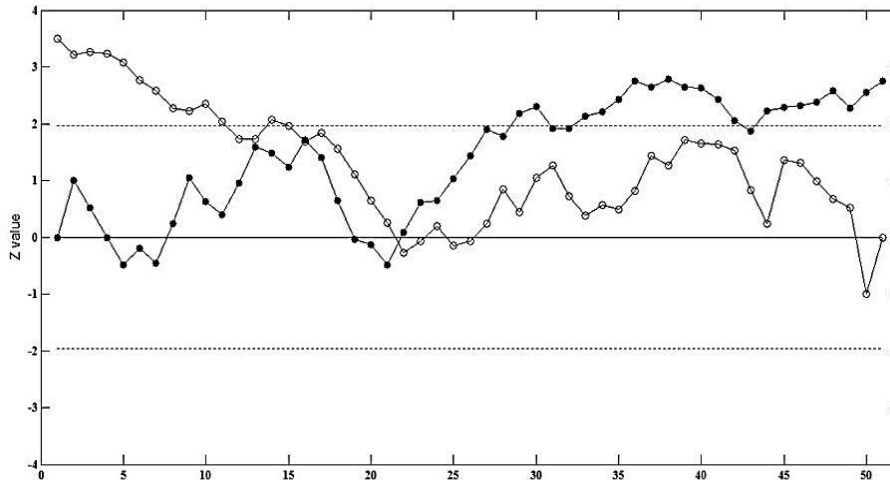
در بررسی نوسانات زمانی فراوانی توفان‌های تندری بهاره در ایران، روند زمانی وقوع توفان‌های تندری تحلیل شد. براساس نتایج این بررسی، روند تغییرات زمانی وقوع توفان‌های تندری در ایستگاه‌های اهواز، قزوین، گرگان، کرمان، خرم‌آباد، شهرکرد، یزد، زنجان، ایستگاه‌های ساحلی شمالی و جنوبی، منطقه غرب و بخش‌های مرکزی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

فصل بهار انتخاب شد. همان‌گونه که در شکل ده دیده می‌شود، روند تغییرات زمانی شدید ارومیه در بهار با میزان 0/21 در سال، رقم چشم‌گیری است.



شکل 10 روند تغییرات بلندمدت توفان‌های تندری ایستگاه ارومیه در فصل بهار

نقطه اوج وقوع توفان‌های تندری بهاره در ارومیه وقوع 34 توفان تندری در بهار 1985 است که پرفراوانی‌ترین بهار از نظر حدوث توفان‌های تندری در طول دوره آماری بوده است. جالب است که در سال‌های 1977 و 1978 فراوانی وقوع توفان‌های تندری بهاره ارومیه حسیض سه بار وقوع توفان تندری به صورت متوالی را نشان می‌دهد. دامنه تغییرات 31 بار فراوانی وقوع توفان تندری بهاره در ارومیه نیز رقم زیادی است و نشان می‌دهد که فراهم بودن شرایط دینامیک و ترمودینامیک، فراوانی وقوع توفان‌های تندری بهاره ارومیه و کل منطقه شمال غرب را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. این میزان تغییرات با توجه به آزمون من کندال که نمودار آن در شکل یازده آمده، کاملاً در محدوده 95 درصد معنادار بوده و از نظر زمانی با همان مقدار احتمال، روند افزایشی مذکور با شدت و ضعف‌های محتمل در آینده نیز استمرار خواهد داشت.

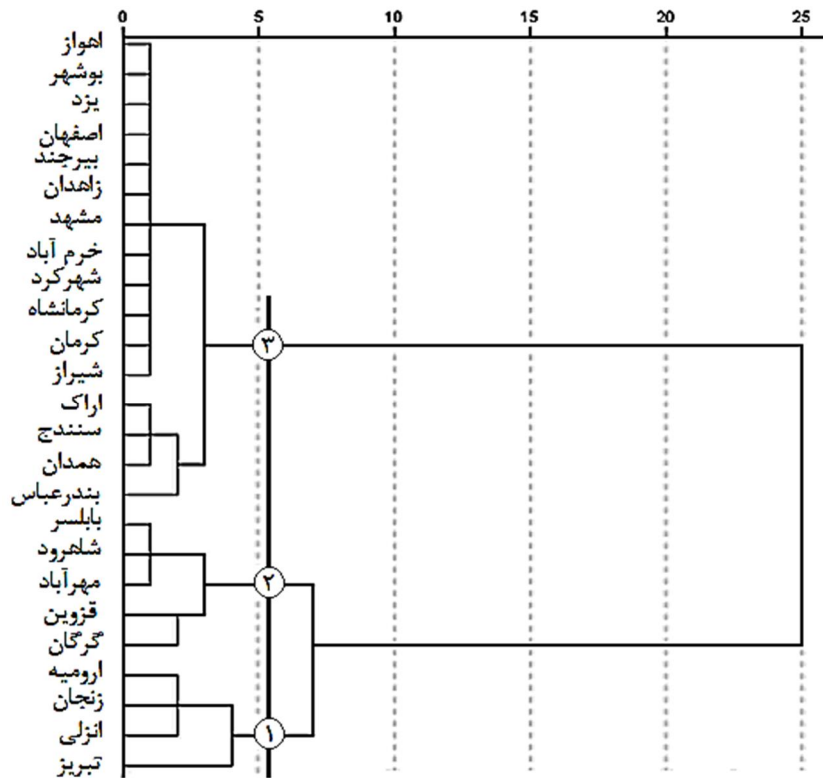


شکل 11 نمودار من کندال معنادار فراوانی وقوع توفان تندری بهاره ارومیه

نکته درخور توجه نمودار من کندال ارومیه وجود سه نقطه تماس در سری زمانی فراوانی وقوع توفان‌های تندری 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.

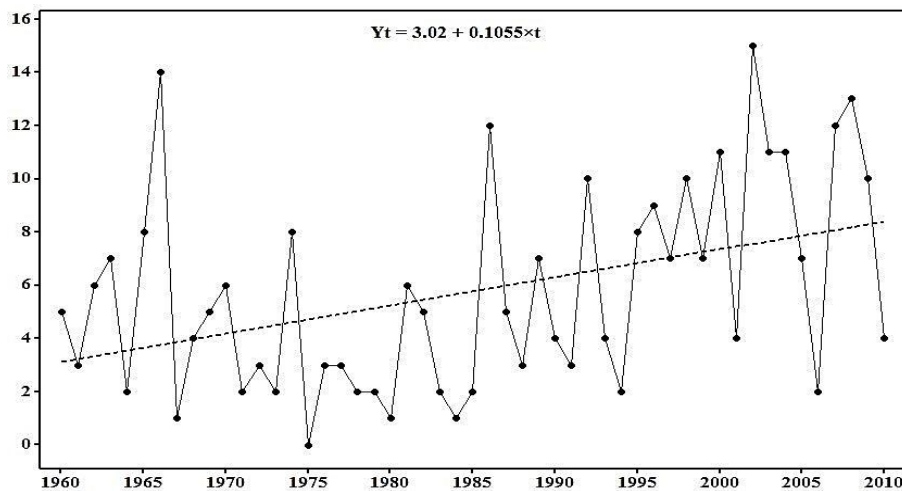
3-2-3- فصل تابستان

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

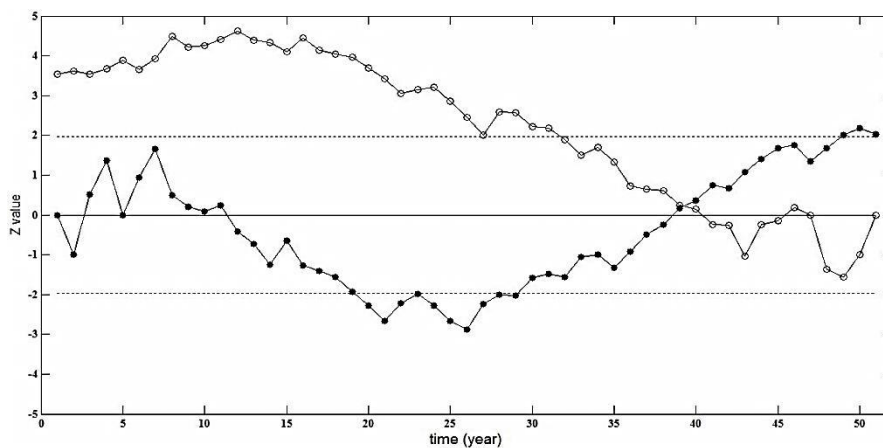


شکل 12 دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی فراوانی مکانی وقوع توفان‌های تندری تابستانی ایران براساس برش سه‌خوشه‌ای

روند تغییرات بلندمدت زمانی فراوانی وقوع 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 تندرلی تابستانی ایستگاه بندر انزلی



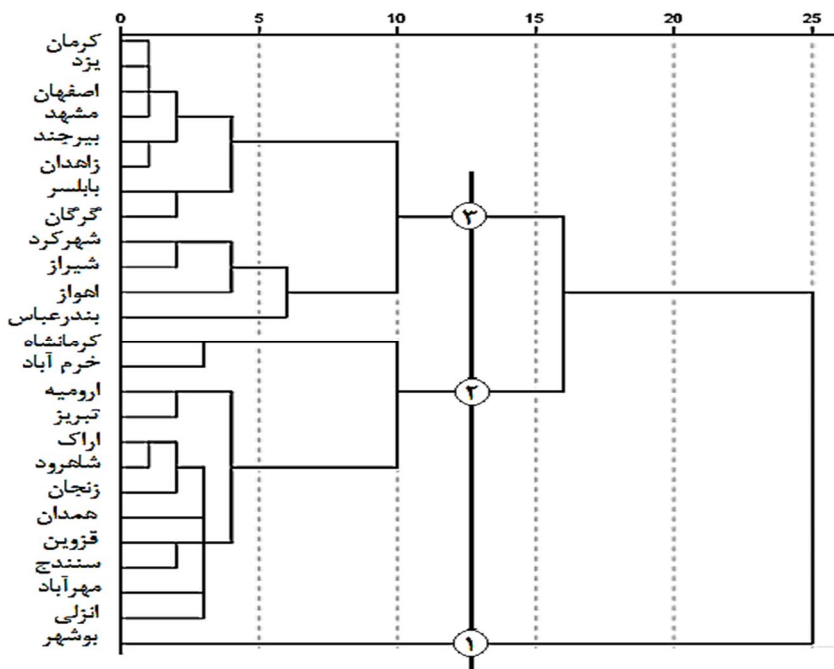
شکل 14 نمودار من کندال معنادار فراوانی وقوع توفان‌های تندرلی تابستانی ایستگاه بندر انزلی

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

انزلی در سال 1975 بدون توفان و بیشینه آن در تابستان سال 2003 با 13 روز توأم با توفان تندی مورد محاسبه قرار گرفت. روند تغییرات زمانی وقوع روزهای توأم با توفان تندی بندر انزلی (شکل 13) نشان از افزایش بسیار زیاد سالیانه 0/1 است که با توجه به نمودار من کندال مندرج در شکل چهارده، در محدوده احتمال 95 درصد کاملاً معنادار بوده و به همان میزان، احتمال روند مذکور در آینده نیز تداوم خواهد یافت.

3-2-4- فصل پاییز

با توجه به شکل دندروگرام حاصل از فراوانی حدوث پاییزی توفان‌های تندی، ایستگاه‌های مطالعه با یک برش سه‌خوشه‌ای تفکیک شدند (شکل 15). در این خوشه‌بندی، فقط ایستگاه بوشهر در سواحل شمال غربی خلیج فارس که دارای بیشترین مقادیر رخداد توفان‌های تندی پاییزه ایران است، در خوشه اول خوشه‌گزینی کرده است.

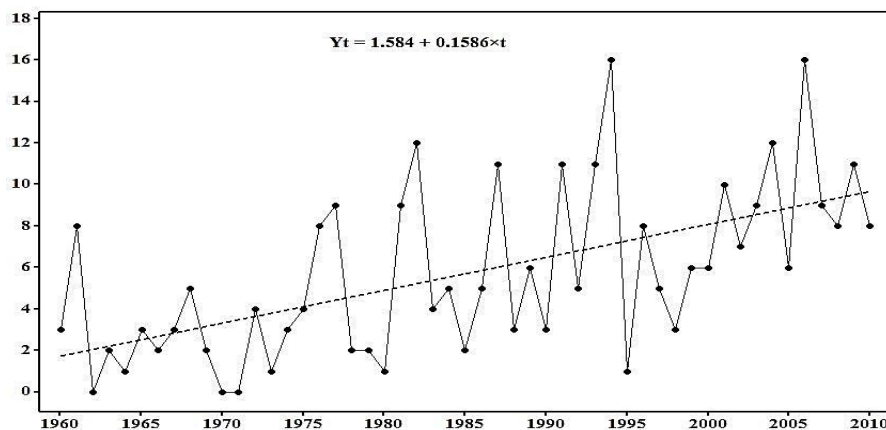


شکل 15 دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی فراوانی مکانی وقوع توفان‌های تندی پاییزی ایران براساس برش سه‌خوشه‌ای



در خوشه دوم، دوازده ایستگاه خرم‌آباد، کرمانشاه، ارومیه، تبریز، اراک، شاهرود، زنجان، همدان، قزوین، سنندج، مهرآباد و بندر انزلی که با پراکنش بیشتر در شمال غرب، شمال شرق و غرب میانه هستند، جای‌گزین 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 به‌صورت پراکنده در خوشه سوم قرار گرفته‌اند.

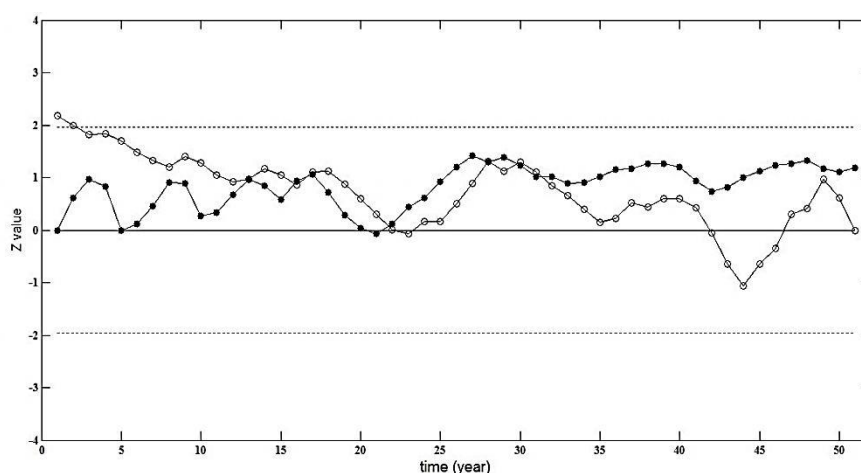
در بررسی تغییرات بلندمدت توفان‌های تندری پاییزی مشخص شد که روند تغییرات کل ایستگاه‌های مطالعه مثبت و افزایشی است. شدیدترین شیب روند افزایشی در این دوره به ایستگاه‌های اهواز، گرگان، شهرکرد و زنجان تعلق دارد. روند تغییرات زمانی شدید ایستگاه خرم‌آباد در غرب کشور به‌صورت نمونه، به‌عنوان ایستگاهی که دارای 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 51ساله رقمی در حدود 0/16 افزایش سالانه بوده که عدد بسیار چشم‌گیری است. بر مبنای آزمون من کندال، روند تغییرات زمانی توفان‌های تندری پاییزه خرم‌آباد (در شکل 17) با

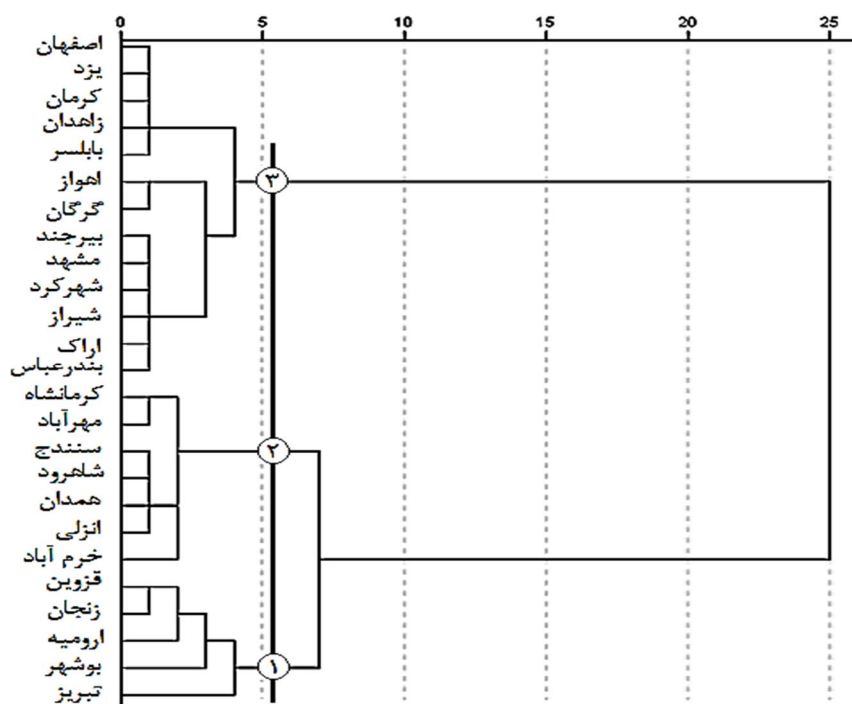
چندین برخورد در اوایل سری - که نشان‌دهنده تغییر چندباره در میانگین بلندمدت سری هستند - نهایتاً از مشاهده 32 به بعد، تغییر میانگین بلندمدت بارز و معناداری پیدا کرده که این نقطه آخر، نقطه عطف سری زمانی حدوث پاییزی روزهای توأم با توفان تندری ایستگاه خرم‌آباد به شمار می‌آید. با یک احتمال 95 درصدی، روند تغییرات افزایشی وقوع روزهای توأم با توفان تندری ایستگاه خرم‌آباد در سال‌های آتی نیز تداوم خواهد یافت.



شکل 17 نمودار من کندال معنادار فراوانی وقوع توفان تندری پاییزی خرم‌آباد

3-3- تحلیل سالیانه

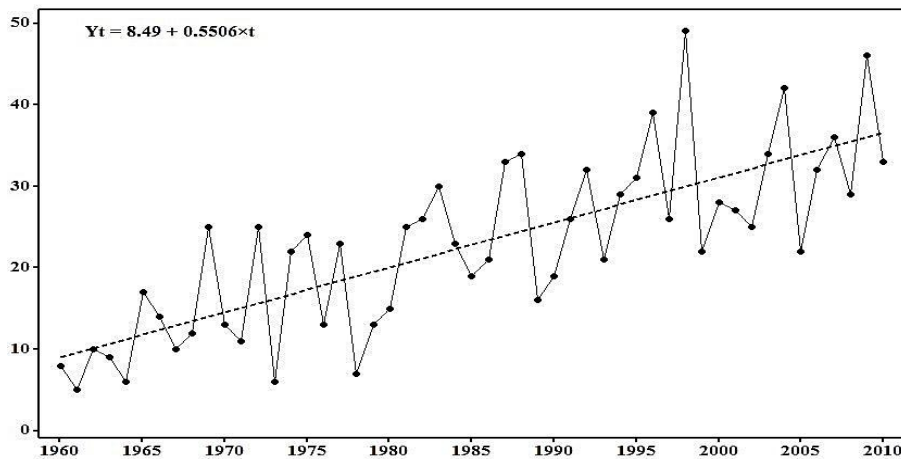
به منظور بررسی تجانس ایستگاه‌های مطالعه از نظر رخداد توفان‌های تندری سالیانه، پس از انجام تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی وارد و برش خوشه‌ها در نهایت سه خوشه مجزا مطابق شکل هجده تفکیک شد. در خوشه اول ایستگاه‌های تبریز، ارومیه، زنجان و قزوین در مناطق شمال غربی و غرب میانی و بوشهر در جنوب کشور خوشه‌گزین شدند. ایستگاه‌های خرم‌آباد، بندر انزلی، همدان، شاهرود، سنندج، مهرآباد و کرمانشاه نیز در خوشه دوم قرار گرفتند. سیزده ایستگاه دیگر نیز در خوشه سوم جای‌گزین شدند. اعضای خوشه سوم با اینکه 52 درصد مساحت کل ایران را دارند، دارای کمترین فراوانی وقوع روزهای توأم با توفان‌های تندری سالیانه هستند.



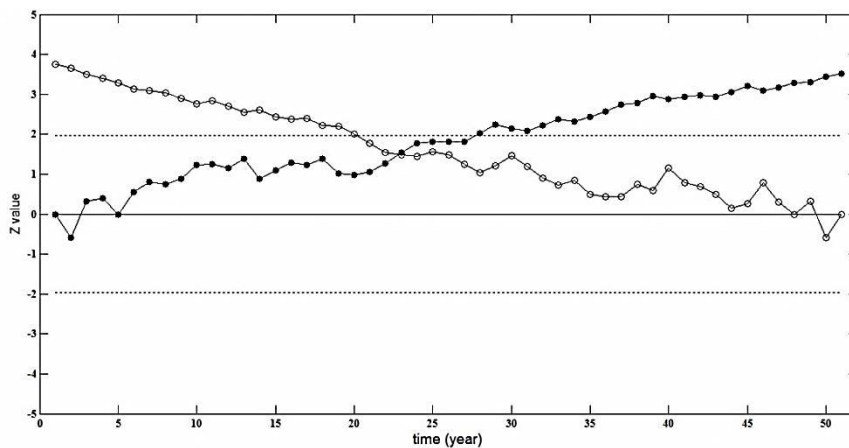
شکل 18 دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی فراوانی مکانی وقوع توفان‌های تندری سالیانه ایران براساس برش سه‌خوشه‌ای

برای تحلیل نوسانات زمانی وقوع توفان‌های تندری سالانه ایران، روند بلندمدت خطی توفان‌های تندری سالیانه تحلیل شد. با توجه به روند تغییرات بلندمدت سالیانه وقوع روزهای توأم با توفان تندری ایستگاه‌های مطالعه معلوم شد که کل ایستگاه‌ها افزایش توفان‌های تندری از 1960 تا دهه اخیر را داشته‌اند. در نیمه شمالی کشور ایستگاه‌های اراک، قزوین، گرگان، خرم‌آباد، مشهد، سنندج، 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 تندری در شمال غرب ایران و با توجه به شدت و شیب بیشتر روند تغییرات زمانی وقوع توفان‌های تندری در ایستگاه قزوین، برای نمونه روند تغییرات زمانی وقوع توفان‌های تندری سالیانه قزوین تحلیل شد. همان‌طور که در شکل نوزده مشاهده

می‌شود، روند تغییرات سری زمانی توفان‌های تندری سالیانه قزوین با شیب زیاد به میزان 0/55 به شدت در حال افزایش است. حضيض سری زمانی وقوع توفان‌های تندری قزوین در دهه 60 و اوج آن در سال 1998 با فراوانی 49 روز توأم با وقوع توفان تندری رخ داده است.



شکل 19 روند تغییرات بلندمدت توفان‌های تندری سالیانه ایستگاه قزوین



شکل 20 نمودار من کندانال معنادار فراوانی وقوع توفان تندری سالیانه قزوین



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

4- نتیجه

در پژوهش حاضر، با استفاده از روش‌های تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی وارد با مجذور 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 خوشه‌بندی به دست آمده از طبقه‌بندی، مناطق مختلف کشور به نواحی همگن از نظر رخداد فراوانی وقوع توفان‌های تندری، به سه خوشه مجزا (بر اساس شکل 18) تقسیم شده‌اند که خوشه‌های 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، ژوئن 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 شیب صعودی روند تغییرات زمانی به‌شکلی 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 انجام‌گرفته، تغییرات وقوع توفان‌های تندری 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، 1393: 1). درباره علل شدت و ضعف فراوانی وقوع توفان‌های تندری ایران نیز مطالعات اخیر ثابت کرده‌اند که علاوه بر ابعاد سینوپتیک و توپوکلیماتیک، بخش عمده‌ای از شدت و ضعف زمانی و مکانی تغییرات توفان‌های تندری ایران به الگوهای پیوند از دور نیم‌کره شمالی (به‌ویژه در قسمت غرب که شامل شمال غرب، غرب و جنوب غرب ایران می‌شود) به‌خصوص الگوی نوسانات اطلس 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، 103).

5- منابع

- باغبانان، پرستو، تحلیل زمانی و مکانی توفان‌های تندری ایران و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی، تهران، 1393.
- جلالی، اورج، علی‌اکبر رسولی و بهروز ساری صراف، «توفان‌های تندری و بارش‌های ناشی از آن در محدوده شهر اهر»، جغرافیا و برنامه‌ریزی، ش 24، صص 18-33، 1385.
- خوشحال دستجردی، جواد و یوسف قویدل رحیمی، «شناسایی ویژگی‌های سوانح محیطی منطقه شمال غرب ایران (نمونه مطالعاتی: خطر توفان‌های تندری در تبریز)»، مدرس علوم انسانی، ش 53، صص 101-115، 1386.



- محمد خورشیددوست، علی و یوسف قویدل رحیمی، «کاربست نرم‌افزار Digital Atmosphere 2000 در تحلیل فضایی پدیده‌های اقلیمی ایران»، فصلنامهٔ جغرافیایی سرزمین، ش 12، صص 48-58، 1385.

- 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. Gopalakrishan, "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 Regio*, 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.