

بررسی ویژگی‌های آماری و هم‌پنداری طوفان‌های تندری استان اردبیل

برومند صلاحی* - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

پذیرش مقاله: ۱۳۸۷/۱۰/۲۵ تأیید نهایی: ۱۳۸۹/۵/۱۹

چکیده

طوفان‌های تندری از مهم‌ترین بلایای طبیعی‌اند که همه‌ساله علاوه بر نابود کردن مقدار زیادی از محصولات کشاورزی، سبب تلفات انسانی زیادی در سراسر دنیا می‌شوند. در این مقاله، از داده‌های روزهای وقوع طوفان‌های تندری ایستگاه‌های سینوپتیک اردبیل، مشکین‌شهر، خلخال و پارس‌آباد - که به ترتیب دارای آمار ۲۹، ۱۱، ۱۹ و ۲۱ ساله بودند - استفاده شده است. پس از اطمینان از صحت داده‌های مورد استفاده، اقدام به تجزیه و تحلیل ویژگی‌های آماری داده‌ها و تعیین نوع توزیع آماری ماهانه و فصلی روزهای دارای طوفان‌های تندری گردید. از روش تجزیه مؤلفه روند سری‌های زمانی (روند خطی یا پلی‌نومیال درجه شش) برای تبیین نوسان‌های زمانی طوفان‌های تندری استفاده شده است. برای تبیین و توجیه هم‌پنداری طوفان‌های تندری، شرایط هم‌فشاری سطح زمین، هم‌ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و ستون آب قابل بارش روز ۲۶ مه ۱۹۸۵ به عنوان نمونه، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج بررسی‌ها نشان دادند که در ایستگاه‌های سینوپتیک اردبیل، مشکین‌شهر و خلخال، بیشترین فراوانی وقوع طوفان‌های تندری متعلق به ماه می و در ایستگاه سینوپتیک پارس‌آباد، متعلق به ماه ژوئن است. درخت خوشه‌بندی طوفان‌های تندری ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه، نشان داد که این طوفان‌ها در تمامی ایستگاه‌ها سه خوشه مشابه را تشکیل می‌دهند. مدل‌های نوسانی زمانی و روند خطی و پلی‌نومیال درجه شش طوفان‌های تندری فصل بهار و سالانه نشان دادند که در ایستگاه‌های اردبیل، خلخال و مشکین‌شهر، وقوع طوفان‌های تندری دارای روندی افزایشی است و در ایستگاه پارس‌آباد و روندی کاهش‌ی دارد. هم‌خوانی نسبتاً خوب روند خطی و پلی‌نومیال درجه شش بهاری و سالانه وقوع طوفان‌های تندری، مبین بیشتر بودن سهم فصل بهار از طوفان‌های تندری نسبت به میزان سالانه است. فراوانی وقوع طوفان‌های تندری ایستگاه سینوپتیک اردبیل با تابع توزیع احتمال ویبول سه پارامتری در سطح اطمینان ۹۵ درصد تطابق دارد. بررسی نقشه‌های هم‌پنداری روز نماینده نشان دادند که در این روز، شرایط سطح زمین و سطوح بالای اتمسفر برای وقوع پدیده طوفان تندری مناسب است.

کلیدواژه‌ها: تحلیل خوشه‌ای، تحلیل هم‌پنداری، طوفان‌های تندری، روند خطی و پلی‌نومیال، استان اردبیل.

مقدمه

طوفان‌های تندری از مهم‌ترین، فراوان‌ترین و شدیدترین بلایای اقلیمی‌اند که هر ساله علاوه بر نابود کردن مقدار زیادی از محصولات کشاورزی و تأسیسات عمرانی، موجب تلفات انسانی بسیاری در نقاط مختلف دنیا می‌شوند. در این زمینه

تنها در بین سال‌های ۱۹۵۳ تا ۱۹۵۷ در امریکا خسارت‌های مالی ناشی از طوفان تندری بالغ بر ۳/۶ میلیارد دلار برآورد شده است (شانون^۱، ۲۰۰۳، ص ۱۲۳۲). شناسایی شرایط سینوپتیک به وجود آورنده این رگبارها می‌تواند در پیش‌بینی زمان وقوع و اجرای آمادگی لازم کمک کند. طوفان تندری ماشین ترمودینامیکی است که در آن، انرژی پتانسیل از گرمای نهان حاصل از تراکم در شرایط رطوبتی یا ناپایداری حاصل به جابه‌جایی هوا تبدیل می‌گردد. خصوصیات بارز این طوفان، ناشی از تشکیل یک سلول همرفتی بزرگ در اتمسفر است.

تمام خصوصیات بارز طوفان تندری مانند باد شدید، تگرگ، رعد و برق و رگبار شدید تماماً حاصل ایجاد یک سلول همرفتی بزرگ در جو است (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۴، ص ۱۴۵). روزهای همراه با رعد و برق، نماینده ناپایداری‌های شدیدی است که با طوفان‌های توأم با تندر و آذرخش همراه است. علیجانی (۱۳۷۶، ص ۹۵) معتقد است که حداکثر طوفان‌های تندری در شمال غرب ایران رخ می‌دهد. طوفان تندری و پدیده‌های ناشی از آن مانند تگرگ، بارش سنگین و سیل آسا، صاعقه و باد شدید - مهم‌ترین سوانح اقلیم شناختی هستند که بخش وسیعی از تحقیقات آب و هواشناسی دنیا را به خود اختصاص داده‌اند. از آنجا که این پدیده در استان اردبیل نیز به ویژه در نیمه گرم سال سابقه وقوع دارد، شناسایی این پدیده اهمیت ویژه ای می‌یابد.

هارناک^۲ و همکاران (۱۹۹۶) (به نقل از علیجانی، ۱۳۸۱، ص ۲۰۸) رگبارهای شدید فصل تابستان ایالت یوتا^۳ را در دوره ۱۹۵۰-۱۹۹۳ استخراج و بررسی کردند. وایت من^۴ (۲۰۰۳) با روش‌هایی نو و خصوصاً تحلیل‌های سینوپتیکی، پدیده‌های اقلیمی کوهستانی به‌ویژه طوفان‌های رعد و برقی، تگرگ، روزهای توأم با برف و بارش سنگین و دیگر پدیده‌های نواحی مرتفع بیان شده است. گشونوف^۵ و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند که صاعقه‌های ناشی از طوفان‌های تندری مهم‌ترین عامل طبیعی آتش‌سوزی‌های جنگل‌ها و مراتع امریکا به‌شمار می‌آیند. ایسترلینگ (۱۹۹۹) براساس منشأ و میزان بارشی که هر سامانه تندری می‌تواند تولید کند، به پهنه‌بندی مناطق مختلف امریکا پرداخت. وی در تحقیقی دیگر (۲۰۰۳)، از طوفان‌های تندری به عنوان معضل مهم امریکا در قرن بیستم یاد کرده و پیامدهای محیطی و اقتصادی ناشی از طوفان تندری و پدیده‌های مربوط به آن را (همچون سیل، تگرگ، باد شدید) بر اقتصاد کشاورزان امریکا، بسیار خانمان سوز دانسته است. بنتلی و موت^۷ (۲۰۰۲) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، محدوده متأثر از طوفان تندری را تعیین کرده‌اند، و با استفاده از تصاویر باندهای مختلف سنجنده‌های ماهواره لندست، صدمات ناشی از طوفان‌ها را به تصویر کشیده‌اند.

کشمیری (۱۳۷۴) با استخراج آمار بارندگی چهار ایستگاه مجهز به باران‌نگار در استان فارس با فواصل ۱۵ دقیقه‌ای، حداکثر بارش‌های ۳، ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعته بیش از ۱۰ میلی متر را جدا ساخته و با استفاده از روش‌های آمار ناپارامتری

1. Chignon
2. Harnack
3. Uta
4. Whitman
5. Geshunove
6. Easterling
7. Bentley & Mote

با بهترین توزیع آماری، احتمال وقوع بارندگی در هر درصد مشخص از زمان را تعیین کرده است. لشکری (۱۳۷۵) علل وقوع بارش‌های سنگین و سیل آسا در جنوب غرب ایران را نتیجه تقویت و تشدید فعالیت مرکز کم فشار مونسونی سودانی و منطقه همگرایی دریای سرخ و تبدیل آنها به سیستم دینامیکی و ترمودینامیکی می‌داند.

حاج بابایی و همکاران (۱۳۸۴) با استفاده از آمار سمت و سرعت باد ماکزیمم ایستگاه‌های هواشناسی خور و بیابانک و فرودگاه اصفهان در دوره زمانی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ و نقشه‌های سطح زمین و سطوح میانی جو و نقشه نمایه قائم جو، طوفان‌های شدید شرق اصفهان را مورد بررسی هم‌دیدگی قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که فراوانی بادهای با سرعت بیش از ۲۱ نات در ثانیه در قیاس با بقیه بادهای بیشتر است و فراوانی بادهای شرق و جنوب شرقی بسیار کم و ناچیز بوده است. رسولی (۱۳۸۴) تغییرات زمانی و مکانی باران‌های حاصل از پدیده‌های رعد و برق ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی محدوده شهر تبریز را مورد مطالعه قرار داده است. وی دریافت که بارش‌های مذکور، اغلب در فصول بهار و تابستان و طی ساعات بعد از ظهر و اوایل شب رخ می‌دهند. او همچنین میزان احتمال توزیع باران‌های روزانه را با استفاده از توابع گاما (آلفا و بتا) و پیرسون نوع ۳ بررسی کرد. بررسی‌های هم‌دیدگی بارش‌های مذکور نشان دادند که سامانه‌های جوی، عوامل فیزیوگرافیک زمین و عناصر محیطی بر روی توزیع بارش‌های شدید و وقوع سیلاب‌های مخرب تأثیر مشترک دارند. صلاحی (۱۳۸۴) با استفاده از آمار متوالی روزانه ۲۰ ساله بادهای حداکثر ایستگاه سینوپتیک اردبیل، احتمال وقوع طوفان، طوفان شدید و طوفان‌های هاریکن وار را با استفاده از مدل‌های ریاضی رایله و ویبول محاسبه کرد. وی نشان داد که بادهای حداکثر روزانه در ایستگاه مذکور روند افزایشی دارند. طالبی (۱۳۸۴) با استفاده از اطلاعات ساعت‌های سینوپ فرعی ایستگاه‌های سینوپتیک استان یزد و نواحی مجاور آن طی دوره آماری ۲۰۰۰ - ۱۹۸۰، ویژگی‌های طوفان‌های رخ داده در محدوده مورد مطالعه خود را بررسی کرد. در این پژوهش، بیشترین فراوانی وقوع طوفان در ماه‌های اردیبهشت و اسفند به ترتیب با ۳۴ و ۳۱ مورد طوفان به ثبت رسیده است. از نظر ساعت وقوع نیز بیشترین وقوع طوفان در ساعت ۱۲ گرینویچ (۳/۵ محلی) و کمترین آن در ساعت ۰۳ گرینویچ (۶/۵ محلی) به وقوع پیوسته است.

هدایتی دزفولی و همکاران (۱۳۸۴)، انواع طوفان‌های جوی مؤثر بر ایران و عوامل به وجود آورنده آنها را معرفی کردند. وی پتانسیل رخداد این طوفان‌ها را از نظر مکانی و زمانی تعیین کرد. ذوالفقاری و همکاران (۱۳۸۴) با استفاده از آمار بلند مدت بادهای با سرعت بیش از ۳۶ کیلومتر در ساعت ایستگاه شکوهیه و انتخاب ۲۰ نمونه باد شدید، اطلاعاتی نظیر نوع مراکز فشاری، جبهه‌ها، مراکز پر ارتفاع و کم‌ارتفاع، فرارفت هوای سرد و گرم، ناپایداری‌ها و موقعیت جت استریم‌ها را در مورد نمونه‌های مطالعاتی استخراج کرد. وی به این نتیجه رسید که در بیست نمونه انتخابی، باد شدید به وقوع پیوسته از نوع سیستمی بوده است. به عبارت دیگر، بادهای شدید با سامانه‌های کم‌فشار دینامیکی فعال که با گرادبان نفوذی و فشاری نسبتاً زیاد و رطوبت پایین همراهی می‌کند، به وقوع پیوسته است. حسینی (۱۳۷۹)، جوان نشان (۱۳۸۲)، اسمیت (۱۳۸۲)، پیسیمانیس^۱ و همکاران (۲۰۰۶)، قاسمی (۱۳۷۵)، نیسی (۱۳۷۵)، شانون (۲۰۰۱)، غیبی

(۲۰۰۳) و سایر پژوهشگران در بررسی‌های خود، طوفان‌های تندری را مورد مطالعه قرار داده‌اند. با توجه به تحقیقات انجام گرفته، این پژوهش در صدد آن است تا علاوه بر آمار تحلیلی، با استفاده از روش تجزیه مؤلفه روند سری‌های زمانی (روند خطی یا پلی‌نومیال درجه شش) و بررسی و مطالعه مدل‌های گرافیک روند، طبقه بندی ماهانه روزهای توأم با طوفان تندری در ایستگاه‌های سینوپتیک استان اردبیل را با استفاده از روش آماری چند متغیره تحلیل خوشه‌ای انجام دهد.

مواد و روش‌ها

در این مقاله، از داده‌های روزهای وقوع طوفان‌های تندری ایستگاه‌های سینوپتیک اردبیل، مشکین شهر، خلخال و پارس آباد که به ترتیب دارای آمار ۲۹، ۱۱، ۱۹ و ۲۱ ساله بودند، استفاده شده است. پس از اطمینان از صحت داده‌های مورد استفاده، اقدام به تجزیه و تحلیل ویژگی‌های آماری داده‌ها و تعیین نوع توزیع آماری ماهانه و فصلی روزهای توأم با طوفان‌های تندری گردید. علاوه بر آمار تحلیلی، از روش تجزیه مؤلفه روند سری‌های زمانی (که بر حسب مورد شامل روند خطی یا پلی‌نومیال درجه شش است) برای تبیین نوسان‌های زمانی عناصر و پدیده‌های مورد مطالعه استفاده شده است. برای تفهیم بهتر نوسان‌های عناصر و پدیده‌های مورد مطالعه از مدل‌های گرافیک روند استفاده شده است. طبقه‌بندی ماهانه روزهای توأم با طوفان تندری نیز با استفاده از روش آماری چند متغیره تحلیل خوشه‌ای انجام گرفته است. برای تبیین و توجیه هم‌دیدگی رگبارها و طوفان‌های تندری، شرایط هم‌فشاری سطح زمین، هم‌ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و ستون آب قابل بارش روز ۱۳۶۴/۰۳/۰۵ به عنوان نمونه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. انتخاب این روز به عنوان روز نماینده نیز بدین دلیل بوده است که، بیشترین فراوانی وقوع طوفان‌های تندری را در بین سایر روزهای سال داشته است.

یافته‌های تحقیق

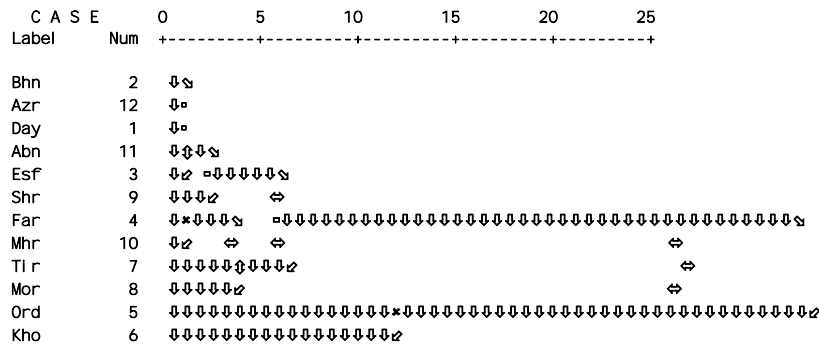
جدول شماره ۱، میانگین و انحراف معیار و همچنین ضریب تغییرات طوفان‌های تندری را در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه نشان می‌دهد. در کلیه ایستگاه‌ها - به غیر از پارس آباد - ماه اردیبهشت بیشترین فراوانی وقوع را دارند، ولی در ایستگاه پارس آباد خرداد ماه دارای بیشترین فراوانی وقوع است. کمترین مقدار فراوانی طوفان‌های تندری نیز در اغلب ایستگاه‌ها متعلق به ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند است. بیشترین و کمترین میزان انحراف معیار طوفان‌های تندری در ایستگاه‌های مورد مطالعه، روندی مشابه بیشترین و کمترین فراوانی وقوع را دارند به طوری که انحراف معیار ماه‌های گرم سال معمولاً بیشتر از ماه‌های سرد سال است. بررسی‌ها همچنین نشان دادند که در کلیه ایستگاه‌ها و در تمامی ماه‌ها، ضریب چولگی طوفان‌های تندری مثبت است و این نشان از محدود بودن حداکثر وقوع طوفان‌های تندری به تعداد معدودی از ماه‌های سال دارد. در ایستگاه پارس آباد، ضریب کشیدگی در تمامی ماه‌ها جز تیرماه مثبت است و این نشان از بلندتر از نرمال بودن توزیع داده‌های طوفان‌های تندری در این ایستگاه دارد. همین روند در ایستگاه اردبیل نیز به چشم می‌خورد، با این تفاوت که در ایستگاه یاد شده، ماه اردیبهشت دارای ضریب کشیدگی منفی است. در

ایستگاه‌های خلخال و مشکین‌شهر، کشیدگی‌های مثبت و منفی در ماه‌های مختلف سال توزیع شده‌اند. در ایستگاه‌های اردبیل، پارس آباد و مشکین‌شهر، اردیبهشت ماه دارای کمترین ضریب تغییرات است. در ایستگاه خلخال، آوریل کمترین ضریب تغییرات را به خود اختصاص داده است. ماه‌های سرد سال در تمامی ایستگاه‌ها دارای بیشترین ضریب تغییرات و ماه‌های گرم سال دارای کمترین ضریب تغییرات وقوع طوفان‌های تندری هستند. در ایستگاه‌های اردبیل، پارس آباد و خلخال، بهار کمترین ضریب تغییرات را به خود اختصاص داده است، و زمستان بیشترین را. در ایستگاه مشکین‌شهر، بهار کمترین و پاییز بیشترین این مقدار را به خود اختصاص داده است.

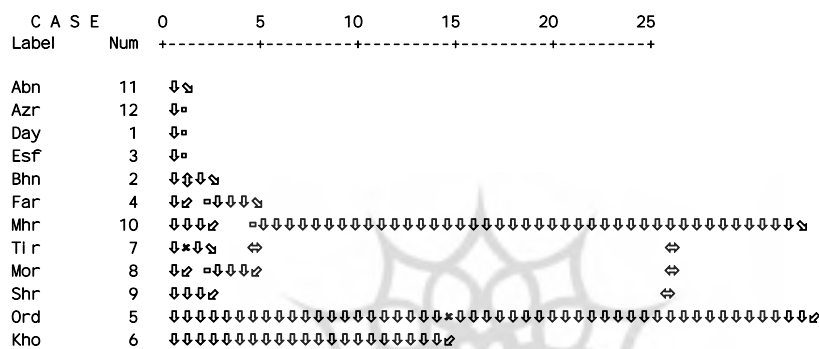
جدول ۱. پارامترهای آماری داده‌های مربوط به فراوانی وقوع ماهانه طوفان‌های تندری ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

ایستگاه پارامتر ماه	اردبیل				خلخال				مشکین‌شهر				پارس‌آباد			
	کشیدگی	طولگی	انحراف معیار	میانگین	کشیدگی	طولگی	انحراف معیار	میانگین	کشیدگی	طولگی	انحراف معیار	میانگین	کشیدگی	طولگی	انحراف معیار	میانگین
دی	-۰/۰۳	۰/۱۹	۵/۴	۲۹	-۰/۰۵	۰/۲۳	۴/۴	۱۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
بهمن	-۰/۰۳	۰/۱۹	۵/۴	۲۹	-۰/۳۲	۰/۵۸	۱/۸	۲/۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
اسفند	-۰/۳۴	۰/۷۲	۲/۴	۶/۲	-۰/۱۹	۰/۱۸۸	۱	-۰/۳۹	۰/۳	۳/۳	۰/۳	۰/۰۹	۱۱	۰/۲۲	۴/۶	۲۱
فروردین	۱/۳	۱/۴	۱/۲	۰/۸۲	۲/۶	۱/۶	۰/۴۱	-۰/۵۴	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۴	۰/۹۸	۰/۱۶۷	۰/۱۸۶	۱/۳
اردیبهشت	۳/۶	۳/۳	۰/۸۳	-۰/۳۷	۵/۶	۴/۲	۰/۸۷	-۰/۳۴	۲/۶	۲/۶	۲/۶	۴/۴	-۰/۱۲	۲/۳	۲/۳	۵/۷
خرداد	۲/۸	۳/۴	۲	۳/۴	۲/۷	۳/۶	۱/۹	۳/۱	۰	۰	۰	۱	-۱/۹	۳/۴	۱/۶	۳/۱
تیر	۱	۱/۷	۲	۳/۴	۲/۲	۲/۸	۱	-۰/۱۷	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۱/۴	-۰/۹۷	۱/۶	۰/۹۵	-۰/۱۴
مرداد	۱/۱	۱/۷	۱/۹	۳/۴	۱	۰/۹۱	۰/۳۸	-۰/۶۷	۱/۶	۲/۹	۲/۹	۱/۶	۷/۹	۱	۱/۲	۰/۳۱
شهریور	۰/۶۵	۱	۱/۹	۳/۷	-۰/۶۳	۱/۴	۲/۵	۵/۸	۰/۶۳	۰/۶۷	۰/۶۳	۰/۶۳	-۰/۲۹	۱/۶	۲/۹	۹/۷
مهر	۰/۸۶	۱/۲	۱/۹	۴/۴	۱/۴	۱/۳	۰/۴۴	-۱	۱/۱	۰/۸۲	۰/۸۲	۱/۱	-۰/۲۵	۱/۱	۱/۱	۳/۵
آبان	-۰/۲۱	-۰/۶۲	۳/۷	۱۵/۲	-۰/۳۷	-۰/۶۸	۱/۷	۱/۷	۰/۰۹	۰/۳	۰/۳	۳/۳	۱۱	۰/۲۲	۴/۶	۲۱
آذر	-۰/۰۳	۰/۱۹	۵/۴	۲۹	-۰/۰۵	۰/۲۳	۴/۴	۱۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
سالانه	۱۲	۸/۳	-۰/۴۱	-۰/۴۷	۱۷/۹	۹/۷	-۰/۱۷	-۱/۴	۱۱/۲	۶/۴	۶/۴	۱۱/۲	-۰/۴۷	۱۱/۴	۷/۷	۱/۷

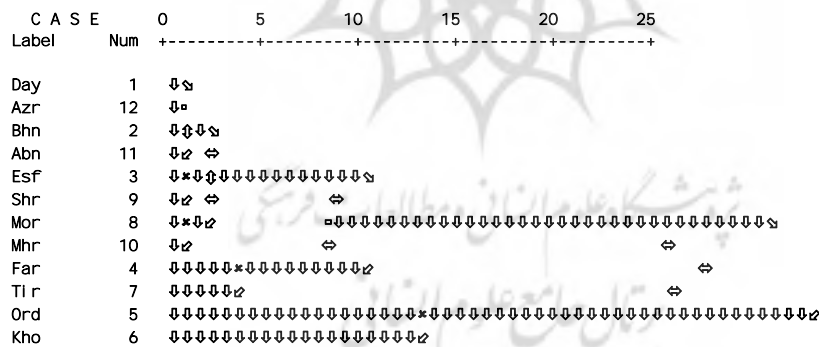
برای طبقه‌بندی فراوانی ماهانه وقوع طوفان‌های تندری در ایستگاه‌های مورد مطالعه، اقدام به تحلیل خوشه‌ای طوفان تندری شده است. بدین منظور، از روش سلسله‌مراتبی تحلیل خوشه‌ای ادغام بر اساس روش «وارد» و معیار فاصله اقلیدسی استفاده شده است. دندروگرام حاصل از روش مذکور در شکل‌های شماره ۱ تا ۴ نشان داده شده است.



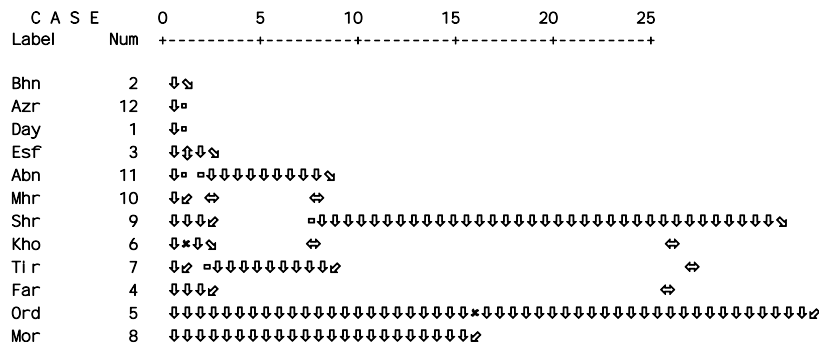
شکل ۱. دندروگرام فراوانی وقوع طوفان‌های تندری ایستگاه سینوپتیک اردبیل



شکل ۲. دندروگرام فراوانی وقوع طوفان‌های تندری ایستگاه سینوپتیک پارس آباد



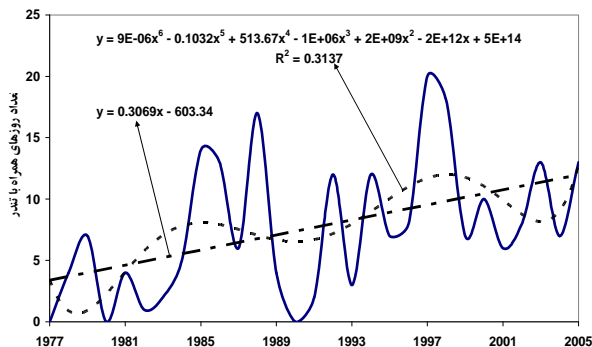
شکل ۳. دندروگرام فراوانی وقوع طوفان‌های تندری ایستگاه سینوپتیک خلخال



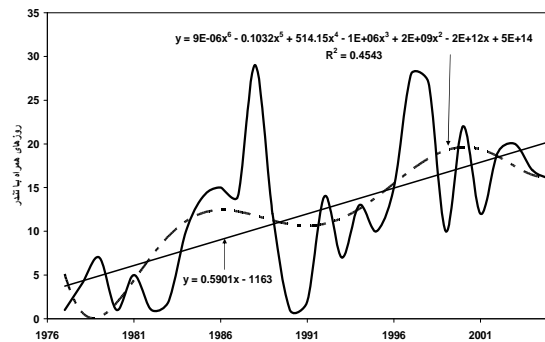
شکل ۴. دندروگرام فراوانی وقوع طوفان‌های تندری ایستگاه سینوپتیک مشکین شهر

براساس دندروگرام به دست آمده برای ایستگاه پارس‌آباد، از آنجا که ماه‌های اردیبهشت و خرداد دارای بیشترین فراوانی وقوع طوفان‌های تندری بودند، لذا در یک خوشه قرار گرفته‌اند. ماه‌های مرداد، تیر و شهریور نیز در خوشه دیگری جای گرفته‌اند. ماه‌های آبان، آذر، دی، اسفند، بهمن، فروردین و مهر در خوشه جداگانه جای گرفته‌اند. در ایستگاه سینوپتیک اردبیل نیز مشابه ایستگاه پارس‌آباد، ماه‌های اردیبهشت و خرداد با بیشترین فراوانی وقوع، خوشه واحدی را تشکیل داده‌اند. در مورد سایر ماه‌های سال، ایستگاه‌های اردبیل وضعیتی مشابه ایستگاه پارس‌آباد دارد، با این تفاوت که به خوشه دوم ایستگاه اردبیل، ماه‌های مهر و فروردین اضافه شده و ماه شهریور حذف شده است. در خوشه سوم ایستگاه اردبیل نیز ماه‌های بهمن، آذر، دی، آبان، اسفند و شهریور قرار گرفته‌اند. در ایستگاه خلخال ماه‌های اردیبهشت و خرداد بیشترین فراوانی وقوع طوفان‌های تندری را دارند. ماه تیر و فروردین در یک خوشه قرار گرفته‌اند؛ و ماه‌های بهمن، آذر، دی، آبان، اسفند، شهریور، مرداد و مهر در خوشه دیگر. در ایستگاه مشکین‌شهر تفاوتی که در ماه‌های وقوع بیشترین طوفان‌های تندری مشاهده می‌شود، به ماه مرداد برمی‌گردد. در ایستگاه‌های اردبیل، خلخال و پارس‌آباد، ماه‌های اردیبهشت و خرداد بیشترین فراوانی وقوع طوفان‌های تندری را دارند، در حالی که در ایستگاه مشکین‌شهر، ماه‌های مرداد و اردیبهشت دارای بیشترین فراوانی اند. در ایستگاه مشکین‌شهر، ماه‌های فروردین، تیر و خرداد در یک خوشه قرار دارند؛ و ماه‌های آبان، مهر، بهمن، آذر، دی و اسفند در خوشه دیگر. از بررسی و مقایسه دندروگرام‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه، این نکته پیداست که طوفان‌های تندری در تمامی ایستگاه‌ها، سه خوشه مشابه را تشکیل داده‌اند که می‌توان آنها را به درجات یک تا سه تقسیم‌بندی کرد.

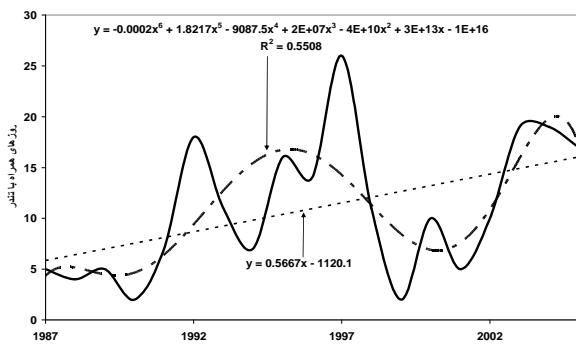
مدل‌های نوسانی زمانی و روند خطی و پلی‌نومیال درجه شش طوفان‌های تندری فصل بهار (که بیشترین فراوانی وقوع طوفان‌های تندری را دارد) و سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول دوره آماری در اشکال شماره ۵ تا ۱۲ نشان داده شده است. با توجه به این شکل‌ها معلوم می‌گردد که در ایستگاه‌های اردبیل، خلخال و مشکین‌شهر، وقوع طوفان‌های تندری روندی افزایشی دارد ولی این روند در ایستگاه پارس‌آباد کاهشی است. روندهای خطی و پلی‌نومیال درجه شش طوفان‌های تندری ایستگاه‌های مورد بررسی و معاملات مربوط، حاکی از وجود همبستگی نسبتاً قوی بین روندهای فصل بهار و وضعیت سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه است. این شکل‌ها همچنین نشان از نوسان‌های نسبتاً زیاد روزهای توأم با طوفان‌های تندری در فصل بهار در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی دارند.



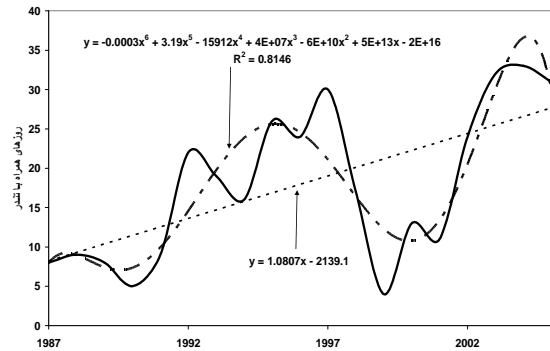
شکل ۶. مدل نوسانی و روند خطی طوفان‌های تندری فصل بهار اردبیل



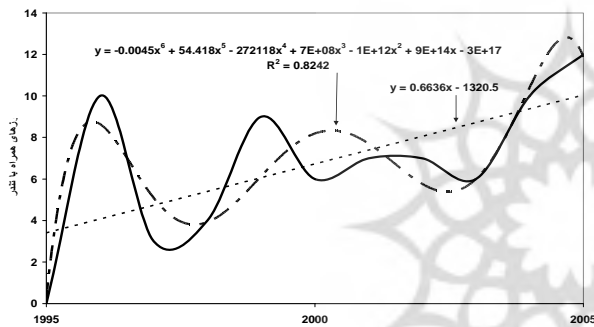
شکل ۵. مدل نوسانی و روند خطی طوفان‌های تندری سالانه اردبیل



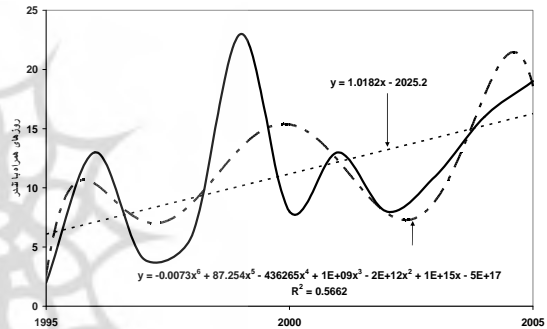
شکل ۸. مدل نوسانی و روند خطی طوفان‌های تندری فصل بهار خلخال



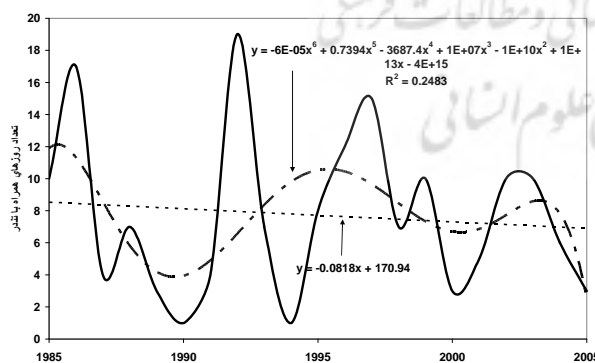
شکل ۷. مدل نوسانی و روند خطی طوفان‌های تندری سالانه خلخال



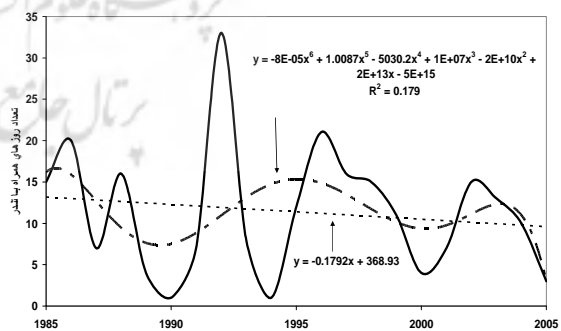
شکل ۱۰. مدل نوسانی و روند خطی طوفان‌های تندری فصل بهار مشکین شهر



شکل ۹. مدل نوسانی و روند خطی طوفان‌های تندری سالانه مشکین شهر



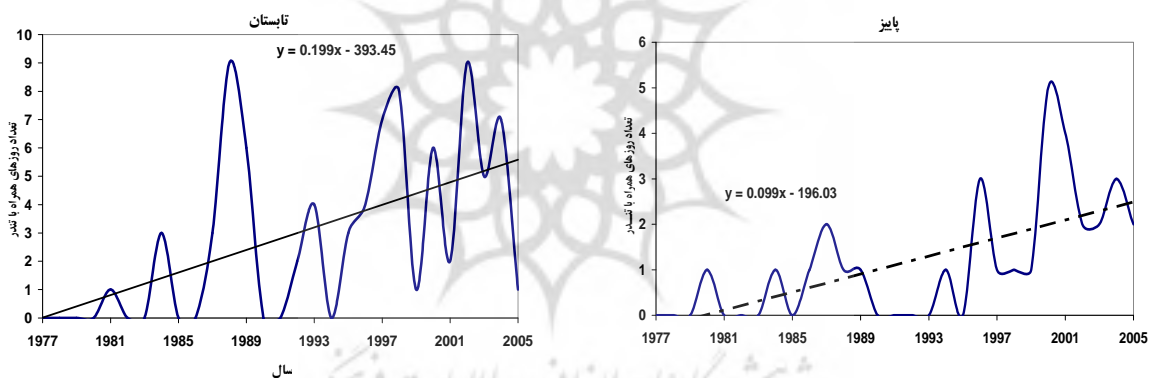
شکل ۱۲. مدل نوسانی و روند خطی طوفان‌های تندری فصل بهار پارس آباد



شکل ۱۱. مدل نوسانی و روند خطی طوفان‌های تندری سالانه پارس آباد

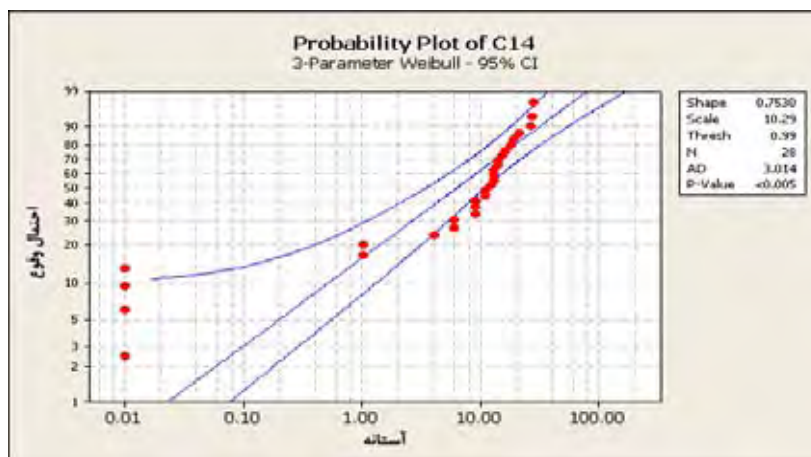
شاخص‌های وقوع طوفان‌های تندری در بازه‌های فصلی و سالانه در ایستگاه‌های مورد بررسی، نشان دادند که فصول بهار و تابستان بیشترین فراوانی وقوع طوفان‌های تندری را دارند. وضعیت وقوع طوفان‌های بهاره از نظر

ویژگی‌های آماری بسیار شبیه به وضعیت سالانه است، که این خود به معنی اهمیت زیاد فصل بهار به لحاظ وقوع طوفان‌های تندری است. مقادیر ضرایب تغییرات وقوع طوفان‌های تندری بیانگر ثبات بیشتر و نوسان‌های کمتر وقوع طوفان‌های تندری بهاره در قیاس با دیگر فصول سال است. ترکیب رگرسیون خطی و پلی‌نومیال درجه شش طوفان‌های تندری ایستگاه‌های مورد مطالعه، نقاط اوج و حوضیض تغییرات زمانی وقوع طوفان‌های تندری ایستگاه‌ها را در بازه‌های زمانی بهاره و سالانه نشان می‌دهد. همخوانی نسبتاً خوب روند خطی و پلی‌نومیال درجه شش بهاری و سالانه وقوع طوفان‌های تندری، مبین بیشتر بودن سهم فصل بهار از طوفان‌های تندری در قیاس با میزان سالانه است. روند خطی هر دو مقطع سالانه و بهاری در ایستگاه‌های اردبیل، خلخال و مشکین شهر با شیب زیادی در حال صعود است که این امر مبین افزایش وقوع طوفان‌های تندری در طول دوره آماری در این ایستگاه‌ها است. البته ایستگاه پارس آباد عکس شرایط پیش‌گفته را دارد. به جهت اهمیت بیشتر شهرستان اردبیل از نظر شرایط، روند خطی تغییرات زمانی فراوانی وقوع طوفان‌های تندری فصول تابستان و پاییز ایستگاه سینوپتیک اردبیل و نیز آزمون تعیین نوع توزیع احتمال آن، در شکل‌های شماره ۱۳ و ۱۴ ترسیم شده و از ترسیم و تحلیل روندهای مشابه در سایر ایستگاه‌ها صرف نظر شده است.



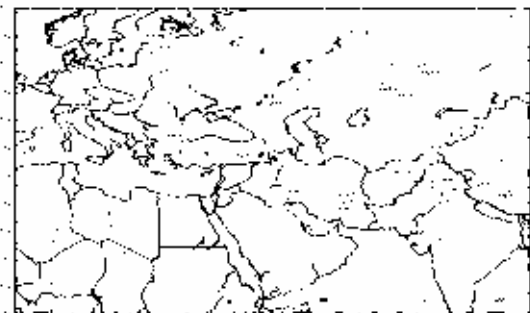
شکل‌های ۱۳ و ۱۴. مدل نوسانی و روند فصلی تغییرات وقوع روزهای توأم با طوفان‌های تندری فصول تابستان و پاییز ایستگاه اردبیل

با توجه به شکل‌های ۱۳ و ۱۴ می‌توان بیان کرد که روند خط صعودی در تابستان شدیدتر و در پاییز ضعیف‌تر است. ضرایب همبستگی مورد محاسبه بین فراوانی وقوع طوفان‌های تندری بهاری و تابستانی، همبستگی خوبی با مقطع سالانه دارد. از نظر فراوانی فصلی نیز همبستگی خوبی بین بهار با تابستان و بهار با پاییز مشاهده می‌شود. از تابع توزیع ویبول در تطابق سری‌های اقلیمی ناپیوسته برای بازه‌های مختلف استفاده می‌شوند. میزان تطابق فراوانی وقوع طوفان‌های تندری ایستگاه سینوپتیک اردبیل با تابع توزیع احتمال ویبول سه پارامتری نشان‌دهنده تطبیق پارامترطوفان‌های تندری این ایستگاه با تابع توزیع احتمال ویبول سه پارامتری در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای فصل بهار است (که فعال‌ترین فصل وقوع طوفان‌های تندری است) (شکل ۱۵).

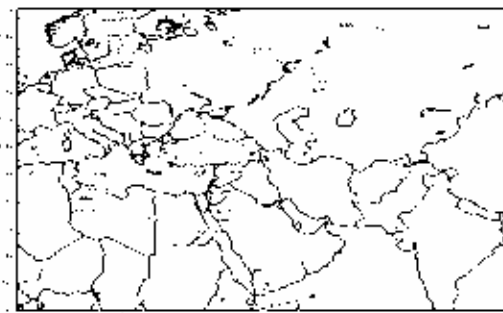


شکل ۱۵. توزیع احتمال وقوع طوفان‌های تندری اردبیل با استفاده از توزیع ویبول سه پارامتری، با فاصله اطمینان ۹۵ درصد

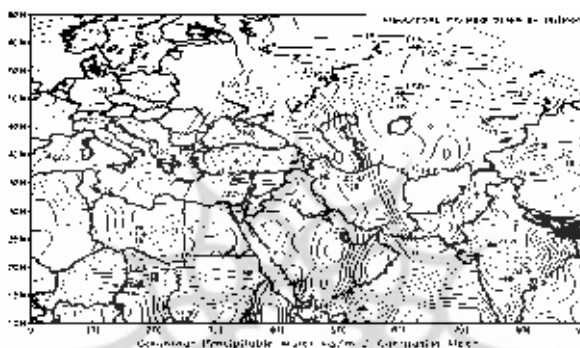
از آنجا یکی از شرایط مهم در تشکیل طوفان‌های تندری وجود ناپایداری کافی در سطح میانی جو است، لذا در ادامه به بررسی و تحلیل نقشه‌های سطح زمین، سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و ستون آب قابل بارش منطقه مورد مطالعه در مورخه ۱۳۶۴/۰۳/۰۵ به عنوان روز نماینده پرداخته می‌شود. علت انتخاب این روز به عنوان نماینده، این است که در روز یاد شده اغلب ایستگاه‌های مورد بررسی شاهد این پدیده بوده‌اند. در روز ۱۳۶۴/۰۳/۰۵ ناوهای با ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۷۰ دکامتری بر روی اروپای شرقی بسته شده و مرکز آن به صورت سردچال بر روی شمال ترکیه قرار گرفته است (شکل ۱۶). قسمت پایین ناوه با جریان‌های نصف‌النهاری شمال آن تقریباً هماهنگ شده و باعث عمیق شدن آن گردیده است. ریزش هوای سرد عرض‌های بالا بر روی مدیترانه و قرارگیری مرکز ارتفاع زیاد بر روی عربستان و دریای سرخ که کار انتقال هوای گرم و مرطوب را به جلوی ناوه انجام می‌دهد، باعث تقویت ناوه گردیده است. با نزدیک شدن محور ناوه به ایران، قسمت واگرایی بالایی این ناوه بر روی غرب و شمال غرب ایران سبب تشدید ناپایداری‌ها و ایجاد شرایط ناپایداری کافی برای شکل‌گیری طوفان تندری شده است. در سطح زمین نیز آرایش الگوهای همفشاری، شرایط را برای انتقال هوای مرطوب دریای خزر به استان اردبیل فراهم ساخته است. ورود هوای مرطوب سطح زمین از سوی دریای خزر با جریان‌های شمال شرقی همراه بوده و در معیت الگوی واگرایی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، منجر به ایجاد طوفان و بارش گردیده است (شکل ۱۷). نقشه ستون آب قابل بارش در روز نماینده نیز نشان دهنده شرایط مناسب رطوبتی سطح زمین برای شکل‌گیری طوفان و بارش است (شکل ۱۸).



شکل ۱۷. هم‌فشارهای سطح زمین برای روز ۱۳۶۴/۰۳/۰۵



شکل ۱۶. هم ارتفاع‌های سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روز ۱۳۶۴/۰۳/۰۵



شکل ۱۸. میزان‌های ستون آب قابل بارش برای روز ۱۳۶۴/۰۳/۰۵

نتیجه‌گیری

توزیع احتمال وقوع طوفان‌های تندری شهرستان اردبیل، مبین حتمی بودن وقوع طوفان تندری در کلیه ماه‌های فصل بهار است. آمار ایستگاه سینوپتیک اردبیل بیانگر وقوع همزمان طوفان تندری با تگرگ، صاعقه و بارش سنگین است. رطوبت به وجود آورنده این بارش‌ها حاصل هوای مرطوب مدیترانه بر اثر گسترش بادهای غربی در زمستان است. این رطوبت پس از پسروری بادهای غربی در این منطقه باقی می‌ماند و در فصل بهار بر اثر تابش زیاد خورشید بر روی دامنه‌های آفتابگیر و ایجاد ناپایداری، صعود و ایجاد بارش می‌کند. این بارش‌ها در فصل بهار و اوایل تابستان بسیار خسارت‌بار است و هر ساله موجب وارد آمدن خسارات سنگین به مردم می‌شود. این بارش‌ها با رعد و برق، باد شدید و سیل همراه است و باعث وارد آمدن خسارات سنگین به محصولات کشاورزی و به خصوص درختانی که در این فصل دارای شکوفه‌اند، می‌شود.

در سال‌های اخیر، توسعه علم و دانش این امکان را برای بشر به وجود آورده که بتواند در برخی موارد، با فرستادن هواپیما و شلیک راکت به داخل سیستم‌های حامل طوفان‌های تندری و تزریق مواد شیمیایی خاص، آنها را عقیم سازد یا محتویات ابرها یا توده‌هواهای توأم با طوفان تندری را در مناطق بی خطر یا کم خطر خالی کند. به‌کارگیری چنین روش‌هایی می‌تواند تا حدود زیادی از خطر طوفان تندری و دامنه تأثیرات خسارت‌آفرینی آنها بکاهد و محیط را به سوی ثبات و پایداری سوق دهد. وجود روند صعودی وقوع طوفان‌های تندری اردبیل به‌ویژه در ماه‌های بهار و تابستان لزوم توجه به مسئله طوفان‌های تندری را از بعد برنامه‌ریزی و مدیریت بحران در بلایایی طبیعی روز به روز بیشتر می‌کنند.

نتایج این مطالعه بر لزوم نگرش منطقی و علمی به بلایای طبیعی به ویژه طوفان تندرلی تأکید دارد. با توجه به اینکه وقوع طوفان تندرلی در اردبیل و کل شمال غرب ایران امری معمول - و نه تصادفی - محسوب می‌گردد، می‌توان بیمه را (به ویژه برای محصولات کشاورزی و احشام) مهم‌ترین راهکار در کاهش خسارات مالی برشمرد.

منابع

- Alijan, B., 1998, **Climatology of Iran**, PNU press, Tehran.
- Alijan, B., 2002, **Synoptic Climatology**, SAMT press, Tehran.
- Alizade, A., Kamali, G., Musavi, F., M., M., 2005, **Weather and Climate**, Ferdowsi University press, Mashhad.
- Bentley, M.T., Mote., 2002, **Using Land Sat to Identify Thunderstorm Damage in agricultural Regions**, Bull, Amir, Meteor, Soc, Vol. 83, No. 3, pp. 363-376.
- Chignon, S. A., 2001, **Thunderstorm Rainfalls in the Contiguous U.S**, Bull, Amir, Meteor, Soc, Vol.82, No. 9, pp. 1925-1940.
- Chignon, S. A., 2003, **Measures of Economic Impacts of Weather Extremes**, Bull, Amir, Meteor, Soc, Vol. 84, No. 12, pp. 1231-1235.
- Easterling, D. R., 2003, **Trend in U.S. Climate During the Twentieth Century**, consequences, Vol. 2, pp. 3-12.
- Easterling, D. R., 1989, **Regionalization of Thunderstorm Rainfall in the Contiguous U.S**, into, J, climatol, Vol.9, pp. 367-579.
- Geshunove, A. L., Westerling, T., 2003, **Climate and Wildfire in the Western United State**, Bull, Amir, Meteor, Soc, Vol. 84, No.5, pp. 595-604.
- Ghasemi, M., 1997, **Rainfall Distribution Models by Showers Creating Floods in Karoon-Olia Basin and Isohyets Shower Maps**, M.A thesis of Tarbiat Moalem University, Iranian information and documentation center, Tehran.
- Ghorbani, A., 2006, **Investigation and Analysis of Hail and Cloud Classification by GIS and RS in Zayenderood Basin**, M.A thesis of Tarbiat Moalem University, Iranian information and documentation center, Tehran.
- Hajbabaee, N., Nasiri, A., Maghz, M., 2005, **Research Synoptic Storms in Esfahan East**, The international conference on geohazards, natural disasters and methods of confronting with them, Tabriz University, Iran.
- Hedayti, A., Pedram, M., 2005, **Effective storms on Iran and the Approaches for Responding to Them**, the international conference on geohazards, natural disasters and methods of confronting with them, Tabriz University, Iran.
- Herby, A. N., Sen., D., Prank., R., Karaka, 2003, **Thunderstorm Identification From ANMSU- B Data Using an Artificial Neural Network Meteorological Application**, Vol. 10, pp. 329-336.
- Hosseini, B., 2001, **Synoptical Investigation of Sever Storms in Tehran**, M.A thesis of Tarbiat Mdares University, Iranian Information and Documentation Center, Tehran.
- Keshmiripur, B., 1996, **Determination of Distribution Kind of Rainfall Intensity Among**

- Shower in Climatic Condition of Fars Province**, M.A thesis of Shiraz University, Iranian information and documentation center, Tehran.
- Lashkari, H., 1996, **Synoptic Pattern of Sever Rainfalls in South West of Iran**, M.A. Thesis of Tarbiat Mdares University, Iranian information and documentation center, Tehran.
- Mihandokht, j., 2003, **Statistical Analysis of Sever Winds in Tehran Province**, M.A, Thesis of Tarbiat Moalem University, Iranian information and documentation center, Tehran.
- Nisi, y., 1996, **Investigation of tine Distribution of Showers in Khorasan Basin**, M.A, Thesis of Shahid Chamran University, Iranian information and documentation center, Tehran.
- Pissimanis, K A., Notorious, C., 2006, **On the Main Characteristics of Synoptic Weather Conditions Associated with Thunderstorm Activity During the Months of July and August in the City of Thessaloniki (Northern Greece)**, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 83, pp. 153 – 167.
- Rasouli, A., 2005, **Modeling of Thunderstorm Rainfalls in the Vicinity of Tabriz City Emphasizing on Flash Flood Hazards**, the International Conference on Geohazards, Natural Disasters and Methods of Confronting with them, Tabriz University, Iran.
- Salahi, B., 2005, **Statistical Analysis of Daily Maximum Winds and Determination of Storm Occurrence Probability and its Forecasting Using Rayleigh and Weibull Models in Ardabil Station**, the International Conference on Geohazards, Natural Disasters and Methods of Confronting with them, Tabriz University, Iran.
- Smith, K., 2003, **Natural Hazards**, Translated into Persian by Shapoor Gudarzinjad, SAMT press, Tehran.
- Talebi, M., 2005, **Storm, the Major Climatic Hazard in Yazd Province**, The International Cconference on Geohazards, Natural Disasters and Methods of Confronting with them, Tabriz University, Iran.
- Whitman, C. D., 2003, **Mountain Meteorology**, Oxford University Press, Vol. 37, No. 2, pp. 89-96.
- Zolfaghari, M., Bogheri, S., 2005, **Designing Synoptic Patterns of Storms and Storm Timely Prediction of Qom Province**, The International Conference on Geohazards, Natural Disasters and Methods of Confronting with Them, Tabriz University, Iran.