نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال هفدهم، شماره ۴۷، زمستان ۹۶

تحلیل فضایی طوفان‌های تندری در گستره کشور ایران

دریافت مقاله: ۹۶/۸/۲۴ پذیرش نهایی: ۹۶/۱۱/۱۴
صفحات: ۲۵۹-۲۴۳

قاسم عزیزی: دانشیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تهران[1].
ghazizi@ut.ac.ir
محمدصالح گرامی: دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشگاه تهران.
m.saleh133@gmail.com
لیلا شریفی: دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشگاه تهران.
Leyla.Sharifi@yahoo.com

چکیده

طوفان‌های تندری به دلیل اثرات مهم خسارتباری که بر انسان و محیط طبیعی دارند، پدیده اقلیمی بسیار مهمی به شمار می‌روند. بررسی‌ها نشان داده است که عامل ارتفاع و عرض جغرافیایی دو متغیر مهمی هستند که می‌توانند بر میزان وقوع این پدیده اثرگذار باشند. بنابراین هدف اصلی از پژوهش حاضر، تحلیل فضایی رفتار پدیده رعدوبرق و میزان اثرپذیری آن از مؤلفه‌هایی چون ارتفاع و عرض جغرافیایی در گستره ایران می‌باشد. بر این اساس ابتدا داده‌های ماهانه وقوع طوفان‌های تندری ۱۱۸ ایستگاه همدید ایران، طی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۰ از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد و به‌وسیله سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS) و روش درونیابی کریجینگ (Universal)، نقشه‌های سالانه و فصلی کل ایران تولید گردید. در ادامه برای درک بهتر اثرپذیری طوفان‌های تندری از ارتفاع و عرض جغرافیایی، به‌وسیله نرم‌افزار CerveExpert نمودارهای فصلی و سالانه به همراه میزان همبستگی هریک تولید و مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین طوفان‌های تندری سالانه در شمال غرب ایران رخ می‌دهد و کمترین میزان آن بر نواحی مرکزی و شرقی کشور منطبق است. همچنین طبق تحلیل‌های فصلی، بااینکه بیشترین میزان پراکندگی ایستگاه‌ها در ارتفاع ۸۰۰ تا ۱۳۰۰ متری قرار دارد، اما حداکثر وقوع این پدیده در فصول مختلف ایستگاه‌ها از ارتفاع صفر تا ۲۲۰۰ متری تغییر دارد. نتیجه کلی نشان می‌دهد که عامل ارتفاع، همبستگی کمی با وقوع پدیده طوفان تندری داشته و بیشترین همبستگی مربوط به عامل عرض جغرافیایی است.

کلیدواژگان: طوفان تندری، GIS، مدل رگرسیونی، ایران، تحلیل فضایی.

---

۱. **نویسنده مسئول:** تهران، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، گروه اقلیم شناسی. ۰۹۱۲۳۸۴۱۱۹۲

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3]

مقدمه

وقوع پدیده‌های طبیعی به دلیل ماهیت خاص خود در عین داشتن اثرات مفید می‌توانند نتایج مخربی هم در پی داشته باشند. طوفان تندری جزء پدیده‌های مخرب اقلیمی محسوب می‌شود که همه‌ساله خسارت جبران‌ناپذیری را به‌صورت تگرگ، بارش‌های سیل‌آسا و رعدوبرق به تأسیسات، مزارع و منازل وارد می‌کند (لشگری و آقاسی، ۲۱۵:۱۳۹۱). طوفان‌های تندری معمولاً یا براثر گرم شدن سطح زمین و صعود سریع توده‌های هوای بالای آن و یا در امتداد و به همراه جبهه‌های هوا، به‌ویژه در جبهه‌های سرد ظهور می‌کنند (کاویانی و علیجانی، ۱۱۰:۱۳۷۵). تمام خصوصیات بارز یک طوفان تندری مانند: رؤیت برق، صدای رعد، وزش باد شدید، نزول تگرگ و بارش‌های رگباری خفیف تا بسیار شدید، حاصل تولید و چرخه حیات سلول‌های همرفتی کوچک و بزرگ در جو زمین است (علیزاده و همکاران، ۱۶۵:۱۳۸۰). معمولاً آزاد شدن گرمای نهان عامل مهم در تسریع همرفت از طریق افزایش ناپایداری هوا است، که ممکن است با ظهور و فعالیت سریع سامانه‌های رعدوبرقی تک‌سلولی، چند سلولی و سوپرسلولی همراه باشد (رسولی و جوان، ۱۲۰:۱۳۹۱). در اصل، شرط اولیه تشکیل طوفان تندری، وجود رطوبت زیاد، دمای بالا، اتمسفر ناپایدار، ساختار مناسب بادهای فوقانی و سازوکار صعود برای تحریک فعالیت همرفتی است (رسولی[۲]،2004). لازم به ذکر است که محققین ایرانی و خارجی بسیاری به دلیل اهمیت مخاطره طوفان‌های تندری به مطالعه‌این پدیده پرداخته‌اند که در ادامه برخی از آن‌ها اشاره خواهد شد. دای[۳] (۲۰۰۱) در تحلیل تغییرات روزانه در فراوانی پیدایش انواع مختلف بارش و طوفان تندری، از داده‌های ۱۵۰۰۰ ایستگاه در کل جهان و مجموع داده‌های اقیانوسی جوی در سال‌های ۱۹۷۵تا ۱۹۹۷ استفاده نمود. نتایج نشان داد که وقوع بارش‌های رگباری و طوفان‌های تندری بیشتر در بعدازظهرها و در نواحی خشک در تمام فصول رخداده است؛ درحالی‌که در نواحی اقیانوسی، در مجاورت با قاره‌ها بارش رگباری به هنگام صبح‌ها فراوان است. اتکین و برون[۴] (۲۰۰۱) در بررسی بارش‌های ایستگاهی سراسر کانادا در ماه‌های گرم سال دریافتند که ارتفاعات نقش قابل‌توجهی در توزیع فراوانی روزهای همراه با بارش تگرگ داشته‌اند. فلورین[۵] (۲۰۱۰:۴۰۷) تغییرات فعالیت و فراوانی رخداد طوفان تندری در واسلو را بررسی کرده و دریافته که زمان شروع طوفان تندری از ۱۷ آوریل تا ۲۸ ماه می است. به طور کلی در غرب واسلو طول فصل وقوع طوفان تندری کمتر از شرق است؛ ولی شدت آن در غرب بیشتر از شرق واسلو است. لوگینوف[۶] و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای تغییرات طوفان‌های تندری و خصوصیات شکل‌گیری آن‌ها در بلاروس موردبررسی قراردادند و دریافتند که در نواحی کوهستانی رخداد این پدیده بیش از سایر نواحی بوده است. لین لین و همکاران[۷] (۲۰۱۰) به کمک داده‌های ۵۱۷ ایستگاه هواشناسی در سراسر چین به بررسی پراکنش جغرافیایی، تغییرات ده‌ساله و پراکنش سالانه و فصلی روزهای تندری پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که پراکنش رخداد این پدیده در ماه می به سمت شمال کشیده می‌شود و در ماه

2 - rasuly
3 - Dai
4 - Etkin and Brun
5 - florin
6 - Loginov at all
7 - Lin-Lin

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3]

سپتامبر به سمت جنوب عقب‌نشینی می‌کند. تغییرات فضایی و زمانی صاعقه‌های ابر به زمین بر روی قاره آمریکای شمالی در طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۰ نشان داد که فعالیت‌های شدید صاعقه‌ای بر روی قسمت‌های مرکزی آمریکا و همچنین بر روی قسمت‌های غربی کوهستان‌های آپالاش و بیشترین تناوب و تکرار از روزهای مهم وقوع صاعقه در روزهای تابستانی اتفاق می‌افتد (ولارینی و اسمیت[8]، 2013:145). مطالعه پنیتو[9] و همکاران(۲۰۱۳) با عنوان تغییرات بلند مدت روزهای رعد و برق در جنوب شرقی برزیل انجام شد. آنها نتیجه گرفتند که طوفان های سائوپائولو و کامپیاس افزایش داشته است و ریودوژانیرو نیز فاقد روند افزایشی بوده و به طور کلی افزایش فعالیت طوفان های تندری در این مناطق با رخداد النینو و لانینا در ارتباط است. تجزیه‌وتحلیل اولیه ارائه‌شده بر روی تغییرات موقت و فضایی صاعقه‌های ثبت‌شده در یونان در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ نشان داد که ازنظر زمانی بیشترین طوفان‌های تندری در فصل پاییز به وقوع می‌پیوندد. فصول تابستان و بهار نیز در رده بعدی قرار دارند (ناستوس و همکاران[10]،۲۰۱۴: ۲۱۳).

بررسی‌های انجام‌شده توسط محققین کشور نشان می‌دهد که بیشترین میزان طوفان‌های تندری در شمال غرب ایران به وقوع می‌پیوندد و میزان وقوع آن از فصلی به فصل دیگر دارای تفاوت‌هایی است. رسولی و جوان (۱۳۹۱) در پژوهش شناسایی تغییرات زمانی-مکانی وقوع رعدوبرق در نیمه غربی کشور نتیجه گرفتند که نیمه غربی ایران در طول دوره آماری ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۵ ازلحاظ تعداد وقوع روزهای همراه با رعدوبرق منطقه همگنی نیست. محمدی و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی طوفان‌های تندری غرب کشور دریافتند که در کرمانشاه تعداد روزهای وقوع طوفان‌های تندری روند افزایشی دارد و ماه‌های فروردین و اردیبهشت بیشترین تعداد وقوع رادارند. قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای و آزمون ناپارامتری من کندال به بررسی روند تغییرات زمانی مخاطره طوفان‌های تندری در ایران پرداختند. آنهادریافتند که بیشترین فراوانی رخداد پدیده طوفان‌های تندری ایران در ماه‌های می، آوریل، ژوئن و اکتبر و در مناطق شمال غرب و غرب کشور بوده و شیب روند تغییرات پدیده در کشور افزایشی است. رفعتی وهمکاران(۱۳۹۳) در بررسی شرایط همدید و الگوهای رخداد سامانه های همرفتی در طول دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ بیان کردند که رخداد سامانه های همرفتی در جنوب غرب ایران تا اندازهٔ زیادی به گسترش و نفوذ زبانه کمفشار سودانی وابسته است. معصوم پور سماکوش و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از نرم افزار RAOB و نمودار اسکیوتی شاخص‌های ناپایداری از قبیلCAPE، LI، TT، SIو KI به بررسی واکاوی آماری – ترمودینامیکی طوفان‌های تندری ایران پرداخته اند. آنها دریافتند که رخداد طوفان تندری در ابتدا وابسته به فصل اقلیمی هر منطقه است و عوامل محلّی همچون همرفت می‌توانند به عنوان عوامل ثانویه در رخداد طوفان‌های تندری مؤثر باشند.

تحقیقات در ایران بیشتر بر روی مطالعات موردی استانی و ایستگاهی بوده و کمتر مطالعه‌ای در سطح گستره کشور به چشم می‌خورد. در این تحقیق به بررسی عواملی پرداخته شد که در تحقیقات دیگر کمتر بدان توجه شده است. در این راه مسئله اصلی تحقیق، میزان اثرگذاری ارتفاع و عرض جغرافیایی بر وقوع پدیده طوفان تندری است. جهت پاسخ دقیق‌تر به این مسئله، سعی شد از حداکثر ایستگاه‌های کشور جهت تعیین ارتباط

8 - Vilarini and Smit
9 -penito at all
10- Nastos at all

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3]

بین پدیده‌های مذکور استفاده گردد؛ در این راه با حذف ایستگاه‌های مناطق پست و دشتی سعی شد تغییرات احتمالی بر میزان ارتباط طوفان‌های تندری با ارتفاع و عرض جغرافیایی مشخص گردد. همچنین استفاده از نرم‌افزار Curve Expert بهترین مدل جهت بررسی تعیین همبستگی طوفان تندری و مؤلفه‌های ارتفاع و عرض جغرافیایی را ارائه نموده است که موجب می‌گردد نتیجه نهایی دارای کمترین خطا باشد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر تحلیل فضایی رفتار پدیده رعدوبرق و میزان اثرپذیری آن از مؤلفه‌هایی چون ارتفاع و عرض جغرافیایی می‌باشد.

روش تحقیق

در این پژوهش به‌منظور تحلیل فضایی پدیده رعدوبرق در گستره ایران، ابتدا داده‌های موردنیاز از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. جهت مطالعه رفتار فضایی پدیده رعدوبرق جدول (۱)، میانگین ماهانه دوره ۲۰ ساله وقوع طوفان تندری (سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۰) در ۱۱۸ ایستگاه همدید مربوط به کل ایران شکل (۱) استفاده شد.

جدول (۱). کدهای هواشناسی پدیده طوفان تندری

کد	تعریف
۹۵	طوفان رعد و برق سبک
۹۶	طوفان رعد و برق متوسط
۹۷	طوفان رعد و برق سنگین
۹۸	طوفان رعد و برق همراه با غبار
۹۹	طوفان رعد و برق همراه با تگرگ

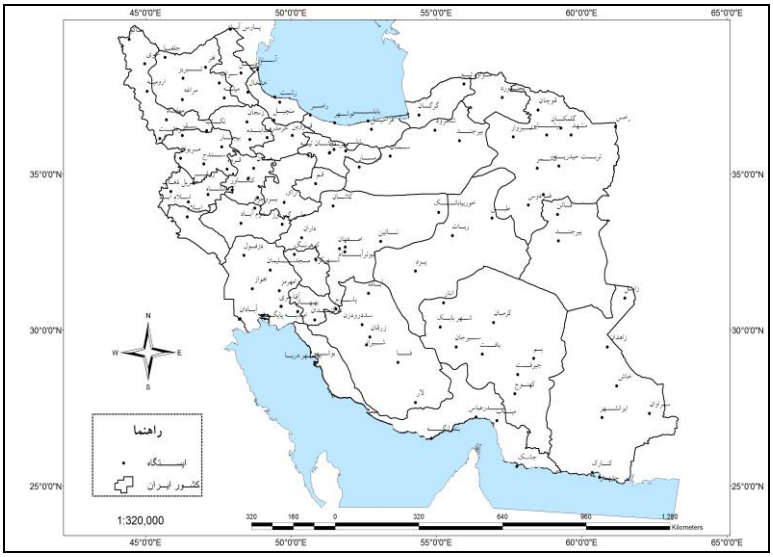
در ادامه با استفاده از داده‌های میانگین ماهانه، پایگاه اطلاعاتی طوفان‌های تندری ایجاد و سپس به‌وسیله نرم‌افزار GIS نقشه‌های پهنه‌بندی سالانه و فصلی کل ایران به روش درونیابی کریجینگ تولید گردید. در ابتدا با توجه به پراکنش طوفان های تندری در کشور، از دو روش وزندهی بر اساس عکس فاصله[11] و کریجینگ استفاده گردید. سپس دقت نتایج حاصل از اجرای مدل ها از طریق تست آماری RMSE مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از اجرای مدل و ارزیابی دقت آن ها نشان داد که روش کریجینگ از دقت بیشتری برخوردار می باشد. روش کریجینگ برخلاف روش وزندهی بر اساس عکس فاصله که یک روش درون‌یابی محلی است، روشی جهانی است. به این معنا که در این روش تمام مشاهدات منطقه موردنظر مورداستفاده قرار می‌گیرد (خبری و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین نتایج نشان داد که در بین روش های کریجینگ، روش معمولی دایره ای و نمایی از کم ترین خطا نسبت به سایر رو شهای کریجینگ برخوردار می باشند. در این مطالعه جهت بررسی روند و یا عدم وجود روند طوفان تندری در ایران، با استفاده ازآمارکلاسیک جدول (۲) اقدام به ارائه مدل مناسب شد. یکی از روش‌هایی که بتوان وجود روند در متغیرها را بیان کند روش رگرسیون می‌باشد (مهدوی و طاهرخانی،۸۹: ۱۳۹۱). رگرسیون این امکان را فراهم می‌کند که تغییرات متغیرهای وابسته را از طریق متغیر مستقل پیش‌بینی کند (سلیمانی و صفری شاد، ۱۳۹۰). به همین دلیل برای تحلیل‌های پیشرفته و پیش‌بینی

11 -IDW

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3]

تغییر در متغیر وابسته در صورت تغییر در متغیر یا متغیرهـای مسـتقل بایـد از روش‌هـای تحلیـل رگرسـیونی استفاده کرد (بابازاده و جاوری، ۱۳۸۸:۱۰۴). مدل‌های رگرسـیونی چندجملـه‌ای می‌توانـد دارای یـک، دو و یـا بیش از دو متغیر مستقل باشد. شکل (۱).



شکل (۱). نقشه توزیع ایستگاه‌های مورداستفاده در محدوده موردمطالعه

چندجمله‌ای‌ها معمولاً تمایل به دادن منحنی‌های مناسب و معقول دارند اما با افزایش درجه چندجملـه‌ای (۹ و بیشتر) به‌عنوان یک قاعده کلی، احتمال خطا در آن و نوسان بـد داده‌هـا بیشـتر می‌گـردد (هیـامس[۱۲]،2010). رابطه (۱) یک چندجمله‌ای درجه ۴ را نشان می‌دهد[۱۳].

$$y=a+b_1x+cx^2+dx^3+x^4+e_i$$ رابطه (۱)

درجه چندجمله‌ای مبین تعداد چرخش در منحنی رگرسیون است. چندجمله‌ای درجـه اول ماننـد $y_i=a+bx_i$ یک خط مستقیم، چندجمله‌ای درجه دوم یک چرخش و چندجمله‌ای درجه سوم دو چـرخش و ... در منحنـی رگرسیون را توصیف می‌کند. در مدل‌بالا تغییرات Y برحسب X طوری است که دونقطـه بیشـینه و یـک نقطـه کمینه و یا برعکس در منحنی رگرسیون مشاهده می‌شود. درجه لازم برای برازش چندجمله‌ای، بر اساس سـهم و اهمیت پراش چندجمله‌ای تعیین می‌شود. بر این اساس ابتدا طی مراحلی پراش اضافی ناشی از درجـه بالـاتر چندجمله‌ای بر مبنای سهم و اهمیت، وارسی و بازرسی می‌شود. بالاترین درجه قابل‌قبول برای برازش مـدل بـر مشاهدات، درجه‌ای است که پس‌ازآن سهم پراش تغییر قابل‌توجهی نپذیرد (عساکره،۲۵۶:۱۳۹۰). بـا توجـه بـه اینکه رفتار طوفان تندری در ایران، ازلحاظ مکانی و هم ازنظر توپوگرافی منطقه دارای پیچیـدگی‌هـای فراوانـی می‌باشد؛ به این منظور داده‌های طوفان تندری محدوده مورد مطالعه به‌عنوان متغیر وابسته و همچنین ارتفاع و عرض جغرافیایی به‌عنوان متغیر مستقل، در نرم‌افـزار Curve Expert مـورد بـرازش رگرسـیونی قـرار گرفـت.

12 - Hyams
13 - Polynomial Fit

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3]

نرم‌افزار Curve Expert با استفاده از متغیر X به‌عنوان متغیر مستقل به پیش‌بینی تغییر در Y به‌عنوان متغیر وابسته می‌پردازد (مازورکین[۱۴]، ۲۰۱۴: ۲۷۳). در ادامه بهترین مدل رگرسیونی معرفی‌شده جدول (۲) تعیین و نمودارهای مناسب تولید و موردبررسی قرار گرفت.

جدول (۲). نتایج ارزیابی مدل‌های برازش شده رگرسیونی

	توابع رگرسیونی	مدل برازش	میزان خطا (زمستان)	میزان خطا (بهار)	میزان خطا (تابستان)	میزان خطا (پاییز)	میزان خطا (سالانه)
۱	4rd degree Polynomial Fit	$y=a+bx+cx^{۲}+dx^{۳}+x^{۴}+e_i$	۲,۱۳	۳,۶۷	۱,۹۲	۲,۳۷	۳,۷۴
۲	Logistic model	$y=\frac{a}{۱+be^{-cx}}$	۳,۷۳	۴,۲۴	۲,۷۰	۲,۸۰	۳,۹۵
۳	Saturation Growth-Rate Model	$y=\frac{ax}{b+x}$	۳,۹۹	۴,۲۳	-	۳,۸۰	۴,۱۴
۴	Sinusoidal Fit	y=a+bcos(cx+d)	۳,۷۲	۴,۲۵	۲,۶۸	۳,۷۹	۴,۲۵
۵	Quadratic Fit	$y=a+bx+cx^{۲}$	۳,۷۶	۴,۲۵	۲,۶۸	۳,۷۸	۴,۵۲
۶	Exponential Association	$y=a(۱-e^{-bx})$	۳,۷۴	۴,۲۲	-	۳,۷۹	۴,۶۸
۷	Heat Capacity Model	$y=a+bx+\frac{C}{x^{۲}}$	۳,۷۰	۴,۲۷	۳,۷۱	۳,۷۸	۴,۷۳
۸	Modified Exponential	$y=ae^{b/x}$	۳,۷۴	۴,۲۴	-	۳,۷۹	۴,۸۲
۹	Linear Fit	y=a+bx	۳,۷۳	۴,۳۵	۳,۸۱	۳,۸۴	۴,۹۱
۱۰	Hyperbolic Fit	y=a+b/x	۳,۷۴	۴,۴۱	-	۳,۸۵	۴,۹۹

جدول (۲) میزان خطا استاندارد محاسبه‌شده بین مؤلفه طوفان تندری و عرض جغرافیایی (به‌عنوان نمونه) را نشان می‌دهد. مدل چندجمله‌ای درجه ۴ در بازه زمانی فصلی و سالانه دارای کمترین میزان خطای استاندارد می‌باشد. خطای استاندارد بدان معنی است که مجموعه داده‌ها خارج از مقیاس قابل‌قبول قرار دارد و در صورت افزایش خطا عدد بزرگتری را نشان می‌دهد. جهت تعیین خطای استاندارد در نرم‌افزار، از آزمون خی_دو[۱۵] استفاده‌شده است.

$$\chi^2 = \sum_{t=1}^{m} \frac{(O_t - E_t)^2}{E_t}$$

رابطه (۲)

محاسبات نشان می‌دهد که خطای استاندارد در طی عمل تکرار افزایش می‌یابد. اگر این وضعیت اتفاق بیفتد، محاسبات عددی (الگوریتم) بر روی داده‌های ورودی تنظیماتی انجام می‌دهد و عمل تکرار دوباره اجرا می‌شود. اگر آزمون خی_دو در هر دوره‌ی تکرار، خودتنظیمی انجام دهد؛ بنابراین پارامترهای داخلی بسیار نزدیک به میزان بهینه خواهند شد و پارامترهای رگرسیونی محاسبه‌شده یک در میان از بین می‌رود[۱۶]. نقاط خالی و بدون خطا در جدول فوق، به دلیل عدم پیشنهاد و یا ارائه مدل‌های مذکور توسط نرم‌افزار در این فصل می‌باشد.

14 - Mazurkin
15 -chi square
16 - https://docs.curveexpert.net/curveexpert/basic/faq.html

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3]

به عبارتی نرم‌افزار مدل‌های فوق را، به‌عنوان مدل‌های غیرمفید و دارای خطای زیاد شناخته و به‌عنوان مدلی مناسب آن را پیشنهاد نمی‌کند.

نتایج

مدل‌های مختلفی برای پهنه‌بندی وجود دارد. کریجینگ یکی از مدل‌هایی است که در نواحی دارای مرز مشخص و دارای پیچیدگی‌های زیاد توپوگرافی کاربرد دارد و نتایج منطقی‌تری از مخاطره رعدوبرق ارائه می‌نماید (مفیدی و همکاران، ۱۳۹۲:۱۱۳). در این تحقیق به بررسی وضعیت طوفان‌های تندری در پهنه کشور ایران پرداخته شد. خروجی مدل‌ها وضعیت سهمی نقاط بیشینه وقوع رعدوبرق را نشان می‌دهند. بیشینه فصلی طوفان‌های تندری در ایران تحت تأثیر عرض جغرافیایی در نقاط مختلف کشور پراکنده است. بررسی‌های انجام‌شده از متغیرهای ارتفاع و عرض جغرافیایی به‌عنوان متغیر مستقل و متغیر پدیده رعدوبرق به‌عنوان متغیر وابسته نشان می‌دهد که طوفان‌های تندری و عرض جغرافیایی دارای همبستگی بالایی می‌باشد. آنچه از نتایج برمی‌آید این است که مدل چندجمله‌ای دارای کمترین خطای استاندارد و بیشترین میزان همبستگی است. این مدل از بین ۱۰ مدل پیشنهادی به‌عنوان بهترین مدل انتخاب و جهت پژوهش مورداستفاده قرار گرفت. در ادامه به بررسی فصلی پدیده رعدوبرق و ارتباط آن با ارتفاع و عرض جغرافیایی پرداخته خواهد شد.

فراوانی فصلی طوفان تندری

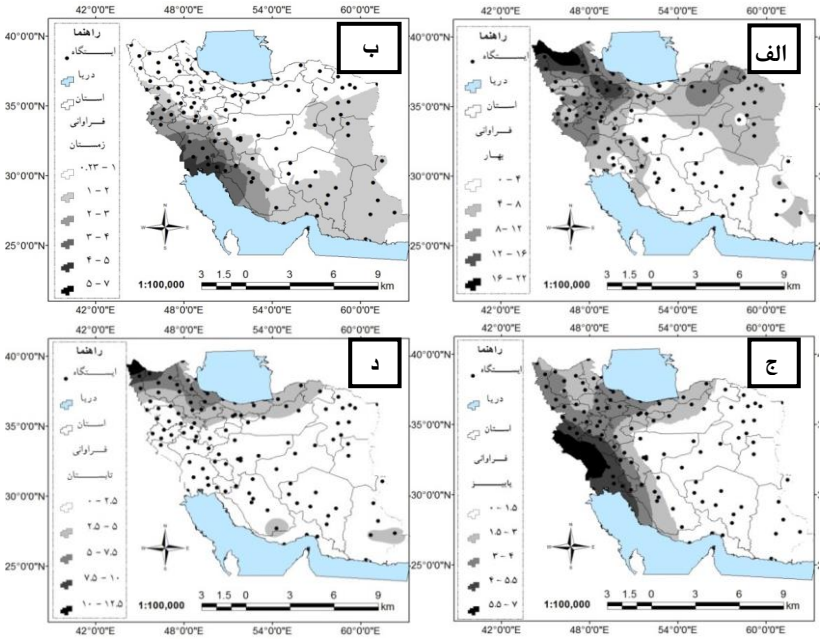
بررسی شکل(۲-الف) وضعیت طوفان‌های تندری فصل زمستان در ایران را نشان می‌دهد. بیشینه وقوع این طوفان‌ها در جنوب غرب ایران و در استان خوزستان قرار دارد. بیشترین وقوع طوفان‌های تندری مربوط به دزفول، ایلام، بوشهر و یاسوج می‌باشد؛ اما به‌طور میانگین دشت خوزستان بیشترین میزان رعدوبرق را دریافت می‌کند. به نظر می رسد علت آن همجواری بادهای غربی با حاشیه شمالی پرفشار جنب حاره باشد.یا به تعبیر برخی محققین عقب‌نشینی پرفشار حاره و ورود سامانه‌های باران‌زا از جنوب غرب به این منطقه می‌باشد (لشگری و حجتی، ۱۳۹۱:۸۲).دومین ناحیه با بیشینه طوفان‌های تندری بر ارتفاعات ایلام و شرق خوزستان منطبق است. این محدوده به دلیل کوهستانی بودن شرایط مساعدی را برای صعود توده‌هوا دارد. کمترین میزان وقوع طوفان‌های تندری این فصل در محدوده ایران مرکزی، شمال و شمال غرب ایران است؛ زیرا این محدوده در فصل زمستان تحت تأثیر سرمایش محلی یا تهاجمات سرد، شرایط وقوع همرفت را ندارد (جهان بخش و همکاران، ۱۳۹۴:۳۸). شکل(۲-ب) وضعیت طوفان تندری در فصل بهار را نشان می‌دهد. ازنظر میزان کمیت وقوع طوفان تندری در سطح کشور، می‌توان گفت بیشترین میزان وقوع پدیده طوفان تندری در فصل بهار رخ می‌دهد. محدوده شمال شرق، سواحل غربی خزر، شمال غرب و غرب کشور به‌صورت فصلی بین ۸ تا ۲۱ مورد رخداد طوفان تندری گزارش‌شده است. در این فصل حداکثر وقوع این طوفان‌ها در شمال غرب ایران قرار دارد. در این فصل ایستگاه‌های ماکو، جلفا و اهر بیشترین رخداد طوفان تندری را دارند. فراوانی وقوع طوفان‌های تندری از شمال غرب ایران به سمت جنوب و از غرب به شرق کاسته می‌شود. علت وقوع حداکثر طوفان تندری در شمال غرب کشور وجود گرمایش سطحی و انتقال رطوبت دریاهای مدیترانه و سیاه به‌وسیله سامانه‌های جوی بزرگ‌مقیاس به شمال غرب ایران است (گرامی و همکاران، ۱۳۹۴). شمال شرق ایران نیز دومین ناحیه بیشینه طوفان‌های تندری بهاره در ایران است که در این منطقه به‌طور میانگین ۸ تا ۱۲ مورد طوفان تندری

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3]

گزارش‌شده است. این منطقه از ایران نیز همانند محدوده شمال غرب در عرض‌های بالای کشور بوده اما به دلیل تأثیر کمتر امواج غربی و دوری از منابع رطوبتی دارای طوفان‌های تندری کمتری نسبت به شمال غرب ایران می‌باشد. یافته های تحقیق نشان می‌دهد که شمال شرق نسبت به شمال غرب ایران، درصد بیشتری از مجموع رعدوبرق‌های سالانه خود را در فصل بهار دریافت می‌کند، این در حالی است که طوفان‌های تندری در شمال غرب ایران(از نظر فراوانی) در دو فصل بهار و تابستان به وقوع می‌پیوندد. سواحل شرقی خزر، نواحی مرکزی تا سواحل جنوبی ایران کمتر از ۴ رخداد طوفان تندری را نشان می‌دهد. در این فصل به دلیل اثر کمتر بادهای غربی، منابع رطوبتی مناسبی در این محدوده در دسترس نبوده و با استقرار تدریجی پرفشار جنب‌حاره‌ای نیز امکان صعود هوا کاهش شدیدی نسبت به زمستان پیداکرده است (علیجانی، ۱۳۹۱). شکل(۲-ج) وضعیت طوفان‌های تندری در فصل تابستان را نشان می‌دهد. در این فصل همچنان شمال غرب ایران شاهد بیشینه وقوع طوفان‌های تندری است. با این تفاوت که از گستره آن نسبت به فصل بهار کاسته شده و محدود به شمال غرب ایران شده است. در این فصل محدوده بیشینه طوفان‌های تندری شامل استان گیلان، اردبیل، آذربایجان شرقی و غربی است. حداکثر وقوع طوفان‌های تندری در ایستگاه‌های ماکو، جلفا و خوی می‌باشد. از این محدوده که در منتهی‌الیه گوشه‌ی شمال غربی ایران واقع است به سمت جنوب و شرق از میزان وقوع پدیده طوفان تندری کاسته می‌شود. در این فصل به دلیل گسترش پرفشار جنب حاره بر روی ایران، در بیشتر نقاط کشور وضعیت پایداری هوا را شاهد هستیم (علیجانی، ۱۳۹۱:۱۱۷؛ زرین و مفیدی، ۱۳۹۰). محدوده شمال غرب اولین بخشی از ایران است که با گسترش رو به جنوب بادهای غربی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. علاوه بر این وقوع بارش‌های تابستانه محدوده جنوب شرقی ایران را تحت تأثیر قرار می دهد. در شکل (۲- ج) مشاهده می‌شود که در تابستان جنوب شرقی کشور و ایستگاه لار واقع در جنوب استان فارس به‌صورت متمایز از نواحی مجاور خود طوفان‌های تندری قابل‌توجهی دریافت می‌کنند. این رخداد ممکن است به دلیل انتقال رطوبت از اقیانوس هند و تقویت آن در شمال شرق دریای عرب توسط سیستم‌های موسمی به جنوب و جنوب شرق ایران باشد (نجار سلیقه، ۱۳۸۰:۱۲۱؛ علیجانی و همکاران، ۱۳۸۶:۲۴). شکل(۲-د) وضعیت طوفان‌های تندری در فصل پاییز را نشان می‌دهد. در این فصل محدوده غربی سواحل خزر، زنجان، قزوین، آذربایجان غربی و به‌طورکلی غرب و جنوب غرب کشور شاهد سهم قابل‌توجهی از رعدوبرق‌های سالانه خود هستند. در این پهنه وسیع از کشور در فصل پاییز بیش از ۳ طوفان تندری به وقوع می‌پیوندد. حداکثر طوفان‌های تندری در فصل پاییز در محدوده شمالی استان خوزستان و استان ایلام می‌باشد. بیشترین مقدار وقوع پدیده طوفان رعدوبرق نیز در ایستگاه‌های دزفول، ایلام و بوشهر بوده است. وضعیت طوفان تندری در این فصل شباهت زیادی به وضعیت آن در فصل زمستان دارد. با این تفاوت که حدود بیشینه وقوع پدیده طوفان تندری کمی به نواحی شمالی متمایل است و همچنین سواحل میانی و غربی خزر نیز در فصل پاییز از رعدوبرق بیشتری برخوردارند. علت وقوع پدیده رعدوبرق در غرب کشور، جنوبی‌تر شدن امواج غربی است (علیجانی، ۱۳۹۱:۱۱۷). این امواج موجب انتقال منابع رطوبتی از دریای مدیترانه به سمت ایران هستند. وجود گرمایش سطحی شرایط لازم را برای وقوع همرفت و همچنین وقوع طوفان‌های تندری فراهم می‌نماید. در این فصل کم‌فشار سودانی و همچنین کم‌فشار مدیترانه قوی‌تر شده‌اند و گاهی ادغام این دو بارش‌های سنگین را در غرب ایران ایجاد می‌کند (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۸:۸).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3]



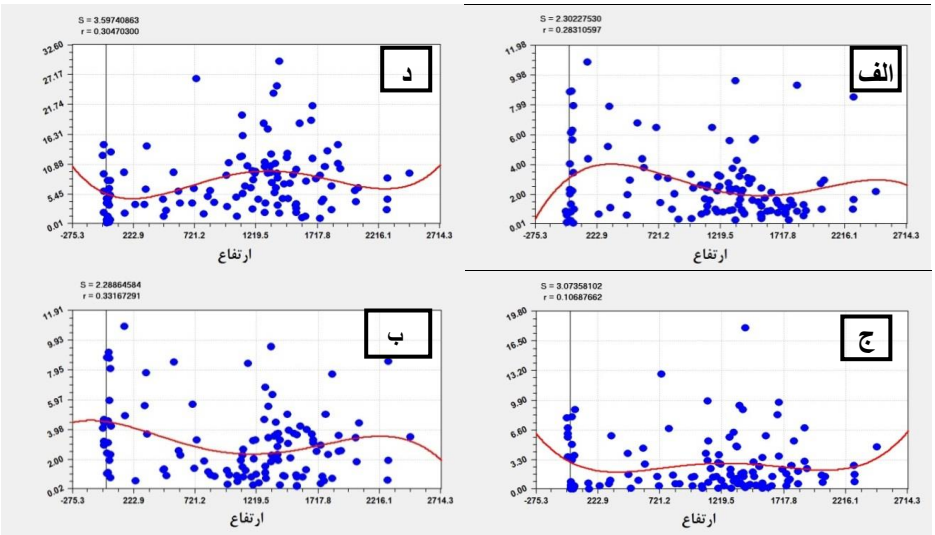
شکل(۲). توزیع فضایی پدیده طوفان‌های تندری در فصل زمستان (الف) فصل بهار (ب) فصل تابستان (ج) فصل پاییز (د)

بررسی فصلی ارتفاع و پدیده رعدوبرق

در این بخش به بررسی وقوع پدیده طوفان تندری و ارتباط آن با ارتفاع می‌پردازیم. بدین‌جهت با انتخاب مدل رگرسیونی مناسب، متغیر ارتفاع به‌عنوان متغیر مستقل و رعدوبرق به‌عنوان متغیر وابسته مورد برازش قرار گرفت و نتایج آن در شکل(۳) قابل‌مشاهده است. با توجه به شکل(۳-الف) در فصل زمستان، پدیده طوفان تندری و ارتفاع همبستگی ضعیف ۰,۲۸ را نشان می‌دهد. وضعیت کلی پدیده رعدوبرق در فصل زمستان به‌صورت سهمی است؛ بیشترین رخداد طوفان تندری در ارتفاع ۳۵۰ تا ۴۵۰ متری به وقوع می‌پیوندد. از این ارتفاع هرچه به بالاتر حرکت می‌کنیم از میزان وقوع رعدوبرق کاسته می‌شود. این روند کاهشی تا ارتفاع ۱۷۰۰ متری ادامه دارد. از ارتفاع ۱۷۰۰ متر و بالاتر، وقوع رعدوبرق کمی افزایش می‌یابد. در این فصل بیشینه وقوع طوفان‌های تندری در ایران منطبق بر نواحی پست کشور است و ارتباط معناداری را به‌طور مستقیم با ارتفاعات نشان نمی‌دهد. در فصل بهار نیز وقوع پدیده رعدوبرق به مناطق با ارتفاع بیشتر منتقل می‌شود. همان‌طور که در شکل ۳-ب مشاهده می‌شود محدوده ارتفاعی بیشینه وقوع پدیده رعدوبرق در ارتفاع ۱۱۰۰ تا ۱۵۰۰ متری واقع‌شده است. در ارتفاعات پایین و همچنین در ارتفاعات بالاتر نیز شاهد کاهش وقوع پدیده طوفان تندری هستیم. شاخص همبستگی نیز در این فصل، همبستگی ضعیف ۰,۳۰ و خطا استاندارد عدد ۳,۵۹ را نشان می‌دهد. فصل بعدی که موردبررسی قرار می‌گیرد فصل تابستان است (شکل۳-ج). در این فصل کمترین تغییر بین ارتفاع و پدیده رعدوبرق مشاهده می‌شود. به عبارتی در این فصل روند خاصی بین این دو پدیده مشاهده نمی‌شود و تقریباً یک سیر خطی را طی می‌کند. وضعیت وقوع رعدوبرق در این فصل یک افزایش حداقلی را در ارتفاعات ۱۰۰۰ تا ۱۳۰۰ متری نشان می‌دهد. این فصل کمترین میزان همبستگی را بین دو متغیر ارتفاع و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3]

پدیده طوفان تندری نسبت به فصول دیگر دارا می‌باشد. همبستگی بین متغیر ارتفاع و طوفان تندری در فصل تابستان در حدود ۰,۱۹ است. خطا استاندارد در این فصل در حدود ۳,۰۷ می‌باشد. آخرین فصلی که موردبررسی قرار می‌گیرد، فصل پاییز است. در این فصل بیشینه وقوع طوفان‌های تندری در ایران منطبق بر نواحی پست کشور است. با توجه به شکل ۳-د بیشترین وقوع رعدوبرق در ارتفاعات کمتر از ۵۰۰ متر رخ می‌دهد؛ در این فصل متغیر ارتفاع و طوفان‌های تندری همبستگی ۰,۳۳ را نشان می‌دهد. خطا استاندارد در این فصل نیز در حدود ۲,۲۸ می‌باشد. بررسی ها نشان می دهد که وضعیت وقوع طوفان‌های تندری در ایران با توجه به ارتفاع دارای یک‌روند سهمی بوده و از فصلی به فصل دیگر تغییر می‌یابد. متغیر ارتفاع و طوفان تندری دارای همبستگی کمی است. این دو متغیر در فصل پاییز بیشترین همبستگی (در حدود ۰,۳۳) رادارند.کمترین میزان همبستگی بین این دومتغیر درفصل تابستان(در حدود ۰,۱۰) است.



شکل (۳). نمودار وضعیت وقوع طوفان‌های تندری در ارتباط با ارتفاع. خروجی مدل رگرسیونی چندجمله‌ای. فصل زمستان (الف) فصل بهار (ب) فصل تابستان (ج) فصل پاییز (د)

بررسی فصلی عرض جغرافیایی و پدیده رعدوبرق

در این بخش به بررسی وقوع طوفان تندری در ارتباط با عرض جغرافیایی پرداخته‌شده است. نرم‌افزار CerveExpert نیز همانند بخش بالا بهترین مدل جهت بررسی متغیرهای موردنظر را مدل رگرسیونی چندجمله‌ای نشان می‌دهد. بنابراین خروجی مناسب تولید و مورد تحلیل قرار گرفت شکل (۴). قسمت الف وضعیت طوفان‌های تندری فصل زمستان ایران را در ارتباط با متغیر عرض جغرافیایی نشان می‌دهد. همبستگی بین دو متغیر در حدود ۰,۴۵ می‌باشد. میزان خطای استاندارد نیز در حدود ۲,۱۳ است. با توجه به شکل، از عرض ۲۵ درجه تا عرض ۳۰ درجه وقوع طوفان‌های تندری روندی افزایشی داشته؛ همچنین از این عرض به سمت شمال از میزان وقوع طوفان تندری کاسته می‌شود. وضعیت وقوع طوفان‌های تندری در ارتباط با عرض جغرافیایی در فصل بهار کاملاً متفاوت است شکل (۴-ب). در این فصل جنوب کشور حداقل طوفان‌های تندری را تجربه می‌کند و هر چه به سمت عرض‌های بالاتر حرکت می‌کنیم، بر میزان وقوع طوفان‌های تندری افزوده

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3]

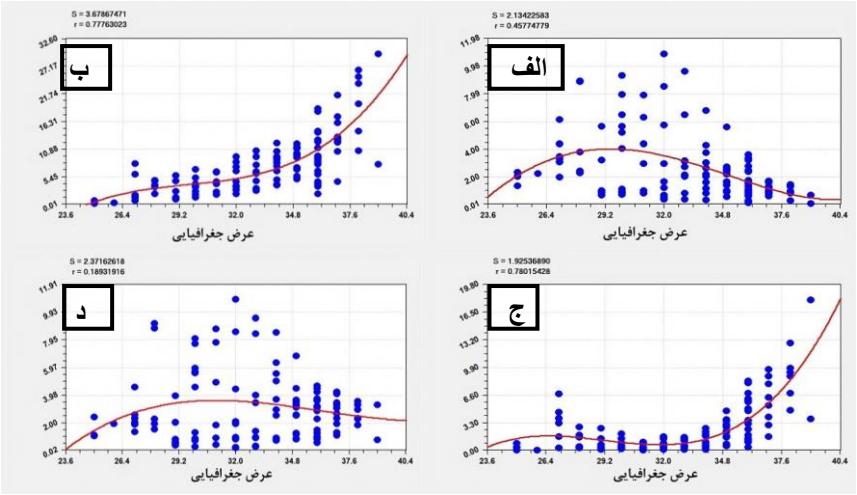
می‌شود. از عرض ۳۷ درجه به بالا نیز بر میزان طوفان‌های تندری افزوده می‌شود و در این محدوده نمودار بیشترین شیب مثبت را نشان می‌دهد. وضعیت همبستگی در این فصل ۰٫۷۷ می‌باشد. خطای استاندارد نیز در حدود ۳٫۶۷ است. وضعیت طوفان‌های تندری در فصل تابستان نیز با اندک تفاوتی، شباهت زیادی به فصل بهار دارد. در این فصل در عرض ۲۵ تا ۲۷ درجه‌یک بیشینه ضعیف مشاهده می‌شود. علت وقوع این بیشینه نه‌چندان قوی، وقوع طوفان‌های تندری در جنوب شرق ایران درنتیجه ورود موسمی‌های اقیانوس هند است که رطوبت موردنیاز را به محدوده جنوب شرقی ایران وارد می‌کنند. از این محدوده که به سمت شمال حرکت می‌کنیم از میزان طوفان‌های تندری کاسته می‌شود. تا جایی که در عرض ۳۲ درجه به حداقل خود می‌رسد. از عرض ۳۲ درجه به سمت شمال نمودار وضعیتی مثبت یافته و با شیب زیاد وضعیت صعودی را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار بیشترین میزان وقوع رعدوبرق کشور در فصل تابستان در عرض ۳۷ و بالاتر به وقوع می‌پیوندد. در این فصل خطای استاندارد نسبت به فصول دیگر در وضعیت حداقلی قرار دارد و عدد ۱٫۹۲ را نشان می‌دهد. میزان همبستگی بین متغیر طوفان تندری و عرض جغرافیایی در این فصل نیز ۰٫۷۸ است. آخرین فصلی که موردبررسی قرار می‌گیرد، فصل پاییز است. در این فصل شاهد کمترین میزان همبستگی بین متغیرهای طوفان تندری و عرض جغرافیایی هستیم. شکل ۴-د همبستگی ۰٫۱۸ را نشان می‌دهد. میزان خطای استاندارد در این فصل نیز در حدود ۲٫۳۷ می‌باشد. با توجه به شکل شاهد وضعیت حداقلی طوفان‌های تندری در جنوب کشور هستیم. از این محدوده به سمت عرض بالا بر میزان وقوع طوفان‌های تندری افزوده می‌شود. بیشترین میزان وقوع طوفان‌های تندری در فصل پاییز در عرض ۳۲ درجه قرار دارد. با عبور از این عرض به سمت عرض‌های بالاتر شاهد کاهش میزان طوفان‌های تندری هستیم. بررسی‌ها نشان می‌دهد، وضعیت وقوع طوفان‌های تندری در ایران تحت تأثیر نوسانات امواج غربی است. با توجه به جابجایی فصلی این امواج در گستره کشور ایران، نقاط بیشینه طوفان‌های تندری در کشور تغییر می‌یابد. به‌عنوان مثال، در فصل زمستان امواج غربی در جنوبی‌ترین حالت خود هستند، بیشینه وقوع طوفان‌های تندری در محدوده جنوبی و غربی ایران قرار دارد، اما در فصل تابستان که از گسترش و قدرت این امواج کاسته شده و محدوده شمال غرب ایران را به‌طور اتفاقی تحت تأثیر قرار می‌دهد، بیشینه وقوع طوفان‌های تندری نیز در این بخش از کشور قرار دارد.

بررسی‌های سالانه

وضعیت سالانه طوفان‌های تندری ایران در شکل (۵-الف) نشان داده‌شده است. بیشترین میزان وقوع طوفان‌های تندری مربوط به محدوده شمال غربی ایران است. چنان‌که از این محدوده به سمت شرق و جنوب حرکت کنیم از میزان وقوع طوفان‌های تندری کاسته می‌شود. بیشترین میزان وقوع طوفان‌های تندری مربوط به ایستگاه‌های ماکو، جلفا و خوی می‌باشد که بیش از ۴۴ طوفان تندری را در سال تجربه می‌کنند. استان‌های زنجان، قزوین، گیلان، ایلام و شمال خوزستان نیز در رتبه دوم بوده و در حدود ۲۰ تا ۲۸ طوفان تندری را در سال تجربه می‌کنند. محدوده شمال شرق، جنوب شرق و جنوب غربی کشور به همراه نواحی داخلی رشته‌کوه زاگرس نیز در حدود ۱۱ تا ۱۹ رعدوبرق را به‌صورت سالانه دریافت می‌کنند. کمترین میزان طوفان‌های تندری ایران مربوط به نواحی مرکزی و جنوبی و شرقی کشور است.

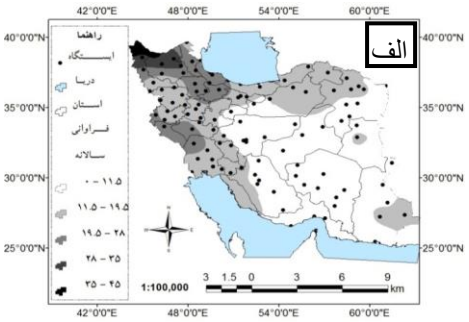
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3]



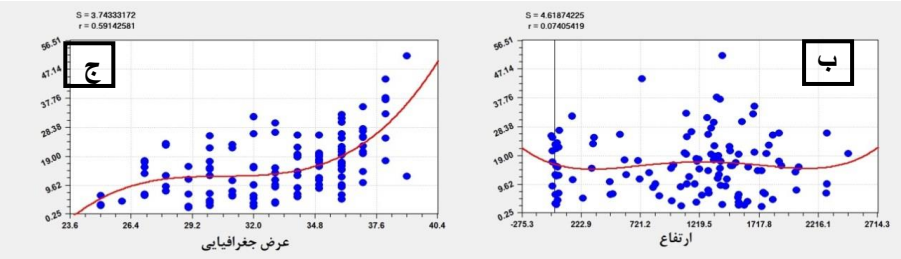
شکل (۴). نمودار وضعیت وقوع طوفان‌های تندری در ارتباط با عرض جغرافیایی. خروجی مدل رگرسیونی چندجمله‌ای. فصل زمستان (الف) فصل بهار (ب) فصل تابستان (ج) فصل پاییز (د)

این محدوده به‌طور میانگین کمترین میزان بارش کشور را دریافت می‌کند. بررسی سالانه دو متغیر طوفان‌های تندری و ارتفاع (شکل ۵-ب) نیز همبستگی ۰٫۰۷ را نشان می‌دهند. بیشترین میزان وقوع رعدوبرق سالانه کشور در ارتفاعات ۱۰۰۰ تا ۱۳۰۰ متری است. مقایسه و بررسی متغیر طوفان تندری در ارتباط با عرض جغرافیایی همبستگی بالای ۰٫۵۹ را نشان می‌دهد. عرض جغرافیایی در وقوع پدیده طوفان‌های تندری بیشترین نقش را ایفا می‌کند. با توجه به شکل ۵-ج، به‌طور میانگین کمترین مقدار وقوع طوفان‌های تندری سالانه در جنوب کشور ایجاد می‌شود. از عرض ۲۵ درجه تا ۲۸ درجه، طوفان‌های تندری شیب صعودی بالایی را نشان می‌دهند. نواحی شمالی‌تر این محدوده تا عرض ۳۴ درجه از شیب صعودی نمودار کاسته شده ولی همچنان روندی مثبت است. در حدود عرض ۳۴ درجه و بیشتر، شیب تغییرات افزایش‌یافته و تا عرض ۳۹ درجه ادامه می‌یابد. نقشه و نمودارهای سالانه نشان می‌دهد بیشترین میزان فراوانی وقوع طوفان‌های تندری در عرض‌های بالا به وقوع می‌پیوندد و طوفان‌های تندری بیشترین همبستگی با عرض جغرافیایی رادارند. ازآنجاکه ایران کشوری مرتفع و کوهستانی است، میزان اثرگذاری نواحی دشتی و پست کشور بر روند کلی وقوع طوفان‌های تندری ایران نیز بررسی گردید. بدین‌جهت شکل (۶) تهیه و نمودارهای هر متغیر در شرایط حذف ایستگاه‌های مناطق پست و دشتی ترسیم گردید.



[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3]

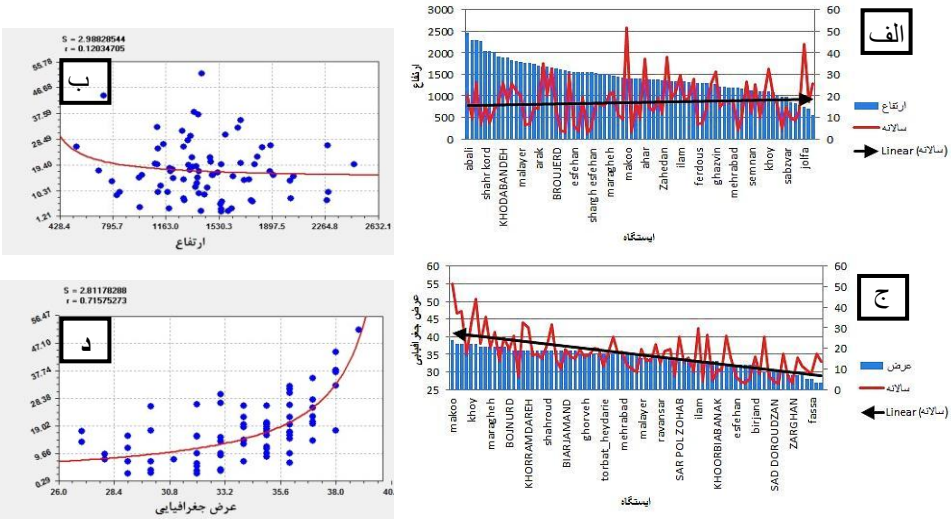


شکل (۵). توزیع فضایی سالانه پدیده طوفان‌های تندری در گستره ایران (الف). وضعیت وقوع طوفان‌های تندری در ارتباط با ارتفاع (ب). وضعیت وقوع طوفان‌های تندری در ارتباط با عرض جغرافیایی (ج).

شکل (۶)وضعیت سالانه طوفان‌های تندری در ارتباط با ارتفاع و عرض جغرافیایی را نشان می‌دهد. در این بخش جهت بررسی دقیق‌تر و تعیین میزان نقش ایستگاه‌ها در مناطق پست و دشت‌ها در روند وقوع طوفان‌های تندری، ایستگاه‌های واقع در نواحی پست و دشتی حذف گردید. سپس نمودار روند تغییرات و همچنین مدل رگرسیونی در شرایط حذف این ایستگاه‌ها تولید شد. در تولید شکل(۶-الف) ابتدا ایستگاه‌ها به ترتیب ارتفاعی (بیشترین ارتفاع به کمترین ارتفاع) طبقه‌بندی شد و سپس روند وقوع طوفان‌های تندری در آن به‌صورت سالانه موردبررسی قرار گرفت. خط مشکی روند کلی وضعیت طوفان‌های تندری با توجه به ارتفاع را نشان می‌دهد. در این شکل افزایش ضعیف میزان وقوع طوفان‌های تندری با کاهش ارتفاع قابل‌مشاهده است. خروجی مدل نیز شکل (۶-ب) همبستگی ۰٫۰۴ را نشان می‌دهد. وضعیت وقوع طوفان‌های تندری با توجه به حذف ایستگاه‌های پست و دشتی وضعیت معکوسی را نسبت به شرایط عدم حذف ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. با توجه به شکل(۶-الف) و ب می‌توان گفت وضعیت وقوع طوفان‌های تندری در کشور در شرایط حذف ایستگاه‌های پست نیز تغییر قابل‌توجهی را ایجاد نکرده، بلکه با افزایش ارتفاع روند کاهشی خواهد داشت. بررسی طوفان‌های تندری در شرایط حذف ایستگاه‌های پست و دشتی در ارتباط با عرض جغرافیایی روند افزایشی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۶-ج عرض‌های پایین کمترین میزان وقوع طوفان‌های تندری را داشته و با حرکت به سمت نواحی شمالی کشور بر میزان وقوع طوفان‌های تندری افزوده می‌گردد. خروجی مدل نیز شکل (۶-د) همبستگی ۰٫۷۱ را نشان می‌دهد. روند افزایشی طوفان‌های تندری با توجه به افزایش ارتفاع مشاهده می‌شود. حذف ایستگاه‌های پست و دشتی در بازه زمانی سالانه بر میزان همبستگی طوفان‌های تندری با عرض جغرافیایی افزوده است که مباحث مطرح شده در بخش‌های پیشین مبنی بر ارتباط طوفان‌های تندری به عرض جغرافیایی را تأیید می‌کند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3]



شکل (۶). وضعیت طوفان‌های تندری در شرایط حذف ایستگاه‌های کم ارتفاع و دشتی، روند طوفان تندری نسبت به ارتفاع در شرایط چینش ایستگاه‌ها به ترتیب ارتفاع (الف و ب)، روند طوفان تندری نسبت به عرض جغرافیایی در شرایط چینش ایستگاه‌ها به ترتیب عرض جغرافیایی (ج و د)

نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش تحلیل فضایی رفتار پدیده رعدوبرق و میزان اثرپذیری آن از مؤلفه‌هایی چون ارتفاع و عرض جغرافیایی می‌باشد. بدین منظور با استفاده از مدل درونیابی کریجینگ به بررسی رفتار سالانه و فصلی پدیده طوفان تندری پرداخته شد. سپس با استفاده از مدل‌های آماری، میزان ارتباط و تأثیرپذیری پدیده طوفان تندری با مؤلفه‌هایی چون عرض جغرافیایی و ارتفاع موردبررسی قرار گرفت. با توجه به پیشینه مطالعه شده و تحقیقات انجام‌شده در زمینه وقوع طوفان‌های تندری در ایران، می‌توان نتیجه گرفت که نواحی بیشینه طوفان‌های تندری با حاشیه جنوبی بادهای غربی عبوری بر روی ایران منطبق است و بیشتر رطوبت موردنیاز توسط این بادها منتقل می‌گردد (گرامی، ۱۳۹۴). در فصل زمستان حاشیه جنوبی بادهای غربی در نواحی جنوبی کشور قرار دارد. همچنین در این محدوده گرمایش سطحی قابل‌قبولی نسبت به عرض‌های بالاتر به چشم می‌خورد. ارتفاعات جنوبی زاگرس به‌عنوان سدی در مقابل انتقال رطوبت عمل کرده و باوجود گرمایش سطحی مناسب در محدوده استان خوزستان و ایلام بیشینه وقوع طوفان‌های تندری قابل مشاهده است شکل (۲-الف). گسترش رو به جنوب بادهای غربی (در دوره سرد) کندتر از خروج آن (در دوره گرم سال) از روی ایران است. در فصل بهار نیز با گسترش پرفشار جنب حاره و انتقال شمالی کمربند همگرایی حاره‌ای، بادهای غربی به نواحی شمالی ایران رانده می‌شود (علیجانی، ۱۳۹۱:۱۱۷). در این فصل و فصل تابستان حاشیه جنوبی بادهای غربی از نواحی شمالی ایران عبور کرده و به دلیل وجود گرمایش مناسب سطحی موجب وقوع بیشینه طوفان‌های تندری در شمال غربی ایران می‌گردد شکل (۲- ب و ج). بیشینه طوفان‌های تندری در فصل پاییز بر استان‌های ایلام و کرمانشاه مشاهده می‌شود شکل (۲-د) که می‌تواند نشان‌دهنده قرارگیری این محدوده در حاشیه جنوبی بادهای غربی باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3]

بررسی پهنه سالانه وقوع طوفان‌های تندری محدوده بیشینه طوفان‌های تندری در مقیاس سالانه را در شمال غرب ایران نشان می‌دهد و از این محدوده به سمت شرق و جنوب از میزان آن کاسته می‌شود شکل (۵-الف). نمودار فصلی و سالانه وضعیت طوفان تندری در ارتباط با ارتفاع، همبستگی ضعیفی را با یکدیگر نشان می‌دهد و در فصول مختلف بیشینه وقوع طوفان‌های تندری به‌طور میانگین در ارتفاعات مختلفی رخ می‌دهد. این در حالی است که مؤلفه عرض جغرافیایی شکل (۵-ج) همبستگی بالای ۰٫۵۹ را نشان می‌دهد و ارتباط بین پدیده رعدوبرق و مؤلفه عرض جغرافیایی را ثابت می‌کند. بررسی‌های فصلی نشان می‌دهد در دو فصل بهار و تابستان طوفان‌های تندری بیشترین همبستگی با عرض جغرافیایی رادارند. در این فصول هر چه از عرض‌های پایین به سمت عرض‌های بالاتر حرکت می‌کنیم افزایش طوفان‌های تندری قابل مشاهده است. در فصل زمستان نیز وضعیت طوفان‌های تندری بر روی ایران متأثر از عرض جغرافیایی و شرایط ارتفاعی است. این در حالی است که در فصل پاییز، طوفان‌های تندری کمترین همبستگی با عرض جغرافیایی نسبت به سایر فصول را نشان می‌دهد. در این فصل طوفان‌های تندری بیشترین همبستگی را با ارتفاع دارا می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت در فصل پاییز اثر عامل ارتفاع در وقوع طوفان‌های تندری بیشتر از سایر فصل‌ها است. هرچند در این فصل نیز همبستی ضعیفی (۰٫۳۲) را نشان می‌دهد. پس از دریافت نتایج فوق، جهت تعیین میزان اثرگذاری ایستگاه‌های پست و دشتی بر اثرپذیری طوفان‌های تندری از ارتفاع و عرض جغرافیایی، شکل (۶) تهیه شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد حذف ایستگاه‌های دشتی موجب افزایش همبستگی طوفان‌های تندری و عرض جغرافیایی می‌گردد. همچنین حذف این ایستگاه‌ها موجب همبستگی معکوس ضعیف طوفان‌های تندری و افزایش ارتفاع شده است. بدین شکل که با کاهش ارتفاع شاهد افزایش طوفان‌های تندری هستیم.

منابع

بابازاده، سید احمد، جاوری، مجید. ۱۳۸۸. **تحلیل رگرسیونی داده‌های اقلیمی با استفاده از ایستگاه‌های انتخابی ایران**. پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری پیش، **۱**: ۹۵-۱۰۷ .

جهانبخش اصل، سعید، میرهاشمی، حمید ، بلواسی، مهدی. ۱۳۹۴. **بررسی روند تغییرات فراوانی روزهای همراه با طوفان تندری در ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتریک**. تحقیقات جغرافیایی، **۲**: ۳۳-۴۶.

خبری،زهرا، نژادکورکی، فرهاد، ۱۳۹۲. **آنالیز روند زدایی در مدل کریجینگ و نقش آن در تهیه نقشه پراکنش آلودگی هوا** .شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران-مهر ۱۳۹۲.

رسولی، علی اکبر، جوان، خدیجه. ۱۳۹۱. **تحلیل روند وقوع طوفان‌های رعدوبرقی در نیمه غربی ایران با کاربرد آزمون‌های ناپارامتری**. فضای جغرافیایی، **۱۲(۳۸)**: ۱۱۱-۱۲۶.

رفعتی، سمیه، حجازی زاده، زهرا، کریمی، مصطفی. ۱۳۹۳، **تحلیل همدیدی شرایط رخداد سامانه‌های همرفتی با بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر در جنوب غرب ایران، ۴۶(۲)**: ۱۳۷- ۱۵۶.

زرین، آذر، مفیدی،عباس. ۱۳۹۰. **آیا پرفشار جنب‌حاره‌ای تابستانه بر روی ایران زبانه‌ای از پرفشار جنب‌حاره‌ای آزور است بررسی یک نظریه**. یازدهمین کنگره جغرافیدانان ایران.

سلیمانی، کریم، صفری شاد، مهتاب. ۱۳۹۰. **تأثیر عوامل اقلیمی بر روند تغییرات عملکرد محصول کیوی (مطالعه موردی استان مازندران)**. اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3]

عزیزی، قاسم، نیری، معصومه، رستمی، جلیلیان، شیما.۱۳۸۸. **"تحلیل سینوپتیک بارش‌های سنگین در غرب کشور (مطالعه موردی: بارش دوره ۷-۱۴ مارس ۲۰۰۵، ۱۶ تا ۲۴ اسفند ۱۳۸۵)، ۱(۴)**: ۱-۱۳.

عساکره، حسین، ۱۳۹۰. **کتاب مبانی اقلیم‌شناسی آماری**، نشر دانشگاه زنجان.

علیجانی، بهلول.۱۳۹۱. **کتاب آب‌وهوای ایران**، انتشارات دانشگاه پیام نور، صفحه ۱۱۷.

علیزاده،امین،کمالی،غلامعلی،موسوی،فرهاد،موسوی بایگی،محمد.۱۳۸۰.**کتاب هوا و اقلیم‌شناسی**،چاپ دوم، انتشارات دانشگاه فردوسی.

علیجانی، بهلول، جعفرپور، زین‌العابدین، علی‌اکبر بیدختی، عباسعلی، مفیدی، عباس. ۱۳۸۶. **تحلیل سینوپتیکی الگوهای گردشی بارش‌های موسمی جولای ۱۹۹۴ در ایران**. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، **۷(۱۰)**: ۷-۳۸.

قویدل رحیمی، یوسف، باغبانان، پرستو، فرج زاده اصل، منوچهر.۱۳۹۳. **روند تغییرات زمانی مخاطره طوفان تندری در ایران، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۱۹(۲)**: ۱۸۵-۲۰۹.

کاویانی،محمدرضا،علیجانی،بهلول.۱۳۹۱.**کتاب مبانی آب‌وهواشناسی**،انتشارات سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی (سمت).

گرامی، محمد صالح.۱۳۹۴. **بررسی سازوکار وقوع بارش‌های بهاره در شمال غرب ایران**، راهنما: عباس مفیدی، مشاور: آذر زرین، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده ادبیات، گروه جغرافیا.

لشکری، حسن، حجتی، زهرا. ۱۳۹۱. **تحلیل سینوپتیکی - دینامیکی طوفان‌های تندری در جنوب غرب کشور.** اطلاعات جغرافیایی (سپهر) ۸۲. ۱۴.

لشگری، حسن؛ آقاسی، نوشین.۱۳۹۱. **تحلیل سینوپتیکی طوفان‌های تندری تبریز در فاصله زمانی ۱۹۹۶-۲۰۰۵**، نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، **۱۷(۴۵)**: ۲۰۳-۲۳۴.

محمدی، فرشته، صلاحی، برومند، همتی، رسول.۱۳۹۱. **بررسی طوفان‌های تندری غرب کشور با رویکرد کاهش خسارات محصولات کشاورزی**، اولین همایش ملی توسعه پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک.

معصوم پور سماکوش،جعفر، فجاد، احمد. ۱۳۹۴. **واکاوی آماری-ترمودینامیکی طوفان‌های تندری ایران**، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای، **۱۳(۲)**: ۲۲۸-۲۴۸.

مفیدی، عباس، حسین زاده، سید رضا ، محمدیاریان، محترم. ۱۳۹۲. **پهنه‌بندی مخاطرات جوی منطقه‌ی شمال شرق ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۲(۶)**: ۱-۱۶.

مهدوی، مسعود؛ طاهرخانی، مهدی.۱۳۹۱. **کتاب کاربرد آمار در جغرافیا**، نشر قومس.

نجارسلیقه، محمد.۱۳۸۰. **الگوهای سینوپتیکی بارش‌های تابستانه جنوب شرق ایران**، تحقیقات جغرافیایی، **۱۶(۳)**: ۱۱۴-۱۲۵.

C. Donald, Ahrens. 2005. **Meteorology today**, pp.497.

Dai, A.2001. **Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies**. Part I: Seasonal and Interannual Variations. Journal of climate, (s): **14(6):** 1092-1111.

Etkin, D. and S.E. Brun, 2001, **Canada's Hail Climatology**, pp.1977-1993.

Florin Necula, M., 2010. **Recent Changes in Thunderstorm Activity in Vaslui**", Present Environment and Sustainable Development, **4**: 407-414.

Hyams, D. G**.,** 2010. **CurveExpert software**, http://www.curveexpert.net

Lin-Lin.Zheng, Jian-Hua. Sun, Jie.Wei. 2010. **Thunder events in China, 980-2008**.1-20.

Loginov,v.F,Volchek,A.A,Shpoka,I. N,2010**"Estimation of the Role of Various Factors in Thunderstorm Formation on the Territory of Belarus** "Russian Meteorology and Hydrology.**35(3):** 175-181.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3]

Mazurkin P.M. **Solution of the twenty third problem of Hilbert // Interdisciplinary research in the field of mathematical modeling and computer science**. Proceedings of the 3-rd scientific and practical internet-conference. Ulyanovsk: SIMJET, 2014. P 269-277.

Nastos, P.T.;matsangouras,I.T. and Chronis, T.G. 2014. **Spatio-temporal analysis of lightning activity over Greece Preliminary results derived from the recent state precision lightning network.** Atmospheric Research, **144**:207-217.

Pinto, O. Jr., I.R.C.A. Pinto & M.A.S. Ferro, 2013. **A Study of the Long-Term Variability of Thunderstorm Days in Southeast Brazil**", Journal of Geophysical Research: Atmospheres, **118(11):** 5231-5246.

Rasuly,A.A, (2004), **eremporal and spatial study of Thunderstorm Rainfall in the Greater Sydney Region, International Conference on Storms(5-9 July),** Australia.

Villarini, G. and smith, J. A. 2013. **Spatial and temporal variability of cloud-to-ground lightning over the continental U.s during the period 1995-2010.** Atmospheric Research, **124**:137-148.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3]