



علی اکبر رسولی^۱
خدیجه جوان^۲

تحلیل روند وقوع توفان‌های رعد و برقی در نیمه غربی ایران با کاربرد آزمون‌های ناپارامتری

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۰۱/۲۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۰۴/۱۸

چکیده

در تحقیق جاری، به منظور شناسایی تغییرات زمانی- مکانی وقوع رعد و برق در نیمه غربی کشور، مشاهدات ۱۷ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک که دارای طولانی‌ترین دوره آماری بودند، مورد تحلیل قرار گرفت. ابتدا، با هدف بررسی شرایط کلی پدیده رعد و برق در منطقه مورد مطالعه، نقشه میانگین روزهای همراه با رعد و برق ترسیم گردید. سپس، بر اساس روش‌های آماری، روند وقوع این پدیده مهم اقلیمی در طول زمان مورد بررسی قرار گرفت. سپس، دو روش آماری معروف ناپارامتری من- کندال و Sen's Estimator (تحت عنوان «شاخص سن») با هدف تحلیل و آشکارسازی وجود روند در سری‌های زمانی اعمال گردید. نتایج حاصله نشان داد که با توجه به گسسته‌بودن مشاهدات جمع‌آوری شده، روش‌های آماری من-کندال و شاخص سن کارایی مناسبی برای تحلیل روند پدیده رعد و برق دارند. از این طریق، مشخص شد که نیمه غربی ایران در طول دوره آماری مورد مطالعه، از لحاظ تعداد وقوع روزهای همراه با رعد و برق منطقه همگنی نبوده و مشاهدات در مقیاس سالانه از شمال به سمت جنوب کاهش می‌یابد. برای نمادسازی چنین تغییراتی، نقشه‌های توزیع مکانی روند روزهای رعد و برقی در مقیاس

فصلی و سالانه، در محیط نرم‌افزار ArcGIS، مدل‌سازی و نمایش داده شد. مدل‌های نهایی بیانگر این واقعیت هستند که مشاهدات اخذ شده از اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقیاس‌های فصلی و حتی سالانه دارای روند افزایشی هستند.

کلید واژه‌ها: تحلیل روند پدیده رعد و برق، نیمه غربی ایران، آزمون من-کندال و شاخص سن.

مقدمه

توفان‌های تندری از پدیده‌های مهم اقلیمی محسوب می‌شوند. بنا بر تعریف، یک توفان تندری ماشین ترمودینامیکی محسوب می‌گردد که در آن انرژی پتانسیل از گرمای نهان حاصل از تراکم در شرایط رطوبتی یا ناپایداری جابجایی قائم هوا به سرعت به انرژی جنبشی از جریانات شدید قائم هوا تبدیل می‌شود (جعفرپور، ۱۳۸۵: ۹۵). توفان‌های تندری معمولاً یا بر اثر گرم شدن سطح زمین و صعود سریع توده‌های هوای بالای آن و یا در امتداد و به همراه جبهه‌های هوا، به ویژه در جبهه سرد، ظهور می‌کنند (کاویانی و علیجانی، ۱۳۷۵: ۳۱۰). تمام خصوصیات بارز یک توفان تندری مانند: رویت برق، صدای رعد، وزش باد شدید، نزل تگرگ و بارش‌های رگباری خفیف تا بسیار شدید تماماً حاصل تولید و چرخه حیات سلول‌های همرفتی کوچک و بزرگ در جو زمین است (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۰: ۱۴۵). 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 رعد و برقی تک‌سلولی، چندسلولی و سوپرسلولی همراه باشد. در اصل، شرط اولیه تشکیل توفان تندری، وجود رطوبت زیاد، دمای بالا، اتمسفر ناپایدار، ساختار مناسب بادهای فوقانی و ساز و کار صعود برای تحریک فعالیت همرفتی است (Rasuly, 2004: 5). باید متذکر شد که بارش‌های تندری از مهم‌ترین حوادث جوی محسوب می‌شوند که به علت عملکردهای بارز اقلیمی و تحمیل اثرات محیطی و انسانی، نظر بسیاری از محققین علوم جوی را در گوشه و کنار دنیا به خود جلب کرده و از این رو تا به حال تحقیقات گسترده‌ای به ویژه در زمینه بارش‌های تندری انجام شده است، که در ذیل به عنوان نمونه به چند مورد اشاره می‌گردد.

Wallace (۱۹۹۵) فراوانی رعد و برق‌های کشور ایالات متحده را با استفاده از مشاهدات ۱۰۰ ایستگاه بررسی کرد و به این نتیجه رسید که حداکثر فراوانی رگبارهای همرفتی در اوایل شب و حداکثر فراوانی رعد و برق در نیمه‌های شب اتفاق می‌افتد. Manohar (۱۹۹۹) با مطالعه داده‌های ماهانه روزهای رعد و برقی و میانگین حداکثر دمای ۲۷۶ ایستگاه در کشور هند، پدیده تندری را بررسی کرد و تباین فراوانی وقوع تندررها در دو بخش شرقی و

غربی این کشور را با جابجایی کمربند همگرایی بین حاره‌ای (ITCZ) در ارتباط دانست. Soula and Chauzy (۲۰۰۱) ارتباط بین وقوع رعد و برق و بارندگی را در ساختار توفان‌های تندری مورد ارزیابی قرار دادند و از این طریق مقادیر بارش‌های منتج را مقایسه کردند. Dai نیز در سال ۲۰۰۱ میلادی فراوانی فصلی و روزانه تندرهای در مقیاس جهانی را مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که بارش‌های رگباری در محدوده خشکی‌ها در اواخر بعد از ظهر بیشتر اتفاق می‌افتد، در حالیکه در نواحی اقیانوسی، حداکثر بارش‌های رگباری در اوایل صبح حادث می‌گردد.

تا به حال، در محدوده کشور ایران نیز مطالعات متعددی انجام شده است که می‌توان به چند مورد بارز اشاره نمود. علیجانی (۱۳۷۴) توفان‌های تندری را برای اولین بار در ایران مطالعه نمود و توزیع جغرافیایی آن را به صورت نقشه نمایش داد. سیف (۱۳۷۵) توزیع جغرافیایی تگرگ در محدوده کشور ایران، به‌عنوان یکی از نزولات سیستم رعد و برق، را مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که فراوانی وقوع این پدیده در نیمه غربی بیشتر از نیمه شرقی کشور است. حجازی‌زاده (۱۳۷۹) به بررسی توفان‌های رعد و برقی غرب کشور با توجه به شرایط سینوپتیک حاکم بر منطقه پرداخت و به این نتیجه رسید که تعداد رعد و برق‌ها در دوره آماری ۱۹۸۵-۱۹۷۱، برای دوره گرم سال در شمال غرب کشور نسبت به جنوب غرب بسیار قابل توجه می‌باشد، در حالیکه در دوره انتقال فصل گرم به سرد، در جنوب غرب، تعداد آن بیشتر است. رسولی (۱۳۸۴) توزیع زمانی بارش‌های رعد و برقی را در محدوده شهر تبریز مورد بررسی قرار داد و احتمال وقوع این نوع بارش‌ها را در فصول بهار و تابستان به اثبات رساند. چند سال بعد، رسولی و همکاران (۱۳۸۶) تغییرات زمانی- مکانی و توزیع بارش‌های تندری منتج را در شمالغرب ایران مطالعه و نشان دادند که احتمال وقوع بارش‌های تندری در فصول بهار و تابستان بیشتر بوده و عمدتاً در جنوبغرب منطقه مورد مطالعه به ویژه مناطق کوهستانی فراوانی وقوع چنین بارش‌هایی محتمل تر می‌باشد. ضمناً در این ارتباط، خوشحال دستجردی و قویدل رحیمی (۱۳۸۶) با استفاده از روش‌های تعیین همبستگی اسپیرمن، تحلیل روند خطی و چند جمله‌ای درجه ۶ و نیز روش تحلیل خوشه‌ای به طبقه بندی ماهانه وقوع توفان‌های تندری در تبریز پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در مقیاس ماهانه، ماه مه و در مقیاس فصلی، بهار دارای بیشترین فراوانی وقوع توفان‌های تندری هستند. جلالی و جهانی نیز (۱۳۸۷) هم پراکنش مکانی بارش‌های تندری شمالغرب ایران را با استفاده از توزیع گاما در مقیاس سالانه و فصلی مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که از غرب به شرق و از جنوبغرب به شمالشرق منطقه مورد مطالعه از میزان فعالیت سامانه‌های تندری کاسته می‌شود و در نتیجه، میزان بارش‌های ناشی از آن به طور قابل ملاحظه‌ای کم می‌گردد.

در مجموع، منابع موجود در جهان و ایران در زمینه رعد و برق، بیشتر بر روی بررسی‌های سینوپتیک وقوع توفان‌های تندری، بارش‌های ناشی از آن و مدل‌سازی این پدیده متمرکز شده است. اما، تا به حال پژوهش زیادی در زمینه تعیین روند تغییرات روزهای همراه با رعد و برق در سطح کشور به ویژه با استفاده از روش‌های آماری من- کندال و شاخص سن صورت نگرفته است. بنابراین، در این بررسی، نیمه غربی ایران به دلیل دارا بودن ویژگی‌های خاص طبیعی از جمله قرارگرفتن در مسیر حرکت سامانه‌های سینوپتیک جوی و تنوع توپوگرافیک به‌عنوان یک واحد مطالعاتی انتخاب شد، به این دلیل که در این منطقه همه ساله می‌توان شاهد ظهور و گسترش انواع سامانه‌های تندری و بارش‌های ناشی از آن بود. هدف اصلی مطالعه بررسی تغییرات پدیده رعد و برق، فراوانی وقوع و روند آنها را در نیمه غربی کشور در ۵۰ سال گذشته بود. بنابراین، تلاش شد تا با به‌کارگیری روش‌های آماری مختلف روند تغییرات روزهای رعد و برقی مورد آزمون قرار گیرد و تغییرات مکانی مرتبط به صورت نقشه‌های تولید شده در محیط GIS طراحی و نمایش داده شود.

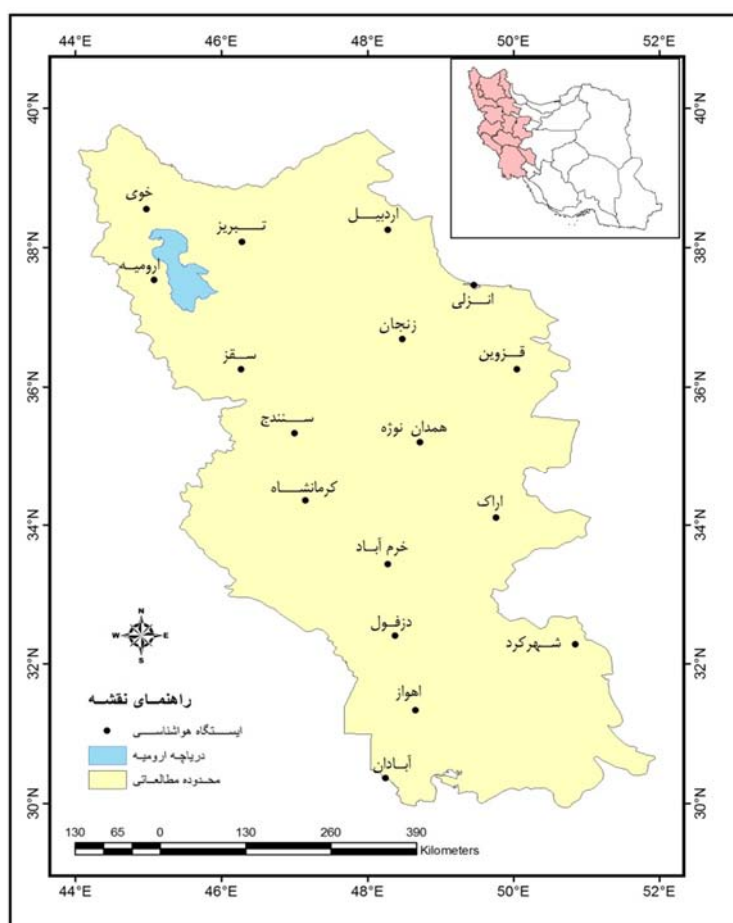
مواد و روش‌ها

در تحقیق جاری سعی شد تا تغییرات روزهای همراه با رعد و برق در نیمه غربی کشور در طی ۵۰ سال اخیر بر اساس روش‌های آماری ناپارامتری من - کندال و شاخص سن توصیف شود. از این رو داده‌های ۱۷ ایستگاه هواشناسی که دارای مشاهدات بلند مدت در محدوده سال‌های ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۵ بودند، مورد تحلیل قرار گرفت. دلیل انتخاب این ایستگاه‌ها کامل بودن داده‌ها و توزیع مکانی مناسب آن‌ها در محدوده مورد مطالعه بود. مشخصات و طول دوره آماری انتخابی ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه و همچنین موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پراکندگی ایستگاه‌ها در شکل ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱: مشخصات و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	طول دوره آماری
۱	آبادان	۴۸ ۱۵	۳۰ ۲۲	۶/۶	۱۹۵۶-۲۰۰۵
۲	اراک	۴۹ ۴۶	۳۴ ۰۶	۱۷۰/۸	۱۹۵۶-۲۰۰۵
۳	ارومیه	۴۵ ۰۵	۳۷ ۳۲	۱۳۱۵/۹	۱۹۵۶-۲۰۰۵
۴	اهواز	۴۸ ۴۰	۳۱ ۲۰	۲۲/۵	۱۹۵۶-۲۰۰۵
۵	انزلی	۲۹ ۲۸	۳۷ ۲۸	-۲۶/۲	۱۹۵۶-۲۰۰۵
۶	تبریز	۴۶ ۱۷	۳۸ ۰۵	۱۳۶/۱	۱۹۵۶-۲۰۰۵
۷	خرم‌آباد	۴۸ ۱۷	۳۳ ۲۶	۱۱۴۷/۸	۱۹۵۶-۲۰۰۵

۱۹۵۶-۲۰۰۵	۱۱۰۳	۳۸	۳۳	۴۴	۵۸	خوی	۸
۱۹۵۶-۲۰۰۵	۱۴۳	۳۲	۲۴	۴۸	۲۳	دزفول	۹
۱۹۵۶-۲۰۰۵	۱۶۶۳	۳۶	۴۱	۴۸	۲۹	زنجان	۱۰
۱۹۵۶-۲۰۰۵	۱۵۲۲/۸	۳۶	۱۵	۴۶	۱۶	سقز	۱۱
۱۹۵۶-۲۰۰۵	۱۳۷۳/۴	۳۵	۲۰	۴۷	۰۰	سنندج	۱۲
۱۹۵۶-۲۰۰۵	۲۰۴۸/۹	۳۲	۱۷	۵۰	۵۱	شهرکرد	۱۳
۱۹۵۶-۲۰۰۵	۱۲۷۹/۲	۳۶	۱۵	۵۰	۳	قزوین	۱۴
۱۹۵۶-۲۰۰۵	۱۳۱۸/۶	۳۴	۲۱	۴۷	۰۹	کرمانشاه	۱۵
۱۹۵۶-۲۰۰۵	۱۶۷۹/۷	۳۵	۱۲	۴۸	۴۳	همدان	۱۶
۱۹۷۶-۲۰۰۵	۱۳۳۲	۳۸	۱۵	۴۸	۱۷	اردبیل ^۳	۱۷



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

۳- به دلیل فقدان ایستگاهی با دوره آماری بلندمدت، از ایستگاه اردبیل با دوره ۳۰ ساله استفاده شده است.

یادآور می‌گردد، از نقاط قوت روش من-کندال می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند، از دیگر مزایای استفاده از این روش است (Turgay et al., 2005: 4). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک دال بر وجود روند در سری داده‌ها است. مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است:

الف- محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S به شرح رابطه ۱:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه ۱ پارامتر n بیانگر تعداد مشاهدات سری، و x_j و x_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری می‌باشد. تابع علامت (sgn) نیز به شرح رابطه ۲ قابل محاسبه است.

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۲}$$

اگر $n > 10$ باشد، از رابطه ۳ برای محاسبه واریانس ($\text{var}(s)$) استفاده می‌شود:

$$\text{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه ۳، n تعداد داده‌های مشاهده‌ای و m معرف تعداد سری‌هایی است که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. پارامتر t نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد که از رابطه ۴ حاصل می‌آید.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۴)}$$

بنابراین، در یک آزمون دو دامنه جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه ۵ برقرار باشد:

$$|Z| \leq Z_{\alpha/2} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه ۵ پارامتر α تعیین کننده سطح معنی داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و Z_α آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی دار α می‌باشد که با توجه به دو دامنه‌ای بودن آزمون، از $\alpha/2$ استفاده شده است. در این آزمون سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورتی که آماره Z مثبت باشد، روند داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی خواهد بود (حجام و همکاران ۱۳۸۷:۱۶۰ و Juraj et al., 2009: 475). باید یادآور شد که در روش شاخص سن نیز همانند روش من-کندال از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بهره گرفته می‌شود. این روش بر مبنای محاسبه شیب میانه (Sen's Estimator Slope) در سری زمانی و قضاوت در مورد معنی داری سطوح اطمینان مختلف استوار است.

محاسبه شیب بین هر جفت داده مشاهده‌ای با استفاده از رابطه ۶ حاصل می‌آید:

$$Q = \frac{X_t - X_s}{t - s} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در رابطه ۶ پارامترهای X_t و X_s به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان‌های t و s ، و t یک واحد زمانی بعد از زمان s است. با اعمال رابطه (۶) برای هر جفت داده مشاهده‌ای، یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده حاصل می‌شود که از محاسبه میانه این سری زمانی شیب خط روند (Q_{med}) بدست می‌آید. مقدار مثبت Q_{med} حاکی از روند صعودی و

مقدار منفی آن دال بر نزولی بودن روند می‌باشد. اما، محاسبه پارامتر C_α در سطوح اعتماد مورد آزمون به کمک رابطه ۷ قابل استخراج است:

$$C_\alpha = Z_1 - \frac{a}{2} \sqrt{\text{Var}(s)} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در رابطه ۷، Z آماره توزیع نرمال استاندارد می‌باشد و در یک آزمون دو دامنه بسته به سطوح اعتماد مورد آزمون می‌تواند مقادیر مختلفی را به خود بگیرد. این آماره برای سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد به ترتیب برابر با ۱/۹۶ و ۲/۵۸ در نظر گرفته شده سپس محاسبه حدود اعتماد بالا و پایین (M_1 و M_2) از طریق رابطه ۸ به دست می‌آید:

$$\begin{cases} M_1 = \frac{N' - C_\alpha}{2} \\ M_2 = \frac{N' + C_\alpha}{2} \end{cases} \quad \text{رابطه (۸)}$$

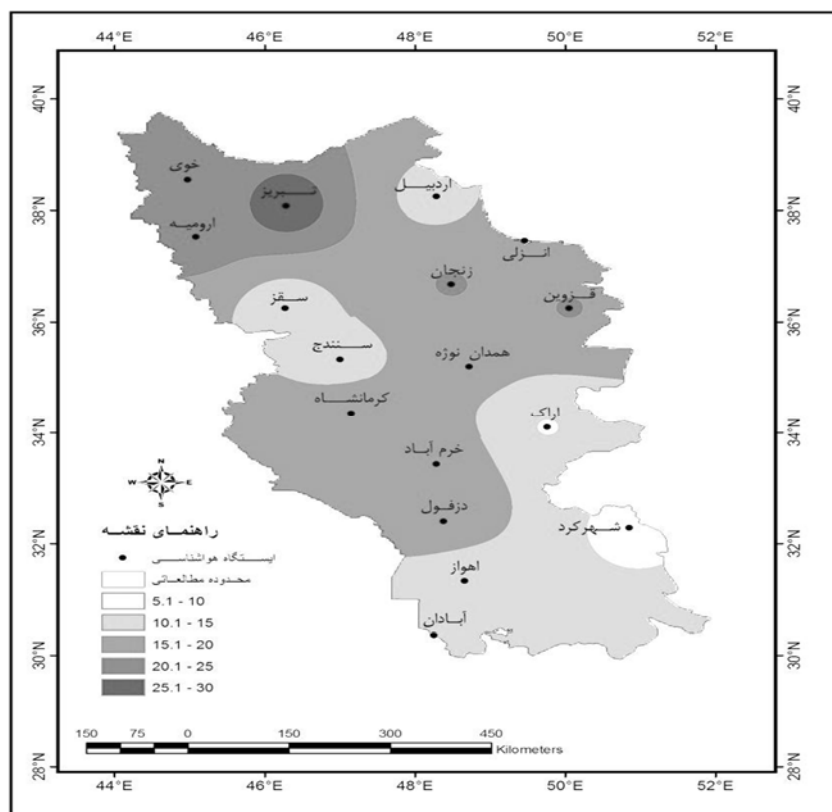
در رابطه ۸، N' نشان‌دهنده تعداد شیب‌های محاسبه شده در روابط است. معمولاً در مرحله نهایی، حدود اطمینان محاسبه می‌گردد، به این ترتیب که از بین شیب‌های محاسبه شده توسط رابطه ۶، M_1 و (M_2+1) شیب‌ها استخراج

می‌شود. در صورتی که عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده فوق قرار بگیرد، فرض صفر پذیرفته می‌شود و بر سری زمانی مورد آزمون نمی‌توان هیچ‌گونه روندی را در سطح اعتماد به کار گرفته شده نسبت داد. در غیر این صورت فرض صفر رد شده و می‌توان پذیرفت که سری زمانی دارای روند معنی‌داری در سطح اعتماد مورد آزمون می‌باشد (حجام و همکاران ۱۳۸۷:۱۶۰ و Juraj et al., 2009: 475).

نتایج تحقیق

الف- ویژگی‌های عمومی روزهای رعد و برقی در نیمه غربی کشور

ابتدا جهت توصیف ویژگی‌های عمومی روزهای رعد و برقی در نیمه غربی ایران، نقشه میانگین روزهای همراه با رعد و برق با استفاده از روش درونیابی IDW در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید (شکل ۲).



شکل ۲: توزیع مکانی میانگین تعداد روزهای همراه با رعد و برق در نیمه غربی ایران

همانگونه که از مدل توزیع مکانی روزهای رعد و برقی مشخص می‌شود، تعداد روزهای رعد و برقی در نیمه غربی ایران به طور کلی از شمال به سمت جنوب کاهش می‌یابد به طوری که کمترین تعداد روزهای همراه با رعد و برق در ایستگاه شهرکرد، ۸ روز در سال است، حال آن‌که در ایستگاه تبریز به طور میانگین ۲۹ روز در سال همراه با رعد و برق می‌باشد. علت این مسئله این است که در شمال غرب کشور، شرایط توپوگرافیک محلی از جمله ارتفاع از

سطح دریا، جهت ناهمواری‌ها، دوری و نزدیکی به منابع آبی و نوع پوشش گیاهی می‌تواند در ایجاد ناپایداری‌های محلی به خصوص در فصول گرم سال مؤثر بوده و باعث بروز پدیده رعد و برق شود (رسولی، ۱۳۸۴: ۵۴). این پدیده اغلب در بعد از ظهرها اتفاق می‌افتد و در روی نقشه‌های سینوپتیک قابل مشاهده و پیش بینی نیست (حجازی‌زاده، ۱۳۷۹: ۱۵).

ب- بررسی روند روزهای رعد و برقی

برای کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه در سری‌های زمانی سالانه و فصلی در ابتدا آماره‌های دو آزمون ناپارامتری من-کندال و شاخص سن محاسبه گردید. سپس معنی‌داری نتایج این آماره‌ها در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد مورد آزمون قرار گرفت که نتایج آن در جداول شماره ۲ و ۳ درج شده است.

جدول شماره ۲: نتایج حاصله از آزمون من-کندال و شاخص سن در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد

نام ایستگاه	بهار		تابستان		پاییز		زمستان		سالانه	
	Q _{med}	Z	Q _{med}	Z	Q _{med}	Z	Q _{med}	Z	Q _{med}	Z
آبادان	۰	-۰/۲۴	۰	۰/۳۲	۰	۰/۸۳	۰	-۰/۳۹	۰	-۰/۴۸
اراک	۰	۱/۱۲	۰	۱/۸۵	۰	۲/۴۸*	۰	۰/۳۹	۰	۲/۷۹**
اردبیل	۰/۳۱	۱/۳۰	۰/۱۹	۱/۵۱	۰/۰۶	۱/۴۱	۰	-۰/۵	۰	۱/۵۵
ارومیه	۰/۱۹*	۲/۷۴**	۰/۱۰**	۳/۱۱**	۰	۱/۰۳	۰	۱/۸۶	۰	۳/۴۲**
اهواز	۰/۰۹**	۴/۴۳**	۰	۰/۵۸	۰/۲۰**	۶/۲۹**	۰/۱۵**	۵/۸۳**	۰/۰۵**	۶/۲۳**
انزلی	۰/۰۹	۱/۷۵	۰/۰۸*	۲/۱۲*	۰	۱/۱۱	۰	۰/۹۵	۰	۲/۷۴**
تبریز	۰/۱۰	۱/۲۴	۰/۰۹	۱/۹۰	۰	۱/۲۵	۰	۱/۵۷	۰	۱/۵۱
خرم‌آباد	۰/۰۸	۱/۴۹	۰	۲/۴۱*	۰/۱۱*	۳/۴۲**	۰/۰۹	۳/۱۵**	۰/۰۳**	۳/۶۶**
خوی	۰/۲۱	۲/۱۸*	۰/۱۲*	۲/۹۷**	۰	۰/۹۹	۰	۱/۱۴	۰	۳/۴۲**
دزفول	۰/۱۴**	۴/۲۳**	۰	۱/۱۶	۰/۲۲**	۴/۹۷**	۰/۲۳**	۵/۵**	۰/۰۶**	۶/۲۱**
زنجان	۰/۳۹**	۵/۲۵**	۰/۱۷**	۴/۹۹**	۰/۰۷*	۳/۷۸**	۰	۲/۲*	۰	۶/۱۱**
سقز	۰/۰۷	۱/۹۰	۰	۱/۷۳	۰	۱	۰	۰/۳۷	۰	۲/۲*
سنندج	۰	۰/۷۴	۰	۰/۷۴	۰	۱/۴۶	۰	۰/۱۲	۰	۲/۵۶*
شهرکرد	۰/۱۲**	۴/۴۰**	۰	۱/۹۴	۰/۰۹**	۴/۸۴**	۰/۰۵	۳/۹**	۰/۰۳**	۵/۸۱**
قزوین	۰/۳۰**	۵/۲۷**	۰/۱۱**	۵/۰۴**	۰/۰۷*	۳/۶۶**	۰	۲/۶۳**	۰	۲/۲*
کرمانشاه	۰	۰/۰۳	۰	-۰/۳۷	۰	۱/۱۰	۰	-۰/۹	۰	۰/۰۱
همدان	۰/۱۸**	۳/۰۱**	۰	۲/۴۸*	۰	۱/۲۳	۰	۲/۱۷*	۰	۴/۲۴**

علامت ** بیانگر وجود روند در سطح اطمینان ۹۹ درصد و علامت * میزان روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد را نشان می‌دهد.

جدول ۳: درصد ایستگاه‌های دارای روند معنی دار نسبت به کل ایستگاه‌ها به تفکیک آزمون‌ها و سطوح معنی داری

نوع آزمون	سطح معنی داری به درصد	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه
من-کندال	۹۵	۴۷/۰۵	۴۱/۱۷	۴۱/۱۷	۴۱/۱۷	۷۶/۴۷
شاخص سن	۹۵	۴۱/۱۷	۲۹/۴۱	۳۵/۲۹	۱۱/۷۶	۷۰/۵۸
من-کندال	۹۹	۴۱/۱۷	۲۳/۵۲	۳۵/۲۹	۲۹/۴۱	۵۸/۸۲
شاخص سن	۹۹	۳۵/۲۹	۱۷/۶۴	۱۷/۶۴	۱۱/۷۶	۴۱/۱۷

با بررسی مقادیر مندرج در جداول فوق مشخص می‌گردد که در بین سری داده‌های سالانه، با استفاده از آزمون من-کندال در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد، به ترتیب ۷۶/۴۷ و ۵۸/۸۲ درصد و با آزمون شاخص سن به ترتیب ۷۰/۵۸ و ۴۱/۱۷ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند افزایشی و معنی دار بودند. نتایج حاصل از دو روش مذکور در اکثر ایستگاه‌ها به جز ایستگاه‌های خوی، انزلی و اراک که آزمون من-کندال وجود روند در سطح اطمینان ۹۹ درصد ولی آزمون شاخص سن وجود روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد را نشان می‌دهد، شبیه هم است. همچنین در ایستگاه سقز با استفاده از آزمون من-کندال، روند صعودی معنی دار با سطح اطمینان ۹۵ درصد مشاهده شد، اما در آزمون شاخص سن چنین روندی مشاهده نشد.

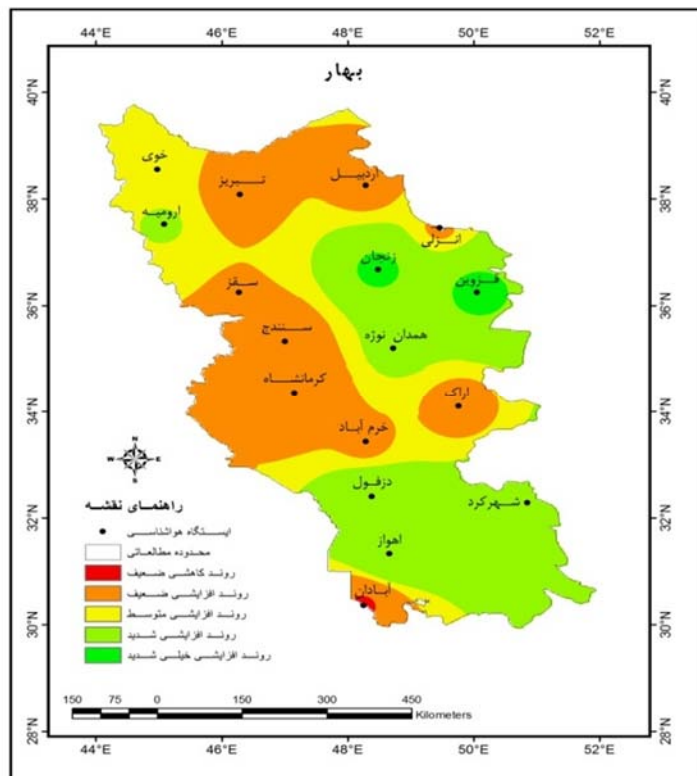
در بین سری داده‌های فصلی، بیشترین روند معنی دار تأیید شده توسط هر دو آزمون من-کندال و شاخص سن در سری داده‌های فصل بهار مشاهده گردید، به طوری که با استفاده از آزمون من-کندال در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ به ترتیب ۴۷/۰۵ و ۴۱/۱۷ درصد و با آزمون شاخص سن به ترتیب ۴۱/۱۷ و ۳۵/۲۹ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند افزایشی و معنی دار بودند. نتایج حاصل از دو روش در اکثر موارد به جز ایستگاه ارومیه که آزمون من-کندال وجود روند در سطح اطمینان ۹۹ درصد ولی آزمون شاخص سن وجود روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد را نشان می‌دهد، شبیه هم است. همچنین در ایستگاه خوی با استفاده از آزمون من-کندال، روند صعودی معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشاهده شد که با آزمون شاخص سن چنین روندی به اثبات نه رسید.

یادآور می‌شود که در بین سری داده‌های فصل تابستان، در آزمون من-کندال در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹، به ترتیب ۴۱/۱۷ و ۲۳/۵۲ درصد و در آزمون شاخص سن به ترتیب ۲۹/۴۱ و ۱۷/۶۴ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند افزایشی و معنی دار بودند. در این سری داده‌ها تنها در ایستگاه‌های خوی، همدان و خرم‌آباد نتایج دو روش مشابه هم نیست. در ایستگاه خوی با استفاده از آزمون من-کندال وجود روند در سطح اطمینان ۹۹ درصد ولی با آزمون شاخص سن وجود روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشاهده می‌شود. همچنین، با استفاده از آزمون من-

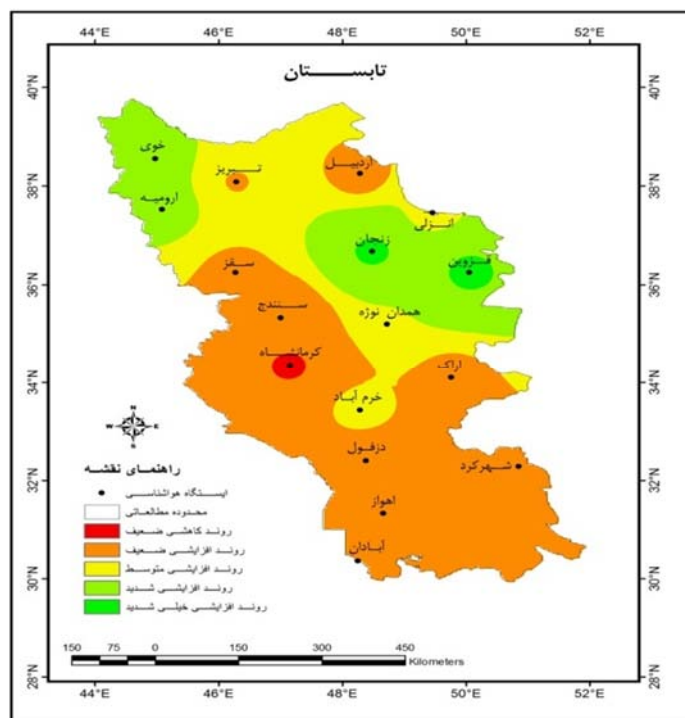
کندال، در ایستگاه‌های همدان و خرم‌آباد در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند صعودی معنی‌دار وجود داشت که با آزمون شاخص سن چنین روندی مشاهده نشد.

در مجموع تحلیل داده‌های فصل پاییز، نیز حاکی از روند افزایشی در تمام ایستگاه‌ها است. در این سری داده‌ها، در آزمون من - کندال در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹، به ترتیب ۴۱/۱۷ و ۳۵/۲۹ درصد و در آزمون شاخص سن به ترتیب ۳۵/۲۹ و ۱۷/۶۴ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار بودند. ایستگاه اراک نیز با آزمون من - کندال در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار می‌باشد، ولی با آزمون شاخص سن چنین روندی مشاهده نشد. بعلاوه، در بین سری داده‌های فصلی، کمترین روند معنی‌داری تأیید شده در بین داده‌های فصل زمستان مشاهده گردید. در این سری داده‌ها، در آزمون من - کندال در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹، به ترتیب ۴۱/۱۷ و ۲۹/۴۱ درصد و در آزمون شاخص سن ۱۱/۷۶ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار بودند. در این فصل کمترین میزان تشابه دو روش در تعیین روند دیده می‌شود.

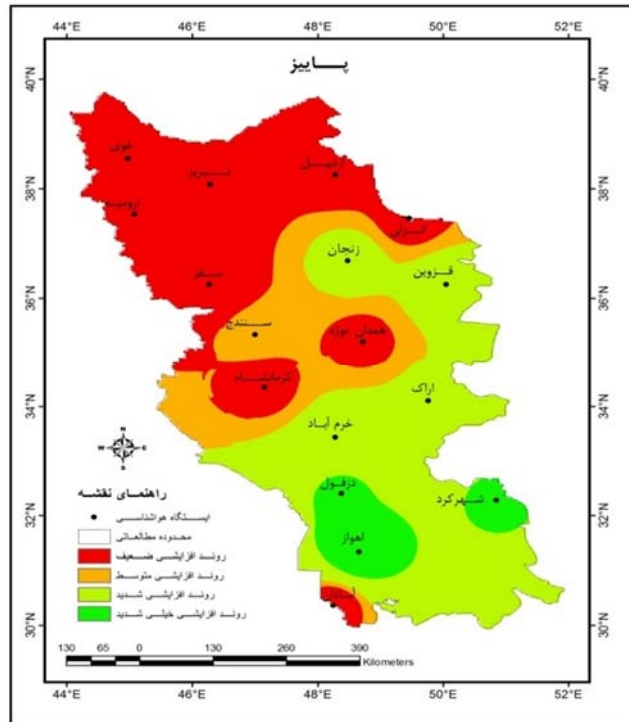
برای شناسایی پراکندگی مناطقی که دارای روند معنی‌داری از لحاظ وقوع رعد و برق هستند، با فرض یکسان بودن نتایج هر دو روش آماری، بر اساس نتایج من - کندال اقدام به تهیه نقشه گردید. برای تهیه این نوع نقشه‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS از روش درونیابی IDW برای شناسایی محدوده‌های دارای روند استفاده شد. شکل‌های ۳ الی ۷ توزیع مکانی ایستگاه‌های دارای روند معنی‌دار را به تفکیک سری‌های فصلی و سالانه نشان می‌دهد. در فصل بهار (شکل ۳) بالاترین روند معنی‌دار در محدوده‌های شمالی منطقه مورد مطالعه، به‌خصوص در شمال‌غربی و شمال‌شرقی دیده می‌شود. در این فصل در نیمه شمالی، تنها در ایستگاه‌های تبریز و اردبیل روند معنی‌دار دیده نمی‌شود. در قسمت‌های غربی و جنوبی منطقه نیز هیچ‌گونه تغییر معنی‌داری مشاهده نمی‌گردد. در فصل تابستان، به غیر از شمال‌غربی و شمال‌شرقی منطقه مورد مطالعه، در قسمت‌های جنوبی نیز روند معنی‌دار مشاهده می‌گردد، ولی قسمت‌های مرکزی و شمالی آن فاقد روند است (شکل ۴). در فصل پاییز (شکل ۵) جابجایی مکانی واضحی در روند مشاهدات رعد و برقی در کل منطقه مشاهده می‌شود، بطوریکه نیمه شمالی منطقه فاقد روند معنی‌دار و نیمه جنوبی دارای روند مشخصی می‌باشد. در فصل زمستان نیز وضعیت تقریباً مشابه فصل پاییز است. تنها تفاوت آشکار، وجود روند در قسمت‌های مرکزی در ایستگاه‌های زنجان و قزوین می‌باشد (شکل ۶). توزیع مکانی روند سالانه روزهای رعد و برقی نیمه غربی کشور (شکل ۷) حاکی از وجود روند افزایشی معنی‌دار در اکثر ایستگاه‌های نیمه غربی کشور می‌باشد.



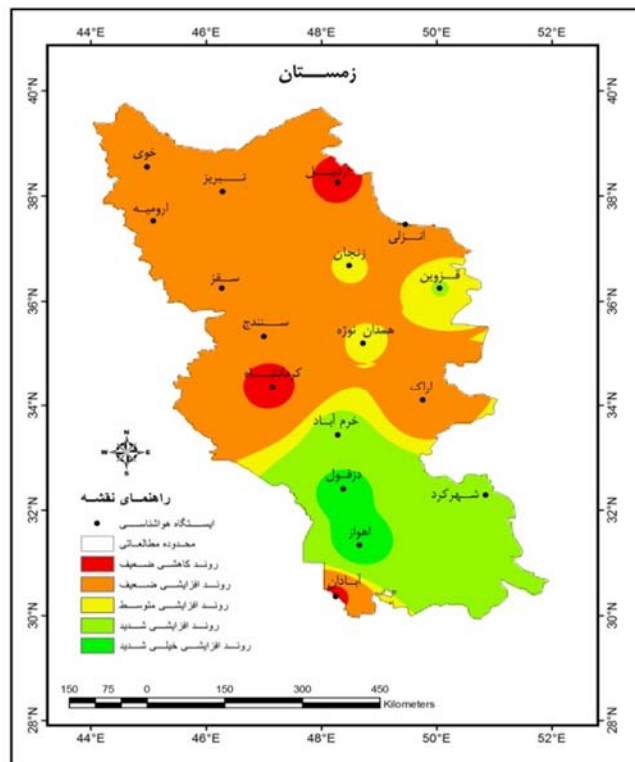
شکل ۳: توزیع مکانی روند روزهای رعد و برقی در فصل بهار



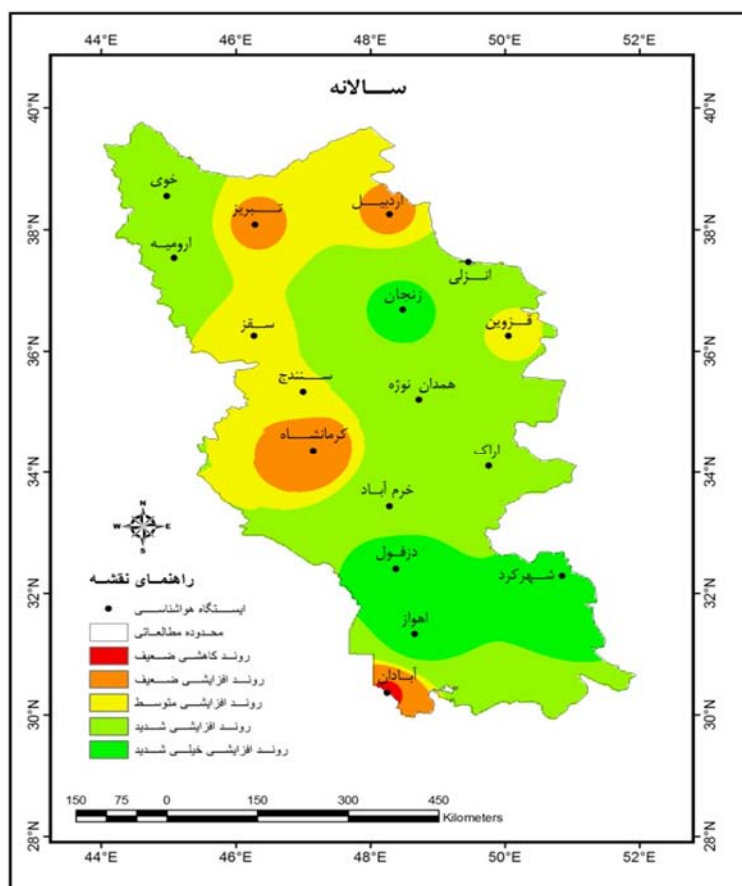
شکل ۴: توزیع مکانی روند روزهای رعد و برقی در فصل تابستان



شکل ۵: توزیع مکانی روند روزهای رعد و برقی در فصل پاییز



شکل ۶: توزیع مکانی روند روزهای رعد و برقی در فصل زمستان



شکل ۷: توزیع مکانی روند سالانه روزهای رعد و برقی در نیمه غربی کشور ایران

نتیجه‌گیری

در تحقیق جاری روند تغییرات درازمدت وقوع رعد و برق در نیمه غربی ایران در دوره آماری ۱۹۵۶-۲۰۰۵ با استفاده از آزمون‌های من - کندال و شاخص سن مورد بررسی قرار گرفت. مدل‌های حاصله پهنه‌بندی و تغییرات مکانی این پدیده ترسیم گردید. در کل، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که نیمه غربی کشور از لحاظ فراوانی وقوع پدیده رعد و برق و چگونگی روند آن دارای نظام همگنی نبوده، به طوری که از شمال به جنوب از فراوانی وقوع آن کاسته می‌شود که این امر با نتایج حاصله از تحقیقات قبلی مطابقت دارد. ضمناً، مشخص گردید که هر دو روش ناپارامتری من - کندال و شاخص سن کارایی مناسبی برای تحلیل روند روزهای رعد و برقی دارند. مدل‌های آماری حاصله در اکثر موارد یکسان بوده و تنها در برخی موارد با هم مطابقت ندارند. نکته قابل توجهی که می‌توان در ارتباط با اختلاف مدل‌های نهایی اشاره نمود، این است که در کلیه موارد، آزمون من - کندال روندهای معنی‌دارتری نسبت به روش شاخص سن نشان می‌دهد. شاید تشخیص روند توسط آزمون من - کندال را به توان به وجود

داده‌های تکراری در سری مشاهدات نسبت داد. در چنین مواردی روش من -کندال ممکن است وجود روند را با اعمال خطاهای تشخیص دهد. در این حالت، روش شاخص سن در تحلیل روند سری‌هایی که در آنها فراوانی داده‌های تکراری زیاد می‌باشد، از ارجحیت بیشتری نسبت به روش من -کندال برخوردار خواهد بود، به این دلیل که نتایج قابل قبول‌تری ارائه می‌دهد.

در کل، با توجه به موقعیت و نحوه پراکنش ایستگاه‌های دارای روند معنی‌دار در نیمه غربی ایران بر روی نقشه‌های ترسیم شده، می‌توان چنین نتیجه گرفت که در طول زمان تغییرات معنی‌داری در وقوع پدیده رعد و برق در نیمه غربی ایران حادث شده است، به‌طوری‌که روند افزایشی در اکثر ایستگاه‌ها قابل اثبات است. با دقت در نحوه پراکنندگی روندهای معنی‌دار روزهای همراه با رعد و برق در منطقه و با توجه به مطالعات قبلی انجام شده در این زمینه می‌توان بیان کرد که در نحوه روند تغییرات پدیده اقلیمی تندر؛ ممکن است عواملی مانند تغییر دمای پهنه‌های آبی، جابجایی مراکز فشار در سطوح مختلف اتمسفر، تشدید و یا رکورد ظهور (فراوانی) سیستم‌های جوی سینوپتیک و ناهمگون بودن ویژگی‌های محیطی محلی (مانند شرایط توپوگرافیک و توسعه مراکز شهری) نقش داشته باشند.

منابع

- ۱) جعفرپور، الف، (۱۳۸۵)، «مبانی اقلیم‌شناسی»، چاپ هفتم، انتشارات پیام نور.
- ۲) جلالی، الف و جهانی، م، (۱۳۸۷)، «بررسی پراکنش مکانی بارش‌های تندر شمال غرب ایران»، *مجله فضای جغرافیایی*، سال ۸، شماره ۲۳، صص ۵۸-۳۵.
- ۳) حجازی‌زاده، ز، (۱۳۷۹)، «بررسی عوامل سینوپتیک توفان‌های توام با رعد و برق در غرب»، *مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی*، دانشگاه تربیت معلم تهران، شماره‌های ۲۸ و ۲۹، صص ۱۷-۱.
- ۴) حجام، س و خوشخو، ی و شمس‌الدین وندی، ر، (۱۳۸۷)، «تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری»، *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۶۴، تابستان ۸۷، صص ۱۶۸-۱۵۷.
- ۵) خوشحال، ج و قویدل رحیمی، ی، (۱۳۸۶)، «شناسایی ویژگی‌های سوانح محیطی منطقه شمالغرب ایران: مورد مطالعاتی خطر توفان‌های تندر در تبریز»، *فصلنامه مدرس علوم انسانی*، بهار ۸۶.

- ۶) رسولی، ع و بداق جمالی، ج و جلالی، الف، (۱۳۸۶)، «توزیع زمانی بارش‌های رعد و برقی منطقه شمالغرب ایران»، *مجله‌ی پژوهشی علوم انسانی*، شماره ۲۲، صص ۱۷۰-۱۵۶.
- ۷) رسولی، ع، (۱۳۸۴)، «مدل سازی بارش‌های رعد و برقی محدوده شهر تبریز از دیدگاه ریسک وقوع سیلاب»، کنفرانس بین‌المللی بلایای طبیعی ۵-۷ مهر، ۱۳۸۴، دانشگاه تبریز، صص ۱۱۹-۱.
- ۸) سیف، م، (۱۳۷۵)، «بررسی توزیع بارش تگرگ در ایران»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، هواشناسی، دانشگاه تهران.
- ۹) علیجانی، ب (۱۳۷۴)، «آب و هوای ایران»، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- ۱۰) عزیزاده، الف و کمالی، غ و موسوی، ف و موسوی بایگی، م، (۱۳۸۰)، «هوا و اقلیم شناسی»، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۱۱) کاویانی، م و علیجانی، ب، (۱۳۷۵)، «مبانی آب و هواشناسی»، چاپ چهارم، انتشارات سمت.
- 12) Cannarozzo, M., Noto, L. V., Viola, F. (2006), "Spatial Distribution of Rainfall Trends in Sicily (1921-200)", *Journal of Physics and Chemistry of the Earth*, No. 31, 1201-1211.
- 13) Dai, A. (2001), "Global Precipitation and Thunderstorm", *Journal of Climate* .14, 1092-1111.
- 14) Juraj M., Cunderlik, Taha B. M. J. Ouarada (2009), "Trends in the Timing and Magnitude of Floods in Canada", *Journal of Hydrology*, No. 375, 471-480.
- 15) Manohar. G. k. (1999), "Thunderstorm Activity over Indian Southwest Monsoon", *Gephys. Journal of Research*, 104, 4169-4188.
- 16) Rasuly, A.A. (2004), "Temporal and Spatial Study of Thunderstorm Rainfall in the Greater Sydney Region", *International Conference on Storms* (5-9 July), Australia.
- 17) Robinson, P.J. and Easterling, D. I. (1988), "the Frequency Distribution of Thunderstorm Durations", *Journal of Applied Meteorology*, 27. 77-82.
- 18) Serge Soula, Serge Chauzy. (2001), "Some Aspects of the Correlation between Lightning and Rain Activities in Thunderstorms", *Atmospheric Research*, 355-373.
- 19) Turgay, P. and Ercan K. (2005), "Trend Analysis in Turkish Precipitation Data", *Hydrological Processes*, published online in Wiley Inter Science (www.Interscience.wiley .com).
- 20) Wallace, M.J. (1995), "Diurnal Variations in Precipitation and Thunderstorm Frequency over the Conterminous United States", *Monthly Weather Review*, 103,406-419.