

بررسی پراکنش فراوانی رعد و برق‌ها و ارتباط آن با ارتفاع در جنوب شرق ایران

علی اکبر رسولی^۱

علی محمد خورشید دوست^۲

مجتبی فخاری واحد^۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۱/۲۵

چکیده

آذرخش یکی از جذاب‌ترین پدیده‌های آب و هوایی است که هنوز به طور کامل درک نشده است و در انواع ابر به زمین، ابر به ابر و درون ابر رخ می‌دهد. آذرخش نوع ابر به زمین از جمله مهم‌ترین علل مرگ و میر ناشی از عوامل آب و هوایی است و علاوه بر خسارات مالی، سالانه در حدود ۲۰۰۰ نفر بر اثر این پدیده جان خود را از دست می‌دهند. در این پژوهش با استفاده از داده‌های سنجنده LIS پراکنش، تراکم و چرخه روزانه رعد و برق‌ها بررسی شد و رابطه فراوانی رعد و برق‌ها با ارتفاع از تراز دریا مورد آزمون قرار گرفت. برای بررسی توزیع آماری داده‌ها از شاخص نزدیکترین همسایه و برای نشان دادن توزیع فضایی داده‌ها از تابع تراکم کرنل در نرم افزار GIS استفاده شد. رابطه رعد و برق‌ها با ارتفاع، به روش گرافیکی و رگرسیون چند جمله‌ای بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشینه فراوانی رعد و برق‌ها در ماه‌های مارس تا آگوست رخ می‌دهد. همچنین بررسی تغییرات روزانه نشان داد که از ساعت ۱۳ تا ۱۶ به وقت محلی فعالیت‌های رعد و برقی به صورت معنی داری افزایش می‌یابد. نتایج شاخص‌های نزدیکترین همسایه و تابع تراکم کرنل نشان داد که پراکنش داده‌ها از الگوی خوشه‌ای پیروی می‌کند و پراکنش فضایی داده‌ها طوری است که در دامنه‌های جنوبی ناهمواری‌های جنوبی این منطقه فراوانی رعد و برق‌ها بیشتر است. رابطه فراوانی رعد و برق‌ها با ارتفاع نیز نشان داد که بیشینه فراوانی رعد و برق‌ها در دامنه‌های جنوبی و قبل از رسیدن به قله اصلی و در ارتفاع بین ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ متر قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: رعد و برق، LIS، تابع تراکم کرنل، جنوب شرق ایران.

۱- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز aarasuly@yahoo.com

۲- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز khorshiddoust@gmail.com

۳- دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول) mojtaba.fakhari55@gmail.com

۱- مقدمه

همرفتی می‌شوند (کلینیک و برینگر، ۲۰۰۷: ۱۱۶۴).

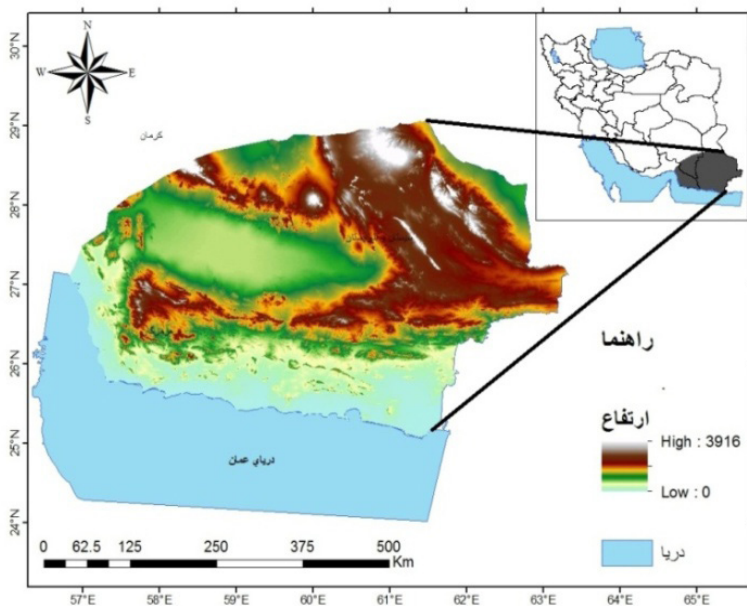
فعالیت‌های رعد و برقی در مقیاس‌های زمانی و مکانی خیلی متغیر هستند و تا حدی به فعالیت‌های همرفتی محلی بستگی دارند (زیشو و همکاران، ۲۰۰۳: ۱۰۶۹). از طرفی در ایستگاه‌های سینوپتیک فراوانی این پدیده ثبت نمی‌شود. از این رو محاسبه دقیق فراوانی و پراکنش فعالیت‌های رعد و برقی با این داده‌ها امکان‌پذیر نیست (کریستین و همکاران، ۲۰۰۳: ۲). به همین دلیل در بعضی از کشورها شبکه تشخیص رعد و برق زمینی نصب شده است (زیشو و همکاران، ۲۰۰۳: ۱۰۶۹)، اما در ایران چنین شبکه‌ای وجود ندارد و بهترین روش برای تعیین فراوانی و پراکنش این پدیده استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای است. ماهواره‌ها توسط سنجنده‌های مخصوص می‌توانند فعالیت‌های رعد و برقی را در یک مقیاس بزرگ و با دقت نسبتاً بالایی اندازه‌گیری کنند (زیشو و همکاران، ۲۰۰۳: ۱۰۶۹). تا کنون پژوهش‌های متعددی در مورد رعد و برق، اقلیم‌شناسی رعد و برق و توزیع رعد و برق‌ها انجام گرفته است که به نمونه‌هایی از آنها اشاره می‌شود:

پترسون و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM به مطالعه تغییرات فصلی توفان‌های همرفتی بر روی برزیل می‌پردازند. کریستین و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از داده‌های OTD^۱ فراوانی و پراکنش رعد و برق در سطح جهان را نمایش می‌دهند. آنها با استفاده از این داده‌ها نقشه اقلیم‌شناسی رعد و برق را تهیه کردند و با استفاده از آن پراکنش جغرافیایی و فصلی رعد و برق را در جهان تشریح نمودند. زیشو و همکاران (۲۰۰۳) فعالیت‌های رعد و برقی جهان و تغییرات منطقه‌ای آن را با استفاده از مشاهدات ماهواره‌ای تشریح نموده‌اند. آنها با استفاده از اطلاعات ۵ ساله سنجنده‌های LIS^۲ و OTD فعالیت‌های رعد و برقی را در مقیاس نسبتاً کوچک، برای مشخص کردن اختلافات منطقه‌ای فعالیت‌های رعد و برقی انجام دادند. کلینیک و برینگر (۲۰۰۷) به بررسی توزیع زمانی و مکانی رعد و برق و رابطه آن با نوع پوشش گیاهی، ارتفاع و نقاط شروع آتش

آذرخش یکی از جذاب‌ترین پدیده‌های آب و هوایی است که هنوز به طور کامل درک نشده است. این پدیده معمولاً در توفان‌های تندری و در زمان شکست میدان‌های الکتریکی، در انواع ابر به زمین، ابر به ابر و درون ابر رخ می‌دهد. آذرخش نوع ابر به زمین در از جمله مهمترین علل مرگ و میر ناشی از عوامل آب و هوایی است (فودال و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۷). به طوری که برآورد شده است که سالانه در حدود ۲۰۰۰ نفر بر اثر این پدیده جان خود را از دست می‌دهند (کلینیک و برینگر، ۲۰۰۷: ۱۱۶۳). در ایالات متحده آمریکا برخی پژوهشگران ادعا کرده‌اند که تلفات ناشی از آذرخش بیشتر از ترنادوها، هاریکن‌ها و بادهای شدید است (اشلی و گیلسون، ۲۰۰۹: ۱۵۰۲: فودال و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۷). همچنین آذرخش ممکن است باعث خسارات مالی فراوان از جمله خسارت به خطوط انتقال نیرو و آتش‌سوزی شود (روریگ و فرگوسن، ۱۹۹۹: ۱۵۶۶). بنابراین توزیع فضایی رعد و برق‌ها از نظر مدیریت انرژی و ایمنی مهم است. علاوه بر این، جامعه ما که روز به روز به شبکه‌های اطلاعات بیشتر وابسته می‌شود، شناسایی مناطق مستعد رخداد رعد و برق ما را در محافظت از سیستم‌های اطلاع‌رسانی کمک می‌کند (فودال و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۷). به علاوه فراوانی و تراکم رعد و برق‌ها می‌تواند بیانگر فراوانی شدت همرفت و شناسایی مناطق مستعد برای رخداد آب و هوای سخت باشد. زیرا ابرهایی که در ارتباط با سازوکارهای همرفتی در محیط اتمسفری در اندازه‌های متنوع توسعه پیدا می‌کنند، نشان‌دهنده وجود نوعی ناپایداری جوئی هستند (رسولی، ۱۳۹۰: ۴۱) و ممکن است دارای گسترش عمقی قابل توجهی در توپوسفر باشند (رسولی، ۱۹۹۶: ۱۷). از طرفی انتظار می‌رود که فراوانی رعد و برق‌ها وابسته به شدت حرکت عمودی هوا باشد (یوشیو و همکاران، ۲۰۱۲: ۲). نزدیکی به منابع آبی و کوه‌های مرطوب نیز باعث افزایش فعالیت‌های رعد و برقی می‌شود (هودانیش و وولین، ۲۰۱۲: ۷)، زیرا ارتفاعات باعث صعود اجباری توده هوا و تشدید ناپایداری سیستم‌های

1 - Optical Transient Detector

2- Lightning Imaging Sensor (LIS)



نگاره ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در جنوب شرق ایران

۲۰۰۰) و LIS (۲۰۱۰-۱۹۹۸) به تهیه داده‌های شبکه بندی شده اقلیم شناسی رعد و برق در مقیاس‌های زمانی و مکانی، و سپس به توصیف پراکنش زمانی و مکانی آنها پرداخته‌اند. مورالز و همکاران (۲۰۱۴) به توصیف و تحلیل داده‌های ۸ ساله رعد و برق اندازه‌گیری شده توسط شبکه زمینی STARNET^۲ در آمریکای جنوبی پرداخته‌اند و اقلیم شناسی رعد و برق در این منطقه را با استفاده از این داده‌ها در سال‌های مختلف نشان دادند. پژوهش‌های انجام شده در ایران عموماً مربوط به تحلیل سینوپتیک و یا آماری روزهای همراه با توفان تندری است که با استفاده از کدهای مربوط به توفان تندری در ساعات مختلف انجام شده‌اند.

در ایران به دلیل عدم ثبت داده‌های رعد و برق و در دسترس نبودن داده‌های مربوط به رعد و برق، مطالعاتی در مورد پراکنش و فراوانی رعد و برق‌ها صورت نگرفته است. پژوهش‌های انجام شده نیز عموماً مربوط به روزهای همراه با توفان تندری است که با کدهای مربوط به توفان تندری در ساعات مختلف انجام شده‌اند. از آنجا که برای هر ایستگاه ثبت کننده تندر، روز رعد و برقی روزی است که حداقل یک رعد و برق مشاهده و ثبت شده باشد (هافنیزر و اوریل، ۱۹۹۹، ۲۰۱۳)، بنابراین یک روز همراه با توفان تندری

سوزی در منطقه شمالی استرالیا پرداخته‌اند. لیو و زیپسر (۲۰۰۸) با استفاده از مشاهدات ۹ ساله ماهواره TRMM به بررسی چرخه‌های روزانه بارندگی، ابر و رعد و برق در نواحی حاره‌ای پرداخته‌اند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که چرخه روزانه در روی خشکی شامل یک بیشینه سیستم‌های بارشی و رعد و برقی در اواخر بعداز ظهر است. آلبرت و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از نتایج ۱۳ ساله (۲۰۱۰-۱۹۹۸) حسگر LIS ماهواره TRMM به بررسی خصوصیات رعد و برق (تعداد رویدادها و گروه‌ها، درخشندگی کل و منطقه رخداد و غیره) منطقه حاره پرداخته‌اند و با استفاده از داده‌های ۱۳ ساله نقشه اقلیم شناسی رعد و برق را در این منطقه مشخص کردند. هودانیش و وولین (۲۰۱۲) با استفاده از داده‌های ۱۷ ساله شبکه تشخیص رعد و برق ملی آمریکا به بررسی اقلیم شناسی رعد و برق در ایالت کلرادو پرداخته‌اند. بچلر و همکاران (۲۰۱۴) پراکنش جغرافیایی رعد و برق‌های همراه با ابرهای همرفتی در ماه‌های ژولای و اگوست سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۰ و بین عرض‌های ۳۰ درجه شمالی و جنوبی را مشخص کردند. سیسیل و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از داده‌های رعد و برق ثبت شده از فضا توسط سنجنده‌های OTD^۱ (مه ۱۹۹۵ تا مارس

2- Sferics Timing And Ranging NETwork

1 - Optical Transient Detector (OTD)

برق‌های ابر به ابر، درون ابر و ابر به زمین را در طول روز و شب و با دقت بالایی اندازه‌گیری می‌کند (ناسا، ۲۰۰۰، ۵). ضریب کارآمدی سنجنده LIS در شب ۹۰٪ و در روز ۷۰٪ در وقت ظهر محلی است (رودلوسکی، ۲۰۱۴: ۱). این سنجنده به طور متوسط در هر روز دو بار و در هر بار تقریباً ۹۰ ثانیه به صورت خیره (رزولوشن ۲ میلی ثانیه) هر نقطه از زمین که در میدان دید آن باشد را مشاهده می‌کند (رودلوسکی، ۲۰۱۴: ۱). میدان دید آن بین مدار ۳۸ درجه شمالی تا ۳۸ درجه جنوبی است (سیسیل و همکاران، ۲۰۱۴: ۴۰۶). این زمان نمونه‌برداری کوتاه در زمان عبور ماهواره، استفاده از این داده‌ها را محدود می‌کند و برای محاسبه اقلیم‌شناسی رعد و برق با دقت بالا به چندین سال نمونه‌برداری نیاز است (آلبرت و همکاران، ۲۰۱۱: ۱)، اما امروزه LIS در حدود ۱۶ سال داده‌های مربوط به رعد و برق را جمع‌آوری نموده است که امکان محاسبه نقشه اقلیم‌شناسی رعد و برق در قدرت تفکیک مکانی بالا (۲۵/۰ و ۱۰/۰ درجه) را فراهم کرده است (رودلوسکی، ۲۰۱۴: ۱؛ آلبرت و همکاران، ۲۰۱۱: ۲).

می‌تواند دارای یک رعد و برق و یا صدها رعد و برق باشد. از طرفی فاصله‌ای که رعد شنیده می‌شود بین ۸ تا ۲۰ کیلومتر از ایستگاه است (هاکلندر و دلدن، ۲۰۰۳، ۲۷۳: هافینز و اوریل، ۱۹۹۹، ۱۰۱۳) و در مناطقی که ایستگاه وجود ندارد و یا فاصله ایستگاه‌ها بیشتر از ۲۰ کیلومتر است صدای رعد نیز شنیده نمی‌شود. از این رو با استفاده از این داده‌ها نمی‌توان به مطالعه پراکنش رعد و برق‌ها پرداخت و در این پژوهش با استفاده از داده‌های سنجنده LIS پراکنش و تراکم سالانه و چرخه روزانه رعد و برق‌ها بررسی شد و رابطه فراوانی رعد و برق‌ها با ارتفاع از تراز دریا مورد آزمون قرار گرفت. منطقه مورد مطالعه بین طول‌های جغرافیایی ۵۶ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۵ درجه و ۰۳ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۰۳ دقیقه شمالی واقع شده است (نگاره ۱). این منطقه بیشتر آب و هوای گرم و خشک دارد اما در عین حال از تنوع آب و هوایی و اقلیمی ویژه‌ای برخوردار است و دارای مناطق کوهستانی، ساحلی، بیابانی و جنگلی است.

۲-۲- تحلیل داده‌ها

در نخستین مرحله از تحلیل داده‌ها باید مشخص شود که داده‌ها به صورت تصادفی پراکنده شده‌اند یا دارای روند فضایی خاصی هستند (اگر برخی مکان‌ها برای رخداد رعد و برق مستعد تر باشند). برخی تابع‌های پردازش جغرافیایی^۲ در نرم افزار GIS بر روی داده‌ها اعمال شد تا مقادیر آماری محاسبه و مکان‌های دارای طبقه‌های رعد و برق معنی دار مشخص شود (ESRI, 2005). این محاسبات بر اساس فاصله اقلیدوسی بین نقاط (رعد و برق‌ها) و مفهوم فضایی آن روش وزن دهی بر اساس معکوس فاصله محاسبه می‌شود. شاخص‌های دیگری نیز پراکنش فضایی داده‌ها را محاسبه می‌کنند. شاخص نزدیکترین همسایه (NNI^۳) و تابع تراکم کرنل^۴ از جمله این شاخص‌ها هستند (رسولی، ۱۳۸۴).

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- داده‌ها

این پژوهش با استفاده از داده‌های رعد و برق ثبت شده از فضا توسط سنجنده LIS و در دوره ژانویه ۱۹۹۸ تا دسامبر ۲۰۱۳ (۱۶ سال) انجام شده است. سنجنده تصویر برداری رعد و برق (LIS) بر روی ماهواره TRMM^۱ نصب است. سنجنده LIS یک تشخیص دهنده نوری است که تغییرات روشنای ایجاد شده به وسیله رعد و برق در ابرها را در محدوده ۷۷۷/۶ نانومتر اندازه می‌گیرد (کوداما و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۲۲۹) و قادر است رعد و برق‌های توفان‌های با مقیاس ۳ تا ۶ کیلومتر را بر روی منطقه‌ای ۶۰۰*۶۰۰ کیلومتری مشاهده کند (زیشو و همکاران، ۲۰۰۳: ۱۰۶۹). بنابراین با استفاده از این داده‌ها می‌توان فراوانی پدیده رعد و برق را برآورد کرد (یوشیو و همکاران، ۲۰۱۲: ۱). سنجنده LIS رعد و

2- Geoprocessing

3 - Nearest Neighbor Index

4 - Kernel Density functions

1- The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

داد (راهنمای نرم افزار). این شاخص از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{f}_d(x) = \frac{hv}{nd} \sum_{i=1}^n K_0 \left(\frac{x - x_i}{d} \right) \quad \text{معادله ۴}$$

که در آن K_0 تابع کرنل، d پهنای باند (شعاع جستجو)، n اندازه نمونه x_i و h عامل هموار کردن خطوط و v عامل مقیاس عمودی است (اسکات و همکاران، ۲۰۰۰). در پایان نیمرخ داده‌های ارتفاع و فراوانی رعد و برق‌های محاسبه شده توسط تابع تراکم کرنل استخراج شد و رابطه فراوانی رعد و برق‌ها با ارتفاع مورد بررسی قرار گرفت.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- تغییرات روزانه

بر اساس زمان ثبت شده توسط سنجنده LIS، این امکان وجود دارد که تغییرات زمانی رعد و برق‌ها را در فاصله زمانی یک ساعته مورد بررسی قرار دهیم. توزیع روزانه رعد و برق‌ها (نگاره ۲) نشان می‌دهد که فراوانی رعد و برق‌ها بین ساعات ۱۳ تا ۱۹ به وقت محلی بسیار بیشتر از ساعات‌های دیگر است که ممکن است با بیشینه فعالیت‌های همرفتی در این منطقه همراه باشد. در این ۷ ساعت در حدود ۷۳ درصد رعد و برق‌ها اتفاق افتاده است و برای ۱۷ ساعت دیگر در حدود ۲۷ درصد است. ساعت ۱۵ دارای بیشینه رخداد رعد و برق‌ها و ساعت ۰۴ دارای کمینه رعد و برق‌ها است.

۳-۲- تغییرات ماهانه

هرچند که رعد و برق‌ها ممکن است در همه زمان‌ها رخ دهند، اما فراوانی آن در برخی ماه‌ها بیشتر است. توزیع ماهانه رخداد رعد و برق‌ها در این منطقه به نحوی است که بیشینه آن در فصل گرم و کمینه آن در فصل سرد سال قرار دارد. به طور کلی ماه‌های مارس تا آگوست فراوانی بالای رعد و برق را دارا هستند. در مجموع حدود ۷۵ درصد رعد و برق‌های ثبت شده توسط سنجنده LIS در این شش ماه

شاخص NNI به عنوان نسبتی از فاصله مشاهده شده به فاصله مورد انتظار با فرض توزیع تصادفی بیان می‌شود. در نرم‌افزار Arc GIS، ابزار NNI فاصله بین نقاط (رعد و برق‌ها) و موقعیت مرکز ثقل نزدیکترین همسایگان را با توجه به میانگین فاصله نزدیکترین همسایه‌های مرتبط اندازه‌گیری می‌کند. اگر میانگین فاصله کمتر از میانگین فرضی توزیع تصادفی باشد، توزیع عوارض مورد آزمون خوشه‌ای است. اگر میانگین فاصله بیشتر از میانگین فرضی توزیع تصادفی باشد، عوارض پراکنده هستند. شاخص NNI با معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$NNI = \frac{\bar{D}_O}{\bar{D}_E} \quad \text{معادله ۱}$$

که \bar{D}_O میانگین فاصله مشاهده شده هر عارضه و نزدیکترین همسایه از شاخص زیر محاسبه می‌شود:

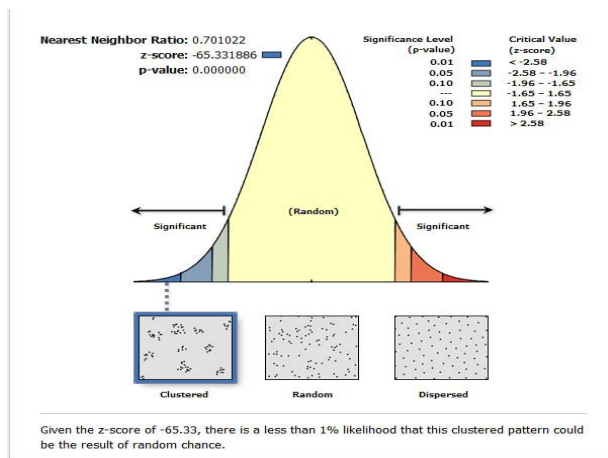
$$\bar{D}_O = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad \text{معادله ۲}$$

و \bar{D}_E میانگین فاصله مورد انتظار برای عوارض داده شده در یک الگوی تصادفی است:

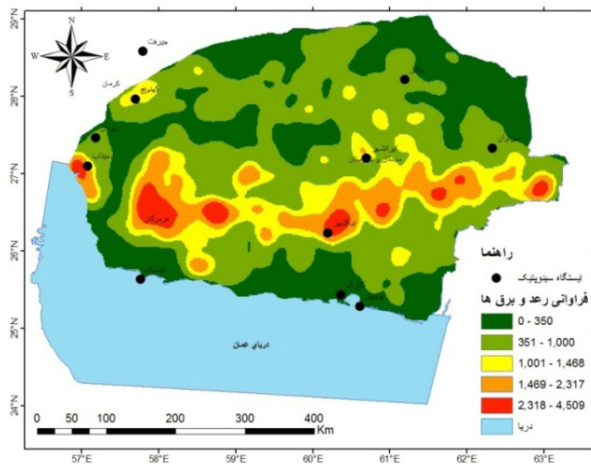
$$\bar{D}_E = \frac{0.5}{\sqrt{n/A}} \quad \text{معادله ۳}$$

در معادله شماره ۲ d_i فاصله بین عوارض i و نزدیکترین همسایه خود است. n برابر با مجموع تمام عوارض و A مساحت مستطیل دور عوارض است. اگر NNI کمتر از ۱ باشد، الگوی عوارض خوشه‌ای است، اگر بیشتر از ۱ باشد، الگوی عوارض پراکنده است (بیلیان و همکاران، ۲۰۰۸).

برای تعمیم مکان جغرافیایی یک پدیده (وقوع رعد و برق) به کل منطقه برآوردگر درونیابی تراکم کرنل معرفی شد (گاترل، ۱۹۹۴، ۷۰). در واقع تابع تراکم کرنل در نرم‌افزار GIS تراکم عوارض در همسایگی آن عارضه را محاسبه می‌کند و می‌تواند برای عوارض نقطه‌ای (رعد و برق) و خطی مورد استفاده قرار گیرد. بیشترین ارزش در محل قرارگیری نقاط است و با دور شدن ارزش کم می‌شود و تا شعاع جستجو به صفر کاهش می‌یابد. تراکم در هر سلول رستر خروجی به وسیله اضافه کردن تمام کرنل‌های سطحی که در مرکز سلول بر هم منطبق هستند، محاسبه می‌شود. افزایش شعاع جستجو مقدار تراکم را به مقدار زیادی تغییر نخواهد



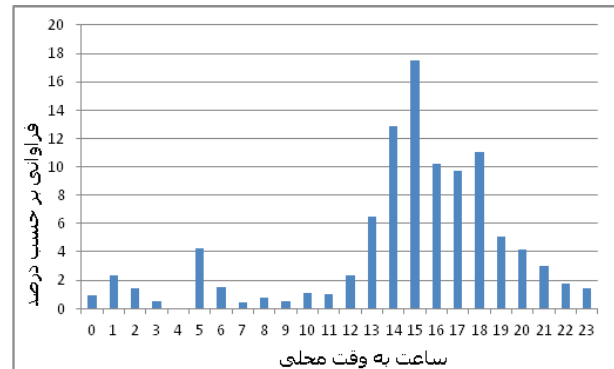
نگاره ۴: نتایج تابع نزدیکترین همسایه



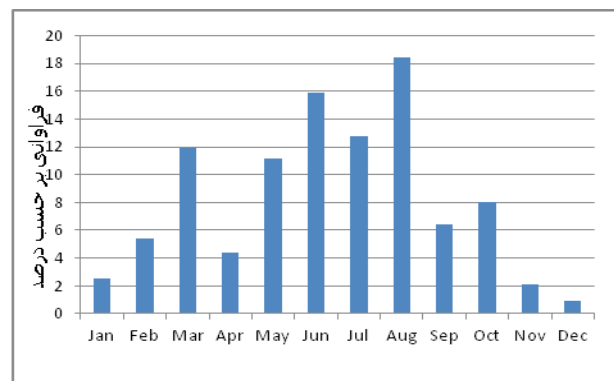
نگاره ۵: نتایج تابع تراکم کرنل برای فراوانی رعد و برقها

به عبارت دیگر در برخی مناطق رخداد رعد و برقها بیشتر بوده است و یا شرایط مناسبی برای رخداد رعد و برقها در آن مناطق وجود دارد. از این رو لازم است تا توزیع فضایی رعد و برقها مشخص شود تا مناطق دارای بیشینه رعد و برقها مشخص شود. برای مشخص کردن توزیع فراوانی رعد و برقها از تابع تراکم کرنل استفاده شد. نتایج این شاخص در نگاره ۵ نشان می‌دهد که فراوانی رعد و برقها در سراسر منطقه به صورت یکنواخت توزیع نشده است و یک منطقه بیشینه در راستای مداری، بین عرض جغرافیایی ۲۶ تا ۲۷ درجه شمالی وجود دارد. این منطقه بیشینه دارای چندین مرکز است. نواحی ساحلی

رخ داده است و ۲۵ درصد باقی مانده در شش ماه ژانویه، فوریه، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر رخ داده است. بیشینه فراوانی رخداد رعد و برقها در ماه آگوست (بیش از ۱۸ درصد) و کمینه آن در ماه دسامبر (در حدود ۱ درصد) است (نگاره ۳).



نگاره ۲: تغییرات روزانه رعد و برقها در جنوب شرق ایران

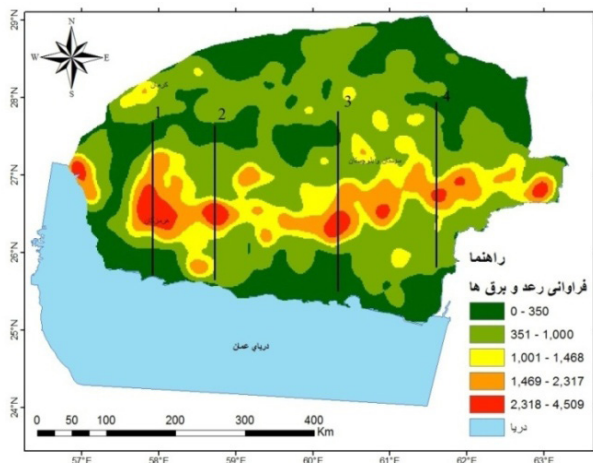


نگاره ۳: توزیع فراوانی ماهانه رعد و برقها در جنوب شرق ایران

۳-۳- شاخص نزدیکترین همسایه و تابع تراکم کرنل
 نتیجه شاخص NNI برای داده‌های رعد و برق ۰/۷ و نمره Z آن ۶۵- است. این نتایج نشان می‌دهد که داده‌های رعد و برق در منطقه از الگوی خاصی پیروی می‌کنند و کمتر از یک درصد احتمال دارد که الگوی مشاهده شده تصادفی باشد. مقایسه شاخص Z با توزیع نرمال (نگاره ۴) نشان می‌دهد که داده‌های رعد و برق از طبقه بندی آماری خوشه‌ای پیروی می‌کنند.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)
بررسی پراکنش فراوانی رعد و برق‌ها و ارتباط آن ... / ۱۷۵

مشخص شده در نگاره ۷ نیمرخ ارتفاع و فراوانی رعد و برق‌ها استخراج، و رابطه آنها با یکدیگر بررسی شد. این مقطع‌ها و نیمرخ‌های آنها از چپ به راست با شماره‌های یک تا چهار مشخص شده‌اند.

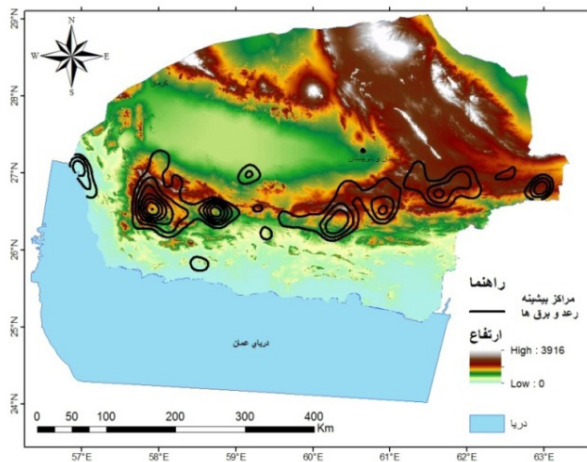


نگاره ۷: مقاطع مشخص شده برای استخراج نیمرخ فراوانی رعد و برق‌ها و ارتفاع در راستای جنوب به شمال

۳-۴- رابطه رعد و برق با ارتفاع

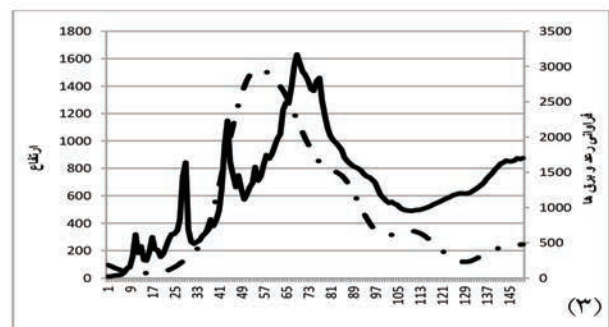
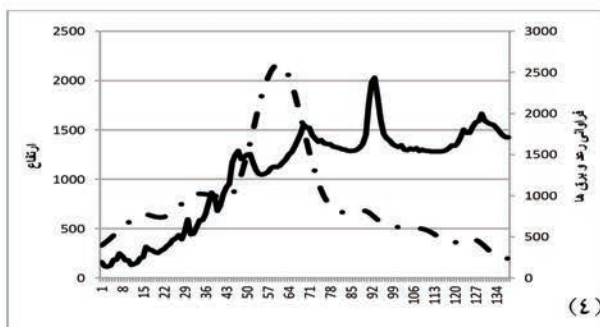
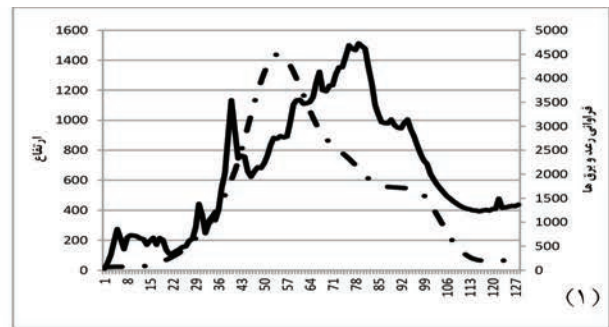
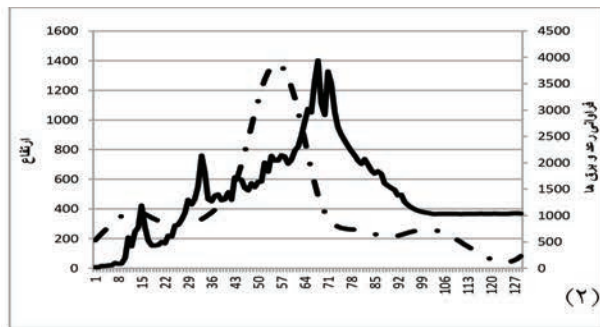
نگاره ۸ قسمت ۱ نیمرخ عمودی ارتفاع (خط ممتد) و فراوانی رعد و برق‌ها (نقطه خط) در راستای مقطع شماره ۱ مشخص شده در نگاره ۷ را نشان می‌دهد. همانطور که در این نگاره مشخص است با دور شدن از منطقه ساحلی به ارتفاع افزوده می‌شود تا در فاصله ۱۳۲ کیلومتری از ساحل به بیشینه ارتفاع (بیش از ۱۵۰۰ متر) خود می‌رسد و پس از آن به تدریج از میزان ارتفاع کاسته می‌شود. هر چند قبل از قله اصلی یک قله فرعی دیگر با ارتفاع تقریبی ۱۱۶۰ متر قرار دارد. نیمرخ فراوانی رعد و برق‌ها نیز نشان می‌دهد که کمینه فراوانی رعد و برق‌ها در منطقه ساحلی قرار دارد و با دور شدن از منطقه ساحلی به فراوانی آن افزوده می‌شود. این نمودار نشان می‌دهد که بیشینه فراوانی رعد و برقی قبل از قله اصلی و در دامنه جنوبی این توده کوهستانی قرار دارد. این بیشینه در ارتفاع تقریبی ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ متر رخ می‌دهد و پس از آن از فراوانی رعد و برق‌ها کاسته می‌شود

جنوبی، مناطق پست مرکزی و ارتفاعات شمالی دارای کمترین فراوانی هستند. بیشینه فراوانی رعد و برق‌ها در جنوب غرب منطقه مورد مطالعه (عرض ۲۶/۵ شمالی و ۵۸ درجه شرقی) قرار دارد. همانطور که در نگاره ۶ مشاهده می‌شود، این مراکز بیشینه رعد و برقی در دامنه‌های جنوبی رشته کوه‌های جنوبی این منطقه قرار دارد و به صورت افقی گسترده شده‌اند. با توجه به اینکه ناهمواری‌های جنوبی دارای ارتفاع کمتری نسبت به ناهمواری‌های شرقی و شمال شرقی منطقه هستند، اما به نظر می‌رسد که این ناهمواری‌ها به دلیل جهت گیری شرقی-غربی آنها در زمان وزش جریان‌های جنوبی نقش قابل توجهی در شدت فعالیت‌های رعد و برقی این منطقه داشته باشند.



نگاره ۶: مناطق دارای بیشینه رعد و برق‌ها در جنوب شرق ایران

در بین ایستگاه‌های سینوپتیک این منطقه نیز کمترین فراوانی روزهای رعد و برقی در ایستگاه‌های چابهار، کنارک و جاسک مشاهده می‌شود که در قسمت‌های ساحلی این منطقه واقع شده‌اند. نزدیکترین ایستگاه به مراکز بیشینه رعد و برقی ایستگاه نیکشهر است. این ایستگاه بیشترین فراوانی روزهای رعد و برقی را در بین ایستگاه‌های سینوپتیک دارد. فراوانی روزهای رعد و برقی این ایستگاه سالانه ۲۳ روز است در حالی که در ایستگاه‌های چابهار، کنارک و جاسک بین سه تا پنج روز است. در ادامه در راستای ۴ مقطع



نگاره ۸: نمودار تغییرات فراوانی رعد و برق‌ها (نقطه خط) و ارتفاع (خط ممتد) در مراکز بیشینه رعد و برقی

در راستای جنوب به شمال در ۴ مقطع مشخص شده در جنوب شرق ایران

و این روند کاهش تا دامنه‌های شمالی این ناهمواری‌ها ادامه می‌یابد. این مقطع بیشترین فراوانی رعد و برق‌ها را در بین چهار مقطع بررسی شده دارد. قسمت ۲ نیمرخ عمودی ارتفاع و فراوانی رعد و برق در مقطع شماره ۲ را نشان می‌دهد. روند تغییرات ارتفاع در این مقطع نیز همانند مقطع شماره یک است. نیمرخ فراوانی رعد و برق‌ها نیز نشان می‌دهد که با دور شدن از ساحل به فراوانی رعد و برق‌ها افزوده می‌شود و در ارتفاع تقریبی ۷۰۰ تا ۸۰۰ متر، در دامنه جنوبی قله اصلی به بیشینه فراوانی خود می‌رسد. از این ارتفاع به سمت قله و دامنه‌های شمالی، فراوانی رعد و برق‌ها کاهش پیدا می‌کند و در مناطق مسطح پس از این توده مرتفع، به کمترین فراوانی می‌رسد. روند تغییرات ارتفاع در مقطع‌های ۳ و ۴ همانند این دو مقطع قبلی است و همانند دو مقطع قبلی بیشینه فراوانی رعد و برق‌ها در دامنه‌های جنوبی این ناهمواری‌ها رخ می‌دهد. در مقطع شماره ۴ بیشینه فراوانی رعد و برق‌ها در ارتفاع بالاتر از ۱۰۰۰ متر رخ می‌دهد و فراوانی رعد و برق‌های آن از سه

مقطع دیگر کمتر است. به عبارتی می‌توان گفت که فراوانی رعد و برق‌ها از سمت غرب به شرق افزایش پیدا می‌کند. نگاره ۹ تغییرات فراوانی رعد و برق با ارتفاع را در دامنه‌های جنوبی ناهمواری‌ها نشان می‌دهد. همانطور که در قسمت اول مشاهده می‌شود فراوانی رعد و برق‌ها در مقطع اول تا ارتفاع تقریبی ۸۰۰ متر با شیب ثابتی افزایش پیدا می‌کند. سپس از ارتفاع ۸۰۰ متری به بالاتر فراوانی رعد و برق‌ها افزایش می‌یابد و در ارتفاع تقریبی ۹۰۰ متر به بیشترین فراوانی خود می‌رسد و از این ارتفاع به بالا (تا ارتفاع تقریبی ۱۵۰۰ متر) فراوانی رعد و برق‌ها روند کاهش پیدا می‌کند. در مقطع دوم فراوانی رعد و برق‌ها تا ارتفاع تقریبی ۵۰۰ متر تقریباً ثابت است، اما از این ارتفاع فراوانی رعد و برق‌ها با شیب تندتری افزایش پیدا می‌کند و در ارتفاع ۷۰۰ متری به بیشینه فراوانی خود می‌رسد. همچنین در مقطع سوم فراوانی رعد و برق‌ها تا ارتفاع ۴۵۰ متری تقریباً ثابت است و از این ارتفاع به بعد فراوانی رعد و برق‌ها با شیب ثابت و نسبتاً شدیدی افزایش پیدا می‌کند و

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۱۷۷)
بررسی پراکنش فراوانی رعد و برق‌ها و ارتباط آن ... / ۱۷۷

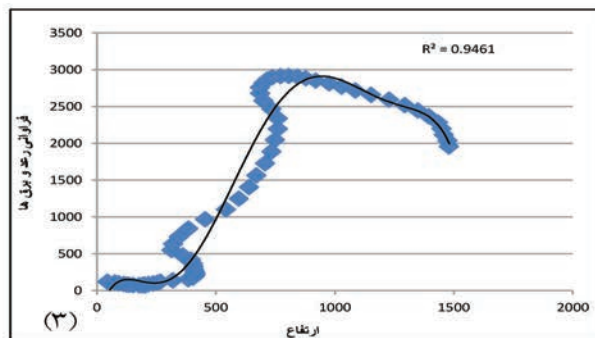
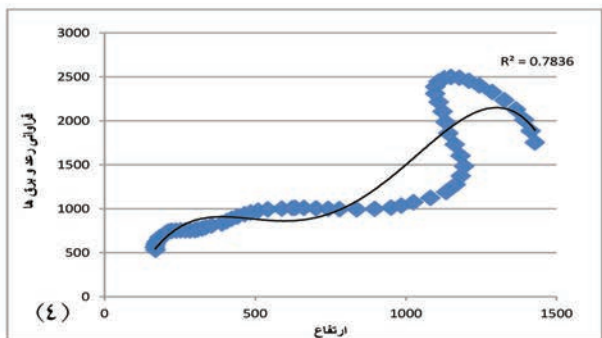
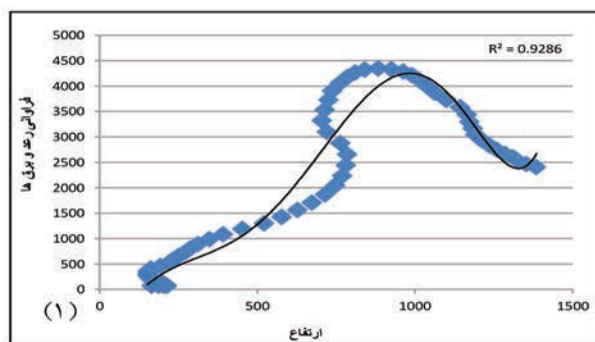
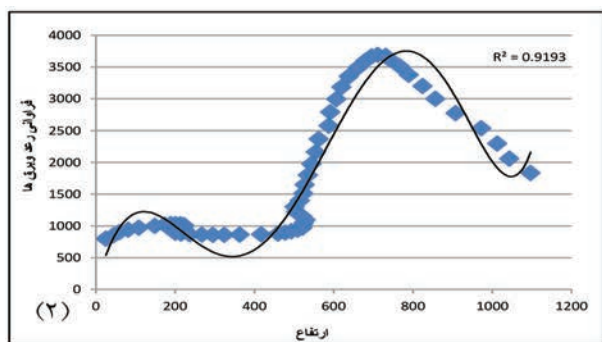
محلی که همراه با گرمایش سطحی ایجاد شده توسط تابش روزانه خورشید است، ارتباط داشته باشد. نتایج شاخص نزدیکترین همسایه نشان داد که پراکنش داده‌ها از الگوی خوشه‌ای پیروی می‌کند. به عبارت دیگر برخی مناطق شرایط مساعدتری برای رخداد رعد و برق دارند. نتایج شاخص تراکم کرنل نشان داد که این مناطق در دامنه‌های جنوبی ناهمواری‌های این منطقه است و بیشینه آن قبل از قله اصلی قرار دارد. بیشینه فراوانی رعد و برق‌ها در بین مدار ۲۶ تا ۲۷ درجه شمالی قرار دارد و گسترش آن در راستای مداری است.

با توجه به زمان رخداد بیشینه فراوانی رعد و برق‌ها که در دوره گرم سال است، به نظر می‌رسد که جریان‌های جنوبی ایجاد شده توسط موسمی‌های جنوب شرق آسیا همراه با توپوگرافی محلی عامل تشدید فعالیت‌های رعد و برقی در جنوب شرق ایران و به ویژه منطقه دارای بیشینه فعالیت‌های رعد و برقی است.

در ارتفاع ۸۰۰ متری به بیشترین فراوانی خود می‌رسد. از این ارتفاع تا قله ناهمواری‌ها، فراوانی رعد و برق‌ها با شیب کمی کاهش پیدا می‌کند. در مقطع چهارم، فراوانی رعد و برق‌ها تا ارتفاع ۱۲۰۰ متری با شیب ثابت و ملایمی افزایش پیدا می‌کند، اما از ارتفاع ۱۲۰۰ متری با شیب شدیدی افزایش پیدا می‌کند و در ارتفاعات بالاتر کاهش می‌یابد.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که بیشینه فراوانی رعد و برق‌ها در جنوب شرق ایران در ماه‌های مارس تا آگوست (دوره گرم سال) رخ می‌دهد. بیشترین فراوانی آن در ماه آگوست و کمترین فراوانی آن در ماه دسامبر است. در بررسی تغییرات روزانه هم مشخص شد که از اوائل بعدازظهر تا اواخر بعدازظهر (ساعات ۱۳ تا ۱۶ به وقت محلی) فعالیت‌های رعد و برقی به صورت معنی داری افزایش می‌یابد که به نظر می‌رسد با فعالیت‌های همرفتی



نگاره ۹: رابطه تغییرات فراوانی رعد و برق‌ها با ارتفاع در دامنه‌های جنوبی ناهمواری‌ها در جنوب شرق ایران

Wiley, London.

15- Kilinc, Musa and Jason Beringer, (2007), The Spatial and Temporal Distribution of Lightning Strikes and Their Relationship with Vegetation Type, Elevation, and Fire Scars in the Northern Territory. *J. Climate*, 20, 1161–1173.

16- Kodama, Y.M. Haruna Okabe, Yukie Tomisaka, Katsuya Kotonno, Yoshimi Kondo, and Hideyuki Kasuya, (2007): Lightning Frequency and Microphysical Properties of Precipitating Clouds over the Western North Pacific during Winter as Derived from TRMM Multisensor Observations. *Mon. Wea. Rev.*, 135, 2226–2241.

17- Liu, C., and E. J. Zipser (2008), Diurnal cycles of precipitation, clouds, and lightning in the tropics from 9 years of TRMM observations, *Geophysics Res. Lett.*, 35, L04819, doi: 10.1029/2007GL032437.

18- Morales, C. A., J. R. Neves, E. A. Moimaz, K. S. Camara, (2014), Sferics Timing And Ranging Network – STARNET: 8 years of measurements in South America, XV International Conference on Atmospheric Electricity, 15-20 June 2014, Norman, Oklahoma, U.S.A.

19- NASA, (2000), Science data validation plan for the Lightning Imaging Sensor (LIS), Earth Science Department, Science Directorate NASA/Marshall Space Flight Center Global Hydrology and Climate Center Huntsville, AL 35812.

20- Petersen, W. A., S. W. Nesbitt, R. J. Blakeslee, R. Cifelli, P. Hein, S. A. Rutledge (2002), TRMM Observations of Intra-seasonal Variability in Convective Regimes Over the Amazon, Volume 15, Issue 11, PP1278-1294.

21- Rasuoli, A. A. (1996), The Temporal and Spatial Study of Thunderstorm Rainfall in the Greater Sydney region, A Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the award of the degree Doctor of Philosophy from University of Wollongong.

22- Rorig, M. and Ferguson, S., (1999), Characteristics of lightning and wild-land fire ignition in the Pacific Northwest, *J. Appl. Meteorol.*, 38, 1565-1575.

23- Rudlosky, S. D. (2014), Evaluating Ground-Based Lightning Detection Networks using TRMM/LIS Observations, 23rd International Lightning Detection Conference, 18-19 March, Tucson, Arizona, USA, 5th International Lightning Meteorology Conference, 20-21, Tucson, Arizona, USA.

24- Scott TS, Graffman I and Ingram J (2000) GIS Applications in climate and meteorology. ESRI International User Conference.

25- Ushio, T, Satoru Yoshida, Syunsuke Sakurai, Zen-ichiro Kawasaki, and Ken'ichi Okamoto (2012), On the relationship between radar reflectivity factor and thunderstorm flash rate, *Journal of Geophysical Research Atmospheres* (Impact Factor: 3.44). 03/2012; 117(D6):6212-. DOI: 10.1029/2011JD017123.

26- Xiushu, Q, Z. Yunjun, Y. Tie, (2003), Global Lightning Activities And Their Regional Differences Observed From Satellite, *Chinese Journal Of Geophysics*, Vol.46, No.6, pp: 1068-1077.

۵- منابع و مأخذ

۱- رسولی، علی اکبر، (۱۳۸۴)، تحلیلی بر فناوری GIS، دانشگاه تبریز، اول، ص ۴۰۸.

۲- رسولی، علی اکبر، (۱۳۹۰)، مقدمه‌ای بر هواشناسی و اقلیم شناسی ماهواره‌ای، دانشگاه تبریز، اول، ص ۴۵۵.

3- Albrecht, R. I., S. J. Goodman, W. A. Petersen, D. E. Buechler, E. C. Bruning, R. J. Blakeslee, H. J. Christian (2011), The 13 years of TRMM Lightning Imaging Sensor: From individual flash characteristics to decadal tendencies, XIV International Conference on Atmospheric Electricity, August 08-12, 2011, Rio de Janeiro, Brazil.

4- Ashley, W. S. and Gilson, C.W., (2009), A Reassessment of U.S. Lightning Mortalities, *B. Am. Meteorol. Soc.*, 10, 1501–1518.

5- Buechler, D. E., W. J. Koshak, H. J. Christian, S. J. Goodman (2014), Assessing the performance of the Lightning Imaging Sensor (LIS) using Deep Convective Clouds, *Atmospheric Research*, PP 397–403.

6- Cecil, D. J., D. E. Buechler, R. J. Blakeslee, (2014), Gridded lightning climatology from TRMM-LIS and OTD: Dataset description, *Atmospheric Research*, PP 404-414.

7- Christian, H. J., R. J. Blakeslee, D.J. Boccippio, W. L. Boeck, D. E. Buechler, K. T. Driscoll, S. J. Goodman, J. M. Hall, W. J. Koshak, D. M. Mach, and M. F. Stewart (2003), Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 108, NO. D1, 4005, doi:10.1029/2002JD002347.

8- ESRI (2005) The ESRI guide to GIS analysis, volume 2. ESRI press.

9- Feudale, L. Manzato, A. and Micheletti, m., (2013), A cloud-to-ground lightning climatology for north-eastern Italy, *Adv. Sci. Res.*, 10, 77–84.

10- Gatrell AC (1994) Density estimation and the visualization of point patterns in Hearnshaw H J and Unwin D J eds *Visualization in geographical information systems* John Wiley, Chichester 65–75.

11- Haklander, A., J. and Delden, A., V., (2003), Thunderstorm predictors and their forecast skill for the Netherlands, *Atmospheric Research* 67– 68, pp 273– 299.

12- Hodanish, S., Wolyn, P, (2012), Lightning Climatology for the State of Colorado, , 23rd International Lightning Detection Conference, 2-3 April, Broomfield, Colorado, USA, 4th International Lightning Meteorology Conference, 2-3 April, Broomfield, Colorado, USA.

13- Huffines, G. R. and Orville, R. E. (1999), Lightning Ground Flash Density and Thunderstorm Duration in the Continental United States: 1989–96. *J. Appl. Meteor.*, 38, pp1013–1019. American Meteorological Society.

14- Illian J, Penttinen A, Stoyan H and Stoyan D (2008), Statistical analysis and modeling of spatial point patterns.