مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگلها و مراتع ایران
جلد ۱۹ شماره ۲، صفحه ۲۹۶-۲۷۹ (۱۴۰۰)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJFRPR.2021.354159.1475
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350859.1400.19.2.6.5

مدل سری زمانی رخدادهای آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان کرمانشاه با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸

معصومه عزیزی[۱]، محمد خسروی[۲] و مرتضی پوررضا[۳*]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی جنگل، گروه منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲- استادیار، گروه منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۳*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران پست‌الکترونیک: pourreza@razi.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۶

چکیده

بررسی و پایش تغییرات رژیم‌های آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع اهمیت ویژه‌ای در برنامه‌ریزی‌های کنونی و آینده مدیریت آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی دارد. هدف از پژوهش پیش‌رو، بررسی تغییرات زمانی رخدادهای آتش‌سوزی در گذشته و پیش‌بینی رخدادهای آتش‌سوزی در آینده با استفاده از مدل سری‌های زمانی بود. به این منظور، داده‌های سری زمانی رخدادهای آتش‌سوزی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ که با استفاده از سنجنده مادیس ثبت شده بود، گردآوری شد. سپس این داده‌ها برای پیروی از مدل سری زمانی و انتخاب بهترین مدل بررسی شدند. در اینجا با توجه به فصلی بودن رخدادهای آتش‌سوزی، از مدل SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) استفاده و پارامترهای مدل برای پیش‌بینی تعداد رخدادها برآورد شد. نتایج نشان داد، آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان کرمانشاه طی این بازه زمانی روند افزایشی اندک، اما معنی‌دار داشت. همچنین مشاهده شد، رخدادهای آتش‌سوزی پراکنش فصلی داشتند و بیشینه رخدادها به‌ترتیب در اواخر تابستان و اوایل پاییز ثبت شده است. با توجه به فصلی بودن رخدادهای آتش‌سوزی و معیارهای برازش مدل، پارامترهای مدل آریمای فصلی انتخاب شد و نتایج نشان داد، مدل اعتبار قابل‌قبولی برای پیش‌بینی آتش‌سوزی سال‌های آینده دارد. با توجه به پیش‌بینی انجام‌شده، رخدادهای آتش‌سوزی نسبت به سال‌های قبل با حدود اعتماد آماری ۹۸ درصد در مراتع و در جنگل‌ها افزایش خواهند داشت. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش چگونگی روند کلی رخدادهای آتش‌سوزی، فصلی بودن، همچنین ماه‌های پرخطر را از نظر رخدادهای آتش‌سوزی نشان داد که می‌تواند به‌عنوان راهنمایی در مدیریت آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: آریما، جنگل، خودهمبستگی، روند، مرتع.

مقدمه

آتش‌سوزی یکی از جدی‌ترین فاکتورهای تهدیدکننده در بوم‌سازگان‌های خاکی است (Renard *et al.*, 2012; Oliveira *et al.*, 2021) و دگرگونی‌های ایجادشده در اثر آن، پیامدهای محیط‌زیستی، اجتماعی و اقلیمی فراوانی دارد (Liu *et al.*, 2010; Rodrigues *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2020). در دهه‌های اخیر، رخداد آتش‌سوزی‌های کنترل‌نشده در دنیا افزایش چشمگیری داشته است (Oliveira *et al.*, 2021)،

به‌طوری‌که Satendra و Kaushik (۲۰۱۴) با بررسی آمار آتش‌سوزی ۶۴ کشور در دنیا، گزارش کردند که بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ به‌طور میانگین سالانه ۴۸۷۰۰۰ رخداد آتش‌سوزی در بوم‌سازگان‌های طبیعی ثبت شده است. از سوی دیگر، گزارش شده است که بیش از ۹۰ درصد رخدادهای آتش‌سوزی در دنیا به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی هستند (Costafreda-Aumedes *et al.*, 2017). با توجه به تغییر در رژیم‌های آتش‌سوزی در بوم‌سازگان‌های خاکی، مدل‌سازی و پیش‌بینی رژیم‌های آتش‌سوزی در آینده به‌عنوان چالش‌های جدیدی در مدیریت آتش‌سوزی محسوب خواهد شد (Costafreda-Aumedes *et al.*, 2017; Viganó *et al.*, 2018; Ferreira *et al.*, 2020).

رژیم‌های آتش‌سوزی که دربرگیرنده ویژگی‌هایی مانند شدت آتش‌سوزی، فصل آتش‌سوزی، اندازه یا گستردگی آتش‌سوزی و فراوانی آتش‌سوزی هستند در بررسی آتش‌سوزی‌ها از اهمیت زیادی برخوردارند (Ye *et al.*, 2017; Krebs *et al.*, 2010; Jiménez –Ruano *et al.*, 2020;). الگوی زمانی که بر زمان رخدادها اشاره دارد، به‌عنوان یکی از ویژگی‌های مهم رژیم‌های آتش‌سوزی است که شناسایی آن جایگاه ویژه‌ای در برنامه‌ریزی و مدیریت روند رخدادهای آتش‌سوزی دارد (Azizi *et al.*, 2019; Jiménez-Ruano *et al.*, 2020). برای بررسی الگوی زمانی فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی در مقیاس منطقه‌ای اغلب از مدل‌های سری زمانی استفاده می‌شود (Rodrigues *et al.*, 2013; Kouassi *et al.*, 2020) که نیازمند اطلاعات دقیقی از رخدادهای آتش‌سوزی در مقیاس منطقه‌ای هستند (Huesca *et al.*, 2014; Miller *et al.*, 2009). البته مشاهدات تکراری در دوره‌های زمانی طولانی‌مدت برای ارزیابی این تغییرات ضروریست (Ferreira *et al.*, 2020).

یک سری زمانی مجموعه‌ای از مشاهدات از یک فرایند تصادفی است که در نقاط گسسته‌ای از زمان که فاصله‌های مساوی دارند، جمع‌آوری و براساس زمان مرتب شده‌اند (Brockwell & Davis, 1996). داده‌های سری زمانی برخلاف نمونه‌های تصادفی از یک جامعه که مستقل از یکدیگر هستند، از هم مستقل نیستند و به‌طور پی‌درپی به هم وابسته‌اند و این وابستگی بین مشاهدات پی‌درپی است (Aminghafari, 2016). درواقع ویژگی مهم داده‌های مربوط به سری زمانی وجود همبستگی بین داده‌هاست. بنابراین، تحلیل اساسی در سری زمانی، با تأکید به بررسی وابستگی داده‌ها به همدیگر است. اهداف مدل‌سازی سری زمانی عبارتند از: ۱- تهیه اطلاعات فشرده از داده‌ها، ۲- تعبیر و تفسیر داده‌ها، ۳- پیش‌بینی مقادیر آینده سری زمانی و ۴- آزمون فرض‌ها. درواقع پیش‌بینی مقادیر آینده سری زمانی از اهداف اصلی مدل‌سازی سری‌های زمانی است. در سری‌های زمانی با بررسی رفتار گذشته سری، نخست مدل مناسبی که می‌تواند مولد داده‌ها باشد، شناسایی می‌شود، سپس با فرض اینکه داده‌ها در آینده نیز رفتاری مشابه خواهند داشت (با فرض مانایی) و از مدل برازش داده شده پیروی خواهند کرد، سعی در پیش‌بینی مقادیر آینده سری می‌شود (Brockwell & Davis, 1996; Aminghafari, 2016). در پژوهش پیش‌رو نیز داده‌های سری زمانی مربوط به رخدادهای آتش‌سوزی در ناحیه رویشی زاگرس بررسی می‌شوند.

در رابطه با بررسی رخدادهای آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس و پیش‌بینی آن در آینده، اطلاعات بسیار اندکی وجود دارد، در ادامه به تعدادی از پژوهش‌های انجام‌شده پیرامون پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی یا پیش‌بینی احتمال خطر آتش‌سوزی اشاره خواهد شد. Garavand و همکاران (۲۰۱۳) الگوی پراکنش مکانی نقاط آتش‌سوزی و خطر وقوع آتش سوزی را در جنگل‌های استان لرستان طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۸۶ مشاهده کردند، به‌طوری‌که بیشترین رخداد آتش‌سوزی در عرصه جنگلی با میانگین تاج‌پوشش ۳۶ درصد و مرتع با میانگین تاج‌پوشش ۲۵ درصد مشاهده شد. همچنین Eskandari و Chuvieco (۲۰۱۵) خطر آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع ایران را مطالعه کردند و احتمال توسعه آتش سوزی را با استفاده از برنامه Flammap به شکل نقشه‌های مکانی خطر وقوع و گسترش آتش‌سوزی به‌دست آوردند، آنان برای بررسی مدل‌ها از محصول آتش فعال سنجنده MODIS

در یک دوره ۱۲ ساله (۲۰۱۳–۲۰۰۲) و مناطق دارای سابقه آتش‌سوزی استفاده کردند. نتایج حکایت از آن داشت که مدل رگرسیون لجستیک، ۷۲/۷ درصد از احتمال وقوع آتش‌سوزی را در عرصه‌های جنگلی و مرتعی به خوبی پیش‌بینی کرده بود. البته پژوهش‌هایی در خارج از کشور انجام شده است که به مدل‌سازی رخدادهای آتش‌سوزی به‌ویژه با استفاده از تجزیه‌وتحلیل سری‌های زمانی پرداخته‌اند. Viganó و همکاران (۲۰۱۸) نیز با استفاده از مدل‌سازی به پیش‌بینی رخدادهای آتش‌سوزی در جنگل‌های برزیل پرداختند. در این پژوهش از داده‌های مربوط به سنجنده‌های AVHRR و MODIS استفاده شد. نتایج استفاده از مدل‌های رگرسیونی و سری زمانی نشان داد، استفاده از مدل سری زمانی ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) با قابلیت بیشتری نسبت به مدل رگرسیونی می‌تواند رخدادهای آتش‌سوزی را پیش‌بینی کند. همچنین Wahyuningsih و همکاران (۲۰۱۹) نیز با استفاده از تجزیه‌وتحلیل سری زمانی، رخدادهای آتش‌سوزی را در جزیره کالیمانتا در کشور اندونزی مدل‌سازی و پیش‌بینی کردند. بر پایه نتایج به‌دست آمده مشاهده شد که بهترین مدل برای داده‌های رخداد آتش‌سوزی، مدل آریمای فصلی بود که قابلیت مناسبی در پیش‌بینی رخدادهای آتش‌سوزی نشان داد. Jiménez –Ruano و همکاران (۲۰۲۰) نیز در پژوهشی به بررسی پویایی رژیم‌های آتش‌سوزی در جنگل‌های اسپانیا پرداختند. آنها از تجزیه‌وتحلیل سری زمانی داده‌های مربوط به فراوانی و گستردگی آتش‌سوزی استفاده کردند. بر پایه نتایج به‌دست آمده از مدل ARIMA پیش‌بینی شد که روند فراوانی و گستردگی آتش‌سوزی در آینده در این ناحیه، به‌نسبت کاهشی خواهد بود.

آتش‌سوزی در ناحیه رویشی زاگرس نیز یکی از تهدیدهای جدی جنگل‌ها و مراتع است و هر ساله بخش‌های وسیعی از پوشش گیاهی و زیستگاه جانوران در این مناطق در اثر آتش‌سوزی از بین می‌رود و احیای پیامدهای آن در این جنگل‌ها نیاز به زمان طولانی دارد (Pourreza *et al.*, 2014; Pourreza *et al.*, 2009). پژوهش‌های انجام‌شده در جنگل‌های زاگرس نشان می‌دهد که میانگین رخدادهای آتش‌سوزی در استان کرمانشاه حدود ۴۹ (Azizi *et al.*, 2020)، در استان لرستان حدود ۵۳ (Garavand *et al.*, 2013) و در استان چهارمحال و بختیاری حدود ۲۴ (Jaafari *et al.*, 2017) فقره در هر سال است، اما در مورد روند تغییرات فصلی و بلندمدت، اطلاعات کافی در دسترس نیست. ازاین‌رو تعیین الگوی زمانی فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی به‌عنوان یکی از اجزای رژیم‌های آتش‌سوزی در ناحیه رویشی زاگرس اهمیت ویژه‌ای دارد. وجود چنین داده‌هایی برای شناسایی الگوی زمانی رخدادهای آتش‌سوزی در سال‌های گذشته و پیش‌بینی الگوی زمانی رخدادها در سال‌های آینده، با هدف برنامه‌ریزی مناسب برای مدیریت آتش‌سوزی بسیار ضروریست. بنابراین، در این پژوهش سعی شده است، با استفاده از داده‌های آتش فعال سنجنده MODIS، الگوی زمانی رخدادهای آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی استان کرمانشاه در بلندمدت (۲۰۱۸–۲۰۰۲) بررسی شود. بنابراین، مهمترین اهداف این پژوهش عبارتند از: ۱) شناسایی دوره‌های با رخداد آتش‌سوزی فراوان در عرصه‌های جنگلی و مرتعی، ۲) شناسایی روند تغییرات فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی در یک دوره ۱۸ ساله و ۳) امکان پیش‌بینی فراوانی رخدادها با استفاده از مدل‌های سری زمانی. با توجه به وجود خلأ اطلاعاتی به‌نسبت بلندمدت درباره روند تغییرات زمانی فراوانی آتش‌سوزی‌ها، نتایج این پژوهش می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های مربوط به مدیریت آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس مفید باشد.

مواد و روش‌ها

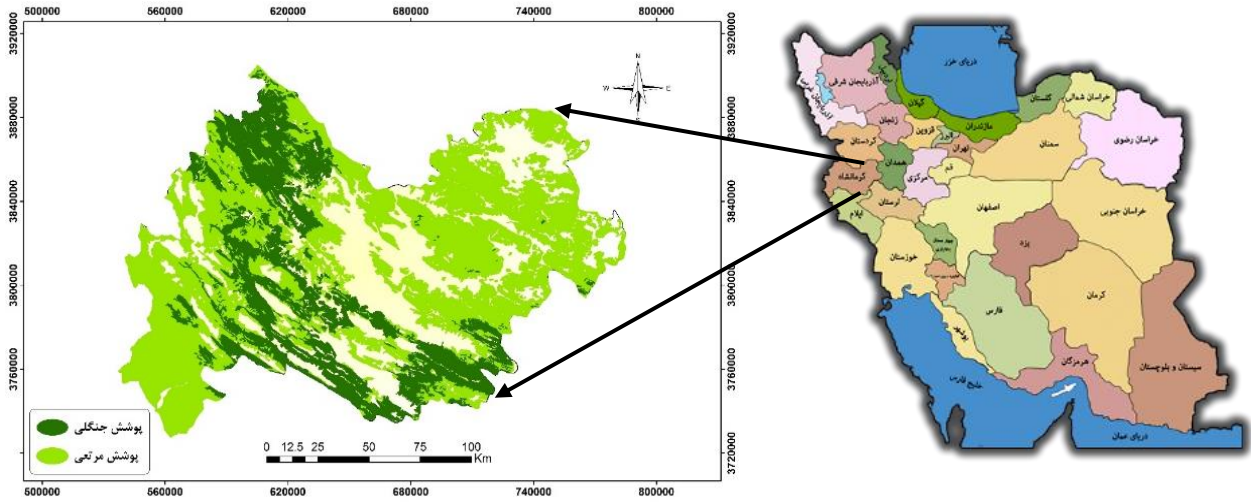
منطقه مورد مطالعه

استان کرمانشاه در زاگرس میانی در غرب کشور (شکل ۱) بین طول‌های جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی واقع شده است. مساحت این استان در حدود ۲۵۰۰۰۰۰ هکتار است که

حدود ۵۲۷۰۰۰ هکتار آن جنگل و حدود ۱۱۹۲۵۸۶ هکتار آن مرتع است که به‌ترتیب ۲۱ و ۴۸ درصد مساحت استان را دربر می‌گیرد (برگرفته از سایت اداره کل منابع طبیعی استان کرمانشاه). میانگین بارندگی ۳۰ ساله استان از ۲۰۰ میلی‌متر در نواحی گرمسیری در جنوب‌غربی تا ۷۵۰ میلی‌متر در نواحی سردسیری در شمال‌غربی متغیر است و دما در مناطق سردسیری از ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا ۴۰+ درجه و در مناطق گرمسیری از ۴- درجه تا ۵۰+ درجه نوسان دارد. رژیم بارندگی استان از نوع مدیترانه‌ای است و طول دوره خشکی ۵ تا ۶ ماه است. بلندترین نقطه استان، کوه شاهو با ارتفاع ۳۴۵۰ متر از سطح دریا در شمال‌غرب استان و کم ارتفاع‌ترین نقطه آن اطراف نفت‌شهر با ارتفاع ۱۸۰ متر از سطح دریاست. جنگل‌های استان کرمانشاه به‌صورت نواری به طول ۱۶۰ کیلومتر و عرض ۵۰ کیلومتر از شمال‌غربی تا جنوب و جنوب‌شرقی کشیده شده‌اند. این جنگل‌ها از جامعه بلوط ایرانی همراه با گونه‌های مازودار، بادام، بنه، ارژن، کیکم، گلابی وحشی و زالزالک تشکیل شده‌اند (Nemati Paykani & Jalilian, 2012). مراتع در غرب استان به شکل اراضی تپه‌ماهوری و دشتی، در مناطق مرکزی، کوهستانی و در نواحی شرقی شامل دشت و کوهستان است.

گردآوری داده‌ها

داده‌های مربوط به رخدادهای آتش‌سوزی در بازه زمانی سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ از مرکز پردازش داده‌های سنجش از دوری سنجنده MODIS (https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov) دریافت شد. این داده‌ها نتیجه پردازش تصاویر سنجنده MODIS بودند و با استفاده از جدیدترین الگوریتم جهانی کشف آتش (Collection 6 MODIS) به‌دست آمدند و اطلاعاتی مانند زمان و مختصات مکانی رخداد آتش‌سوزی را به همراه دارند (Giglio *et al.*, 2018). براساس راهنمای استفاده از این داده‌ها، رخدادهای آتش‌سوزی دارای کد صفر، مربوط به پوشش گیاهی هستند که علاوه‌بر جنگل و مرتع، اراضی کشاورزی را هم دربر می‌گیرند (Giglio *et al.*, 2018). برای محدود کردن داده‌های دریافت‌شده به استان کرمانشاه و محدوده جنگل‌ها و مراتع استان، با همپوشانی داده‌های دارای کد صفر (که نشان‌دهنده رخداد آتش‌سوزی در پوشش گیاهی است)، با لایه‌های پوشش جنگل و مرتعی استان، رخدادهای آتش‌سوزی به همراه اطلاعات زمانی و مکانی آنها در محدوده پوشش جنگلی و مرتعی این استان استخراج شد. برای صحت‌سنجی بیشتر این داده‌ها، فراوانی سه سال پایانی با اطلاعات ثبت‌شده مربوط به رخدادهای آتش‌سوزی توسط اداره کل منابع طبیعی استان مقایسه شد.



شکل ۱- نقشه پراکنش پوشش گیاهی جنگلی و مرتعی استان کرمانشاه (Azizi *et al.*, 2019)

مدل‌سازی سری زمانی

سری زمانی به مجموعه‌ای از مشاهده‌های کمی گفته می شود که در فواصل زمانی و به‌صورت پی‌درپی اندازه‌گیری شده باشد (Brockwell & Davis, 1996). تجزیه‌وتحلیل سری‌های زمانی دو هدف را دنبال می‌کنند: نخست، مدل کردن سازوکار تصادفی و دوم پیش‌بینی مقادیر آینده سری بر مبنای رفتار گذشته. مدل‌سازی یک سری زمانی طی مراحل زیر انجام می‌شود.

الف- انتخاب مدل

ب- برآورد پارامترهای مدل

ج- آزمون مدل

اولین گام در تحلیل‌های سری زمانی، رسم سری براساس زمان است. برای رسم نمودار سری زمانی، زمان ثبت داده‌ها، روی محور افقی و مقدار مشاهده‌ها روی محور عمودی قرار می‌گیرند. پس از رسم نمودار باید سری را از نظر داشتن مؤلفه‌های روند، تغییرات فصلی یا دوره‌ای، تغییرات تصادفی داده‌ها و داده‌های پرت بررسی کرد. اگر رفتار یک سری زمانی نشان‌دهنده کاهش یا افزایش بلندمدت سری باشد، سری زمانی دارای روند است، درصورتی‌که تغییرات فصلی، تغییراتی هستند که به‌طور منظم و متناوب روی می‌دهند، درواقع تفاوت بین تغییرات فصلی و تغییرات دوره‌ای در دوره تناوب آنهاست. در تغییرات پراکنش داده‌ها نیز با گذشت زمان، دامنه پراکندگی داده‌ها زیاد می‌شود، به‌عبارت‌دیگر، داده‌ها از هم دور می‌شوند (Aminghafari, 2016).

سری‌های زمانی به دو نوع سری «مانا» و «نامانا» تقسیم می‌شوند. یک سری، زمانی «مانا» است که خواص آن با گذشت زمان تغییر نکند. درواقع «مانا» بودن سری زمانی، مستلزم وجود دو شرط اساسی نرمال بودن و تصادفی بودن است. یک سری زمانی «نامانا» است که به‌طور تصادفی حول یک میانگین ثابت نوسان نکند (مانند سری‌های دارای روند، مؤلفه فصلی، تغییرات ناگهانی و تغییر در پراکنش). پس از تشخیص انواع نامانایی، دومین گام، رفع موارد نامانایی است که می‌توان با تفاضلی کردن یا پایدار کردن واریانس، آن را به سری‌های مانا تبدیل کرد (Brockwell & Davis, 1996). برای بررسی مانایی سری زمانی، از آزمون دیکی- فولر (Dickey-Fuller) استفاده شد. فرض صفر در آزمون تعمیم‌یافته دیکی- فولر، نامانایی سری زمانی است (Aminghafari, 2016). همچنین، برای بررسی وجود روند و فصلی بودن رخدادهای آتش‌سوزی، به‌ترتیب از آزمون‌های من- کندال (Mann-Kendal) و من- کندال فصلی (Seasonal Mann_Kendall) استفاده شد.

انتخاب مدل

برای انتخاب مدل مناسب برای پیش‌بینی سری زمانی رخدادهای آتش‌سوزی از مدل آریما (Auto Regressive Integrated Moving Average) استفاده شد. آریما، یکی از مدل‌های پیش‌بینی کوتاه‌مدت در تحلیل سری زمانی است که توسط باکس و جنکینز در اوایل دهه ۱۹۷۲ ارائه شد و دو شکل کلی دارد که شامل آریمای غیرفصلی ARIMA(p,d,q) و آریمای فصلی ضربی SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)$_s$ (Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average) است. در این مدل باید مرتبه اتورگرسیو (p)، مرتبه تفاضل‌گیری (d) و مرتبه میانگین متحرک (q) تعیین شود. اولین مقداری که باید تعیین شود، d یعنی مرتبه تفاضل‌گیری است که یک راه عملی باری مانا شدن سری زمانی است (Aminghafari, 2016). درصورتی‌که سری اتورگرسیو یا میانگین متحرک باشد با استفاده از کورلوگرام یا توابع خود همبستگی ACF(Autocorrelation Function) و خودهمبستگی جزئی PACF (Partial Autocorrelation Function) قابل بررسی است و مدل‌های سری زمانی مناسب به داده‌ها برازش داده می‌شوند. همچنین، با استفاده از رفتار این دو تابع خواص مانایی و فصلی بودن داده‌ها بررسی می‌شوند. تابع خودهمبستگی، مرتبه اتورگرسیو و تابع خودهمبستگی جزئی، مرتبه میانگین متحرک را تعیین می‌کند. اگر نمودار ACFدارای الگوی تدریجی نزولی یا نمایی باشد، حکایت از نامانا بودن مدل است و نیاز به تفاضل‌گیری یا تغییر در

تفاضل‌گیری یا شاید تبدیل دارد. اگر ACF و PACF هر دو دارای روند نزولی به سمت صفر باشند، نشان‌دهنده الگوی مرکب ARMA(p,q) است. در صورت نامانا بودن و نیاز به تفاضل‌گیری مدل ARMA(p,q) به ARIMA(p,d,q) تبدیل می‌شود. اگر تابع خودهمبستگی و تابع خودهمبستگی جزئی دارای یک روند متناوب باشند، نشان‌دهنده یک الگوی فصلی است (Brockwell & Davis, 1996). پس از رسم نمودار، اگر داده‌ها دارای روند صعودی، نزولی یا الگوی فصلی باشند، داده‌ها باید مانا شوند. دو شکل کلی مدل‌های آریما، عبارتند از: آریمای غیرفصلی (p,d,q) و آریمای فصلی ضربی (p,d,q) × (P,D,Q) که q و p به‌ترتیب پارامترهای اتورگرسیو و میانگین متحرک غیرفصلی و P و Q پارامترهای اتورگرسیو و میانگین متحرک فصلی است. دو پارامتر دیگر یعنی d و D پارامترهای تفاضلی برای مانا کردن سری زمانی است. عملگرهای تفاضلی مورد استفاده برای سری‌های زمانی پویا عبارتند از: $\Delta = 1 - B$ (B عملگر جهش به عقب است) و $\Delta^d = (1 - B)^d$ برای تفاضل‌گیری فصلی است. این شکل از مدل‌های آریمای غیرفصلی به شکل رابطه زیر نوشته می‌شود.

رابطه(۱)

$$\Phi(B)Z_t = \Phi(B)(1 - B)Z_t = \theta(B)a$$

Zt سری‌های مشاهده شده، Φ(B) رتبه چندجمله‌ای p و θ(B) رتبه چندجمله‌ای q است. برای سری‌های زمانی فصلی که بیشتر به‌صورت چرخه‌ای هستند، تفاضل‌گیری فصلی به‌کار برده می‌شود که در اینجا مدل فصلی- ضربی را در این رابطه خواهیم داشت.

رابطه(۲)

$$\varphi_p(B)\Phi_p(B^s)\Delta^d\Delta_s^D = (z_t - \bar{Z}) = \theta_q(B)\Theta_Q(B^s)at$$

Θq و Φp به‌ترتیب چندجمله‌ای‌های فصلی Q و P هستند. رتبه مدل‌های آریمای فصلی- ضربی به شکل (p,d,q) (P,D,Q)× است.

بعد از تعیین خط روند، مقدار روند، یعنی مقادیری از (x) که در ازای تغییرات زمان (Y) مشاهده‌ها به‌دست می‌آیند، مشخص می‌شود. برای تمام منحنی‌ها، تابع برازش شده، یک اندازه‌گیری از روند را به‌دست می‌آورد و باقی‌مانده‌ها که تفاوت بین مشاهده‌ها و مقادیر متناظر منحنی برازش شده هستند، برآوردی از نوسان‌های موضعی را فراهم می‌کنند (Aminghafari, 2016).

پیش‌بینی

یکی از مهمترین اهداف مدل‌سازی سری‌های زمانی، پیش‌بینی مقادیر آینده از متغیر مورد بررسی است. در سری‌های زمانی با بررسی رفتار گذشته سری، مدلی را که می‌تواند دربرگیرنده داده‌ها باشد، شناسایی می‌کنند، سپس با فرض اینکه داده‌ها در آینده نیز رفتاری مشابه خواهند داشت (با فرض مانایی) و از مدل برازش داده شده پیروی خواهند کرد، مقادیر آینده سری پیش‌بینی می‌شود (Hyndman *et al.*, 2021). برای بررسی صحت مدل‌های برازش داده شده به داده‌ها، باقی‌مانده‌های مدل از نظر نرمال بودن و خودهمبستگی، همچنین آزمون لیانگ- باکس بررسی شدند. بررسی سری زمانی رخدادهای آتش‌سوزی با استفاده از نرم‌افزار R و با به‌کارگیری بسته‌های forecast (Hyndman *et al.*, 2021) و timeSeries (Wuertz, 2020) انجام شد. ذکر این نکته لازم است که بسته forcast در برنامه R دارای توانایی انتخاب بهترین مدل با استفاده از تابع auto.arima است که در این پژوهش علاوه‌بر بررسی توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی برای برآورد پارامترهای مدل، سعی شد با استفاده از این تابع، بهترین مدل انتخاب و برازش داده شود (Aminghafari, 2016) و از ارائه نتایج مربوط به توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی صرف‌نظر شد.

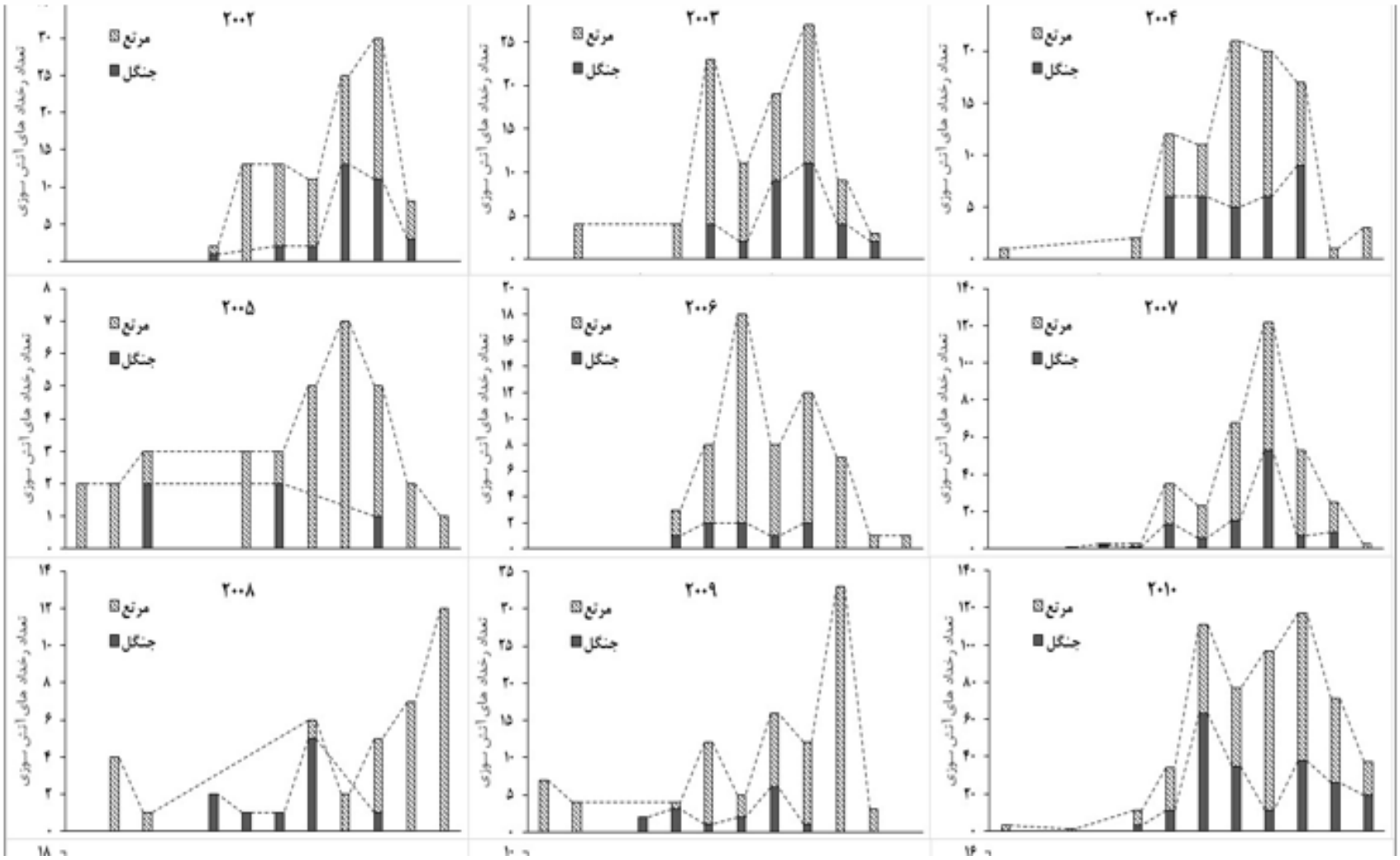
نتایج

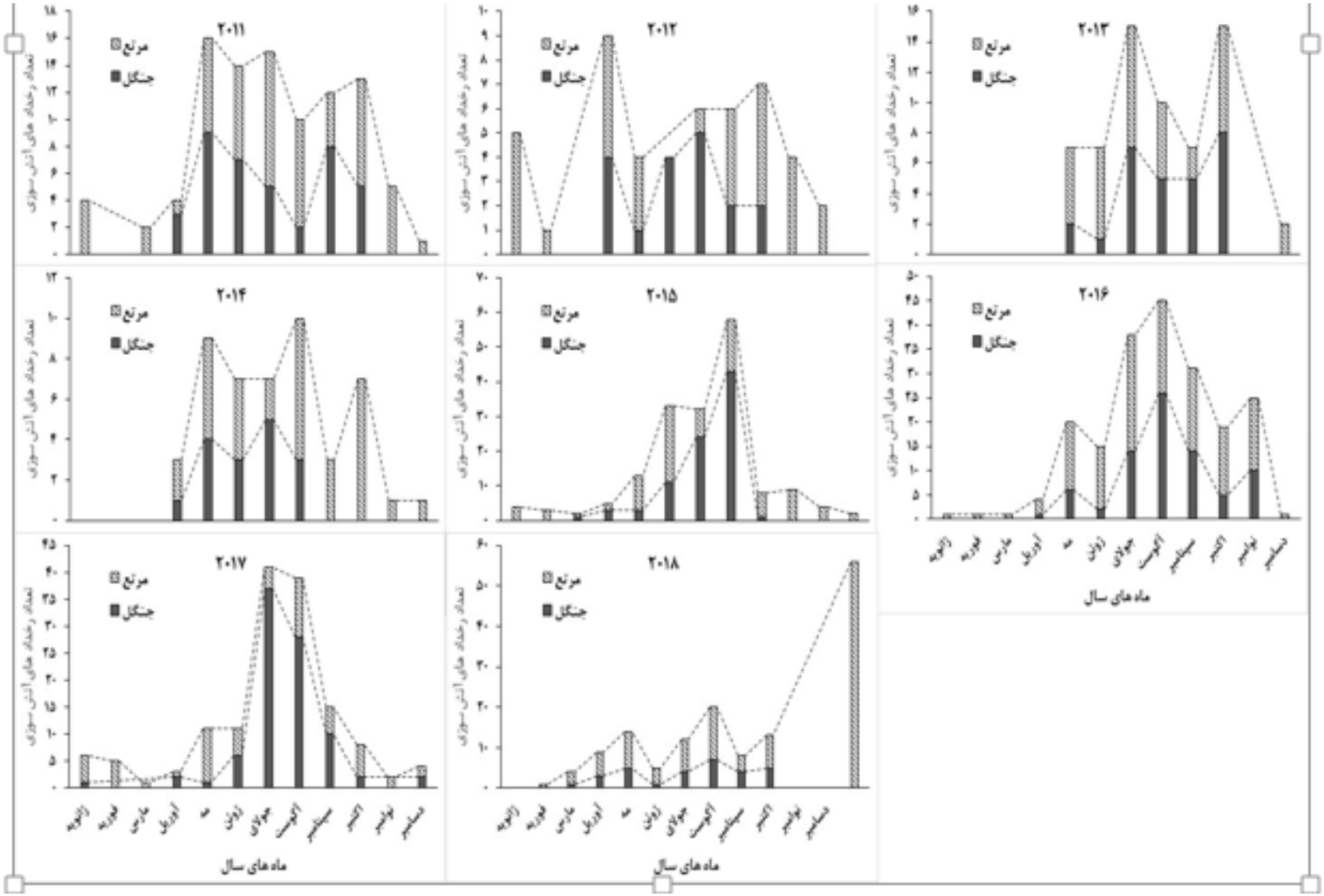
تعداد رخدادهای آتش‌سوزی در ماه‌های سال

مقایسه پراکنش رخدادهای آتش‌سوزی در ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد، به‌طورکلی دامنه پراکنش ماهانه رخدادهای آتش‌سوزی در جنگل‌ها محدودتر از مراتع است (شکل۲). به‌طوری‌که در مراتع، رخداد آتش‌سوزی در بیشتر ماه‌های سال وجود دارد، ولی این رخدادها در جنگل‌ها در ماه‌های محدودتری از سال مشاهده می‌شوند. مقایسه بیشینه رخدادهای ماهانه نشان داد، در مراتع بیشترین رخداد آتش‌سوزی در ماه سپتامبر سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۰ به‌ترتیب با تعداد ۶۹ و ۸۶ رخداد بوده است. البته بیشینه تعداد رخدادهای ماهانه در جنگل، مربوط به ماه جولای ۲۰۱۰ با تعداد ۶۳، همچنین ماه آگوست ۲۰۱۵ با تعداد ۴۳ رخداد بود. نتایج مربوط به تعداد رخدادهای آتش‌سوزی در سال‌های مختلف نیز نشان داد که بیشترین تعداد آتش‌سوزی‌ها چه در اراضی جنگلی و چه در اراضی مرتعی در سال ۲۰۰۷ و ۲۰۱۰ (به‌ترتیب تعداد ۳۳۵ و ۵۳۶ رخداد) بوده است که به‌طور مشابه در هر دو سال بیشنه این رخدادها در ماه‌های جولای (تیر تا مرداد) و اکتبر (مهر تا آبان) بوده است (شکل ۲). همچنین بررسی فراوانی تجمعی رخدادهای آتش‌سوزی نشان می‌دهد که بیشینه رخدادهای آتش‌سوزی در جنگل‌های استان در میانه تا اواخر فصل تابستان و در مراتع استان در اوایل تا میانه فصل پاییز است (شکل ۳).

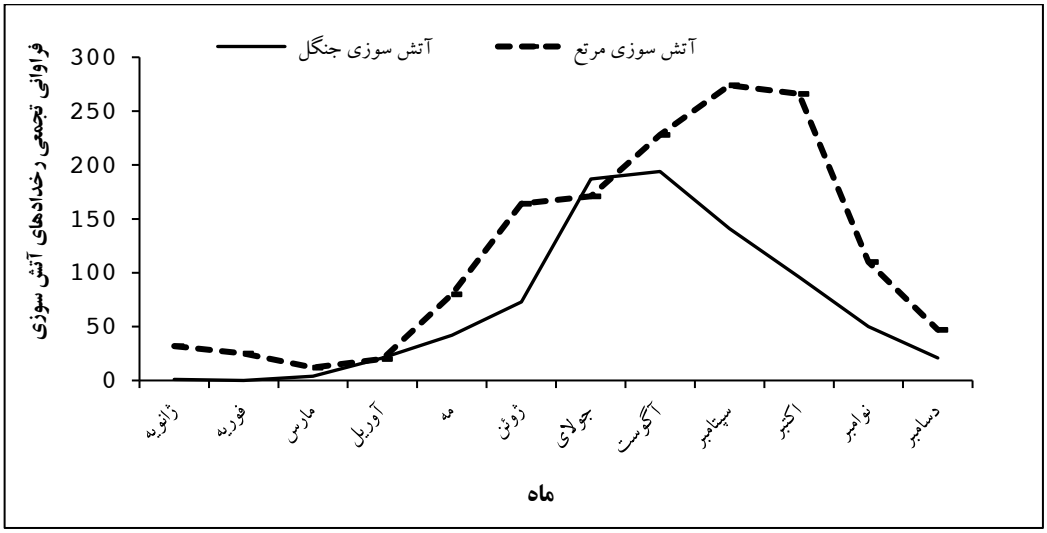
تحلیل سری زمانی رخدادهای آتش‌سوزی

تجزیه سری زمانی رخدادهای آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ به مؤلفه‌های روند، فصلی و تصادفی در شکل ۴ خلاصه شده است. با توجه به نتایج آزمون Man-Kendall هم در جنگل و هم در مرتع وجود روند در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۱). همچنین نتایج آزمون من- کندال فصلی نیز نشان داد که وجود فصلی بودن رخدادهای آتش‌سوزی هم در جنگل و هم در مرتع به‌ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۱). در مورد مانایی سری زمانی رخدادهای آتش‌سوزی با توجه به اینکه هم در مرتع و هم در جنگل نتایج معنی‌داری آزمون دیکی- فولر تعمیم‌یافته بیشتر از حد بحرانی (۵ درصد) است، بنابراین فرض نامانایی سری پذیرفته می‌شود (جدول ۱).

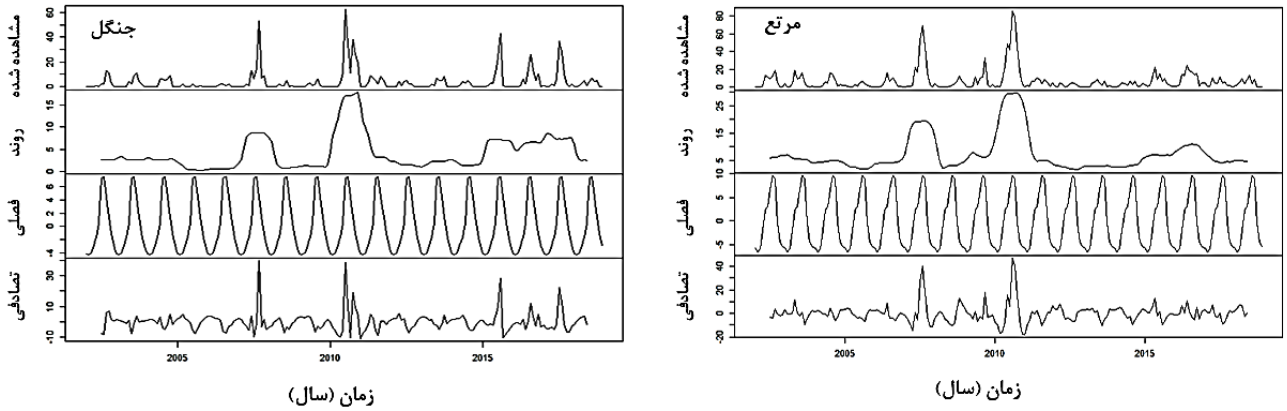

۲۰۰۲
۲۰۰۳
۲۰۰۴
۲۰۰۵
۲۰۰۶
۲۰۰۷
۲۰۰۸
۲۰۰۹
۲۰۱۰
مرتع
جنگل
تعداد رخداد های آتش سوزی



شکل ۲- فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی در ماه‌های مختلف طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸



شکل ۳- فراوانی تجمعی رخدادهای آتش‌سوزی در ماه‌های مختلف طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸



شکل ۴- تجزیه سری زمانی رخدادهای آتش‌سوزی به مؤلفه‌های روند، فصلی، تصادفی در مرتع (راست) و جنگل (چپ)

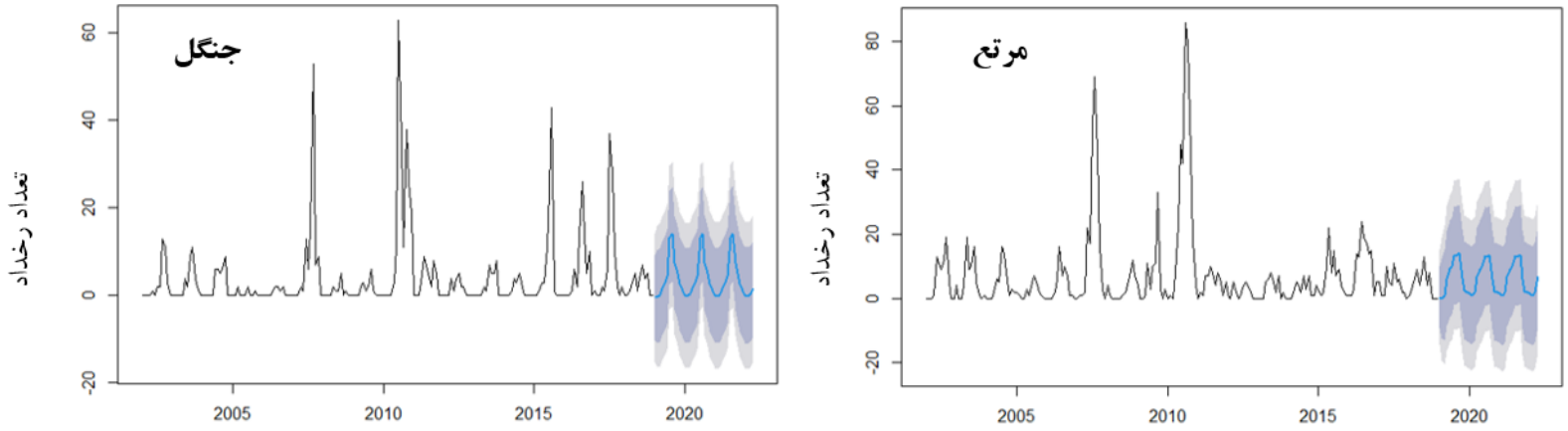
جدول ۱- نتایج آزمون وجود روند، فصلی بودن و مانایی سری زمانی رخدادهای آتش‌سوزی از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸

آزمون	عرصه	مقدار آماره آزمون	سطح معنی‌داری (**p-value**)
Mann-Kendall (وجود روند)	جنگل	۰/۱۱	۰/۰۲۵
	مرتع	۰/۰۷	۰/۰۱۶
Seasonal Mann-Kendall (فصلی بودن)	جنگل	۰/۱۹	۰/۰۰۱
	مرتع	۰/۱۱	۰/۰۳۵
Augmented Dickey-Fuller (مانایی)	جنگل	-۳/۴۱	۰/۰۵۳
	مرتع	-۳/۴۰	۰/۰۵۴

جدول ۲- پارامترهای مدل آریمای فصلی و شاخص‌های کیفیت مدل

عرصه‌های طبیعی	مدل	پارامتر						معیار کیفیت مدل		
		ar۱	sma1					AIC	AICc	BIC
جنگل	SARIMA (۱,۰,۰)(۰,۱,۱)									
	برآورد	۰/۴۵۶	-۰/۸۸۳					۱۶۲۴/۶۱	۱۶۲۵/۳۴	۱۶۵۱/۱۹
	خطای استاندارد	۰/۰۶۴	۰/۰۶۲							
		ar۱	ma1	ma2	sma1	sma2		AIC	AICc	BIC
مرتع	SARIMA (۱,۰,۲)(۰,۱,۲)									
	برآورد	۰/۶۵۹	۰/۱۵۶	۰/۱۵۴	-۰/۳۵	۰/۰۵۸۵		۱۳۴۴/۱۷	۱۳۴۴/۶۳	۱۳۶۳/۷۲
	خطای استاندارد	۰/۰۸۳	۰/۱۰۰۰	۰/۰۸۶	۰/۰۸۲	۰/۰۸۴				

SARIMA (آریمای فصلی)، ar (اتورگرسیو)، ma (میانگین متحرک)، sma (میانگین متحرک فصلی)، AIC (معیار آکاییک)، AICc (معیار اصلاح‌شده آکاییک)، BIC (معیار اطلاعات بیزی)



شکل ۵- پیش‌بینی رخدادهای آتش‌سوزی در مرتع (راست) و جنگل (چپ) بر اساس مدل آریمای فصلی

مدل آریمای فصلی

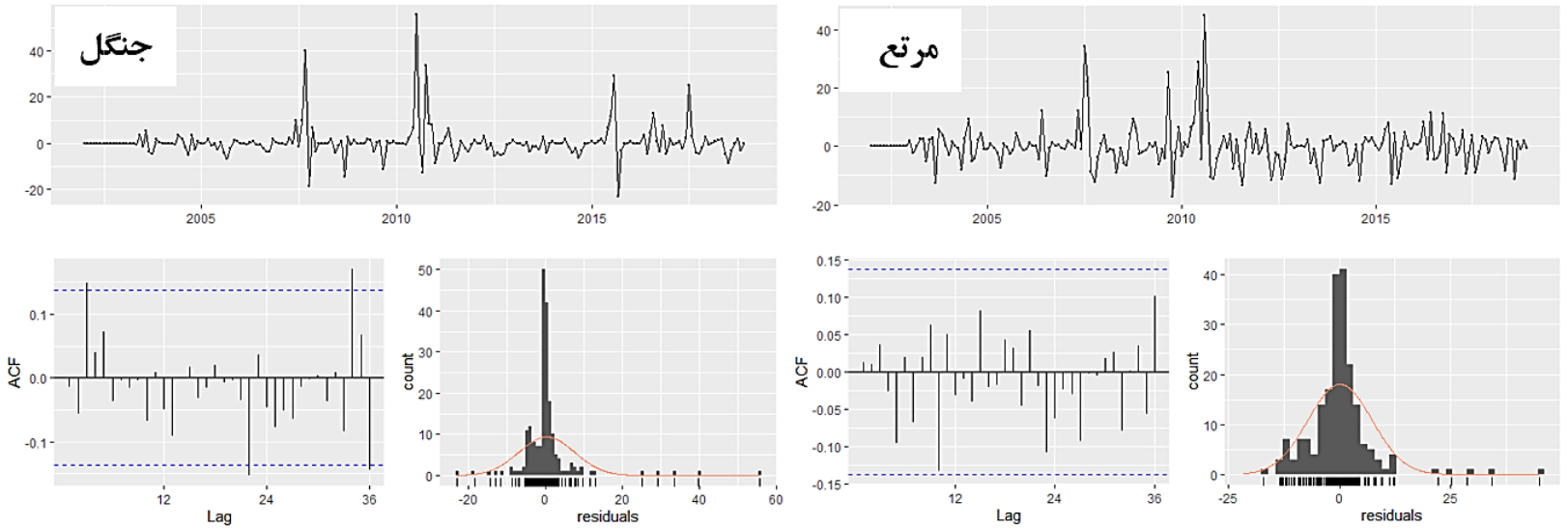
با توجه به فصلی بودن رخدادهای آتش‌سوزی، نتایج به‌دست آمده در جدول ۲ خلاصه شده است. در این مدل، مرتبه اتورگرسیو (**p**)، مرتبه تفاضل‌گیری (**d**) و مرتبه میانگین متحرک (**q**) به‌ترتیب مقادیر ۳، ۰ و ۳ است. ازآنجایی‌که در این سری زمانی تفاضل‌گیری انجام نشده است، مقدار **d** برابر صفر در نظر گرفته شد. مدل آریمای به‌دست آمده، براساس شاخص آکاییک انتخاب شده و از میان مدل‌های مورد بررسی به‌دلیل داشتن شاخص آکاییک کمتر، به‌عنوان بهترین مدل در نظر گرفته شد (جدول ۲).

پیش‌بینی فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی

نتایج مربوط به پیش‌بینی ۳ ساله بر پایه مدل آریمای فصلی به‌دست آمده از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ در جنگل و مرتع، به‌طور جداگانه در شکل ۵ نشان داده شده است. مقادیر این پیش‌بینی در دامنه‌های اطمینان ۹۸ و ۶۸ درصد نمایش داده شده است. با در نظر گرفتن دامنه‌های اطمینان مشاهده می‌شود که تعداد رخدادها در مرتع و جنگل نسبت به سال ۲۰۱۰ به بعد افزایش خواهد داشت، اگرچه در جنگل تعداد این رخدادها نسبت به سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ کمتر خواهد بود.

بررسی باقی‌مانده‌های مدل آریمای فصلی

بررسی باقی‌مانده‌های مدل آریمای فصلی نشان داد، باقی‌مانده‌های مدل از توزیع نرمال پیروی می‌کنند، بنابراین مدل برازش شده، مدل مناسبی بوده است (شکل ۶). همچنین نتایج آزمون لیانگ- باکس نیز نشان داد که توزیع باقی‌مانده‌های مدل برازش شده، اختلاف معنی‌داری با توزیع نرمال ندارد (جدول ۳).



شکل ۶- تابع خودهمبستگی (ACF) و توزیع باقی‌مانده‌های مدل آریمای فصلی در مرتع (راست) و جنگل (چپ)

جدول ۳- نتایج آزمون لیانگ- باکس برای بررسی توزیع نرمال باقی‌مانده‌های مدل آریمای فصلی

عرصه	مقدار آماره (Q)	p-value
مرتع	۱۶/۶۴۹	۰/۶۲۴
جنگل	۱۷/۴۷	۰/۷۳۶

بحث

نتایج مربوط به تجزیه سری زمانی رخدادهای آتش‌سوزی در ناحیه رویشی زاگرس در استان کرمانشاه نشان داد، رخدادهای آتش‌سوزی از یک رفتار فصلی پیروی می‌کنند. به‌طوری‌که در زمستان و بهار رخدادهای آتش‌سوزی به کمینه می‌رسند و بیشینه رخدادهای آتش‌سوزی در فصل‌های تابستان و پاییز مشاهده می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد تفاوت نقطه بیشینه رخدادهای آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع، به‌دلیل فعالیت‌های کشاورزی و سوزاندن کلش در زمین‌های زراعی است که سبب گسترش آتش به مراتع گسترش می‌شود، به همین دلیل در اوایل فصل پاییز، بیشینه رخدادهای آتش‌سوزی در مراتع دیده شده است، اما بیشینه رخدادهای آتش‌سوزی در جنگل‌ها در ماه‌های میانی تا پایانی تابستان است. اگرچه عوامل زیادی در روند کلی و فصلی رخدادهای آتش‌سوزی مؤثر هستند، اما فراهم بودن ماده سوختنی مناسب، نقش کلیدی دارد. خشک بودن پوشش گیاهی به‌عنوان ماده سوختنی، یکی از عواملی است که شرایط را برای رخداد آتش‌سوزی فراهم می‌کند. با توجه به نیمه‌مدیترانه‌ای بودن اقلیم اکوسیستم جنگل‌های زاگرس و وجود یک دوره خشکی چندماهه (Jazirehi & Ebrahimi Rastaghi, 2003)، شرایط برای رخداد آتش‌سوزی در این دوره خشک فراهم شده و به‌همین دلیل رخدادهای آتش‌سوزی در این دوره خشک متمرکز شده است. فصلی بودن رخدادهای آتش‌سوزی در بسیاری از اکوسیستم‌های جنگلی به‌ویژه ناحیه مدیترانه‌ای گزارش شده است (Rodrigues *et al.*, 2013; Viganó *et al.*, 2018; Ferreira *et al.*, 2020). در رابطه با فصلی بودن رخدادهای آتش‌سوزی، نتایج پژوهش Ferreira و همکاران (۲۰۲۰) در پایش آتش‌سوزی در جنگل‌های دنیا طی سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۰۳ که با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS انجام شده بود، نشان داد که فصل آتش‌سوزی در حدود ۹۹ درصد از جنگل‌های دنیا کوتاه‌تر از ۷ ماه است. همچنین نشان داده شد، در بیشتر نواحی، فصل آتش‌سوزی در حال کوتاه شدن است. در مورد تغییر در روند رخدادهای آتش‌سوزی، نتایج پژوهش جاری نشان داد، رخدادهای آتش‌سوزی در بخش‌های جنگل و مرتع ناحیه رویشی زاگرس در استان کرمانشاه طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ از یک روند افزایشی پیروی می‌کند. اگرچه این روند چندان در روی نمودار مشهود نیست، اما نتایج آزمون آماری ویژه، بر معنی‌دار بودن روند رخدادها هم در مراتع و هم در جنگل‌های استان دلالت داشت. در این زمینه، نتایج پژوهش Rodrigues و همکاران (۲۰۱۳) که طی سال‌های ۲۰۰۹-۱۹۸۵ در جنگل‌های مناطق مدیترانه‌ای اروپا انجام شده بود، نشان داد که رخدادهای آتش‌سوزی در این مناطق از یک روند افزایشی پیروی می‌کند. نتایج پژوهش Miller و همکاران (۲۰۰۹) که تغییرات شدت آتش‌سوزی در جنگل‌های ناحیه مدیترانه‌ای جنوب‌غربی ایالات متحده امریکا را با استفاده از مدل ARIMA بررسی کردند نیز نشان داد، طی سال‌های ۱۹۰۸ تا ۲۰۰۶ هم شدت و هم گستره‌های آتش‌سوزی از یک روند افزایشی پیروی کرده است. به‌طور معمول در بسیاری از پژوهش‌های انجام شده برای پایش و پیش‌بینی رخدادهای آتش‌سوزی، شدت و اندازه گستره‌های آتش‌سوزی از مدل‌های سری زمانی استفاده شده است (Huesca *et al.*, 2014; Ferreira *et al.*, 2020). در این میان مدل ARIMA یکی از متداول‌ترین مدل‌هایی است که کاربرد فراوانی در این زمینه دارد

(Kouassi *et al.*, 2020). به‌طوری‌که نتایج Viganó و همکاران (۲۰۱۸) در مقایسه پیش‌بینی رخدادهای آتش‌سوزی با استفاده از مدل‌های رگرسیونی و مدل آریما در جنگل‌های برزیل نشان داد که استفاده از مدل سری زمانی ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) دارای خطای کمتر و اعتبار بیشتری نسبت به مدل رگرسیونی است. البته همان‌گونه که گفته شد، در مناطقی که دارای فصل خشک هستند، رخدادهای آتش‌سوزی به‌طورکلی از یک رفتار فصلی پیروی می‌کنند و به‌همین دلیل در این موارد، به‌کارگیری مدل آریمای فصلی (SARIMA) مناسب‌تر است (Kouassi *et al.*, 2020). نتایج این پژوهش که از مدل آریمای فصلی برای تحلیل سری زمانی استفاده کرد، نشان می‌دهد در عرصه‌های جنگلی استان، تعداد رخدادهای آتش‌سوزی از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ بیشتر از سال ۲۰۱۸، ولی کمتر از سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۵ خواهد بود. در مقابل، تعداد رخدادهای آتش‌سوزی پیش‌بینی شده در عرصه‌های مرتعی از ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ با اطمینان ۹۸ درصد بیشتر از سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۸ خواهد بود. بررسی توزیع نرمال باقی‌مانده‌های مدل و خودهمبستگی باقی‌مانده‌ها حکایت از اعتبار قابل قبول مدل در پیش‌بینی رخدادهای آتش‌سوزی در سه سال آینده داشت (Brockwell & Davis, 1996; Aminghafari, 2016; Kouassi *et al.*, 2020). نتایج پژوهش Wahyuningsih و همکاران (۲۰۱۹) در مورد استفاده از سری زمانی و مدل آریمای فصلی در جزیره کالیمانتا در کشور اندونزی نیز نشان داد که بهترین مدل برای داده‌های رخداد آتش‌سوزی، مدل آریمای فصلی بود که قابلیت مناسبی در پیش‌بینی رخدادهای آتش‌سوزی نشان داد. در مورد پیش‌بینی تعداد رخدادهای آتش‌سوزی با استفاده از مدل آریما نتایج پژوهش Jiménez-Ruano و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که تعداد رخدادهای آتش‌سوزی در جنگل‌های اسپانیا کاهش خواهد یافت، اگرچه به‌دلیل فعالیت‌های کشاورزی احتمال افزایش تعداد رخدادهای آتش‌سوزی در فصل زمستان به‌دلیل فعالیت‌های کشاورزی وجود دارد. در همین رابطه، نتایج پژوهش Kouassi و همکاران (۲۰۲۰) نیز که از مدل آریمای فصلی برای بررسی تغییرات رخدادهای آتش‌سوزی در اکوسیستم ساوانای تروپیکال استفاده کرده بودند نشان داد که استفاده از مدل آریمای فصلی برای پیش‌بینی رخدادهای آتش‌سوزی و گستره‌های آن از قابلیت و اعتماد بالایی برخوردار است. در این پژوهش نیز به مشابه پژوهش جاری از دامنه داده‌های به‌نسبت مشابهی (۲۰۱۹-۲۰۰۱) استفاده شد و نتایج مربوط به پیش‌بینی رخدادهای آتش‌سوزی تا سال ۲۰۲۳ نشان داد که تعداد رخدادهای آتش‌سوزی افزایش اندکی خواهند داشت و احتمالاً این روند با افزایش میانگین دما و طولانی شدن فصل خشک به‌طور محلی مرتبط است. با توجه به تغییرات اقلیمی و نقش پارامترهای آب‌وهوایی در رفتار و رژیم آتش‌سوزی، بررسی و پایش تغییرات روند گستره‌های آتش‌سوزی، همچنین شدت آتش‌سوزی در ناحیه رویشی زاگرس و پیش‌بینی آن در سال‌های آینده از اهمیت زیادی برای برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌های مربوط به مدیریت آتش‌سوزی برخوردار است. به‌طورکلی نتایج پژوهش جاری نشان داد: ۱) رخدادهای آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان کرمانشاه به‌صورت فصلی است و بیشینه رخدادها در بیشتر سال‌ها در اواخر فصل تابستان است، ۲) طول دوره رخدادهای آتش‌سوزی در مراتع بیشتر از جنگل‌هاست، ۳) گرچه تغییرات تعداد رخدادهای آتش‌سوزی از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ خیلی محسوس نیست ولی از نظر آماری دارای روند افزایشی بوده است و ۴) به‌طورکلی تعداد رخدادها در مرتع و جنگل نسبت به سال‌های ۲۰۱۰ به بعد افزایش خواهد داشت، گرچه پیش‌بینی می‌شود در جنگل تعداد این رخدادها نسبت به سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ کمتر باشد. بنابراین همان طور که گفته شد پیشنهاد می‌شود پژوهش‌هایی درباره بررسی سری زمانی تغییرات گستره‌های آتش‌سوزی و شدت آتش‌سوزی در ناحیه رویشی زاگرس انجام شود تا اطلاعات جامعی در مورد روند تغییرات رژیم آتش‌سوزی برای برنامه‌ریزی و مدیریت آتش‌سوزی در این ناحیه در دسترس باشد.

منابع مورد استفاده

-Aminghafari, M., 2016. Time series forecasting-from elementary to advance with applications in R. Amir Kabir University of Technology, 258p.
-Azizi, M., Khosravi, M. and Pourreza, M., 2020. Frequency of fire incidence in relation to Zagros forests and rangelands physiography (Kermanshah province) using MODIS Active Fire Data. Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 18: 42-55.
-Brockwell, P.J. and Davis, R.A., 1996. Introduction to time series and forecasting. Springer Verlag, New York, Inc., 449p.
-Costafreda-Aumedes, S., Comas, C. and Vega-Garcia, C., 2017. Human-caused fire occurrence modelling in perspective: a review. International Journal of Wildland Fire, 26: 983-998.
-Eskandari, S. and Chuvieco, E., 2015. Fire danger assessment in Iran based on geospatial information. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 42: 57-64.
-Ferreira, L.N., Vega-Oliveros, D.A., Zhao, L., Cardoso, M.F. and Macau, E.E.N., 2020. Global fire season severity analysis and forecasting. arXiv, 1903, 06667v3:1-16.
-Garavand, S., Yaralli, N. and Sadeghi, H., 2013. Spatial pattern and mapping fire risk occurrence at natural lands of Lorestan province. Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 21: 231-242 (In Persian).
-Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D.P., Humber, M.L. and Justice, C.O., 2018 The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. Remote Sensing of Environment, 217: 72-85.
-Giglio, L., Schroeder, W. and Justice, C.O., 2018. MODIS collection 6 active fire product user's guide, revision B. Technical Report, University of Maryland, 64p.
-Huesca, M., Litago, J., Merino-de-Miguel, S., Cicuendez-López-Ocaña, V. and Palacios- rueta, A., 2014. Modeling and forecasting MODIS-based Fire Potential Index on a pixel basis using time series models. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 26: 363.
-Hyndman, R., Athanasopoulos, G., Bergmeir, C., Caceres, G., Chhay, L., O'Hara-Wild, M., Petropoulos, F., Razbash, S., Wang E. and Yasmeen, F., 2021. Forecast: Forecasting functions for time series and linear models. R package version 8,14.
-Jaafari, A., Mafi Gholami, D. and Zenner, E., 2017. A Bayesian modeling of wildfire probability in the Zagros Mountains, Iran. Ecological Informatics, 39: 32-44 (In Persian).
-Jazirehi, M.H. and Ebrahimi Rastaghi, M., 2003. Silviculture in Zagros. University of Tehran, Tehran, 560p (In Persian).
-Jiménez-Ruano, A., Rodrigues, M. and de la Riva Fernández, J., 2020. Fire regime dynamics in mainland Spain. Part 2: a near -future prospective of fire activity. Science of the Total Environment, 705: 135842.
-Kouassi, J-L., Wandan, N. and Mbow, C., 2020. Predictive modeling of wildfire occurrence and damage in a Tropical Savanna ecosystem of west Africa. Fire, 3: 42.
-Krebs, P., Pezzatti, G.B., Mazzoleni, S., Talbot, L.M. and Conedera, M., 2010. Fire regime: history and definition of a key concept in disturbance ecology. Theory in Biosciences, 129: 53-69.
-Liu, T., Mickley, L.J., Marlier, M.E., DeFries, R.S., Khan, M.d.F., Latif, M.T. and Alexandra, K., 2020. Diagnosing spatial biases and uncertainties in global fire emissions inventories: Indonesia as regional case study. Remote Sensing of Environment, 237: 111557.
-Liu, Y., Stanturf, J. and Goodrick, S., 2010. Trends in global wildfire potential in a changing climate. Forest Ecology and Management, 259: 685-697.
-Miller, J.D., Safford, H.D., Crimmins, M. and Thode, A.E., 2009. Quantitative evidence for increasing forest fire severity in the Sierra Nevada and southern Cascade mountains, California and Nevada, USA. Ecosystems, 12: 16-32.
-Nemati Paykani, M. and Jalilian, N., 2012. Medicinal plants of Kermanshah province. Taxonomy and Biosystematics, 4: 69-78.
-Oliveira, S., Rocha, J. and Sá, A., 2021. Wildfire risk modeling. Current Opinion in Environmental Science and Health, 23: 100274.
-Pourreza, M., Hosseini, S.M., Safari Sinegani, A.A., Matinizadeh, M. and Dick, W.A., 2014. Soil microbial activity in response to fire severity in Zagros oak (*Quercus brantii* Lindl.) forests, Iran, after one year. Geoderma, 213: 95-102.
-Pourreza, M., Safari, H., Khodakarami, Y. and Mashayekhi, SH., 2009. Preliminary results of post-fire resprouting of manna oak (*Quercus brantii* Lindl.) in the Zagros forests, Kermanshah. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 17: 225-236.
-Renard, Q., Pe´lissier, R., Ramesh, B.R. and Kodandapani, N., 2012. Environmental susceptibility model for predicting forest fire occurrence in the Western Ghats of India. International Journal of Wildland Fire, 21: 368-379.
-Rodrigues, M., Miguel, J.S, Oliveira, S., Moreira, F. and Camia, A., 2013. An insight into spatial-temporal trends of fire ignitions and burned areas in the European Mediterranean countries. Journal of Earth Science and Engineering, 3: 497-505.
-Satendra and Kaushik, A.D., 2014. Forest fire diaster management. National Institute of Disaster

Management, Ministry of Home Affairs, New Delhi, 302p.
-Viganó, H.H.d.G., Souza, C.C.de., Reis Neto, J.F., Cristaldo, M.F. and Jesus, L.de. 2018. Prediction and modeling of forest fires in the Pantanal. Marcia Ferreira Cristaldo, Leandro de Jesus, 33: 306-316.
-Wahyuningsih, S., Goejantoro, R., Siringoringo, M., Saputra, A.R. and Aminah, S., 2019. Application seasonal autoregressive integrated moving average to forecast the number of east Kalimantan hotspots. Journal of Physics: Conference Series, 1351, 012085.
-Wuertz, D., 2020. TimeSeries: Financial Time Series Objects (Rmetrics). R package version, 3062, 100.
-Ye, T., Wang, Y., Guo, Z.X. and Li, Y.J., 2017. Factor contribution to fire occurrence, size, and burn probability in a subtropical coniferous forest in east China. PLoS ONE, 12: e0172110.

Time series model of fires forests and rangelands of Kermanshah province using MODIS data from 2002 to 2018

M. Azizi[1], M. Khosravi[1] and M. Pourreza[2*]

1- Department of Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran
2*- Corresponding author, Department of Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran, E-mail: pourreza@razi.ac.ir

Received: 14.04.2021 Accepted: 07.08.2021

Abstract

Examining and monitoring the history of changes in fire regimes in forests and pastures has a key role in the current and future planning of fire management in natural areas. The purpose of this study was to monitor the temporal changes in fire events in the past and the possibility of predicting future fire events using a time series model in Kermanshah province. For this purpose, MODIS time series data of fire events were collected from 2002 to 2018. Then, an appropriate time series model was used to predict fire events. The results showed that the incidence of fire in the forests and pastures of Kermanshah during the study period had a slight but significant upward trend. It was also observed seasonality in fire events and the maximum incidents in the forests and rangelands of Kermanshah occurred in late summer and early autumn, respectively. Considering the seasonality of fire events and the model fit criteria, the seasonal ARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) model was selected and the results showed that the model had an acceptable validity for furcating the future fire events. According to the forecast, the incidence of fires will relatively increase in both forests and rangelands compared to previous years with a relative statistical confidence of 98%. The results of this study, which showing the general trend, seasonality and the possibility of predicting fires, can be considered as a good solution in proper planning for fire management in forests and pastures.

Key words: ARIMA, auto correlation, forest, rangeland, trend.