فصلنامهٔ علمی پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۸، شماره ۳، صفحه ۳۰۹-۲۹۳، (۱۴۰۱)
DOI: 10.30466/jfrd.2022.54037.1589
DOR: 20.1001.1.24763551.1401.8.3.5.7

مقالهٔ پژوهشی

بررسی کارآیی سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا در استان گلستان

محمد امین اسحاقی*[۱]، شعبان شتایی جویباری[۲]و خلیل قربانی[۳]

۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. (amin.eshaghi@gmail.com)
۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. (shataee@gau.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. (ghorbani.khalil@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۴

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی کارآیی سیستم هشدار پیش‌هنگام آتش‌سوزی شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا در استان گلستان است. برای برآورد شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا، داده‌های متغیرهای ورودی به سیستم شامل چهار متغیر اقلیمی درجه حرارت، رطوبت‌نسبی، سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری زمین و مقدار بارش برای یک دوره ۲۴ ساله (۱۳۷۶-۱۴۰۰) در طول فصل آتش‌سوزی (فروردین تا دی‌ماه) از ایستگاه‌های سینوپتیک و تبخیرسنجی در سطح استان جمع‌آوری شد. ابتدا محاسبات سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا به‌صورت روزانه در طول دوره موردبررسی در هر ایستگاه انجام شد. سپس میانگین ۲۴ ساله پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی به‌دست‌آمده برای هر ایستگاه محاسبه شد. نقشه پیوسته پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی استان گلستان با استفاده از درون‌یابی به روش کریجینگ معمولی با دقت بالا تهیه شد. نقشه پیوسته پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی با استفاده از طبقه‌بندی کیفی سیستم شاخص اقلیمی کانادا به سه طبقه؛ خطر متوسط، پرخطر و خطرناک پهنه‌بندی شد. برای بررسی عملکرد سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا در استان گلستان از ۱۴۵۲ نقطه آتش‌سوزی‌های وقوع‌یافته در گذشته استفاده شد. نتایج نشان داد ۶۸ درصد از نقاط آتش‌سوزی که ۸۰ درصد از مساحت مناطق سوخته‌شده را شامل می‌شوند، در طبقه پرخطر قرار گرفتند. بر اساس این نتایج می‌توان نتیجه‌گیری کرد که سیستم هشدار پیش‌هنگام شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا در استان گلستان با دقت بالایی قادر به پیش‌بینی آتش‌سوزی در مناطق مستعد است.

واژه‌های کلیدی: خطر وقوع آتش‌سوزی، فصل آتش‌سوزی، متغیر اقلیمی.

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۳۲۲۲۰۳۶۰

مقدمه

یکی از مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده جنگل‌ها احتمال بالای خطر وقوع آتش‌سوزی در آن‌ها است (Salehi et al., 2020). آتش‌سوزی‌های طبیعی در جنگل‌ها معمولاً در اثر برخورد صاعقه، افزایش درجه حرارت در اثر گرم شدن زمین و تغییر اقلیم، وزش بادهای گرم و تجمع لاشبرگ‌ها ایجاد می‌شود و هنگامی‌که همه عناصر لازم مثلث آتش در منطقه آسیب‌پذیر فراهم می‌شود روی می‌دهد (Rodrigues et al., 2019). مثلث آتش عبارت است از مواد اشتعال‌پذیر مانند درختان، باقی‌مانده بهره‌برداری درختان جنگل، گیاهان کف جنگل، لاشبرگ‌ها که آن‌ها را عنوان ماده سوختی می‌شناسیم و همچنین گرما و اکسیژن کافی در محیط‌های جنگلی از موارد ضروری برای مستعدشدن منطقه جنگلی برای آتش‌سوزی است (Salehi et al., 2020)؛ بنابراین شرایط آب‌وهوایی عامل مهمی در شروع و انتشار آتش‌سوزی است (Rodrigues et al., 2019). عوامل اقلیمی تأثیرگذار در شروع و گسترش آتش‌سوزی شامل: مقدار بارندگی، دمای هوا، رطوبت نسبی، ناپایداری هوا و سرعت باد است (Barcic et al., 2020; Eshaghi and Shataee, 2016). به‌عنوان‌مثال، رطوبت بالا از اشتعال جلوگیری کرده یا سرعت پراکندگی آتش را کم می‌کند، زیرا دمای بالاتری نیاز است تا آب داخل مواد را بخار کرده و ماده سوختی را تا نقطه اشتعال گرم کند (Sakr et al., 2011). جنگل‌های مرطوب هیرکانی در شمال ایران با برآورد سطح تقریبی ۱۹۶۷۳۱۶ هکتار و تراکم ناچیز ۱۳/۷ درصد مساحت کل کشور یادگار دوران سوم زمین‌شناسی هستند (Shahani and Rahai, 2020). روند آتش‌سوزی‌ها طی ۲۰ سال گذشته در ایران نشان می‌دهد که به‌طور متوسط هرساله به‌ویژه با فرارسیدن ماه‌های گرم، بیش از ۱۰۰۰ فقره آتش‌سوزی صرفاً در جنگل‌ها رخ داده و نزدیک به ۳۵۰۰ هکتار از عرصه‌های جنگلی دچار آتش‌سوزی شده است که عامل ایجاد اکثر آن‌ها انسانی بوده است (Shahani and Rahai, 2020). آتش‌سوزی‌های رخ‌داده در جنگل‌ها از سال ۱۳۸٦ تا سال ۱۳۹۸، ۲٤٥٥٥ فقره آتش‌سوزی بوده که ۱۳۵۱۸ فقره آن در جنگل‌ها و ۱۱۰۳۷ فقره آن در مراتع به وقوع پیوسته است و بر اثر آن ۱۰۷۵۵۸ هکتار از جنگل‌ها و ۱۱۰۳۵۸ هکتار از مراتع در آتش سوخته‌اند (Shahani and Rahai, 2020). بنابراین طی ۱۳ سال اخیر، به‌طور متوسط در هر سال ۱۰٤۰ فقره آتش‌سوزی در جنگل‌ها و ۸٤۹ فقره در مراتع رخ داده که طی آن هرساله ۸۲۷۳ هکتار از سطح جنگل‌ها و نزدیک به ۸٤۹۰ هکتار از سطح مراتع تحت تأثیر آتش‌سوزی‌ها قرار گرفته‌اند (Shahani and Rahai, 2020). اگرچه سهم گرم شدن کره زمین در تغییر رژیم‌های آتش‌سوزی هنوز مشخص نیست، اما انتظار می‌رود افزایش درجه حرارت منجر به افزایش خطر وقوع آتش‌سوزی شود (Rodrigues et al., 2019). دراین‌ارتباط نحوه پیشگیری از آسیب‌های آتش‌سوزی جنگل مهم است که می‌توان از طریق درجه‌بندی خطر آتش‌سوزی، پیش‌بینی رفتار و گسترش آتش‌سوزی بر اساس مدل‌های شبیه‌سازی و شاخص‌های گوناگون برای مدیریت مهار آتش، این کار را انجام داد (Rodrigues et al., 2019). برای کاهش خسارات ناشی از آتش‌سوزی نیاز به هشدارهای پیش‌هنگام قبل از وقوع آتش‌سوزی است که به مدیران جنگل امکان پیش‌گیری، تشخیص و برنامه‌ریزی‌های لازم برای اطفا، پیش از وقوع آتش‌سوزی را می‌دهد (Pahlavani et al., 2020). سامانه‌های پیش‌هنگام آتش‌سوزی‌های مهیب با روشی سیستماتیک و علمی برای ارزیابی وضعیت فعلی و آینده خطر آتش‌سوزی است که

می‌تواند از مقیاس محلی تا جهانی به‌کار گرفته شود (Porras et al., 2021). از اهداف این سیستم‌ها می‌توان به پیش‌بینی‌های درازمدت خطر آتش‌سوزی بر اساس داده‌های اقلیمی منطقه، ایجاد شاخص‌های جهانی خطر آتش‌سوزی به‌منظور حمایت‌های بین‌المللی مدیریت آتش‌سوزی مانند اشتراک منابع در زمان وقوع آتش‌سوزی، ایجاد یک سیستم درجه‌بندی خطر آتش‌سوزی و نظارت بر آن به‌صورت لحظه‌ای اشاره کرد (Lawson and Armitage, 2008). با وجود این‌که پیشرفت قابل‌ملاحظه‌ای در سامانه‌های هشدار پیش‌هنگام وقوع آتش‌سوزی در دهه‌های اخیر انجام شده است ولی هنوز کمتر از نیمی از کشورهای جهان دارای یک سیستم ملی هشدار پیش‌هنگام خطر آتش‌سوزی به‌منظور مدیریت آتش‌سوزی هستند. علت این امر نبود بودجه کافی و مدیریت مناسب در کشورهای فاقد سیستم درجه‌بندی خطر آتش‌سوزی است (Porras et al., 2021)؛ بنابراین این کشورها می‌توانند با کمترین هزینه از سیستم موجود و مشابه با شرایط آب‌وهوایی خود استفاده کنند (Barcic et al., 2020). بدین منظور تنها هزینه لازم هزینه انتقال فناوری و آموزش به‌منظور استفاده از این سیستم است (Hamadeh et al., 2017). از مهم‌ترین سامانه‌های هشدار پیش‌هنگام خطر آتش‌سوزی جنگل در دنیا می‌توان به سیستم ملی درجه‌بندی خطر آتش‌سوزی ایالات‌متحده (US national fire danger rating system)، سیستم درجه‌بندی خطر آتش‌سوزی استرالیا (The forest fire danger index) و سیستم درجه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل کانادا (Canadian forest fire danger rating system) اشاره کرد. در این بین، سیستم درجه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل کانادا رایج‌تر است (Hamadeh et al., 2017). این سیستم در سال ۱۹۲۵ ایجاد شد و در اواخر دهه ۱۹۶۰ توسعه پیدا کرد. در کشور کانادا، نیوزلند و فیجی و مناطقی از آمریکا مانند آلاسکا و فلوریدا استفاده می‌شود (Hamadeh et al., 2017). سیستم فوق دارای دو زیرسیستم شامل زیرسیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل (Canadian forest fire weather index system) که به ارزیابی پتانسیل احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی بر اساس اطلاعات اقلیمی منطقه موردبررسی می‌پردازد و دیگری زیرسیستم پیش‌بینی رفتار آتش‌سوزی جنگل (Canadian forest fire behaviour prediction system) که ویژگی‌های حرکات (نرخ گسترش آتش)، شدت (طول شعله) و شاخص‌های احتراق تند (برآورد سطح سوخته شده، نحوه پیشروی و حرکت گردابی آتش) را مورد بررسی قرار می‌دهد (Lawson and Armitage, 2008). در خصوص استفاده از سیستم‌های هشدار پیش‌هنگام آتش‌سوزی جنگل در داخل کشور پژوهشی انجام نشده اما با استفاده از مدل‌های پارامتریک و ناپارامتریک به پیش‌بینی مکانی آتش بر اساس ارتباط بین آتش‌سوزی‌های وقوع یافته با عوامل مؤثر بر وقوع آتش پرداخته‌اند (Eshaghi and Shataee, 2016; Mirdilmi et al., 2015). در خارج از ایران، اولین پژوهش‌ها در زمینه سیستم شاخص اقلیمی کانادا در سال ۱۹۲۵ آغاز شد و سیستم کنونی در اواخر دهه ۱۹۶۰ و تا اوایل دهه ۹۰ میلادی ادامه داشت. این سیستم رو به رشد است و آخرین اصلاحات در آن در سال ۲۰۰۹ انجام شد (Wotton et al., 2009). Giuseppe et al. (2016) به بررسی توانایی سیستم‌های اقلیمی هشدار زودهنگام آتش‌سوزی مانند سیستم شاخص اقلیمی کانادا در پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی در مقیاس بزرگ پرداختند. داده‌های اقلیمی از مرکز پیش‌بینی اقلیمی اروپا تهیه شد. نقشه‌های حاصل از شاخص‌های اقلیمی به‌وسیله

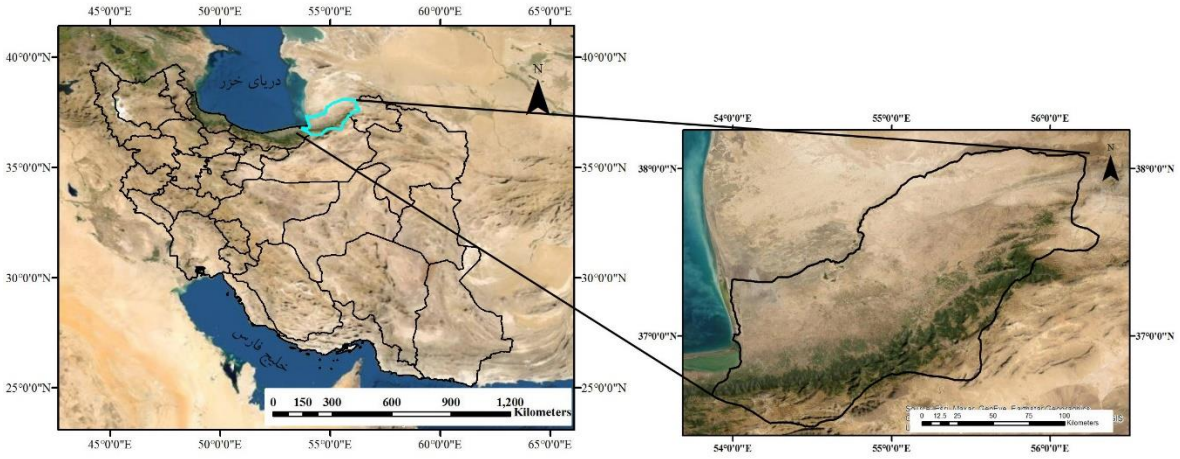
آتش‌سوزی‌های یازده سال گذشته مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد سیستم اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا با دقت بالایی قادر به پیش‌بینی در مقیاس بزرگ است. Beccari et al. (2015) عملکرد شاخص اقلیمی آتش‌سوزی را در مدل‌سازی وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های کوهستانی آلپ بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱٤ را با استفاده از مدل مکانی دودویی رگرسیون لجستیک (Spatial Binary Regression Model) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد این سیستم تأثیر قابل‌توجهی در پیش‌بینی احتمال وقوع آتش‌سوزی در منطقه موردنظر دارد و به‌خوبی می‌تواند در مقیاس بزرگ برای برآورد پتانسیل خطر آتش‌سوزی مورد استفاده قرار گیرد. Dimitrakopoulos et al. (2010) عملکرد شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا را در جنگل‌های مدیترانه‌ای یونان مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش در طی یک دوره آماری ۱۰ ساله نشان داد ٤۰ درصد نقاط آتش‌سوزی در طبقه پرخطر و ۳۳ درصد در طبقه خطرناک قرار دارند و این سیستم اقلیمی می‌تواند با دقت بالا آتش‌سوزی را در جنگل‌های مدیترانه‌ای یونان پیش‌بینی کند. Dowdy et al. (2010) تجزیه‌وتحلیل حساسیت شاخص‌های سیستم اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا و سیستم خطر آتش‌سوزی جنگل مک‌آرتور را در استرالیا انجام دادند. آن‌ها از داده‌های هشت‌ساله اقلیمی در این منطقه استفاده کردند. نتایج این بررسی مشخص کرد که هر دو شاخص شبیه یکدیگر هستند و به سرعت باد و سپس رطوبت نسبی و درنهایت درجه حرارت حساسیت نشان دادند. Carvalho el al. (2008) به بررسی مقدار رابطه بین اقلیم، مناطق سوخته شده، وقوع آتش‌سوزی و شاخص اقلیمی آتش‌سوزی کانادا در ۱۱ منطقه در کشور پرتغال پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد همبستگی بسیار بالایی بین شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا و شرایط اقلیمی، مناطق سوخته شده و وقوع آتش در تمام مناطق وجود دارد. بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده، با توجه به روند رو به رشد آتش‌سوزی‌ها در دهه‌های اخیر به‌ویژه در استان گلستان و از آنجایی‌که در کشور بررسی جامعی در زمینه استفاده از سامانه‌های هشدار پیش‌هنگام اقلیمی وقوع آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی انجام نشده است، این بررسی با هدف بررسی کارآیی سیستم هشدار پیش‌هنگام شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا در استان گلستان انجام شد. با استفاده از نتایج این تحقیق مدیران جنگل می‌توانند با ایجاد یک سیستم هشدار اقلیمی تا حدود زیادی برای کاهش هزینه‌های سنگین و جبران‌ناپذیر آتش‌سوزی در مناطق با خطر بالای وقوع آتش‌سوزی و به‌عنوان یک پشتیبان تصمیم‌گیری در سطح کلان مورد استفاده قرار دهند و همچنین پیش‌بینی دقیق‌تر و صحیح‌تری از مقدار احتمال وقوع آتش‌سوزی جنگل با استفاده از داده‌های اقلیمی به‌عنوان یک سیستم هشدار تند آتش‌سوزی در استان گلستان داشته باشند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

استان گلستان در قسمت شمالی کشور با محدوده جغرافیایی '۳۰ °۳٦ تا '۰۸ °۳۸ عرض شمالی و '۵۱ °۵۳ تا '۱۹ °۵٦ طول شرقی و با وسعت ۲۰۳٦۷ کیلومترمربع است (شکل ۱). سطح جنگل‌های طبیعی استان حدود ٤۵۰ هزار هکتار است (Eshaghi et al., 2021). استان گلستان از نظر توپوگرافی دارای دو قسمت متمایز از هم است، منطقه‌ای که به‌صورت دشت از حدود ۲٦ متر تا حدود ۳۰۰ متر ارتفاع دارد. این دشت، توسط بقایای چین‌خوردگی دوران سوم در

کوهپایه‌ها و نیز تپه‌هایی از بقایای آبرفت‌های قدیمی، به دیواره کوهستانی جنوب و شرق متصل می‌شود (Eshaghi and Shataee, 2016). آب‌وهوای استان گلستان تحت تأثیر عرض جغرافیایی، نزدیکی به دریا یا بیابان ترکمنستان، ارتفاعات و جریان‌های هوایی که از سیبری به نام توده‌هوای شمالی و از اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه، به نام توده‌هوای غربی وارد استان می‌شوند، از تنوع زیادی برخوردار است. بیشترین مقدار بارندگی سالانه از ۱۰۰۰ میلی‌متر در ارتفاعات جنوب غربی تا ۱۵۰ میلی‌متر در دشت منتهی به بیابان ترکمنستان تغییر می‌کند (Eshaghi et al., 2021). همچنین به‌علت کاهش رطوبت هوا، دامنه گرما افزایش می‌یابد و اختلاف شدیدی بین دمای شب و روز و دمای سردترین و گرم‌ترین ماه‌های سال به‌وجود می‌آید که مشخصه اصلی آن، زمستان‌های به‌نسبت سرد و بارانی است و تابستان‌های گرم و خشک طولانی (۵ تا ٦ ماه) که سبب افزایش خطر وقوع آتش‌سوزی و افزایش تعداد آتش‌سوزی‌ها می‌شود (Eshaghi and Shataee, 2016).



شکل ۱- موقعیت منطقه موردبررسی (استان گلستان) در کشور

Figure2- The location of the study area (Golestan province) in Iran

جمع‌آوری اطلاعات اقلیمی استان

برای برآورد سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا، متغیرهای ورودی به سیستم که شامل چهار متغیر اقلیمی درجه حرارت، رطوبت نسبی، سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری زمین و مقدار بارش برای یک دوره ٢٤ ساله (١٣٧٦-١٤٠٠) در طول فصل آتش‌سوزی (فروردین تا دی‌ماه) به‌صورت روزانه از ایستگاه‌های سینوپتیک و تبخیرسنجی در سطح استان جمع‌آوری شد (جدول ۱).

تهیه نقشه آتش‌سوزی‌های به‌وقوع پیوسته سنوات گذشته

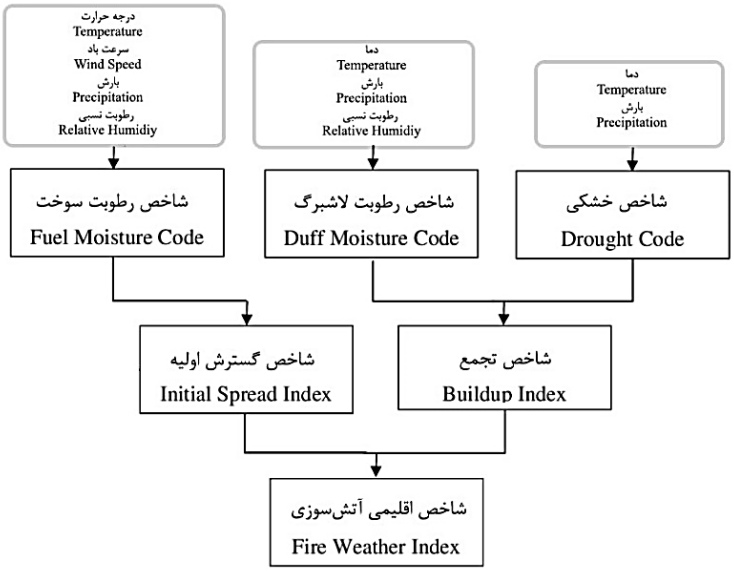
ابتدا مختصات ١٤٥٢ نقطه آتش‌سوزی سنوات گذشته (١٤٠٠-١٣٩٠) از اداره کل منابع طبیعی استان گلستان دریافت شد. اکثر آتش‌سوزی‌ها در استان گلستان از ماه فروردین شروع شده و تا اواخر دی‌ماه ادامه دارد (Shahani and Rahai, 2020). **برآورد شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل**

ساختار کلی سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا در شکل ۲ آمده است (Lawson and Armitage, 2008).

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک و تبخیرسنجی در استان گلستان

Table 1. Details of synoptic and atmometry stations in the Golestan province

نام ایستگاه Station name	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع از سطح دریا Altitude	نوع ایستگاه Station type
پارک ملی گلستان Golestan national Park	37.40	55.8	460	تبخیرسنجی Atmometry
درازنو Derazno	36.61	54.14	2420	تبخیرسنجی Atmometry
زیارت Ziarat	36.71	54.48	950	تبخیرسنجی Atmometry
شیرین‌آباد Shirin abad	36.79	55.02	940	تبخیرسنجی Atmometry
قشلاق Gheshlagh	36.91	55.32	1040	تبخیرسنجی Atmometry
گلیداغ Golidagh	37.65	56.00	1000	تبخیرسنجی Atmometry
فرودگاه-گرگان Gorgan airport	36.90	54.40	1	سینوپتیک Synoptic
هاشم‌آباد Hashem abad	36.85	54.27	13	سینوپتیک Synoptic
بندرترکمن Banar torkaman	36.90	54.05	-20	سینوپتیک Synoptic
علی‌آباد Ali abad	36.90	54.87	184	سینوپتیک Synoptic
گنبد Gonbad	37.25	55.17	37	سینوپتیک Synoptic
کلاله Kalaleh	37.37	55.48	129	سینوپتیک Synoptic
مراوه‌تپه Maraveh	37.9	55.95	460	سینوپتیک Synoptic
بندرگز Bandar gaz	36.78	53.95	-20	سینوپتیک Synoptic
مینودشت Minoodasht	37.22	55.40	155	سینوپتیک Synoptic



شکل ۲- ساختار سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا (Lawson and Armitage, 2008)

Figure 1. The structure of the FWI system (Lawson and Armitage, 2008)

در این زیرسیستم، چهار مؤلفه و متغیر آب‌وهوایی که به‌عنوان ورودی سیستم استفاده می‌شود شامل مقدار بارش روزانه، درجه حرارت، رطوبت نسبی و سرعت باد است (Van Wagner, 1987; Lawson and Armitage, 2008). سیستم فوق مبتنی بر شاخص‌های هواشناسی با شش شاخص خروجی اصلی است که بیان‌کننده رطوبت ماده سوختی و پتانسیل رفتار آتش‌سوزی است (Lawson and Armitage, 2008). شش شاخص زیرمجموعه سیستم، درجه‌بندی عددی از پتانسیل نسبی آتش‌سوزی را نشان می‌دهند (Lawson and Armitage, 2008). سه کد رطوبت، تغییرات روزانه رطوبت سه کلاسه ماده سوختی جنگل را با درجات متفاوت رطوبتی بیان می‌کنند (Hamadeh et al., 2017). ماده سوختی جنگل و ترتیب مقادیر به گونه‌ای است که ارزش‌های بالاتر رطوبت کم‌تر و درنتیجه سوختن بیشتر را نشان می‌دهند. درواقع این شاخص‌ها، شاخص‌های بدون واحد از پتانسیل خطر آتش‌سوزی بر اساس مشاهدات روزانه اقلیمی هستند (Van Wagner, 1987). کد رطوبت سوخت مناسب (Fine Fuel Moisture Code) اشاره به مقدار رطوبت موجود در سوخت مرده کف جنگل دارد؛ که شامل لاشبرگ‌های سطحی عمق یک تا چهار سانتی‌متر است. این شاخص درواقع اشاره به سهولت احتراق و اشتعال‌پذیری بالا دارد. کد رطوبت لاشبرگ (Duff Moisture Code) مقدار رطوبت موجود در لاشبرگ‌ها و شاخه‌های کوچک در حال تجزیه در کف جنگل را شامل می‌شود که شامل لاشبرگ‌ها در عمق پنج تا ۱۰ سانتی‌متر است. کد خشکی (Drought Code) مقدار رطوبت موجود در عمق بیشتر از خاک آلی که عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر را شامل می‌شود. این شاخص نشان‌دهنده اثرهای خشکسالی، مصرف کل سوخت و سوختن در لایه‌های عمیق خاک است. شاخص گسترش اولیه (Initial Spread Index) که در دسته شاخص‌های رفتار آتش‌سوزی طبقه‌بندی می‌شود و پیش‌بینی مقدار گسترش آتش‌سوزی بعد از وقوع حریق است، تابعی از سرعت باد و FFMC است. شاخص تجمع (Buildup Index) مقدار عددی سوخت کل برای

گسترش حریق را نشان می‌دهد و تابعی از DMC و DC است. شاخص نهایی و خروجی سیستم، شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا (Fire Weather Index) است که می‌توان از آن به‌عنوان یک شاخص کلی برای خطر آتش‌سوزی استفاده کرد. FWI تابعی از BUI و ISI است. خروجی سیستم بیان کننده حداکثر پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی مورد انتظار بر اساس داده‌های آب‌وهوایی آن منطقه را بیان می‌کند (Van Wagner, 1987) و به‌عنوان شاخص خطر آتش‌سوزی در یک منطقه و مدیریت پیش‌گیری آتش‌سوزی و آگاهی بخشی عمومی ساکنین در مناطق جنگلی کاربرد دارد (Van Wagner, 1987). (جدول ۲) کلاس‌های کیفی پتانسیل خطر آتش‌سوزی سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا را نشان می‌دهد (Wotton, 2009).

جدول ۲- طبقه‌های کیفی پتانسیل خطر آتش‌سوزی سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا (Wotton, 2009)

Table 2. FWI qualitative classes of Fire risk potential (Wotton, 2009)

کلاس‌های خطر Danger classs	شاخص اقلیمی خطر آتش‌سوزی FWI
خطر کم Low	<5
خطر متوسط Moderate	5-9
پرخطر High	9-17
خطرناک Very high	17-29
بسیار خطرناک Extreme	>29

با استفاده از مقادیر روزانه متغیرهای اقلیمی ابتدا محاسبه مقادیر پنج شاخص اولیه سیستم در هر ایستگاه در طول فصل آتش‌سوزی به‌صورت روزانه با استفاده از معادلات ریاضی مربوط به هر شاخص (Van Wagner, 1987) انجام شد. سپس داده‌های خروجی شاخص‌های اولیه هر ایستگاه به‌صورت ماهانه در طول دوره ۲٤ ساله (۱٤۰۰-۱۳۷٦) میانگین‌گیری شد تا مقادیر اولیه با دقت بالا در سطح ایستگاه‌ها به‌دست آید. با استفاده از مقادیر اولیه، محاسبات مجدد مقادیر شاخص‌ها در هر ایستگاه هواشناسی انجام شد و درنهایت شاخص اصلی خروجی سیستم، شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا (FWI) برای هر ایستگاه محاسبه شد (Wotton, 2009; Dimitrakopoulos et al., 2011).

تهیه نقشه پیوسته شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا

تهیه نقشه پیوسته شاخص خطر اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا و زیر شاخص‌های اولیه سیستم در سطح استان گلستان نیازمند درون‌یابی فضایی مقادیر شاخص با استفاده از مقادیر محاسبه‌شده در محل ایستگاه‌های سینوپتیک و تبخیرسنجی به‌منظور تفسیر آسان‌تر و بررسی عملکرد آن است. درون‌یابی فضایی به هر روشی اطلاق می‌شود که مقدار یک متغیر (یا متغیرها) را در یک مکان مشاهده نشده (پیش‌بینی) و با استفاده

از داده‌ها در مکان‌های مشاهده‌شده (پیش‌بینی‌کننده) تخمین می‌زند (Jain and Flaningan, 2017). در این پژوهش از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی استفاده شد که بالاترین دقت را در بین دیگر روش‌های درون‌یابی شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا دارد (Jain and Flaningan, 2017). برای ارزیابی صحت کریجینگ از روش ارزیابی متقابل استفاده شد (Jain and Flannigan, 2017). در این روش همه داده‌های اولیه، یک‌به‌یک و به ترتیب از محاسبات خارج شده و مجدداً با استفاده از مدل واریوگرام و دیگر داده‌ها برآورد می‌شوند. سپس از مجموع تفاضل مقادیر اولیه با مقادیر برآورد شده برای ارزیابی صحت کریجینگ استفاده می‌شود. درنهایت با محاسبه دو آماره مجذور میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error) به‌صورت مطلق و نسبی (درصد) و میانگین خطا (Mean Error) مقدار صحت نتایج حاصل مورد ارزیابی قرار گرفت. در حالتی که برآوردها صحیح و بدون اشتباه باشند، مقدار این دو آماره برابر صفر می‌شود (رابطه‌های ۱ و ۲ و ۳) (Makela and Pekkarinen, 2004).

رابطه (۱) $$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)^2 / n}$$

رابطه (۲) $$RMSE\% = RMSE / \overline{y_i} \times 100$$

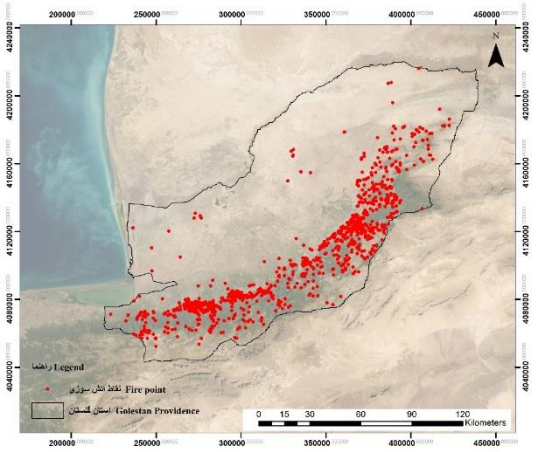
رابطه (۳) $$ME = \sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)^2 / n$$

طبقه‌بندی نقشه پیوسته شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا و بررسی عملکرد آن

برای بررسی عملکرد سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا در استان گلستان نقشه پتانسیل خطر پیوسته ایجاد شده برای کمک به تفسیر بهتر با استفاده از طبقه‌بندی کیفی سیستم شاخص اقلیمی کانادا پهنه‌بندی شد (جدول ۲) (Wotton, 2009). برای بررسی عملکرد سیستم فراوانی نقاط آتش‌سوزی وقوع یافته در سنوات گذشته و مساحت نواحی سوخته شده در هر یک از طبقات پتانسیل خطر آتش‌سوزی نقشه شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا محاسبه شد.

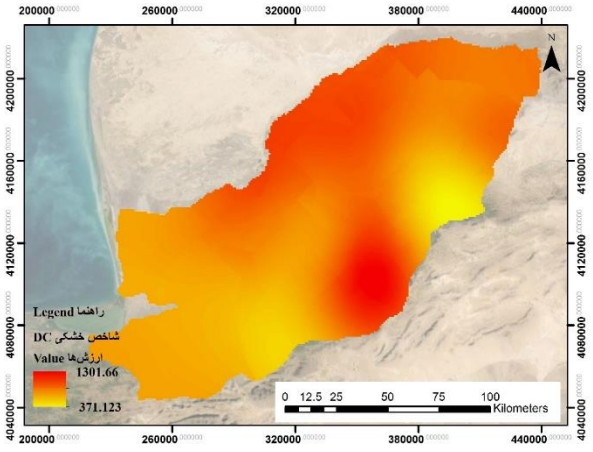
نتایج

نقشه واقعیت زمینی ۱۴۵۲ نقطه آتش‌سوزی وقوع یافته در سنوات گذشته در شکل ۳ ارائه شده است. پس از تهیه نقشه نقاط آتش‌سوزی وقوع یافته در سنوات گذشته، شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا که بیان‌کننده پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی در استان گلستان است در محل ایستگاه‌ها در طول دوره برآورد شد و سپس نقشه های پیوسته زیر شاخص های اولیه و در نهایت شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا در استان گلستان با استفاده از روش کریجینگ معمولی درون‌یابی شد (شکل‌های ٤، ٥، ٦، ٧، ٨، ٩). نتایج حاصل از ارزیابی صحت درون‌یابی با روش کریجینگ با استفاده از روش ارزیابی متقابل در جدول ۳ آورده شده است. نتایج نشان داد که این روش دقت بالایی برای درون‌یابی شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا در استان گلستان دارد. ازآنجایی‌که این شاخص فاقد مقیاس است و افزایش مقدار آن نشان‌دهنده افزایش احتمال پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی در استان گلستان است کم‌ترین مقدار آن حدود ٦/٧ و بیشترین مقدار شاخص ۲۸/۷ محاسبه شد.



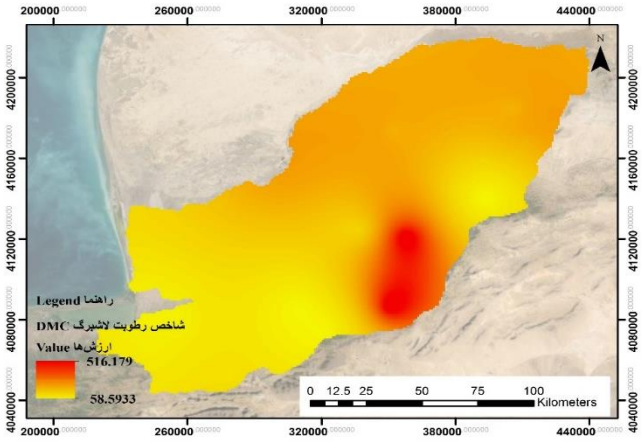
شکل ۳- موقعیت نقاط آتش‌سوزی به وقوع پیوسته در سنوات گذشته در استان گلستان

Figure 3. Location of fire ignition points recorded in Golestan province



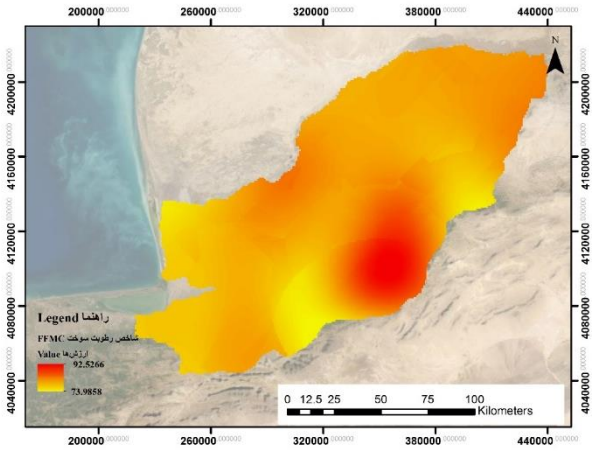
شکل ٤- نقشه پیوسته شاخص خشکی (DC) استان گلستان

Figure 4. Continuous map of DC in Golestan province



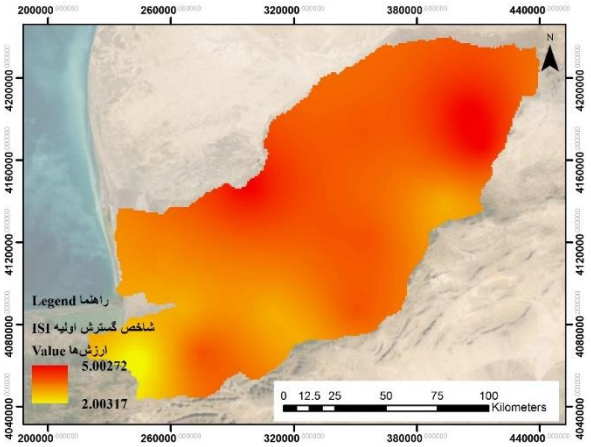
شکل ۵- نقشه پیوسته شاخص رطوبت لاشبرگ (DMC) استان گلستان

Figure 5. Continuous map of DMC in Golestan province



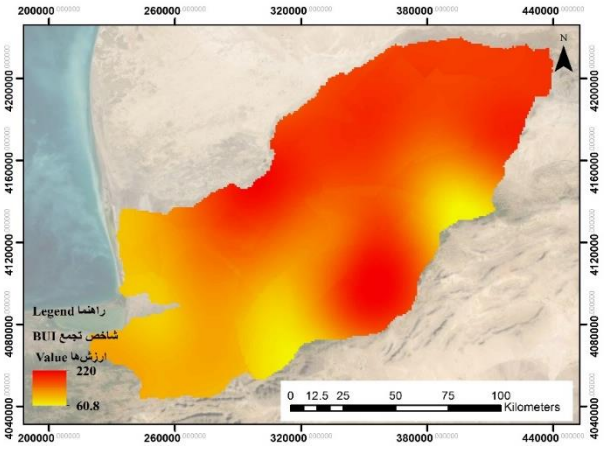
شکل ٦- نقشه پیوسته شاخص رطوبت سوخت مناسب (FFMC) استان گلستان

Figure 6. Continuous map of FFMC in Golestan province



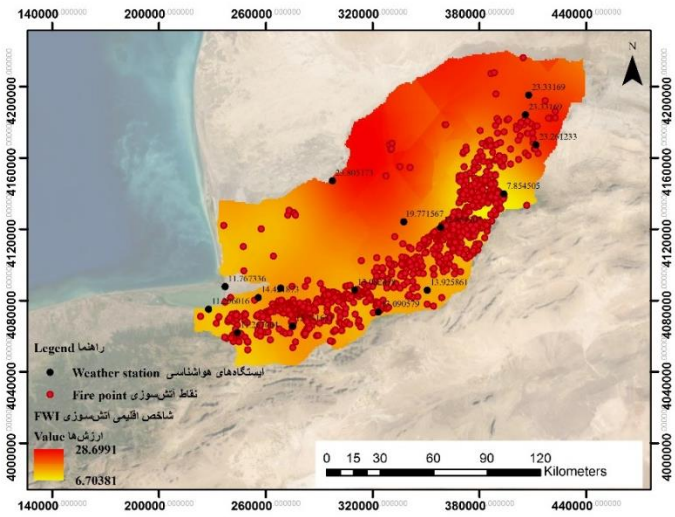
شکل ۷- نقشه پیوسته شاخص گسترش اولیه (ISI) استان گلستان

Figure 7- Continuous map of ISI in Golestan province



شکل ۸- نقشه پیوسته شاخص تجمع (BUI) استان گلستان

Figure 8- Continuous map of BUI in Golestan province



شکل ۹- نقشه پیوسته پتانسیل خطر اقلیمی وقوع آتش‌سوزی (FWI) استان گلستان، نقاط آتش‌سوزی‌های وقوع‌یافته و مقادیر شاخص در محل ایستگاه‌های هواشناسی

Figure 9. Continuous map of weather fire occurrence potential in Golestan province, ignition point, and FWI in weather stations

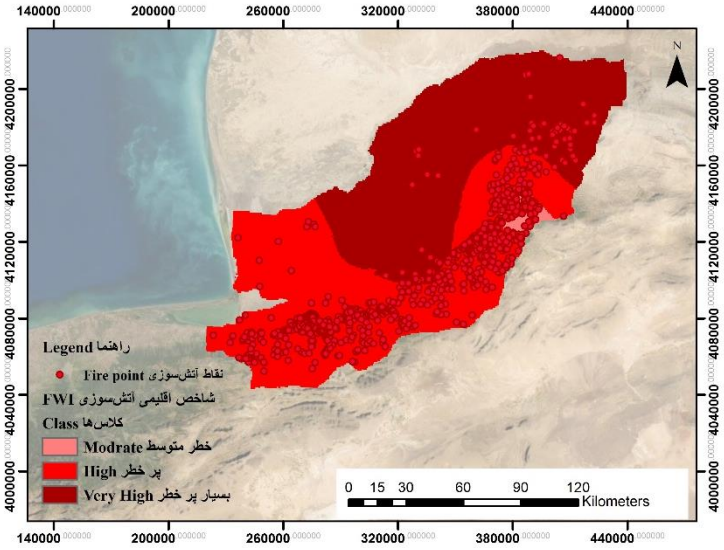
جدول ۳- نتایج ارزیابی صحت درون‌یابی کریجینگ در تهیه نقشه پیوسته پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی با استفاده از سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا

Table 3. Results of assessing the accuracy of kriging interpolation in the raster mapping of fire risk potential using the FWI

آماره صحت سنجی Validation statistics	میانگین خطا ME	مجذور میانگین مربعات خطا RMSE	درصد مجذور میانگین مربعات خطا RMSE%
مقادیر Amounts	0.3	3.92	24.05

طبقه‌بندی نقشه پیوسته شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا و بررسی عملکرد آن

شکل ۱۰ نقشه طبقه‌بندی‌شده شاخص اقلیمی خطر آتش‌سوزی جنگل کانادا را در استان گلستان نشان می‌دهد. ازآنجایی‌که دامنه پتانسیل خطر آتش‌سوزی شاخص نهایی سیستم بر اساس داده‌های آب‌وهوایی منطقه بین محدوده ٦/٧ تا ٢٨/٧ است؛ بنابراین بدون طبقه کم‌خطر بوده و به ۳ طبقه خطر متوسط، پرخطر و خطرناک مطابق طبقه‌های کیفی سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا طبقه‌بندی شد. با توجه به نتایج جدول ٤ و ٥ از بین ١٤٥٢ نقطه آتش‌سوزی وقوع یافته با مساحت کل ١١٩٤ هکتار در استان گلستان ٩٩٢ نقطه آتش‌سوزی با فراوانی ٦٨ درصد در طبقه پرخطر قرار گرفتند که مساحت نواحی سوخته‌شده در این طبقه ٩٦٢ هکتار با فراوانی نسبی ٨٠ درصد بود. طبقه خطرناک ٣٤٩ نقطه آتش‌سوزی با فراوانی نسبی ٢٤ درصد با مساحت نواحی سوخته شده ٢٠١ هکتار و فراوانی نسبی ١٧ درصد به دست آمد. نتایج فوق نشان داد شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا در استان گلستان عملکرد به‌نسبت مطلوبی دارد.



شکل ۱۰- نقشه طبقه‌بندی‌شده پتانسیل خطر اقلیمی آتش‌سوزی استان گلستان و نقاط آتش‌سوزی‌های وقوع‌یافته در یک دوره ۲٤ ساله با استفاده از سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا

Figure 10. Classified map of the fire risk potential of Golestan province and the fire points that occurred in 24 years using the Canadian Forest Fire Climate Index system

جدول ٤- تعداد نقاط و مساحت نواحی سوخته شده در استان گلستان

Table 4. Number of ignition points and burned area in the Golestan province

مساحت نواحی سوخته‌شده (هکتار) Burned area (ha)	تعداد نقاط سوخته-شده Ignation point	طبقات پتانسیل خطر شاخص خطر اقلیمی FWI range
31	110	خطر متوسط Moderate risk
962	993	پرخطر High risk
201	349	بسیار پرخطر Very high risk
1194	1452	کل Total

جدول ٥- درصد فراوانی نقاط آتش‌سوزی و مساحت نواحی سوخته شده در استان گلستان

Table 5. Frequency of fire spots and the area of burned areas in Golestan province

درصد فراوانی مساحت نواحی سوخته شده Percentage of frequency of burned areas	درصد فراوانی نسبی نقاط آتش‌سوزی Percentage of relative frequency of fire ignition	طبقات پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی FWI range
3	8	خطر متوسط Moderate risk
80	68	پرخطر High risk
17	24	بسیار پرخطر Very high risk
100	100	کل Total

بحث

سیستم‌های هشدار پیش‌هنگام آتش‌سوزی جنگل توسط سازمان‌های آتش‌نشانی و مدیریت زمین برای تعیین سطوح آمادگی، صدور هشدارهای عمومی و ارائه مقیاس مناسب برای مدیریت، پژوهش و وضع قوانین برای موضوعات مرتبط با آتش‌سوزی جنگل‌ها استفاده می‌شود. در این تحقیق بررسی کارآیی سیستم هشدار پیش‌هنگام شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا در استان گلستان برای یک دوره ۲٤ ساله (۱۳۷٦–۱٤۰۰) در طول فصل آتش‌سوزی (فروردین تا دی‌ماه) مورد ارزیابی قرار گرفت. این سیستم هشدار پیش‌هنگام همان‌گونه که ذکر شد در بسیاری از کشورهای جهان غیر از کانادا مانند آلاسکا، برخی از ایالات شمالی آمریکا، مکزیک، استرالیا، نیوزیلند، فرانسه، پرتغال یا آسیای جنوب شرقی مانند اندونزی و مالزی، سیستم اطلاعات آتش‌سوزی جنگل‌های اروپا در حال استفاده است؛ بنابراین قابلیت سازگاری و انعطاف بالایی با دیگر مناطق اقلیمی مشابه یا متفاوت با کانادا دارد. Giuseppe et al. (2016) در جنگل‌های شمالی، منطقه مدیترانه، جنگل‌های بارانی آمازون و آسیای جنوب شرقی، Beccari et al. (2015) در جنگل‌های کوهستانی آلپ، Dimitrakopoulos et al. (2010) در جنگل‌های مدیترانه‌ای یونان، Dowdy et al. (2010) در استرالیا، عملکرد و دقت بالای سیستم اقلیمی پیش‌هنگام وقوع آتش‌سوزی جنگل کانادا را تأیید کردند و با نتایج این پژوهش که دقت بالای پیش‌بینی احتمال وقوع آتش‌سوزی در استان گلستان با ۸۰ و ٦۸ درصد فراوانی مساحت و نقاط آتش‌سوزی در طبقه پرخطر، مطابقت دارد. باوجوداینکه در خارج از کشور پیشرفت قابل‌ملاحظه‌ای در زمینه بررسی و توسعه سیستم‌های پیش‌هنگام وقوع آتش‌سوزی جنگل در دهه‌های اخیر انجام شده است؛ اما نیمی از کشورهای جهان مانند ایران دارای یک سیستم ملی درجه‌بندی خطر آتش‌سوزی به‌منظور ارزیابی و مدیریت آتش‌سوزی جنگل نیستند. علت این امر را می‌توان به عدم وجود بودجه کافی و مدیریت مناسب در کشورهای بدون سیستم درجه‌بندی خطر آتش‌سوزی نسبت داد. سه عنصر کلیدی علمی، فنی و انسانی باید توسعه داده شده و در یک سیستم رتبه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل‌ها ادغام شوند. در شروع این فرآیند نیازمند یک برنامه تحقیقاتی علمی پایدار برای توسعه سیستمی مبتنی بر روابط بین آب‌وهوای آتش‌سوزی، سوخت، توپوگرافی، رفتار آتش‌سوزی قبل از وقوع آن است. توسعه یک زیرساخت فنی قابل‌اعتماد برای جمع‌آوری، پردازش و بایگانی داده‌های آب‌وهوای آتش‌سوزی و انتشار پیش‌بینی‌های آب‌وهوای آتش‌سوزی، اطلاعات خطر آتش‌سوزی و پیش‌بینی رفتار آتش‌سوزی از ضروریات است. انتقال فناوری و آموزش استفاده از اطلاعات خطر آتش‌سوزی در عملیات اطفاء، همکاری و ارتباط بین سازمان‌های مدیریت آتش‌نشانی برای به اشتراک گذاشتن منابع و تعیین استانداردهای مشترک برای اطلاعات ضروری است. این عناصر باید متناسب با نیازها و توانایی‌های مدیران باشند و باید با تغییر اهداف مدیریت آتش تکامل یابند. سیستم‌های مؤثر خطر آتش‌سوزی به‌راحتی توسط فرهنگ سازمانی جذب شده و بر آن تأثیر می‌گذارد که به‌نوبه خود بر توسعه فناوری‌های جدید مؤثرند. مهم‌تر از همه، دید مشترک در بین دانشمندان آتش‌سوزی جنگل و مدیران برای اجرای موفقیت‌آمیز یک سیستم رتبه‌بندی خطر آتش‌سوزی، موردنیاز است. بررسی سیستم‌های پیش‌هنگام خطر آتش‌سوزی و ارتباط آن‌ها با الگوهای آب‌وهوایی به‌منظور حفظ منابع جنگلی، مدیریت و پایداری آن‌ها از ضروریات است؛ بنابراین می‌توان با

کمترین هزینه از سیستم موجود برای حرکت به سمت مدیریت پایدار جنگل و ایجاد یک سیستم هشدار زودهنگام آتش‌سوزی برای کاهش خسارات جانی و هزینه‌های مالی و طبیعی سنگین نابودی جنگل‌های شمال کشور بهره برد و تنها هزینه لازم هزینه انتقال فناوری و آموزش‌های ضروری به‌منظور استفاده از این سیستم است.

تقدیر و قدردانی

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی مصوب صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) به شماره ۹۷۰۱۵۱۶۹ انجام شده، نگارندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را ابراز می‌دارند.

References

Barčić, D.; Dubravac, T.; Vučetić, M., Potential hazard of open space fire in black pine stands (Pinus nigra JF Arnold) in regard to fire severity. *South-east European forestry: SEEFOR* **2020,** *11* (2), 161-168.

Beccari, A.; Borgoni, R.; Cazzuli, O.; Grimaldelli, R., Use and performance of the Forest Fire Weather Index to model the risk of wildfire occurrence in the Alpine region. *Environment and Planning B: Planning and Design* **2016,** *43* (4), 772-790.

Carvalho, A.; Flannigan, M. D.; Logan, K.; Miranda, A. I.; Borrego, C., Fire activity in Portugal and its relationship to weather and the Canadian Fire Weather Index System. *International Journal of Wildland Fire* **2008,** *17* (3), 328-338.

Di Giuseppe, F.; Pappenberger, F.; Wetterhall, F.; Krzeminski, B.; Camia, A.; Libertá, G.; San Miguel, J., The potential predictability of fire danger provided by numerical weather prediction. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* **2016,** *55* (11), 2469-2491.

Dimitrakopoulos, A.; Bemmerzouk, A.; Mitsopoulos, I., Evaluation of the Canadian fire weather index system in an eastern Mediterranean environment. *Meteorological Applications* **2011,** *18* (1), 83-93.

Eshaghi, M. A.; Shataee, S.; Ghorbani, K., Identifying the most effective input climate variables of Canadian Forest Fire Weather index system. *Journal of Wood and Forest Science and Technology* **2021,** *28*(4), 101-118 (In Persian*)*.

Eshaghi, M.A.; Shataee, Sh., Preparation map of forest fire risk using SVM, RF and MLP algorithms (Case study: Golestan national park. North-eastern Iran. *Journal of Wood and Forest Science and Technology* **2016**, *23*(4), 133-154 (In Persian*)*.

Hamadeh, N.; Karouni, A.; Daya, B.; Chauvet, P., Using correlative data analysis to develop weather index that estimates the risk of forest fires in Lebanon & Mediterranean: Assessment versus prevalent meteorological indices. *Case Studies in Fire Safety* **2017,** *7*, 8-22.

Jain, P.; Flannigan, M., Comparison of methods for spatial interpolation of fire weather in Alberta, Canada. *Canadian Journal of Forest Research* **2017,** *47* (12), 1646-1658.

Lawson, B.D., Armitage, O.B. Weather guide for the Canadian forest fire danger rating system. Canadian Forest Service. *Northern Forestry Centre* **2008**, *1* (1), 1-84.

Mirdilmi, S.; Shataee Jouibary, S.; Kavousi, M., Fire risk zoning in Golestan National Park using a logistic regression method. *Wood and Forest Science and Technology Research* **2015,** (1), 1-16.

Pahlavani, P., Sahraiian, H., Bigdeli, B., Providing a method based on cellular automata for modelling the forest fire development in Golestan national park. *Forest Research and Development* **2020,** *6* (2), 165-183. (In Persian)

Pausas, J. G., Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin). *Climatic Change* **2004,** *63* (3), 337-350.

Pérez-Porras, F.-J.; Triviño-Tarradas, P.; Cima-Rodríguez, C.; Meroño-de-Larriva, J.-E.; García-Ferrer, A.; Mesas-Carrascosa, F.-J., Machine learning methods and synthetic data generation to predict large wildfires. *Sensors* **2021,** *21* (11), 3694.

Rodrigues, M.; González-Hidalgo, J. C.; Peña-Angulo, D.; Jiménez-Ruano, A., Identifying wildfire-prone atmospheric circulation weather types on mainland Spain. *Agricultural and Forest Meteorology* **2019,** *264*, 92-103.

Sakr, G. E.; Elhajj, I. H.; Mitri, G., Efficient forest fire occurrence prediction for developing countries using two weather parameters. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* **2011,** *24* (5), 888-894.

Salehi, P.; Banj Shafiei, A.; Barin, M.; Khezri, Kh., Effect of surface fire on dynamic of some chemico-physical properties of forest soil, Sardasht, West Azarbayjan. *Forest Research and Development* **2020,** *6* (3), 395-410 (In Persian)

Shahani, A.R.; Rahai A., Causes, effects, challenges and strategies to combat forest and rangeland fires. *Research center of the Islamic Consultative Assembly* **2020,** *17288* (250), 13-14 (In Persian).

Van Wagner, C.; Forest, P. In *Development and structure of the Canadian forest fireweather index system*, Can. For. Serv., Forestry Tech. Rep, Citeseer: 1987.

Wotton, B. M., Interpreting and using outputs from the Canadian Forest Fire Danger Rating System in research applications. *Environmental and Ecological Statistics* **2009,** *16* (2), 107-131.

Performance evaluation of the Canadian forest fire weather index system in the Golestan Province

M. A. Eshaghi[*1], Sh. Shataee[2] and Kh. Ghorbani[3]

1- PhD Student of Forestry, Forestry Department, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran. (amin.eshaghi@gmail.com)
2- Professor, Forestry Department, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran. (shataee@yahoo.com)
3- Associate Professor, Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran. (ghorbani.khalil@yahoo.com)

Received: 11.01.2022 Accepted: 13.04.2022

Abstract

The purpose of this study is to investigate the effectiveness of the early warning system of the Canadian Forest Fire weather Index in the Golestan Province. To estimate the weather index of Canadian forest fires, the input variables to the system were four climatic variables including temperature, humidity, wind speed at a height of ten meters, and rainfall for a period of 24 years (1997-2021) during the fire season (April to January) were collected from synoptic and atmometry stations in the province. First, the Canadian forest fire climate index system was calculated daily during the study period at each climate station. Then, the obtained 24-year average of fire risk potential rate for each station was estimated using the conventional kriging interpolation method with high accuracy and a continuous raster map of the fire risk potential of the Golestan province was prepared. Then, the continuous climatic potential of fire risk was zoned into three categories of medium, high risk, and dangerous using the Canadian Climate Index system classification. 1452 occurred fire points in the past years were used to evaluate the performance of the Canadian forest fire weather index system in the Golestan Province. The results showed that 68% of the fire points, which cover 80% of the burned area, are in the high-risk category. Based on obtained results, it could be concluded that the Canadian Forest Fire Climate Indicator Early Warning System can predict fires in susceptible areas in the Golestan Province with higher accuracy.

Keywords: Fire risk, Fire season, Climatic variables.

[*] Corresponding author Tel: +989132220360