

Identifying the most effective input climate variables of Canadian forest fire weather index system

Mohammad Amin Eshaghi^{*1} | Shaban Shataee Jouibary² | Khalil Ghorbani³

1. Corresponding Author, Ph.D. Student of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: amin.eshaghi@gmail.com
2. Professor, Dept. of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: shataee@gau.ac.ir
3. Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: ghorbani.khalil@gau.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Full Length Research Paper</p> <p>Article history: Received: 06.29.2021 Revised: 09.03.2021 Accepted: 09.01.2021</p> <p>Keywords: Canadian forest fire Weather index, Correlation test, Early Warning System, Golestan province, Weather</p>	<p>Background and Objectives: Early warning systems in natural areas are one of the ways to prevent and manage fires. Many factors that affect fire occurrence can be divided into two categories climatic factors and human factors. Among the most important climatic factors; increasing the temperature, decreasing the rainfall, decreasing the humidity and increasing the wind speed can be mentioned. Thus, forest fire risk assessment and early warning systems have become an important component of land management in recent decades. The Canadian Forest Fire Danger Rating System is one of the most important early forest fire warning systems in the world. The Fire Weather Index subsystem provides relative numerical ratings of various aspects of wildfire potential based on four weather observations. The purpose of this study is to identify the most effective input variables of the system in predicting the probability of forest fire in Golestan Province.</p> <p>Materials and Methods: In order to estimate the Canadian Forest Fire Weather Index System, the input variables to the system include four climatic variables: daily observations of maximum temperature, relative humidity, wind speed, and 24-hour precipitation for a period of 21 years (1997-2018) during the fire seasons (April to December) were collected daily from synoptic and evaporative stations in the province. First, the Canadian Forest Fire Weather Index modeling system was calculated daily during the study period at each station. Then, the correlation test and multi-dimensional scaling analysis between input weather variables and system output index were performed using Spearman, Pearson, and Kendall correlation coefficients.</p> <p>Results: The results showed that the variable of maximum daily temperature with a correlation coefficient of 0.911 in the study period has the highest effect on the weather index of Canadian Forest Fires compared to other variables. After temperature, daily relative humidity, daily rainfall and daily wind speed with correlation coefficients -0.89, -0.79, 0.29 have the greatest impact on the output of the system of forest fires in predicting the probability of forest fires in this province. Also, in this study it was found that Spearman's correlation coefficient is better than other correlation coefficients.</p>

Conclusion: Forest managers can use this system to predict the likelihood of fire if other variables are not available, using the order of importance of each of the climatic variables and rate the risk in different parts of the Golestan Province.

Cite this article: Eshaghi, Mohammad Amin, Shataee Jouibary, Shaban, Ghorbani, Khalil. 2022. Identifying the most effective input climate variables of Canadian forest fire weather index system. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 28 (4), 101-118.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JWFST.2022.19217.1930

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

شناسایی مؤثرترین متغیرهای آب و هوایی ورودی سامانه هشدار آتش‌سوزی جنگل کانادا

محمدامین اسحاقی^{۱*} | شعبان شتایی جویباری^۲ | خلیل قربانی^۳

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

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: استفاده از سامانه‌های هشدار پیش‌هنگام اقلیمی وقوع آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی یکی از راه‌های جلوگیری و مدیریت آتش‌سوزی است. عوامل متعددی در وقوع آتش‌سوزی تأثیرگذار است که می‌توان به دو دسته عوامل اقلیمی و انسانی تقسیم‌بندی کرد. از جمله مهم‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر در ایجاد آتش‌سوزی جنگل‌ها می‌توان؛ افزایش درجه حرارت، کاهش بارندگی، کاهش رطوبت هوا و افزایش سرعت باد را نام برد. آتش‌سوزی جنگل باعث ایجاد ضررهای اقتصادی و زیست‌محیطی قابل‌توجهی می‌شود بنابراین، ارزیابی خطر آتش‌سوزی جنگل و استفاده از سامانه‌های هشدار آتش‌سوزی در دهه‌های اخیر به یک جزء مهم در مدیریت سرزمین تبدیل شده است. سیستم درجه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل کانادا با دو زیرسیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی و سیستم پیش‌بینی رفتار آتش‌سوزی جنگل از جمله مهم‌ترین سامانه‌های هشدار پیش‌هنگام خطر آتش‌سوزی جنگل در دنیا محسوب می‌شود. زیرسیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل که به ارزیابی پتانسیل احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی بر اساس اطلاعات اقلیمی منطقه مورد مطالعه می‌پردازد، نیازمند شناسایی و ورود متغیرهای آب و هوایی مؤثر می‌باشد. هدف از این پژوهش شناسایی مؤثرترین متغیرهای ورودی شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا در پیش‌بینی احتمال وقوع آتش‌سوزی جنگل در استان گلستان می‌باشد.
واژه‌های کلیدی: آب‌وهوا، آزمون همبستگی، استان گلستان، سامانه هشدار آتش‌سوزی، شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۸	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۰	
مواد و روش‌ها: به‌منظور برآورد سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا متغیرهای ورودی به سیستم که شامل چهار متغیر اقلیمی حداکثر درجه حرارت، رطوبت نسبی، سرعت باد در ارتفاع ده متری زمین و میزان بارش برای یک دوره ۲۱ ساله (۱۳۷۶-۱۳۹۷) در طول فصل آتش‌سوزی (فروردین تا دی‌ماه) از ایستگاه‌های سینوپتیک و تبخیرسنجی به‌صورت روزانه در سطح استان جمع‌آوری شد. محاسبات مربوط به برآورد شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل	

کانادا با استفاده از متغیرهای آب و هوایی استان گلستان در طول دوره مطالعه در هر ایستگاه انجام شد. سپس آزمون همبستگی و آنالیز مقیاس‌بندی چندبُعدی بین متغیرهای اقلیمی ورودی با شاخص خروجی سیستم با استفاده از ضرایب همبستگی اسپیرمن، پیرسون و کندال انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد متغیر حداکثر درجه حرارت روزانه با ضریب همبستگی ۰/۹۱ در دوره مورد مطالعه بالاترین تأثیر را نسبت به سایر متغیرها بر شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا دارد. پس از حداکثر درجه حرارت، رطوبت نسبی روزانه، بارندگی روزانه و سرعت باد روزانه به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۸۹، ۰/۷۹- و ۰/۲۹، بیش‌ترین تأثیر را بر خروجی سیستم اقلیمی آتش‌سوزی جنگل در پیش‌بینی احتمال وقوع آتش‌سوزی جنگل در این استان دارند. هم‌چنین در این پژوهش ضریب همبستگی اسپیرمن بهتر از سایر ضرایب همبستگی دارای کارایی می‌باشد.

نتیجه‌گیری: مدیران جنگل می‌توانند با به‌کارگیری این سیستم در صورت در دسترس نبودن سایر متغیرها میزان احتمال وقوع آتش‌سوزی را از نظر اقلیمی با استفاده از ترتیب اهمیت هر یک از متغیرهای اقلیمی پیش‌بینی کنند و به درجه‌بندی خطر در مناطق مختلف استان بپردازند.

استناد: اسحاقی، محمدامین، شتایی جویباری، شعبان، قربانی، خلیل (۱۴۰۰). شناسایی مؤثرترین متغیرهای آب و هوایی ورودی سامانه هشدار آتش‌سوزی جنگل کانادا. نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲۸ (۴)، ۱۰۱-۱۱۸.

DOI: 10.22069/JWFST.2022.19217.1930



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

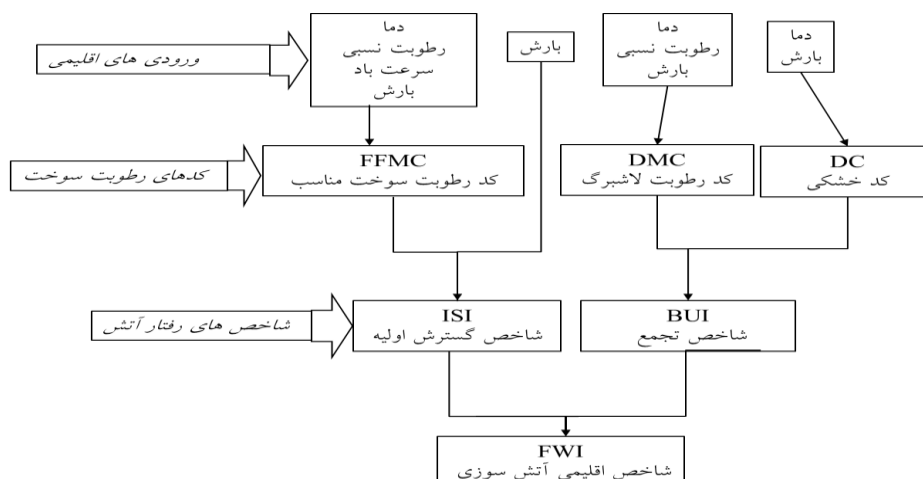
جنگل‌های مرطوب هیرکانی در شمال ایران با برآورد سطح تقریبی ۱۹۶۷۳۱۶ هکتار و تراکم ناچیز ۱۳/۷ درصد مساحت کل کشور یادگار دوران سوم زمین‌شناسی هستند (۲۹). از جمله مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده این جنگل‌ها احتمال بالای خطر وقوع آتش‌سوزی در آن است. آتش‌سوزی جنگل هنگامی که همه عناصر لازم مثلث آتش در منطقه آسیب‌پذیر فراهم می‌شود روی می‌دهد (۲). مثلث آتش عبارت است از مواد اشتعال‌پذیر مانند درختان، باقی‌مانده بهره‌برداری درختان جنگل، گیاهان کف جنگل، لاشبرگ‌ها که از آن‌ها به‌عنوان ماده سوختی می‌شناسیم و همچنین گرما و اکسیژن کافی در اطراف آن می‌باشد؛ بنابراین شرایط آب و هوایی عامل مهمی در شروع و انتشار آتش‌سوزی است (۱۹، ۲۴). عوامل اقلیمی تأثیرگذار در شروع و گسترش آتش‌سوزی شامل: میزان بارندگی، دمای هوا، رطوبت نسبی، ناپایداری هوا و سرعت باد می‌باشد (۴، ۳۵، ۳۶). به‌عنوان مثال، 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 نماید (۳۳). از بین رفتن بخشی از عرصه‌های جنگلی و مرتعی کشور، به خطر افتادن جان و مال ساکنین در مجاورت جنگل، از بین رفتن حیات‌وحش و کاهش تنوع زیستی گیاهی و جانوری، آلودگی هوا و گرم شدن کره زمین، تشدید فرسایش و تخریب خاک از جمله پیامدهای آتش‌سوزی جنگل‌ها به‌شمار می‌روند (۱۱). 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

(۴۰)؛ روند آتش‌سوزی‌ها طی ۲۰ سال گذشته در ایران نشان می‌دهد که به‌طور متوسط هر ساله 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 و بخشی از این عرصه‌ها نیز کاملاً از بین رفته‌اند (۱، ۷). آتش‌سوزی‌های رخ داده در جنگل‌ها از سال ۱۳۸۶ تا سال ۱۳۹۸، ۲۴۵۵۵ 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 (۲۹). بنابراین طی ۱۳ سال اخیر، به‌طور متوسط در هر سال ۱۰۴۰ فقره آتش‌سوزی در جنگل‌ها و ۸۴۹ فقره در مراتع رخ داده که طی آن هر ساله ۸۲۷۳ هکتار از سطح جنگل‌ها و نزدیک به ۸۴۹۰ هکتار از سطح مراتع تحت‌تأثیر آتش‌سوزی‌ها قرار گرفته‌اند. (۲۹). در این ارتباط 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 (۱۷، ۲۵، ۳۴). در دو دهه گذشته، آتش‌سوزی در جنگل تقریباً ۱۵٪ از کل انتشار کربن در جهان را تشکیل داده است. 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 (۳۱، ۳۷). به‌منظور کاهش خسارات ناشی از آتش‌سوزی نیاز به هشدارهای پیش‌هنگام قبل از وقوع آتش‌سوزی است که به مدیران جنگل امکان پیش‌گیری، تشخیص و برنامه‌ریزی‌های لازم جهت

از جمله مهم‌ترین سامانه‌های هشدار پیش‌هنگام خطر آتش‌سوزی جنگل در دنیا می‌توان به سیستم ملی درجه‌بندی خطر آتش‌سوزی ایالات متحده^۱، سیستم درجه‌بندی خطر آتش‌سوزی استرالیا^۲ و سیستم درجه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل کانادا^۳ اشاره کرد. در این بین، سیستم درجه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل کانادا رایج‌تر می‌باشد (۱۶). 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 از جمله آلاسکا و فلوریدا استفاده می‌شود (۳۷). سیستم فوق دارای دو زیرسیستم شامل زیرسیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل^۴ که به ارزیابی پتانسیل احتمال وقوع آتش‌سوزی بر اساس اطلاعات اقلیمی منطقه مورد مطالعه می‌پردازد و دیگری زیرسیستم پیش‌بینی رفتار آتش‌سوزی جنگل^۵ که ویژگی‌های حرکات (نرخ گسترش آتش)، شدت (طول شعله) و شاخص‌های احتراق سریع (برآورد سطح سوخته شده، نحوه پیشروی و حرکت گردابی آتش^۶) را مورد بررسی قرار می‌دهد (۲۲). ساختار کلی سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا در شکل (۱) آمده است (۲۲، ۳۷، ۳۸، ۳۹).

سرکوب، پیش از وقوع آتش‌سوزی را می‌دهد (۱۰). تلاش‌های پیشگام به منظور استفاده از مدل‌های ریاضی جهت پیش‌بینی احتمال خطر آتش‌سوزی بر اساس داده‌های اقلیمی از سال ۱۹۴۰ آغاز شد (۱۶). این مدل‌ها منجر به ایجاد یک شاخص عددی می‌شود که به عنوان سطح هشدار شناخته شده و با افزایش احتمال وقوع آتش‌سوزی افزایش می‌یابد (۴۰). 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 به کار گرفته شود (۲۵). از جمله اهداف این سیستم‌ها می‌توان به پیش‌بینی‌های درازمدت خطر آتش‌سوزی بر اساس داده‌های اقلیمی منطقه، ایجاد شاخص‌های جهانی خطر آتش‌سوزی به منظور حمایت‌های بین‌المللی مدیریت آتش‌سوزی از جمله اشتراک منابع در زمان وقوع آتش‌سوزی، ایجاد یک سیستم درجه‌بندی خطر آتش‌سوزی برای بسیاری از کشورهایی که ظرفیت و منابع مالی لازم برای تهیه و توسعه سیستم خود را ندارند اشاره کرد (۳۷). با وجود این که پیشرفت قابل ملاحظه‌ای در سامانه‌های هشدار پیش‌هنگام وقوع آتش‌سوزی در دهه‌های اخیر صورت گرفته است ولی هنوز کم‌تر از نیمی از کشورهای جهان دارای یک سیستم ملی هشدار پیش‌هنگام خطر آتش‌سوزی به منظور مدیریت آتش‌سوزی هستند. علت این امر نبود بودجه کافی و مدیریت مناسب در کشورهای فاقد سیستم درجه‌بندی خطر آتش‌سوزی می‌باشد (۲۰)؛ بنابراین این کشورها می‌توانند با کم‌ترین هزینه از سیستم موجود و مشابه با شرایط آب و هوایی خود استفاده کنند (۳). بدین منظور تنها هزینه لازم هزینه انتقال فناوری و آموزش به منظور استفاده از این سیستم می‌باشد (۱۶).

- 1- US national fire danger rating system
- 2- The forest fire danger index
- 3- Canadian forest fire danger rating system
- 4- Canadian forest fire weather index system
- 5- Canadian forest fire behavior prediction system
- 6- Fire whirls



شکل ۱- ساختار سیستم شاخص اقلیمی آتش سوزی جنگل کانادا (۳۷).

Figure 1. The structure of the FWI system (37).

منطقه و مدیریت پیش‌گیری آتش‌سوزی و آگاهی بخشی عمومی ساکنین در مناطق جنگلی کاربرد دارد (۳۷). در خصوص استفاده از سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا در داخل کشور مطالعه‌ای صورت نگرفته است ولی پژوهش‌هایی مرتبط با تأثیر اقلیم بر آتش‌سوزی انجام شده است. حمیدی و همکاران (۲۰۲۰)، سناریوهای پتانسیل خطر آتش‌سوزی جنگل‌های شهرستان لردگان را با استفاده از عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی (عوامل توپوگرافی، انسانی، اقلیمی و پوشش گیاهی) و روش‌های تحلیل شبکه‌ای^۲ و میانگین وزنی^۳ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد فاکتور حداکثر دمای روزانه بیش‌ترین وزن را نسبت به سایر عوامل مؤثر در وقوع آتش‌سوزی به‌دست آورد (۱۷). اسکندری (۲۰۱۵)، به بررسی رابطه بین تغییر اقلیم و آتش‌سوزی در جنگل‌های استان گلستان پرداخت. نتایج کلی حاصل از آزمون همبستگی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون نشان داد بین آتش‌سوزی‌های استان گلستان و میانگین درجه حرارت سالانه رابطه مستقیم و بین این

در این زیرسیستم، چهار مؤلفه و متغیر اقلیمی که به‌عنوان ورودی سیستم استفاده می‌شود شامل میزان بارش روزانه، درجه حرارت، رطوبت نسبی و سرعت باد می‌باشد (۳۸). سیستم فوق مبتنی بر اقلیم با شاخص شاخص خروجی اصلی است که بیان‌کننده رطوبت ماده سوختی و پتانسیل رفتار آتش‌سوزی می‌باشد (۲۲). شاخص زیرمجموعه سیستم، درجه‌بندی عددی از پتانسیل نسبی آتش‌سوزی را نشان می‌دهند (۲۲). سه کد رطوبت، تغییرات روزانه رطوبت سه کلاسه ماده سوختی جنگل را با درجات متفاوت رطوبتی بیان می‌کنند (۳۸). ماده سوختی جنگل و ترتیب مقادیر به‌گونه‌ای است که ارزش‌های بالاتر رطوبت کم‌تر و در نتیجه اشتعال بیش‌تر را نشان می‌دهند. در واقع این شاخص‌ها، شاخص‌های بدون واحد از پتانسیل خطر آتش‌سوزی بر اساس مشاهدات روزانه اقلیمی هستند (۳۷). خروجی سیستم حداکثر پتانسیل وقوع آتش‌سوزی مورد انتظار که در گرم‌ترین زمان روز رخ می‌دهد را بیان می‌کند (۳۷). خروجی نهایی شاخص اقلیمی آتش‌سوزی^۱ نامیده می‌شود و به‌عنوان شاخص اصلی خطر آتش‌سوزی در یک

2- Analytical network process (ANP)

3- Ordered weighted average (OWA)

1- Fire weather index

وقوع آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی صورت نگرفته است، این مطالعه با هدف بررسی و شناسایی مؤثرترین متغیر آب و هوایی ورودی سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا جهت رتبه‌بندی و شناسایی میزان همبستگی متغیرهای اقلیمی ورودی به سیستم می‌باشد. با استفاده از نتایج این پژوهش مدیران جنگل می‌توانند در صورت در دسترس نبودن برخی از اطلاعات آب و هوایی مورد نیاز به منظور برآورد سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا، با توجه به میزان همبستگی هر کدام از متغیرهای اقلیمی با خروجی سیستم پیش‌بینی دقیق‌تر و صحیح‌تری از میزان احتمال وقوع آتش‌سوزی جنگل در استان گلستان داشته باشند و با توجه به اهمیت هر متغیر سعی در افزایش دقت داده‌های برداشتی در ایستگاه‌های هواشناسی نمایند.

مواد و روش‌ها

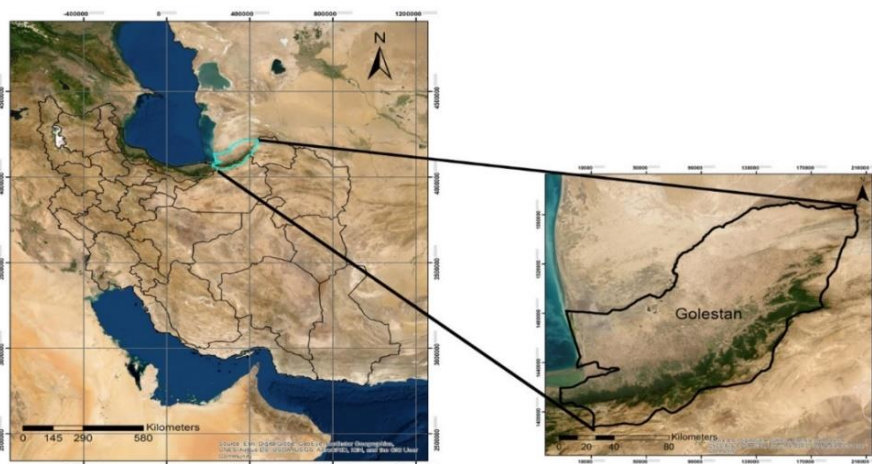
منطقه مورد مطالعه: استان گلستان با مختصات جغرافیایی $36^{\circ} 30'$ تا $38^{\circ} 08'$ عرض شمالی و $51^{\circ} 53'$ تا $56^{\circ} 19'$ طول شرقی و با وسعت 20367 کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۲). سطح جنگل‌های طبیعی استان حدود 450 هزار هکتار است (۱). استان گلستان به لحاظ توپوگرافی دارای دو قسمت متمایز از هم است، منطقه‌ای که به صورت دشت از حدود 26 متر تا حدود 300 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 (۱). آب‌وهوای استان گلستان تحت تأثیر عرض جغرافیایی، نزدیکی به دریا یا بیابان ترکمنستان، ارتفاعات و جریان‌های هوایی که از سیبری به نام توده هوای شمالی و از اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه، به نام توده هوای غربی وارد استان می‌شوند، از تنوع زیادی

آتش‌سوزی‌ها و میانگین رطوبت نسبی سالانه رابطه معکوس وجود دارد (۱۲). در خارج از ایران، دودی و همکاران (۲۰۱۰)، تجزیه و تحلیل 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 مطالعه مشخص کرد که هر دو شاخص شبیه یکدیگر عمل کرده و به سرعت باد، رطوبت نسبی و در نهایت درجه حرارت حساسیت نشان دادند (۹). آنتو و همکاران (۲۰۱۱)، به بررسی شاخص‌های اقلیمی آتش‌سوزی در شمال شرق آلمان پرداختند. نتایج نشان داد که رطوبت نسبی همبستگی بالاتری با شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل در مقایسه با دما و بارش دارد و ضریب همبستگی اسپیرمن عملکرد خوبی را از خود نشان داد (۲). حمده و همکاران (۲۰۱۷)، با استفاده از روش‌های همبستگی مانند رگرسیون آماری، همبستگی پیرسون، اسپیرمن و کندال، تأثیرگذارترین پارامترهای اقلیمی را بر خروجی نهایی شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا در طول شش سال در شمال لبنان مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج پژوهش نشان داد که دمای هوا و دمای لایه بالایی خاک، بیش‌ترین همبستگی را با شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا دارد و هم‌چنین روش همبستگی اسپیرمن بهتر از سایر ضرایب بوده است (۱۶).

بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده، عوامل اقلیمی از جمله مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر وقوع آتش‌سوزی و به‌عنوان ورودی سیستم اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا می‌باشد. با توجه به روند رو به رشد آتش‌سوزی‌ها در دهه‌های اخیر به‌ویژه در استان گلستان و از آنجایی که در کشور مطالعه جامعی در زمینه استفاده از سامانه‌های هشدار پیش‌هنگام اقلیمی

میلی‌متر در ارتفاعات جنوبی تا ۲۰۰ میلی‌متر در دشت منتهی به بیابان ترکمنستان تغییر کند (۱). همچنین به علت کاهش رطوبت هوا، دامنه گرما افزایش می‌یابد و اختلاف شدیدی بین دمای شب و روز و دمای سردترین و گرم‌ترین ماه‌های سال به وجود می‌آید که مشخصه اصلی آن، زمستان‌های نسبتاً سرد و بارانی است و تابستان‌های گرم و خشک طولانی (۵ تا ۶ ماه) که باعث افزایش خطر وقوع آتش‌سوزی و افزایش تعداد آتش‌سوزی‌ها می‌شود (۷، ۱۱).

برخوردار است. شمال شرق استان، به‌ویژه در شرق دریای خزر و حذفاصل گرگان رود تا مرز ترکمنستان، به علت دوری از اثرات دریای خزر، کاهش ارتفاعات البرز شرقی، وسیع بودن جلگه ساحلی و نزدیکی به بیابان‌های قره قوم و قزل قوم در جمهوری‌های آسیای میانه، تغییرات محسوسی در آب‌وهوای معتدل مرطوب خزری (خزری شرقی) پدید می‌آید و شرایط خشکی و گرمای هوا تشدید می‌شود و رفته‌رفته به اقلیم نیمه‌خشک (نیمه بیابانی) تبدیل می‌شود و میزان بارندگی سالانه کاهش می‌یابد، میزان بارندگی از ۸۰۰



شکل ۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه.

Figure 2. The position of the study area.

۲۱ ساله (۱۳۷۶-۱۳۹۷) در طول فصل آتش‌سوزی (فروردین تا دی‌ماه) (۱۱) به صورت روزانه از ایستگاه‌های سینوپتیک و تبخیرسنجی در سطح استان جمع‌آوری شد (جدول ۱).

جمع‌آوری اطلاعات اقلیمی استان: به منظور برآورد سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا، متغیرهای ورودی به سیستم که شامل چهار متغیر اقلیمی درجه حرارت، رطوبت نسبی، سرعت باد در ارتفاع ده متری زمین و میزان بارش برای یک دوره

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک و تبخیرسنجی در استان گلستان.

Figure 1. Details of synoptic and evaporative stations in the Golestan Province.

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

کپی‌های موردنیاز برای چند برابر شدن جامعه‌ای با اندازه a است، به طوری که میزان استرس خام^۶ یا همان خطای اندازه‌گیری کاهش یابد (۸). تابع استرس خام (S^*) به صورت رابطه ۲ قابل تعریف است. در این رابطه؛ d_{ij} نشان‌دهنده فاصله اصلی و D_{ij} نشان‌دهنده فاصله اقلیدسی^۷ (فاصله با یک خط راست) میان مختصات دوتقطه است. رتبه‌دهی میان ورودی‌های آب و هوایی با شاخص FWI به صورت جفت‌شده براساس کم‌ترین عدم شباهت^۸، اختلاف^۹ و فاصله^{۱۰} در مختصات دو بُعدی انجام گرفت و نقشه پیکربندی رسم شد. در نهایت، نحوه تغییرات عدم شباهت در برابر نسبت فاصله به اختلاف به شکل دیاگرام شپرد^{۱۱} مشخص گردید (۲۱).

$$dm = \frac{\ln c}{\ln a} \quad (1)$$

$$S^* = \sum_{i < j} (d_{ij} - D_{ij})^2 \quad (2)$$

نتایج و بحث

شناسایی مؤثرترین متغیر ورودی آب و هوایی شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا: نتایج حاصل از ماتریس شباهت با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون، اسپیرمن و کندال به منظور تعیین مؤثرترین پارامتر ورودی در سیستم اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا (جدول ۲) آورده شده است.

برآورد شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل (Fir Weather Index): با استفاده از مقادیر روزانه متغیرهای اقلیمی ابتدا محاسبه مقادیر شاخص‌های سیستم در هر ایستگاه در طول فصل آتش‌سوزی انجام شد سپس داده‌های خروجی روزانه هر ایستگاه به صورت ماهانه در طول دوره ۲۱ ساله میانگین‌گیری شد تا مقادیر اولیه با دقت بالا در سطح ایستگاه‌ها به دست آید. با استفاده از مقادیر اولیه، محاسبات دوباره در هر ایستگاه هواشناسی در طول دوره ۲۱ ساله انجام شد و در نهایت خروجی سیستم، شاخص FWI برای هر ایستگاه محاسبه شد (۱۶، ۳۷). مقدار این شاخص رتبه‌بندی عددی از شدت آتش‌سوزی بوده و بیان‌کننده پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی با توجه به شرایط اقلیمی منطقه در یک روز می‌باشد (۳۸).

شناسایی مؤثرترین متغیر ورودی آب و هوایی بر شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا (FWI):

به منظور شناسایی مؤثرترین متغیر آب و هوایی ورودی به سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا، تجزیه و تحلیل همبستگی بین چهار پارامترهای آب و هوایی با خروجی سیستم (شاخص اقلیمی آتش‌سوزی) با ساخت ماتریس مجاورت و مقایسه توسط ثابت همبستگی‌های پیرسون^۱، اسپیرمن^۲ و کندال^۳ (۱۶، ۳۲) انجام شد. هم‌چنین روی ماتریس شباهت تشکیل شده، آنالیز مقیاس‌بندی چندبُعدی^۴ انجام شد. بدین منظور بُعد^۵ شباهت موردنیاز (dm): نماد بُعد که نشان‌دهنده تغییرات در اثر بزرگ شدن جامعه هست، با استفاده از رابطه (۱) برابر با حداکثر بُعد محاسبه شد. در این رابطه c نشان‌دهنده تعداد

6- Raw stress
7- Euclidean distance
8- Dissimilarity
9- Disparity
10- Distance
11- Shepard diagram

1- Pearson correlation coefficient
2- Spearman correlation coefficient
3- Kendall correlation coefficient
4- Multidimensional scaling
5- Dimension

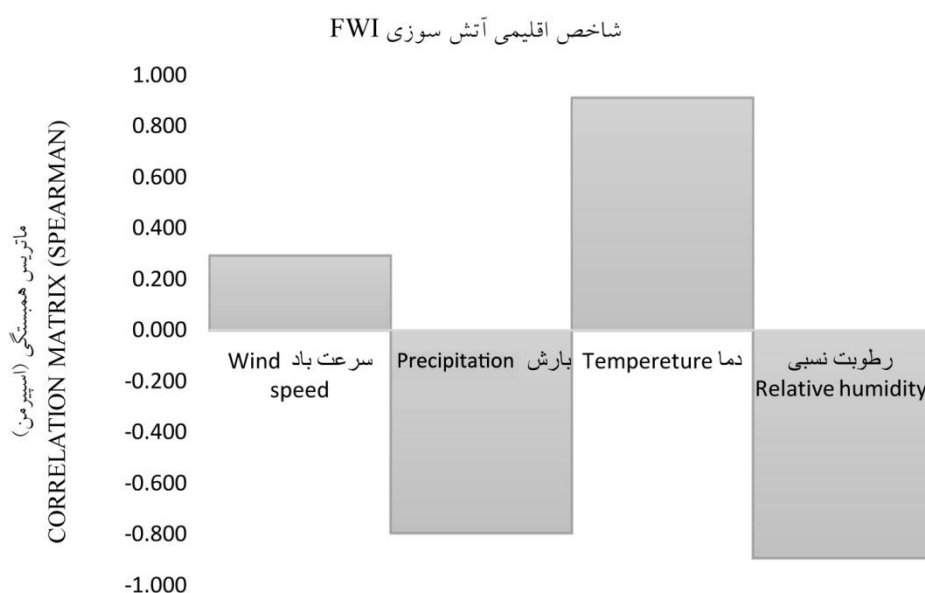
جدول ۲- ماتریس شباهت با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون، اسپیرمن و کندال به منظور تعیین مؤثرترین پارامتر ورودی در سیستم اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا.

Table 2. Pearson, Spearman & Kendall correlation coefficient between meteorological variables and FWI.

سرعت باد Wind speed	بارش Precipitation	درجه حرارت Temperature	رطوبت نسبی Relative humidity	نوع ضریب آزمون Type of test coefficient	
0.29	-0.79	0.91	-0.89	شاخص اقلیمی آتش‌سوزی FWI	اسپیرمن Spearman
0.29	-0.65	0.89	-0.90	شاخص اقلیمی آتش‌سوزی FWI	پیرسون Pearson
0.18	-0.59	0.73	-0.73	شاخص اقلیمی آتش‌سوزی FWI	کندال Kendal

بارش با شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل منفی می‌باشد نشان‌دهنده رابطه معکوس شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل با این دو متغیر است. ضریب همبستگی اسپیرمن با دارا بودن بیشترین مقدار ضریب همبستگی نسبت به سایر ضرایب در تعیین مؤثرترین متغیر ورودی آب و هوایی در سیستم اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا کارایی بهتری را نشان داد (شکل ۳).

نتایج نشان داد متغیر درجه حرارت بالاترین ثابت همبستگی مثبت (۰/۹۱) را در بین سایر متغیرهای ورودی به سیستم دارد و ضریب همبستگی مثبت نشان‌دهنده رابطه مستقیم درجه حرارت با شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل می‌باشد. بعد از درجه حرارت، به ترتیب رطوبت نسبی، بارش و سرعت باد بیشترین تأثیر را بر خروجی سیستم دارند. از آنجایی که ضریب همبستگی بین رطوبت نسبی و

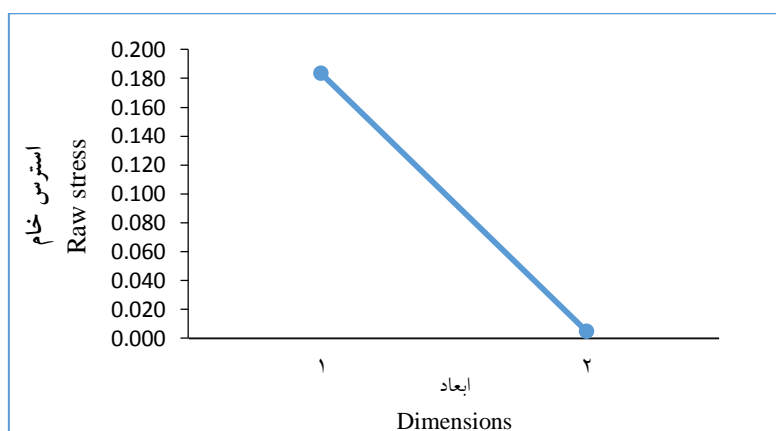


شکل ۳- همبستگی متغیرهای ورودی با شاخص FWI با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن.

Figure 3. Spearman correlation coefficient between meteorological variables and FWI.

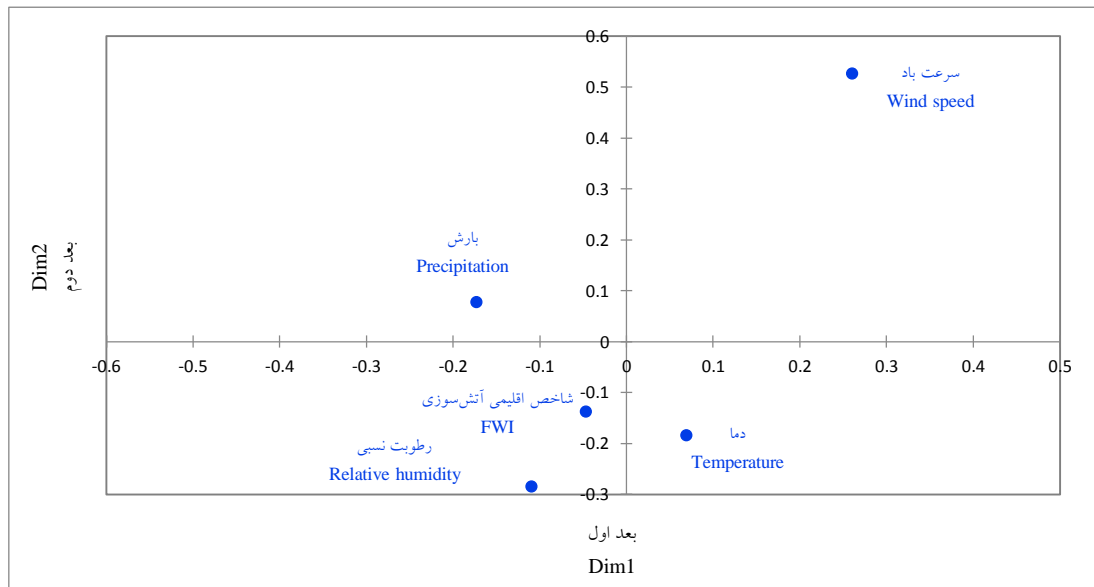
جنگل کانادا بیش‌تر است. بر طبق این نتایج دما با اختلاف ۰/۰۹ و فاصله ۰/۱۲ بیش‌ترین تأثیر را بر شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا داشته و رتبه تأثیر یک را به خود اختصاص داده است. بعد از دما، به ترتیب رطوبت نسبی، بارش و سرعت باد بیش‌ترین تأثیر را بر خروجی سیستم اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا در استان گلستان دارند. در پژوهش‌های انجام‌شده ضریب همبستگی اسپیرمن را بهتر از سایر ضرایب همبستگی در تعیین مهم‌ترین پارامتر اقلیمی ورودی به سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا معرفی کردند با نتایج این پژوهش یکسان است (۲، ۱۶). هم‌چنین (۱۶) عامل درجه حرارت روزانه را به‌عنوان مؤثرترین پارامتر ورودی به سیستم اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا معرفی کرد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (۲). (۹) عامل رطوبت نسبی را به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر اقلیمی ورودی به سیستم معرفی کردند که با نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش متفاوت است. (۱۷) و (۱۲) دریافتند وقوع آتش‌سوزی جنگل با میانگین درجه حرارت سالانه همبستگی مثبت و با میانگین رطوبت نسبی سالانه همبستگی منفی دارد که با نتایج همبستگی این پژوهش شباهت دارد.

بررسی مؤثرترین متغیر ورودی آب و هوایی شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا: بر اساس ماتریس همبستگی ایجادشده، مقدار اختلاف در مختصات دوبعدی، میزان تأثیر هر متغیر آب و هوایی ورودی به سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا را مشخص می‌کند. شکل ۴ میزان کاهش استرس خام پیش‌بینی را در اثر مقایسه دوبعدی نشان می‌دهد که از ۰/۱۸ به ۰/۰۰۵ کاهش یافت. در سطح سه‌بعدی میزان استرس خام افزایش پیدا کرد بنابراین سطح دوبعدی سطح بهینه مقایسه‌ها در نظر گرفته شد. میزان استرس خام زیر ۰/۱، نشان‌دهنده مقایسه عالی و کافی در مقیاس بُعدی است. شکل ۵ نقشه پیکربندی مؤثرترین پارامتر اقلیمی ورودی شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا را نشان می‌دهد. نتایج مقایسه جفتی میزان تأثیرگذاری پارامترهای اقلیمی ورودی به شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا در مقیاس دوبعدی به همراه رتبه‌بندی بر اساس بیش‌ترین میزان تأثیر (کم‌ترین عدم شباهت) در جدول ۳ نشان داده شده است. شکل ۶ دیاگرام شپرد را نشان می‌دهد که نحوه تغییرات عدم شباهت در برابر فاصله/اختلاف را به‌صورت خطی نشان می‌دهد. هرچه میزان عدم شباهت و فاصله/اختلاف کم‌تر باشد مقدار تأثیرگذاری متغیر اقلیمی بر خروجی سیستم اقلیمی آتش‌سوزی



شکل ۴- نمودار تغییرات استرس خام در ابعاد.

Figure 4. Raw stress changes in dimensions.



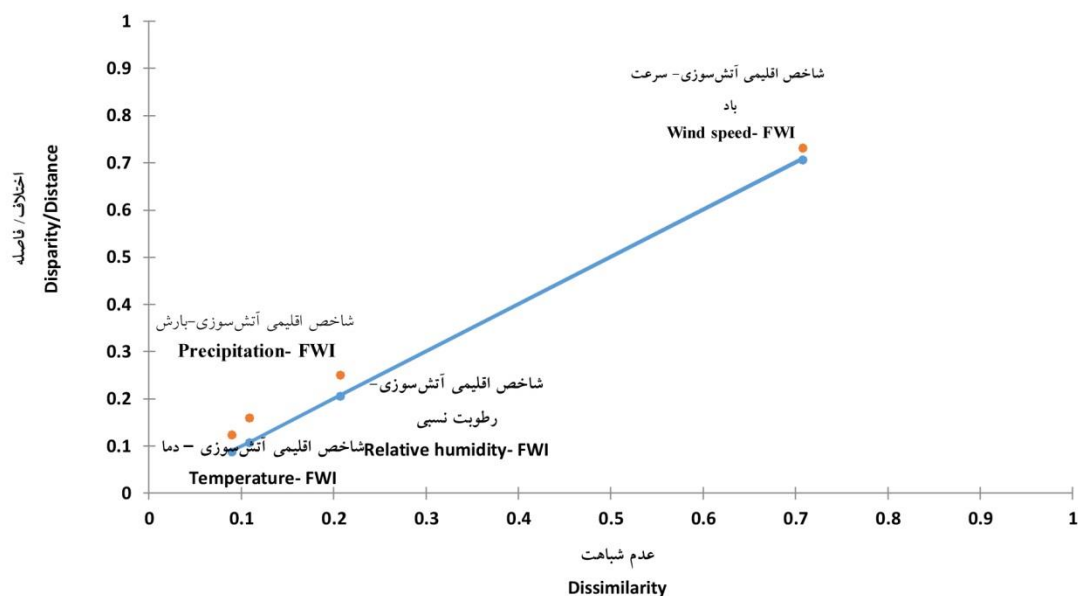
شکل ۵- نقشه پیکربندی همبستگی متغیرهای اقلیمی با خروجی سیستم اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا در مختصات دوبعدی.

Figure 5. Configuration Map between meteorological variables and FWI in two-dimensional space.

جدول ۳- مقایسه جفتی و رتبه‌بندی عدم شباهت، اختلاف و فاصله در مختصات دوبعدی (استرس خام: ۰/۰۰۵).

Table 3. Pair comparison and ranking of dissimilarity, difference and distance in two-dimensional coordinates (raw stress: 0.005).

عدم شباهت Dissimilarity	اختلاف Disparity	فاصله Distance	رتبه (عدم شباهت) Rank (Dissimilarity)	رتبه (اختلاف) Rank (Disparity)	رتبه (فاصله) Rank (Distance)	مقایسه جفتی Pair Comparison
0.09	0.09	0.12	1	1	1	شاخص اقلیمی آتش‌سوزی - دما Temperature- FWI
0.10	0.10	0.16	2	2	2	شاخص اقلیمی آتش‌سوزی - رطوبت نسبی Relative humidity- FWI
0.20	0.20	0.25	3	3	3	شاخص اقلیمی آتش‌سوزی - بارش Precipitation- FWI
0.70	0.70	0.73	4	4	4	شاخص اقلیمی آتش‌سوزی - سرعت باد Wind speed- FWI



شکل ۶- دیاگرام شپرد برای تغییرات [عدم شباهت] در برابر [نسبت اختلاف به فاصله] در فواصل و اختلافات متغیرهای اقلیمی با شاخص اقلیمی آتش‌سوزی کانادا در تجزیه و تحلیل دوبعدی.

Figure 6. Shepard diagram between meteorological variables and FWI for dissimilarity and distance.

خطر وقوع آتش‌سوزی در مناطق مختلف استان پردازند. استفاده از یک سیستم کارآمد هشدار پیش‌هنگام اقلیمی آتش‌سوزی در جنگل‌های شمال کشور می‌تواند علاوه بر کاهش چشم‌گیر هزینه‌ها به مدیریت ریسک آتش‌سوزی در جنگل، پیش‌گیری از وقوع آتش‌سوزی و درنهایت اطفاء سریع آن کمک شایانی نمایند.

سیاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی مصوب (۹۷۰۱۵۱۶۹) و با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران ریاست جمهوری انجام شد. بدین‌وسیله از حمایت‌های مادی و معنوی آن صندوق تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش به بررسی میزان همبستگی بین متغیرهای آب و هوایی سیستم اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا با خروجی سیستم در یک دوره ۲۱ ساله (۱۳۷۶-۱۳۹۷) مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس مشخص گردید به ترتیب متوسط درجه حرارت، رطوبت نسبی، بارندگی و سرعت باد روزانه بیش‌ترین تأثیر را بر خروجی سیستم پیش‌هنگام اقلیمی آتش‌سوزی جنگل در پیش‌بینی احتمال وقوع آتش‌سوزی جنگل در این استان دارند؛ بنابراین مدیران جنگل می‌توانند با به‌کارگیری این سیستم در صورت در دسترس نبودن سایر متغیرها میزان احتمال وقوع آتش‌سوزی را با استفاده از ترتیب اهمیت هر یک از متغیرهای اقلیمی پیش‌بینی کنند و به بررسی پتانسیل

منابع

1. Adab, H., Kasturi, D., and Karim, S. 2013. Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. *Natural Hazards*. 65: 3. 1723-1743.
2. Barčić, D., Dubravac, T., and Vučetić, M. 2020. Potential hazard of open space fire in black pine stands (*Pinus nigra* JF Arnold) in regard to Fire severity. *South-east European Forestry*. 11: 2. 161-168.
3. Bedia, J., Herrera, S., Gutiérrez, J.M., Benali, A., Brands, S., Mota, B., and Moreno, J.M. 2015. Global patterns in the sensitivity of burned area to fire-weather: Implications for climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*. 214: 1. 369-379.
4. Camia, A., Bovio, G., Aguado, I., and Stach, N. 1999. Meteorological fire danger indices and remote sensing. *Remote Sensing of Large Wildfires*. 34: 1. 39-59.
5. Cortez, P.G., and Morais, A. 2007. A data mining approach to predict forest fires using meteorological data. In: *Proceeding of the 13th Portuguese conference an artificial intelligence*. 21: 2. 512-523.
6. Chaei, A. 2000. Fire effects on vegetation changes in the Golestan National Park. MSc. Thesis, University of Mazandaran, 85p. (In Persian)
7. Christensen, R.H.B. 2015. Statistical methodology for sensory discrimination tests and its implementation in sens R. *The American Statistician*. 62: 1. 22-26.
8. De Groot, W.J., Goldammer, J.G., Keenan, T., Brady, M.A., Lynham, T.J., Justice, C.O., and O'Loughlin, K. 2006. Developing a global early warning system for wildland fire. *Forest Ecology and Management*. 234: 1. 10-24.
9. Dowdy, A.J., Mills, G.A., Finkele, K., and de Groot, W. 2010. Index sensitivity analysis applied to the Canadian forest fire weather index and the McArthur forest fire danger index. *Meteorological Applications*. 17: 3. 298-312.
10. Eshaghi, M.A., and Shataee, Sh. 2016. Preparation map of forest fire risk using SVM, RF and MLP algorithms (Case study: Golestan national park. Northeastern Iran. *J. of Wood and Forest science and Technology*. 23: 4. 133-154. (In Persian)
11. Eskandari, S. 2015. Investigation on the relationship between climate change and fire in the forests of Golestan Province. *Forest and Range Protection Research*. 13: 1. 1-10. (In Persian)
12. Finney, M.A. 2005. The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire. *Forest Ecology and Management*. 211: 1. 97-108.
13. Fogariti, L., and Catchpole, P. 1998. Adoption vs. adaptation: lessons from applying the Canadian forest fire danger rating system in New Zealand. 14th international conferences on Fire and Forest Meteorology. 1: 10. 11-14.
14. Galanter, M., Levy, H., and Carmichael, G.R. 2000. Impacts of biomass burning on tropospheric CO, NO x, and O3. *J. of Geophysical Research: Atmospheres*. 105: 5. 6633-6653.
15. Hamadeh, N., Karouni, A., Daya, B., and Chauvet, P. 2017. Using correlative data analysis to develop weather index that estimates the risk of forest fires in Lebanon and Mediterranean. *Assessment versus prevalent meteorological indices. Case Studies in Fire Safety*. 7: 8-22.
16. Hamidi, N., Esmaeily, A., and Faramarzi, H. 2020. Analysis of the potential fire hazard scenarios using GIS and RS. A case study of Lordegan forests. *Emergency management*. 9: 1. 17-27. (In Persian)
17. Holsten, A., Dominic, A.R., Costa, L., and Kropp, J.P. 2013. Evaluation of the performance of meteorological forest fire indices for German federal states. *Forest Ecology and Management*. 287: 1. 123-131.
18. House, J.I., Colin Prentice, I., and Le Quere, C. 2002. Maximum impacts of future reforestation or deforestation on atmospheric CO₂. *Global Change Biology*. 8: 11. 1047-1052.

19. Johnston, L.M., Wang, X., Erni, S., Taylor, S.W., McFayden, C.B., Oliver, J.A., and Flannigan, M.D. 2020. Wildland fire risk research in Canada. *Environmental Reviews*. 28: 2. 164-186.
20. Pérez Porrás, F.J., Triviño Tarradas, P., Cima Rodríguez, C., Meroño de Larriva, J.E., García Ferrer, A., and Mesas-Carrascosa, F.J. 2021. Machine learning methods and synthetic data generation to predict large wildfires. *Sensors*. 21: 11. 3694-3713
21. Kruskal, J.B. 1964. Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. *Psychometrika*. 29: 1. 1-27.
22. Lawson, B.D., and Armitage, O.B. 2008. Weather guide for the Canadian forest fire danger rating system. Canadian forest Service. Northern Forestry Centre. 1: 1. 1-84.
23. Madjnoonian, H., Zehzad, B., and Kiabi, B. 1999. Golestan National Park (Biosphere Reserve) – Department of the Environment. 130p. (In Persian)
24. Nikolopoulos, E.I., Destro, E., Bhuiyan, M.A.E., Borga, M., and Anagnostou, E.N. 2018. Evaluation of predictive models for post-fire debris flow occurrence in the western United States. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 18: 9. 2331-2343.
25. Nyatondo, U.N. 2010. Fire spread modeling in Majella national park, Italy. MSc thesis. International institute for geo information science and Earth observation, Enschede. 91p.
26. Papagiannaki, K., Giannaros, T.M., Lykoudis, S., Kotroni, V., and Lagouvardos, K. 2020. Weather-related thresholds for wildfire danger in a Mediterranean region. The case of Greece. *Agricultural and Forest Meteorology*. 291: 1. 76-108.
27. Parsakhoo, A., Eshaghi, M.A., and Joybari, S. 2016. Design and evaluation of helicopter landing variants for firefighting in Golestan national park. Northeast of Iran. *Caspian J. of Environmental Sciences*. 14: 4. 321-329.
28. Pourtaghi, Z.S., Pourghasemi, H.R., and Rossi, M. 2015. Forest fire susceptibility mapping in the Minudasht forests, Golestan province, Iran. *Environmental Earth Sciences*. 73: 4. 1515-1533.
29. Shahani, A.R., and Rahai A. 2020. Causes, effects, challenges and strategies to combat forest and rangeland fires. Research center of the Islamic consultative assembly. 17288: 250. 13-14. (In Persian)
30. Rodrigues, M., Alcasena, F., and Vega-García, C. 2019. Modeling initial attack success of wildfire suppression in Catalonia, Spain. *Science of the Total Environment*. 666: 915-927.
31. Rodrigues, M., González-Hidalgo, J.C., Peña-Angulo, D., and Jiménez-Ruano, A. 2019. Identifying wildfire-prone atmospheric circulation weather types on mainland Spain. *Agricultural and Forest Meteorology*. 264: 92-103.
32. Sabbaghi, H., Ziaifar, A.M., and Kashaninejad, M. 2019. Design of fuzzy system for sensory evaluation of dried apple slices using infrared radiation. *Iranian J. of Biosystems Engineering*. 50: 1. 77-89. (In Persian)
33. Sakr, G., Elhajj, E.I.H., Mitri, G. 2011. Efficient forest fire occurrence prediction for developing countries using two weather parameters. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 24: 888-894.
34. Salis, M. 2008. Fire behavior simulation in Mediterranean maquis using FARSITE. PhD Doctoral Thesis, Università' Degli Studi Di Sassari. 95p.
35. Stojanova, D.G., Panov, P.G., Kobler, A.G., Dzeroski, S.G., and Taskova, K. 2006. Learning to predict forest fires with different data mining techniques. *Conference on Data Mining and Data Warehouses*. 1: 255-258.
36. Van der Werf, G.R., Randerson, J.T., Giglio, L., Collatz, G.J., Mu, M., Kasibhatla, P.S., and van Leeuwen, T.T. 2010. Global fire emissions and the contribution of deforestation. Savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). *Atmospheric Chemistry and Physics*. 10: 23. 11707-11735.

37. Van Wagner, C.E., and Forest, P. 1987. Development and structure of the Canadian forest fire weather index system. In Can. For. Serv., Forestry Tech. Rep. 35p.
38. Van Wagner, C.E., and Pickett, T.L. 1985. Equations and FORTRAN Program for the Canadian Forest Fire Weather Index System. Forestry Technical Report 33: 18p.
39. Winkler, H., Formenti, P., Esterhuyse, D.J., Swap, R.J., Helas, G., Annegarn, H.J., and Andreae, M.O. 2008. Evidence for large-scale transport of biomass burning aerosols from sun photometry at a remote South African site. *Atmospheric Environment*. 42: 22. 5569-5578.
40. Zhang, Q.F., and Chen, W.J. 2007. Fire cycle of the Canada's boreal region and its potential response to global change. *J. of Forestry Research*. 18: 1. 55-61.