

بررسی کارایی مدل های مختلف در پهنه بندی پتانسیل خطر آتش سوزی در جنگل های استان کهگیلویه و بویراحمد

جواد آزاده *

azadehjavad811@gmail.com

وحید اعتماد ^۲

منوچهر نمیرانیان ^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۲۹

چکیده

زمینه و هدف: هر ساله آتش سوزی به عنوان یکی از مصادیق بحران های طبیعی باعث نابودی جنگل ها به عنوان بخش مهمی از محیط زیست می شود. شناسایی عوامل موثر در وقوع آتش سوزی و مشخص سازی مناطق پرخطر یکی از ابزارهای اساسی جهت دستیابی به راهکارهای کنترل و مقابله با آتش سوزی هاست. بر این اساس، هدف اصلی این مطالعه تعیین مناطق پرخطر و عوامل موثر بر آتش سوزی در جنگل های زاگرس استان کهگیلویه و بویر احمد در غرب ایران مورد تعیین شد.

روش بررسی: در این تحقیق مناطق دارای پتانسیل خطر آتش سوزی در این جنگل های بر اساس سه روش بر پایه GIS (ANP و فازی، مدل دانگ و مدل CFRISK) پهنه بندی شد. معیارهای بیولوژیکی، فیزیوگرافیک، اقلیمی و اقتصادی- اجتماعی در قالب ۱۱ زیر معیار به عنوان پارامترهای موثر در وقوع آتش سوزی با روش ANP در تابستان ۱۳۹۹ رتبه بندی گردیدند.

یافته ها: نتایج نشان داد که پارامتر فاصله از زمین های کشاورزی و مناطق مسکونی و کاربری اراضی مهمترین عوامل موثر بر وقوع آتش سوزی ها در اکوسیستم های جنگلی منطقه بودند. آنالیز تصمیم گیری چند معیاره با در نظر گرفتن تعداد پارامترهای بیشتر و دقت بالاتر بر اساس اعتبارسنجی عملکرد بهتری نسبت به دو روش دیگر داشته است.

بحث و نتیجه گیری: نقشه پتانسیل خطر با این روش می تواند نقش مهمی در ارزیابی میزان حساسیت عرصه های جنگلی و اتخاذ تصمیمات مدیریتی صحیح در پیشگیری و اطفای حریق در این منابع ارزشمند داشته باشد.

واژه های کلیدی: آتش، زاگرس، ANP، Dong، CFRISK.

- ۱- کارشناسی ارشد جنگلداری، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. * (مسوول مکاتبات)
- ۲- دانشیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ۳- استاد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

Investigation of efficiency of different models in zoning of fire hazard potential in forests of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad provinces

Javad Azadeh^{1*}

azadehjavad811@gmail.com

Vahid Etemad²

Manochehr Namiranian³

Admission Date: November 24, 2021

Date Received: September 20, 2021

Abstract

Background and Objective: Every year, fires, as an example of natural crises, destroy forests as an important part of the environment. Identifying the effective factors in the occurrence of fires and high-risk areas is one of the basic tools to achieve solutions to control and deal with fires.

Method: In this study, areas with potential fire hazard in Zagros forests in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad provinces in western Iran were zoned based on three GIS methods (ANP and fuzzy, Dong model and CFRISK model). Biological, physiographic, climatic and socio-economic criteria in the form of 11 sub-criteria were ranked as effective parameters in the occurrence of fire by ANP method.

Findings: The results showed that the criterion of distance from agricultural lands and residential areas and land use were the most important factors affecting the occurrence of fires in forest ecosystems of the region. Multi-criteria decision analysis with better number of parameters and higher accuracy based on validation has performed better than the other two methods.

Discussion and Conclusion: Map of potential fire risk with this method can play an important role in assessing the sensitivity of forest areas and making the right management decisions in fire prevention and extinguishing in these valuable resources.

Keywords: Fire, Zagros, Dong, ANP, CFRISK.

1- MS.c of Forestry, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran. **(Corresponding Author)*

2- Associate Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

3- Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

مقدمه

آتش سوزی به عنوان یک تهدید بالقوه، یکی از مهمترین عوامل مخرب جنگل ها محسوب شده و همواره این بوم سازگان حیاتی را مورد تهدید قرار می دهد (۱، ۲). روند فزاینده گسترش آتش سوزی ها طی دهه های اخیر در جنگلهای سراسر جهان، آن را به عنوان یک بحران فراگیر و عامل تخریب کننده مهم اکوسیستم های طبیعی، تبدیل به یکی از مهمترین مبحث ها نموده است (۳، ۴). آتش سوزی به عنوان یک عامل آشفتنگی اکوسیستم های جنگلی، نابودی گونه های گیاهی و جانوری را در پی داشته، باعث برهم زدن ساختار و ترکیب جنگل، از بین رفتن زادآوری جنگل، سلامتی و شادابی گونه ها، همچنین سبب تغییر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و میکروکلیم، اتلاف مواد غذایی موجود در بخش های زیر زمینی اکوسیستم، می شود (۵، ۶، ۷).

عوامل متعددی در آتش سوزی جنگل ها در ایران نقش دارند (۸). آتش سوزی های طبیعی در جنگل ها معمولاً در اثر رعد و برق، کمبود بارندگی و رطوبت کافی، وزش بادهای گرم، تجمع لاشبرگها و اصطکاک بین لاشبرگ های خشک به وجود می آیند (۹، ۱۰). مطالعات نشان داده که قرار گرفتن ایران در کمربند خشک کره زمین و ناحیه پرفشار جنب حاره ای و پدیده خشکسالی ناشی از تغییرات اقلیمی و تغییر در الگوی بارندگی و آب و هوا، به ویژه در سالهای اخیر از مهمترین عواملی هستند که باعث افزایش آتش سوزی در جنگل ها عنوان شده اند (۲، ۸، ۹ و ۱۰). از طرف دیگر، عوامل انسانی از جمله بی احتیاطی ناشی از حضور مسافران و گردشگران یا آتش سوزیهای عمدی جهت تبدیل اراضی به اراضی کشاورزی و باغات، باعث افزایش دفعات وقوع و وسعت آتش سوزی ها شده است (۵، ۹ و ۱۱). در یک تقسیم بندی دیگر، عوامل زیست محیطی یا اکولوژیکی شامل معیارهای اقلیمی، پوشش گیاهی و توپوگرافی هستند که در کنار عوامل انسانی، زمینه آتش سوزی در جنگلها را فراهم می کنند (۱، ۳، ۴، ۶، ۲۲).

ناحیه رویشی زاگرس رویشگاه جنگل های بلوط ایرانی، از منابع مهم اکولوژیکی و یکی از مهمترین اکوسیستمهای جنگلی

طبیعی ایران محسوب می شوند که تضمین کننده پایداری آب و خاک بوده و منشأ خدمات زیست محیطی ارزشمندی در این منطقه بشمار می آیند (۵، ۱۱، ۱۳). در سال های اخیر این جنگل ها بر اثر تنش های محیطی مانند خشکسالی ها، ریزگردها و فرسایش خاک، تغییرات کاربری اراضی به منظور افزایش سطح زمین های کشاورزی، آفت ها و آتش سوزی ها به میزان زیادی با افزایش سیر تخریب ها مواجه شده اند (۱۳). افزایش بحران های گریبانگیر این جنگلها و نابودی متعاقب آنها پیامدهای جبران ناپذیری بر محیط زیست، اکولوژی منطقه و حیات جوامع انسانی مجاور آنها دارد (۹). در سال های اخیر گزارش های نگران کننده ای در ارتباط با آتش سوزی های مکرر و گسترده در این جنگلها ارائه شده است (۱۱، ۱۴). بدین منظور با توجه به این موضوع، پیش بینی تمهیدات لازم به منظور مقابله با آن ضروریست (۳، ۱۱). ارزشمند بودن این جنگلها و اهمیت آنها در زندگی روزمره ساکنان، آمار آتش سوزی های گذشته و میزان خسارات به بار آمده از آنها، نشان از اهمیت این مسأله و ارائه راهکارهای لازم برای مدیریت، نظارت و در نتیجه کاهش خسارت آتش سوزی این جنگل ها دارد (۵، ۹).

کنترل طبیعی آتش سوزی ها مشکل است؛ در فرآیند مدیریت بحران آتش سوزی، تعیین مناطق مستعد وقوع آتش سوزی، شناسایی نقاط بحرانی یا پهنه های با خطر بالا به منظور پیش بینی و آمادگی اولیه جهت جلوگیری از تخریب جنگلها، بخش از این فرآیند و یکی از اولین استراتژی هایی است که همواره مورد توجه قرار داشته است (۲، ۵، ۶، ۸، ۹، ۱۱، ۱۵). با تهیه نقشه نواحی دارای خطر آتش سوزی و برنامه ریزی برای این نواحی می توان خطرات و بالتبع آن تا حدود زیادی هزینه ها را کاهش داد (۳، ۱۰، ۱۲). طی سال های اخیر سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، امکانات و ابزارهای جدیدتر و دقیق تری را در مانیتورینگ و علت یابی وقوع آتش سوزی در جنگل ها در اختیار محققان محیط زیست قرار داده است (۴، ۱۶، ۱۷). استفاده از روش های مختلف مدل سازی مکانی و تهیه نقشه

مواد و روش ها

۱- معرفی مناطق مورد مطالعه

منطقه مورد تحقیق جنگل های استان کهگیلویه و بویر احمد در جنوب غرب ایران است. این استان با با مساحتی حدود ۱۵۵۰۴ کیلومتر مربع، در دامنه سلسله جبال زاگرس قرار گرفته است (شکل ۱). به سبب داشتن ارتفاعات زیاد، بارندگی فراوان و دمای مناسب از پوشش گیاهی متنوعی برخوردار است. بیشترین بارش در فصل زمستان است. نوسانات دمایی از ۱۰- تا ۴۵+ درجه سانتیگراد داشته، منحنی آمپروترمیک منطقه نشان دهنده دوره خشک نسبتاً طولانی از اواسط اردیبهشت تا اواسط مهر می باشد. متوسط رطوبت نسبی منطقه ۴۶/۴٪ است. این استان، ۱۶ درصد جنگل های زاگرس و ۷ درصد کل جنگل های ایران را دارا می باشد که از انبوه ترین جنگل های منطقه رویشی زاگرس به شمار می رود. تیپ بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) بزرگترین تیپ جنگلی استان را تشکیل می دهد.

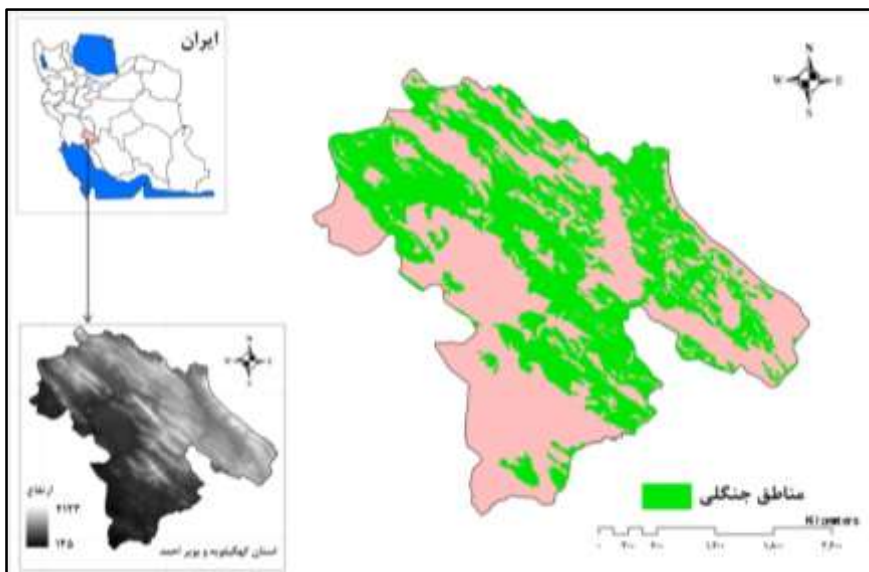
۲- روش انجام تحقیق

۱-۲- استخراج داده های آتش سوزی

در این پژوهش به منظور تعیین و استخراج مکان های آتش سوزی در جنگل های استان مربوط به دوره آماری ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ از محصولات سنجنده مادیس و بررسی های میدانی استفاده شد. شناسایی این مناطق به منظور بررسی اعتبار نقشه های نهایی، نحوه پراکنش و شناخت کلی از مناطق حاساس که قبلاً آتش سوزی در آنها رخ داده است، ضروری می باشد که در تابستان ۱۳۹۹ انجام شد (۱، ۱۷).

خطر آتش سوزی جنگل از طریق مدل سازی در نرم افزارهای اطلاعات مکانی و سنجش از دور، راهکاری مناسب و اساسی برای پایش، پیشگیری و مدیریت این مسئله مخرب زیست محیطی ارائه می دهد (۲، ۳، ۴، ۱۸، ۱۹). این امر با طیف وسیعی از روش ها تا کنون مورد تجربه قرار گرفته است که می توان به انواع روش های رگرسیونی و همبستگی (۶، ۷، ۱۸، ۱۹)، روش دانگ (۱۰، ۱۱، ۱۵، ۲۰)، روش فازی، AHP (analytical hierarchy process)، ANP (analytical network process) و سایر روش های ارزیابی چند معیاره از جمله ترکیبی خطی- وزنی (۱، ۲، ۶، ۹، ۱۲، ۱۷، ۲۱، ۲۲)، روش شبکه عصبی (۷، ۹) و دیگر روشهای نوین ناپارمتریک نظیر روشهای ماشین یادگیری (Machine learning) اشاره نمود. هر کدام از این روش ها دارای قابلیت ها و محدودیت هایی هستند. بررسی قابلیت این روشها و به کارگیری آنها در مناطق مختلف می تواند در نتیجه گیری برای انتخاب بهترین و مؤثرترین روش کمک زیادی نماید (۱، ۲، ۴، ۶، ۹).

بر این اساس، روش های مختلفی بر پایه مدلسازی مکانی در این مطالعه در خصوص تعیین مناطق پرخطر و عوامل موثر بر آتش سوزی در جنگل های زاگرس استان کهگیلویه و بویر احمد در غرب ایران مورد بررسی و آزمون قرار گرفتند. در این راستا سعی بر آن شده است تا با روش های ارزیابی چندمعیاره (ANP و فازی)، مدل های Dong و CFRISK نقشه پتانسیل خطر آتش سوزی در منطقه مورد مطالعه و صحت سنجی آنها با نقشه واقعی آتش سوزی ها در جنگل های استان مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد.



شکل ۱- موقعیت جنگل های استان کهگیلویه و بویراحمد

Figure 1. Location of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Provinces forests

منابع داخلی و خارجی و نظرات کارشناسان منابع طبیعی و محیط زیست و آنالیز آتش سوزی های سالهای گذشته، تعدادی از عوامل مؤثر بر خطر آتش سوزی در جنگل های منطقه، انتخاب شد (۸، ۱۹). روش های جمع آوری اطلاعات، تهیه و ساخت نقشه های مربوط به این معیارها و زیر معیارها (۱۱) زیرمعیار در قالب ۴ معیار اصلی بیولوژیکی، فیزیوگرافیک، اقلیمی و اقتصادی- اجتماعی) در مراحل بعدی آورده شده است (جدول ۱).

۲-۲- جمع آوری داده های مربوط به عیارهای مؤثر بر آتش سوزی
عوامل متعدد طبیعی، اقتصادی و اجتماعی برحسب سیت آتش سوزی جنگل های منطقه مؤثر هستند، اما به دلیل تعدد و تنوع بالای عوامل مؤثر بر خطر آتش سوزی، میزان دسترسی به داده ها و تسهیل مدل سازی و روند محاسبات، تعدادی از آنها در مطالعه استفاده شده است (۱۱، ۱۶). به این منظور، در ابتدا با جنگل گردشی، بررسی وضعیت کلی منطقه و بر اساس مرور

جدول ۱- معیارها و زیرمعیارهای انتخاب شده و منابع اطلاعاتی آنها برای تعیین نقاط پر خطر آتش سوزی

Table 1. Selected criteria and sub-criteria and their information resources for determining the high fire risk areas

معیارها	زیرمعیارها	منبع	توابع، فرمول ها و روش های محاسباتی
فیزیوگرافیک	ارتفاع	۹۰ متری STRM-DEM مدل ارتفاعی	
	شیب	STRM-DEM مدل ارتفاعی	Spatial analyst tools/ surface/slop در GIS
	جهت	STRM-DEM مدل ارتفاعی	Spatial analyst tools/ surface/aspect در GIS
	فاصله از آبراهه ها	سازمان مدیریت منابع آب ایران	لایه آب های سطحی منطقه (مقیاس ۱:۴۵۰۰۰)

اقتصادی- اجتماعی	فاصله از راه ها	سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور	لایه راه های منطقه (مقیاس ۱:۵۰۰۰۰)
	فاصله از اراضی کشاورزی	سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور	لایه اراضی کشاورزی منطقه (مقیاس ۱:۵۰۰۰۰)
	فاصله از سکونتگاه ها	سازمان نقشه برداری ایران	لایه مناطق مسکونی منطقه (مقیاس ۱:۵۰۰۰۰)
	کاربری/ پوشش اراضی	سازمان نقشه برداری ایران و تصاویر Google Earth	لایه به روز شده پوشش اراضی منطقه (مقیاس ۱:۵۰۰۰۰)
اقلیمی	متوسط دمای سالیانه	ایستگاه های هواشناسی در محدوده مطالعاتی (سازمان هواشناسی ایران)	درون یابی با روش کریجینگ در GIS
	کل بارش سالیانه	ایستگاه های هواشناسی در محدوده مطالعاتی (سازمان هواشناسی ایران)	درون یابی با روش کریجینگ در GIS
زیست شناسی	تراکم تاج پوشش	محصول NDVI ماهواره مادیس	$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$

۱ تا ۹ ساعتی سنجیده شد (۲۴، ۲۵). سپس بردار اهمیت داخلی (local priority vector) که بیانگر اهمیت نسبی عناصر است ساخته شد. در مرحله نهایی وزن هریک از معیارهای موثر به دست آمد. این اوزان بعداً در لایه های معیارهای موثر در آتش-سوزی در محیط GIS ضرب شد.

در مرحله بعد لایه های زیر معیار بر اساس مدل منطق فازی استاندارد سازی شدند. بدین منظور ابتدا، نقشه پایه هر زیرمعیار با کدهای از ۱ تا ۵ بر مبنای پتانسیل خطر آتش سوزی (تقسیم بندی ۱: بسیار کم، ۲: کم، ۳: متوسط، ...)، طبقه بندی مجدد گردیده، به فرمت رستری تبدیل شد. در مورد لایه های خطی و پلی گونی از دستور Buffer استفاده گردید. سپس استاندارد سازی با استفاده از دستور "Fuzzy membership" در GIS انجام شد. مقادیر بالاتر عضویت در نقشه های استاندارد شده معیارها، پتانسیل بالاتر وقوع آتش سوزی در جنگل های استان را نشان می دهد. در نهایت هر یک از لایه های معیارها و زیرمعیارها در وزن به دست آمده از روش ANP ضرب شده و لایه های وزن دار به دست آمد. این کار با اعمال دستور Raster calculator در GIS انجام شد. نقشه نهایی مناطق

۳-۲- ساخت نقشه مناطق دارای پتانسیل خطر آتش سوزی

در این پژوهش به منظور سهولت و درک بهتر روند محاسبات، برای تهیه و ساخت این نقشه ها و مدلسازی، از سه روش ANP و فازی، روش Dong و روش CFRISK استفاده شد.

الف) روش ارزیابی چند معیاره

برای تعیین اهمیت و وزن عوامل موثر بر خطر آتش سوزی در منطقه مورد مطالعه از روش فرآیند تحلیل شبکه ای (ANP) استفاده شد (۲۳). این روش به منظور رفع ایرادات روش AHP، در حل مسائل پیچیده با ساختار غیر رده ای و ارتباطات و وابستگی های متقابل داخلی بین معیارها و شاخص ها و گزینه های سیستم تصمیم گیری و بر اساس تکنیک سوپرماتریس ها معرفی شده است (۲۴، ۲۵). به طور کلی، مدل ANP از سلسله مراتب کنترل، خوشه ها، و روابط متقابل بین خوشه ها و عناصر تشکیل می شود. ساختار شبکه ای مدل در نرم افزار Super Decisions تشکیل گردید. در امتیاز بندی معیارها از مقایسه-های دودویی استفاده شد. اهمیت نسبی عناصر به کمک مقیاس

پتانسیل آتش سوزی (RC) و فاکتورهای مختلفی که در وقوع آتش سوزی تأثیر دارند به همراه آزمون و خطا و انجام عملگرهای ریاضی در محیط GIS توسط دانگ طراحی و ارائه شده است (۱۵، ۲۰، ۱۱). مدل یادشده به صورت رابطه (۱) است:

$$R_c = 7(V_t + V_d) + 3(D_r + D_f + D_s) + 5(S+A+E) \quad (1)$$

ج) مدل شاخص تجمعی ریسک آتش CFRISK (cumulative forest fire risk index value)

CFRISK یک شاخص تجمعی ریسک آتش سوزی است که توسط Huyen and Tuna (۲۰۰۸) بر اساس فرمول زیر محاسبه می گردد (رابطه ۲). معادله مورد استفاده برای پهنه بندی پتانسیل خطر آتش جنگل در معادله ۲ ارائه شده است (۲۶):

$$CFRISK = 4 \times FUI + 2 \times SLI + 3 \times ASI + 1 \times SI + 1 \times ELI + 1 \times RI \quad (2)$$

سوزی (مناطق با خطر زیاد و بسیار زیاد) با نقشه آتش سوزیهای واقعی منطقه، صحت مدل های مورد استفاده در مطالعه، آزمون شود. به منظور اعتبارسنجی از روش منحنی زیر منحنی (Receiver Operating Characteristic: ROC) و سطح زیر منحنی (Area under curve: AUC) استفاده شد (۱۹). مقدار AUC بین صفر تا ۱ متغیر است. AUC بین ۰/۸ تا ۱ نشان دهنده کارایی خیلی خوب، ۰/۷ تا ۰/۸ کارایی خوب، ۰/۶ تا ۰/۷ کارایی متوسط و ۰/۵ تا ۰/۶ کارایی ضعیف مدل است (۱۳، ۸، ۲).

یافته ها

۱- تعیین وزن معیارها و تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش سوزی

پس از تهیه ماتریس ترکیب شده، مقایسه وزن زیرمعیارها بدست آمد (شکل ۲). نتایج روش ANP در نرم افزار Super Decision نشان داد که مهمترین عوامل بر وقوع آتش

پر خطر با همپوشانی نقشه های فازی وزن دهی شده تک تک زیر معیارها و معیارها و در پنج طبقه بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد ساخته شد.

ب) مدل دانگ (Dong Model)

این مدل به عنوان یکی از کاربردی ترین مدلها، بر اساس مهمترین منابع تحقیق در خصوص ارزیابی شاخص عددی

که در آن R_c شاخص عددی پتانسیل آتش سوزی، V_t نوع پوشش گیاهی، V_d تراکم پوشش گیاهی، S، E و A به ترتیب شیب، ارتفاع از سطح دریا و جهت، D_r فاصله از جاده، D_f فاصله از زمینهای کشاورزی، D_s فاصله از مناطق مسکونی است. از روی هم گذاری وزنی تمام ۸ نقشه و دادن وزن اختصاصی به هر معیار بر اساس مدل با استفاده از دستور Raster calculator در محیط GIS، نقشه پتانسیل خطر آتش سوزی منطقه در پنج طبقه تهیه شد.

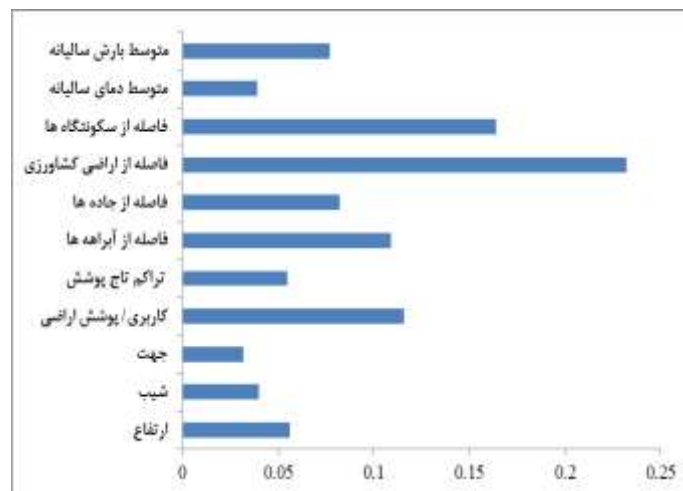
CFRISK: مقدار شاخص تجمعی خطر آتش سوزی منطقه
ELI، FFRZ: شاخص ارتفاع، SLI: شاخص شیب، ASI:
شاخص جهت، RI: شاخص نزدیکی به جاده، SI: شاخص نزدیکی به سکونتگاه ها و FUI: شاخص نوع ماده سوختنی (۲۱).

۲-۴- ارزیابی اعتبار مدل های بکار رفته در تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش سوزی

به منظور ارزیابی صحت یا اعتبارسنجی نقشه های تولیدشده، از لایه رقومی محدوده های آتش گرفته واقعی بر اساس داده های سنجنده مادیس و اطلاعات آتش سوزی های ثبت شده که در محیط GIS رقومی شدند و به صورت پلی گون در منطقه بسته شده اند، استفاده شد. نقشه های آتش سوزی ساخته شده از روش های مختلف در منطقه مطالعه و نقشه واقعی آتش سوزی های گذشته در منطقه در محیط GIS رویهم گذاشته شده تا با بررسی میزان همپوشانی مناطق با پتانسیل بالای آتش

طبقات پتانسیل خطر متوسط و ۲۵/۰۹ در صد در طبقات خطر آتش سوزی کم و بسیار کم قرار دارند (جدول ۲). نقشه پتانسیل خطر آتش سوزی بر اساس روش دانگ و مدل CFRISK نیز در شکل ۲ آورده شده است. بر اساس مدل Dong ۱۴/۸۳ و ۲۷/۲۴ درصد از مساحت جنگل های منطقه دارای پتانسیل خطر آتش سوزی بسیار زیاد و زیاد، ۲۴/۳۲ در صد متوسط و ۲۱/۹۶ و ۱۱/۶۳ در صد دارای پتانسیل خطر آتش سوزی کم و بسیار کم می باشند. نقشه نهایی بر اساس روش CFRISK نشان داد که به ترتیب ۳۱/۵۰ و ۹/۳۸ در صد از اراضی جنگلی در طبقات پتانسیل خطر زیاد و بسیار زیاد، ۲۲/۹۴ و ۱/۲۰ درصد در طبقات کم و بسیار کم قرار داشته و سهم کلاسه متوسط ۳۴/۹۶ بوده است (جدول ۲).

سوزی ها در منطقه به ترتیب معیارهای فاصله از زمین های کشاورزی، فاصله از مناطق مسکونی و کاربری اراضی و به طور کلی عوامل اقتصادی اجتماعی بودند. نقشه پایه معیارها در شکل ۳ آورده شده است. طبقه بندی در این نقشه ها به صورت کد ۱: مناطق دارای پتانسیل خطر بسیار کم، کد ۲: پتانسیل خطر کم، کد ۳: پتانسیل خطر متوسط، کد ۴: پتانسیل خطر زیاد و کد ۵: کد ۳: پتانسیل خطر بسیار زیاد بوده است. پس از فازی سازی نقشه های زیر معیارها نیز، این نقشه ها با هم جمع شده و نقشه نهایی پتانسیل خطر آتش سوزی مناطق در ۵ طبقه بر اساس سه روش ساخته شد (شکل ۴). با توجه به این نقشه به ترتیب حدود ۵/۸۷٪ و ۳۸/۷۵٪ از مساحت جنگل ها در کلاسه های پتانسیل خطر بسیار زیاد و زیاد آتش سوزی واقع شده اند. بر اساس این نقشه ۳۰/۲۶ درصد از اراضی جنگلی در



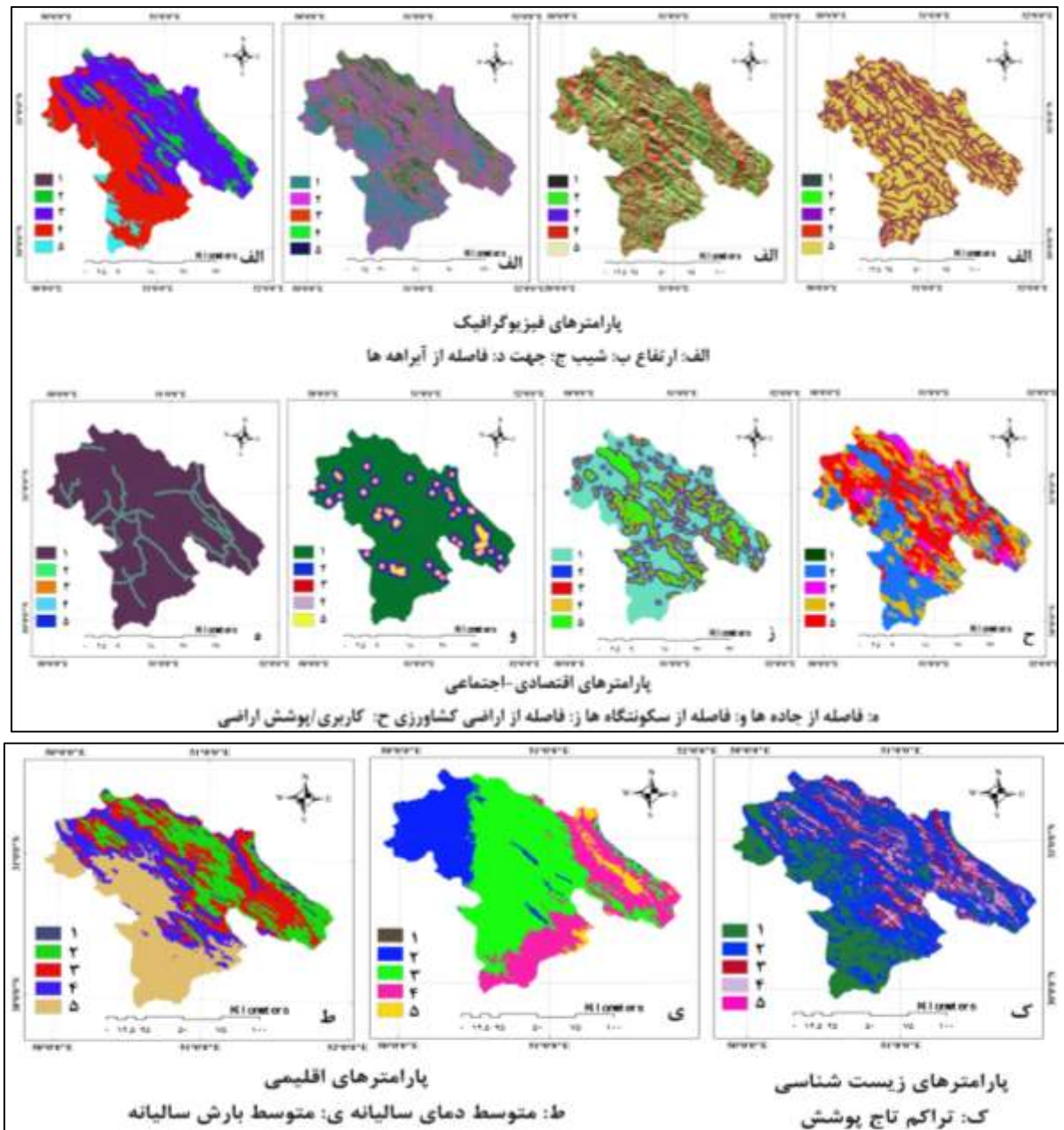
شکل ۲- وزن زیرمعیارهای پتانسیل خطر آتش سوزی جنگل ها در منطقه مطالعه

Figure 2. Weight of forest fire hazard potential sub-criteria in the study area

جدول ۲- درصد مساحت کلاسه های پتانسیل خطر آتش سوزی جنگل ها در منطقه مطالعه بر اساس مدل های مختلف

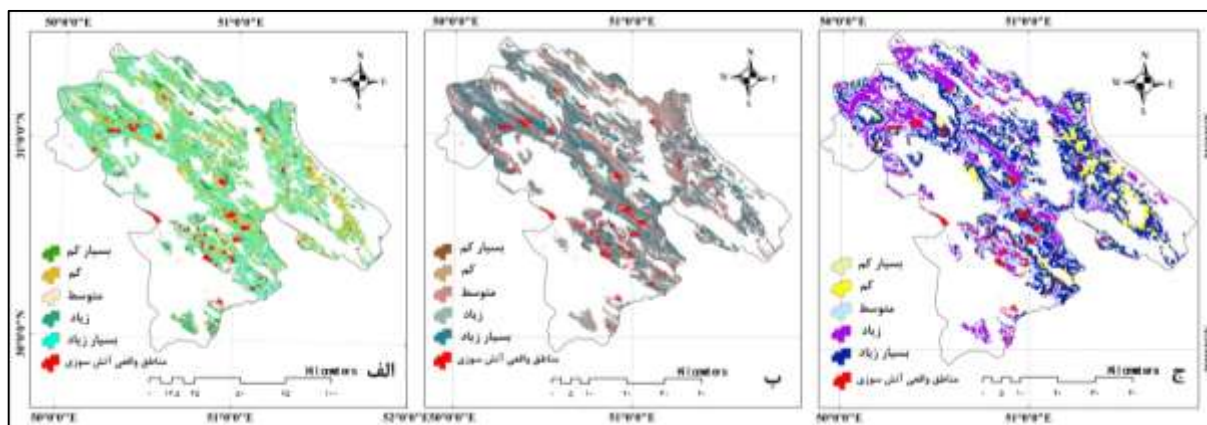
Table 2. Percentage of forest fire hazard potential classes in the study area based on different models

مدل	پتانسیل خطر آتش سوزی %				
	بسیار زیاد	زیاد	متوسط	کم	بسیار کم
Fuzzy-ANP	۵/۸۷	۳۸/۷۵	۳۰/۲۶	۲۴/۸۶	۰/۲۳
Dong	۱۴/۸۳	۲۷/۲۴	۲۴/۳۲	۲۱/۹۶	۱۱/۶۳
CFRISK	۹/۳۸	۳۱/۵۰	۳۴/۹۶	۲۲/۹۴	۱/۲۰



شکل ۳- نقشه های پایه زیرمعیارهای پتانسیل خطر آتش سوزی جنگل های منطقه مطالعه

Figure 3. Basic maps of forest fire hazard potential sub-criteria



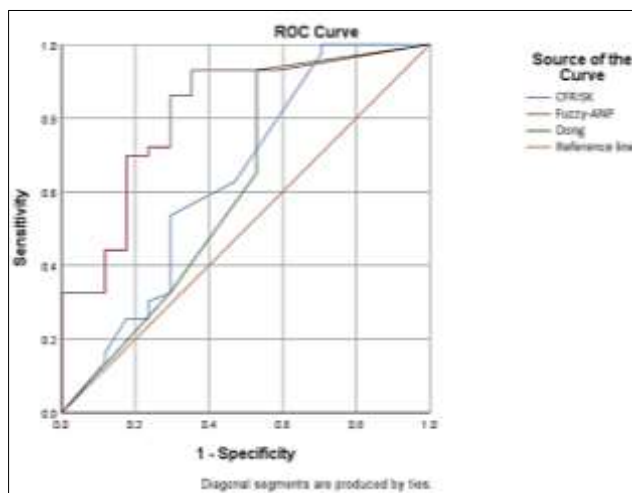
شکل ۴- نقشه های پتانسیل خطر آتش سوزی بر اساس روش های مختلف (الف: Dong، ب: CFRISK، ج: Fuzzy-ANP)

Figure 4. Fire hazard potential maps based on different methods

۲- اعتبار سنجی نقشه های مناطق پرخطر آتش سوزی

اعتبار سنجی بر اساس شاخص ROC برای مدل های ارزیابی چند معیاره، روش دانگ و روش CFRISK، به ترتیب مقادیر ۰/۸۱۵، ۰/۶۱۷ و ۰/۶۹۰ نشان داد که بر این اساس مدل ارزیابی چند معیاره، بالاترین دقت را داشته است (شکل ۵).

اعتبار سنجی بر اساس شاخص ROC برای مدل های ارزیابی چند معیاره، روش دانگ و روش CFRISK، به ترتیب مقادیر ۰/۸۱۵، ۰/۶۱۷ و ۰/۶۹۰ نشان داد که بر این اساس مدل ارزیابی چند معیاره، بالاترین دقت را داشته است (شکل ۵).



شکل ۵- نتایج اعتبارسنجی روش های به کار رفته بر اساس روش ROC

Figure 5. Validation results of the methods used based on the ROC method

بحث

به طور کلی نقشه پهنه بندی پتانسیل خطر آتش سوزی بر اساس سه روش نشان داد که بیشتر از ۴۰ درصد جنگل های منطقه مستعد آتش سوزی زیاد و بسیار زیاد بوده و به صورت میانگین نزدیک ۳۰ درصد نیز دارای پتانسیل متوسط می باشد. بیشترین مساحت مناطق پرخطر و کمترین مساحت مناطق کم خطر در روش ارزیابی چند معیاره به دست آمده است. این روش دارای بالاترین همپوشانی مکانی با مناطق قبلاً آتش گرفته نیز بوده است. نتایج حاصل از انواع روش های ارزیابی چندمعیاره در ایران و دیگر نقاط جهان نیز نشان از کارایی بالای این روش در ارزیابی و پهنه بندی مناطق پرخطر آتش سوزی داشته است. Jafari و Goldarag و همکاران (۲۰۱۶) بیان می دارند که در جنگل

دارای بالاترین همپوشانی مکانی با مناطق قبلاً آتش گرفته نیز بوده است. نتایج حاصل از انواع روش های ارزیابی چندمعیاره در ایران و دیگر نقاط جهان نیز نشان از کارایی بالای این روش در ارزیابی و پهنه بندی مناطق پرخطر آتش سوزی داشته است. Jafari و Goldarag و همکاران (۲۰۱۶) بیان می دارند که در جنگل

جنگل های شمال ایران به دست آوردند (۲۰). Mehta و همکاران (۲۰۱۸) روش CFRISK را دارای دقت بالایی در جنگل های هند برآورد نمودند (۲۲). تفاوت در تعداد و ماهیت معیارهای بکاررفته در انواع روش ها و مدل ها نیز، در تفاوت نتایج خروجی ها موثر است.

از سویی نتایج روش ANP حاکی از آن بود که در یک نگاه کلی معیارهای اقتصادی اجتماعی بالاترین تاثیر را در آتش سوزی جنگل های منطقه داشته اند. این به این دلیل است که شرایط منطقه زاگرس موجب شده تا انسانها با اهداف مختلف به منظور تفرج، چرانیدن دام ها، کشاورزی و سایر کاربریها هر چه بیشتر به مناطق جنگلی دسترسی داشته باشند (۵). آمد و شد مردم و قرار گیری محل سکونت آنها نزدیک مناطق جنگلی، وسایل نقلیه و دام ها در جاده های نزدیک جنگل فرصت ایجاد آتش سوزی را فراهم می کند. این ساکنان گاه جهت تأمین نیازهای خود حتی اقدام به آتش سوزی عمدی در جنگل می کنند. همچنین، در زمین های کشاورزی نزدیک بیشتر آتش سوزی ها عمدی بوده و برای سوزاندن زایدات پس از برداشت محصول توسط کشاورزان ایجاد می شود (۶، ۷، ۸). شبکه جاده و مناطق مسکونی با ایجاد شرایطی چون تغییر در نوع، مقدار و پیوستگی پوشش گیاهی (مواد سوختنی) امکان تغییر در وقوع آتش سوزی ها را فراهم می کنند (۳).

موسی بیگی و میرزا بیگی (۱۳۹۵) به ترتیب پارامترهای تیپ و تراکم گیاهی، جعفری و مافی غلامی (۱۳۹۶) و علی محمدی سراب و همکاران (۲۰۱۵) پارامتر کاربری اراضی (۱۴) و رسولی و بنیاد (۲۰۱۹) عامل کاربری اراضی را در بررسی نقاط مختلف جنگل های زاگرس دارای بالاترین تاثیر تشخیص دادند (۱۱). مطالعه Mehta و همکاران (۲۰۱۸) تیپ پوشش گیاهی، جهت و کارگران کشاورزی (۲۲) و Kayet و همکاران (۲۰۱۸) پارامتر LST، سرعت باد و NDVI را مهمترین پارامترهای موثر بر آتش سوزی جنگل ها در ایالات مختلف هند بیان نموده اند (۱۷). صحت بالای نقشه تولید شده نشان داد که ضرایب به دست آمده از آنالیز تصمیم گیری چند معیاره (ANP) نتایج رضایت بخشی در مدل سازی پتانسیل خطر آتش سوزی و

های شمال ایران روش AHP باعث افزایش دقت شده است (۱۹). احمدی اردکانی و همکاران (۱۳۹۴) در مقایسه دقت بالاتری برای روش AHP-OWA نسبت به گامای فازی برای روش پهنه بندی خطر آتش سوزی در جنگل های زاگرس در کرمانشاه یافتند (۵). مطالعه موسی بیگی و میرزا بیگی (۱۳۹۵) در غرب ایران با روش ANP ضمن تایید کارایی بالای این روش، نشان دادند که ۳۰،۴ درصد از جنگل های منطقه در منطقه حفاظت شده مانشت و قلارنگ در استان ایلام دارای خطر آتش سوزی زیاد و خیلی زیاد هستند (۱۲). Gigović و همکاران (۲۰۱۸) در جنگل های Sarajevo در بوسنی و هرزگوین روش AHP را روش موفقتری توصیف نموده اند (۱۶).

معیارهای متنوعی از جمله اقلیمی، فیزیوگرافیک، بیولوژیکی، و اقتصادی اجتماعی در ایجاد مشکل آتش سوزی در جنگل در منطقه مورد مطالعه نقش دارند. هر یک از این معیارها دارای ابعاد مکانی هستند که در روش تصمیم گیری چند معیاره (MCDM) در حوزه فضایی یک چهارچوب مناسب برای ارزیابی خطر آتش سوزی جنگل ها به کار گرفته شده اند. این روش بستری مناسب برای بررسی تاثیر معیارهای دخیل در پدیده آتش سوزی ارائه می دهد. ترکیب تعداد بیشتری از معیارها با استفاده از روشهای تصمیم گیری چند معیاره در یک چهارچوب مشترک می تواند نتایج خوبی را به همراه داشته باشد. نتایج صحت سنجی بالای این روش در این مطالعه، این موضوع را تایید می کند.

مدل Dong از متداولترین روش های استفاده شده برای تعیین مناطق پرخطر جنگلها در مطالعات مختلف بوده، ولی برای جنگل های چین طراحی شده است (۱۱) و برای جنگل های زاگرس ایران در این مطالعه راندمان متوسطی (۰،۶۱۷) برای تشخیص مناطق پتانسیل خطر برای آتش سوزی را نشان داده است. در ضمن پارامترهای اقلیمی در آن دخالت داده نشده است. این موضوع در مورد روش CFRISK نیز صادق است (ROC=0.690). نتایج مطالعه Sharma et al., (۲۰۱۲) در هند اما رضایت بخش بوده است. Eskandari و همکاران (۲۰۱۳) نیز اعتبار بالای ۸۰ درصد را برای روش Dong در

- Natural Hazards and Risk, 7(2): 861-885.
3. Adab, H., Kanniah, K.D. and Solaimani, K., 2013. Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. *Natural hazards*, 65(3): 1723-1743.
 4. Abedi Gheshlaghi, H., Feizizadeh, B. and Blaschke, T., 2019. GIS-based forest fire risk mapping using the analytical network process and fuzzy logic. *Journal of Environmental Planning and Management*, 63(3): 481-499.
 5. Ahmadi Ardakani, M., Rajabi, M., Ardakani, A., 2015. Forest Wildfire Potential Zoning Using Multi-criteria Decision Making Methods. *Geography and Environmental Planning*, 7(15): 49-66. (In Persian)
 6. Mirdeylami, T., Shataee, Sh. and Kavousi, M.R., 2014. Forest fire risk zone mapping in the Golestan national park using weighted linear combination (WLC) method. *Iranian Journal of Forest*, 5(4): 337-390. (In Persian)
 7. Vidamanesh, A., Adab, H., Atabati, A., 2018. Comparison of the applicability of two methods of logistic regression and neural network in zoning fire sensitivity of forest and rangeland areas of Mazandaran province. *Journal of Natural Environment*, 71(4): 549-563. (In Persian)
 8. Jaafari, A. and Mafi Gholami, D., 2017. Wildfire hazard mapping using an ensemble method of frequency ratio with Shannon's entropy. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 25(2): 232-243. (In Persian)
 9. Jafarzadeh, A.A., Mahdavi, A. and Jafarzadeh, H., 2017. Evaluation of forest fire risk using the Apriori

شناسایی نواحی با پتانسیل بالای آتش سوزی دارد. زیرا، تصمیم گیری چند معیاره شرایط مربوط به رویداد آتش سوزی را با استفاده از داده های موجود و دانش کارشناسی در نظر گرفته و با استفاده از آن ها حد آستانه مربوط به شرایط آتش سوزی را تعیین می کند (۱۹).

نتایج این تحقیق نشان داد که مدل های مکانی بر پایه GIS در قالب روش های ارزیابی چند معیاره می تواند به عنوان بهترین سیستم پشتیبان تصمیم گیری برای مدیریت و پیش بینی آتش سوزی جنگلهای زاگرس در غرب ایران به کار گرفته شود. نقشه خروجی این مطالعه به مدیریت بحران آتش سوزی با امکان پیشگیری از وقوع آن کمک شایانی می نماید. بر اساس این نتایج این تحقیق می توان امکانات مناسب را برای مقابله با حریق در محدوده های با پتانسیل بسیار زیاد و زیاد، قبل از شروع فصل حریق، استفاده کرد. ولی به صورت کلی برای استفاده از هر مدل به منظور تهیه نقشه خطر وقوع آتش سوزی در هر منطقه از مناطق وسیع جنگلهای غرب ایران لازم است که این مدلها ابتدا با توجه به شرایط این جنگلها و در نظر گرفتن تعداد بیشتری از فاکتورهای محلی مؤثر در وقوع آتش سوزی ها، اصلاح و بومی شده و سپس به کار گرفته شوند تا صحت آنها با داده های واقعی در هر منطقه بیشتر شود.

References

1. 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.
2. Pourghasemi, H.R., Beheshtirad, M. and Pradhan, B., 2014. A comparative assessment of prediction capabilities of modified analytical hierarchy process (M-AHP) and Mamdani fuzzy logic models using Netcad-GIS for forest fire susceptibility mapping. *Geomatics*,

- Nevesinje, Bosnia and Herzegovina. *Tehnički vjesnik*, 25(3): 891-897.
17. Kayet, N., Chakrabarty, A., Pathak, K., Sahoo, S., Dutta, T. and Hatai, B.K., 2018. Comparative analysis of multi-criteria probabilistic FR and AHP models for forest fire risk (FFR) mapping in Melghat Tiger Reserve (MTR) forest. *Journal of Forestry Research*: 1-15.
 18. Eskandari, S. and Miesel, J.R., 2017. Comparison of the fuzzy AHP method, the spatial correlation method, and the Dong model to predict the fire high-risk areas in Hyrcanian forests of Iran. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2): 933-949.
 19. Jafari Goldarag, Y., Mohammadzadeh, A. and Ardakani, A.S., 2016. Fire risk assessment using neural network and logistic regression. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 44(6): 885-894.
 20. Eskandari, S., Ghadikolaei, J.O., Jalilvand, H. and Saradjian, M.R., 2013. Detection of fire high-risk areas in northern forests of Iran using Dong model. *World Applied Sciences Journal*, 27(6): 770-773.
 21. Sharma, L.K., Kanga, S., Nathawat, M.S., Sinha, S. and Pandey, P.C., 2012. Fuzzy AHP for forest fire risk modeling. *Disaster Prevention and Management*, 21(2): 160-171.
 22. Mehta, D., Kaur Baweja, P., Aggarwal, R.K., 2018. Forest Fire Risk Assessment using Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Current World Environment*, 13(3): 307-316.
 23. Güngöroğlu, C., 2017. Determination of forest fire risk with fuzzy analytic hierarchy process and its mapping with algorithm and fuzzy c-means clustering. *Journal of Forest Science*, 63(8): 370-380.
 10. Rajabi, M., Alesheikh, A., Chehreghan, A. and Gazmeh, H., 2013. An innovative method for forest fire risk zoning map using fuzzy inference system and GIS. *Int J Sci Technol Res*, 2(12): 57-64.
 11. Rasooli, S.B. and Bonyad, A.E., 2019. Evaluating the efficiency of the Dong model in determining fire vulnerability in Iran's Zagros forests. *Journal of Forestry Research*, 30(4): 1447-1458.
 12. Mosa Beigi, M. and Mirza Beigi, F., 2017. Zoning forest fire risk in the Manesht and Qalarang Protected Area using a network analysis model and geographic information system. *Environmental Sciences*, 14(4): 175-188. (In Persian)
 13. Ghanbari Motlagh, M., Amraei, B., Halimi, M., 2020. Evaluating the hazardous potential of the dieback of the Zagros Oak forests using the multi-criteria decision-making methods. *Arab J Geosci* 13, 995. 11 pp.
 14. Aleemahmoodi Sarab, S., Feghhi, J., Danehkar, A. Atarod, P., 2015. Spatial indicators effects on the forest fire potential in Zagros region. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23(3): 425-438. (In Persian)
 15. Dong, X.U., Li-min, D., Guo-fan, S., Lei, T. and Hui, W., 2005. Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe Forestry Bureau, Jilin, China. *Journal of forestry research*, 16(3): 169-174.
 16. Gigović, L., Jakovljević, G., Sekulović, D. and Regodić, M., 2018. GIS Multi-Criteria Analysis for Identifying and Mapping Forest Fire Hazard:

25. Zebardast, E., 2010. Application of Analytic Network Process (ANP) in urban and regional planning. *Beautiful arts-architecture and urbanism*, 41(2): 79-90. (In Persian with English abstract).
26. Huyen, D.T., and Tuan, V.A., 2008. Applying GIS and multi criteria evaluation in forest fire risk zoning in son la province, Vietnam. In *International Conference on Geoinformation Spatial-Infrastructure Development*, Hanoi, Vietnam, (pp. 9-11).
- the application of GIS: The case of Turkey/Çakırlar. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 23(2): 388-406.
24. Saaty, R.W., 2002. Decision making in complex environments: the analytic network process (ANP) for dependence and feedback; A Manual for the ANP Software SuperDecisions. Including a Tutorial for the SuperDecisions Software, And Portions of the *Encyclicon of Applications*, Vol. I., Creative decisions foundation, Pittsburgh, PA. 199p.