مدل‌سازی و تهیه نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی جنگل با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: منطقه حفاظت شده باغ شادی یزد)

احمد نجفی[1*]، محمدحسین ایران‌نژاد[1]، احد ستوده[1]، محمدحسین مختاری[1] و بهمن کیانی[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۸/۱۲)

چکیده

باغ‌شادی یکی از مناطق جنگلی استان یزد بوده که بیشترین آمار آتش‌سوزی‌های استان در آن رخ داده است. هدف از این مطالعه مدل‌سازی و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی به‌کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور است. در این مطالعه از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد و معیارهایی از قبیل فیزیوگرافی شامل سه زیرمعیار ارتفاع، شیب و جهت شیب، اقلیم شامل دو زیرمعیار دما و بارش، عوامل انسانی شامل دو زیرمعیار فاصله از جاده و فاصله از مناطق مسکونی و معیار گیاهی شامل زیرمعیار تراکم پوشش بود. میزان تراکم پوشش منطقه با استفاده از شاخص گیاهی نرمال شده (NDVI) از تصاویرسنجنده OLI ماهواره‌ای لندست ۸ به‌دست آمد. برای وزن‌دهی عوامل انتخابی از تعدادی آتش‌سوزی‌های به وقوع پیوسته و پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط متخصصین استفاده و وزن هر یک از عوامل ارتفاع، شیب و جهت شیب، دما، بارش، فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی و تراکم پوشش گیاهی از طریق مدل تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه به‌دست آمد و سپس با تلفیق وزن عوامل در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی در پنج طبقه تهیه شد. نتایج نشان داد که مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع آتش‌سوزی به‌ترتیب معیار گیاهی با وزن ۰/۵۶۹ و سپس انسانی با وزن ۰/۲۰۴ بود. برای صحت‌سنجی مدل از تطابق نقشه ساخته‌شده با پهنه‌های آتش‌گرفته گذشته استفاده شد که طبقات پرخطر و خطرناک هم‌پوشانی بالایی با نقاط آتش‌گرفته گذشته داشت. هم‌چنین تست مدل توسط منحنی مشخصه عملکرد سیستم ROC نشان از دقت بالای مدل تولیدی(۰/۸۸) داشت.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سلسله مراتبی، خطر وقوع آتش‌سوزی، سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی

۱. گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ahmad.najafi@yahoo.com

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.14.3.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.14.13]

مقدمه

اگرچه آتش یکی از عناصر طبیعی در اکوسیستم جنگل است و هم‌چنین یکی از عوامل محرکه تجدید و توالی جنگل بوده و نقش مهمی را در حفظ تنوع‌زیستی و تغییرات سیمای سرزمین بازی می‌کند، تجدیدحیات آن نیاز به زمان طولانی داشته (۱۴) و جهت کاهش زیان‌های ناشی از آن، پیشگیری از آتش‌سوزی‌های جنگل از وظایف اصلی سازمان‌های جنگلی (یگان حفاظت منابع‌طبیعی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور) می‌باشد (۱۹). عوامل متعددی از جمله طبیعی و انسانی در آتش‌سوزی‌ها نقش دارند. آتش‌سوزی‌ها به‌دلیل نابودی پوشش‌های گیاهی ممکن است سبب جنگل‌زدایی و بیابان‌زایی شوند (۲۱ و ۲۵). آتش‌سوزی جنگل‌ها به سه دسته اصلی طبیعی، انسانی عمدی و غیرعمدی تقسیم می‌شوند (۲۳ و ۲۹).

به جهت روابط پیچیده‌ای که بین رخداد آتش و عوامل مؤثر در آن وجود دارد یک ملاک کلی برای انتخاب عوامل تأثیرگذار در آتش‌سوزی وجود ندارد (۲۸). پیشرفت‌های شکل گرفته در علم سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی طی دهه‌های اخیر، امکانات و ابزارهای دقیق‌تری را در اختیار پژوهشگران قرار داده تا آتش‌سوزی در جنگل‌ها را از جنبه‌های متعدد مورد مطالعه قرار دهند (۶). از جمله مؤثرترین کاربرد این ابزارها، تعیین میزان خطر آتش‌سوزی نقاط مختلف، شبیه‌سازی و مدیریت منابع و امکانات در زمان وقوع آن است (۱۲).

ایران یکی از کشورهایی است که با خطر بالایی از نظر رخداد آتش‌سوزی در مناطق جنگلی روبروست. میانگین تعداد سالیانه آتش‌سوزی در ایران ۱۳۰ فقره همراه با تخریب حدود ۵۴۰۰ هکتار می‌باشد (۱۶). استان یزد دارای حدود ۱۲/۵ میلیون هکتار عرصه‌های طبیعی است که ۲۰۰ هزار هکتار آن جنگل طبیعی و دست کاشت است. طبق گزارشات بیشتر آتش‌سوزی‌های استان در جنگل باغ شادی خاتم رخ داده است (۵).

تحقیقات مختلفی در زمینه مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی و تولید نقشه پهنه‌بندی انجام‌شده است. محمدی و همکاران (۱۳) در جنگل‌های پاوه به وسعت ۱۴۲۸۰ هکتار با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به تهیه نقشه نواحی دارای خطر پرداخته‌اند. نقشه حاصل، تطبیق زیادی با مکان‌های واقعی آتش‌گرفته داشت، بدین صورت که ۹۰ درصد از مناطق آتش‌گرفته در پهنه‌هایی با خطر زیاد قرار داشت. سلامتی و همکاران (۸) به ارزیابی و تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده ازGIS (سیستم اطلاعات جغرافیایی) در جنگل‌های استان گلستان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. نتایج نشان داد که حدود ۴۰ درصد از منطقه در کلاس‌های خطرناک و پرخطر قرار دارد. در تحقیق دیگری اسکندری و همکاران (۱)، به مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در جنگل‌های بخش سه نکا-ظالم‌رود استان مازندران پرداختند. نتایج نشان داد که به ترتیب معیارهای انسان ساخت، بیولوژیکی، اقلیمی و توپوگرافی بیشترین تأثیر را در خطر آتش‌سوزی دارند. هم‌چنین تطابق نقاط پرخطر با مناطق آتش گرفته نشان‌دهنده اعتبار و صحت بالای مدل ساخته شده بود. زرع‌کار و همکاران (۶) در پژوهشی در جنگل‌های استان گیلان به تهیه نقشه قابلیت آتش‌سوزی از طریق تحلیل سلسله مراتبی فازی پرداخته‌اند که نقشه حاصل از مدل به میزان ۶۶ درصد با مناطق دارای خطر زیاد و خیلی زیاد هم‌پوشانی داشت. در این مطالعه مجاورت به جاده‌ها و مناطق مسکونی از عوامل اصلی آتش‌سوزی بودند. ادب و همکاران (۱۶) در پژوهشی به مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های گلستان به کمک تصاویر مودیس (Moderate Resulation Imaging Spectro-radiometer) و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. متغیرهای مورد استفاده براساس ضریب خطر آتش‌سوزی به طبقاتی تقسیم شده و با تجزیه و تحلیل داده‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی سه طبقه خطر کم، متوسط و زیاد برای منطقه به‌دست آمد. چانگ یو و همکاران (۱۹) با استفاده از رگرسیون لجستیک به تولید نقشه خطر آتش‌سوزی در استان هیلونگ جیانگ چین پرداختند. آنها از عوامل توپوگرافی، نوع پوشش، عوامل آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی استفاده کردند. نتایج صحت کلی ۸۳/۷ درصد را از طریق این روش نشان داد.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.14.3.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.14.13]

هدف از این پژوهش شناسایی نقاط پرخطر به‌عنوان یکی از معدود نقاط جنگلی استان یزد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور به منظور کاهش و کنترل خطر آتش‌سوزی است. در این مطالعه برای تهیه تراکم پوشش‌گیاهی از داده‌های سنجش از دور کمک گرفته شده که مطالعات کمی در زمینه مدل‌سازی آتش‌سوزی به کمک علم سنجش از دور در ایران انجام شده است. از طرف دیگر بیشتر مطالعات در زمینه پهنه‌بندی و تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی در مناطق شمالی انجام شده و تحقیقات کمی در مناطق خشک صورت گرفته است. این تحقیق هم به‌واسطه برآورد پوشش از تصاویر ماهواره‌ای و هم به‌دلیل اینکه در منطقه خشک و استان یزد انجام می‌شود دارای اهمیت است.

مواد و روش‌ها

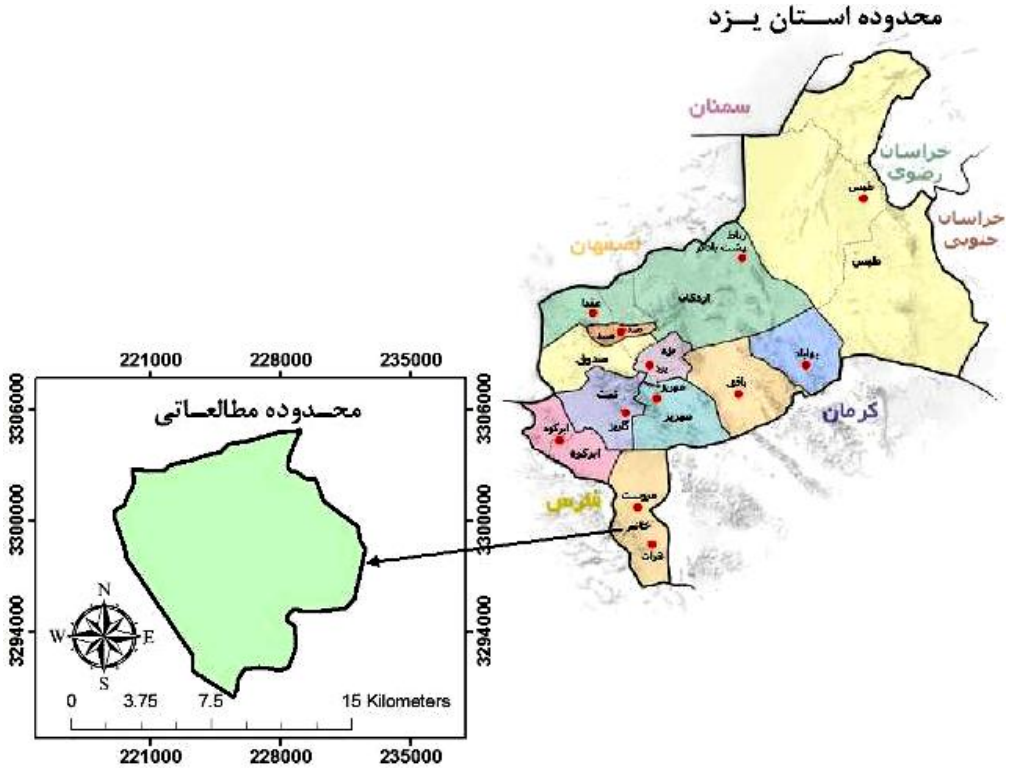
منطقه مورد مطالعه در منطقه حفاظت شده باغ شادی در جنوبی‌ترین منطقه استان یزد در شهرستان خاتم قرار دارد و از لحاظ نوع، ترکیب و وسعت در استان منحصربه فرد است. مساحت آن ۱۱۶۶۵ هکتار و در بین عرض‌های جغرافیایی ″۵۰ ′۴۲ °۲۹ و ″۴۱ ′۵۰ °۲۹ و طول جغرافیایی ″۵۰ ′۴۲ °۵۴ و ″۰۰ ′۱۴ °۵۴ واقع و فاصله آن تا مرکز استان ۲۷۰ کیلومتر است (شکل ۱). بخش عمده منطقه شامل اراضی پرشیب کوهستانی و تپه ماهوری است و تیپ گیاهی منطقه، بادام کوهی-بنه می‌باشد. بیشترین ارتفاع ۲۶۶۴ متر و کمترین ۱۸۴۰ متر و میانگین بارندگی سالیانه ۲۸۵/۲ میلی‌متر است. اقلیم منطقه در سیستم دومارتن نیمه‌خشک برآورد گردیده است. (۱۵)

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنجنده Operational Land Imager (OLI) مربوط به تاریخ ۲۰۱۳/۰۷/۱۶ مصادف با ۲۵ تیرماه ۱۳۹۲، ردیف (raw) ۳۹ و مسیر (path) ۱۶۲ با قدرت تفکیک اسمی ۳۰ متر در باندهای چند طیفی و قدرت تفکیک ۱۵ متر در باند پانکروماتیک از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا، مدل رقومی ارتفاعی با دقت ۲۰ متر از مهندسین مشاور جامع ایران و جاده‌ها و مناطق مسکونی از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری تهیه گردید، داده‌های اقلیمی دما و بارش در سال مورد نظر با مراجعه به اداره هواشناسی استان یزد، ایستگاه‌های اطراف محدوده مطالعاتی شامل مروست، هرات و جهان‌آباد تهیه شد. هم‌چنین پهنه‌های سوخته با مشاهده صحرایی توسط سامانه موقعیت‌یاب جهانی(Global Positioning System) برداشت شد. اکثر داده‌های مورد استفاده از نظر زمانی دارای هم‌پوشانی بوده، هم‌چنین نقشه‌های جاده و مناطق مسکونی با بازدیدهای صحرایی به روز شده و اندازه پیکسل هر داده توسط روش‌های میان‌یابی به‌دقت تصویر ماهواره‌ای لندست (۳۰ متر) تبدیل شدند. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق در جدول (۱) آورده شده است.

تحلیل چند معیاره می‌تواند توسط فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انجام شود. روش AHP تصمیم‌گیری را به‌وسیله مرتب کردن اجزای مهم یک مسئله به ساختار سلسله مراتبی شبیه به درخت خانوادگی انجام می‌دهد. این روش تصمیمات پیچیده را به یک سری از مقایسه‌ها ساده بین اجزای تصمیم سلسله مراتبی کاهش می‌دهد که مقایسه جفتی نام دارد. توسط ترکیب نتایج این مقایسات، AHP می‌تواند بهترین تصمیم و انتخاب را انجام دهد (۲۴). این تحقیق شامل چند مرحله است به‌طوری‌که در ابتدا ۴ معیار فیزیوگرافی، اقلیم، عوامل انسانی و عامل گیاهی انتخاب شده و زیرمعیارهای هر یک تعیین و گزینه‌های هر یک از آنها نیز مشخص گردید. سپس با استفاده از مقایسه زوجی وزن‌دهی شده و با توجه به مقادیر کمی وزن هر یک از عوامل، نقشه مربوط به آن تهیه گردید و در نهایت اقدام به تهیه نقشه احتمال وقوع آتش‌سوزی با استفاده از لایه‌های وزنی و ضریب وزنی مربوط به هر یک از عوامل شده و دقت مدل مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. معیارهای مورد مطالعه به همراه زیرمعیارها در شکل ۲ نشان داده شده است.

معیار فیزیوگرافی شامل ارتفاع، شیب و جهت شیب است. شیب به‌عنوان یک عامل مهم برروی شدت و جهت پخش آتش تأثیر دارد. آتش معمولاً به سمت شیب‌های بالا حرکت

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.14.3.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.14.13]



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی- باغ شادی یزد

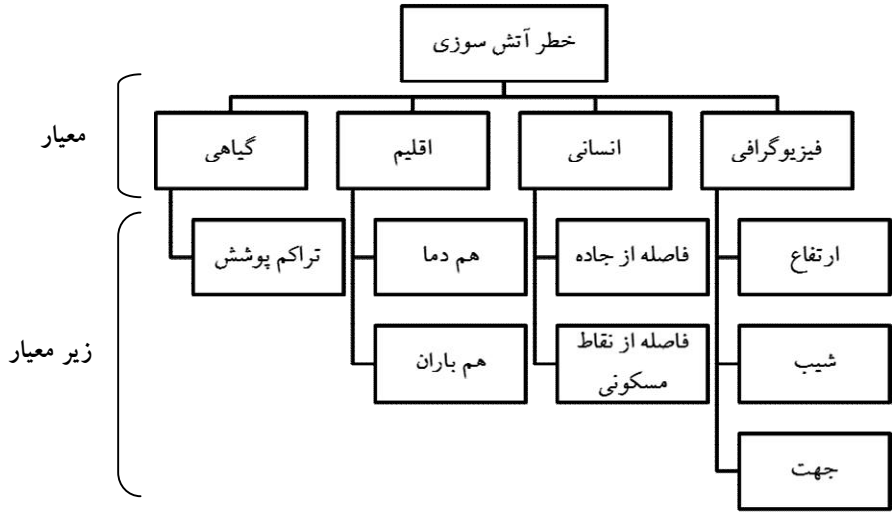
جدول ۱. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق

نوع داده	منبع داده	تاریخ
تصویر ماهواره‌ای لندست ۸	سایت سازمان زمین شناسی آمریکا	تیرماه ۱۳۹۲
مدل رقومی ارتفاعی	مهندسین مشاور جامع ایران	۱۳۸۷
جاده و نقاط مسکونی	نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰	۱۳۹۲
دما و بارندگی	اداره هواشناسی استان یزد	سال‌های ۸۹ تا ۹۲

می‌کند (۲۸). میزان انرژی نوری که یک منطقه دریافت می‌کند به جهت آن وابسته است. جهت‌های جنوبی نور و درجه حرارت و باد بیشتر، رطوبت و مواد سوختی کمتر دارند. بنابراین گیاهان جهت‌های جنوبی خشک‌تر و کم تراکم‌تر نسبت به جهت‌های شمال‌اند و بیشتر در معرض احتراق قرار دارند. ارتفاع برروی درجه حرارت، رطوبت و باد تأثیر می‌گذارد. هم‌چنین بر ساختار گیاهی، رطوبت سوختی و رطوبت هوا تأثیر دارد. رطوبت و درجه حرارت در ارتفاعات بالاتر نسبت به ارتفاعات پایین‌تر تأثیر بیشتری دارد (۱۶). با استفاده از مدل رقومی‌ارتفاعی، نقشه‌های ارتفاع، شیب و جهت تهیه گردید.

معیار انسانی شامل فاصله از نقاط مسکونی و فاصله از جاده است. با فعالیت بیشتر انسان‌ها، خطر آتش‌سوزی افزایش یافته و احتمال بیشتری برای حریق‌های انسانی غیرعمد فراهم می‌کند (۲۲). در مطالعات انجام شده، برخی محققین جاده را عاملی برای کنترل و مهار آتش قلمداد نموده و برخی دیگر آن را به لحاظ افزایش تردد و حضور گردشگران، عاملی هم راستای خطرپذیری مناطق برشمرده‌اند (۴). در این تحقیق راه‌های موجود وارد نرم‌افزار Google earth شد و راه‌های جدید از طریق رقومی کردن به آن اضافه گردید. برای نقاط مسکونی علاوه بر مناطق موجود داخل محدوده، از مناطق مجاور آن نیز

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.14.3.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.14.13]



شکل ۲. ساختار سلسله مراتبی عوامل مورد مطالعه برای تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی

استفاده شد. معیار اقلیم (آب و هوا) شامل منحنی‌های متوسط هم‌باران سالیانه و متوسط هم‌دمای سالیانه است. این عوامل علاوه بر نقش مستقیم در وقوع آتش‌سوزی به‌طور غیرمستقیم با اثرگذاری بر تیپ و تراکم پوشش گیاهی نیز آن‌را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۶). پوشش گیاهی به‌عنوان ماده قابل اشتعال و یکی از ارکان مثلث آتش نقش مهمی را در گسترش آتش‌سوزی ایفا می‌کند (۴) و میزان تراکم پوشش گیاهی یکی از عوامل مهمی است که برروی شدت و پراکنش آتش‌سوزی تأثیر گذاشته و به‌نوعی نقش سوخت را بازی می‌کند. گیاهان علفی یک‌ساله به‌دلیل داشتن ریشه‌های سطحی، بیشترین تأثیر را در آتش‌سوزی داشته و گیاهان چندساله در درجه بعد قرار دارند. درختان و درختچه‌هایی که ریشه‌های عمیق دارند کمتر مؤثر هستند (۲۲).

روش تهیه تراکم پوشش‌گیاهی

ابتدا تصحیح رادیومتریک برروی تصویر ماهواره‌ای با تبدیل DN به رادیانس و سپس انعکاس با استفاده از الگوریتم FLAASH در نرم‌افزار ENVI 5.0 صورت گرفت. این تصویر با توجه به بررسی صورت گرفته با داده‌های وکتوری راه‌ها و نقاط مسکونی حاصل از نقشه‌های توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری فاقد خطای هندسی بود. با توجه به مطالعات انجام‌شده در مناطق خشک و نیمه‌خشک (۲، ۳ و ۲۰) بهترین شاخص که هم‌بستگی بالایی با پوشش منطقه دارد NDVI است. لذا از شاخص گیاهی نرمال شده برای محاسبه تراکم استفاده شد. فرمول این شاخص به‌صورت رابطه (۱) است:

$$NDVI = \frac{B_{IR} - B_R}{B_{IR} + B_R} \qquad [۱]$$

منظور از B_{IR} انعکاس باند مادون قرمز (باند ۵) و B_R انعکاس باند قرمز (باند ۴) است. این شاخص چنانچه از نام آن پیداست دارای مقادیر نرمال در دامنه بین ۱- و ۱+ است. مقادیر مختلف نمایانگر پوشش‌های مختلف می‌باشند. مقادیر بین ۰/۰۵ تا ۰/۱ برای مناطق گیاهی تنک، مقادیر بین ۰/۱ تا ۰/۵ برای مناطق گیاهی معمولی و از ۰/۵ به بالا برای مناطق گیاهی بسیار متراکم و غنی می‌باشد (۹). در تحقیقی (۱۲) که در منطقه باغ شادی به‌منظور بررسی ساختار انجام شده بود از اطلاعات حاصل از محاسبه تراکم چند پلات که هر سه طبقه را شامل شود استفاده شد. سپس بعد از محاسبه NDVI به‌کمک پلات‌های اندازه‌گیری شده، حدود طبقات تعیین شدند.

منطقه مورد مطالعه از نظر تراکم پوشش به سه کلاس کم، متوسط و بیش از متوسط قابل تقسیم است و در بعضی قسمت‌های دشتی به‌خصوص در قسمت شرقی فاقد پوشش است. با توجه به اینکه منطقه تقریباً خشک است و به اندازه

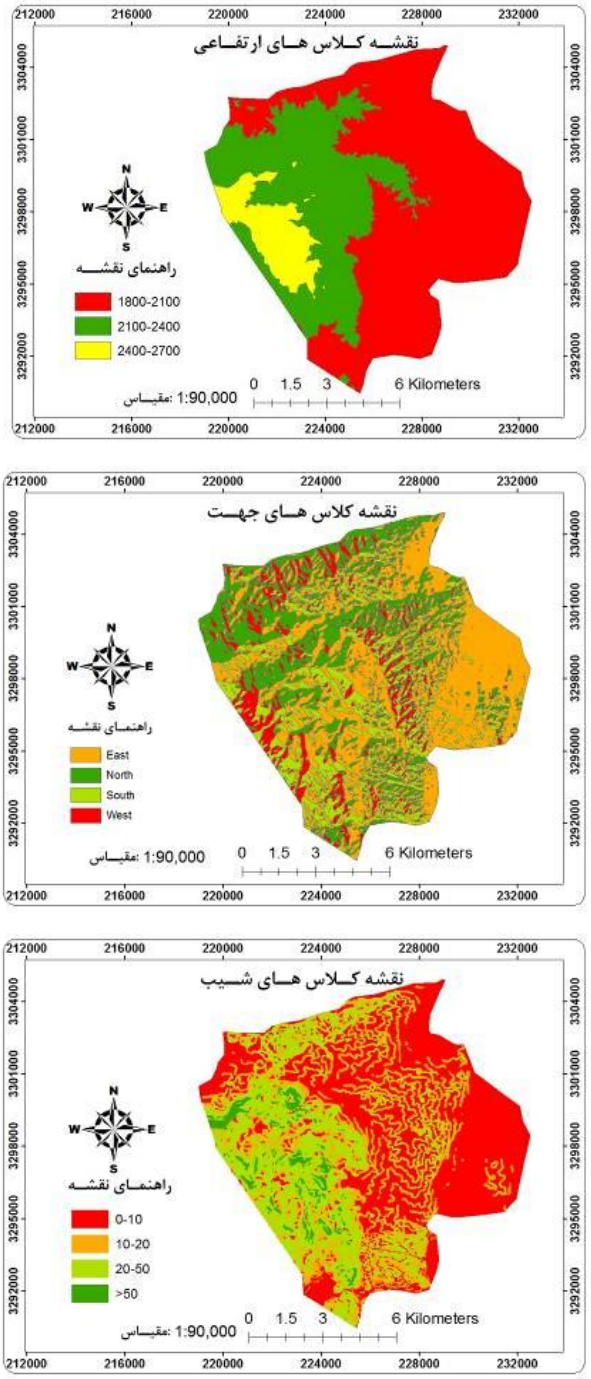
[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.14.3.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.14.13]

جنگل‌های شمال دارای تراکم نیست، تراکم‌هایی که از حد متوسط بیشتر بودند تحت عنوان طبقه بیش از متوسط درنظر گرفتیم زیرا حداکثر مقدار NDVI، ۰/۵۴ بود. بدین ترتیب نقشه تراکم حاصل از NDVI به ۴ طبقه بدون پوشش، پوشش کم، پوشش متوسط و بیشتر از متوسط تقسیم شد (۱۳).

زیرمعیار ارتفاع شامل سه طبقه ۲۱۰۰-۱۸۰۰، ۲۴۰۰-۲۱۰۰، ۲۷۰۰-۲۴۰۰ (۱۷)، شیب شامل چهار طبقه ۱۰-۰، ۲۰-۱۰، ۵۰-۲۰، بزرگتر از ۵۰ (۱۱)، جهت شیب شامل چهار طبقه شمال، جنوب، شرق و غرب (۱۱ و ۲۷)، فاصله از جاده شامل چهار طبقه ۲۰۰-۰، ۴۰۰-۲۰۰، ۶۰۰-۴۰۰، بیش از ۶۰۰ (۱۱ و ۲۱)، فاصله از مناطق مسکونی شامل پنج طبقه ۳۰۰-۰، ۶۰۰-۳۰۰، ۹۰۰-۶۰۰، ۱۲۰۰-۹۰۰، بیشتر از ۱۲۰۰ (۲۶)، بارش شامل چهار طبقه ۲۵۰-۱۵۰، ۳۵۰-۲۵۰، ۴۵۰-۳۵۰، ۵۵۰-۴۵۰ (۱۱) و دما شامل چهار طبقه ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶ (۱۳) می‌باشد. نقشه زیرمعیارهای مورد استفاده در تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی در شکل‌های ۳ تا ۶ نشان داده شده است.

روش وزن‌دهی به لایه‌ها

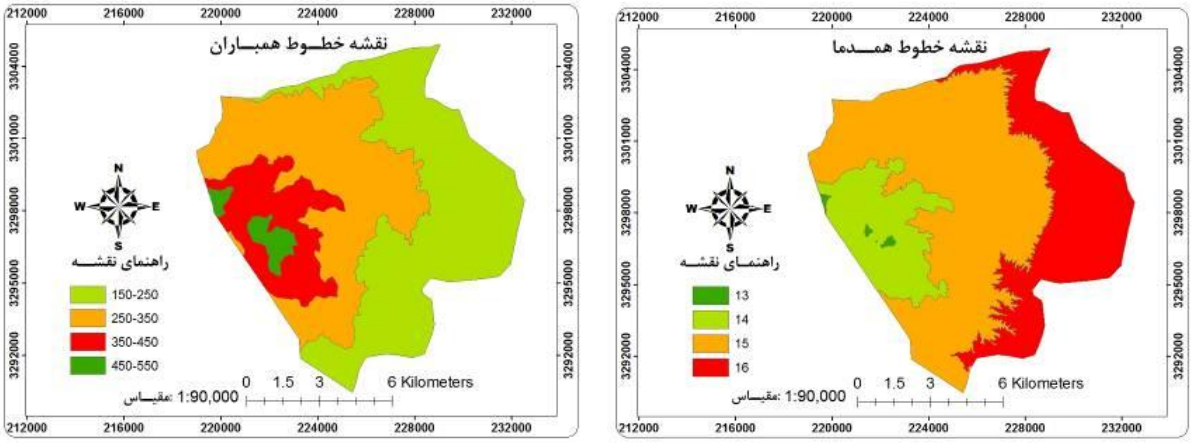
برای وزن‌دهی از دو روش ارزش‌گذاری درون لایه‌ای و ارزش‌گذاری برون لایه‌ای استفاده شد. در حالت درون لایه‌ای، ارزش‌گذاری با توجه به آتش‌سوزی‌های سنوات گذشته، بین ۱ تا ۵ امتیازدهی شد. به‌طوری‌که عدد یک به معنی خطر کمتر و با افزایش آن به سمت ۵ خطر زیاد می‌شود. سپس این اطلاعات وارد نرم‌افزار Expert choice شد و وزن آنها محاسبه گردید. از حالت برون لایه‌ای برای وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارها استفاده شد. بدین صورت که تعداد ۲۳ عدد پرسشنامه تهیه و در اختیار اساتید، کارشناسان و دانشجویان آشنا به منطقه قرار گرفت. ساعتی پیشنهاد نمود که اگر نسبت ناسازگاری هر پرسشنامه از ۰/۱ بیشتر باشد بهتر است تصمیم گیرنده در قضاوت‌های خود تجدید نظر کند (۱۰). از اینرو نظراتی که اختلاف کلی با سایر نظرات داشتند از جمع‌بندی حذف شدند. همچنین ساعتی در سال ۱۹۸۳ ثابت کرد که



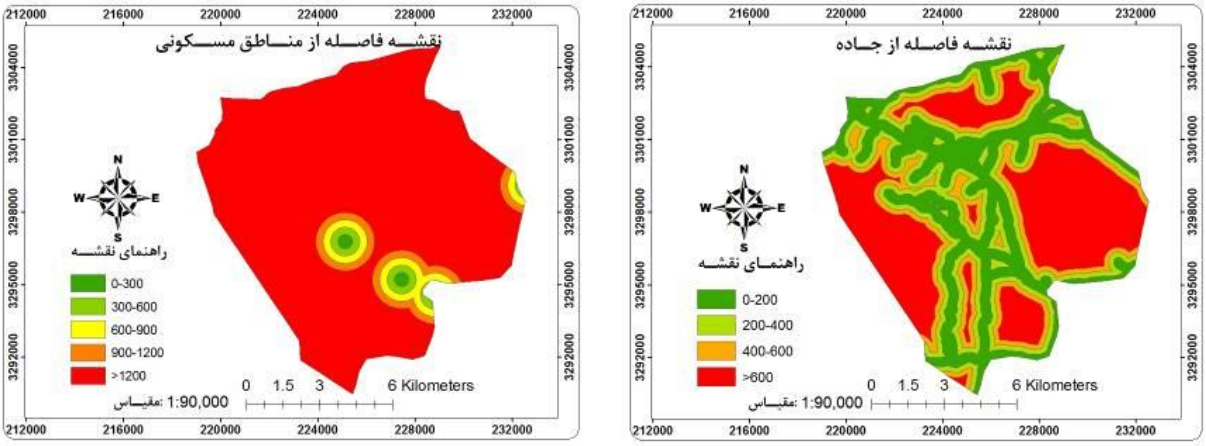
شکل ۳. نقشه زیرمعیارهای فیزیوگرافی شامل کلاس‌های ارتفاعی، جهت شیب و شیب

میانگین هندسی بهترین روش برای تلفیق قضاوت‌ها در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی گروهی است. وزن نهایی هر گزینه در یک فرآیند سلسله مراتبی از حاصل ضرب وزن نسبی هر

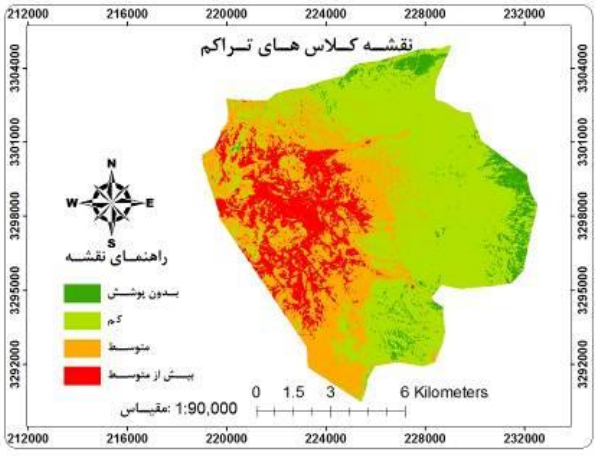
[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.14.3.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.14.13]



شکل ۴. نقشه زیرمعیارهای اقلیم شامل خطوط هم‌باران و هم‌دما



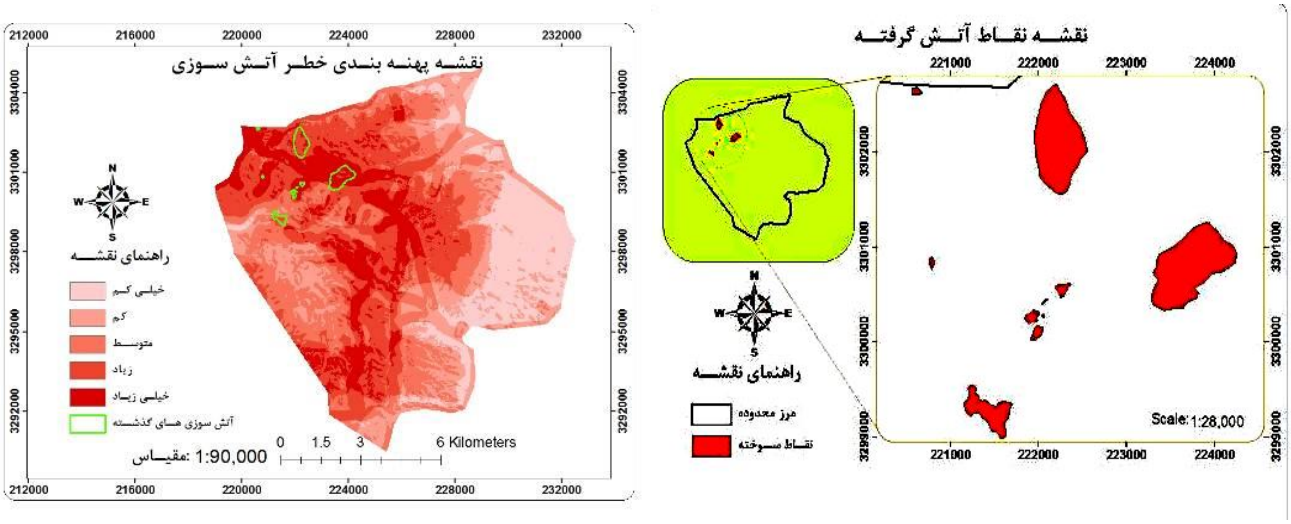
شکل ۵. نقشه زیرمعیارهای انسانی شامل فاصله از مناطق مسکونی و جاده‌ها



شکل ۶. نقشه زیرمعیار تراکم پوشش گیاهی شامل کلاس‌های تراکم

عنصر در وزن عناصر بالاتر به‌دست می‌آید (۹). وزن‌های به‌دست آمده وارد بانک اطلاعاتی هر لایه شد و نقشه هر زیرمعیار به فرمت رستری تبدیل شد. نقشه زیرمعیارها در محیط نرم‌افزار ArcMAP تلفیق گردید تا نقشه ترکیبی مربوط به هر معیار به‌دست آید. در انتها نیز نقشه ۴ معیار فیزیوگرافی، انسانی، اقلیم و گیاهی با هم تلفیق شد تا نقشه نهایی خطر آتش‌سوزی به‌دست آمد. این نقشه دارای دامنه ارزش صفر تا یک بود و به ۵ طبقه بی‌خطر، کم خطر، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شد.در نهایت از تلفیق معیارهای فیزیوگرافی، انسانی، اقلیم و گیاهی با استفاده از دستور Raster calculator در نرم‌افزار ArcMAP نقشه خطر آتش‌سوزی منطقه طبق رابطه (۲) تهیه گردید. [۲]

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.14.3.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.14.13]



شکل ۷. نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی همراه با موقعیت پهنه‌های آتش‌گرفته گذشته

+ انسانی (۰/۲۰۴)+ فیزیوگرافی (۰/۰۹۹) = نقشه خطر آتش‌سوزی گیاهی (۰/۵۶۹)+ اقلیم (۰/۱۲۸)

سپس نقشه حاصل به ۵ طبقه بی‌خطر، کم خطر، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. نقشه نهایی حاصل از مدل در شکل (۷) نشان داده شده است.

نتایج

در این پژوهش به‌طور کلی از ۴ معیار، ۸ زیرمعیار و ۳۲ گزینه برای مدل‌سازی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده مهم‌ترین معیارها به‌ترتیب شامل معیار گیاهی با وزن ۰/۵۶۹، معیار انسانی با وزن ۰/۲۰۴، معیار اقلیم با وزن ۰/۱۲۸ و معیار توپوگرافی با وزن ۰/۰۹۹ می‌باشند.. از بین زیرمعیارهای عامل فیزیوگرافی، اهمیت جهت شیب بیش از بقیه بوده و کمترین وزن متعلق به شیب می‌باشد. از بین زیرمعیارهای عامل انسانی، فاصله از جاده، وزن بسیار بیشتری نسبت به فاصله از مناطق مسکونی دارد. هرچه فاصله از جاده کمتر باشد خطر بیشتر و هرچه به مناطق مسکونی نزدیک‌تر باشیم خطر کمتر است. زیرمعیارهای عامل اقلیم وزن یکسانی نسبت به‌هم داشته‌اند. هم‌چنین معیار گیاهی فقط دارای زیرمعیار تراکم پوشش بود. با توجه به وزنی که طبقات متراکم‌تر پوشش گرفته می‌توان از تراکم به‌عنوان یکی از عوامل بسیار مهم آتش‌سوزی در منطقه نام برد، به‌طوری‌که با افزایش تراکم خطر آتش‌سوزی نیز افزایش می‌یابد. به‌طور کلی با توجه به ۸ زیرمعیار مورد نظر، تراکم پوشش و فاصله از جاده جزء مهمترین عوامل، شیب و فاصله از نقاط مسکونی جزء کم اهمیت‌ترین عوامل بودند که در بروز آتش‌سوزی نقش داشتند. با توجه به محاسبات انجام شده نتایج به‌دست آمده برای هر کدام از معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها در جدول ۲ آمده است.

اعتبارسنجی مدل

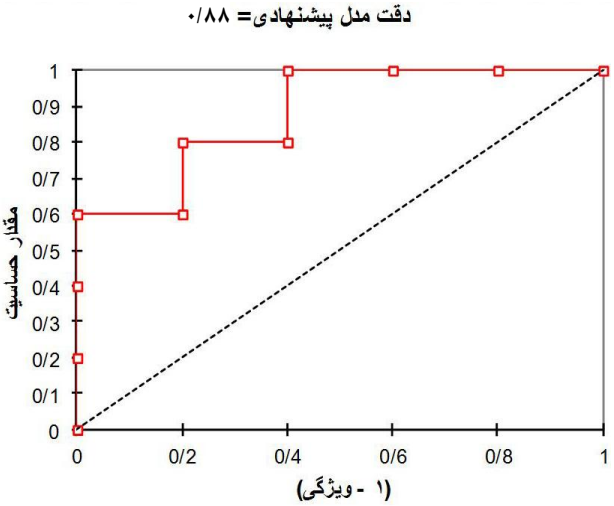
اعتبارسنجی یک جزء ضروری در ارزیابی مخاطرات طبیعی است به‌طوری‌که مدل پیشگویی کننده با واقعیت موجود مقایسه شده تا دقت و توان پیشگویی آن مورد ارزیابی قرار گیرد (۱۸). برای اعتبارسنجی از دو روش استفاده شد. یکی استفاده از نقاط آتش گرفته موجودی بود که برای تست مدل کنار گذاشته شده و استفاده نشده بود. با توجه به نتایج تست مدل حدود ۸۲ درصد نقاط در منطقه پرخطر و ۱۵ درصد در منطقه خطرناک قرار گرفتند. فقط ۱/۶ درصد در منطقه خطر متوسط قرار دارند که نشان از دقت بالای مدل می‌باشد. روش دیگر استفاده از منحنی ROC (Receiver Operating Charasteristic) بود. مساحت

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.14.3.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.14.13]

جدول ۲. وزن‌های به‌دست آمده برای معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها

معیار	زیرمعیار	گزینه	وزن گزینه
فیزیوگرافی (۰/۰۹۹)	ارتفاع (۰/۲۹۷)	۱۸۰۰–۲۱۰۰	۰/۲۳۸
		۲۱۰۰–۲۴۰۰	۰/۶۲۵
		۲۴۰۰–۲۷۰۰	۰/۱۳۶
	شیب (۰/۱۶۳)	۰–۱۰	۰/۱۷۵
		۱۰–۲۰	۰/۱۷۳
		۲۰–۵۰	۰/۴۵۴
		>۵۰	۰/۱۹۸
	جهت شیب (۰/۵۴۰)	شمال	۰/۰۹۵
		جنوب	۰/۴۶۷
		شرق	۰/۱۶۰
		غرب	۰/۲۷۷
انسانی (۰/۲۰۴)	جاده (۰/۸)	۰–۲۰۰	۰/۵۴۶
		۲۰۰–۴۰۰	۰/۱۳۸
		۴۰۰–۶۰۰	۰/۲۳۲
		>۶۰۰	۰/۰۸۴
	مسکونی (۰/۲)	۰–۳۰۰	۰/۰۶۲
		۳۰۰–۶۰۰	۰/۰۹۷
		۶۰۰–۹۰۰	۰/۱۶۰
		۹۰۰–۱۲۰۰	۰/۲۶۳
		>۱۲۰۰	۰/۴۱۹
اقلیم (۰/۱۲۸)	هم‌دما (۰/۵)	۱۳	۰/۰۷۸
		۱۴	۰/۳۰۶
		۱۵	۰/۴۹۲
		۱۶	۰/۱۲۵
	هم‌باران (۰/۵)	۱۵۰–۲۵۰	۰/۰۸۴
		۲۵۰–۳۵۰	۰/۵۴۶
		۳۵۰–۴۵۰	۰/۲۳۲
		۴۵۰–۵۵۰	۰/۱۳۸
گیاهی (۰/۵۶۹)	تراکم پوشش (۱)	بدون پوشش (کمتر از ۰/۰۳)	۰/۰۷۷
		کم (۰/۰۳ تا ۰/۱۳)	۰/۱۳۴
		متوسط (۰/۱۳ تا ۰/۳۴)	۰/۲۴۷
		بیش از متوسط (۰/۳۴ تا ۰/۵۴)	۰/۵۴۲

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.14.3.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.14.13]



شکل ۸. منحنی مشخصه عملکرد سیستم (منحنی ROC)

زیر این منحنی کیفیت مدل را به‌وسیله توضیح عملکرد آن برای تعیین رخداد یا عدم رخداد بیان می‌کند به‌طوری‌که هرچه مساحت زیر منحنی به یک نزدیک باشد نتایج مدل دقیق‌تر است و در صورتی‌که نزدیک ۰/۵ باشد در حد معمولی و متوسط است (۱۶). با توجه به نتایج به‌دست آمده دقت مدل پیشنهادی ۰/۸۸ است و بیانگر آن است که ۸۸ درصد از پهنه‌های آتش‌سوزی به‌طور صحیح توسط مدل پیشنهادی تشخیص داده شده و ۱۲ درصد خطای مدل است (شکل ۸).

بحث

این تحقیق برای یافتن مناطق پرخطر آتش‌سوزی در جنگل حفاظت شده باغ شادی یزد با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداخته و نقش و ارزش این علوم را در جنگل مورد مطالعه، برای مشخص کردن مناطق پرخطر و مدیریت جنگل‌های مناطق خشک نشان داد.

در بین زیرمعیارهای فیزیوگرافی، جهت شیب و از بین جهت‌ها نیز جهت جنوبی بیشترین تأثیر را داشته است. این جهت‌ها به‌علت رطوبت کم، خشک‌تر بودن و قرار داشتن در معرض نور خورشید بیشتر در معرض آتش‌سوزی قرار دارند. در میان شیب‌ها نیز شیب‌های ۲۰ تا ۵۰ درصد بیشترین وزن را گرفته‌اند. که این می‌تواند به‌دلیل تراکم بیشتر پوشش‌ها در این طبقه باشد. در بین گزینه‌های ارتفاع نیز ارتفاع میانی ۲۱۰۰ تا ۲۴۰۰ بیشترین وزن را گرفته به‌دلیل اینکه بیشترین تراکم در این طبقه ارتفاعی قرار دارد. نتایج این بخش از مطالعات با نتایج تحقیق توکلی (۴)، اسکندری و همکاران (۱) مطابقت دارد. در تحقیقات ذکر شده نیز جهت‌های جنوبی به‌دلیل کمبود رطوبت نسبی و تبخیر و تعرق بالاتر، شرایط برای گسترش آتش‌سوزی مهیاتر است.

در بین عوامل انسانی، فاصله از جاده وزن بیشتری نسبت به فاصله از مناطق مسکونی گرفته و در بین طبقات فاصله از جاده، مناطق نزدیک به آن خطر بیشتری دارند. طبق تحقیقات صورت گرفته و پرسش از محیط‌بانان و کارمندان محیط‌زیست شهرستان خاتم، بیشتر آتش‌سوزی‌های منطقه، عامل انسانی و غیرعمد بوده و به‌دلیل بازدیدهای مردم پیرامون و داخل محدوده از منطقه به منظور تفرج بود که نتیجه حاصله تائیدکننده نظر محیط‌بانان بود. عامل انسانی فاصله از نقاط مسکونی دارای رابطه معکوس با آتش‌سوزی است به‌طوری‌که با فاصله گرفتن از این مناطق خطر آتش بیشتر می‌شود که دلیل آن را می‌توان به دو علت دانست. یکی اینکه اطراف این مناطق به‌علت چرای دام‌ها، تراکم گیاهی پایین و یا فاقد پوشش‌اند و از طرفی این مناطق در معرض دید ساکنین قرار داشته و در صورت بروز آتش بهتر توسط آنها کنترل شده و زودتر خاموش می‌شود. نتایج این بخش با نتایج چانگ و همکاران (۱۹)، زرع‌کار و همکاران (۶) و هم‌چنین اسکندری و همکاران (۱) مطابقت داشت. در دو تحقیق اخیر که در مناطق شمالی کشور انجام شده، به این دلیل که مهمترین راه دسترسی گردشگران و جنگل‌نشینان به جنگل‌های منطقه، جاده‌های جنگلی هستند، این افراد از مهمترین عوامل ایجاد آتش‌سوزی در جنگل‌های منطقه‌اند.

در مورد عامل اقلیم با توجه به نتایج، وزن هر دو عامل برابر شده و در این مطالعه به میزان یکسان در بروز آتش نقش دارند. در مناطق خشک با افزایش بارندگی به‌دلیل رشد بیشتر پوشش‌های گیاهی خطر آتش‌سوزی افزایش می‌یابد.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.14.3.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.14.13]

عامل گیاهی را می‌توان مهمترین عاملی دانست که در آتش‌سوزی جنگل مورد مطالعه نقش داشت که تراکم آن به کمک تصاویر ماهواره‌ای و شاخص گیاهی نرمال شده (NDVI) محاسبه شد. با توجه به اینکه کار ما نسبی بود و برآورد حدود طبقات تراکم کفایت می‌کرد استفاده از شاخص‌های خط‌خاک تفاوتی در نتایج ایجاد نمی‌کرد. هم‌چنین بیشتر آتش‌سوزی‌ها در داخل محدوده قرق بود که ورود دام به آن ممنوع و باعث افزایش انبوهی تیپ‌های منطقه شده است که همین مسئله نقش پوشش را در افزایش خطر آتش‌سوزی تائید می‌کند. نتایج این تحقیق با مطالعات ترنر و همکاران (۲۶) که در مناطق خشک و نیمه‌خشک استرالیا انجام شد، سرکارگر اردکانی و همکاران (۷) و گراوند (۱۱) هم‌خوانی داشت. ترنر علت را در گیاهان سریع‌الرشد و بارندگی منطقه که به رشد سریع‌تر آن گیاهان کمک می‌کنند دانست. به‌نظر او در مناطق خشک و نیمه‌خشک استرالیا با افزایش بارندگی رشد گیاهان علفی بیشتر شده و به‌دلیل رطوبت کمتری که این گیاهان دارند آتش خیلی سریع‌تر پخش شده و پیشروی می‌کند. از مدل تحلیل سلسله مراتبی، می‌توان به قابلیت آن در شناسایی عوامل مهم و تأثیرگذار در وقوع آتش و تولید نقشه خطر آتش در منطقه پی برد. از پیشنهادات قابل اجرا می‌توان به استفاده از آتش‌برها و طراحی آتش‌برهای جدید و هم‌چنین پاک‌سازی سالیانه آنها اشاره نمود. می‌توان از تابلوهای هشدار در منطقه استفاده و برنامه‌هایی برای آموزش مردم محلی تدوین کرد. ساماندهی گشت و گذار مردم در جنگل و گسترش کمی و کیفی تفرجگاه ایجاد شده در اطراف پست محیط‌بانی می‌تواند ضمن رفع نیاز تفرجی مردم، امکان کنترل و نظارت بیشتر بر مردم را فراهم و در صورت بروز حریق نسبت به اطفاء به موقع و سریع آن اقدام نمود. هم‌چنین می‌توان ساختمان آتش‌نشانی را به وسایل مدرن مجهز کرده و به محیط‌بانان و نیروهای داوطلب مردمی آموزش‌های لازم را داد. استفاده از گونه‌های علف‌خوار وحشی مثل کل و بز و قوچ و میش به‌منظور تعدیل پوشش‌گیاهی و حفظ ارزش‌های حفاظتی می‌تواند از اقدامات قابل اجرا در منطقه باشد.

نتیجه‌گیری

اکثر تحقیقات آتش‌سوزی و مدل‌سازی‌های آن که در کشور انجام شده مربوط به مناطق شمالی کشور بوده و بیشتر آنها به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام گرفته است. تحقیق حاضر تلاشی برای استفاده ترکیبی از قابلیت‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تعیین پهنه‌های پرخطر آتش در منطقه‌ای خشک (استان یزد) می‌باشد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، گیاهان به‌علت رطوبت کمتر و درجه حرارت بالاتر با سهولت بیشتر از جنگل‌های سایر نقاط طعمه حریق شده و این حریق به‌سرعت گسترش یافته و سطح وسیعی از جنگل را در زمان کوتاهی در بر می‌گیرد. یافته‌های این تحقیق می‌تواند به مهندسین منابع طبیعی برای برنامه‌ریزی‌های آینده کمک کند تا از زیان‌های ناشی از فعالیت‌های انسان به منابع طبیعی و جنگل‌ها بکاهند. شایان ذکر است مدل ساخته شده فقط برای منطقه مورد نظر کارایی داشته و قابل استفاده برای مناطق دیگر نیست. زیرا آتش‌سوزی‌های جنگل در هر منطقه‌ای ویژگی‌های مختص به‌خود را دارد که باید مدل، متناسب با آن ویژگی‌ها تغییر کند.

هم‌چنین به‌علت پوشش‌های جنگلی کم در مناطق خشک، تلاش برای حفظ معدود جنگل‌های این مناطق بسیار ارزشمند است. مهمترین نتیجه‌ای که از این تحقیق می‌توان گرفت اهمیت بالای دو عامل تراکم پوشش و راه‌های ارتباطی است. هم‌چنین در این مناطق با افزایش بارندگی به‌دلیل رشد بیشتر گیاهان خطر آتش‌سوزی افزایش می‌یابد.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.14.3.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.14.13]

منابع مورد استفاده

۱. اسکندری، س.، ج. اولادی قادیکلایی، ح .جلیلوند و م. ر .سراجیان. ۱۳۹۲. مدل‌سازی و پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های بخش سه نکا- ظالمرود با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. *فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران* ۲۱(۲): ۲۱۷-۲۰۳.

۲. امیری، ف. و ح. یگانه. ۱۳۹۱. ارزیابی شاخص‌های گیاهی برای تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی در اراضی نیمه‌خشک بخش مرکزی ایران (حوزه آبخیز قره آقاج). *نشریه مرتع و آبخیزداری* ۶۵(۲): ۱۸۹-۱۷۵.

۳. بهبهانی، ن.، س. ر. فلاح شمسی، ج. فرزاد مهر، س. ی. عرفانی فرد و م. رمضانی گسک. ۱۳۸۹. استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی تصاویر Aster-L1B در برآورد سطح تاج پوشش تک درختان مراتع مشجر مناطق خشک. مطالعه موردی تگ احمد شاهی- خراسان جنوبی. *مجله علمی پژوهشی مرتع* ۴(۱): ۱۰۳-۹۳.

۴. توکلی وردنجانی، ر. ۱۳۹۰. تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر گسترش حریق و پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان چهارمحال و بختیاری، پایان نامه کارشناسی ارشد مرتعداری. دانشگاه شهرکرد.

۵. حبیبی‌پور، ا. و ف .حیدری. ۱۳۹۰. بررسی آسیب پذیری عرصه‌های طبیعی استان یزد از نظر وقوع آتش‌سوزی و ارائه یک برنامه عملیاتی برای ستاد فرماندهی حریق. نخستین همایش بین المللی آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی. گرگان. آبان ۹۰.

۶. زرع کار، آ.، ب. کاظمی زمانی، س. باقری، م. عاشق معلا و ح. ر. جعفری. ۱۳۹۲. تهیه نقشه پراکندگی فضایی خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی(مطالعه موردی :سه حوزه جنگلی در استان گیلان). *فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران* ۲۱(۲): ۲۳۰-۲۱۸.

۷. سرکارگر اردکانی، ع.، م. ولدان زوج و ع. منصوریان. ۱۳۸۷. تحلیل فضایی نیروی آتش‌سوزی مناطق مختلف کشور با استفاده از GIS/RS. *محیط شناسی* ۵۲(۴): ۴۴-۲۵.

۸. سلامتی، ح.، ح. مصطفی‌لو، ع. مستوری و ف. هنردوست. ۱۳۹۰. ارزیابی و تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از GIS در جنگل‌های استان گلستان، نخستین همایش بین‌المللی آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی. گرگان. آبان ۹۰.

۹. فاطمی، س. ب. و ی. رضایی.۱۳۸۹. مبانی سنجش از دور، انتشارات آزاده، چاپ دوم، ۲۶۸ ص.

۱۰. قدسی‌پور، ح. ۱۳۹۱. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) . انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر(پلی تکنیک تهران). چاپ هشتم. ۲۲۰ ص.

۱۱. گراوند، س. ۱۳۹۲. ارزیابی احتمال وقوع و محاسبه میزان خطر آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی استان لرستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد جنگلداری. دانشگاه شهرکرد.

۱۲. گراوند، ی. ۱۳۹۲. بررسی ساختار و الگوی پراکنش درختان بنه در دو منطقه قرق و تحت چرا (منطقه حفاظت شده باغ شادی یزد). پایان نامه کارشناسی ارشد جنگداری. دانشگاه یزد.

۱۳. محمدی، ف.، ن. شعبانیان، م. پورهاشمی و پ. فاتحی. ۱۳۸۹. تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از GIS و AHP در بخشی از جنگل‌های پاوه. *فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران* ۱۸(۴): ۵۸۶-۵۶۹.

۱۴. منصوری، ن.، ر. نظری، پ. نصیری و ع. ر. قراگوزلو. ۱۳۹۰. تدوین برنامه مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل با تکنولوژی GIS/RS. *فصلنامه کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در برنامه‌ریزی* ۳(۲): ۷۳-۶۳.

۱۵. مهندسین مشاور جامع ایران. ۱۳۸۷. طرح جامع مدیریت منطقه حفاظت شده باغ شادی خاتم. اداره کل حفاظت محیط زیست استان یزد.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.14.3.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.14.13]

16. Adab, H., K. Devi Kanniah and K. Solaimani. 2012. Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. *Natural Hazard* 65(3): 1723-1743.
17. Alexandrian, D. and F. Esnault. 1998. Public policies affecting forest fires in the Mediterranean Basin. FAO Forestry Rome.
18. Begueria, S. 2006. Validation and evaluation of predictive models in hazard assessment and risk management. *Natural Hazard* 37(3): 315-329.
19. Chang, Y., Z. Zhu, R. Bu, H. Chen, Y. Feng, Y. Li, Y. Hu and Z. Wang. 2013. Predicting fire occurrence patterns with logistic regression in Heilongjiang Province, China. *Landscape Ecology* 28(10): 1989-2004.
20. Chen, W., T. Sakai, K. Moriya, L. Koyama and C. Cao. 2013. Estimation of vegetation in semi-arid sandy land based on multivariate statistical modeling using remote sensing data. *Environmental Modeling & Assessment* 18(5): 547-558.
21. Cochrane, M. A. 2003. Fire science for rainforests. *Nature* 421: 913-919.
22. Chuvieco, E. 2003. Wildland fire danger estimation and mapping. World Scientific Pub. Spain. 264 p.
23. Dong, X., D. Li-min, S. Guo-fan, T. Lei and W. Hui. 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.
24. Hadi, D. 2008. A RS/ GIS-Based multi criteria approaches to assess forest fire hazard in Indonesia case study: west kutari district, east Kalimantan province. PhD. Thesis. School of Agriculture science. The university of Bogor.
25. Sasikala, K. and M. Petrou. 2001. Generalised fuzzy aggregation in estimating the risk of desertification of a burned forest. *Fuzzy Sets and Systems* 118(1): 121-137.
26. Turner, D., M. Lewis, B. Ostendorf. 2011. Spatial indicators of fire risk in the arid and semi-arid zone of Australia. *Ecological indicators* 11(1): 149-167.
27. Xu, D., G. Shao, L. Dai, Z. Hao, L. Tang and H. Wang. 2006. Mapping forest fire risk zones with spatial data and principal component analysis. *Science in China Technological Sciences* 49(1): 140-149.
28. Zarekar A., H. Vahidi, H. Kazemi Zamani, S. Ghorbani and H. Jafari. 2012. Forest fire hazard mapping using fuzzy AHP and GIS, Study area: Gilan province of Iran. *Internatonal journal on Technical and physical problems of engineering* 12(3): 47-55.
29. Zhang H., X. Han and S. Dai. 2013. Fire occurrence probability mapping of Northeast china with binary logistic regression model. *Earth observation and remote sensing* 6(1): 121-127

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.14.3.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.14.13]