پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی با استفاده از مدل‌سازی شبکه باور بیزین (Bayesian Belief network) در استان چهارمحال و بختیاری

علی‌اصغر نقی‌پور برج [1*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۲۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۰۶/۰۳

چکیده

آثار آتش‌سوزی‌های کنترل‌نشده بر اکوسیستم‌های طبیعی و عوامل مؤثر در وقوع آن‌ها به‌طور گسترده‌ای مورد توجه جهانی است. مدل‌سازی پیش‌بینی وقوع آتش، نقش تعیین‌کننده‌ای در مدیریت آتش‌سوزی دارد و می‌تواند مدیران را آگاه نماید که چه مناطقی بیشتر تحت خطر آتش‌سوزی قرار دارند و چه تمهیداتی برای جلوگیری از وقوع آن باید اندیشیده شود. هدف از مطالعه حاضر، مدل‌سازی پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی با استفاده از شبکه باور بیزین (Bayesian Belief network) در استان چهارمحال و بختیاری و همچنین شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد آتش‌سوزی در این استان بود. ابتدا ۲۰۵ منطقه از مناطق آتش‌سوزی‌شده سنوات گذشته و ۲۰۵ منطقه تصادفی بدون آتش‌سوزی، مورد ثبت و بررسی قرار گرفت. سپس با بررسی مطالعات صورت گرفته در این زمینه، ۹ عامل تأثیرگذار بر وقوع آتش‌سوزی، شامل عوامل اقلیمی (میانگین بارندگی سالانه و میانگین دمای سالانه)، پستی و بلندی (ارتفاع، شیب، جهت)، پوشش زمین و عوامل انسانی (فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از اراضی کشاورزی و فاصله از جاده) انتخاب و وارد مدل شدند. نتایج نشان داد که از بین عوامل مورد بررسی، به ترتیب عامل پوشش زمین، عامل دسترسی، میانگین بارش سالانه، فاصله از جاده و نزدیکی به مناطق مسکونی نسبت به سایر عوامل از درجه اهمیت بالاتری برخوردارند. همچنین نتایج نشان‌دهنده توانایی عالی مدل در پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی در استان چهارمحال و بختیاری بود (AUC= ۰/۹۲۳). از آنجایی که در این استان آتش‌سوزی‌های زیادی به وقوع می‌پیوندد، نتایج این مطالعه می‌تواند به عنوان یک ابزار اساسی و بسیار قوی در دست مسئولان مربوطه در جهت کاهش وقوع آتش‌سوزی و همچنین کاهش میزان خسارات آن در صورت وقوع قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: زاگرس مرکزی، آتش‌سوزی‌های کنترل‌نشده، مدل‌سازی، پیش‌بینی.

[1]- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

* نویسنده مسئول: aa_naghipour@yahoo.com

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-01-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.1.8.9]

مقدمه

آتش‌سوزی‌ها شامل دو نوع کنترل‌نشده و تجویزشده می‌باشند. آتش‌سوزی‌های کنترل‌نشده که به دو صورت طبیعی و یا انسانی رخ می‌دهند، نقش بسیار مهمی در ساختار و عملکرد بسیاری از اکوسیستم‌های جهان ایفا می‌نمایند (۵، ۸ و ۳۱). امروزه در خشکی‌ها پس از فعالیت‌های شهری، تبدیل اراضی و توسعه بی‌رویه اراضی کشاورزی، آتش‌سوزی به عنوان یکی از فراگیرترین عوامل مخرب اکوسیستم‌های طبیعی به شمار می‌رود (۳۰).

ایران از جمله کشورهای حادثه‌خیز دنیا است که پدیده آتش‌سوزی، در کنار حوادثی نظیر سیل و زلزله یکی از مهم‌ترین بحران‌های آن محسوب می‌شود. آتش‌سوزی در اکوسیستم‌های طبیعی ایران که دارای اقلیم و پوشش‌گیاهی متفاوتی هستند هر ساله به‌صورت کنترل‌نشده اتفاق می‌افتد. ایران از لحاظ وقوع آتش‌سوزی جنگل‌ها در بین کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا در رتبه چهارم قرار دارد (۱). در ناحیه زاگرس مرکزی، آتش‌سوزی‌های مکرر صدمات بسیاری به محیط‌زیست و پوشش گیاهی جنگل‌ها و مراتع وارد نموده است. یکی از استان‌های کشور که در این منطقه قرار گرفته و به شدت در معرض این تهدید قرار دارد، استان چهارمحال و بختیاری است؛ به طوری‌که بر اساس آمارهای موجود، طی یک دوره زمانی ۵ ساله (۱۳۹۰-۱۳۹۴)، ۳۸۰ فقره آتش‌سوزی با مساحت حدود ۱۳۳۴ هکتار اتفاق افتاده است (۳).

کنترل طبیعی آتش‌سوزی ممکن نیست، اما با تعیین نواحی پرخطر آتش‌سوزی و برنامه‌ریزی برای این نواحی می‌توان خسارات ناشی از آن را تا حدودی کاهش داد (۱۰). دویر و همکاران (۲۰۰۰) عنوان نمودند که برای این کار نیاز به فهم رابطه پیچیده بین آتش، اقلیم، پوشش‌گیاهی و فعالیت‌های انسانی داریم. بنابراین مدل‌سازی پیش‌بینی وقوع آتش، نقش تعیین‌کننده‌ای در مدیریت آتش‌سوزی دارد و می‌تواند مدیران را آگاه نماید که چه مناطقی بیشتر تحت خطر آتش‌سوزی قرار دارند و چه تمهیداتی برای جلوگیری از وقوع آن باید اندیشیده شود.

توسعه مدل‌های مکانی، درک این روابط را از طریق ایجاد نقشه و تجزیه و تحلیل متغیرهایی که در طول زمان و مکان در وقوع آتش‌سوزی دخالت دارند، تسهیل می‌نماید. روش‌های متعددی از مطالعات مختلف برای پیش‌بینی مناطق پرخطر آتش‌سوزی ایجاد شده‌اند. این روش‌ها شامل آزمون فرضیه‌های آماری سنتی، رگرسیون خطی، رگرسیون لجستیک، طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل درخت رگرسیون، تحلیل سلسله مراتبی، تحلیل سلسله مراتبی فازی، شبکه عصبی مصنوعی، خوشه‌بندی و ... است (۲۱). با این حال، به طور کلی روش‌های سنتی توانایی لازم برای ترکیب همزمان داده‌ها و شواهد برگرفته از منابع مختلف را به خصوص در شرایط عدم اطمینان و همچنین وجود داده‌های گمشده دارا نمی‌باشند. همچنین ارتباط بین وقوع آتش‌سوزی و عوامل محیطی اغلب ناپارامتریک بوده و شامل روابط متقابل پیچیده‌ای است، مخصوصاً زمانی که انسان نقش مهمی را در پویایی آنها بازی می‌کند. از این‌رو، مدل‌های خطی و پارامتریک سنتی وقوع آتش‌سوزی، غالباً مدل خوبی را فراهم نمی‌کنند (۱۷ و ۳۲).

شناخت نقاط ضعف و قوت روش‌های مختلف مدل‌سازی، ضامن رسیدن به اهداف مدیریتی با حداقل محاسبات و هزینه است. مدل‌های گرافیکی و به خصوص شبکه‌های باور بیزین[1] راه مفیدی در برخورد با مشکلات پیچیده است. مطالعات متعددی، سودمندی شبکه‌های بیزین را در استفاده و ترکیب دانش کارشناسی و داده‌های آزمایشی برای مدل‌سازی و تبدیل داده‌های کیفی به مدل‌های کمی اثبات کرده است (۶، ۱۹ و ۲۴). مدل‌سازی بیزین در زمینه‌های پیچیده با داده‌های نامطمئن مانند مدیریت محیط زیست و اکوسیستم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (۹). از جمله مطالعات انجام شده در خصوص پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی با استفاده از مدل بیزین می‌توان به دلامینی (۲۰۱۰) در کشور سوآزیلند اشاره نمود. نتایج ایشان نشان داد که پوشش زمین، ارتفاع از سطح دریا، میانگین بارش سالانه و میانگین دمای سالانه به عنوان مهمترین عوامل ایجاد آتش‌سوزی در این منطقه محسوب می‌شوند. همچنین، بشری و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی به پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی با استفاده مدل‌سازی شبکه‌های باور بیزین در استان اصفهان پرداختند. نتایج آنها حاکی از توانایی بالای مدل در پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی

[1]- BBNs

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-01-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.1.8.9]

در استان اصفهان بود. همچنین نتایج ایشان نشان داد که از بین عوامل مورد بررسی، به‌ترتیب عامل پوشش زمین (کاربری اراضی)، میانگین بارش سالانه، میانگین درجه‌حرارت سالانه، ارتفاع، تراکم دام و میانگین رطوبت سالانه نسبت به سایر عوامل از درجه اهمیت بالاتری برخوردار بودند.

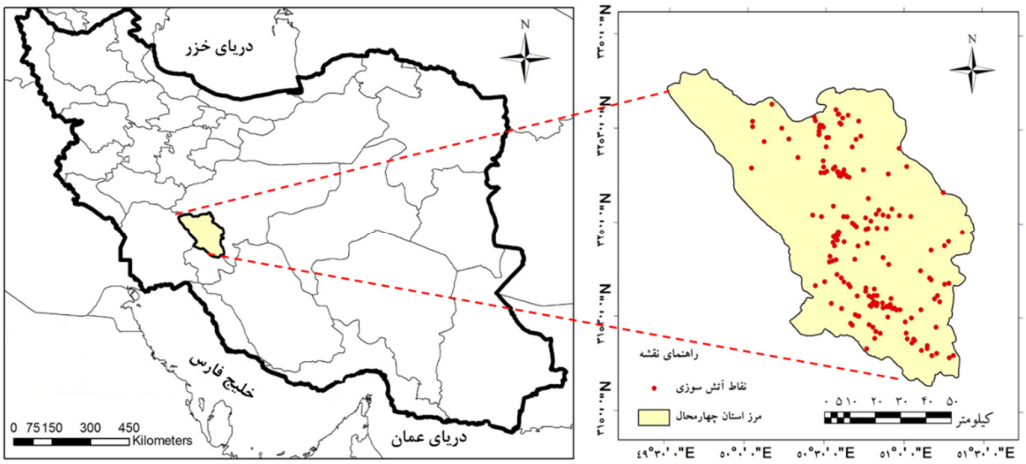
این مطالعه با هدف مدل‌سازی پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی با استفاده از مدل‌سازی BBN و همچنین تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد آتش‌سوزی در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری واقع در منطقه زاگرس مرکزی و با مساحتی حدود ۱/۶ میلیون هکتار انجام شد (۱۴ و ۲۰). این استان بین ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و نیز ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). بارش متوسط سالانه استان حدود ۵۶۰ میلی‌متر است که در مناطق مرتفع عمدتاً به صورت برف می‌باشد (۲۵).

علت اغلب آتش‌سوزی‌های رخ‌داده در سطح استان چهارمحال و بختیاری، عامل انسانی است؛ به نحوی که تأثیر عوامل انسانی را می‌توان به مشکلات اقتصادی و اجتماعی گریبان‌گیر عرصه‌های طبیعی و به خصوص در منطقه زاگرس مرکزی مثل وابستگی شدید مردم به عرصه‌های طبیعی ربط داد (۱۸).



شکل ۱: موقعیت استان چهارمحال و بختیاری در کشور ایران به همراه نقاط آتش‌سوزی رخ‌داده در استان

روش تحقیق

مدل‌سازی پیش بینی وقوع آتش سوزی در استان چهارمحال و بختیاری طی فرآیندی مرحله‌ای، مطابق شکل (۲) انجام گرفت. برای تعیین نقاط آتش‌سوزی، از اطلاعات و آمار بخش حفاظت اداره کل منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری استفاده گردید. برای بررسی و تعیین دقت مکانی مناطقی که در آن آتش‌سوزی اتفاق افتاده است، از نقاط آتش‌سوزی در سطح استان به صورت تصادفی بازدید انجام شد. در مجموع، اطلاعات مربوط به ۲۰۵ نقطه آتش‌سوزی در سطح استان مربوط به سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۸۷ انتخاب و ثبت و بررسی شد (شکل ۱). پیش‌بینی مکانی و تجزیه و تحلیل وقوع آتش‌سوزی بر اساس شبکه باور بیزین یا مدل‌های مشابه نیازمند یک متغیر وابسته دوتایی است. آتش به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد و به صورت یک متغیر دوتایی گسسته نشان داده شد که نشان می‌دهد آیا آتش‌سوزی در یک نقطه رخ داده است (۱= بله) یا نه (۰= خیر). برای جلوگیری از ایجاد خطا و انتخاب صحیح نقاط "عدم آتش‌سوزی"، از روش نمونه‌گیری

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-01-08]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.1.8.9]

تصادفی به استثنای مناطق بافر با فاصله ۱ کیلومتر در اطراف نقاط "آتش‌سوزی" استفاده شد. انتخاب این نقاط تصادفی "عدم آتش‌سوزی" با استفاده از ابزار" Create Random Point" و در نرم‌افزار ArcGIS 10.3 انجام شد. در نهایت، ۲۰۵ نقطه "عدم آتش‌سوزی" مشخص گردید. مهمترین عوامل تأثیرگذار در وقوع آتش‌سوزی با بررسی مطالعات مختلف صورت گرفته در این زمینه (۷، ۱۰ و ۲۱) و همچنین استفاده از نظرات افراد متخصص انجام شد. در مجموع، ۹ متغیر شامل عوامل اقلیمی (میانگین بارندگی سالانه و میانگین دمای سالانه)، پستی و بلندی (ارتفاع، شیب و جهت)، پوشش زمین و عوامل انسانی (فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از اراضی کشاورزی و فاصله از جاده) انتخاب و وارد مدل شدند. در جدول (۱)، شرح مختصری از متغیرهای مستقل وارد شده به مدل آورده شده است. جهت شیب و پوشش زمین به عنوان متغیرهای گسسته تعریف شده، در حالی که سایر عوامل به عنوان متغیرهای پیوسته در مدل تعریف شدند. انتخاب عوامل گسسته و پیوسته در مطالعه حاضر، بر اساس رهیافت دلامینی (۲۰۱۰) و بشری و همکاران (۲۰۱۶) انجام گرفت.

شکل ۲: مراحل گام به گام فرآیند مدل‌سازی برای پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی در استان چهارمحال و بختیاری

داده‌های اقلیمی مورد نیاز برای این متغیرها از ۵۰ ایستگاه هواشناسی داخل و اطراف استان و از طریق سازمان هواشناسی در محدوده سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۹۰ میلادی (۱۳۶۹-۱۳۹۳ هجری شمسی) جمع‌آوری گردید. نقشه کاربری اراضی استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از نقشه اداره کل منابع طبیعی، کنترل زمینی و بازدید از مناطق آتش‌سوزی تهیه گردید. پایگاه داده جغرافیایی از همه متغیرها با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10.3 تهیه شده و اطلاعات مربوط به هر نقطه (آتش‌سوزی و عدم آتش‌سوزی) وارد فایل اکسل شد. در نهایت، مجموع اطلاعات مربوط به کلیه نقاط مورد بررسی (۴۱۰ نقطه) برای ورود به نرم‌افزار Netica 5.12 آماده گردید. برای شروع فرآیند مدل‌سازی، ابتدا نمودار تأثیر از عوامل علت و معلولی تهیه می‌شود که در این مطالعه عوامل محیطی مؤثر بر وقوع آتش را شامل شد. مدل بیزین، نشان‌دهنده روابط علت و معلولی عوامل تأثیرگذار در سیستم است. در یک BBN، هر متغیر با یک گره نمایش داده می‌شود، به طوری که تعداد گره‌ها مبین تعداد متغیرهای درگیر در فرآیند مدل‌سازی

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-01-08]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.1.8.9]

است. در صورتی‌که بتوان برای هر گره (عامل) مجموعه‌ای از حالت‌ها را تعریف کرد، نمودار تأثیر به BBN اولیه تبدیل می‌شود. تعیین حالت‌های مختلف برای هر گره نیز با مرور منابع و نظر کارشناسی امکان‌پذیر است. بعد از وارد کردن احتمالات به صورت جدول احتمالات شرطی درون مدل، احتمال وقوع هر حالت از هر گره با توجه به فراوانی وقوعی که در جدول احتمالات برای آن تعریف شده است، تغییر می‌کند. از ۴۱۰ نقطه موجود (آتش‌سوزی و عدم آتش‌سوزی)، ۳۱۰ نقطه برای پرکردن جدول احتمالات (ساخت مدل) و ۱۰۰ نقطه برای ارزیابی مدل استفاده گردید. پس از تکمیل جداول احتمال شرطی و وارد کردن آن در مدل، شبکه را باید تدوین نمود تا توزیع احتمالات در شبکه قابل مشاهده گردد. وارد کردن یافته‌ها درون یک شبکه، تجزیه و تحلیل سناریوها را امکان‌پذیر می‌کند.

یکی از روش‌های حساسیت‌سنجی، استفاده از اطلاعات متقابل (Mutual Information) است. این عمل در مدل بیزین برای یافتن متغیرهایی که رفتار سیستم را به شدت تحت تأثیر قرار داده و همین‌طور یافتن متغیرهایی که سیستم به تغییرات آنها چندان حساس نیست استفاده می‌شود. بنابراین با استفاده از فرآیندحساسیت سنجی می‌توان مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد آتش‌سوزی را تشخیص داد.

جدول ۱: منابع اطلاعات و تشریح متغیرهای مستقل استفاده شده در مدل

متغیر (گره)	نوع متغیر	حالت‌ها (دامنه)	منبع اطلاعات
آتش	گسسته	حاضر (آتش‌سوزی) غایب (عدم آتش‌سوزی)	اداره کل منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری و بازدید از مناطق آتش‌سوزی در سطح استان
پوشش زمین	گسسته	اراضی جنگلی، مرتع متراکم (پوشش بیش از ۵۰٪)، مرتع نیمه‌متراکم (پوشش ۵۰٪-۲۵)، مرتع کم‌تراکم (پوشش کمتر از ۲۵٪)، اراضی کشاورزی، خاک لخت، صخره‌ها، آب و مناطق شهری	اداره کل منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری. مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای
میانگین بارش سالیانه	پیوسته	کم: کمتر از ۴۵۰ میلی‌متر در سال متوسط: ۴۵۰-۶۰۰ میلی‌متر در سال زیاد: بیش از ۶۰۰ میلی‌متر در سال	اداره کل هواشناسی
میانگین دمای سالیانه	پیوسته	کم: کمتر از $10^{\circ}C$، متوسط: $10^{\circ}C$-۱۴ زیاد: بیش از $14^{\circ}C$	اداره کل هواشناسی
ارتفاع	پیوسته	کم: کمتر از ۱۵۰۰ متر از سطح دریا متوسط: ۱۵۰۰-۲۵۰۰ متر از سطح دریا زیاد: بیش از ۲۵۰۰ متر از سطح دریا	تهیه شده از نقشه DEM استان چهارمحال و بختیاری
جهت	گسسته	شمال، شرق، غرب، جنوب	تهیه شده از نقشه DEM استان چهارمحال و بختیاری
شیب	پیوسته	کم: کمتر از ۱۵ درصد، متوسط: ۱۵-۳۰ درصد، زیاد: بیش از ۳۰ درصد	تهیه شده از نقشه DEM استان چهارمحال و بختیاری
فاصله از اراضی کشاورزی	پیوسته	نزدیک: کمتر از ۰/۵ کیلومتر، متوسط: ۰/۵-۲/۵ کیلومتر، دور: بیش از ۲/۵ کیلومتر	تهیه شده از نقشه کاربری اراضی استان چهارمحال و بختیاری
فاصله از جاده	پیوسته	نزدیک: کمتر از ۱ کیلومتر، متوسط: ۱-۵ کیلومتر، دور: بیش از ۵ کیلومتر	نقشه راه‌های کشور
فاصله از مناطق مسکونی	پیوسته	نزدیک: کمتر از ۱ کیلومتر، متوسط: ۱-۵ کیلومتر، دور: بیش از ۵ کیلومتر	نقشه روستاهای کشور

با استفاده از منحنی ROC صحت مدل تهیه شده بررسی شد. سطح زیر منحنی ROC (AUC)، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخداده (وقوع آتش‌سوزی) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع آتش‌سوزی) آن است. به طور کلی، مقادیر ۰/۷-۰/۵ نشان‌دهنده توانایی ضعیف مدل در پیش‌بینی، مقادیر ۷/۹-۰/۰ نشان‌دهنده یک پیش‌بینی قابل قبول، و مقادیر بالای ۰/۹ نشان‌دهنده توانایی پیش‌بینی عالی مدل است

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-01-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.1.8.9]

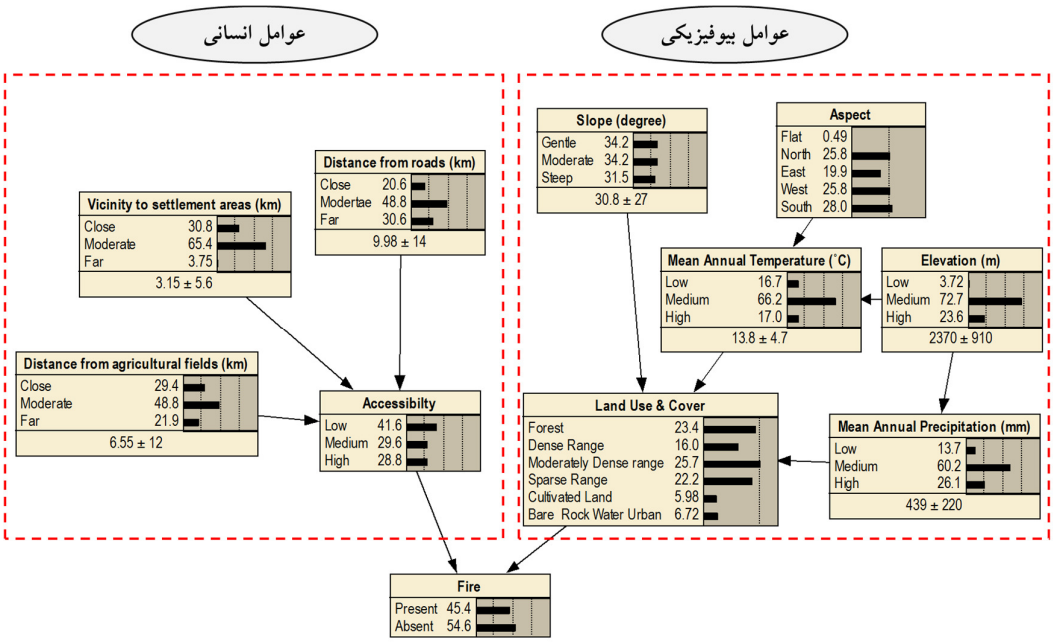
(۱۱). محاسبات مربوط به ارزیابی مدل در نرم‌افزار MedCalc انجام شد.

با استخراج اطلاعات مربوط به ۴۱۰ نقطه از نرم افزار Netica و ورود این اطلاعات به نرم افزار ArcGIS و با استفاده از روش میانیابی کریجینگ، نقشه احتمال وقوع آتش‌سوزی در استان چهارمحال و بختیاری تهیه گردید. احتمال وقوع در این نقشه در چهار سطح خطر شامل: کم (۲۰-۰ درصد)، متوسط (۴۰-۲۰ درصد)، زیاد (۶۰-۴۰ درصد) و خیلی زیاد (بیش از ۶۰ درصد) تقسیم بندی شد.

نتایج

مدل نهایی پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی در استان چهارمحال و بختیاری در شکل (۳) نمایش داده شده است. توزیع احتمالات بین حالت‌های هر گره طبق جدول احتمال شرطی مربوط به آن تغییر می‌کند و به صورت میله‌ای نشان داده شده است.

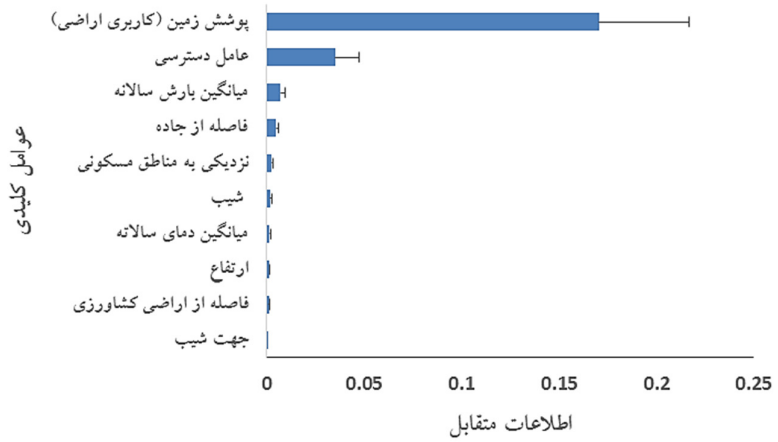
نتایج حساسیت‌سنجی مدل نیز در شکل (۴) ارائه شده است و گره‌ها با توجه به محاسبه درجه تأثیرشان بر گره خروجی (وقوع آتش‌سوزی) که به صورت اطلاعات متقابل و یا کاهش واریانس یاد می‌شود، مرتب شده‌اند. نتایج حساسیت‌سنجی نشان می‌دهد که پوشش زمین (کاربری اراضی) به عنوان مهم‌ترین عامل، بیشترین تأثیر را بر وقوع آتش‌سوزی دارد (۷۱/۲ درصد). متغیرهای عامل دسترسی با ۱۸/۴ درصد، میانگین بارش سالانه با ۳/۶ درصد، فاصله از جاده با ۲/۱ درصد و نزدیکی به مناطق مسکونی با ۱/۳ در رتبه‌های بعدی از نظر اهمیت قرار گرفتند. جهت شیب نیز با ارزش کمتر از ۰/۰۰۱ درصد کمترین تأثیر را بر وقوع آتش‌سوزی در استان دارا می‌باشد.



شکل ۳: مدل پیش‌بینی‌کننده وقوع آتش‌سوزی در استان چهارمحال و بختیاری که احتمالات بر اساس داده‌های آتش‌سوزی‌های رخ‌داده در سطح استان وارد شده است

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-01-08]

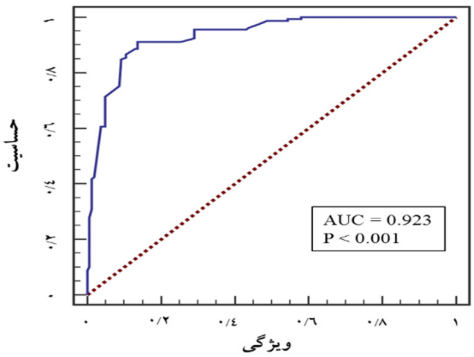
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.1.8.9]



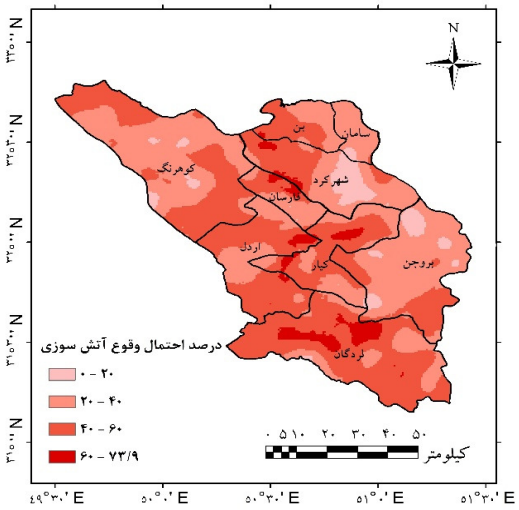
شکل ۴: نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت‌سنجی (+ واریانس) مدل پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی

مقادیر AUC بین ۰/۷ تا ۰/۹ نشان دهنده پیش‌بینی خوب مدل و مقادیر AUC بالاتر از ۰/۹ نشان دهنده پیش‌بینی عالی مدل است. بر اساس نتایج (شکل ۵)، مقدار سطح زیر منحنی منطقه مورد مطالعه دارای دقتی برابر ۰/۹۲۳ است. بنابراین نتایج نشان‌دهنده توانایی عالی مدل در پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی در استان چهارمحال و بختیاری است.

بر اساس نقشه احتمال وقوع آتش‌سوزی تولید شده برای استان چهارمحال و بختیاری، ۶۱۷ کیلومتر مربع (۳/۸ درصد) از کل مساحت منطقه مورد مطالعه در گروه با احتمال وقوع آتش‌سوزی خیلی زیاد قرار گرفت. در حالی‌که، به ترتیب ۴۷/۱، ۴۴/۷ و ۴/۴ درصد از مساحت استان در گروه‌های با احتمال وقوع آتش‌سوزی زیاد، متوسط و کم قرار می‌گیرند (شکل ۶).



شکل ۵: منحنی ROC برای مدل پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی



شکل ۶: نقشه احتمال وقوع آتش‌سوزی در استان چهارمحال و بختیاری

بحث و نتیجه‌گیری

در مجموع، مدل بیانگر پیچیدگی روابط متقابل بین آتش‌سوزی، پوشش‌گیاهی، اقلیم، پستی و بلندی و عوامل انسانی است که می‌تواند الگوهای وقوع آتش‌سوزی را تحت تأثیر قرار دهند (۱۰). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که عوامل بیوفیزیکی و انسانی به کار رفته در تشکیل مدل نهایی، از توانایی لازم جهت پیش‌بینی خطر وقوع پدیده آتش‌سوزی در استان چهارمحال و بختیاری برخوردار می‌باشند. نتایج نشان داد که پوشش‌زمین (کاربری اراضی)

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-01-08]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.1.8.9]

به عنوان ماده قابل اشتعال، مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر وقوع آتش‌سوزی در استان چهارمحال و بختیاری است و این موضوع به دلیل این واقعیت است که همواره تغییر در ترکیب سوخت منجر به اختلاف در ویژگی‌های آتش‌سوزی از جمله وقوع و گسترش آن می‌گردد (۲۷). به علاوه، پوشش‌زمین یک عامل مهم در مدل‌سازی آتش‌سوزی محسوب می‌شود و به همین دلیل در اغلب سیستم‌های ارزیابی خطر آتش‌سوزی در سرتاسر جهان در نظر گرفته می‌شود (۲۱). اثر زیاد پوشش زمین بر فعالیت آتش‌سوزی همچنین نتیجه‌ای از اثر معنی‌دار و ارتباط نزدیک آن با کاربری اراضی (۱۶)، شدت چرای دام (۱۳)، اختلاف در بارش محلی (۲۸)، و یا اختلاف در پستی و بلندی و حاصلخیزی خاک (۲۳) است. این نتایج با مطالعات قبلی که پوشش‌زمین را به عنوان مهم‌ترین عامل مؤثر در وقوع آتش‌سوزی معرفی کرده‌اند، همخوانی دارد (۴، ۷، ۱۰ و ۱۵). بیشترین تعداد آتش‌سوزی‌های استان در مراتع متراکم اتفاق افتاده که به دلیل وجود ماده قابل اشتعال بیشتر است. در مناطق نیمه‌خشک و از جمله استان چهارمحال و بختیاری بخش عمده‌ای از آتش‌سوزی‌ها با قصد پوشش‌زدایی و حذف بوته‌های غیرخوشخوراک و خاردار گون برای افزایش دسترسی دام و کیفیت علوفه و همچنین برای توسعه اراضی کشاورزی صورت می‌گیرد (۲۶). کما اینکه در این مطالعه نیز مناطق مرتعی متراکم و سپس نیمه‌متراکم دارای حداکثر خطر ایجاد آتش‌سوزی معرفی شدند. بنابراین شرح توزیع مکانی ویژگی‌های پوشش زمین برای ارزیابی خطر آتش‌سوزی در سراسر یک چشم‌انداز برای اهداف آتش‌سوزی و مدیریت زمین امری اساسی است.

دومین عامل تأثیرگذار بر وقوع آتش‌سوزی در استان چهارمحال و بختیاری، عامل دسترسی بود. در مطالعات صورت گرفته، بسیاری از محققین دسترسی بیشتر را به لحاظ افزایش تردد و حضور گردشگران، عاملی هم‌راستای خطر پذیری مناطق بر شمرده‌اند (۲۲ و ۲۹). نتایج ما نیز نشان داد که آتش سوزی در اطراف جاده ها، مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی بیشترین سهم فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند.

بارش سالانه نیز بر وقوع آتش‌سوزی در استان چهارمحال و بختیاری اثر قابل توجهی داشت که با نتایج مطالعات دیگر محققین همچون عالی محمودی و همکاران (۲۰۱۳)، دلامینی (۲۰۱۰) و بشری و همکاران (۲۰۱۶) که بارش سالانه را به عنوان یک عامل مهم در وقوع و فراوانی آتش‌سوزی معرفی نمودند، همخوانی دارد. متوسط بارندگی سالیانه یک منطقه تعیین کننده میزان پوشش‌گیاهی و سوخت عرصه برای آتش‌سوزی است. مناطق دارای متوسط بارندگی بیشتر از ۴۵۰ میلی‌متر در استان دارای بیشترین تناسب آتش‌سوزی بودند. در بارندگی‌های کمتر سوخت کم در عرصه موجب محدودیت آتش‌سوزی می‌شود (۷). این عامل (بارش سالانه) می‌تواند متأثر از رویش مناسب پوشش‌گیاهی به‌ویژه خانواده گندمیان به عنوان ماده سوختی و همچنین افزایش حضور بهره‌بردار به عنوان عامل بروز آتش باشد.

تحقیق حاضر نشان داد که مدل باور بیزین، دارای دقت و توان بالایی در پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی بوده و با تکیه بر نتایج آن بهتر می‌توان این عرصه‌ها را مدیریت نمود. تصویری و شفاف بودن این ابزار، یک چارچوب ساده و قابل فهم برای کارشناسان، مدیران و تصمیم‌گیران مربوطه فراهم می‌سازد تا بتوانند آرا و افکار خود را ساماندهی کرده و با سهولت بیشتری تصمیم‌های مدیریتی خود را اتخاذ کنند. با توجه به اینکه مدل‌های BBN دارای توانایی به هنگام شدن هستند، در صورت کسب اطلاعات بیشتر در مورد آثار متقابل آتش‌سوزی و عوامل محیطی می‌توان این مدل را به هنگام نمود.

مهم‌ترین کاربرد مدل‌های پیش‌بینی کننده در رابطه با وقوع یک پدیده مخرب که در اینجا آتش‌سوزی است، آگاهی و اعلام خطر دادن به مدیران و مسئولان مربوطه است تا مدیران فرصت کافی داشته باشند و با انجام اقدامات مناسب، بتوانند در صورت امکان از وقوع آن پدیده پیشگیری نمایند و یا در صورت وقوع میزان خسارات ناشی از آن را به حداقل برسانند. بنابراین از آنجایی که در این استان آتش‌سوزی‌های زیادی به وقوع می‌پیوندد، نتایج این مطالعه می‌تواند به‌عنوان یک ابزار اساسی و بسیار قوی در دست مسئولان مربوطه در جهت کاهش وقوع آتش‌سوزی و همچنین کاهش میزان خسارات آن در صورت وقوع قرار گیرد.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-01-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.1.8.9]

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه شهرکرد انجام شده است. بدینوسیله نگارنده مراتب امتنان و تشکر خود را از مسئولین دانشگاه شهرکرد ابراز داشته و از کارشناسان اداره کل منابع‌طبیعی به خصوص آقای مهندس نجفی به خاطر در اختیار گذاشتن برخی اطلاعات و منابع، صمیمانه تشکر می‌نماید.

References

1. Adab, H., D. Kanniah & K. Solaimani, 2011. GIS-based probability assessment of fire risk in grassland and forested landscapes of Golestan province, Iran. International Conference on Environmental and Computer Science, IPCBEE, 19: 170-175.
2. Aleemahmoodi Sarab, S., J. Feghhi & B. Jabarian Amiri, 2013. Predicting the occurrence of natural fires in forests and ranges using artificial neural networks (case study: Zagros region, Izeh township). Iranian Journal of Applied Ecology, 1: 75-86. (In Persian)
3. Anonymous, 2011-2015. Agricultural statistics, ICT Center, Ministry of Agriculture-Jahad. (In Persian)
4. Ardakani, A., M.J. Valadanzooj & A. Mansourian, 2010. Spatial analysis of fire potential in Iran different region by using RS and GIS. Journal of Environmental Studies, 35 (52): 25-34. (In Persian)
5. Bahlakeh, K., M. Abedi & G.A. Dianati Tilaki, 2017. Competition effects of *Onobrychis cornuta* changes between exposures and fire (Case study: Golestan natural park). Journal of Rangeland, 11: 342-352. (In Persian)
6. Bashari, H., C. Smith & O.J.H. Bosch, 2009. Developing decision support tools for rangeland management by combining state and transition models and Bayesian belief networks. Agricultural Systems, 99(1): 23-34.
7. Bashari, H., A.A. Naghipour., S.J. Khajeddin., H. Sangoony & P. Tahmasebi, 2016. Risk of fire occurrence in arid and semi-arid ecosystems of Iran: an investigation using Bayesian belief networks. Environmental monitoring and assessment, 188(9): 531.
8. Bond, W.J. & JE. Keeley., 2005. Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. Trends in ecology & evolution, 20(7): 387-394.
9. Cain, J., 2001. Planning improvements in natural resources management. Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, UK, 124: 1-123.
10. Dlamini, M., 2010. A Bayesian belief network analysis of factors influencing wildfire occurrence in Swaziland. Environmental Modelling & Software, 25(2): 199-208.
11. Dlamini, W.M., 2011. Application of Bayesian networks for fire risk mapping using GIS and remote sensing data. GeoJournal, 76(3): 283-296.
12. Dwyer, E., J.M. Grégoire & J.M. Pereira, 2000. Climate and vegetation as driving factors in global fire activity. PP. 171-191. In: Biomass burning and its inter-relationships with the climate system. Springer Netherlands.
13. Fuls, E., 1992. Ecosystem modification created by patch overgrazing in semi-arid grassland. Journal of Arid Environments, 23(1): 59-69.
14. Haidarian Aghakhani, M., R. Tamartash., Z. Jafarian., M. Tarkesh Esfahani & M.R.Tatian, 2017. Forecasts of climate change effects on *Amygdalus scoparia* potential distribution by using ensemble modeling in central Zagros. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 8: 1-14. (In Persian)
15. Kalabokidis, K.D., N. Koutsias., P. Konstantinidis & C. Vasilakos, 2007. Multivariate analysis of landscape wildfire dynamics in a Mediterranean ecosystem of Greece. Area, 39(3): 392-402.
16. Lavorel, S.F., M.D. Lannigan., E.F. Lambin & M.C. Scholes, 2007. Vulnerability of land systems to fire: interactions among humans, climate, the atmosphere, and ecosystems. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 12(1): 33-53.
17. Lozano, F.J., S. Suárez-Seoane., M. Kelly & E. Luis, 2008. A multi-scale approach for modeling fire occurrence probability using satellite data and classification trees: a case study in a mountainous Mediterranean region. Remote Sensing of Environment, 112(3): 708-719.
18. Naghipour, A.A., H. Bashari., S.J. Khajeddin., P. Tahmasebi & M. Iravani, 2016. Effects of smoke, ash and heat shock on seed germination of seven species from Central Zagros rangelands in the semi-arid region of Iran. African Journal of Range & Forage Science, 33(1): 67-71.
19. Nash, D., M. Hannah., F. Robertson & P. Rifkin, 2010. A Bayesian network for comparing dissolved nitrogen exports from high rainfall cropping in southeastern Australia. Journal of Environmental Quality, 39(5): 1699-1710.
20. Omidipoor, R. & P. Tahmasbi., 2017. Evaluating species abundance distribution based on niche apportionment models in different bioclimatic regions. Journal of Rangeland, 10: 483-495. (In Persian)

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-01-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.1.8.9]

21. Plucinksi, M., 2011. A review of wild fire occurrence research, Bushfire Cooperative Research Centre, Australia.
22. Romero-Calcerrada, R., C. Novillo., J. Millington & I. Gomez-Jimenez, 2008. GIS analysis of spatial patterns of human-caused wildfire ignition risk in the SW of Madrid (Central Spain). Landscape Ecology, 23(3): 341-354.
23. Scholes, R., 1990. The influence of soil fertility on the ecology of southern African dry savannas. Journal of Biogeography, 17: 415-419.
24. Smith, C.S., A.L. Howes., B. Price & C.A. McAlpine, 2007. Using a Bayesian belief network to predict suitable habitat of an endangered mammal–The Julia Creek dunnart (*Sminthopsis douglasi*). Biological Conservation, 139(3): 333-347.
25. Soltani, S., L. Yaghmaei., M. Khodagholi & R. Saboohi, 2011. Bioclimatic classification of Chahar-Mahal & Bakhtiari province using multivariate statistical methods. JWSS-Isfahan University of Technology, 14(54): 53-68. (In Persian)
26. Tahmasebi, P., H. Shirmardi., H.A. Khedri & A.A. Ebrahimi, 2011. Cyclical pattern of succession in semi-steppe rangelands: interactive effect of grazing and fire. Journal of Range and Watershed Management, 64(2): 187-198. (In Persian)
27. Venkataraman, C., G. Habib., D. Kadamba., M. Shrivastava., J.F. Leon., B. Crouzille., O. Boucher & D. Streets 2006. Emissions from open biomass burning in India: Integrating the inventory approach with high-resolution Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) active-fire and land cover data. Global biogeochemical cycles, 20(2): 1-12.
28. Wiens, D.A., C. DeMets., R.G. Gordon., S. Stein., D. Argus., J.F. Engeln., P. Lundgren., D. Quible., C. Stein & S. Weinstein, 1985. A diffuse plate boundary model for Indian Ocean tectonics. Geophysical Research Letters, 12(7): 429-432.
29. Yang, J., H.S. He, S.R. Shifley & E.J. Gustafson, 2007. Spatial patterns of modern period human-caused fire occurrence in the Missouri Ozark Highlands. Forest science, 53(1): 1-15.
30. Yi, H.W., F.h. Kong & X.Z. Li, 2004. RS and GIS-based forest fire risk zone mapping in da hinggan mountains. Chinese geographical science, 14(3): 251-257.
31. Zaki, E. & M. Abedi., 2017. Effects of smoke and heat treatments on germination of *Stipa caucasica*, *Festuca valesiaca* and *Poa densa*. Journal of Rangeland, 10: 474-482. (In Persian)
32. Zarechahuoki, M., M. Abbasi & H. Azarnivand, 2014. Evaluating the ability of artificial neural network model in predicting the spatial distribution of plant species (case study: Rangeland of Taleghan miany). Rangeland, 8: 106-115. (In Persian).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-01-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.1.8.9]