

مدلسازی پتانسیل آتش سوزی جنگل و شبیه سازی نحوه گسترش آن با استفاده از داده های سنجش از دور و GIS: (منطقه حفاظت شده ارسباران)

حسن شهریاری^۱، حسن امامی^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد GIS - دانشکده مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد ممقان
shahriari_hassan@yahoo.com

^۲ استادیار گروه نقشه برداری - دانشکده فنی و مهندسی مرن - دانشگاه تبریز
h_emami@tabrizu.ac.ir

(تاریخ دریافت آذر ۱۳۹۷، تاریخ تصویب مرداد ۱۳۹۹)

چکیده

در این تحقیق، ارتباط موثرترین عوامل محیطی (پوشش گیاهی، دمای سطح، شیب، جهت شیب، سرعت و جهت باد) و عوامل انسانی (نزدیکی به جاده ها و مناطق مسکونی) بصورت یک مدل ریاضی با وقوع و انتشار آتش در منطقه جنگلی حفاظت شده ارسباران، مورد بررسی قرار گرفته و جهت اعتبار سنجی نتایج، از داده های آتش سوزی های پیشین استفاده شده است. برای این منظور، از تصاویر ماهواره ای لندست ۸، مدل رقومی ارتفاعی زمین، سرعت و جهت باد و سایر پارامترها با استفاده از تلفیق روشهای سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده گردید. ابتدا از تلفیق عوامل محیطی، نقشه مناطق خطر آتش سوزی و نقشه مناطق با ریسک ۵۰ درصدی آتش سوزی تولید گردید. سپس جهت شبیه سازی گسترش آن از مدل های نیمه تجربی الکساندریس و اتوماسیون سلولی استفاده گردید و جهت بهینه سازی پارامترها از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. نتایج ارزیابی مقادیر ضرایب همبستگی نرمال شده پارامترهای عوامل محیطی، نشان داد که به ترتیب شاخص پوشش گیاهی، دمای سطح زمین، جهت شیب و شیب دارای ۲۹/۲۰٪، ۲۹/۱۱٪، ۲۱/۹۳٪ و ۱۹/۷۵٪ بالاترین میزان همبستگی با نقشه خطر وقوع آتش سوزی دارند و حدود ۱۷٪ منطقه دارای پتانسیل خیلی زیاد و بیش تر از ۵۰ درصد منطقه در وضعیت خطر زیاد برای آتش سوزی قرار دارند. علاوه بر عوامل محیطی، بررسی ارتباط عوامل انسانی با خطر آتش سوزی نشان داد که نزدیکی به جاده بیش ترین سهم را در وقوع آتش سوزی در منطقه را دارد. همچنین نتایج شبیه سازی، نشان داد که با تلفیق مدل نیمه تجربی الکساندریس با مدل نیمه تجربی اتوماسیون سلولی، گسترش آتش سوزی در ناحیه اول تست با دقت کلی ۹۵/۵۶٪ و کاپا ۹۱/۱۴٪ درصد و در ناحیه دوم تست با دقت کلی ۹۴/۶۲٪ و کاپا ۹۰/۱۳٪ در مقایسه با داده های مرجع حاصل گردید. این نتایج، با نتایج مطالعات شبیه سازی در گسترش آتش سوزی انطباق خوبی داشت. لذا از فرآیند شبیه سازی، می توان جهت حفاظت کارآمد از جنگل ها استفاده کرد.

واژگان کلیدی: آتش سوزی جنگل، شبیه سازی گسترش آتش، منطقه ارسباران، سنجش از دور

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

هرساله میلیون ها هکتار از جنگل های سراسر دنیا در اثر عوامل طبیعی و انسانی طعمه حریق می شوند. آتش سوزی های مهیب اتفاق افتاده در دنیا موید این قضیه می باشد که این پدیده مخرب، تاثیرات بسیار ناسازگاری بر اکوسیستم منطقه، پوشش گیاهی و حیات وحش دارد [۱]. پدیده آتش سوزی جنگل ها به عواملی از جمله توپوگرافی، پوشش گیاهی و اقلیم بستگی دارد. بنابراین ارائه راهکارهایی مناسب در هر زمان و در راستای مدیریت این پدیده زیان بار همواره خواست مدیران و برنامه ریزان محیط زیست بوده است. برای محافظت از جنگل ها و مراتع در مقابل خطر آتش سوزی یکی از اولین استراتژی های که مورد توجه قرار می گیرد، تعیین مناطق مستعد وقوع آتش سوزی است. پیش بینی مناطقی که دارای خطر زیاد آتش سوزی هستند یکی از کارهای ضروری است که برای مدیریت آتش در عرصه های طبیعی انجام می گیرد. مناطق دارای خطر آتش سوزی به مناطقی که دارای پتانسیل آتش سوزی یا مناطقی که آتش به آسانی گسترش پیدا می کند اطلاق می شود [۲]. آتش سوزی از سوخت های طبیعی نظیر لاشبرگ ها، شاخ و برگ گیاهان، درختان و ... استفاده می کند و به راحتی در عرصه های طبیعی گسترش می یابد. رفتار آتش به بزرگی، جهت و شدت گسترش آن و به شرایط محیطی شامل پوشش گیاهی، توپوگرافی و آب و هوا وابسته است [۳]. امروزه سوانح طبیعی به دلایل گوناگونی خسارت های قابل توجه جانی و مالی را به جامعه وارد می نماید [۴]. سالیانه آتش سوزی های جنگل موجب وارد شدن آسیب های بزرگی به پوشش گیاهی، املاک، اکوسیستم ها و محیط زیست می شود و زندگی مردم و منابع انسانی قابل توجهی را تهدید می کند [۵].

در طی دهه اخیر استفاده از سنجش از دور به عنوان ابزار مفید برای آنالیزهای مختلف و مدیریت های بهینه آتش سوزی قبل و بعد از وقوع آن توسعه یافته است. سنجنده های ماهواره های سنجش از دور با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب، اطلاعات مهمی را برای هشدارهای زودهنگام آتش سوزی در دسترس قرار می دهند. با این فناوری می توان عوامل موثر و محرک در بروز آتش سوزی جنگل را مورد مطالعه و بررسی قرار داده و راهکارهای موثری در جهت

مدیریت و حتی پیش بینی وقوع این مخاطره ارائه داد. در همین راستا اقدامات زیادی جهت تهیه مدل ها و شبیه سازی های مختلف به منظور ارزیابی بلایای طبیعی از جمله آتش سوزی جنگل صورت گرفته است [۶] و محققین در زمینه های گوناگون، مدل هایی را جهت نمایش و پیش بینی رفتار چنین حوادثی، توسعه داده اند. مدل های مکانی آتش می توانند آتش سوزی ها را به منظور ارزیابی و برنامه ریزی برای کاهش، اطفاء یا حمایت از راهبردهای مدیریت آتش، شبیه سازی کنند [۷ و ۸]. مدل های آتش سوزی جنگلی را می توان به دو دسته کلی مدل های احتمالی و تحلیلی تقسیم بندی نمود. مدل های احتمالاتی به پیش بینی رفتار احتمالی آتش تحت یک شرایط متوسط می پردازند و در این میان از قوانین تکاملی استخراج شده از تجربیات آزمایشگاهی و نمونه داده های زمینی استفاده می شود. در مقابل در مدل های تحلیلی، رفتار آتش از قوانین فیزیکی حاکم بر سیستم استنباط می شود (الکساندر و کرو، ۲۰۱۳). بولز و وریلا (۱۹۹۸) سه مدل تشخیص آتش سوزی با تصاویر ماهواره ای را با هم مقایسه کردند. این کار بر اساس داده های NOAA-1 و NOAA-12 و NOAA-14 از منطقه ای داخلی آلاسکا انجام گرفت. در این مقایسه، در مدل حد آستانه ای ثابت، دمای تابشی هر پیکسل با مقادیر حد آستانه ای از پیش تعیین شده، مقایسه شد. داده های زمینی آتش سوزی در این منطقه جهت تعیین صحت مدل ها استفاده شدند. نتایج حاصل از این تحقیق حاکی از این بود که مدل پیشنهادی دارای بیشترین دقت و مدل حد آستانه دارای کمترین دقت بودند. در ضمن بر اساس نتایج حاصل، با افزایش اندازه ی آتش، درصد احتمال تشخیص آن بالاتر می رفت. لی و همکاران (۲۰۰۰)، تحقیق جامع در مورد آتش سوزی در جنگل های شمالی کانادا با استفاده از تکنیک دورسنجی تصاویر ماهواره ای ارائه دادند و یک الگوریتم تشخیص آتش سوزی با استفاده از تصاویر سنجنده AVHRR طراحی کردند. نتایج حاصله شامل اطلاعات با ارزشی از تاریخ شروع و پایان آتش سوزی، مکان وقوع و میزان گسترش آتش بودند. رمل و پهره را (۲۰۰۱)، روش های مختلف تشخیص حریق با استفاده از شاخص گیاهی نرمال شده و تصاویر AVHRR را با هم مقایسه کردند و برای تهیه نقشه آتش در منطقه ای انترایو شمالی کانادا در فصول آتش در سال های ۱۹۹۲ و ۱۹۹۳ و ۱۹۹۵ استفاده شدند. میزان صحت نقشه های تولید شده با استفاده

۱ National Oceanic and Atmospheric Administration

از تطابق مکانی بین این نقشه‌ها و داده‌های زمینی ارزیابی شد. نتایج حاصل از مطالعات زمینی با نقشه‌های حاصل از NDVI/AVHRR هم‌پستگی داشتند. راجو کومار جاسوال و همکاران (۲۰۰۱) در تحقیقی دیگر به آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده در زیرحوضه‌ی گورنا در هند پرداختند. در این کار از ترکیب رنگی تصاویر IRS^۱ برای تهیه‌ی نقشه پوشش گیاهی استفاده شد. نقشه‌های ریسک آتش با وزن دهی به تمام لایه‌ها و کلاس‌ها به نسبت حساسیت آنها نسبت به آتش و ظرفیت اشتعال آنها، به وجود آمدند. نتایج حاکی از این بود که بیش از ۳۰ درصد ناحیه‌ی مورد مطالعه در محدوده‌ی بسیار بالای آتش قرار داشت. بریلینگر و همکاران (۲۰۰۳)، پیشنهاد دادند برای هر منطقه براساس تاریخچه‌ی آتش‌سوزی، ارتفاع از سطح دریا و داده‌هایی مشابه روزهای آتش‌سوزی و روزهایی که آتش‌سوزی نداشت، یک مدلی به دست آید. در این تحقیق از داده‌های اقلیمی استفاده نشد. ایلیدیس (۲۰۰۵)، با استفاده از یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری و مدل ریاضی منطق فازی، به پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی در یونان پرداختند. نتیجه‌ی کار او ۱۲ آتش‌سوزی از ۲۰ آتش‌سوزی به وقوع پیوسته را نشان داد. دانگ و همکاران (۲۰۰۵)، روشی ترکیبی با RS و GIS را برای نقشه‌برداری مناطق خطر آتش‌سوزی با استفاده از نقشه‌های عوامل مؤثر در حریق جنگل‌داری بیهه چین توسعه دادند. مناطق خطر آتش‌سوزی با اختصاص وزن‌های معقول به طبقات همه لایه‌های فاکتورهای مؤثر در آتش‌سوزی مشخص شدند. سپس تاریخچه‌ی آتش‌سوزی در جنگل‌های مورد مطالعه از سال ۱۹۷۴ تا ۲۰۰۱ برای کنترل مطلوبیت روش مورد استفاده بررسی شد. نتایج نشان داد که مناطق با خطر آتش‌سوزی زیاد در مکان‌هایی واقع شده‌اند که قبلاً در آنها آتش‌سوزی اتفاق افتاده است. تون و همکاران (۲۰۰۷)، ابزاری را برای تصمیم‌سازی و نقش پاک کردن بوته‌های خشک و خاشاک باقی‌مانده در جنگل برای جلوگیری از گسترش آتش‌سوزی طراحی کردند. آنها یک مدل سه بعدی برای گسترش آتش‌سوزی جنگل با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی طراحی کردند، که امکان شبیه‌سازی گسترش آتش را در محیط‌های واقعی تحت شرایط مختلف پاک‌سازی بوته‌های خشک می‌دهد. نتایج نشان داد که تحت شرایط مساوی، در صورت پاک‌سازی جنگل از بوته‌های خشک، شکل گسترش آتش تغییر پیدا کرده و مساحت

^۱ Indian Revenue Service

مناطق متأثر از آتش‌سوزی به طور قابل توجهی کاهش خواهد یافت. انشیانس و همکاران (۲۰۰۷)، از مدل اتوماسیون سلولی مبتنی بر انتقال منطقه سوخته کسری استفاده کردند، در این مقاله با ارائه سلول‌های شش ضلعی، ناهمگونی بین سلول‌های همسایه از بین برده شده و برای هر سلول مرکزی، شش سلول در اطراف آن وجود دارد که اثری یکسان بر آن دارند، مدل ارائه شده تحت چند سناریوی متفاوت، کارایی خود را در جنگل‌های فرضی نشان داده است. نتایج نشان‌دهنده سازگاری نسبی مدل ارائه شده با واقعیت بود. همچنین انشیانس و همکاران (۲۰۰۷)، مدل جدیدی را بر اساس مدل پیشنهادی کارفیلیدیس و تانایلاکیس برای گسترش جبهه آتش با استفاده از اتوماسیون سلولی دو بعدی پیشنهاد دادند. مدل پیشنهادی به معرفی دقیق‌تر نحوه انتشار آتش از سلول‌های همسایه مورب به سلول مرکزی می‌پردازد و شامل نرخ گسترش آتش به صورت جزئی است. علاوه بر این، این مدل برای محیط‌های همگن و ناهمگن تحت سناریوهای متفاوت کارایی خود را نشان داده است. لوزانو و همکاران (۲۰۰۸)، در تحقیقی، ارتباط میان احتمال وقوع آتش‌سوزی و فاکتورهای مختلف زیست‌محیطی را با استفاده از مدل‌های طبقه‌بندی و رگرسیونی درختی با به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای مدل‌سازی کردند و مدلی را برای احتمال وقوع آتش‌سوزی بر اساس مشخصات توپوگرافی، قابلیت دسترسی، نوع پوشش و تاریخچه آتش‌سوزی در مناطق مدیترانه‌ای ارائه دادند. نتایج نشان داد که وقوع آتش‌سوزی با فاکتورهای محیطی در مقیاس‌های مکانی مختلف ارتباط زیادی دارد و اغلب مناطق خطر وقوع آتش‌سوزی در بوته‌زارها و شیب‌های تند واقع شده است. محمدی و همکاران (۲۰۰۹) اقدام به تهیه نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و روش سلسله مراتبی در بخشی از جنگل‌های پناه نمودند. در این تحقیق، تهیه نقشه‌ی نواحی خطر آتش‌سوزی جنگل بر پایه‌ی عوامل پوشش گیاهی، فیزیوگرافی، اقلیمی، انسانی و فاصله از جاده‌ها و رودخانه‌ها در بخشی از حوضه‌ی پناه رود انجام گردید. نتایج نشان داد که ۹۰ درصد مناطق آتش گرفته در پهنه‌هایی با خطر زیاد قرار داشتند. وادروو و همکاران (۲۰۰۹)، خطر وقوع آتش‌سوزی جنگل در ایالت اندرا پردیش هند را با استفاده از آنالیز چندمعیاره در قالب روش تحلیل سلسله مراتبی و با استفاده از داده‌های اقتصادی-اجتماعی، اقلیمی، پوشش گیاهی و توپوگرافی مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد که

مناطق خطر وقوع با پیکسل‌های آتش مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای، تا ۶۴/۴ درصد هم‌خوانی دارند که نشان‌دهنده اعتبار مدل ساخته شده در شناسایی مناطق بحرانی خطر وقوع آتش‌سوزی است. ریتوینسکی و کروون (۲۰۱۰)، مدلی بهینه برای شبیه‌سازی انتخاب موقعیت آتش‌برها برای به حداقل رساندن خسارات آتش‌سوزی در جنگل‌های شمال غربی اونتاریو کانادا با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی ارائه کردند. آن‌ها بیان داشتند که مشکل انتخاب موقعیت‌های بهینه برای آتش‌برها به دلیل عدم اطلاع از نقاط شروع آتش‌سوزی و چگونگی گسترش آن در آینده است. نتایج نشان داد که ارتباط مکانی بین آتش-برهای انتخاب شده، فاکتور مهمی برای کاهش خطر آتش‌سوزی در آینده است. لی‌گو و همکاران (۲۰۱۰)، برای کاهش اثرات مخرب آتش‌سوزی بر جوامع بشری یک سیستم قابل اعتماد و کارآمد جهت تشخیص مناطق تغییر یافته در سطح زمین و تکمیل شاخص‌های مختلف از دور سنجش شده پیشنهاد داده‌اند که می‌تواند اطلاعات مکانی مهمی را در جهت تشخیص آتش‌سوزی در اختیار قرار دهد. رحیمی و همکاران (۲۰۱۰) به مدل‌سازی تأثیرات پوشش گیاهی بر پتانسیل آتش‌سوزی جنگل‌ها با استفاده از فناوری سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS در جنگل‌های شهرستان مریوان پرداختند. در این پژوهش با استفاده از تصاویر MODIS و همچنین داده‌های بارندگی و دما، اثر پوشش گیاهی و وضعیت سلامت و کیفیت آن بر روی پتانسیل آتش‌سوزی در جنگل‌های شهرستان مریوان نمایش داده شد. سلامتی و همکاران (۲۰۱۱)، نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های استان گلستان را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی با به کارگیری سیستم اطلاعات مکانی تهیه کردند. بدین منظور فاکتورهای مؤثر در وقوع آتش‌سوزی بر اساس مقایسات زوجی وزن‌دهی و نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی تهیه شد. نتایج نشان داد که ۴۰ درصد منطقه در طبقات پرخطر و بسیار پرخطر قرار داشت. مهدوی و همکاران (۲۰۱۲)، مناطق خطر وقوع آتش-سوزی در جنگل‌های شهرستان ایلام را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، متغیرهایی شامل کاربری اراضی، جاده‌ها، رودخانه‌ها و مشخصات اقلیمی، فیزیوگرافی و انسان‌ساخت بکار بردند. نتایج نشان داد که پنجاه درصد حریق‌های گذشته در مناطق با خطر بسیار زیاد و چهل درصد آن‌ها در مناطق با خطر زیاد قرار گرفته‌اند. ادب و همکاران (۲۰۱۲)، در پژوهشی به مدل‌سازی خطر

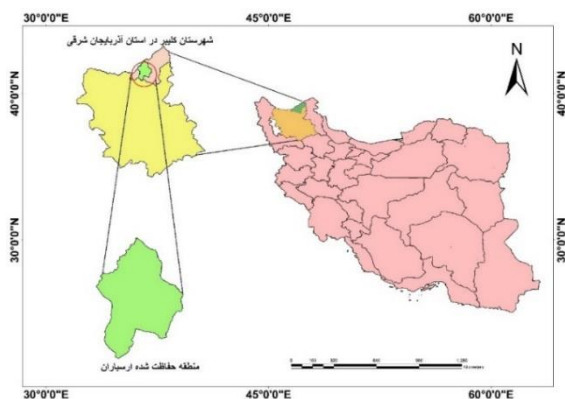
آتش‌سوزی در جنگل‌های گلستان به کمک تصاویر MODIS و سیستم اطلاعات مکانی پرداختند. متغیرهای مورد استفاده براساس ضریب خطر آتش‌سوزی به طبقاتی تقسیم شده و با تجزیه و تحلیل داده‌ها در محیط سیستم اطلاعات مکانی سه طبقه خطر کم، متوسط و زیاد برای منطقه به‌دست آمد. چوویکو و همکاران (۲۰۱۲)، خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های اسپانیا را با استفاده از چهارچوبی از داده‌های مکانی ارزیابی کردند. خطر آتش‌سوزی شامل متغیرهای انسانی، رعد و برق، میزان رطوبت سوخت مرده و زنده و پتانسیل گسترش آتش-سوزی بود. نتایج، روابط معنی‌داری را بین وقوع آتش‌سوزی و مهم‌ترین شاخص‌های خطر ساخته شده نشان داد. اسکندری (۲۰۱۳)، به‌منظور مدل‌سازی خطر وقوع حریق و تهیه‌ی نقشه پتانسیل خطر آتش‌سوزی در بخشی از جنگل-های شمال ایران از دو روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و همبستگی استفاده کرد. فاکتورهای مورد استفاده شامل چهار معیار اصلی (توپوگرافی، زیست-شناختی، اقلیمی و انسانی) و هفده زیرمعیار بود. نتایج نشان داد که مناطق پرخطر آتش‌سوزی در نقشه‌های پتانسیل خطر تهیه شده با دو روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و روش همبستگی، تطابق زیادی با مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته داشته است، اما دقت روش همبستگی بیشتر از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی است. همچنین اسکندری و همکاران (۲۰۱۳)، در مطالعه‌ای دیگر، کارایی مدل دانگ را برای تعیین قابلیت خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های زرین‌آباد استان مازندران ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که تقریباً هشتاد درصد از محدوده‌ی مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته در نقاطی قرار گرفته‌اند که قابلیت زیاد یا بسیار زیادی برای آتش‌سوزی دارند که نشان‌دهنده اعتبار قابل توجه مدل اصلاح شده برای منطقه مورد مطالعه است. در مطالعه‌ای که زرع‌کار و همکاران (۲۰۱۳)، در حوزه‌های جنگلی استان گیلان انجام دادند به تهیه‌ی نقشه خطر آتش‌سوزی با در نظر گرفتن عوامل توپوگرافی، اقلیم، پوشش گیاهی و عوامل اقتصادی-اجتماعی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی و سیستم اطلاعات مکانی پرداختند. که در نهایت با توجه به وزن عوامل، نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی، با ۶۶ درصد هم‌پوشانی با آتش‌سوزی‌های رخ داده، به دست آمد. تیان و همکاران (۲۰۱۳)، در مطالعه‌ای در چین با در نظر گرفتن تصاویر NOAA و عواملی چون پوشش گیاهی، ارتفاع از

سطح دریا، تراکم جمعیت، فاصله از جاده‌ها و شهرک‌ها و ویژگی‌های مناطق سوخته‌شده، با تعیین نقش هر یک از عوامل در وقوع آتش‌سوزی، به پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی پرداختند. نتایج نشان داد که تأثیر این عوامل با توجه به شرایط منطقه متفاوت است. چانگ یو و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از رگرسیون لجستیک به تولید نقشه‌ی 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. نو فرصتی و تبریزی (۲۰۱۴)، طی مطالعه‌ای شبیه‌سازی گسترش آتش در جنگل را با استفاده از روش اتوماتی سلولی با در نظر گرفتن فاکتورهای محیطی مهم همچون تراکم (چگالی)، شاخ و برگ‌ها، ارتفاع زمین، قابلیت اشتعال و شرایط باد انجام دادند. در این مدل یک محیط مصنوعی در مختصات دو بعدی شبیه‌سازی شد و جنگل به صورت تعدادی سلول مربع شکل نشان داده شد که هر سلول، معرف یک ناحیه کوچک از زمین می‌باشد و هشت راستا برای انتشار آتش دارد. در این مدل بوته‌ها و شاخ و برگ‌ها به صورت تصادفی در مکان‌های مختلف دنیای مصنوعی قرار می‌گیرند. آتش به صورت گروهی از شعله‌ها می‌باشد که با محیط اثر متقابل دارد و می‌تواند از یک نقطه معین از دنیای مصنوعی شروع شود و سپس بر اساس یکسری قواعد برهمکنش در سرتاسر محیط گسترش یابد. نایاکا و همکاران (۲۰۱۴)، در مقاله‌ای به بررسی تأثیر آتش‌سوزی بر استفاده پایدار از علف‌زار، در جنگل‌های ساوان پرداختند. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی MODIS به جمع‌آوری اطلاعات در مورد منطقه پرداخته و با استفاده از تحلیل رگرسیونی فرکانس آتش‌سوزی در منطقه محاسبه و تأثیر آن بر زندگی جنگل‌نشینان ارزیابی شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که برای حفظ حیات وحش و اکوسیستم منطقه‌ی مورد مطالعه می‌بایستی مدیریت ۳-۵ ساله برای کنترل آتش‌سوزی صورت گیرد. وانگ و همکاران (۲۰۱۴)، گسترش آتش‌سوزی‌های مهیب در آمریکا را با استفاده از مدل اتوماسیون سلولی و ابعاد واقعی آتش‌سوزی مورد بررسی قرار دادند. داده‌های سری زمانی ۳۱ آتش‌سوزی مهیب اتفاق افتاده در آمریکا در سال ۲۰۱۲ جمع‌آوری شدند. ابعاد واقعی آتش‌سوزی‌های مهیب طی گسترش آتش‌سوزی مطالعه شدند و مشخصات زمین‌شناسی آن‌ها بررسی شد. آنالیز عددی انجام شده توافقی مطلوبی از این مدل را با ابعاد و مقیاس واقعی داده‌های تجربی نشان داد.

ولیزاده و همکاران (۲۰۱۴)، در مطالعه‌ای جنگل‌های کلیر را از نظر ریسک آتش‌سوزی مورد ارزیابی قرار دادند. این تحقیق با استفاده از تئوری فازی و الگوریتم تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام شد. عواملی مثل توپوگرافی، پوشش گیاهی، اقلیم، فاصله از جاده و شهر و روستا در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی منطقه دارای پتانسیل بالا، و شمال و شمال‌شرق دارای پتانسیل پایین‌تری برای آتش‌سوزی جنگل است. آرنت و همکاران (۲۰۱۵)، در پژوهشی به تشخیص آسیب‌پذیری جنگل با استفاده از سنجش از دور در مقیاس‌های مختلف پرداختند. در این پژوهش با استفاده از تصاویر Landsat و Rapid-Eye، ارزیابی آتش‌سوزی در جنگل‌های جنوب کانادا صورت گرفته و علاوه بر تهیه نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی، هم‌بستگی بین آتش‌سوزی و نوع پوشش به دست آمد. اسکندری و چوویکو (۲۰۱۵)، در پژوهشی با استفاده از تحلیل مکانی، خطر آتش‌سوزی را در سرتاسر کشور ایران ارزیابی نمودند. در این پژوهش در سه گام احتمال وقوع و گسترش آتش‌سوزی محاسبه شده است. گام اول کلیه‌ی عوامل موثر بر وقوع آتش‌سوزی شناسایی و پایگاه داده‌ی مربوطه تشکیل شده است، گام دوم روش مناسب برای ادغام لایه‌های ورودی و ایجاد شاخص متناسب برای پیش‌بینی شناسایی شده و در گام سوم به اعتبار سنجی احتمال وقوع و گسترش وقوع آتش‌سوزی پرداخته‌اند. در پایان ضمن تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی، با استفاده از رگرسیون لجستیک اعتبار مدل را نیز برآورد نموده‌اند.

مناطق مورد مطالعه اغلب این تحقیقات مذکور در مناطق جنگلی دیگر، بجز ارسباران بوده است. در مورد جنگلهای ارسباران تحقیقات بسیاری در موضوعات مختلف انجام گرفته است [9-16] ولی آتش‌سوزی و شبیه‌سازی آن برای اولین بار توسط این پژوهش، در مناطق حفاظت شده ارسباران مورد بررسی قرار می‌گیرد. در تحقیقات گذشته، ارتباط پارامترهای عوامل محیطی و انسانی با وقوع آتش در قالب یک مدل ریاضی بیان نشده است. در این تحقیق، جهت مدیریت منابع طبیعی و کاهش وقوع آتش‌سوزی، ارتباط این پارامترها با وقوع آتش به طور کامل مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته و نحوه شیوع آتش‌سوزی جنگل شبیه‌سازی شده است تا در مواقع بحران بتوانند از آن بهره بگیرند. همچنین در تحقیقات پیشین تاکنون از داده‌های باندهای حرارتی تصاویر ماهواره‌ای برای تولید نقشه وقوع آتش‌سوزی استفاده نگردیده است که در این تحقیق استفاده از این باندها نیز

جغرافیایی ۴۶ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی قرار دارد. موقعیت این منطقه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

۲-۲- داده‌های تحقیق و پیش پردازش آنها

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل باندهای انعکاسی و حرارتی تصویر ماهواره‌ای لندست ۸، مدل رقومی زمین، داده‌های سرعت و جهت باد، پوشش گیاهی، دمای سطح، شیب، جهت شیب، لایه جاده‌ها و مناطق مسکونی و داده‌های مرجع برای آتش‌سوزی‌های انجام گرفته در سال‌های پیشین هست. بدیهی است قبل از محاسبه و استخراج پارامترهای فیزیکی سطح زمین، انجام تصحیح رادیومتریکی (اتمسفیری و توپوگرافی) تصاویر ماهواره‌ای الزامی است. در این تحقیق، برای انجام تصحیح توپوگرافی از مدل رقومی ارتفاعی^۱ استفاده گردید و مشتقات لازم نظیر شیب^۲، تغییر شیب^۳ و سایه^۴ استخراج گردید. در این تحقیق، این تصحیحات با استفاده از نرم‌افزار تصحیح اتمسفیری و توپوگرافی ATCOR3^۵ که بصورت مستقل بر پایه محیط برنامه‌نویسی زبان تعاملی داده^۶ استوار بوده و از پایگاه داده مدل‌های انتقال تابش^۷ MODTRAN5 استفاده می‌کند، انجام گرفت [۱۷]. بعد از تصحیح اتمسفیری و توپوگرافی تصاویر، مقادیر انعکاس در سطح زمین بدست می‌آید و تمامی محاسبات لازم بر روی این انعکاس انجام می‌گیرد.

^۱ DEM; Digital Elevation Model

^۲ Slope

^۳ Aspect

^۴ Shadow

^۵ Atmospheric/topographic correction

^۶ Interactive Data Language

^۷ MODerate resolution atmospheric TRANsmission

مدنظر قرار گرفته است. وجه تمایز تحقیق پیش‌رو، بررسی و کمی‌سازی عوامل محیطی و انسانی در وقوع آتش‌سوزی جنگل با تلفیق داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، استفاده از داده‌های حرارتی ماهواره‌ای در کنار داده‌های انعکاسی برای بررسی وقوع آتش‌سوزی جنگل، کمی‌سازی (بصورت عددی) اطلاعات توصیفی موثر در وقوع آتش‌سوزی جنگل و تلفیق اثرات توأم آنها، ارزیابی پتانسیل تصاویر انعکاسی و حرارتی لندست ۸ در برآورد و تخمین مناطق خطر آتش‌سوزی می‌باشد. همچنین در بخش شبیه‌سازی گسترش آتش‌سوزی، رویکرد دو مرحله‌ای شبیه‌سازی بکار برده شده است. در رویکرد دو مرحله‌ای، ابتدا کلیه پارامترهای موجود در مدل با مقایسه‌ی نتایج حاصل از شبیه‌سازی با واقعیت بهینه می‌شوند. سپس مدل شبیه‌سازی مربوطه با در نظر گرفتن مقادیر بهینه‌ی به‌دست آمده برای پارامترها به شبیه‌سازی گام بعدی گسترش می‌پردازد. این تحقیق در پنج بخش سازماندهی شده است. ابتدا کلیات موضوع پژوهش و خلاصه‌ای از پیشینه تحقیق بیان گردید. در ادامه، هدف از این تحقیق و وجه تمایز آن با تحقیق‌های پیشین بیان شد. در بخش دوم به منطقه مورد مطالعه، داده‌های تحقیق و پیش پردازش آنها پرداخته شده است. در بخش سوم، روش تحقیق و اجرای عملی آن تشریح گردیده است. در ادامه در بخش چهارم نتایج حاصل آنالیز و بررسی گردیده است و بخش نهایی به نتیجه‌گیری از پژوهش پرداخته شده است.

۲- مواد و روشها

۲-۱- منطقه تحقیق

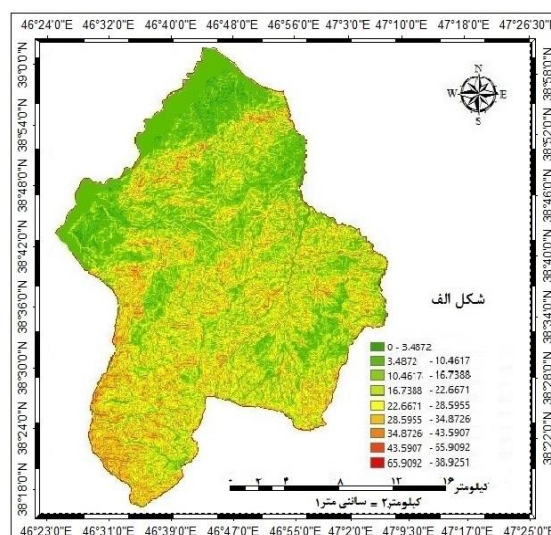
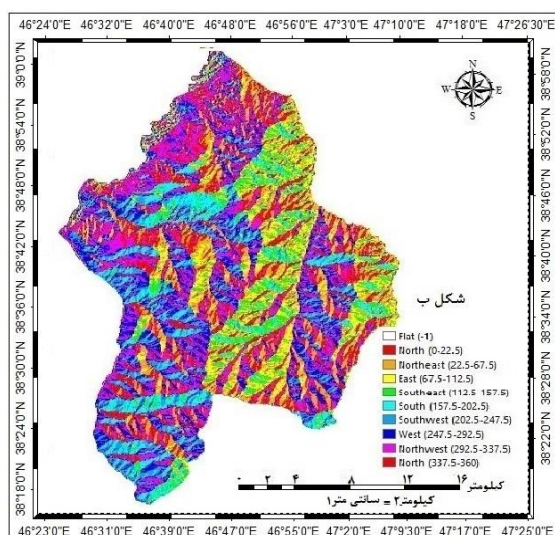
منطقه ارسباران در شمال غرب کشور و شمال آذربایجان شرقی قرار دارد. بیشتر جنگلهای منطقه ارسباران در چهار حوزه آبخیز کلیبرچای، ایلگنه‌چای، حاجیلرچای و سلن‌چای واقع شده است. در گذشته، منطقه ارسباران به محدوده‌ی وسیعی از کناره ارس از حد فاصل جلفا تا مغان و بلندی‌های سبلان، بزقوش و سه‌هند اطلاق می‌شود. اکنون به دلایل متعددی نظیر تحدید عرصه‌های منحصر به فرد جنگلی، عمدتاً به مرزهای سیاسی شهرستان‌های کلیبر، خداآفرین و ورزقان محدود شده است. منطقه ارسباران کنونی حدود ۹۲۵۰۰۰ هکتار مساحت دارد که منطقه حفاظت شده آن نیز محدوده‌ای به وسعت ۸۱۰۷۲٫۸۵ هکتار می‌باشد که در طول

هست که به رابطه‌ی میان جهت شیب جهت باد غالب توجه شود، شیب‌های رو به باد غالب بیش‌تر در معرض وقوع خطر آتش‌سوزی قرار دارند. با توجه به اینکه میانگین سالیانه جهت باد غالب در منطقه‌ی مورد مطالعه، برابر ۲۶۷/۵ درجه و یا به عبارت دیگر در جهت غرب می‌باشد یعنی جهت وزش باد غالب از سمت غرب صورت می‌گیرد، در نتیجه شیب‌های رو به غرب یا شیب‌هایی که جهت شیب آن‌ها به سمت غرب، ۲۷۰ درجه، می‌باشند بیش‌ترین احتمال وقوع خطر آتش‌سوزی را دارند و شیب‌های رو به شرق یا شیب‌هایی که جهت شیب آن‌ها به سمت شرق، ۹۰ درجه، می‌باشند کم‌ترین احتمال وقوع خطر آتش‌سوزی را دارند. بدین منظور برای دست‌یابی به نقشه خطر آتش-

سوزی بر اساس جهت شیب، FRM_{Aspect} ، مطابق معادله ۲ مقادیر شیب‌ها بین مقادیر صفر (بیان‌کننده کم‌ترین خطر) و یک (بیان‌کننده بیش‌ترین خطر) نرمال‌سازی می‌شوند.

$$FRM_{Aspect} = 1 - \frac{|PWD - Aspect|}{180} \quad (2)$$

در این معادله، FRM_{Aspect} مقادیر پیکسل‌ها در اثر پارامتر جهت شیب در ریسک آتش‌سوزی، PWD جهت باد غالب می‌باشد که در این منطقه مورد مطالعه بر اساس داده‌های هواشناسی، جهت ۲۶۷/۵ درجه در نظر گرفته شده است. شکل ۳ الف و ب نقشه شیب و جهت شیب را نشان می‌دهد.



شکل ۳- (الف) نقشه شیب و (ب) نقشه جهت شیب

جدول ۳- کلاس‌های جهت شیب منطقه مطالعاتی

جهت‌های شیب	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
شمال	۱۳۸۳۱/۵۶	۱۷/۰۶
شمال‌شرق	۹۹۴۹/۸۶	۱۲/۲۷
شرق	۸۵۹۳/۶۵	۱۰/۵۹
جنوب‌شرق	۶۶۰۷/۳۵	۸/۱۴
جنوب	۷۶۲۳/۹۰	۹/۴۰
جنوب‌غرب	۷۹۷۶/۴۳	۹/۸۳
غرب	۱۱۹۸۵/۷۵	۱۴/۷۸
شمال‌غرب	۱۴۵۰۵/۲۱	۱۷/۸۹

همچنین، با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌شود که بالاترین درصد‌های جهت شیب منطقه را جهت‌های شمال، شمال‌غرب و غرب به خود اختصاص داده‌اند. از آن-جایی که جهت باد غالب منطقه‌ی ما غرب است، و به صورت کلی نیز باد از سمت غرب و شمال‌غرب به منطقه وارد می‌شود، لذا پارامتر جهت شیب از عوامل بسیار موثر در وقوع و گسترش جبهه‌ی آتش‌سوزی است.

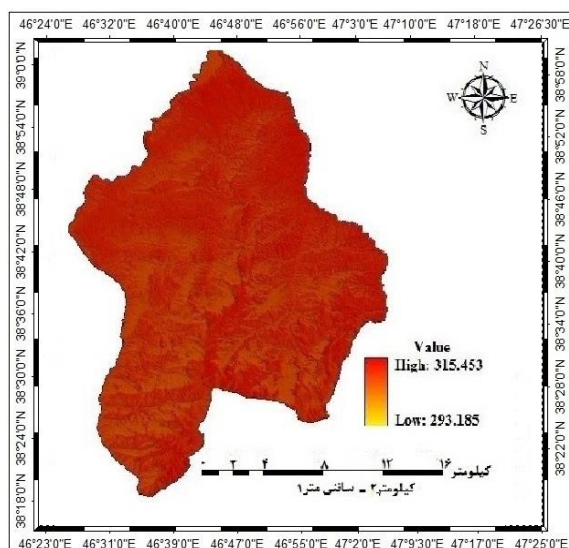
جدول ۲ شیب منطقه و جدول ۳ جهات مختلف شیب را به همراه مساحت آن‌ها را در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. از آن‌جایی که عامل شیب در سرعت انتقال شعله‌های آتش در منطقه موثر است، با توجه به جدول ۲، در منطقه مورد مطالعه، شیب غالب در محدوده ۱۵-۳۰ درجه است. در نتیجه بخش زیادی از منطقه در نواحی با شیب بالا قرار گرفته که می‌تواند نقش موثری در آتش‌سوزی داشته باشد.

جدول ۲- کلاس‌های شیب در منطقه مطالعاتی

شیب (درجه)	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
۰ - ۱۵	۳۲۵۸۷/۲۹	۴۰/۱۹
۱۵ - ۳۰	۳۶۷۱۴/۱۵	۴۵/۲۸
۳۰ - ۴۵	۱۰۵۸۸/۴۱	۱۳/۰۶
۴۵ - ۶۰	۶۱۹/۵۶	۰/۷۶
۶۰ - ۷۵	۷۵/۵۱	۰/۰۹
۷۵ - ۹۰	۴۸۸/۷۹	۰/۶۰

$$FRM_{VI} = \frac{NDVI + 1}{2} \quad (3)$$

در این معادله، FRM_{VI} مقادیر پیکسلها در اثر پارامتر شاخص گیاهی در ریسک آتش‌سوزی و $NDVI$ شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده می باشد.



شکل ۴- (الف) شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده و (ب) دمای سطح زمین

در این معادله، FRM_{LST} مقادیر پیکسلها در اثر پارامتر دمای سطح در ریسک آتش‌سوزی، LST_{Kelvin} دمای سطح زمین بر حسب کلوین و $Max_{Temperature}$ حداکثر دمای سطح زمین بر حسب درجه سلسیوس می باشد. شاخص پوشش گیاهی در شکل ۴ الف و دمای سطح زمین در شکل ۴ ب نشان داده شده است. همچنین، در جدول ۴ و جدول ۵ به ترتیب اطلاعات مربوط به کلاس‌های پوشش گیاهی و حرارت نشان داده شده است.

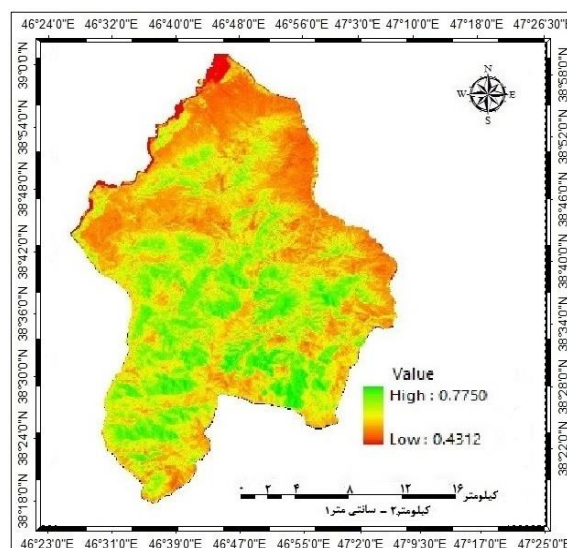
جدول ۴- کلاس‌های پوشش گیاهی

پوشش گیاهی	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
۰/۴۵ - (کم تراکم)	۸۶/۴۹	۰/۱۰
۰/۴۵ - (نیمه تراکم)	۸۹۱/۲۹	۱/۰۹
۰/۴۵ - (تراکم متوسط)	۴۷۴۲۲/۷۱	۵۸/۴۹
۰/۴۵ - (تراکم بالا)	۳۲۵۶۴/۳۴	۴۰/۱۶

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که منطقه‌ای با تراکم متوسط، بیشترین درصد پوشش گیاهی را به خود اختصاص داده است و بعد از آن مناطق با تراکم بالا در منطقه غالب هستند. تراکم‌های پایین پتانسیل کمتری در سهم آتش‌سوزی دارند. از آنجایی که پوشش گیاهی در

۳-۲- شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح

در این تحقیق از شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده ($NDVI$) استفاده گردید. پوشش گیاهی از فاکتورهای تاثیرگذار در وقوع خطر آتش‌سوزی هست. مقادیر این شاخص مطابق معادله ۳ به مقادیر عددی بین یک (بیان‌کننده بیشترین خطر) و صفر (بیان‌کننده کمترین خطر) نرمال‌سازی گردیدند.



همچنین، برای بدست آوردن دمای سطح زمین، بعد از محاسبه گسیلمندی از روی شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده، از الگوریتم سوبرینو^۱ و باند ۱۰ حرارتی لندست ۸ محاسبه گردید. محدوده دمای سطح زمین در منطقه مطالعاتی بین ۲۹۳ تا ۳۱۵ درجه کلوین می باشد که معادل ۲۰ تا ۴۲ درجه سلسیوس می باشد. توزیع درجه حرارت منطقه و مساحت آن‌ها در جدول ۵ نشان داده شده است. بر اساس آن بیش از ۸۰ درصد منطقه حرارت نسبتاً بالایی دارند و از آن جایی که دمای منطقه یکی از عوامل اصلی شروع آتش‌سوزی می باشد می‌تواند بعنوان یک عامل مهم در تولید و ارزیابی خطر وقوع آتش‌سوزی مشارکت نماید. بدین منظور برای دستیابی به نقشه مناطق خطر آتش‌سوزی بر اساس دمای سطح زمین، FRM_{LST} مطابق معادله ۴ مقادیر دمای سطح زمین ما بین مقادیر صفر (بیان‌کننده کمترین خطر) و یک (بیان‌کننده بیشترین خطر) نرمال‌سازی می شوند.

$$FRM_{LST} = \frac{LST_{Kelvin} - 273}{Max_{Temperature}} \quad (4)$$

^۱ Sobrino

آتش سوزی به عنوان سوخت عمل می کند، در نتیجه عامل پوشش گیاهی هم می تواند از پارامترهای مهم و موثر در آتش سوزی واقع شود.

جدول ۵- کلاس های درجه حرارت

دمای سطح (کلین)	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
۳۰۰ - ۲۹۳/۲ (حرارت متوسط)	۱۴۹۷۶/۴۵	۱۸/۴۷
۳۰۸ - ۳۰۰ (حرارت نسبتا بالا)	۵۰۶۸۴/۷۶	۶۲/۵۱
۳۱۵/۴۵ - ۳۰۸ (حرارت بالا)	۱۵۴۱۲/۵	۱۹/۰۱

۴- نتایج و بحث

۴-۱- تولید نقشه وقوع خطر آتش سوزی در اثر

عوامل طبیعی

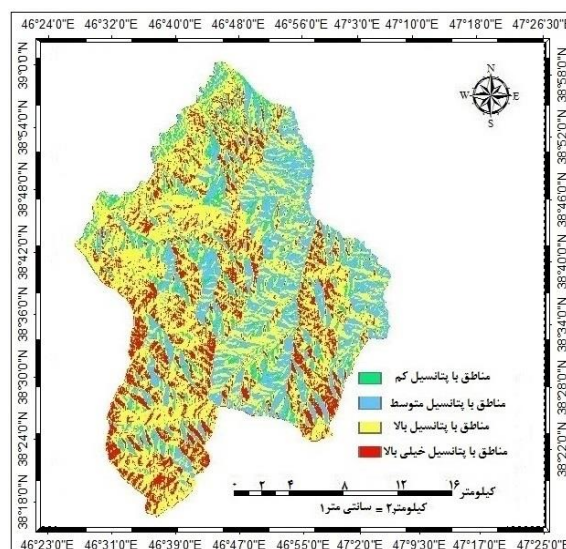
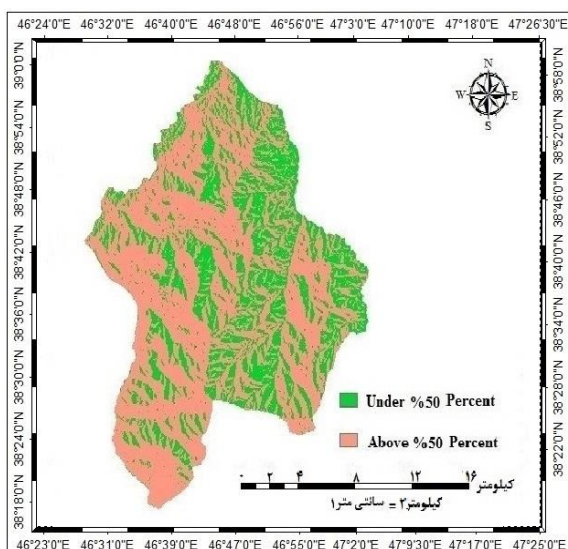
در این بخش به نحوه تولید نقشه وقوع خطر آتش سوزی بر اساس خصوصیات هر لایه پرداخته شده است. لذا برای تولید خطر آتش سوزی از چهار فاکتور محیطی،

شیب، تغییر شیب، پوشش گیاهی و دمای سطح زمین استفاده گردید. شایان ذکر است که میزان خطر آتش سوزی به صورت مقادیر عددی ما بین ۰ و ۱ بیان می شود، به صورتی که عدد ۱ بیانگر بالاترین میزان خطر می باشد، بدین منظور نیاز هست که هر چهار فاکتور ما بین ۰ و ۱ نرمال سازی گردند. با در نظر گرفتن هر یک از این چهار فاکتور، فرمول نهایی خطر وقوع آتش سوزی مطابق معادله ۵ محاسبه می گردد.

در این معادله FRM مقادیر پیکسلها در اثر پارامترهای عوامل طبیعی در ریسک آتش سوزی و سایر پارامترها در معادلات قبلی ذکر شده است.

نقشه مناطق خطر وقوع آتش سوزی حاصل در شکل ۶ الف و مناطق دارای ریسک بالاتر از ۵۰ درصد هم در شکل ۶ ب نشان داده شده است.

$$FRM = \frac{\frac{Slope_{Degree}}{90} + 1 - \frac{|PWD - Aspect|}{180} + \frac{NDVI + 1}{2} + \frac{LST_{Kelvin} - 273}{MaxTemperature}}{4} \quad (5)$$



شکل ۶- (الف) نقشه خطر وقوع آتش سوزی و (ب) مناطق دارای خطر وقوع آتش سوزی بالای ۵۰ درصد

جدول ۶- کلاس های پتانسیل خطر آتش سوزی

پتانسیل خطر آتش سوزی	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
پتانسیل کم	۶۱۰۹/۲۹	۷/۵۳
پتانسیل متوسط	۱۹۸۸۵/۵۰	۲۴/۵۳
پتانسیل زیاد	۴۱۱۸۴/۰۰	۵۰/۷۹
پتانسیل خیلی زیاد	۱۳۷۸۶/۰۲	۱۷/۰۰

براساس جدول ۶، بیش تر از ۵۰ درصد منطقه در وضعیت ریسک زیاد برای آتش سوزی قرار دارد. همچنین حدود ۱۷ منطقه درصد دارای پتانسیل آتش سوزی خیلی زیاد است. که این امر نشان دهنده حساسیت منطقه به آتش سوزی می باشد و نیاز به حفاظت و مراقبت هرچه بیش تر می باشد. در جدول ۷ مناطق دارای پتانسیل بیش تر از ۵۰ درصد و سایر مناطق مشخص شده است.

۴-۲- تولید نقشه وقوع خطر آتش سوزی در اثر عوامل انسانی مؤثر

با توجه به رشد جمعیت در دهه‌های اخیر، تهاجم به عرصه‌های جنگلی به منظور امرار معاش، تامین سوخت و کشاورزی افزایش یافته است. همچنین ساکنین آبادی‌های اطراف و یا داخل محدوده‌های جنگلی، وابسته به جنگل هستند. همچنین نقش گردشگران در ایجاد حریق نیز در این زمینه غیرقابل انکار است. بدین منظور در این تحقیق ارتباط عوامل انسانی مؤثر، مجاورت با جاده و مناطق مسکونی، با خطر آتش سوزی مورد بررسی قرار گرفته است. به طور کلی هرچه محدوده جنگلی به جاده نزدیک‌تر باشد، احتمال وقوع حریق در آن قسمت بیش‌تر خواهد بود. برای این منظور با استفاده نقشه راه‌های ارتباطی در محدوده مطالعاتی با نتایج حاصل از نقشه خطر وقوع آتش سوزی مطابقت داده شده است تا ارتباط آن با میزان خطر آتش سوزی مشخص گردد، برای این منظور برای راه‌های ارتباطی یک بافر به عرض دویست متر از طرفین مطابق شکل ۸ مشخص گردید. هم-چنین مقادیر هم‌پوشانی جاده با هر کدام از کلاس‌های خطر آتش سوزی (بالا و پایین ۵۰ درصد) در جدول ۹ آورده شده است. همان‌طور که از شکل ۸ و جدول ۹ قابل مشاهده می-باشد، در اکثر محدوده‌هایی که جاده واقع شده است، خطر وقوع آتش سوزی بالای ۵۰ درصد است. این امر بیانگر تاثیر بالای رفت و آمد ساکنین محل و مسافران و گردشگران در وقوع آتش سوزی می‌باشد.

جدول ۷- کلاس‌های بالا و پایین ۵۰ درصد خطر آتش سوزی

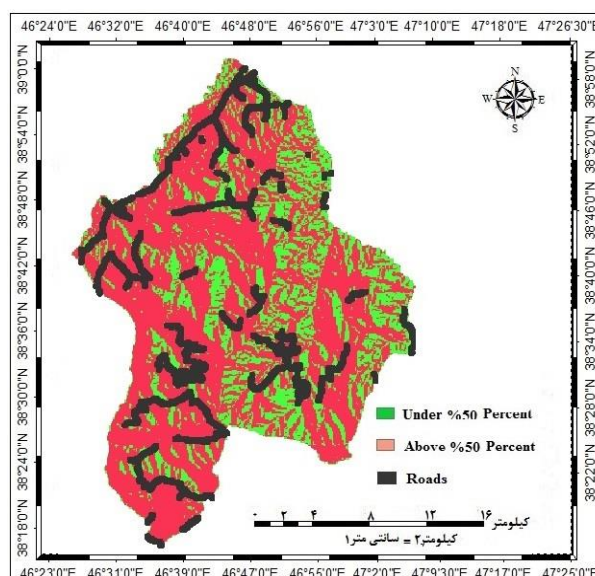
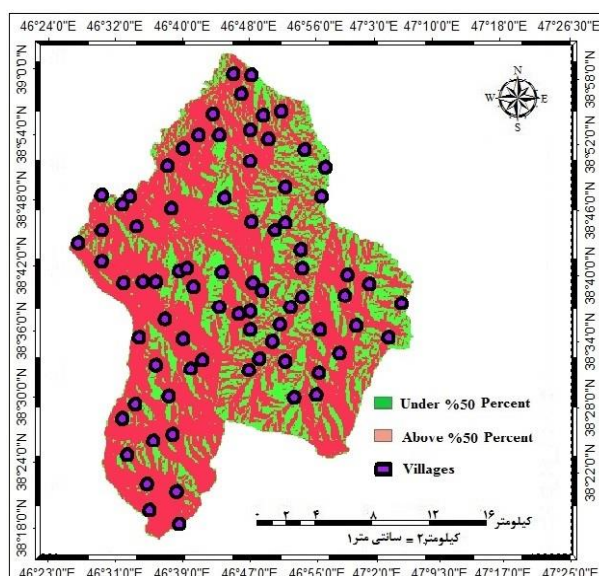
پتانسیل خطر آتش سوزی	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
پتانسیل زیر ۵۰ درصد	۲۶۰۲۴/۲۷	۳۲/۱۰٪
پتانسیل بالای ۵۰ درصد	۵۵۰۴۸/۲۲	۶۷/۹۰٪

جهت مقایسه‌ی میزان اثر هرکدام از پارامترهای طبیعی، میزان هم‌بستگی آن‌ها با نقشه نهایی خطر وقوع آتش سوزی محاسبه گردید و ارتباط میان آن‌ها به صورت کمی بررسی شد. میزان هم‌بستگی عوامل محیطی در جدول ۸ نشان داده شده است. لازم بذکر هست که مقادیر ضرایب هم‌بستگی نرمال شده می‌باشد که مجموع این ضرایب ۱۰۰ درصد می‌باشد.

جدول ۸- مقایسه اثر پارامترهای طبیعی با نقشه خطر آتش سوزی

پارامتر	شیب	جهت شیب	پوشش گیاهی	دمای سطح
میزان همبستگی	۱۹٪/۷۵	۲۱٪/۹۳	٪۲۹/۲۰	٪۲۹/۱۱

مطابق نتایج جدول ۸، شاخص پوشش گیاهی با مقدار ۲۹/۲۰ درصد، بالاترین میزان هم‌بستگی را با نقشه نهایی خطر وقوع آتش سوزی دارد. این بدان معنی است که موثرترین پارامتر طبیعی در منطقه حفاظت شده ارسباران، که بیش‌ترین تاثیر را در افزایش پتانسیل آتش سوزی دارد، پوشش گیاهی است. پس از آن به ترتیب دمای سطح زمین و جهت شیب و شیب در مرتبه‌های بعدی قرار می-گیرند.



شکل ۷- ارتباط مجاورت با نقشه خطر آتش سوزی (الف) با جاده و (ب) با مناطق مسکونی

نزدیکی به مناطق مسکونی برای آتش سوزی جنگلی یک عامل اثرگذار و مخرب است. زیرا ساکنان جهت تامین نیازهای خود به جنگل و زمین آن وابسته هستند. هم-چنین نقش حضور انسان در آتش سوزی های غیر عمدی نیز نباید فراموش شود. بدین منظور لایه مناطق روستایی با یک بافر پانصد متری تهیه گردید و با نقشه خطر وقوع آتش سوزی تطبیق داده شد که در شکل ۹ قابل نمایش داده شده است.

جدول ۹- مقادیر هم پوشانی راه های ارتباطی و روستاها با طبقات پتانسیل خطر آتش سوزی

پتانسیل خطر آتش سوزی	مقادیر هم پوشانی راه های ارتباطی (درصد)	مقادیر هم پوشانی روستاها (درصد)
پتانسیل زیر ۵۰ درصد	۳۱/۶۴٪	۳۲/۸۰٪
پتانسیل بالای ۵۰ درصد	۶۸/۳۵٪	۶۷/۲۰٪

هم چنین مقادیر هم پوشانی مناطق مسکونی با هر کدام از کلاس های خطر آتش سوزی (بالا و پایین ۵۰ درصد) در جدول ۹ آورده شده است. طبق بررسی های انجام گرفته مشخص گردید که حضور جاده ها و روستاها در منطقه مطالعاتی، بسیار اثرگذار در امر وقوع آتش سوزی است. بدیهی است، مقادیر بالای هم پوشانی عوامل انسانی با نقشه خطر آتش سوزی در کلاس بالای پتانسیل ۵۰ درصد نشان می دهد که میزان تاثیر پارامترهای انسانی هم چون نزدیکی با جاده و مناطق مسکونی می تواند هم-چون پارامترهای طبیعی در منطقه ی مورد مطالعه تاثیرگذار باشد و هم چنین نتایج نشان می دهد که از میان دو عامل انسانی، عامل نزدیکی با جاده بیشترین سهم را در ایجاد وقوع آتش سوزی در منطقه می گذارد.

۵- مدل سازی شیوع و گسترش آتش سوزی

در این مرحله به مدل گسترش جبهه آتش سوزی با تلفیق دو مدل نیمه تجربی الکساندریدیس و روش اتوماسیون سلولی پرداخته شده است. برای اینکه مدل-سازی دقیق تر انجام شود، نیازمند کالیبره کردن پارامترهای مدل نیمه تجربی الکساندریدیس برای منطقه مطالعاتی ارسباران می باشد که در این پژوهش از الگوریتم ژنتیک بدین منظور استفاده گردیده است. لذا با توجه به قابلیت بالای مدل نیمه تجربی الکساندریدیس در دخالت

دادن عوامل موثر در گسترش جبهه ی آتش سوزی، از تلفیق آن برای پیش بینی روند انتشار آتش با اتوماسیون سلولی استفاده شده است. در ادامه نحوه کالیبره نمودن مقادیر ضرایب مدل نیمه تجربی الکساندریدیس بوسیله الگوریتم ژنتیک تشریح می گردد.

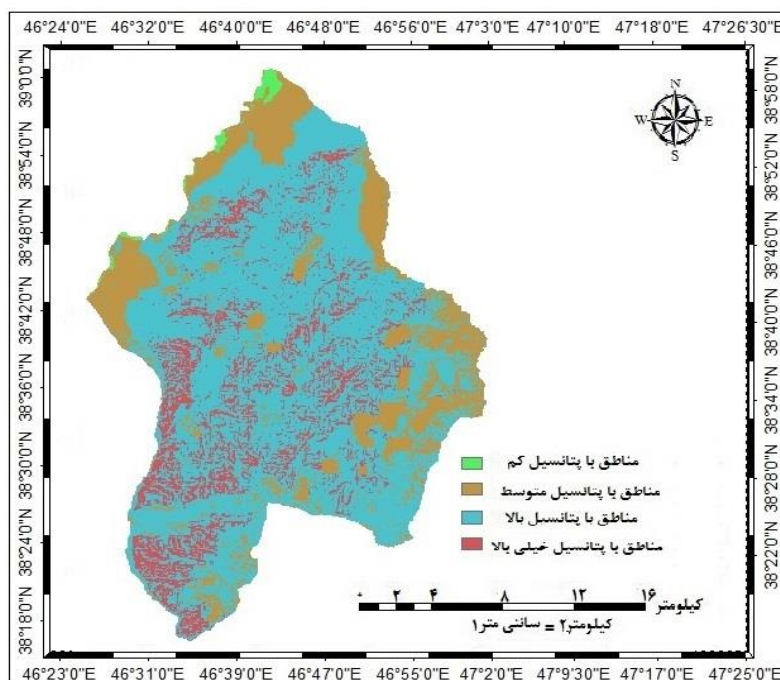
۵-۱- کالیبره نمودن مقادیر پارامترهای مدل نیمه تجربی الکساندریدیس بوسیله الگوریتم ژنتیک

اطلاعات مورد استفاده برای مدل نیمه تجربی الکساندریدیس عبارت از نوع و تراکم پوشش گیاهی، شرایط جوی (سرعت و جهت باد)، شیب، جهت شیب می-باشند. مقادیر سرعت و جهت باد نیز به ترتیب برابر با ۳/۵۳ متر بر ثانیه، ۲۶۷/۵ درجه در نظر گرفته شد. در این پژوهش، برای مقدار دهی به اعضای جامعه اولیه از مقادیر اولیه ذکر شده برای پارامترهای مدل الکساندریدیس استفاده شده است تا محدود مقدار دهی برای اعضا بصورت صحیح انجام گیرد. تعداد جامعه ی اولیه (با تعداد کروموزوم های هر نسل) برابر با ۲۰ عضو در نظر گرفته شده است و تعداد تکرار جهت همگرایی الگوریتم برابر با ۳۰۰ در نظر گرفته شده است. تعداد کل کروموزوم هایی که در الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار می گیرد برابر با شش هزار کروموزوم می باشد که نتایج تحقیقات نشان می دهد که یک الگوریتم ژنتیک با تعداد جامعه ی اولیه کمتر و تعداد تکرار بیشتر، به مراتب بهتر از زمانی می باشد که تعداد جامعه ی اولیه بیشتر و تعداد تکرار کمتر است. لازم بذکر هست که در نظر گرفتن مقادیر بیشتر برای پارامترهای مذکور جهت اطمینان از همگرایی الگوریتم بعد از تعداد تکرار بدین منظور در این پژوهش، تعداد تکرار الگوریتم ۱۵ برابر تعداد جامعه ی اولیه، همگرایی الگوریتم (همگرایی ۹۵٪ زن ها) مورد بررسی قرار گرفت که تمام اعضای جامعه یکسان گردیده بودند. جهت ارزیابی کروموزوم ها، از شاخص صحت کلی نتایج گسترش آتش-سوزی بدست آمده بعنوان تابع شایستگی استفاده شده است، هم چنین از داده های مرجع منطقه ۳ (مطابق شکل ۱۰) برای بدست آوردن مقادیر شایستگی یا به عبارت دیگر برای آموزش مدل گسترش آتش سوزی در منطقه مطالعاتی استفاده شد. بعد از بدست آوردن مقادیر پارامترهای مدل نیمه تجربی الکساندریدیس در منطقه

برای پارامترهای مدل نیمه تجربی الکساندریس در منطقه مطالعاتی ارسباران مطابق جدول ۱۰ می باشد.

جدول ۱۰- مقادیر پارامترهای مدل نیمه تجربی الکساندریس با الگوریتم ژنتیک

نام پارامتر	P_h	C2	C1	a
مقادیر	۰/۲۶۲۴	۰/۰۷۴۸	۰/۱۸۹۳	۰/۰۹۳۷



شکل ۱۰- نقشه احتمال گسترش آتش سوزی بر اساس مدل نیمه تجربی الکساندریس

مطالعاتی، نقشه احتمال گسترش آتش سوزی بدست می- آید که در شکل ۱۰ در چهار کلاس با احتمال کم، متوسط، نسبتاً بالا و احتمال بالای گسترش آتش سوزی نشان داده شده است. این نقشه بیانگر این هست که در صورت ایجاد آتش سوزی، احتمال گسترش جبهه آتش- سوزی در هر جهت چقدر می باشد. مقادیر بدست آمده

امر نشان دهنده حساسیت منطقه ارسباران در گسترش آتش سوزی می باشد و مستلزم حفاظت و مراقبت هرچه بیش تر است.

۵-۲- ترکیب مدل نیمه تجربی الکساندریس و اتوماسیون سلولی

ادغام اتوماسیون سلولی با مدل نیمه تجربی الکساندریس این امکان را فراهم می کند تا گسترش آتش سوزی را بتوان لحظه به لحظه مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق با استفاده از مدل همسایگی مور، مدل- سازی گسترش جبهه آتش سوزی جنگل انجام گردید. برای پیش بینی روند گسترش آتش سوزی چندین حالت در نظر گرفته شده است. حالت اول: سلول در هیچ گام زمانی نمی تواند بسوزد. حالت دوم: سلول حاوی مواد سوختی می باشد ولی هنوز نسوخته است. حالت سوم: سلول در حال سوختن است. حالت چهارم: سلول کاملاً

مساحت هر کدام از چهار کلاس نقشه احتمال گسترش آتش سوزی در جدول ۱۱ آورده شده است.

جدول ۱۱- احتمال گسترش آتش سوزی در صورت ایجاد آتش سوزی در منطقه مطالعاتی

احتمال خطر آتش سوزی	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
۰/۲۵ - (احتمال گسترش کم)	۶۱۳/۹۸	۰/۸۰٪
۰/۵۰ - ۰/۲۵ (احتمال گسترش متوسط)	۱۵۸۴۶/۹۰	۱۹/۵۵٪
۰/۷۵ - ۰/۵۰ (احتمال گسترش نسبتاً زیاد)	۵۲۳۹۵/۸۰۱	۶۴/۶۳٪
۱ - ۰/۷۵ (احتمال گسترش زیاد)	۱۲۰۹۰/۲۰	۱۴/۹۲٪

همانطور که قابل مشاهده می شود، بیش از ۶۴ درصد منطقه احتمال گسترش آتش سوزی نسبتاً بالایی و بیش از ۱۴ درصد منطقه احتمال گسترش آتش سوزی بالایی رو دارا می باشند. به عبارت دیگر، در صورت ایجاد آتش- سوزی، بیش از ۷۹ درصد منطقه احتمال گسترش آتش سوزی نسبتاً بالا یا بالایی رو خواهند داشت که این

سوخته است. این حالت‌های در نظر گرفته شده برای تمامی سلول‌ها ممکن است رخ دهد. از این رو برای اعمال قوانین به سلول‌های همسایه‌ی سلول مرکزی، از قوانین محلی اتوماسیون سلولی استفاده می‌گردد. با توجه به شکل ۱۱ قوانین محلی شامل قوانین زیر می‌باشد.

$(i-1, j-1)$	$(i-1, j)$	$(i-1, j+1)$
$(i, j-1)$	(i, j)	$(i, j+1)$
$(i+1, j-1)$	$(i+1, j)$	$(i+1, j+1)$

شکل ۱۱- سلول مرکزی و همسایگی آن

- اگر حالت سلول (i, j) در زمان t برابر ۱ باشد، حالت سلول در گام زمانی $t+1$ نیز ۱ خواهد بود. این قانون بیانگر این مساله می‌باشد که اگر یک سلول حاوی مواد سوختی نباشد، در هیچ مرحله‌ای نخواهد سوخت و همواره دارای مقدار ثابت ۱ می‌باشد.
- اگر حالت سلول (i, j) در زمان t برابر ۳ باشد، حالت سلول در گام زمانی $t+1$ ، ۴ خواهد بود. این قانون بیان می‌کند، اگر سلول حاوی مواد سوختی در این مرحله در حال سوختن است، در مرحله‌ی بعد کامل می‌سوزد و سلول سوخته محسوب می‌شود و کد ۴ را اختیار می‌کند.
- اگر حالت سلول (i, j) در زمان t برابر ۴ باشد، حالت سلول در گام زمانی $t+1$ ، نیز ۴ خواهد بود. این قانون بیان می‌دارد، اگر سلول وضعیت سوخته داشته باشد، یعنی در مراحل قبل سوخته باشد، به دلیل نداشتن مواد سوختی جدید، همان سلول سوخته باقی می‌ماند.
- اگر حالت سلول (i, j) در زمان t برابر ۳ باشد، حالت سلول‌های $(i \pm 1, j \pm 1)$ در زمان $t+1$ با احتمال P_{bum} برابر با ۳ خواهد بود. این قانون انتقال، مهم‌ترین قانون انتقال محلی می‌باشد. در واقع شالوده اصلی قوانین انتقال محلی اتوماسیون سلولی می‌باشد که اصل گسترش آتش‌سوزی را تعیین می‌کند. بر پایه این قانون، اگر یک سلول در حالت سوختن باشد (در مرحله‌ی t)، آن‌گاه بر اساس همسایگی مور، ۸ سلول همسایه نیز در معرض احتراق می‌باشند. اینکه کدام سلول همسایه در مرحله‌ی بعد دچار احتراق می‌شود به احتمال گسترش آتش‌سوزی آن سلول بستگی دارد. تمامی مراحل گفته شده توسط اتوماسیون سلولی، به طور هم‌زمان انجام می‌شود. به این صورت که در هر لحظه از زمان‌بندی اتوماسیون سلولی،

سلول‌های در حال سوختن بررسی شده و اثر آن بر ۸ سلول همسایه، مطابق با قوانین انتقال محلی، مورد بررسی قرار می‌گیرد. احتمال گسترش آتش‌سوزی هر سلول بر اساس قانون شماره ۴ عددی بین صفر و یک می‌باشد. بررسی کل فضای اتوماسیون سلولی در بازه‌های زمانی آن، نمایش پویای گسترش آتش‌سوزی را بر اساس عوامل تاثیر گذار بر آن نشان می‌دهد. در شکل ۱۲، وضعیت گسترش آتش‌سوزی در منطقه مطالعاتی در ابتدا آتش‌سوزی، انتهای آتش‌سوزی و مرحله‌ی که مضرب ۱۰ می‌باشند، نشان داده شده است. با توجه به آمار و اطلاعات مربوط به آتش‌سوزی سال‌های قبل، در این شبیه‌سازی فرض شده است که آتش‌سوزی مطابق شکل ۱۲ از دو نقطه مجزا شروع شده است.

هم‌چنین مقدار مساحت منطقه مطالعاتی که در هر مرحله دچار آتش‌سوزی گردیده‌اند در شکل ۱۳ آورده شده است. با فرض اینکه شرایط سوختن در آتش‌سوزی‌ها مهیا باشد و آتش‌سوزی همچنان ادامه پیدا کند و هیچ عامل مهار کننده‌ای برای خاموش کردن آتش وجود نداشته باشد، تعداد مراحل یا روزهایی که آتش‌سوزی ادامه پیدا می‌کند، در نقاط مختلف، متفاوت است. این عامل به شرایط، موقعیت و تعداد نقاط شروع آتش‌سوزی، عوامل محیطی آن (احتمال احتراق سلول‌ها) بستگی دارد. مبنای گسترش جبهه‌ی آتش در روش اتوماسیون سلولی، فراهم بودن شرایط آتش‌سوزی برای تک تک سلول‌ها است. این بدان معنی است، تا زمانی که سلول‌های همسایه‌ی جبهه‌ی آتش، شرایط سوختن را داشته باشند، سیستم سلول را زنده فرض کرده و جبهه‌ی آتش را به سلول مجاور نیز انتقال می‌دهد. تا جایی که سلول را به حالت مرده برساند. شرایط مناسب برای سوختن شامل: شیب زیاد، جهت شیب مناسب (به سمت باد غالب)، داشتن پوشش گیاهی که نقش سوخت را ایفا می‌کند، و همین‌طور میزان سرعت و جهت باد غالب است.



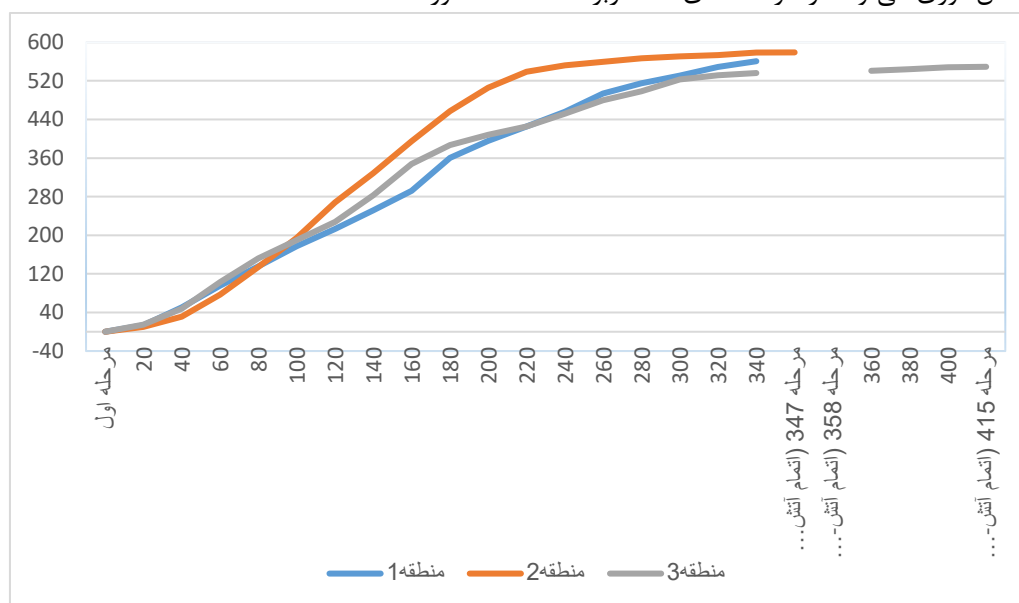
شکل ۱۲- وضعیت گسترش آتش‌سوزی در منطقه مطالعاتی در ابتدا آتش‌سوزی، انتهای آتش‌سوزی و مراحل مضرب ۱۰



شکل ۱۳- سطح منطقه مطالعاتی که در هر مرحله دچار آتش‌سوزی شده اند

مشخص می‌کند انجام گیرد. در این پژوهش جهت مقایسه تاثیر هر سه نقطه شروع آتش‌سوزی در گسترش آن، تعداد مراحل و مساحت سوخته شده در حالتی که نقطه شروع آتش‌سوزی نواحی یا مناطق سه گانه م ۱، ۲ و ۳ باشد مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج آن در شکل ۱۴ آورده شده است.

هر چقدر تعداد نقاط شروع آتش‌سوزی بیشتر باشد تعداد مراحل آتش‌سوزی کم خواهد بود و آتش‌سوزی سریع‌تر تمام خواهد گردید و هر چقدر احتمال احتراق سلول‌ها بیشتر باشد تعداد مراحل آتش‌سوزی بیشتر خواهد بود و آتش‌سوزی دیرتر به اتمام خواهد رسید. هم-چنین شروع آتش‌سوزی می‌تواند از هر نقطه‌ای که کاربر

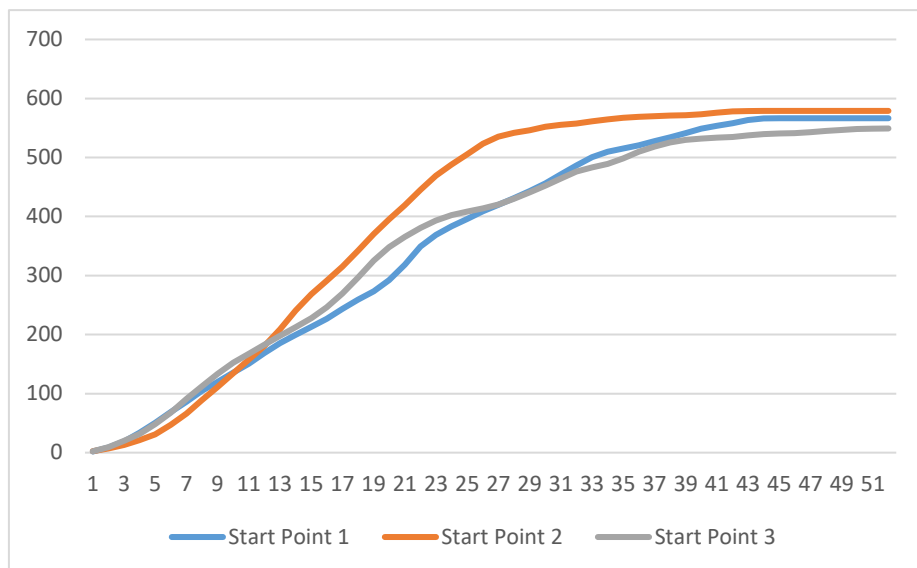


شکل ۱۴- سطح مناطق آتش گرفته در ابتدا آتش‌سوزی، انتهای آتش‌سوزی و مراحل ضریب ۲۰ (شروع آتش‌سوزی از مناطق ۱، ۲ و ۳ بطور جداگانه)

فرض شروع آتش‌سوزی از نقطه دوم انجام گیرد و هیچ عامل انسانی دیگری در مهار کردن آتش دخالت نداشته باشد آتش‌سوزی ۳۴۷ مرحله ادامه پیدا می‌کند، با فرض اینکه در هر ساعت، بطور میانگین آتش‌سوزی به اندازه ۵۰ متر در عمق پیشروی داشته باشد آتش‌سوزی ۴۴ روز طول خواهد کشید در حالی که اگر نقاط شروع آتش‌سوزی

مطابق با نتایج حاصل در شکل ۱۴، در صورتی که آتش‌سوزی از ناحیه دوم شروع گردد، سرعت گسترش آتش‌سوزی بیشتر از حالتی خواهد بود که آتش‌سوزی از ناحیه اول یا سوم شروع گردد. به این صورت که اگر در شرایط طبیعی و پوشش گیاهی کنونی و با سرعت باد میانگین ۳/۵۳ متر بر ثانیه و جهت باد غالب غرب، و با

آتش‌سوزی ناحیه دوم باشد سطح سوخته شده بعد از اتمام آتش‌سوزی ۵۷۸/۹۷ کیلومتر مربع خواهد بود هرچند که سریعتر از دو مورد دیگر به اتمام برسد. نمودار مربوط به سطح سوخته شده منطقه مطالعاتی بر حسب کیلومتر مربع از روز شروع آتش‌سوزی تا روز اتمام آتش‌سوزی در شکل ۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۵- مساحت سوخته شده منطقه مطالعاتی بر حسب کیلومتر مربع از روز شروع تا روز اتمام آتش‌سوزی

۵-۳- ارزیابی مدل گسترش آتش‌سوزی حاصل و اعتبار سنجی آن

در این پژوهش نتایج گسترش آتش‌سوزی توسط شاخص‌های پیکسل مبنای صحت کلی و ضریب کاپا ارزیابی می‌گردد. برای تعیین پارامترهای مدل نیمه تجربی الکساندریس و یا تعیین مدل مناسب آتش‌سوزی برای منطقه مطالعاتی بوسیله ژنتیک از ناحیه سوم داده‌های مرجع جهت آموزش استفاده شده است و سپس مدل گسترش آتش‌سوزی بدست آمده به مناطق اول و دوم داده‌های مرجع اعمال گردید و نتایج آن مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج این ارزیابی‌ها در جدول ۱۳ آورده شده است.

جدول ۱۳- نتایج ارزیابی مدل گسترش آتش‌سوزی

ردیف	ناحیه	صحت کلی	ضریب کاپا
۱	ناحیه ۱	٪ ۹۵/۵۶	٪ ۹۱/۱۴
۲	ناحیه ۲	٪ ۹۴/۶۲	٪ ۹۰/۱۳
۳	ناحیه ۳ (آموزش مدل)	٪ ۹۹/۶۲	٪ ۹۹/۶۲

نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که مدل گسترش آتش‌سوزی بدست آمده از تلفیق مدل‌های الکساندریس و

در ناحیه اول یا سوم باشد به ترتیب آتش‌سوزی ۴۵ و ۵۲ روز طول خواهد کشید. حتی با وجود این شرایط، اگر سطح سوخته شده هر سه نقطه را در اتمام آتش‌سوزی یا روز آخر با هم مقایسه کنیم، متوجه می‌شویم مقدار مساحتی که در انتهای روند آتش‌سوزی، سوخته می‌شود نیز در آن‌ها متفاوت است، بصورتی که اگر نقطه شروع

به منظور مقایسه‌ی میزان تاثیر هر کدام از پارامترهای طبیعی بررسی شده در گسترش آتش‌سوزی، رابطه همبستگی بین آن‌ها نیز محاسبه شد. جدول ۱۲ مقدار همبستگی عوامل ذکر شده با نقشه احتمال گسترش آتش‌سوزی را در کل منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد.

جدول ۱۲- مقدار همبستگی پارامترهای طبیعی در آتش‌سوزی با نقشه احتمال گسترش آتش‌سوزی

پوشش گیاهی	جهت شیب	شیب	پارامترهای طبیعی
٪ ۵۸/۳۶	٪ ۳/۲۶	٪ ۳۸/۳۸	مقدار همبستگی

بر اساس نتایج حاصل، از بین پارامترهای طبیعی، پوشش گیاهی با مقدار ۵۸/۳۶ درصد بالاترین همبستگی را با نقشه احتمال گسترش آتش‌سوزی را دارد. این بدان معنی است که پوشش گیاهی تاثیر بیشتری در انتشار جبهه‌ی آتش‌سوزی دارد. پس از آن عامل شیب، با مقدار ۳۸/۳۸ درصد، همبستگی بیشتری را نشان می‌دهد و عامل جهت شیب در مرتبه‌ی بعدی قرار می‌گیرد.

اتوماسیون سلولی بهینه شده توسط ژنتیک، در شبیه سازی و گسترش جبهه آتش سوزی کاملاً موفق بوده است که می تواند در جهت حفظ منطقه حفاظت شده ارسباران و اتخاذ تصمیم گیرها بسیار موثر واقع شود. امید است تا قبل از بین رفتن باقی مانده های جنگل های کشور، با همکاری هرچه بیش تر ارگان ها و سازمان های زیربط، جهت حفظ و حراست این سرمایه ی ارزشمند، اقدامات لازم و ارزنده ای صورت گیرد.

۶- نتیجه گیری

هدف از این تحقیق، مدل سازی پتانسیل آتش سوزی جنگل و شبیه سازی نحوه گسترش آن با استفاده از داده های سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی در منطقه جنگلی حفاظت شده ارسباران بود. برای این منظور، ارتباط موثرترین عوامل محیطی و عوامل انسانی بصورت یک مدل ریاضی با وقوع و انتشار آتش مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا لایه های اطلاعاتی مورد نیاز از تصاویر ماهواره ای لندست ۸، مدل رقومی ارتفاعی زمین، داده های هواشناسی با استفاده از روشهای سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی استخراج و آماده سازی گردید و جهت اعتبار سنجی نتایج، از داده های آتش سوزی های پیشین استفاده گردید. در مورد جنگلهای ارسباران تحقیقات بسیاری در موضوعات مختلف انجام گرفته بود ولی آتش سوزی و شبیه سازی آن برای اولین بار توسط این پژوهش، در مناطق حفاظت شده ارسباران مورد بررسی قرار گرفت. در تحقیقات گذشته جنگلی در سایر مناطق نیز، ارتباط پارامترهای عوامل محیطی و انسانی با وقوع آتش در قالب یک مدل ریاضی بیان نشده است. در این تحقیق، جهت مدیریت منابع طبیعی و کاهش وقوع آتش سوزی، ارتباط این پارامترها با وقوع آتش بر اساس شرایط منطقه ی حفاظت شده ارسباران، پرداخته شد و موثرترین عامل را شناسایی و مورد ارزیابی قرار گرفت و نحوه شیوع آتش سوزی جنگل شبیه سازی گردید. لذا بررسی های حاصل از نتایج نشان داد که نقش عوامل طبیعی غیر قابل انکار است، بنابراین برای حفاظت هرچه بیش تر منطقه که از سرمایه های تجدیدنشدنی ملی محسوب می شود، باید تدابیر امنیتی مناسب اندیشیده شود تا در حد امکان از خسارات جبران ناپذیر آتش سوزی در این عرصه-

ی ارزشمند طبیعی جلوگیری به عمل آید. زیرا بعد از پهنه بندی شدن منطقه مطالعاتی، مشخص گردید، در بین عوامل طبیعی، در بحث وقوع و گسترش جبهه ی آتش- سوزی، عامل پوشش گیاهی بالاترین تاثیر را دارند. همچنین با استفاده از لایه های اطلاعاتی مربوط ارتباط آتش سوزی با نزدیکی جاده ها و مناطق مسکونی نیز مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده گردید مناطقی که به جاده و مناطق مسکونی نزدیک می باشند احتمال آتش سوزی بالایی رو نسبت به سایر نقاط دارا هستند.

جهت کمی سازی این عوامل با وقوع و گسترش آتش سوزی ابتدا از تلفیق عوامل محیطی، نقشه مناطق خطر آتش سوزی و نقشه مناطق با ریسک ۵۰ درصدی آتش سوزی تولید گردید. سپس جهت شبیه سازی گسترش آن از مدل های نیمه تجربی الکساندریس و اتوماسیون سلولی استفاده گردید و جهت بهینه سازی پارامترها از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. نتایج ارزیابی مقادیر ضرایب هم بستگی نرمال شده پارامترهای عوامل محیطی، نشان داد که به ترتیب شاخص پوشش گیاهی، دمای سطح زمین، جهت شیب و شیب دارای ۲۹/۲۰٪، ۲۹/۱۱٪، ۲۱/۹۳٪ و ۱۹/۷۵٪ بالاترین میزان هم بستگی با نقشه خطر وقوع آتش سوزی دارند و حدود ۱۷٪ منطقه دارای پتانسیل خیلی زیاد و بیش تر از ۵۰ درصد منطقه در وضعیت خطر زیاد برای آتش سوزی قرار دارند. علاوه بر عوامل محیطی، بررسی ارتباط عوامل انسانی با خطر آتش- سوزی نشان داد که نزدیکی با جاده بیش ترین سهم را در وقوع آتش سوزی در منطقه را دارد. همچنین نتایج شبیه سازی، نشان داد که با تلفیق مدل نیمه تجربی الکساندریس با مدل نیمه تجربی اتوماسیون سلولی، گسترش آتش سوزی در ناحیه اول تست با دقت کلی ۹۵/۵۶٪ و کاپا ۹۱/۱۴٪ درصد و در ناحیه دوم تست با دقت کلی ۹۴/۶۲٪ و کاپا ۹۰/۱۳٪ در مقایسه با داده های مرجع حاصل گردید. این نتایج، با نتایج مطالعات شبیه سازی در گسترش آتش سوزی انطباق خوبی داشت. لذا از فرآیند شبیه سازی، می توان جهت حفاظت کارآمد از جنگل ها استفاده کرد.

- [1] A. C. H. Gazmeh, M. A. Alesheikh, M. Karimi. , "Modelling Forest Fire Spread using Cellular Automata, GIS and PSO " *Geospatial Engineering Journal*, vol. 4 no. 3, pp. 71-86, 1391.
- [2] R. K. Jaiswal, S. Mukherjee, K. D. Raju, and R. Saxena, "Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 4, no. 1, pp. 1-10, 2002.
- [3] M. salis, "Fire Behavior simulation in Mediterranean Maquis using FARSITE (Fire Area Simulator)," PhD Doctoral Thesis, Universita' Degli Studi Di Sassari, 2007.
- [4] A. Coburn, R. Spence, and A. Pomonis, *Guide to vulnerability and risk assessment. Disaster Management Training Programme*, 1994, p. 70.
- [5] J. Glasa and L. Halada, "On elliptical model for forest fire spread modeling and simulation," vol. 78, no. 1, pp. 76-88, 2008.
- [6] A. Cencerrado, R. Rodriguez, A. Cortes, and T. Margalef, "Urgencu versus accuracy:Dynamic Data Driven application system for natural hazard management," *International Journal of Numerical Analysis & Modeling*, vol. 9, no. 2, pp. 432-448, 2012.
- [7] R. E. Keane, R. Burgan, and v. Wagtendonk, "Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling," vol. 10, no. 4, pp. 301-319, 2001.
- [8] V. Gouma and S. Chronopoulou, "Wildland fire danger zoning—a methodology," vol. 8, no. 1, pp. 37-43, 1998.
- [9] S. G. s. m. h. t. shamekhi, "Identification and economic prioritization of non-wood forest products of Arasbaran forests based on traditional harvest statistics (Case Study: Ilganachay Watershed)," *Iranian Journal of Forest*, vol. 9, no. 3, pp. 411-425, 2017.
- [10] S. M. E. R. A. A. A. B. Shafiei, "Quantitative and qualitative characteristics and altitudinal zonation of Arasbaran forest protected area, northwestern Iran," *Iranian journal of Forests and Poplar Research* vol. 24, no. 3, pp. 540-529, 2016.
- [11] Y. A. L. Partonia, "Site and silvicultural characteristics of *Juniperus foetidissima* Willd. endangered species in Arasbaran Biosphere Reserve," *Iranian journal of Forests and Poplar Research*, vol. 24, no. 4, pp. 699-687, 2016.
- [12] M. H. O. H. A. A. E. Y. Motlagh, "Impacts of ecotourism development in the Arasbaran region using BOCR," *Iranian Journal of Forest*, vol. ,^ no. 2, pp. 153-167, 2016.
- [13] A. Alijanpour, "Effect of physiographical factors on qualitative and quantitative characteristics of *Rhus coriaria* L. natural stands in Arasbaran region (Horand Township)," *Iranian Journal of Forest*, vol. 5, no. 4, pp. 431-442 ,2014.
- [14] A. A. J. E. R. A. B. Shafiei, "Effect of physiographical factors on qualitative and quantitative characteristics of *Cornus mas* L. in Arasbaran forests," *Iranian journal of Forests and Poplar Research* vol. 19, no. 3, pp. 407-396, 2011.
- [15] F. A. K. S. D. Dargahi, "THE STUDY OF NATURAL REGENERATION STRUCTURE IN ARASBARAN FOREST (SOTANCHI REGTON)," *Iranian journal of Forests and Poplar Research* vol. 6, no. 1, pp. 1-62, 2001.
- [16] A. A. J. E. R. a. A. B. Shafiei, "Investigation and comparison of two protected and non-protected forest stands regeneration diversity in Arasbaran.," *Iranian Journal of Forest*, vol. 1, no. 3, pp. 209-217, 2009.
- [17] R. Richter and D. Schlöpfer, "Atmospheric/Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide, Version 8.3. 1, February 2014)," ed, 2013.