

کمی‌سازی عوامل محیطی و انسانی در وقوع آتش‌سوزی جنگل

با روش‌های RS و GIS؛ مناطق حفاظت شده ارسباران

حسن امامی^۱

حسن شهریاری^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۱۰/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۰۸/۰۹

چکیده

در این تحقیق، کمی‌سازی عوامل محیطی و انسانی در وقوع و گسترش آتش‌سوزی جنگل در منطقه جنگلی حفاظت شده ارسباران، مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور با ترکیب داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، از باندهای انعکاسی و حرارتی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، مدل رقومی ارتفاعی زمین، سرعت و جهت باد، پوشش گیاهی، دمای سطح زمین، شیب، جهت شیب، نزدیکی به جاده‌ها و مناطق مسکونی به عنوان عوامل طبیعی و انسانی استفاده شده است. ابتدا با تلفیق این داده‌ها، نقشه مناطق خطر آتش‌سوزی جنگل تولید گردید و سپس نقشه مناطق با ریسک ۵۰ درصدی آتش‌سوزی تولید شد. برای بررسی و اعتبار سنجی نتایج حاصل، داده‌های مرجع آتش‌سوزی‌های پیشین مورد استفاده قرار گرفت. نتایج کمی پارامترهای مذکور نشان دادند که پوشش گیاهی با ۵۸/۳۶ درصد هم‌بستگی، شیب با مقدار ۳۸/۳۸ درصد دارای بالاترین تأثیر و سایر پارامترها در مراتب بعدی در انتشار آتش‌سوزی قرار دارند. همچنین نتایج مقادیر ضرایب هم‌بستگی نرمال شده این پارامترها نشان داد که به ترتیب شاخص‌های پوشش گیاهی، دمای سطح زمین، جهت شیب و شیب با ۲۹/۲۰٪، ۲۹/۱۱٪، ۲۱/۹۳٪ و ۱۹/۷۵٪ بالاترین میزان هم‌بستگی با نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی را دارند. همچنین، نتایج ارزیابی نقشه پتانسیل آتش‌سوزی با ریسک ۵۰ درصدی نشان داد که حدود ۱۷٪ منطقه دارای پتانسیل خیلی زیاد بوده و بیش‌تر از ۵۰ درصد منطقه در وضعیت خطر زیاد برای آتش‌سوزی قرار دارد. علاوه بر عوامل محیطی، بررسی ارتباط عوامل انسانی با خطر آتش‌سوزی نشان داد که عامل نزدیکی به جاده بیش‌ترین سهم را در ایجاد وقوع آتش‌سوزی در منطقه دارد. نتایج کمی عوامل انسانی در وقوع خطر آتش‌سوزی نشان داد که راه‌های ارتباطی و مناطق مسکونی به ترتیب حداقل ۳۲ درصد و حداکثر ۶۸ درصد هم‌پوشانی با خطر وقوع آتش‌سوزی در منطقه مطالعاتی را دارا هستند.

واژه‌های کلیدی: عوامل محیطی و انسانی، آتش‌سوزی جنگل، منطقه ارسباران، سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

۱- استادیار گروه نقشه برداری دانشکده فنی و مهندسی مرنند، دانشگاه تبریز، تبریز- ایران (نویسنده مسئول) h_emami@tabrizu.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد GIS، دانشکده مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی، ممقان - ایران shahriari_hassan@yahoo.com

۱- مقدمه

دهه‌ی اخیر استفاده از سنجش از دور به عنوان ابزار مفید برای آنالیزهای مختلف و مدیریت‌های بهینه آتش‌سوزی هم قبل و هم بعد از وقوع آن توسعه یافته است. سنجنده‌های ماهواره‌های سنجش از دور با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب، اطلاعات مهمی را برای هشدارهای زودهنگام آتش‌سوزی در دسترس قرار می‌دهند. با این فناوری می‌توان عوامل مؤثر و محرک در بروز آتش‌سوزی جنگل را مورد مطالعه و بررسی قرار داده و با توجه به نتایج به دست آمده راه‌کارهای مؤثری در جهت مدیریت و حتی پیش‌بینی وقوع این مخاطره ارائه داد.

امروزه سوانح طبیعی به دلایل گوناگونی خسارت‌های قابل توجه جانی و مالی را به جامعه وارد می‌نماید (Coburn, Spence, & Pomonis, 1994). آتش‌سوزی جنگل در شمار پدیده‌های طبیعی است که به دلیل پیچیدگی فرآیندهای تعیین‌کننده رفتار آن، حجم عظیمی از داده‌های موردنیاز و نیز دشواری استخراج و جمع‌آوری داده‌ها هنوز به طور کافی توصیف نشده است. هر سال آتش‌سوزی‌های جنگل موجب وارد شدن آسیب‌های بزرگی به پوشش گیاهی، املاک، اکوسیستم‌ها و محیط‌زیست می‌شود و زندگی مردم و منابع انسانی قابل توجهی را تهدید می‌کند (Glasa & Halada, 2008). الگوهای مکانی این مشخصات حاوی اطلاعات بنیادی برای ارزیابی پتانسیل آتش و مدل‌سازی رفتار آتش‌سوزی است. لذا جهت کاهش پیامدهای ناشی از وقوع چنین حوادثی بایستی در لحظه‌ی وقوع حادثه، توانایی اتخاذ تصمیمات ضروری وجود داشته باشد. در همین راستا اقدامات زیادی جهت تهیه‌ی مدل‌ها و شبیه‌سازهای مختلف به منظور ارزیابی پروسه‌ی تکاملی بلایای طبیعی صورت گرفته است (Cencerrado, Rodriguez, Cortes, & Margalef, 2012). بدین منظور، علوم محاسباتی ابزارهایی را جهت مقابله و کاهش بلایای حاصل از این پدیده‌ها در اختیار قرار می‌دهند. در همین راستا محققین در زمینه‌های گوناگون، مدل‌هایی را جهت نمایش و پیش‌بینی رفتار چنین حوادثی، توسعه داده‌اند (Brun, Margalef, & Cortés, 2013).

هرساله میلیون‌ها هکتار از جنگل‌های سرتاسر دنیا در اثر عوامل طبیعی و انسانی طعمه حریق می‌شوند. آتش‌سوزی‌های مهیب اتفاق افتاده در دنیا تأثیرات بسیار ناسازگاری بر اکوسیستم منطقه، پوشش گیاهی و حیات وحش دارد (گزمه، ۱۳۹۱). پدیده آتش‌سوزی جنگل‌ها به عواملی از جمله توپوگرافی، پوشش گیاهی و اقلیم بستگی دارد. بنابراین ارائه راهکارهایی مناسب در هر زمان و در راستای ممانعت و مدیریت این پدیده زیان‌بار همواره ایده‌آل مدیران و برنامه‌ریزان محیط زیست بوده است (گزمه، ۱۳۹۱). پیش‌بینی مناطقی که دارای خطر زیاد آتش‌سوزی هستند یکی از کارهای ضروری است که برای مدیریت آتش در عرصه‌های طبیعی باید انجام گیرد. مناطق دارای خطر آتش‌سوزی به مناطقی که دارای پتانسیل آتش‌سوزی یا مناطقی که آتش به آسانی گسترش پیدا می‌کند گفته می‌شود (Jaiswal, Mukherjee, Raju, & Saxena, 2002). آتش‌سوزی به عنوان جزء جدایی‌ناپذیر اکوسیستم‌های طبیعی به شمار می‌رود. آتش از سوخت‌های طبیعی که وجود دارد مثل لاشبرگ‌ها، شاخ و برگ گیاهان، درختان و ... استفاده می‌کند و به راحتی در عرصه‌های طبیعی گسترش می‌یابد. رفتار آتش به بزرگی، جهت و شدت گسترش آن بستگی دارد و به شرایط محیطی شامل پوشش گیاهی (ماده سوختنی)، توپوگرافی و آب و هوا بسیار وابسته است (salis, 2007). مدل‌های مکانی آتش می‌توانند آتش‌سوزی‌ها را به منظور ارزیابی و برنامه‌ریزی برای کاهش، اطفاء یا حمایت از راهبردهای مدیریت آتش، شبیه‌سازی کنند (Gouma & Chronopoulou, 1998; Keane, Burgan, & Wagtenonk, 2001). نقشه‌ی نواحی دارای خطر آتش‌سوزی جنگل می‌تواند راهنمای مفیدی برای مدیریت آتش‌سوزی‌های عرصه‌های طبیعی و همین‌طور استراتژی پیش‌گیری بسیار مهمی به شمار رود. چنین نقشه‌هایی به مأموران اداره منابع طبیعی کمک خواهد کرد که از احتمال خطر آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی آگاهی یابند و یا در زمان آتش‌سوزی عمل شایسته و مناسب انجام دهند. در طی

آتش سوزی در یونان پرداختند. نتیجه‌ی کار، ۱۲ آتش سوزی از ۲۰ آتش سوزی به وقوع پیوسته را نشان داد (*Iliadis, 2005*). در تحقیق دیگری، روشی ترکیبی با سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی را برای نقشه برداری مناطق خطر آتش سوزی با استفاده از نقشه‌های عوامل مؤثر در حریق در جنگل‌داری بیهه چین توسعه دادند. مناطق خطر آتش سوزی با اختصاص وزن‌های معقول به طبقات همه لایه‌های فاکتورهای مؤثر در آتش سوزی مشخص شدند. سپس تاریخچه‌ی آتش سوزی در جنگل‌های مورد مطالعه از سال ۱۹۷۴ تا ۲۰۰۱ برای کنترل مطلوبیت روش مورد استفاده بررسی شد. نتایج نشان داد که مناطق با خطر آتش سوزی زیاد در مکان‌هایی واقع شده‌اند که قبلاً در آن‌ها آتش سوزی اتفاق افتاده است (*Dong, Li-min, Guo-fan, 2005*). *Lei, & Hui, 2005* بانج شفییعی عباس (۱۳۸۶) به بررسی تأثیر آتش سوزی بر ساختار جنگل پرداختند. منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی آن‌ها سری چینلر خیرود کنار بود که در سال ۱۳۷۷ دچار حرقی سطحی با شدت زیاد شد. پس از گذشت ۷ سال به منظور بررسی اثرات آتش سوزی بر ترکیب گونه‌ها، ساختار و استقرار زادآوری جنگل اقدام به این تحقیق نمودند. نتایج حاصله نشان‌دهنده‌ی این بود که حتی پس از گذشت ۷ سال جنگل نتوانسته بود به تنهایی خود را بازیابی کند و نیاز به مداخله‌های جنگل‌شناسی احساس می‌شد. در تحقیقی دیگر محققین ابزاری را برای تصمیم‌سازی و نقش پاک کردن بوته‌های خشک و خاشاک باقی‌مانده در جنگل برای جلوگیری از گسترش آتش سوزی طراحی کردند. آن‌ها یک مدل سه بعدی برای گسترش آتش سوزی جنگل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی طراحی کردند. که امکان شبیه‌سازی گسترش آتش را در محیط‌های واقعی تحت شرایط مختلف پاک‌سازی بوته‌های خشک می‌دهد. این مدل با نمایش هندسی و با استفاده از تصاویر توسط کاربر نشان داده می‌شود. نتایج نشان داد که تحت شرایط مساوی، در صورت پاک‌سازی جنگل از بوته‌های خشک، شکل گسترش آتش تغییر پیدا کرده و مساحت

بررسی دقیق مدل‌های ریاضیاتی موجود جهت توصیف گسترش جبهه‌ی آتش در زمان و تحت شرایط توپوگرافی، آب و هوایی و سوختی متغیر، نه تنها به منظور فهم بهتری از مدل بلکه برای اجرای مؤثرتر آن، استفاده درست آن و تفسیر درستی از نتایج به دست آمده می‌باشد (*Glasa & Halada, 2008*). در همین راستا اقدامات زیادی جهت تهیه‌ی مدل‌ها و شبیه‌سازهای مختلف به منظور ارزیابی پروسه‌ی تکاملی بلاای طبیعی صورت گرفته است و محققین در زمینه‌های گوناگون، مدل‌هایی را جهت نمایش و پیش‌بینی رفتار چنین حوادثی، توسعه داده‌اند. تحقیقی جامع در مورد آتش سوزی در جنگل‌های شمالی کانادا با استفاده از تکنیک دورسنجی تصاویر ماهواره‌ای ارائه دادند و یک الگوریتم تشخیص آتش سوزی با استفاده از تصاویر سنجنده AVHRR طراحی کردند. نتایج حاصل شامل اطلاعات با ارزشی از تاریخ شروع و پایان آتش سوزی، مکان وقوع و میزان گسترش آتش بودند (*Li, Nadon, & Cihlar, 2000*). در مطالعه دیگری روش‌های مختلف تشخیص حریق با استفاده از شاخص پوشش گیاهی نرمال شده^۱ و تصاویر AVHRR را با هم مقایسه کردند و برای تهیه‌ی نقشه‌ی آتش در کانادا در فصول آتش در سال‌های ۱۹۹۲ و ۱۹۹۳ و ۱۹۹۵ استفاده شدند (*Remmel & Perera, 2001*).

در تحقیقی دیگر به آتش سوزی‌های اتفاق افتاده در زیرحوضه‌ی گورنا در هند پرداختند، زیرا این منطقه به طور منظم دچار حریق می‌شود. محققان نقشه‌های ریسک آتش با وزن دهی به تمام لایه‌ها و کلاس‌ها به نسبت حساسیت آنها نسبت به آتش و ظرفیت اشتعال آنها؛ به وجود آوردند و چهار درجه از بسیار بالا تا پایین برای ریسک آتش به طور اتوماتیک ایجاد شدند. نتایج حاکی از این بود که بیش از ۳۰ درصد ناحیه مورد مطالعه در محدوده‌ی بسیار بالای آتش قرار داشت (*Jaiswal et al., 2002*). در مطالعه دیگری محققین با استفاده از یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری و مدل ریاضی منطق فازی، به پیش‌بینی خطر

آتش‌سوزی را بر اساس فاکتورهای شیب، جهت شیب، پوشش گیاهی، رطوبت خاک و غیره در پنج طبقه تهیه کردند (Perera & Cui, 2010). منصوری نبی اله (۱۳۹۰) در پژوهشی به تدوین برنامه‌ی مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل با تکنولوژی سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخت. در این تحقیق لایه‌های موردنیاز برای تهیه‌ی نقشه‌ی ریسک آتش‌سوزی منطقه‌ی حفاظت شده مانشت و قلا رنگ به وسعت ۳۰ هزار هکتار در استان ایلام با تکنیک‌های سنجش از دور تهیه و منطقه به ۷ واحد تقسیم شد تا در زمان وقوع آتش‌سوزی بتوان آنها را مدیریت کرد. براساس این نقشه، برنامه مدیریت بحران آتش‌سوزی در مناطق حفاظت شده در سه فاز عملیات مقدماتی یا اقدامات قبل از وقوع (طرح پیشگیری)، اقدامات حین وقوع (طرح مقابله) و عملیات پس از وقوع (طرح بازیابی) تدوین گردید. پاز و همکارانش نیز نقشه‌ی خطر سرزمین اشغالی قدس را در ۱۰ آتش‌سوزی که برای منطقه کارمل سال ۲۰۰۹ تهیه کرده بودند، با آتش‌سوزی واقعی که در سال ۲۰۱۰ در همین منطقه اتفاق افتاده بود مقایسه کردند. نتایج نشان داد که اغلب مناطق سوخته در سال ۲۰۱۰ در مناطق با خطر زیاد در نقشه‌ی پتانسیل تهیه شده قرار گرفته‌اند (Paz, Carmel, & Shoshany, 2011).

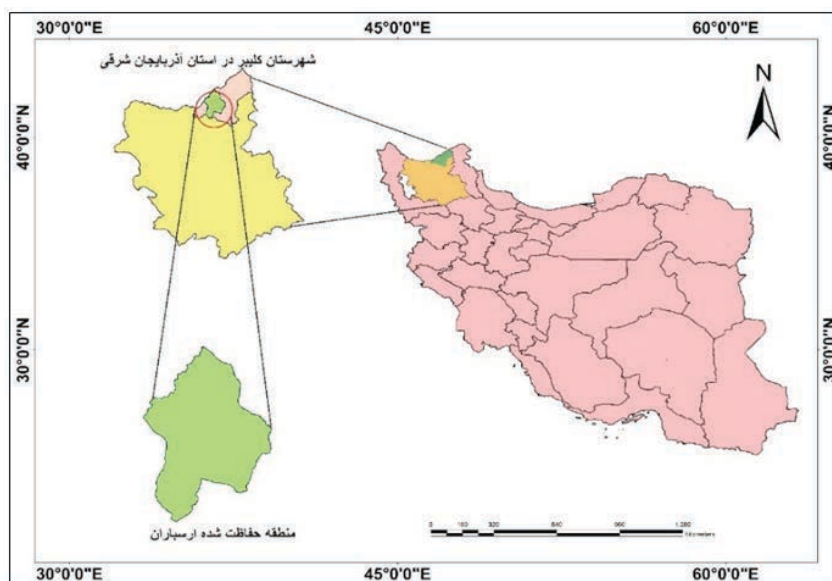
آدب و همکارانش در پژوهشی به مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های گلستان به کمک تصاویر MODIS و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. متغیرهای مورد استفاده براساس ضریب خطر آتش‌سوزی به طبقاتی تقسیم شده و با تجزیه و تحلیل داده‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی سه طبقه خطر کم، متوسط و زیاد برای منطقه به دست آمد (Adab, Kanniah, & Solaimani, 2013).

در مطالعه‌ای که زرع کار، کاظمی زمانی، قربانی، عاشق معلا و جعفری (۲۰۱۳) در حوزه‌های جنگلی استان گیلان انجام دادند به تهیه‌ی نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی با در نظر گرفتن عوامل توپوگرافی، اقلیم، پوشش گیاهی و عوامل اقتصادی-اجتماعی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی

مناطق متأثر از آتش‌سوزی به طور قابل توجهی کاهش خواهد یافت (Thon, Remy, Raffin, & Gesquière, 2007). در تحقیقی دیگر، ارتباط میان احتمال وقوع آتش‌سوزی و فاکتورهای مختلف زیست‌محیطی را با استفاده از مدل‌های طبقه‌بندی و رگرسیون درختی با به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای مدل‌سازی کردند و مدلی را برای احتمال وقوع آتش‌سوزی براساس مشخصات توپوگرافی، قابلیت دسترسی، نوع پوشش و تاریخچه آتش‌سوزی در مناطق مدیرانه‌ای 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 شده‌اند (Lozano, Suárez-Seoane, Kelly, & Luis, 2008).

محمدی، شعبانیان، پورهایمی و فاتحی (۲۰۱۰) اقدام به تهیه‌ی نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی^۱ در بخشی از جنگل‌های پاره نمودند. در این تحقیق، تهیه‌ی نقشه‌ی نواحی خطر آتش‌سوزی جنگل برپایه‌ی عوامل پوشش گیاهی، فیزیوگرافی، اقلیمی، انسانی و فاصله از جاده‌ها و رودخانه‌ها در بخشی از حوضه‌ی پاره رود به وسعت ۱۴۸۸۰ هکتار انجام گرفت. نتایج نشان داد که ۹۰ درصد مناطق آتش گرفته در پهنه‌هایی با خطر زیاد قرار داشتند. محققین در مطالعه دیگری خطر وقوع آتش‌سوزی جنگل در 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. تمام داده‌ها در سطح مکانی در سیستم اطلاعات جغرافیایی سازماندهی شدند و نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی تهیه شد. نتایج نشان داد که مناطق خطر وقوع با پیکسل‌های آتش مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای، تا ۶۴/۴ درصد هم‌خوانی دارند (Vadrevu, Eaturu, & Badarinath, 2010).

پرا و همکارانش نیز رژیم‌های آتش‌سوزی در اونتاریو کانادا را پیش‌بینی و مدل‌سازی کردند و نقشه احتمال وقوع



نگاره ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

و کاهش وقوع آتش‌سوزی، ارتباط این پارامترها با وقوع آتش به طور کامل مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته است، تا جهت تصمیم‌گیری هرچه بهتر مدیران و برنامه ریزان ارائه گردد که در مواقع بحران بتوانند از آن بهره بگیرند. همچنین در تحقیقات پیشین تاکنون از داده‌های باندهای حرارتی برای تولید نقشه وقوع آتش‌سوزی استفاده نشده است؛ اما در این تحقیق استفاده از این باندها نیز مدنظر قرار گرفته است. مقاله حاضر در پنج بخش سازماندهی شده است. ابتدا کلیات موضوع پژوهش و خلاصه‌ای از پیشینه تحقیق بیان گردید. در ادامه، هدف از تحقیق و وجه تمایز آن با تحقیق‌های پیشین بیان شد. بخش دوم به منطقه مورد مطالعه، داده‌های تحقیق و پیش پردازش آنها اختصاص یافته است. در بخش سوم، روش تحقیق و اجرای عملی آن تشریح شده است. در ادامه در بخش چهارم نتایج حاصل آنالیز و بررسی گردیده و در 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

و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. که در نهایت با توجه به وزن عوامل، نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی، با ۶۶ درصد هم‌پوشانی با آتش‌سوزی‌های رخ داده، به دست آمد. چانگ و همکارانش 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 (Chang et al., 2013).

اغلب تحقیقات مذکور در مناطق جنگلی دیگر غیر از ارسباران بوده است و در مورد جنگل‌های ارسباران در موضوعات مختلف تحقیقات بسیاری انجام گرفته است (Alijanpour, 2014; Dargahi, 2001; Motlagh, 2016; Partonia, 2016; A. A. J. E. R. a. A. B. Shafiei, 2009; A. A. J. E. R. A. B. Shafiei, 2011; S. R. A. A. B. Shafiei, 2016; shamekhi, 2017; رجایی، ۲۰۱۷ حسینی، عبادی، مقصودی مهرانی، ۲۰۱۷ رضاپور اندیلی علیخواه اصل، ۲۰۱۷ قائمی راد و کریمی؛ ۲۰۱۵ گلوانی و لشکری، ۲۰۱۱). ولی وقوع و انتشار آتش‌سوزی با عوامل طبیعی و انسانی برای اولین بار توسط این تحقیق در مناطق حفاظت شده ارسباران مورد بررسی قرار می‌گیرد. در تحقیقات گذشته، ارتباط این پارامترها با وقوع آتش در قالب یک مدل ریاضی بیان نشده است. در این تحقیق، جهت مدیریت منابع طبیعی

جدول ۱: داده‌های تحقیق

نوع داده	لایه‌های اطلاعاتی	محل اخذ داده‌ها
مدل ارتفاعی رقومی زمین	شیب	مدل رقومی ارتفاعی مورد استفاده در این تحقیق محصول توپوگرافی رادار شاتل (Shuttle Radar Topography Mission) حاصل از سازمان زمین شناسی ایالات متحده (USGS) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر می‌باشد. لایه‌های شیب و جهت شیب نیز از DEM تولید گردید.
	جهت شیب	
تصویر ماهواره لندست ۸	شاخص NDVI	تصویر ماهواره‌ی لندست ۸ استفاده شده در این پژوهش مربوط به سنجنده‌ی OLI، ردیف ۳۳ گذر ۱۶۸ در تاریخ ۲۷ جولای ۲۰۱۵ می‌باشد. لایه‌های شاخص NDVI، تراکم و پوشش گیاهی و همچنین دمای سطح از تصویر ماهواره لندست ۸ استخراج گردید.
	تراکم و پوشش گیاهی	
	استخراج دمای سطح	
داده‌های هواشناسی	سرعت و جهت باد روزهای بارش، رطوبت نسبی هوا و ...	از سازمان هواشناسی استان‌های آذربایجان غربی و شرقی تهیه گردید.
داده‌های مرجع برای آتش سوزی‌های انجام گرفته در سال‌های پیشین		این داده‌ها از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری آذربایجان شرقی تهیه گردید.

گرفته در سال‌های پیشین هست. در جدول ۱ این داده‌ها و مشخصات آنها ارائه شده است.

لازم به توضیح است که مدل رقومی ارتفاعی مورد استفاده در این تحقیق محصول توپوگرافی رادار شاتل (Shuttle Radar Topography Mission) حاصل از سازمان زمین شناسی ایالات متحده (USGS) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر می‌باشد که در دو مورد ذیل بکار رفته است. الف) در تصحیح توپوگرافی تصاویر با نرم‌افزار ATCOR که بطور کلی ناهمواری منطقه را از نظر دشت، تپه ماهور و کوهستانی بودن برای نرم افزار معرفی می‌کند.

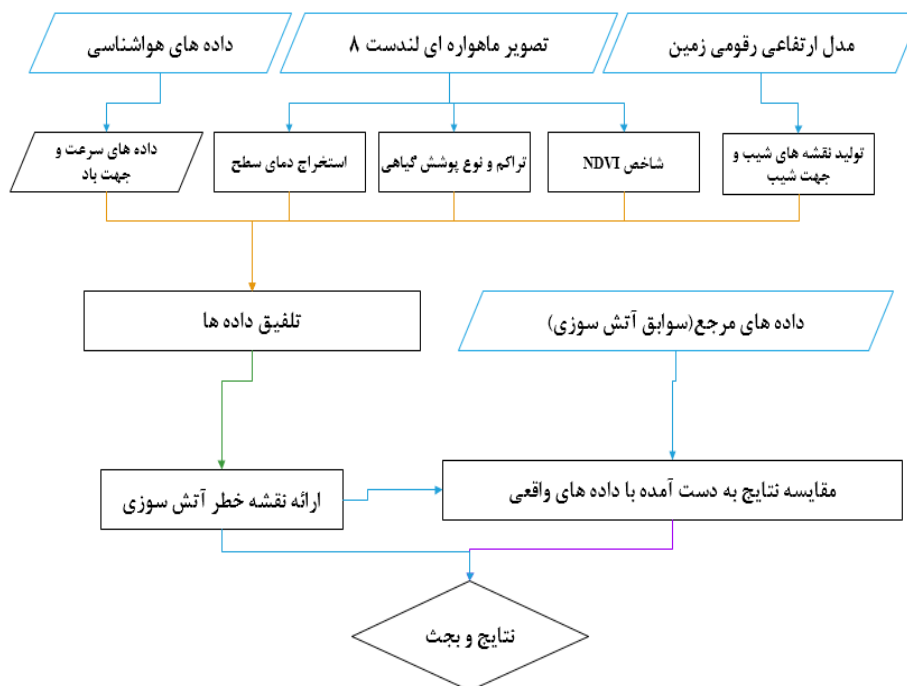
بدیهی است ناهمواری و ساختار توپوگرافی کلی منطقه با اختلاف زمانی حداکثر ۳ ساله قابل تغییر نیست.

ب) در محاسبه نقشه توپوگرافی و نقشه شیب برای کل منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفت که باز هم در اختلاف زمانی ۳ ساله تغییرات محسوس در ساختار توپوگرافی و شیب منطقه بوجود نمی‌آید، زیرا در تولید این نقشه‌ها همواره رنج اختلاف ارتفاعی تقریباً ۴۰۰ متری در یک کلاس در نظر گرفته شده و تغییر ساختار توپوگرافی و شیب منطقه

چهار حوضه آبخیز کلیبرچای، ایلگنه‌چای، حاجیلرچای و سلن‌چای واقع شده است. در گذشته، منطقه ارسباران به محدوده‌ی وسیعی از کناره ارس از حد فاصل جلغا تا مغان و بلندی‌های سبلان، بزقوش و سهند اطلاق می‌شد. 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 و در طول 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 نگاره ۱ نشان داده شده است.

۲-۲- داده‌های تحقیق و پیش پردازش آنها

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل تصویر ماهواره‌ی لندست ۸، مدل رقومی زمین، داده‌های سرعت و جهت باد و داده‌های مرجع برای آتش سوزی‌های انجام



نگاره ۲: روند انجام تحقیق

۳- روش تحقیق

روند انجام این پژوهش در چهار مرحله انجام گرفته که در نگاره ۲ نشان داده شده است. در مرحله اول داده‌ها، پیش‌پردازش و آماده سازی داده‌های مورد نیاز نظیر نقشه‌های شیب و جهت شیب، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده، تولید دمای سطح زمین^۵ با استفاده از باندهای حرارتی لندست ۸ انجام می‌گیرد. لازم به ذکر است که با داشتن گسیلمندی سطح، دمای سطح با استفاده از الگوریتم‌های تک باندهای^۶ و دوباندهای^۷ قابل محاسبه و بازیابی است. با اینکه در الگوریتم دو باندهای، استفاده از دو باند حرارتی مجاور هم، باعث به حداقل رسیدن خطا در بازیابی دمای سطح می‌گردد، ولی بدلیل اینکه باند ۱۱ حرارتی لندست ۸ مطابق اعلام USGS دارای بایاس و خطای بزرگ در محاسبه دماست؛ از این رو ناچار به استفاده از الگوریتم‌های تک باندهای یعنی فقط باند ۱۰ حرارتی لندست ۸ هستیم.

نمی‌تواند از این رنج اختلاف ارتفاعی هر کلاس بیشتر باشد. این توضیحات به متن مقاله نیز اضافه گردید. بدیهی است قبل از محاسبه و استخراج پارامترهای فیزیکی سطح زمین، انجام تصحیح رادیومتریکی (اتمسفری 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، تغییر شیب و سایه استخراج شد. در تحقیق حاضر، این تصحیحات با استفاده از نرم‌افزار تصحیح اتمسفری و توپوگرافی ATCOR3^۲ که بصورت مستقل بر پایه محیط برنامه‌نویسی زبان تعاملی داده^۳ استوار بوده و از پایگاه داده مدل‌های انتقال تابش^۴ MODTRAN5 استفاده می‌کند، انجام گرفت (Richter & Schlöpfer, 2013). بعد از تصحیح اتمسفری و توپوگرافی تصاویر، مقادیر انعکاس در سطح زمین بدست می‌آید و تمامی محاسبات لازم بر روی این انعکاس انجام می‌گیرد.

5- Land Surface Temperature

6- Single channel algorithm

7- Split windows algorithm

1- DEM; Digital Elevation Model

2- Atmospheric/topographic correction

3- Interactive Data Language

4- MODerate resolution atmospheric TRANsmission

داده می‌شود. بدین منظور برای دستیابی به نقشه خطر آتش‌سوزی بر اساس شیب، FRM_{Slope} مطابق معادله (۱) مقادیر شیب مابین مقادیر صفر و یک نرمال‌سازی می‌شوند.

$$FRM_{Slope} = \frac{SlopeDegree}{90} \quad (1)$$

در معادله (۱)، FRM_{Slope} مقادیر پیکسل‌ها در اثر پارامتر شیب در ریسک آتش‌سوزی، $SlopeDegree$ مقدار شیب برحسب درجه می‌باشند. همچنین برای بررسی تأثیر پارامتر جهت شیب در احتمال وقوع خطر آتش‌سوزی نیاز هست که به رابطه‌ی میان جهت شیب با 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 $267/5$ 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، 270 درجه می‌باشند، بیش‌ترین احتمال وقوع خطر آتش‌سوزی را دارند و شیب‌های رو به شرق یا شیب‌هایی که جهت شیب آن‌ها به سمت شرق، 90 درجه، می‌باشند کم‌ترین احتمال وقوع خطر آتش‌سوزی را دارند. بدین منظور برای دستیابی به نقشه خطر آتش‌سوزی 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 منطقه مورد مطالعه بر اساس داده‌های هواشناسی، جهت $267/5$ درجه در نظر گرفته شده است. نگاره ۳ الف و ب نقشه شیب و جهت شیب را نشان می‌دهد.

نگاره ۴ الف توزیع شیب منطقه و نگاره ۴ ب نحوه‌ی

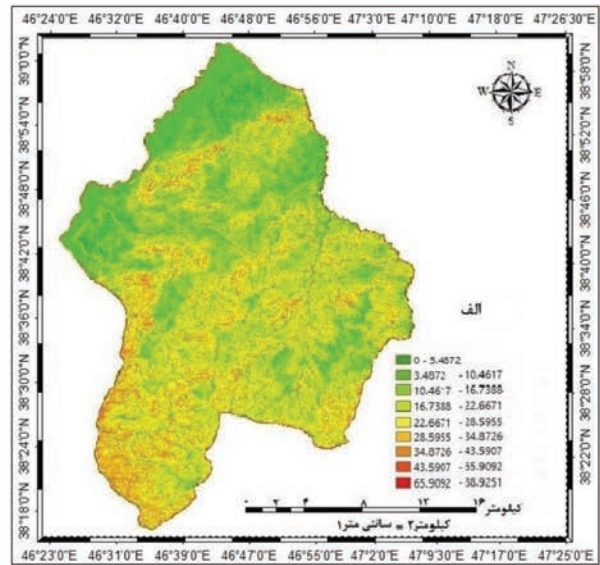
برای محاسبه دمای سطح زمین، در این تحقیق از روش تک باندی سویرینو استفاده شد. در مرحله دوم، نقشه وقوع خطر آتش‌سوزی از تلفیق داده‌های شیب و جهت شیب، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده، دمای سطح زمین و داده‌های سرعت و جهت باد بدست می‌آیند. در مرحله سوم نیز، که در حقیقت هسته و قسمت اصلی تحقیق می‌باشد نحوه وقوع و گسترش آتش در جنگل کمی‌سازی گردید. در مرحله چهارم، بعد از بدست آمدن پارامترهای نهایی مدل پیشنهادی، نتایج بدست آمده با نتایج واقعی موجود مورد ارزیابی قرار گرفت.

۳-۱- آماده سازی لایه‌های اطلاعاتی در وقوع خطر آتش‌سوزی

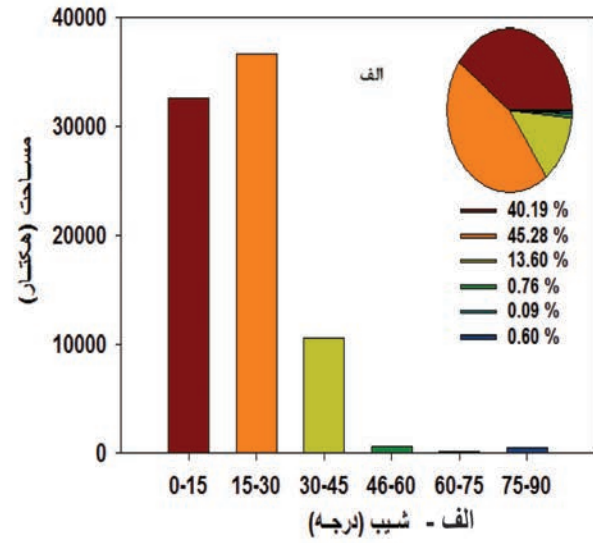
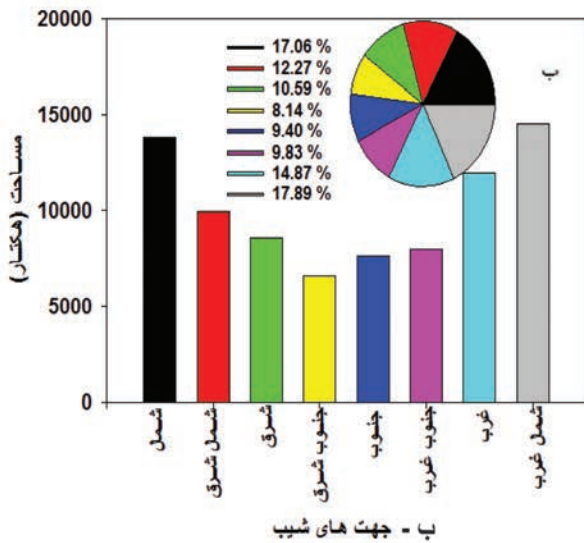
در این بخش به نحوه تولید نقشه وقوع خطر آتش‌سوزی براساس خصوصیات هر لایه در کلاس‌های مختلف، پرداخته شده است. در این تحقیق، جهت ارزیابی خطر آتش‌سوزی، از روش فایرریسک استفاده می‌شود. شایان ذکر است که میزان خطر آتش‌سوزی به صورت مقادیر عددی ما بین ۰ و ۱ بیان می‌شود، به صورتی که عدد ۱ بیانگر بالاترین میزان خطر می‌باشد، بدین منظور نیاز هست که هر چهار فاکتور ما بین ۰ و ۱ نرمال‌سازی گردند.

۳-۲- نقشه‌های شیب و جهت شیب

شیب‌های تندتر بیش‌تر در معرض وقوع خطر آتش‌سوزی قرار دارند، چرا که پیش‌روی شعله‌های آتش در شیب‌های تندتر سریع‌تر به وقوع می‌پیوندد. در نتیجه شیب‌های 90 درجه دارای بیش‌ترین و شیب‌های صفر درجه دارای کم‌ترین میزان خطر می‌باشند. از این رو به شیب‌های 90 درجه بیش‌ترین احتمال خطر آتش‌سوزی، یعنی یک، اختصاص داده می‌شود و به شیب‌های صفر درجه کم‌ترین احتمال خطر آتش‌سوزی، یعنی صفر، اختصاص داده می‌شود و به شیب‌های مابین آن‌ها نیز به صورت خطی عددی بین صفر و یک بعنوان احتمال خطر آتش‌سوزی اختصاص



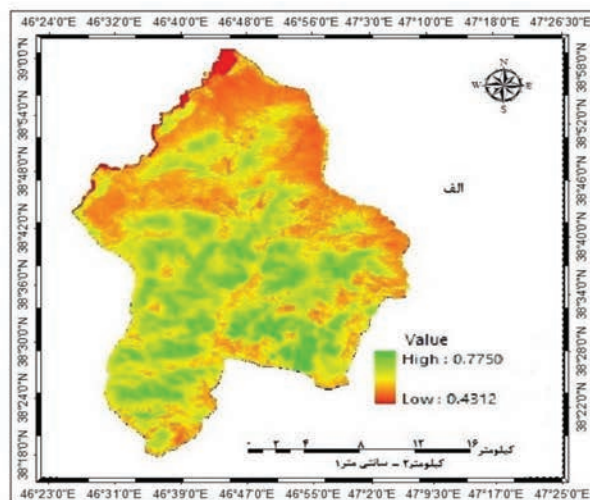
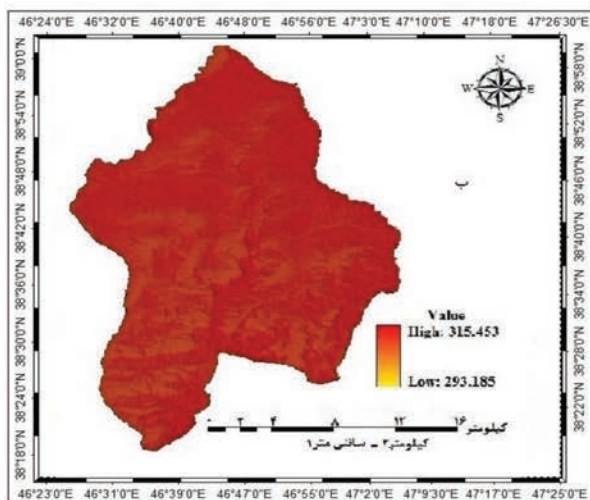
نگاره ۳: (الف) نقشه شیب و (ب) نقشه جهت شیب



نگاره ۴: (الف) توزیع شیب و (ب) توزیع جهت شیب منطقه مطالعاتی

باشد. همچنین با توجه به نگاره ۴ مشاهده می‌شود که بالاترین درصد‌های جهت شیب منطقه را جهت‌های شمال، شمال غرب و غرب به خود اختصاص داده‌اند. از آنجایی که جهت باد غالب منطقه‌ی ما غرب است، و به صورت کلی نیز باد از سمت غرب و شمال غرب به منطقه وارد می‌شود، لذا پارامتر جهت شیب از عوامل بسیار مؤثر در وقوع و گسترش جبهه‌ی آتش‌سوزی است.

توزیع جهات مختلف شیب منطقه را به همراه مساحت آن‌ها را در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. از آنجایی که عامل شیب در سرعت انتقال شعله‌های آتش در منطقه مؤثر است، در منطقه‌ی مورد مطالعه، شیب غالب در محدوده‌ی ۱۵-۳۰ درجه است. در نتیجه بخش زیادی از منطقه در نواحی با شیب بالا قرار گرفته که می‌تواند نقش مؤثری در آتش‌سوزی داشته



نگاره ۵: (الف) شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده و (ب) دمای سطح زمین

لندست ۸ دارای بایاس و خطای بزرگ در محاسبه دماست. از این رو ناچار به استفاده از الگوریتم‌های تک بانندی یعنی فقط باند ۱۰ حرارتی لندست ۸ هستیم. برای محاسبه دمای سطح زمین، در این تحقیق از روش تک بانندی (Sobrino et al., 2004) مطابق معادله ۴ استفاده گردید.

$$T_s = \gamma \left[\frac{1}{\epsilon} (\psi_1 L_{sen} + \psi_2) + \psi_3 \right] + \delta \quad (4)$$

در این معادله، T_s دمای سطح زمین به درجه کلوین، ϵ گسیلمندی سطح و بدون واحد می‌باشد، γ و δ دو پارامتر وابسته به تابع پلانک هستند که از معادله ۵ قابل محاسبه می‌باشند، ψ_1 ، ψ_2 و ψ_3 به توابع اتمسفری معروفند و از معادله ۶ قابل محاسبه هستند و L_{sen} تابش طیفی دریافتی سنجنده در واحد وات در هر استرادیان در هر متر مربع^۵ است.

$$\gamma = \left\{ \frac{K_2 L_{sen}}{T_{sen}^2} \left[\frac{\lambda_v^4}{K_1} + \lambda_v^{-1} \right] \right\}^{-1} \quad (5)$$

$$\delta = T_{sen} - \gamma L_{sen}$$

در معادله (۵)، K_1 و K_2 ضرایب ثابت باندهای حرارتی

5- watt per steradian per square metre

۳-۳- شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین
در این تحقیق شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده^۱ مورد استفاده قرار گرفت. پوشش گیاهی از فاکتورهای تأثیرگذار در وقوع خطر آتش‌سوزی است. مقادیر این شاخص مطابق معادله ۳ به مقادیر عددی بین یک (بیان‌کننده بیش‌ترین خطر) و صفر (بیان‌کننده کم‌ترین خطر) نرمال‌سازی گردیدند.

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

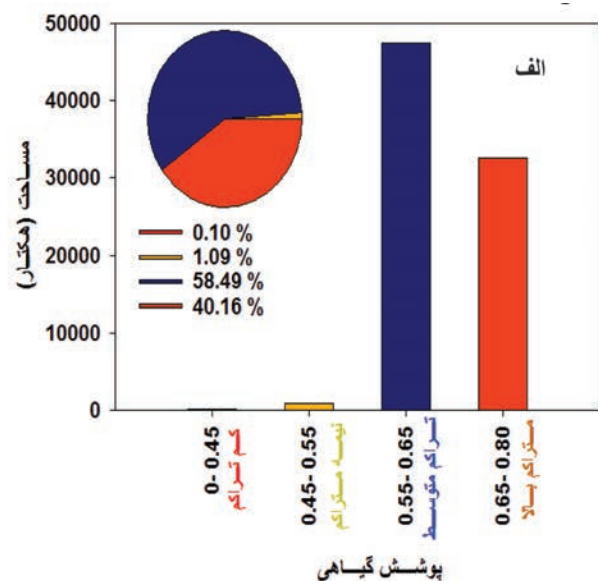
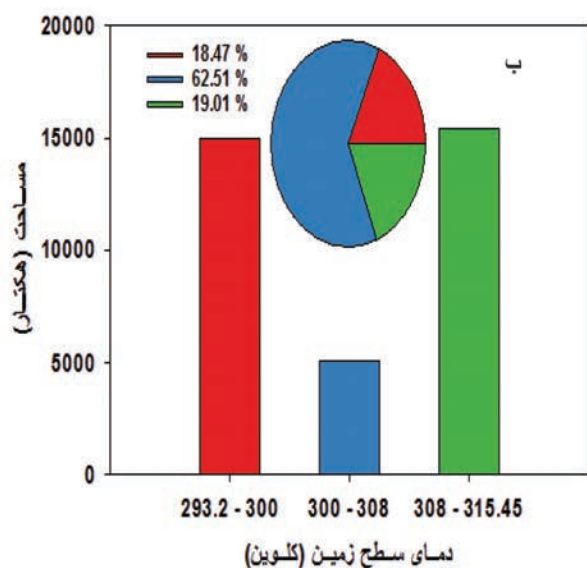
همچنین، برای بدست آوردن دمای سطح زمین بعد از محاسبه گسیلمندی از روی شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال‌ایز شده، با استفاده از الگوریتم سوپرینو^۲ و باند ۱۰ حرارتی لندست ۸ محاسبه گردید. لازم به ذکر است که با داشتن گسیلمندی سطح، دمای سطح با استفاده از الگوریتم‌های تک بانندی^۳ و دوبانندی^۴ قابل محاسبه و بازیابی است. با اینکه در الگوریتم دو بانندی، استفاده از دو باند حرارتی مجاور هم، باعث به حداقل رسیدن خطا در بازیابی دمای سطح می‌گردد، ولی بدلیل اینکه باند ۱۱ حرارتی

1 - Normalized difference vegetation index (NDVI)

2- Sobrino

3- Single channel algorithm

4- Split windows algorithm



نگاره ۶: (الف) شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده و (ب) دمای سطح زمین

سیلسیوس می‌باشد. بدین منظور برای دستیابی به نقشه خطر آتش‌سوزی بر اساس دمای سطح زمین، FRM_{LST} مطابق معادله ۷ مقادیر دمای سطح زمین ما بین مقادیر صفر (بیان‌کننده کم‌ترین خطر) و یک (بیان‌کننده بیش‌ترین خطر) نرمال‌سازی می‌شوند.

$$FRM_{LST} = \frac{LST_{Kelvin} - 273}{MaxTemperature} \quad (7)$$

در رابطه فوق، LST_{Kelvin} دمای سطح زمین بر حسب کلوین و $MaxTemperature$ حداکثر دمای سطح زمین بر حسب سیلسیوس می‌باشد. شاخص پوشش گیاهی در نگاره ۵ الف و دمای سطح حاصل از باندهای حرارتی ۱۰ برحسب کلوین برای منطقه مطالعاتی در نگاره ۵ ب نشان داده شده است.

نگاره ۶ ب توزیع حرارت منطقه و مساحت آن‌ها را نشان می‌دهد، براساس آن بیش از ۸۰ درصد منطقه حرارت نسبتاً بالا و بالایی دارند و از آن جایی که دمای منطقه یکی از عوامل اصلی شروع آتش‌سوزی می‌باشد می‌تواند بعنوان یک عامل مهم در تولید و ارزیابی خطر وقوع آتش‌سوزی

به ترتیب در واحدهای وات بر متر مربع - میکرومتر و درجه کلوین می‌باشند، T_{sen} دمای ظاهری رسیده به سنجنده به درجه کلوین، λ طول موج مؤثر باند حرارتی به میکرومتر می‌باشد.

$$\psi_1 = \frac{1}{\tau}, \quad \psi_2 = -L^{\downarrow} - \frac{L^{\uparrow}}{\tau}, \quad \psi_3 = L^{\downarrow} \quad (6)$$

در معادله ۶، τ ضریب عبور اتمسفری به درصد، L^{\downarrow} و L^{\uparrow} به ترتیب تابش اتمسفری رو به بالا و رو به پایین که هر دو در واحد وات در هر استرادیان در هر متر مربع می‌باشند. در این تحقیق، توابع اتمسفری مستقیماً از وب‌سایت محاسبه پارامترهای تصحیح اتمسفری^۱ که توسط سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا، ناسا، برای سنجنده‌های حرارتی لندست توسعه داده شده است، محاسبه شد. سپس با استفاده از الگوریتم تک باندهای مذکور، دمای سطح زمین از تصویر لندست ۸ بازیابی و محاسبه گردید. محدوده دمای سطح زمین در منطقه مطالعاتی بین ۲۹۳ تا ۳۱۵ درجه کلوین می‌باشد که معادل ۲۰ تا ۴۲ درجه

1- Atmospheric Correction Parameter Calculator

2- National Aeronautics and Space Administration

جدول ۲: داده‌های آب و هوایی و اقلیمی مورد استفاده از تحقیق

ماه	میانگین دمای ماهانه (C°)	میانگین سرعت باد ماهانه (m/s)	بیشینه دمای ماهانه (C°)	بیشینه سرعت باد ماهانه (m/s)	جهت باد غالب (درجه)	کمینه دمای ماهانه (C°)
فروردین	۱۳/۶	۴/۲	۲۶/۲	۱۳	۲۵۰	-۷/۶
اردیبهشت	۱۹/۳	۴/۱	۲۹/۸	۱۲	۱۵۰	۹/۶
خرداد	۲۱/۱	۴/۲	۳۳/۶	۱۲	۳۱۰	۹/۸
تیر	۲۳/۹	۴/۳	۳۳	۱۰	۳۳۰	۱۴
مرداد	۲۶/۸	۴/۴	۳۷/۲	۱۱	۳۰۰	۱۴/۴
شهریور	۲۰	۴/۳	۲۹/۶	۱۲	۲۳۰	۸/۸
مهر	۱۰/۶	۳	۲۳/۴	۹	۳۱۰	۰/۲
آبان	۵/۷	۲/۴	۱۸	۸	۳۲۰	-۳
آذر	۶/۶	۲/۱	۱۷/۸	۱۲	۲۴۰	-۲/۲
دی	۳/۷	۲/۶	۱۵/۶	۱۵	۲۴۰	-۶/۶
بهمن	۲/۲	۳/۱	۱۷/۴	۱۵	۲۷۰	-۱۵/۶
اسفند	۷/۸	۳/۷	۱۸/۴	۱۴	۲۶۰	-۶
میانگین سالانه	۱۳/۴	۳/۵۳	۲۵	۱۱/۹	۲۶۷/۵	۱/۳۱

مشارکت نماید. همچنین در نگاره ۶ الف اطلاعات مربوط به درصد و مساحت کلاس‌های پوشش گیاهی نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که منطقه‌ی 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.

استان و داده‌های اقلیمی از اداره کل هواشناسی استان مطابق جدول ۲ تهیه گردید.

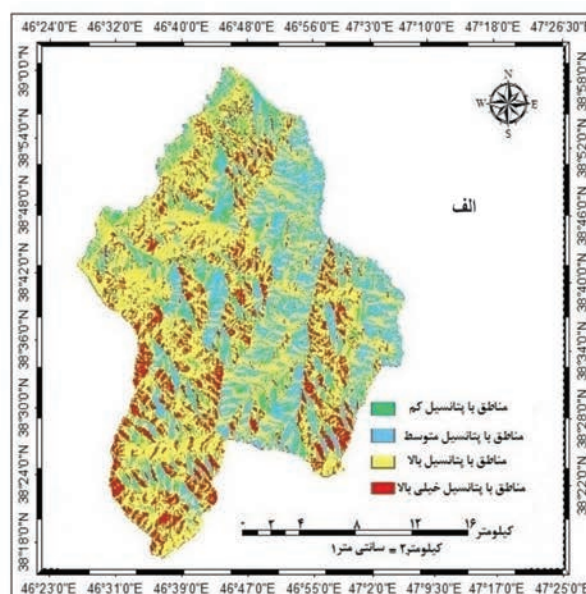
بررسی آماری داده‌های اقلیمی براساس ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که بین تعداد آتش‌سوزی‌های به وقوع پیوسته در منطقه مورد مطالعه و درجه حرارت سالانه در سطح اطمینان ۹۵٪ و بین تعداد آتش‌سوزی‌ها و متوسط رطوبت نسبی سالانه در سطح اطمینان ۹۹٪ رابطه معنی داری وجود دارد، بر این اساس و براساس سایر تحقیقاتی که در زمینه عوامل آب‌وهوایی و اقلیمی و آتش‌سوزی جنگل انجام گرفته بود، مؤثرترین عوامل اقلیمی و آب و هوایی (دما، سرعت و جهت باد) در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. همچنین میزان بارندگی هم یکی از عوامل کنترل کننده آتش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. لذا بر اساس اطلاعات میزان بارش اخذ شده از اداره کل

مشارکت نماید. همچنین در نگاره ۶ الف اطلاعات مربوط به درصد و مساحت کلاس‌های پوشش گیاهی نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که منطقه‌ی 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 درصد کم‌تری را شامل می‌شوند. از آنجایی که پوشش گیاهی در آتش‌سوزی به عنوان سوخت عمل می‌کند، در نتیجه عامل پوشش گیاهی هم می‌تواند از پارامترهای مهم و مؤثر در آتش‌سوزی واقع شود.

لازم به توضیح است که علاوه بر عوامل مذکور، یکی دیگر از عوامل مؤثر بر وقوع و گسترش آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع، عوامل آب‌وهوایی و اقلیمی می‌باشد. به این منظور آمار تعداد و وسعت آتش‌سوزی‌های به وقوع پیوسته پیشین در جنگل‌های استان از اداره کل منابع طبیعی

جدول ۳: داده‌های میزان بارش مورد استفاده از تحقیق

میانگین سالانه	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	ماه
۴۴/۳۳	۵۶/۳	۱۲/۱	۵۳	۳۲	۴۲/۴	۱۰۰/۷	۱۱/۷	۰	۱۰/۷	۸۱/۸	۹۸/۲	۳۳/۴	میانگین بارش ماهانه (mm)



نگاره ۷: (الف) نقشه خطر وقوع آتش سوزی و (ب) مناطق دارای خطر وقوع آتش سوزی بالا و زیر ۵۰ درصد

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. به این 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 ۸ محاسبه می گردد.

(۸)

$$FRM = \frac{\frac{Slope_{Degree}}{90} + 1 - \frac{|PWD - Aspect|}{180} + \frac{NDVI + 1}{2} + \frac{LST_{Kelvin} - 273}{Max_{temperature}}}{4}$$

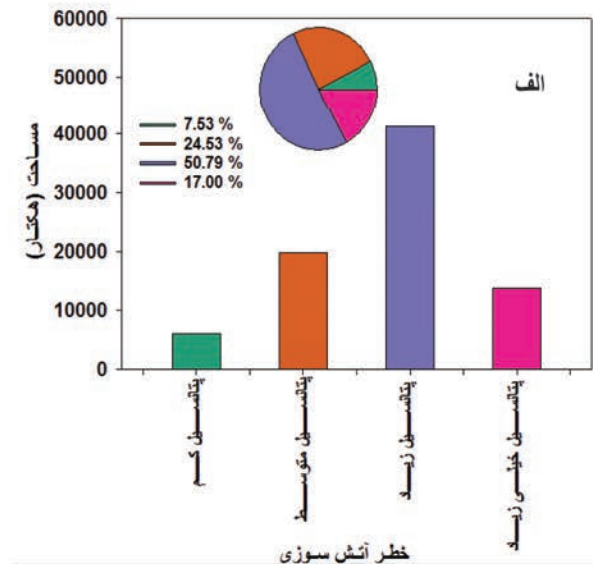
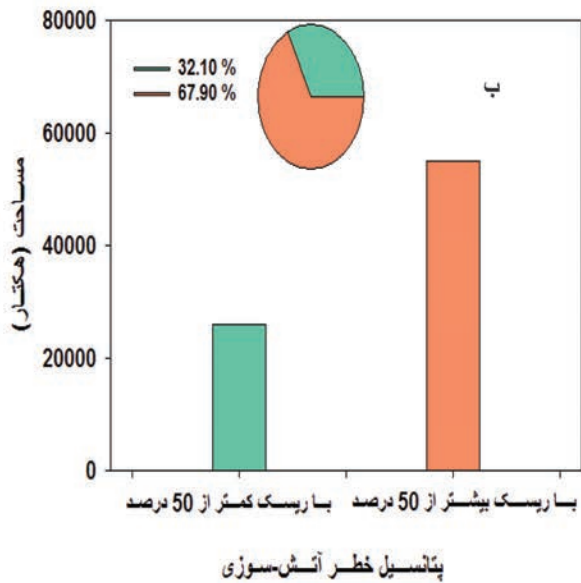
در این معادله FRM مقادیر پیکسل ها در اثر پارامترهای

هواشناسی استان، مطابق جدول ۳، بررسی آماری بین میزان بارندگی و وقوع آتش سوزی انجام گرفت.

بررسی آماری داده‌های میزان بارش بر اساس ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که بین تعداد آتش سوزی‌ها و میانگین بارندگی سالانه در سطح اطمینان ۹۵٪ ارتباط معنی داری وجود ندارد. بر این اساس لایه میزان بارش بعنوان لایه مؤثر در این تحقیق مورد استفاده قرار نگرفت.

۴- نتایج و بحث

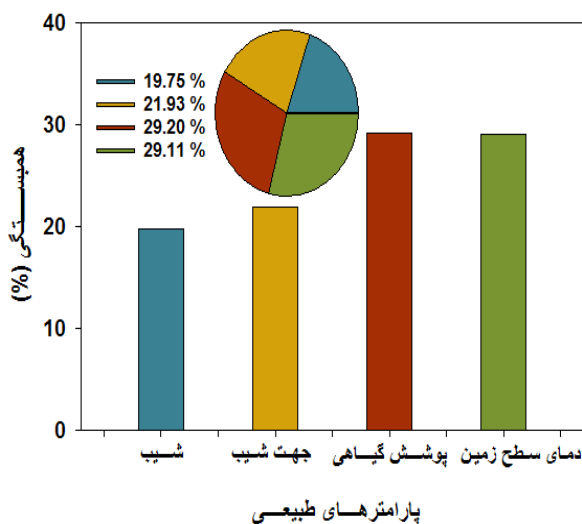
در این بخش به نحوه تولید نقشه وقوع خطر آتش سوزی بر اساس خصوصیات هر لایه پرداخته شده است. برای تولید نقشه خطر آتش سوزی از چهار فاکتور محیطی شامل:



نگاره ۸: الف) نقشه خطر وقوع آتش سوزی و ب) مناطق دارای خطر وقوع آتش سوزی بالای ۵۰ درصد

این بدان معنی است که مؤثرترین پارامتر طبیعی در منطقه حفاظت شده ارسباران، که بیشترین تأثیر را در افزایش پتانسیل آتش سوزی دارد، پوشش گیاهی است. و پس از آن به ترتیب دمای سطح زمین و جهت شیب و شیب در مرتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند.

عوامل طبیعی در ریسک آتش سوزی و سایر پارامترها در معادلات قبلی ذکر شده است. نقشه خطر وقوع آتش سوزی بدست آمده برای منطقه مطالعاتی در نگاره ۷ الف و مناطق دارای ریسک بالاتر از ۵۰ درصد هم در نگاره ۷ ب نشان داده شده است.

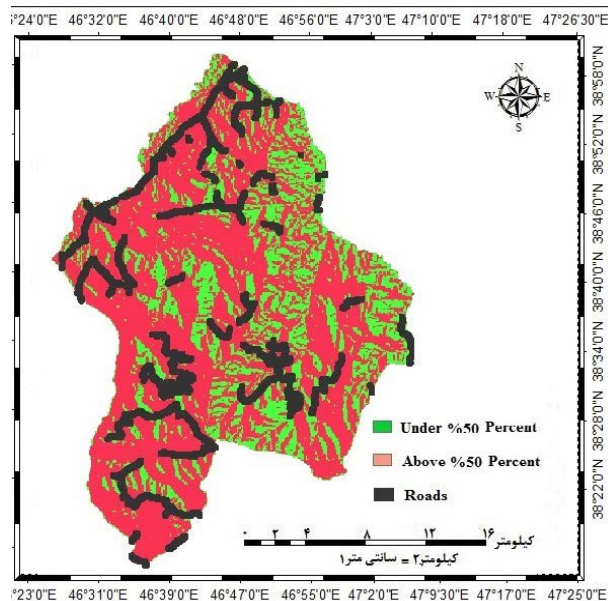
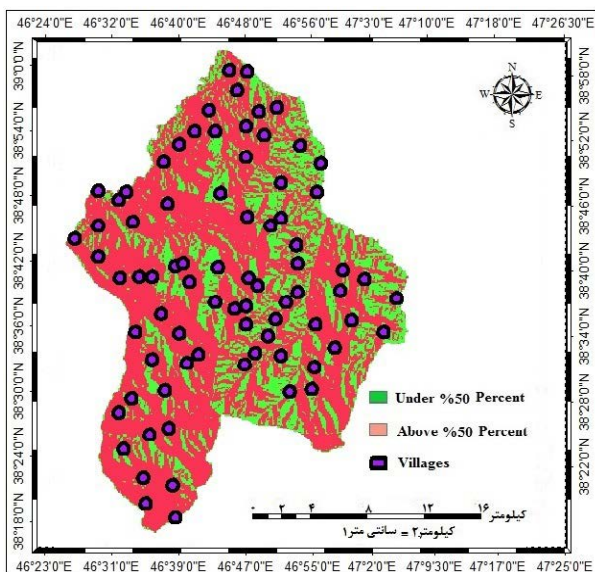


نگاره ۹: میزان همبستگی پارامترهای طبیعی با نقشه خطر ریسک آتش سوزی

براساس نگاره ۸ الف، بیش‌تر از ۵۰ درصد منطقه در وضعیت ریسک زیاد برای آتش سوزی قرار دارد. پس از آن ۱۷ درصد دارای پتانسیل خیلی زیاد است؛ که این امر نشان‌دهنده حساسیت منطقه به آتش سوزی می‌باشد و مستلزم حفاظت و مراقبت هرچه بیش‌تر است.

جهت مقایسه‌ی میزان اثر هر کدام از پارامترهای طبیعی، میزان همبستگی آن‌ها با نقشه نهایی خطر وقوع آتش سوزی محاسبه و ارتباط میان آن‌ها به صورت کمی بررسی شد. میزان همبستگی عوامل در نگاره ۹ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که مقادیر ضرایب همبستگی نرمال شده می‌باشد که مجموع این ضرایب ۱۰۰ درصد می‌باشد.

مطابق نتایج نگاره ۹، شاخص پوشش گیاهی با مقدار ۲۹/۲۰ درصد، بالاترین میزان همبستگی را با نقشه نهایی خطر وقوع آتش سوزی دارد.



نگاره ۱۰: ارتباط مجاورت با نقشه خطر آتش‌سوزی (الف) با جاده و (ب) با مناطق مسکونی

جنگلی یک عامل اثرگذار و مخرب است. زیرا ساکنان جهت تأمین نیازهای خود به جنگل و زمین آن وابسته هستند. که در این راستا حتی اقدام به آتش‌سوزی عمدی در جنگل می‌کنند. هم‌چنین نقش حضور انسان در آتش‌سوزی‌های غیرعمدی نیز نباید فراموش شود. بدین منظور لایه مناطق روستایی با یک بافر پانصد متر تهیه شد و با نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی تطبیق داده شد که مطابق نگاره ۱۰ ب حضور روستاها به شدت می‌تواند وقوع آتش‌سوزی را تسریع بخشد.

علاوه بر آن مقادیر هم‌پوشانی جاده با هر کدام از کلاس‌های خطر آتش‌سوزی (بالا و پایین ۵۰ درصد) در نگاره ۱۱ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند که در اکثر محدوده‌هایی که جاده واقع شده است، خطر وقوع آتش‌سوزی بالای ۵۰ درصد است.

این امر بیانگر تأثیر بالای رفت و آمد ساکنین محل و مسافران و گردش‌گران در وقوع آتش‌سوزی می‌باشد. هم‌چنین مقادیر هم‌پوشانی مناطق مسکونی با هر کدام از کلاس‌های خطر آتش‌سوزی (بالا و پایین ۵۰ درصد) در نگاره ۱۱ نشان داده شده است.

۴-۱- بررسی عوامل انسانی در وقوع خطر آتش‌سوزی

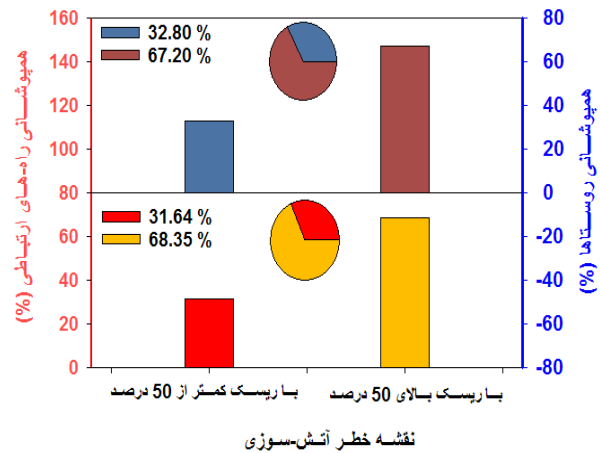
با توجه به رشد جمعیت در دهه‌های اخیر، تهاجم به عرصه‌های جنگلی به منظور امرار معاش، تأمین سوخت و کشاورزی افزایش یافته است.

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 آتش‌سوزی مورد بررسی قرار گرفته است.

به طور کلی هرچه محدوده جنگلی به جاده نزدیک‌تر باشد، احتمال وقوع حریق در آن قسمت بیش‌تر خواهد بود. از این رو، نقشه راه‌های ارتباطی در محدوده مطالعاتی با نتایج حاصل از نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی مطابقت داده شده است تا ارتباط آن با میزان خطر آتش‌سوزی مشخص گردد، برای این منظور برای راه‌های ارتباطی یک بافر به عرض دویست متر از طرفین مطابق نگاره ۱۰ الف مشخص گردید.

هم‌چنین نزدیکی به مناطق مسکونی برای آتش‌سوزی

داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی در منطقه جنگلی حفاظت شده ارسباران بود. برای این منظور، ارتباط مؤثرترین عوامل محیطی و عوامل انسانی بصورت یک مدل ریاضی با وقوع و انتشار آتش مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، مدل رقومی ارتفاعی زمین، داده‌های هواشناسی با استفاده از روش‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی استخراج و آماده سازی گردید و جهت اعتبار سنجی نتایج، از داده‌های آتش‌سوزی‌های پیشین استفاده گردید. در مورد جنگل‌های ارسباران تحقیقات بسیاری در موضوعات مختلف انجام گرفته بود ولی آتش‌سوزی و کمی 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 آتش‌سوزی، به ارتباط این پارامترها با وقوع آتش بر اساس شرایط منطقه‌ای حفاظت شده ارسباران، پرداخته شد و مؤثرترین عامل شناسایی و مورد ارزیابی قرار گرفت. بدون شک یکی از عوامل مؤثر بر وقوع و گسترش آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع، عوامل آب‌وهوایی و اقلیمی می‌باشد. بدین منظور آمار تعداد و وسعت آتش‌سوزی‌های به وقوع پیوسته پیشین در جنگل‌های استان از اداره کل منابع طبیعی استان و داده‌های اقلیمی از اداره کل هواشناسی استان تهیه گردید. بررسی آماری داده‌های اقلیمی بر اساس ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که بین تعداد آتش‌سوزی‌های به وقوع پیوسته در منطقه مورد مطالعه و درجه حرارت سالانه در سطح اطمینان ۹۵٪ و بین تعداد آتش‌سوزی‌ها و متوسط رطوبت نسبی سالانه در سطح اطمینان ۹۹٪ رابطه معنی‌داری وجود دارد، اما بین تعداد آتش‌سوزی‌ها و میانگین بارندگی سالانه ارتباط معنی‌داری وجود ندارد. بر این اساس و بر اساس سایر تحقیقاتی که در زمینه عوامل آب‌وهوایی و اقلیمی و آتش‌سوزی جنگل



نگاره ۱۱: میزان همپوشانی با نقشه خطر آتش‌سوزی (الف) با جاده و (ب) با مناطق مسکونی

نتایج نشان می‌دهد که حضور جاده‌ها و روستاها در منطقه مطالعاتی، بسیار اثرگذار در امر وقوع آتش‌سوزی است، از این رو می‌توان نتیجه گرفت، به دلیل طبیعت زیبا و مناظر بکر و وجود جاذبه‌های گردش‌گری و توریستی فراوان در منطقه‌ای حفاظت شده ارسباران، مسافران و گردش‌گران زیادی به منطقه جذب می‌شوند، لذا بی‌احتیاطی گردش‌گران و حتی ساکنین منطقه، در حاشیه‌ی جاده، می‌تواند سبب بروز آتش‌سوزی در منطقه مطالعاتی شود و نقش مؤثری در وقوع آتش‌سوزی، ایفا کند. به طور کلی از مقادیر بالای هم‌پوشانی عوامل انسانی با نقشه خطر آتش‌سوزی در کلاس بالای پتانسیل ۵۰ درصد استنباط می‌شود که میزان تأثیر پارامترهای انسانی هم‌چون نزدیکی با جاده و مناطق مسکونی می‌تواند نظیر پارامترهای طبیعی در منطقه‌ی مورد مطالعه تأثیرگذار باشد و هم چنین می‌توان گفت که از میان دو عامل انسانی، عامل نزدیکی با جاده بیش‌ترین سهم را در ایجاد وقوع آتش‌سوزی در منطقه دارد. لذا این مسئله نیازمند اندیشیدن تدابیر مناسب برای حفاظت هرچه بیش‌تر منطقه است.

۵- نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق کمی‌سازی عوامل محیطی و انسانی مؤثر در وقوع و گسترش آتش‌سوزی جنگل با استفاده از

منابع و مآخذ

۱. احمدآبادی، ع.، فتح نیا، ا.، و رجایی، س.، (۲۰۱۷). برآورد تغییرات جنگل براساس عوامل اقلیمی با استفاده از تصاویر ماهواره ای. فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲۶(۱۰۲)، ۱۲۷-۱۳۷. doi: 10.22131/sepehr.2017.27462
۲. بانج شفیع عباس، ا. ن. م.، جلالی سیدغلامعلی، عزیزی پیروز، حسینی سیدمحسن. (۱۳۸۶). تأثیر آتش سوزی بر ساختار جنگل، مطالعه موردی، سری چلیر خیرودکنار (حوزه ۴۵ گلبدن نوشهر). پژوهش و سازندگی، ۷۶(۳)، ۱۰۵-۱۱۲.
۳. حسینی، س. س.، عبادی، ح.، و مقصودی مهرانی، ی. (۲۰۱۷). بهبود تخمین ارتفاع جنگل به کمک بهینه سازی ماتریس پراکنش به روش تغییر پایه پلاریزاسیون مطالعه موردی: جنگل های شمالی سوند. فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲۶(۱۰۱)، ۳۳-۴۴. doi: 10.22131/sepehr/2017.25724
۴. رضاپور اندبیلی، ن.، و علیخواه اصل، م. (۲۰۱۷). ارزیابی توان اکولوژیکی منطقه حفاظت شده آق داغ برای کاربری جنگلداری. فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲۶(۱۰۲)، ۲۰۵-۲۱۶. doi: 10.22131/sepehr.2017.27478
۵. زرغ کار، آ.، کاظمی زمانی، ب.، قربانی، س.، عاشق معلا، م.، و جعفری، ح. (۲۰۱۳). تهیه نقشه پراکندگی فضایی خطر آتش سوزی جنگل با استفاده از روش تصمیم گیری چندمعیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: سه حوزه جنگلی در استان گیلان) %J تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. ۲۱(۲)، ۲۱۸-۲۳۰. doi: 10.22092/ijfpr/10.22092.2013.3854
۶. قائمی راد، ط.، و کریمی، م. (۲۰۱۵). ارزیابی و مقایسه ی نتایج حاصل از بهینه سازی مدل گسترش آتش سوزی جنگلی بر مبنای اتوماتای سلولی با استفاده از دو الگوریتم PSO و ABC. فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲۴(۹۳)، ۶۵-۷۶. doi: 10.22131/sepehr.2017.27478

انجام گرفته بود، مؤثرترین عوامل اقلیمی و آب و هوایی (دما، سرعت و جهت باد) در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. لذا بررسی های حاصل از نتایج نشان داد که نقش عوامل طبیعی غیرقابل انکار است، بنابراین برای حفاظت هرچه بیشتر 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 تأثیر را دارد. 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 را نسبت به سایر نقاط دارا هستند. جهت کمی سازی ارتباط 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.

نتایج ارزیابی مقادیر ضرایب همبستگی نرمال شده پارامترهای عوامل محیطی، نشان داد که به ترتیب شاخص های پوشش گیاهی، دمای سطح زمین، جهت شیب و شیب دارای ۲۹/۲۰، ۲۹/۱۱، ۲۱/۹۳، ۱۹/۷۵ و بالاترین میزان همبستگی با نقشه خطر وقوع آتش سوزی را دارند و حدود ۱۷٪ منطقه دارای پتانسیل خیلی زیاد و بیش تر از ۵۰ درصد منطقه در وضعیت خطر زیاد برای آتش سوزی می باشند. 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 دارد. نتایج کمی عوامل انسانی در وقوع خطر آتش سوزی نشان داد که میزان هم پوشانی راه های ارتباطی و مناطق مسکونی به ترتیب حداقل ۳۲ درصد و حداکثر ۶۸ درصد با خطر وقوع آتش در منطقه مطالعاتی را دارا هستند.

- ... Wang, Z. (2013). Predicting fire occurrence patterns with logistic regression in Heilongjiang Province, China. *Landscape Ecology*, 28(10), 1989-2004.
16. Coburn, A., Spence, R., & Pomonis, A. (1994). *Guide to vulnerability and risk assessment. Disaster Management Training Programme.*
17. Dargahi, F. A. K. S. D. (2001). THE STUDY OF NATURAL REGENERATION STRUCTURE IN ARASBARAN FOREST (SOTANCHI REGTON). *Iranian journal of Forests and Poplar Research*, 6(1), 1-62. doi:10.22092/ijfpr.2001.109706.
18. Dong, X., Li-min, D., Guo-fan, S., Lei, T., & Hui, W. (2005). Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe Forestry Bureau, Jilin, China. *Journal of forestry research*, 16(3), 169-174.
19. Glasa, J., & Halada, L. (2008). On elliptical model for forest fire spread modeling and simulation. 78(1), 76-88.
20. Gouma, V., & Chronopoulou, S. (1998). Wildland fire danger zoning—a methodology. 8(1), 37-43.
21. Iliadis, L. S. (2005). A decision support system applying an integrated fuzzy model for long-term forest fire risk estimation. *Environmental Modelling & Software*, 20(5), 613-621.
22. Jaiswal, R. K., Mukherjee, S., Raju, K. D., & Saxena, R. (2002). Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(1), 1-10. doi:10.1016/s0303-2434(02)00006.
23. Keane, R. E., Burgan, R., & Wagtendonk, v. (2001). Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling. 10(4), 301-319.
24. Li, Z., Nadon, S., & Cihlar, J. (2000). Satellite-based detection of Canadian boreal forest fires: Development and application of the algorithm. *International Journal of Remote Sensing*, 21(16), 3057-3069.
25. Lozano, F. J., Suárez-Seoane, S., Kelly, M., & Luis, E. (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(1), 1-12. doi:10.1016/j.rse.2007.09.012.
۷. گزیه، ح. (۱۳۹۱). مدل‌سازی گسترش آتش‌سوزی جنگل با استفاده از اتوماسیون سلولی (پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته‌ی سیستم اطلاعات جغرافیایی)، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
۸. گلوانی، ف.، & لشکری، ح. (۲۰۱۱). تحلیل و پیش‌بینی نقش باد فون بر آتش‌سوزی جنگل‌های استان گیلان. فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲۰(۷۹)، ۳۱-۳۶.
۹. محمدی، ف.، شعبانیان، ن.، پورهاشمی، ه.، و فاتحی، پ. (۲۰۱۰). تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از GIS و AHP در بخشی از جنگل‌های پاره. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۸(۴)، ۵۸۶-۵۶۹.
۱۰. منصوری نبی اله، ن. ر.، نصیری پروین، قراگوزلو علیرضا. (۱۳۹۰). تدوین برنامه مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل با تکنولوژی GIS&RS. کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در برنامه ریزی، ۳(۲)، ۶۳-۷۳.
11. Adab, H., Kanniah, K. D., & Solaimani, K. J. N. h. (2013). Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. 65(3), 1723-1743.
12. Alijanpour, A. (2014). Effect of physiographical factors on qualitative and quantitative characteristics of *Rhus coriaria* L. natural stands in Arasbaran region (Horand Township). *Iranian Journal of Forest*, 5(4), 431-442.
13. Brun, C., Margalef, T., & Cortés, A. (2013). Coupling Diagnostic and Prognostic Models to a Dynamic Data Driven Forest Fire Spread Prediction System. *Procedia Computer Science*, 18, 1851-1860. doi:https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.05.354.
14. Cencerrado, A., Rodriguez, R., Cortes, A., & Margalef, T. (2012). Urgency versus accuracy: Dynamic Data Driven application system for natural hazard management. *International Journal of Numerical Analysis & Modeling* 9(2), 432-448. .
15. Chang, Y., Zhu, Z., Bu, R., Chen, H., Feng, Y., Li, Y.,

540-529. doi:10.22092/ijfpr.2016.107390

36. Shamekhi, S. G. s. m. h. t. (2017). 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*, 9(3), 411-425.

37. Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM5. *Remote Sensing of environment*, 90(4), 434-440.

38. Thon, S., Remy, E., Raffin, R., & Gesquière, G. (2007). Combining GIS and forest fire simulation in a virtual reality environment for environmental management. *ACE: Arquitectura, Ciudad y Entorno*, núm. 4, Junio 2007.

39. Vadrevu, K. P., Eaturu, A., & Badarinath, K. (2010). Fire risk evaluation using multicriteria analysis—a case study. *Environmental monitoring and assessment*, 166(1-4), 223-239.

112(3), 708-719.

26. Motlagh, M. H. O. H. A. A. E. Y. (2016). Impacts of ecotourism development in the Arasbaran region using BOCR. *Iranian Journal of Forest*, 8(2), 153-167.

27. Partonia, Y. A. L. (2016). Site and silvicultural characteristics of *Juniperus foetidissima* Willd. endangered species in Arasbaran Biosphere Reserve. *Iranian journal of Forests and Poplar Research*, 24(4), 699-687. doi:10.22092/ijfpr.2016.109447

28. Paz, S., Carmel, Y., Jahshan, F., & Shoshany, M. (2011). Post-fire analysis of pre-fire mapping of fire-risk: A recent case study from Mt. Carmel (Israel). *Forest Ecology and Management*, 262(7), 1184-1188.

29. Perera, A. H., & Cui, W. (2010). Emulating natural disturbances as a forest management goal: Lessons from fire regime simulations. *Forest Ecology and Management*, 259(7), 1328-1337.

30. Remmel, T. K., & Perera, A. H. (2001). Fire mapping in a northern boreal forest: assessing AVHRR/NDVI methods of change detection. *Forest Ecology and Management*, 152(1-3), 119-129.

31. Richter, R., & Schläpfer, D. (2013). Atmospheric/Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide, Version 8.3. 1, February 2014). In.

32. Salis, M. (2007). Fire Behavior simulation in Mediterranean Maquis using FARSITE (Fire Area Simulator). (PhD Doctoral Thesis), Università' Degli Studi Di Sassari,

33. Shafiei, A. A. J. E. R. a. A. B. (2009). Investigation and comparison of two protected and non-protected forest stands regeneration diversity in Arasbaran. *Iranian Journal of Forest*, 1(3), 209-217.

34. Shafiei, A. A. J. E. R. A. B. (2011). Effect of physiographical factors on qualitative and quantitative characteristics of *Cornus mas* L. in Arasbaran forests. *Iranian journal of Forests and Poplar Research*, 19(3), 407-396. doi:10.22092/ijfpr.2011.107550

35. Shafiei, S. M. E. R. A. A. A. B. (2016). Quantitative and qualitative characteristics and altitudinal zonation of Arasbaran forest protected area, northwestern Iran. *Iranian journal of Forests and Poplar Research*, 24(3),

