

بررسی روش‌های پایش و پیش‌بینی آتش‌سوزی نواحی رویشی ایران و

جهان

مینا پرنیان^۱، ابراهیم اسعدی اسکویی^{۲*}، مهدی رهنما^۳

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲ و ۳- استادیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

چکیده

در سال‌های اخیر آتش‌سوزی در نواحی رویشی رشد فزاینده‌ای داشته و آثار مخرب زیادی به جا گذاشته است. با توجه به این‌که وقوع آتش‌سوزی جنگل‌ها متأثر از عوامل مختلفی می‌باشد، به همین جهت این مقاله به بررسی روش‌های پایش و پیش‌بینی آتش‌سوزی نواحی رویشی ایران و جهان پرداخته است. بررسی تحقیقات انجام‌شده در ایران نشان‌دهنده این است که مطالعات مربوط به آتش‌سوزی در کشور ما از روش تحلیل سلسله‌مراتبی برای وزن‌دهی به فاکتورهای مؤثر و سیستم اطلاعات جغرافیایی در وقوع آتش‌سوزی جنگل‌ها استفاده شده است. در برخی مطالعات دیگر، از رگرسیون و الگوریتم درخت تصمیم‌گیری برای انتخاب متغیرهای مؤثر در آتش‌سوزی و همچنین مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی استفاده شده است و در روش‌های پیشرفته‌تر از تلفیق سیستم استنتاج فازی و شبکه عصبی، هوش مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های آتی بکار رفته است. همچنین در تحقیقات اخیر به بررسی محصولات آتش‌فعال تصاویر ماهواره و سنجش از دور پرداخته شده است، لازم به ذکر است استفاده از تصاویر محصول آتش در ایران از جمله تحقیقات نوپا محسوب می‌شود. که مزیت آن نسبت به روش‌های دیگر این است که در عین ارزان بودن، بسیار سریع نیز هستند، و نتایج حاصل از آن نیز قابلیت به روز شدن بالاتری دارند. نتایج بررسی‌های انجام‌شده در کشورهای دیگر نشان می‌دهد که اغلب نوع پوشش گیاهی، شیب، جهت جغرافیایی، فاصله از جاده‌ها، توپوگرافی و کاربری اراضی، مؤثرترین عوامل در پایش وقوع حریق جنگل‌ها بوده‌اند و ادغام لایه‌ها معمولاً بر اساس سلسله‌مراتب و ضریب خطر در وقوع آتش‌سوزی انجام شده. و همچنین از شاخص‌هایی که مؤثر از عوامل محیطی و اقلیمی می‌باشد در پایش و پیش‌بینی آتش‌سوزی به کار گرفته‌اند، از فعالیت‌های قابل ذکر دیگر کشورها، تهیه نقشه پایش و پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های فعال به جهت شناسایی به موقع آتش‌سوزی با تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های طیفی مناسب می‌باشد که نتایج مطلوبی را به منظور تصمیم‌گیری بهینه برای اطفاء و جلوگیری از این بلیه همراه داشته است. پژوهشگران در تحقیقات اخیر به بررسی ارزیابی شاخص پایش آتش‌سوزی پرداختند و شاخص سیستم رتبه‌بندی خطر آتش‌سوزی ایالات متحده نسبت به دیگر روش‌های مشابه در پایش آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع را به عنوان شاخصی جامع و مطلوب مطرح کردند.

کلید واژه‌ها: آتش‌سوزی، پیش‌بینی، گسترش آتش‌سوزی، مدل‌های آتش‌سوزی، مرور

مقدمه

توجه به اهمیت مسأله وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها، تاکنون پژوهش‌های مختلفی در این زمینه در مناطق جنگلی جهان انجام شده است. سازمان خدمات جنگل‌داری کانادا بیش از ۷۵ سال است که تحقیقات آتش‌سوزی جنگل را به صورت گسترده‌ای انجام می‌دهد (Lee et al. 2002). مطالعات مربوط به آتش در ایران از سال ۱۳۸۸ آغاز شد (کاظمی، ۱۳۸۶) و به دنبال آن پژوهشگران دیگری مطالعاتی را در زمینه آتش‌سوزی در جنگل‌ها و تاثیر آن بر پوشش گیاهی با مشاهدات زمینی انجام دادند (اترکچای، ۱۳۷۹) و مطالعه پژوهشگران ادامه یافته تا نتیجه مطلوب یعنی پیش‌بینی به هنگام حریق جنگل‌ها و مراتع حاصل آید.

این مطالعه به منظور بررسی و تحلیل روش‌های مختلف پایش و ارزیابی خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های جهان و ایران انجام شده است. ابتدا مطالعات مربوط به پایش و پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی در جهان و ایران به صورت دسته بندی بیان می‌شود که در دسته بندی مقالات اخیر ذکر می‌شود، بیشتر مقالات به بررسی پتانسیل حریق جنگل‌های درزمینه استدلال فازی بوده‌است، سپس بحث و بررسی پژوهش‌ها انجام شده و در انتها نتیجه‌گیری و پیشنهاد لازم ارائه می‌گردد.

روش‌های پایش و پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی جنگل‌ها

پژوهش‌های انجام شده بر اساس تصاویر ماهواره ای و الگوریتم طبقه بندی

تصاویر ماهواره ایی از ابزارهای مهم و موثر در شناسایی آتش‌فعال در دنیا هستند، در مطالعه ای (Giri, 2000) عوامل و منابع آتش‌سوزی جنگل در سال ۱۹۹۸ در پناهگاه حیات وحش HuayKhaKhaeng تایلند را با استفاده از تصویر ماهواره‌ای TM بررسی کردند. سپس مناطق سوخته با استفاده از تصویر TM مشخص شدند. برای ارزیابی صحت و اثرات آتش‌سوزی، چندین قطعه نمونه با استفاده از GPS در مناطق سوخته و

بلاهای طبیعی از وقایع طبیعی غیرقابل پیش‌بینی و غیر قابل کنترل محسوب می‌شوند که فعالیت مردم را تهدید (Cencerrado et al. 2012) در این میان آتش‌سوزی جنگلی از جمله بلاهایی است که سالانه منجر به وقوع خسارات فراوانی در سطح جهان می‌شود. این پدیده تاثیرات مخربی بر پویایی جنگل و امنیت عمومی دارد (Roman et al. 2013) به طوری که میانگین سالانه حریق در جنگل‌های جهان شش تا چهارده میلیون هکتار تخمین زده شده است (Encinas et al. 2007) اگرچه آتش‌سوزی‌های جنگلی جزء جدایی‌ناپذیر از پدیده‌های اکوسیستم هستند، اما عدم کنترل آن‌ها خسارات‌های بسزایی بر اقتصاد و محیط زیست وارد می‌کند (جانباز و همکاران، ۱۳۹۳)

با روند افزایشی حریق جنگل‌ها و خسارات ناشی از آن، توسعه روش‌های مؤثر مقابله با آن ضروری به نظر می‌رسد (Alexandridis et al. 2008). برای کاهش خسارات ناشی از آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع نیاز به ارزیابی خطرات آتش‌سوزی می‌باشد (Mutlu et al. 2008).

وقوع آتش‌سوزی‌های مکرر در مناطق مختلف ایران، پژوهشگران منابع طبیعی را بر آن داشته است تا پژوهش‌های جدیدی در عرصه‌های با ارزش جنگلی و پوشش‌های گیاهی انجام دهند، تا حتی‌الامکان از بروز و گسترش آتش‌جلوگیری به عمل آورند. سیاست‌های مقابله با حریق را می‌توان به دو دسته فعالیت‌های پیش‌گیرانه و عملیاتی تقسیم نمود. اهمیت فعالیت‌های پیش‌گیرانه از حریق از آن جهت است که می‌توان با استفاده از آن‌ها قبل از وقوع حریق، اقدامات پیش‌گیرانه از جمله، اطلاع‌رسانی‌های لازم را برنامه‌ریزی نمود. از طرف دیگر در صورت بروز آتش‌سوزی در جنگل‌ها، فعالیت‌های عملیاتی اهمیت پیدا می‌کنند. در این مقاله، روش‌های شناسایی به موقع آتش‌سوزی و پایش آن در ایران مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

امروزه پدیده آتش‌سوزی در عرصه‌های جنگلی به‌عنوان یکی از بلاهای طبیعی بخش وسیعی از جنگل‌های جهان را مورد تهدید قرار داده است. با توجه به اثرات مخرب آتش‌سوزی بر جنگل، انجام تحقیقاتی که با استفاده از روش‌های نوین بتوانند آتش‌سوزی را پیش‌بینی کنند، بسیار ارزشمند است، با

(et al. 2019) اشاره کرد. که به بررسی و صحت سنجی عملکرد الگوریتم های توسعه یافته پرداختند و نتیجه مشابهی دریافت نمودند.

تحقیقاتی بر اساس الگوریتم جهانی کشف آتش با استفاده از شاخص طیفی

شاخص های طیفی تبدیل های ریاضی هستند که بر اساس باندهای مختلف سنجنده تعریف می شوند و برای ارزیابی و بررسی گیاهان در مشاهدات ماهواره‌های چند طیفی و یا فرا طیفی طراحی شده اند. در مطالعاتی که (Escuin et al. 2008) شاخص های NBR² و NDVI برای ارزیابی شدت آتش سوزی در تصاویر TM و ETM+ برای سال ۲۰۰۳ در جنوب اروپا مورد ارزیابی قرار دادند. به این منظور سه منطقه آتش سوزی در جنوب اروپا مورد مطالعه قرار گرفت که در مرحله اول تشخیص و تعیین شاخص حساس شدت سوختگی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت سپس ظرفیت شاخص در تصاویر یک و چند زمانه قبل و بعد از آتش سوزی به جهت تعیین سطح سوختگی مورد بررسی قرار گرفت.

پژوهشگران از این مطالعات مناسب ترین روش را برای شدت آتش سوزی بر اساس اختلاف مقادیر شاخص NBR به سوخته و نسوخته تقسیم بندی نمودند (Bisquert et al. 2012). با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی و رگرسیون لجستیک به پیش بینی خطر آتش سوزی جنگل در گالیسیا پرداختند، ایشان از تصاویر MODIS برای نظارت بر وضعیت پوشش گیاهی و به دست آوردن دمای سطح زمین به عنوان ورودی های اساسی در مدل های خطر آتش سوزی جنگل استفاده کردند، در نهایت طبقه بندی آتش سوزی منطقه مورد مطالعه به سه سطح خطر طبقه بندی نمودند.

(feng et al. 2020) مطالعاتی در جهت شناسایی عوامل محرک آتش سوزی در جنگل ها و تأثیرات مرتبط با آن با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی انجام دادند به این منظور شش منطقه جغرافیایی در چین از مدل جنگل تصادفی و

نسوخته برداشت شد. نتایج دقت طبقه بندی ۸۸/۳ درصد را برای مناطق سوخته نشان داد.

در مطالعه ای دیگر (Arnett et al. 2015)، استفاده از سنجش از دور به مقایسه ای مختلف پرداخته اند. در این پژوهش با استفاده از تصاویر Landset و RapidEye، ارزیابی آتش سوزی در جنگل های جنوب کانادا صورت گرفته و نقشه ی خطر آتش سوزی و همچنین همبستگی بین آتش سوزی و نوع پوشش به دست آمد. ایشان با بررسی تحقیقات انجام گرفته دریافتند که بیشتر مطالعات برای ارزیابی قابلیت آتش سوزی به عامل های محیطی مختلف و اختصاص وزن مناسب به آنها بستگی دارد؛ (سرکارگر اردکان و همکارانش، ۱۳۸۹) دقت مکانی و زمانی سنجنده MODIS را مورد بررسی و ارزیابی قرار داد، از آتش های کشف شده قبلی این سنجنده بهره گرفت و با تعیین بیضی خطا برای این نقاط، دقت آن ارزیابی و برآورد نمود به این منظور تعداد ۵۱۲۷ نقطه آتش سوزی مربوط به ۲۰ چاه نفت در جنوب ایران را مورد مطالعه قرار داد؛ نتیجه حاصل بیانگر این نکته بود که دقت نقاط آتش های آشکار شده در جهت حرکت ماهواره بیشتر است. علاوه بر این، بیشترین آشکارسازی در ساعت ۱۸ الی ۱۹ و کمترین آشکارسازی در ساعت ۹ الی ۱۰ صبح به وقت گرینویچ اتفاق می افتد. همچنین با بررسی ماهیانه آتش های ثبت شده به وسیله سنجنده MODIS مشخص گردید که بیشترین آشکارسازی مربوط به نیمه اول سال یعنی ماه های فروردین تا مهر است. (آذری و محمدرزاده، ۱۳۹۸) در پژوهشی، توسعه و بهبود الگوریتم بویان^۱ و مقایسه آن با برخی الگوریتم های آشکارسازی آتش با استفاده از تصاویر سنجنده مادیس مورد بررسی قرار داد. به این منظور علاوه بر الگوریتم توسعه یافته، الگوریتم های بویان در سال ۲۰۰۷، لینگلی وانگ در سال ۲۰۰۸ و جینگ وانگ در سال ۲۰۱۱ برای منطقه جنگلی استان گلستان بومی سازی و پیاده سازی شده اند. نتایج بیانگر برتری عملکرد الگوریتم توسعه یافته در منطقه مطالعاتی بود. از جمله تحقیقات دیگری که در این زمینه صورت گرفته است می توان به (آخوندزاده و همکاران، ۱۳۸۵) و (Campanolo

² Normal burn ratio

¹ Alforithms byuan

نسبت به حوزه تأثیر گرمباد، کمتر است. بیشتر تابش‌های خورشیدی صرف بالا رفتن دما در اطراف تاج پوشش شده و زمینه لازم برای تبخیر بیشتر از پوشش گیاهی و ایجاد تنش‌های حرارتی در اندام‌های پوشش گیاهی فراهم می‌شود. و این امر پتانسیل آتش‌سوزی در نواحی رویشی بالا می‌برد.

مطالعاتی با استفاده از سنجش از دور^۱ و سامانه اطلاعات جغرافیایی^۲:

در ابتدا، (Crofts, 1998) یک برنامه مدیریتی برای آتش‌سوزی جنگل‌های کاجی در پارک ملی Pukaskwa کانادا با استفاده از GIS ارائه کرد.

به همین جهت سطح پارک به سه منطقه آتش‌سوزی تقسیم نمود و راهکارهایی برای جلوگیری و مدیریت آتش‌سوزی جنگل در هر منطقه ارائه نمود. نتایج این بررسی نشان داد که دانش به‌روز، سیاست قوی و مراقبت‌های مأمورین، نقش مهمی در جلوگیری و مدیریت آتش‌سوزی دارد.

سپس (Saidi, 1999) مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی آتش‌سوزی جنگل‌های kounteidat الجزیره را مورد مطالعه قرار داد. به همین منظور مدل‌های شبیه‌سازی متاثر از سرعت و جهت باد و پوشش گیاهی و داده‌های توپوگرافی با GIS مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل گسترش آتش‌سوزی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به شکل چند ضلعی است و نسبت به سایر مدل‌ها با شکل طبیعی هم‌خوانی بیش‌تری دارد. زیرا همه عوامل موثر در گسترش آتش‌سوزی جنگل در آن لحاظ شده است.

در مطالعه‌ای دیگر، (Bin Awang & Pradhan, 2006) مناطق مستعد آتش‌سوزی جنگل در منطقه Kuala Selangor مالزی را با استفاده از RS و GIS بررسی کردند. به همین جهت از داده‌های سنجنده AVHRR از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ استفاده نمودند. نقشه‌های پوشش گیاهی و شاخص^۳ NDVI از تصویر ETM ماهواره لندست ۷ به دست آمد.

مجموعه داده MODIS استفاده نمودند. نتایج نشان می‌دهد تفاوت‌های منطقه‌ای واضح در عوامل محرک آتش‌سوزی جنگل‌ها و تأثیرات آنها در چین وجود دارد. دقت پیش‌بینی بین ۷۰٪ تا ۹۱٪ است. همچنین مطالعات دیگری در این زمینه توسط (ML Campagnolo et al. 2019) و (Somnath, 2020) انجام شد. (پورشکوری اله ده، ۱۳۹۲) سه محدوده آتش‌سوزی در پارک ملی گلستان، به کمک GPS برداشت و به عنوان واقعیت زمینی در تحقیق استفاده شد. تمامی تصاویر سنجنده MODIS از روز و روزهای قبل و بعد از آتش‌سوزی از دو ماهواره Terra و Aqua دریافت گردید. نتایج نشان داد که تصاویر MODIS قابلیت بالقوه‌ای برای شناسایی آتش در جنگل‌های شمال را دارند اما روش الگوریتم جهانی موفق به شناسایی درصد بالایی از آتش‌ها نشد. (فرخ پور شکوری اله ده و همکارانش، ۱۳۹۲) پژوهشی با عنوان " کارایی تصاویر سنجنده MODIS و الگوریتم جهانی کشف آتش برای شناسایی آتش فعال در جنگل‌های زاگرس به انجام رساندند. در این پژوهش مشخصه‌های ۲۰ مورد از آتش‌هایی که از اوایل خردادماه تا اواخر شهریورماه سال ۱۳۸۹ که در ناحیه جنگل‌های اطراف شهرستان مریوان گزارش شده بود، به عنوان داده‌های واقعی در نظر گرفت و سپس با آتش‌های شناسایی شده از تصاویر مقایسه شد، و در آخر ۶ مورد از آتش‌ها با وسعت کم شناسایی شدند و هم پوشانی داشتند یعنی ۳۰٪ درصد آتش‌ها شناسایی شدند، در انتها با توجه به نتایج بیان داشتند؛ تصاویر سنجنده MODIS پتانسیل بالقوه خوبی در شناسایی آتش‌ها در جنگل‌های ناحیه رویشی زاگرس دارند. (کیخسرو ی و همکارانش، ۱۳۹۹) بررسی پدیده گرمباد در رشته کوه‌های البرز غربی و تأثیر آن بر میزان تنش‌های حرارتی ایجاد شده در پوشش‌های گیاهان با استفاده از تصاویر لندست ۸، مورد بررسی قرار دادند. اثر حوزه نفوذ پدیده گرمباد در این دامنه‌ها باعث افزایش تابش دریافتی بین مقادیر ۶۰۰ تا ۷۰۰ وات بر مترمربع گردیده است. در مقابل، در دامنه‌های رو به باد (دامنه‌های غربی) میزان تابش خالص دریافتی در پایین دست دامنه حدود ۷۵ و در ارتفاعات ۱۵۰ وات بر مترمربع

³ NIDVI: Normalized Difference Vegetation Index

¹ Remote Sensing

² Geographic Information System

در مناطق حفاظت شده مانشت و قلازنگ استان ایلام ارائه شد. ایشان نقشه فاکتورهای مورد نیاز برای پهنه‌بندی خطر وقوع آتش‌سوزی را با استفاده از سنجش از دور به هفت واحد عملیاتی تقسیم کردند تا هنگام وقوع آتش بتوان مورد بررسی قرار دهند. نتایج نشان داد که تلفیق نقشه‌های پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی و واحد عملیاتی، راهنمای مفیدی برای مدیریت بحران آتش‌سوزی است و RS و GIS کارایی زیادی در این زمینه دارند. (نجفی و همکاران، ۱۳۹۴) در تحقیقی با عنوان مدل‌سازی و تهیه نقشه خطر وقوع آتش سوزی جنگل با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منطقه باغ شادی یزد پرداختند. در این مطالعه از مدل تحلیل سلسله مراتبی و معیارهای فیزیوگرافی شامل ارتفاع، شیب و جهن شیب، اقلیم شامل دو زیرمعیار دما و بارش، عوامل انسانی شامل دو زیرمعیار فاصله از جاده و فاصله از مناطق مسکونی و معیار گیاهی شامل زیرمعیار تراکم پوشش استفاده شد. میزان تراکم پوشش منطقه با استفاده از شاخص گیاهی نرمال شده NDVI از تصاویر سنجنده OLI ماهواره ای لندست ۸ به دست آمد. در این تحقیق برای صحت سنجی مدل از تطابق نقشه ساخته شده با پهنه های آتش گرفته گذشته استفاده شده که طبقات پرخاطرهمپوشانی با نقاط آتش گرفته گذشته داشته است.

(حامدی و همکارانش، ۱۳۹۸) به بررسی تغییرات پتانسیل خطر آتش سوزی در جنگل های زاگرس شهرستان لردگان پرداختند. به این منظور بعد از دریافت لایه های رقومی و داده های مورد نیاز از سازمان های مرتبط و برداشت های میدانی در منطقه ی لردگان تهیه شد. پس از آماده سازی داده ها و در نظر گرفتن آتش سوزی های رخ داده، با فازی سازی لایه ها از روش تحلیل شبکه ای و روش میانگین وزنی مرتب استفاده نمودند. از بین شش سناریوی اعمال شده، سناریوی سطح ریسک پایین و مقدار اندک جبران به منزله ی بهترین مدل برای پیش بینی خطر آتش سوزی جنگل برآورد گردید. در مطالعه ای دیگر (امامی و شهریار، ۱۳۹۸) به کمی سازی عوامل محیطی و انسانی در وقوع و گسترش آتش سوزی جنگل در منطقه جنگلی ارسباران پرداختند. آنها با ترکیب

سایر داده‌ها (شیب، جهت و ارتفاع) با استفاده از GIS استخراج شدند. مناطق مستعد آتش‌سوزی جنگل با استفاده از فاکتورهای مؤثر در آتش‌سوزی جنگل، با روش حداکثر احتمال طبقه‌بندی شدند. از این پژوهش دریافتند که به دلیل هم‌خوانی مناطق پرخاطر آن با مناطق آتش‌سوزی گذشته، مدل از صحت ارزیابی بالایی برخوردار است. (Bentekhici, 2020) برای تهیه نقشه خطر جنگل الجزایر با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی پژوهشی انجام داد ۱۶۰۰ آتش سوزی را در طول دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ ثبت کرد. با نقشه برداری از توده جنگلی Tlemcen منطقه بندی خطر آتش سوزی جنگل ها را انجام داد. برای رسیدن به این هدف بر اساس روش تجزیه و تحلیل چند معیار^۱ AHP با ترکیبی سلسله مراتبی از شش پارامتر، زیست محیطی، توپوگرافی و انسانی و همچنین طبقه بندی این پارامترها با توجه به حساسیت آنها در برابر آتش سوزی به عنوان داده های سنجش از دور و GIS به کار گرفتند. نتایج به دست آمده پنج کلاس خطر را ارائه داد. اعتبارسنجی این نتایج با استفاده از تجزیه و تحلیل چند زمانی تصاویر ماهواره ای از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ فضاهای سوخته شناسایی شده در نقشه خطر آتش سوزی انجام شده است. (Çolak & Sunar, 2020) به ارزیابی خطر آتش سوزی جنگل های مدیترانه در ازمیر برای (۲۰۰۲-۲۰۱۸) پرداختند، برای این منظور، داده های سنجش از دور چند زمانی به دست آمده قبل از آتش سوزی با داده های جانبی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای ارزیابی الگوهای مکانی و زمانی خطر آتش سوزی جنگل در منطقه مندرس، ازمیر ادغام شد. طبق این مدل، ۲۲/۰۰٪ منطقه سوخته شده، منطقه پر خطر شناخته شده است، در حالی که ۷۷/۵۰٪ به عنوان منطقه با خطر متوسط شناخته شده است. این مدل با همپوشانی ۲۹۲ فقره آتش سوزی به دست آمده است که بین سال های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ بر روی نقشه خطر آتش سوزی NASA-FIRMS تأیید شده است.

در مطالعه ی (منصوری و همکاران، ۱۳۹۰) برنامه‌ای را برای مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل با استفاده از RS و GIS

¹ Analytical Hierarchy process

داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی از باند های انعکاسی و حرارتی تصاویر ماهواره ای لندست ۸ و مدل رقومی ارتفاع زمین و همچنین سرعت و جهت باد و پوشش گیاهی و دما و شیب و جهت شیب و مناطق مسکونی و نزدیکی به جاده به عنوان عوامل طبیعی و انسانی به کار گرفتند، نتایج نشان دادند که پوشش گیاهی با ۵۸/۳۶ درصد هم بستگی، شیب با مقدار ۳۸/۳۸ درصد دارای بالاترین تأثیر قرار دارند. همچنین نتایج نشان داد که به ترتیب شاخص های پوشش گیاهی، دمای سطح زمین، جهت شیب و شیب بالاترین میزان هم بستگی با نقشه خطر وقوع آتش سوزی را دارند. همچنین، نتایج ارزیابی نقشه پتانسیل آتش سوزی با ریسک ۵۰ درصدی نشان داد که حدود ۱۷٪ منطقه دارای پتانسیل خیلی زیاد بوده و بیش تر از ۵۰ درصد منطقه در وضعیت خطر زیاد برای آتش سوزی قرار دارد. بررسی ارتباط عوامل انسانی با خطر آتش سوزی نشان داد که عامل نزدیکی به جاده بیش ترین سهم را در ایجاد وقوع آتش سوزی در منطقه دارد. نتایج کمی عوامل انسانی در وقوع خطر آتش سوزی نشان داد که راه های ارتباطی و مناطق مسکونی به ترتیب حداقل ۳۲ درصد و حداکثر ۶۸ درصد هم پوشانی با خطر وقوع آتش سوزی در منطقه مطالعاتی را دارا هستند.

مدل‌سازی آتش‌سوزی جنگل بر مبنای

رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی:

در این زمینه تحقیقات و پژوهش های زیادی انجام شده، از اولین پژوهش ها در زمینه خطر آتش سوزی جنگل های با استفاده از شبکه عصبی میتوان به مطالعه (Chuvieco, 1999) اشاره نمود. از نظر ایشان خطر آتش سوزی را می توان از مقیاس های مختلف زمانی و مکانی در نظر گرفت. بدین منظور با استفاده از چندین متغیر مربوط به وقوع آتش سوزی در یک سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS روش های فعلی را برای نقشه برداری از روند آتش سوزی در دراز مدت را بررسی کرد. در پژوهشی دیگر et al (Rollins al. 2004) یک روش ترکیبی را برای پیش‌بینی رژیم‌های آتش‌سوزی جنگل در شمال غربی Montana آمریکا با استفاده از نمونه‌برداری زمینی گسترده، سنجش از

دور، شبیه‌سازی بوم‌سازگان و مدل‌سازی شیب بیوفیزیکی ارائه دادند. نقشه‌های مختلف با استفاده از مدل‌های خطی، رگرسیون لجستیک و رگرسیون درختی تهیه شدند. نتایج نشان داد که روش مورد استفاده تحت عوامل مختلف اقلیمی، بر اساس شرایط بالقوه آینده قابل به‌روزرسانی است و صحت این نقشه‌ها بین ۵۱ تا ۸۰ درصد است. همچنین et al (Jurdao 2012) احتمال وقوع آتش‌سوزی را از برآوردهای ماهواره‌ای میزان رطوبت سوخت زنده در مناطق مدیترانه‌ای مدل‌سازی کردند. داده‌های میزان رطوبت سوخت زنده از سنجنده AVHRR و داده‌های آتش‌سوزی از محصول آتش سنجنده MODIS تهیه کردند. از آزمون‌های آماری ناپارامتری، درخت طبقه‌بندی و مدل رگرسیون لجستیک استفاده نمودند. نتایج نشان داد که میزان رطوبت سوخت زنده در یک هفته قبل از شناسایی آتش‌سوزی، مهم‌ترین متغیر تأثیرگذار در آنالیزهای آماری بوده و مهم‌ترین متغیر برای برآورد احتمال بروز آتش‌سوزی در مدل مدیترانه‌ای محسوب می‌شود

(Eskandari&Chuvieco, 2015) خطر آتش‌سوزی در پوشش‌های گیاهی ایران را ارزیابی کردند. بدین‌منظور ارزیابی خطر در دو بخش احتمال خطر وقوع با استفاده از رگرسیون لجستیک و احتمال گسترش آتش‌سوزی انجام شد. برای ارزیابی مدل‌ها از محصول آتش سنجنده MODIS در یک دوره ۱۲ ساله (۲۰۱۳-۲۰۰۲) و مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مدل رگرسیون لجستیک ۷۲/۷ درصد از احتمال وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع ایران را به‌درستی پیش‌بینی کرده است. همچنین بر اساس مدل Flammap، مناطق با احتمال زیاد گسترش آتش‌سوزی با مناطق آتش‌سوزی گذشته، ۶۸/۰ درصد هم‌خوانی داشتند

(Zhongke Feng et al. 2019) مقاله‌ای با عنوان پیش‌بینی آتش‌سوزی در جنگل در منطقه گوانگشی، چین با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و ماشین‌های بردار پشتیبان ارائه دادند، آنها برای ساخت مدل‌های پیش‌بینی آتش‌سوزی در جنگل‌ها از شبکه‌های عصبی انتخاب ویژگی و پس‌اب ریزشی و SVM شعاعی استفاده کردند. نتایج به دست آمده تأیید می‌کند که مدل شبکه عصبی می‌تواند دقت پیش‌بینی

۰/۸۹۰، ۰/۹۱۷ و ۰/۹۵۳ بودند... (عالی محمودی سراب و فقیهی، ۱۳۹۷) در پژوهشی به تعیین معیارهای موثر بر وقوع آتش سوزی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و شبکه عصبی مصنوعی در عرصه های منابع طبیعی چهار شهرستان از استان گلستان پرداختند. برای تهیه شبکه بین معیارهای استفاده شده و وقوع آتش سوزی از شبکه ای با تابع هیپربولیک استفاده شد. نتایج نشان داد که میزان بارندگی و فاصله از جاده بیشترین نقش را در وقوع آتش سوزی ایفا می کنند. نتایج نشان داد که الگوریتم پرسپترون چندلایه و تابع هاپربولیک در ایجاد ارتباط بین داده های مورد استفاده و وقوع آتش سوزی کارا بوده و شبکه، مدلی با ۲ لایه مخفی و ۱۲ نرون بهترین صحت را نشان داد و همچنین میزان ضریب همبستگی ۰/۸۰ بود. (ویدامنش و همکارانش، ۱۳۹۷) به پژوهشی با عنوان مقایسه قابلیت کاربرد دو روش رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی در پهنه بندی حساسیت آتش سوزی عرصه های جنگلی و مرتعی استان مازندران پرداختند، از این رو ۱۴ متغیر مستقل محیطی جهت تعیین پاسخ به نقاط فعال آتش سوزی سنجنده مادیس استفاده گردید. این متغیرها در روش های داده مبنای رگرسیون لجستیک و شبکه های عصبی استفاده شد. نتایج نشان داد که هر دو روش از دقت بالایی در تشخیص نقاط فعال حریق سنجنده مادیس برخوردار هستند که روش شبکه عصبی از تشخیص بالاتری با ۸۸ درصد برای نمایش مناطق با حساسیت بالا نسبت به روش رگرسیون لجستیک با حدود ۸۵ درصد برخوردار است. ضریب همبستگی بین دو روش نشان داد که ۰/۹۷ پهنه های حساسیت در دو روش نسبت به هم یکسان هستند.

(پرینان و کمالی، ۱۳۹۸) در مطالعه ای عوامل هواشناس را در پیش بینی وقوع حریق با استفاده از روش های شبکه عصبی مصنوعی و تحلیل همبستگی برای سال (۱۳۹۱ الی ۱۳۹۶) مورد بررسی قرار داد. برای ایجاد شبکه بین متغیرهای مستقل و تعداد وقوع آتش سوزی از تابع هاپربولیک استفاده شد. نتایج حاصل بیانگر این بود که روش شبکه عصبی برای پیش بینی وقوع حریق با استفاده از داده های سینوپتیکی نسبت به روش رگرسیون مناسب ترمی باشد. نتایج اعتبار سنجی نشان

بیشتری نسبت به ماشین های بردار پشتیبانی فراهم کند. Kose و Hanefi Calp (2020) با هدف استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی برای تخمین مناطق سوخته در آتش سوزی های جنگل به تحقیق و مطالعه پرداختند. برای تخمین مناطق سوخته از یک مدل شبکه عصبی backpropagation feed-forward استفاده کردند. آنها با در نظر گرفتن مقادیر رگرسیون، میانگین درصد خطا مطلق (MAPE) و میانگین مربعات خطا^۱ (MSE)، ارزیابی عملکردی را نسبت به مدل پیشنهادی انجام داده اند، نتایج نشان داد که این مدل از نظر تخمین مناطق سوخته کارآمد است. مدل شبکه عصبی مصنوعی پیشنهادی دارای میزان خطای کم و دقت برآورد بالایی است. برای تخمین مناطق سوخته در جنگل ها از روش های سنتی موثرتر است.

(کارگر و جعفریان، ۱۳۹۵) با هدف مقایسه مدل های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی در پیش بینی خطر آتش سوزی جنگل ها و مراتع استان مازندران مطالعاتی را انجام دادند. به این منظور، از داده های آتش سوزی شامل سطح سوخته شده و تعداد وقوع آتش سوزی و هم چنین از داده های هواشناسی در یک دوره ۷ ساله (۱۳۸۵-۱۳۹۱) استفاده شد. نتایج این تحقیق حاکی از توانایی شبکه عصبی در پیش بینی وقوع آتش سوزی بود و هم چنین شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی آتش سوزی در جنگل ها نسبت به روش رگرسیون خطی یک روش سریع و قابل اطمینان بود. (پهلوانی و همکارانش، ۱۳۹۷) روشی برای تعیین فاکتورهای بهینه موثر در آتش سوزی جنگل گلستان، از ترکیب الگوریتم ژنتیک با روش رگرسیون تطبیقی چندمتغیره ارائه کردند. با استفاده از این فاکتورهای بهینه و بکارگیری اتوماتای سلولی و شبکه عصبی مصنوعی، اقدام به شبیه سازی گسترش آتش سوزی جنگل گلستان کردند. از نتایج این تحقیق دریافته اند، بهترین دقت برای شبیه سازی آتش سوزی منطقه مورد مطالعه در تاریخ ۲۶ آبان ۱۳۸۹ با فیلتر همسایگی ۳×۳ و توان تفکیک مکانی ۳۰ متر می باشد. در این حالت شاخص کاپا، شاخص عامل نسبی و دقت کلی به ترتیب برابر با

1 mean absolute percentage error

2 Mean squared error

GIS به‌عنوان ابزاری مؤثر در پیش‌بینی این‌که آتش‌سوزی در چه مکان و زمانی رخ می‌دهد، بسیار زیاد بود. Kant (Sharma et al. 20112) در مقاله با عنوان مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی در جنگل با روش تحلیل سلسله‌مراتبی به مطالعه پرداخت. الگوی روش استفاده شده در این مطالعه بر اساس تکنیک‌های مبتنی بر بنیاد دانش و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به‌رگیری شد. نتایج نشان داد که الگوی استفاده شده با آتش‌سوزی‌های سال‌های گذشته مطابقت دارد.

(اسکندری، ۲۰۱۷) برای مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های بخش سه‌نکا - ظالم‌رود از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی در قالب تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده نمود. عوامل مورد استفاده شامل چهار معیار اصلی و ۱۷ زیرمعیار بود. نتایج نشان داد که وزن نهایی معیارهای انسان‌ساخت، بیولوژیکی، اقلیمی و توپوگرافی در قابلیت خطر آتش‌سوزی به‌ترتیب برابر با ۳۰۱/۰ و ۲۵۹۵/۰ و ۲۰۸/۰ بود. نتایج نشان داد که مناطق پرخطر آتش‌سوزی در نقشه با مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته تطابق زیادی داشت که نشان‌دهنده اعتبار و صحت زیاد مدل ساخته شده بود. در همین راستا می‌توان به پژوهش‌های (سلامتی و همکاران، ۱۳۹۰) و (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰) و همکاران، ۱۳۸۹) اشاره کرد. که از روش مدل‌سازی و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی به‌ر گرفته شد.

(Pradhan et al. 2019) به ارزیابی خطر آتش‌سوزی در جنگل با رویکرد فناوری‌های فضایی پرداختند. در این مطالعه مروری بر روش‌های مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی برای مدل‌سازی آتش‌سوزی جنگل‌ها و شرایط بالقوه آنها در سراسر جهان می‌باشد، آنها را به چهار دسته کلی تقسیم می‌کند: الف) مدل‌های آماری و داده‌محور. ب) مدل‌های یادگیری ماشین؛ ج) مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، و د) مدل‌های گروه. نتایج نشان می‌دهد که روش‌های مبتنی بر داده بیشترین کاربرد را دارند در حالی که رویکردهای گروه دقیق‌تر هستند. در همین راستا (Rocha et al. 2019) مطالعاتی انجام دادند.

داد که در اجرای ۱۳ و تکرار ۱۵۰۰ بهترین شبکه بدست آمد. برای ایجاد شبکه بین متغیرهای مستقل و سطح سوخته شده نتایج اعتبارسنجی نشان داد که در اجرای ۱۰ و تکرار ۱۱۰۰ بهترین شبکه بدست آمد. همچنین می‌توان به پژوهش‌های (جعفری گل‌دراگ و همکارانش، ۱۳۹۵) اشاره کرد که مانند مقاله قبل از روش شبکه عصبی بهره‌گرفتند و نتیجه مشابه در یافت کردند.

مطالعاتی بر اساس مدل‌سازی خطر وقوع آتش‌سوزی با روش تحلیل سلسله‌مراتبی و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی:

اولین بار (Congalton & Chuvieco, 1989) نقشه مناطق بحرانی خطر وقوع آتش‌سوزی در سواحل مدیترانه اسپانیا را با استفاده از ترکیب داده‌های پردازش یافته تصویر TM و داده‌های دیگر در GIS تهیه کردند. نوع پوشش گیاهی، شرایط توده، شیب، جهت، ارتفاع، نزدیکی به جاده‌ها، مناطق مسکونی و مکان‌های کمپینگ را به عنوان عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی در نظر گرفتند، ادغام لایه‌ها بر اساس سلسله‌مراتب AHP صورت پذیرفت. نقشه مناطق بحرانی آتش‌سوزی با نقشه آتش‌سوزی به وقوع پیوسته، مقایسه شد. آنها دریافتند که ۲۲ درصد از پیکسل‌هایی که در مناطق پرخطر با داده‌های واقعی هم‌خوانی دارد، و ۳/۴۷ درصد از مناطق کم‌خطر با آتش‌سوزی‌های واقعی هم‌خوانی دارد.

در همین راستا (Vadrevu et al. 2010) خطر وقوع آتش‌سوزی جنگل در ایالت Andhra Pradesh هند را با استفاده از آنالیز چندمعیاره در قالب روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد که وزن فاکتورهای اقتصادی - اجتماعی، اقلیمی، پوشش گیاهی و توپوگرافی به‌ترتیب برابر با ۰/۳۱۲، ۰/۲۳۳، ۰/۲۵۵ و ۰/۲۰۴ بود. سپس نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی با پیکسل‌های آتش‌تصاویر ماهواره‌ای روی هم‌گذاری شد. هم‌خوانی مناطق خطر وقوع با پیکسل‌های آتش تا ۶۴/۴٪، اعتبار مدل ساخته شده را در شناسایی مناطق بحرانی نشان داد. او از این پژوهش نتیجه گرفت که قابلیت روش تصمیم‌گیری چندمعیاره همراه با

محیطی و انسانی با آتش سوزی های گذشته برای وزن دهی به عوامل موثر در آتش سوزی، مدل سازی خطر آتش سوزی و تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش سوزی استفاده شد. در مرحله سوم از مدل دانگ برای تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش سوزی استفاده گردید.

نتایج نشان داد که مناطق پرخطر آتش سوزی در نقشه پتانسیل خطر تهیه شده با روش همپوشانی تطابق بسیار زیادی با مناطق آتش سوزی گذشته دارد که نشان دهنده اعتبار بالای مدل ساخته شده با این روش می باشد. نتایج نهایی این تحقیق نشان داد که روش همپوشانی (با دقت ۹۰/۰)، تحلیل سلسله مراتبی فازی (با دقت ۸۰/۰) و دانگ (با دقت ۵۱/۰) به ترتیب بیشترین کارایی را در پیش بینی مناطق خطر آتش سوزی در جنگل های مازندران را داشته اند. همچنین بانج شفیی و همکارانش (۱۳۹۳) در پژوهشی نقشه نواحی با خطر زیاد آتش سوزی جنگل های سردشت براساس ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت، متوسط بارندگی سالانه، متوسط حداکثر دمای ماهانه، کاربری و پوشش اراضی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، فاصله از زمین های کشاورزی و تراکم جمعیت تهیه کرد. با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، وزن یا اهمیت نسبی هر یک عامل های مؤثر در وقوع آتش سوزی به دست آمد. سپس، براساس روش ترکیب وزنی نقشه های رقومی عامل های مؤثر در وقوع آتش سوزی، نقشه پهنه بندی خطر آتش سوزی تهیه شد. این نقشه براساس روش Jenks به پنج طبقه خطر آتش سوزی جنگل طبقه بندی شد. اعتبارسنجی نقشه خطر نشان داد که ۴۴/۹۸ درصد از مناطق آتش گرفته مشاهداتی در طبقه های خطر زیاد و خیلی زیاد قرار داشتند. غلامی و چراندابی (۱۳۹۸) در مطالعه ای به تهیه نقشه نواحی دارای خطر آتش سوزی جنگل بر پایه عوامل پوشش گیاهی، شیب، جهت شیب در بخشی از جنگل های ارسباران پرداختند. ابتدا با انجام عملیات میدانی و استفاده از عکس هوایی ماهواره landsat و سامانه موقعیت یاب جهانی GPS مناطق آتش سوزی شده تهیه گردید. سپس با بکارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) عوامل مؤثر در بروز و انتشار آتش سوزی به صورت زوجی مقایسه و

(Kumari et al. 2020) برای نقشه برداری از خطر آتش سوزی در جنگل در ذخیره گاه ببر پالامو، ایالت جارخند، هند از تجزیه و تحلیل تصمیم چند معیاره مبتنی بر ژئو انفورماتیک و تحلیل سلسله مراتبی استفاده نمودند. در این مطالعه، خطر آتش سوزی جنگل بر اساس عوامل مختلف آتش سوزی ارزیابی شد. تجزیه و تحلیل تصمیم چند معیاره مبتنی بر ژئو انفورماتیک^۱ (MCDA) از طریق روش تحلیل سلسله مراتبی که برای استخراج نقشه خطر آتش سوزی استفاده شد. نتایج نشان داد که مناطق مبتنی بر ژئو انفورماتیک در آتش سوزی جنگل که با استفاده از روش MCDA-AHP مشخص شده است با وقایع آتش سوزی جنگلی مطابقت خوبی دارند. (عالی محمودی سراب و همکاران، ۱۳۹۱) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و داده های آب و هوایی، به پیش بینی وقوع آتش سوزی در جنگل ها و مراتع شهرستان ایذه پرداختند. داده های آتش سوزی شامل سطح و تعداد آتش سوزی های به وقوع پیوسته بود. نتایج نشان داد که الگوریتم پرسپترون چندلایه و تابع هابربولیک در ایجاد ارتباط بین داده های آب و هوایی و وقوع آتش سوزی کارا بوده و در نهایت قدرت شبکه پیش بینی خطر وقوع آتش سوزی تعیین شد و ضریب تعیین ۰/۹۸ برای آن به دست آمد. (زرع کار و همکاران، ۱۳۹۲) نقشه پراکندگی فضایی خطر آتش سوزی در سه حوزه جنگلی در استان گیلان را با استفاده روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و تصمیم گیری چند معیاره و GIS تهیه کردند. نتایج نشان داد که ۶۶ درصد از کل نقاط بحرانی حریق با مناطق دارای خطر آتش سوزی زیاد و خیلی زیاد همپوشانی دارند که نشانه قابلیت بالای روش مطالعاتی جهت برآورد قابلیت آتش سوزی جنگل است. در این راستا می توان به مطالعه (اسکندری، ۱۳۹۳) با هدف ارزیابی سه روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، روش همپوشانی و مدل دانگ در تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش سوزی در جنگل های بخش سه نکا-ظالم رود اشاره کرد. در مرحله اول از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی همراه با مجموعه های فازی برای رتبه بندی و وزن دهی به عوامل موثر در آتش سوزی، مدل سازی خطر آتش سوزی و تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش سوزی استفاده شد. در مرحله دوم از روش همپوشانی بین زیرمعیارهای

وزن هر یک از عوامل که مبین میزان تاثیر آنها بود، محاسبه شد. نتایج نشان داد که ۹۰ درصد از مناطق آتش گرفته در پهنه‌هایی با خطر زیاد قرار دارند.

پژوهش‌هایی در راستای مدل-سازی وقوع و پایش آتش سوزی جنگل‌ها بر اساس اهمیت متغیرها و وزن دهی عوامل مختلف

مطالعات و پژوهش‌های فراوانی در این راستا انجام شده است، در ابتدا (Almedia, 1994) نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی از جنگل‌های پرتغال را بر اساس عوامل مختلف، تیپ رویشی، شیب، جهت جغرافیایی، فاصله از جاده‌ها و رودخانه‌های دائمی تهیه کرد. متغیرهای مورد نظر بر اساس ضریب خطر آتش‌سوزی طبقه بندی شدند و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند، نهایتاً پنج طبقه خطر برای منطقه به دست آمد. مناطق خطر وقوع آتش‌سوزی دارای شیب بیش از ۴۰ درصد، جهت بین ۱۳۵ تا ۲۲۵ درجه (غربی)، فاصله بیش از ۳۰ متر از رودخانه‌های دائمی بودند و اغلب پوشیده از درخت‌زار و بوته‌زار بودند. در تحقیق دیگری (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۴) مناطق پرخطر از نظر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های بخش سه نکا-ظالمرو در شمال ایران را با استفاده از مدل Dong پیش‌بینی کردند. پس از تهیه نقشه‌های همه فاکتورهای مؤثر، تمام لایه‌های رقومی مطابق مدل Dong طبقه‌بندی شدند. در نهایت نقشه پتانسیل آتش‌سوزی منطقه از روی هم‌گذاری وزنی نقشه‌های متغیرها بر اساس مدل Dong در GIS تهیه شد. نتایج نشان داد که ۵۱ درصد از مناطق آتش‌سوزی‌های واقعی در مناطق پرخطر و بسیار پرخطر قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده اعتبار متوسط مدل Dong برای پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های آینده در منطقه مورد مطالعه بود (Eskandari, 2015) رابطه بین عوامل اقلیمی و آتش‌سوزی در جنگل‌های استان گلستان را مورد بررسی قرار داد، نتایج تحقیق نشان داد که بین تعداد آتش‌سوزی‌های به وقوع پیوسته و متوسط درجه حرارت سالانه در سطح اطمینان ۹۵ درصد رابطه معنی‌داری وجود داشت؛ همچنین بین تعداد آتش‌سوزی‌ها و متوسط رطوبت نسبی سالانه در سطح

اطمینان ۹۹ درصد رابطه معنی‌داری وجود داشت، اما بین تعداد آتش‌سوزی‌ها و میانگین بارندگی سالانه ارتباط معنی‌داری وجود نداشت. از طرف دیگر، بین وسعت آتش‌سوزی‌های به وقوع پیوسته و متوسط رطوبت نسبی سالانه در سطح اطمینان ۹۵ درصد رابطه معنی‌داری وجود داشت، اما بین وسعت آتش‌سوزی‌ها با متوسط درجه حرارت سالانه و متوسط بارندگی سالانه ارتباط معنی‌داری مشاهده نشد.

(Miesel & Eskandari, 2017) سه روش مختلف وزنی را برای مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی در بخشی از جنگل‌های هیرکانی ایران ارزیابی و مقایسه کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که روش همبستگی مکانی فاکتورهای محیطی مؤثر در وقوع آتش‌سوزی با آتش‌سوزی‌های گذشته، بیش‌ترین دقت را در مدل‌سازی خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های هیرکانی ایران داشته است

(Zhiwei Wu et al, 2019) برای توصیف تأثیرات نسبی نه متغیر طبیعی و انسانی بر الگوهای آتش‌سوزی در پنج منطقه جنگلی در چین، از مدل درختان رگرسیون تقویت شده و مجموعه داده جهانی آتش‌سوزی MODIS (۲۰۰۳-۲۰۱۵) استفاده کردند.

نتایج نشان داد که، فراوانی آتش‌سوزی در منطقه جنگلهای پهن برگ همیشه سبز گرمسیری در جنوب چین بالاترین بود، و کمترین در ناحیه جنگل‌های مخلوط پهن برگ، ریز برگ و هوای گرم در شمال چین همچنین نتایج روند افزایشی در احتمال وقوع آتش‌سوزی را نشان می‌دهد.

(Thai Pham et al. 2020) در مطالعه‌ای به توانایی‌های شبکه یادگیری ماشین Naïve Bayes (BN)، Bayes (NB)، درخت تصمیم (DT) و رگرسیون لجستیک چند متغیره^۲ (MLP) را برای پیش‌بینی و حساسیت آتش‌سوزی در نقشه پارک ملی Pu Mat، Nghe پرداختند. روش مدل‌سازی بر اساس پردازش اطلاعات ۵۷ آتش‌سوزی تاریخی و مجموعه‌ای از نه متغیر توضیحی فضایی صورت گرفت نتایج نشان داد که این مدل‌ها در پاسخ به آموزش و تغییر مجموعه داده‌های اعتبار، به

۲۵ درصد مشاهده شد. نتایج آنالیز الگوی پراکنش نقاط در هر سه روش، الگوی کپه‌ای را تأیید کرد. همچنین نتایج نشان داد که الگوی K رایپلی در تعیین الگوی پراکنش نقاط آتش‌سوزی نسبت به دو روش دیگر برتری دارد. در نهایت نقشه تراکم خطر آتش‌سوزی با روش کرنل^۵ به دست آمد. (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۲) در مطالعه‌ای دیگر، کارایی مدل Dong را برای تعیین قابلیت خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های زرین‌آباد استان مازندران ارزیابی کردند. تمام لایه‌های رقمی با توجه به مدل Dong تهیه و طبقه‌بندی شدند. نتایج نشان داد که تقریباً ۴۰ درصد از محدوده آتش‌سوزی‌های گذشته در مکان‌هایی قرار گرفته‌اند که قابلیت بسیار زیاد یا زیاد برای آتش‌سوزی داشتند که نشان‌دهنده اعتبار متوسط مدل مورد استفاده است؛ در ادامه، اصلاح مدل مذکور انجام شد، نتایج نشان داد که تقریباً ۸۰ درصد از محدوده آتش‌سوزی‌های گذشته در مناطقی قرار گرفته‌اند که قابلیت بسیار زیاد یا زیاد برای آتش‌سوزی داشتند که نشان‌دهنده اعتبار قابل توجه مدل اصلاح‌شده برای منطقه مورد مطالعه بود. (عثمان زاده و همکارانش، ۱۳۹۳) به بررسی مهم‌ترین عوامل محیطی و فیزیوگرافی مؤثر بر فراوانی آتش‌سوزی جنگل‌های کرمانشاه در یک دوره شش ساله (۱۳۹۰-۱۳۸۵) پرداختند، نتایج نشان داد که بیشترین فراوانی آتش‌سوزی در کلاسه شیب ۶۵-۵۵ درصد، کلاسه ارتفاع از سطح دریا کمتر از ۱۴۰۰ متر، جهت جنوب و ماه‌های مرداد و تیر رخ داده است. همچنین بین ارتفاع و درجه حرارت با فراوانی آتش‌سوزی همبستگی معنی‌داری وجود داشته است. (پهلوانی و همکارانش، ۱۳۹۵) در پژوهشی فاکتورهای مؤثر بر آتش‌سوزی‌های جنگل گلستان شناسایی کردند. در این راستا، از روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی GWR در ترکیب با الگوریتم ژنتیک استفاده شد. آنها بیان داشتند که روش ترکیبی پیشنهادی روش مناسبی برای مسائل رگرسیون مکانی است به این منظور، از داده‌های سه آتش‌سوزی مختلف و دو روش وزن‌دهی گوسین و مکعبی سه‌گانه در GWR استفاده نمودند. نتایج تحقیقات نشان داد که هر دو دسته

اندازه کافی قوی هستند. علاوه بر این، نتایج نشان داد که سطح متوسط تا زیاد حساسیت به آتش‌سوزی با ۱۹٪ پارک ملی Pu Mat مرتبط است که فعالیت‌های انسانی در آن زیاد است. (José Vega-Nieva et al. 2020) با هدف پیش‌بینی الگوی فضایی وقوع آتش‌سوزی در سطح منطقه‌ای و ملی در مرکزیک، مطالعاتی را انجام دادند به این منظور با استفاده از رگرسیون وزنی جغرافیایی^۱ (GWR) برای پیش‌بینی تراکم آتش، با دو روش مختلف - تراکم شبکه منظم و تراکم هسته در تفکیک‌پذیری‌های مکانی از ۵ تا ۵۰ کیلومتر، هم در متغیرهای وابسته و هم در متغیرهای مستقل انسانی و محیطی استفاده شد. مطالعات نشان داد که این مقیاس به عنوان سازش بین قابلیت پیش‌بینی و جزئیات مکانی در پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی، از پتانسیل خوبی برای استفاده عملیاتی در تصمیم‌گیری جلوگیری و مهار آتش برخوردار است. (بیرانوند و همکاران، ۱۳۹۰) عوامل بوم‌شناختی مؤثر بر توسعه آتش‌سوزی در جنگل‌های کاکارضای لرستان را با استفاده از GIS و تحلیل سلسله‌مراتبی شناسایی کردند. پس از انجام مطالعات پایه، واحدهای همگن محیط‌زیستی تولید و به چهار طبقه تقسیم شدند. سپس با انجام مطالعات میدانی، شرایط بوم‌شناختی منطقه دارای سابقه آتش‌سوزی بررسی شد. نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، پوشش گیاهی و رطوبت مواد سوختنی، مهم‌ترین عوامل بوم‌شناختی مؤثر بر توسعه آتش‌سوزی بوده‌اند. (گراوند و همکاران، ۱۳۹۲) الگوی مکانی پنج‌ساله و نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی در اراضی طبیعی استان لرستان را تهیه کردند. بررسی توزیع نقاط با توجه به کاربری‌های مختلف و عوامل فیزیوگرافی انجام شد. برای تعیین الگوی پراکنش نقاط از سه روش کوادرات^۲، نزدیک‌ترین همسایه^۳ و K رایپلی^۴ و برای تعیین مناطق پرخطر از روش کرنل استفاده شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین فراوانی آتش‌سوزی در طبقه ارتفاعی ۱۳۰۰-۱۷۰۰ متر، شیب ۱۰-۲۰ درصد و جهت‌های جنوب و جنوب غربی رخ داده است. بیش‌ترین وقوع آتش‌سوزی در کاربری جنگل با تاج پوشش متوسط ۳۶ درصد و مرتع با تاج پوشش متوسط

4 Ripley's K

5 Kernel Estimation function

1 Geographical weight regression

2 Quadrat Analysis,

3 Nearest Neighbor Analysis

گلستان را با استفاده از GIS و RS مدل‌سازی کردند. شاخص خطر آتش‌سوزی و یک شاخص جدید به نام شاخص هیبریدی آتش‌سوزی، برای مشخص کردن خطر آتش‌سوزی در این مطالعه استفاده شدند. شیب، جهت، ارتفاع، فاصله از جاده‌ها و مناطق مسکونی و رطوبت پوشش گیاهی به‌عنوان فاکتورهای مؤثر در وقوع آتش‌سوزی به‌کار برده شدند. این لایه‌ها با اختصاص مقادیر وزنی به طبقات آن‌ها بر اساس نرخ حساسیت به حریق، در GIS ترکیب شدند. داده‌های هات‌اسپات سنجنده MODIS برای اعتبارسنجی شاخص‌ها استفاده شدند. ارزیابی شاخص‌ها با استفاده از روش منحنی‌های ROC، دقت ۷۶/۶ درصدی شاخص هیبریدی آتش‌سوزی را نسبت به دو شاخص دیگر نشان داد. بر اساس نتایج این شاخص، ۵۷/۵ درصد منطقه مورد مطالعه در منطقه خطر زیاد، ۳۳ درصد در زون خطر متوسط و ۹/۵ درصد در زون خطر کم برای آتش‌سوزی قرار گرفته بود. (Hassan & Hadisuwito, 2019) یک مطالعه تطبیقی از شاخص‌های آتش‌سوزی جنگل در اندونزی انجام دادند. در این مطالعه به مقایسه روش‌ها اعتبارسنجی و انتخاب بهترین روش محاسبه را برای پیش‌بینی در منطقه مورد مطالعه ارائه کردند، روش‌های مقایسه شده شامل شاخص خشکسالی^۴ (KBDI)، شاخص استاندارد بارش^۵ (SPI)، شاخص خطر آتش‌سوزی جنگل^۶ (MFFDI) و شاخص آب و هوا آتش^۶ (FWI) از طریق مطالعه تطبیقی بررسی شد و نتیجه گرفته شد که MFFDI بهترین روش برای محاسبه شاخص خطر آتش‌سوزی با مقدار دقت است.

(Sullivan et al. 2020) در مقاله‌ای با عنوان مقایسه عملکرد معیارهای خلاصه خطر آتش‌سوزی روزانه جنگل برای تخمین فعالیت آتش‌سوزی در جنگل‌های جنوب استرالیا به ادغام شاخص‌های خطر آتش‌سوزی متغیرهای آب و هوا سوخت پرداختند. شاخص خطر آتش‌سوزی جنگل (FFDI) در بیشتر استرالیا اعمال می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که حداکثر معیار ساعتی FFDI از بین تمام

فاکتورهای بیوفیزیکی و انسانی تأثیر بسزایی در آتش‌سوزی‌های مناطق مورد مطالعه داشتند. از فاکتورهای بیوفیزیکی ارتفاع، جهت شیب، حداقل دما، متوسط دما و از فاکتورهای انسانی کاربری زمین و فاصله از مناطق مسکونی در بیشتر حالت‌ها مؤثر شناخته شدند. همچنین با استفاده از هسته مکعبی سه‌گانه برای وزن‌دهی در GWR، نتایج دقیق‌تر و مناسب‌تری به دست آمد.

مطالعاتی در زمینه ارائه شاخص‌های خطر آتش‌سوزی جنگل:

به تحقیقات ابتدایی می‌توان به پژوهش (Vidal, 1995) و (Devaux-Ros& Devaux, 2010) که به ارزیابی خطر آتش‌سوزی جنگل‌های مدیترانه با شاخص تنش آبی پرداخته است اشاره نمود، آنها نشان داده‌اند که شاخص کمبود آب^۱ (WDI) به راحتی بر روی سطوح جنگلی تخمین زده می‌شود و شاخص بهتری از تنش آبی نسبت به شاخص تنش آب محصول^۲ (CWSI) است. بنابراین می‌تواند برای مکان‌یابی مناطقی که خطر آتش‌سوزی در آنها زیاد است استفاده شود، حتی اگر در منطقه مورد مطالعه، توانایی پیش‌بینی آتش‌سوزی با هر دو شاخص معادل باشد. این شاخص می‌تواند به عنوان ابزاری برای جلوگیری از آتش‌سوزی مورد استفاده قرار گیرد. (Chuvieco et al. 2010) چهارچوبی را برای ارزیابی خطر آتش‌سوزی و تهیه شاخص‌های خطر آتش‌سوزی با استفاده از GIS و RS ارائه کردند. آنها روش‌های تولید متغیرهای ورودی و ترکیب آن‌ها به‌منظور نقشه‌برداری خطر آتش‌سوزی برای مناطق مختلف اسپانیا با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و سنجش از دور تهیه کردند؛ این سیستم در تابستان ۲۰۰۷ برای آزمایش نیمه‌اجرایی توسط کاربر فعال شد. در این پژوهش اولین نتایج اعتبارسنجی شاخص خطر آتش‌سوزی، از طریق مقایسه روند زمانی اجزای مختلف خطر آتش‌سوزی و وقوع آتش‌سوزی در مناطق مورد مطالعه مختلف ارائه شد. در تحقیق دیگری (Adab et al. 2013) خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های

⁴ Standard Precipitation Index

⁵ McArthur Forest Fire Risk Index

⁶ Fire Weather Index

¹ Water Deficiency Index

² crop water stress index

³ Keetch-Byram

مشاهده شد. در مجموع، نتایج نشان داد که شاخص کچ-بایرام، شاخص مناسبی جهت پهنه‌بندی پتانسیل آتش‌سوزی در مناطق خشک و نیمه خشک اصفهان نمی‌باشد و بهتر است در گراس‌لندهای مناطق خشک و نیمه مرطوب به کار برده شود. (قبادی، ۱۳۹۸) به بررسی مناطق خطر آتش‌سوزی جنگل در استان گلستان، بر اساس شاخص خطر آتش‌سوزی^۱ (FRSI) با بهره‌گیری از تکنیک (GIS) برای سال‌های (۱۳۸۹-۱۳۸۸) پرداخت، جهت شناسایی مناطقی با پتانسیل بالای آتش‌سوزی از پارامترهای استاتیکی مؤثر در آتش‌سوزی جنگل‌های منطقه (ارتفاع، شیب، جهت شیب، کاربری زمین/پوشش زمین، میزان تبخیر) استفاده نمودند، با روش شاخص خطر آتش‌سوزی (FRSI)، و شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)، و با کمک نقشه پهنه‌بندی، ریسک آتش‌سوزی در پنج رده خطر (بسیار کم تا بسیار زیاد) تهیه نمودند. نتایج نشان داد بیشتر آتش‌سوزی‌ها در مناطق جنگلی با تاج و پوشش انبوه و همچنین در مناطق جنگلی با تاج و پوشش متوسط و در مرحله بعد در مناطق بیشه‌زار و بوته‌زارها اتفاق افتاده است. همچنین نتایج نشان داد، تقریباً ۹۰ درصد آتش‌سوزی‌ها در پهنه‌های ارتفاعی متوسط بین ۷۰۰ تا ۱۵۰۰ متر رخ داده‌اند. در کل یافته‌های تحقیق نشان داده است، ۹۰ درصد آتش‌سوزی‌های بوقوع پیوسته در مناطق با خطر زیاد آتش‌سوزی، ۳۰ درصد در مناطق خطرناک و ۶۰ درصد در مناطق پرخطر واقع شده‌اند. (ابراهیمی و همکارانش، ۱۳۹۸) با تکنیک شاخص آماری به بررسی ریسک وقوع آتش‌سوزی عرصه‌های طبیعی استان کردستان برای سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۸۵ پرداختند. ابتدا نقشه ریسک خطر آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی استان کردستان با استفاده از روش شاخص آماری (SI) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه کردند. نتایج پژوهش نشان داد که حدود ۵۰ درصد از مساحت استان

معیارهای آزمایش شده بهترین عملکرد را داشته است، اگرچه از نظر آماری تفاوت معناداری بین هیچ‌یک از آنها وجود ندارد. همچنین تفاوت کمی در عملکرد معیارهای تعیین شده با استفاده از محاسبات جایگزین و شاخص‌های مختلف خشکسالی وجود داشت. این نتایج نشان می‌دهد که استفاده فعلی از حداکثر FFDI ساعتی پیش‌بینی مناسب است و استفاده از روش‌های جایگزین برای تعیین فاکتور خشکسالی سود کمی دارد. (جهانبخش و همکارانش، ۲۰۲۰) در پژوهشی الگوهای هم‌دید آتش‌سوزی‌های جنگل‌های استان گلستان مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور اطلاعات مربوط به توزیع زمانی، مکانی و سطح آتش‌سوزی‌ها (فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل، دمای هوا، مولفه‌های مدارب و نصف‌النهاری باد و شاخص ناپایداری امگا) برای دوره آماری (۱۳۹۰-۱۳۸۴) دریافت کردند سپس الگوهای هم‌دید حاکم بر منطقه که آتش‌سوزی با دلایل طبیعی را مورد بررسی قرار دادند و مسیر حرکت آن‌ها در زمان رخداد آتش‌سوزی با استفاده از الگوریتم لاگرانژی ردیابی نمودند. آنها نتیجه گرفتند که در زمان رخداد آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه ۴ الگو حاکمیت دارند. الگوی اول بن‌دال امگایی شکل مابین طول‌های ۴۰ تا ۷۰ درجه شرقی و عرض‌های ۳۰ تا ۷۰ درجه شمالی، الگوی دوم ناوه بسیار عمیقی بر جانب غرب روسیه و خاورمیانه، الگوی سوم تشکیل ناوه نسبتاً عمیق در غرب دریای سیاه و کشیده شدن آن به عرض‌های پایین‌تر و الگوی چهارم یک مانع با ارتفاع مرکزی ۵۸۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی ایران می‌باشد. (عباسی و همکارانش، ۱۳۹۳) به مطالعه پهنه‌بندی پتانسیل آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع با استفاده از شاخص خشکی کچ-بایرام در استان اصفهان پرداختند، جهت ارزیابی پتانسیل شاخص رطوبت خاک به نام شاخص خشکی کچ-بایرام در پهنه‌بندی ریسک آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع استان اصفهان از داده‌های روزانه سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ استفاده نمودند. نتایج به دست آمده نشان داد که بخش‌های غربی و ایستگاه سمیرم در جنوب استان دارای کمترین خشکی و پتانسیل آتش‌سوزی می‌باشند. در ایستگاه‌های خوانسار، سمیرم، فریدون شهر و داران کمترین مقادیر شاخص خشکی کچ-بایرام

¹ Fire Risk Index (FRSI)

کردستان (۱۴۴۰۰ کیلومتر مربع) در کلاس خطر آتش سوزی زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. همچنین یافته‌های حاکی از دقت بالای مدل شاخص آماری در شناسایی مناطق دارای خطر آتش سوزی با دقت ۹۳/۵ درصد (۳۱۵ مورد از ۳۳۷ مورد آتش سوزی) بود.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به این‌که عوامل مختلفی در وقوع آتش‌سوزی جنگل‌ها تأثیرگذار هستند، مدل‌سازی خطر وقوع آتش‌سوزی با توجه به کلیه فاکتورهای تأثیرگذار در وقوع حریق، راهکار مناسبی برای پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی در این جنگل‌ها است. با توجه به این‌که بیشتر عوامل تأثیرگذار بعد مکانی دارند، سیستم اطلاعات جغرافیایی نقش مؤثری را در مدل‌سازی مکانی وقوع آتش‌سوزی ایفا می‌کند. در رابطه با مدیریت آتش‌سوزی جنگل با استفاده از GIS، مطالعات مختلفی در جنگل‌های جهان انجام شده است. جمع‌بندی تحقیقات انجام‌شده در مورد پتانسیل‌یابی آتش‌سوزی در مناطق مختلف جهان نشان می‌دهد که سیستم اطلاعات جغرافیایی برای توسعه اطلاعات، مدیریت و پیش‌بینی فعالیت‌های آتش‌سوزی جنگل کارایی زیادی دارد، به‌طوری‌که ایجاد یک پایگاه داده در GIS مشکل از متغیرهای مؤثر در وقوع آتش‌سوزی برای نقشه‌برداری از مناطق خطر وقوع آتش‌سوزی جنگل بسیار کارا می‌باشد. در اغلب موارد نوع پوشش گیاهی، شیب، جهت جغرافیایی، فاصله از جاده‌ها و رودخانه‌های دائمی، توپوگرافی و کاربری اراضی، مؤثرترین فاکتورها در وقوع آتش‌سوزی بوده و ادغام لایه‌ها معمولاً بر اساس سلسله مراتب و ضرایب خطر در وقوع آتش‌سوزی انجام شده است. در مطالعات دیگر از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و به‌عبارتی تلفیق تحلیل سلسله مراتبی و مجموعه‌های فازی برای مدل‌سازی خطر وقوع آتش‌سوزی استفاده شده است. همچنین از تصاویر TM ماهواره برای شناسایی آتش‌سوزی‌های گذشته استفاده شده است. نتایج کلی این مطالعات نشان می‌دهد که در اقلیم گرم با پوشش

گیاهی خشک، شیب زیاد، جهت جنوبی و نزدیک به جاده و مناطق مسکونی، پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی افزایش می‌یابد. برای ارزیابی دقت روش و مدل استفاده‌شده در تهیه نقشه پتانسیل آتش‌سوزی، معمولاً نقشه مناطق بحرانی آتش‌سوزی با نقشه مناطقی که در گذشته آتش گرفته‌اند، مقایسه شده و در صورت هم‌خوانی این دو، مدل ارائه شده تأیید می‌شود. در برخی مطالعات دیگر، از تلفیق سیستم تحلیل فازی و شبکه عصبی، هوش مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی مدیریت رفتار آتش‌سوزی استفاده شده است. همچنین در روش‌های پیشرفته‌تر از رگرسیون لجستیک و الگوریتم درخت تصمیم‌گیری برای انتخاب و تهیه نقشه متغیرهای مؤثر در آتش‌سوزی و همچنین مدل‌سازی خطر وقوع حریق استفاده شده است. در مطالعات دیگر به پیش‌بینی خطر وقوع آتش‌سوزی و تهیه نقشه ریسک آتش‌سوزی به وسیله تصاویر ماهواره پرداخته اند و با تغییر در الگوریتم‌های موجود به بهبود و تصحیح تشخیص درست تصاویر ماهواره ای کمک کردند. و در جدیدترین پژوهش‌های انجام‌شده، از تلفیق شاخص‌های آب و هوایی آتش با تصاویر ماهواره ای به تشخیص بهنگام و درست وقوع آتش‌سوزی کمک شایانی گرفته شده است. مطالعات مربوط به پتانسیل وقوع آتش‌سوزی در ایران، بیشتر در زمینه پهنه‌بندی خطر وقوع آتش‌سوزی بر اساس فاکتورهای مختلف و سیستم اطلاعات جغرافیایی و همچنین تحلیل سلسله مراتبی بوده است، برای پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها از شبکه عصبی مصنوعی و داده‌های آب و هوایی استفاده شده و نتایجی برای پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع نیز حاصل شده است. و در جدیدترین مطالعات به بررسی محصولات آتش‌سوزی ماهواره برای پیش‌بینی درست و بهنگام پرداخته شده است. نتایج نشان داده که تصاویر سنجنده Modis پتانسیل بالقوه و خوبی در کشف و پایش آتش دارد و به علت نو بودن تحقیقات در این زمینه جای فعالیت زیادی موجود می‌باشد هر یک از روش‌های مدل‌سازی و ارزیابی خطر آتش‌سوزی که در این مطالعه بیان شدند، مزایا و معایب

Geographic Information Systems, EGIS 94, Utrecht, EGIS Foundation, pp. 1700-1706.

6. Arnett, J.T.T.R., Nicholas, C.C., Lori D., Robert W.F., 2015. Detecting forest damage after a lowseverity fire using remote sensing at multiple scales. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*.vol. 35. pp.239–246.

7. AtrakChali.,a.2000.,Investigation of the effects of fire on vegetation changes.Master Thesis in Forestry, Mazandaran University.p120.

8. Azari, A., Mohammadzadeh A. Localization of Bojan algorithm to detect forest fires from Madis sensor satellite images. *Mechanical Information Technology Engineering*. 2019; 7 (3): 1-16

9. Beigi Heidarloo, H., Banj Shafi'i, A., Erfanian, M. Preparation of forest fire risk map using hierarchical analysis process technique and frequency ratio method (Case study: Sardasht forests, northwestern Iran). *Iranian Forest and Poplar Research*, 2014; 22 (4): 559-573. doi: 10.22092 / ijfpr.2015.13172

10. Bentekhici, N., Bellal, SA. & Zegrar, A. Contribution of remote sensing and GIS to mapping the fire risk of Mediterranean forest case of the forest massif of Tlemcen (North-West Algeria). *Nat Hazards* 104, 811–831 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04191-6>

11. Bisquert.,M.,Eduardo Caselles , Juan Manuel Sánchez .,B.,Vicente Caselles.2012.Application of artificial neural networks and logistic regression to the prediction of forest fire danger in

مربوط به خود را دارند؛ استفاده از مدل‌های بومی برای نقشه‌خطر آتش‌سوزی به‌طور قطع نتایج مطلوب‌تری را نسبت به مدل‌های غیربومی به‌همراه دارد، بنابراین برای استفاده از هر شیوه به‌منظور بهبود اعتبار سنجی مدل‌ها و روش‌های پیش‌بینی و پایش آتش‌سوزی، تمام عوامل محیطی و اقلیمی مناسب را جهت بومی‌سازی در نظر گرفته شود.

منابع

1. Aali Mahmoudi Sarab, S., Fiqh, J, Khajeh, P., 2018, Determining the effective criteria for the occurrence of forest fires using GIS and artificial neural network (Case study: Golestan province), <https://civilica.com/doc/953322>
2. Aali Mahmoudi Sarab, S., Fiqh, J.,Jabarian Amiri, B., 2012."Prediction of fires in forests and pastures using artificial neural network (Case study: forests of Zagros region of Izeh city)", *Applied Ecology*, 2012, Vol11, No.2pp. 75-85
3. Adab, H., Kanniah, K.D., Solaimani, K., 2013. Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. *Natural Hazards*, Vol. 65, pp. 1723-1743.
4. Alexandridis, A., Vakalis, D., Siettos, C.I., Bafas, G.V.2008. A cellular automata model for forest fire spread prediction: The case of the wildfire that swept through Spetses Island in 1990. *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 204, pp. 191-201.
5. Almedia, R., 1994. Forest fire risk areas and definition of the prevention priority planning actions using GIS. *Proceedings of the Fifth European Conference and Exhibition on*

18. Emami, H., Shahriari, H..2018. Quantification of environmental and human factors in the occurrence of forest fires by RS and GIS methods; Arasbaran Protected Areas. *Journal of Geographical Information*, Volume 28, Number 112, Winter 2018.
19. Emre Çolak, Filiz Sunar.,2020.valuation of forest fire risk in the Mediterranean Turkish forests: A case study of Menderes region, Izmir,International Journal of Disaster Risk Reduction,Volume 45,2020,101479,ISSN 2212-4209,https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101479.
20. Encinas, L.H., White, S.H., del Rey, A.M., Sanchez, G.R., 2007. Simulation of forest fire fronts using cellular automata. *Advances in Engineering Software*, Vol. 38, pp. 372-378.
21. Erten, E., Kurgun, V., Musaolu, N., 2005. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS, a case study. *Civil Engineering Faculty, Remote Sensing Division*, 7p.
22. Escuin, S., Navarro, R. and Fernandez, P. 2008. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images.*International Journal of Remote Sensing*, 29(4): 1053-1073.
23. Eskandari, S, 2014. Comparison of three methods of fuzzy hierarchical analysis, overlap method and Dong model to prepare the potential fire risk map of forest fires - a case study of a part of Mazandaran forests, *Iranian Journal of Galicia using MODIS data. International Journal of Wildland Fire* Vol.21(8).pp.1025.
12. Calp.M. H. and KoseU., “Estimation of burned areas in forest fires using artificial neural networks”, *ing. Solidar*, vol. 16, no. 3, pp. 1-22, Sep. 2020.
13. Cencerrado, A., Rodriguez, R., Cortes, A.,Margalef, T.2012. Urgencu versus accurancy:DynamicData Driven application system for natural hazard management. *International Journal of Numerical Analysis& Modeling*.Vol.9.N0.2.pp.432-448.
14. Chuvieco E., Salas F.J., Carvacho L., Rodríguez-Silva F. (1999) Integrated fire risk mapping. In: Chuvieco E. (eds) *Remote Sensing of Large Wildfires*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-60164-4_5
15. Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Salas, J., Martin, P., Vilar, L., Martinez, J., Martiin, S., Ibarra, P., de la Riva, J., Baeza, J., Rodriguez, F., Molina, J.R., Herrera, M.A., Zamora, R., 2010. Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies. *Ecological Modelling*, Vol. 221, pp. 46-58.
16. Chuvieco, E., Congalton, R.G., 1989. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote Sensing of the Environment*, Vol. 29, pp. 147-159.
17. Crofts, M., 1998. Forest fire management program at Pukaskwa national park. *Proceedings of PRFO*, pp. 292-293.

- Detection Algorithm in Identifying Active Fire in Natural Resources Areas Using MODIS Sensor Images (Case Study: Golestan National Park)". *Wood and Forest Science and Technology Research*, N0.20(4).pp.81-97
31. Feng, Z.; Cheng, Z.; Chen, S.; Wang, F, Ma, W., 2020. Identifying Forest Fire Driving Factors and Related Impacts in China Using Random Forest Algorithm. *MDPL Forests*. Vol.11.No.5.5 07.
32. Gholami, S., Kefash Charandabi, N. 2018. Fire risk zoning and its modeling for Arasbaran forests, National Conference on Technologies and New Geomatic Applications, Tabriz, undefined, undefined
33. Giri, C., Shrestha, S., 2000. Forest fire mapping in Huay Kha Khaeng wildlife sanctuary, Thailand. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 21(10), pp. 2023-2030.
34. Ground, S., Yar Ali, N., Sadeghi Kaji, H., 2013., "Spatial pattern and fire hazard map in the natural lands of Lorestan province", *Iranian Forest and Poplar Research*. Vol21.N02.p.231-242
35. Hadisuwito, A S., Hassan, F H. 2019. A Comparative Study of the Forest Fire Danger Index Calculation Methods Using Backpropagation., *Journal of Physics: Conference Series*, Vol1529.p.25-27.
36. Hamed, N. Ismaili, A. Faramarzi, H. 2020. Analysis of potential fire risk scenarios in the forests of Lordegan city using GIS and R. *Journal of Science and Research*. No17.18
37. Hedayati, N., Junidi Jafari, H., Ebrahimi Mohammadi, Sh., 2020, Forest and Rangeland Protection and Protection. vol.12(2).pp.137-152.
24. Eskandari, S., 2015. Investigation on the relationship between climate change and fire in the forests of Golestan Province. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, Vol.13(1), pp. 1-10.
25. Eskandari, S., 2017. A new approach for forest fire risk modeling using fuzzy AHP and GIS in Hyrcanian forests of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 10(8), pp. 1-13.
26. Eskandari, S., Chuvieco, E. 2015. Fire danger assessment in Iran based on geospatial information. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 42, pp. 57-64.
27. Eskandari, S., Miesel, J.R., 2017. Comparison of the fuzzy AHP method, the spatial correlation method, and the Dong model to predict the fire high-risk areas in Hyrcanian forests of Iran. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, Vol. 8, pp. 1-17.
28. Eskandari, S., Oladi Ghadiklaei, J., Jalilvand, H. 2013. "Evaluation of the efficiency of Dong model for determining the risk of fire in Zarrinebad Neka forests, Mazandaran province", *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 2013a, Vol21(3), pp. 439-451.
29. Eskandari, S., Oladi Ghadikolaie, J., Jalilvand, H., Saradjian, M.R., 2013. Detection of fire high-risk areas in northern forests of Iran using Dong model. *World Applied Sciences Journal*, Vol. 27(6), pp.770-773.
30. Farrokh Pourshkouri Allah Deh; A., Darvishsefat; F., Samadzadeh, P.; Atarod, J. 2014. "Evaluation of Global Fire

- International Journal of Agriculture and Crop Sciences, Vol.4.No.12.pp. 818-824.
46. JoséVega-Nieva, A., Vega I Carlos, Ivan Briones, Herrera, D. 2020. Predicting forest fire kernel density at multiple scales with geographically weighted regression in Mexico Science of The Total Environment Vol. 718, No. 137313.
47. Jurdao, S., Chuvieco, E., Arevalillo, J.M., 2012. Modelling fire ignition probability from satellite estimates of live fuel moisture content. Fire Ecology, Vol. 8 (1), pp.77-97.
48. Kant Sharma, L. , Kanga, S. , Singh Nathawat, M. , Sinha, S. and Chandra Pandey, P. 2012. Fuzzy AHP for forest fire risk modeling", Disaster Prevention and Management , Vol.21.No.2.pp.160-171
49. Kargar, M, Jafarian, Z. 2016. Comparison of artificial neural network models and linear regression in predicting forest and rangeland fires in Mazandaran province. Journal of Natural Environment, .Vol.69 (1). pp.159-170.
50. Kaykhosravi, Q, Khaledi, Sh. yahyavi, a. 2020. Investigation of tornado phenomenon in the western Alborz Mountains and its effect on the amount of thermal stresses created in plant cover using Landsat 8 images. "Sepehr" Quarterly Journal of Geographical Information vol29.No113.pp.43-56.
51. Kazemi, s., 2007. Forest fires and ecosystems - Livestock, Agriculture and Industry Monthly. Vol70.pp.46-56
52. Kumari, B., Pandey, AC .2020. Geo-informatics based multi-criteria decision analysis (MCDA) through analytic hierarchy process (AHP) for forest fire Investigation of fire risk in natural areas of Kurdistan province using statistical index technique, natural environment (Iranian natural resources), Fall 1398, Vol72.No3.pp. 403-416.
38. Hoshiarkhah, B., Jamshidi Alashti, R., 2007 "Fire regimes in the forest and the strategy to deal with it", Proceedings of the Second Conference on Natural Disasters.No.9.
39. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837719304624>
40. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.11.002>
41. Jafari Goldrag, Y., Mohammad Zadeh, A., Ardakani, 2016. fire risk assessment using neural network and logistic regression. J Indian Soc Remote Sens.No. 44, pp. 885-894.
42. Jahanbakhsh, s., asadi, m., hajimohamaddi, h.. 2020. Analysis of synoptic patterns of forest fires (Case Study: forests of Golestan province). Geographical. No.70.pp. 19-35.
43. Jaiswal, R.K., Mukherjee, S., Raju, D.K., Saxena, R., 2002. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 4, pp.1-10.
44. Janbaz Ghobadi, Gh, 2020. Survey of forest fire risk areas in Golestan province, based on fire risk index (FRSI) using technique (GIS). Spatial analysis of environmental hazards. Vol.6(3).pp.89-102.
45. Janbaz Ghobadi, Gh., Gholizadeh, B., Majidi Dashliburun, O. 2012. Forest fire risk zone mapping from geographic information system in Northern forests of Iran (case study, Golestan province).

- management and planning in Iran, Hamedan.No.330209
59. Pahlavani P, Sahraiiian H R.2019.Bigdeli B. Presenting a Morphological Based Approach for Filtering The Point Cloud to Extract the Digital Terrain Model. Jgit.vol.6 (4).pp.73-96
60. Parnian, M, Kamali, Gh, 2019 Presenting a statistical model for predicting fires based on meteorological factors affecting the spread of forest fires (Case study of forests in Guilan province), 4th International Congress on Agricultural Development, Natural Resources, Environment And Tourism of Iran, Tabriz.
61. Pedro Henrique Santos Mota, Samuel José Silva Soares da Rocha, Nero Lemos Martins de Castro, Gustavo Eduardo Marcatti, Luciano Cavalcante de Jesus França, Bruno Leão Said Schettini, Paulo Henrique Villanova, Hugo Thaner dos Santos, Alexandre Rosa dos Santos.2019.Forest fire hazard zoning in Mato Grosso State, Brazil,Land Use Polic.Vol.88.No.104206.
62. Peer review report 1 on “A Hybrid Artificial Intelligence Approach Using GIS-Based Neural-Fuzzy Inference System and Particle Swarm Optimization for Forest Fire Susceptibility Modeling at A Tropical Area”
63. Perera, A.H., Cui, W., 2010. Emulating natural disturbances as a forest management goal: Lessons from fire regime simulations. Forest Ecology and Management, Vol. 259, pp.1328-1337.
64. Pham, B.T.; Jaafari, A.; Avand, M.; Al-Ansari, N.; Dinh Du, T.; Yen, H.P.H.; risk mapping in Palamau Tiger Reserve, Jharkhand state, India. Journal of Earth System Science.Vol129.No.204.
53. Lee, B.S., Alexander, M.E., Hawkes, B.C., Lynham, T.J., Stocks B.J., Englefield, P., 2002. Information systems in support of wild land fire management decision making in Canada. Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 37.pp. 185-198.
54. Mahdavi, A., Fallah Shamsi, R., Nazari, R., Heidari, M., "Preparation of fire hazard map in forest and rangeland lands of Ilam city using the method of hierarchical analysis", Proceedings of the First International Conference on Fire in Areas of Natural Resources, 1390, Gorgan, Iran, 13.
55. Mansoori, N. A., Nazari, R., Nasiri, P., Qaraguzlu, A., 2011., "Development of forest fire crisis management program with RS and GIS technology", the use of remote sensing and GIS in planning, Vol.2, N0.3 , pp. 63-73.
56. Mohammadi, F., Shabaniyan, N., Pourhashemi, M., Fatehi, P.,2010., "Preparation of forest fire hazard map using AHP and GIS", Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 2010, Volume 18, Number 4, Pages 569-586.
57. Mutlu, M., Popescu, S.C., Zhao, K., 2008. Sensitivity analysis of fire behavior modeling with LIDAR- derived surface fuel maps. Forest Ecology and Management, Vol. 256, pp. 289-294.
58. Osmanzadeh, Y., Banj Shafiei, A., Beigi Heidarloo, H.2014.The study of the most important environmental factors and physiography affecting the frequency of forest fires in Kermanshah, the first national conference on environmental

71. Vidal.A.,Devaux-Ros, E.1995.valuating forest fire hazard with a Landsat TM derived water stress index,Agricultural and Forest Meteorology,Vol77, No.3-4. PP. 207-224.
72. Zhiwei,W.,Hong S.,H., Robert E.,K., Zhiliang, Z.,Yeqiao,W.,Yanlong.,SH.2019.Curren t and future patterns of forest fire occurrence in China. International Journal of Wildland Fire.Vol29(2).pp,104-119.
- Phong, T.V.; Nguyen, D.H.; Le, H.V.; Mafi-Gholami, D.; Prakash, I.; Thi Thuy, H.; Tuyen, T.T.2020 Performance Evaluation of Machine Learning Methods for Forest Fire Modeling and Prediction.Vol.12,No.1022.
65. Plucinski, M.P., Sullivan, A., Land McCaw.W. L.2020.Comparing the performance of daily forest fire danger summary metrics for estimating fire activity in southern Australian forests. International Journal of Wildland FireVol.29(10).pp.926-938
66. Pradhan, B., Bin Awang, M.A., 2006. Application of remote sensing and GIS for forest fire susceptibility mapping using likelihood ratio model. Proceedings of Map Malaysia, Kuala Lumpur, India, pp. 7-12.
67. Pradhan, B.Naderpour, M., MojaddadiRizeei, H.,Khakzad, N,2019.Forest fire induced Natech risk assessment: A survey of geospatial technologies,Vol.191. NO.106558.
68. Rollins, M.G., Keane, R.E., Parsons, R.A., 2004. Mapping fuels and fire regimes using remote sensing, ecosystem simulation and gradient modeling. Ecological Applications, Vol. 14(1), pp. 75-95.
69. Roman, M.V., Azqueta, D., Rodrigues, M., 2013. Methodological approach to assess the socio-economic vulnerability to wildfires in Spain. Forest Ecology and Management, Vol. 294.pp. 158-165.
70. Vadrevu, K.P., Eaturu, A., Badarinath, K.V.S., 2010. Fire risk evaluation using multicriteria analysis, a case study. Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 166, pp. 223-239.