



سجش از دور

GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال چهاردهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱
Vol.14, No. 4, Winter 2023 Iranian Remote Sensing & GIS

۱۹-۵۲

مقاله پژوهشی



مروری بر روش‌های مبتنی بر سنجش از دور در شناسایی و پایش آتش‌سوزی جنگل

زهره رودسرابی^۱، علی سام‌خانیانی^{۲*}، عباس کیانی^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی فتوگرامتری، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۲. استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۳۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۲۱

چکیده

مطالعات متعددی که طی چندین دهه اخیر در مورد پدیده آتش‌سوزی انجام شده، مجموعه گسترده‌ای از داده‌های ورودی و روش‌های اجرا و ارزیابی را فراهم کرده است. با این حال این مجموعه گسترده نتایج و تحقیقات، به صورت ساختاریافته، به منظور ارائه نقشه راه به کاربران جدید این حوزه و راهنمایی در زمینه کاربردها و شرایط گوناگونی فراهم آمده است که تا کنون تحلیل نشده‌اند. به عبارتی دیگر، خلأ تحقیقی منسجم در مورد عملکرد نسبی فرایندهای گوناگون سنجش از دور در این حوزه، به منظور تولید اطلاعات متفاوت و مرتبط با کاربری‌ها، احساس می‌شود. برای رفع این خلأ، در این تحقیق، تحلیلی نسبتاً جامع از مطالعات انجام‌شده درباره آتش‌سوزی در نشریات سنجش از دور صورت پذیرفته است. چند عامل کلی مورد ارزیابی در مطالعات پیش، حین و پس از آتش‌سوزی، تغییر در داده‌های ورودی، بررسی الگوریتم‌ها و توسعه آنها بودند زیرا تحلیلگران می‌توانند این عوامل را کنترل کنند تا دقت نهایی تحلیل‌ها و نتایج حاصل را بهبود بخشند. یکی از مسائل مهم در موضوع آتش‌سوزی، پس از شناسایی و کشف آتش، با توجه به تغییرات دائمی ایجادشده در ساختار و ترکیب پوشش گیاهی، بررسی نحوه بازیابی پوشش گیاهی و میزان رشد آن طی سالیان پس از آتش‌سوزی است. براساس بررسی انجام‌شده درباره مطالعات آتش‌سوزی در کشور، حدود ۴۸٪ از این پژوهش‌ها به شناسایی و گسترش آتش‌سوزی و حدود ۵۲٪ دیگر به احیا و بازیابی پرداخته‌اند. در بررسی تحقیقات درباره مطالعات شناسایی، مشخص شد که تقریباً ۵٪ از آنها با استفاده از روش‌های یادگیری و ۴۳٪ دیگر با روش‌های سنتی انجام شدند. در عین حال از سهم مرتبط با مطالعات احیا نیز، تقریباً ۲۱٪ به بررسی پوشش گیاهی و ۳۱٪ به بررسی خاک زیر سطح آتش پرداختند. یافته‌های این تحقیق می‌تواند به محققان، برای تصمیم‌گیری در انتخاب داده‌ها و الگوریتم‌های مورد استفاده، با توجه به هدف مطالعه، در شاخه‌های گوناگون مطالعات مرتبط با آتش‌سوزی کمک مؤثری برساند. با این حال تحلیلگران می‌توانند، علاوه بر این دستورالعمل‌های کلی، ترجیحات شخصی یا مزایای الگوریتم ویژه‌ای را که ممکن است به برنامه‌های خاص مربوط باشد، در نظر بگیرند.

کلیدواژه‌ها: آتش‌سوزی، فتوگرامتری و سنجش از دور، تصویر ماهواره‌ای، پارامترهای محیطی، بازیابی پوشش گیاهی.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: بابل، خیابان شرعی، پ. ۴۸۴، ۷۱۱۶۷-۴۷۱۴۸، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، دانشکده مهندسی عمران، گروه مهندسی نقشه‌برداری
Email: ali.sam@nit.ac.ir

۱- مقدمه

جنگل‌ها از مهم‌ترین منابع طبیعی و بوم‌شناختی روی کره زمین به‌شمار می‌آیند و عملکرد آنها نقشی اساسی در استمرار حیات، حفظ و پایداری زیست‌بوم‌ها ایفا می‌کند؛ علاوه‌براین جنگل‌ها مانع وقوع بسیاری از بلایای طبیعی مانند سیل و گرم‌شدن زمین می‌شوند و می‌توانند با این تهدیدهای بزرگ انسانی مقابله کنند (Sitanggang et al., 2020). این مسئله، به‌ویژه در ایران که از کشورهای خشک و کم‌آب جهان به‌شمار می‌رود و دچار محدودیت شدید پوشش گیاهی است، بسیار اهمیت دارد (Salamati et al., 2011). آتش سهم درخور توجهی در تخریب محیط‌زیست دارد و در نتیجه آتش‌سوزی، از تراکم جنگل‌ها کاسته و آنها تبدیل به تعدادی درختان آسیب‌دیده یا کاملاً مرده می‌شوند. همچنین این حوادث باعث ازدست‌رفتن تنوع زیستی می‌شود و در پی آن، زیستگاه‌ها تخریب و خاک دچار فرسایش می‌شود (Eva & Lambin, 2000; Matricardi et al., 2010). برای نمونه، مولدرز و کرام^۱ (۲۰۰۷) مشاهده کرده‌اند که ازدست‌دادن پوشش گیاهی می‌تواند زبری سطح و بازتاب را تغییر دهد. این مسئله در شار انرژی بین سطح و جو تأثیر می‌گذارد که باعث تغییر آب‌وهوا می‌شود. امیرو^۲ و همکاران (۱۹۹۹) نیز دریافته‌اند مناطقی که دچار آتش‌سوزی شده‌اند، تا پانزده سال، گرم‌تر از جنگل‌های دست‌نخورده می‌مانند؛ این نشان می‌دهد آتش‌سوزی می‌تواند آب‌وهوا را در مقیاس محلی تحت تأثیر قرار دهد. در سطح جهانی، سوختن زیست‌توده باعث تولید دی‌اکسید کربن چشمگیر و سایر گازهای گلخانه‌ای می‌شود (Palacios-Orueta et al., 2005).

فنون مبتنی‌بر سنجش از دور^۳ برای شناسایی آتش‌سوزی جنگل، ارزیابی و نظارت، از میانه دهه ۱۹۸۰ توسعه یافتند (Lentile et al., 2006). این شیوه‌ها برای بررسی تأثیرات آتش در سه مرحله زمانی متفاوت به‌کار رفته‌اند: شرایط پیش از آتش‌سوزی، ویژگی‌های آتش‌سوزی فعال و واکنش‌های بوم‌سازگان

پس از آتش. الگوریتم‌های متعدد و رویکردهای گوناگونی برای دو مرحله اولیه توسعه یافته است (Hansen & Loveland, 2012; Schroeder et al., 2008). تحقیقات گوناگونی در بررسی پدیده آتش، به‌کمک انواع متفاوت داده‌های ورودی، در مقیاس محلی و جهانی انجام شده است. روش‌های متنوع نظارت بر آتش‌سوزی و شناسایی آن به‌کمک سنجنده‌های واقع بر سکوی زمینی، هوایی و ماهواره‌ای انجام می‌شود. از روش‌های هوای، به‌دلیل دراختیاربودن زمان و ارتفاع پرواز، بیشتر در زمینه نظارت بر روند پیش‌روی آتش می‌توان بهره‌گرفت؛ در زمینه نظارت مداوم بر منطقه، به‌منظور پیش‌گیری از آتش‌سوزی و یا اطلاع‌آنی، نمی‌توان از آن بهره‌برد و کاربرد آن بیشتر در زمان آتش‌سوزی یا پس از پیش‌روی آن است (Sarkargar Ardakani, 2010). باین‌حال برای ارزیابی داده‌های سنجش از دور مناسب و روش‌های موجود در محیط‌های مکانی و زمانی، به‌ویژه در توصیف و ارزیابی الگوهای چگونگی واکنش اکوسیستم جنگل در برابر اختلالات ناشی از آتش، تلاش اندکی صورت گرفته است (Lentile et al., 2006; Leon et al., 2012).

بیشترین تحقیقات درباره الگوریتم‌های کشف آتش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، بر مبنای تابش حرارتی سطح زمین، انجام شده است (Kaufman et al., 2009; Wang et al., 1998b). این الگوریتم‌ها برپایه استفاده از باندهای انعکاسی و حرارتی سنجنده مادیس^۴ استوارند و با بهینه‌سازی، خطاهای موجود در مسیر کشف آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع را کاهش می‌دهند. محققان مورد نظر، طی مراحل گوناگون، پدیده‌های اضافی سطح عکس را حذف کردند و مناطق

1. Mölders & Kramm
2. Amiro
3. Remote Sensing
4. MODIS

می‌شود، حساسیت بیشتری نشان می‌دهد اما به کشف آتش‌های فاقد دود یا حرارت بالا منجر نمی‌شود (Wang et al., 2008). گروه علمی مادیس الگوریتم‌های گوناگونی را به منظور بهره‌برداری از داده‌های سری زمانی دریافتی از این سنجنده، در اختیار قرار داده است (Wolfe et al., 2002). به منظور استفاده و به کارگیری از این داده‌ها، با هدف کشف تغییرات با استفاده از الگوریتم‌های چندزمانه، به دقت هندسی مناسب نیاز است (Roy, 2000).

علاوه بر موارد بیان شده، تحقیقات فراوانی پتانسیل بازیابی پوشش گیاهی را بررسی کردند که می‌توان از آنها، در توان بخشی مجدد پوشش گیاهی آسیب‌دیده مناطق سوخته^۷ بهره برد. اطلاعات سنجش از دور برای شناسایی نوع پوشش گیاهی، تغییر پوشش زمین، شدت و سایر عوامل هموارسازی مسیرهای بازیابی پوشش گیاهی بسیار ارزشمند است. محصولات مادیس و دیگر سنجنده‌ها برای مقایسه‌های فضایی، مکانی و زمانی شرایط پوشش گیاهی جهانی طراحی شده‌اند و در پایش فعالیت فتوسنتزی، کاربرد دارند (Running et al., 1994). ارزیابی بازیابی پوشش گیاهی از طریق سنجش از دور معمولاً با استخراج شاخص‌های پوشش گیاهی طیفی انجام می‌شود. اغلب با برآورد شاخص NBR به کمک تصاویر لندست^۸، منطقه سوخته تعیین و طبقه‌بندی شدت سوختگی^۹ به دست می‌آید (Lentile et al., 2006). در مطالعات طولانی‌مدت، معمولاً شاخص‌های تهیه شده برای پایش پوشش گیاهی به کار می‌روند (Van Leeuwen, 2008)؛ همچون شاخص NDVI، EVI، SAVI و دیگر

دارای آتش‌سوزی را شناسایی و استخراج کردند. به مرور زمان، پژوهشگران دوره‌های بعد با به کارگیری راهکارهایی، الگوریتم‌های کشف آتش را ارتقا و قابلیت‌ها و توانایی‌های آن را در شناسایی نقاط آتش‌سوزی، افزایش داده‌اند. در زمینه آشکارسازی و نظارت بر آتش‌سوزی با استفاده از باندهای حرارتی و انعکاسی، مطالعات بسیاری انجام شده که مهم‌ترین آنها استفاده از تصاویر سنجنده AVHRR، سنجنده NOAA و مادیس سکوی آکوا^۱ و ترا^۲ است. تصاویر این دو سنجنده، به دلیل توان تفکیک زمانی بالا، مناسب‌ترین مورد برای آشکارسازی آتش‌سوزی و نظارت بر روند توسعه و پیش‌روی آتش شمرده می‌شوند (Sarkargar Ardakani, 2010).

محققان گوناگونی الگوریتم‌های متفاوتی را به منظور کشف و شناسایی آتش، به کمک تصاویر ماهواره‌ای و فنون مبتنی بر سنجش از دور، در ایران و جهان به کار گرفته‌اند. موریست^۳ و همکاران (۲۰۰۵) دقت آتش‌سوزی‌های آشکار شده از طریق دو الگوریتم کشف آتش برای سنجنده مادیس را که انستیتو ملی برزیل^۴ ارائه داده بود، ارزیابی کردند. بررسی‌ها نشان داد، در هر دو روش، امکان شناسایی آتش‌سوزی سرد و کوچک وجود ندارد. الگوریتم Modis version 3 را ابتدا کافمن و جاستیس^۵، برای کشف آتش‌سوزی مطرح کردند (Kaufman et al., 1998a) و سپس جاستیس و همکاران (۲۰۰۲) آن را بازنگری کردند. این محققان دریافتند که این الگوریتم، انعکاس حاصل از مناطق ساحلی و بایر را به منزله مناطق آتش‌سوزی مشخص می‌کرد و در برابر آتش‌های سرد و کوچک، حساسیتی نداشت و نمی‌توانست آنها را کشف کند. گیگلیو^۶ و همکاران (۲۰۰۳) الگوریتم Modis version 4 را پیشنهاد دادند که مبتنی بر تصویر بود و تا حدود بسیاری، بر دو مشکل شیوه‌های پیشین فائق آمد. پس از آن با ترکیب این دو، الگوریتم بهبودیافته کشف دود مطرح شد که در برابر آتش‌های سرد و کوچک، به خصوص آتش‌هایی که با زاویه اسکن بالا برداشت

1. Aqua
2. Terra
3. Morisette
4. Brazil's Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
5. Kaufman & Justice
6. Giglio
7. Burned Area Mapping
8. Landsat
9. Burn Severity

فتوگرامتری و سنجش از دور بیان و بررسی می‌شود. پس از آن پیشینه استفاده از الگوریتم‌های سنتی شناسایی آتش‌سوزی و همچنین الگوریتم‌های اخیر در کاربرد پوشش گیاهی و خاک بیان خواهد شد. در آخر، نتایج به دست آمده از مطالعات آتش‌سوزی و دستاوردهای هر رویکرد تحلیل و بررسی می‌شود. نتایج کلی این مطالعات و نقاط ضعف و قوت آن بیان و پیشنهادهایی به منظور ادامه روند مذکور طی تحقیقات آتی، در حد تجربه و دانش نویسندگان، بیان می‌شود.

۲- مبانی نظری

در پی آتش‌سوزی، میکروارگانیسم‌های خاک از بین می‌رود و ترکیب جنگل تغییر می‌کند؛ به طوری که بسیاری از گونه‌های نادر و اصیل نابود و گونه‌های غالب جایگزین آن می‌شود، خاک حالت دانه‌ای خود را از دست می‌دهد و اکوسیستم شکننده‌تر می‌شود. خساراتی که این پدیده به بار می‌آورد، در مناطق گوناگون، اهمیت متفاوتی دارد زیرا شدت آن تابع شرایط محلی است که آتش‌سوزی در آن روی می‌دهد. برای طبقه‌بندی آتش‌سوزی جنگل، دو روش وجود دارد؛ با استفاده از منشأ ایجاد آن و با استفاده از لایه‌های مواد سوختی که تحت تأثیر قرار گرفته است. برحسب منشأ ایجاد، می‌توان این دسته‌بندی را در نظر گرفت (Nayebi et al., 2018):

- آتش‌سوزی طبیعی: اغلب ناشی از رعدوبرق است و این عامل مهم‌ترین دلیل آغاز آتش‌سوزی در نواحی، مانند جنگل‌های آمریکا، به‌شمار می‌رود. علاوه بر آن عواملی مانند دمای زیاد، جرقه حاصل از اصطکاک بر اثر ریزش سنگ و یا جریان‌های آتش‌فشانی نیز می‌تواند به آتش‌سوزی منجر شود؛

شاخص‌های مورد استفاده در مطالعات پوشش گیاهی (Uyeda et al., 2017; Van Leeuwen, 2008). افزون بر این رویکردهای گوناگونی نیز به منظور تحلیل سری زمانی داده‌های سنجش از دور استفاده می‌شود. برخی روش‌ها از نمودارهای سیر زمانی و داده‌های نمونه‌برداری بهره می‌برند و برآورد شدت سوختگی را با مناطق نسوخته مقایسه می‌کنند. این مقایسه‌ها، به صورت تصویری یا آماری، بین مکان‌های سوخته و نسوخته با استفاده از میانگین اختلافات انجام می‌شود (Caccamo et al., 2015).

مطالعه آذری و محمدزاده^۱ (۲۰۱۶) به منظور بررسی روش‌های متفاوت شناسایی آتش‌سوزی، از دیدگاه سنجنده‌های گوناگون در سنجش از دور انجام شد. با توجه به آن، هدف مطالعه پیش رو، علاوه بر شناسایی آتش و بررسی نحوه بازبانی پوشش گیاهی، بررسی تمامی حوزه‌های مطالعاتی در زمینه آتش‌سوزی است؛ به همین دلیل، باید بررسی جامعی انجام شود تا برای خوانندگان و محققانی که قصد به‌کارگیری این الگوریتم‌ها را در کاربردهای گوناگون دارند، نقشه راه باشد. بدین ترتیب کاربران، براساس هر کاربرد، داده‌های اولیه‌ای که با توجه به منطقه و حوزه مطالعاتی در دسترس دارند و نیز حجم محاسباتی و دقت نهایی لازم، می‌توانند روش مناسب و مقتضی را برگزینند. هدف دیگر بررسی مطالعات آتش فعال^۲ شناخت محدودیت‌هایی است که در مسیر شناسایی آتش ممکن است ایجاد شود و اینکه پس از آتش‌سوزی^۳ چه عواملی، در کوتاه‌مدت و بلندمدت، پوشش گیاهی و خاک را تحت تأثیر قرار خواهد داد. شناخت و بررسی پارامترهای مؤثر در شناسایی و کشف آتش‌سوزی نیز از دیگر اهداف پژوهش حاضر است. ساختار کلی تحقیق بدین گونه است که در ابتدا، پارامترهای مؤثر در وقوع آتش‌سوزی و داده‌های مورد استفاده به‌طور کامل مطرح و ویژگی‌های آنها تشریح می‌شود. سپس انواع روش‌های سنجش از دوری و ماهواره‌ها، شامل الگوریتم‌های موجود و روش‌های سازگار با ساختار کاربردهای

1. Azari & Mohammadzadeh
2. Active Fire
3. Post Fire

نوع آتش‌سوزی مختص درختان بالغی است که دارای شاخ و برگ اشتعال‌پذیرند و در مناطق گرم و خشک، خطرناک‌تر است (Daneshrad, 1985)؛
- آتش‌سوزی تنه‌ای: در این نوع آتش‌سوزی، آتش به تنه درختان و به‌ویژه درختان تهی و خشک سرایت می‌کند. عامل این آتش‌سوزی ممکن است انسان باشد که با افروختن آتش در پای درختان مرده، سبب آتش‌سوزی شود و یا ممکن است بر اثر صاعقه و یا آتش‌سوزی سطحی و تاجی شدید به‌وجود آید. اگر آتش‌سوزی تنه‌ای ادامه یابد، کل تنه درخت را می‌سوزاند (Nayebi et al., 2018).

مدیریت آتش‌سوزی جنگل، به‌طور کلی شامل مراحل ایجاد نقشه پتانسیل خطر^۱ و ریسک^۲ آتش‌سوزی، شناسایی نقاط حساس، نظارت بر آتش‌سوزی فعال و ارزیابی تخریب پس از آتش‌سوزی می‌شود (Roy, 2003). به‌منظور شناخت عوامل مؤثر در ریسک آتش‌سوزی، لازم است عوامل آن در محیط پیرامونی بررسی شود. کانتری من^۳ (۱۹۷۲) محیط اطراف آتش‌سوزی را نیرویی خارجی در تغییر رفتار آتش تعریف کرد. توپوگرافی، سوخت و آب‌وهوا سه بعد مهم تشکیل‌دهنده مثلثی است که شرایط آتش‌سوزی را مهیا می‌کند. آتش‌سوزی می‌تواند، علاوه بر پارامترهای طبیعی، تحت تأثیر چشمگیر فعالیت‌های انسانی نیز قرار بگیرد؛ بنابراین تغییر در شرایط آتش‌سوزی، از نظر زمانی و مکانی، پیرو تغییرات این پارامترهاست. آتش‌سوزی ممکن است به‌دلیل فعالیت‌های غیرمستقیم مانند جنگل‌زدایی، قطع درختان، رعدوبرق و دمای زیاد نیز اتفاق افتد. عوامل انسانی شامل نزدیکی به راه‌ها، نزدیکی به مناطق مسکونی، تراکم جمعیت، میزان مسافرت‌هاست و پارامترهای طبیعی نیز رطوبت مواد سوختنی، مواد اشتعال‌پذیر، نوع پوشش گیاهی، شرایط اقلیمی و توپوگرافی را دربر می‌گیرد (Jafari Goldarag, 2012).

1. Hazard
2. Risk
3. Countryman

- آتش‌سوزی تشدیددی: نوع دیگر آتش‌سوزی که انسان مسبب آن است و از نظر تعداد، مهم‌ترین عامل آتش‌سوزی در سطح جهان به‌شمار می‌رود. عوامل انسانی به سه دسته ناشی از غفلت، عمدی و تصادفی تقسیم می‌شود (COFOM, 2006).

دسته‌بندی دیگر بر مبنای لایه‌های مواد سوختنی تحت تأثیر قرار گرفته است (Bond & Van Wilgen, 2012).

- آتش‌سوزی زمینی (داخل خاک): در مناطقی اتفاق می‌افتد که در زمین جنگل، مواد اشتعال‌پذیر مانند زغال‌سنگ، تورب و مواد آلی تجزیه‌نشده وجود داشته باشد. آتش‌سوزی‌های زمینی اغلب بدون دود و همواره بدون شعله است. آتش‌سوزی در خاک جنگل معمولاً به‌کندی پیش می‌رود و پیشرفت آن تحت تأثیر شدت و جهت باد است. ریشه درختان، از این حرارت، آسیب می‌بینند و این آتش‌سوزی برای جنگل‌ها اهمیت چندانی ندارد (Yosefi, 1961)؛

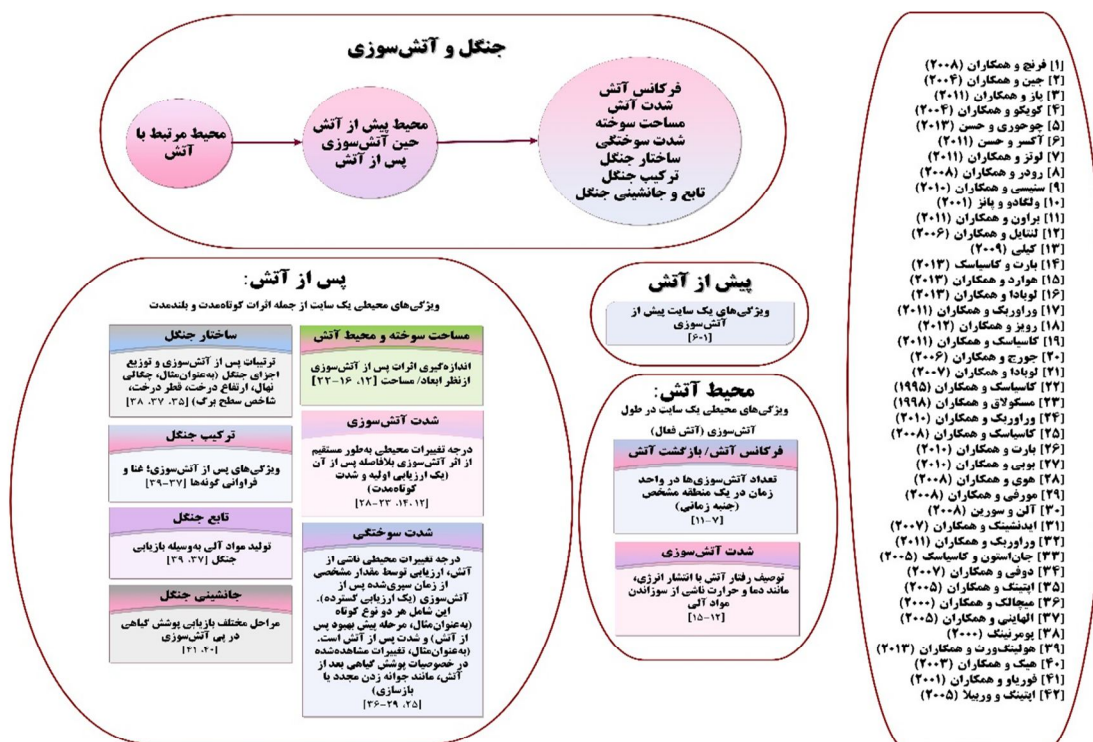
- آتش‌سوزی سطحی: در پی آتش‌گرفتن پوشش مرده گیاهان و نهال‌های کوچک به‌وجود می‌آید و حرارت چندانی در گیاه و زمین ایجاد نمی‌کند. این‌گونه آتش‌سوزی‌ها اغلب منشأ بروز گونه‌های دیگر آتش‌سوزی، یعنی آتش‌گرفتن خاک جنگل و تاج درختان است. سرعت این نوع آتش‌سوزی زیاد است اما درختان بالغ اندکی آسیب جدی می‌بینند. این نوع آتش‌سوزی در نواحی جنگلی ممکن است مخروط سوزنی‌برگان را باز کند، برگ‌های آنها را بسوزاند و نهال‌ها و جوانه‌های کوچک را از بین ببرد (Bond & Van Wilgen, 2012)؛

- آتش‌سوزی تاجی: یکی از خطرناک‌ترین انواع آتش‌سوزی است که با آتش‌گرفتن تاج درختان رخ می‌دهد و بر اثر ایجاد حرارت زیاد، به لایه زاینده صدمه وارد می‌کند و سبب مرگ درختان می‌شود. اگر جنگل انبوه باشد و آتش‌سوزی تاجی از تاج درختی به تاج درخت دیگر سرایت کند، سرعت آن افزایش می‌یابد و سطح وسیعی از جنگل را نابود می‌کند. این

Loboda et al., 2007; Loboda et al., 2013; Lutz et al., 2011; McCullough et al., 1998; McElhinny et al., 2005; Michalek et al., 2000; Ruiz et al., 2012; Senici et al., 2010; Veraverbeke et al., 2011a; Veraverbeke et al., 2011b; Murphy et al., 2008; Paz et al., 2011; Pommerening, 2002; Röder et al., 2008; Veraverbeke et al., 2010

محققان گوناگونی در زمینه آتش‌سوزی به‌منظور آشکارسازی، شناسایی، تحلیل زمانی و مکانی آنها، در بسیاری از مناطق جهان مطالعاتی را با استفاده از داده‌های سنجنش از دور انجام داده‌اند؛ از این‌رو در تحقیق حاضر، پس از بررسی محیط آتش‌سوزی، ساختار جنگل و پارامترهای مؤثر در وقوع آتش‌سوزی، داده‌های سنجنش از دوری که می‌توان از آنها برای شناسایی نقاط آتش و مطالعات در زمینه‌های آتش‌سوزی استفاده کرد و نیز شاخص‌های کاربرد در آتش بررسی خواهد شد.

هنگام ارزیابی محیط آتش‌سوزی، برخی ویژگی‌های آتش‌سوزی مانند دفعات آتش‌سوزی و فصل آتش‌سوزی، برای درک تأثیرات و الگوهای جنگل ضروری است. تعاریف محیط و پارامترهای آتش و پارامترهای مورد استفاده برای اندازه‌گیری تأثیرات آتش‌سوزی، پیش، حین و پس از آتش‌سوزی و الگوهای جنگل، در شکل ۱ آورده شده است. (Akther & Hassan, 2011; Allen & Sorbel, 2008; Barrett et al., 2010; Barrett & Kasischke, 2013; Bobby et al., 2010; Brown & Johnstone, 2011; Chowdhury & Hassan, 2013; Chuvieco et al., 2010; Díaz-Delgado & Pons, 2001; Duffy et al., 2007; Eidenshink et al., 2007; Epting & Verbyla, 2005; Epting et al., 2005; French et al., 2008; Furyaev et al., 2001; George et al., 2006; Heward et al., 2013; Hicke et al., 2003; Hollingsworth et al., 2013; Hoy et al., 2008; Jain et al., 2004; Johnstone & Kasischke, 2005; Kasischke & French, 1995; Kasischke et al., 2011a; Kasischke et al., 2008; Keeley, 2009; Lentile et al., 2006;



شکل ۱. بررسی ویژگی‌های آتش‌سوزی و الگوی احیا و بازیابی جنگل (Chu & Guo, 2014)

۲-۱- نقش داده‌های ماهواره‌ای در مطالعات آتش‌سوزی

از میانه دهه ۱۹۸۰، استفاده از داده‌های سنجش از دور به منظور شناسایی، بررسی و ارزیابی شدت خسارات ناشی از آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع، در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای، توسعه یافت (Giglio et al., 2006). در مجموع، روش‌های گوناگون آشکارسازی و نظارت بر آتش‌سوزی را می‌توان به سه دسته زیر تقسیم کرد:

- استفاده از سنجنده‌های ثابت زمینی؛

- روش‌های مبتنی بر داده‌های هوایی؛

- روش‌های مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای.

در روش نخست، با استفاده از دوربین‌ها و سنجنده‌های ثابت که معمولاً در محدوده جنگل‌ها به کار می‌رود، مستقیماً محدوده مورد نظر مشاهده و بررسی می‌شود و یا با استفاده از سنجنده‌های حرارتی، مکان آتش‌سوزی مشخص می‌شود. همچنین از توانایی لیدار^۱ و سونار^۲ در آشکارسازی و نظارت بر آتش‌سوزی استفاده شده است. از روش‌های مبتنی بر داده‌های هوایی، می‌توان به عکس‌برداری، فیلم‌برداری هوایی و لیدار اشاره کرد. در روش‌های دسته سوم، از بخش‌های گوناگون طیف الکترومغناطیس استفاده می‌شود که موارد زیر را می‌توان نام برد:

- باندهای مرئی؛

- باندهای فروسرخ حرارتی؛

- محدوده‌های جذب دی‌اکسید کربن.

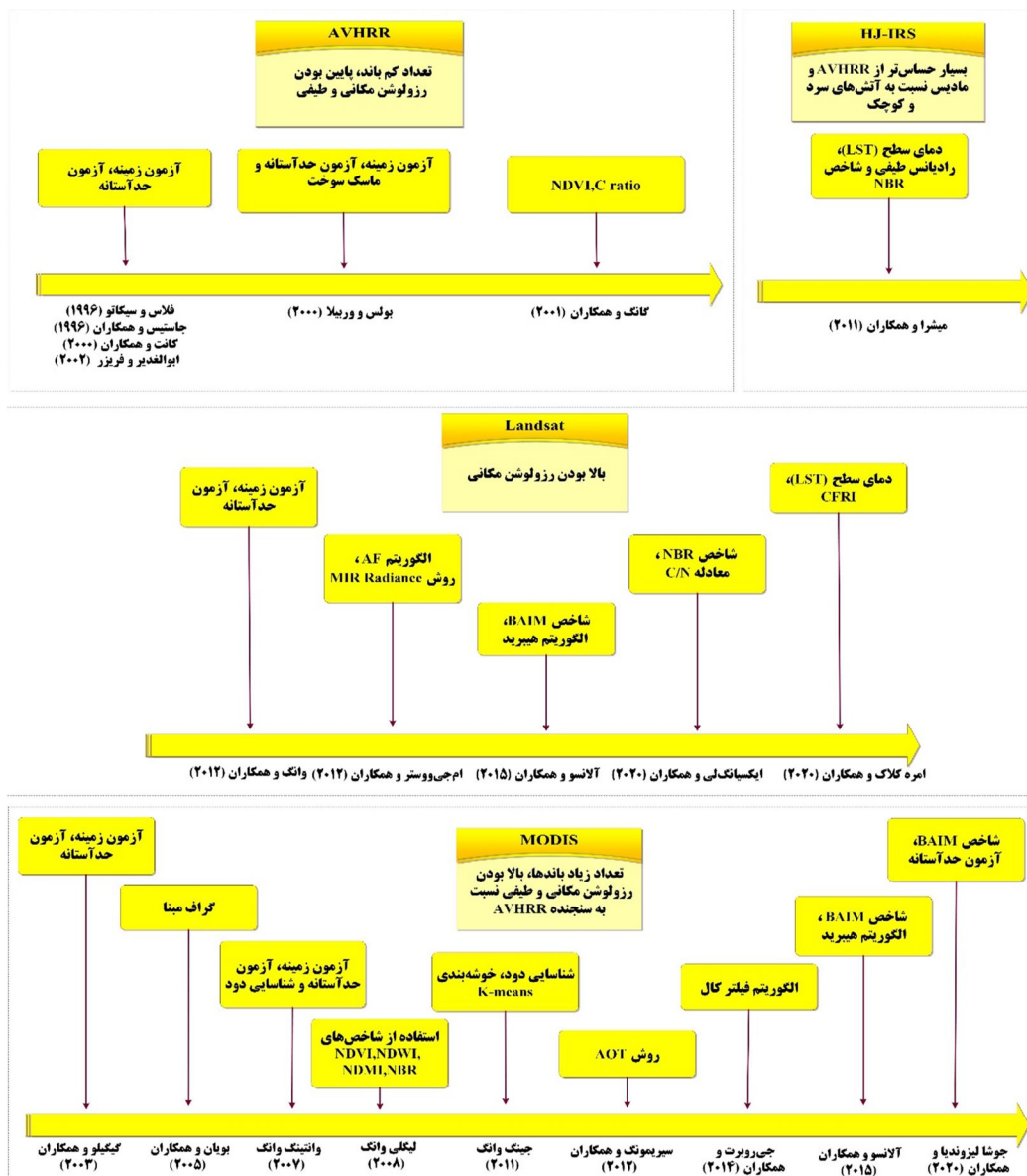
پیش‌تر اشاره شد که پژوهشگران بسیاری، از سراسر جهان، مطالعات مرتبطی با استفاده از داده‌های سنجش از دور انجام داده‌اند (Azari & Mohammadzadeh, 2016). از جمله داده‌های سنجش از دوری برای شناسایی نقاط آتش و مطالعه در زمینه آتش‌سوزی، می‌توان به داده‌های ماهواره‌های استر^۳، لندست، مادیس و AVHRR اشاره کرد (Alonso-Canas & Chuvieco, 2015; Azari & Mohammadzadeh, 2016; Çolak & Sunar, 2020; Li et al., 2020; Lizundia-Loiola et al., 2020; Roberts & Wooster, 2014; Sirimongkonlertkul & Phonekeo, 2012; Wooster et al., 2012).

در حال حاضر، تصاویر AVHRR تنها مجموعه داده سنجش از دور محسوب می‌شود که قادر است مناطقی را که از دیرباز و از سال ۱۹۷۸ سوخته‌اند بازسازی کند؛ این نکته و درمورد تمامی مناطق جنگلی صدق می‌کند. متأسفانه داده‌های AVHRR دارای وضوح مکانی و طیفی پایین، پوشش ابر، مشکلات انتقال و اعوجاج بین مناطق و زمان‌های گوناگون است (Chuvieco et al., 2008). داده‌های لندست (TM/ETM+) با قدرت تفکیک طیفی، مکانی و رادیومتریک بهتر از AVHRR، به طور گسترده برای نمایش نواحی سوخته استفاده شده (Loboda et al., 2012; Potapov et al., 2008) اما در بیشتر کشورها، در مقیاس منطقه‌ای، در دسترس نیستند؛ مانند دسترسی نداشتن به داده‌ها در سال ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲. بنابراین داده‌های مادیس و استر که از سال ۲۰۰۰ به بعد در دسترس‌اند، با وضوح فضایی و طیفی بالا، کیفیت داده‌های مناسب و امکان ترکیب با داده‌های AVHRR و لندست برای بازسازی روند سوختگی طولانی‌مدت در مقیاس‌های فضایی گوناگون مناسب به نظر می‌رسند. این کار همچنین به بررسی روش مناسب سنجش از دور برای جمع‌آوری داده‌ها در بازسازی مناطق سوخته طولانی‌مدت نیاز دارد. در شکل ۲، نمونه‌ای از مطالعات با داده‌های گوناگون آمده است.

در پژوهش‌هایی به منظور تأثیرات پس از آتش‌سوزی، به دست آوردن نقشه منطقه سوخته یکی از رایج‌ترین کاربردهای سنجش از دور است و در سطح محلی، منطقه‌ای و جهانی به روشنی ثبت شده است (Lentile et al., 2006). در مقیاس‌های محلی، از سنسورهای دارای وضوح بالا تا متوسط مانند لندست TM/ETM+ (Loboda et al., 2012; Potapov et al., 2008) و تصویربرداری راداری (Bourgeau-Chavez et al., 1997; Bourgeau-Chavez et al., 2002)

1. Lidar
2. Sonar
3. ASTER

زهره رودسرایی و همکاران



شکل ۲. خلاصه‌ای از مطالعات انجام شده برای شناسایی آتش با سنجنده‌های گوناگون (Azari & Mohammadzadeh, 2016)

و در دسترس بودن داده‌ها، از ۱۹۹۸ کاربرد گسترده‌ای داشته است. علاوه بر پردازش داده‌های خام ماهواره‌ای در مورد مناطق سوزانده شده، چندین محصول مناطق سوخته در مقیاس جهانی، در دسترس کاربران قرار دارند و در پدیده آتش‌سوزی به کار می‌روند؛ مانند محصولات مادیس با قدرت تفکیک متوسط MCD45A،

برای تهیه نقشه مناطق سوخته استفاده شده است. سازمان ملی اقیانوسی و جوی آمریکا، برای نمونه، تصاویر AVHRR را معمولاً به‌منزله داده برای ارزیابی تأثیرات آتش‌سوزی در دهه‌های ۱۹۹۰ و اوایل دهه ۲۰۰۰ به کار می‌برد (Kasischke et al., 2008; Ruiz et al., 2012). تصاویر مادیس با قدرت تفکیک متوسط (Giglio et al., 2009; Loboda et al., 2011) و vegetation به‌دلیل کیفیت بالای تفکیک زمانی، طیفی

1. NOAA

چندطیفی یا فراطیفی طراحی شده‌اند (Sobhani & Amini, 2019). در محاسبه این شاخص‌ها، باید به نوع باندهایی که انتخاب می‌شود و نوع عملگرهای انتخابی و جایگاه کاربردشان، بسیار توجه داشت. همان‌گونه که بیان شد، شاخص‌ها براساس تعدد تصاویر ماهواره‌ای و باندهای طیفی، انواع بسیاری دارند که با توجه به موضوع مورد مطالعه، استفاده می‌شوند. در شکل ۳. شاخص شکل ۳، پرتکرارترین شاخص‌های طیفی مورد استفاده در تحقیقات گوناگون، با توجه به کاربرد خاصشان در پدیده آتش‌سوزی، مطرح شده‌اند (Huete et al., 2002; Fornacca et al., 2018; Bannari et al., 2002; Gao, 1996; Gitelson & Merzlyak, 1998; Guide, 2017; Holden et al., 2005; Pinty & Verstraete, 1992; Qi et al., 1994; Smith et al., 2007; Smith et al., 2005; Sripada et al., 2006; Hamed and Esmaeili, 2001) (Trigg and Flasse, 2001; Rahimi, 2013; Alhaj Khalaf et al., 2020; 2016; Sobhani and Amini, 2019)

۳- بررسی روش‌ها

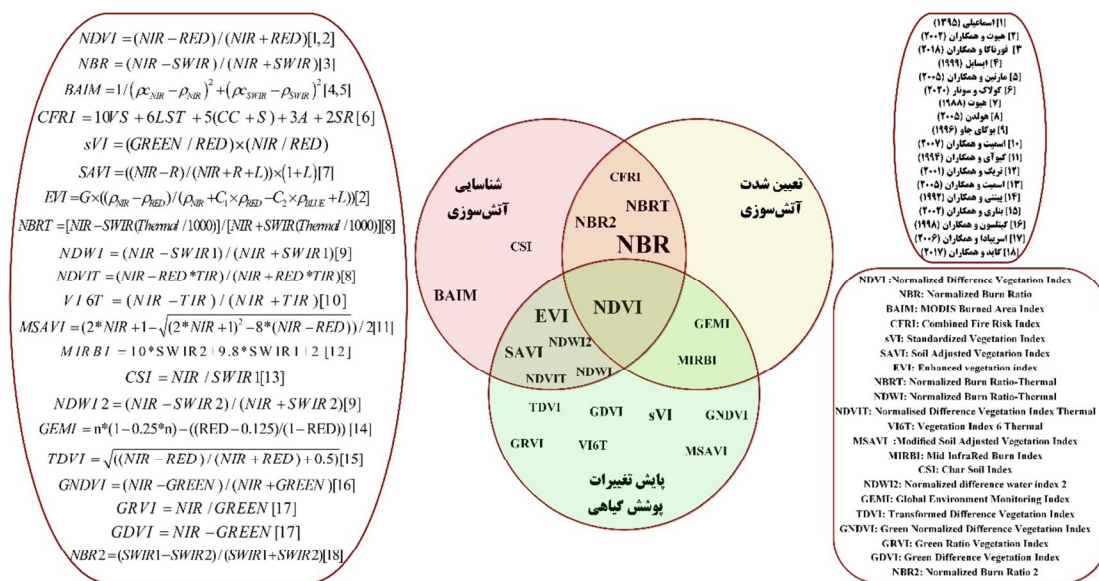
برخی کلیدواژه‌ها مانند نقشه ناحیه سوخته، شدت سوختگی، پس از آتش‌سوزی، سنجش از دور، و بازیابی جنگل^۳ به پارامترهای محیطی، تکنیک‌های سنجش از دور و مناطق جنگلی ارتباط می‌یابند. تحقیقات بسیاری از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۰، پس از جست‌وجوهای کامل در پایگاه‌های اطلاعاتی داخلی و بین‌المللی، در زمینه پدیده آتش‌سوزی انجام شده که در این تحقیق، بخشی از آنها بررسی شده است. از تحقیقات صورت گرفته در منابع داخلی (پایگاه علم و فناوری اطلاعات ایران^۴، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، مجله مخاطرات محیط طبیعی، نشریه علمی- پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، نشریه علمی- ترویجی مهندسی

MCD64A1، پایگاه داده گازهای گلخانه‌ای در جهان^۱، GFED تولید محصول پوشش گیاهی سوخته در سطح جهانی^۲ و L3JRC از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ (Çolak & Sunar, 2020; Huete, 1988; Isabel, 1999; Martín et al., 2005; Zare Maivan & Memariani, 2002).

۲-۲- شاخص‌های مورد استفاده در مطالعات آتش‌سوزی

شاخص‌های طیفی که بر پایه تفاضل، جمع و تقسیم باندهای گوناگون تصویر استوارند، با هدف بارزتر نمودن تغییرات مورد نظر و حذف آثار عوامل منفی محیطی و توپوگرافی به کار می‌روند (Rahimi, 2013). با توجه به تعدد تصاویر ماهواره‌ای از طیف‌های مرئی تا فروسرخ مرئی و حرارتی و نیز تعدد شاخص‌های طیفی قابل ایجاد با باندهای طیفی یادشده، برای انتخاب بهترین حساس‌ترین شاخص طیفی از ماهواره‌هایی با تفکیک‌های مکانی متفاوت، چه به صورت تک‌زمانه (پس از آتش‌سوزی) و چه دوزمانه (پیش و پس از آتش‌سوزی)، باید بررسی‌های متعدد اکوسیستم‌های گوناگون طبیعی جنگلی انجام شود (Alhaj Khalaf et al., 2020). چندین دهه است که علاوه بر شاخص‌های طیفی، از شاخص‌های آب‌وهوای آتش‌سوزی در سراسر جهان، برای برآورد خشکی پوشش گیاهی استفاده می‌شود (Nesterov, 1949; Thornthwaite, 1948). بسیاری از این شاخص‌های گوناگون در کشورهای متفاوت کاربرد دارند. برخی شامل الگوریتم‌های بسیار ساده‌ای می‌شوند که دما و رطوبت را ترکیب می‌کنند (Sharples et al., 2009a, b) و برخی دیگر ابزارهای پیچیده‌ای‌اند که می‌توانند، افزون بر احتمال آتش‌سوزی، میزان گسترش و شدت آن را نیز تخمین بزنند؛ بنابراین شناسایی شاخص آب‌وهوای مناسب برای شرایط متفاوت ملی و منطقه‌ای در مناطق کوهستانی، تپه‌ای یا مسطح مسئله‌ای چالش برانگیز است (Brang et al., 2006). شاخص‌های طیفی تبدیل‌های ریاضی هستند که براساس باندهای متفاوت سنجنده تعریف می‌شوند و برای ارزیابی و بررسی گیاهان در مشاهدات ماهواره‌های

1. Global Fire Emissions Database
2. Global Vegetation Burned Area Product
3. Forest Recovery
4. Irandoc



شکل ۳. شاخص‌های طیفی پرکاربرد در مطالعات آتش‌سوزی

گازهای گلخانه‌ای، فرسایش خاک و ازدست‌رفتن منابع آن را دربر می‌گیرد که هر یک از این موارد در دو گروه Active Fire و Post Fire در این تحقیق، بررسی می‌شود.

۳-۱- مطالعات Active Fire

بیش از سی سال است که فن تشخیص آتش‌سوزی فعال با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بررسی شده و گسترش و ارتقا یافته است (Croft, 1973). شبیه‌سازی و مدل‌سازی آتش‌سوزی روشی تحلیلی را برای مشخص کردن و پیش‌بینی رفتار آتش در محیط‌های پیچیده مطرح می‌کند. با توجه به متغیرهای ورودی مانند محل اشتعال، ارتفاع، سوخت، آب‌وهوا و رطوبت، موقعیت آینده و شکل محیط آتش با نرخ گسترش^۱، طول شعله، شدت و حداقل مسیرهای زمانی سفر^۲ فراهم می‌شود. داده‌های آتش فعال ماهواره‌ای را می‌توان برای نظارت بر دود، کنترل از راه دور و مشخص کردن گسترش آتش در سراسر چشم‌انداز به کار برد و تفاوت‌های بین شبیه‌سازی‌های آتش و

نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، نشریه علمی- پژوهشی علم و فنون نقشه‌برداری و نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل و موارد مشابه) ۱۱۰ مقاله در مورد شناسایی و گسترش آتش‌سوزی و ۱۲۰ مقاله در زمینه احیا و بازیابی منتشر شده است. از این میان، پنجاه مقاله به بررسی پوشش گیاهی و هفتاد مقاله به خاک زیر سطح آتش پرداختند. در حدود ده مقاله از مطالعات شناسایی آتش‌سوزی نیز، روش‌های یادگیری را به کار گرفتند. تقریباً تمامی مقالات بررسی شده در مجلات مربوط به سنجش از دور و اطلاعات مکانی، جنگل‌شناسی و آتش‌سوزی منتشر شده‌اند. در هر مورد، مقالاتی گروه‌بندی شد که روش‌های سنجش از دور مشابه، اطلاعات و همچنین مطالعات مشابه در مناطق گوناگون را بررسی کردند تا به نقاط قوت و محدودیت‌های مطالعات با موضوع آتش‌سوزی جنگل‌ها بپردازند.

مطالعات در مورد رفتارهای آتش‌سوزی مواردی همچون برآورد مناطق سوخته، شبیه‌سازی گسترش آتش‌سوزی، تخمین شدت آتش‌سوزی جنگل، شناسایی نقاط داغ، تجزیه و تحلیل بازیابی پوشش گیاهی، تجزیه و تحلیل خسارات آتش‌سوزی، تخمین انتشار

1. ROS
2. MMT

و در نتیجه، خطر فرسایش شدید را تقویت می‌کند (Wang et al., 2020).

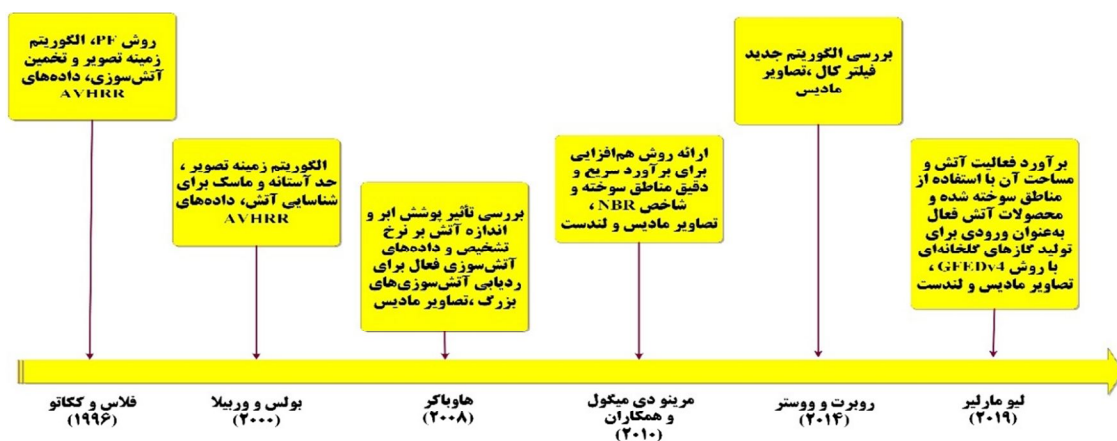
۳-۲-۱- روش‌های بازبازی پوشش گیاهی

بازبازی روند بهبود اکوسیستمی است که تخریب شده، آسیب دیده یا نابود شده است. هدف بازبازی بازگشت اکوسیستم به شرایط گذشته است. دگرگونی پوشش گیاهی در بعد زمان با استفاده از مفاهیم توالی و کلیماکس^۲ تعریف و تعیین می‌شود. اطلاعات حاصل از پوشش گیاهی ممکن است در حل مسائل اکولوژیکی، مانند حفاظت بیولوژیکی و مدیریت منابع طبیعی، مفید باشد و با ارزیابی اطلاعات گیاهی، می‌توان روند تغییرات آینده را پیش‌بینی کرد. تفکیک مطالعه پوشش گیاهی به جنبه‌های نظری و کاربردی آن نیز چه بسا مفید باشد. در مطالعات آکادمیک، پوشش گیاهی به‌منزله شاخه علمی مستقلی تشریح و آنالیز می‌شود؛ درحالی‌که در مطالعات کاربردی، پوشش گیاهی به‌منظور نیل به اطلاعاتی برای حل مسائل اکولوژیکی در ارتباط با مدیریت و حفاظت اکوسیستم‌های طبیعی جمع‌آوری و آنالیز می‌شود (Brown et al., 2008; Mesdaghi, 2001). وقوع آتش‌سوزی‌های بزرگ یا آتش‌سوزی‌های مکرر ممکن است به تغییرات دائمی در

آتش‌سوزی واقعی را به‌روشی مقرون‌به‌صرفه ارزیابی کرد (Cardil et al., 2019). در شکل ۴، تحقیقاتی که در زمینه Active Fire انجام شده آمده است (Boles & Verbyla, 2000; Flasse & Ceccato, 1996; Hamedei & Esmaeili, 2016; Hawbaker et al., 2008; Liu et al., 2019a; Merino-de-Miguel et al., 2010; Roberts & Wooster, 2014).

۳-۲-۲- مطالعات پس از آتش‌سوزی در زمینه احیا

مطالعاتی که جریان‌ات پس از آتش‌سوزی را بررسی می‌کنند، در ابتدا، برای تثبیت خاک‌ها به‌کار رفتند و امروزه از آنها برای بازبازی گونه‌های گیاهی پس از حریق، مدیریت جمعیت‌های غیربومی و ایجاد ترکیبات گیاهی ارزشمند استفاده می‌شود. پس از آتش‌سوزی که باعث سوزاندن پوشش گیاهی می‌شود، رواناب^۱ افزایش می‌یابد و خاک در معرض فرسایش قرار می‌گیرد؛ این وضعیت ممکن است به جاری‌شدن سیل، افزایش رسوب، جریان آوار و آسیب‌رسیدن به منابع حیاتی طبیعی و فرهنگی منجر شود. رواناب تابعی از میزان و شدت بارش، شدت سوختن و ویژگی‌های پوشش گیاهی است. بر اثر حرارت‌دهی خاک که طی آتش‌سوزی رخ می‌دهد، دفع آب ایجاد و تشدید می‌شود. این شرایط خاک به‌شدت نفوذ را کاهش می‌دهد، جریان سطحی را افزایش می‌دهد



شکل ۴. مشخصات برخی از مطالعات Active Fire

1. Ranoff
2. Succession and Climax

ساختار و ترکیب فلورستیک پوشش گیاهی منجر شود (Cochrane, 2003)؛ به همین دلیل، مطالعه پوشش گیاهی و بازیابی آن، پس از آتش‌سوزی اهمیت دارد. برخی از رویکردهای رایج سنجش از دور، برای برآورد

الگوی احیا و بازیابی جنگل، در جدول ۱ بیان شده است (Askari, 2013; Banj Shafiei, 2007; Banj Shafiei et al., 2007; Bashmaghi, 2015; Gholami Gohareh, 2010; Hassanpur, 2019; Norouzi, 2011; Sedighi Pashaki, 2011).

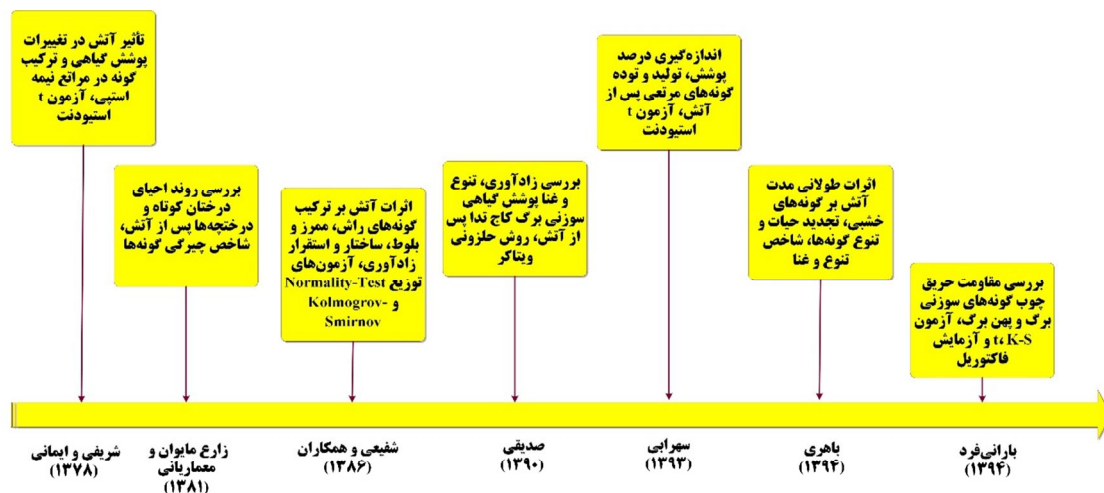
جدول ۱. مشخصات برخی از مطالعات انجام شده در بازیابی پوشش گیاهی

منابع	نتایج	روش	ویژگی مورد استفاده	داده مورد استفاده
Chen et al., 2005	R2 = 0.69 و R2 = 0.61 در NDVI و EVI؛ R2 = 0.89 در RSR	مدل‌های رگرسیون خطی	NDVI, EVI, RSR و LAI	تصاویر لندست (TM/ETM+)
Fraser & Li, 2002; Zhang et al., 2004	R2 = 0.29-0.53 و RMSE < 10 سال	رگرسیون غیرخطی و شبکه عصبی	SWVI, NDVI	تصاویر SPOT VEGETATION
Chen et al., 2005	برآورد (5 < LAI < 6)	مقایسه LAI میدانی با لندست (ETM+)	MODIS LAI	تصاویر مادیس
Magnussen & Wulder, 2012	R2 = 0.78	بازیابی گام‌به‌گام	سال آتش‌سوزی، ارتفاع Canopy	لیدار (هوایی و فضایی) (GLAS)
Andersen et al., 2012; Wulder et al., 2009; Wulder et al., 2007	R2 = 0.73-0.8 برای برآورد حجم Canopy، خطای استاندارد ۷.۳٪ برای تخمین کل زیست‌توده	تفریق ارتفاع سطح زمین از اندازه‌گیری‌های لیدار متناظر برای ویژگی‌های Canopy؛ مدل تجربی برای حجم	ارتفاع لیدار هوایی، ارتفاع Canopy، پوشش گیاهی، حجم زیست‌توده	
Goetz et al., 2010	R2 = 0.74 (RMSE = 5.7 m)	رگرسیون خطی و رگرسیون خطی و	میانگین ارتفاع درخت	
Bourgeau-Chavez et al., 2007	R2 = 0.56-0.82 (RMSE = 3.61)	چندجمله‌ای، تحلیل مؤلفه اصلی	C-band و رطوبت خاک	تصاویر سار ^۱
Kasischke et al., 2011b	R2 = 0.49-0.63 (RMSE = 2.8-3.3 t/ha)	رگرسیون خطی	L-band و زیست‌توده	
Goetz et al., 2010; Wulder et al., 2009; Wulder et al., 2007	همبستگی مثبت قوی بین شرایط پس از آتش (شدت سوختگی و نوع جنگل)، ویژگی‌های Canopy (R2 = 0.5-0.7)	رگرسیون خطی بین ویژگی‌های جنگل، برگرفته از لیدار و شاخص‌های طیفی؛ ارتفاع Canopy در شدت‌های متفاوت سوختگی	ارتفاع لیدار و لایه‌های مشتق‌شده لندست (مانند پوشش اراضی و شدت سوختن)، Canopy، ارتفاع درخت، پوشش گیاهی، حجم زیست‌توده	تصاویر مادیس، لندست و لیدار
Andersen et al., 2012	بهبود چشمگیر در خطای استاندارد از ۷.۳٪ به ۵.۱٪ با گنجاندن داده‌های لندست و سار	نزدیک‌ترین همسایگی k-NN برای پیش‌بینی زیست‌توده، استفاده از سلول‌های لیدار به‌منزله داده مرجع و داده‌های سار به‌منزله داده‌های هدف	ارتفاع لیدار، سار و لندست TM و زیست‌توده	تصاویر لندست، سار و لیدار

اختلالات بستگی دارد و بنابراین پیوند با نقشه‌های دقیق اختلال در جنگل ممکن است تفسیری مطمئن‌تر در مورد تغییرات ساختار جنگل در برابر فرایند اختلال ایجاد کند (Powell et al., 2010). شکل ۵ نمونه‌ای از تحقیقات انجام‌شده در زمینه پوشش گیاهی در ایران، براساس کاربرد و روش‌ها را نشان می‌دهد.

۳-۲-۲- روش‌های تحلیل خاک و مواد موجود در آن
هرساله مساحت بزرگی از جنگل‌ها دستخوش حریق می‌شود و با توجه به شدت آتش‌سوزی، تأثیرات تحمیلی متفاوتی در شرایط اکولوژیکی خاک‌های جنگلی پدید می‌آید. با توجه به اینکه خاک بستر رشد و زادآوری جنگل محسوب می‌شود، بررسی اثر آتش‌سوزی در ویژگی‌های آن اهمیت ویژه‌ای دارد. به‌طور کلی آتش‌سوزی به تغییرات محسوسی در ویژگی‌های خاک می‌انجامد اما این تغییرات پایدار نیست و مدت زمان بقای تأثیرات، طبق شدت آتش‌سوزی، متفاوت است. تأثیر آتش‌سوزی در ویژگی‌های بیولوژیک خاک نیز به مراتب شدیدتر است و احیای آنها، در مقایسه با دیگر ویژگی‌ها، بیشتر زمان می‌برد. آتش‌سوزی در خواص فیزیکی، شیمیایی،

برخی مطالعات احیا و بازبانی جنگل نشان دادند که گنجاندن شاخص‌های طیفی مشتق‌شده، باندهای طیفی خام، متغیرهای بیوفیزیکی و داده‌های سری زمانی می‌تواند تخمین ویژگی‌های ساختاری جنگل‌ها را پس از آتش، بهبود بخشد. فلوگماخر^۱ و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند زیست‌توده جنگل که با استفاده از داده‌های سری زمانی لندست^۲ برآورد شده است، دقتی بسیار بیشتر از داده‌های تک‌زمانه آن دارد و مدل‌های LTS، برای برآورد زیست‌توده مرده در سطح زمین، عملکردی بسیار بهتر از نمونه‌های دارای هر دو داده‌های لیدار یا لندست تک‌زمانه دارند. این نکته نشان می‌دهد معیارهای بلندمدت LTS، علاوه بر رویدادهای اختلال آتش‌سوزی، می‌توانند پیشرفت بازبانی را نیز نشان دهند و در نهایت، برآورد بهتر ویژگی‌های ساختاری فعلی جنگل‌ها را نیز بهبود بخشند. به‌طور کلی، با توجه به داده‌های سنجش از دور و روش‌های مدل‌سازی متغیرهای جنگل، دستیابی به این نتیجه‌گیری صریح که یک فن مدل‌سازی بهتر از دیگری عمل می‌کند مشکل است. عملکرد هر روش به معیارها و مقیاس‌های اعتبارسنجی بازمی‌گردد. در نتیجه اختلالات، پیش‌بینی پارامترهای ساختاری جنگل نیز به ماهیت و سطح



شکل ۵. نمونه‌ای از تحقیقات پوشش گیاهی در ایران

1. Pflugmacher
2. Landsat Time Series (LTS)

تأثیر آتش‌سوزی در اکوسیستم خاک یا مستقیم است و یا غیرمستقیم. آتش، به صورت مستقیم، می‌تواند باعث سوزاندن لاش‌برگ‌ها، افزایش عناصر معدنی در دسترس، افزایش اسیدیته^۱ خاک و تغییر شرایط رطوبتی و دمایی خاک شود (Johnson & Curtis, 2001) و به صورت غیرمستقیم نیز سبب تغییر در فلور خاک و کیفیت رویشگاه می‌شود (Rundel, 1981). شدت و مدت بقای این تأثیرات در اکوسیستم خاک، با توجه به رژیم آتش‌سوزی (شدت، مدت، تکرار، فصل و نوع آتش‌سوزی)، ویژگی‌های خاک (میزان رطوبت،

بیولوژیکی و دینامیک عناصر غذایی تأثیر می‌گذارد. با توجه به مطالعات انجام‌شده، تأثیر آتش‌سوزی در خواص خاک چشمگیر است و بنابراین حاصل‌خیزی و جامعه میکروبی آن را تحت تأثیر مهمی قرار می‌دهد؛ از این رو ارزیابی آثار آتش‌سوزی در خاک می‌تواند به شناخت و بهبود ویژگی‌های آن کمک شایانی بکند و به همین دلیل، در این زمینه تحقیقات بسیاری انجام شده است (جدول ۲) (Baheri, 2016; Barani Fard, 2015; Maleki, 2016; Mazrae, 2012; Mohammadi, 2012; Najafi, 2014; Nazari, 2015; Polat, 2017; Sohrabi, 2014).

جدول ۲. مشخصات برخی تحقیقات در زمینه تحلیل خاک

منابع	نتایج	روش	گونه مورد استفاده
Zaitsev et al., 2014	بهبودی بسیاری از گروه‌های ماکروفون خاک، پس از آتش‌سوزی، اغلب از طریق مهاجرت از جنگل نسوخته به منطقه سوخته صورت گرفته است	تحلیل واریانس ANOVA	جنگل‌های سوزنی‌برگ کاج
Li et al., 2020	افزایش pH خاک، با شدت آتش‌سوزی شدیدتر و آب‌شویی عناصر پایه در خاکستر باقی‌مانده بر خاک و آتش‌سوزی جنگل، منجر به آتش‌سوزی اسیدی ضعیف در خاک می‌شود. با افزایش شدت آتش‌سوزی، کل کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر کل خاک کاهش می‌یابد	شاخص NBR و معادله C/N	جنگل صنوبر
Ekinci, 2006	کاهش درصد میزان کربن و اسیدیته، هدایت الکتریکی، فسفر و پتاسیم قابل جذب و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی	آنالیز آماری SAS و آزمون LSD	توده‌های آمیخته بلوط، کاج، پسته
Torres et al., 2010	تغییر در مواد موجود در لایه آلی، طی سال‌های بعد از آتش‌سوزی. این مواد ممکن است شسته و به لایه معدنی منتقل شوند	واریانس ANOVA و آزمون HSD	گیاهان اسکروفیلوس
Varela et al., 2012	کاهش میزان کربن آلی خاک به علت فرسایش پس از آتش‌سوزی	تحلیلگر TOC	درختان کاج
Gongalsky & Persson, 2013	کاهش فراوانی و تنوع ماکروفون خاک در مدت شش سال و حیواناتی مانند هزارپا که در بخش‌های سطحی زندگی می‌کنند و امکان پراکندگی کمتری دارند در قسمت‌های نزدیک به حاشیه جنگل سریع‌تر از مناطق مرکزی بازسازی شدند	مدل خطی GLM	جنگل کاج

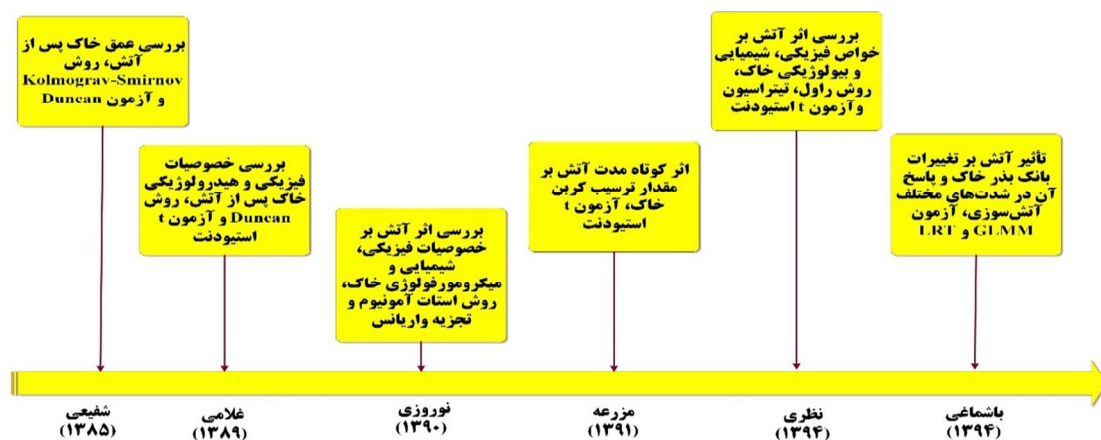
1. PH

نمونه‌ای از مطالعات در زمینه تحلیل خاک زیر سطح آتش در ایران، براساس کاربرد و روش‌ها را نشان می‌دهد.

۳-۳- مطالعات در زمینه تأثیر پارامترهای گوناگون در کشف آتش

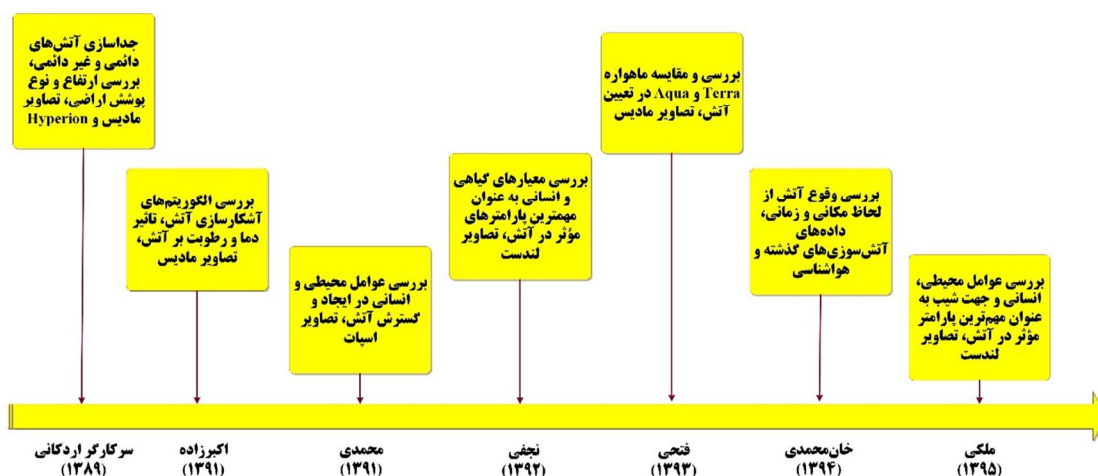
محققان بسیاری پژوهش‌هایی در زمینه‌های تحقیقاتی گوناگون، همچون بررسی رفتار طیفی پدیده آتش، نظارت، شناسایی و مدل‌سازی آتش و بررسی تأثیر پارامترهای محیطی، شامل پارامترهای طبیعی و اقلیمی و انسانی در وقوع آتش، تحلیل زمانی و مکانی آن به کمک تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دوری در ایران و جهان، انجام داده‌اند. شکل ۷ نمونه‌ای از این مطالعات را، براساس کاربرد و داده‌ها در ایران، نشان می‌دهد. علاوه بر این در شکل ۸، نمونه تحقیقات درباره تأثیر پارامترهای گوناگون در کشف آتش مطرح شده است (Alexandridis et al., 2008; Alley, 1985; Ardakani et al., 2010; Aricak et al., 2014; Catchpole, 2002; Chen et al., 2001; Fan et al., 2017; Fathi, 2015; Firoz et al., 2017; García-Llamas et al., 2019; Hadi, 2008; Hassan, 2008; Karafyllidis & Thanailakis, 1997; Khanmohammadi, 2014; Lozano et al., 2007; Maeda et al., 2009; Movaghati et al., 2008; Nepstad et al., 1999; Preisler & Westerling, 2007; Sharma & Hussin, 1996; Swetnam & Betancourt, 1990; Vega-García et al., 1993; Westerling et al., 2003).

میزان مواد آلی، توان هدایت گرمایی و بافت خاک) و شرایط محیطی (نوع پوشش گیاهی، نوع اقلیم منطقه و توپوگرافی)، متفاوت است؛ بنابراین چه بسا اثر آتش‌سوزی در ویژگی‌های خاک کوتاه‌مدت، بلندمدت یا دائمی باشد (Certini, 2005). باید توجه داشت که آتش همیشه مخرب نیست و تأثیر مفید و مطلوب نیز دارد. مهم‌ترین اثر سودمند آتش در اکوسیستم خاک، افزایش حاصل‌خیزی کوتاه‌مدت آن در پی برگشت سریع عناصر غذایی، طی سوختن پس‌مانده‌های آلی است. این افزایش حاصل‌خیزی می‌تواند سبب رشد تولیدات گیاهی و برتری یافتن برخی گونه‌ها بر سایر گونه‌ها در منطقه سوخته‌شده شود؛ اما چنانچه عناصر حاصل‌خیزکننده در فصل مرطوب بر اثر رواناب، همراه با خاکستر سطح خاک، به داخل آب‌های سطحی و زیرسطحی وارد شوند، آلودگی این آب‌ها را در پی دارد. تنها وظیفه ماده آلی خاک افزایش حاصل‌خیزی خاک نیست؛ ماده آلی در کل فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک نقشی حیاتی دارد و در نهایت، باروری کلی آن را سبب می‌شود. با در نظر گرفتن این اصل، تنها اثر سودمند آتش‌سوزی در افزایش حاصل‌خیزی خاک نیز ممکن است زیان‌بار باشد (Erickson & White, 2008). شکل ۶

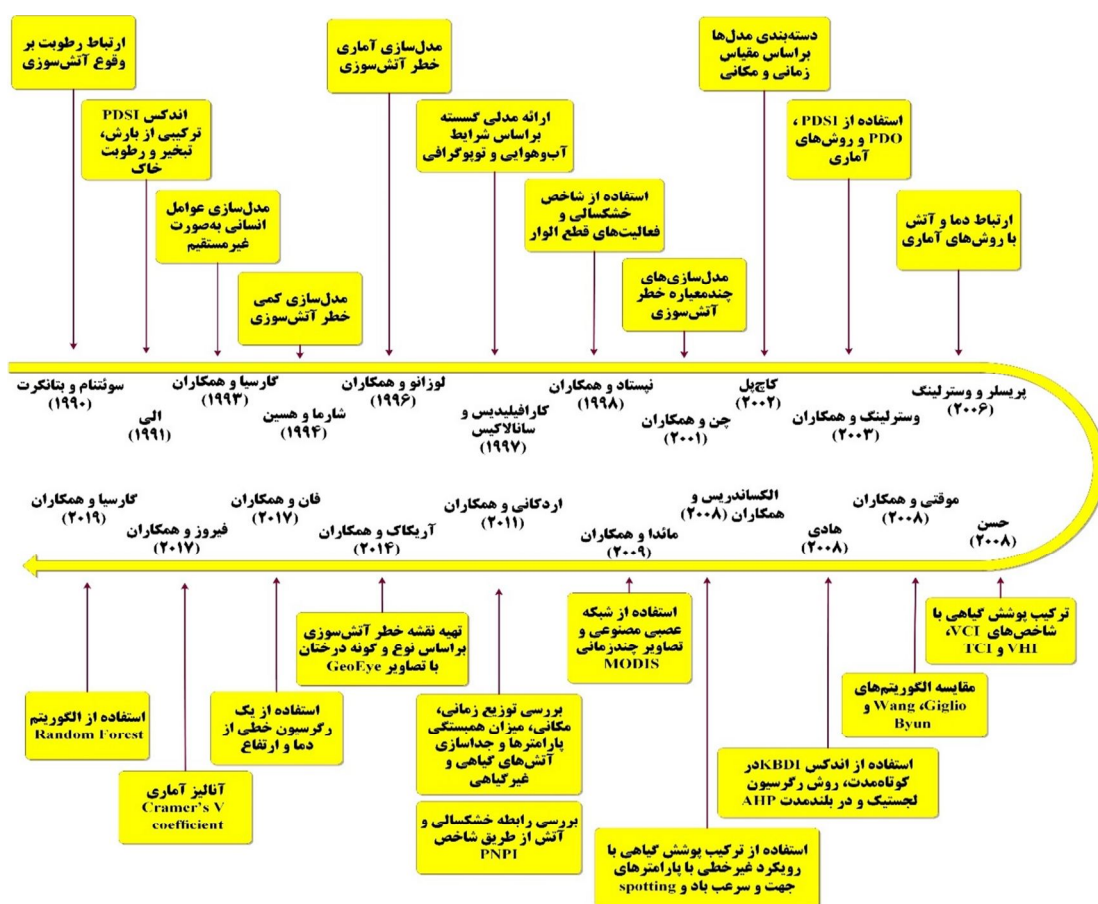


شکل ۶. نمونه‌ای از تحقیقات تحلیل خاک زیر سطح آتش در ایران

زهره رودسرایی و همکاران



شکل ۷. نمونه مطالعات پارامترهای مؤثر در آتش، در ایران



شکل ۸. روند پیشرفت زمانی بررسی پارامترهای مؤثر در آتش

سنجش از دور و GIS ایران

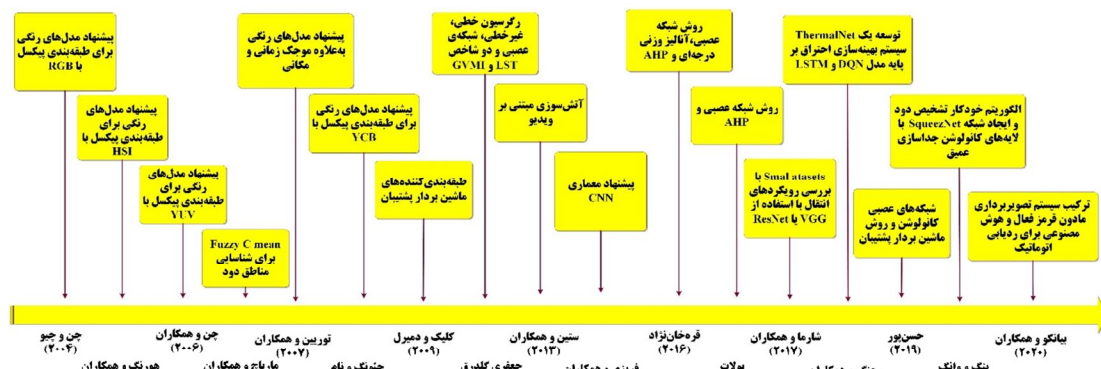
سال چهاردهم = شماره چهارم = زمستان ۱۴۰۱

داده‌های زمان‌های متفاوت ممکن است دقت یکسانی نداشته نباشد؛ انتظار می‌رود شبکه عصبی نتایج بهتری داشته باشد (Jafari Goldarag, 2012).

استفاده از روش‌های یادگیری هوشمند در شناسایی آتش‌سوزی، تهیه نقشه آتش‌سوزی و ارزیابی ریسک آتش در گذشته چندان مرسوم نبود زیرا به حجم بالای داده‌ها نیاز داشت؛ اما امروزه، با توجه به پیشرفت در دریافت و پردازش داده‌ها، پیش‌بینی می‌شود از داده‌های یادگیری ماشین^۷ استفاده آفرین‌تری بشود. در چند سال اخیر، با افزایش داده‌ها، بیشتر روش‌ها در کشف و شناسایی آتش‌سوزی از یادگیری عمیق بهره می‌برند زیرا این شیوه‌ها، برای استفاده، به داده‌های بیشتری نیاز دارند و میزان دقت را بهبود بیشتری می‌بخشند. در شکل ۹، نمونه‌هایی از مطالعات توسعه‌ای انجام گرفته در زمینه آتش‌سوزی مطرح شده است (Bianco et al., 2020; Celik & Demirel, 2009; Çetin et al., 2013; Chen et al., 2004; Chen et al., 2006; Cheng et al., 2018; Frizzi et al., 2016; Horng et al., 2005; Ko et al., 2009; Liu et al., 2019b; Marbach et al., 2006; Peng & Wang, 2019; Sharma et al., 2017; Töreysin et al., 2007; Zheng et al., 2017; Zohdi, 2020; Polat, 2017; Jafari Goldarag, 2012) (Garakhanzhadeh, 2016; Hassanpur, 2019)

۳-۴- مطالعات توسعه الگوریتم در حوزه شناسایی آتش‌سوزی

در دو دهه اخیر، توسعه امکانات نرم‌افزاری و سخت‌افزاری به گسترش و ارتقای الگوریتم‌های یادگیری ماشین در این حوزه منجر شده است (Saha et al., 2005). در شناسایی و گسترش آتش‌سوزی، روش‌های مدل‌سازی پارامتریک مانند رگرسیون لجستیک^۱ و روش‌های ترکیب خطی و رتبه‌ای^۲، به دلیل روابط پیچیده بین وقوع آتش‌سوزی و عوامل مؤثر در آن و نیز حساسیت آنها به داده‌های پرت، دقت و کارایی لازم را ندارند (Samui, 2008; Vasilakos et al., 2009). از دیگر سو، روش‌های دقیق ناپارامتریک به‌منظور شناسایی و مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی قادرند این ارتباط پیچیده را بهتر مدل‌سازی کنند. از جمله این روش‌ها شبکه عصبی مصنوعی^۳ و روش‌های داده‌کاوی با الگوریتم یادگیری ماشین، مانند ماشین بردار پشتیبان^۴ و درخت تصمیم^۵، مانند جنگل تصادفی^۶ (Eshaghi & Shataee Jouibary, 2016) را می‌توان نام برد. شبکه‌های عصبی حساسیت کمتری در برابر نویزهای داده‌های ورودی دارند و از آن‌جاکه در زمینه وقوع آتش‌سوزی نیز، ورودی ممکن است داده‌های حقیقی، پیش‌بینی‌شده و درون‌یابی‌شده باشد و



شکل ۹. روند پیشرفت زمانی برخی مطالعات توسعه‌ای درباره آتش‌سوزی

1. Logistic Regression
2. Linear Combination
3. Artificial Neural Network
4. Support Vector Machine
5. Decision Trees
6. Random Forest
7. Machine Learning

۳-۵- روش‌های بررسی و ارزیابی

معمولاً در بیشتر مطالعات، در انتها برای ارزیابی روش پیشنهادی مطرح‌شده، اثبات یا رد فرضیه‌های تحقیق، از داده‌های واقعیت‌زمینی^۱ استفاده می‌شود که با توجه به موضوع مورد بررسی، از داده‌های گوناگونی بهره گرفته می‌شود. نمونه داده و روش‌های ارزیابی در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. نمونه داده‌ها و روش‌های ارزیابی تحقیقات در زمینه آتش‌سوزی

منابع	داده ارزیابی	نوع تحقیق
Akbarzadeh, 2013	داده‌های زمینی آتش‌سوزی تهیه‌شده از سازمان منابع طبیعی	پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی
Garakhanzadeh, 2016	داده‌های ایستگاه هواشناسی، نقشه دما و رطوبت تهیه‌شده از طریق درون‌یابی به روش IDW در نرم‌افزار Arc gis، موقعیت دقیق چاه‌های نفت مشتعل در منطقه از طریق google earth	بررسی تأثیر دما و رطوبت در کشف آتش
Chamani 2013	Takaldani, داده‌های واقعی زیست‌محیطی پارک جنگلی گلستان و مدل گسترش آتش پیشنهادی الکساندریس	مدل گسترش آتش‌سوزی و کنترل مدیریت آن
Sarkargar 2010	Ardakani, تعیین مختصات جغرافیایی نقاط آتش‌سوزی، مختصات نقاط آتش‌سوزی آشکارشده با استفاده از سنجنده مادیس و shape file منطقه آتش‌سوزی	تجزیه و تحلیل ویژگی‌های طیفی و فضایی آتش برای شناسایی و تفکیک در داده‌های سنجنش از دور
Mansori, 2012	استفاده از عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰	بررسی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر در آتش‌سوزی و تعیین نقاط ریسک‌پذیر و بحرانی جنگل
Azari, 2016	مختصات زمینی دریافت‌شده از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری و سازمان منابع طبیعی	ارزیابی روش‌های گوناگون شناسایی آتش‌سوزی جنگل‌ها با استفاده از تصاویر مادیس
Ghaemi Rad, 2014	نقشه ۱:۲۵۰۰۰ منطقه از سازمان نقشه‌برداری کشور، مدل رقومی ده‌متری و مختصات آتش‌سوزی از سازمان جنگل‌شناسی	ارزیابی الگو و مدل‌های گسترش آتش‌سوزی جنگل با استفاده از داده‌های سنجنش از دور
Garavand, 2013	نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، مدل رقومی ارتفاع حاصل از نقشه توپوگرافی یک‌پنجاه‌هزارم کشوری	ارزیابی احتمال وقوع و محاسبه میزان خطر آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی استان لرستان
Vakili, 2016	مکان‌های آتش‌سوزی از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری و اطلاعات جاده‌ها و روستاها از سازمان نقشه‌برداری کشور	تهیه مدل مکانی-زمانی ریسک آتش‌سوزی جنگل با ترکیب مدل‌های روزانه، فصلی با استفاده از فن‌های سنجنش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی
Yang et al., 2017	مجموعه تصاویر لیدار و لندست برای ارزیابی پوشش گیاهی پس از حریق	بازیابی گیاهی در دوره پس از حریق، در آمریکای شمالی
Saglam et al., 2008	Fragstats برای شاخص‌های تولیدشده از طریق LPI و MPS، AWMSI، NP، مبتنی بر ارزیابی شد. ارزیابی‌ها از این قرار بودند: ساختار نقشه خطر آتش‌سوزی به ترتیب تعیین شد	آنالیز زمانی خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از تصاویر لندست
Viana-Soto et al., 2020	ارزیابی برآورد بازیابی از طریق تفسیر بصری و ارتوفتو ^۱ با رزولوشن بالا	شناسایی مسیرهای بازیابی پس از آتش‌سوزی و عوامل محرک با استفاده از سری زمانی لندست در جنگل‌های کاج مدیترانه‌ای

1. Grand Trough

۴- نتایج

با توجه به موارد بیان شده، مطالعات آتش‌سوزی را می‌توان حین و پس از آتش‌سوزی، در دو گروه قرارداد. روش‌های Active Fire حین آتش‌سوزی براساس ناهنجاری‌های گرمایی تولیدشده بر اثر آتش کاربرد دارند. برای نمونه، یکی از الگوریتم‌ها درجه حرارت آتش بالقوه را با دمای پوشش زمین اطراف آن مقایسه می‌کند؛ اگر اختلاف دما بیشتر از آستانه داده شده باشد، آتش بالقوه به منزله آتش فعال یا نقطه داغ تأیید می‌شود. با اینکه مشاهدات ماهواره‌ای آتش‌سوزی فعال پتانسیل بالایی برای پایش آتش‌سوزی در زمان واقعی دارند، محدودیت‌هایی مانند دوره زمانی، گذر ماهواره، تفکیک مکانی، درصد پوشش ابر و قابلیت‌های ردیابی ماهواره‌ای باید مورد توجه قرار گیرد (Cardil et al., 2019). الگوریتم‌های آتش فعال معمولاً تشخیص صحیحی دارند، مگر در موارد آتش‌سوزی کوچک و با دمای پایین که برای استفاده منطقه‌ای، به آستانه‌های دقیق تنظیم شده نیاز دارند (Wang et al., 2007). ارزیابی پتانسیل خطر آتش‌سوزی، اگرچه در مدیریت آتش‌سوزی حیاتی است، هنوز به حد کمال خود نرسیده است. وقوع آتش‌سوزی تابع عوامل بسیاری همچون رطوبت، شیب، مواد سوختنی، شرایط اقلیمی و توپوگرافی است. بیشتر رویکردهای ارزیابی خطر آتش‌سوزی فعلی نیز می‌توانند فقط یک یا چند مورد از این عوامل را منعکس کنند؛ بنابراین برای استفاده عملیاتی، دقت کافی را ندارند. روش‌های Active Fire، به دلیل کاربرد در آتش‌سوزی‌های گسترده، کاربرد کمتری در ایران داشته‌اند.

روش‌های Post Fire به مجموعه تحقیقات پس از آتش‌سوزی مرتبط می‌شود که می‌تواند بلافاصله پس از آتش‌سوزی، با هدف ارزیابی سریع برای به حداقل رساندن خسارات آتش‌سوزی انجام شود و یا در بازه‌های بلندمدت، برای احیا و بازگشت مجدد به‌منظور

بهبود زمینه‌ای^۱ آسیب‌دیده از آتش (که بعید به نظر می‌رسد به‌طور طبیعی بازیابی شوند)، صورت گیرد. این مرحله ممکن است شامل احیای زیستگاه سوخته، احیای جنگل، و کاشت و نظارت بر تأثیرات آتش‌سوزی باشد. جاری شدن سیل در پی آتش‌سوزی و افزایش رواناب ممکن است چندین سال در منطقه دچار سوختگی ادامه داشته باشد و پوشش گیاهی و خاک آن را دستخوش تغییر کند؛ به همین علت، می‌توان برای آن بازه زمانی و سری زمانی تعریف کرد و پارامترها و عوامل متعددی را در آن مورد بررسی قرار داد. در ایران، بیشتر مطالعات انجام‌شده به Post Fire معطوف است.

سنجش از دور، به دلیل قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب، می‌تواند اطلاعات مهمی برای هشدارهای زودهنگام آتش‌سوزی در اختیار قرار دهد. در میان تصاویر متفاوت ماهواره‌ای مورد استفاده در آتش‌سوزی، مادیس به دلیل دوره تکرار مناسب می‌تواند نقاط دچار حریق را در فاصله زمانی کوتاه‌تر و مورد قبولی آشکارسازی نماید. AVHRR تعادل بین قدرت تفکیک مکانی و زمانی را فراهم می‌آورد و در الگوریتم تشخیص آتش‌سوزی، مشابه مادیس عمل می‌کند اما امروزه، به دلیل تعداد باندهای بیشتر سنجنده مادیس و بهبود تفکیک مکانی و طیفی آن، کمتر از AVHRR استفاده می‌شود. سنجنده لندست، Spot و Geoeye از مناطق آتش‌سوزی به صورت دیجیتالی و با رزولوشن بالا تصویربرداری می‌کنند. با هدف به حداکثر رساندن تمایز مناطق سوخته و نسوخته، می‌توان از ترکیب باندهای تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد. ماهواره HJ-IRS، در برابر آتش‌های سرد و داده‌های کوچک، بسیار حساس‌تر از AVHRR و مادیس است؛ به همین علت، در شناسایی و آشکارسازی آتش‌سوزی‌های جنگل نتایج مطلوبی به دست می‌دهد. در کل، با توجه به بررسی‌ها، می‌توان نتیجه گرفت سنجش از دور به صورت مستقل و بدون نیاز به داده‌های بیرونی، می‌تواند کاربرد

1. Context Improvement

ویژگی‌های آن را به میزان پیش از آتش‌سوزی برگرداند زیرا جنگل، به‌منزله جزئی از طبیعت، ویژگی خودتنظیمی دارد. در گذشته، برای شناسایی و گسترش آتش‌سوزی از روش‌های سنتی پارامتریک، مانند رگرسیون لجستیک، استفاده می‌شد. به‌مرور زمان روش‌های جدید، همانند ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی، جایگزین روش‌های قدیمی شد و در حال حاضر، با توسعه روش‌های یادگیری و داده‌های مورد استفاده، شیوه‌های یادگیری عمیق مرسوم شد.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

روش‌های Active fire، در ابتدا، فقط برای مدل‌سازی آتش، شبیه‌سازی گسترش آتش و موارد دیگری از این دست استفاده می‌شد اما، با توجه به توسعه الگوریتم و داده‌ها در زمینه آتش‌سوزی، مسیر جدیدی برای مطالعه آتش‌سوزی فعال معرفی و بررسی شد. با استفاده از دود حاصل از آتش‌سوزی و استخراج گازهای آن، می‌توان میزان تأثیرات در گازهایی مانند دی‌اکسید کربن و متان را برآورد کرد و از آنها برای بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای بهره برد. از طرفی این روش، به‌دلیل کمبود آتش‌سوزی‌های حاصل از عوامل توپوگرافی و اقلیمی، در ایران کاربرد کمتری دارد. برای دستیابی به اتوماسیون و دقت بالا، می‌توان از روش‌های شبکه عصبی و یادگیری عمیق در موضوعات مطالعاتی بهره برد که به‌دلیل انعطاف‌پذیری و شبیه‌سازی بالا، دقت حاصل را افزایش می‌دهد. پیشنهاد می‌شود نقشه‌های خطر آتش‌سوزی، به‌همراه نقشه‌های تیپ پوشش گیاهی با مقیاس بزرگ (متأسفانه کمبود چنین نقشه‌هایی در سطح کشور به‌شدت نمود دارد) تعیین شوند؛ این نقشه‌ها می‌توانند در جمع‌آوری، تکمیل و تهیه اطلاعات دقیق‌تر نقاط حساس از نظر آتش‌سوزی، به پژوهشگران کمک کنند. به‌منظور بررسی نقش عوامل محیطی در افزایش یا کاهش تأثیرات آتش‌سوزی در ویژگی‌های خاک، پیشنهاد می‌شود در مناطق آتش‌سوزی، در شیب‌ها و جهت‌های متفاوت جغرافیایی

گسترده‌ای در پدیده آتش‌سوزی داشته باشد؛ مگر در مواردی به‌صورت مکمل و یا ایجاد آنالیزهای ترکیبی، به داده‌های دیگری نیازمند باشد.

در میزان بازیابی پس از آتش‌سوزی، موارد مانند پوشش گیاهی، خاک و توسعه الگوریتم‌ها در شناسایی و گسترش آتش‌سوزی مورد توجه قرار گرفته است. جنگل‌ها، با توجه به شرایط اقلیمی، آب‌وهوایی و گونه‌های متفاوت گیاهی‌شان، زمان بازیابی متفاوتی دارند که از یک سال پس از آتش‌سوزی آغاز می‌شود و گاه بیش از ده سال هم به طول می‌انجامد. به‌طورکلی بازگشت شرایط هر گونه گیاهی، با توجه به ویژگی‌های منطقه رویش، نیازهای اکولوژیک و دامنه بردباری، با برخی ویژگی‌های خاک و شرایط فیزیوگرافی رابطه دارد؛ بنابراین نتایج به‌دست‌آمده در هر منطقه را فقط می‌توان به مناطقی با شرایط یکسان تعمیم داد. طبق مطالعات در زمینه خاک زیر سطح آتش، می‌توان گفت تغییرات شیمیایی ایجادشده بر اثر آتش‌سوزی، در کوتاه‌مدت، برای حاصل‌خیزی خاک مفید است اما در طولانی‌مدت، به‌دلیل تلفات عناصر غذایی موجود در خاکستر از طریق آب‌شویی، فرسایش و تصعید، حاصل‌خیزی خاک کاهش می‌یابد. به‌دنبال وقوع آتش‌سوزی، خاک از نظر عناصر در دسترس آزادشده از مواد آلی سوخته و میکروارگانیسم‌های کشته‌شده، غنی می‌شود؛ بنابراین میکروارگانیسم‌ها به‌سرعت رشد می‌کنند اما، به‌دلیل وجود تنش‌هایی همچون افزایش اسیدیته، بیشتر انرژی آنها صرف می‌شود و در نتیجه، زیست‌توده میکروبی کاهش می‌یابد. فعالیت آنزیم‌ها نیز، به‌دلیل دناتوراسیون حرارتی، کم می‌شود اما تمامی این تأثیرات موقت است و با گذشت مدت زمان مشخص، خاک از نظر فعالیت میکروبی و آنزیمی به تعادل می‌رسد. شایان ذکر است که آتش‌سوزی در برخی ویژگی‌های خاک، مانند درصد رطوبت، جرم مخصوص ظاهری، فسفر و پتاسیم، درصد آهک، اسیدیته و هدایت الکتریکی، اثر طولانی‌مدت نداشته است و بازسازی اکوسیستم جنگل می‌تواند بسیاری از

ممکن را به‌درستی مطالعه کنند و تمامی متغیرهای مستقل در مدل‌سازی تأثیرات آتش‌سوزی و الگوهای بازیابی جنگل را در نظر بگیرند. امید است که پژوهشگران و علاقه‌مندان به این حوزه، با استفاده از تحقیق پیش رو و با توجه به اقلیم مورد نظر و داده‌های در دسترس، بتوانند به رفع نواقص این مطالعه بپردازند و روش‌های جدیدی پیشنهاد دهند.

۶- منابع

- Akbarzadeh, J., 2013, **Comparison and Evaluation of Conventional Fire Detection Methods and Investigation the Influence of Temperature and Humidity in Accuracy of Detecting Permanent Fire Points Using MODIS**, K.N Toosi University of Technology, Faculty of Geodesy and Geomatics, Tehran.
- Akther, M.S. & Hassan, Q.K., 2011, **Remote Sensing-Based Assessment of Fire Danger Conditions over Boreal Forest**, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 4, P. 992-999.
- 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, 204, PP. 191-201.
- Alhaj Khalaf, M.W., Shataee Jouibary, S. & Jahdi, R., 2020, **Ability and Sensitivity Study of Spectral Indices for Wildfire Severity Mapping (Case Study: Arabdagh-Golestan Reforestations)**, Forest and Wood Products, 73, PP. 97-110.
- Allen, J.L. & Sorbel, B., 2008, **Assessing the Differenced Normalized Burn Ratio's Ability to Map Burn Severity in the Boreal Forest and Tundra Ecosystems of Alaska's National Parks**, International Journal of Wildland Fire, 17, PP. 463-475.

و همچنین در توده‌هایی با اقلیم‌های حیاتی متفاوت، مطالعاتی انجام شود زیرا خاک نقش مهمی در بازسازی و سیر مراحل تکاملی جنگل دارد. همچنین استفاده از انواع روش‌های یادگیری و تعمیم آنها برای دستیابی به دقت بیشتر نیز پیشنهاد می‌شود.

لازمهٔ احیا و بازسازی گونه‌های گیاهی ایجاد راهبردی هدفمند برای پیشگیری از وقوع آتش‌سوزی مجدد در منطقه است. اطلاعات حاصل از پوشش گیاهی و خاک ممکن است در حل مسائل اکولوژیکی، مانند حفاظت بیولوژیکی و مدیریت منابع طبیعی، مفید باشد و با ارزیابی اطلاعات گیاهی می‌توان روند تغییرات آینده را پیش‌بینی کرد. توانایی جوامع گیاهی در تحمل آتش‌سوزی و رویش مجدد بخش‌هایی که سالم مانده‌اند در بازیابی پوشش گیاهی پس از آتش‌سوزی نقش مهم و اصلی را دارد و ممکن است گونه‌های گیاهی که با هم رشد می‌کنند پاسخ بسیار متفاوتی در برابر آتش‌سوزی نشان دهند. با توجه به مطالعات انجام‌شده، روش‌هایی که به پوشش گیاهی و یا خاک مرتبط می‌شوند، به دلیل اهمیت بسیار در مسائل زیست‌محیطی، امروزه مورد توجه گسترده‌ای قرار گرفته‌اند. با استفاده از تلفیق داده‌های ماهواره‌ای، می‌توان میزان تأثیر خاک در بازیابی و خسارات پوشش گیاهی پس از آتش‌سوزی را بررسی کرد.

در این پژوهش، سعی بر این بود مطالعهٔ نسبتاً جامعی دربارهٔ آتش‌سوزی انجام شود و این مسئله از جنبه‌های گوناگونی بررسی و تحلیل شود. پدیدهٔ آتش‌سوزی از دید انواع داده‌های مورد استفاده، پارامترهای مؤثر و موضوعات تحقیقاتی مورد مطالعه بررسی شد و الگوریتم‌های اجراشده در این زمینه به صورت ساختاریافته معرفی شدند. انتخاب مجموعه داده‌ها و روش‌های مناسب برای به‌حداکثر رساندن دقت و کارایی هنگام کار ضروری است. همان‌گونه که در این مقاله بررسی شد، مطالعهٔ اکولوژیکی جنگل در ارتباط با پدیدهٔ آتش‌سوزی، به کمک سنجش از دور، شامل بسیاری از موضوعات، فرایندها و پدیده‌های گوناگون است. محققان باید تمامی اصطلاحات و روش‌های

- Alley, W.M., 1985, The Palmer Drought Severity Index as a Measure of Hydrologic Drought 1, *Jawra Journal of the American Water Resources Association*, 21, PP. 105-114.
- Alonso-Canas, I. & Chuvieco, E., 2015, **Global Burned Area Mapping from ENVISAT-MERIS and MODIS Active Fire Data**, *Remote Sensing of Environment*, 163, PP. 140-152.
- Amiro, B., MacPherson, J. & Desjardins, R., 1999, **Boreas Flight Measurements of Forest-Fire Effects on Carbon Dioxide and Energy Fluxes**, *Agricultural and Forest Meteorology*, 96, PP.199-208.
- Andersen, H.-E., Strunk, J., Temesgen, H., Atwood, D. & Winterberger, K., 2012, **Using Multilevel Remote Sensing and Ground Data to Estimate Forest Biomass Resources in Remote Regions: A Case Study in The Boreal Forests of Interior Alaska**, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 37, PP. 596-611.
- Ardakani, A.S., Zoj, M.J.V., Mohammadzadeh, A. & Mansourian, A., 2010, **Spatial and Temporal Analysis of Fires Detected by Modis Data in Northern Iran from 2001 To 2008**, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 4, PP. 216-225.
- Aricak, B., Kucuk, O. & Enez, K., 2014, **Determining a Fire Potential Map Based on Stand Age, Stand Closure and tree Species, Using Satellite Imagery (Kastamonu Central Forest Directorate Sample)**, *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 35, PP. 101-108.
- Askari, T., 2013, **Assessment Pattern and Models of Forest Fire Spread Using Remote Sensing Data**, K.N. Toosi University of Technology, Faculty of Geodesy and Geomatic, Tehran.
- Azari, O., 2016, **Evaluation of Forest Fires Detection Methods Using MODIS Satellite Images**, K.N.Toosi University of Technology, Faculty of Geodesy and Geomatics, Tehran.
- Azari, O. & Mohammadzadeh, A., 2016, **Fire Detection in Remote Sensing from the Perspective of Some Satellite Sensor**, *Geospatial Engineering Journal*, 7, PP. 15-23.
- Baheri, H., 2016, **Long-Term Effect of Fire on Vegetation and Regeneration of Beech (Fagus Orientalis L.) in the Mountain Forests (Case Study: Lesakoti Tenkaben)**, Gilan University, Faculty of Natural Resources.
- Banj Shafiei, A., 2007, **Effects of Fire On Ecological Properties of Forest**, *Watershed of Golband*, 45, Series No.4 Chelir, Tarbiat Modares University, Faculty of Agriculture, Tehran.
- Banj Shafiei, A., Akbarinia, M., Jalali, S.G., Azizi, P. & Hosseini, S.M., 2007, **The Effects of Fire on Forest Structure: Case Study in Chelir, Kheyroudkenar, (Watershed Number 45 Golband, Nowshahr)**, *Pajouhesh & Sazandegi*, 76, PP. 112-105.
- Bannari, A., Asalhi, H. & Teillet, P.M., 2002, **Transformed Difference Vegetation Index (TDVI) for Vegetation Cover Mapping**, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IEEE, PP. 3053-3055.
- Barani Fard, H.A., 2015, **The Study of The Wood Sensitivity of Some Regional Hardwood and Softwood Trees against Fire in The Forests of Golestan Province**, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Faculty of Forest Sciences.
- Barrett, K. & Kasischke, E.S., 2013, **Controls on Variations in MODIS Fire Radiative Power in Alaskan Boreal Forests: Implications for Fire Severity Conditions**, *Remote Sensing of Environment*, 130, PP. 171-181.
- Barrett, K., Kasischke, E., McGuire, A., Turetsky, M. & Kane, E., 2010, **Modeling Fire Severity in Black Spruce Stands in the Alaskan Boreal Forest Using Spectral and Non-Spectral Geospatial Data**, *Remote Sensing of Environment*, 114, PP. 1494-1503.

- Bashmaghi, M., 2015, **The Effect of Fire Intensity and Frost on the Soil Seed Bank in Different Times of Fire (Case Study of Golestan National Park)**, Tarbiat Modares University, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tehran.
- Bianco, V., Mazzeo, P., Paturzo, M., Distante, C. & Ferraro, P., 2020, **Deep Learning Assisted Portable IR Active Imaging Sensor Spots and Identifies Live Humans through Fire**, Optics and Lasers in Engineering, 124, P. 105818.
- Boby, L.A., Schuur, E.A., Mack, M.C., Verbyla, D. & Johnstone, J.F., 2010, **Quantifying Fire Severity, Carbon, and Nitrogen Emissions in Alaska's Boreal Forest**, Ecological Applications, 20, PP. 1633-1647.
- Boles, S.H. & Verbyla, D.L., 2000, **Comparison of Three AVHRR-Based Fire Detection Algorithms for Interior Alaska**, Remote Sensing of Environment, 72, PP. 1-16.
- Bond, W.J. & Van Wilgen, B.W., 2012, **Fire and Plants**, Springer Science & Business Media.
- Bourgeau-Chavez, L., Harrell, P., Kasischke, E. & French, N., 1997, **The Detection and Mapping of Alaskan Wildfires Using a Spaceborne Imaging Radar System**, International Journal of Remote Sensing, 18, PP. 355-373.
- Bourgeau-Chavez, L., Kasischke, E., Brunzell, S., Mudd, J. & Tukman, M., 2002, **Mapping Fire Scars in Global Boreal Forests Using Imaging Radar Data**, International Journal of Remote Sensing, 23, PP. 4211-4234.
- Bourgeau-Chavez, L.L., Kasischke, E.S., Riordan, K., Brunzell, S., Nolan, M., Hyer, E., Slawski, J., Medvecz, M., Walters, T. & Ames, S., 2007, **Remote Monitoring of Spatial and Temporal Surface Soil Moisture in Fire Disturbed Boreal Forest Ecosystems with ERS SAR Imagery**, International Journal of Remote Sensing, 28, PP. 2133-2162.
- Brang, P., Schönenberger, W., Frehner, M., Schwitter, R. & Wasser, B., 2006, **Management of Protection Forests in the European Alps: An Overview**, For. Snow Landsc. Res. Citeseer.
- Brown, C. & Johnstone, J., 2011, **How Does Increased Fire Frequency Affect Carbon Loss from Fire? A Case Study in the Northern Boreal Forest**, International Journal of Wildland Fire, 20, PP. 829-837.
- Brown, M.E., Lary, D.J., Vrieling, A., Stathakis, D. & Mussa, H., 2008, **Neural networks as a tool for constructing continuous NDVI time series from AVHRR and MODIS**, International Journal of Remote Sensing, 29, PP. 7141-7158.
- Caccamo, G., Bradstock, R., Collins, L., Penman, T. & Watson, P., 2015, **Using MODIS Data to Analyse Post-Fire Vegetation Recovery in Australian Eucalypt Forests**, Journal of Spatial Science, 60, PP. 341-352.
- Cardil, A., Monedero, S., Ramírez, J. & Silva, C.A., 2019, **Assessing and Reinitializing Wildland Fire Simulations through Satellite Active Fire Data**, Journal of Environmental Management, 231, PP. 996-1003.
- Catchpole, W., 2002, **Fire Properties and Burn Patterns in Heterogeneous Landscapes**, "Flammable Australia: The Fire Regimes and Biodiversity of a Continent" (Book Chapter), PP. 49-75.
- Celik, T. & Demirel, H., 2009, **Fire Detection in Video Sequences Using a Generic Color Model**, Fire Safety Journal, 44, PP. 147-158.
- Certini, G., 2005, **Effects of Fire on Properties of Forest Soils: A Review**, Oecologia, 143, PP. 1-10.
- Çetin, A.E., Dimitropoulos, K., Gouverneur, B., Grammalidis, N., Günay, O., Habiboğlu, Y.H., Töreyn, B.U. & Verstockt, S., 2013, **Video Fire Detection-Review**, Digital Signal Processing, 23, PP. 1827-1843.
- Chamani Takaldani, B., 2013, **Agent Based Simulation for Helping Forest Fire Control Management**, K.N Toosi University of Technology, Faculty of Geodesy and Geomatics, Tehran.

- Chen, K., Blong, R. & Jacobson, C., 2001, **MCE-RISK: Integrating Multicriteria Evaluation and GIS for Risk Decision-Making in Natural Hazards**, *Environmental Modelling & Software*, 16, PP. 387-397.
- Chen, T.-H., Wu, P.-H. & Chiou, Y.-C., 2004, **An Early Fire-Detection Method Based on Image Processing**, 2004 International Conference on Image Processing, 2004, ICIP'04. IEEE, PP. 1707-1710.
- Chen, X., Vierling, L., Deering, D. & Conley, A., 2005, **Monitoring Boreal Forest Leaf Area Index Across a Siberian Burn Chronosequence: A MODIS Validation Study**, *International Journal of Remote Sensing*, 26, PP. 5433-5451.
- Chen, T.-H., Yin, Y.-H., Huang, S.-F. & Ye, Y.-T., 2006, **The Smoke Detection for Early Fire-Alerting System Base on Video Processing**, 2006 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia. IEEE, PP. 427-430.
- Cheng, Y., Huang, Y., Pang, B. & Zhang, W., 2018, **ThermalNet: A Deep Reinforcement Learning-Based Combustion Optimization System for Coal-Fired Boiler**, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 74, PP. 303-311.
- Chowdhury, E.H. & Hassan, Q.K., 2013, **Use of Remote Sensing-Derived Variables in Developing a Forest Fire Danger Forecasting System**, *Natural Hazards*, 67, PP. 321-334.
- Chu, T. & Guo, X., 2014, **Remote Sensing Techniques in Monitoring Post-Fire Effects and Patterns of Forest Recovery in Boreal Forest Regions: A Review**, *Remote Sensing*, 6, PP. 470-520.
- Chuvieco, E., Englefield, P., Trishchenko, A.P. & Luo, Y., 2008, **Generation of Long Time Series of Burn Area Maps of the Boreal Forest from NOAA-AVHRR Composite Data**, *Remote Sensing of Environment*, 112, PP. 2381-2396.
- Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Salas, J., Martín, M.P., Vilar, L., Martínez, J., Martín, S. & Ibarra, P., 2010, **Development of a Framework for Fire Risk Assessment Using Remote Sensing and Geographic Information System Technologies**, *Ecological Modelling*, 221, PP. 46-58.
- Cochrane, M.A., 2003, **Fire Science for Rainforests**, *Nature*, 421, PP. 913-919.
- COFOM, 2006, **Incendios Forestales, Guia Practica para Comunicadores**, Zapopan, Mexico.
- Çolak, E. & Sunar, F., 2020, **Evaluation of Forest Fire Risk in the Mediterranean Turkish Forests: A Case Study of Menderes Region, Izmir**, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 101479.
- Countryman, C.M., 1972, **The Fire Environment Concept**, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station.
- Croft, T.A., 1973, **Burning Waste Gas in Oil Fields**, *Nature*, 245, PP. 375-376.
- Daneshhrad, A., 1985, **The Effects of Forest Destruction on the Occurrence of Diseases**, *Olive Magazine*, 361, P. 11.
- Díaz-Delgado, R. & Pons, X., 2001, **Spatial Patterns of Forest Fires in Catalonia (NE of Spain) along the Period 1975-1995: Analysis of Vegetation Recovery after Fire**, *Forest Ecology and Management*, 147, PP. 67-74.
- Duffy, P.A., Epting, J., Graham, J.M., Rupp, T.S. & McGuire, A.D., 2007, **Analysis of Alaskan Burn Severity Patterns Using Remotely Sensed Data**, *International Journal of Wildland Fire*, 16, PP. 277-284.
- Eidenshink, J., Schwind, B., Brewer, K., Zhu, Z.-L., Quayle, B. & Howard, S., 2007, **A Project for Monitoring Trends in Burn Severity**, *Fire Ecology*, 3, PP. 3-21.
- Ekinci, H., 2006, **Effect of Forest Fire on Some Physical, Chemical and Biological Properties of Soil in Çanakkale, Turkey**, *International Journal of Agriculture and Biology*, 8, PP. 102-106.
- Epting, J. & Verbyla, D., 2005, **Landscape-Level Interactions of Prefire Vegetation, Burn Severity, and Postfire Vegetation**

- over a 16-Year Period in Interior Alaska, Canadian Journal of Forest Research, 35, PP. 1367-1377.
- Epting, J., Verbyla, D. & Sorbel, B., 2005, **Evaluation of Remotely Sensed Indices for Assessing Burn Severity in Interior Alaska Using Landsat TM and ETM+**, Remote Sensing of Environment, 96, PP. 328-339.
- Erickson, H.E. & White, R., 2008, **Soils under Fire: Soils Research and the Joint Fire Science Program**, US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Eshaghi, M.A. & Shataee Jouibary, S., 2016, **Preparation Map of Forest Fire Risk Using SVM, RF and MLP Algorithms (Case Study: Golestan National Park, Northeastern Iran)**, Journal of Wood & Forest Science and Technology, 23.
- Eva, H. & Lambin, E.F., 2000, **Fires and Land-Cover Change in the Tropics: A Remote Sensing Analysis at the Landscape Scale**, Journal of Biogeography, 27, PP. 765-776.
- Fan, Q., Wang, C., Zhang, D. & Zang, S., 2017, **Environmental Influences on Forest Fire Regime in the Greater Hinggan Mountains, Northeast China**. Forests, 8, P. 372.
- Fathi, F., 2015, **Evaluation The Effects of Environmental Parameters on the Spatial Accuracy of Fires Fixed Discovered by MODIS Satellite Imagery (Case Study: Southern Iran and Part of Iraq Country)**, K.N. Toosi University of Technology, Faculty of Geodesy and Geomatics, Tehran.
- Firoz, A., Goparaju, L., Qayum, A. & Quli, S., 2017, **Forest Fire Trend Analysis and Effect of Environmental Parameters: A Study in Jharkhand State of India Using Geospatial Technology**, World Scientific News, 90, PP. 31-50.
- Flasse, S. & Ceccato, P., 1996, **A Contextual Algorithm for AVHRR Fire Detection**, International Journal of Remote Sensing, 17, PP. 419-424.
- Fornacca, D., Ren, G. & Xiao, W., 2018, **Evaluating the Best Spectral Indices for the Detection of Burn Scars at Several Post-Fire Dates in a Mountainous Region of Northwest Yunnan, China**, Remote Sensing, 10, P. 1196.
- Fraser, R. & Li, Z., 2002, **Estimating Fire-Related Parameters in Boreal Forest Using SPOT VEGETATION**, Remote Sensing of Environment, 82, PP. 95-110.
- French, N.H., Kasischke, E.S., Hall, R.J., Murphy, K.A., Verbyla, D.L., Hoy, E.E. & Allen, J.L., 2008, **Using Landsat Data to Assess Fire and Burn Severity in the North American Boreal Forest Region: An Overview and Summary of Results**, International Journal of Wildland Fire, 17, PP. 443-462.
- Frizzi, S., Kaabi, R., Bouchouicha, M., Ginoux, J.-M., Moreau, E. & Fnaiech, F., 2016, **Convolutional Neural Network for Video Fire and Smoke Detection**, IECON 2016-42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. IEEE, PP. 877-882.
- Furyaev, V.V., Vaganov, E.A., Tchebakova, N.M. & Valendik, E.N., 2001, **Effects of Fire and Climate on Successions and Structural Changes in the Siberian Boreal Forest**, Eurasian Journal of Forest Research, 2, PP. 1-15.
- Gao, B.-C., 1996, **NDWI—A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space**, Remote Sensing of Environment, 58, PP. 257-266.
- Garakhanzhadeh, A., 2016, **Comparing Ordered Weighted Average (OWA) & Artificial Neural Networks (ANN) Approaches for Forest Fire Risk Mapping (Case Study: Ramsar County's Eastern Forests)**, Tabriz University, Faculty of Planning and Environmental Sciences.
- Garavand, S., 2013, **Evaluating the Probability of Occurrence and Calculating the Risk of Fire in the Natural Areas of Lorestan Province**, Shahrekord University, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences.

- García-Llamas, P., Suárez-Seoane, S., Taboada, A., Fernández-Manso, A., Quintano, C., Fernández-García, V., Fernández-Guisuraga, J.M., Marcos, E. & Calvo, L., 2019, **Environmental Drivers of Fire Severity in Extreme Fire Events that Affect Mediterranean Pine Forest Ecosystems**, *Forest Ecology and Management*, 433, PP. 24-32.
- George, C., Rowland, C., Gerard, F. & Balzter, H., 2006, **Retrospective Mapping of Burnt Areas in Central Siberia Using a Modification of the Normalised Difference Water Index**, *Remote Sensing of Environment*, 104, PP. 346-359.
- Ghaemi Rad, T., 2014, **Review and Evaluate Different Approaches to Simulate Forest Fire Spreading Using Cellular Automata**, K.N. Toosi University of Technology, Faculty of Geodesy and Geomatics, Tehran.
- Gholami Gohareh, R., 2010, **Influence of Surface Fire in Range and Reclaimed Forest Lands of Kodir Area on Temporal Variation of Infiltration, Runoff and Sediment**, Tarbiat Modares University, Faculty of Natural Resources.
- Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C.O. & Kaufman, Y.J., 2003, **An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS**, *Remote Sensing of Environment*, 87, PP. 273-282.
- Giglio, L., Van der Werf, G., Randerson, J., Collatz, G. & Kasibhatla, P., 2006, **Global Estimation of Burned Area Using MODIS Active Fire Observations**, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6, PP. 957-974.
- Giglio, L., Loboda, T., Roy, D.P., Quayle, B. & Justice, C.O., 2009, **An Active-Fire Based Burned Area Mapping Algorithm for the MODIS Sensor**, *Remote Sensing of Environment*, 113, PP. 408-420.
- Gitelson, A.A. & Merzlyak, M.N., 1998, **Remote Sensing of Chlorophyll Concentration in Higher Plant Leaves**, *Advances in Space Research*, 22, PP. 689-692.
- Goetz, S.J., Sun, M., Baccini, A. & Beck, P.S., 2010, **Synergistic Use of Spaceborne Lidar and Optical Imagery for Assessing Forest Disturbance: An Alaska Case Study**, *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 115.
- Gongalsky, K.B. & Persson, T., 2013, **Recovery of Soil Macrofauna after Wildfires in Boreal Forests**, *Soil Biology and Biochemistry*, 57, PP. 182-191.
- Guide, U.P., 2017, **Landsat Surface Reflectance Derived Spectral Indices**, Department of the Interior US Geological Survey, Version 3.
- Hadi, D.P., 2008, **A RS/GIS-Based Multi-Criteria Approaches to Assess Forest Fire Hazard in Indonesia**, Citeseer.
- Hamed, A. & Esmaeili, A., 2016, **Diagnosing the Damage of Zagros Forests after a Low Severity Fire Using Landsat TM and Modis Data**, National Geomatics Conference.
- Hansen, M.C. & Loveland, T.R., 2012, **A Review of Large Area Monitoring of Land Cover Change Using Landsat Data**, *Remote Sensing of Environment*, 122, PP. 66-74.
- Hassan, A.H.B.M., 2008, **Early Detection of Potential Forest Fires Using Satellite Remote Sensing Techniques**, A Thesis Submitted In Fulfillment of The Requirements For The Award of the degree of Master of Science (Remote Sensing).
- Hassanpur, M., 2019, **Fire Detection Using Convolutional Neural Network and Support Vector Machine** Pras Razavi Institute of Higher Education, Department of Computer Engineering, Gonabad.
- Hawbaker, T.J., Radeloff, V.C., Syphard, A.D., Zhu, Z. & Stewart, S.I., 2008, **Detection Rates of the MODIS Active Fire Product in the United States**, *Remote Sensing of Environment*, 112, PP. 2656-2664.
- Heward, H., Smith, A.M., Roy, D.P., Tinkham, W.T., Hoffman, C.M., Morgan, P. & Lannom, K.O., 2013, **Is Burn Severity Related to Fire Intensity? Observations from Landscape Scale Remote Sensing**, *International Journal of Wildland Fire*, 22, PP. 910-918.

- Hicke, J.A., Asner, G.P., Kasischke, E.S., French, N.H., Randerson, J.T., James Collatz, G., Stocks, B.J., Tucker, C.J., Los, S.O. & Field, C.B., 2003, **Postfire Response of North American Boreal Forest Net Primary Productivity Analyzed with Satellite Observations**, *Global Change Biology*, 9, PP. 1145-1157.
- Holden, Z., Smith, A., Morgan, P., Rollins, M. & Gessler, P., 2005, **Evaluation of Novel Thermally Enhanced Spectral Indices for Mapping Fire Perimeters and Comparisons with Fire Atlas Data**, *International Journal of Remote Sensing*, 26, PP. 4801-4808.
- Hollingsworth, T.N., Johnstone, J.F., Bernhardt, E.L. & Chapin III, F.S., 2013, **Fire Severity Filters Regeneration Traits to Shape Community Assembly in Alaska's Boreal Forest**, *PLoS one*, 8.
- Hong, W.-B., Peng, J.-W. & Chen, C.-Y., 2005, **A New Image-Based Real-Time Flame Detection Method Using Color Analysis**, *Proceedings, 2005 IEEE Networking, Sensing and Control*, 2005. IEEE, PP. 100-105.
- Hoy, E.E., French, N.H., Turetsky, M.R., Trigg, S.N. & Kasischke, E.S., 2008, **Evaluating the Potential of Landsat TM/ETM+ Imagery for Assessing Fire Severity in Alaskan Black Spruce Forests**, *International Journal of Wildland Fire*, 17, PP. 500-514.
- Huete, A., 1988, **A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)**, *Remote Sensing of Environment*, 25(3), PP. 295-309.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X. & Ferreira, L.G., 2002, **Overview of the Radiometric and Biophysical Performance of the MODIS Vegetation Indices**, *Remote Sensing of Environment*, 83, PP. 195-213.
- Isabel, M.d.P.M., 1999, **Cartografía e Inventario de Incendios Forestales en la Península Ibérica a Partir de Imágenes NOAA-AVHRR**, Universidad de Alcalá.
- Jafari Goldarag, Y., 2012, **Assessment and Evaluation of Effective Environmental Parameters on Forest Fire Occurrence Based on Remote Sensing Technology (Case Study: Iran North Forest)**, K.N Toosi University of Technology Faculty of Geodesy and Geomatics, Tehran.
- Jain, T.B., Graham, R.T. & Pilliod, D.S., 2004, **Tongue-Tied: Confused Meanings for Common Fire Terminology Can Lead to Fuels Mismanagement**, *Wildfire*, July/August: 22-26, PP. 22-26.
- Johnson, D.W. & Curtis, P.S., 2001, **Effects of Forest Management on Soil C and N Storage: Meta Analysis**, *Forest Ecology and Management*, 140, PP. 227-238.
- Johnstone, J.F. & Kasischke, E.S., 2005, **Stand-Level Effects of Soil Burn Severity on Postfire Regeneration in a Recently Burned Black Spruce Forest**, *Canadian Journal of Forest Research*, 35, PP. 2151-2163.
- Justice, C., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, J., Roy, D., Descloitres, J., Alleaume, S., Petitcolin, F. & Kaufman, Y., 2002, **The MODIS Fire Products**, *Remote Sensing of Environment*, 83, PP. 244-262.
- Karafyllidis, I. & Thanailakis, A., 1997, **A Model for Predicting Forest Fire Spreading Using Cellular Automata**, *Ecological Modelling*, 99, PP. 87-97.
- Kasischke, E.S. & French, N.H., 1995, **Locating and Estimating the Areal Extent of Wildfires in Alaskan Boreal Forests Using Multiple-Season AVHRR NDVI Composite Data**, *Remote Sensing of Environment*, 51, PP. 263-275.
- Kasischke, E.S., Turetsky, M.R., Ottmar, R.D., French, N.H., Hoy, E.E. & Kane, E.S., 2008, **Evaluation of the Composite Burn Index for Assessing Fire Severity in Alaskan Black Spruce Forests**, *International Journal of Wildland Fire*, 17, PP. 515-526.
- Kasischke, E.S., Loboda, T., Giglio, L., French, N.H., Hoy, E., de Jong, B. & Riano, D., 2011a, **Quantifying Burned Area for North American Forests: Implications for Direct Reduction of Carbon Stocks**, *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116.

- Kasischke, E.S., Tanase, M.A., Bourgeau-Chavez, L.L. & Borr, M., 2011b, **Soil Moisture Limitations on Monitoring Boreal Forest Regrowth Using Spaceborne L-Band SAR Data**, *Remote Sensing of Environment*, 115, PP. 227-232.
- Kaufman, Y.J., Justice, C., Flynn, L., Kendall, J., Prins, E., Giglio, L., Ward, D.E., Menzel, P. & Setzer, A., 1998a, **Potential Global Fire Monitoring from EOS-MODIS**, *Journal of Geophysical Research*, 103(D24), PP. 32215-32238.
- Kaufman, Y.J., Justice, C.O., Flynn, L.P., Kendall, J.D., Prins, E.M., Giglio, L., Ward, D.E., Menzel, W.P. & Setzer, A.W., 1998b, **Potential Global Fire Monitoring from EOS-MODIS**, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103, PP. 32215-32238.
- Keeley, J.E., 2009, **Fire Intensity, Fire Severity and Burn Severity: A Brief Review and Suggested Usage**, *International journal of wildland fire*, 18, PP. 116-126.
- Khanmohammadi, M., 2014, **Spatial and Temporal Analysis of Forest Fire Hazard in the East Hyrcanian Iran**, Semnan University, Faculty of Desertology.
- Ko, B.C., Cheong, K.-H. & Nam, J.-Y., 2009, **Fire Detection Based on Vision Sensor and Support Vector Machines**, *Fire Safety Journal*, 44, PP. 322-329.
- Lentile, L.B., Holden, Z.A., Smith, A.M., Falkowski, M.J., Hudak, A.T., Morgan, P., Lewis, S.A., Gessler, P.E. & Benson, N.C., 2006, **Remote Sensing Techniques to Assess Active Fire Characteristics and Post-Fire Effects**, *International Journal of Wildland Fire*, 15, PP. 319-345.
- Leon, J.R.R., Van Leeuwen, W.J. & Casady, G.M., 2012, **Using MODIS-NDVI for the Modeling of Post-Wildfire Vegetation Response as a Function of Environmental Conditions and Pre-Fire Restoration Treatments**, *Remote Sensing*, 4, PP. 598-621.
- Li, X., Jin, H., Wang, H., Wu, X., Huang, Y., He, R., Luo, D. & Jin, X., 2020., **Distributive Features of Soil Carbon and Nutrients in Permafrost Regions Affected by Forest Fires in Northern Da Xing'anling (Hinggan) Mountains, NE China**, *Catena*, 185, P. 104304.
- Liu, T., Marlier, M.E., Karambelas, A., Jain, M., Singh, S., Singh, M.K., Gautam, R. & DeFries, R.S., 2019a, **Missing Emissions from Post-Monsoon Agricultural Fires in Northwestern India: Regional Limitations of MODIS Burned Area and Active Fire Products**, *Environmental Research Communications*, 1, P. 011007.
- Liu, X.-p., Zhang, G.-q., Lu, J. & Zhang, J.-q., 2019b, **Risk Assessment Using Transfer Learning for Grassland Fires**, *Agricultural and Forest Meteorology*, 269, PP. 102-111.
- Lizundia-Loiola, J., Otón, G., Ramo, R. & Chuvieco, E., 2020, **A Spatio-Temporal Active-Fire Clustering Approach for Global Burned Area Mapping at 250 m from MODIS Data**, *Remote Sensing of Environment*, 236, P. 111493.
- Loboda, T., O'neal, K. & Csiszar, I., 2007, **Regionally Adaptable dNBR-Based Algorithm for Burned Area Mapping from MODIS Data**, *Remote Sensing of Environment*, 109, PP. 429-442.
- Loboda, T.V., Hoy, E.E., Giglio, L. & Kasischke, E.S., 2011, **Mapping Burned Area in Alaska Using MODIS Data: A Data Limitations-Driven Modification to the Regional Burned Area Algorithm**, *International Journal of Wildland Fire*, 20, PP. 487-496.
- Loboda, T.V., Zhang, Z., O'Neal, K.J., Sun, G., Csiszar, I.A., Shugart, H. & Sherman, N., 2012, **Reconstructing Disturbance History Using Satellite-Based Assessment of the Distribution of Land Cover in the Russian Far East**, *Remote Sensing of Environment*, 118, PP. 241-248.
- Loboda, T.V., French, N.H., Hight-Harf, C., Jenkins, L. & Miller, M.E., 2013, **Mapping Fire Extent and Burn Severity in Alaskan Tussock Tundra: An Analysis of the Spectral Response of Tundra Vegetation**

- to **Wildland Fire**, Remote Sensing of Environment, 134, PP. 194-209.
- Lozano, F.J., Suárez-Seoane, S. & de Luis, E., 2007, **Assessment of Several Spectral Indices Derived from Multi-Temporal Landsat Data for Fire Occurrence Probability Modelling**, Remote Sensing of Environment, 107, PP. 533-544.
- Lutz, J.A., Key, C.H., Kolden, C.A., Kane, J.T. & van Wagtenonk, J.W., 2011, **Fire Frequency, Area Burned, and Severity: A Quantitative Approach to Defining a Normal Fire Year**, Fire Ecology, 7, PP. 51-65.
- Maeda, E.E., Formaggio, A.R., Shimabukuro, Y.E., Arcoverde, G.F.B. & Hansen, M.C., 2009, **Predicting Forest Fire in the Brazilian Amazon Using MODIS Imagery and Artificial Neural Networks**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 11, PP. 265-272.
- Magnussen, S. & Wulder, M.A., 2012, **Post-Fire Canopy Height Recovery in Canada's Boreal Forests Using Airborne Laser Scanner (ALS)**, Remote Sensing, 4, PP. 1600-1616.
- Maleki, M., 2016, **Modeling Occurrence and the Spread of Forest Fire Using Cellular Automata Approach (Case Study: Arasbaran Protected Area)**, Tabriz University, Faculty of Planning and Environmental Sciences.
- Mansori, A., 2012, **Investigating and Prioritizing the Factors Affecting Fire and Determining the Risky and Critical Points of the Forest (Case Study Series 2 of Nau Islam Gilan)**, Gilan University, Faculty of Agriculture and Natural Resources.
- Marbach, G., Loepfe, M. & Brupbacher, T., 2006, **An Image Processing Technique for Fire Detection in Video Images**, Fire Safety Journal, 41, PP. 285-289.
- Martín, M., Gómez, I. & Chuvieco, E., 2005, **Performance of a Burned-Area Index (BAIM) for Mapping Mediterranean Burned Scars from MODIS Data**, Proceedings of the 5th International Workshop on Remote Sensing and GIS Applications to Forest Fire Management: Fire Effects Assessment. Paris, Universidad de Zaragoza, GOFIC GOLD, EARSeL, PP. 193-198.
- Matricardi, E.A., Skole, D.L., Pedlowski, M.A., Chomentowski, W. & Fernandes, L.C., 2010, **Assessment of Tropical Forest Degradation by Selective Logging and Fire Using Landsat Imagery**, Remote Sensing of Environment, 114, PP. 1117-1129.
- Mazrae, M., 2012, **Short Time Effect of Forest Fire on Soil Carbon Sequestration Potential**, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Faculty of Forestry.
- McCullough, D.G., Werner, R.A. & Neumann, D., 1998, **Fire and Insects in Northern and Boreal Forest Ecosystems of North America**, Annual Review of Entomology, 43, PP. 107-127.
- McElhinny, C., Gibbons, P., Brack, C. & Bauhus, J., 2005, **Forest and Woodland Stand Structural Complexity: Its Definition and Measurement**, Forest Ecology and Management, 218, PP. 1-24.
- Merino-de-Miguel, S., Huesca, M. & González-Alonso, F., 2010, **Modis Reflectance and Active Fire Data for Burn Mapping and Assessment at Regional Level**, Ecological Modelling, 221, PP. 67-74.
- Mesdaghi, M., 2001, **Vegetation Description and Data Analysis: A Practical Approach**, Academic Jihad Publications, Ferdowsi University of Mashhad.
- Michalek, J., French, N., Kasischke, E., Johnson, R. & Colwell, J., 2000, **Using Landsat TM Data to Estimate Carbon Release from Burned Biomass in an Alaskan Spruce Forest Complex**, International Journal of Remote Sensing, 21, PP. 323-338.
- Mohammadi, F., 2012, **Preparation of Forest Fire Risk Map (Case Study: Sarovabad Forests in Kurdistan Province)**, University of Kurdistan, Faculty of Agriculture and Natural Resources.

- Mölders, N. & Kramm, G., 2007, **Influence of Wildfire Induced Land-Cover Changes on Clouds and Precipitation in Interior Alaska—A Case Study**, Atmospheric Research, 84, PP. 142-168.
- Morisette, J.T., Giglio, L., Csiszar, I., Setzer, A., Schroeder, W., Morton, D. & Justice, C.O., 2005, **Validation of MODIS Active Fire Detection Products Derived from Two Algorithms**, Earth Interactions, 9, PP. 1-25.
- Movaghati, S., Samadzadegan, F. & Azizi, A., 2008, **An Agent-Based Algorithm for Forest Fire Detection**, ISPRS Congress Beijing, PP. 631-634.
- Murphy, K.A., Reynolds, J.H. & Koltun, J.M., 2008, **Evaluating the Ability of the Differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) to Predict Ecologically Significant Burn Severity in Alaskan Boreal Forests**, International Journal of Wildland Fire, 17, PP. 490-499.
- Najafi, A., 2014, **Investigation and Modeling Effects of Forest Fires in the Landscape Using RS and GIS (Case Study: Protected Area of Baghe-Shadi Khatam)**, Yazd University, Faculty of Natural Resource and Desert studies.
- Nayebi, A.H., Eslamlo, A. & Naderi, S., 2018, **Recognizing and Fighting Different Types of Forest Fires**.
- Nazari, C., 2015, **Effect of Fire on Some Soil Physical, Chemical and Biological Properties in a Northern Zagros Oak Forest (Case Study: Marivan Forests)**, University of Kurdistan, Faculty of Agriculture and Natural Resources.
- Nepstad, D.C., Verssimo, A., Alencar, A., Nobre, C., Lima, E., Lefebvre, P., Schlesinger, P., Potter, C., Moutinho, P., Mendoza, E., 1999, **Large-Scale Impoverishment of Amazonian Forests by Logging and Fire**, Nature, 398, PP. 505-508.
- Nesterov, V., 1949, **Forest Fires and Methods of Fire Risk Determination**, Russian, Goslesbumizdat, Moscow.
- Norouzi, M., 2011, **Effect of Fire on Some Physico-Chemical and Micromorphological Properties of Forest Soils in Gilan Province**, Gilan University, Faculty of Agricultural Sciences.
- Palacios-Orueta, A., Chuvieco, E., Parra, A. & Carmona-Moreno, C., 2005, **Biomass Burning Emissions: A Review of Models Using Remote-Sensing Data**, Environmental Monitoring and Assessment, 104, PP. 189-209.
- 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, PP. 1184-1188.
- Peng, Y. & Wang, Y., 2019, **Real-Time Forest Smoke Detection Using Hand-Designed Features and Deep Learning**, Computers and Electronics in Agriculture, 167, P. 105029.
- Pflugmacher, D., Cohen, W.B. & Kennedy, R.E., 2012, **Using Landsat-Derived Disturbance History (1972–2010) to Predict Current Forest Structure**, Remote Sensing of Environment, 122, PP. 146-165.
- Pinty, B. & Verstraete, M., 1992, **GEMI: A Non-Linear Index to Monitor Global Vegetation from Satellites**, Vegetatio, 101, PP. 15-20.
- Polat, S., 2017, **Mapping of Distribution of Forest Fire Risk in Forests by Using Neural Networks and Geographic Information System (Case Study: Ilam Forests)**, Malayer University, Faculty of Natural Resources and Environment.
- Pommerening, A., 2002, **Approaches to Quantifying Forest Structures**, Forestry: An International Journal of Forest Research, 75, PP. 305-324.
- Potapov, P., Hansen, M.C., Stehman, S.V., Loveland, T.R. & Pittman, K., 2008, **Combining MODIS and Landsat Imagery to Estimate and Map Boreal Forest Cover Loss**, Remote Sensing of Environment, 112, PP. 3708-3719.
- Powell, S.L., Cohen, W.B., Healey, S.P., Kennedy, R.E., Moisen, G.G., Pierce, K.B. & Ohmann,

- J.L., 2010, **Quantification of Live Aboveground Forest Biomass Dynamics with Landsat Time-Series and Field Inventory Data: A Comparison of Empirical Modeling Approaches**, Remote Sensing of Environment, 114, PP. 1053-1068.
- Preisler, H.K. & Westerling, A.L., 2007, **Statistical Model for Forecasting Monthly Large Wildfire Events in Western United States**, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 46, PP. 1020-1030.
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A.R., Kerr, Y.H. & Sorooshian, S., 1994, **A Modified Soil Adjusted Vegetation Index**, Remote Sensing of Environment, 48, PP. 119-126.
- Rahimi, H., 2013, **Capability of TM Images in Detection of Burned Forests (Case Study: Qoori Qaleh Area in Kermanshah Province)**, University of Kurdistan, Faculty of Resources Department of Forestry.
- Roberts, G. & Wooster, M., 2014, **Development of a Multi-Temporal Kalman Filter Approach to Geostationary Active Fire Detection & Fire Radiative Power (FRP) Estimation**, Remote Sensing of Environment, 152, PP. 392-412.
- Röder, A., Hill, J., Duguay, B., Alloza, J.A. & Vallejo, R., 2008, **Using Long Time Series of Landsat Data to Monitor Fire Events and Post-Fire Dynamics and Identify Driving Factors, A Case Study in the Ayora Region (Eastern Spain)**, Remote Sensing of Environment, 112, PP. 259-273.
- Roy, D.P., 2000, **The Impact of Misregistration upon Composited Wide Field of View Satellite Data and Implications for Change Detection**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 38, PP. 2017-2032.
- Roy, P., 2003, **Forest Fire and Degradation Assessment Using Satellite Remote Sensing and Geographic Information System**, Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology, PP. 361-400.
- Ruiz, J.A.M., Riaño, D., Arbelo, M., French, N.H., Ustin, S.L. & Whiting, M.L., 2012, **Burned Area Mapping Time Series in Canada (1984-1999) from NOAA-AVHRR LTDR: A Comparison with other Remote Sensing Products and Fire Perimeters**, Remote Sensing of Environment, 117, PP. 407-414.
- Rundel, P., 1981, **Fire as an Ecological Factor**, Physiological Plant Ecology I. Springer, PP. 501-538.
- Running, S.W., Justice, C., Salomonson, V., Hall, D., Barker, J., Kaufmann, Y., Strahler, A.H., Huete, A., Muller, J.-P. & Vanderbilt, V., 1994, **Terrestrial Remote Sensing Science and Algorithms Planned for EOS/MODIS**, International Journal of Remote Sensing, 15, PP. 3587-3620.
- Saglam, B., Bilgili, E., Dincdurmaz, B., Kadiogulari, A.I. & Küçük, Ö., 2008, **Spatio-Temporal Analysis of Forest Fire Risk and Danger Using LANDSAT Imagery**, Sensors, 8, PP. 3970-3987.
- Saha, A.K., Arora, M.K., Gupta, R.P., Viridi, M. & Csaplovics, E., 2005, **GIS-Based Route Planning in Landslide-Prone Areas**, International Journal of Geographical Information Science, 19, PP. 1149-1175.
- Salamati, H., Mostafalou, H., Mastoori, A., Honardoost, F., 2011, **Evaluation and Provision of Forest Fire Risk Map Using GIS in Golestan Forests**, Proceeding of the First International Conference on Fire in Natural Resources, Gorgan, Iran, PP. 26-28.
- Samui, P., 2008, **Support Vector Machine Applied to Settlement of Shallow Foundations on Cohesionless Soils**, Computers and Geotechnics, 35, PP. 419-427.
- Sarkargar Ardakani, A., 2010, **Analysis of Spectral-Spatial Features of Fire and Background Targets for Identification and Discrimination in Remote Sensing Data**, K.N. Toosi University of Technology, Faculty of Geodesy and Geomatics, Tehran.
- Schroeder, W., Prins, E., Giglio, L., Csiszar, I., Schmidt, C., Morisette, J. & Morton, D., 2008, **Validation of GOES and MODIS Active Fire Detection Products Using ASTER and ETM+ Data**, Remote Sensing of Environment, 112, PP. 2711-2726.

- Sedighi Pashaki, M., 2011, **Study of Effect Fires on Composition of Plant Spicies under Story and Physical and Chemical Charactristice Soil in Forests Gilan Proviencie (Case Study: Saravan)**, Gilan University, Faculty of Agriculture and Natural Resources.
- Senici, D., Chen, H.Y., Bergeron, Y. & Cyr, D., 2010, **Spatiotemporal Variations of Fire Frequency in Central Boreal Forest**, Ecosystems, 13, PP. 1227-1238.
- Sharifi Niarraq, J. & Imani, A.A., 1999, **Investigating the Effect of Fire on Changes in Vegetation Cover and Species Composition in Semi-Steppe Pastures of Ardabil Province (Case Study in Khalkhal Research)**, Iran's Natural Resources, 59, PP. 517-526.
- Sharma, N. & Hussin, Y.A., 1996, **Spatial Modelling for Forest Fire Hazard Prediction, Management and Control in Corbett National Park, India**, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation Department of Natural Resources UT-I-ITC-FORAGES.
- Sharma, J., Granmo, O.-C., Goodwin, M. & Fidje, J.T., 2017, **Deep Convolutional Neural Networks for Fire Detection in Images**, International Conference on Engineering Applications of Neural Networks, Springer, PP. 183-193.
- Sharples, J.J., McRae, R.H., Weber, R. & Gill, A.M., 2009a, **A Simple Index for Assessing Fire Danger Rating**, Environmental Modelling & Software, 24, PP. 764-774.
- Sharples, J.J., McRae, R.H., Weber, R. & Gill, A.M., 2009b, **A Simple Index for Assessing Fuel Moisture Content**, Environmental Modelling & Software, 24, PP. 637-646.
- Sirimongkonlertkul, N. & Phonekeo, V., 2012., **Remote Sensing and GIS Application Analysis of Active Fire, Aerosol Optical Thickness and Estimated PM10 in the North of Thailand and Chiang Rai Province**, APCBEE Procedia, 1, PP. 304-308.
- Sitanggang, I.S., Razali Yaakob, N.M. & Ainuddin, A., 2020, **Based on Physical, Socio-Economic, and Peatlands Data**, Discovering New Roads to Development, 19.
- Smith, A.M., Wooster, M.J., Drake, N.A., Dipotso, F.M., Falkowski, M.J. & Hudak, A.T., 2005, **Testing the Potential of Multi-Spectral Remote Sensing for Retrospectively Estimating Fire Severity in African Savannahs**, Remote Sensing of Environment, 97, PP. 92-115.
- Smith, A., Drake, N., Wooster, M., Hudak, A., Holden, Z. & Gibbons, C., 2007, **Production of Landsat ETM+ Reference Imagery of Burned Areas within Southern African Savannahs: Comparison of Methods and Application to MODIS**, International Journal of Remote Sensing, 28, PP. 2753-2775.
- Sobhani, S. & Amini, A.S., 2019, **An Analysis of Forest Fire Monitoring and Modeling Methods Using Remote Sensing Data**, The First International Conference and the Fourth National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment.
- Sohrabi, F., 2014, **Effect of Fire Influence on Some Plant Cover Properties in Western Zagros Ranges (Case Study: Rangeland of Taze Abad Serias - Paveh)**, Birjand University, Faculty of Natural resources and the Environment.
- Sripada, R.P., Heiniger, R.W., White, J.G. & Meijer, A.D., 2006, **Aerial Color Infrared Photography for Determining Early in-Season Nitrogen Requirements in Corn**, Agronomy Journal, 98, PP. 968-977.
- Swetnam, T.W. & Betancourt, J.L., 1990, **Fire-Southern Oscillation Relations in the Southwestern United States**, Science, 249, PP. 1017-1020.
- Thornthwaite, C.W., 1948, **An Approach toward a Rational Classification of Climate**, Geographical Review, 38, PP. 55-94.
- Töreyn, B.U., Cinbis, R.G., Dedeoglu, Y. & Cetin, A.E., 2007, **Fire Detection in Infrared Video Using Wavelet Analysis**, Optical Engineering, 46, P. 067204.

- Torres, J.G., Zavala, L.M.M., Crocci, N.B. & López, A.J., 2010, **Acidez y Capacidad de Intercambio Catiónico en los Suelos Afectados por Incendios. Métodos de Determinación e Interpretación de Resultados**, Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales, Cátedra Divulgación de la Ciencia, PP. 327-347.
- Trigg, S. & Flasse, S., 2001, **An Evaluation of Different Bi-Spectral Spaces for Discriminating Burned Shrub-Savannah**, International Journal of Remote Sensing, 22, PP. 2641-2647.
- Uyeda, K.A., Stow, D.A., Roberts, D.A. & Riggan, P.J., 2017, **Combining Ground-Based Measurements and MODIS-Based Spectral Vegetation Indices to Track Biomass Accumulation in Post-Fire Chaparral**, International Journal of Remote Sensing, 38, PP. 728-741.
- Vakili, A., 2016, **Developing a Spatio-Temporal Model For Forest Fire Risk With Combining Daily, Seasonal Models Using**, Remote Sensing And GIS Kerman Graduate University of Industrial and Advanced Technology, Faculty of Civil Engineering and Mapping.
- Van Leeuwen, W.J., 2008, **Monitoring the Effects of Forest Restoration Treatments on Post-Fire Vegetation Recovery with MODIS Multitemporal Data**, Sensors, 8, PP. 2017-2042.
- Varela, M., Faria, S., Campos, I., Caria, M., Ferreira, R., Machado, A., Martins, M., Pinto, R., Prats, S. & Esteves, V., 2012, **Effects of Wildfire on Soil Organic Carbon Export by Runoff in Central Portugal**, EGU General Assembly Conference Abstracts, P. 9971.
- Vasilakos, C., Kalabokidis, K., Hatzopoulos, J. & Matsinos, I., 2009, **Identifying Wildland Fire Ignition Factors through Sensitivity Analysis of a Neural Network**, Natural Hazards, 50, PP. 125-143.
- Vega-García, C., Woodard, P.M. & Lee, B.S., 1993, **Geographic and Temporal Factors that Seem to Explain Human-Caused Fire Occurrence in Whitecourt Forest, Alberta**, In 'GIS'93: 7th Annual Symposium on Geographic Information Systems in Forestry, Environment and Natural Resources Management', 15-18 February 1993, Vancouver, British Columbia, Canada, PP. 115-119.
- Veraverbeke, S., Verstraeten, W.W., Lhermitte, S. & Goossens, R., 2010, **Evaluating Landsat Thematic Mapper Spectral Indices for Estimating Burn Severity of the 2007 Peloponnese Wildfires in Greece**, International Journal of Wildland Fire, 19, PP. 558-569.
- Veraverbeke, S., Harris, S. & Hook, S., 2011a, **Evaluating Spectral Indices for Burned Area Discrimination Using MODIS/ASTER (MASTER) Airborne Simulator Data**, Remote Sensing of Environment, 115, PP. 2702-2709.
- Veraverbeke, S., Lhermitte, S., Verstraeten, W.W. & Goossens, R., 2011b, **Evaluation of Pre/Post-Fire Differenced Spectral Indices for Assessing Burn Severity in a Mediterranean Environment with Landsat Thematic Mapper**, International Journal of Remote Sensing, 32, PP. 3521-3537.
- Viana-Soto, A., Aguado, I., Salas, J. & García, M., 2020, **Identifying Post-Fire Recovery Trajectories and Driving Factors Using Landsat Time Series in Fire-Prone Mediterranean Pine Forests**, Remote Sensing, 12, P. 1499.
- Wang, W., Qu, J.J., Hao, X., Liu, Y. & Sommers, W.T., 2007, **An Improved Algorithm for Small and Cool Fire Detection Using MODIS Data: A Preliminary Study in the Southeastern United States**, Remote Sensing of Environment, 108, PP. 163-170.
- Wang, L., Qu, J.J. & Hao, X., 2008, **Forest Fire Detection Using the Normalized Multi-Band Drought Index (NMDI) with Satellite Measurements**, Agricultural and Forest Meteorology, 148, PP. 1767-1776.
- Wang, W., Qu, J.J., Hao, X. & Liu, Y., 2009, **Analysis of the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Contextual**

- Algorithm for Small Fire Detection**, Journal of Applied Remote Sensing, 3, P. 031502.
- Wang, J., Zhou, M., Xu, X., Roudini, S., Sander, S.P., Pongetti, T.J., Miller, S.D., Reid, J.S., Hyer, E. & Spurr, R., 2020, **Development of a Nighttime Shortwave Radiative Transfer Model for Remote Sensing of Nocturnal Aerosols and Fires from VIIRS**, Remote Sensing of Environment, 241, P. 111727.
- Westerling, A.L., Gershunov, A. & Cayan, D.R., 2003, **Statistical Forecasts of the 2003 Western Wildfire Season Using Canonical Correlation Analysis**, Experimental Long-Lead Forecast Bulletin, 12, P. 2.
- Wolfe, R.E., Nishihama, M., Fleig, A.J., Kuyper, J.A., Roy, D.P., Storey, J.C. & Patt, F.S., 2002, **Achieving Sub-Pixel Geolocation Accuracy in Support of MODIS Land Science**, Remote Sensing of Environment, 83, PP. 31-49.
- Wooster, M.J., Xu, W. & Nightingale, T., 2012, **Sentinel-3 SLSTR Active Fire Detection and FRP Product: Pre-Launch Algorithm Development and Performance Evaluation Using MODIS and ASTER Datasets**, Remote Sensing of Environment, 120, PP. 236-254.
- Wulder, M.A., Han, T., White, J.C., Sweda, T. & Tsuzuki, H., 2007, **Integrating Profiling LIDAR with Landsat Data for Regional Boreal Forest Canopy Attribute Estimation and Change Characterization**, Remote Sensing of Environment, 110, PP. 123-137.
- Wulder, M., White, J., Alvarez, F., Han, T., Rogan, J. & Hawkes, B., 2009, **Characterizing Boreal Forest Wildfire with Multi-Temporal Landsat and LIDAR Data**, Remote Sensing of Environment, 113, PP. 1540-1555.
- Yang, J., Pan, S., Dangal, S., Zhang, B., Wang, S. & Tian, H., 2017, **Continental-Scale Quantification of Post-Fire Vegetation Greenness Recovery in Temperate and Boreal North America**, Remote Sensing of Environment, 199, PP. 277-290.
- Yosefi, A., 1961, **Fire in the Forest, Its Causes and Ways to Fight It**, National Forestry Organization, 117.
- Zaitsev, A.S., Gongalsky, K.B., Persson, T. & Bengtsson, J., 2014, **Connectivity of Litter Islands Remaining after a Fire and Unburnt Forest Determines the Recovery of Soil Fauna**, Applied Soil Ecology, 83, PP. 101-108.
- Zare Maivan, H. & Memariani, F., 2002, **Natural Revegetation Pattern in Fire - Damaged Parts of Golestan Forest in I.R. Iran**, Pajouhesh & Sazandegi, 54, PP. 34-39.
- Zhang, Q., Pavlic, G., Chen, W., Latifovic, R., Fraser, R., & Cihlar, J., 2004, **Deriving Stand Age Distribution in Boreal Forests Using SPOT VEGETATION and NOAA AVHRR imagery**, Remote Sensing of Environment, 91, PP. 405-418.
- Zheng, Z., Huang, W., Li, S. & Zeng, Y., 2017, **Forest Fire Spread Simulating Model Using Cellular Automaton with Extreme Learning Machine**, Ecological Modelling, 348, PP. 33-43.
- Zohdi, T., 2020, **A Machine-Learning Framework for Rapid Adaptive Digital-Twin Based Fire-Propagation Simulation in Complex Environments**, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 363, P. 112907.



نسخه از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال چهاردهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱
Vol.14, No. 4, Winter 2023 Iranian Remote Sensing & GIS

19-52

A Review of Remote Sensing Methods in Identifying and Monitoring Forest Fires

Roodsarabi Z.¹, Samkhani A.*², Kiani A.²

1. M.Sc. Student of Photogrammetry Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol
2. Assistant Prof., Civil Engineering Dep., Babol Noshirvani University of Technology, Babol

Abstract

Numerous studies on the phenomenon of fire over the past several decades have provided an extensive set of input data and implementation and evaluation methods. However, this vast array of results and research is structured to provide a roadmap to new users in the field and guidance on various applications and conditions that have not yet been analyzed. In other words, the absence of coherent research on the relative performance of different remote sensing processes in the fire is felt to produce various products or the resulting utilities. To fill this gap, a relatively comprehensive analysis of fire studies in remote sensing publications has been performed in this study. Some of the general factors evaluated in the pre, during, post-fire studies were the manipulation of input data, the review of algorithms, and their development, as these are factors that can be controlled by analysts to improve the Final accuracy of analyzes and results. One of the important issues in the field of fire after the identification and discovery of fire, due to the permanent changes in the structure and composition of vegetation, is to study how vegetation is restored and its growth rate during the years after the fire. According to a study of fire studies in the country, about 48% of them are related to the identification and spread of fire and the remaining 52% are related to resuscitation and recovery. In a review of research related to identification studies, it was found that approximately 5% of its share was done using learning methods and the remaining 43% was done using traditional methods. At the same time, of the study-related share of Resuscitation studies approximately 21% to examine vegetation and 31% of the soil under the fire surface. The findings of this study can be useful in helping researchers to make decisions in the selection of data and algorithms used according to the purpose of study, in different branches of studies associated with fire. However, in addition to these general guidelines, an analyst can consider personal preferences or the benefits of a particular algorithm that may be relevant to a particular program.

Keywords: Fire, Photogrammetry and remote sensing, Satellite imagery, Environmental parameters, Vegetation recovery.

* Correspondence Address: Babol, Shariati Ave Babol Noshirvani University of Technology, Civil Engineering Dep., P.O. Box484, 47148-71167.

Email: ali.sam@nit.ac.ir