



# سنجش از دور و GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران  
Iranian Remote Sensing & GIS

۱۰۲-۱۲۴

مقاله پژوهشی

سال پانزدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۲  
Vol.15, No. 3, Autumn 2023

## برآورد مساحت آتش‌سوزی در پوشش‌های گیاهی ایران با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس و آلوس-۲

مرتضی شریف<sup>۱\*</sup> و ابوذر کیانی<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه یزد

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۱۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۱۶

### چکیده

آتش‌سوزی در پوشش‌های جنگلی سطح جهان باعث وارد شدن خسارات شدید به پوشش‌های گیاهی، خاک و زیستگاه‌های طبیعی می‌شود که تأثیرات زیست‌محیطی منفی مستقیم و غیرمستقیم را به همراه دارد؛ از جمله جنگل‌زدایی، تغییرات آب‌وهوا و خشکسالی. از این رو تشخیص و تعیین خطر، برای پوشش‌های گیاهی که دچار آتش‌سوزی می‌شوند، به منظور مدیریت و توسعه آنها بسیار مهم است. گسترش تصاویر سنجش از دور، همچون محصولات آتش‌فعال دو ماهواره ترا (Terra) و آکوا (Aqua)، طی دو دهه گذشته، از روش‌های مهم در تشخیص این آتش‌سوزی‌ها بوده است. با این حال محصول آتش‌فعال سنجنده مودیس، طی مطالعات گذشته، نشان داده است که این موارد به تنهایی نتایج مناسبی از مناطق تحت تأثیر آتش به دست نمی‌دهند. از این رو نیاز است با نقشه‌های پایه پوشش‌های گیاهی ارزیابی شوند. این تحقیق با هدف بررسی دو نوع محصولات گیاهی و کشف آتش‌فعال سنجنده مودیس و نقشه پوشش‌های جنگلی و غیرجنگلی FNF-JAXA، برای تفکیک بهتر مناطقی که دچار آتش‌سوزی شده‌اند، در پوشش‌های گیاهی کشور ایران بین روزهای ژوئیه ۱ تا ۱۶۰ (یازدهم دی ۱۳۹۸ تا هجدهم خرداد ۱۳۹۹) در سال ۲۰۲۰ انجام شد. نتایج بیانگر بیشترین مساحت آتش‌سوزی در روز ژوئیه ۱۴۴ (سوم خرداد ۱۳۹۹)، با بیش از ۴۹ هزار هکتار و روز ژوئیه ۱۲۸ (هجدهم اردیبهشت ۱۳۹۹)، با بیش از ۴۵ هزار هکتار است. اما بیشترین مساحت آتش‌سوزی پوشش‌های جنگلی در روزهای ۱۲۰ تا ۱۶۰ (دهم اردیبهشت تا هجدهم خرداد ۱۳۹۹)، با بیش از ۱۴ هزار هکتار برآورد شده است. استان خوزستان بیشترین مساحت آتش‌سوزی را در دوره زمانی مورد مطالعه، داشته است که بیشتر این مناطق در اراضی کشاورزی قرار داشتند. سه استان فارس، کهگیلویه و بویراحمد و بوشهر بیشترین مساحت آتش‌سوزی را در پوشش‌های جنگلی داشته‌اند. بیشترین فراوانی آتش‌سوزی‌ها در اراضی کشاورزی مشاهده شد که مهم‌ترین دلایل آن می‌تواند دخالت‌های انسانی باشد. همچنین ارزیابی نهایی نتایج نشان داد استفاده از محصول FNF-JAXA (با صحت نهایی ۰/۸۷/۴) و ضریب کاپای ۰/۸۵، در قیاس با محصولات مودیس (با صحت نهایی ۰/۸۰/۳) و ضریب کاپای ۰/۷۸، در تفکیک مناطق جنگلی قابلیت بهتری دارد. با این همه توانایی محصولات مودیس در تفکیک نوع پوشش گیاهی مرتع و کشاورزی مزیتی مهم به شمار می‌رود که محصول FNF-JAXA چنین ویژگی‌ای ندارد. به طور کلی، یافته‌های تحقیق بیانگر قابلیت مناسب تصاویر محصولات گیاهی مودیس و نقشه‌های FNF-JAXA است که می‌توانند، به منزله نقشه‌های مرجع برای تفکیک پوشش‌های گیاهی گوناگون که دچار آتش‌سوزی می‌شوند، در ارزیابی خسارت و مدیریت آنها به کار روند.

کلید واژه‌ها: محصولات آتش‌فعال، جنگل، خشکسالی، ترا (Terra)، FNF-JAXA.

\* نویسنده مکاتبه‌کننده: دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران. تلفن: ۰۹۱۶۵۴۲۵۱۰۱، فکس: ۰۶۱۳۶۳۱۴۲۴

Email: Morteza.sharif@ut.ac.ir

https://orcid.org/0000-0001-6531-5923

https://dx.doi.org/10.48308/gisj.2023.102682



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## ۱- مقدمه

تشخیص دقیق مساحت مناطق سوخته و پایش آتش‌سوزی را در کمترین زمان ایجاد کرده است (Filipponi, 2019; Teodoro & Amaral, 2019). این تکنیک‌ها معمولاً برای پرداختن به سه مرحله متفاوت در آتش‌سوزی به کار رفته‌اند: شرایط پیش‌از آتش‌سوزی، شدت آتش‌سوزی و تأثیرات آتش در اکوسیستم (Chu & Guo, 2014; Abdollahi et al., 2018). برای تعریف برنامه‌های مدیریت پس‌از آتش‌سوزی، چه در سطح استراتژیک و چه تاکتیکی، به داده‌های بسیاری نیاز است. در این زمینه، سنجنده‌های ماهواره‌ای ابزاری قدرتمند، لازم و مورد اعتماد برای ارائه اطلاعات مستمر فضایی درباره وضعیت اکوسیستم‌های گیاهی، به ویژه جنگل‌ها، منابع مرتبط و ارزیابی و پایش مستمر آنها به‌شمار می‌رود (Lensky & Rosenfeld, 2008; Xie et al., 2008).

در حال حاضر انواع تصاویر ماهواره‌ای برای ارائه اطلاعات در مورد اکوسیستم‌های گیاهی از طریق طیف وسیعی از حسگرها، از سنسورهای چندطیفی تا فراطیفی، با تفکیک‌پذیری‌های متفاوت مکانی و زمانی در دسترس است (Cardil et al., 2019). از جمله توانایی این سنجنده‌ها، روش‌های گوناگون آشکارسازی مناطق سوخته، با استفاده از شاخص‌های طیفی (Tucker & Sellers, 1986)، برآورد دمای سطح زمین (Mukherjee et al., 2018)، باندهای حرارتی سنجنده‌های خاصی مانند مودیس (Giglio et al., 2003; Giglio et al., 2018)، تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی<sup>۱</sup> (Richards, 1984)، استفاده از روش‌های گوناگون شبکه عصبی<sup>۲</sup> (Gómez & Martín, 2011) و آنالیز مخلوط خطی<sup>۳</sup> (Smith et al., 2007) است. ویژگی‌های طیفی در شناسایی اشیای متفاوت سطح زمین مؤثرترند؛ بنابراین روش مبتنی بر شاخص طیفی، به دلیل اجرای ساده و دقت بالا در تشخیص منطقه سوخته، محبوبیت بیشتری پیدا می‌کند (Liu et al., 2020) اما،

آتش‌سوزی فرایند اکولوژیکی مهم و اساسی در بسیاری از مناطق جنگلی است که تغییر در اندازه و شدت آن در ساختار جنگل‌ها و زیستگاه‌های حیات‌وحش تأثیر چشمگیری می‌گذارد (Herrando & Brotons, 2002; Herrando et al., 2003). این خطر که ممکن است به صورت طبیعی و بر اثر افزایش دما (Esmaili Sharif et al., 2018; Oliveira et al., 2012) و تغییرات متغیرهای اقلیمی (Eskandari et al., 2020a; Jahdi et al., 2020) یا به دلیل عوامل انسانی (Ulery et al., 2017; Ye et al., 2017) رخ دهد، از دلایل اصلی ایجاد اختلال در اکوسیستم و آسیب‌های محیط زیستی به‌شمار می‌رود (Pulvirenti et al., 2020; Van Leeuwen, 2008). این مسئله تغییرات تبخیر و تعرق، از بین رفتن جنگل و در نتیجه، افزایش رواناب سطحی ناشی از بارندگی را به دنبال دارد (Atchley et al., 2018). از بین رفتن پوشش گیاهی خاک را در معرض فرسایش قرار می‌دهد و مناطق سوخته شده را آسیب‌پذیرتر و مستعد سیلاب می‌کند (Fox et al., 2020; Eftimiou et al., 2016). این تغییرات ناشی از آتش‌سوزی در ساختار پوشش گیاهی، ترکیب گونه‌های گیاهی، شار گرمای نهان و سایر متغیرهای معادله بیلان انرژی نیز تأثیر می‌گذارد (Randerson et al., 2006; Sánchez et al., 2015). در نتیجه این تغییرات، اکوسیستم‌های گیاهی نیز دچار تغییر و تحولات بسیاری خواهند شد.

دانش دقیق درباره محل و وسعت منطقه سوخته شده برای ارزیابی آسیب و هدایت فعالیت‌ها برای به حداقل رساندن تأثیرات مخاطره‌زای از بین رفتن پوشش گیاهی و همچنین برای برنامه‌ریزی و نظارت بر ترمیم پوشش گیاهی، ضروری است (Quintano et al., 2020; Kurnaz et al., 2018). اندازه‌گیری مساحت جنگل‌های سوخته به روش‌های رایج و قدیمی، به دلیل محدودیت‌هایی از قبیل مورفولوژی پیچیده زمین، شرایط بد آب و هوایی و بزرگی عرصه، اغلب دشوار و پرهزینه است (Cardil et al., 2019). با گسترش روزافزون فناوری سنسور از دور، این تکنولوژی امکان

1. Principal Component Analysis (PCA)
2. Neural Network
3. Spectral Mixture Analysis

با توجه به اینکه کالیبراسیون محصولات آتش فعال جهانی سنجنده مودیس به‌تنهایی، طی مطالعات گذشته، در برخی مناطق جغرافیایی دارای نتایج مناسب بوده و در مناطق دیگر نتایج ضعیفی دربر داشته است (Giglio et al., 2006)، همچنین دردسترس نبودن نقشه‌های واقعیت زمینی و یا نقشه‌ی مبنای از مناطق جنگلی با تداوم زمانی بیشتر، برآوردهای ماهواره‌ای از میزان جنگل‌های تحت تأثیر آتش‌سوزی ممکن است با خطای بالایی همراه باشد. از دیگر سو، آتش‌سوزی‌های هر ساله در ایران و نبود اطلاعات دقیق از مساحت مناطق آتش‌سوزی، این ضرورت را ایجاد کرده است که برای برآورد سطح مناطق جنگلی تحت تأثیر آتش‌سوزی و همچنین دلایل اصلی اثرگذار در آتش‌سوزی پوشش‌های گیاهی، اعم از مناطق جنگلی، مراتع، تالاب‌ها و اراضی کشاورزی، روشی به‌کار گرفته شود. از این‌رو در این تحقیق، از نقشه‌های مناطق جنگلی و غیرجنگلی ماهواره‌ی آلوس-۲<sup>۱</sup> به‌منزله نقشه مرجع مناطق جنگلی و نیز محصولات پوشش گیاهی مودیس (شامل MOD13Q1 و MOD15A2H) که شاخص‌های گیاهی همچون NDVIU، EVI 250 m و LAI را ارائه می‌کنند، محصول درصد پوشش درختی (MOD44B 250 m) و محصول آتش (MOD14A1) سنجنده مودیس استفاده شد تا مناطق آتش‌سوزی بین ۱۶۰-DOY ۱ تا سال ۲۰۲۰ م، برابر با یازدهم دی ۱۳۹۸ تا هجدهم خرداد ۱۳۹۹ ش. بررسی شود. هدف این تحقیق بیان روشی دقیق‌تر برای برآورد و تفکیک آتش‌سوزی پوشش جنگلی و غیرجنگلی، با استفاده از محصولات گیاهی سنجنده مودیس و نقشه‌های مرجع مناطق جنگلی و غیرجنگلی ماهواره‌ی آلوس-۲ است.

برای تخمین دقیق مساحت آتش‌سوزی در انواع اکوسیستم‌های گیاهی، به نقشه‌های دقیق از تفکیک گیاهان در انواع گوناگون پوشش جنگلی، اشکوب‌های بوته‌ای، مراتع، اراضی کشاورزی و دیگر جوامع گیاهی نیاز است. این امر با به‌کارگیری نقشه‌های به‌دست‌آمده از سنجنده‌های گوناگون اپتیک و راداری امکان‌پذیر است. با توجه به افزایش آتش‌سوزی جنگل‌ها در سال‌های اخیر، تلاش‌ها و مطالعات بسیاری، برای تشخیص عوامل تأثیرگذار در افزایش آتش‌سوزی‌ها در کشور ایران (Abdi et al., 2018; Abdollahi et al., 2018; Eskandari, 2017; Eskandari & Jalilvand, 2017; Eskandari et al., 2020a; Eskandari et al., 2020b; Esmaili Sharif et al., 2018; Karimi et al., 2019; S. Myneni et al., 2017) و دیگر نقاط جهان (Karimi et al., 2002; Giglio et al., 2003; Atchley et al., 2018; Mukherjee et al., 2018; Cardil et al., 2019; Giglio et al., 2018; Liu et al., 2020; Skowronski et al., 2020; MacDicken et al., 2015) انجام شده است. آخرین محصولات جهانی از تخمین مناطق سوخته نشان می‌دهد حدود چهار میلیون کیلومترمربع از جنگل‌های جهان هر ساله دچار آتش‌سوزی می‌شوند (Chuvieco et al., 2018; Giglio et al., 2018). در کشور ایران، دلایل اصلی افزایش رو به گسترش آتش‌سوزی‌ها در پوشش‌های گیاهی جنگل‌ها، مراتع، اراضی کشاورزی و پوشش‌های گیاهی تالابی را دخالت‌های انسانی، افزایش دمای هوا و تغییرات پارامترهای اقلیمی (Alibakhshi et al., 2018; Esmaili Sharif et al., 2005) برشمرده‌اند. اگرچه کمیت و کیفیت اکوسیستم‌های گیاهی علفی (تروفیت‌ها) و فیزیوگرافی جنگل‌ها، خود، نیز از عوامل مؤثر در گسترش و سرعت آتش‌سوزی‌ها به‌شمار می‌روند (Banj Shafiei et al., 2007; Biranvand et al., 2011; Esmaili Sharif et al., 2018; Parresol et al., 2012). تفکیک دقیق مناطق جنگلی تحت تأثیر آتش‌سوزی با دیگر پوشش‌های گیاهی، مانند مراتع و پوشش گیاهی تالاب‌ها و اراضی کشاورزی، با خطای زیادی روبه‌روست.

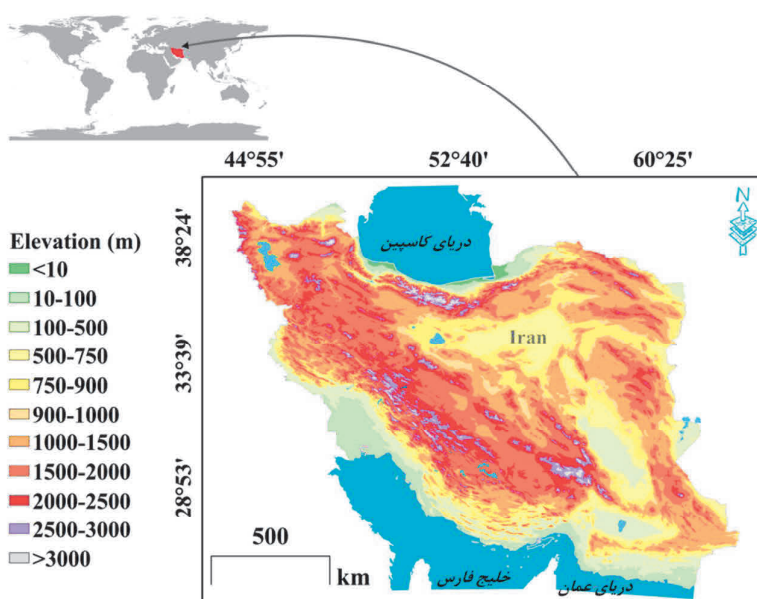
1. Alos-2
2. Day of Year

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه پژوهش

کشور ایران، با شرایط توپوگرافی بسیار ناهموار، بین ارتفاع ۱۰ تا بیش از ۳۰۰۰ متر از سطح دریا واقع در عرض شمالی ۳۱° ۲۵' تا ۴۷° ۳۹' و طول جغرافیایی شرقی ۵۱° ۴۴' تا ۱۸° ۶۳' قرار دارد (شکل ۱). در ایران دو رشته‌کوه البرز و زاگرس، به ترتیب، با جهت‌های شمال‌غرب-شمال‌شرق در شمال و شمال‌غرب-جنوب‌شرق در غرب گسترش یافته‌اند و نقش مهمی در توزیع مکانی و زمانی بارش در کشور دارند (Saboohi et al., 2012). این دو رشته‌کوه می‌توانند همه سیستم‌های جوی مؤثر در آب‌وهوای ایران را تقویت یا تضعیف کنند؛ از این رو سبب ایجاد آب‌وهوای محلی متفاوتی در کشور می‌شوند (Raziei et al., 2005; Saboohi et al., 2012). پوشش منطقه‌ای انواع گوناگون آب‌وهوا در ایران ۵/۳۵٪ بیش از حد خشک، ۲/۲۹٪ خشک، ۱/۲۰٪ نیمه‌خشک، ۵٪ مدیترانه‌ای و ۱۰٪ مرطوب است (Saboohi et al., 2012). میانگین

بارندگی در ایران حدود ۲۵۰ میلی‌متر است که کمتر از ۳/۱ میانگین جهان (۸۶۰ میلی‌متر) می‌شود. علاوه بر این، زمان و مکان این بارندگی‌های ناچیز هم نامطلوب است. یکی دیگر از عناصر مهم آب‌وهوایی درجه حرارت شدید است که دامنه ۲۰- تا ۵۰+ درجه سانتی‌گراد را در برمی‌گیرد. وقایع شدید خشکسالی نیز از ویژگی‌های آب‌وهوای ایران شناخته می‌شود (Amiri & Eslamian, 2010). بیشترین مساحت پوشش‌های گیاهی در دامنه‌های دو رشته‌کوه البرز و زاگرس قرار دارد (Rousta et al., 2020). این اکوسیستم‌های گیاهی متنوع شامل مراتع، اشکوب‌های بوته‌ای وسیع، پوشش‌های گیاهی تالاب، بیشه‌زارها، جنگل‌های گوناگون همچون مانگرو، بلوط و جنگل‌های هیرکانی با تیپ‌های متنوع گیاهی می‌شود. براساس گزارش‌های فائو، مساحت جنگل‌های ایران در سال ۲۰۱۰ حدود یازده میلیون و هفتصد هزار هکتار، در ۲۰۱۵ حدود ده میلیون و ششصد و نود هزار هکتار و در سال ۲۰۲۰ ده میلیون و هفتصد و پنجاه هزار هکتار برآورد



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

مناطق آتش‌سوزی با استفاده از داده‌های مودیس، باندهای واقع در محدوده ۳ تا ۵ میکرومتر، شامل باندهای ۲۰ تا ۲۵ این سنجنده به‌منزله محدودده مناسب برای کشف آتش معرفی شده است (شکل ۳-ب، خطوط رنگی). از بین این باندها، باند ۲۱ متعلق به دمای اشباع ۵۰۰ درجه کلوین است. در برخی نسبت‌های باندی نیز دمای ۸۰۰ درجه کلوین برای تخمین مناطق جنگلی تحت آتش‌سوزی مناسب است. مشخصه‌های کامل داده‌های استفاده شده در این تحقیق را می‌توان در جدول ۱ مشاهده کرد.

شکل ۲ ترکیب رنگی کاذب از موزاییک h22v05 محصول MOD13Q1 سنجنده مودیس را نشان می‌دهد که بخش وسیعی از کشور ایران را دربرمی‌گیرد. این ترکیب رنگی کاذب از باندهای فرورسرخ نزدیک در محدوده طیفی ۸۷۶-۸۴۱ نانومتر، قرمز در محدوده طیفی ۶۲۰-۶۷۰ نانومتر و باند آبی در محدوده طیفی ۴۷۹-۴۵۹ نانومتر قرار گرفته و از محصول MOD13Q1 سنجنده مودیس تهیه شده است. پوشش‌های گیاهی، در این تصویر، به رنگ قرمز مشاهده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، جنگل‌های هیرکانی متراکم‌ترین پوشش‌های گیاهی در ایران محسوب می‌شوند و پس از آن جنگل‌های بلوط قرار دارند که به‌صورت نواری از بخش‌های شمال غرب تا جنوب غرب ایران پراکنده شده‌اند. از دیگر پوشش‌های گیاهی در ایران می‌توان به بخش‌های عظیمی از بیشه‌زارها، پوشش‌های گیاهی تالاب و بخش‌های مهم کشاورزی در استان خوزستان و دیگر استان‌ها اشاره کرد.

شده است (FAO, 2010, 2015, 2020). این میزان مساحت جنگل‌های ایران حاکی از سرانه ۰/۱۳ هکتار است که به‌نسبت سرانه جهانی ۰/۶۲ هکتار، بسیار اندک است؛ اگرچه طبق آخرین آمار رسمی سازمان جنگل‌های ایران در سال ۱۳۹۹، مساحت کل جنگل‌های این کشور حدود ۱۷۶۴۹۸۹۰ برآورد شد که با آمارهای فائو اختلاف زیادی دارد ( <http://frw.ir/02/Fa/StaticPages/> (Page.aspx?tid=16130)).

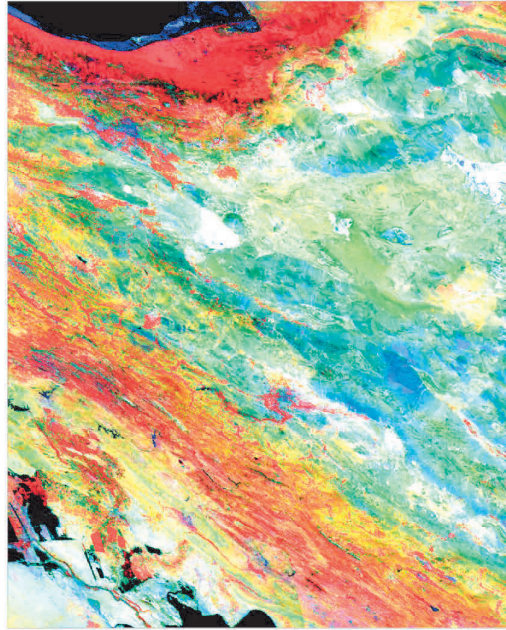
## ۲-۲- داده‌های تحقیق

در این پژوهش، از دو نوع داده‌های شاخص‌های گیاهی و داده‌های آتش فعال سنجنده مودیس و نیز داده‌های FNF<sup>۱</sup> (مناطق جنگلی و غیرجنگلی) ماهواره آلو-۲، به‌منزله نقشه پایه موقعیت زمینی جنگل‌ها، برای تفکیک و ارزیابی و صحت‌سنجی نتایج نهایی استفاده شده است. سنجنده مودیس، با ۳۶ باند طیفی در طول موج‌های (۱۴/۴-۰/۴ میکرومتر)، در محدوده‌های مرئی تا فرورسرخ حرارتی قرار دارد که بیست باند این سنجنده از باند ۱ تا ۱۹ و همچنین باند ۲۶ در محدوده مرئی قرار دارند (شکل ۳-الف). شانزده باند دیگر آن شامل باندهای ۲۰ تا ۳۶، به‌غیر از باند ۲۶، در محدوده حرارتی قرار می‌گیرند (شکل ۳-ب). همچنین این سنجنده در سه قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر محصولات متعددی از پدیده‌های سطح زمین را تصویربرداری می‌کند و ارائه می‌دهد (Justice et al., 1998; 2002). برای بررسی

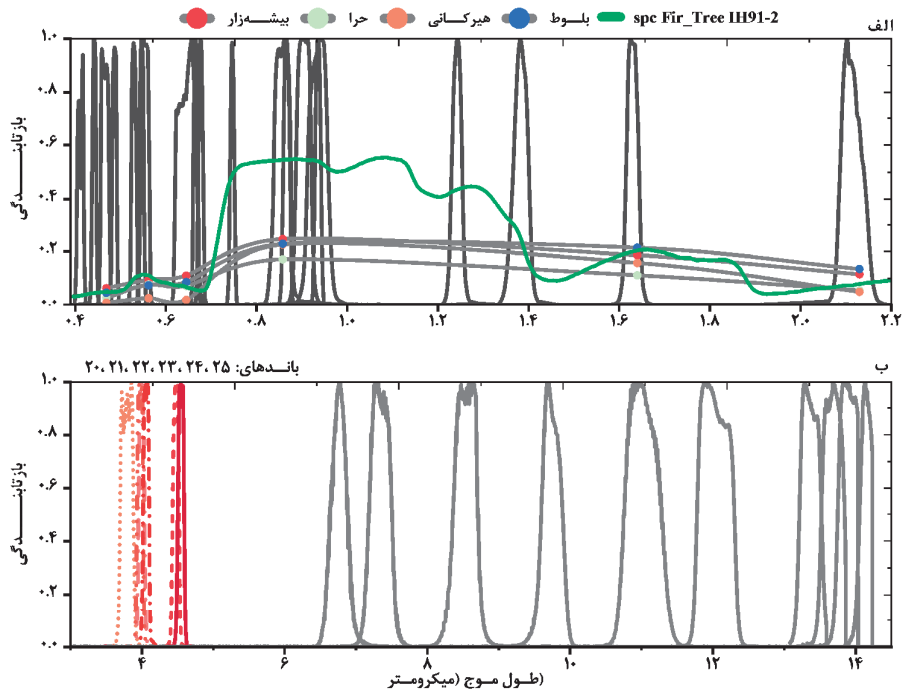
جدول ۱. داده‌های تحقیق

تصاویر	زمان	نوع محصول	تفکیک مکانی (m)	روز ژولییوسی	آدرس
Terra MODIS	۲۰۲۰-۲۰۱۹	MOD13Q1.006	NDVI- EVI-۲۵۰ m	۱۶۰ و ۳۵۳	<a href="https://lpdaac.usgs.gov/tools/data-pool">https://lpdaac.usgs.gov/tools/data-pool</a>
-		MOD14A1.006	Fire- ۱۰۰۰ m	۱۶۰-۱	-
-	۲۰۱۹	MOD44B	GRID-۲۵۰ m		-
-	۲۰۱۹	MOD15A2H.006	LAI ۵۰۰m		-
ALOSPALSAR-2	۲۰۱۸-۲۰۱۷	FNF	۵۰ m		<a href="http://www.eorc.jaxa">http://www.eorc.jaxa</a>

## 1. Forest Non-Forest



شکل ۲. تصویر ترکیب رنگی کاذب (RGB: NIR, Red, Blue) از باندهای سنجنده مودیس موزاییک h22v05 در کشور ایران (۲۰۲۰/۰۴/۲۱)



شکل ۳. باندهای طیفی سنجنده مودیس (خطوط خاکستری): محدوده مرئی و فروسرخ میانی و میزان بازتابندگی چهار نوع پوشش جنگلی مهم ایران، همچنین نمونه رفتار طیفی پدیده گیاهی spc Fir\_Tree IH91-2 Complete، برگرفته از سایت USGS (الف)؛ محدوده باندهای حرارتی سنجنده مودیس (ب)

## ۲-۳- محصول مناطق جنگلی و غیرجنگلی ماهواره آلوس-۲

ماهواره آلوس پالسار<sup>۱</sup> در تاریخ ۲۴ ژانویه ۲۰۰۶ راه‌اندازی شد و تا ۲۲ آوریل ۲۰۱۱ در حال تصویربرداری از سطح کره زمین بود و طی پنج سال مشاهدات زمینی، حدود ۲/۱ میلیون تصویر در ابعاد ۷۰×۷۰ Km تهیه کرد (Shimada et al., 2014). این ماهواره دارای قدرت تفکیک ۲۰ متر در راستای رنج و ۳۶ متر در جهت آزیموت، با تعداد پیکسل‌های ۴۵۰۰×۴۵۰۰ در هر تصویر است (Shimada et al., 2014). اما، بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴، داده‌های آن با مشکل جدی روبه‌رو شد؛ از این‌رو، برای ادامهٔ مأموریت آن، آلوس-۲ با دورهٔ زمانی روزانهٔ چهارده‌روز یک‌بار و زاویهٔ برداشت<sup>۲</sup> ۷۰-۸۰ درجه، در ۲۴ مه ۲۰۱۴ به فضا پرتاب شد. داده‌های مورد استفاده، در این تحقیق، تصاویر FNF از بایگانی JAXA<sup>۳</sup> متعلق به سازمان اکتشافات هوا-فضای ژاپن که مختص مناطق جنگلی و غیرجنگلی است، از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ با قدرت تفکیک مکانی (۵۰ متر)، از سایت <http://www.eorc.jaxa> دریافت شده است.

سنجده‌های ترا و آکوا و در سه سطح اطمینان (زیاد، متوسط یا پایین) ارائه می‌دهد (Giglio et al., 2003). مهم‌ترین لایه‌های محصول MOD44B شامل درصد پوشش درختی، درصد پوشش غیردرختی و درصد پوشش گیاهی می‌شود. تاریخ آغاز دورهٔ سالیانهٔ این محصول پنجم مارس هر سال (روز ژولایوسی ۶۵ سال م.) است. محصول درصد پوشش سطح درخت (PTC)<sup>۴</sup> درصد پوشش درختی با قدرت تفکیک پانصد متر است. محصول درصد پوشش گیاهی مداوم (VCF)<sup>۵</sup> به‌دست‌آمده پیش‌از وقوع آتش‌سوزی برای سال ۲۰۱۹ در نظر گرفته شده است تا از سطح اطمینان و تفکیک دقیق‌تر میزان آتش‌سوزی مناطق جنگلی از مناطق غیرجنگلی اطلاع دقیق‌تری حاصل شود. دو محصول MOD13Q1 (برای استفاده از شاخص‌های گیاهی NDVI و EVI) و MOD15A2H (برای شاخص LAI) به‌ترتیب، با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ و ۵۰۰ متر، برای پایش پوشش گیاهی کاربرد دارند و در این تحقیق، برای بررسی وضعیت پوشش گیاهی کشور ایران، از آنها استفاده شده است.

## ۳- روش تحقیق

از میزان جنگل‌ها، در کشور ایران، نقشهٔ سراسری در دست نبود؛ بنابراین، به‌منظور مقایسه و پایش مساحت جنگل‌های تحت تأثیر آتش‌سوزی در سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۹ ش. (۲۰۲۰ م.) برای برآورد دقیق و مقایسهٔ مناطق آتش‌سوزی محاسبه‌شده، از محصول کشف آتش فعال، از طریق دو نوع محصول پوشش‌های گیاهی سنجندهٔ مودیس و محصول FNF-JAXA ماهوارهٔ آلوس-۲ استفاده شد تا میزان جنگل‌های تحت تأثیر آتش‌سوزی، به‌منزلهٔ نقشه‌های مرجع زمینی جنگل‌های ایران، ارزیابی شود.

## ۴-۲- محصولات سنجندهٔ مودیس

سنجندهٔ مودیس، با قدرت تفکیک ۲۵۰ و ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر، کشور ایران را در شش موزاییک (h21v04, h21v05, h22v05, h22v06, h23v05 و h23v06) به‌صورت سراسری پوشش می‌دهد. در این تحقیق، از چهار نوع محصول MOD13Q1, MOD44B, MOD14A1 و MOD15A2H.006 سنجندهٔ مودیس استفاده شده است. محصول آتش فعال (MOD14A1) سنجندهٔ مودیس مناطق تحت تأثیر آتش‌سوزی‌ها را با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر شناسایی می‌کند (Giglio, 2007; Giglio et al., 2003). این محصولات هنگام گذر از هر منطقه، مناطقی را که طی ۲۴ ساعت گذشته، در شرایطی نسبتاً بدون ابر در حال سوختن‌اند، شناسایی می‌کند و به‌منزلهٔ نمونه‌گیری در چهار گذرگاه

1. ALOS/PALSAR
2. Incidence Angle
3. Japan Aerospace Exploration Agency
4. Percent Tree Cover
5. Vegetation Continuous Fields

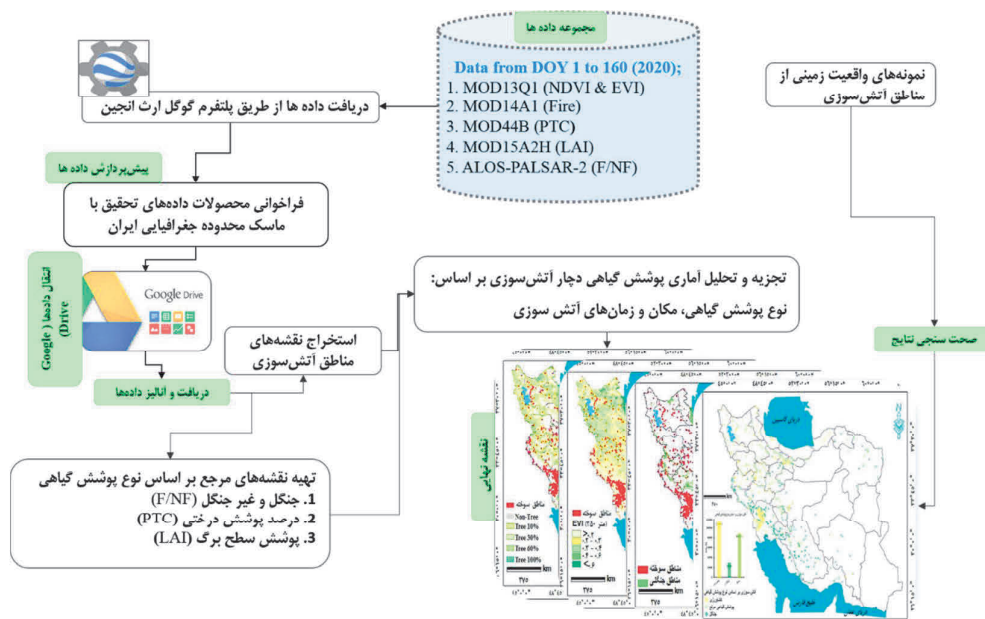
پلتفرم گوگل ارث انجین؛ ۲) تهیه و پردازش داده‌های محصولات شاخص‌های گیاهی سنجنده مودیس؛ ۳) تهیه نقشه پوشش‌های جنگلی و غیرجنگلی (FNF/JAXA؛ ۴) استخراج شیپ فایل تمامی محصولات نهایی آتش و پوشش‌های جنگلی؛ ۵) در نهایت نیز، بعد از تبدیل لایه‌های مناطق آتش‌سوزی و نیز نقشه FNF/JAXA، شیپ فایل‌های درصد درختی و پوشش سطح برگ (LAI)، مساحت مناطق جنگلی تحت تأثیر آتش‌سوزی محاسبه و براساس نوع پوشش گیاهی تفکیک شد. در این تحقیق، برای برآورد مساحت مناطق آتش‌سوزی در استان‌های گوناگون نیز، از شیپ فایل استان‌ها در نرم‌افزار Arc Map نتایج نهایی مناطق آتش‌سوزی، مناطق جنگل و درصد درختی در استان‌های ایران استفاده شده است. در انتها، برای صحت‌سنجی نتایج محصول آتش‌فعال، ۲۵۰ نمونه به‌منزله واقعیت زمینی از آتش‌سوزی‌های رخ داده در مناطق متفاوت، براساس گزارش‌های سازمان جنگل‌ها در این دوره زمانی، به ترتیب ۸۵ نقطه مناطق جنگلی، ۹۰ نقطه پوشش‌های کشاورزی و ۷۵ نقطه مناطق مرتعی، تهیه شد. این ارزیابی پس از تبدیل مناطق آتش‌سوزی مودیس به فرمت طبقه‌بندی کلاس‌های آتش در سه نوع پوشش گیاهی هدف برای صحت‌سنجی انجام شد؛ اما درمورد نقشه مرجع FNF/JAXA، فقط با توجه به کلاس جنگل نقاط واقعیت زمینی برای طبقه جنگل، صحت‌سنجی انجام شد.

تمامی موزاییک‌ها برای محصول آتش، در دوره مورد مطالعه، از طریق پلتفرم گوگل ارث انجین پردازش و سپس دریافت شده است. همچنین داده‌های محصول MOD13Q1 (که شاخص‌های گیاهی NDVI-EVI-250m را ارائه می‌دهد) در DOY ۳۵۳ (۲۷ آذر ۱۳۹۸) و DOY ۱۶۰ (هجدهم خرداد ۱۳۹۹)، محصول MOD44B مربوط به درصد درختی و محصول MOD15A2H.006 مربوط به ماهواره ترا که شاخص پوشش سطح برگ در DOY ۳۵۳ (۲۷ آذر ۱۳۹۸) و DOY ۱۴۵ (چهارم خرداد ۱۳۹۹) متعلق به قبل و

در این تحقیق، محصول کشف آتش فعال MOD14A1، دارای قدرت تفکیک یک کیلومتری، با نقشه‌های مناطق جنگلی مقایسه شده است. توطئه‌های پراکندگی از سلول‌های برچسب خورده با آتش‌سوزی متوسط و دارای اطمینان بالا برای کل دوره مطالعه، از DOY ۱ تا ۱۶۰ (یازدهم دی ۱۳۹۸ تا هجدهم خرداد ۱۳۹۹) سال ۲۰۲۰، در سطح کشور ایران تولید شده است. تجزیه و تحلیل برای محاسبه میزان آتش‌سوزی در مناطق جنگلی، در سطوح متفاوت میزان درصد پوشش درخت، با به‌کارگیری محصول MOD44B و میزان پوشش سطح برگ با استفاده از شاخص بیوفیزیکی (LAI) انجام شده است تا انواع پوشش‌های گیاهی مناطق جنگلی، مراتع، پوشش‌های گیاهی تالاب و پوشش گیاهی کشاورزی به‌صورت جامع‌تر گردآوری شود. همچنین، به‌منظور محاسبه میزان پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های EVI و NDVI 250 m محصول MOD13Q1 در DOY ۳۵۳ (۲۷ آذر ۱۳۹۸) و DOY ۱۶۰ (هجدهم خرداد ۱۳۹۹) / ۲۰۲۰ م. برای کشور ایران تهیه و بررسی شد. نقشه پوشش گیاهی تهیه‌شده از شاخص‌های گیاهی NDVI و EVI 250 m به‌ترتیب، از سطوح پوشش گیاهی مترکم تا کم‌ترکم (< ۰/۲، ۰/۲-۰/۳، ۰/۳-۰/۴، ۰/۴-۰/۶، > ۰/۶) در قبل و بعد از مدت زمان بررسی آتش‌سوزی‌های رخ داده در ایران تعریف شده است. از محصولات مودیس، با توجه به توانایی آنها در مقادیر ارزش شاخص‌های گیاهی، سه نوع پوشش گیاهی جنگل، کشاورزی و مرتع تفکیک و به‌صورت نقشه مرجع استفاده شد. پس از ژئورفرنس کردن هر دو محصولات آتش‌سوزی مودیس با طبقه‌بندی‌های حاصل از نقشه مناطق جنگلی، مساحت جنگل‌هایی که در آنها آتش‌سوزی رخ داده است، تفکیک شد.

مراحل گوناگون روش تحقیق در شکل ۴ ارائه شده است. مراحل تحقیق، به ترتیب، عبارت است از: ۱) تهیه و دریافت داده‌های محصولات آتش‌سنجنده مودیس از





شکل ۴. فلوچارت کلی تحقیق

نتایج نشان می‌دهد بین DOY ۱ تا ۱۶۰ سال ۲۰۲۰ (برابر با یازدهم دی ۱۳۹۸ تا هجدهم خرداد ۱۳۹۹ ش.) مساحتی حدود هجده هزار هکتار از جنگل‌های ایران دچار آتش‌سوزی شده است. این میزان از مساحت جنگل‌های تحت تأثیر آتش‌سوزی با استفاده از نقشه مناطق جنگلی و غیرجنگلی JAXA به‌دست آمده اما تفکیک مناطق جنگلی که دچار آتش‌سوزی شده‌اند، با استفاده از محصولات شاخص‌های گیاهی مودیس، حدود ۳۲ هزار هکتار برآورد شده است. بین این دو نوع نقشه‌های پوشش جنگلی، حدود چهارده هزار هکتار اختلاف در برآورد میزان مساحت پوشش‌های جنگلی وجود داشته است. تخمین پوشش گیاهی سوخته‌شده از محصولات گیاهی مودیس، به دلیل تشخیص تنوع گیاهان که از طریق شاخص‌های گیاهی می‌توان آنها را پایش کرد، مساحت بیشتری از پوشش‌های گیاهی دچار آتش‌سوزی را نشان می‌دهد. نقشه ماسک‌شده مناطق جنگلی (FNF-JAXA)، همراه مناطق آتش‌سوزی، در شکل ۵ نشان داده شده است. اگرچه نوار جنگل‌های هیرکانی در مناطق شمال ایران

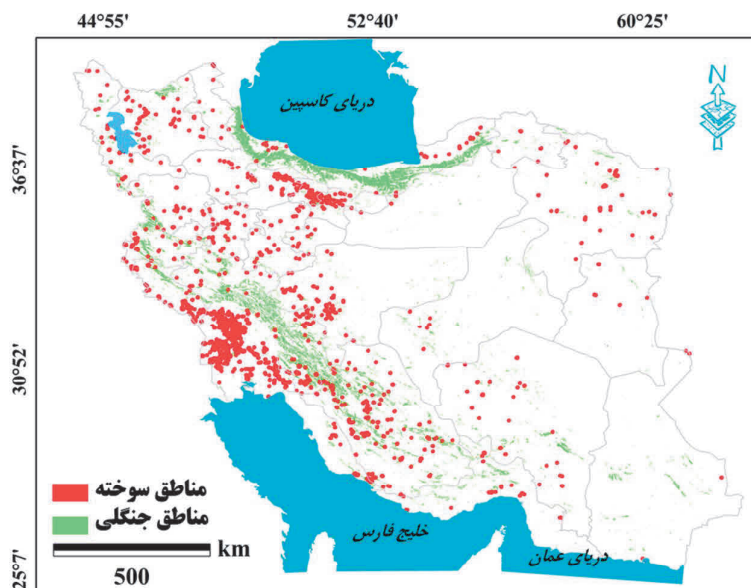
پس از روزهای آتش‌سوزی را بیان می‌کند، تهیه و ارزیابی شد. محصول نقشه FNF/JAXA در سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۱۸، از سایت هوا-فضای ژاپن، در ۳۵۰ موزاییک جداگانه تهیه و در یک تصویر ارائه شده و سپس به شیپ فایل مناطق جنگلی تبدیل شده است تا به‌صورت نقشه مرجع مناطق جنگلی و غیرجنگلی به کار رود.

#### ۴- نتایج

برای محصول LAI نقشه تهیه شده از مناطق جنگلی، با میزان تراکم بالا تا تراکم پایین درصد پوشش گیاهی، به ترتیب (۰-۱، ۱-۲/۵، ۲/۵-۵ و ۵) تعریف شده و به‌منظور تهیه سطح پوشش درختی محصول MOD44B به‌صورت (۰-۱۰٪، ۱۰-۳۰٪، ۳۰-۶۰٪، ۶۰-۱۰۰٪) درصد پوشش‌های درختی تعریف شده است (Myneni et al., 2002). در مقیاس پیکسل، می‌توان تخمین مناطق سوخته با استفاده از محصول آتش‌سوزی فعال MOD14A1 را با نقشه مناطق جنگلی و غیرجنگلی FNF/JAXA و محصول پوشش گیاهی MOD13Q1 مقایسه کرد (شکل‌های ۵ و ۶).

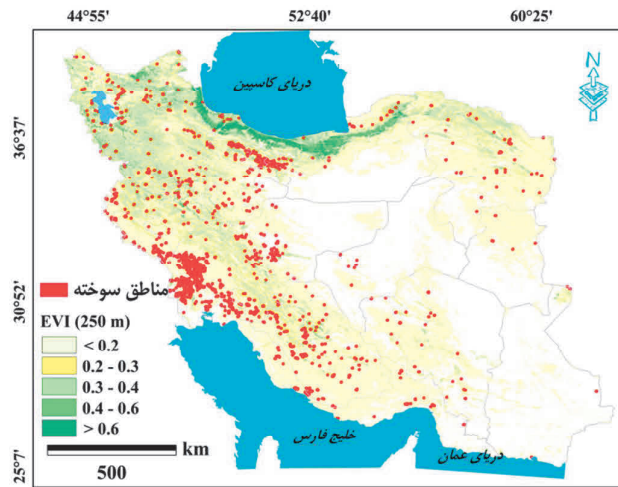
نتایج بیان می‌کند بیشتر آتش‌سوزی‌ها در سطح کشور در اراضی کشاورزی رخ می‌دهد. مراتع دومین مناطق از لحاظ وسعت‌اند که آتش‌سوزی در آنها رخ داده است. در جدول ۲، مساحت پوشش‌های گیاهی دچار آتش‌سوزی در دوره مورد مطالعه، براساس نوع پوشش و به تفکیک استان‌ها، آمده است. این مقادیر، درمورد محصول مودیس، به تفکیک سه نوع پوشش گیاهی کشاورزی و مرتع و جنگل بیان شده است اما درمورد نقشه‌های مرجع FNF-JAXA، با توجه به نوع محصول ارائه‌شده این ماهواره، صرفاً پوشش مناطق جنگلی مبنای قرار گرفته است. پراکندگی فضایی این آتش‌سوزی‌ها در دو شکل ۵ و ۶ نیز مشاهده می‌شود. مطابق شکل ۶، در نوار مناطق زاگرس که بیشترین مراتع ایران و نیز پوشش‌های جنگلی کم‌تراکم قرار دارد، تعداد آتش‌سوزی‌ها بیشتر به چشم می‌خورد. مرتبه دوم گستردگی آتش‌سوزی در استان خوزستان، تهران، البرز و استان‌های غربی مشاهده می‌شود.

از جنگل‌های متراکم با تاج‌پوشش بیش از ۱۰٪ محسوب می‌شود، در قیاس با جنگل‌های زاگرس (جنگل‌های با تراکم پایین و پراکندگی بیشتر)، در دوره زمانی مورد مطالعه فراوانی آتش‌سوزی کمتری داشته است (شکل ۵). علت اصلی این تفاوت ممکن است آتش‌سوزی در مناطق مرتعی و پوشش‌های گیاهی علفزار باشد. مقیاس جهانی محصولات آتش‌فعال سنجنده مودیس، با توجه به محدوده‌های متفاوت درصد پوشش درخت و میزان پوشش سطح برگ در مقیاس کشور ایران، براساس کلاس‌های متفاوت پوشش گیاهی، چندین نکته را برجسته کرده است. در مقیاس آنالیزها، برای درصد کم پوشش درخت و پوشش سطح برگ، محصول آتش‌فعال مساحت بیشتری از پوشش‌های گیاهان درختی را نشان داده اما، با افزایش پوشش درختی (۶۰٪) و شاخص پوشش سطح برگ (>۵/۲)، محصول آتش‌فعال مساحت نسبتاً کمتری از جنگل‌های تحت تأثیر آتش‌سوزی را نشان می‌دهد. این



شکل ۵. نقشه ماسک‌شده مناطق آتش‌سوزی با نقشه FNF-JAXA در ایران، بین یازدهم دی ۱۳۹۸ تا هجدهم خرداد ۱۳۹۹ (روزهای ژوئیه ۱۶۰-۱ سال ۲۰۲۰ م).

برآورد مساحت آتش‌سوزی در پوشش‌های گیاهی ایران ...



شکل ۶. نقشه ماسک‌شده مناطق آتش‌سوزی ایران، بین یازدهم دی ۱۳۹۸ تا هجدهم خرداد ۱۳۹۹، با پوشش‌های گیاهی محاسبه‌شده از شاخص EVI مودیس

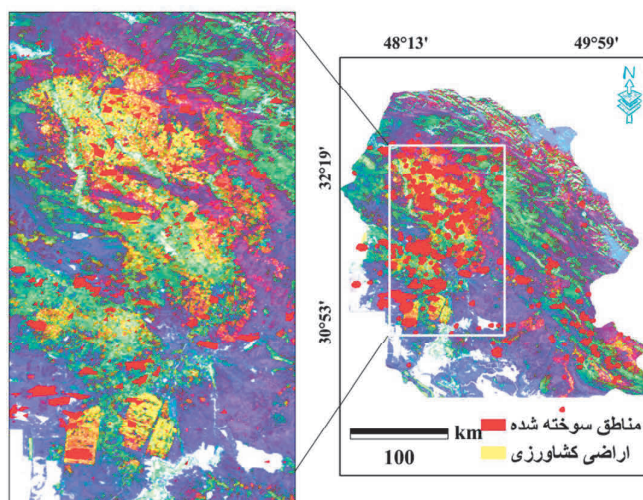
جدول ۲. مساحت پوشش‌های گیاهی دچار آتش‌سوزی، به تفکیک استان‌های ایران، با توجه به نقشه مرجع تهیه‌شده از محصول مودیس و نقشه FNF-JAXA (در واحد هکتار)

استان	جنگل FNF-JAXA	مرتع	کشاورزی MODIS	جنگل
البرز	۶۷۵	۹۷۲.۶	۲۲۱۶.۱	۴۹۹
اردبیل	-	۲۷۲.۲	۴۳۶.۴	۶۸
بوشهر	۱۸۷۲	۲۸۰	-	۳۹۱۲
چهارمحال و بختیاری	۲۱۹	۸۷۲.۴	۴۶۵.۲	۹۱۲
آذربایجان شرقی	۷۷	۴۶۰.۱	۸۹۲.۱	۱۰۰۹
اصفهان	۹۹۷	۸۵۴.۸	۵۰۲۵.۴	۹۹۹
فارس	۴۹۶۸	۹۸۴.۸	۱۰۲۴.۹	۸۳۲۷
گیلان	۳۱۴	۱۲۸۲	۵۶۸.۶	۲۲۲
گلستان	۷۳	۱۳۶.۵	۱۶۹۲.۶	۱۴۱۷
همدان	۲۰۰	۳۶۶۳	۹۸۴.۲	۲۷۰
هرمزگان	۲۰۸	۹۰۰	-	۱۴۳۰
ایلام	۷۰۹	۷۲۱۲.۹	۴۶۹۳.۷	۱۵۲۶
کرمان	۱۵	۵۳۵	۳۰.۶	۱۵۸
کرمانشاه	۹۰۳	۲۴۱۹.۶	۱۵۹۹.۸	۲۶۱۳
خوزستان	۲۹۲۷	۸۸۰.۴	۸۷۷۹۷.۲	۴۳۴۵
کهگیلویه	۲۸۴۹	۱۴۱۹۸.۹	۱۶.۴	۱۲۳۱
کردستان	۲۹۵	۳۷۷۹.۹	۱۵۲۶.۲	۲۵۵
لرستان	۲۶۸	۶۰۱۷.۹	۲۲۰.۸	۲۳۸
مرکزی	-	۳۲۴۳.۵	۱۱۰.۹	۲۹۱
مازندران	-	۶۸۰.۱	۴۹.۱	-
خراسان شمالی	-	۸۳۵.۳	-	۷۵
قزوین	-	۴۲۷۹.۶	۱۲۳۲.۵	۵۸۰
قم	-	۲۲۰.۳	-	۳۲
خراسان رضوی	۲۵۸	۲۸۳۱.۹	۱۳۸.۵	۴۶۱
سمنان	-	۳۳۸.۷	-	-
تهران	۲۷۷	۳۷۴۰	۱۵۴۰.۶	۶۳۶
آذربایجان غربی	۱۵۱	۵۰۷۵.۲	۱۸۸۵.۳	۲۴۰
زنجان	-	۲۱۴۳.۴	۶.۲	۲۰۵
جمع کل	۱۸۲۵۵	۸۹۰۲۸.۴۹	۱۱۴۱۵۳.۲۷	۳۱۹۵۱

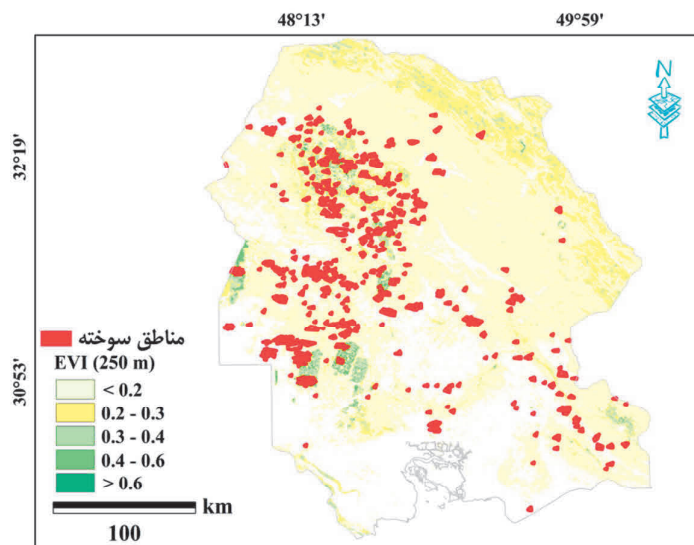
EVI سنجنده مودیس و روش طبقه‌بندی Mahalanobis Distance به‌دست آمده است، این مناطق را بهتر نشان می‌دهد. به علاوه، این نتایج نشان می‌دهد اراضی کشاورزی بخش نیشکر هفت‌تپه و اراضی پیرامون این منطقه بیشترین فراوانی آتش‌سوزی‌ها را در استان خوزستان داشته است؛ این منطقه مهم‌ترین بخش اراضی کشاورزی استان را در برمی‌گیرد (شکل ۷). شکل ۸ که با استفاده از شاخص EVI 250 m سنجنده مودیس به‌دست آمده است، مناطق سوخته‌شده را در زمین‌های دارای کلروفیل گیاهی بین ۰/۲ تا ۰/۳ در استان خوزستان نشان می‌دهد. این محدوده کلروفیلی گیاهان، با توجه به نمونه‌های آموزشی بررسی شده، بیانگر کلاس‌های مناطق مرتع و نیز پوشش‌های گیاهی بوته‌ای است. پوشش گیاهی مرتع دومین رتبه فراوانی بالای آتش‌سوزی را پس از اراضی کشاورزی در ایران و به‌ویژه در استان خوزستان، دارد (جدول ۲). فقط در ۱۴۴ (سوم خرداد ۱۳۹۹) برآوردها، با توجه به نقشه‌های مناطق جنگلی و همچنین شاخص‌های گیاهی سنجنده مودیس، نشان می‌دهد بیش از هجده‌هزار هکتار از اراضی کشاورزی دچار آتش‌سوزی شده‌اند و این حوادث ممکن است عمدی یا غیرعمدی بوده باشد.

گسترش مناطق آتش‌سوزی از ۱ DOY تا ۱۶۰ سال (پانزدهم دی ۱۳۹۸ تا هجدهم خرداد ۱۳۹۹) در کشور ایران نشان می‌دهد بیشترین مساحت آتش‌سوزی‌ها بین ۱۲۰ DOY تا ۱۶۰ (دهم اردیبهشت تا هجدهم خرداد ۱۳۹۹) رخ داده است. ۱۴۴ DOY (سوم خرداد ۱۳۹۹) با بیش از ۴۹ هزار هکتار و ۱۲۸ DOY (هجدهم اردیبهشت ۱۳۹۹) با بیش از ۴۵ هزار هکتار، به ترتیب، بیشترین میزان آتش‌سوزی طی شش ماه نخست را در این کشور نشان می‌دهد.

بیشترین مساحت آتش‌سوزی‌ها در مجموع مناطق جنگلی و غیرجنگلی — مجموعه‌ای از اراضی کشاورزی، مراتع و انواع پوشش‌های گیاهی دیگر — به ترتیب به استان‌های خوزستان، فارس، ایلام، بوشهر و اصفهان متعلق است. استان خوزستان، با بیش از یک‌صد هزار هکتار، بیشترین مساحت آتش‌سوزی‌ها را در دوره زمانی مورد مطالعه داشته است. با توجه به نقشه‌های حاصل از شاخص‌های گیاهی NDVI و EVI محصول مودیس، بیشترین مساحت‌های مناطق تحت تأثیر آتش در استان خوزستان به اراضی کشاورزی تعلق داشته است. شکل ۷ که با استفاده از دو شاخص NDVI و



شکل ۷. نقشه تهیه‌شده با استفاده از روش طبقه‌بندی Mahalanobis Distance، از دو شاخص EVI و NDVI سنجنده مودیس در دوم خرداد ۱۳۹۹، استان خوزستان



شکل ۸. پوشش گیاهی محاسبه‌شده از شاخص EVI سنجنده مودیس در ۲۲ خرداد ۱۳۹۸ و شیپ فایل تهیه‌شده از مناطق تحت تأثیر آتش‌سوزی، بین یازدهم دی ۱۳۹۸ تا هجدهم خرداد ۱۳۹۹ در استان خوزستان

#### ۴-۱- نتایج صحت‌سنجی مناطق آتش‌سوزی به تفکیک

##### نوع پوشش گیاهی

نتایج نهایی صحت‌سنجی از مناطق تحت تأثیر آتش‌سوزی در جدول ۳ آمده است. پس از تفکیک مناطق آتش‌سوزی براساس نوع پوشش گیاهی در هر دو محصول استفاده‌شده طی تحقیق، تحلیل نتایج با استفاده از نمونه‌های واقعیت زمینی از آتش‌سوزی‌ها محاسبه شد. با توجه به نوع پوشش گیاهی قابل شناسایی در محصول سنجنده مودیس، سه طبقه پوشش گیاهی جنگلی با صحت نهایی ۸۰٪/۳ و ضریب کاپای ۰/۷۸، پوشش گیاهی مرتع با ۸۷٪/۱ و ضریب کاپای ۰/۸۳ و پوشش گیاهی کشاورزی ۹۴٪/۴ و ضریب کاپای ۰/۹۱ به دست آمد (جدول ۳). اما در مورد محصول جنگلی و غیرجنگلی NFF-JAXA که فقط

طبقه جنگل را می‌شد در آن صحت‌سنجی کرد، این مقادیر با صحت نهایی ۸۷٪/۴ و ضریب کاپای ۰/۸۵ مشاهده شد (جدول ۳).

#### ۵- بحث و نتیجه‌گیری

باندهای حرارتی سنجنده مودیس از پرکاربردترین باندهای سنجنده‌های سنجنش از دور برای بررسی آتش‌سوزی در اکوسیستم‌های گیاهی سراسر جهان به شمار می‌روند. با توجه به قدرت تفکیک مکانی این سنجنده (هزار متر) و محصول ماهیانه آتش فعال MCD45A1 با قدرت تفکیک پانصد متر، می‌توان گفت این سنجنده قابلیت بسیار مناسبی در ارائه مناطق تحت تأثیر آتش‌سوزی دارد. در این زمینه، با استفاده از محصولات سنجنده مودیس، تا کنون مطالعات بسیاری

جدول ۳. نتایج صحت‌سنجی مناطق تحت تأثیر آتش‌سوزی

FNF-JAXA		محصول مودیس		نوع محصول
ضریب کاپا	صحت نهایی	ضریب کاپا	صحت نهایی	نوع پوشش گیاهی
۰/۸۵	۸۷٪/۴	۰/۷۸	۸۰٪/۳	پوشش جنگلی
-	-	۰/۸۳	۸۷٪/۱	پوشش مرتع
-	-	۰/۹۱	۹۴٪/۴	پوشش کشاورزی

پوشش سطح برگ (LAI) بیشتر از ۲/۵، محصول آتش فعال مودیس نشان داده است که مساحت گیاهان تحت تأثیر آتش سوزی کاهش می یابد. این الگوی مقایسه‌ای با توجه به نوع پوشش‌های گیاهی، همچون کشاورزی و مراتع و تالاب‌ها، نشان می دهد پوشش‌های جنگلی که دچار آتش سوزی شده‌اند مساحت کمتری را دربرمی گیرند. نتایج نهایی مساحت آتش سوزی‌ها حاکی از بیشترین آتش سوزی پوشش‌های جنگلی (حدود ۲۷٪ از کل میزان آتش سوزی‌ها در دوره زمانی مورد مطالعه) در استان فارس است (شکل ۹). این برآوردها پس از ارزیابی با هر دو نوع نقشه مناطق جنگلی استخراج شده از محصولات پوشش گیاهی و نقشه مناطق جنگلی و غیرجنگلی FNF/JAXA به دست آمده است. سپس در مورد استان خوزستان، حدود ۴۳۴۵ هکتار (حدود ۱۶٪) مساحت برآورده شده از نقشه پایه درصد پوشش درختی محصول سنجنده مودیس و ۲۹۲۷ هکتار تفکیک شده براساس نقشه پوشش FNF/JAXA محاسبه شده است (شکل ۹). بیشترین آتش سوزی‌ها، با بیش از ۱۴۴۸۹ هکتار از مساحت جنگل‌های ایران، در روزهای ژوئیه ۱۲۰ تا ۱۶۰ (دهم اردیبهشت تا هجدهم خرداد ۱۳۹۹) اتفاق افتاده است (شکل ۱۰). کهگیلویه و بویراحمد، فارس و بوشهر سه استانی‌اند که بیشترین میزان آتش سوزی‌ها در پوشش‌های جنگلی آنها رخ داده است. بیشترین مساحت برآورد شده از جنگل‌های تحت تأثیر آتش سوزی، به ترتیب در DOY ۱۲۰ (دهم اردیبهشت ۱۳۹۹) در استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، بوشهر و اصفهان، DOY ۱۲۸ (هجدهم اردیبهشت ۱۳۹۹) در استان‌های خوزستان، بوشهر و کرمانشاه، DOY ۱۳۶ (۲۶ اردیبهشت ۱۳۹۹) در کهگیلویه و بویراحمد، بوشهر و خوزستان، DOY ۱۴۴ (سوم خرداد ۱۳۹۹) در کهگیلویه و بویراحمد، بوشهر، فارس و البرز، DOY ۱۵۲ (یازدهم خرداد ۱۳۹۹) در فارس و کهگیلویه و بویراحمد، DOY ۱۶۰ (هجدهم خرداد ۱۳۹۹) در کهگیلویه و بویراحمد و فارس برآورد شده است (شکل ۱۰). این نتایج نشان می دهد استان‌های فارس و کهگیلویه و

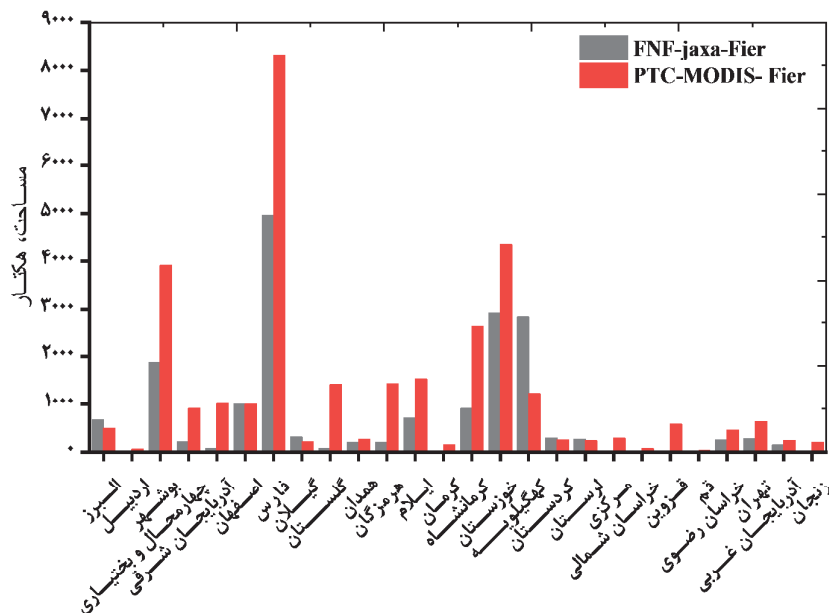
انجام شده است (برای نمونه، Filkov et al., 2019; Giglio, 2007; Giglio et al., 2018; Giglio et al., 2008). اما با توجه به میزان خطای بالا در تفکیک آتش سوزی مناطق جنگلی از غیرجنگلی، در بیشتر مواقع، برآوردها از واقعیت زمینی بسیار بیشتر است. در این تحقیق، برای بیان نتایج دقیق‌تر از آتش سوزی در مناطق جنگلی کشور ایران، اولین بار از نقشه‌های مناطق جنگلی و غیرجنگلی آلوس-۲ به منزله نقشه‌های مرجع استفاده شد. مزیت این تصاویر، در مقایسه با دیگر تصاویر سنجنش از دور ماهواره‌ای، مرزبندی دقیق مناطق جنگلی و با تداوم بیش از ده سال است که به رایگان در دسترس کاربران قرار می گیرد.

#### ۵-۱- برآورد مناطق آتش سوزی با استفاده از نقشه‌های مرجع FNF/JAXA و مودیس

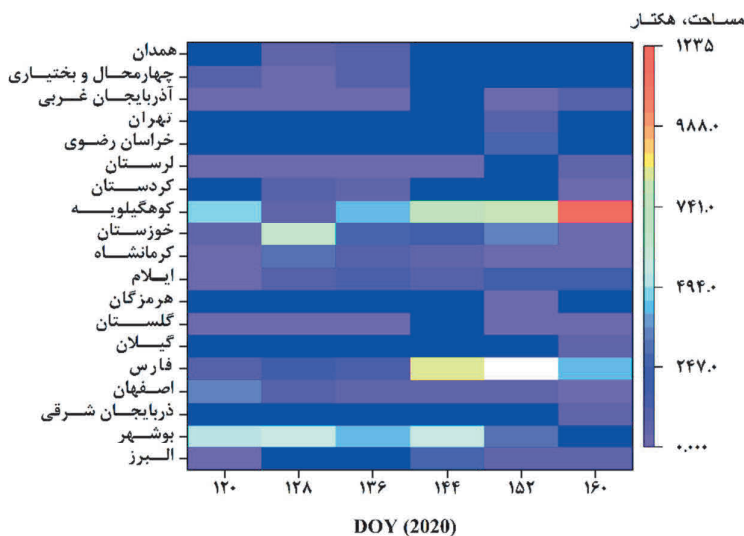
مقایسه محصولات آتش فعال سنجنده مودیس با توجه به محدوده‌های گوناگون درصد پوشش سطح درخت، شاخص سطح برگ و شاخص‌های گیاهی EVI و NDVI 250 m محصول MOD13Q1 در کشور ایران، با کلاس‌های متفاوت پوشش گیاهی، چندین نکته را برجسته کرده است. استفاده از محصولات شاخص‌های گیاهی سنجنده مودیس به منزله نقشه‌های مرجع، با توجه به درصد پوشش درختی و شاخص‌های گیاهی (LAI، EVI و NDVI)، درصد بیشتری از جنگل‌های تحت تأثیر آتش سوزی را نشان می دهد. بیشترین درصد پوشش‌های گیاهی که آتش سوزی در آنها رخ داده پوشش‌های گیاهی در محدوده ۰/۲ تا ۰/۳ در شاخص EVI بوده است (شکل ۶). این نوع پوشش گیاهی ممکن است شامل انواع گیاهانی مانند مراتع، گیاهان کشاورزی و یا پوشش‌های گیاهی تالابی باشد. در مقیاس تحلیل و بررسی‌های صورت گرفته طی این تحقیق، در مورد درصد اندک پوشش درخت و پوشش سطح برگ، بیشترین مساحت مناطق سوخته شده را نشان داده اما، با افزایش پوشش درختی (۶۰٪) و

جنگل‌ها، به ترتیب طی روزهای ژوئیه‌ی ۱۵۲ و ۱۶۰ (یازدهم خرداد و هجدهم خرداد ۱۳۹۹) دچار آتش‌سوزی شده است (شکل ۱۰).

بویراحمد بیشترین مساحت آتش‌سوزی را بین DOY ۱۲۰ تا ۱۶۰ (دهم اردیبهشت تا نوزدهم خرداد ۱۳۹۹) داشته‌اند. در استان کهگیلویه و بویراحمد، حدود ۱۲۲۸ هکتار و در استان فارس، حدود ۱۲۳۵ هکتار از



شکل ۹. مقایسه مساحت‌های برآورده‌شده آتش‌سوزی در مناطق جنگلی، براساس نقشه پوشش درصد درخت (PTC) مودیس و نقشه FNF-JAXA

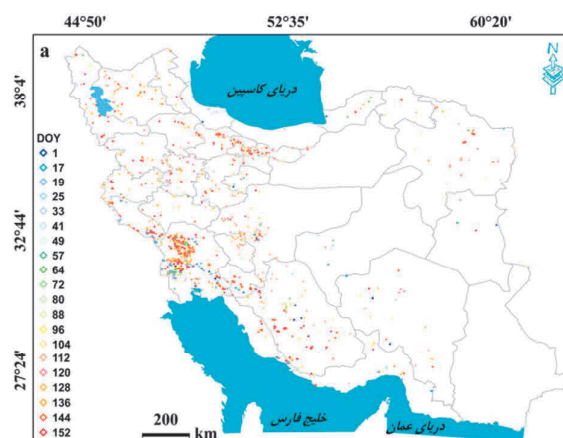


شکل ۱۰. مناطق آتش‌سوزی جنگل بین دهم اردیبهشت تا سوم خرداد ۱۳۹۹ (DOY ۱۲۰ تا ۱۴۴ سال ۲۰۲۰) براساس نقشه FNF-JAXA

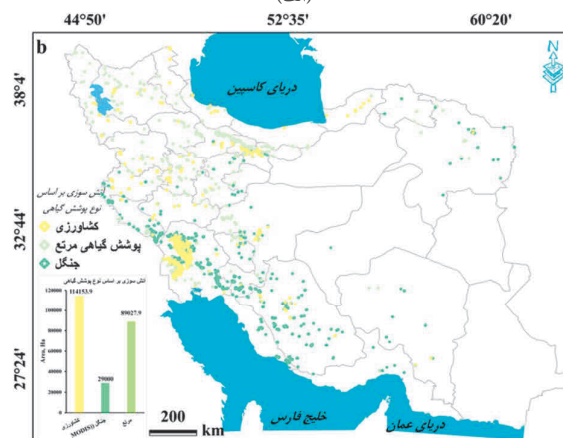
## ۵-۲- تجزیه و تحلیل پراکندگی آتش‌سوزی‌ها به تفکیک زمانی و نوع پوشش گیاهی

اگرچه پیچیدگی شکل آتش می‌تواند دشواری مناطق دچار آتش‌سوزی شده را در مناظر پراکنده یا توپوگرافی پیچیده نشان دهد، استفاده از نقشه‌های مرجع برای تعیین موقعیت نوع پوشش گیاهی چه بسا این چالش را تا حدودی کاهش دهد. شکل ۱۱ (الف و ب) پراکندگی فضایی نوع آتش‌سوزی‌ها را با توجه به زمان و نوع پوشش‌های گیاهی برای دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به نقشه پراکندگی زمانی آتش‌سوزی‌ها، استان‌های کهگیلویه، فارس، تهران و کرج بیشترین فراوانی آتش‌سوزی را بین DOY ۱۰۴ تا ۱۶۰ (۲۴ فروردین تا هجدهم خرداد ۱۳۹۹) داشته‌اند.

استان خوزستان نیز بالاترین فراوانی آتش‌سوزی‌ها را بین DOY ۱ تا ۵۷ (یازدهم دی تا پنجم بهمن ۱۳۹۸)، در این دوره زمانی، به نسبت استان‌های دیگر داشته است (شکل ۱۱-ا). همچنین طبق تفکیک پوشش گیاهی به سه نوع گیاهان مرتعی، پوشش گیاهی کشاورزی و مناطق جنگلی، مساحت آنها به ترتیب ۸۹ هزار هکتار، ۱۱۴ هزار هکتار و ۳۲ هزار هکتار به دست آمد. پراکندگی آتش‌سوزی در این نوع پوشش‌های گیاهی، در شکل ۱۱-ب، به صورت مکانی نیز ارائه شده است. این نتایج، با توجه به تفکیک نوع پوشش گیاهی، از داده‌های مودیس قابل مشاهده بود اما طبق نوع محصول ارائه شده FNF-JAXA به منزله نقشه مرجع، مساحت مناطق جنگلی حدود ۱۸ هزار هکتار برآورد شد.



(الف)



(ب)

شکل ۱۱. پراکندگی زمانی مناطقی که دچار آتش‌سوزی شدند (الف) و پراکندگی آتش‌سوزی بر اساس نوع پوشش گیاهی (ب) بین یازدهم دی ۱۳۹۸ تا هجدهم خرداد ۱۳۹۹ (DOY ۱ تا ۱۶۰ سال ۲۰۲۰)



### ۵-۳- نتیجه‌گیری

هدف این مطالعه استفاده از نقشه‌های پوشش‌های جنگلی به منظور تخمین و تفکیک مناطق جنگلی است که دچار آتش‌سوزی شده‌اند. از این‌رو محصول NDVI 250 و EVI شاخص‌های گیاهی FNF/JAXA و درصد پوشش درختی سنجنده مودیس، برای تعیین کاربرد آن در تشخیص و تفکیک مناطق جنگلی از غیرجنگلی و برآورد مساحت آتش‌سوزی جنگل‌ها در سطح ایران، به کار رفت. نتایج تحقیق نشان می‌دهد برآورد مناطق آتش‌سوزی، با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس، می‌تواند در اطلاع از وضعیت مناطق جنگلی تحت تأثیر آتش‌سوزی‌ها کمک مؤثری برساند اما، با توجه به مشخص نبودن مرز دقیق کلاس‌های پوشش جنگلی از غیرجنگلی، درصد خطای بالایی را به همراه دارد. اگرچه محصولات آتش فعال سنجنده مودیس نتایج مورد قبولی، در مورد پوشش‌های گیاهی تحت تأثیر آتش‌سوزی در اختیار می‌گذارد، تفکیک کلاس‌های متفاوت به نقشه مرجع دقیقی از کلاس‌های جنگلی و غیرجنگلی نیاز دارد.

با توجه به نتایج نهایی این تحقیق، داده‌های اولیه محصول فعال آتش‌سوزی مساحت بسیار بالای گیاهانی را نشان می‌دهد که دچار آتش‌سوزی شده‌اند اما، با تهیه و استفاده نقشه پوشش‌های جنگلی و غیرجنگلی، مساحت جنگل‌هایی که بین DOY ۱ تا ۱۶۰ (یازدهم دی ۱۳۹۸ تا هجدهم خرداد ۱۳۹۹) در آنها آتش‌سوزی رخ داده بود به میزان ۶۰٪ کاهش یافت و تا حدودی می‌توان پوشش‌های گیاهی کشاورزی و مرتع را از مساحت جنگل‌های تحت تأثیر آتش، متمایز کرد. همچنین در مورد مساحت پوشش‌های گیاهی تحت تأثیر آتش که با نقشه‌های درصد درختی و شاخص‌های گیاهی تهیه شد، تفکیک بهتری از انواع این پوشش‌ها همچون مرتع، کشاورزی و پوشش‌های جنگلی دربردارد. بنابراین، برای تعیین کمیت جنگل‌های تخریب شده با آتش‌سوزی، می‌توان از محصولات شاخص‌های گیاهی سنجنده مودیس و نقشه‌های

نتایج به‌دست‌آمده، با استفاده از محصولات پوشش گیاهی مودیس، برآورد بیشتری در مورد مناطق جنگلی دچار آتش‌سوزی نشان داد. این نتایج می‌تواند به دلیل نبود مرزبندی دقیق در پوشش گیاهی جنگلی، مراتع و همچنین اراضی کشاورزی باشد. از دیگر سو اصلی‌ترین دلایل درصد شایان توجه آتش‌سوزی‌های پی‌درپی در ایران فعالیت‌های انسانی و افزایش دماست که در فصل گرم سال نیز افزایش می‌یابد؛ این موارد هم چه‌بسا عامل این تفاوت باشد. بیشترین فراوانی آتش‌سوزی در استان خوزستان نیز اغلب دلیل انسانی دارد. این آتش‌سوزی‌ها (شکل‌های ۱۱-a و ۱۱-b) در اراضی کشاورزی رخ می‌دهد زیرا، پس از برداشت محصولات کشاورزی همچون نیشکر، گندم، جو، دانه‌های روغنی کلزا، کشاورزان برای آماده کردن کشت تابستانه، کاه و کلش باقی‌مانده در این زمین‌ها را آتش می‌زنند. این آتش‌سوزی‌ها اغلب به دیگر مناطق سرایت می‌کند و در نتیجه، بخش شایان توجهی از اراضی دچار آتش‌سوزی می‌شود. بیشترین فراوانی آتش‌سوزی، در بخش‌های غربی استان خوزستان، اراضی کشاورزی در منطقه صنعتی هفت‌تپه را مهم‌ترین این مناطق معرفی می‌کند (شکل ۱۱). بیشترین فراوانی آتش‌سوزی‌ها بین روزهای ژوئیه ۱۲۰ تا ۱۶۰ (دهم اردیبهشت تا هجدهم خرداد ۱۳۹۹) رخ می‌دهد. این نشان می‌دهد با افزایش دمای هوا، به ویژه در استان‌هایی همچون بوشهر و فارس و کهگیلویه، فراوانی آتش‌سوزی در اراضی طبیعی مرتع و جنگل‌ها نیز افزایش می‌یابد. با توجه به نوع اقلیم این استان‌ها (خشک و نیمه‌خشک)، وجود بیشترین پوشش‌های گیاهی (تروفیت‌ها) که در بهار به بالاترین میزان می‌رسد (Karimi et al., 2017)، افزایش درصد آتش‌سوزی‌ها در این زمان از سال، دور از انتظار نیست. به‌طور کلی، نتایج بیان می‌کند استفاده از محصول NFF-JAXA، در تشخیص بهتر پوشش جنگلی دچار آتش‌سوزی، مؤثرتر از محصولات مودیس است (جدول ۳). دلیل این تفاوت احتمالاً تفکیک نوع پوشش گیاهی در سنجنده مودیس است. با این حال، با بررسی‌های بیشتر طی دوره‌های زمانی طولانی، می‌توان به نتایج دقیق‌تر دست یافت.

- Forecasting System: Integration of Remote Sensing and Historical Sources of Ignition Data**, *Remote Sensing*, 10(6), P. 923. <https://doi.org/10.3390/rs10060923>.
- Adab, H., Atabati, A., Oliveira, S. & Moghaddam Gheshlagh, A., 2018, **Assessing Fire Hazard Potential and Its Main Drivers in Mazandaran Province, Iran: A Data-Driven Approach**, *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(11), P. 670. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7052-1>.
- Alibakhshi, R., Khademi Eslam, H.A. & Parsapajouh, D., 2005, **Effect of Sea Level Variation on Wood Physical and Mechanical Properties of Cupressus Sempervirens I Noushahr Region**, *Journal of Agricultura Sciences*, 11(2), PP. 205-216. Retrieved from <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=52025>.
- Amiri, M.J. & Eslamian, S.S., 2010, **Investigation of Climate Change in Iran**, *Journal of Environmental Science and Technology*, 3(4), PP. 208-216.
- Atchley, A.L., Kinoshita, A.M., Lopez, S.R., Trader, L. & Middleton, R., 2018, **Simulating Surface and Subsurface Water Balance Changes Due to Burn Severity**, *Vadose Zone Journal*, 17(1), P. 180099. <https://doi.org/10.2136/vzj2018.05.0099>.
- 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*, 20(3 (76 In Natural Resources)), PP. 105-112. Retrieved from <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=119372>.
- Biranvand, A., Babaei Kafaki, S. & Kiadaliri, H., 2011, **Investigation the Ecological Factors Affecting Fire Spread in Forest Ecosystems (Case Study: Kakareza Lorestan)**, *Journal of Renewable Natural Resources Research*, 2(2 (SERIAL NUMBER 4)), PP. 1-13. Retrieved from <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=293381>.
- FNF/JAXA برای بررسی و ارزیابی دقیق مساحت جنگلهایی که دچار آتش سوزی می شوند، استفاده کرد. میزان صحت سنجی نهایی از طبقه های تفکیک شده، در هر دو نوع محصول، به منزله نقشه های مرجع در بردارنده صحت بالاتر نقشه FNF/JAXA (با صحت نهایی ۸۷/۴٪ و ضریب کاپای ۰/۸۵) در مورد کلاس جنگل بهتر از محصول مودیس (با صحت نهایی ۸۰/۳٪ و ضریب کاپای ۰/۷۸) است. باین حال توانایی محصولات سنجنده مودیس در ارائه پوشش های گیاهی دیگر، همچون مرتع و کشاورزی دچار آتش سوزی شده، مزیتی مهم در این زمینه شمرده می شود.
- برای رسیدن به نتایج دقیق تر، تهیه نقشه های مرجع از انواع پوشش گیاهی در ایران، با دقت نهایی بالا، بسیار ضرورت دارد و این با توجه به داده های سنجنش از دوری اپتیک و رادار در دسترس است. همچنین، با توجه به پدیده تغییر اقلیم و گسترش روزافزون دمای هوا که روند آتش سوزی ها را در پوشش های گیاهی سطح جهان افزایش داده است، تهیه و استفاده از نقشه های مرجع زمینی دقیق انواع پوشش های گیاهی، با هدف تخمین و تفکیک مناطق تحت تأثیر آتش سوزی، کاری ضروری است. نتایج این تحقیق نشان داد نقشه مناطق جنگلی و غیرجنگلی FNF/JAXA که به صورت رایگان با دوره زمانی بیش از ده سال در اختیار کاربران قرار دارد، می تواند در مدیریت و ارزیابی مناطق جنگلی که دچار آتش سوزی می شوند، به کار رود.

#### ۶- منابع

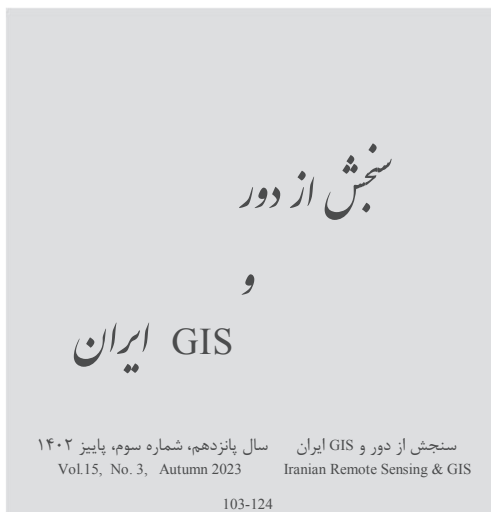
- Abdi, O., Kamkar, B., Shirvani, Z., Teixeira da Silva, J.A. & Buchroithner, M.F., 2018, **Spatial-Statistical Analysis of Factors Determining Forest Fires: A Case Study from Golestan, Northeast Iran**, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), PP. 267-280. <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1206629>.
- Abdollahi, M., Islam, T., Gupta, A. & Hassan, Q., 2018, **An Advanced Forest Fire Danger**

- Cardil, A., Mola-Yudego, B., Blázquez-Casado, Á. & González-Olabarria, J.R., 2019, **Fire and Burn Severity Assessment: Calibration of Relative Differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR) with Field Data**, Journal of Environmental Management, 235, PP. 342-349. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.077>.
- Chu, T. & Guo, X., 2014, **An Assessment of Fire Occurrence Regime and Performance of Canadian Fire Weather Index in South Central Siberian Boreal Region**, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss., 2014, PP. 4711-4742. <https://doi.org/10.5194/nhessd-2-4711-2014>.
- Chuvieco, E., Lizundia-Loiola, J., Pettinari, M.L., Ramo, R., Padilla, M., Tansey, K., ... & Plummer, S., 2018, **Generation and Analysis of a New Global Burned Area Product Based on MODIS 250 m Reflectance Bands and Thermal Anomalies**, Earth System Science Data, 10(4), PP. 2015-2031. <https://doi.org/10.5194/essd-10-2015-2018>.
- Efthimiou, N., Psomiadis, E. & Panagos, P., 2020, **Fire Severity and Soil Erosion Susceptibility Mapping Using Multi-Temporal Earth Observation Data: The Case of Mati Fatal Wildfire in Eastern Attica, Greece**, CATENA, 187(November), P. 104320. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104320>.
- Eskandari, S., 2017, **A New Approach for Forest Fire Risk Modeling Using Fuzzy AHP and GIS in Hyrcanian Forests of Iran**, Arabian Journal of Geosciences, 10(8), P. 190.
- Eskandari, S. & Jalilvand, H., 2017, **Effect of Weather Changes on Fire Regime of Neka and Behshahr Forests**, Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 15(1).
- Eskandari, S., Miesel, J.R. & Pourghasemi, H.R., 2020a, **The Temporal and Spatial Relationships between Climatic Parameters and Fire Occurrence in Northeastern Iran**, Ecological Indicators, 118, P. 106720. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106720>.
- Eskandari, S., Pourghasemi, H.R. & Tiefenbacher, J.P., 2020a, **Relations of Land Cover, Topography, and Climate to Fire Occurrence in Natural Regions of Iran: Applying New Data Mining Techniques for Modeling and Mapping Fire Danger**, Forest Ecology and Management, 473, P. 118338. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118338>.
- Esmaeili Sharif, M., Jalilvand, H., Amoozad, M., Jafari, A.A. & Moslemi Sayedmahale, S.M., 2018b, **The Effect of Ecological Factors on Fire in Hyrcanian Forests (Case Study: Forest Areas of Neka, Mazandaran, Iran)**, Forest Research and Development, 4(1 #G00364), PP. 113-129. Retrieved from <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=605779>.
- FAO, 2010, **Global Forest Resource Assessment (FRA) 2010, Country Report, Iran**, Food and Agriculture Organization, 42. <https://doi.org/www.fao.org/forestry/fra>.
- FAO, 2015, **Global Forest Resources Assessment 2015, (Iran Report)**, Forestry Department of FAO, 73. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-au190e>.
- FAO, 2020, **Global Forest Resources Assessment 2020: Main Report**, Rome, In *FAO*. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>.
- Filippini, F., 2019, **Exploitation of Sentinel-2 Time Series to Map Burned Areas at the National Level: A Case Study on the 2017 Italy Wildfires**, Remote Sensing, 11(6), P. 622. <https://doi.org/10.3390/rs11060622>.
- Filkov, A.I., Duff, T.J. & Penman, T.D., 2019, **Frequency of Dynamic Fire Behaviours in Australian Forest Environments**, Fire, 3(1), P. 1. <https://doi.org/10.3390/fire3010001>.
- Fox, D.M., Laaroussi, Y., Malkinson, L.D., Maselli, F., Andrieu, J., Bottai, L. & Wittenberg, L., 2016, **POSTFIRE: A Model to Map Forest Fire Burn Scar and Estimate Runoff and Soil Erosion Risks**, Remote Sensing Applications: Society and Environment, 4, PP. 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2016.07.002>.
- Giglio, L., 2007, **Characterization of the Tropical Diurnal Fire Cycle Using VIRS and MODIS Observations**, Remote Sensing of Environment, 108(4), PP. 407-421. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.11.018>.

- Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C.O. & Kaufman, Y.J., 2003, **An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS**, Remote Sensing of Environment, 87(2-3), PP. 273-282. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00184-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00184-6).
- Giglio, L., Csiszar, I. & Justice, C.O., 2006, **Global Distribution and Seasonality of Active Fires as Observed with the Terra and Aqua Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Sensors**, Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 111(G2). n/a-n/a. <https://doi.org/10.1029/2005JG000142>.
- Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D.P., Humber, M.L. & Justice, C.O., 2018, **The Collection 6 MODIS Burned Area Mapping Algorithm and Product**, Remote Sensing of Environment, 217(March), PP. 72-85. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005>.
- Gómez, I. & Martín, M.P., 2011, **Prototyping an Artificial Neural Network for Burned Area Mapping on a Regional Scale in Mediterranean Areas Using MODIS Images**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13(5), PP. 741-752. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.05.002>.
- Herrando, S. & Brotons, L., 2002, **Forest Bird Diversity in Mediterranean Areas Affected by Wildfires: a Multi-Scale Approach**, Ecography, 25(2), PP. 161-172. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0587.2002.250204.x>.
- Herrando, S., Brotons, L. & Llacuna, S., 2003, **Does Fire Increase the Spatial Heterogeneity of Bird Communities in Mediterranean landscapes?**, Ibis, 145(2), PP. 307-317. <https://doi.org/10.1046/j.1474-919X.2003.00155.x>.
- Jahdi, R., Salis, M., Alcasena, F.J., Arabi, M., Arca, B. & Duce, P., 2020, **Evaluating Landscape-Scale Wildfire Exposure in Northwestern Iran**, Natural Hazards, 101(3), PP. 911-932. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03901-4>.
- Justice, C.O., Vermote, E., Townshend, J.R.G., Defries, R., Roy, D.P., Hall, D.K., ... & Barnsley, M.J., 1998, **The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land Remote Sensing for Global Change Research**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36(4), PP. 1228-1249. <https://doi.org/10.1109/36.701075>.
- Justice, C., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, J., Roy, D., ... & Kaufman, Y., 2002, **The MODIS Fire Products**, Remote Sensing of Environment, 83(1-2), PP. 244-262. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00076-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00076-7).
- Karimi, S., Pourbabaei, H. & Khodakarami, Y., 2017, **The Effect of Fire on the Flora and Life Forms of Plant Species in Zagros Forests, Kermanshah**, Forest and Wood Products, 70(3), PP. 431-440. <https://doi.org/10.22059/jfw.2017.206370.740>.
- Karimi, A., Madadi, M., Abdollahi, S., Ostad-Ali-Askari, K., Eslamian, S. & Singh, V.P., 2019, **Determination of Fire Extent in Forest Zones Using Remote Sensing Data Case Study: Golestan Province of Iran**, Journal of Geography and Cartography, 2(1). <https://doi.org/10.24294/jgc.v2i1.753>.
- Kurnaz, B., Bayik, C. & Abdikan, S., 2020, **Forest Fire Area Detection by Using Landsat-8 and Sentinel-2 Satellite Images: A Case Study in Mugla, Turkey**, PP. 1-16.
- Lensky, I.M. & Rosenfeld, D., 2008, **Clouds-Aerosols-Precipitation Satellite Analysis Tool (CAPSAT)**, Atmospheric Chemistry and Physics, 8(22), PP. 6739-6753. <https://doi.org/10.5194/acp-8-6739-2008>.
- Liu, S., Zheng, Y., Dalponte, M. & Tong, X., 2020, **A Novel Fire Index-Based Burned Area Change Detection Approach Using Landsat-8 OLI Data**, European Journal of Remote Sensing, 53(1), PP. 104-112. <https://doi.org/10.1080/22797254.2020.1738900>.
- MacDicken, K., Reams, G. & de Freitas, J., 2015, **Introduction to the Changes in Global Forest Resources from 1990 to 2015**, Forest Ecology and Management, 352, PP. 1-2. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.018>.

- Mukherjee, J., Mukherjee, J. & Chakravarty, D., 2018, **Detection of Coal Seam Fires in Summer Seasons from Landsat 8 OLI/TIRS in Dhanbad**, Computer Vision, Pattern Recognition, Image Processing, and Graphics, PP. 529-539. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-0020-2\\_46](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0020-2_46).
- Myneni, R., Hoffman, S., Knyazikhin, Y., Privette, J., Glassy, J., Tian, Y., ... & Running, S., 2002, **Global Products of Vegetation Leaf Area and Fraction Absorbed PAR from Year One of MODIS Data**, Remote Sensing of Environment, 83(1-2), PP. 214-231. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00074-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00074-3).
- Oliveira, S., Oehler, F., San-Miguel-Ayanz, J., Camia, A. & Pereira, J.M.C., 2012, **Modeling Spatial Patterns of Fire Occurrence in Mediterranean Europe Using Multiple Regression and Random Forest**, Forest Ecology and Management, 275, PP. 117-129. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.03.003>.
- Parresol, B.R., Blake, J.I. & Thompson, A.J., 2012, **Effects of Overstory Composition and Prescribed Fire on Fuel Loading across a Heterogeneous Managed Landscape in the Southeastern USA**, Forest Ecology and Management, 273, PP. 29-42. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.08.003>.
- Pulvirenti, L., Squicciarino, G., Fiori, E., Fiorucci, P., Ferraris, L., Negro, D., ... & Puca, S., 2020, **An Automatic Processing Chain for Near Real-Time Mapping of Burned Forest Areas Using Sentinel-2 Data**, Remote Sensing, 12(4), P. 674. <https://doi.org/10.3390/rs12040674>.
- Quintano, C., Fernández-Manso, A. & Fernández-Manso, O., 2018, **Combination of Landsat and Sentinel-2 MSI Data for Initial Assessing of Burn Severity**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 64(February), PP. 221-225. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.09.014>.
- Randerson, J.T., Liu, H., Flanner, M.G., Chambers, S.D., Jin, Y., Hess, P.G., ... & Zender, C.S., 2006, **The Impact of Boreal Forest Fire on Climate Warming**, Science, 314(5802), PP. 1130-1132. <https://doi.org/10.1126/science.1132075>.
- Raziei, T., Arasteh, P.D. & Saghafian, B., 2005, **Annual Rainfall Trend in Arid and Semi-Arid Regions of Iran**, ICID 21st European Regional Conference, PP. 15-19.
- Richards, J.A., 1984, **Thematic Mapping from Multitemporal Image Data Using the Principal Components Transformation**, Remote Sensing of Environment, 16(1), PP. 35-46. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(84\)90025-7](https://doi.org/10.1016/0034-4257(84)90025-7).
- Rousta, I., Olafsson, H., Zhang, H., Moniruzzaman, M., Krzyszczyk, J. & Baranowski, P., 2020, **Anthropogenic Factors Affecting the Vegetation Dynamics in the Arid Middle East**, Preprints, (October), PP. 1-21. <https://doi.org/10.20944/preprints202010.0208.v2>.
- Roy, D.P., Boschetti, L., Justice, C.O. & Ju, J., 2008, **The Collection 5 MODIS Burned Area Product — Global Evaluation by Comparison with the MODIS Active Fire Product**, Remote Sensing of Environment, 112(9), PP. 3690-3707. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.05.013>.
- Saboochi, R., Soltani, S. & Khodaghali, M., 2012, **Trend Analysis of Temperature Parameters in Iran**, Theoretical and Applied Climatology, 109(3-4), PP. 529-547. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0590-5>.
- Sánchez, J., Bisquert, M., Rubio, E. & Caselles, V., 2015, **Impact of Land Cover Change Induced by a Fire Event on the Surface Energy Fluxes Derived from Remote Sensing**, Remote Sensing, 7(11), PP. 14899-14915. <https://doi.org/10.3390/rs71114899>.
- Shimada, M., Itoh, T., Motooka, T., Watanabe, M., Shiraiishi, T., Thapa, R. & Lucas, R., 2014, **New Global Forest/Non-Forest Maps from ALOS PALSAR Data (2007–2010)**, Remote Sensing of Environment, 155, PP. 13-31. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.014>.
- Skowronski, N.S., Gallagher, M.R. & Warner, T.A., 2020, **Decomposing the Interactions between Fire Severity and Canopy Fuel**

- Structure Using Multi-Temporal, Active, and Passive Remote Sensing Approaches**, Fire, 3(1), P. 7. <https://doi.org/10.3390/fire3010007>.
- Smith, A.M.S., Drake, N.A., Wooster, M.J., Hudak, A.T., Holden, Z.A. & Gibbons, C.J., 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(12), PP. 2753-2775. <https://doi.org/10.1080/01431160600954704>.
- Teodoro, A. & Amaral, A., 2019, **A Statistical and Spatial Analysis of Portuguese Forest Fires in Summer 2016 Considering Landsat 8 and Sentinel 2A Data**, Environments, 6(3), P. 36. <https://doi.org/10.3390/environments6030036>.
- Tucker, C.J. & Sellers, P.J., 1986, **Satellite Remote Sensing of Primary Production**, International Journal of Remote Sensing, 7(11), PP. 1395-1416. <https://doi.org/10.1080/01431168608948944>.
- Ulery, A.L., Graham, R.C., Goforth, B.R. & Hubbert, K.R., 2017, **Fire Effects on Cation Exchange Capacity of California Forest and Woodland Soils**, Geoderma, 286, PP. 125-130. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.10.028>.
- Van Leeuwen, W., 2008, **Monitoring the Effects of Forest Restoration Treatments on Post-Fire Vegetation Recovery with MODIS Multitemporal Data**, Sensors, 8(3), PP. 2017-2042. <https://doi.org/10.3390/s8032017>.
- Xie, Y., Sha, Z. & Yu, M., 2008, **Remote Sensing Imagery in Vegetation Mapping: A Review**, Journal of Plant Ecology, 1(1), PP. 9-23. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtm005>.
- Ye, T., Wang, Y., Guo, Z. & Li, Y., 2017, **Factor Contribution to Fire Occurrence, Size, and Burn Probability in a Subtropical Coniferous Forest in East China**, PLOS ONE, 12(2), P. e0172110. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172110>.



## Estimation of Fire Area in Iranian Vegetation Using MODIS and Alos-2 Data

Sharif M.<sup>1\*</sup> and Kiani A.<sup>2</sup>

1. M.Sc. Student of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran  
2. M.Sc. Student of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Yazd

### Abstract

Forest fires worldwide cause severe damage to vegetation, soil and natural habitats, resulting in direct and indirect negative environmental impacts such as deforestation, climate change and drought. Therefore, identifying and determining the hazards of vegetation that suffer from fire is crucial for their management and development. The proliferation of remote sensing images such as the active fire products of the Terra and Aqua satellites over the past two decades has been one of the most essential methods in detecting these fires. However, the active fire product of the MODIS sensor in previous studies has shown that they alone do not provide good results in fire-affected areas. Therefore, it is necessary to evaluate vegetation with basic maps. The aim of this study was to investigate two types of plant products and to discover the active fire of MODIS sensor and FNF-JAXA forest and non-forest cover maps for better separation of burnt areas of vegetation in Iran between July 1 and 160 2020. The results show the highest area of fire on July 144 with more than 49 thousand hectares and July 128 with more than 45 thousand hectares. However, the largest area of the fire, forest cover is estimated at 120 to 160 in 2020 with more than 14 thousand hectares. Khuzestan province had the highest area of fires in the period under study that most of these areas in agricultural lands and the three provinces of Fars, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad and Bushehr had the highest area of fires in forest cover. The highest frequency of fires was observed in agricultural lands, the main reason for which could be human intervention. The evaluation of the results showed that the use of the FNF-JAXA product (accuracy of 87.4% and a Kappa coefficient of 0.85) compared to MODIS products (accuracy of 80.3% and a Kappa coefficient of 0.78) in the separation of forest areas has better capabilities. However, the ability of MODIS products to distinguish between pasture and agricultural vegetation is an important advantage, which the FNF-JAXA product does not have. In general, the findings of the research show that the MODIS product and FNF-JAXA maps can be used as reference maps to distinguish different types of vegetation that are subject to fire, in damage assessment and management.

**Keywords:** Active fire products, Forest, Drought, Terra, FNF-JAXA.

\* Correspondence Address: Faculty of Geography, University of Tehran Tel: 09165425101, Fax: 06136361424  
Email: Morteza.sharif@ut.ac.ir  
<https://orcid.org/0000-0003-2144-8333>  
<https://dx.doi.org/10.48308/gisj.2023.102437>



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).