مجله ترویجی مدیریت پایدار جنگل‌های هیرکانی، دوره ۵، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۲، صفحات: ۱۸- ۱۱

# طراحی سرویس مکانی هوشمند برای پیش‌هشدار حریق جنگل‌های هیرکانی در استان گلستان

آیدینگ کرنژادی[۱]، سعید شعبانی[۲*]، اکرم احمدی[۳]

[۱و۳] استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

[۲] استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران saeidshabani07@gmail.com

**چکیده**

استان گلستان با بیش از ٤٥٠ هزار هکتار عرصه جنگلی یکی از کانون‌های اصلی آتش‌سوزی کشور در سال‌های اخیر بوده است. بنابراین، برای به‌حداقل رساندن اثرات آتش‌سوزی بر مردم و طبیعت، اتخاذ رویکردهای پیشگیری موثر، هشدار اولیه و واکنش برنامه‌ریزی شده و هماهنگ، ضروری است. مطالعه پیش‌رو به تشریح طراحی و توسعه یک سرویس مکانی هوشمند جهت کنترل آتش‌سوزی در عرصه‌های جنگلی استان گلستان می‌پردازد. این سیستم از طیف گسترده‌ای از داده‌ها برای ارائه اطلاعات ثابت و قابل اعتماد در مورد خطر تخمینی و وضعیت آتش‌سوزی جنگل به عموم مردم در زمان واقعی استفاده می‌کند. مبنای اصلی اطلاعات، داده‌های سنجش از دور با پوشش مکانی مناسب و قدرت تفکیک مکانی بالا، جهت شناسایی و همچنین پیش‌بینی آتش‌سوزی در جنگل‌های استان گلستان است. دستیابی به موارد فوق تنها از یک روش و فناوری خاص قابل دستیابی نیست. لذا، پیشنهاد تحقیق حاضر بهره‌گیری تلفیقی از دو فناوری روش سنجش از دور و جمع‌سپاری است.

**واژگان کلیدی:** باد گرم، پیشگیری موثر، تغییر اقلیم، جمع‌سپاری، کنترل آتش‌سوزی.

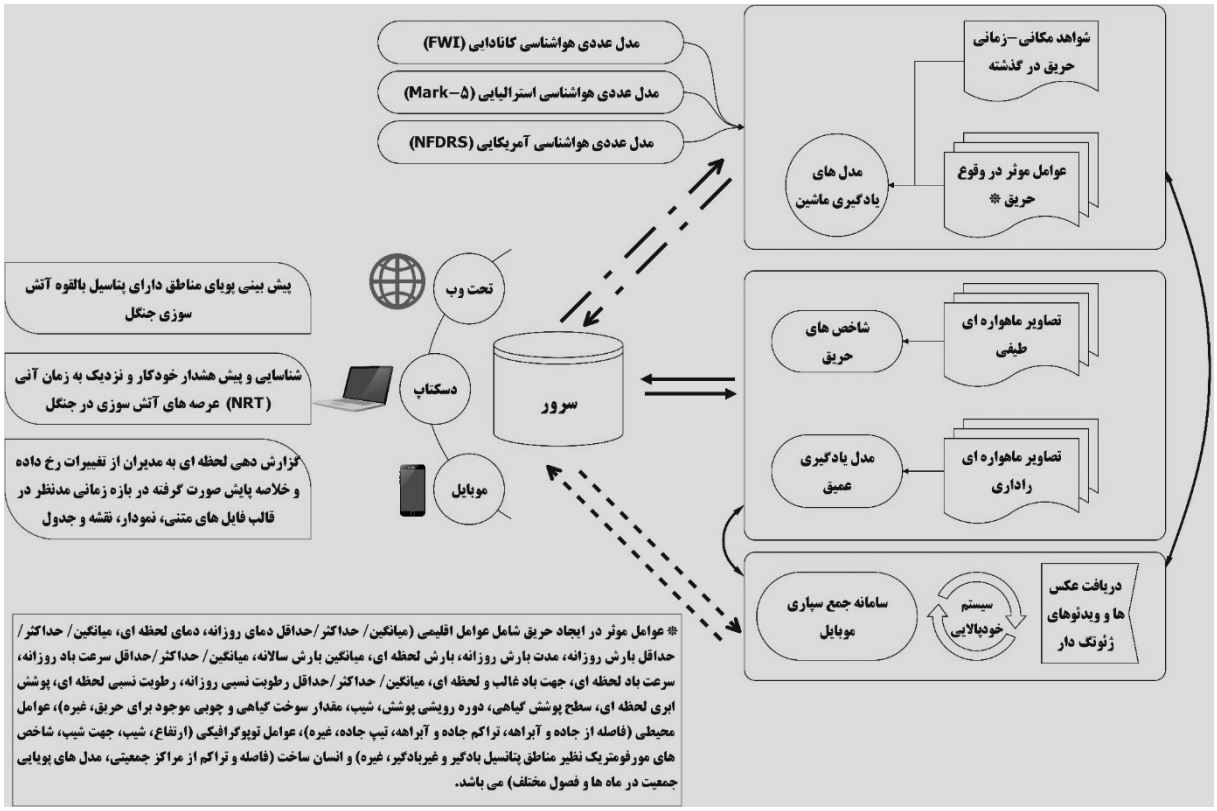
**بیان مسأله**

اگرچه آتش به‌عنوان یکی از عناصر طبیعی در اکوسیستم جنگل، نقش مهمی را در حفظ تنوع زیستی، تغییر سیمای سرزمینی و توالی بازی می‌کند (منصوری و همکاران، ۱۳۹۰)، لیکن جهت کـاهش زیان‌های ناشی از حریق، پیشگیری از آتش‌سوزی‌های جنگل از وظایف اصلی سازمان‌های جنگلی (یگان حفاظت منابع طبیعی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور) می‌باشد (Chang *et al.*, 2013). آتش‌سوزی به‌دلیل نابودی پوشش گیاهی ممکن است سبب جنگل‌زدایی و بیابان‌زایی شوند (Cochrane, 2003). آتش‌سوزی جنگل‌ها به سه دسته اصلی: طبیعی، انسانی عمدی و انسانی غیرعمدی تقسیم می‌شوند (Zhang, 2013). به جهت روابط پیچیده‌ای که بین رخداد آتش و عوامل مؤثر در آن وجود دارد یک ملاک کلی برای انتخاب عوامل تأثیرگذار در آتش‌سوزی وجود ندارد (Zarekar, 2012). پیشرفت‌های شکل‌گرفته در علم سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی طی دهه‌های اخیر، امکانات و ابزارهای دقیق‌تری را در اختیار پژوهشگران قرار داده تا آتش‌سوزی در جنگل‌ها را از جنبه‌های متعدد مورد مطالعه قرار دهند (زارع‌کار و همکاران، ۱۳۹۲؛ پرنیان و همکاران، ۱٤۰۰). میانگین تعداد سالیانه آتش‌سوزی در ایران ۱۳۰ فقره همراه با تخریب حدود ٥٤۰۰ هکتار می‌باشد (Adab, 2012). استان گلستان با حدود ٤٥۲ هزار هکتار جنگل، ۲۱ درصد از سطح جنگل‌های هیرکانی و حدود ٦٥ درصد از پارک ملی گلستان ذخیره‌گاه ژنتیکی و زیست‌محیطی ارزشمندی به‌شمار می‌رود که صیانت و حفاظت از این جنگل‌ها در برابر آتش‌سوزی نقش قابل توجهی در توسعه پایدار استان گلستان ایفا می‌نماید.

- تصاویر ماهواره‌ای در رزولوشن‌های (قدرت تفکیک، وضوح) مکانی مختلفی ارائه می‌شوند. یکی از مشکلات اصلی ماهواره‌های پایش زمین آن است که قادر به ارائه خدمات آنی (Real-time) نمی‌باشند و در بهترین حالت خدمات نزدیک به زمان آنی (Near Real-Time) ارائه می‌کنند. لذا، این مشکل تا حدی با ماهیت اطفاء حریق جنگل در تناقض است، زیرا نیاز است به‌صورت آنی، حریق در جنگل شناسایی و به واحدهای اطفاء اطلاع‌رسانی شود.
- تصاویر ماهواره‌ای رزولوشن بالا هرچند تصاویر با قدرت تفکیک بالا (در حد سانتی‌متر) از سطح جنگل‌ها تهیه می‌کنند، اما ماهیت این تصاویر و فرآیند استفاده از آنها نیز عاری از مشکل نیست. یکی از مشکلات عمده این نوع از ماهواره‌ها، هزینه بالای خرید تصویر می‌باشد که در صورت نیاز به مطالعه یک سطح وسیع، مقرون به صرفه نخواهد بود. به‌عبارت دیگر، این تصاویر رایگان نیستند. همچنین، این تصاویر دارای پوشش مکانی مناسبی نیز نمی‌باشند و برحسب نیاز و بیشتر از مناطق شهری اخذ شده و ارائه می‌گردند. مشکل بعدی و شاید مهمترین معضل، عدم تکرار زمانی مناسب اخذ تصویر می‌باشد.

در نتیجه بهترین سیستم پایش بایستی شرایطی از قبیل؛ الف- ارائه خدمات ترجیحاً رایگان در زمینه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، ب- پوشش مکانی مناسب، پ- رزولوشن و قدرت تفکیک مکانی مناسب برای شناسایی حریق، ت- رزولوشن زمانی بالا و یا به اصطلاح پنجره زمانی پایین (فاصله زمانی کم بین اخذ تصاویر متوالی به‌منظور پایش سریع جنگل) را دارا باشد. لذا، پیشنهاد ما بهره‌گیری تلفیقی از دو فناوری روش سنجش از دور[1] و جمع‌سپاری[2] می‌باشد. نمودار جریانی مراحل پیاده‌سازی سامانه پیشنهادی برای شناسایی، پیش‌هشدار و پیش‌بینی عرصه‌های تحت تأثیر حریق در استان گلستان در شکل ۱ نمایش داده شده است.

[1] Remote Sensing
[2] Crowdsourcing




شکل ۱- مراحل پیاده‌سازی سامانه پیشنهادی برای شناسایی، پیش‌هشدار و پیش‌بینی عرصه‌های تحت تأثیر حریق در استان گلستان

**دستاوردها**

**استفاده از سنجش از دور جهت پایش آتش‌سوزی:**

داده‌های ماهواره‌ای نقش مهمی در پشتیبانی از سازمان‌های مدیریت بحران دارند تا نقشه تخریب آتش را با دقت فراوان و در حداقل زمان ممکن فراهم آورند. در این زمینه، یک سری محصولات ماهواره‌ای تحت عنوان "شاخص" معرفی شده‌اند که خود از ترکیبات خاص باندهای (مثلاً مرئی، مادون قرمز، فرابنفش و غیره) مختلف یک سنجنده در قالب یک نقشه تهیه شده و به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به مناطق تحت تأثیر حریق اشاره دارند. به‌عنوان مثال، به‌منظور دستیابی سریع به اطلاعات مناطق آتش‌سوزی، علاوه بر شاخص‌های BAI[1] و NBR[2] و نسخه‌های ارتقا یافته آنها از داده‌های ماهواره نوری با وضوح بالا نیز استفاده می‌گردد. حسگر جدید MSI روی ماهواره های Sentinel-2 اطلاعات طیفی بیشتری را در منطقه طیفی لبه قرمز (red-edge) فراهم می‌کند و راه را برای توسعه شاخص‌های جدید برای نقشه‌برداری از مناطق سوخته باز می‌کند. با بهره‌گیری از باند مادون قرمز و مقایسه تصاویر بعد و قبل از آتش‌سوزی می‌توان مناطق با تغییر زیاد را شناسایی و آستانه‌گذاری کرد. در نهایت نقشه مناطق دچار آتش‌سوزی استخراج می‌شود.

یکی دیگر از تکنولوژی‌های نوین پایش حریق جنگل در کشورهای پیشرفته، استفاده از پهپادها (پرنده هدایت‌پذیر از دور) می‌باشد. بدین شکل که کاربر می‌تواند با نصب سنسورهای چندطیفی در زیر این پهپادها (به‌ویژه سنسور حرارتی) و

[1] Burned Area Index
[2] Normalized Burnt Ratio

پرواز دوره‌ای بر سطح محدوده هدف، تصاویر اخذ شده را مورد پردازش قرار داده و از تصاویر رنگی (RGB) با رزولوشن بسیار بالا یا سایر ترکیبات باندی حاصل از طیف‌های پهپاد، هات‌اسپات‌های حریق جنگل را شناسایی نماید.

**تصاویر ماهواره‌ای مناسب جهت پایش آتش‌سوزی:**

مفید بودن سیستم‌های آشکارسازی سریع آتش‌سوزی از فضا تا حد زیادی وابسته به فراوانی مشاهده حریق می‌باشد. تصاویر سنجش از دور اگر بتوانند آتش‌سوزی را در همان مراحل اولیه آشکار کنند بسیار مفید خواهند بود. بدیهی است که اگر این حریق بعد از اخذ تصویر از آن منطقه شروع شوند، تا اخذ مجدد تصویر از آن منطقه قابل آشکارسازی نخواهند بود؛ بنابراین فراوانی مشاهده آتش‌سوزی برای مقابله با توسعه و گسترش آن ضروری است. تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک مکانی بالا مثل Quick bird، Ikonos، SPOT و غیره در صورت وقوع آتش‌سوزی در هنگام تصویربرداری از آن منطقه بخوبی می‌توانند آتش‌ها را آشکارسازی کنند، اما همان‌طور که پیش‌تر بدان اشاره شد، این تصاویر به‌دلیل تفکیک زمانی پایین، در شناسایی بسیاری از آتش‌سوزی‌ها ناکارآمدند. از جمله ماهواره‌هایی که در این زمینه قابلیت بهتری را ارائه می‌کنند ماهواره‌های مودیس (MODIS) سری Terra و Aqua می‌باشند. این دو سری از ماهواره‌ها به‌دلیل تعداد زیاد و دوره تکرار نسبتاً مناسب می‌توانند در کنار ماهواره‌های لندست ۸-۹ (LANDSAT) و سنتینل-۲ چندطیفی ( MSI: Sentinel-2 Multispectral Instrument) نقاط حریق را مجموعاً در فاصله زمانی کوتاه‌تر و قابل قبولی آشکارسازی نمایند. به‌طور کلی ترتیب رزولوشن زمانی این سه ماهواره به‌صورت LANDSAT 8-9>Sentinel-2>MODIS می‌باشد؛ به‌طوری که تصاویر ماهواره مودیس به صورت روزانه (۱ الی ۲ روز) اخذ می‌شوند. تصاویر ماهواره سنتینل در بهترین حالت ۱۰ روزه است که البته به‌دلیل آنکه دو ماهواره سنتینل با فاصله زمانی ۵ روز از هم از یک نقطه عبور می‌کنند، اخذ تصویر مشابه از یک نقطه توسط این ماهواره به ۵ روز تقلیل می‌یابد. فاصله زمانی برگشت مجدد ماهواره لندست ۹ از یک نقطه روی زمین نیز ۱۶ روزه بوده که در صورت تلفیق تصاویر این ماهواره با سنجنده لندست ۸، می‌توان تفکیک زمانی را به ۸ روز کاهش داد. در مقابل، ترتیب قدرت تفکیک و رزولوشن مکانی در بین این سه ماهواره به‌صورت MODIS<LANDSAT 8-9>Sentinel-2 می‌باشد؛ به‌طوری که قدرت تفکیک مکانی ماهواره سنتینل-۲ معادل ۱۰ متر، ماهواره لندست ۸ یا ۹، ۳۰ متری (قابل تدقیق به ۱۵ متر درصورت ترکیب با باند پانکروماتیک) و ماهواره‌های ترا و آکوا مودیس در سه رزولوشن مکانی ۲۵۰ متر، ۵۰۰ متر و ۱۰۰۰ متر تصویربرداری می‌کنند. نکته حائز اهمیت در مقایسه سه ماهواره فوق آن است که ماهواره مودیس دارای ۳۶ باند طیفی متنوع بوده (تفکیک باندی بالا) در حالی که دو ماهواره سنتینل-۲ و لندست ۸-۹ به‌ترتیب دارای ۱۳ و ۹ باند هستند. درنتیجه، استفاده تلفیقی از سه ماهواره فوق دارای مزیت‌های ذیل است:

۱. تصاویر هرسه ماهواره فوق‌الذکر به‌صورت رایگان در اختیار کاربران قرار گرفته‌اند.
۲. هر ماهواره نسبت به دیگری مزیت‌ها و کمبودهایی دارد. لذا، استفاده تلفیقی از سه ماهواره پیشنهاد می‌گردد، به‌طوری که اولویت با اخذ تصویر از ماهواره با رزولوشن زمانی بالا (آکوا و ترا با برداشت تصویر روزانه) خواهد بود. به‌محض شناسایی هات‌اسپات حریق در تصاویر آکوا و ترا، تدقیق رزولوشن مکانی به‌منظور ارسال تیم اطفاء حریق به محل دقیق با استفاده از تصاویر سنتینل-۲ و لندست ۸-۹ انجام خواهد گرفت.

۳. اخذ تصویر توسط سه ماهواره فوق به‌صورت همزمان نبوده؛ لذا در صورت وقوع حریق پس از عبور یک ماهواره، شانس بالایی برای شناسایی آن توسط ماهواره بعدی وجود دارد که از مزایای استفاده تلفیقی از چندماهواره می‌باشد.

علاوه بر سه ماهواره فوق، ماهواره طیفی ASTER نیز با ۱۵ باند طیفی و رزولوشن مکانی ۳۰ متر (قابل تدقیق به ۱۵ متر) و رزولوشن زمانی ٤ الی ١٦ روزه و تصاویر ماهواره راداری Sentinel-1 SAR با وضوح مکانی ۱۰ متر و رزولوشن زمانی ٦ روزه نیز در زمینه شناسایی حریق قابل بهره‌برداری بوده که به‌صورت توامان در کنار سه ماهواره فوق‌الذکر استفاده خواهد شد.

**شاخص‌های طیفی در پایش آتش‌سوزی:**

برای تشخیص خاکستر بقایای گیاهی سوخته در سطح زمین و تمایز آن از خاک، بقایای گیاهی و گیاه سبز، و با توجه به بررسی خصوصیات طیفی باندهای سنجنده OLI ماهواره لندست و مرور منابع و همچنین نتایج به‌دست آمده از نسبت‌گیری بین باندهای طیفی و حرارتی در ارتباط با تفکیک مناطق جنگلی سوخته شده، از شاخص‌های طیفی متنوعی استفاده خواهد شد که در جدول ۱ ارائه شده‌اند (عابدینی و همکاران، ١٤٠١). شاخص‌های طیفی تبدیل‌های ریاضی هستند که بر اساس باندهای مختلف سنجنده تعریف می‌شوند و برای ارزیابی و بررسی گیاهان در مشاهدات ماهواره‌ای چند طیفی و یا فراطیفی طراحی شده‌اند.

جدول ۱ – اطلاعات شاخص‌های طیفی مورد استفاده

| شاخص | مشخصات | منبع |
|---|---|---|
| BAI | 1/[(0.1- Red) + (0.06 - NIR)] | Martín, 1998 |
| NBR | (NIR-SWIR4 ) /(NIR+SWIR) | Lopez and Caselles, 1991; Key and Benson, 2005 |
| NBRT | [NIR-SWIR(Thermal/1000)]/ [NIR+SWIR(Thermal/1000)] | Holden et al., 2005 |
| NDVI | (Red-NIR)/(Red+NIR) | Tucker, 1979 |
| NIR: 0.76 to 0.9 µm | SWIR: 2.08 to 2.35 µm | Thermal: 10.4 to 12.5 µm |

شاخص مناطق سوخته (BAI) با تأکید روی سیگنال رنگ قهوه‌ای تیره (زغالی) در تصاویر بعد از آتش‌سوزی، زمین‌های سوخته را با طیف سرخ تا مادون قرمز نزدیک (NIR) مشخص می‌کند. این شاخص بوسیله فاصله طیفی از هر پیکسل تا یک نقطه طیفی مرجع، یعنی جایی که مناطق به تازگی سوخته شده تلاقی می‌کنند، محاسبه می‌شود. پیکسل‌های روشن‌تر حاکی از مناطق سوخته شده‌اند.

شاخص نسبت (ضریب) سوختگی معمولی (NBR)، نواحی آتش‌سوزی بزرگتر از ۵۰۰ هکتار را نشان می‌دهد. فرمول آن مشابه شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) است، با این تفاوت که در آن از طول موج‌های مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز موج کوتاه (SWIR) استفاده شده است.

شاخص نسبت سوختگی معمولی- حرارتی (NBRT) از یک نوار حرارتی برای ارتقای شاخص NBR استفاده می‌کند. نتیجه آن تفکیک‌پذیری بهتر بین زمین‌های سوخته شده و سوخته نشده است.

استفاده از شاخص گیاهی مناسبی که بتوان تغییرات پوشش گیاهی را به‌صورت کمی با آن به‌دست آورد، ضروری به‌نظر می‌رسد. شاخص‌های گیاهی تبدیل‌های ریاضی هستند که بر اساس باندهای مختلف سنجنده تعریف می‌شوند و برای ارزیابی و بررسی گیاهان در مشاهدات ماهواره‌ای چندطیفی و یا فراطیفی طراحی شده‌اند. از جمله این شاخص‌ها، شاخص NDVI می‌باشد. دلیل استفاده از باندهای مذکور در محاسبه شاخص NDVI، کاهش میزان انرژی انعکاسی در طیف قرمز با رشد و توسعه گیاه به‌علت جذب انرژی طیف الکترومغناطیسی توسط کلروفیل برگ گیاه در طی عمل فتوسنتز و افزایش میزان انرژی انعکاسی در طیف مادون قرمز نزدیک به‌علت ساختار سلولی مزوفیل برگ است (علوی پناه، ۱۳۸۵). شاخص‌های گیاهی متنوع دیگری نیز قابل استفاده‌اند که از آن‌ها می‌توان به دو شاخص SAVI و EVI اشاره نمود.

**شاخص‌های راداری در پایش آتش‌سوزی:**

تصاویر راداری به‌راحتی از سطح محدوده ابر و دود عبور کرده و به سطح زمین برخورد می‌کند. از سوی دیگر، پردازش این تصاویر به طیف و بازتابش نور خورشید از سطح زمین وابسته نبوده، لذا در بازه زمانی شب نیز می‌توان به‌راحتی از این ماهواره‌ها استفاده نمود. در این پیشنهادیه، در کنار محصولات اپتیک و طیفی، از محصولات ماهواره Sentinel-1 SAR به‌عنوان منبع داده‌های راداری استفاده می‌شود. باند C امواج ماکروویو این ماهواره با توانایی تصویربرداری دوپلاریزه (دقیق‌تر از محصولات راداری تک‌پلاریزه) در شب و روز، تصاویر مفیدی از سطح زمین را در بازه زمانی ٦ روزه و با وضوح مکانی تقریباً ۱۰ متری، به‌صورت رایگان در اختیار کاربران قرار می‌دهد. اگرچه برخلاف تصاویر ماهواره‌ای طیفی و محصولات منتج از آن که امکان تشخیص بصری و راحت عرصه‌های تحت تأثیر از حریق را به کاربر می‌دهد، به‌سبب خاص بودن محصولات تصاویر ماهواره‌ای راداری بایستی از یک سیستم هوشمند با قابلیت یادگیری خودکار نیز برای پردازش آنها استفاده نمود. لذا، یک الگوریتم یادگیری عمیق[1] تحت عنوان شبکه عصبی کانولوشن[2] برای این بخش پیشنهاد می‌گردد.

**پردازش خودکار تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از سامانه GEE یا مبتنی بر API:**

در حال حاضر، ابزارهای مبتنی بر سیستم‌های عامل محاسبات ابری[3] برای پردازش داده‌های جغرافیایی در مقیاس بزرگ و بدون نیاز به تخصص فنی درخور توجهی طراحی شده‌اند که GEE (Google Earth Engine) یکی از این پلتفرم‌های مبتنی بر محاسبات ابری است که می‌تواند داده‌های موجود در پایگاه داده را پردازش کرده و نتایج مناسب را ارائه کند. در این سامانه امکان برنامه‌نویسی پایتون و جاوا اسکریپت از طریق رابط برنامه‌نویسی کاربردی (API) آنها ادغام شده‌اند. APIهای جاوا اسکریپت و پایتون (میزبان در GitHub) برای درخواست به سرورهای Earth Engine عمل می‌کنند (Teluguntla *et al.*, 2018).

[1] Deep learning
[2] Convolution Neural Network (CNN)
[3] Cloud computing platform

**جمع‌سپاری: مردم کلیدی برای جمع‌آوری داده‌های لحظه‌ای:**

آمیخته از دو واژه جمعیت و برون‌سپاری به‌معنای برون‌سپاری یک پروژه به انبوه مردم است. جمع‌سپاری نوعی برون‌سپاری است ولی نه به شرکت‌ها یا سازمان‌های خاص، بلکه به گروه فراوانی از افراد و در اینجا به‌معنی مردم مشرف به مناطق جنگلی. این کار معمولاً از طریق فراخوان عمومی در اینترنت انجام می‌شود. یکی از مهمترین نمودهای استفاده از مردم در غنی‌سازی داده‌ها، تزریق حس مسئولیت و مشارکت به مردم در به سرانجام رسیدن یک امر مهم دارد. تحقیقات بیشماری در زمینه جمع‌سپاری (Crowdsourcing) و علم شهروندی (Citizen-Science) انجام شده و در همه موارد در صورت اجرای مناسب و بی‌نقص پروسه، تأثیر مشارکت خارق‌العاده مردم اثبات شده است. یکی از نمونه‌های مثال‌زدنی در این زمینه، سامانه پایش جنگل‌زدایی در آمازون (SAD[1]) می‌باشد. این سامانه به‌طور کلی مبتنی بر گزارشات مردمی و جمع‌سپاری انجام می‌گیرد. لذا، با توسعه یک اپلیکیشن موبایل مبتنی بر استفاده از بسته داده اینترنتی و سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS)، هر کاربر بلافاصله پس از مشاهده یک محدوده تحت اثر حریق در جنگل، چندتصویر یا ویدئو نشان‌گذاری شده جغرافیایی (Geotagged) تهیه نموده و برای اپراتور ارسال می‌نماید. اپراتور مقیم در دفتر پایش، بلافاصله پس از دریافت گزارش و راستی‌آزمایی توسط کارشناس مربوطه (سیستم خودپالایی)، به اعزام نزدیکترین تیم سرکشی به محل به‌منظور بررسی دقیق‌تر و در صورت نیاز اطفاء حریق اقدام خواهد نمود. مجموعه داده‌های حاصل از این اپلیکیشن، به تهیه دقیق‌تر شاخص‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و شناسایی هشدارهای اشتباه[2] و هشدارهای نادیده گرفته شده[3] نیز کمک شایان توجهی خواهد نمود.

**پیش‌بینی عرصه‌های دارای پتانسیل آتش‌سوزی:**

آخرین فاز از چارچوب پیشنهادی، استفاده الگوریتم‌های پیش‌بینی رخداد می‌باشد. به‌طور کلی، بررسی رخدادهای طبیعی و حتی انسان‌ساخت طی ادوار طولانی‌مدت، نشان دهنده آن است که این رخدادها از یک الگوی مشخص پیروی می‌کنند. طبق مشاهدات، آتش‌سوزی‌های رخ داده در استان گلستان از یک الگوی مکانی- زمانی مشخصی پیروی می‌کند. پس می‌توان با استخراج این الگو، از غافلگیری تیم‌های سرکشی و اطفاء حریق خودداری نموده و همچنین پنجره جستجوی مکانی-زمانی (Search window) خود را چه در عرصه و چه در تحلیل‌های سنجش از دوری محدود و محدودتر نمود. این مهم با استفاده از یک سری مدل‌های تحت عنوان داده‌کاوی، یادگیری ماشین و یا یادگیری عمیق انجام می‌گیرد. این مدل‌ها، با بررسی رخدادهای تاریخی حریق (شواهد حریق به‌عنوان عامل وابسته) و همچنین عوامل محیطی موثر در وقوع این رخدادها (عوامل مستقل) نظیر تراکم و فاصله از جاده، پراکنش مکانی- زمانی جمعیت، تراکم پوشش گیاهی، دمای سطح زمین، خشکی زمین، دمای هوا، رطوبت، و غیره، قادر به تولید نقشه‌های پیش‌بینی مکانی- زمانی وقوع حریق در یک سطح وسیع می‌باشند.

[1] Deforestation Alert System
[2] False Positive Error (False Alarm)
[3] False Negative Error

**توصیه ترویجی**

- تهیه پایگاه داده منسجم از شواهد تاریخی حریق و لایه‌های عوامل موثر در ایجاد حریق در سطح استان گلستان به‌منظور افزایش دقت مدل‌های پیش‌بینی
- استفاده از سه مدل عددی هواشناسی شامل مدل‌های کانادایی (FWI)، استرالیایی (MARK-5) و آمریکایی (NFDRS) به صورت تلفیقی در کنار مدل‌های ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی
- به‌کارگیری روش تشخیص دود و شعله آتش جهت افزایش دقت پیش‌بینی محدوده تحت تأثیر حریق
- توسعه سرویس‌های مکانی مبتنی بر داده‌های تهیه شده توسط جوامع مردمی و ترویج جمع‌سپاری و علم شهروندی که توسط ساجدی حسینی و همکاران (۱٤۰۱) ارائه شده است.
- توسعه نرم‌افزارهای کاربردی (اپلیکیشن) تلفن همراه با محوریت آموزش و سرویس‌دهی در حوزه علوم منابع طبیعی

**فهرست منابع**


پرنیان، م.، اسعدی اسکویی، ا. و رهنما، م. ۱٤۰۰. بررسی روش‌های پایش و پیش‌بینی آتش‌سوزی نواحی رویشی ایران و جهان. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱۲ (٤۷): ۱۲۲-۱۰۳.

زرع‌کار، آ.، کاظمی زمانی، ب.، باقری، س.، عاشقم‌علا، م. و جعفری، ح.ر. ۱۳۹۲. تهیه نقشه پراکندگی فضایی خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: سه حوزه جنگلی در استان گیلان). فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۱ (۲): ۲۳۰-۲۱۸.

ساجدی حسینی، س.ح.، رضوانی، م.، منصوریان، ح. و بابایی، ا. ۱٤۰۱. طراحی و پیاده‌سازی پایگاه اطلاعات مکانی و توصیفی گردشگری شهر تهران. فصلنامه علمی-پژوهشی گردشگری و توسعه، ۱۱ (۳): ۳۳۳-۳۵۰.

عابدینی، م.، محمدزاده شیشه‌گران، م. و قلعه، ا. ۱٤۰۱. پایش و برآورد وسعت مناطق گرفتار حریق بخشی از کوهستان زاگرس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۳ (٤): ٦۲-٤۹.

علوی‌پناه، ک. ۱۳۸۵. کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک). انتشارات دانشگاه تهران، ٤۹٦ ص.

منصوری، ن.، نظری، ر.، نصیری، پ. و قراگوزلو، ع.ر. ۱۳۹۰. تدوین برنامه مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل با تکنولوژی GIS/RS. فصلنامه کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در برنامه‌ریزی، ۳ (۲): ۷۳-٦۳.

Adab, H., Devi Kanniah K. and Solaimani, K. 2012. Modeling Forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. Natural Hazard, 65 (3): 1723-1743.

Chang, Y., Zhu, Z., Bu, R., Chen, H., Feng, Y., Li, Y., Hu Y. and Wang, Z. 2013. Predicting fire occurrence patterns with logistic regression in Heilongjiang Province, China. Landscape Ecology, 28 (10): 1989-2004.

Cochrane, M. A. 2003. Fire science for rainforests. Nature, 421: 913-919.

Teluguntla, P., Thenkabail, P.S., Oliphant, A., Xiong, J., Gumma, M.K., Congalton, R.G., Yadav, K. and Huete, A. 2018. A 30-m landsat-derived cropland extent product of Australia and China using random forest machine learning algorithm on Google Earth Engine cloud computing platform ISPRS J. Photogramm. Remote Sens, 144, 325-340.

Zarekar, A., Vahidi, H., Kazemi Zamani, H., Ghorbani, S. and Jafari, H. 2012. Forest fire hazard mapping using fuzzy AHP and GIS, Study area: Gilan province of Iran. International journal on Technical and physical problems of engineering, 12 (3): 47-55.

Zhang, H., Han, X. and Dai, S. 2013. Fire occurrence probability mapping of Northeast China with binary logistic regression model. Earth observation and remote sensing, 6 (1): 121-127.