

GES	Geography and Environmental Studies, 14 (54), 2025 https://sanad.iau.ir/journal/ges ISSN: 2008-7845 Doi: 10.71740/ges.2025.1207886
-----	---

Research Paper

Received: 26 April 2025

Revised: 25 May 2025

Accepted: 10 June 2025

Online Publication: 22 June 2025

Analysis of the Wildland–Anthropic Interface (WAI) Characteristics in Guilan Province, Northern Iran

Roghayeh Jahdi

Department of Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
Email: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir

Abstract

Wildland-Anthropogenic Interface (WAI) is the area where undeveloped wildland vegetation and built-up structures intermingle. Mapping WAI areas at fine scales is crucial for assessing wildfire exposure and defining appropriate fire risk mitigation strategies in these areas. This research aims to develop a method for mapping different WAI classes in Guilan province using geographic information systems (GIS) and remote sensing (RS). OpenStreetMap (OSM) building shapefiles from 2022 were used to provide spatial data of buildings, including building location maps and anthropic building density, along with the percentage of area covered by anthropic blocks. Furthermore, a land cover map (in 18 initial classes) prepared based on the classification of Landsat satellite images (Landsat-8 OLI/TIRS L1TP) in 2021 was used, which was reclassified to a map of four main land cover classes (Rural, Forest, Non-Vegetated, and Water bodies) in the study area. In addition, areas with high wildfire risk (based on historical fires between 1992 and 2022) were identified by determining a 2-km buffer from dense and contiguous wildlands (with an area of >5 km²). These spatial data were integrated, and a 100-m raster map of WAI was obtained in four classes: Anthropogenic, Wildland-Anthropogenic (WA), Dispersed Anthropogenic (DA), and Non-Anthropogenic (NA). The total area and spatial distribution of WAI classes in Guilan province were obtained, and the differences between different municipalities were analyzed. The results showed that 6.6% of the province is covered as the anthropic class with moderate and high anthropic presence. 10.8% of the study area is classified as the WA class, of which 6% is distributed as WA-Interface and 4.8% as WA-Intermix. About 53% of the study area is classified as the DA class, which is distributed in Non-Vegetated, forest, and rural areas. In contrast, 29% of the study area is classified as the NA class (including Non-Vegetated, forest, rural, and water bodies). Characterizing WAI areas is crucial for land and wildfire policy and management, but it is usually determined by the spatial connections between residential development and natural vegetation, overlooking fire risk. This research introduces a novel methodological framework for defining WAI areas through fire risk assessment, which helps guide land management decisions and wildfire prevention strategies. This research suggests investigating the trends and magnitude of changes in WAI areas in the Hyrcanian regions of northern Iran and emphasizes the need to identify measures that can be taken to address the growth of WAI and mitigate the related wildfires risk.

Keywords: Land cover, Built-up structures, Wildfire risk, Dense wildlands.

Citation: Jahdi, R. (2025), Analysis of the Wildland–Anthropic Interface (WAI) Characteristics in Guilan Province, Northern Iran, *Geography and Environmental Studies*, 14 (54), 110-128. Doi: 10.71740/ges.2025.1207886

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. **Publisher:** Islamic Azad University of Najafabad.



تجزیه و تحلیل ویژگی‌های حدفاصل انسانی-طبیعی (WAI) در استان گیلان، شمال ایران

رقیه جهدی

گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

حدفاصل انسانی-طبیعی (WAI) منطقه‌ای است که در آن پوشش گیاهی طبیعی توسعه‌نیافته و ساختارهای انسان‌ساز در هم می‌آمیزند. تهیه نقشه مناطق WAI در مقیاس‌های دقیق برای ارزیابی قرار گرفتن در معرض آتش‌سوزی و تعریف راهبردهای مناسب کاهش ریسک آتش‌سوزی در این مناطق بسیار مهم است. هدف این تحقیق توسعه یک روش برای تهیه نقشه کلاس‌های مختلف WAI در استان گیلان، با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) است. از شیپ‌فایل‌های ساختمانی نقشه لایه باز خیابان و کوچه‌ها (OSM) مربوط به سال ۲۰۲۲، برای تهیه داده‌های مکانی ساختمان‌ها شامل نقشه‌های موقعیت ساختمان‌ها و تراکم ساختمان انسانی به همراه درصد مساحت تحت پوشش بلوک‌های انسانی، استفاده شد. همچنین، نقشه پوشش زمین (در ۱۸ کلاس اولیه) تهیه شده بر اساس طبقه‌بندی تصاویر ماهواره لندست (Landsat-8 OLI/TIRS L1TP) در سال ۲۰۲۱، استفاده شد که با طبقه‌بندی مجدد به نقشه چهار کلاس اصلی پوشش زمین (روستایی، جنگلی، بدون پوشش گیاهی و مناطق آبی) در منطقه مورد مطالعه تبدیل شد. علاوه بر این، مناطق با ریسک آتش‌سوزی زیاد (با توجه به آتش‌سوزی‌های تاریخی ثبت شده بین سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۲۲) با تعیین حائل/بافر ۲ کیلومتری از مناطق جنگلی متراکم و پیوسته (با وسعت بیش از ۵ کیلومتر مربع) شناسایی شدند. این داده‌های مکانی با هم ادغام شدند و نقشه رستری ۱۰۰ متری WAI در چهار کلاس انسانی، انسانی-طبیعی، انسانی پراکنده و غیرانسانی بدست آمد. کل مساحت و توزیع فضایی کلاس‌های WAI در استان گیلان بدست آمد و تفاوت‌های بین شهرستان‌های مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که ۶/۶ درصد از استان در کلاس انسانی با حضور انسانی متوسط و زیاد پوشیده شده است. ۱۰/۸ درصد از مساحت گیلان به‌عنوان کلاس انسانی-طبیعی (WA) معرفی شده است که ۶ درصد آن به‌عنوان WA-حدفاصل و ۴/۸ درصد آن به‌عنوان WA-آمیخته توزیع شده است. حدود ۵۳ درصد از منطقه مورد مطالعه با کلاس انسانی پراکنده (DA) مشخص شده است که در مناطق بدون پوشش گیاهی، جنگلی و روستایی توزیع شده است. در مقابل، ۲۹ درصد از منطقه مورد مطالعه به‌عنوان کلاس غیرانسانی (شامل مناطق جنگلی، روستایی، بدون پوشش گیاهی و آبی) طبقه‌بندی شده است. تهیه نقشه مناطق WAI برای سیاست‌گذاری و مدیریت زمین و آتش‌سوزی مهم است، اما معمولاً بر اساس روابط مکانی بین توسعه مسکن و پوشش گیاهی طبیعی، بدون در نظر گرفتن ریسک آتش‌سوزی، تعریف می‌شود. در این مطالعه، یک رویکرد روش‌شناختی جدید برای تعریف مناطق WAI بر اساس ارزیابی ریسک آتش‌سوزی ارائه شد که به هدایت تصمیمات مدیریت زمین و راهبردهای پیشگیری از آتش‌سوزی کمک می‌کند. این تحقیق، بررسی روندها و بزرگی تغییرات مناطق WAI در نواحی هیرکانی شمال ایران را پیشنهاد می‌کند و بر ضرورت شناسایی اقداماتی که می‌توان برای مقابله با رشد WAI و کاهش ریسک آتش‌سوزی‌های مرتبط با آن انجام داد، تأکید دارد.

کلمات کلیدی: پوشش زمین، ساختارهای انسانی، ریسک آتش‌سوزی، مناطق جنگلی متراکم.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۲/۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۳/۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۲۰

تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۴/۴/۱

نویسنده مسئول: رقیه جهدی، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. roghayeh.jahdi@uma.ac.ir

نحوه ارجاع به مقاله:

جهدی، رقیه (۱۴۰۴)، تجزیه و تحلیل ویژگی‌های حدفاصل انسانی-طبیعی (WAI) در استان گیلان، شمال ایران، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۴ (۵۴)، ۱۱۰-۱۲۸. Doi: 10.71740/ges.2025.1207886

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granded to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – accses article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. **Publisher: Islamic Azad Univesity of Najafabad.**



مقدمه

آتش‌سوزی‌ها در بوم‌سازگان‌های جنگلی در سرتاسر جهان رخ می‌دهند و مناطق مختلف را به روش‌های متفاوتی تحت تأثیر قرار می‌دهند. چالش‌های جدیدی در مدیریت آتش‌سوزی‌ها در حال ظهور هستند که ناشی از تغییرات اقلیمی، فعالیت‌های انسانی و تغییرات پوشش زمین و جمعیت‌شناختی اجتماعی است (Pandey et al., 2023). بنابراین، درک بیشتر در مورد اینکه چگونه این تغییرات باعث ایجاد ریسک آتش‌سوزی در مناطق مختلف سرزمینی می‌شود و اینکه چگونه این دانش می‌تواند در راهبردهای مناسب برای کاهش ریسک ادغام شود، مورد نیاز است (Oliveira et al., 2021). از طرف دیگر، گسترش مستمر توسعه شهری/روستایی در دهه‌های گذشته باعث ایجاد مناطق آمیخته جنگلی، کشاورزی و شهری شده است. این مناطق، حدفاصل انسانی-طبیعی (WAI) یا حدفاصل شهری-طبیعی (WUI)^۲ نامیده می‌شوند که با افزایش فعالیت‌های انسانی و تبدیل پوشش زمین مشخص می‌شوند و معمولاً در ریسک زیاد آتش‌سوزی نقش دارند (Ganatsas et al., 2022). در این مناطق، ماده‌سوختنی (پوشش گیاهی) تغذیه‌کننده آتش‌سوزی از ماده‌سوختنی طبیعی (جنگل) به ماده‌سوختنی ساخت‌بشر تغییر می‌کند (وزارت منابع طبیعی و جنگلداری، انتاریو، کانادا (۲۰۱۴)، ترجمه جهدی، ۱۴۰۳). در کل، WAI جایی است که درگیری‌ها و خطرات انسان و محیط‌زیست، از جمله تلفات خانه‌ها و جان افراد در اثر آتش‌سوزی، از دست دادن زیستگاه و تکه تکه شدن و نیز گسترش بیماری‌های مشترک بین انسان و دام، در آن متمرکز می‌شود. همچنین، WAI منطقه‌ای را در داخل یا مجاور اموال خصوصی و عمومی توصیف می‌کند که اقدامات کاهشی می‌تواند از آسیب یا تلفات ناشی از آتش‌سوزی جلوگیری کند (NWCG, 2018). پیش‌بینی بلایای آتش‌سوزی یک چالش بزرگ در زمینه علم ریسک است، به‌ویژه زمانی که آتش‌سوزی در فواصل طولانی در تیپ‌های ماده‌سوختنی مختلف و توپوگرافی پیچیده پخش می‌شود. یک مثال خوب در غرب ایالات متحده است که در آن بخش‌های وسیعی از زمین‌های عمومی به‌طور معمول آتش‌سوزی‌های بزرگی را تجربه می‌کنند که از مناطق طبیعی دورافتاده به مناطق توسعه‌یافته سرایت می‌کند و باعث از بین رفتن ساختار و تلفات می‌شود (Ager et al., 2019). ارزیابی ریسک مناطق WAI در مورد چگونگی تعامل آتش‌سوزی‌ها و جوامع انسانی در سطح سیمای سرزمین است (Calkin et al., 2020). با نقشه‌برداری مکانی عواملی که بر احتمال و شدت آتش‌سوزی‌های جنگل در جوامع تأثیر می‌گذارند، راهبردهای کاهش و واکنش مؤثرتری می‌تواند اجرا شود. ارزیابی و مدیریت ریسک آتش‌سوزی در WAI به نقشه‌های WAI دقیق و داده‌هایی درباره تعداد ساختمان‌های در معرض خطر نیاز دارد. یک نقشه WAI خوب یک نمایش گرافیکی ارائه می‌کند که با درک مفهومی WAIs چیست و کجا است، مطابقت دارد. این درک مفهومی از WAI در طول زمان تکامل یافته است. با این حال، هیچ گونه تحلیل و ارزیابی از WAI در ایران وجود ندارد.

راهبردهای مختلفی برای ایجاد نقشه‌های WAI پیشنهاد شده است. به عنوان مثال، رادولف^۳ و همکاران (۲۰۰۵) ارزیابی دقیق مکانی از مناطق WAI در سراسر ایالات متحده انجام دادند تا چارچوبی برای تحقیقات علمی در مورد آثار رشد خانه‌سازی بر محیط‌زیست ارائه دهند و سیاست‌گذاران ملی و مدیران زمین محلی را در مورد WAI و مسائل مرتبط با آن آگاه کنند. بر اساس نتایج، WAI در ایالات متحده ۹ درصد از مساحت زمین را پوشش می‌دهد و شامل ۳۹ درصد از کل خانه‌ها است. مناطق WAI به‌ویژه در شرق ایالات متحده گسترده است و به حداکثر ۷۲ درصد از مساحت زمین در شمال شرقی ایالات متحده می‌رسد. کالیفرنیا بیشترین تعداد واحدهای مسکونی WAI (۵/۱ میلیون) را دارد. گستردگی WAI نیاز به اصول محیط‌زیستی در برنامه‌ریزی کاربری زمین و همچنین سیاست‌های محدودکننده گسترش برای مقابله با تهدیدات آتش‌سوزی و مشکلات حفاظتی به‌اندازه کافی را نشان می‌دهد.

1. Wildland-Anthropoc Interface

2. Wildland-Urban Interface

3. Radeloff

آرگاناز^۱ و همکاران (۲۰۱۷) به نقشه‌برداری مناطق WAI در مرکز آرژانتین و ارزیابی قرار گرفتن در معرض آتش‌سوزی برای جوامع WAI، با تاکید ویژه بر آتش‌سوزی‌های بزرگ و احتمال سوختن بر اساس یک مدل تجربی پرداختند. مناطقی که خانه‌ها و پوشش گیاهی طبیعی در هم آمیخته می‌شوند به‌عنوان WAI-آمیخته (تراکم مسکن بیش از ۶/۱۷ واحد مسکونی (hu) در هر کیلومتر مربع و پوشش گیاهی طبیعی بیش از ۵۰ درصد) و مناطقی که پوشش گیاهی طبیعی در کنار سکونتگاه‌ها قرار می‌گیرد به‌عنوان WAI-حذف‌شده (تراکم مسکن بیش از ۶/۱۷ واحد مسکونی (hu) در هر کیلومتر مربع و پوشش گیاهی طبیعی کمتر از ۵۰ درصد، البته در ۶۰۰ متری یک لکه پوشش گیاهی بزرگتر از ۵ کیلومتر مربع) کلاسه‌بندی شدند. مناطق WAI، ۱۵ درصد از منطقه مورد مطالعه را شامل شدند و شامل ۵۲ درصد از ساختمان‌ها بودند. WAI-آمیخته وسعت بیشتری داشتند، اما ساختمان‌های بیشتری در WAI-حذف‌شده بودند. رادولف و همکاران (۲۰۱۸) به گزارش رشد WAI در ایالات متحده از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ از نظر تعداد خانه‌های جدید (۴۱ درصد رشد) و مساحت زمین (۳۳ درصد رشد) پرداختند. که سریع‌ترین رشد نوع کاربری زمین در ایالات متحده را نشان می‌دهد. اکثریت قریب به اتفاق مناطق WAI جدید نتیجه خانه‌سازی جدید (۹۷ درصد) است که به افزایش پوشش گیاهی طبیعی مربوط نمی‌شود. در محدوده آتش‌سوزی‌های اخیر (۱۹۹۰-۲۰۱۵)، در سال ۲۰۱۰، ۲۸۶،۰۰۰ خانه وجود داشت، در مقایسه با ۱۷۷،۰۰۰ خانه در سال ۱۹۹۰. علاوه بر این، رشد WAI اغلب منجر به احتراق آتش‌سوزی‌های جنگلی می‌شود و زندگی و خانه‌های بیشتری را در معرض خطر قرار می‌دهد. گاناتزاس^۲ و همکاران (۲۰۲۲) در تسالونیکا^۳ یونان، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲^۴ و عکس‌های ارتوفوتو^۵ در مقیاس کلان (VLSO^۶) برای سکونت‌گاه‌های انسانی، نقشه‌برداری مناطق WAI را انجام دادند. نتایج نشان داد که بیشتر منطقه WAI در شمال و شرق شهر ظاهر شده است که تحت تأثیر شرایط بوم‌شناختی این منطقه، تراکم ساختمان‌های انسانی، نوع و ساختار پوشش گیاهی است. مجموعه‌ای از تیمارهای جنگل‌شناسی پیشگیری از آتش‌سوزی (شامل کاهش تراکم توده تاج و افزایش ارتفاع مبنای تاج از طریق هرس و تنک کردن از پائین) برای کاهش ریسک آتش‌سوزی پیشنهاد شد که می‌تواند با افزایش آگاهی‌های انسانی مناسب و مشارکت جامعه محلی همراه شود. برونو^۷ و همکاران (۲۰۲۴) به نقشه‌برداری مناطق WAI در چهار شهرستان پرتغال با سابقه آتش‌سوزی، شرایط بیوفیزیکی و زمینه‌های اجتماعی-جمعیتی مختلف پرداختند. داده‌های موقعیت ساختمان‌ها و نقشه‌های پوشش گیاهی با وضوح بالا برای محاسبه تراکم ساختمان‌ها و نسبت پوشش جنگلی در اندازه‌های مختلف ادغام شد. مساحت کل و توزیع مکانی انواع WAI و تعداد ساختمان‌های درون WAI و در محدوده‌های آتش‌سوزی ثبت شده بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ ارزیابی شد. مساحت نقشه‌برداری شده به‌عنوان WAI در هر چهار شهرستان، از حدود ۴۰۰ کیلومتر مربع تا ۱۱۳۵ کیلومتر مربع متغیر است. بین ۳۹/۴ تا ۴۵/۵ درصد از ساختمان‌های موجود در مناطق مورد مطالعه، در محدوده WAI قرار داشتند و در مجموع ۵۴۳۶ ساختمان در محدوده آتش‌سوزی تاریخی بودند. جیانگ^۸ و همکاران (۲۰۲۵) با یک رویکرد نقشه‌برداری جدید، WAI را با ادغام داده‌های پوشش گیاهی و محیط ساختمان مشخص کردند. تصاویر سنجنده چند طیفی پانکروماتیک GaoFen 1 (GF1-PMS) به‌عنوان منبع داده استفاده شد. موقعیت ساختمان با استفاده از تکنیک‌های طبقه‌بندی شیء گرا و سلسله‌مراتبی استخراج شد و روش دوگانگی پیکسل^۹ برای تخمین پوشش گیاهی به کار گرفته شد. روش پیشنهادی قابلیت کاربردی بالا با دقت کلی ۸۸/۶ درصد را در منطقه مورد مطالعه نشان داد. مساحت WAI حدود ۳۸ درصد از منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد. همچنین، همپوشانی مکانی بین WAI و مناطق مستعد آتش‌سوزی مشاهده شد.

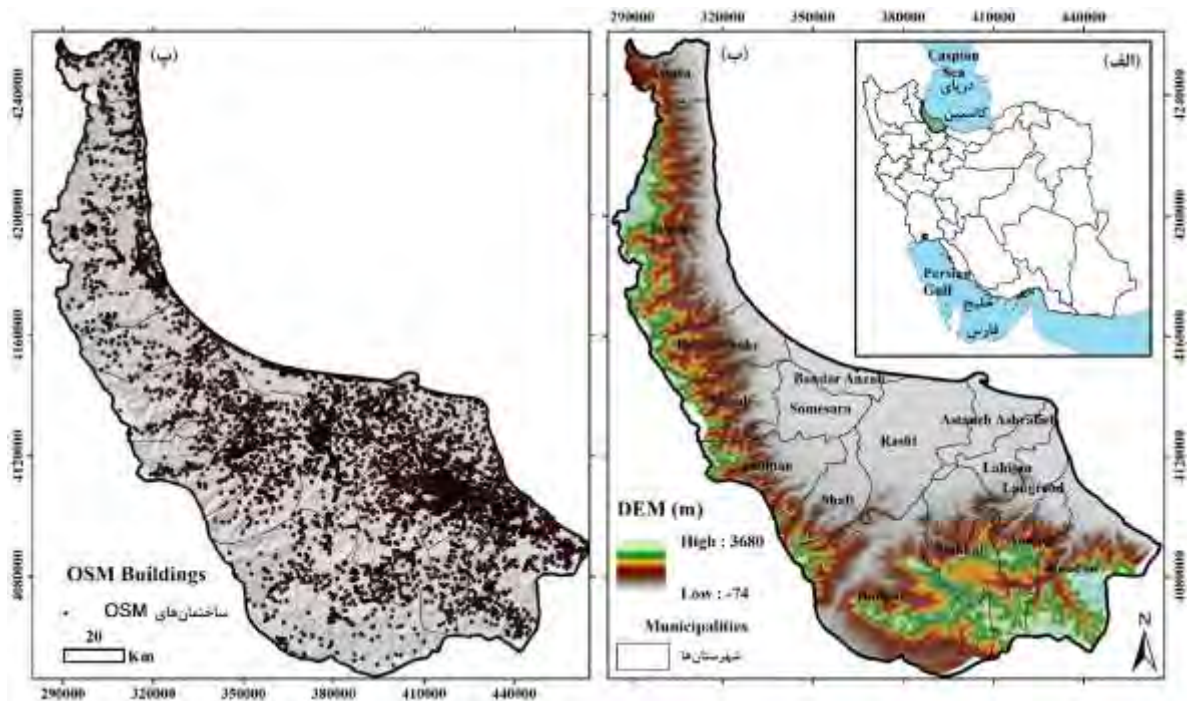
1. Argañaraz
2. Ganatsas
3. Thessaloniki
4. Sentinel-2
5. Orthophoto
6. Very-large-scale integration
7. Bruno
8. Jiang
9. Pixel dichotomy

در اغلب مطالعات اشاره شده در پیشینه تحقیق، تهیه نقشه مناطق WAI بر اساس روابط مکانی بین توسعه مسکن و پوشش گیاهی طبیعی، بدون در نظر گرفتن ریسک آتش‌سوزی انجام شده است. در این مطالعه، یک رویکرد روش‌شناختی جدید برای تعریف مناطق WAI بر اساس ارزیابی ریسک آتش‌سوزی ارائه می‌شود که برای مدیریت بهینه زمین و آتش‌سوزی حائز اهمیت است. در این تحقیق، استان گیلان برای تعیین الگوهای WAI و قرار گرفتن در معرض آتش‌سوزی در مناطق هیرکانی شمال ایران انتخاب شد. بین سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۲۲، بیش از ۲۵۵۰۰ هکتار در این استان توسط آتش‌سوزی‌های جنگل سوخته شده است که تقریباً ۲ درصد از کل مساحت استان (۱۴۰۴۴۰۰ هکتار) را تشکیل می‌دهد (جهدی و مسیح پور، ۱۴۰۴). علاوه بر این، این استان از نظر توسعه شهری/روستایی در دهه‌های اخیر بویژه در WAI نیاز به توجه دارد، زیرا جمعیت در دهه‌های گذشته به سرعت رشد کرده است، به دلایلی مانند مهاجرت از شهرهای بزرگ به مناطق طبیعی مجاور. به عنوان مثال، افزایش مهاجرت مردم از فلات مرکزی ایران به سمت استان‌های شمالی از جمله استان گیلان به دلیل پدیده خشکسالی گزارش شده است (یوسفی ماتک و همکاران، ۱۴۰۲). هدف اصلی این تحقیق تعیین مساحت، مرزها و توزیع مکانی WAI بر اساس موقعیت ساختمان‌ها و پوشش گیاهی اطراف و ارزیابی در معرض آتش‌سوزی قرار گرفتن جوامع WAI در رابطه با آتش‌سوزی‌های تاریخی است. از یک رویکرد نقشه‌برداری مبتنی بر نقطه برای ایجاد نقشه WAI در مقیاس خوب استفاده شد (Bar-Massada et al., 2013)، که به دو نوع داده نیاز دارد: داده‌های نقطه‌ای که مکان‌های ساختمان را نشان می‌دهد و یک نقشه پوشش زمین که پوشش گیاهی طبیعی را شناسایی می‌کند. برای ترسیم مناطق WAI، محاسبات در یک محیط داده رستری با اندازه تفکیک ۱۰۰ متر انجام می‌شود. مدیران آتش‌سوزی و زمین، برنامه‌ریزان شهری و سیاست‌گذاران، می‌توانند از این مجموعه داده‌های مکانی برای تعدادی از فعالیت‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری بهره‌مند شوند. اطلاعات مربوط به مناطق WAI را می‌توان با داده‌های مربوط به آسیب‌پذیری اجتماعی-اقتصادی و میزان در معرض قرارگیری و ریسک آتش‌سوزی به‌دست‌آمده از رویکردهای مدل‌سازی، ترکیب کرد.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان گیلان، واقع در شمال ایران، ۱،۴۰۴،۴۰۰ هکتار مساحت دارد و از ۱۶ شهرستان تشکیل شده است (شکل ۱). گیلان با جمعیت تقریبی ۲،۵۳۰،۶۹۰ نفر، دومین استان پرجمعیت در شمال ایران است. این استان بخشی از جلگه‌های ساحلی جنوب غربی دریای کاسپین و نیز کوه‌های تالش و البرز را شامل می‌شود و دامنه وسیعی از ارتفاعات از زیر صفر تا ۳۶۸۰ متر بالاتر از سطح دریا (m.a.s.l) را در بر می‌گیرد (شکل ۱ب) که تأثیر قابل توجهی بر آب و هوا و الگوهای آب و هوایی منطقه دارد. اقلیم منطقه مورد مطالعه معتدل و تحت تأثیر آب و هوای نواحی کوهستانی البرز و جنوب دریای کاسپین است که با زمستان‌های معتدل و تابستان‌های گرم و مرطوب مشخص می‌شود (جهدی و الحاج خلف، ۱۴۰۳). این منطقه سالانه ۱۱۰۰ میلی‌متر به‌طور متوسط بارندگی دارد. دمای متوسط سالانه نیز ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد است (جان‌بزرگی و همکاران، ۱۴۰۰).



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در شمال ایران (الف)، شهرستان‌های استان گیلان به همراه مدل رقومی ارتفاع (DEM؛ متر) (ب) و مراکز ساختمان‌های انسانی مستخرج از OSM (۲۰۲۲؛ پ) (ماخذ: نویسنده گان، ۱۴۰۴)

تعریف حدفاصل انسانی-طبیعی

تعریف حدفاصل انسانی-طبیعی (WAI) از سازمان آتش‌نشانی ایالات متحده (U.S. Fire Administration, 2025) به‌عنوان منطقه گذر بین زمین‌های اشغال نشده (اراضی طبیعی) و توسعه انسانی انطباق یافته است. این خط، منطقه یا زونی است که در آن سازه‌ها و سایر توسعه‌های انسانی با اراضی طبیعی توسعه‌نیافته یا مواد سوختنی گیاهی در هم می‌آمیزند. WAI شامل کناره‌های شهرها، مناطقی که خانه‌ها و سازه‌ها با پوشش گیاهی در هم می‌آمیزند و لکه‌های سبز در مناطق شهری است. در بوم‌سازگان‌های مستعد آتش‌سوزی، به‌ویژه در مناطقی با آب و هوای مدیترانه‌ای در سراسر جهان، مهم‌ترین و شدیدترین آتش‌سوزی‌ها در WAI رخ می‌دهد که منجر به آثار اجتماعی-اقتصادی عظیمی می‌شود (Filkov et al., 2020).

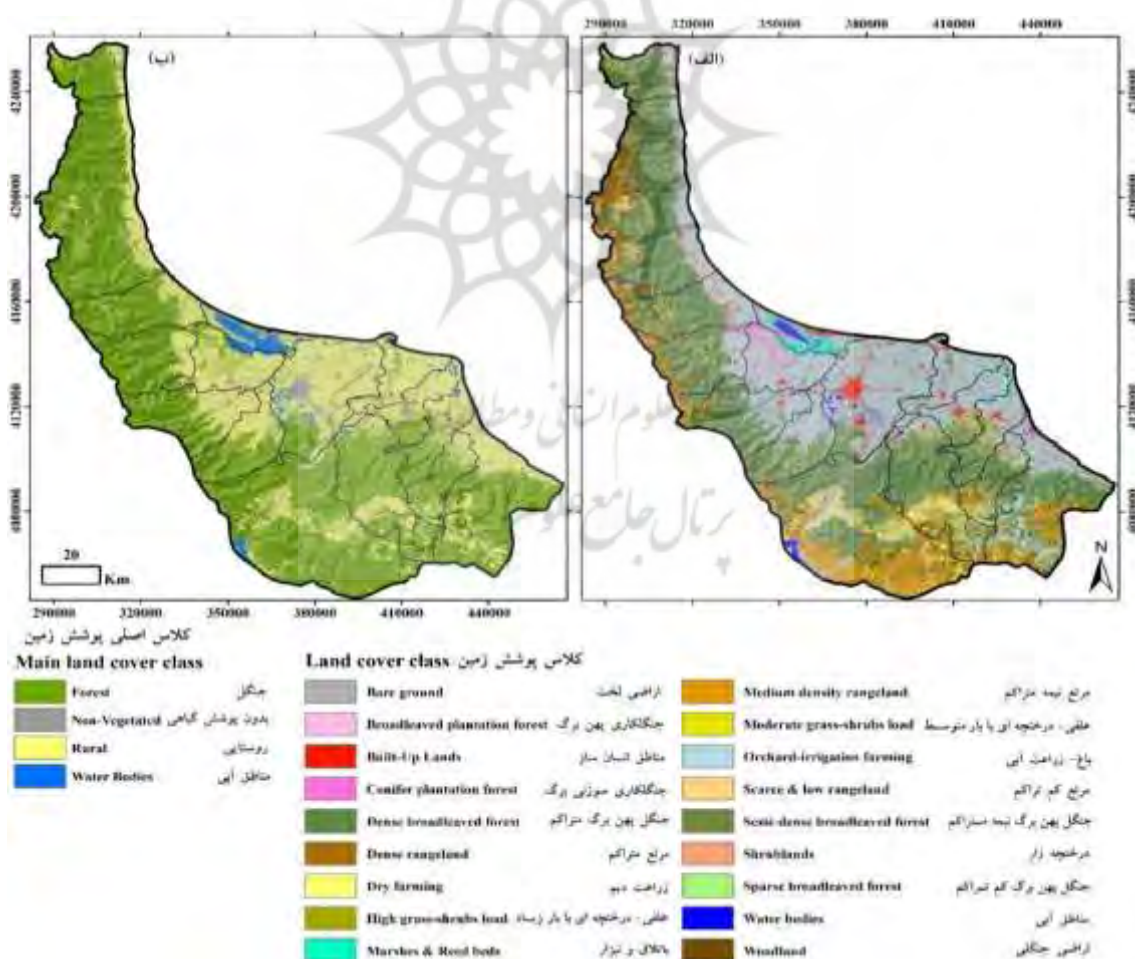
WAI اصطلاحی است که معمولاً در مناطقی که آتش‌سوزی‌های جنگلی را تجربه می‌کنند، شناخته می‌شود. افزایش ریسک آتش‌سوزی‌های WAI به دلیل رشد خانه‌سازی در دهه‌های اخیر، نیاز به توسعه روش‌هایی برای توصیف و تهیه نقشه WAI را برجسته می‌کند (Gonzalez & Ghermandi, 2024). در حالی که مناطق WAI در سطوح جهانی (Schug et al., 2023)، در سراسر ایالات متحده (Radeloff et al., 2005, 2018)، مناطقی از اروپا (Bruno et al., 2024) و مناطق دیگری مانند آفریقای جنوبی (Christ et al., 2022) و آرژانتین (Sanucci et al., 2022) نقشه‌برداری شده‌اند، در ایران تا به امروز نقشه WAI تهیه نشده است. در این تحقیق، با استفاده از نقشه تپ‌های پوشش/کاربری زمین موجود، اراضی طبیعی و انسانی به‌منظور مشخص کردن WAI در شمال ایران (استان گیلان) استخراج شد. در این کار، WAI به‌عنوان مناطقی تعریف شدند که در آن سازه‌های انسانی (ساختمان‌های مجزا، سازه‌های صنعتی، تجاری و غیره) درون یا نزدیک پوشش گیاهی اراضی طبیعی قرار دارند. طبق تعریف WAI دو نوع WA از هم متمایز می‌شود. مناطقی که خانه‌ها و پوشش گیاهی اراضی طبیعی در هم آمیخته می‌شود به‌عنوان WA-آمیخته و مناطقی که پوشش گیاهی طبیعی در کنار سکونتگاه‌ها قرار می‌گیرد به‌عنوان WA-حدفاصل طبقه‌بندی می‌شوند. برای توصیف

و نقشه‌برداری WAI، از نقشه‌های تراکم ساختمان‌های انسانی و درصد مساحت تحت پوشش ساختمان‌های انسانی، کلاس اصلی پوشش زمین و ریسک آتش‌سوزی استفاده شد.

داده‌های مربوط به ساختمان‌های انسانی و پوشش/کاربری زمین

نقشه ساختمان‌های انسانی موجود در منطقه مورد مطالعه از شیف‌فایل‌های ساختمانی نقشه لایه باز خیابان و کوچه‌ها (OSM)^۱ به‌دست آمدند (OSM, 2022؛ شکل ۱). ساختمان‌های OSM به‌صورت دستی به‌عنوان منطقه‌ای در امتداد طرح کلی ساختمان با استفاده از ویرایشگری که از عکس‌های هوایی تصحیح‌شده جغرافیایی به عنوان پس‌زمینه پشتیبانی می‌کند، رقومی شده است. هر ساختمان با ردپای خود به عنوان یک راه بسته یا یک رابطه چند ضلعی نشان داده می‌شود. ویژگی‌های OSM از منابع تصویری با وضوح بالا، با وضوح بین ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر، نقشه‌برداری شده است.

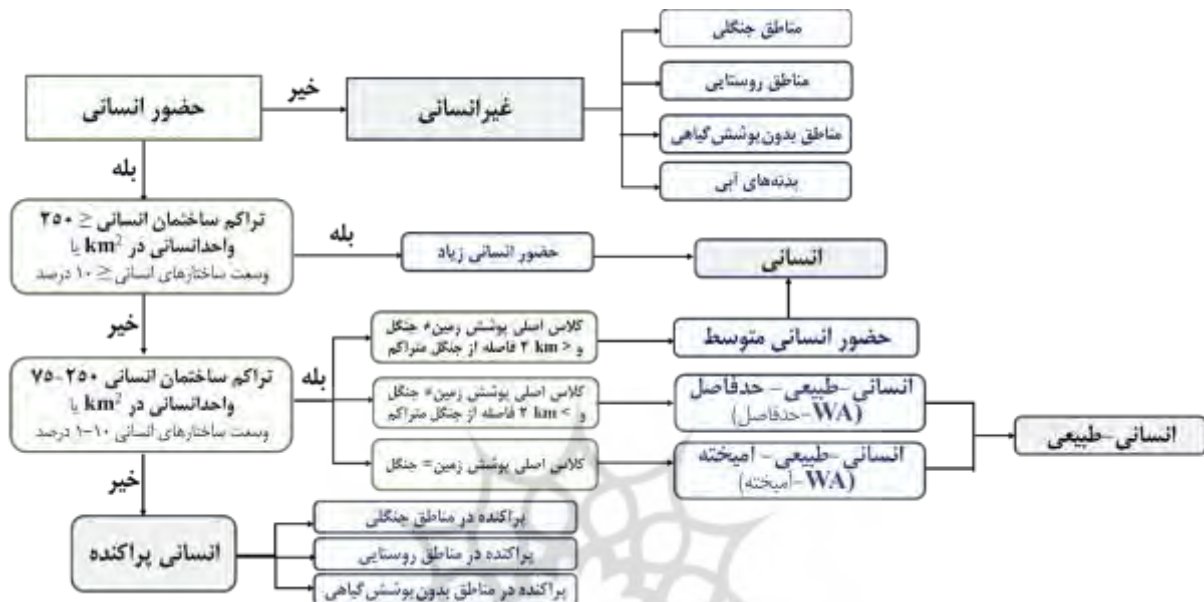
برای توصیف کلاس‌های پوشش/کاربری زمین در منطقه مورد مطالعه، از نقشه پوشش زمین تهیه شده در مطالعه قبلی (جهدی و الحاج خلف، ۱۴۰۳) استفاده شد. این نقشه بر اساس طبقه‌بندی تصاویر ماهواره لندست (Landsat-8 OLI/TIRS L1TP) در سال ۲۰۲۱ با استفاده از الگوریتم‌ها و نرم‌افزارهای شرح داده شده در مطالعه قبلی، تهیه شده که از ۱۸ کلاس پوشش زمین تشکیل شده است (شکل ۲الف). ارزیابی صحت طبقه‌بندی این نقشه ۱۰۰ متری پوشش زمین، صحت کلی ۰/۹۱ و ضریب کاپا ۰/۸۸ را در سطح منطقه مورد مطالعه نشان داده است.



شکل (۲): توزیع کلاس‌های پوشش زمین اولیه (الف) و کلاس اصلی پوشش زمین (ب)

تجزیه و تحلیل مکانی

در این تحقیق، از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای تهیه و ارزیابی نقشه‌های WAI استفاده شد. همچنین، از یک رویکرد مرجع و مقادیر تعیین شده برای تهیه نقشه مناطق WAI در مطالعات قبلی انجام شده در ایالات متحده (Radeloff et al., 2005, 2018) و در جنوب اروپا (Alcasena et al., 2018; Del Giudice et al., 2021) استفاده شد. با توجه به این مطالعات، مراحل روش شناختی زیر برای تولید نقشه رستری WAI به شرح زیر است (شکل ۳).



شکل (۳): نمایش شماتیک روش تهیه نقشه WAI در منطقه مورد مطالعه.

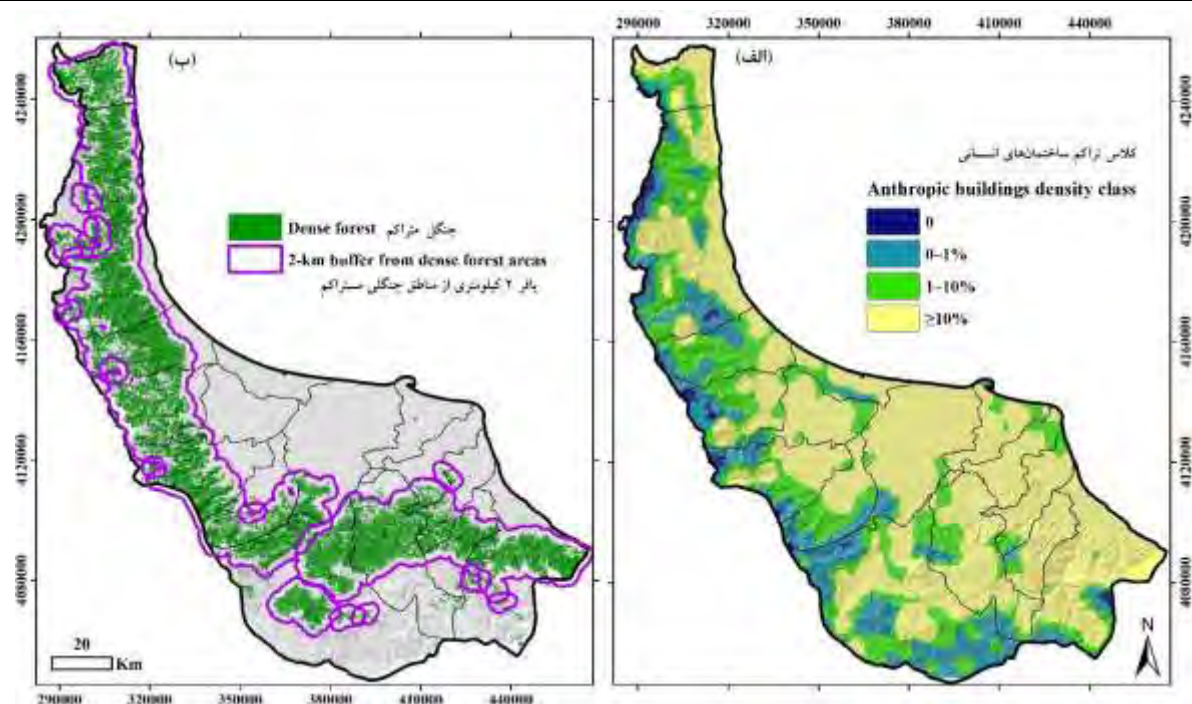
در گام نخست، شپ‌فایل ساختمان‌های OSM (۲۰۲۲) استخراج شده برای منطقه مورد مطالعه برش داده شد. موقعیت مراکز تمام بلوک‌های انسانی موجود در منطقه مورد مطالعه (حدود ۵۶۰،۲۳) استخراج شد و یک شپ‌فایل نقطه‌ای تولید شد (شکل ۱ب). سپس، یک فایل رستری ۱۰۰ متری از تراکم ساختمان‌های انسانی (تعداد مراکز در هر کیلومتر مربع) با استفاده از ابزار Kernel Density در ArcMap 10.8 ایجاد شد. پیکسل‌های حاوی ساختمان‌های انسانی در این نقشه رستری در چهار کلاس تراکم شامل (۱) بدون ساختمان (بدون ساختمان در هر کیلومتر مربع)، (۲) تراکم کم (کمتر از ۷۵ مرکز در هر کیلومتر مربع)، (۳) تراکم متوسط (۷۵-۲۵۰ مرکز در هر کیلومتر مربع) و (۴) تراکم زیاد (بیش از ۲۵۰ مرکز در هر کیلومتر مربع) طبقه‌بندی شدند. علاوه بر این، مساحت تحت پوشش هر بلوک ساختمانی محاسبه شد و نیز مساحت کل و درصد پوشیده شده توسط این سازه‌های انسانی در یک شپ‌فایل شبکه‌بندی شده با وضوح ۱۰۰ متر، تعیین شد. با توجه به درصد مساحت پوشیده شده توسط بلوک‌های انسانی، پیکسل‌های دارای ساختمان‌ها در چهار کلاس تراکم (۰، ۱-۱۰، ۱۰-۱، و ≥ 10 درصد) دوباره طبقه‌بندی شدند (شکل ۱الف). پیکسل‌های بدون ساختمان‌های انسانی (کلاس تراکم ۰)، به عنوان مناطق غیر انسانی شناسایی می‌شوند.

در گام دوم، نقشه پوشش زمین منطقه مورد مطالعه (۱۸ کلاس؛ شکل ۲الف) دوباره طبقه‌بندی شد و چهار کلاس اصلی پوشش زمین (روستایی، جنگل، بدون پوشش گیاهی و مناطق آبی) تعیین شد (شکل ۲ب). این کار مطابق الگوی مورد استفاده برای طبقه‌بندی مجدد در مطالعه دل‌گوئی‌دیچ^۱ و همکاران (۲۰۲۱) انجام شد (جدول ۱).

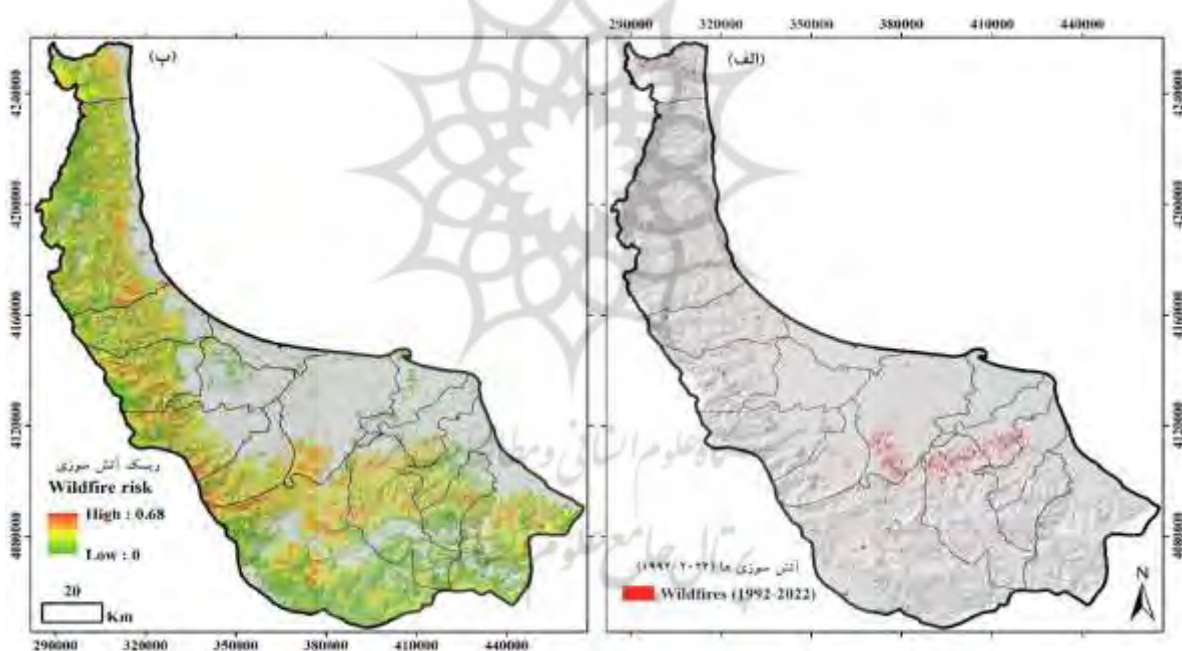
جدول (۱): طرح طبقه‌بندی مورد استفاده برای استخراج چهار کلاس اصلی پوشش زمین (Del Giudice et al., 2021) از نقشه اولیه پوشش زمین (۱۸ کلاس) منطقه مورد مطالعه (جهدی و الحاج خلف، ۱۴۰۳)

کلاس‌های پوشش زمین Land cover classes	مساحت (هکتار) Area (ha)	پوشش (درصد) Cover (%)	کلاس اصلی پوشش زمین Main land cover classes
اراضی لخت	۱۴۰۷/۲۷	۰/۱۰	بدون پوشش گیاهی Non-Vegetated
جنگلکاری پهن برگ	۲۰۸۲۸/۷۵	۱/۴۸	جنگل Forest
مناطق انسان‌ساز	۴۴۳۶۱/۹۸	۳/۱۶	روستایی Rural
جنگلکاری سوزنی برگ	۱۳۶۴۰/۶۰	۰/۹۷	جنگل Forest
جنگل پهن برگ متراکم	۴۳۰۰۲۳/۱۰	۳۰/۶۲	جنگل Forest
مرتع متراکم	۱۱۵۸۷۸/۸۰	۸/۲۵	جنگل Forest
علفی - درختچه‌ای با بار زیاد	۲۴۴۴۹/۳۰	۱/۷۴	جنگل Forest
زراعت دیم	۵۶۱۵۵/۱۰	۴/۰۰	روستایی Rural
باتلاق و نیزار	۱۵۳۳۶/۲۰	۱/۰۹	مناطق آبی Water bodies
مرتع نیمه متراکم	۹۰۸۳۸/۴۰	۶/۴۷	جنگل Forest
علفی - درختچه‌ای با بار متوسط	۲۴۶۳۷/۸۰	۱/۷۵	جنگل Forest
باغ - زراعت آبی	۳۶۵۲۱۹/۵۳	۲۶/۰۱	روستایی Rural
مرتع کم تراکم	۷۱۳۸/۲۰	۰/۵۱	جنگل Forest
جنگل پهن برگ نیمه متراکم	۶۰۷۰۱/۹۰	۴/۳۲	جنگل Forest
درختچه‌زار	۳۵۵۹/۴۰	۰/۲۵	جنگل Forest
جنگل پهن برگ کم تراکم	۶۲۱۸۸/۷۰	۴/۴۳	جنگل Forest
مناطق آبی	۱۷۸۲۵/۸۷	۱/۲۷	مناطق آبی Water bodies
اراضی جنگلی	۵۰۲۰۹/۱۰	۳/۵۸	جنگل Forest
کل	۱۴۰۴۴۰۰	۱۰۰	-

سپس، با استفاده از نقشه رستری کلاس‌های اصلی پوشش زمین (شکل ۲ب)، پیکسل‌هایی که بیش از ۵۰ درصد آن به عنوان کلاس جنگل شناخته شده و از نظر مکانی بزرگتر از ۵ کیلومتر مربع به هم پیوسته هستند، به عنوان "جنگل متراکم" تفکیک شد (شکل ۴ب). همچنین، با استفاده از نقشه ریسک آتش‌سوزی (شکل ۵ب) که در مطالعه قبلی و بر مبنای داده تاریخی آتش‌سوزی‌های رخ داده (۲۰۲۲-۱۹۹۲؛ شکل ۵الف) و نقشه‌های توپوگرافی، ماده سوختنی و شرایط آب و هوایی در این دوره تهیه شده است (جهدی و الحاج خلف، ۱۴۰۳)، مناطق با ریسک آتش‌سوزی زیاد با تهیه یک نقشه بافر ۲ کیلومتری از مناطق جنگلی متراکم تفکیک شد (شکل ۴ب).



شکل (۴): کلاس تراکم ساختمان‌های انسانی (الف) و توزیع جنگل متراکم و بافر ۲ کیلومتری از مناطق جنگلی متراکم (ب)



شکل (۵): توزیع تاریخی نقاط آتش‌سوزی (۱۹۹۲-۲۰۲۲؛ الف) و نقشه شاخص ریسک آتش‌سوزی (جهدی و الحاج خلف، ۱۴۰۳) در منطقه مورد مطالعه (ب)

در نهایت، با ترکیب نقشه‌های رستری اشاره شده در بالا در وضوح ۱۰۰ متر (شامل نقشه‌های تراکم ساختمان انسانی، درصد مساحت تحت پوشش بلوک‌های انسانی، کلاس‌های اصلی پوشش زمین و مناطق با ریسک آتش‌سوزی زیاد) نقشه مناطق WAI برای منطقه مورد مطالعه استخراج شد. در شکل ۳ نمایش شماتیک روش مورد استفاده در این کار برای شناسایی و تهیه نقشه چهار کلاس WAI زیر ارائه شده است:

(۱) انسانی (حضور انسانی متوسط و حضور انسانی زیاد).

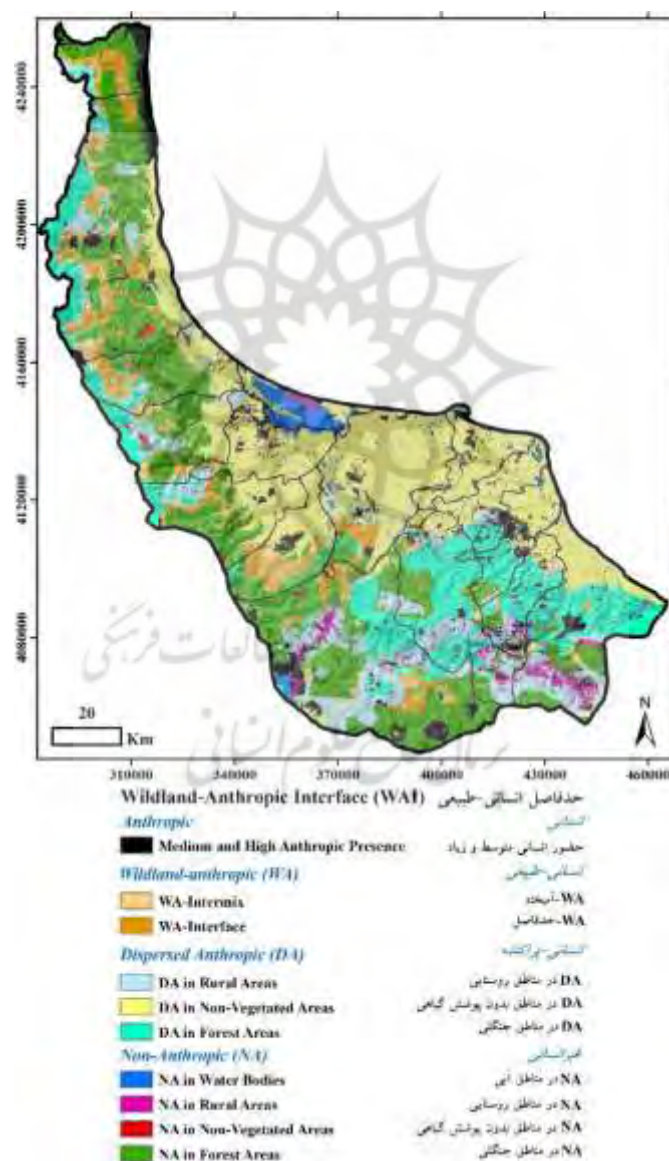
(۲) انسانی - طبیعی (WA) (شامل WA-حداصل و WA-آمیخته)

(۳) انسانی پراکنده (DA) (DA در مناطق جنگلی، DA در مناطق روستایی و DA در مناطق غیر پوشش گیاهی) و

۴) غیرانسانی (مناطق جنگلی، مناطق روستایی، مناطق بدون پوشش گیاهی و مناطق آبی). در نهایت، مساحت (هکتار) و درصد کلاس‌های WAI با توجه به کل مساحت مورد مطالعه و نیز به تفکیک شهرستان‌ها محاسبه می‌شود.

یافته‌های تحقیق

نقشه کلاس‌های مختلف مناطق حدفاصل انسانی-طبیعی (WAI) در شکل ۶ ارائه شده است. همچنین، اطلاعات WAI به تفکیک شهرستان‌های استان گیلان در جدول ۲ و شکل ۷ ارائه شده است. در مجموع، مناطق WAI که شامل کلاس‌های انسانی، انسانی-طبیعی (WA) و انسانی پراکنده (DA) است، حدود ۷۹۰،۹۹۲ هکتار را شامل می‌شود که تقریباً ۷۱ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد.

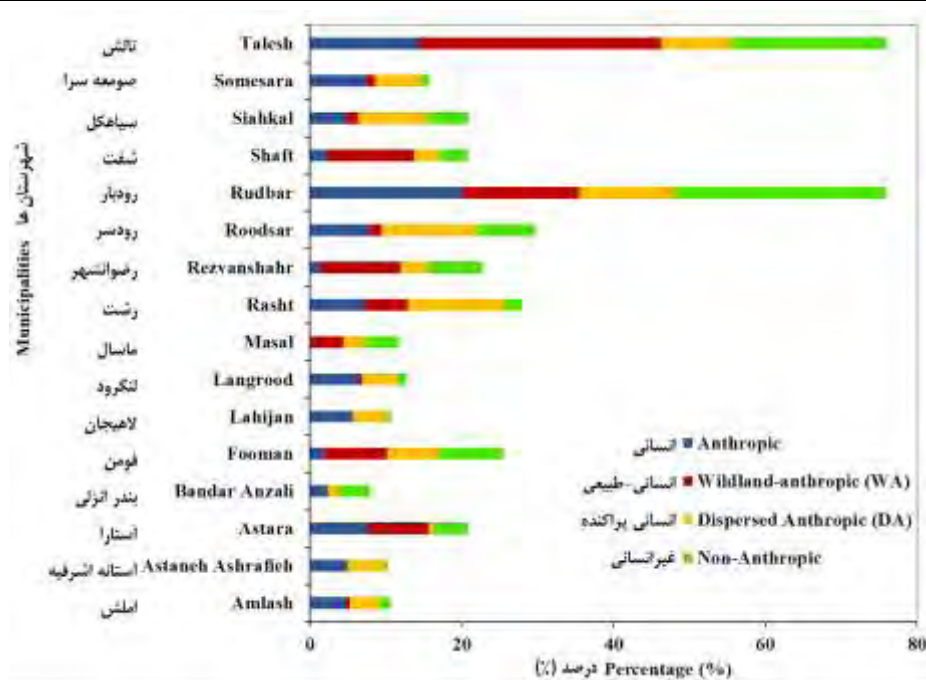


شکل (۶): نقشه کلاس‌های مختلف مناطق حدفاصل انسانی-طبیعی (WAI) در منطقه مورد مطالعه.

جدول (۲). مساحت و درصد کلاس‌های مختلف مناطق حدفاصل انسانی-طبیعی (WAI)، با در نظر گرفتن کل منطقه مورد مطالعه و ۱۶ شهرستان موجود.

انسانی Anthropic	انسانی-طبیعی Wildland-anthropic (WA)		انسانی پراکنده Dispersed Anthropic (DA)						غیرانسانی- Anthropic		سطح (هکتار) Area (ha)	شهرستان‌ها Municipalities	
	-WA آمیخته WA Intermix	-WA حذف‌فاصل WA Interface	DA در مناطق جنگلی DA in Forest Areas		DA در مناطق روستایی DA in Rural Areas		DA در مناطق غیرپوشش گیاهی DA in Non-Vegetated Areas		Non- Anthropic				
			Area (%)	Area (ha)	Area (%)	Area (ha)	Area (%)	Area (ha)	Area (%)	Area (ha)			
۷/۳	۰/۳	۶/۶	۵/۷	۵۳۴۴/۱	۲/۱۰	۲/۴	۷/۷	۴/۹	۴/۸	۴۴۸۰/۱۰	۴۴۸۰/۱۰	۴/۸	آملش Amlash
۶۸۳۶/۶	۲۴۸/۴	۶۱۶۱/۵	۰/۹	۵۳۴۴/۱	۱۸۷۰/۹	۲۲۶۵/۶	۷۲۴۵/۳	۴۶۱۵/۲	۴۴۸۰/۱۰	۴۴۸۰/۱۰	۴۴۸۰/۱۰	۴۴۸۰/۱۰	آستانه اشرفیه Astaneh Ashrafieh
۱/۳	۶/۶	۰/۹	۰/۱	۰/۱	۷/۴	۰/۱	۴/۹	۰/۱	۱/۱۰	۶۸۹/۹	۶۸۹/۹	۶/۹	رامشهر Ramshahr
۸۳۶/۱۰	۴۳۸۳/۴	۵۶۵/۱۰	۰/۱	۰/۱	۴۹۰۶/۹	۰/۱۰	۳۲۷۳/۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱	رامشهر Ramshahr
۸/۸	۲/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۸/۹	۰/۱۰	۱۰/۲	۰/۱۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	رامشهر Ramshahr
۷۶۰۲/۵	۱۸۵۴/۶	۹/۷	۵۲/۳	۷۶۱۵/۳	۷۶۱۵/۳	۰/۱۰	۸۷۸۲/۱۰	۰/۱۰	۵۲/۸	۵۲/۸	۵۲/۸	۵۲/۸	رامشهر Ramshahr
۰/۶	۳/۳	۵/۷	۲/۶	۶۰۳۴/۳	۵/۱۰	۰/۳	۱/۱۰	۰/۷	۷/۶	۱۷۳۹۴/۶	۱۷۳۹۴/۶	۷/۶	رامشهر Ramshahr
۱۳۲۵/۷	۷۵۲۶/۷	۱۳۰۸۵/۶	۱/۱	۶۰۳۴/۳	۱۱۵۳۳/۵	۵۷۹/۷	۲۳۸۵/۲	۱۶۶۱/۴	۱۷۳۹۴/۶	۱۷۳۹۴/۶	۱۷۳۹۴/۶	۱۷۳۹۴/۶	رامشهر Ramshahr
۱/۴	۴/۱۰	۱/۱	۱/۱	۱۱۵۳۳/۵	۴/۳	۱/۱۰	۲/۱۱	۰/۳	۴/۱	۶۰۲۶/۶	۶۰۲۶/۶	۴/۱	رامشهر Ramshahr
۲۰۳۵/۹	۵۸۶۵/۲	۱۶۱۶/۴	۵/۳	۱۵۴۱/۹	۶۲۷۷/۹	۱۴۶۷/۶	۳۰۹۴/۴	۴۵۵/۲	۶۰۲۶/۶	۶۰۲۶/۶	۶۰۲۶/۶	۶۰۲۶/۶	رامشهر Ramshahr
۲۵/۳	۲/۲	۵/۳	۶/۹	۱۵۴۱/۹	۸/۹	۲/۴	۰/۱۰	۹/۲	۱/۷	۶۳۵۷/۱۰	۶۳۵۷/۱۰	۱/۷	رامشهر Ramshahr
۹۳۰۵۱/۱۰	۸۰۵۹/۹	۱۹۵۸۸/۷	۲۵۵۰/۱/۴	۳۲۶۶۴/۴	۳۲۶۶۴/۴	۸۶۹۸/۷	۸/۱	۳۳۶۹۹/۹	۶۳۵۷/۱۰	۶۳۵۷/۱۰	۶۳۵۷/۱۰	۶۳۵۷/۱۰	رامشهر Ramshahr
۲/۴	۴/۵	۱/۲	۰/۵	۸/۵	۸/۵	۴/۱	۴/۴	۰/۵	۱/۴	۵۶۹۹/۳	۵۶۹۹/۳	۱/۴	رامشهر Ramshahr
۹۸۱۲/۲	۱۸۵۶/۷	۴۷۷۳/۲	۲۲۲۵/۹	۳۵۴۴۱/۱	۳۵۴۴۱/۱	۱۶۸۸۸/۳	۱۸۲۱۲/۱۰	۱۸۶۸/۴	۵۶۹۹/۳	۵۶۹۹/۳	۵۶۹۹/۳	۵۶۹۹/۳	رامشهر Ramshahr
۸/۷	۳/۳	۳/۳	۲/۹	۴۰۷۰۰	۷/۱	۲/۱	۳/۱	۳/۱۰	۲/۹	۴۰۷۰۰	۴۰۷۰۰	۲/۹	رامشهر Ramshahr
۱۲۱۵۰۰	۴۶۵۰۰	۴۵۸۰۰	۴۰۷۰۰	۱۰۰۲۰۰	۱۰۰۲۰۰	۲۹۹۰۰	۴۳۰۰۰	۴۲۳۰۰	۴۰۷۰۰	۴۰۷۰۰	۴۰۷۰۰	۴۰۷۰۰	رامشهر Ramshahr
رامشهر Rasht	ماسال Masal	لنگرود Langrood	لاهیجان Lahijan	فومن Fooman	بندر انزلی Bandar Anzali	آستارا Astara	آستانه اشرفیه Astaneh Ashrafieh	آملش Amlash					

کد	تالش	صومعه سرا	سیاهکل	شفت	Rudbar	Roodsar	رشدستر	Rezvanshahr
۶/۶۰	۱۴/۳	۷/۶	۴/۸	۲/۴	۲۰/۱	۷/۸	۱/۵	
۹۳۳۳۸	۱۳۴۵۹/۴	۷۱۱۷/۵	۴۵۱۳/۷	۲۲۴/۰	۱۸۸۷۰/۲	۷۳۴۲/۶	۱۳۹۶/۹	
۴/۸۸	۳۶/۳	۰/۸	۲/۴	۱۱/۷	۹/۶	۲/۲	۱۴/۸	
۶۷۱۰۲	۲۴۰۶۱/۳	۵۱۸/۴	۱۵۹۶/۶	۷۷۵۰/۲	۶۳۳/۸	۱۴۴۹/۸	۹۸۳۲/۴	
۶/۰۳	۲۸/۶	۱/۱	۰/۹	۱۱/۱	۱۹/۹	۱/۲	۷/۰	
۸۴۷۰۵	۲۴۶۰۷/۱	۹۴۹/۴	۷۷۴/۶	۹۵۳۴/۹	۱۷۱۲۹/۳	۱۰۰۵/۵	۶۰۳۹/۵	
۱۶/۶۷	۱۴/۶	۰/۲	۱۷/۹	۱/۶	۱۵/۵	۱۹/۵	۳/۹	
۲۳۴۱۰۷	۳۳۵۷۵/۹	۵۳۵/۰	۴۱۱۲۹/۸	۳۶۶۱/۴	۳۵۷۰۸/۸	۴۴۹۲۹/۰	۹۰۳۳/۴	
۱۰/۵۳	۱۰/۸	۲/۲	۱۴/۴	۰/۱	۳۴/۷	۱۴/۹	۳/۵	
۱۴۷۸۹۵	۱۵۷۷۲/۱	۳۱۹۰/۷	۲۱۰۸۹/۲	۱۸۳/۱	۵۰۸۵۴/۶	۲۱۸۹۷/۳	۵۱۹۶/۷	
۲۶/۰۴	۵/۵	۱۱/۶	۱/۷	۵/۸	۲/۲	۷/۴	۳/۹	
۳۶۵۶۶	۲۰۳۳۴/۷	۴۲۵۶۷/۷	۶۳۳۱/۸	۲۱۳۱۸/۷	۸۲۲۸/۶	۲۷۱۸۹/۵	۱۴۲۱۱/۳	
۲۹/۳۱	۲۰/۴	۰/۹	۵/۳	۳/۷	۲۷/۷	۷/۶	۷/۰	
۴۱۱۶۰۷	۸۴۱۸۹/۴	۳۹۲۶/۳	۲۱۷۶۴/۲	۱۵۲۲/۵	۱۱۴۵۳۴/۷	۳۱۵۹۱/۳	۲۹۰۸۹/۹	
۱۰۰	۱۵/۴	۴/۲	۶/۹	۴/۳	۱۷/۹	۹/۶	۵/۳	
۱۴۰۴۴۰۰	۲۱۶۰۰۰	۵۸۸۰۰	۹۷۲۰۰	۵۹۹۰۰	۲۵۱۷۰۰	۱۳۵۴۰۰	۷۴۸۰۰	
Total			Siahkal	Shaft	Rudbar	Roodsar	Rezvanshahr	



شکل (۷): توزیع کلاس‌های اصلی مناطق حدفاصل انسانی-طبیعی (WAI) در شهرستان‌های مختلف استان گیلان.

با تمرکز بر کلاس انسانی، ۹۳،۳۳۸ هکتار (۶/۶ درصد) از استان با حضور انسانی متوسط و زیاد پوشیده شده است. توزیع کلاس انسانی در شهرستان‌های مختلف حاکی از این است که شهرستان‌های رودبار و تالش دارای بیشترین وسعت هستند که به ترتیب حدود ۲۰ و ۱۴ درصد از اراضی آنها تحت پوشش این کلاس است. برعکس، کمتر از ۲ درصد از مساحت شهرستان‌های فومن و رضوانشهر تحت پوشش کلاس انسانی است.

کلاس انسانی-طبیعی (WA) حدود ۱۵۱،۸۰۷ هکتار از کل استان را در بر می‌گیرد و شامل دو زیر کلاس WA-حدفاصل و WA-آمیخته است که به ترتیب حدود ۶ و ۴/۸ درصد از منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌دهند. زیر کلاس WA-حدفاصل از حداکثر مقدار ۲۸/۶ درصد در شهرستان تالش تا تقریباً صفر درصد در شهرستان‌های آستانه اشرفیه، بندرانزلی، لاهیجان و لنگرود متغیر است. همچنین، زیر کلاس WA-آمیخته سطوح بزرگ از شهرستان تالش (۳۶/۳ درصد) را اشغال می‌کند، در حالی که شهرستان‌های آستانه اشرفیه، بندرانزلی و لاهیجان صفر درصد پوشش از این زیر کلاس را نشان می‌دهند.

حدود ۷۴۷،۶۴۸ هکتار از منطقه مورد مطالعه با کلاس انسانی پراکنده (DA) مشخص شده است که به ترتیب در مناطق بدون پوشش گیاهی (۲۶ درصد)، مناطق جنگلی (۱۶/۷ درصد) و مناطق روستایی (۱۰/۵ درصد) توزیع شده است. بیشترین درصد پوشش کلاس انسانی پراکنده به صورت کلی در شهرستان‌های رودبار، رودسر و رشت مشاهده می‌شود که حدود ۱۳ درصد است. این در حالی است که کمترین درصد پوشش کلاس انسانی پراکنده در شهرستان آستارا به میزان کمتر از ۱ درصد مشاهده شده است. با توجه به زیر کلاس‌های مختلف کلاس انسانی پراکنده، رشت شهرستانی است که با بیشترین مقادیر ساختمان‌های پراکنده واقع در مناطق بدون پوشش گیاهی (حدود ۲۵/۳ درصد) مشخص شده است، در حالی که این مقدار در آستارا حدود صفر درصد را نشان می‌دهد. ساختمان‌های پراکنده واقع در مناطق روستایی در رودبار (۳۴/۷ درصد از مساحت منطقه) به طور قابل توجهی بالا هستند (حداقل ارزش ساختمان‌های انسانی پراکنده در مناطق روستایی توسط آستانه اشرفیه و شفت با کمتر از ۰/۵ درصد نشان داده شده است). در مورد ساختمان‌های پراکنده در مناطق جنگلی، شهرستان‌های رودسر، رودبار، سیاهکل و تالش با بیش از ۱۵ درصد از مساحت منطقه خود، بیشترین درصد را دارند. در مقابل، شهرستان‌های آستانه اشرفیه، بندرانزلی، صومعه‌سرا و رشت حضور کم ساختمان‌های پراکنده در مناطق جنگلی، با مقادیر کمتر از ۱ درصد را نشان می‌دهند.

در این مطالعه، پیکسل‌های بدون ساختمان‌های انسانی، بر اساس موقعیت‌های مرکز بلوک‌های انسانی و مساحت تحت پوشش ساختمان‌ها، به عنوان کلاس غیرانسانی (NA) طبقه‌بندی شدند. در مجموع، حدود ۲۹ درصد از منطقه مورد مطالعه به عنوان کلاس غیرانسانی (شامل مناطق جنگلی، مناطق روستایی، مناطق بدون پوشش گیاهی و مناطق آبی) طبقه‌بندی شده است. با توجه به شکل ۶، مناطقی که با فقدان ساختمان‌های انسانی مشخص می‌شوند (کلاس غیرانسانی) عمدتاً توسط مناطق جنگلی نشان داده شده است. این مناطق جنگلی بدون حضور انسان حدود ۲۶۸،۳۵۰ هکتار را تشکیل می‌دهند، که ۲۴/۹ درصد از استان را در بر می‌گیرد. مناطق آبی بدون ساختمان‌های انسانی ۲/۲ درصد از منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌دهند. همچنین، مناطق روستایی بدون ساختمان‌های انسانی ۱/۹ درصد از منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌دهند. در نهایت، مناطق بدون پوشش گیاهی و نیز بدون ساختمان‌های انسانی، ۰/۳ درصد از منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌دهند. همچنین، شهرستان‌های تالش و رودبار دارای بیشترین درصد پوشش کلاس غیرانسانی (بیش از ۲۰ درصد) در بین شهرستان‌های موجود در استان گیلان هستند. در مقابل، شهرستان‌های آستانه اشرفیه، لاهیجان و صومعه سرا دارای کمترین درصد پوشش کلاس غیرانسانی (کمتر از ۱ درصد) هستند.

بحث

در این مطالعه، مناطق مجاور هر ساختمان با قطعات بزرگ و متراکم پوشش گیاهی به عنوان منطقه حدفاصل انسانی-طبیعی (WAI) تعیین شد، که این روش برای دولت‌های محلی جهت نقشه‌برداری از مناطق WAI محلی و همچنین تدوین برنامه‌های اضطراری دقیق آتش‌سوزی، مسیرهای تخلیه و اقدامات مدیریتی مناسب است (Li et al., 2022). لازم به ذکر است که WAI را می‌توان به روش‌های مختلفی تعریف و نقشه‌برداری کرد که معمولاً به مقیاس تحلیل بستگی دارد. دو روش اصلی نقشه‌برداری WAI عبارتند از: ۱) رویکرد نقطه-محور (Bar-Massada et al., 2013) و ۲) رویکرد ناحیه‌ای (Radeloff و همکاران، ۲۰۰۵). این روش‌ها در داده‌های مکانی که برای تعیین موقعیت‌های ساختمان‌ها در سراسر سیمای سرزمین و محاسبه تراکم ساختمان استفاده می‌شوند، متفاوت هستند (Bar-Massada, 2021). به طور کلی، منطقه حدفاصل را می‌توان به عنوان نوار مرزی بین کاربری شهری و اراضی طبیعی یا به عنوان منطقه آمیخته شامل ساختمان‌ها و مناطق مسکونی پراکنده در اراضی جنگلی و روستایی شناسایی کرد.

با توجه به روش استفاده شده، اولین نقشه با وضوح مکانی بالا و کلاس‌بندی شده از مناطق WAI، در استان گیلان ارائه شد و توزیع WAI در شهرستان‌های مختلف مشخص شد. این در حالی است که در مطالعات قبلی، پوشش جغرافیایی نقشه‌های با وضوح مکانی بالا محدود به بخشی از مناطق خاص مانند مناطق مدیترانه‌ای در جنوب اروپا (Del Giudice et al., 2021; Alcasena et al., 2018)، امریکای شمالی (Li et al., 2022) و امریکای جنوبی (Sanucci et al., 2022) بود. بر اساس نتایج بدست آمده، مناطق WAI در تمام شهرستان‌ها وجود دارد. با این حال، توزیع WAI در داخل شهرستان‌ها بسیار ناهمگن است. مساحت مناطق تحت پوشش WAI در گیلان حدود ۷۱ درصد بود و در شهرستان‌های مختلف متغیر بود. با توجه به شکل ۶، بیشتر مناطق WAI در امتداد ساحل در بخش جنوبی دریای کاسپین؛ در شمال و شرق استان گیلان گسترش یافته است. در این نواحی، رشد جمعیت تشدید شده و شهرنشینی مرتبط با آن، توسعه صنعتی و اخیراً گردشگری فشرده در نزدیکی یا درون جنگل‌های هیرکانی رخ داده است (Alipour et al., 217).

بر اساس نتایج این تحقیق، دریافت شد که کلاس انسانی-طبیعی (WA) در دو زیرکلاس حدفاصل و آمیخته یک نوع پوشش زمین رایج در منطقه مورد مطالعه است، زیرا ۱۰/۸ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌دهد. این میزان تاحدی مشابه با نتایج بدست آمده در مناطق مدیترانه‌ای جنوب اروپا با رویکرد روش شناختی مشابه است (Del Giudice et al., 2021)، در

مقایسه با بیش از ۱۵ درصد برای ایالات متحده، البته با استفاده از الگوریتم‌ها و رویکرد روش شناختی متفاوت (Carlson et al., 2022). توزیع زیاد WA در منطقه مورد مطالعه، در درجه اول ناشی از گسترش بی‌سابقه شهرنشینی است که در طی سال‌های گذشته وسعت قابل توجهی را به کلاس WA اضافه کرده است. این نتیجه مشابه با مطالعات متعددی در مناطق مختلف جهان در نمایش گسترش کلاس WA در نتیجه افزایش شهرنشینی است (Guo et al., 2024; Chen et al., 2024; Radeloff et al., 2018). بارماسادا^۱ و همکاران (۲۰۲۳) بر دو فرآیند اصلی که می‌تواند باعث رشد کلاس WA شود، اشاره دارد. اولین فرآیند، توسعه حومه شهر در داخل و نزدیکی بوم‌سازگان‌های طبیعی است، که یا به دلیل عوامل «کششی» مانند تمایل به زندگی در نزدیکی امکانات طبیعی (Taylor, 2011) یا به دلیل عوامل «دفعی» مانند افزایش قیمت مسکن در شهرها که توسعه مسکن را به مناطق روستایی که قیمت املاک در آنها پایین‌تر است، سوق می‌دهد (Millward, 2002). دومین فرآیند، رشد پوشش گیاهی طبیعی است که اغلب به دلیل رهاسازی زمین، ناشی از مهاجرت روستایی است. در اروپا عمدتاً در بخش‌های جنوبی و شرقی، رهاسازی زمین در دهه‌های اخیر شایع بوده است که با افزایش رخداد آتش‌سوزی‌ها در سال‌های گذشته مرتبط بوده است (Salis et al., 2022). علاوه بر این، تحت شرایط آب و هوایی متغیر، احتمال تغییر در قابلیت احتراق بسیاری از گونه‌ها وجود دارد و این امر مناطقی با ریسک آتش‌سوزی کم را در آینده مستعدتر به آتش‌سوزی‌های جنگلی می‌کند. با توجه به شکل ۵الف، توزیع تاریخی (۱۹۹۲-۲۰۲۲) آتش‌سوزی‌های رخ داده در مناطق WA قابل توجه است که بر افزایش ریسک آتش‌سوزی‌ها برای پوشش گیاهی موجود و نیز جامعه بشری تأکید می‌کند. رژیم‌های آتش‌سوزی در اطراف WA می‌تواند در نتیجه احتراق‌های متراکم‌تر ناشی از فعالیت‌های انسانی و تکه‌تکه شدن پوشش گیاهی تحت تأثیر تشدید فعالیت‌های انسانی باشد (Hantson et al., 2022). این موارد ضرورت اجرای راهبردهای مدیریت آتش‌سوزی متناسب در مناطق WA را برجسته می‌سازد. همچنین، درک تعاملات آتش‌سوزی‌ها و جوامع نیازمند ردیابی تغییرات بلندمدت WA در منطقه با وضوح خوب است (Guo et al., 2024).

توزیع کلاس WA به‌طور قابل توجهی در بین شهرستان‌ها متفاوت است، از تقریباً هیچ WA در آستانه اشرفیه، بندرانزلی، لاهیجان و لنگرود گرفته تا تقریباً یک‌سوم مساحت شهرستان WA در تالش است. همچنین، تفاوت قابل توجهی در نسبت WA در داخل شهرستان‌ها، به‌ویژه در شهرستان‌های بزرگتر با سیمای سرزمین متنوع، مانند تالش (۲۱۶،۰۰۰ هکتار) و رودبار (۲۵۱،۷۰۰ هکتار)، که پوشش زمین در بین بخش‌های آنها بسیار متفاوت است، وجود داشت. نسبت WA در رودبار تقریباً یک‌دوم تالش است. همچنین، در میان دو شهرستان پرجمعیت استان (رشت و تالش به ترتیب با جمعیت‌های ۹۵۶۹۷۱ و ۲۰۰۶۴۹ نفر)، تالش مناطق بزرگی در مناطق شمالی و مرکزی دارد. با این حال، رشت منطقه WA بسیار کوچکتری در جنوب این شهرستان دارد، احتمالاً به این دلیل که تراکم زمین‌های زراعی بالا است و پوشش گیاهی طبیعی کافی برای ایجاد WA فراهم نیست. این نتیجه مشابه با مطالعه شانگ^۲ و همکاران (۲۰۲۳) در بررسی توزیع WAI در مقیاس جهانی است که اشاره به کم‌بودن مقادیر WAI در کشور هند در مقایسه با کشور چین است، در حالی که هر دو به‌عنوان پرجمعیت‌ترین کشورهای دنیا به شمار می‌روند.

نتیجه‌گیری

در مناطق مستعد آتش‌سوزی، گسترش مناطقی که ساختمان‌های انسانی و پوشش گیاهی طبیعی در تماس یا در هم آمیخته هستند (یعنی مناطق حفاصل انسانی-طبیعی (WAI))، نگرانی‌هایی را ایجاد می‌کند. برای پیشگیری و کاهش خسارات آتش‌سوزی‌های جنگلی در مناطق انسانی، اطلاعات و داده‌های اولیه مانند موقعیت‌های مناطق حفاصل یا ساختمان‌های پراکنده مورد نیاز است.

1. Bar-Massada

2. Schug

این تحقیق برای تعیین الگوهای WAI در مناطق هیرکانی شمال ایران (استان گیلان) و ارائه پشتیبانی برای برنامه‌ریزی سیمای سرزمین و مدیریت آتش‌سوزی طراحی شده است. برای کل استان گیلان، یک مجموعه داده مکانی ۱۰۰ متری بر اساس چهار کلاس اصلی (انسانی، انسانی-طبیعی (WA)، انسانی پراکنده (DA) و غیرانسانی) و زیرکلاس‌ها با استفاده از لایه‌های ورودی با وضوح بالا استخراج شد. این مطالعه یک رویکرد استاندارد برای توصیف و تهیه نقشه دقیق از مناطق انسانی-طبیعی در استان گیلان ارائه می‌دهد، که در آن تاکنون تعریف واحدی از مناطق انسانی-طبیعی (WA) حدفاصل و آمیخته در دسترس نیست. مجموعه داده‌های ۱۰۰ متری مناطق حدفاصل انسانی-طبیعی می‌تواند به فعالیت‌های پایش و مدیریت ریسک، به‌ویژه در زمینه ریسک آتش‌سوزی و نیز سیل، که از نگرانی‌های کلیدی در جنگل‌های هیرکانی شمال ایران است، کمک کند. برنامه‌های مربوط به تیمارهای جنگل‌شناسی یا ماده‌سوختن، پیشگیری و آگاهی از ریسک و نیز ایجاد جوامع سازگار با آتش‌سوزی، می‌تواند با توجه به ویژگی‌های خاص و سطوح مواجهه با مناطق حدفاصل انسانی-طبیعی، از مقیاس‌های محلی تا استانی یا منطقه‌ای، ارتقا یافته و بهینه شوند. رویکرد ما الگویی برای ارزیابی WAI به منظور تمرکز مدیریت آتش‌سوزی به سمت مناطق پرریسک با هدف کاهش خسارات و بهبود تشخیص زودهنگام، هشدارهای سریع و سیستم‌های تخلیه ارائه می‌کند. در نهایت، یافته‌های این تحقیق می‌تواند برای ترسیم راهبردهای آتی برنامه‌ریزی سیمای سرزمین، از جمله سکونتگاه‌های شهری آینده، برای منطقه‌ای که جمعیت قابل توجهی را در خود جای داده است و انتظار می‌رود در آینده نزدیک رشد قابل توجهی داشته باشد، مفید باشد.

لازم به ذکر است که این تحقیق با محدودیت‌های دسترسی به داده‌های تغییرات پوشش زمین با وضوح مکانی بالا و نیز اطلاعات فعالیت‌های آتش‌سوزی و نیز تغییرات آنها در منطقه مورد مطالعه مواجه است. ما پیشنهاد می‌کنیم که تعیین پویایی‌های مکانی و زمانی توزیع مناطق WAI در دوره‌های زمانی مختلف و در مقیاس مکانی مناسب، می‌تواند در ارزیابی آثار آنها بر فعالیت‌های آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه نقش مهمی داشته باشد. علاوه بر این، تلاش‌های آینده باید بر افزایش پایش بلندمدت و قابلیت‌های پیش‌بینی تغییرات WAI در آینده با توجه به آثار تغییر اقلیم، تغییر کاربری اراضی و ... متمرکز شود. همچنین، پیش‌بینی بهتر آب و هوای مستعد آتش‌سوزی و بهبود مدیریت منطقه‌ای آتش‌سوزی می‌تواند به کاهش گسترش آتش‌سوزی‌ها در مناطق WAI کمک کند. در این ارتباط، مدل‌های یادگیری ماشین می‌توانند ابزارهای مفیدی برای پیش‌بینی آتش‌سوزی‌ها و مساحت سوخته شده در مناطق WAI باشند. دانش بهبود یافته از عوامل اصلی آتش‌سوزی‌ها در مناطق WAI می‌تواند توسعه یا بهینه‌سازی راهبردهای کاهش ریسک و پیشگیری از آتش‌سوزی را تقویت کند.

سپاسگزاری

این مقاله با حمایت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی از طرح پژوهشی با شماره قرارداد ۱۴۰۴/د/۹/۳۳۸۰ استخراج شده است، که بدین وسیله تقدیر می‌شود.

منابع

- جان‌بزرگی، محمد؛ حنیفه‌پور، مهین؛ خسروی، حسن (۱۴۰۰). تغییرات زمانی خشکسالی هواشناسی-هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: استان گیلان). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*. ۱ (۲)، ۱-۱۳. <https://doi.org/10.22098/mmws.2021.1215>
- جهدی، رقیه؛ مسیح‌پور، مهرنوش (۱۴۰۴). مدل‌سازی مبتنی بر احتمال برای تحلیل کمی ریسک آتش‌سوزی در مناطق حفاظت شده استان گیلان. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*. ۵ (۱)، ۲۸۲-۲۶۵. <https://doi.org/10.22098/mmws.2025.16219.1518>

جهدی، رقیه؛ الحاج خلف، محمد واثق (۱۴۰۳). مدل‌سازی ریسک آتش‌سوزی با استفاده از روش‌های سنجش‌ازدور و شبیه‌سازی رفتار آتش در استان گیلان. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۳ (۴)، ۱۰۲-۱۲۹. <https://doi.org/10.22067/geoe.2024.86597.1462>

وزارت منابع طبیعی و جنگلداری، انتاریو، کانادا (۲۰۱۴). *کتابچه راهنمای مرجع ارزیابی و کاهش ریسک آتش‌سوزی جنگل-در حمایت از بیانیه سیاست استانی*. ترجمه رقیه جهدی. اردبیل: انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی.

یوسفی ماتک، حمیدرضا و دیگران (۱۴۰۲). آینده‌پژوهی تأثیر مهاجرت از فلات مرکزی به استان گیلان بر اجرای طرح‌های جامع و توسعه شهری و روستایی. *آینده‌پژوهی ایران*. ۸ (۲)، ۲۷۰-۲۹۶. <https://doi.org/10.30479/jfs.2024.19112.1492>

Ager, A. et al (2019). Wildfire exposure to the wildland urban interface in the western US. *Applied Geography*. 111, 102059. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.59>

Alcasena, F.J.; Evers, C.R. & Vega-Garcia, C. (2018). The wildland-urban interface raster dataset of Catalonia. *Data Brief*. 17, 124-128. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.12.066>

Alipour, H. et al (2017). Second home tourism impact and governance: Evidence from the Caspian Sea region of Iran. *Ocean & Coastal Managment*. 136, 165-176. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.12.006>

Argañaraz, J.P. et al (2017). Assessing wildfire exposure in the Wildland-Urban Interface area of the mountains of central Argentina. *Journal of Environmental Management*. 196, 499-510. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.058>

Bar-Massada, A. et al (2023). The wildland – urban interface in Europe: Spatial patterns and associations with socioeconomic and demographic variables. *Landscape and Urban Planning*. 235, 104759. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104759>

Bar-Massada, A. (2021). A comparative analysis of two major approaches for mapping the wildland-urban interface: a case study in California. *Land*. 10 (7), 679. <https://doi.org/10.3390/land10070679>

Bar-Massada, A. et al (2013). Using structure locations as a basis for mapping the wildland urban interface. *Journal of Environmental Management*. 128, 540-547. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.06.021>

Bruno, B. et al (2024). Mapping the wildland-urban interface at municipal level for wildfire exposure analysis in mainland Portugal. *Journal of Environmental Management*. 368, 122098. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122098>

Calkin, D.; Price, O. & Salis, M. (2020). WUI Risk Assessment at the Landscape Level. Manzello, S.L. (eds). *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires*. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-52090-2_97

Carlson, A.R. et al (2022). The wildland–urban interface in the United States based on 125 million building locations. *Ecological Applications*. 32 (5), e2597. <https://doi.org/10.1002/eap.2597>

Chen, B. et al (2024). Wildfire risk for global wildland–urban interface areas. *Nature Sustainability*. 7 (4), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01291-0>

Christ, S.; Schwarz, N. & Sliuzas, R. (2022). Wildland urban interface of the City of Cape Town 1990–2019. *Geographical. Research*. 60 (3), 395-413. <https://doi.org/10.1111/1745-5871.12535>

Del Giudice, L. et al (2021). The wildland-anthropic interface raster data of the Italy-France maritime cooperation area (Sardinia, Corsica, Tuscany, Liguria, and Provence-Alpes-Côte d’Azur). *Data Brief*. 38 (21), 107355. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107355>

Ganatsas, P.; Oikonomakis, N. & Tsakalimi, M. (2022). Small-scale analysis of characteristics of the wildland–urban interface area of Thessaloniki, Northern Greece. *Fire*. 5(5), 159. <https://doi.org/10.3390/fire5050159>

Filkov, A.I. et al (2020). Impact of Australia’s catastrophic 2019/20 bushfire season on communities and environment. Retrospective analysis and current trends. *Journal of Safety Science and Resilience*. 1 (1), 44–56. <https://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2020.06.009>

Gonzalez, S. & Ghermandi, L. (2024). How to define the wildland-urban interface? Methods and limitations: towards a unified protocol. *Frontiers in Environmental Science*. 11, 1284631. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1284631>

Guo, Y. et al (2024). Global expansion of wildland-urban interface intensifies human exposure to wildfire risk in the 21st century. *Science Advances*. 10 (45), eado9587. <https://doi.org/10.1126/sciadv.ado9587>

Hantson, H. et al (2022). Human-ignited fires result in more extreme fire behavior and ecosystem impacts. *Nature Communication*. 13, 2717. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30030-2>

Jiang, F. et al (2025). Methodology for wildland–urban interface mapping in anning city using high-resolution remote sensing. *Land*. 14 (6), 1141. <https://doi.org/10.3390/land14061141>

- Li, S. et al (2022). Mapping the wildland-urban interface in California using remote sensing data. *Scientific Report*. 12, 5789. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09707-7>
- National Wildfire Coordinating Group (NWCG) (2018). *Glossary of Wildland Fire Terminology*. National Wildfire Coordinating Group) Available at <https://www.nwcg.gov/glossary/a-z>
- Radeloff, V.C. et al (2005). The wildland-urban interface in the United States. *Ecological Applications*. 15 (3), 799–805. <https://doi.org/10.1890/04-1413>
- Radeloff, V.C. et al (2018). Rapid growth of the US wildland-urban interface raises wildfire risk. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 115, 3314–3319. <https://doi.org/10.1073/pnas.1718850115>
- Millward, H. (2002). Peri-urban residential development in the Halifax region 1960–2000: Magnets, constraints, and planning policies. *Canadian Geographer-Geographe Canadien*. 46 (1), 33–47. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.2002.tb00729.x>
- Oliveira, S.; Rocha, J. & Sá, A. (2021). Wildfire risk modeling. *Health*. 23, 100274. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100274>
- Pandey, P. et al (2023). A global outlook on increasing wildfire risk: Current policy situation and future pathways. *Trees, Forests and People*. 14 (42), 100431. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100431>
- Salis, M. et al (2022). Spatial patterns and intensity of land abandonment drive wildfire hazard and likelihood in Mediterranean Agropastoral areas. *Land*. 11 (11), 1942. <https://doi.org/10.3390/land11111942>
- Sanucci, C.; Gonzalez, S. & Ghermandi, L. (2022). Mapping the wildland-urban interface from houses location and terrain slope in Patagonia, Argentina. *Environmental Sciences Proceedings*. 22 (1), 14. <https://doi.org/10.3390/IECF2022-13041>
- Schug, F. et al (2023). The global wildland-urban interface. *Nature*. 621, 94–99. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06320-0>
- The Openstreetmap data files (2022). *Europe*. <https://www.geofabrik.de/>. (accessed 23 October 2022).
- Taylor, L. (2011). No boundaries: exurbia and the study of contemporary urban dispersion. *Geo Journal*. 76 (4), 323–339. <https://doi.org/10.1007/s10708-009-9300-y>
- U.S. Fire Administration (2025). *What Is the WUI?* Available at: <https://www.usfa.fema.gov/> (Accessed March 15, 2025).

