

## Spatially-explicit modeling of the intensity of environmental hazards occurrence at the level of forest density classes

D. Mafi-Gholami

Associate Prof., Department of Forest Sciences, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, ShahreKord University, ShahreKord, Iran. E-mail: d.mafigholami@sku.ac.ir

Received: 06.05.2024

Accepted: 22.06.2024

### Abstract

**Background and objectives:** The assessment of forest stands' exposure to multiple environmental hazards constitutes a pivotal dimension in vulnerability assessments, serving as the initial stage in comprehensively evaluating the resilience of these ecosystems. Such evaluations, through the quantification and mapping of various environmental hazards, furnish indispensable insights for strategic planning aimed at mitigating forest degradation. Consequently, this study sought to evaluate the exposure of forest stands within the Kooh-e-Dil protected area in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province of Iran to a suite of environmental hazards.

**Methodology:** For modeling and assessing the intensity of multiple hazards, initially, risk maps related to 11 environmental hazards including drought, dust storms, evapotranspiration, wildfires, maximum temperatures, floods, storms, landslides, human presence intensity, soil erosion intensity, and road impact ratio were prepared. Subsequently, employing the Delphi method in conjunction with expert opinion analysis, the relative weight of each environmental hazard was determined. These risk maps were then classified into four classes: low, moderate, high, and very high, and multiplied by the respective relative weights derived from the Delphi method. Consequently, an exposure map for the protected area was generated by averaging the weighted environmental risk maps, subsequently classified into the aforementioned categories. Furthermore, the intensity of exposure for each of the five forest density categories of 1-5%, 5-10%, 10-25%, 25-50% and 50%< to multiple hazards was delineated.

**Results:** The Delphi method implementation and determination of relative hazard weights indicated that drought (0.151) and wildfires (0.145) carried the highest relative weights, whereas floods (0.043) and landslides (0.036) were of comparatively lower priority. Analysis of the weighted maps and subsequent calculation of exposure intensity maps revealed a range in the index value from 0.116 to 0.276, indicative of spatial variability. Classification of exposure intensity maps highlighted that regions with low intensity were predominantly concentrated in the eastern portion, while those with very high intensity were clustered in the northern and southern segments of the protected area. Notably, forest density class of 1-5% exhibited minimal extent in categories with high and very high intensity (25.1%), yet the highest extent in categories with low and moderate intensity (74.9%) of multiple environmental hazards. Conversely, forest density class of 10-25% demonstrated the highest extent in categories with high and very high intensity (53.7%) and the lowest extent in categories with low and moderate intensity (46.3%) of multiple environmental hazards. Among the total extent of two density classes of 50%< and 25-50%, accounting for more than one-third of the protected area's forests, 49.4% lay within categories with high and very high intensity, while 50.7% fell within categories with low and moderate intensity of multiple environmental hazards.

**Conclusion:** The escalation of human activities and the ramifications of climate change pose a



potential threat, potentially elevating the proportion of high-density forest extent within categories with high and very high intensity of multiple environmental hazards, thereby augmenting the vulnerability of the protected area. The outcomes of this research furnish detailed spatial insights into the exposure intensity of various forest density classes to multiple environmental hazards, thereby facilitating the formulation of targeted protective and supportive measures.

**Keywords:** Delphi method, Geographic Information System, vulnerability.



## مدل‌سازی دقیق مکانی شدت وقوع مخاطرات محیطی در سطح طبقه‌های تراکم جنگل

داود مافی غلامی

دانشیار، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. پست الکترونیک: d.mafigholami@sku.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۷

### چکیده

سابقه و هدف: سنجش قرارگیری رویشگاه‌های جنگلی در معرض مخاطرات محیطی چندگانه به‌عنوان یکی از ابعاد تشکیل‌دهنده آسیب‌پذیری، نخستین مرحله از اجرای فرایند ارزیابی آسیب‌پذیری این بوم‌سازگان‌ها است. با کمی‌سازی و تهیه نقشه مخاطرات محیطی چندگانه، اطلاعات حیاتی برای جلوگیری/کاهش تخریب رخ داده در جنگل‌ها فراهم می‌شود، بنابراین هدف این پژوهش، سنجش میزان قرارگیری رویشگاه‌های جنگلی واقع در منطقه حفاظت‌شده کوه دیل در استان کهگیلویه و بویراحمد در معرض مخاطرات محیطی چندگانه بود.

مواد و روش‌ها: برای مدل‌سازی و سنجش شدت وقوع مخاطرات چندگانه، ابتدا نقشه‌های ریسک متعلق به تعداد ۱۱ مخاطره محیطی شامل خشک‌سالی، ریزگرد، تبخیر و تعرق، آتش‌سوزی، دماهای بیشینه، سیلاب، تندباد، زمین‌لغزش، شدت حضور انسان، شدت فرسایش خاک و نسبت اثرگذاری جاده تهیه شد. سپس، با اجرای روش دلفی و تجزیه و تحلیل نظرات متخصصان، وزن نسبی هر یک از مخاطرات محیطی محاسبه شد. نقشه‌های ریسک مخاطرات محیطی در طبقه‌های چهارگانه کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد طبقه‌بندی شد و در وزن نسبی محاسبه‌شده با استفاده از روش دلفی ضرب شد. نقشه در معرض قرار گرفتن در سطح منطقه حفاظت‌شده با محاسبه میانگین نقشه‌های وزن‌دار مخاطرات محیطی تهیه شد و در چهار طبقه کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. در نهایت، شدت قرارگیری هر یک از طبقه‌های پنج‌گانه تراکم جنگلی در معرض مخاطرات چندگانه مشخص شد.

نتایج: اجرای روش دلفی و تعیین وزن نسبی هر یک از مخاطرات محیطی نشان داد که مخاطرات خشک‌سالی (۰/۱۵۱) و آتش‌سوزی (۰/۱۴۵) دارای بیشترین وزن نسبی هستند، در حالی که سیلاب (۰/۰۴۳) و زمین‌لغزش (۰/۰۳۶) در اولویت‌های آخر از این نظر قرار گرفتند. تلفیق نقشه‌های وزن‌دار مخاطرات محیطی چندگانه و تهیه نقشه شدت قرارگیری در معرض مخاطرات در سطح منطقه حفاظت‌شده نشان داد که مقدار این نمایه از ۰/۱۱۶ تا ۰/۲۷۶ متغیر بود. طبقه‌بندی نقشه شدت قرارگیری در معرض مخاطرات چندگانه نشان داد که گستره‌های واقع در طبقه با شدت کم به‌طور عمده در بخش شرقی و گستره‌های واقع در طبقه با شدت خیلی زیاد در دو بخش شمالی و جنوبی منطقه حفاظت‌شده متمرکز شده‌اند. طبقه جنگل با تراکم یک تا پنج درصد دارای کمترین درصد وسعت در طبقه‌های با شدت زیاد و بسیار زیاد وقوع (۲۵/۱ درصد) و بیشترین وسعت در طبقه‌های با شدت کم و متوسط وقوع (۷۴/۹ درصد) مخاطرات محیطی چندگانه بود. در مقابل، طبقه جنگل با تراکم ۱۰ تا ۲۵ درصد، بیشترین درصد وسعت در طبقه‌های با شدت زیاد و بسیار زیاد (۵۳/۷ درصد) و کمترین درصد وسعت در طبقه‌های با شدت کم و متوسط وقوع (۴۶/۳ درصد) مخاطرات محیطی چندگانه را داشت. از مجموع وسعت دو طبقه با تراکم بیشتر از ۵۰ درصد و ۲۵ تا ۵۰ درصد که بیشتر از یک‌سوم کل وسعت جنگل‌های منطقه حفاظت‌شده را شامل می‌شوند، ۴۹/۴ درصد در طبقه‌های با شدت زیاد و خیلی زیاد وقوع و ۵۰/۷ درصد در طبقه‌های با شدت کم و متوسط وقوع مخاطرات محیطی چندگانه قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری کلی: افزایش شدت فعالیت‌های انسانی و پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم می‌تواند سبب افزایش درصد وسعت طبقه‌های با تراکم زیاد جنگل در طبقه‌های با شدت زیاد و بسیار زیاد مخاطرات محیطی چندگانه شود و سطح آسیب‌پذیری منطقه حفاظت‌شده را افزایش دهد. نتایج حاصل از این پژوهش، اطلاعات دقیق مکانی از شدت قرارگیری طبقه‌های تراکمی مختلف یک رویشگاه جنگلی در معرض مخاطرات محیطی چندگانه را فراهم کرده است. این یافته‌ها می‌توانند نقش مؤثری در توسعه اقدامات حفاظتی و حمایتی منطقه مورد مطالعه داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری، سامانه اطلاعات جغرافیایی، روش دلفی.



## مقدمه

جنگل‌ها با وسعتی در حدود ۴/۶ میلیارد هکتار، ۳۰ درصد از سطح کره زمین را در بر گرفته‌اند و با داشتن بیشتر از ۸۰ درصد از گونه‌های گیاهی، جانوری و حشرات، نقش مهمی در حفاظت از تنوع زیستی دارند (FAO, 2020). جنگل‌ها با حدود ۷۸ درصد از کل کربن آلی بوم‌سازگان‌های خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مخازن کربن در جهان محسوب می‌شوند، بنابراین آن‌ها، نقش مهمی در کاهش کربن منتشرشده در اتمسفر و تنظیم اقلیم جهانی دارند (Sivrikaya & Bozali, 2012). همچنین، جنگل‌ها نقش مهمی در تأمین معیشت جوامع انسانی ایفا می‌کنند. چنان‌که بیشتر از ۲۵ درصد از جمعیت جهان، وابسته به کالاها و خدمات فراهم‌شده توسط جنگل‌ها هستند و در حدود ۲۵ درصد از درآمد خانوارهای کشورهای در حال توسعه به جنگل‌ها وابسته است (FAO, 2020). علی‌رغم اهمیت جنگل‌ها در جهان، این بوم‌سازگان‌ها در معرض طیفی از مخاطرات محیطی چندگانه همانند افزایش دمای هوا، خشک‌سالی، ریزگرد، طوفان، آفت و بیماری، بهره‌برداری، تغییر کاربری/پوشش اراضی، چرای دام، آتش‌سوزی و سیل قرار دارند که به افت ساختار و عملکرد آن‌ها منجر شده است (Leberger et al., 2020).

در بین انواع بوم‌سازگان‌های جنگلی جهان، جنگل‌های کوهستانی، تشکیل‌دهنده حدود ۲۵ درصد از کل جنگل‌های جهان هستند و معیشت بیشتر از ۹۰۰ میلیون نفر در سراسر جهان را تأمین می‌کنند (Spehn et al., 2011). جنگل‌های کوهستانی نیز در معرض طیفی از مخاطرات محیطی چندگانه همانند پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم، بهره‌برداری‌های انسانی، تغییرات کاربری/پوشش اراضی، آلودگی، آفات و بیماری‌ها قرار دارند (Thakur et al., 2021). وقوع این مخاطرات محیطی چندگانه سبب افت ساختار و توان تولیدی، تغییر رژیم‌های آتش‌سوزی، افزایش هجوم آفات و بیماری‌ها، مهاجرت گونه‌ها و کاهش تنوع زیستی جنگل‌های کوهستانی در مناطق گوناگون جهان شده است (Liu et al., 2013; Michelsen et al., 2014; Valavi et al., 2019). براین‌اساس، طیفی از پژوهش‌ها به بررسی تخریب رخ داده در

ساختار و عملکرد جنگل‌های کوهستانی در مناطق گوناگون جهان همانند هند (Thakur et al., 2021)، نروژ (Michelsen et al., 2014)، چین (Liu et al., 2013) و ایران (Valavi et al., 2019) پرداخته‌اند. ارزیابی آسیب‌پذیری جنگل‌ها با ترکیب سه بعد در معرض قرار گرفتن، حساسیت و توان سازشی انجام می‌شود (Mafi-Gholami et al., 2021). براساس تعریف Adger (2006)، در معرض قرار گرفتن به‌عنوان درجه، طول مدت و گستره‌ای است که یک سیستم در تماس و یا تحت تأثیر آشفتگی قرار گرفته است. نخستین قدم در ارزیابی آسیب‌پذیری، سنجش در معرض قرارگیری است که طی آن کمی‌سازی و تهیه نقشه مخاطرات محیطی چندگانه سبب فراهم‌سازی اطلاعات حیاتی برای تدوین برنامه‌های مدیریتی حفاظت از جنگل‌ها می‌شود.

جنگل‌های کوهستانی زاگرس با وسعتی در حدود پنج میلیون هکتار (۴۰ درصد از جنگل‌های ایران) و با قرار گرفتن در سیطره آب و هوای نیمه‌مدیترانه‌ای، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بوم‌سازگان‌های جنگلی ایران مطرح هستند و نقش مهمی در تأمین آب، حفاظت از خاک، تعدیل آب و هوا، ترسیب کربن و تعادل اقتصادی و اجتماعی کشور دارند (Pourhashemi et al., 2004; Azizi et al., 2022). به‌رغم این اهمیت، طیفی از مخاطرات طبیعی و انسان‌پدید همانند کاهش بارندگی و وقوع خشک‌سالی، افزایش دمای هوا، گردوغبار، آفات و بیماری‌ها، بهره‌برداری بی‌رویه، آتش‌سوزی‌های عمدی و غیرعمدی و چرای بی‌رویه دام سبب تخریب و افت گستره این جنگل‌های کوهستانی منحصربه‌فرد در دهه‌های اخیر شده‌اند (Pouyan et al., 2021). به همین دلیل، فراهم‌سازی ابزارهای مناسب و توسعه خط‌مشی‌های مدیریتی کارآمد برای حفاظت مؤثر از این جنگل‌ها، ضروری و انکارناپذیر خواهد بود. دستیابی به هدف فوق وابسته به سنجش میزان آسیب‌پذیری این بوم‌سازگان‌ها نسبت به مخاطرات محیطی چندگانه است. براین‌اساس، شناسایی و نقشه‌سازی شدت وقوع انواع مخاطرات محیطی چندگانه در سطح جنگل‌های کوهستانی زاگرس می‌تواند اطلاعات حیاتی در زمینه اجرای فرایند ارزیابی آسیب‌پذیری و ارائه



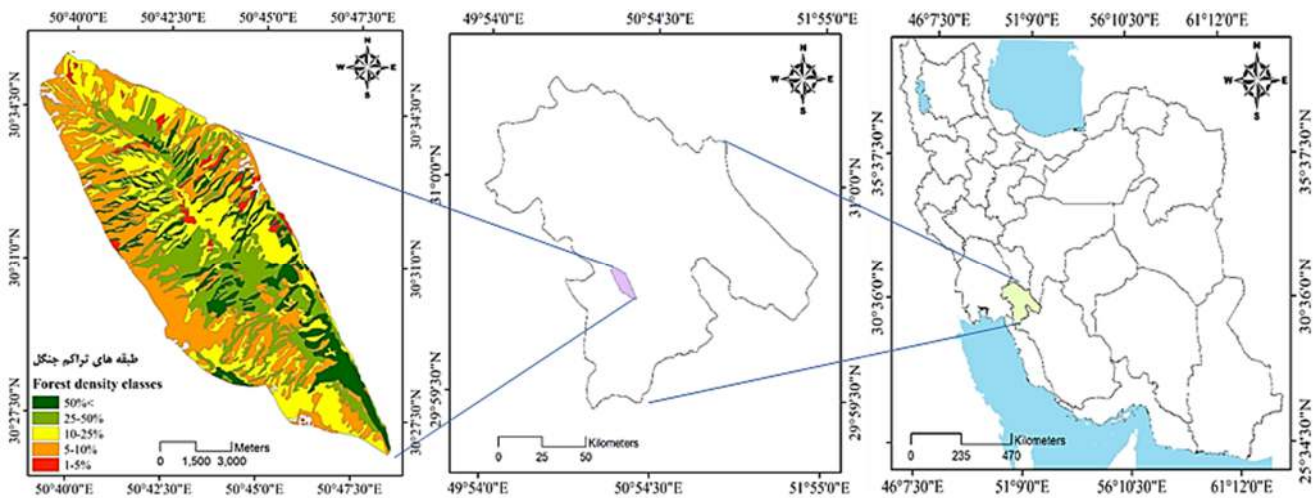
گچساران قرار گرفته است (شکل ۱). منطقه حفاظت شده کوه دیل دارای اقلیم مدیترانه‌ای معتدل است و دربخش گرمسیری استان واقع شده است. این منطقه حفاظت شده از پوشش گیاهی غنی برخوردار است. شیب شمالی آن دارای پوشش جنگلی بسیار مناسب متشکل از گونه غالب بلوط ایرانی (*Quercus persica* Jaub. & Spach) بادام (*Pistacia atlantica* Desf.) و زالک (*Crataegus azarolus* L.) است. علی‌رغم اهمیت محیط‌زیستی، طیفی از مخاطرات طبیعی و انسان‌پدید همانند کاهش بارندگی و وقوع خشک‌سالی، افزایش دمای هوا، گردوغبار، بهره‌برداری بی‌رویه، چرای دام، آتش‌سوزی‌های عمدی و غیرعمدی سبب تخریب ساختار و افت گستره جنگل‌های این منطقه حفاظت شده در سال‌های اخیر شده است (GDEKBA, 2022).

راهکارهای مدیریتی با هدف حفاظت از این بوم‌سازگان‌ها را فراهم کند، بنابراین هدف پژوهش پیش‌رو نیز مدل‌سازی قرارگیری رویشگاه‌های جنگلی زاگرس در معرض مخاطرات محیطی چندگانه در منطقه حفاظت شده کوه دیل در استان کهگیلویه و بویراحمد است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه حفاظت شده کوه دیل با مساحت ۱۰۳۸۱ هکتار در محدوده جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۴۸ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی در غرب استان کهگیلویه و بویراحمد و در ضلع شمال و شمال غربی دوگنبدان مرکز شهرستان



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه حفاظت شده کوه دیل در استان کهگیلویه و بویراحمد

Figure 1. Geographic location of the Kooch-e-Dil protected area in the Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province, Iran

روش پژوهش  
در این پژوهش به منظور بررسی نقشه‌سازی وقوع ریزگردها در سطح جنگل‌ها از محصول آماده MCD19A2 ورژن ۶ سنجنده مودیس ماهواره ترا (Ettehad Osgouei & Kaya, 2023)، با استفاده از محصول Aerosol Optical

Depth (AOD) در حالت نرمال‌سازی شده در سامانه تحت وب گوگل انجین (GEE) استفاده شد. تصاویر AOD روزانه مربوط به دوره ۲۰ ساله (۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲) در سامانه گوگل انجین فراخوانی شد. این تصاویر ابتدا به صورت میانگین ماهانه و سپس به صورت میانگین سالانه محاسبه شد. صحت

Copyright: © 2024 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (<https://ijfpr.areeo.ac.ir/>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



مربوط به پنج ایستگاه سینوپتیک پیرامون منطقه مورد مطالعه استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل وقوع خشک‌سالی هواشناسی از شاخص بارش استاندارد (SPI) یک‌ساله استفاده شد. پس از تهیه سری زمانی مقادیر SPI در هر یک از ایستگاه‌ها، برای نقشه‌سازی خشک‌سالی در سطح منطقه، بزرگی وقوع خشک‌سالی ( Meteorological Drought Magnitude) در هر ایستگاه با استفاده از رابطه (۱) (Mafi-Gholami *et al.*, 2021) محاسبه شد:

$$\text{Meteorological Drought Magnitude} = -(\sum_{j=1}^x \text{SPI}_j)$$

داده‌های دمای روزانه مربوط به پنج ایستگاه سینوپتیک پیرامون منطقه استفاده شد. دماهای بیشینه مربوط به فصل تابستان برای هر یک از سال‌های دوره استخراج شد و پس از توسعه رابطه رگرسیونی بین دمای بیشینه و زمان، نرخ تغییرات سالانه این متغیر در هر ایستگاه محاسبه شد. مقادیر نرخ تغییرات سالانه و میانگین دماهای بیشینه در هر ایستگاه در یکدیگر ضرب شدند و مقادیر ریسک دماهای بیشینه در هر ایستگاه (به درجه سانتیگراد) محاسبه شد. با استفاده از دستور IDW در نرم‌افزار ArcGIS، نقشه رستری ریسک دماهای بیشینه تهیه شد و در چهار طبقه کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد.

در پژوهش پیش‌رو برای تهیه نقشه‌های ریسک آتش‌سوزی، زمین‌لغزش، سیلاب و شدت فرسایش خاک در سطح منطقه حفاظت‌شده از نتایج پژوهش‌های انجام‌شده توسط Jaafari و همکاران (2022)، Ngo و همکاران (2021)، Khosravi و همکاران (2020) و منابع داده موجود در اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کهگیلویه و بویراحمد استفاده شد. هر یک از نقشه‌های رستری ریسک مخاطرات ذکرشده با استفاده از نقشه وکتوری مرز منطقه حفاظت‌شده برش داده شد و در چهار طبقه کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد.

برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی در سطح منطقه مورد

و دقت تصاویر AOD مودیس در پایش و برآورد مقادیر گردوغبار توسط پژوهش‌های پیشین و ایستگاه‌های کنترل کیفیت هوا اثبات شده است (Mansourmoghaddam *et al.*, 2022). نقشه طبقه‌بندی‌شده تغییرات مقدار AOD در سطح جنگل‌های مورد مطالعه در چهار طبقه کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه شد.

برای نقشه‌سازی خشک‌سالی در سطح منطقه مورد مطالعه از سری زمانی ۳۴ ساله (۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰) داده‌های بارندگی

رابطه (۱)

که در آن،  $\text{SPI}_j$  مقادیر منفی شاخص بارش استاندارد برای دوره زمانی  $j$  است.

با محاسبه مقادیر بزرگی وقوع خشک‌سالی در هر ایستگاه و با استفاده از دستور IDW در نرم‌افزار ArcGIS نقشه بزرگی وقوع خشک‌سالی در سطح منطقه تهیه شد و در چهار طبقه کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد.

نقشه‌سازی ریسک وزش بادهای پرسرعت (تندباد) در سطح منطقه مورد مطالعه براساس سرعت‌های باد بزرگ‌تر و مساوی ۱۰/۸ متر بر ثانیه (حد پایین طبقه شش مقیاس بوفورت) انجام شد. بدین منظور، سری زمانی ۳۴ ساله (۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰) داده‌های سه‌ساعته سرعت باد مربوط به پنج ایستگاه سینوپتیک پیرامون منطقه استفاده شد. به‌منظور برآورد مقادیر احتمال وقوع هر یک از سرعت‌های مشخص باد از تابع ویبول استفاده شد. سپس احتمال وقوع محاسبه‌شده برای هر ایستگاه در مقدار میانگین همه سرعت‌های باد بزرگ‌تر و مساوی ۱۰/۸ متر بر ثانیه در طول دوره ۳۴ ساله ضرب شد و مقدار ریسک وزش بادهای پرسرعت در هر ایستگاه (متر بر ثانیه) محاسبه شد. با استفاده از دستور IDW در نرم‌افزار ArcGIS، نقشه رستری ریسک بادهای پرسرعت تهیه شد و در چهار طبقه کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد.

در این پژوهش، سری زمانی ۳۴ ساله (۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰)





که در آن،  $D_{max}$ : بیشینه مسافتی است که روستانشینان از روستا دور می‌شوند (در این پژوهش ۲/۵ کیلومتر) و  $D_c$ : فاصله میان بافر دایره‌ای تا روستا است، بنابراین مقدار فاکتور  $fd_{Pi}$  برابر با احتمال حضور روستائیان در بافرهای دایره‌ای گوناگون خواهد بود. پس از محاسبه  $fd_{Pi}$ ، سطح اثرگذاری هر روستا بر محیط پیرامون در هریک از بافرهای دایره‌ای با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد (Mafi-Gholami et al., 2021):

$$HIP = fd_{Pi} \times P_i \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن، HIP: شدت حضور انسان در پیرامون روستا (به نفر)،  $fd_{Pi}$ : فاکتور کاهش خطی فاصله (صفر تا یک) و P: جمعیت روستا هستند.

پس از محاسبه HIP در هریک از بافرهای دایره‌ای پیرامون روستاها، نقشه رستری تغییرات شدت حضور انسان در پیرامون روستاها با استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار ArcGIS 10.7 تهیه شد و در چهار طبقه کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد.

براساس بازدیدهای میدانی و گزارش‌های موجود در اداره حفاظت محیط زیست شهرستان گچساران، بیشینه فاصله حضور انسان یا اثرگذاری در پیرامون مسیرهای موجود در سطح منطقه حفاظت‌شده برابر با ۵۰۰ متر در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن این امر که حضور انسان در گستره‌های پیرامون جاده‌ها دارای نسبت عکس با فاصله از جاده است، به‌منظور نقشه‌سازی نسبت اثرگذاری جاده در سطح منطقه حفاظت‌شده، بافرهایی با فاصله ۵۰ متر از یکدیگر (در مجموع، ۵۰۰ متر) در اطراف هریک از جاده‌ها ترسیم شد. در هر بافر، نسبت فاصله تا جاده یا میزان اثرگذاری براساس رابطه (۵) محاسبه شد (Mafi-Gholami et al., 2021):

$$RER = \frac{(D_{max}-D_c)}{D_{max}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

مطالعه ابتدا مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل سالانه در هریک از پنج ایستگاه سینوپتیک واقع در پیرامون منطقه حفاظت‌شده با استفاده از نرم‌افزار CropWat محاسبه شد. سپس با وارد کردن مقادیر بارندگی سالانه و تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه هریک از ایستگاه‌ها در رابطه (۲)، مقدار تبخیر-تعرق واقعی محاسبه شد (Abdollahi et al., 2017):

$$AET = \frac{P}{\left(\alpha + \left(\frac{P}{PET}\right)^\beta\right)^{\frac{1}{\beta}}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن، P: مقدار بارندگی سالانه، PET: مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه،  $\alpha = 0.9$  و  $\beta = 2$  هستند.

با محاسبه مقادیر تبخیر-تعرق واقعی سالانه برای هریک از ایستگاه‌های سینوپتیک و با استفاده از دستور IDW در نرم‌افزار ArcGIS، نقشه رستری تبخیر-تعرق واقعی سالانه (میلیمتر در سال) تهیه شد و در چهار طبقه کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد.

مطابق با بازدیدهای میدانی از منطقه و اطلاعات موجود در اداره حفاظت محیط زیست شهرستان گچساران، بیشینه فاصله‌ای که روستانشینان برای برداشت چوب و چرای دام از روستا دور می‌شوند و به درون منطقه حفاظت‌شده وارد می‌شوند، در حدود ۲/۵ کیلومتر برآورد شد (شدت اثرگذاری هر روستا بر محیط پیرامون). به‌منظور نقشه‌سازی تغییرات مکانی شدت حضور انسان در سطح منطقه، دایره‌ای به شعاع ۲/۵ کیلومتر در اطراف هر روستا ترسیم شد. این دایره به ۵۰ بافر دایره‌ای هم‌مرکز با فاصله ۵۰ متر از یکدیگر (در مجموع، ۲۵۰۰ متر) با استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار ArcGIS 10.7 تقسیم شد. در هریک از بافرهای دایره‌ای، نسبت فاصله تا روستا براساس رابطه (۳) محاسبه شد (Mafi-Gholami et al., 2021):

$$fd_{Pi} = \frac{(D_{max}-D_c)}{D_{max}} \quad \text{رابطه (۳)}$$



حفاظت‌شده تهیه شد و در چهار طبقه کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد.

برای تعیین شدت قرارگیری طبقه‌های مختلف جنگل در معرض مخاطرات چندگانه، نقشه طبقه‌بندی‌شده رویشگاه‌های جنگلی در منطقه حفاظت‌شده در پنج طبقه با تراکم تاج پوشش بیشتر از ۵۰ درصد، ۲۵ تا ۵۰ درصد، ۱۰ تا ۲۵، پنج تا ۱۰ درصد و یک تا پنج درصد از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کهگیلویه و بویراحمد اخذ شد. نقشه طبقه‌بندی تراکمی جنگل مورد مطالعه توسط اداره کل منابع طبیعی استان و با نظارت گروه سنجش از دور و تفسیر عکس هوایی، دفتر مهندسی و مطالعات- سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی سنتینل ۲ و عملیات میدانی در سال ۱۳۹۹ تهیه شده است. نقشه رستری طبقه‌بندی‌شده در معرض قرار گرفتن با استفاده از نقشه وکتوری محدوده هریک از طبقه‌های تراکمی جنگل برش داده شد. سپس، درصد وسعت هریک از طبقه‌های تراکمی جنگلی واقع‌شده در طبقه‌های چهارگانه شدت قرارگیری در معرض مخاطرات محاسبه شد.

که در آن، RER: نسبت اثرگذاری جاده، Dmax: بیشینه مسافتی که افراد از جاده دور می‌شوند (در این پژوهش ۵۰۰ متر) و  $D_c$ : فاصله میان بافر تا جاده است، بنابراین مقدار RER برابر با احتمال حضور انسان در بافرهای پیرامون جاده یا همان نسبت اثرگذاری جاده (به نفر) خواهد بود.

پس از محاسبه RER در هریک از بافرهای پیرامون جاده‌ها، نقشه رستری تغییرات نسبت اثرگذاری جاده با استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار ArcGIS 10.7 در سطح منطقه حفاظت‌شده تهیه شد و در چهار طبقه کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد.

در این پژوهش، وزن نسبی هریک از مخاطرات محیطی با استفاده از روش دلفی و تکمیل پرسش‌نامه توسط ۱۰ نفر از متخصصان محاسبه شد (برای مشاهده جزئیات اجرای روش دلفی به پژوهش Mafi-Gholami و همکاران (۲۰۱۵) رجوع شود). پس از محاسبه وزن نسبی برای هریک از مخاطرات مورد بررسی، نقشه رستری طبقه‌بندی‌شده هریک از مخاطرات در وزن نسبی آن ضرب شد (Mafi-Gholami *et al.*, 2021). با محاسبه میانگین نقشه‌های وزن‌دار مخاطرات چندگانه، نقشه در معرض قرارگیری در سطح منطقه

جدول ۱- طبقه‌های شدت وقوع مخاطرات محیطی چندگانه در منطقه حفاظت‌شده کوه دیل

Table 1. Intensity of multiple environmental hazards in the Kooh-e-Dil protected area

Hazard	Category			
	1	2	3	4
Evapotranspiration (mm/y)	<459.4	492.4-459.4	492.4-520.2	520.2<
Maximum temperature (°C)	<0.0213	0.0213-0.0219	0.0219-0.0225	0.0225<
Dust storm	<0.351	0.351-0.442	0.442-0.53	0.53<
Drought	<72.7	72.7-73.6	73.6-74.4	74.4<
High-speed winds (m/s)	<0.00107	0.00107-0.00109	0.00109-0.00111	0.00111<
Landslide	<864	864-978	978-1070	1070<
Flood	<0.612	0.612-0.733	0.733-0.914	0.914<
Soil erosion intensity	Low	Moderate	High	-
Wildfire	<0.442	0.442-0.486	0.486-0.543	0.543<
Human presence (Persons)	<134.9	134.9-281.4	281.4-461.7	461.7<
Road impact ratio	<0.2	0.2-0.5	0.5-0.7	0.7<





## نتایج

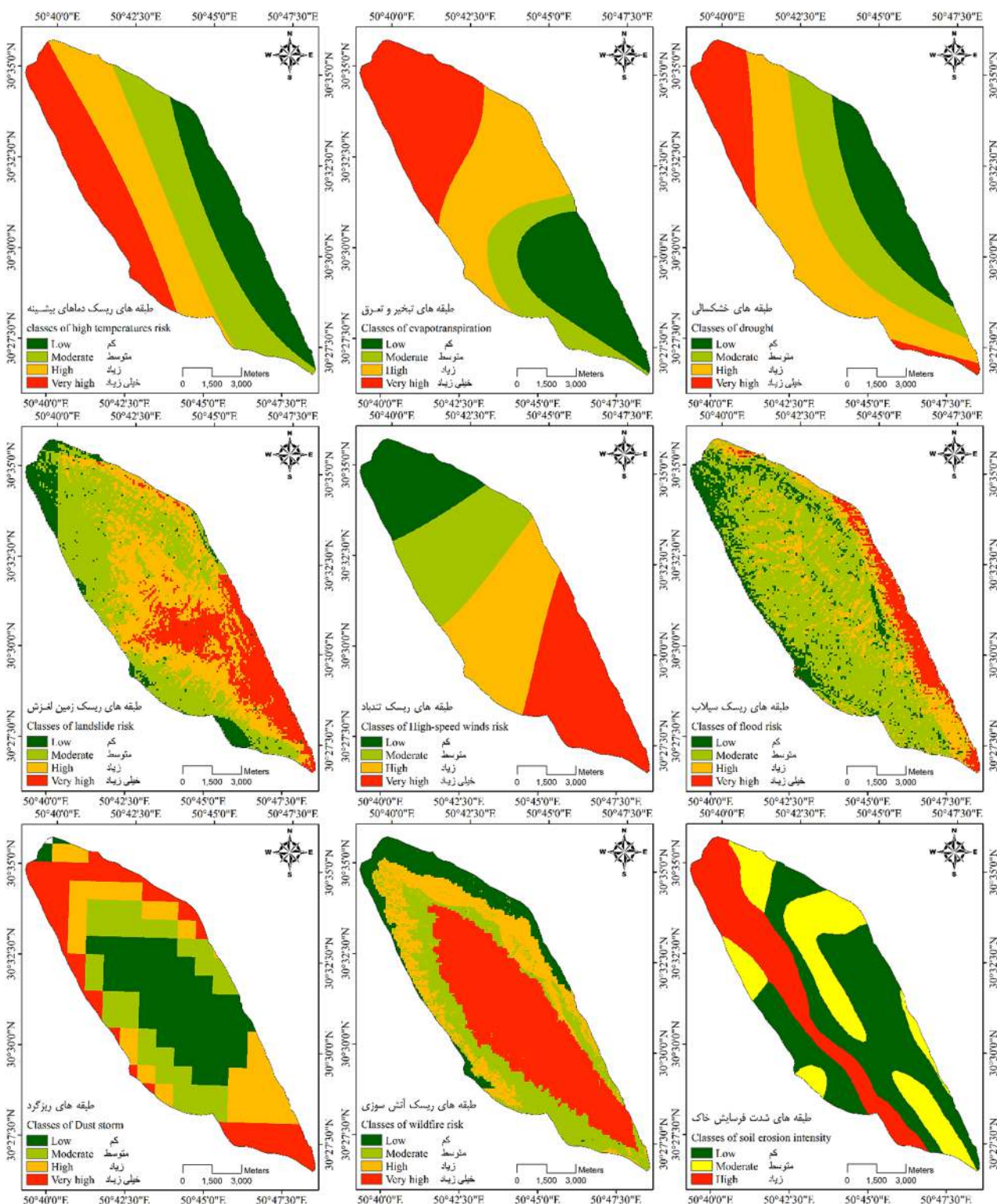
نقشه‌سازی تبخیر و تعرق سالانه در سطح منطقه حفاظت‌شده کوه دیل نشان داد که مقدار این متغیر اقلیمی از  $۴۳۶/۳$  میلی‌متر تا  $۵۴۵/۹$  میلی‌متر متغیر بود (جدول ۱). طبق طبقه‌بندی نقشه تغییرات مکانی تبخیر و تعرق سالانه، از بخش شمالی به جنوبی منطقه از شدت این مخاطره کاسته می‌شود. چنان‌که بخش شمالی با داشتن بیشترین مقدار تبخیر و تعرق سالانه در طبقه خیلی زیاد و بخش جنوبی منطقه در طبقه کم قرار داشت (شکل ۲).

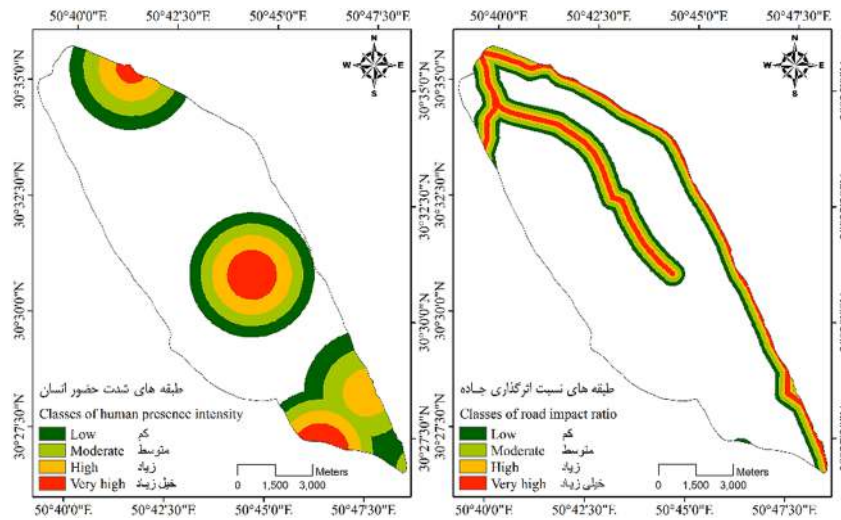
نقشه‌سازی تغییرات بزرگی وقوع خشک‌سالی در سطح منطقه حفاظت‌شده نشان داد که مقدار این متغیر از  $۷۱/۵$  تا  $۷۵/۸$  متغیر بود. طبق طبقه‌بندی آن، طبقه‌های با ریسک خشک‌سالی زیاد و خیلی زیاد به‌طور عمده در بخش‌های غربی و شمالی منطقه و طبقه‌های با ریسک کم و متوسط در بخش شرقی منطقه حفاظت‌شده قرار داشتند (جدول ۱ و شکل ۲). نقشه‌سازی تغییرات ریسک دماهای بیشینه نشان داد که مقدار این متغیر از کمینه برابر با  $۰/۰۲۱۳$  تا مقدار بیشینه برابر با  $۰/۰۲۲۵$  در سطح منطقه حفاظت‌شده متغیر بود. در نقشه طبقه‌بندی‌شده مقادیر ریسک دماهای بیشینه نیز همه بخش غربی و بخش عمده‌ای از مرکز منطقه حفاظت‌شده در طبقه‌های با ریسک زیاد و خیلی زیاد دماهای بیشینه قرار داشت (جدول ۱ و شکل ۲). تغییرات مکانی ریسک بادهای پرسرعت نشان داد که مقدار این متغیر اقلیمی از  $۰/۰۰۱۰۵$  تا  $۰/۰۰۱۱۲$  در سطح منطقه حفاظت‌شده متغیر بود. براساس طبقه‌بندی مقادیر ریسک بادهای پرسرعت، گستره‌های واقع در طبقه‌های زیاد و بسیار زیاد به‌طور عمده در بخش‌های مرکزی و جنوبی منطقه قرار داشتند و گستره‌های واقع در طبقه با ریسک کم در بخش شمالی منطقه بودند (جدول ۱ و شکل ۲). مقادیر ریسک سیلاب در سطح منطقه حفاظت‌شده از  $۰/۵۳۹$  تا  $۰/۹۳۶$  متغیر بود. طبقه‌بندی نقشه ریسک این متغیر آب‌شناختی نشان داد که بیشتر از ۹۰ درصد از گستره منطقه حفاظت‌شده در بخش‌های شمالی، غربی، مرکزی و جنوبی در طبقه‌های با ریسک کم و متوسط قرار داشت. فقط در بخش‌های کوچکی از شرق و جنوب منطقه، طبقه‌های با

ریسک زیاد و بسیار زیاد وجود داشتند (جدول ۱ و شکل ۲). نقشه ریسک زمین‌لغزش نشان داد که مقدار ریسک این مخاطره از ۲۳۸ تا ۱۲۵۳ متغیر بود (جدول ۱). در نقشه طبقه‌بندی‌شده آن نیز بخش‌های مرکزی و شرقی منطقه به‌طور عمده در طبقه‌های با ریسک زیاد و بسیار زیاد و طبقه‌های با ریسک کم و متوسط در جنوب، غرب و شمال منطقه حفاظت‌شده قرار داشتند (شکل ۲). براساس طبقه‌بندی نقطه ریسک آتش‌سوزی، همه بخش مرکزی منطقه حفاظت‌شده در ریسک بسیار زیاد وقوع این مخاطره قرار داشت و گستره‌های واقع در طبقه با ریسک کم اغلب در بخش شمالی منطقه و نیز به‌شکل لکه‌های کوچکی در غرب منطقه قرار داشتند (جدول ۱ و شکل ۲). نقشه‌سازی تغییرات مقدار AOD سالانه نشان داد که وقوع ریزگرد از مقدار کمینه  $۰/۰۳۵$  تا مقدار حداکثر  $۰/۷۲۹$  متغیر بود. در طبقه‌بندی آن نیز گستره‌های واقع در طبقه‌های کم و متوسط ریسک این مخاطره در بخش مرکزی و طبقه‌های با ریسک زیاد و خیلی زیاد به‌طور عمده در دو بخش جنوبی و شمالی منطقه حفاظت‌شده قرار داشتند (جدول ۱ و شکل ۲). نقشه شدت فرسایش خاک نشان داد که بخش عمده منطقه (بخش‌های شمالی، شرقی، غربی و جنوبی) در طبقه‌های با شدت کم و متوسط این مخاطره قرار دارند. بخش مرکزی نیز به‌صورت نواری تا بخش شمالی آن در طبقه با شدت زیاد فرسایش خاک قرار گرفته بودند (جدول ۱ و شکل ۲). نقشه‌سازی شدت حضور انسان در سطح منطقه حفاظت‌شده براساس جمعیت روستاها و نسبت فاصله تا آن‌ها بیانگر دامنه تغییرات مقادیر این متغیر از  $۱۱۱/۲$  تا  $۸۵۱/۶$  بود. براساس طبقه‌بندی انجام‌شده بر روی این نقشه، طبقه‌های با ریسک کم و متوسط این مخاطره در مقایسه با طبقه‌های زیاد و بسیار زیاد، دربرگیرنده گستره بیشتری از منطقه حفاظت‌شده هستند و به‌طور عمده در بخش شمالی، مرکزی و جنوبی منطقه قرار دارند (براساس موقعیت مکانی روستاها) (جدول ۱ و شکل ۲). نقشه نسبت اثرگذاری جاده نشان داد که مقدار این متغیر در سطح منطقه از  $۰/۱$  تا  $۰/۹$  متغیر بود و متناسب با موقعیت مکانی جاده‌های در سطح و پیرامون منطقه حفاظت‌شده، گستره‌های واقع در طبقه‌های چهارگانه



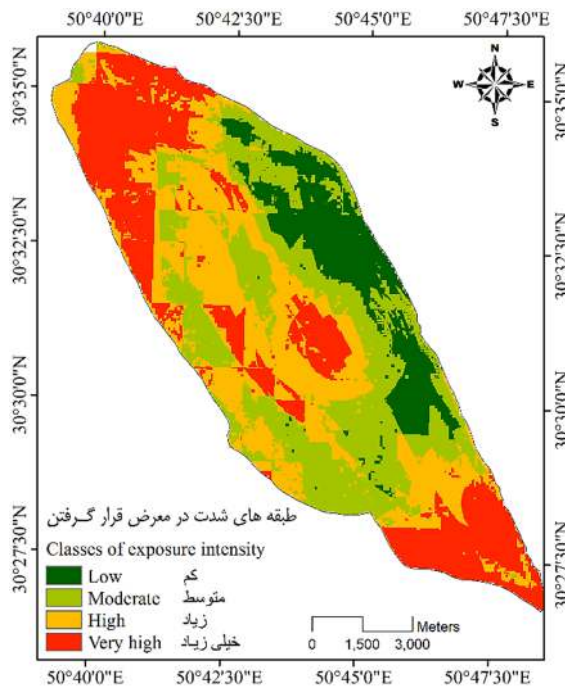
این متغیر در بخش‌های مرکزی، شمالی و شرقی منطقه حفاظت‌شده قرار دارند (جدول ۱ و شکل ۲).





شکل ۲- طبقه‌بندی نقشه‌های مخاطرات چندگانه اثرگذار بر منطقه حفاظت‌شده کوه دیل استان کهگیلویه و بویر احمد

Figure 2. The classification of multiple hazard maps affecting the Kooh-e-Dil protected area in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province.



شکل ۳- تغییرات مکانی شدت قرارگیری در معرض مخاطرات محیطی در سطح منطقه حفاظت‌شده کوه دیل

Figure 3. The spatial changes of the intensity of environmental hazard exposure in the Kooh-e-Dil protected area.

(به ترتیب با وزن نسبی برابر با ۰/۱۵۱، ۰/۱۴۵ و ۰/۱۳۱). نتایج دیگر نشان داد که دو مخاطره سیلاب و زمین لغزش به ترتیب با داشتن وزن نسبی برابر با ۰/۰۴۳ و ۰/۰۳۶ در اولویت‌های آخر قرار گرفتند. تلفیق نقشه‌های وزن‌دار

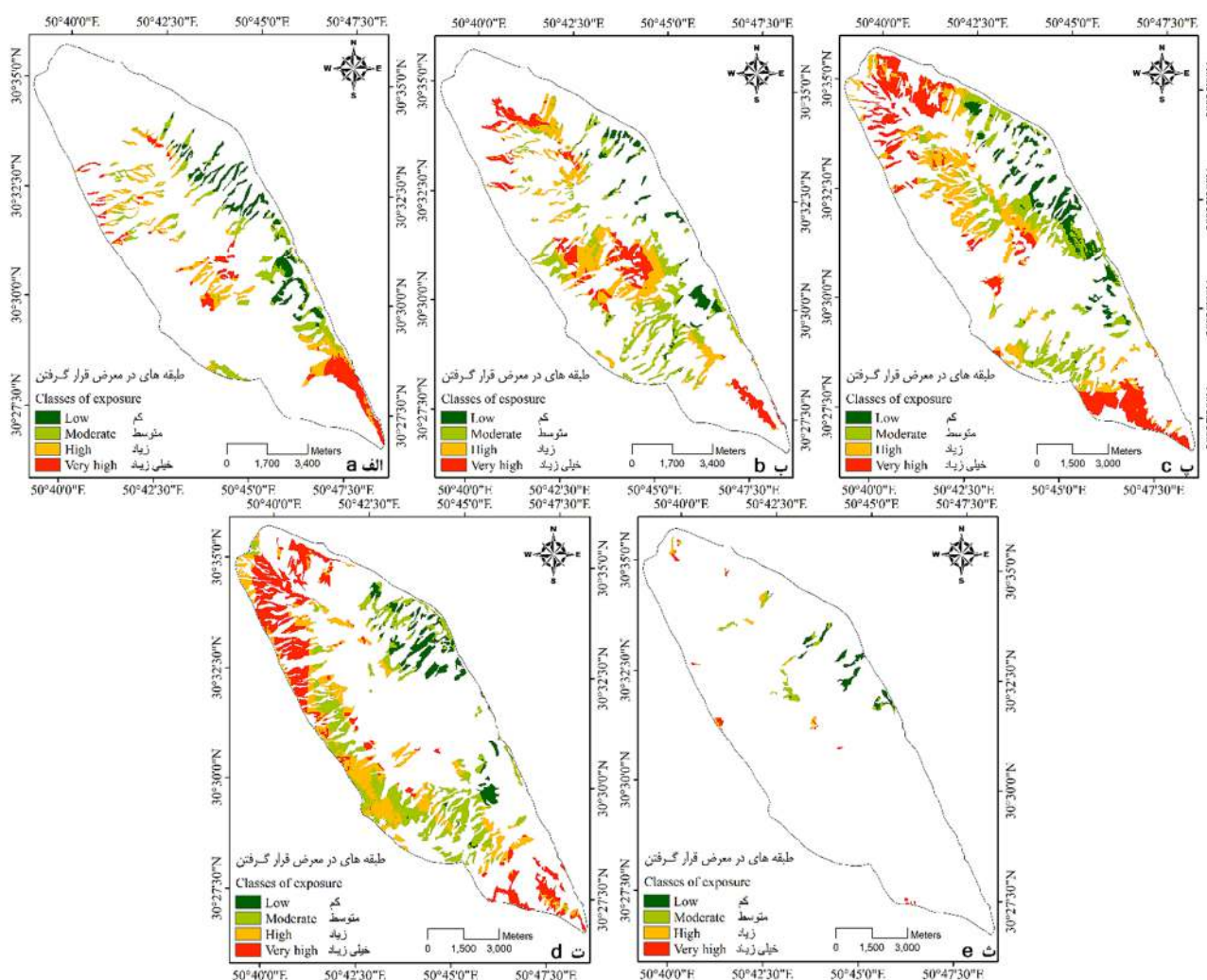
تعیین وزن نسبی هریک از مخاطرات محیطی با استفاده از روش دلفی نشان داد که مخاطرات خشک‌سالی، آتش‌سوزی و ریزگرد به ترتیب در اولویت‌های اول تا سوم مربوط به رتبه‌بندی نهایی مخاطرات مورد بررسی قرار گرفته بودند





مخاطرات محیطی چندگانه و تهیه نقشه شدت قرارگیری در معرض مخاطرات در سطح منطقه حفاظت شده نشان داد که مقدار این نمایه از ۰/۱۱۶ تا ۰/۲۷۶ متغیر بود. طبقه بندی نقشه نمایه در معرض قرار گرفتن در طبقه های چهارگانه نشان داد که گستره های واقع در طبقه با شدت کم اغلب در بخش

شرقی منطقه حفاظت شده قرار گرفته اند (شکل ۳). هرچند که گستره های واقع در طبقه با شدت خیلی زیاد وقوع مخاطرات به صورت پراکنده در بخش های مختلف منطقه حفاظت شده قرار دارند، اما اغلب در دو بخش شمالی و جنوبی منطقه متمرکز هستند (شکل ۳).



شکل ۴- پراکنش طبقه های شدت قرارگیری در معرض مخاطرات چندگانه در هریک از طبقه های تراکم جنگل (الف: تراکم بیشتر از ۵۰

درصد، ب: تراکم ۲۵-۵۰ درصد، پ: تراکم ۱۰-۲۵ درصد، ت: تراکم ۵-۱۰ درصد و ث: تراکم ۱-۵ درصد) در منطقه حفاظت شده کوه دیل

Figure 4. the distribution of the intensity of exposure to multiple hazards within each of forest density classes (a: density >50%, b: 25-50%, c: 10-25%, d: 5-10%, and e: 1-5%) in the Kooh-e-Dil protected area.

جنگل های منطقه حفاظت شده کوه دیل نشان داد که طبقه های مختلف تراکم براساس موقعیت پراکنش خود در سطح منطقه

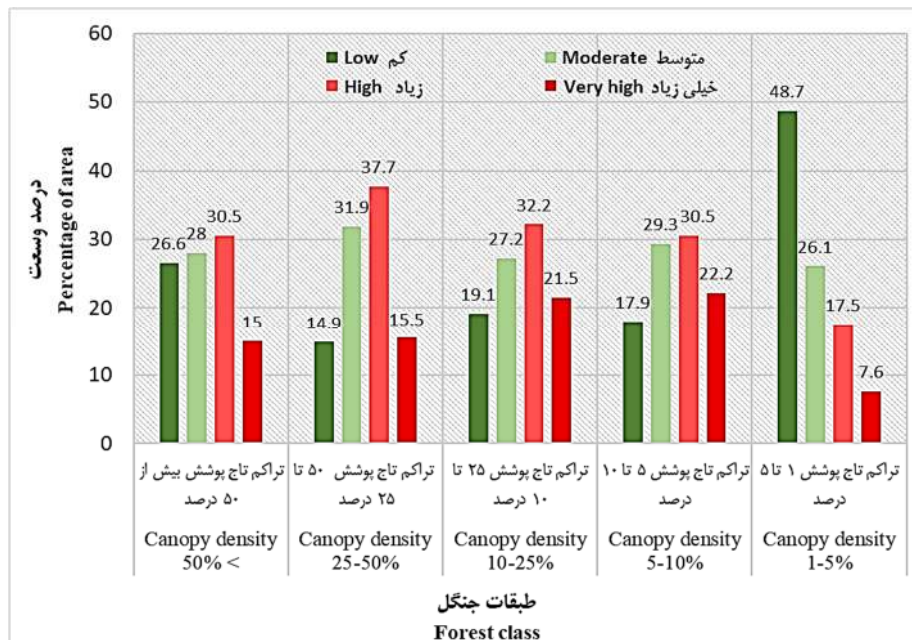
تلفیق نقشه های طبقه های چهارگانه شدت قرارگیری در معرض مخاطرات چندگانه و طبقه های مختلف تراکم



کمترین درصد قرارگیری در طبقه‌های با شدت زیاد و بسیار زیاد وقوع (۲۵/۱ درصد) است. بیشترین درصد قرارگیری نیز در طبقه با شدت کم و متوسط وقوع (۷۴/۹ درصد) مخاطرات محیطی چندگانه بود (شکل ۵). درمقابل، بیشترین درصد قرارگیری در طبقه‌های با شدت زیاد و بسیار زیاد (۵۳/۷ درصد) و کمترین درصد قرارگیری در طبقه با شدت کم و متوسط (۴۶/۳ و ۷۴/۹ درصد) وقوع مخاطرات محیطی چندگانه در طبقه تراکمی ۱۰ تا ۲۵ درصد مشاهده شد (شکل ۵). از کل وسعت دو طبقه تراکمی بیشتر از ۵۰ درصد و ۲۵ تا ۵۰ درصد که بیشتر از یک سوم کل وسعت جنگل‌های منطقه حفاظت‌شده را شامل می‌شوند، ۴۹/۴ درصد در طبقه‌های با شدت زیاد و خیلی زیاد وقوع و ۵۰/۷ درصد در طبقه‌های با شدت کم و متوسط وقوع مخاطرات محیطی چندگانه قرار دارد. در مجموع، از کل وسعت جنگل‌های منطقه مورد مطالعه، ۴۶ درصد در طبقه‌های با شدت زیاد و خیلی زیاد وقوع و ۵۴ درصد در طبقه‌های با شدت کم و متوسط وقوع مخاطرات محیطی چندگانه قرار گرفتند.

حفاظت‌شده در معرض طیف مختلفی از طبقه‌های شدت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد وقوع مخاطرات چندگانه قرار دارند (شکل ۴). براساس نتایج به دست آمده، طبقه‌های مختلف تراکم جنگل در بخش‌های شمالی، مرکزی و جنوبی منطقه حفاظت‌شده در معرض شدت زیاد و خیلی زیاد وقوع مخاطرات محیطی و طبقه‌های تراکمی در معرض شدت کم و متوسط وقوع مخاطرات در بخش شرقی منطقه حفاظت‌شده قرار دارند (شکل ۴).

از کل وسعت جنگل‌های منطقه حفاظت‌شده کوه دیل به ترتیب ۱۴/۷ درصد (۱۴۸۵/۵ هکتار)، ۲۱/۸ درصد (۲۱۹۶/۵ هکتار)، ۲۹/۹ درصد (۳۰۱۶/۸ هکتار)، ۳۱/۳ درصد (۳۱۴۷/۷ هکتار) و ۲/۳ درصد (۲۲۷/۳ هکتار) در طبقه‌های با تراکم تاج پوشش بیشتر از ۵۰ درصد، ۲۵ تا ۵۰ درصد، ۱۰ تا ۲۵ درصد، پنج تا یک تا پنج درصد قرار داشتند. محاسبه درصد وسعت هر یک از طبقه‌های تراکم جنگلی واقع شده در طبقه‌های چهارگانه شدت وقوع مخاطرات چندگانه نشان داد که طبقه تراکمی یک تا پنج درصد دارای



شکل ۵- درصد وسعت طبقه‌های تراکم جنگل در طبقه‌های چهارگانه شدت وقوع مخاطرات چندگانه

Figure 5. The percentage of forest density area within the four categories of multiple hazard occurrence intensity.



## بحث

نمایه قرارگیری در معرض مخاطرات محیطی چندگانه به‌عنوان یکی از پیش‌نیازهای ضروری برای ارزیابی آسیب‌پذیری بوم‌سازگان‌های جنگلی از طریق شناسایی تعیین شدت وقوع مخاطراتی که این بوم‌سازگان‌ها با آن‌ها مواجه هستند، محسوب می‌شود. این نمایه، اطلاعات ضروری برای توسعه، انطباق و طرح‌ریزی راهبردهای مدیریتی برای کاهش اثرات مخاطرات را فراهم می‌کند (Mahendra *et al.*, 2011)، بنابراین در پژوهش پیش‌رو نیز مدل‌سازی دقیق مکانی شدت قرارگیری رویشگاه‌های جنگلی واقع در منطقه حفاظت‌شده کوه دیل استان کهگیلویه و بویراحمد در معرض ۱۱ مخاطره محیطی شامل خشک‌سالی، ریزگرد، تبخیر و تعرق، آتش‌سوزی، دماهای بیشینه، سیلاب، تندباد، زمین‌لغزش، شدت حضور انسان، شدت فرسایش خاک و نسبت اثرگذاری جاده انجام شد. با توجه به درجه اهمیت و سهم متفاوت هر یک مخاطرات محیطی در ایجاد آسیب‌پذیری بوم‌سازگان‌ها (Nguyen *et al.*, 2019; Xia *et al.*, 2021) و نیز کارایی روش دلفی در تعیین وزن نسبی و اولویت‌بندی انواع معیارها و گزینه‌ها (Mafi-Gholami *et al.*, 2015)، از این روش برای محاسبه وزن نسبی (درجه اهمیت) هر یک از مخاطرات استفاده شد. تجزیه و تحلیل نظرات متخصصان و محاسبه وزن نسبی مخاطرات محیطی گوناگون نشان داد که سه مخاطره خشک‌سالی، آتش‌سوزی و ریزگرد به ترتیب دارای بیشترین وزن نسبی در میان مخاطرات مورد بررسی بودند. درجه اهمیت زیاد به‌دست‌آمده برای مخاطرات ذکر شده در انطباق با نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه حفاظت و مدیریت و جنگل‌های زاگرس (Rahimi & Dong, 2022; Beiranvand *et al.*, 2023; Mahmoudi *et al.*, 2023) و نیز پژوهش‌های دیگر در مورد ارزیابی آسیب‌پذیری سیستم‌های زوجی اجتماعی-بوم‌شناختی (Mafi-Gholami *et al.*, 2021) در مناطق دیگر جهان بود. چنان‌که کاهش مقادیر بارندگی و وقوع خشک‌سالی و آتش‌سوزی از مهم‌ترین عوامل تخریب ساختار و عملکرد جنگل‌ها معرفی شده‌اند. در واقع، آگاهی متخصصان از تأثیر مخرب خشک‌سالی،

آتش‌سوزی و ریزگردها بر رویشگاه‌های جنگلی زاگرس سبب شد تا این سه متغیر (مخاطره)، بیشترین درجه اهمیت (وزن نسبی) را در میان همه متغیرهای مورد مطالعه کسب کنند.

محاسبه نمایه در معرض قرار گرفتن در سطح منطقه حفاظت‌شده کوه دیل و تحلیل میزان قرارگیری طبقه‌های مختلف تراکم جنگل در معرض شدت وقوع مخاطرات چندگانه نشان داد که بیشتر از نیمی از گستره رویشگاه جنگلی در طبقه‌های مختلف تراکم و به‌ویژه در بخش شمالی منطقه حفاظت‌شده در معرض شدت زیاد و بسیار زیاد وقوع مخاطرات قرار دارد. همانند رویشگاه‌های جنگلی دیگر در منطقه زاگرس، بدون شک شدت زیاد وقوع انواع مخاطرات محیطی در دهه‌های اخیر، تأثیر مخربی بر ساختار و عملکرد رویشگاه‌های جنگلی منطقه حفاظت‌شده کوه دیل داشته است. ادامه روند تشدید انواع مخاطرات محیطی در دهه‌های آینده همانند کاهش مقادیر بارندگی و وقوع خشک‌سالی ناشی از تغییر اقلیم (Sreeparvathy & Srinivas, 2022) می‌تواند بر شدت در معرض قرار گرفتن و سطح آسیب‌پذیری جنگل‌های کوهستانی مورد مطالعه (به‌ویژه در طبقه‌های با تراکم بیشتر از ۲۵ درصد) بیافزاید. پیش‌بینی‌ها نیز از افزایش خشک‌سالی در عرض‌های جغرافیایی کم و به‌ویژه در خاورمیانه در دهه‌های آینده حکایت دارد (Etemadi *et al.*, 2016) که می‌تواند سبب افزایش آسیب‌پذیری و کاهش تاب‌آوری جنگل‌های زاگرس نسبت به وقوع مخاطرات محیطی دیگر شود (Zafarian Rigaki *et al.*, 2023).

بررسی‌های موجود نشان می‌دهد که تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر سبب افزایش فراوانی و شدت وقوع بارندگی‌های حادی در مناطق گوناگون جهان شده است و این روند در آینده نیز تداوم خواهد داشت (Jia *et al.*, 2022). افزایش بارندگی‌های حادی از طریق وقوع سیلاب سبب تشدید فرسایش خاک در مناطق دارای شیب زیاد و با خاک‌های خیلی حساس نسبت به فرسایش می‌شود (Marcinkowski *et al.*, 2022). براین اساس، در بخش‌های شرقی و شمالی منطقه حفاظت‌شده کوه دیل با وجود طبقه‌های





وقوع این مخاطره در سطح منطقه حفاظت شده انجام گیرد. با توجه به تأثیر مخرب گسترش آفات بر جنگل‌های زاگرس و به‌ویژه در استان کهگیلویه و بویراحمد (خشکیدگی درختان) (Haghigian, 2020)، پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های تکمیلی آینده با تلفیق تکنیک‌های سنجش از دور با مطالعات گسترده میدانی و ثبت موقعیت مکانی گستره‌های جنگلی آلوده به آفات در منطقه حفاظت شده کوه دیل، نقشه پهنه‌بندی ریسک آفات در زون‌های گوناگون رویشگاه جنگلی آن تهیه شود. این مخاطره نیز به‌عنوان یکی از متغیرهای مؤثر بر شدت وقوع مخاطرات محیطی چندگانه و اجرای فرایند آسیب‌پذیری این منطقه در نظر گرفته شود.

زیاد و خیلی زیاد ریسک سیلاب، افزایش فراوانی و شدت وقوع بارندگی‌های بیشینه در آینده می‌تواند سبب تخریب ساختار و افت عملکرد این رویشگاه‌های جنگلی شود. این در حالی است که بخش عمده‌ای از گستره طبقه‌های جنگل با تراکم بیشتر از ۲۵ درصد در بخش‌های شرقی و شمالی منطقه حفاظت شده قرار گرفته است (گستره‌های با شدت زیاد و خیلی زیاد وقوع سیلاب). تشدید وقوع سیلاب در این گستره‌ها در آینده می‌تواند سبب تخریب بیشتر و افزایش آسیب‌پذیری بخش‌های ساختاری مهم در رویشگاه‌های جنگلی منطقه حفاظت شده کوه دیل شود. براین اساس، توصیه می‌شود تا برنامه‌ریزی لازم به‌منظور اجرای اقدام‌های آبخیزداری و برای کنترل سیلاب در بخش‌های با ریسک زیاد

## References

- Abdollahi, K., Bashir, I., Verbeiren, B., Harouna, M.R., Van Griensven, A., Huysmans, M. and Batelaan, O., 2017. A distributed monthly water balance model: formulation and application on Black Volta Basin. *Environmental Earth Sciences*, 76: 198.
- Adger, W.N., 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3): 268-281.
- Azizi, Y., Akhavan, R., Kia-Daliri, H. and Soleimani, R., 2022. Effect of management activities and aspect on tree, soil and biodiversity variables of tree species in Dinarkuh forests of Ilam. *Iranian Journal of Forest*, 14(3): 275-290 (In Persian with English summary).
- Beiranvand, S., Attarod, P., Bayramzadeh, V., Pourtahmasi, K., Nadi, M. and Pypker, Th.G., 2023. Prediction of future drought in the Keygooran Juniper forest reserve of Iran using standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 31(2): 113-125 (In Persian with English summary).
- Etemadi, H., Samadi, S.Z., Sharifikia, M. and Smoak, J.M., 2016. Assessment of climate change downscaling and non-stationarity on the spatial pattern of a mangrove ecosystem in an arid coastal region of southern Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 126: 35-49.
- Etehadi Osgouei, P. and Kaya, Ş., 2023. A comprehensive analysis of the spatio-temporal variation of satellite-based aerosol optical depth in Marmara region of Türkiye during 2000-2021. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48: 509-514.
- FAO, 2020. *Global Forest Resources Assessment 2020: Main report*. Rome, Italy, 186p.
- Haghigian, F., 2020. Biological aspects of Heart moth, *Dicycla oo* L. (Lep., Noctuidae) in Chaharmahal and Bakhtiari Oak forests. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 17(2): 257-264 (In Persian with English summary).
- Jaafari, A., Rahmati, O., Zenner, E.K. and Mafi-Gholami, D., 2022. Anthropogenic activities amplify wildfire occurrence in the Zagros eco-region of western Iran. *Natural Hazards*, 114(1): 457-473.
- Jia, H., Wang, X., Sun, W., Mu, X., Gao, P., Zhao, G. and Li, Z., 2022. Estimation of soil erosion and evaluation of soil and water conservation benefit in terraces under extreme precipitation. *Water*, 14(11): 1675.
- Khosravi, K., Panahi, M., Golkarian, A., Keesstra, S.D., Saco, P.M., Bui, D.T. and Lee, S., 2020. Convolutional neural network approach for spatial prediction of flood hazard at national scale of Iran. *Journal of Hydrology*, 591: 125552.
- Leberger, R., Rosa, I.M.D., Guerra, C.A., Wolf, F. and Pereira, H.M., 2020. Global patterns of forest loss across IUCN categories of protected areas. *Biological Conservation*, 241: 108299.
- Liu, H., Park Williams, A., Allen, C.D., Guo, D., Wu, X., Anenkhonov, O.A., ... and Badmaeva, N.K., 2013. Rapid warming accelerates tree growth decline in



- semi-arid forests of Inner Asia. *Global Change Biology*, 19(8): 2500-2510.
- Mafi-Gholami, D., Feghhi, J., Danehkar, A. and Yarali, N., 2015. Classification and prioritization of negative factors affecting on mangrove forests using Delphi method (a case study: mangrove forests of Hormozgan province, Iran). *Advances in BioResearch*, 6(3): 78-92.
  - Mafi-Gholami, D., Pirasteh, S., Ellison, J.C. and Jaafari, A., 2021. Fuzzy-based vulnerability assessment of coupled social-ecological systems to multiple environmental hazards and climate change. *Journal of Environmental Management*, 299: 113573.
  - Mahendra, R.S., Mohanty, P.C., Bisoyi, H., Kumar, T.S. and Nayak, S., 2011. Assessment and management of coastal multi-hazard vulnerability along the Cuddalore–Villupuram, east coast of India using geospatial techniques. *Ocean and Coastal Management*, 54(4): 302-311.
  - Mahmoudi, B., Zenner, E., Mafi-Gholami, D. and Eshaghi, F., 2023. Livelihood analysis and a new inferential model for development of forest-dependent rural communities. *Sustainability*, 15(11): 9008.
  - Mansourmoghaddam, M., Naghipur, N., Rousta, I. and Ghaffarian, H.R., 2022. Temporal and spatial monitoring and forecasting of suspended dust using google earth engine and remote sensing data (Case Study: Qazvin Province). *Desert Management*, 10(1): 77-98 (In Persian with English summary).
  - Marcinkowski, P., Szporak-Wasilewska, S. and Kardel, I., 2022. Assessment of soil erosion under long-term projections of climate change in Poland. *Journal of Hydrology*, 607: 127468.
  - Michelsen, O., McDevitt, J.E. and Coelho, C.R.V., 2014. A comparison of three methods to assess land use impacts on biodiversity in a case study of forestry plantations in New Zealand. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19: 1214-1225.
  - Ngo, P.T.T., Panahi, M., Khosravi, K., Ghorbanzadeh, O., Kariminejad, N., Cerda, A. and Lee, S., 2021. Evaluation of deep learning algorithms for national scale landslide susceptibility mapping of Iran. *Geoscience Frontiers*, 12(2): 505-519.
  - Nguyen, K.A., Liou, Y.A. and Terry, J.P., 2019. Vulnerability of Vietnam to typhoons: A spatial assessment based on hazards, exposure and adaptive capacity. *Science of the Total Environment*, 682: 31-46.
  - Pourhashemi, M., Marvi Mohajer, M.R., Zobeiri, M., Zahedi Amiri, G. and Panahi, P., 2004. Identification of forest vegetation units in support of government management objectives in Zagros forests, Iran. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19(4): 72-77.
  - Pouyan, S., Pourghasemi, H.R., Bordbar, M., Rahmanian, S. and Clague, J.J., 2021. A multi-hazard map-based flooding, gully erosion, forest fires, and earthquakes in Iran. *Scientific Reports*, 11(1): 14889.
  - Rahimi, E. and Dong, P., 2022. What are the main human pressures affecting Iran's protected areas? *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 12(4): 682-691.
  - Sivrikaya, F. and Bozali, N., 2012. Determining carbon stock: a case study from Türkoğlu planning unit. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 14: 69-76 (In Turkish with English summary).
  - Spehn, E.M., Rudmann-Maurer, K. and Körner, C., 2011. Mountain biodiversity. *Plant Ecology and Diversity*, 4(4): 301-302.
  - Sreeparvathy, V. and Srinivas, V.V., 2022. Meteorological flash droughts risk projections based on CMIP6 climate change scenarios. *npj Climate and Atmospheric Science*, 5(1): 77.
  - Thakur, S., Negi, V.S., Dhyan, R., Satish, K.V. and Bhatt, I.D., 2021. Vulnerability assessments of mountain forest ecosystems: A global synthesis. *Trees, Forests and People*, 6: 100156.
  - The General Department of Environmental of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Province (GDEKBA), 2022. Management plan of Kooh-e-Dil Protected Area. Yasuj, Iran, 236p (In Persian).
  - Valavi, R., Shafizadeh-Moghadam, H., Matkan, A., Shakiba, A., Mirbagheri, B. and Kia, S.H., 2019. Modelling climate change effects on Zagros forests in Iran using individual and ensemble forecasting approaches. *Theoretical and Applied Climatology*, 137: 1015-1025.
  - Xia, M., Jia, K., Zhao, W., Liu, S., Wei, X. and Wang, B., 2021. Spatio-temporal changes of ecological vulnerability across the Qinghai-Tibetan Plateau. *Ecological Indicators*, 123: 107274.
  - Zafarian Rigaki, I., Soltani, A. and Jafari, A., 2023. The effect of some anthropogenic disturbances on the structure of oak forests in the Central Zagros. *Iranian Journal of Forest*, 15(3): 361-376 (In Persian with English summary).

