




# Modeling of multiple environmental hazards in protected areas

## (A study of Kouh-e-Khamin protected area: Kohgiluyeh-Boyer Ahmad Province)

Davood Mafi-Gholami 

Department of Forest Sciences, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: [d.mafigholami@sku.ac.ir](mailto:d.mafigholami@sku.ac.ir)

| Article Info   | ABSTRACT   |
|--|--|
| <b>Article type:</b><br>Research Article   | Enhancing management solutions and effective planning to prevent or mitigate the destruction occurring in ecosystems within protected areas relies heavily on the comprehensive mapping and assessment of exposure to various environmental hazards. Consequently, the primary objective of this study was to systematically map multiple environmental hazards and compute the exposure index across the Kouh-e-Khamin protected area in Kohgiluyeh-Boyer Ahmad province. The methodology involved mapping and calculating the risk values associated with eight environmental hazards, namely drought, evapotranspiration, wildfire, maximum temperatures, floods, landslides, the intensity of exploitation, and tourism activities. Through the utilization of the Delphi method to determine the relative weight of each hazard, a spatially explicit map depicting changes in the exposure index throughout the protected area was generated. The findings underscored that drought and wildfire exhibited the highest relative weight, while flood and landslide demonstrated the lowest relative weight among all environmental hazards. Spatial analysis of the exposure index indicated that 23% of the protected area fell within the low and very low exposure classes, while 33% were classified in the high and very high exposure classes. Areas with a very high level of exposure were predominantly situated in the eastern and northern sectors, whereas regions with very low and low exposure levels were concentrated in the central parts of the protected area. This research, by furnishing an accurate spatial representation of the severity of multiple environmental hazards, has contributed vital information for the facilitation of the vulnerability assessment process in the Kouh-e-Khamin protected area. |
| <b>Article history:</b><br>Received 29 September 2023<br>Received in revised form 29 October 2023<br>Accepted 07 November 2023<br>Published online 27 January 2024   |  |
| <b>Keywords:</b><br><i>Delphi method,</i><br><i>Exposure index,</i><br><i>Geographic information system,</i><br><i>Grid cell.</i>  |  |
| <b>Cite this article:</b> Mafi-Gholami, D. (2024). Modeling of multiple environmental hazards in protected areas (A study of Kouh-e-Khamin protected area: Kohgiluyeh-Boyer Ahmad Province). <i>Journal of Natural Environment</i> , 76 (Special Issue), 231-245. DOI: <a href="http://doi.org/10.22059/jne.2023.365968.2604">http://doi.org/10.22059/jne.2023.365968.2604</a> |  |
|   |  |

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2023.365968.2604>



## مدل سازی مخاطرات محیطی چندگانه در مناطق حفاظت شده (مطالعه منطقه حفاظت شده کوه خامین: استان کهگیلویه و بویراحمد)

داود مافی غلامی ✉

گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: [d.mafigholami@sku.ac.i](mailto:d.mafigholami@sku.ac.i)

| اطلاعات مقاله   | چکیده   |
|---|---|
| نوع مقاله: مقاله پژوهشی   | ارائه راهکارهای مدیریتی و برنامه‌ریزی مؤثر برای جلوگیری/کاهش تخریب رخ داده در اکوسیستم‌های مناطق حفاظت‌شده وابسته به نقشه‌سازی و تعیین میزان قرارگیری در معرض مخاطرات محیطی چندگانه در این مناطق است. بنابراین هدف این مطالعه نیز بررسی در معرض قرار گرفتن منطقه حفاظت‌شده کوه خامین استان کهگیلویه و بویراحمد به مخاطرات محیطی چندگانه بود. بدین منظور پس از نقشه‌سازی و محاسبه مقادیر ریسک تعداد ۸ مخاطره محیطی شامل خشکسالی، تبخیر و تعرق، آتش‌سوزی، دماهای بیشینه، سیلاب، زمین لغزش، شدت بهره‌برداری چوب و شدت فعالیت‌های گردشگری در سطح سلول‌های شبکه و نیز تعیین وزن نسبی هر یک از مخاطرات با استفاده از روش دلفی، نقشه تغییرات مکانی نمایه در معرض قرار گرفتن در سطح منطقه حفاظت‌شده تهیه شد. نتایج نشان داد که دو مخاطره خشکسالی و آتش‌سوزی دارای بیشترین وزن نسبی و سیلاب و زمین لغزش نیز دارای کمترین وزن نسبی در میان تمامی مخاطرات مورد بررسی بودند. نقشه‌سازی تغییرات مکانی نمایه در معرض قرار گرفتن در سطح منطقه حفاظت‌شده نشان داد که ۲۳ درصد از کل وسعت منطقه در طبقات کم و بسیار کم و ۳۳ درصد نیز در طبقات زیاد و بسیار زیاد نمایه در معرض قرار گرفتن قرار داشتند. گستره‌های دارای سطح بسیار زیاد نمایه در معرض قرار گرفتن به‌طور عمده در بخش‌های شرقی و شمالی منطقه و گستره‌های دارای سطح بسیار کم و کم نمایه نیز در بخش‌های مرکزی منطقه قرار داشتند. نتایج این تحقیق توانسته است ضمن تهیه نقشه دقیق مکانی شدت وقوع مخاطرات محیطی چندگانه، اطلاعات ضروری برای اجرای فرآیند ارزیابی آسیب‌پذیری در منطقه حفاظت‌شده کوه خامین را نیز فراهم آورد. |
| تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۷  |   |
| تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۰۷   |   |
| تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۶   |   |
| تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷  |   |
| کلیدواژه‌ها:<br>روش دلفی،<br>سامانه اطلاعات جغرافیایی،<br>سلول شبکه،<br>نمایه در معرض قرار گرفتن. |   |

استناد: مافی غلامی، داود (۱۴۰۲). مدل سازی مخاطرات محیطی چندگانه در مناطق حفاظت‌شده (مطالعه منطقه حفاظت‌شده کوه خامین: استان کهگیلویه و بویراحمد).

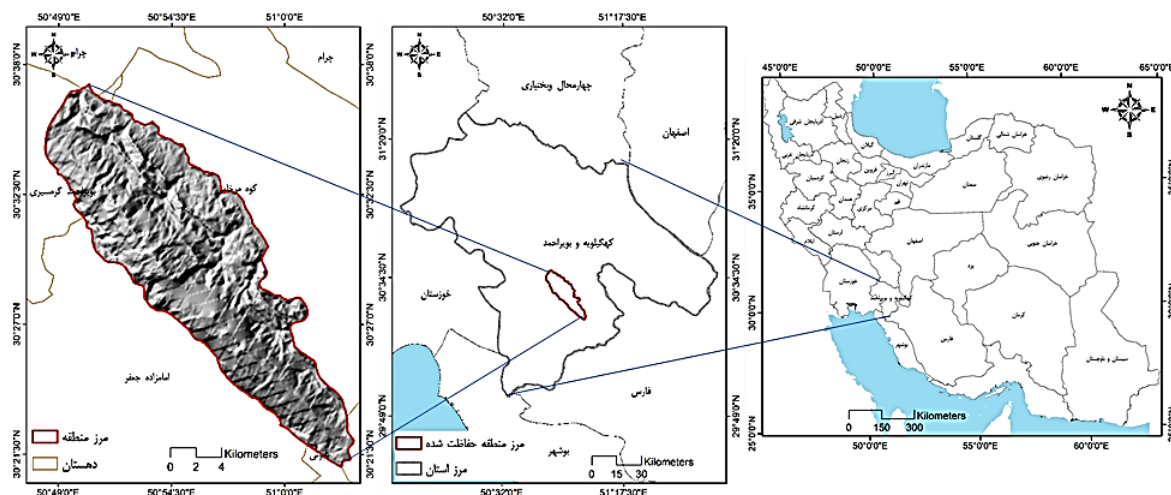
مجله زیست طبیعی، ۷۶ (ویژه نامه)، ۲۴۵-۲۳۱.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2023.365968.2604>



## مقدمه

امروزه فعالیت‌های انسانی از طریق افزایش قابل توجه نرخ انقراض گونه‌ها و افت جمعیت حیات وحش در بخش‌های خشکی و آبی سبب ایجاد وضعیتی بحرانی برای تنوع زیستی در سطح جهان شده است (Ceballos *et al.*, 2015). تنوع زیستی جهانی با سرعتی بیش از تمام تاریخ حضور انسان در کره زمین در حال کاهش است و سبب ایجاد نگرانی‌های جدی در مورد کالاها و خدمات مورد نیاز انسانی تأمین شده توسط اکوسیستم‌ها شده است (Dinerstein *et al.*, 2019)؛ در پاسخ به این نگرانی‌ها، مناطق حفاظت‌شده به‌عنوان یکی از راهبردهای مدیریتی جهانی در حفاظت از تنوع زیستی مورد توجه بسیاری از کشورها قرار گرفته‌اند (Margules and Pressey, 2000) چنانکه امروزه شبکه جهانی مناطق حفاظت‌شده در حدود ۱۵/۸ درصد از خشکی‌ها و ۷/۷ درصد از گستره‌های آبی جهان را در بر می‌گیرد (UNEP-WCMC, 2022). موفقیت برنامه‌های توسعه مناطق حفاظت‌شده در سطح جهان وابسته به کارایی این مناطق در حفاظت از تنوع زیستی است (Gill *et al.*, 2017). علی‌رغم اهمیت حفظ این کارایی، مناطق حفاظت‌شده در معرض طیفی از مخاطرات محیطی طبیعی و انسان‌پدید همانند آتش‌سوزی، بهره‌برداری و جنگل‌زدایی و توسعه زمین‌های زراعی، گردشگری مدیریت نشده، اثرات مخرب ناشی از آلاینده‌ها و فاضلاب‌های انسانی، خشکسالی، افزایش دمای هوا و بیماری‌ها قرار دارند که سبب از بین رفتن اکوسیستم‌های منحصر به فرد موجود در این مناطق و افت کارایی مناطق حفاظت‌شده در حفاظت از تنوع زیستی شده است (Petroni *et al.*, 2022; Chowdhury *et al.*, 2022). بخش عمده‌ای از تخریب رخ داده در مناطق حفاظت‌شده در اثر فعالیت‌های جوامع محلی رخ می‌دهد؛ چرا که مجموعه مناطق حفاظت‌شده و جوامع انسانی مجاور/درون این مناطق تشکیل‌دهنده یک سیستم زوجی اجتماعی-اکولوژیک هستند (دارای روابط هم‌تحوالی و بازخوردهای دوجانبه) (Mafi-Gholami *et al.*, 2021; González-Fernández *et al.*, 2022). در واقع سطح آسیب‌پذیری اجتماعی جوامع محلی تعیین‌کننده شدت بهره‌برداری و تغییرات رخ داده در ساختار و عملکرد اکوسیستم‌ها و تنوع زیستی مناطق حفاظت‌شده است و بالا بودن آسیب‌پذیری (پایین بودن تاب‌آوری) جوامع محلی سبب بهره‌برداری گسترده‌تر و شدیدتر آن‌ها از اکوسیستم‌های مناطق حفاظت‌شده می‌گردد (کاهش تاب‌آوری زیر سیستم اکولوژیک) (Nikinmaa *et al.*, 2020). تخریب رخ داده در مجموعه اکوسیستم‌های موجود در مناطق حفاظت‌شده انجام برنامه‌ریزی و فراهم آوردن ابزارهای مناسب برای کاهش اثرات ناشی از فعالیت‌های انسانی بر این مناطق را اجتناب‌ناپذیر نموده است (Leberger *et al.*, 2020; Petroni *et al.*, 2022). دستیابی به هدف فوق و کمک به اولویت‌بندی منابع مالی و اقدامات مدیریتی برای کاهش اثرات مخرب ناشی از فعالیت‌های انسانی و وقوع مخاطرات محیطی بر مناطق حفاظت‌شده وابسته به دستیابی به اطلاعات کافی و دقیق درباره آسیب‌پذیری این مناطق است (Kanwar and Kuniyal, 2022). اجرای فرآیند ارزیابی آسیب‌پذیری با استفاده از رویکرد یکپارچه بر مبنای این اصل استوار است که آسیب‌پذیری تابعی از سه بعد در معرض قرار گرفتن (Exposure)، حساسیت (Sensitivity) و توان سازشی (Adaptive capacity) است (Su *et al.*, 2018; Reckien, 2018; Ford *et al.*, 2018). یکی از جنبه‌های مهم در ارزیابی آسیب‌پذیری سیستم‌های طبیعی، شناسایی و نقشه‌سازی تنش‌های چندگانه مؤثر بر این سیستم‌ها است و با توجه به اینکه تغییر و تخریب رخ داده در این اکوسیستم‌ها ناشی از بروز تنش‌های چندگانه طبیعی و انسانی وارد آمده بر آن‌ها است، از این‌رو شناسایی و نقشه‌سازی تنش‌های چندگانه می‌تواند نقش قابل توجهی در دستیابی به هدف حفاظت از اکوسیستم‌ها و ارائه راهکارهای مدیریتی و برنامه‌ریزی مؤثر برای به حداقل رساندن اثرات مخرب ناشی از تنش‌های چندگانه داشته باشد (Turner *et al.*, 2003). بر اساس تعاریف موجود در معرض قرار گرفتن شامل درجه، طول مدت و یا محدودده‌ای است که یک سیستم در معرض یک تنش یا آشفتگی قرار می‌گیرد (فراوانی و بزرگی وقوع مخاطره) (Gallopín, 2006). در واقع نقشه‌سازی قرارگیری مناطق حفاظت‌شده در معرض مخاطرات محیطی چندگانه، امکان پیش‌بینی اثرات و انتخاب گزینه‌های سازگار مناسب جهت جلوگیری/تعدیل پیامدهای مخرب وارد آمده بر این مناطق را برای سازمان‌ها و مدیران فراهم می‌کند (Pomoim *et al.*, 2022; Kanwar and Kuniyal, 2022). تغییرات نامطلوب ناشی از وقوع مخاطرات محیطی چندگانه در ساختار و توان تولیدی اکوسیستم‌ها و افت تنوع زیستی موجود در مناطق حفاظت‌شده، محرک انجام طیفی از مطالعات انجام شده در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری این مناطق شده است (Ervin *et al.*, 2006; Pomoim *et al.*, 2021; Innes and Nitschke, 2008). جهت انجام مدیریت پایدار جنگل‌ها، ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه جنگلی واقع در بخش مرکزی و جنوبی ایالت بریتیش کلمبیای کانادا را نسبت به



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

مخاطرات چندگانه ناشی از تغییر اقلیم انجام دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییر اقلیم اثرات قابل ملاحظه‌ای را بر خصوصیات رفتاری آتش‌سوزی، رژیم‌های آتش‌سوزی، توان سازشی اکوسیستم، آشفتگی بیوژنیک و تنوع زیستی طی سالیان آتی به همراه خواهد داشت. در مطالعه صورت گرفته توسط Sterr و Sziafsztein (۲۰۰۷) به ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه ساحلی ایالت Para در کشور برزیل پرداختند. در این مطالعه با طبقه‌بندی، وزن دهی و ترکیب تعداد ۱۶ متغیر اقتصادی-اجتماعی و مخاطرات طبیعی و در نهایت ارائه یک شاخص نهایی، سطح قرارگیری در معرض مخاطرات محیطی چندگانه منطقه در ۵ طبقه قرار داده شدند. Mafi-Gholami و همکاران (۲۰۲۰) مدل‌سازی قرارگیری مانگروهای سواحل جنوب ایران در معرض مخاطرات محیطی چندگانه را انجام دادند. در این مطالعه طیفی از مخاطرات اقلیمی، آب‌شناختی و اقتصادی-اجتماعی برای محاسبه نمایه در معرض قرار گرفتن مورد بررسی قرار گرفت و سطح قرارگیری مانگروها در معرض مخاطرات محیطی چندگانه در ۵ طبقه قرار گرفت. Jozi و همکاران (۲۰۰۹)، به تجزیه و تحلیل ریسک‌های محیط‌زیستی منطقه حفاظت شده حله بوشهر با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. در این مطالعه ۲۶ عامل ریسک در دو گروه حوادث طبیعی و محیط‌زیستی مشخص گردید. در نهایت، پس از وزن دهی، ترکیب لایه‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام گرفت. Sistani و همکاران (۲۰۱۵)، اقدام به پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبریز گابریک با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی نمودند و نتایج نشان‌دهنده سیلابی بودن پهنه‌های وسیعی از این حوضه به دلیل بارندگی‌های بسیار شدید لحظه‌ای، نفوذپذیری کم، فرسایش‌پذیری زیاد و شیب زیاد ارتفاعات بود. Ghanbari و همکاران (۲۰۱۶) از مدل فازی-تاپسیس برای نقشه‌سازی و شدت قرارگیری شهر تبریز در معرض سیلاب استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که ۶ درصد اراضی شهر در پهنه خطر بسیار بالا بود. هدف این مطالعه نیز مدل‌سازی قرارگیری منطقه حفاظت شده کوه خامین در معرض مخاطرات محیطی چندگانه است. در این پژوهش فرض بر این است که شناسایی و نقشه‌سازی شدت وقوع انواع مخاطرات محیطی که مناطق حفاظت شده با آنها مواجه هستند، می‌تواند به عنوان یک ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری و پیش‌نیازی جهت ارزیابی آسیب‌پذیری نقش مهمی در اتخاذ راهکارهای مدیریتی و برنامه‌ریزی مؤثر برای به حداقل رساندن اثرات مخرب ناشی از بروز مخاطرات گوناگون و افزایش پایداری این مناطق داشته باشد. براساس شدت وقوع انواع مخاطرات محیطی در سطح مناطق حفاظت شده، سوال اساسی پژوهش بدین صورت مطرح می‌شود که کدام یک از بخش‌های منطقه حفاظت شده کوه خامین در معرض بیشترین و کمترین شدت وقوع مخاطرات محیطی چندگانه قرار دارند؟

## روش‌شناسی پژوهش

**منطقه مورد مطالعه:** منطقه حفاظت شده کوه خامین، با مساحت ۲۵۶۷۱ هکتار در ۳۰ کیلومتری در شمال شرق دوگنبدان مرکز شهرستان گچساران در استان کهگیلویه و بویراحمد واقع شده است (شکل ۱). این منطقه کوهستانی در سال ۱۳۷۸ با هدف حمایت از جمعیت جانوری همانند پلنگ، بز و پازن، قوچ و میش و کبک دری، و در سال ۱۳۸۰ به عنوان منطقه حفاظت شده مورد حفاظت

قرار گرفت. منطقه حفاظت‌شده کوه خامین منطقه‌ای است غالباً کوهستانی متشکل از ارتفاعات و صخره‌های سخت و صعب‌العبور و دارای آب و هوای نیمه‌مرطوب معتدل بوده و در فصل زمستان قله‌ها سردتر از برف است. منطقه حفاظت‌شده کوه خامین در برگیرنده پوشش‌های جنگلی ناحیه‌ی رویشی زاگرس بوده و گونه‌های درختی و درختچه‌ای مانند بلوط، بنه، انجیر وحشی، گون و زالزالک در سطح این منطقه وجود دارد و از گونه‌های جانوری و حیات وحش آن می‌توان به خوک وحشی، سمور، جغد، گرگ، خرگوش، شاهین، خرس قهوه‌ای، گراز، سنجاب ایرانی اشاره نمود (GDEEKBA, 2022).

**نقشه‌سازی مخاطرات محیطی چندگانه:** در این مطالعه با بررسی اسناد و گزارشات موجود و بازدیدهای میدانی از منطقه حفاظت‌شده و نیز دسترسی به داده‌ها و اطلاعات قابل اعتماد در زمینه نقشه‌سازی شدت وقوع مخاطرات محیطی، تعداد ۸ مخاطره محیطی مؤثر بر منطقی حفاظت‌شده کوه خامین شامل خشکسالی، بزرگی تبخیر و تعرق، آتش‌سوزی، دماهای بیشینه، سیلاب، زمین لغزش، شدت برداشت چوب و شدت فعالیت‌های گردشگری برای نقشه‌سازی نمایه در معرض قرار گرفتن در سطح منطقه، مورد بررسی قرار گرفتند.

مطالعات گوناگون نشان داده که ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های مناطق گوناگون تحت تأثیر تغییرات زمان و مکانی مقادیر بارندگی و وقوع خشکسالی قرار دارد (Eslami-Andargoli *et al.*, 2009; Mafi-Gholami *et al.*, 2019). در این مطالعه سری زمانی ۳۵ ساله (۲۰۲۰-۱۹۸۵) داده‌های بارندگی ماهانه مربوط به ۶ ایستگاه سینوپتیک پیرامون منطقه حفاظت‌شده برای محاسبه سری زمانی ۳۵ ساله مقادیر نمایه بارش استاندارد (SPI) مربوط به ماه سپتامبر برای هر یک از ایستگاه‌ها استفاده شد. سپس مقدار بزرگی وقوع خشکسالی برای هر ایستگاه با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Mafi-Gholami *et al.*, 2021).

رابطه ۱

$$\text{Drought magnitude} = -\left(\sum_{j=1}^x \text{SPI}_j\right)$$

که در این رابطه SPI: مقادیر منفی SPI در طول یک دوره آماری بلند مدت است.

با استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار ArcGIS 10.7 و مقادیر بزرگی وقوع خشکسالی برای هر یک از ایستگاه‌ها، نقشه رستری این متغیر در سطح منطقه حفاظت‌شده تهیه شد و در پنج طبقه بسیار کم (کد ۱)، کم (کد ۲)، متوسط (کد ۳)، زیاد (کد ۴) و بسیار زیاد (کد ۵) طبقه‌بندی شد.

تغییر در حجم آب سطحی حوزه‌های آبخیز در اثر تبخیر و تعرق بر ساختار و توان تولیدی پوشش گیاهی اثرگذار است (Xiao et al., 2013; Donmez and Berberoglu, 2016). برای برآورد بزرگی تبخیر-تعرق واقعی (AET) در سطح منطقه، ابتدا مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) با استفاده از روش فائو پنمن-مانتیت محاسبه شد (Hargreaves, 1994). برای برآورد مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل، داده‌های حداقل و حداکثر درجه حرارت‌های ماهانه، سرعت باد در ارتفاع دو متری، رطوبت نسبی، تعداد ساعات آفتابی در ماه، ارتفاع و موقعیت جغرافیایی مربوط به ۶ ایستگاه سینوپتیک پیرامون منطقه حفاظت‌شده، وارد نرم‌افزار CropWat شدند و مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) سالانه برای هر ایستگاه محاسبه شد. سپس با استفاده از رابطه تجربی ارائه‌شده توسط Truc (۱۹۵۵)، مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل به تبخیر و تعرق واقعی (AET) تبدیل شد (Salazar and Poveda, 2006; Abdollahi *et al.*, 2017) (رابطه ۲):

رابطه ۲

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

که در این رابطه:  $\alpha$  و  $\beta$  به ترتیب برابر با ۰/۹ و ۲ است. با محاسبه مقادیر تبخیر و تعرق واقعی سالانه مربوط به سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ برای هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک و ضمن استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار ArcGIS 10.7، نقشه رستری بزرگی تبخیر و تعرق واقعی در سطح منطقه حفاظت‌شده تهیه شد و در پنج طبقه بسیار کم (کد ۱)، کم (کد ۲)، متوسط (کد ۳)، زیاد (کد ۴) و بسیار زیاد (کد ۵) طبقه‌بندی شد.

میزان بهره‌برداری و وابستگی اقتصادی جوامع محلی به تولیدات طبیعی عرضه شده توسط اکوسیستم‌ها تعیین‌کننده شدت تخریب رخ داده در ساختار و عملکرد اکوسیستم‌ها است؛ چنانچه جوامعی که دارای سطح رفاه پایین‌تر و آسیب‌پذیری اجتماعی بالاتر هستند، جهت افزایش توان‌سازی و کاهش حساسیت خود از اکوسیستم‌ها بهره‌برداری گسترده‌تر و شدیدتر می‌کنند (Timberlake and Schultz, 2019; Mafi-Gholami *et al.*, 2021). نقشه تغییرات شدت برداشت چوب جوامع روستایی در گستره پیرامونی روستاها (محدوده اثر روستا بر محیط پیرامونی خود) در منطقه حفاظت‌شده تهیه شد. مطابق با بازدیدهای میدانی

از منطقه و اطلاعات موجود در اداره حفاظت از محیط زیست شهرستان گچساران، حداکثر فاصله‌ای که روستانشینان جهت برداشت چوب و چرای دام از روستا دور شده و به درون منطقه حفاظت شده وارد می‌شوند در حدود ۲/۵ کیلومتر است (شدت اثرگذاری هر روستا بر محیط پیرامون). به منظور نقشه‌سازی تغییرات مکانی شدت اثرگذاری هر روستا بر محیط پیرامون، دایره‌ای به شعاع ۲/۵ کیلومتر در اطراف هر روستا ترسیم شد و این دایره به تعداد ۵۰ بافر دایره‌ای هم مرکز با فاصله ۵۰ متر از یکدیگر (مجموعاً ۲۵۰۰ متر) با استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار ArcGIS 10.7 تقسیم گردید. در هر یک از بافرهای دایره‌ای، نسبت فاصله تا روستا در بر اساس رابطه ۳ محاسبه گردید (Mafi-Gholami et al., 2020):

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

که در این رابطه؛  $D_{max}$ : حداکثر مسافتی که روستانشینان از روستا دور می‌شوند (در این مطالعه ۲/۵ کیلومتر) و  $DC$ : 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 مقدار فاکتور  $fd_{pi}$ ، سطح اثرگذاری هر روستا بر محیط پیرامون در هر یک از بافرهای دایره‌ای با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد (Mafi-Gholami et al., 2020):

$$LV = fd_{pi} \times P_i \quad \text{رابطه ۴}$$

که در این رابطه  $LV$ : محدوده اثرگذاری روستا،  $fd_{pi}$ : فاکتور کاهش خطی فاصله (صفر تا یک) و  $P$ : جمعیت روستا است. پس از محاسبه  $LV$  در هر یک از بافرهای دایره‌ای پیرامون روستاها، نقشه رستری تغییرات  $LV$  با استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار ArcGIS 10.7 تهیه شد و در پنج طبقه بسیار کم (کد ۱)، کم (کد ۲)، متوسط (کد ۳)، زیاد (کد ۴) و بسیار زیاد (کد ۵) طبقه‌بندی شد.

مطالعات مختلف تأثیر مخرب توریسم بر پوشش گیاهی و حیات وحش موجود در مناطق حفاظت شده را نشان داده‌اند (Belsoy et al., 2012; Wolf et al., 2019). بنابر گزارش‌های موجود، هر ساله گردشگران بسیاری برای انجام فعالیت‌های تفریحی وارد منطقه حفاظت شده کوه خامین می‌شوند و سبب تخریب پوشش گیاهی و آلودگی منطقه می‌شوند. در این مطالعه نقشه شدت فعالیت‌های تفریحی در پیرامون مسیرهای دسترسی (محدوده اثرگذار مسیرها بر محیط پیرامون) در سطح منطقه حفاظت شده کوه خامین تهیه شد. براساس گزارش‌های موجود در اداره حفاظت محیط زیست شهرستان گچساران، سالانه به طور متوسط در حدود ۳۰۰۰ نفر گردشگر از طریق مسیرهای دسترسی به منطقه حفاظت شده وارد شده‌اند و براساس بازدیدهای میدانی، گردشگران برای انجام فعالیت‌های تفریحی حداکثر تا فاصله ۵۰۰ متری از مسیرهای پیاده‌روی دور می‌شوند. بر این اساس، حداکثر فاصله اثرگذاری در پیرامون مسیرهای گردشگری منطقه حفاظت شده برابر با ۵۰۰ متر در نظر گرفته شد. به منظور نقشه‌سازی تغییرات مکانی شدت فعالیت تفریحی در پیرامون مسیرهای پیاده‌روی، بافرهایی با فاصله ۵۰ متر از یکدیگر (در مجموع ۵۰۰ متر) در اطراف هر مسیر پیاده‌روی ترسیم شد. در هر بافر، نسبت فاصله تا مسیر پیاده‌روی بر اساس رابطه ۵ محاسبه گردید (Mafi-Gholami et al., 2020):

$$fd_{pi} = \frac{(D_{max} - DC)}{D_{max}} \quad \text{رابطه ۵}$$

که در این رابطه؛  $D_{max}$ : حداکثر مسافتی که گردشگران از مسیر پیاده‌روی دور می‌شوند (در این مطالعه ۵۰۰ متر) و  $DC$ : فاصله میان بافر تا مسیر پیاده‌روی است. بنابراین، مقدار فاکتور  $fd_{pi}$  برابر با احتمال حضور گردشگران در بافرهای پیرامون مسیر گردشگری خواهد بود.

پس از محاسبه مقدار فاکتور  $fd_{pi}$ ، شدت فعالیت تفریحی ( $TI$ ) در هر یک از بافرهای پیرامون مسیر پیاده‌روی با استفاده از رابطه ۶ محاسبه شد (Mafi-Gholami et al., 2020):

$$TI_i = fd_{pi} \times N \quad \text{رابطه ۶}$$

که در این رابطه؛  $TI_i$ : شدت فعالیت تفریحی در مسیر گردشگری  $i$ ;  $fd_{pi}$ : فاکتور کاهش خطی فاصله (صفر تا یک) و  $N_i$ : تعداد گردشگران است.

پس از محاسبه TI در هر یک از بافرهای پیرامون مسیرهای گردشگری، نقشه رستری تغییرات TI با استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار ArcGIS 10.7 در سطح منطقه حفاظت‌شده تهیه شد و در پنج طبقه بسیار کم (کد ۱)، کم (کد ۲)، متوسط (کد ۳)، زیاد (کد ۴) و بسیار زیاد (کد ۵) طبقه‌بندی شد.

دماهای بیشینه با تأثیر بر رشد و زنده‌مانی زادآوری بر ترکیب گونه‌های گیاهی سبب کاهش توانایی رقابت گونه و یا حذف آن از یک آشیان اکولوژیک مشخص می‌شود (Ellison, 2000; Macek et al., 2019). بر این اساس، بررسی روند وقوع دماهای بیشینه می‌تواند به‌عنوان پیش‌نیازی برای اجرای ارزیابی آسیب‌پذیری، اطلاعات حیاتی برای تهیه برنامه‌های سازگاری با تغییر اقلیم را فراهم نماید (Macek et al., 2019; Mafi-Gholami et al., 2021). در این مطالعه سری زمانی ۳۵ ساله (۲۰۲۰-۱۹۸۶) دماهای بیشینه مربوط به فصل تابستان از داده‌های دمای روزانه مربوط به ۶ ایستگاه سینوپتیک واقع در پیرامون منطقه حفاظت‌شده استخراج، استفاده شد. میانگین دماهای بیشینه تابستانه مربوط به هر سال محاسبه شد و پس از توسعه رابطه رگرسیونی میان مقادیر متوسط دمای بیشینه سالانه و طول دوره ۳۶۵ ساله، نرخ تغییرات سالانه این متغیر در هر ایستگاه محاسبه شد و از آن برای نقشه‌سازی تغییرات وقوع دمای بیشینه در سطح منطقه حفاظت‌شده استفاده شد. در نهایت نقشه رستری تغییرات وقوع دمای بیشینه در سطح منطقه حفاظت‌شده در پنج طبقه بسیار کم (کد ۱)، کم (کد ۲)، متوسط (کد ۳)، زیاد (کد ۴) و بسیار زیاد (کد ۵) طبقه‌بندی شد.

در این مطالعه برای تهیه نقشه‌های ریسک وقوع سیل، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی در سطح منطقه حفاظت‌شده از نتایج مطالعات انجام شده توسط Khosravi و همکاران (۲۰۲۰)، Ngo و همکاران (۲۰۲۱) و Jaafari و همکاران (۲۰۲۲) استفاده شد. نقشه‌های رستری ریسک وقوع سیل، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی با استفاده از نقطه وکتوری مرز منطقه حفاظت‌شده برش خورده شد و در پنج طبقه بسیار کم (کد ۱)، کم (کد ۲)، متوسط (کد ۳)، زیاد (کد ۴) و بسیار زیاد (کد ۵) طبقه‌بندی شد.

**محاسبه نمایه در معرض قرار گرفتن در سلول‌های شبکه:** در این مطالعه برای مدل‌سازی دقیق مکانی وقوع مخاطرات محیطی چندگانه در سطح منطقه حفاظت‌شده کوه خامین، کل منطقه به تعداد ۳۱۱ سلول شبکه با ابعاد ۱۰۰۰ متر × ۱۰۰۰ متر (۱۰۰ هکتار) تقسیم‌بندی شد. مدل‌سازی مکانی مخاطرات محیطی چندگانه با استفاده از شبکه ضمن فراهم آوردن امکان تجزیه و تحلیل الگوهای مکانی وقوع مخاطرات در سطح چشم‌انداز، امکان تخصیص دقیق منابع مالی و امکانات موجود برای کاهش اثرات مخاطرات محیطی چندگانه در سلول‌هایی که دارای بالاترین سطح قرارگیری در معرض مخاطرات محیطی هستند را فراهم می‌آورد (Jia et al., 2018; Zhang et al., 2020). در این مطالعه وزن نسبی هر یک از مخاطرات محیطی با استفاده از روش دلفی و تکمیل پرسشنامه توسط ۱۰ نفر از متخصصان برنامه‌ریزی و مدیریت مناطق حفاظت‌شده و کارشناسان اداره حفاظت محیط‌زیست شهرستان گچساران محاسبه گردید. پس از محاسبه وزن نسبی برای هر مخاطره، نقشه رستری طبقه‌بندی شده (استاندارد شده) هر یک از مخاطرات در وزن نسبی محاسبه شده ضرب شد (Mafi-Gholami et al., 2020). با استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار ArcGIS 10.7، تمامی نقشه‌های رستری وزن‌دار شاخص‌ها از رستر به پوینت تبدیل شدند و متوسط مقادیر پوینت‌های موجود در هر سلول شبکه به‌عنوان مقدار ریسک مخاطره در آن سلول در نظر گرفته شد. با تجمع مقادیر ریسک مخاطرات چندگانه در هر سلول شبکه مقدار نمایه در معرض قرار گرفتن محاسبه گردید. برای بررسی تغییرات مکانی نمایه در معرض قرار گرفتن در سلول‌های شبکه در سطح منطقه حفاظت‌شده، مقادیر نمایه در سلول‌های شبکه با اجرای دستور Natural break در نرم‌افزار ArcGIS 10.7 و بر مبنای انحراف استاندارد در پنج طبقه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شدند. در نهایت همبستگی میان مخاطرات محیطی و نمایه در معرض قرار گرفتن محاسبه‌شده در سطح سلول‌های شبکه منطقه حفاظت‌شده بررسی گردید ( $\alpha = 0.05$ ).

## یافته‌های پژوهش

**نقشه‌سازی و طبقه‌بندی مخاطرات محیطی چندگانه:** نتایج نقشه‌سازی تغییرات مکانی بزرگی AET سالانه محاسبه‌شده با استفاده از مقادیر بارندگی سالانه و تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه در سراسر منطقه حفاظت‌شده کوه خامین نشان داد که مقدار این متغیر از ۳۷۸/۹۶ میلی‌متر تا ۴۹۷/۴۹ میلی‌متر متغیر بود. نقشه تغییرات مکانی بزرگی AET سالانه در سطح منطقه حفاظت‌شده

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

| مخاطره                         | طبقه‌ها |               |               |               |         |
|--------------------------------|---------|---------------|---------------|---------------|---------|
|                                | ۵       | ۴             | ۳             | ۲             | ۱       |
| تبخیر و تعرق (میلی‌متر در سال) | >۴۶۲/۳  | ۴۶۲/۳-۴۴۰/۵   | ۴۴۰/۵-۴۱۹/۷   | ۴۱۹/۷-۳۹۶/۱   | <۳۹۶/۱  |
| دماهای بیشینه                  | >۰/۰۱۹۹ | ۰/۰۱۹۹-۰/۰۱۹۴ | ۰/۰۱۹۴-۰/۰۱۸۸ | ۰/۰۱۸۸-۰/۰۱۸۲ | <۰/۰۱۸۲ |
| خشکسالی                        | >۷۲/۵   | ۷۲/۵-۷۱/۳     | ۷۱/۳-۷۰/۱     | ۷۰/۱-۶۸/۶     | <۶۸/۶   |
| زمین لغزش                      | >۱۰۶۰   | ۱۰۶۰-۹۸۴      | ۹۸۴-۹۱۰       | ۹۱۰-۷۵۰       | <۷۵۰    |
| سیل                            | >۱/۰۱۹  | ۱/۰۱۹-۰/۸۳۶   | ۰/۸۳۶-۰/۷۰۵   | ۰/۷۰۵-۰/۵۹۶   | <۰/۵۹۶  |
| آتش‌سوزی                       | >۰/۶۳۵  | ۰/۶۳۵-۰/۵۵۱   | ۰/۵۵۱-۰/۴۹۴   | ۰/۴۹۴-۰/۴۴۶   | <۰/۴۴۶  |
| شدت برداشت چوب (نفر)           | >۲۱۶    | ۲۱۶-۱۳۶       | ۱۳۶-۷۹        | ۷۹-۳۲         | <۳۲     |
| شدت فعالیت گردشگری (نفر)       | >۳۵۰۰   | ۳۵۰۰-۲۵۰۰     | ۲۵۰۰-۱۵۰۰     | ۱۵۰۰-۵۰۰      | <۵۰۰    |

همچنین نشان داد که مقدار این متغیر اقلیمی از بخش غربی منطقه به سمت بخش مرکزی و شرقی آن افزایش می‌یابد؛ چنانکه بخش شرقی منطقه دارای بالاترین مقدار بزرگی AET سالانه بود و در طبقه‌بندی نقشه بزرگی AET، در طبقه پنجم (خیلی زیاد) قرار گرفت و در مقابل، بخش غربی منطقه در طبقه یک (بسیار کم) قرار گرفت (جدول ۱ و شکل ۲).

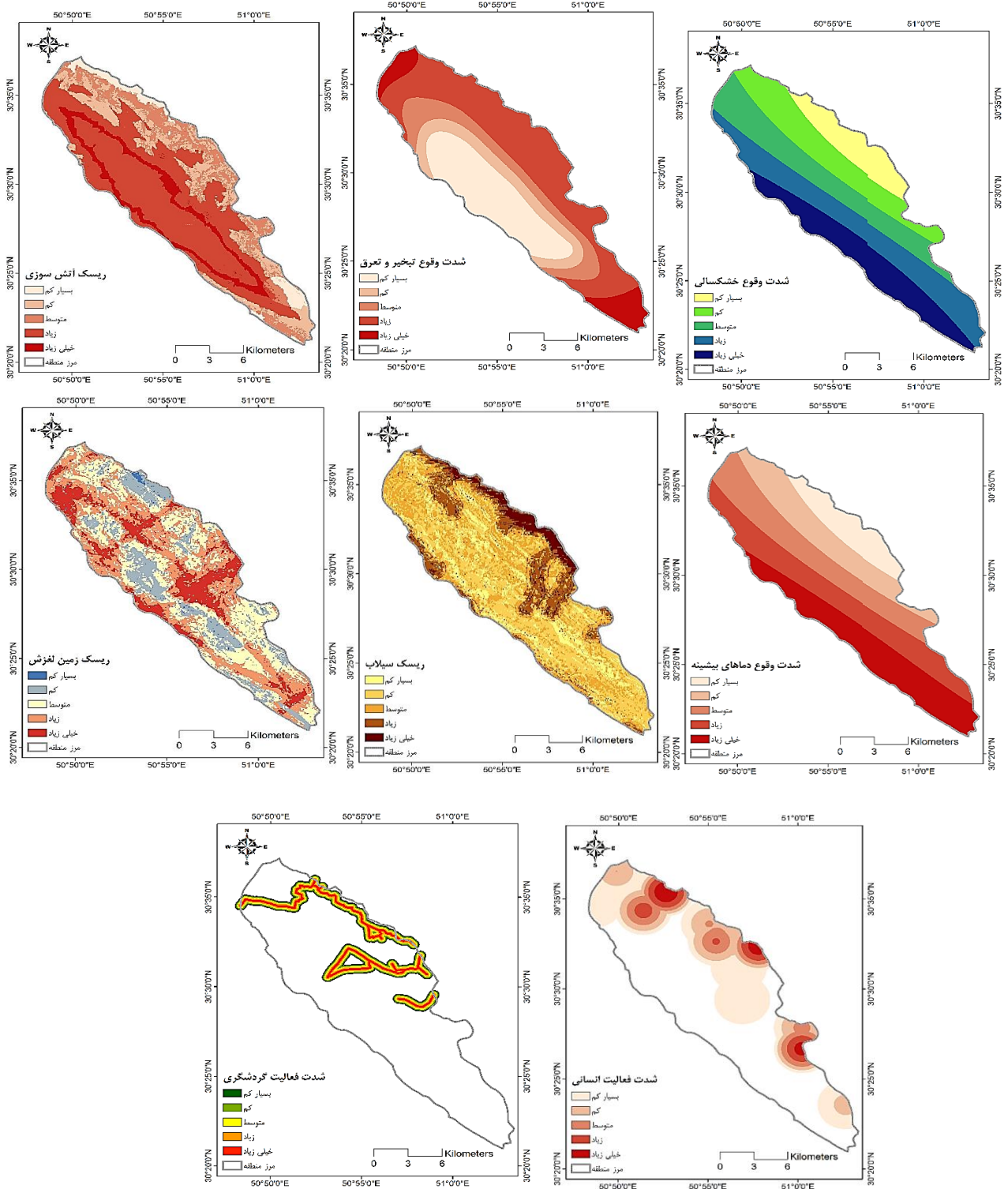
محاسبه مقادیر SPI یکساله در ایستگاه‌های سینوپتیک و نتایج نقشه‌سازی تغییرات مکانی بزرگی وقوع خشکسالی در سطح منطقه حفاظت‌شده کوه خامین نشان داد که مقدار این متغیر از ۶۶/۵۷ تا ۷۴/۳۶ در سطح منطقه متغیر بود. براساس طیف تغییرات مقادیر بزرگی وقوع خشکسالی در سطح منطقه حفاظت‌شده، مقادیر آستانه‌های ۶۸/۶ و ۷۲/۵ به ترتیب حدود تعیین‌کننده طبقات بزرگی وقوع خشکسالی بسیار کم و بسیار زیاد در سطح منطقه بودند (جدول ۱). تغییرات مکانی بزرگی وقوع خشکسالی در سطح منطقه حفاظت‌شده نشان داد که بخش‌های مرکزی، جنوبی و شرقی منطقه دارای بیشترین مقدار بزرگی وقوع خشکسالی بودند (در طبقه‌های چهارم و پنجم) و مقدار این مخاطره اقلیمی به سمت شمال و شرق منطقه به تدریج کاهش می‌یابد (طبقه‌های اول و دوم) (جدول ۱ و شکل ۲).

تغییرات ریسک وقوع دماهای بیشینه در سطح منطقه حفاظت‌شده کوه خامین نشان داد که مقدار ریسک این متغیر (نرخ متوسط تغییرات طی زمان) از ۰/۱۷۳ تا ۰/۰۲۰۷ سانتی‌گراد تا سانتی‌گراد متغیر بود. مقدار ریسک وقوع دماهای بیشینه از شرق به غرب منطقه حفاظت‌شده افزایش می‌یابد و طبقه‌بندی نقشه ریسک دمای بیشینه در سطح منطقه حفاظت‌شده بر اساس جدول ۱ نشان داد که بخش‌های مرکزی، جنوبی و غربی منطقه در طبقه‌های زیاد و بسیار زیاد قرار گرفتند و در مقابل بخش‌های شمالی و شرقی منطقه در طبقه‌های بسیار کم تا متوسط قرار گرفتند (جدول ۱ و شکل ۲).

نقشه ریسک آتش‌سوزی در منطقه حفاظت‌شده کوه خامین نشان داد که گستره قابل توجهی از منطقه در بخش‌های مرکزی و غربی دارای ریسک بالای آتش‌سوزی هستند و بخش‌های شمالی و شرقی منطقه دارای ریسک پایین این مخاطره هستند. طبقه‌بندی نقشه ریسک آتش‌سوزی در سطح منطقه حفاظت‌شده نیز نشان داد که بخش قابل توجهی از گستره منطقه با وسعتی برابر با ۱۵۶۹۶ هکتار در طبقات با ریسک زیاد و بسیار زیاد آتش‌سوزی قرار داشتند (۶۱ درصد از کل وسعت منطقه حفاظت‌شده) و وسعتی برابر با ۵۷۲۴ هکتار از منطقه در طبقه‌های با ریسک بسیار کم و کم آتش‌سوزی قرار داشت (۲۲ درصد از کل وسعت منطقه حفاظت‌شده) (جدول ۱ و شکل ۲).

نقشه ریسک سیلاب در منطقه حفاظت‌شده کوه خامین نشان داد که نواحی حاشیه‌ای بخش‌های شرقی و غربی منطقه حفاظت‌شده دارای ریسک بالای این مخاطره هیدرولوژیکی هستند و در مقابل بخش‌های مرکزی دارای ریسک پایین این مخاطره هستند. بر این اساس، در حدود ۵۵۰۵ هکتار از کل وسعت منطقه که به‌طور عمده در نواحی حاشیه‌ای منطقه حفاظت‌شده قرار داشتند در طبقه‌های زیاد و بسیار زیاد ریسک سیلاب قرار گرفتند (۲۱ درصد از کل وسعت منطقه حفاظت‌شده) و بخش قابل توجهی از منطقه با وسعتی در حدود ۱۳۲۹۲ هکتار در طبقه‌های بسیار کم و کم مربوط به طبقه‌بندی ریسک این مخاطره قرار گرفتند (۵۲ درصد از کل وسعت منطقه حفاظت‌شده) (جدول ۱ و شکل ۲).





شکل ۲- تغییرات مکانی شدت وقوع مخاطرات محیطی در سطح منطقه حفاظت‌شده کوه خامین

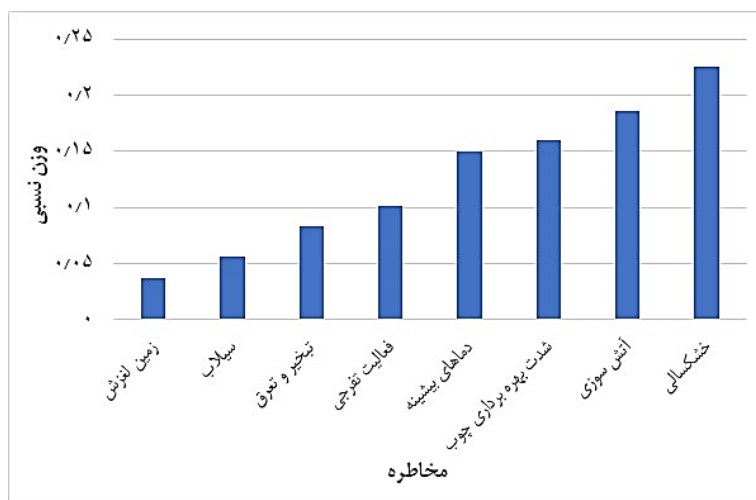
نقشه ریسک زمین‌لغزش در سطح منطقه حفاظت‌شده کوه خامین نشان داد که به استثنای گستره‌های کوچکی از منطقه حفاظت‌شده، بخش عمده منطقه دارای ریسک بالای زمین‌لغزش بود. طبقه‌بندی نقشه ریسک زمین‌لغزش نیز نشان داد که بخش قابل توجهی از گستره منطقه حفاظت‌شده با وسعتی در حدود ۱۲۹۷۰ هکتار در طبقه‌های با ریسک زیاد و بسیار زیاد زمین‌لغزش قرار داشتند (۵۰ درصد از کل وسعت منطقه حفاظت‌شده) و لکه‌های کوچکی در بخش‌های شرقی و غربی منطقه با وسعتی در

حدود ۳۸۲۱ هکتار در طبقه‌های با ریسک بسیار کم و کم زمین‌لغزش قرار داشتند (۱۵ درصد از کل وسعت منطقه حفاظت‌شده) (جدول ۱ و شکل ۲).

نقشه‌سازی تغییرات گستره اثرگذاری روستاها بر محیط پیرامونی خود (شدت برداشت چوب یا چرای دام) در منطقه حفاظت‌شده کوه خامین (شدت فعالیت انسانی) نشان داد که مقدار این متغیر از مقدار صفر تا ۳۷۰ نفر در سطح منطقه اثرگذار، متغیر بود. بر این اساس، طبقه‌بندی نقشه گستره اثرگذاری روستاها بر محیط پیرامون خود نشان داد که گستره‌های اثرگذاری روستاها در بخش‌های شمالی و شرقی منطقه حفاظت‌شده قرار داشتند و با تبعیت از تراکم و جمعیت روستاها، ۱۵۲۳ هکتار از وسعت منطقه حفاظت‌شده تحت تاثیر اثرگذاری‌های بسیار زیاد و زیاد روستاها قرار دارد (۶ درصد از کل وسعت منطقه حفاظت‌شده) و در مقابل، ۹۱۲۵ هکتار (۳۶ درصد از کل وسعت منطقه حفاظت‌شده) نیز در گستره‌های اثرگذاری بسیار کم و کم قرار دارد (جدول ۱ و شکل ۲).

محاسبه شدت فعالیت گردشگری در گستره‌های پیرامونی مسیرهای دسترسی در سطح منطقه حفاظت‌شده کوه خامین نشان داد که متناسب با تعداد گردشگران، شدت فعالیت‌های گردشگری در گستره‌های پیرامونی مسیرها متغیر است، به‌نحوی که مقدار این متغیر از ۳۰۰ نفر تا ۲۵۰۰ در گستره‌های بافرهای ترسیم شده در پیرامون مسیرهای گردشگری و براساس نسبت فاصله تا مسیر دسترسی به منطقه متغیر بود. طبقه‌بندی نقشه شدت فعالیت گردشگری نشان داد که ۱۹۳۰ هکتار (۸ درصد از کل وسعت منطقه حفاظت‌شده) از گستره منطقه حفاظت‌شده در گستره‌های با شدت فعالیت گردشگری زیاد و بسیار زیاد قرار دارد و ۲۷۲۵ هکتار (۱۱ درصد از کل وسعت منطقه حفاظت‌شده) نیز تحت تاثیر شدت فعالیت گردشگری بسیار کم تا متوسط است (جدول ۱ و شکل ۲).

**تغییرات مکانی نمایه در معرض قرار گرفتن در سطح منطقه حفاظت‌شده:** تعیین وزن نسبی مخاطرات محیطی چندگانه با استفاده از روش دلفی نشان داد که دو مخاطره خشکسالی و آتش‌سوزی دارای بیشترین وزن‌های نسبی (به‌ترتیب با وزن نسبی برابر با ۰/۲۲۶ و ۰/۱۸۶) و سیلاب و زمین‌لغزش نیز دارای کمترین وزن نسبی (به‌ترتیب با وزن نسبی برابر با ۰/۰۵۶ و ۰/۰۳۷) در میان تمامی مخاطرات مورد بررسی بودند (شکل ۳).

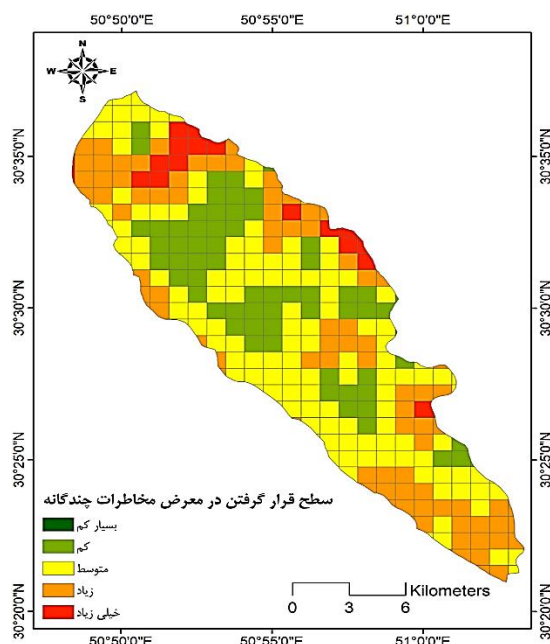


شکل ۳- وزن نسبی محاسبه‌شده برای مخاطرات محیطی منطقه حفاظت‌شده کوه خامین با استفاده از روش دلفی

تجمیع مقادیر ریسک مخاطرات چندگانه و محاسبه نمایه در معرض قرار گرفتن در هر یک از سلول‌های شبکه در سطح منطقه حفاظت‌شده کوه خامین نشان داد که طیفی از تعداد سلول‌ها و وسعت هر یک از طبقه‌های پنج‌گانه (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) در نقشه تهیه‌شده برای نمایه در معرض قرار گرفتن، وجود دارد (شکل ۴). نقشه طبقه‌بندی تغییرات شدت در معرض قرار گرفتن در سطح منطقه حفاظت‌شده کوه خامین نشان داد که از کل وسعت منطقه، ۰/۰۰۳٪ در طبقه خیلی کم، ۲۳/۴۱٪ در طبقه کم، ۴۳/۴٪ در طبقه متوسط، ۲۷/۸٪ در طبقه زیاد و ۵/۴٪ در طبقه بسیار زیاد قرار گرفته است. تغییرات مکانی در معرض قرار گرفتن در سطح منطقه حفاظت‌شده نشان داد که گستره‌های دارای سطح بسیار زیاد قرارگیری در معرض مخاطرات به‌طور عمده

در بخش‌های شرقی و شمالی منطقه واقع شده‌اند و بخش‌های مرکزی منطقه نیز در برگیرنده گستره‌های دارای سطح بسیار کم و کم قرارگیری در معرض مخاطرات بودند. گستره‌های دارای سطح متوسط قرارگیری در معرض مخاطرات نیز به‌صورت پراکنده در سراسر بخش‌های منطقه وجود داشتند (شکل ۴).

تجزیه و تحلیل همبستگی میان مخاطرات مورد بررسی و نمایه در معرض قرار گرفتن محاسبه‌شده در سطح سلول‌های شبکه منطقه حفاظت‌شده کوه خامین نشان داد که تمامی مخاطرات مورد بررسی دارای همبستگی معنی‌داری با مقدار نمایه در معرض قرار گرفتن بودند ( $P < 0.001$ ) (جدول ۲). در میان مخاطرات مورد بررسی، سه مخاطره خشکسالی، آتش‌سوزی و شدت برداشت چوب دارای همبستگی بالایی با نمایه در معرض قرار گرفتن بودند (جدول ۲) و در مقابل، مخاطرات سیلاب و زمین‌لغزش کمترین همبستگی با نمایه در معرض را نشان دادند (جدول ۲).



شکل ۴- تغییرات مکانی نمایه در معرض قرار گرفتن در سطح سلول‌های شبکه منطقه حفاظت‌شده کوه خامین

جدول ۲- همبستگی میان مخاطرات چندگانه و نمایه در معرض قرار گرفتن در سطح منطقه حفاظت‌شده کوه خامین

| مخاطره             | تبخیر و تعرق | خشکسالی | آتش‌سوزی | سیلاب | زمین لغزش | دماهای بیشینه | شدت بهره‌برداری | شدت فعالیت گردشگری |
|--------------------|--------------|---------|----------|-------|-----------|---------------|-----------------|--------------------|
| در معرض قرار گرفتن | ۰/۵۱*        | ۰/۶۹*   | ۰/۶۵*    | ۰/۴۲* | ۰/۴۰*     | ۰/۴۸*         | ۰/۶۰*           | ۰/۵۶*              |

\* همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ (دو طرفه) ( $P < 0.001$ )

## بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به سهم و تأثیر متفاوت مخاطرات محیطی در ایجاد تخریب و آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های گوناگون (Nguyen et al., 2019; Mafi-Gholami et al., 2021)، و با توجه به اعتبار علمی روش دلفی و نیز با قابلیت استفاده آن در سطوح مختلف بین رشته‌ای برای اولویت‌بندی معیارها و گزینه‌ها از این روش برای محاسبه وزن نسبی (درجه اهمیت) هر یک از مخاطرات محیطی چندگانه مورد استفاده در محاسبه نمایه در معرض قرار گرفتن استفاده شد. نتایج تعیین وزن نسبی مخاطرات محیطی گوناگون براساس آگاهی متخصصین از شدت اثر بر منطقه حفاظت‌شده کوه خامین نشان داد که خشکسالی، آتش‌سوزی، شدت بهره‌برداری چوب در رتبه‌های نخست اولویت‌بندی مخاطرات محیطی قرار گرفتند. البته این نتایج چندان دور از انتظار نبود؛ چنانکه مطالعات انجام شده در جنگل‌های زاگرس (Rahimi and Dong, 2022; Mahmoudi et al., 2023) و سایر مطالعات انجام شده در بر روی سیستم‌های زوجی اجتماعی-اکولوژیک (Dunn et al., 2020; Mafi-Gholami et al., 2021; Ding and Wei, 2022) نیز کمبود بارش و وقوع خشکسالی و خصوصیات اقتصادی-اجتماعی و فعالیت‌های جوامع را از مهمترین مخاطرات محیطی اثرگذار

بر ساختار و عملکرد سیستم‌های طبیعی معرفی نموده‌اند. در ارتباط با جنگل‌ها، ارتباط زیستی جوامع جنگل‌نشین با منابع جنگلی در طول زمان باعث کاهش پتانسیل تولید و اکولوژیک عرصه‌های جنگلی شده است؛ چنانکه در بسیاری از مناطق، تغییر تیپ‌های رویشی به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی می‌باشد (Wear et al., 1996). مطالعات نشان می‌دهد که رفاه نسبی جوامع انسانی بیشتر از میزان جمعیت بر نرخ از بین رفتن اکوسیستم‌های جنگلی تأثیر دارد (Valiela et al., 2001) چنانکه جوامع محلی به طور دائمی از جنگل‌ها به عنوان منبعی از چوب برای تأمین معیشت و نیز تغذیه دام استفاده می‌کنند (Vedeld et al., 2007). در ایران نیز وابستگی بالای جوامع محلی به جنگل‌های زاگرس برای تأمین هیزم و سوخت و نیز علوفه مورد نیاز دام، صدمات جبران‌ناپذیری را بر یکپارچگی این اکوسیستم‌ها وارد نموده است (Mahmoudi et al., 2022). در واقع، آگاهی کافی نسبت به تأثیر فعالیت‌ها و بهره‌برداری جوامع محلی بر منطقه حفاظت‌شده کوه خامین سبب گردید تا اغلب متخصصان به هنگام تکمیل پرسشنامه‌ها و در میان سایر عوامل مخرب موجود، درجه اهمیت بالایی را به این متغیر اختصاص دهند و آن را به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مخرب مؤثر منطقه حفاظت‌شده کوه خامین معرفی نمایند. ذکر این نکته ضروری است که پایین بودن ضرایب اهمیت برخی از مخاطرات محیطی نشان‌دهنده ناچیز بودن تأثیر آن‌ها بر منطقه حفاظت‌شده کوه خامین نیست؛ چنانکه عوامل مخربی مانند سیلاب و زمین لغزش یا تبخیر و تعرق که در اولویت‌های آخر به لحاظ ضریب اهمیت قرار گرفتند، می‌توانند اثرات مخربی را بر ساختار و عملکرد رویشگاه جنگلی این منطقه وارد آورند. با این وجود، با اتکا به نظر متخصصان برای ارزیابی در معرض قرار گرفتن این منطقه حفاظت‌شده هنوز در اولویت قرار ندارند.

تلفیق مقادیر ریسک مخاطرات گوناگون در سلول‌های شبکه و محاسبه نمایه در معرض قرار گرفتن و نقشه تغییرات مکانی آن در سطح منطقه حفاظت‌شده کوه خامین نشان داد که در حدود یک سوم از وسعت منطقه حفاظت‌شده کوه خامین به‌ویژه در بخش‌های شرقی و شمالی آن در طبقه‌های با شدت زیاد و بسیار زیاد وقوع مخاطرات محیطی چندگانه قرار دارد (شکل ۴). این در حالی است که نتایج نشان‌دهنده همبستگی بالاتر میان نمایه در معرض قرار گرفتن و مخاطرات خشکسالی، آتش‌سوزی و شدت بهره‌برداری است که نشان‌دهنده سهم بالاتر این مخاطرات در افزایش شدت وقوع مخاطرات محیطی چندگانه در بخش‌های مختلف منطقه حفاظت‌شده است. با توجه به سهم بالای مخاطرات خشکسالی و آتش‌سوزی در افزایش نمایه قرارگیری در معرض مخاطرات محیطی چندگانه در سطح منطقه حفاظت‌شده، کاهش مقادیر بارندگی و وقوع خشکسالی ناشی از تغییرات اقلیمی در دهه‌های آینده (Padhiary et al., 2022; Sreeparvathy and Srinivas, 2022) به‌ویژه در عرض‌های جغرافیایی پایین و به‌ویژه در خاورمیانه (Etemadi et al., 2016) می‌تواند با افزایش ریسک خشکسالی و آتش‌سوزی بر شدت قرارگیری در معرض مخاطرات محیطی و آسیب‌پذیری منطقه حفاظت‌شده کوه خامین (در بخش‌های با شدت خشکسالی بالاتر) بیافزاید.

با توجه به تأثیر بالای شدت برداشت چوب از منطقه حفاظت‌شده کوه خامین و وجود رابطه هم‌تحوالی جوامع محلی با منطقه حفاظت‌شده (سیستم زوجی اجتماعی-اکولوژیک)، برنامه‌ریزی مدیریتی برای حفاظت از منطقه باید در جهت کاهش میزان وابستگی معیشتی جوامع محلی به محصولات و خدمات عرضه شده توسط منطقه حفاظت‌شده کوه خامین باشد. بر این اساس، توسعه منابع درآمدی جدید همانند پرورش زنبور عسل، قالی‌بافی و برگزاری کارگاه‌های آموزش صنایع دستی برای زنان سرپرست خانوار می‌تواند سبب افزایش سطح درآمد و ایجاد اشتغال برای جوامع محلی منطقه مورد مطالعه شود. افزایش سطح آگاهی و دانش و جوامع بومی در مورد اهمیت محیط‌زیستی منطقه حفاظت‌شده نیز باید در الویت برنامه‌های مدیریتی این منطقه حفاظت‌شده قرار گیرد. در این زمینه، توسعه برنامه‌ها و برگزاری کارگاه‌های آموزشی برای جوامع بومی ساکن در این منطقه حفاظت‌شده می‌تواند نقش بسیار مؤثری در جلوگیری از بهره‌برداری بی‌رویه و تخریب این منطقه داشته باشد.

مطالعات نشان می‌دهد که تحت تأثیر تغییر اقلیم، فراوانی و شدت وقوع بارندگی‌های بیشینه در سطح مناطق گوناگون جهان در حال افزایش یافتن است (Araújo et al., 2022; Jia et al., 2022). وقوع بارندگی‌های بیشینه از طریق ایجاد سیلاب سبب فرسایش شدید خاک در مناطق پرشیب و دارای خاک با حساسیت بالا نسبت به فرسایش می‌گردد (Senanayake and Pradhan, 2022; Marcinkowski et al., 2022). بر این اساس، در بخش‌های شرقی و شمالی منطقه حفاظت‌شده کوه خامین با وجود گستره‌های با طبقه‌های زیاد و بسیار زیاد ریسک سیلاب، افزایش فراوانی و شدت وقوع بارندگی‌های بیشینه در آینده (Raymond

بر این اساس، توصیه می‌شود تا برنامه‌ریزی لازم جهت اجرای اقدامات آب‌خیزداری و در جهت کنترل سیلاب در بخش‌های با ریسک بالای وقوع این مخاطره در منطقه حفاظت‌شده انجام گیرد.

با توجه به پیامدهای مخرب ناشی شیوع آفات بر رویشگاه‌های جنگلی استان کهگیلویه و بویراحمد (خشکیدگی درختان) (Haghigian, 2018)، نیاز است تا با تلفیق تکنیک‌های سنجش‌ازدور و GIS و انجام مطالعات گسترده میدانی و آماربرداری دقیق از کلیه رویشگاه‌های جنگلی منطقه حفاظت‌شده کوه خامین، اقدام به شناسایی و تهیه نقشه پهنه‌بندی شدت شیوع آفات در زون‌های جنگلی گوناگون منطقه شود و این مخاطره نیز به‌عنوان یکی از متغیرهای مؤثر در سطح قرارگیری در معرض مخاطرات محیطی و آسیب‌پذیری این منطقه در مطالعات آتی در نظر گرفته شود.

در نهایت می‌توان بیان نمود که نتایج این مطالعه در زمینه نقشه‌سازی دقیق مکانی میزان قرارگیری منطقه حفاظت‌شده کوه خامین در معرض مخاطرات محیطی چندگانه توانسته است اطلاعات حیاتی برای اجرای اقدامات مدیریت کارآمد و نیز اجرای فرآیند ارزیابی آسیب‌پذیری را برای این منطقه حفاظت‌شده فراهم آورد. روش تحلیل بکار رفته در این مطالعه می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای نقشه‌سازی دقیق مکانی میزان در معرض قرار گرفتن و نیز ارزیابی آسیب‌پذیری سایر مناطق حفاظت‌شده کشور مورد استفاده دیگر محققین قرار گیرد.

## References

- Abdollahi, K., Bashir, I., Verbeiren, B., Harouna, M. R., Van Griensven, A., Huysmans, M., Batelaan, O., 2017. A distributed monthly water balance model: formulation and application on Black Volta Basin. *Environmental Earth Sciences* 76(198), 1-18.
- Araújo, J.R., Ramos, A.M., Soares, P.M., Melo, R., Oliveira, S.C., Trigo, R.M., 2022. Impact of extreme rainfall events on landslide activity in Portugal under climate change scenarios. *Landslides* 19(10), 2279-2293.
- Belsoy, J., Korir, J., Yego, J., 2012. Environmental impacts of tourism in protected areas. *Journal of Environment and Earth Science* 2(10), 64-73.
- Ceballos, G., Ehrlich, P.R., Barnosky, A.D., García, A., Pringle, R.M., Palmer, T.M., 2015. Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science Advances* 1(5), e1400253.
- Chowdhury, S., Jennions, M.D., Zalucki, M.P., Maron, M., Watson, J. E., Fuller, R. A., 2022. Protected areas and the future of insect conservation. *Trends in Ecology & Evolution* 38(1), 85-95.
- Dinerstein, E., Vynne, C., Sala, E., Joshi, A.R., Fernando, S., Lovejoy, T.E., Wikramanayake, E., 2019. A global deal for nature: guiding principles, milestones, and targets. *Science Advances* 5(4), eaaw2869.
- Ding, M., Wei, Y., 2022. A conceptual framework for quantitatively understanding the impacts of floods/droughts and their management on the catchment's social-ecological system (C-SES). *Science of The Total Environment* 828, 154041.
- Donmez, C., Berberoglu, S., 2016. A comparative assessment of catchment runoff generation and forest productivity in a semi-arid environment. *International Journal of Digital Earth* 9(10), 942-962.
- Dunn, C.J., D O'Connor, C., Abrams, J., Thompson, M.P., Calkin, D.E., Johnston, J. D., Gilbertson-Day, J., 2020. Wildfire risk science facilitates adaptation of fire-prone social-ecological systems to the new fire reality. *Environmental Research Letters* 15(2), 025001.
- Ellison, A.M., 2000. Mangrove restoration: do we know enough?. *Restoration Ecology* 8(3), 219-229.
- Ervin, J., 2003. Rapid assessment of protected area management effectiveness in four countries. *BioScience* 53(9), 833-841.
- Eslami-Andargoli, L., Dale, P.E.R., Sipe, N., Chaseling, J., 2009. Mangrove expansion and rainfall patterns in Moreton Bay, southeast Queensland, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 85(2), 292-298.
- Etemadi, H., Samadi, S.Z., Sharifikia, M., 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.

- Ford, J.D., Pearce, T., McDowell, G., Berrang-Ford, L., Sayles, J.S., Belfer, E., 2018. Vulnerability and its discontents: the past, present, and future of climate change vulnerability research. *Climatic Change* 151, 189-203.
- Gallopín, G.C., 2006. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global environmental change* 16(3), 293-303.
- The General Department of Environmental of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Province, (GDEEKBA), 2022. Management plan of Koh Khamin Protected Area. 236 p.
- Ghanbari, A., Karmi, F., Saleki, M.A., 2016. Assessment of the occurrence of possible landslides in the area of Tabriz city, *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards* 4(1), 1-16. (In Persian)
- Gill, D.A., Mascia, M.B., Ahmadi, G.N., Glew, L., Lester, S.E., Barnes, M., Fox, H.E., 2017. Capacity shortfalls hinder the performance of marine protected areas globally. *Nature* 543(7647), 665-669.
- Gonzalez-Fernandez, A., Segarra, J., Sunny, A., Couturier, S., 2022. Forest cover loss in the Nevado de Toluca volcano protected area (Mexico) after the change to a less restrictive category in 2013. *Biodiversity and Conservation* 31(3), 871-894.
- Haghigian, F., 2018. Biological aspects of Heart moth, *Dicycla oo L.* (Lep., Noctuidae) in Chaharmahal and Bakhtiari Oak forests. *Iranian Journal of Forests and Rangelands Protection Research (IJFRPR)* 17(2), 257-264. (In Persian)
- Hargreaves, G.H., 1994. Defining and using reference evapotranspiration. *Journal of irrigation and drainage engineering* 120(6), 1132-1139.
- Jaafari, A., Rahmati, O., Zenner, E.K., Mafi-Gholami, D., 2022. Anthropogenic activities amplify wildfire occurrence in the Zagros eco-region of western Iran. *Natural Hazards* 114(1), 457-473.
- Jia, C., Xinjun, Y., Sha, Y., Kongsen, W., Mengqi, D., Xin, W., 2018. The vulnerability evolution and simulation of social-ecological systems in a semi-arid area: a case study of Yulin city, China. *Journal of Geographical Sciences* 28(2), 152-174.
- Jia, H., Wang, X., Sun, W., Mu, X., Gao, P., Zhao, G., Li, Z., 2022. Estimation of Soil Erosion and Evaluation of Soil and Water Conservation Benefit in Terraces under Extreme Precipitation. *Water* 14(11), 1675.
- Jozi, S., Shafiei, M., 2009. Analyzing the environmental risks of Helle Bushehr protected area using AHP. *Researches of the Journal of Marine Sciences and Techniques* 4(3), 21-36. (in Persian)
- Kanwar, N., Kuniyal, J.C., 2022. Vulnerability assessment of forest ecosystems focusing on climate change, hazards and anthropogenic pressures in the cold desert of Kinnaur district, northwestern Indian Himalaya. *Journal of Earth System Science* 131(1), 51.
- Khosravi, K., Panahi, M., Golkarian, A., Keesstra, S.D., Saco, P.M., Bui, D.T., 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., Guerra, C.A., Wolf, F., Pereira, H.M., 2020. Global patterns of forest loss across IUCN categories of protected areas. *Biological Conservation* 241, 108299.
- Macek, M., Kopecký, M., Wild, J., 2019. Maximum air temperature controlled by landscape topography affects plant species composition in temperate forests. *Landscape Ecology* 34, 2541-2556.
- Mafi-Gholami, D., 2014. Assessing the vulnerability of mangroves in order to manage them sustainably (case study: mangroves of Hormozgan province). PhD Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 546 p. (In Persian)
- Mafi-Gholami, D., Jaafari, A., Zenner, E.K., Kamari, A.N., Bui, D.T., 2020. Spatial modeling of exposure of mangrove ecosystems to multiple environmental hazards. *Science of The Total Environment* 740, 140167.
- Mafi-Gholami, D., Pirasteh, S., Ellison, J.C., 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.
- Mafi-Gholami, D., Zenner, E.K., Jaafari, A., Ward, R.D., 2019. Modeling multi-decadal mangrove leaf area index in response to drought along the semi-arid southern coasts of Iran. *Science of the Total Environment* 656, 1326-1336.
- Mahmoudi, B., Zenner, E., Mafi-Gholami, D., Eshaghi, F., 2023. Livelihood Analysis and a New Inferential Model for Development of Forest-Dependent Rural Communities. *Sustainability* 15(11), 9008.
- Marcinkowski, P., Szporak-Wasilewska, S., Kardel, I., 2022. Assessment of soil erosion under long-term projections of climate change in Poland. *Journal of Hydrology* 607, 127468.
- Margules, C.R., Pressey, R.L., 2000. Systematic conservation planning. *Nature* 405(6783), 243-253.

- Ngo, P.T.T., Panahi, M., Khosravi, K., Ghorbanzadeh, O., Kariminejad, N., Cerda, A., 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., 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.
- Nikinmaa, L., Lindner, M., Cantarello, E., Jump, A.S., Seidl, R., Winkel, G., Muys, B., 2020. Reviewing the use of resilience concepts in forest sciences. *Current Forestry Reports* 6, 61-80.
- Nitschke, C.R., Innes, J.L., 2008. Integrating climate change into forest management in South-Central British Columbia: an assessment of landscape vulnerability and development of a climate-smart framework. *Forest Ecology and Management* 256(3), 313-327.
- Padhiary, J., Patra, K.C., Dash, S.S., 2022. A Novel Approach to identify the characteristics of Drought under Future Climate Change scenario. *Water Resources Management* 36(13), 5163-5189.
- Petroni, M.L., Siqueira-Gay, J., Gallardo, A.L.C.F., 2022. Understanding land use change impacts on ecosystem services within urban protected areas. *Landscape and Urban Planning* 223, 104404.
- Pomoim, N., Hughes, A.C., Trisurat, Y., Corlett, R.T., 2022. Vulnerability to climate change of species in protected areas in Thailand. *Scientific Reports* 12(1), 5705.
- Rahimi, E., Dong, P., 2022. What are the main human pressures affecting Iran's protected areas?. *Journal of Environmental Studies and Sciences* 12(4), 682-691.
- Raymond, C., Horton, R.M., Zscheischler, J., Martius, O., AghaKouchak, A., Balch, J., White, K., 2020. Understanding and managing connected extreme events. *Nature Climate Change* 10(7), 611-621.
- Reckien, D., 2018. What is in an index? Construction method, data metric, and weighting scheme determine the outcome of composite social vulnerability indices in New York City. *Regional Environmental Change* 18, 1439-1451.
- Salazar, L.F., Poveda, G., Climáticos, C.P., 2006. Validation of diverse evapotranspiration estimation methods using the long-term water balance in the Amazon River Basin. In *Proceedings* (8, 24-28).
- Senanayake, S., Pradhan, B., 2022. Predicting soil erosion susceptibility associated with climate change scenarios in the Central Highlands of Sri Lanka. *Journal of Environmental Management* 308, 114589.
- Sistani, M., Negaresh, H., Fatuhi, P., 2015. Flood risk zoning in Gabrik catchment, *Geography and Environmental Hazards* 22(20), 162-182. (in Persian)
- Sreeparvathy, V., Srinivas, V.V., 2022. Meteorological flash droughts risk projections based on CMIP6 climate change scenarios. *npj Climate and Atmospheric Science* 5(1), 77.
- Su, S., Pi, J., Wan, C., Li, H., Xiao, R., Li, B., 2015. Categorizing social vulnerability patterns in Chinese coastal cities. *Ocean & Coastal Management* 116, 1-8.
- Szlafsztein, C., Sterr, H., 2007. A GIS-based vulnerability assessment of coastal natural hazards, state of Pará, Brazil. *Journal of Coastal Conservation* 11, 53-66.
- Timberlake, T.J., Schultz, C.A., 2019. Climate change vulnerability assessment for forest management: The case of the US Forest Service. *Forests* 10(11), 1030.
- Turner, B.L., Kasperson, R.E., Matson, P.A., McCarthy, J.J., Corell, R.W., Christensen, L., Schiller, A., 2003. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100(14), 8074-8079.
- UNEP-WCMC., 2022. World Database on Protected Areas (WDPA). <https://www.protectedplanet.net/>.
- Valiela, I., Bowen, J.L., York, J.K., 2001. Mangrove Forests: One of the World's Threatened Major Tropical Environments: At least 35% of the area of mangrove forests has been lost in the past two decades, losses that exceed those for tropical rain forests and coral reefs, two other well-known threatened environments. *Bioscience* 51(10), 807-815.
- Vedeld, P., Angelsen, A., Bojö, J., Sjaastad, E., Berg, G.K., 2007. Forest environmental incomes and the rural poor. *Forest Policy and Economics* 9(7), 869-879.
- Wear, D.N., Turner, M.G., Flamm, R.O., 1996. Ecosystem management with multiple owners: landscape dynamics in a southern Appalachian watershed. *Ecological Applications* 6(4), 1173-1188.
- Wolf, I.D., Croft, D.B., Green, R.J., 2019. Nature conservation and nature-based tourism: A paradox?. *Environments* 6(9), 104.
- Xiao, J., Sun, G., Chen, J., Chen, H., Chen, S., Dong, G., Zhou, J., 2013. Carbon fluxes, evapotranspiration, and water use efficiency of terrestrial ecosystems in China. *Agricultural and forest meteorology* 182, 76-90.
- Zhang, Y., Zhou, D., Li, Z., Qi, L., 2020. Spatial and temporal dynamics of social-ecological resilience in Nepal from 2000 to 2015. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 120, 102894.