

## بررسی تغییرات پوشش جنگلی حوضه آبخیز قلعه رودخان فومن و اثرات آن بر فرسایش حوضه با استفاده از طبقه‌بندی شی‌گرا و الگوریتم چندمعیاره ماباک

عقیل مددی\* - استاد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی. صیاد اصغری سراسکانرود - استاد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی. حسین حاجت‌پورقلعه رودخانی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۰۱      تأیید نهایی: ۱۴۰۳/۰۳/۰۲

### چکیده

فرسایش خاک یک خطر جهانی است که به‌طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند و تغییرات اراضی و به‌ویژه تخریب و تغییر جنگل‌ها، از عوامل مهم دخیل در افزایش پتانسیل رخداد آن می‌باشد. بر این اساس، پژوهش حاضر به دنبال ارزیابی اثر تغییرات پوشش جنگلی، بر فرسایش خاک در حوضه قلعه رودخان فومن، واقع در استان گیلان می‌باشد. در راستای دستیابی به اهداف پژوهش، ابتدا نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش شی‌گرا برای دو دوره ۱۳۷۱ و ۱۴۰۲، تهیه شد. در مرحله بعد، با شناسایی عوامل مؤثر دخیل در فرسایش منطقه و تهیه لایه‌های اطلاعاتی هر معیار در GIS، ارزش‌گذاری و استانداردسازی لایه‌ها با استفاده از تابع عضویت فازی و وزن‌دهی معیارها، با استفاده از روش کرتیک انجام گردید. در نهایت؛ تحلیل و مدل‌سازی نهایی با استفاده از روش تحلیل چندمعیاره ماباک انجام شد. بررسی تغییرات کاربری حوضه حاکی از این امر هست که بیشترین مساحت کاربری در سال ۱۳۷۱ مربوط به پوشش جنگلی با وسعت ۲۲۲/۱۷ کیلومتر مربع می‌باشد که در سال ۱۴۰۲ وسعت آن به ۲۰۵/۰۳ کیلومتر مربع کاهش یافته است. به علاوه نتایج نشان داد، کاربری مناطق مسکونی بیشترین تغییر را در ۳۰ سال گذشته داشته است، مساحت این کاربری در سال ۱۳۷۱، حدود ۳۳/۰۱ کیلومتر مربع بوده که در سال ۱۴۰۲ به مقدار ۶۰/۱۸ کیلومتر مربع افزایش پیدا کرده است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی فرسایش نیز به ترتیب؛ مساحت طبقه با پتانسیل فرسایش بسیار زیاد و زیاد از ۹۸/۹۲ و ۱۱۸/۱۹ کیلومتر مربع در سال ۱۳۷۱ به ۱۳۲/۳۹ و ۱۱۹/۹۴ کیلومتر مربع در سال ۱۴۰۲، افزایش پیدا کرده است. می‌توان اذعان داشت، کاهش پوشش جنگلی و تبدیل آن به مناطق کشاورزی، مراتع و اراضی مسکونی و همچنین، تجاوز به حریم و بستر رودخانه به صورت تغییرات کاربری رودخانه به کشاورزی و مسکونی، در افزایش پتانسیل فرسایش خاک حوضه بیشترین نقش را داشته است.

واژگان کلیدی: فرسایش خاک، تغییرات کاربری، ماباک، روش شی‌گرا، قلعه رودخان.

## مقدمه

تغییرات الگوهای به کارگیری زمین که در مقیاس فضایی و زمانی مختلف رخ می‌دهد، ارتباط بین نیازهای همیشگی جوامع انسانی با زمین را نشان می‌دهد (باد آهنگ و همکاران، ۱۳۹۷:۱۴۴). در سال‌های اخیر، تغییر کاربری زمین به عنوان یک عامل تعیین‌کننده تغییر محیطی، در مقیاس جهانی نمایان شده است (حسینیان و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۸: ۲). برخی معتقدند مهمترین عامل در تغییر چهره زمین، تغییر کاربری اراضی جنگلی و جنگل‌تراشی بوده است (بادآهنگ، ۱۴۰۰: ۶۸). در طول قرن‌ها، به دلیل وابستگی انسان و تأمین نیازهایش، جنگل‌ها به طور مداوم تبدیل و یا تغییر کرده‌اند (ایلدرمی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۴۰). لذا، آگاهی از تغییرات کاربری اراضی، به ویژه جنگل‌ها در طول یک دوره زمانی برای برنامه‌ریزان و مدیران دارای اهمیت فراوان است (تاچیزوکا و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۲: ۲).

به طور معمول، فرآیند آشکارسازی تغییرات، به تشخیص مناطق تغییر یافته در دو تصویر و در دو بازه زمانی متفاوت، مربوط می‌باشد (اکسلو و بو<sup>۳</sup>، ۲۰۱۱: ۲۳۸). از روش‌های نوینی که در راستای نمایان‌سازی تغییرات محیطی استفاده می‌شود، می‌توان به استفاده از تکنیک‌های دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی اشاره نمود (وسلس و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۴: ۴۷؛ رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۶). در مقایسه با روش‌های سنتی که زمانبر و پرهزینه هستند، تکنیک‌های سنجش از دور، با توجه به استفاده از تصاویر در دوره‌های متنوع زمانی، اطلاعات کثیری را به محققان ارائه می‌دهد (کنس و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۲: ۷۵). همچنین، به علت ارائه اطلاعات جدید، تنوع اشکال، رقومی بودن و امکان پردازش در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، تصاویر ماهواره‌ای از اهمیت شایانی برخوردارند (شات و عبدی<sup>۶</sup>، ۲۰۰۷: ۱۳۰).

از جمله، مهمترین منابع طبیعی هر کشوری خاک است و فرسایش خاک از عوامل اصلی تخریب و کاهش باروری خاک، محسوب می‌گردد (معمدی‌راد و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۴۷). فرسایش خاک فرآیندی است که در آن ذرات خاک، سنگدانه‌ها و قطعات سنگی جدا شده و به وسیله آب انتقال یافته و سپس در مناطق جدید قرار می‌گیرند (ماسلینک و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۱۷: ۲۰). فرسایش خاک، به تقلیل میزان ظرفیت رطوبتی، کم شدن عمق و از بین رفتن مواد آلی و در نهایت پایین آمدن پتانسیل باروری خاک منجر می‌شود (پرویزی و همکاران، ۱۳۹۹: ۷۱). خاک‌های اراضی جنگلی به علت دارا بودن مواد آلی زیاد و ساختمان مناسب همواره مورد توجه بوده‌اند، ولی تغییر در مدیریت و کاربری آن‌ها و اعمال خاک ورزی، عموماً تأثیر عمده‌ای بر میزان ماده آلی و دیگر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دارد و تغییر کاربری اراضی، به ویژه تبدیل جنگل طبیعی به سایر کاربری‌ها، اثرات زیان‌باری بر روی ویژگی‌های کیفی خاک داشته و منجر به فرسایش آن می‌گردد (وارسته و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۷۰).

به منظور کاهش اثرات زیان بار ناشی از فرسایش خاک در سطح حوضه آبخیز، شناخت عوامل مؤثر در فرایند فرسایش و پهنه‌بندی آن بسیار دارای اهمیت است (ژانگ و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۱۰: ۷۷). از آنجایی که مدل‌های مبتنی بر معادله جهانی فرسایش، وابستگی متقابل عوامل مؤثر بر فرسایش خاک را در نظر نمی‌گیرند (نخای<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۰۹: ۳۰۹۲) و با توجه به اینکه، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره امکان تعیین مقدار اهمیت کلیه معیارها و ادغام آن‌ها در یک شاخص ترکیبی

<sup>1</sup> Hussain et al

<sup>2</sup> Tachizuka et al

<sup>3</sup> Xiaolu & Bo

<sup>4</sup> Wessels et al

<sup>5</sup> Kenneth et al

<sup>6</sup> Shataee & Abdi

<sup>7</sup> Masselink et al

<sup>8</sup> Zhang et al

<sup>9</sup> Nekhay et al

را فراهم می‌کند تا تصمیم‌گیرندگان قادر به شناسایی بهترین گزینه باشند (ژو و لیو<sup>۱</sup>، ۲۰۲۱: ۳). بنابراین، در چند دهه اخیر، در راستای کشف طیف وسیعی از گزینه‌ها از نظر درگیری‌های عینی و معیارهای چندگانه، از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌شود (آهر و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۳: ۲).

در حوضه آبخیز قلعه رودخان، خاک‌های منطقه به دلیل قرار گرفتن در دامنه شرقی ارتفاعات تالش و شرایط اکولوژیکی و توپوگرافی، مستعد زیستگاه‌های جنگلی با انواع مختلف گونه‌های گیاهی هستند. شواهد نشان می‌دهد که در گذشته حوضه رودخانه قلعه رودخان پوشیده از اراضی جنگلی بوده و بر همین اساس مورفولوژی و ریخت‌شناسی منطقه با آن شرایط سازگار شده است. اما، به مرور زمان با افزایش جمعیت و به منظور رفع نیازهای ساکنان (مانند: تأمین سوخت، دام‌پروری، آماده‌سازی زمین‌های کشاورزی و ...) از وسعت اراضی جنگلی کاسته شده است. بنابراین، می‌توان اذعان داشت، علاوه بر وجود شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی و کوهستانی و شیب‌دار بودن منطقه، به مرور زمان با فعالیت‌ها و اقدامات انسانی از جمله، تغییر کاربری اراضی و تخریب اراضی جنگلی، میزان فرسایش خاک در سطح حوضه افزایش یافته است. لذا بررسی و ارزیابی سطح حوضه از نظر خطر فرسایش خاک، در ارتباط با موضوع تغییرات کاربری اراضی به ویژه: بررسی روند تغییرات در جنگل‌های حوضه بسیار ضروری است. بدین منظور در تحقیق حاضر با توجه به اهمیت بررسی تغییرات کاربری‌ها و نقش آن در فرسایش خاک در طول زمان و همچنین تأکید بر اثربخشی و صحت نتایج حاصل از استفاده از داده‌های سنجش از دور، GIS و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، با رویکرد یکپارچه، بررسی و تحلیل کاربری‌های موجود، تغییرات کاربری اراضی و نقش آن در ریسک فرسایش در یک دوره ۳۰ ساله (بین سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۴۰۲)، مورد مطالعه قرار گرفته است. انتظار می‌رود با نظر به نتایج پژوهش حاضر، با توجه به آگاهی یافتن از روند تغییرات انواع کاربری‌ها در طی بازه زمانی مورد مطالعه و با شناسایی مناطق اولویت‌دار از نظر خطر فرسایش، بتوان اقدامات لازم را برای کنترل فرسایش حوضه، برنامه‌ریزی استفاده بهینه از زمین و راهکارهای مدیریت پایدار زمین انجام داد.

### پیشینه پژوهش

مطالعات فراوانی پیرامون تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، پهنه‌بندی فرسایش و نیز نقش کاربری در فرسایش انجام شده است. برای مثال؛ اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۸)، با استفاده از روش‌های پیکسل پایه و شی‌گرا، به بررسی اثرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک در شهرستان مراغه، پرداختند. نتایج نشان داد، در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷، ضمن افزایش کاربری باغات متراکم، باغات کم تراکم، مسکونی و صنعتی، اراضی مرتعی و اراضی دیم در سطح قابل توجهی تخریب و تبدیل شده است که در افزایش آسیب‌پذیری شهرستان مراغه در مقابل فرسایش خاک نقش مهمی دارد. تقی‌پور و همکاران (۱۳۹۹)، تغییرات پوشش جنگل و مرتع زیست بوم ارسباران را طی ۳۴ سال با استفاده از تکنیک سنجش از دور را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده تعرض به اراضی جنگل منطقه است و اجرای عملیات فنی احیای جنگل در این ناحیه ضروری است. جعفریان و همکاران (۱۴۰۰)، میزان تخریب اراضی طبیعی با تکیه بر تغییرات کاربری در مناطق جنگلی زاگرس را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. بر اساس نتایج، بیش از ۶ هزار هکتار از اراضی جنگلی به اراضی غیرجنگلی (کشاورزی و مرتع) تبدیل شده‌اند. مددی و همکاران (۱۴۰۱)، به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر فرسایش خاک در حوضه بالادست سد یامچی اردبیل، با استفاده از الگوریتم تصمیم‌گیری چندمعیاره آراس پرداختند. نتایج این پژوهش، نشان داده است، بیشترین میزان مساحت در سال ۲۰۰۰ مربوط به مراتع خوب و متوسط و در سال ۲۰۲۱، مربوط به مراتع ضعیف و خوب می‌باشد. به‌طور کلی، عمده دلایل افزایش مقدار فرسایش در سطح حوضه مورد مطالعه، افزایش اراضی زراعی (دیم و آبی)، اراضی بایر، مراتع ضعیف و نواحی انسان‌ساخت و کاهش سطح مراتع خوب و متوسط،

<sup>1</sup> Zhu and Liu

<sup>2</sup> Aher et al

می‌باشد. اِرخی (۱۴۰۱)، با استفاده از سنجش‌ازدور و معادله تجدید نظر شدل جهانی فرسایش خاک، به ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی و بارش بر فرسایش و رسوب، در حوضه پایین‌دست سد ایلام پرداخته است. بر اساس نتایج پژوهش، بین سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۸، مساحت‌های باغ، دریاچه، اراضی بایر و مرتع کاهش یافته و به مساحت کاربری‌های جنگل و اراضی زراعی افزوده شده است و تبدیل پوشش گیاهی به زراعت مهم‌ترین عامل فرسایش در منطقه بوده است. عابدینی و همکاران (۱۴۰۲)، به بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی در طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۸، بر میزان فرسایش و رسوب حوضه رضی‌چای پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که در طول بیست سال اخیر کاربری‌های مرتع، زراعت آبی، بایر در منطقه کاهش و در مقابل سطح اراضی زراعی دیم و مسکونی افزایش یافته است و علی‌رغم افزایش سطح اراضی زراعی دیم در منطقه به دلیل کاهش سطح اراضی بایر و تقویت پوشش گیاهی در این منطقه، میزان فرسایش به میزان اندکی کاهش یافته است. کیدن و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۹)، تأثیر استفاده از زمین بر فرسایش خاک و عملکرد رسوب، در اتیوپی، طی سال‌های ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۵، مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشانگر تبدیل سریع کاربری‌های با پوشش گیاهی طبیعی به کاربری‌های اصلاح شده بشر می‌باشد. کوجو و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۲۰)، به بررسی تأثیر کاربری زمین بر فرسایش خاک در کنیا غربی، در سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۷ پرداختند. نتایج نشان داد که ۵۰ درصد از تلفات و فرسایش خاک در زمین‌های زراعی، به ویژه در مزارعی که در اثر پاک‌سازی و تخریب جنگل‌ها به وجود آمده، دیده می‌شود و مناطق دارای پوشش علفی/درختچه‌ای، در رتبه دوم قرار دارند. لی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۲۱)، به بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش رودخانه‌ای در شهرستان Kedong، واقع در شمال شرقی چین بین سال‌های ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۵ پرداختند. نتایج نشان داده است، زمین‌های زیر کشت، در بازه زمانی مورد مطالعه به طور چشمگیری، افزایش یافته است و کشت زمین در دامنه‌ها، به ویژه در دامنه‌های بزرگتر از ۴ درجه، ممکن است، سرعت فرسایش رودخانه را تشدید کند. جلاپر و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۲۲)، مطالعاتی در مورد مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز چالوس ایران انجام داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که پوشش جنگلی از ۲۹/۴۶ درصد در سال ۲۰۲۱ به ۲۵/۶۷ درصد از مساحت در سال ۲۰۴۰ کاهش خواهد یافت و همچنین گسترش بی‌وقفه مناطق بایر، زمین‌های کشاورزی و مساحت ساخته شده کاهش خواهد یافت. بنابراین، درک پویایی مکانی-زمانی تغییر کاربری اراضی برای اجرای اقدامات ضروری و به حداقل رساندن پیامدهای مخرب این تغییرات بسیار مهم است. لیو و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۲۳)، با استفاده از مدل‌های SWAT و EPIC به بررسی رابطه بین پوشش گیاهی و فرسایش خاک، در حوضه آبخیز هوانگ فوجوان چین پرداختند. خروجی SWAT برای ارزیابی اثرات فرسایش خاک بیانگر این هست که، علفزار و جنگل به ترتیب؛ ۲۰ و ۱۸ درصد فرسایش خاک را کاهش دادند، در حالی که زمین‌های بایر، تولید شن و ماسه را افزایش دادند. نتایج مدل EPIC نیز، همبستگی منفی بین پوشش گیاهی و شدت فرسایش نشان داد.

علاوه بر پیشینه مورد بررسی در رابطه با موضوع تغییر کاربری اراضی و خطر فرسایش، با توجه به اهمیت موضوع تخریب و تغییر کاربری در پهنه‌های جنگلی استان گیلان که محدوده مورد مطالعه نیز از نظر سیاسی بخشی از این استان می‌باشد، مطالعاتی نیز در راستای بررسی این مسئله در محدوده این استان انجام شده است؛ به‌عنوان مثال، حسنی‌مهر (۱۳۹۲)، بازنشاسی استفاده از پتانسیل جنگل‌های گیلان با نگرش توسعه مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه دست یافته است که در طول دو دهه‌ی ۱۳۵۰ و ۱۳۶۰ با افزایش جمعیت در مناطق جنگلی و روستایی، روند تخریب و نابودی جنگل‌ها نیز در

<sup>1</sup> Kidane et al

<sup>2</sup> Kogo et al

<sup>3</sup> Li et al

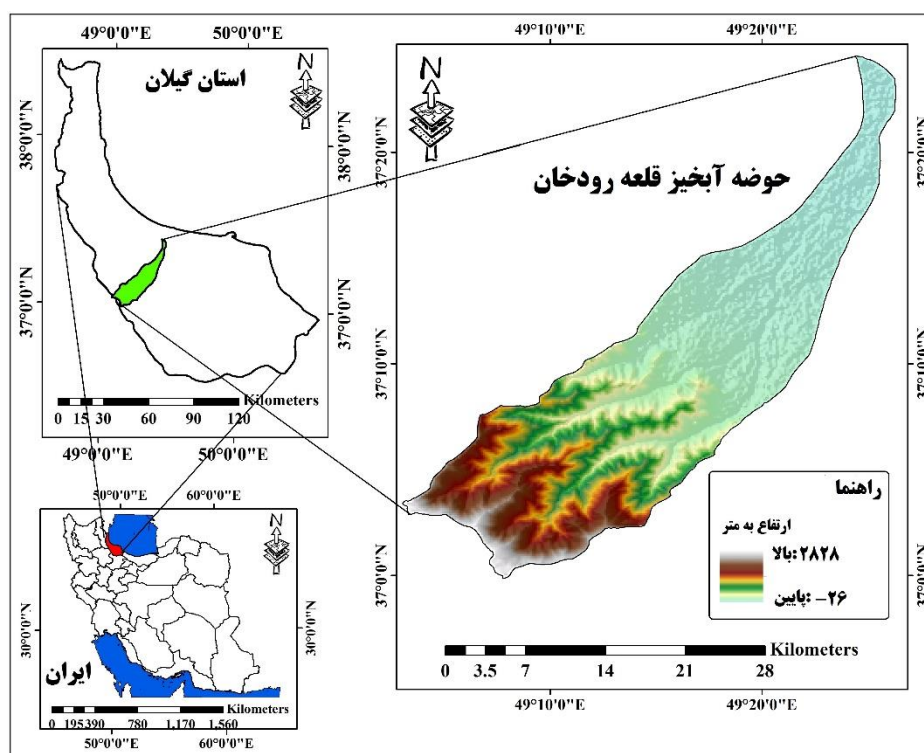
<sup>4</sup> Jalayer et al

<sup>5</sup> Luo et al

استان گیلان شدت یافته و علل تخریب جنگل‌های گیلان را می‌توان در سه عامل: استفاده از جنگل به‌عنوان چراگاه و چرای بی‌رویه، قطع غیرمجاز درختان و بهره‌برداری سنتی و آتش‌سوزی جنگل‌ها دانست. عبداللهی و نصیری (۱۳۹۹)، آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات سطح جنگل‌های استان گیلان را در طی بازه زمانی ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل ژئومد مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش حاکی از این موضوع است که مساحت کاربری جنگل در سال ۱۳۷۵، ۴۹۱۱۳۶/۳ بوده که در سال ۱۳۹۵، به این ۴۹۰۰۸۶/۲۶ کاهش یافته و در سال ۱۴۱۰ نیز به ۴۸۹۲۱۴/۶۳ کیلومتر مربع خواهد رسید و در صورت ثابت ماندن شرایط، این روند تخریب اراضی ادامه خواهد داشت. نقره عزیزاده درویی و همکاران (۱۳۹۹). با استفاده از تکنیک سنجش از دور، به اولویت‌بندی عوامل تخریب جنگل‌های غرب گیلان را در یک بازه زمانی ۲۴ ساله، پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که سطح جنگل‌های منطقه مورد مطالعه در طول ۲۴ سال (۱۳۶۶ تا ۱۳۹۰)، به میزان ۵/۷۴۴ هکتار کاهش یافته است و در نتیجه عوامل انسانی به‌عنوان عوامل اصلی تخریب جنگل‌های منطقه شناسایی شدند.

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز قلعه رودخان، به مساحت حدود ۴۴۲/۳۹ کیلومتر مربع، بین طول‌های جغرافیایی ۴۹°-۰۵' تا ۴۹°-۴۳' درجه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۷°-۰۰' تا ۳۷°-۴۱' شمالی، در غرب استان گیلان و بخش جنوبی شهرستان فومن قرار گرفته است (شکل ۱). رودخانه فوشه در دهستان گوراب‌پس، از ارتفاعات کوه گلوله (مل بهار) و درین کول سرچشمه گرفته و پس از طی مسیری از مناطقی مانند: سنگ‌بن، سی‌فسان، منارکل، خون، لسیندی، سیاه‌پوست، شیخ جمال، ریحانه، شهرگاه، کله ماسون، دریالات، لکه پرده‌سر، شاوزین، لیلی‌سرا، فوشه، سفیدسنگ، توت‌باغ، نظرآلات، مشه، جراویر در حیدرآلات، به زیر شاخه قلعه‌دنه متصل شده و حوضه قلعه‌رودخان را تشکیل می‌دهد. حداکثر ارتفاع حوضه ۲۸۲۸ متر (کوه گلوله) و حداقل ارتفاع آن ۲۶- متر (در خروجی حوضه) می‌باشد. ارتفاعات رستم‌کوه، پیرسرا، سیابیل از شمال و شمال‌غرب، کوه مزدچال و آبرنگ از جنوب و جنوب شرقی و کوه‌های فشم، هچه، عزیزخانی و درین کول و بخصوص کوه گلوله (مل بهار) از غرب حوضه را احاطه کرده است. سطح حوضه قلعه‌رودخان متشکل از انواع سازندهای حساس و فرسایش‌پذیر (مانند: رسوبات یا نهشته‌های دریایی جوان، آبرفت‌های تحکیم نشده دشت سیلابی و تراس‌های سطح بالا، رسوبات سیلابی و رودخانه‌ای، شیست سبز، شیست آملی بول بریده شده سیاه تا خاکستری تیره، شن‌های رودخانه‌ای جدید و ماسه خاکستری روشن با بستر ضخیم متاآرنیت (ماسه‌سنگ رسوبی)، رسوبات ضخیم تا متوسط از ماسه‌سنگ و رسوبات آواری، تناوب ماسه‌سنگ رسوبی خاکستری متوسط تا ضخیم\_ سیلتستون و شیل با اولیستولیت و بقایای گیاهی، فیلیت سبز زیتونی و میکاشیست و ماسه‌سنگ) و خاک‌های سست و آبرفتی می‌باشد. از نظر فرسایش‌پذیری این حوضه از پتانسیل بسیار بالایی برخوردار است و انواع فرم‌های فرسایشی (ورقه‌ای یا سطحی، توده‌ای، شیاری، گالی، و کنار رودخانه‌ای)، در سطح حوضه مشاهده می‌گردد. بر اساس اقلیم‌نمای آمبرژه و طبقه‌بندی دومارتن نوع اقلیم حوضه از نوع بسیار مرطوب می‌باشد و به ترتیب؛ ماه‌های مرداد و بهمن گرم‌ترین و سردترین ماه سال هستند. مقدار بارش سالانه حوضه بین ۷۳۰ تا ۱۶۷۰ می‌باشد و بیشترین مقدار بارش ماهانه مربوط به ماه‌های مهر و شهریور (با میانگین بارش ۲۵۵/۳ میلی‌متر) و کمترین آن، مربوط به ماه‌های خرداد و تیر (با متوسط ۱۰۳ میلی‌متر) می‌باشد. رطوبت زیاد جو، گرمای مناسب زمستان و ارتفاعات متوسط، قسمت اعظم این حوضه را مساعد برای نمود جنگل‌ها کرده است و از نظر جغرافیای گیاهی، محدوده مورد مطالعه بخشی از حوزه هیرکانی می‌باشد که در طی سال‌های اخیر با توجه به روند روبه‌رشد جمعیت و همچنین با نظر به قابلیت‌های گردشگری بالای این حوضه، از وسعت پهنه‌های جنگلی آن کاسته شده است.



شکل ۱: نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه

## روش تحقیق

### روش شی‌گرا<sup>۱</sup>

در این پژوهش به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی (به ویژه جنگل)، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای لندست از سنجنده‌های (TM - OLI) برای سال‌های (۱۹۹۲-۲۰۲۳) در ماه آگوست از سایت زمین‌شناسی آمریکا اخذ شد. سپس به منظور آماده‌سازی تصاویر، نسبت به تصحیحات هندسی و اتمسفری بر روی تصاویر با استفاده از روش Flaash و نرم‌افزار Envi5.3 اقدام شد. در مرحله بعد، با استفاده از روش طبقه‌بندی شی‌گرا و با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی توسط نرم‌افزار Ecognition، نقشه‌های کاربری اراضی در دو سال ۱۳۷۱ و ۱۴۰۲ استخراج شد. فرآیند و نتیجه طبقه‌بندی شی‌گرا، در سه بخش قابل تقسیم است که عبارتند از: سگمنت‌سازی، طبقه‌بندی و ارزیابی صحت. مبنای طبقه‌بندی شی‌گرا فرآیند طبقه‌بندی (سگمنت‌سازی) می‌باشد. در مرحله طبقه‌بندی، پیکسل‌های تصویر بر اساس تفاوت‌ها و شباهت‌های موجود میان آن‌ها در زمینه ویژگی‌های طیفی و شکلی و با در نظر گرفتن درجه‌ای از ناهمگنی مجاز در هر قطعه، به گروه‌هایی تقسیم می‌شوند که این قطعه‌ها یا شی‌های ساخته شده در گام بعدی به منظور شناسایی عوارض مورد نظر، کلاس‌بندی می‌شوند (اصغری سراسکانرود و ناصری، ۱۳۹۹:۸۴). در فرآیند طبقه‌بندی مفسر می‌تواند با در نظر گرفتن پارامترهای شکل، بافت، ضریب فشردگی و معیار نرمی، فرآیند طبقه‌بندی تصویر را انجام داده و بر اساس نسبت اهمیت هر یک از این عوامل در خصوصیات کلاس‌های مورد نظر برای استخراج از تصاویر ماهواره‌ای، نسبت اهمیت آن‌ها را در فرآیند طبقه‌بندی اعمال نماید (فیضی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۳:۲۰). به همین منظور با تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی با مقیاس‌های مختلف، در نهایت مقیاس ۵۰ و مقدار فشردگی ۰/۴ و مقادیر نرمی ۰/۶ برای طبقه‌بندی انتخاب شد. سپس نقشه کاربری اراضی در ۶ طبقه مناطق مسکونی، زمین کشاورزی، پوشش جنگلی، مراتع، رودخانه و مناطق آبی تهیه شد. بررسی نتایج طبقه‌بندی یکی از

<sup>1</sup> object-oriented methode

مراحل مهم است و هیچ طبقه‌بندی تازمانی که دقت آن ارزیابی نشود، مستند نخواهد بود (فیضی‌زاده و همکاران، ۲۱۳:۱۳۹۷؛ محمودآبادی و همکاران، ۱۰۷:۱۳۹۹). پارامتر اصلی که برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد، صحت کلی و ضریب کاپا می‌باشند. با توجه به نتایج به دست آمده، صحت کلی و ضریب کاپا بر روی تصویر ۱۳۷۱ به ترتیب دارای مقدار ۹۷٪ و ۹۸٪ می‌باشد و بر روی تصویر سال ۱۴۰۲ نیز مقدار ضریب کاپا با ۹۸٪ و مقدار صحت کلی با ۹۸٪ برابر است. در نهایت لایه‌های بدست آمده برای محاسبه مساحت کاربری‌ها، تهیه نقشه خروجی مناسب و اعمال نمودن معیار کاربری در فرآیند پهنه‌بندی خطر فرسایش، به نرم‌افزار Arc GIS، انتقال داده شدند.

### روش ماباک (مقایسه چندشاخصه محدوده تقریبی مرزها)<sup>۱</sup>

به منظور پهنه‌بندی فرسایش خاک با استفاده از روش ماباک، مراحل زیر انجام گرفت:

۱- تعیین معیارها: با مطالعه پیشینه پژوهش و با توجه به شرایط طبیعی و انسانی منطقه؛ عوامل شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از راه‌ارتباطی، فاصله از آبراهه و خاک، به عنوان عوامل مؤثر در فرسایش خاک حوضه شناسایی گردید. در مرحله بعد، لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر معیار، در محیط GIS تهیه گردید. لایه راه‌های ارتباطی و شبکه آبراهه، با استفاده از نقشه خطوط ارتباطی و رودخانه‌های استان گیلان، ترسیم شد. لایه شیب، با استفاده از دستور slope و در Arc map و با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متری اخذ شده از سایت (vertex.daac.asf.alaska.edu)، تهیه شد. لایه‌های اطلاعاتی مربوط به لیتولوژی (مقاومت سنگ‌ها)، از روی نقشه زمین‌شناسی استان گیلان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استخراج گردید. به منظور ترسیم نقشه خاک حوضه نیز، از نقشه خاک استان، استفاده شد. نقشه بارش حوضه نیز، با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی (رشت، فساله، پسیخان، قلعه رودخان، کسما، صومعه سرا، فومن، سیاهمزی، حسین کوه، شفت، هندخاله، ماکولان، امامزاده ابراهیم، شاندرمن، آستانه‌سر، ویزی و ماکولان پایین) و با استفاده از روش درون‌یابی کوگریجینگ<sup>۲</sup>، ترسیم شد.

۲- استانداردسازی ماتریس تصمیم: استاندارد نمودن داده‌ها به معنی همسان کردن دامنه تغییرات داده‌ها بین صفر و یک و یا یک دامنه مشخص دیگر است. جهت دستیابی به الگوی پهنه‌بندی مکانی خطر فرسایش در حوضه قلعه رودخان، مرحله استانداردسازی با توجه به تابع عضویت فازی انجام شده است. در مجموعه‌های فازی، بیشترین ارزش یعنی مقدار یک به حداکثر عضویت و کمترین ارزش یعنی صفر به حداقل عضویت در مجموعه تعلق می‌گیرد (حسینی و همکاران<sup>۳</sup>، ۱۴:۲۰۱۹؛ اسمعیل‌پور و همکاران، ۳۲:۱۴۰۱). به منظور استانداردسازی معیارهای شیب، کاربری اراضی، لیتولوژی و خاک از تابع بزرگ فازی، استفاده شده است. استانداردسازی معیارهای فاصله از راه‌ارتباطی و فاصله از رودخانه با توجه به تابع نزدیک فازی و معیار بارش با نظر به تابعی خطی افزایشی صورت پذیرفته است.

۳- وزن‌دهی معیارها: در این پژوهش، جهت وزن‌دهی عوامل از روش کرتیک<sup>۴</sup> استفاده شده است. در این روش، داده‌ها بر اساس میزان تداخل و تضاد موجود بین عوامل یا معیارها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در این روش، پس از محاسبه انحراف معیار عوامل مورد بررسی، ماتریس مقارنی به ابعاد  $m \times m$  ایجاد می‌گردد که شامل ضرایب همبستگی بین بردارهای تشکیل شده است. با تعیین پارامترهای انحراف معیار و همبستگی، تضاد موجود بین هر معیار با معیارهای دیگر، محاسبه می‌شود و با توجه به مقادیر همبستگی، تضاد و انحراف معیار هر عامل مورد بررسی، میزان اطلاعات آن محاسبه می‌گردد. سپس، وزن نهایی هر معیار، از تقسیم میزان اطلاعات هر معیار بر مجموع میزان کل اطلاعات تمامی معیارها بدست می‌آید

<sup>۱</sup> MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison)

<sup>۲</sup> Cokriging

<sup>۳</sup> Hoseini et al

<sup>۴</sup> CRITIC

(علی‌نژاد و خلیلی<sup>۱</sup>، ۱۹:۲۰:۱۹۹). در راستای انجام مراحل وزن‌دهی کرتیک ابتدا در محیط نرم‌افزار ادریسی انحراف‌معیار و همبستگی میان لایه‌های اطلاعاتی مربوطه به هر یک از عوامل، با استفاده از تابع REGRESS به دست آمد و در مرحله بعد، با توجه به روابط مربوطه نسبت به محاسبه ماتریس تضاد، میزان اطلاعات و وزن نهایی در نرم‌افزار اکسل اقدام گردید. ۴- تعیین مرز ناحیه شباهت ماتریس (g): در رابطه ۱، عناصر ماتریس وزنی (V) و m تعداد کل گزینه‌های جایگزین را نشان می‌دهد. پس از محاسبه مقدار  $g_i$  ماتریس محدوده‌های تقریبی مرزی با توجه به معیارهای G با فرمت  $N*1$  شکل می‌گیرد و n تعداد کل معیارهایی را که گزینه‌های ارائه شده برای آن‌ها انتخاب می‌شود را نشان می‌دهد. بنابراین اگر n معیار داشته باشد یک ماتریس  $G1 \times n$  به صورت زیر خواهیم داشت (رابطه ۲):

$$g_i = \left( \prod_{j=1}^m v_{ij} \right)^{1/m} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$G = [g_1. g_2. \dots. g_n] \quad \text{رابطه ۲}$$

۵- محاسبه فاصله گزینه‌ها تا مرز ناحیه شباهت: در این بخش با استفاده از رابطه ۳، فاصله گزینه‌ها تا ناحیه g بدست می‌آید. در واقع باید ماتریس وزن‌دار را از ماتریس g کم کرد.

$$Q = V - G \quad \text{رابطه ۳}$$

پس از مشخص شدن ماتریس Q، می‌توان با استفاده از حد بالایی مساحت (G+) و حد پایینی مساحت (G-) وضعیت هر گزینه را مشخص کرد. بر این اساس گزینه  $A_i$  متعلق به اجتماع مجموعه مذکور است. حد بالایی مساحت (G+) ناحیه‌ای است که گزینه ایده‌آل مثبت در آن قرار دارد و حد پایینی مساحت (G-) ناحیه‌ای است که گزینه ضد ایده‌آل در آن قرار دارد. میزان تعلق گزینه  $A_i$  به اجتماع بالا بر اساس رابطه ۴، بدست می‌آید. برای انتخاب گزینه  $A_i$  به عنوان بهترین فرم از مجموعه، لازم است که حداکثر معیارهای ممکن به منطقه تقریبی فوقانی (G+) تعلق داشته باشد. مقدار بالاتر  $q_i \in G+$  نشان می‌دهد که گزینه جایگزین به گزینه جایگزین ایده‌آل نزدیک‌تر است، در حالی که مقدار پایین‌تر  $q_i \in G-$  نشان می‌دهد که گزینه جایگزین، به گزینه جایگزین ضد ایده‌آل نزدیک‌تر است.

$$A_i \in \begin{cases} G^+ & \text{if } q_{ij} > 0 \\ G^- & \text{if } q_{ij} = 0 \\ G^- & \text{if } q_{ij} < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۴}$$

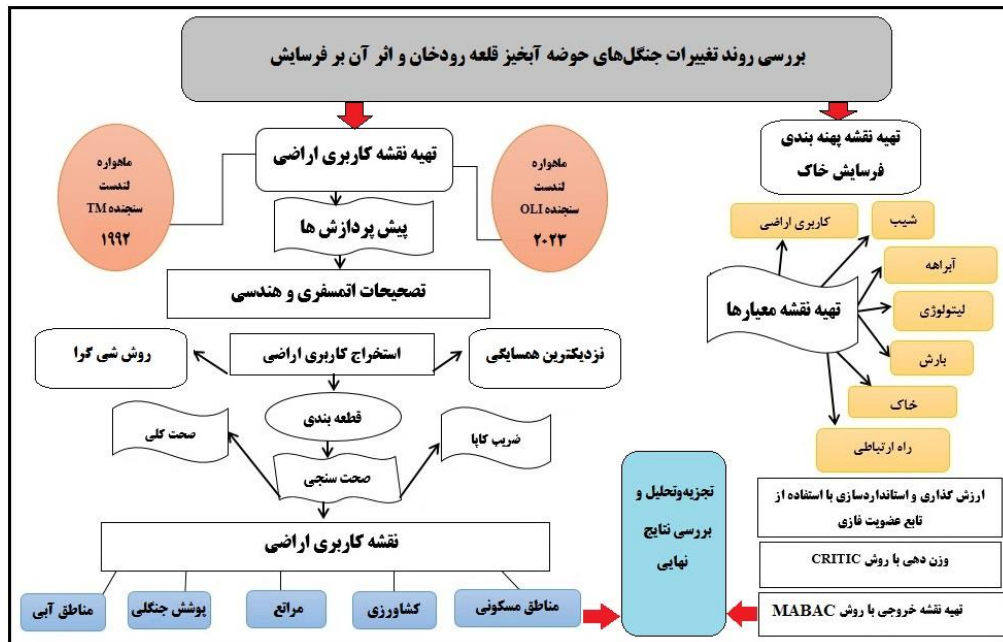
۶- انتخاب گزینه بهینه: در روش ماباک، با استفاده از رابطه ۵، امتیاز نهایی هر گزینه را مشخص کرده و بر اساس آن گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند.

$$S_i = \Sigma(q_{ij}); i = 1.2 \dots n; j = 1.2 \dots m \quad \text{رابطه ۵}$$

محاسبه مقادیر توابع معیار، توسط گزینه‌ها به عنوان مجموع فاصله‌های جایگزین از مناطق تقریبی مرزی  $Q_i$  بدست می‌آید. با جمع کردن عناصر ماتریس Q در هر سطر، مقادیر نهایی تابع معیار گزینه‌ها بدست می‌آید. در این رابطه n تعداد معیارها را نشان می‌دهد و m تعداد گزینه است (وانگ و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰:۲۱:۲۱۱). فلوجارت مربوط به فرآیند پژوهش، در شکل ۲، نمایش داده شده است.

<sup>1</sup> Alinezhad & Khalili

<sup>2</sup> Wang et al

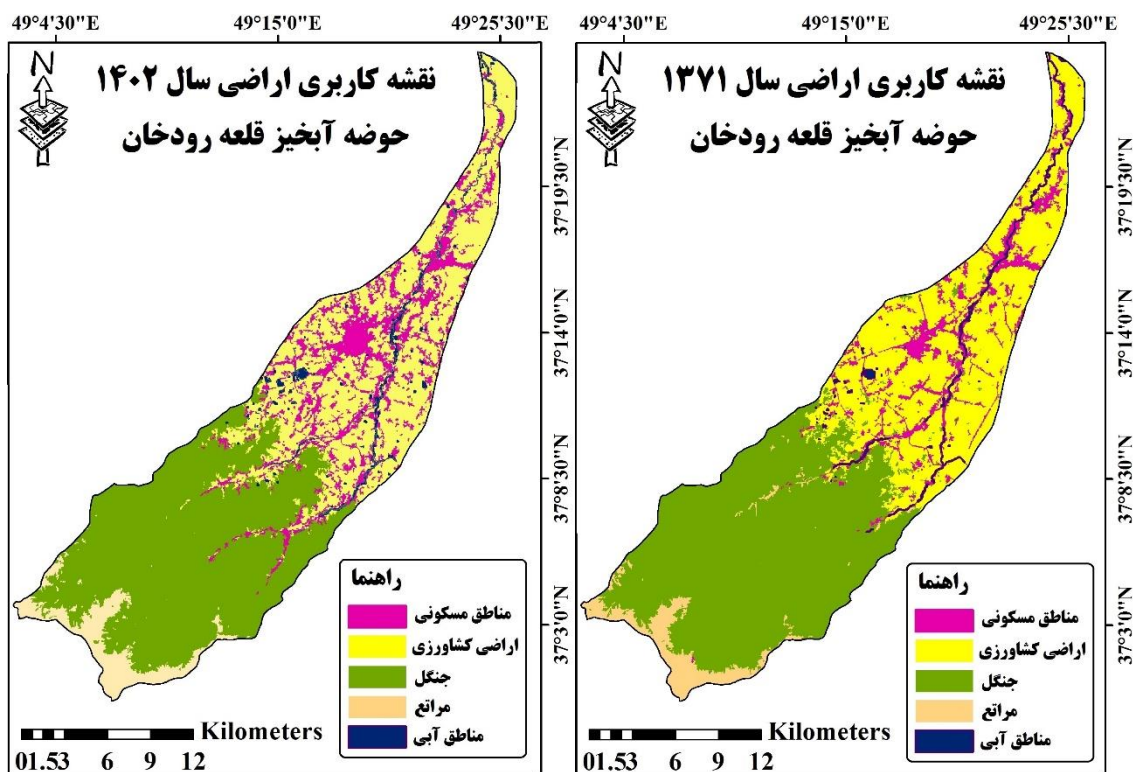


شکل ۲: فلوجارت مراحل تحقیق

## بحث و یافته‌ها

### بررسی تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۱۳۷۱-۱۴۰۲

نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۷۱ و ۱۴۰۲، مستخرج از به کارگیری روش شی گرا به ترتیب؛ در شکل (۳) و (۴)، نمایش داده شده است. با مقایسه دو نقشه و با نظر به مقادیر مساحت مربوط به هر یک از کاربری‌ها در دو بازه زمانی مورد مطالعه (جدول ۱)، می‌توان بیان داشت که بیشترین مساحت کاربری در سال ۱۳۷۱ مربوط به پوشش جنگلی با وسعت ۲۲۲/۱۷ کیلومتر مربع می‌باشد که در سال ۱۴۰۲ وسعت آن به ۲۰۵/۰۳ کیلومتر مربع کاهش یافته است. کاربری بعدی که دارای بیشترین مساحت در حوضه قلعه رودخان می‌باشد، کاربری زمین‌های کشاورزی است. مقدار مساحت کاربری زراعی، در سال ۱۳۷۱ حدود ۱۶۱/۰۳ کیلومتر مربع بوده است که در سال ۱۴۰۲ حدود ۱۱ کیلومتر مربع کاهش یافته و به مقدار ۱۵۰/۰۵ کیلومتر مربع رسیده است. کاربری مناطق مسکونی بیشترین تغییر را در ۳۰ سال گذشته داشته است که این کاربری در سال مبدأ (۱۳۷۱) حدود ۳۳/۰۱ کیلومتر مربع بوده و در سال ۱۴۰۱ به مقدار مساحت ۶۰/۱۸ کیلومتر مربع رسیده است (۲۷/۱۷ کیلومتر مربع، مساحت مناطق مسکونی افزایش پیدا کرده است). کاربری مراتع نیز در ۳۰ سال اخیر تغییر داشته است. به طوری که مساحت کاربری مراتع در سال‌های ۱۳۷۱ و ۱۴۰۲ به ترتیب؛ با ۲۲/۰۴ و ۲۵/۱۱ کیلومتر مربع برابر بوده است که حدود ۳ کیلومتر مربع افزایش یافته است. همچنین کاربری مناطق آبی نیز تغییر چشم‌گیری داشته و مساحت آن تقریباً در ۳۰ سال اخیر نصف شده است. مقدار مساحت مناطق آبی در سال ۱۳۷۱ برابر با ۱۴/۱۴ کیلومتر مربع بوده و در سال ۱۴۰۲ به ۲/۰۲ کیلومتر مربع، کاهش یافته است.



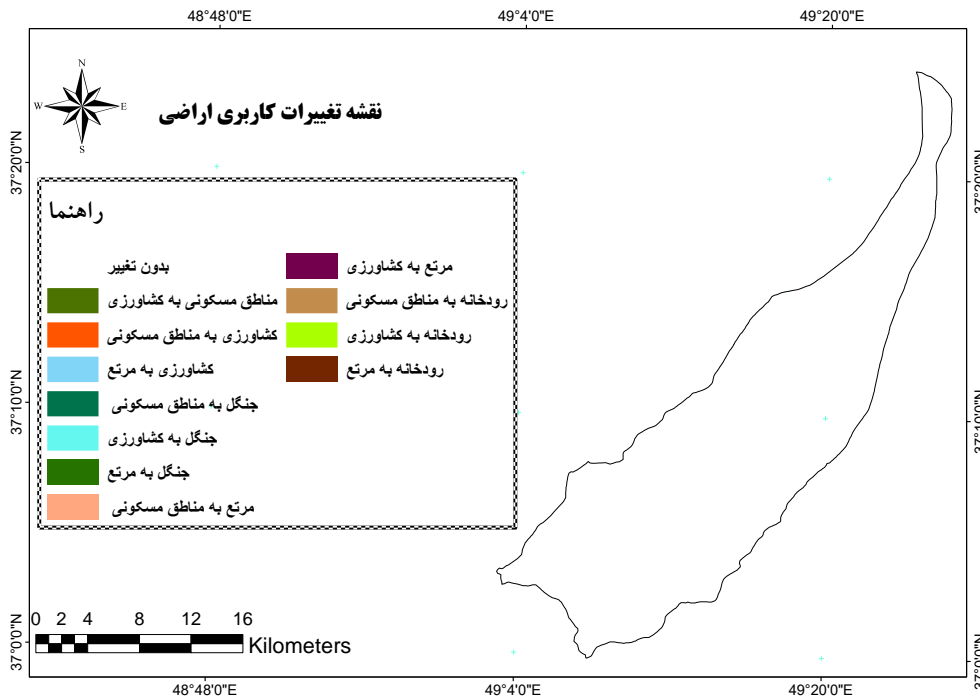
شکل ۴: نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۰۲

شکل ۳: نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۷۱

جدول ۱: مساحت کاربری‌های اراضی در سال ۱۳۷۱ و ۱۴۰۲

نام کاربری	مساحت کاربری ۱۳۷۱ (کیلومتر مربع)	مساحت کاربری ۱۴۰۲ (کیلومتر مربع)	روند تغییرات
مناطق مسکونی	۳۳/۰۱	۶۰/۱۸	افزایشی
کشاورزی	۱۶۱/۰۳	۱۵۰/۰۵	کاهشی
پوشش جنگلی	۲۲۲/۱۷	۲۰۵/۰۳	کاهشی
مراتع	۲۲/۰۴	۲۵/۱۱	افزایشی
مناطق آبی	۴/۱۴	۲/۰۲	کاهشی

تغییرات کاربری اراضی حوضه قله رودخان در شکل ۵، نمایش داده شده است. با توجه به این نقشه و جدول ۲ که درصد و مساحت کاربری‌های تغییر یافته را نشان می‌دهد. شایان ذکر می‌باشد که بیشترین تغییر کاربری، به تبدیل کاربری رودخانه به کشاورزی مربوط می‌باشد که ۴۱ درصد تغییر داشته و حدود ۱/۶۰ کیلومتر مربع از مساحت رودخانه به زمین کشاورزی تبدیل شده است. به علاوه، ۲۹ درصد از مساحت رودخانه نیز به کاربری مسکونی تغییر یافته است که حدود ۰/۹۸ کیلومتر مربع می‌باشد. همچنین، بیشترین تغییرات بعدی مربوط به تبدیل کاربری کشاورزی به مناطق مسکونی است. به طوری که، ۲۳ درصد کاربری‌های کشاورزی به مناطق مسکونی تغییر یافته است که حدود ۳۳ کیلومتر مربع از مساحت کاربری کشاورزی را شامل می‌شود. کاربری جنگل در بین سال‌های مورد مطالعه تغییر چشم‌گیری نداشته است. ۶ درصد از جنگل‌ها به مرتع تبدیل شده، ۷ درصد به کشاورزی و ۱/۶ درصد نیز به کاربری مناطق مسکونی تغییر یافته است. در کل، تقریباً ۱۷ کیلومتر از مساحت جنگل در منطقه مورد مطالعه کاسته شده و به کاربری‌های دیگر تبدیل شده است.



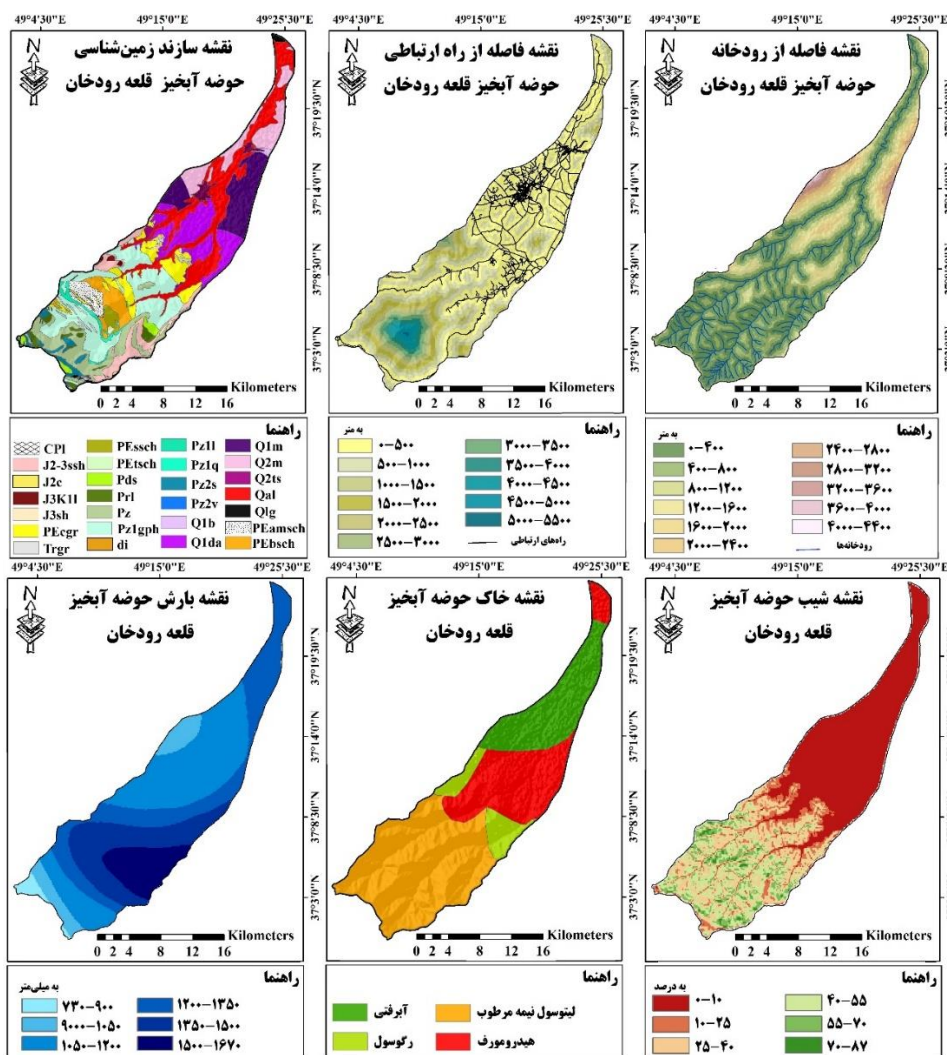
شکل ۵: نقشه تغییرات کاربری اراضی حوضه قلعه رودخان

جدول ۲: درصد و مساحت کاربری‌های تغییر یافته

کاربری‌های تغییر یافته	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	کاربری‌های تغییر یافته	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)
رودخانه به مناطق مسکونی	۲۹	۰/۹۸	کشاورزی به مناطق مسکونی	۲۳	۳۳
رودخانه به مرتع	۰/۷	۰/۰۴	کشاورزی به مرتع	۰/۲	۰/۲۲
رودخانه به کشاورزی	۴۱	۱/۶۱	مرتع به مناطق مسکونی	۲	۰/۵۱
مناطق مسکونی به کشاورزی	۱۱	۵	مرتع به کشاورزی	۴	۱/۲
جنگل به مرتع	۶	۸	جنگل به کشاورزی	۷	۵/۶۹

### پهنه‌بندی فرسایش خاک در حوضه قلعه رودخان

جهت پهنه‌بندی فرسایش با توجه به نقشه کاربری مربوط به دو دوره زمانی و نیز نقشه سایر معیارهای مطرح (شکل ۶)، ابتدا وزن‌دهی معیارها انجام گردید. در جدول ۳، مفروضات پایه‌ای (ماتریس همبستگی، ماتریس تضاد، انحراف معیار، میزان اطلاعات) و وزن نهایی حاصل از روش وزن‌دهی کرتیک در بین معیارهای مطرح در پهنه‌بندی فرسایش خاک حوضه، نمایش داده شده است. سپس با اعمال مراحل مختلف مدل بر روی نقشه‌ها (با توجه به ضرایب و فرمول‌های مربوطه)، نقشه پهنه‌بندی فرسایش حوضه قلعه رودخان در ۵ طبقه با فرسایش بسیار زیاد تا فرسایش بسیار کم، در دو بازه زمانی ۱۳۷۱ و ۱۴۰۲، استخراج گردید (شکل ۷ و ۸).



شکل ۶: نقشه سایر معیارهای مطرح در پهنه‌بندی فرسایش خاک حوضه قلعه‌رودخان

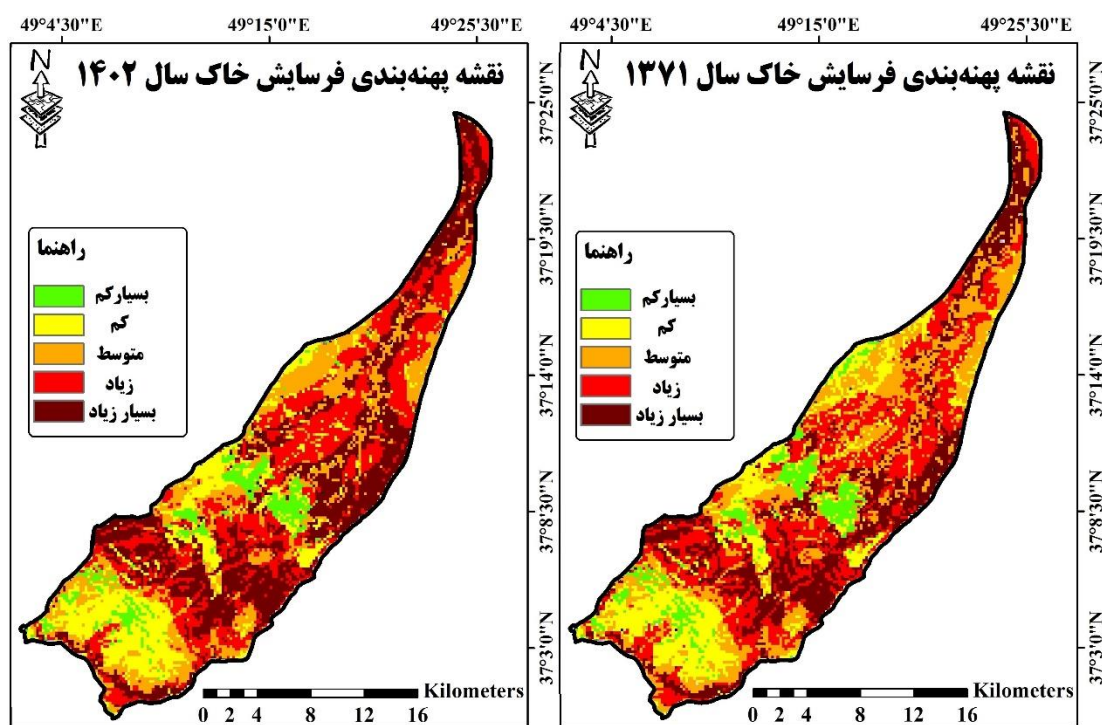
جدول ۳: مجموع تضاد، انحراف معیار، میزان اطلاعات و وزن نهایی معیارهای مطرح در پهنه‌بندی فرسایش حوضه قلعه‌رودخان

معیار	مجموع تضاد	انحراف معیار	میزان اطلاعات	وزن نهایی
شیب	۲/۹۵۲	۰/۲۸۷	۰/۸۴۷	۰/۱۶۴
لیتولوژی	۲/۴۴۶	۰/۳۰۵	۰/۷۴۶	۰/۱۴۵
کاربری	۲/۱۵۷	۰/۳۶۸	۰/۷۹۳	۰/۱۵۴
خاک	۲/۱۳۲	۰/۳۳۷	۰/۷۱۸	۰/۱۳۹
بارش	۲/۳۳۰	۰/۳۰۱	۰/۷۰۱	۰/۱۳۶
فاصله از رودخانه	۱/۷۸۲	۰/۳۹۹	۰/۷۱۱	۰/۱۳۸
فاصله از راه	۱/۸۳۹	۰/۳۴۱	۰/۶۲۷	۰/۱۲۱
شیب	۲/۹۰۴	۰/۲۸۷	۰/۸۳۳	۰/۱۶۰
لیتولوژی	۲/۴۱۵	۰/۳۰۵	۰/۷۳۶	۰/۱۴۲
کاربری	۲/۱۶۹	۰/۳۷۹	۰/۸۲۲	۰/۱۵۸
خاک	۲/۱۵۳	۰/۳۳۷	۰/۷۲۵	۰/۱۳۹
بارش	۲/۳۳۰	۰/۳۰۱	۰/۷۰۱	۰/۱۳۵
فاصله از رودخانه	۱/۸۰۳	۰/۳۹۹	۰/۷۱۹	۰/۱۳۸
فاصله از راه	۱/۸۸۹	۰/۳۴۱	۰/۶۴۴	۰/۱۲۴

با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۷۱

با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۰۳

با توجه به نتایج حاصله، معیارهای شیب، کاربری‌ارزی و لیتولوژی، به ترتیب؛ در سال ۱۳۷۱ با ضرایب وزنی ۰/۱۶۴، ۰/۱۵۴ و ۰/۱۴۵ و در سال ۱۴۰۲، با مقدار وزن ۰/۱۶۹، ۰/۱۵۸ و ۰/۱۴۲، بیشترین مقدار ضریب وزنی را در هر دو دوره مورد مطالعه دریافت کردند. همچنین، با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی فرسایش حوضه مورد مطالعه، مشاهده می‌گردد که در سال ۱۳۷۱، به ترتیب مساحت طبقه با پتانسیل فرسایش بسیار زیاد و زیاد، ۹۸/۹۲ و ۱۱۸/۱۹ کیلومترمربع بوده است. در سال ۱۴۰۲ نیز به ترتیب؛ ۱۳۲/۳۹ و ۱۱۹/۹۴ کیلومترمربع از سطح حوضه، دارای پتانسیل فرسایش بسیار زیاد و زیاد می‌باشد (جدول ۴).



شکل ۸: نقشه پهنه‌بندی فرسایش خاک سال ۱۴۰۲

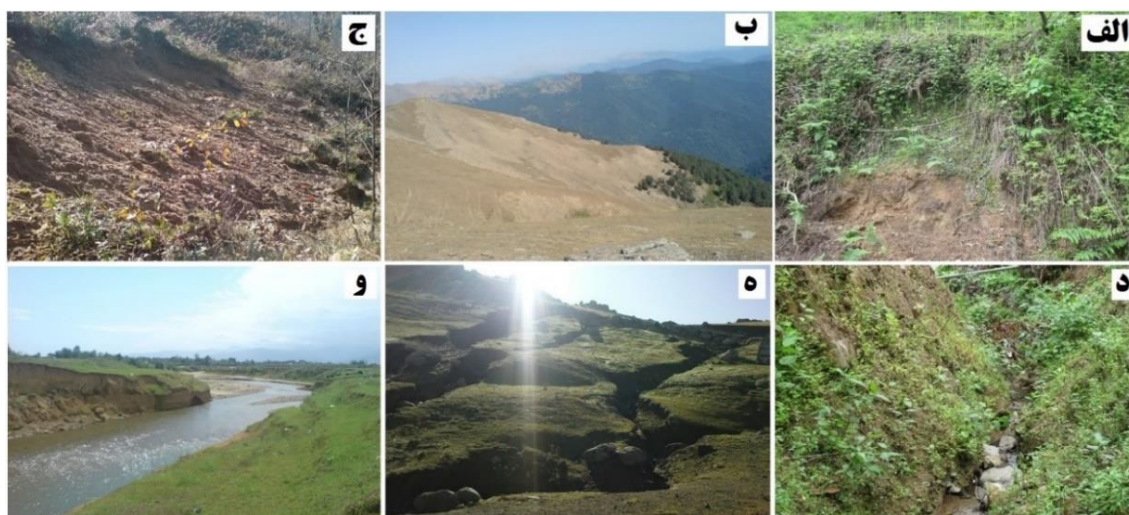
شکل ۷: نقشه پهنه‌بندی فرسایش خاک سال ۱۳۷۱

جدول ۴: اطلاعات طبقات فرسایش خاک حوضه قلعه‌رودخان در سال‌های ۱۳۷۱ و ۱۴۰۲

سال	طبقه فرسایش					
	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد	
۱۳۷۱ سال	مساحت به کیلومترمربع	۳۲/۷۶	۷۹/۳۴	۱۱۳/۱۸	۱۱۸/۱۹	۹۸/۹۲
	مساحت به درصد	۷/۴۱	۱۷/۹۳	۲۵/۵۸	۲۶/۷۲	۲۲/۳۶
۱۴۰۲ سال	مساحت به کیلومترمربع	۲۷/۳۵	۶۶/۴۳	۹۶/۲۸	۱۱۹/۹۴	۱۳۲/۳۹
	مساحت به درصد	۶/۱۸	۱۵/۰۲	۲۱/۷۶	۲۷/۱۱	۲۹/۹۳

با توجه به نتایج حاصله و مقدار مساحت طبقات فرسایش بسیار زیاد و زیاد، می‌توان بیان داشت که حوضه قلعه‌رودخان از پتانسیل فرسایش خاک بالایی برخوردار است. بررسی‌های میدانی به عمل آمده نیز مبین وجود انواع فرم‌های فرسایشی (ورقه‌ای یا سطحی، توده‌ای، شیاری، گالی، و کنار رودخانه‌ای) در سطح حوضه قلعه‌رودخان می‌باشد (شکل ۹). در جنگل‌های مخروطه، اراضی و زمین‌های مزروعی موجود بر روی شیب‌های تند و دیم‌زارهای منطقه، می‌توان فرسایش شیاری را مشاهده نمود. به علاوه، اکثراً در مراتع واقع در مناطق مرتفع و پر شیب حوضه (مناطق با ارتفاع بالای ۱۷۰۰ متر و با شیب بیش از ۴۰ درصد)، نیز فرسایش شیاری دیده می‌شود. در قسمت‌های شمالی حوضه (مراتع بالادست) به

علت پوشش مرتعی و شیب تند آبراهه‌ها و در کل مسیر رودخانه از دریالات تا خروجی (به ویژه در خرنش، ولی‌نایه، لیلیکی پردسر)، فرسایش کناری یا رودخانه‌ای رخ داده است و فقط در قسمت‌هایی از مسیر رودخانه که دارای پوشش نسبتاً متراکم جنگل هستند، به علت ضریب زبری بالای آبراهه‌ها مقدار این نوع فرسایش کمتر می‌باشد. همچنین شایان ذکر است که وجود دام‌مازاد و چرای مفرط دام باعث شده است که مراتع از حالت کلیماکس فاصله داشته باشد. این شرایط در مناطقی در مانند: انیون، سنگ بن، بیلاقات و مراتع مشاهده می‌گردد که به فرسایش سطحی، منجر شده است. به علت وجود پوشش گیاهی جنگلی، میزان و گستردگی فرسایش خندقی نسبت به فرسایش‌های شیاری و سطحی بسیار کمتر است. از مهمترین دلایل به وجود آمدن فرسایش خندقی در منطقه، یخ بستن و ذوب متناوب برف، وجود سازندهای حساس و چرای مفرط در این اراضی است. همچنین، در بخش‌های جنگلی و مرتعی حوضه (در مناطقی مانند: للکی پردسر، لیلی‌سرا و سفیدسنگ)، فرسایش توده‌ای دیده می‌شود.



شکل ۹: نمای از انواع فرسایش در سطح حوضه قلعه رودخان (الف، ب - فرسایش ورقه‌ای یا سطحی، ج - فرسایش توده‌ای، د - فرسایش شیاری، ه - فرسایش گالی، و - فرسایش کنار رودخانه‌ای)

به علاوه، نتایج مطالعه حاکی از افزایش یافتن مساحت کلاس با پتانسیل فرسایش بسیار زیاد و زیاد در سال ۱۴۰۲، نسبت به سال ۱۳۷۱، می‌باشد. در حوضه قلعه‌رودخان به طور واضحی می‌توان اثرات دخالت و دستکاری انسان در محیط طبیعی را مشاهده کرد که این فعالیت‌ها به طور عمده‌ای در جهت تخریب و آسیب‌زدن به محیط درحال پیشرفت هستند (شکل ۱۰). بنابراین بخش زیادی از افزایش وسعت پهنه‌های پرخطر از لحاظ فرسایش را می‌توان با فعالیت‌های انسانی و به ویژه تغییرات کاربری، در ارتباط دانست. مساحت وسیعی از حوضه تحت پوشش جنگلی و درختان انبوه قرار دارد که بسیاری از نقاط آن مورد تجاوز قاچاقچیان چوب قرار گرفته است. لذا، قطع بی‌رویه درختان در نواحی جنگلی در سال‌های اخیر شدت گرفته و این امر می‌تواند آسیب جدی به منطقه وارد نماید. به علاوه، جنگل‌نشینی و نزدیکی مناطق روستایی به نواحی جنگلی سبب شده تا روستاییان، دام‌های خود را در جنگل و مراتع رها کنند و دام از طریق خوردن نهال‌ها و سرشاخه‌ها و حرکت بر روی زمین و فشردگی آن موجبات تخریب جنگل را فراهم می‌آورد. بنابراین، چرای بی‌رویه دام، عدم توجه به ظرفیت چرا و غفلت از اثرات چرای سنگین بر این اراضی، علاوه بر تخریب پوشش گیاهی منطقه، به طور ثانویه سبب تشدید سایر مخاطرات محیطی، به ویژه فرسایش می‌گردد. به علاوه، تبدیل جنگل‌ها به دیم‌زار از بدترین اقدامات انجام شده توسط بشر در تغییر اکوسیستم و یکی از عوامل اصلی تخریب جنگل‌های محدوده می‌باشد که در نهایت به فرسایش خاک منجر می‌گردد.

همچنین؛ با توجه به اینکه، بخش زیادی از اراضی حوضه قلعه رودخان، تحت کشت چای است و در باغات چای عمدتاً کشت عمودی و در جهت شیب را شاهد هستیم. این امر سبب فرسایش و لغزش شده و وقوع جریانات سیلابی را تشدید می‌کند، بدین صورت که با کشت در جهت شیب به تدریج، مواد مغذی درون خاک شسته شده و قدرت حاصل خیزی خاک پس از چند سال از دست رفته و احتمال فرسایش بیشتر می‌شود. به علاوه، در سطح حوضه شاهد تبدیل پوشش جنگلی به اراضی زراعی هستیم. بنابراین در این رابطه، جنگل تراشی از یک سو و از سوی دیگر تردد ماشین‌آلات و انجام عملیات خاک‌ورزی در سیستم‌های کشاورزی، کوددهی و برداشت محصول در زمین‌هایی که پوشش گیاهی خود را از دست داده‌اند، خصوصیات مختلف خاک را کم و بیش تحت تأثیر قرار می‌دهند و باعث بر هم خوردن تعادل بین آن‌ها می‌شود. این امر، در مناطق پر شیب کوهستانی علاوه بر فرسایش خاک، به کاهش میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی، بروز سیلاب‌های مخرب نیز منجر خواهد شد و کیفیت پویای خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از سوی دیگر، در سال‌های اخیر تبدیل اراضی زراعی و جنگلی به کاربری مسکونی و ساخت‌وسازهای بیش از حد، باعث از بین رفتن پوشش گیاهی و تخریب بستر طبیعی منطقه شده است. پوشش گیاهی طبیعی، با نگهداشت قطرات باران به کاهش انرژی جنبشی باران، افزایش پایداری خاک و محافظت در برابر فرسایش، منجر می‌شود. ولی، با تغییر کاربری جنگلی و از بین رفتن تراکم پوشش گیاهی چنین مکانیسمی از بین رفته و پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک افزایش می‌یابد. افزون بر این با نظر به اینکه پوشش جنگلی نقش مهمی را در بخشی از چرخه هیدرولوژیک از طریق جذب بارش‌ها، توزیع زمانی آن‌ها، کاهش سرعت برخورد قطرات باران، افزایش نفوذپذیری و کاهش رواناب ایفا می‌کند. مسلماً با کاهش سطح پوشش جنگلی، پتانسیل وقوع سیلاب نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۱۰: الف- تغییر کاربری اراضی و ساخت‌وساز بی‌رویه، روستای علیسرا، ب- تجاوز به حریم منابع طبیعی توسط روستاییان و کشت عمودی توسط انسان، روستای حلاج محله، ج- سوزاندن بقایای محصولات کشاورزی، روستای بوبین، د- خطر زمین لغزش و فرسایش به دلیل زیربری و از بین بردن پاشنه دامنه در اثر فعالیت‌های جاده‌سازی در روستای گوراب پس

### نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه نشان‌دهنده کاهش مساحت پوشش جنگلی در حوضه قلعه رودخان، در طول بازه مطالعاتی می‌باشد. به طوری که حدود ۱۷۰۰ هکتار، از اراضی جنگلی حوضه کاسته شده و به کاربری‌های دیگر تبدیل شده است. به طور عمده، سطح وسیعی از اراضی جنگلی حوضه به اراضی غیرجنگلی همانند کشاورزی، مراتع و به ویژه؛ مسکونی تبدیل شده‌اند که

نشان‌دهنده وضعیت نه چندان مناسب حفاظت از منطقه است. حسنی‌مهر (۱۳۹۲)، نقره عبداللهی و نصیری (۱۳۹۹) و علیزاده‌دروبی و همکاران (۱۳۹۹)، کاهش مساحت پوشش جنگلی و افزایش مناطق مسکونی استان گیلان (از جمله شهرستان فومن که حوضه قلعه‌رودخان در آن جای دارد)، را در مطالعات خود تأیید کرده‌اند. با عنایت به اینکه نرخ تبدیل کاربری جنگلی به مناطق مسکونی در حوضه نسبتاً بالا بوده است، در درجه اول، افزایش شدید رشد جمعیت روستاها و شهرها و نیاز آن‌ها برای مسکن و عوامل اقتصادی را بایستی دلیل اصلی تخریب اراضی جنگلی و تبدیل به نقاط مسکونی دانست. ولی همانطور که، باد آهنگ و همکاران (۱۴۰۰)، نیز بدان اشاره داشته‌اند، توسعه گردشگری نیز به تغییر کاربری اراضی به طور عام و تغییر کاربری اراضی جنگلی به طور خاص می‌انجامد. حسام و اروچی (۱۳۹۸)، نیز بیان داشته‌اند، بر اساس نظر کارشناسان منطقه قلعه رودخان استان گیلان از نظر سطح جذابیت ملی، در سطح بالایی قرار دارند. لذا، کاهش وسعت اراضی جنگلی و بخشی از رشد تقریباً دو برابری مناطق مسکونی شهری و روستایی حوضه در طی سال‌های مورد مطالعه را باید نتیجه توسعه ناپایدار گردشگری دانست. بنابراین، ساخت‌وسازهای غیرمجاز در حریم شهرها و روستاهای حوضه از جمله پدیده‌هایی است که به وفور در منطقه پدیدار گشته و در زمان حاضر بر شدت آن افزوده شده است و این معضل فراگیر اثرات مخربی نظیر تخریب سیمای کالبدی اراضی جنگلی، از بین رفتن منابع، تعرض به حریم رودخانه‌ها را در حوضه به دنبال داشته است. به علاوه به دنبال افزایش نقاط مسکونی و ضرورت دسترسی به راه‌های ارتباطی، در جریان احداث جاده، سطح وسیعی از عرصه جنگل‌ها و مراتع در طول و حاشیه مسیر آن تخریب شده است و به دنبال، تخریب پوشش گیاهی، هیدرولوژی، خاک و شکل طبیعی مناطق جنگلی تغییر یافته و به برهم زدن تعادل طبیعی مناطق، افزایش و تمرکز رواناب سطحی بر روی مسیر و در نتیجه افزایش فرسایش و تولید رسوب در این مناطق منجر شده است. مقایسه نقشه فاصله از راه ارتباطی با نقشه خطر فرسایش حوضه نیز مؤید این امر می‌باشد که مناطق با پتانسیل فرسایش زیاد در فواصل نزدیک به جاده (از صفر تا حداکثر ۱۰۰۰ متری)، قرار دارند. نقره علیزاده دروپی و همکاران (۱۳۹۹)، نیز در پژوهشی که به منظور اولویت‌بندی عوامل تخریب جنگل‌های غرب گیلان (از جمله شهرستان فومن)، انجام داده‌اند، به این نتیجه دست یافته‌اند که سطح جنگل‌های منطقه مورد مطالعه در طول ۲۴ سال (سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۰)، کاهش یافته است و از بین عوامل بررسی شده فاصله از مناطق مسکونی و راه ارتباطی بیشترین همبستگی را با سطح تخریب نشان دادند.

با توجه به نقشه پهنه‌بندی فرسایش حاصل از به کارگیری روش ماباک نیز به ترتیب؛ مساحت طبقه با پتانسیل فرسایش بسیار زیاد و زیاد از ۲۲/۳۶ و ۲۶/۷۲ درصد در سال ۱۳۷۱ به ۲۹/۹۳ و ۲۷/۱۱ درصد در سال ۱۴۰۲، افزایش پیدا کرده است. می‌توان اذعان داشت با توجه به روند تغییرات کاربری اراضی در طی بازه زمانی مورد مطالعه، کاهش پوشش جنگلی و تبدیل آن به مناطق کشاورزی، مراتع و اراضی مسکونی و همچنین، تجاوز به حریم و بستر رودخانه به صورت تغییرات کاربری رودخانه به کشاورزی و مسکونی، در کنار سایر عوامل طبیعی محدوده، از قبیل؛ وجود سازندهای حساس و فرسایش‌پذیر (مانند: رسوبات یا نهشته‌های دریایی جوان، آبرفت‌های تحکیم نشده دشت سیلابی و تراس‌های سطح بالا، رسوبات سیلابی و رودخانه‌ای، شیست سبز، شیست آملی بول بریده شده سیاه تا خاکستری تیره، شن‌های رودخانه‌ای جدید و ماسه خاکستری روشن با بستر ضخیم متاآرنیت (ماسه‌سنگ رسوبی)، رسوبات ضخیم تا متوسط از ماسه‌سنگ و رسوبات آواری، تناوب ماسه‌سنگ رسوبی خاکستری متوسط تا ضخیم - سیلستون و شیل با اولیستولیت و بقایای گیاهی، فیلیت سبز زیتونی و میکاشیست و ماسه‌سنگ)، شیب زیاد (به ویژه؛ شیب‌های ۱۵ تا ۵۵ درصد)، بارندگی مناسب (بارش بین ۷۳۰ تا ۱۶۷۰ میلی‌متری حوضه) و فراوانی شبکه آبراهه (رودخانه اصلی فوشه یا قلعه‌رودخان که از اتصال دو شاخه حیدرآلات و نظرآلات به وجود آمده، به همراه آبراهه‌های فرعی دیگری که بعد از عبور از جنگل‌های بکر فوشه به آن می‌پیوندند)، در افزایش پتانسیل فرسایش خاک حوضه قلعه رودخان بیشترین نقش را داشته است.

با توجه به شدت تخریب در منطقه مورد مطالعه هر چه زودتر بایستی اقدامات مدیریتی لازم در جهت جلوگیری و کاهش خسارات بیشتر به جنگل‌های منطقه، همچنین کاهش فرسایش انجام شود. در این راستا، شناسنامه‌دار کردن و تعیین دقیق

حدود کاربری حفاظتی اراضی جنگلی، جلوگیری از گسترش غیراصولی روستاها و ممانعت قضایی از تجاوز به حریم منابع طبیعی در کاهش سطوح تخریب در جنگل‌ها، تشدید مجازات متجاوزین بر عرصه‌های منابع طبیعی و افراد و ارگان‌هایی که مبادرت به تخریب جنگل‌ها می‌کنند، کنترل چرای دام‌ها در جنگل‌ها از طریق کمک به تأمین نیازمندی‌های اولیه دامداران (نظیر تأمین علوفه) و تشویق آن‌ها به دامداری ساکن و کشت علوفه، ضروری به نظر می‌رسد. به علاوه، نیاز است با آموزش صحیح روش‌های حفاظت از جنگل در میان مردم (به ویژه اهالی بومی منطقه)، مهارت‌های حرفه‌ای آنان تقویت شود و می‌توان با تصویر کشیدن آثار تخریب جنگل در بلندمدت بر معیشت خانوارهای روستایی و محیط زیست به تقویت نگرش آنان در راستای انجام رفتارهای دوستدارانه در محیط زیست اثر گذاشت. همچنین، بایستی در نظر داشت، تغییر کاربری جنگل‌ها به مناطق تفریحی و گردشگری و گسیل گردشگران به این مناطق به همان اندازه که قطع درختان به جنگل‌ها آسیب می‌رساند، خطرناک است. نباید با اجرای طرح‌های گردشگری در طبیعت و جنگل مخالفت کرد، ولی توسعه گردشگری باید به نحوی انجام پذیرد که جنگل نیز، حفظ گردد. در نهایت بایستی اذعان داشت که استفاده از نقشه تغییرات کاربری اراضی و نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش به دست آمده در مطالعه حاضر، به عنوان یک راهنمای کاربردی به منظور آگاهی از وضعیت تخریب جنگل‌های منطقه و پتانسیل فرسایش حوضه، می‌باشد که می‌تواند در مدیریت و بهبود وضعیت جنگل‌های منطقه و اعمال اقدامات کنترلی و مدیریتی در راستای کاهش فرسایش در پهنه‌های با پتانسیل فرسایش‌پذیری زیاد، اثرگذار باشد. در ادامه جهت جلوگیری از تخریب جنگل‌ها و فرسایش خاک و انتقال رسوبات به خارج از منطقه پیشنهاد می‌گردد

۱- سازمان منابع طبیعی جنگل‌های منطقه را ضمن شناسنامه دار نمودن طی مصوبه ایی جهت حفظ و حراست از پوشش گیاهی و تخریب جنگل‌ها طبق شرایطی به بومیان منطقه که مالک عرفی جنگل‌ها هستند واگذار نموده تا به نحو احسن از جنگل‌ها محافظت نمایند و منابع طبیعی نیز ناظر بر کار بوده واز توسعه اراضی کشاورزی و ساخت و ساز در منطقه جنگلی ممانعت بعمل آورد.

۲- بخش آبخیز داری جهاد کشاورزی در قسمتهایی که دارای شیب زیاد بوده و با بارندگی مستمر رانش و فرسایش در منطقه اتفاق می افتد و یا سریع منجر به طغیان رودخانه و دره ها می شود طرح آبخیز داری را اجرا نماید .

۳- سازمان آبیاری منطقه نیز طرح جامع ایی برای رفع تصرفات غیر مجاز حریم رودخانه ها داشته و به هیچ عنوان اجازه ساخت و ساز و تصرف حریم رودخانه ها را ندهد.

## منابع

- ارخی، ص.، ۱۴۰۱. ارزیابی تاثیر تغییرات کاربری اراضی و بارش بر فرسایش و رسوب با استفاده از سنجش از دور و GIS (مطالعه موردی: حوضه پایین دست سد ایلام)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱۱، شماره ۱، صص ۶۳-۸۱
- اسمعیل پور، م.، لاله پور، م.، ممقانی، سمانه.، ۱۴۰۱. ارزیابی میزان آسیب‌پذیری مسکن شهر تبریز در برابر مخاطره زلزله (مطالعه موردی: منطقه ۱۰ شهرداری، نشریه علمی جغرافیای و برنامه‌ریزی، دوره ۲۶، شماره ۸۲، صص ۲۷-۴۸).
- اصغری سراسکانرود، ص.، محمدنژاد، و.، امامی، هادی.، ۱۳۹۸. بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های پیکسل پایه و شی گرا و تحلیل اثرات تغییر کاربری ها بر فرسایش خاک (مطالعه موردی: شهرستان مراغه)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۸، شماره ۱، صص ۱۶۰-۱۷۸.
- اصغری سراسکانرود، ص.، ناصری، الف.، ۱۳۹۹. استخراج نقشه کاربری اراضی شهرستان سوسنگرد با استفاده از الگوریتم‌های پیکسل پایه و شی گرا، فضای جغرافیایی، جلد ۲۰، شماره ۶۹، صص ۷۷-۹۵
- ایلدرمی، ع.، قاسمی، ف.، بهمنی، ن.، ۱۳۹۴. بررسی نقش عوامل اقتصادی-اجتماعی در تخریب زیست‌بوم جنگل‌های زاگرس (منطقه کاکارضا لرستان)، تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، دوره ۱۳، شماره ۲، صص ۱۴۹-۱۴۰.

- بادآهنگ گله‌بچه، الف، عابدی سروستانی، الف، محبوبی، م. ر. ۱۳۹۷. بررسی نگرش روستاییان حاشیه جنگل نسبت به تغییر کاربری اراضی جنگلی (مطالعه موردی استان گلستان)، مدیریت اراضی، دوره ۶، شماره ۲، صص ۱۴۳-۱۵۱.
- بادآهنگ گله‌بچه، الف، عابدی سروستانی، الف، محبوبی، م. ر. ۱۴۰۰. دیدگاه روستاییان حاشیه جنگل درباره محیط‌زیست و ارتباط آن با وضعیت جنگل‌ها نمونه پژوهش: استان گلستان. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۳۲، شماره ۲، صص ۶۷-۸۲.
- پرویزی، ی.، بیات، ر.، عربخدری، م.، فاتحی، ش.، ۱۳۹۹. تعیین عوامل مؤثر بر سیمای فرسایش خاک در دیم‌زارهای استان کرمانشاه بر پایه شبیه‌سازی میدانی بارندگی، مجله علوم ومهندسی آبخیزداری ایران، جلد ۱۴، شماره ۳۹، صص ۷۰-۸۲.
- تقی‌پور، ص.، قدس‌خواه دریایی، م.، حیدری صفری کوچی، الف.، ۱۳۹۹. بررسی تغییرات پوشش جنگل و مرتع زیست‌بوم ارسباران طی ۳۴ سال با کاربرد تکنیک سنجش از دور، حفاظت زیست بوم گیاهان. دوره ۸، شماره ۱۷، صص ۱۳۹-۱۵۶.
- جعفریان، ن.، کریمی، الف.، ۱۴۰۰. ارزیابی میزان تخریب اراضی طبیعی با تکیه بر تغییرات کاربری اراضی در مناطق جنگلی زاگرس، مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، دوره ۱، شماره ۲، صص ۴۷-۶۱.
- حسام، م.، اروچی، ح.، ۱۳۹۸. شناسایی و ارزیابی کانون‌های بوم‌گردی در استان گیلان، برنامه‌ریزی و توسعه گردشگری، سال ۸، شماره ۳۱، صص ۹۷-۱۱۴.
- حسنی‌مهر، ص.، ۱۳۹۲. بازشناسی استفاده از پتانسیل جنگل‌های گیلان با نگرش توسعه، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره ۴۵، شماره ۱، صص ۱۹۸-۱۸۵.
- رضائی‌مقدم، م. ح.، مختاری، د.، سمندر، ن.، ۱۳۹۹. استخراج و ارزیابی تغییرات کاربری اراضی با به‌کارگیری الگوریتم SVM با کرنل چندجمله‌ای و روش حداکثر احتمال در محدوده حوضه آبریز اوجان‌چای بستان‌آباد، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۹، شماره ۴، صص ۴۴-۲۵.
- عابدینی، م.، بهرامی‌نیا قوجه‌بیگلو، ف.، مصطفی‌زاده، ر.، پاسبان، الف. ح.، ۱۴۰۲. بررسی تاثیر تغییرات کاربری اراضی در یک دوره بیست سال بر میزان فرسایش و رسوب حوضه رضی‌چای، جغرافیا و مطالعات محیطی، دوره ۱۲، شماره ۴۵، صص ۱۳۳-۱۱۴.
- عبداللهی، س.، نصیری، وحید.، ۱۳۹۹. آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات سطح جنگل‌های استان گیلان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل ژئومد، پژوهش و فناوری محیط زیست، دوره ۵، شماره ۷، صص ۱۴۱-۱۵۱.
- فیضی‌زاده، ب.، جعفری، ف.، نظم‌فر، ح.، ۱۳۸۷. کاربرد داده‌های سنجش از دور در آشکارسازی تغییرات کاربری‌های اراضی شهری (مطالعه موردی فضای سبز شهر تبریز)، هنرهای زیبا، شماره ۳۴، صص ۲۴-۱۷.
- فیضی‌زاده، ب.، خدمت‌زاده، ع.، نیکجو، م. ر.، ۱۳۹۷. ریز طبقه‌بندی اراضی باغی و زراعی با استفاده از تکنیک‌های پردازش شی پایه والگوریتم‌های فازی با هدف تخمین سطح زیر کشت، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۱۸، شماره ۴۸، صص ۲۰۱-۲۱۶.
- محمودآبادی، س.، حلی‌ساز، الف.، محمدی کنگرانی، ح.، غلامی، ح. (۱۳۹۹). پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در دشت سیرجان با استفاده از زنجیره مارکوف-سلولار، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۹، شماره ۱، صص ۱۱۶-۱۰۲.
- مددی، ع.، فعال‌نذیری، م.، پیروزی، الف.، ۱۴۰۱. ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر فرسایش خاک در حوضه بالادست سد یامچی اردبیل، با استفاده از الگوریتم تصمیم‌گیری چند معیاره ARAS و روش‌های نوین سنجش از دور، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۱۲، شماره ۱، صص ۵۲-۷۰.
- معتمدی‌راد، م.، زنگنه اسدی، م. ع.، عجم، ح.، ۱۴۰۲. بررسی میزان فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از مدل (RUSLE) و روش پسیاک اصلاح شده (مطالعه موردی: حوضه آبریز کال اسماعیل دره شهرستان شاهرود استان سمنان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱۱، شماره ۴، صص ۱۶۵-۱۴۷.
- نقره‌علیزاده درویی، ب.، قدس‌خواه دریایی، م.، حیدری صفری کوچی، الف.، ۱۳۹۹. اولویت‌بندی عوامل تخریب جنگل‌های غرب گیلان در یک بازه زمانی ۲۴ ساله با تکنیک سنجش از دور، جغرافیای طبیعی، دوره ۱۳، شماره ۴۹، صص ۲۳-۳۴.

- وارسته خانلری، ز.، گلچین، الف.، موسوی کوپر، ع.، علمداری، پ.، ۱۳۹۸. تغییر ویژگی‌های بیولوژیکی یک خاک جنگلی پس از تبدیل به شالیزار و تعیین حساس‌ترین ویژگی به تغییر کاربری اراضی، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۲۶، شماره ۴، صص ۲۸۲-۲۶۹.
- Aher, P., Adinarayana, J., & Gorantiwar, S.D., 2013. Prioritization of watersheds using multi-criteria evaluation through the fuzzy analytical hierarchy process, *Agric Eng Int CIGR J*, 15(1), 11-1.
- Alinezhad, A., & Khalili, J., 2019. *New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM)*. International Series in Operations Research & Management Science, 277, Springer, Cham.
- Hoseini, H., 2019. Use fuzzy interface systems to optimize land suitability evaluation for surface and trickle irrigation, *Information Processing in Agriculture*, 6 (1), 11-19.
- Hussain, S., Mubeen, M., Akram, W., Ahmad, A., Habib-Ur-Rahman, M., Ghaffar, A., Amin, A., Awais, M., Umar Farid, H., Farooq, A., & Nasim, W., 2020. Study of land cover / land use changes using RS and GIS : a case study of Multan district, Pakistan, *Environ Monit Assess*, 192(1), 1-15.
- Jalayer, S., Sharifi, A., Abbasi-moghadam, D., Tariq, A., & Qin, S. 2022., *Modeling and Predicting Land Use Land Cover Spatiotemporal Changes: A Case Study*, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15, 5496-5513.
- Kenneth, M., & Gunter, M. 2012., *Monitoring Land-Use Change in Nakuru Kenya Using Multi-Sensor Satellite Data*, *advance remote sensing*, 1, 74-78.
- Kidane, M., Bezie, A., Kesete, N., & Tolessa, T., 2019. The impact of land use and land cover (LULC) dynamics on soil erosion and sediment yield in Ethiopia. *Heliyon*, 5 (12), 1-13.
- Kogo, B.K., Kumar, L., & Koech R., 2020. Impact of Land Use/Cover Changes on Soil Erosion in Western Kenya. *Sustainability*, 12, 9740, 1-17.
- Li, M., Li, T., Zhu, L., Meadows, M.E., Zhu, W., & Zhang, S., 2021. Effect of Land Use Change on Gully Erosion Density in the Black Soil Region of Northeast China from 1965 to 2015: A Case Study of the Kedong County. *Front. Environ. Sci*, 9, 652-933.
- Masselink, R., Temme, A.J.A.M., Giménez, R., Casali, J., & Keesstra, S.D., 2017. Assessing hillslope-channel connectivity in an agricultural catchment using rare-earth oxide tracers and random forests models, *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 43 (1), 19-39.
- Nekhay, O., Arriaza, M., & Boerboom, L., 2009. Evaluation of erosion risk using Analytic Network Process and GIS: a case study from Spanish mountain olive plantations. *J Environ Manag*, 90(10), 3091-3104.
- Shataee, Sh., & Abdi, O., 2007. Land Cover Mapping in Mountainous Lands of Zagros Using ETM+ Data (Case Study: Sorkhab Watershed, Lorestan Province), *J. Agri. Sci. Natural Resources*, 14 (1), 129-139.
- Tachizuka, S., Hung, T., Ochi, S., & Yasuoka, Y., 2002. Monitoring of Long-term Urban Expansion by the use of Remote Sensing Image from Different Sensor, *Asian conference on Remote sensing*, Kathmandu, Nepal, November 2002, 25 - 29.
- Wang, J., Wei, G., Wei, C., & Wei, Y., 2020. MABAC method for multiple attribute group decision making under q-rung orthopair fuzzy environment, *Defence Technology*, 16 (1), 208-216.
- Wessels, K.J., Prince, S.D., Frost, P.E., & Van, Z.D., 2004. Assessing the effects of human induced land degradation in the former homelands of northern South Africa with a 1 km AVHRR NDVI time-series. *Journal of Remote Sensing Environment*, 9 (1), 47-67
- Xiaolu, S., & Cheng, B., 2011. Change Detection Using Change Vector Analysis from Landsat TM Images in Wuhan, *Procedia Environmental Sciences*, 11 (1), 238 - 244.

- Zhang, X., WU, B., Zeng, Y., Yan, N., & Yuan, C., 2010. Identification of priority areas for controlling soil erosion. *Catena*, 83, 76–86.
- Zhu, H., & Liu, F., 2021. A group-decision-making framework for evaluating urban flood resilience: a case study in yangtze river. *Sustain.*13(2), 1–16.