

تحلیل همبستگی فضایی تغییرات پوشش گیاهی با ارتفاع رواناب در حوضه آبریز گرگانرود

عزت اله قنوتی* - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی.
محمدعلی پارسا برومند - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی.
علی احمد آبادی - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۲۱ تأیید نهایی: ۱۴۰۲/۰۸/۱۲

چکیده

در سال‌های اخیر پدیده سیل یکی از رویدادهای هیدرواقليمی و از جدی‌ترین مخاطرات طبیعی بوده که جوامع بشری را مورد تهدید قرار داده است. بهره‌برداری بی‌رویه از جنگل‌ها و مراتع و تغییر کاربری اراضی و تبدیل آن‌ها به اراضی کشاورزی نامناسب به همراه ساخت بی‌رویه مناطق مسکونی، سبب افزایش سیلاب شده است. بنابراین پدیده سیلاب اهمیت بسزایی دارد. از این رو پژوهش حاضر با هدف تحلیل همبستگی فضایی تغییرات پوشش گیاهی با ارتفاع رواناب در حوضه آبریز گرگانرود در یک بازه ۲۱ ساله انجام گرفته است. بدین منظور از داده‌های شیب، نوع خاک، واحد اراضی و کاربری اراضی برای تهیه واحد پاسخ هیدرولوژیک و تصاویر لندست سال‌های مختلف (۱۹۹۰-۲۰۰۰-۲۰۲۱) جهت بررسی تغییرات تراکم پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI در هر یک از واحدهای پاسخ هیدرولوژیک استفاده شده است. در این راستا ۷۲ واحد پاسخ هیدرولوژیک به عنوان واحد پایه در محدوده مطالعاتی تهیه شد. همچنین ارتفاع رواناب با روش SCS در هر یک از واحدهای پاسخ هیدرولوژیک با استفاده از معیارهای ارتفاع بارندگی، گروه هیدرولوژیکی خاک، پوشش گیاهی، نوع کاربری و بافت خاک محاسبه شد به طوری که شهرهای آق‌قلا، سیمین شهر و گمیش تپه و رودخانه گرگانرود در ارتفاع رواناب زیاد قرار دارند. نتایج تحلیل ۷۸ درصد همبستگی فضایی بین ارتفاع رواناب با تراکم پوشش گیاهی را نشان داد که اراضی کشاورزی و باغی در پهنه‌های دشتی افزایش چشمگیری داشته و در مقابل تراکم پوشش جنگلی و مرتعی در بازه ۲۱ ساله کاهش یافته است. که این عامل ناشی از فعالیت‌های انسانی از جمله تخریب جنگل‌ها و مراتع و به زیرکشت بردن این اراضی و توسعه شهرها را ارتفاع رواناب افزایش یافته است. در حالیکه در ارتفاعات به علت نفوذ بیشتر با وجود کاهش تراکم پوشش گیاهی ارتفاع رواناب نیز کم است.

واژگان کلیدی: سیلاب، حوضه آبریز گرگانرود، واحد پاسخ هیدرولوژیک، NDVI، SCS.

مقدمه

تغییرات آب و هوایی تأثیر قابل توجهی بر روی زمین گذاشته است (میلر و هوتچینز^۱، ۲۰۱۷، ۳۵۰)، از جمله آن موجب افزایش تغییر چرخه هیدرولوژیکی می‌شود و احتمال وقوع حوادث شدید آب و هوایی مانند خشکسالی و سیل را افزایش می‌دهد (بیتس^۲، ۲۰۰۸، ۸۶). سیل یکی از مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی با فراوانی وقوع بالا در سراسر جهان است و تأثیر بسیار زیادی بر جمعیت می‌گذارد (آکوکو^۳ و همکاران، ۲۰۲۰، ۱۲۰؛ ژو^۴ و همکاران، ۲۰۱۶، ۲۳۷۳). به همین خاطر اخیراً در مناطقی که سابقه وقوع چنین رویدادهایی مانند بارندگی شدید و به دنبال آن سیلاب نداشته، افزایش یافته است (هتیارچی^۵ و همکاران، ۲۰۱۸، ۲۰۵۰). تغییر کاربری ناشی از شهرنشینی سبب افزایش حساسیت به سیل شده است (کاسپرسن^۶ و همکاران، ۲۰۱۵، ۲۲). زیرا شهرنشینی تا حد زیادی با از بین بردن خاک و پوشش گیاهی همراه است که عوامل مهمی برای محدود کردن رواناب سطحی هستند (پرادهان و پوخال^۷، ۲۰۱۷، ۶۰). در این راستا در سال‌های اخیر مطالعات داخلی و خارجی بسیاری انجام شده است. بسیاری از رودخانه‌ها در آمریکا (کورکی فاکس^۸ و همکاران، ۲۰۲۲)، برزیل (ورلیتیس^۹ و همکاران، ۲۰۲۲) و چین (گوان و همکاران، ۲۰۲۱) با مخاطره سیلاب درگیر هستند. لاول^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی به تجزیه و تحلیل مدل استخراج میزان سیلاب و عوامل مؤثر بر سیلاب در شهر پرلیس^{۱۱} مالزی پرداختند. آنها با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، سه عامل زمین‌شناسی، کاربری اراضی و شیب را به عنوان مهم‌ترین عوامل ایجاد سیلاب منطقه مورد مطالعه معرفی کردند. ساتیشکومار^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی میزان رواناب شمال هند را با استفاده از روش SCS-CN در محیط جی‌آی‌اس برآورد کردند. بر اساس نتایج به دست آمده آن‌ها کاربرد این مدل و روش را برای تخمین رواناب در منطقه مورد مطالعه خود تأیید نمودند. ساویدو^{۱۳} (۲۰۱۸) در پژوهشی به مطالعه ساختار واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی^{۱۴} جهت برآورد منحنی رواناب^{۱۵} با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی^{۱۶} پرداختند. ایشان جهت استخراج واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی از سه ویژگی نفوذپذیری خاک، پوشش سطح زمین و ظرفیت زهکشی رودخانه با توجه به ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی حوضه استفاده کردند. کشور ما نیز در چند سال اخیر به تناوب شاهد وقوع سیلاب بوده است. صفاری و همکاران (۱۳۹۰)، با ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر خطر سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی در منطقه سه تهران پرداختند. در پژوهش انجام شده حریم مسیل‌های رودخانه، ساختار، جهت و عرض شبکه ارتباطی، کاربری زمین، ترکیب بافت فرسوده و جدید، تراکم ساختمان‌ها و توان کلی دفع سیلاب منطقه را به عنوان معیارهای لازم برای ارزیابی آسیب‌پذیری در مقابل آبدی بیشینه حوضه برای دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله مورد استفاده قرار دادند. قنواتی و همکاران (۱۳۹۱)، با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی مربوط به شیب، انحنا پروفیل و پلانیمتریک، ارتفاع، تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه، لندفرم‌ها و کاربری اراضی

1. Miller & Hutchins

2. Bates

3. Akukwe

4. Zhao

5. Hettiarachchi

6. Kaspersen

7. Pradhan & Pokharel

8. Kurki-Fox

9. Vourlitis

10. Lawal

11. Perlise

12. Satheeshkumar

13. Savvidou

14. HRU

15. CN

16. GIS

، نواحی با بیشترین خطر رخداد سیلاب در حوضه فرحزاد را با استفاده از مدل فازی تعیین نمودند. نتایج نشان داد، نواحی با خطر سیل بسیار بالا در پایین دست حوضه و منطبق بر دره‌ی اصلی فرحزاد بودند که این نواحی شیب‌های ۲۰-۴۰ درصد را شامل می‌شود. ناطقی و همکاران (۱۳۹۶)، نتایج پایش تغییرات پوشش گیاهی در جزیره قشم با استفاده از تصاویر لندست در یک دوره ۱۳ ساله (۱۳۹۳-۱۳۸۰) نشان داد که در طول بازه مطالعاتی ۲۱ درصد مساحت جنگل‌های حرا و ۶۰ درصد اراضی کشاورزی و پوشش طبیعی داخل جزیره افزوده شده است. همچنین نتایج پژوهش نیک‌پور و همکاران (۱۳۹۷)، افزایش پوشش گیاهی شاخص تفاضل گیاهی نرمال شده^۱ در استان ایلام در یک دوره ۱۷ ساله (۲۰۱۶-۲۰۰۰) به دلیل افزایش بارندگی و رطوبت و افزایش کشاورزی وابسته به سد سیمره و رودخانه‌های پرآب می‌باشد. آنان نتیجه گرفتند تجزیه و تحلیل روند سری‌های زمانی شاخص تفاضل گیاهی نرمال شده برای مناطق تغییر پوشش گیاهی و تشخیص تخریب و بازسازی، بسیار مفید و کاربردی است. فرزین و علی زاده صنمی (۱۳۹۶) در پژوهشی در رودخانه گرگان رود، ایستگاه هیدرومتری تمر با استفاده از نرم‌افزارهای جی‌آی‌اس^۲، ال‌ویس^۳، اسمادا^۴ نشان داد که اقلیم منطقه در حال تغییر به سوی آب‌وهوای گرم و خشک می‌باشد که از اثرات آن می‌توان به کاهش باران و افزایش دما، افزایش شدت بارش و افزایش دبی‌های اوج منطقه اشاره کرد. با بررسی سیلاب‌های حوضه آبریز تمر مشخص گردید بیشترین سیلاب‌ها مربوط به ماه‌های آبان، اسفند، فروردین و اردیبهشت به ترتیب با فراوانی وقوع ۱۴، ۱۲، ۱۲ و ۱۲ مورد در طول دوره آماری ده‌ساله می‌باشد. ملاشاهی و محمد کلتی (۱۳۹۷)، در پژوهشی با عنوان تحلیل فراوانی وقوع سیل در استان گیلان به این نتیجه رسیدند که در طول ۲۷ سال تعداد ۱۴۷ مورد بارندگی منجر به وقوع سیل در استان رخ داده است. بیشترین تعداد وقوع سیل در سال‌های ۱۳۷۲ و ۱۳۸۰ با ۱۴ مورد سیل بوده و کمترین آن نیز در سال‌های ۱۳۷۴، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۵ بوده است. عبدی و همکاران (۱۳۹۸)، در پژوهشی با عنوان ارزیابی یکپارچه آسیب‌پذیری، تاب‌آوری و ریسک‌پذیری فضایی در برابر سیلاب در شهر ساری نتایج نشان داد که بیش از ۶۰۰ هکتار از مناطق شهر ساری دارای تاب‌آوری بالا و بسیار بالاست. با این حال، با ادغام نقشه‌های آسیب‌پذیری و تاب‌آوری، مشخص شد که حدود ۶۰۰ هکتار از وسعت شهر ساری دارای ریسک‌پذیری بالا و بسیار بالا در برابر سیل است. که بلوک‌های شهری در جنوب شهر ساری بیشترین ریسک‌پذیری نسبت به سیلاب را دارند. سلیمانی و همکاران (۱۳۹۹)، در پژوهشی به آشکارسازی پهنه خسارت سیل با استفاده از تصاویر سنتینل ۲ (مطالعه موردی: سیلاب فروردین ۱۳۹۸ استان گلستان) پرداختند. نتایج نشان داد برخی نواحی بر اثر وقوع سیلاب دچار خسارت شدید شده که شدت و مدت بارندگی در آن کارکرد زیادی داشته است و این مناطق شامل اراضی کشاورزی، جنگلی و مسکونی می‌شود. گنجی و همکاران (۱۴۰۰)، با پنج معیار کلی و ۱۸ زیرمعیار فرعی موثر در ایجاد سیلاب رودخانه گرگانرود و شهرستان آق قلا، با روش سلسله مراتبی^۵ پرداختند. نتایج آنان نشان داد مرکز شهرستان و اطراف رودخانه گرگانرود با توجه به وضعیت توپوگرافی و مورفولوژی رودخانه در پهنه خطر خیلی زیاد قرار دارند.

استان گلستان، در سه دهه اخیر (۱۳۷۱-۹۹) شاهد وقوع چهار سیل مخرب در سال‌های ۱۳۷۱، ۸۰، ۸۱ و ۹۸ بوده است. بر اثر بارش روزهای ۲۲ تا ۲۴ اردیبهشت ماه سال ۱۳۷۱، سیل در اکثر رودخانه‌های حوزه آبریز اترک، گرگانرود و قره‌سو جاری شد. تداوم بارندگی در نقاط مختلف بیش از ۲۴ ساعت بوده و میزان بارندگی در بعضی نقاط به ۱۲۸ میلی‌متر نیز رسید. در اثر این سیل سد وشمگیر به مدت سه روز سر ریز نمود و دبی پیک خروجی از سر ریز سد حدود ۳۷۰ مترمکعب بر ثانیه برآورد گردید. در اثر بارش شدید باران روزهای ۱۹ و ۲۰ مرداد ماه ۱۳۸۰ که در طول دوره آماری موجود بی‌سابقه بوده است، سیل مخربی در حوضه گرگانرود و اترک جریان یافت. میزان بارندگی در نواحی مختلف حوزه بین ۲۱

1. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

2. GIS

3. ILWIS

4. SMADA

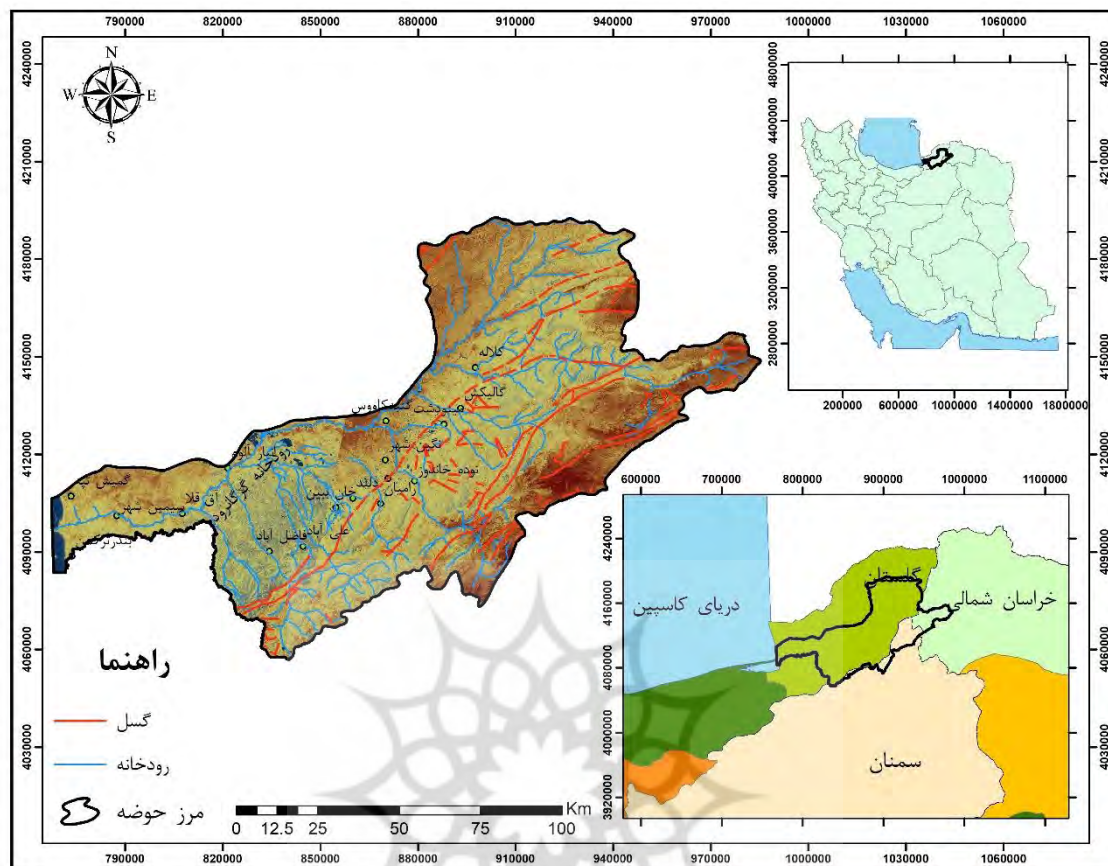
5. Analytic Hierarchy Process (AHP)

میلی‌متر (گالیکش) تا ۴۵۰ میلی‌متر (جنگل گلستان) متغیر بود. حداکثر دبی لحظه‌ای سیل در ایستگاه ورودی سد گلستان، ۳۰۱۷ مترمکعب بر ثانیه برآورد و دبی خروجی از سد ۳۲۶ متر مکعب در ثانیه بوده است که به خوبی نشان‌دهنده عملکرد مثبت و مفید سد در کاهش توان سیلاب و خسارات ناشی از آن می‌باشد. در پی بارش‌های شدید مورخ ۲۱ و ۲۲ مرداد ماه ۱۳۸۱ در حوضه گرگانرود در شرق استان گلستان شامل ارتفاعات حوضه‌های آبریز دوغ، اوغان و ارتفاعات حوضه‌های کمر و حاجی‌قوشان و نیز مناطق مختلف دشت، سیلاب شدیدی به وقوع پیوست. سیل تقریباً در اکثر رودخانه‌های شرق استان گلستان و مناطقی از استان‌های خراسان در حوضه‌های گرگانرود و اترک رخ داد لیکن شدت سیل در حوضه گرگانرود بیش از سایر نقاط بوده است. در اثر این سیل ۱۸۰ روستا دچار خسارت شده و ۴۵ نفر جان خود را از دست دادند. از تاریخ ۲۶ اسفند ۱۳۹۷ بر اثر بارندگی‌های شدید در استان گلستان سیل جاری شد. این بارندگی‌ها موجب شد سدهای بوستان و گلستان در شرق استان گلستان سرریز شوند و رودخانه‌های چهل‌چای و گرگانرود در اطراف گنبد کاووس از توابع استان گلستان طغیان کنند. گفته شده در این حادثه طبیعی طی دو روز، ۳۰۰ میلی‌متر بارش اندازه‌گیری شد که بیش از ۶۶ درصد متوسط بارش یک ساله استان گلستان (۴۵۰ میلی‌متر) است. به نظر می‌رسد که در جهت کاهش خسارات ناشی از سیلاب، در حوضه آبخیز گرگانرود ضرورت دارد تغییرات پوشش گیاهی و تغییرات ارتفاع رواناب در حوضه آبریز مطالعاتی برآورد شود. از این رو در پژوهش حاضر هدف تحلیل همبستگی فضایی تغییرات پوشش گیاهی با ارتفاع رواناب در حوضه آبخیز گرگانرود است.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز گرگانرود در بخش جنوب شرقی دریای کاسپین در سه استان گلستان، خراسان شمالی و سمنان قرار دارد و بخشی از حوضه آبریز آن دریا به شمار می‌رود (شکل ۱). این حوضه در محدوده طول جغرافیایی ۵۴ درجه تا ۵۶ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی واقع شده است. از شمال و شرق به حوضه رودخانه اترک و از جنوب به حوضه‌های آبریز کویر نمک و از جنوب غربی به حوضه رودخانه نکا محدود می‌شود. مساحت این حوضه حدود ۱۳۰۶۱ کیلومترمربع است و دارای دو دشت به نام‌های گرگان-گنبد و رباط-قره بیل است. رودخانه گرگانرود در حوضه آبخیز گرگانرود واقع شده است. این رودخانه با طول حدود ۳۰۰ کیلومتر از دامنه‌های شمالی البرز شرقی و دامنه‌های غربی ارتفاعات استان خراسان شمالی سرچشمه می‌گیرد و از به هم پیوستن رودهای زاو، دوغ، چهل‌چای، زرین گل، تیل‌آباد، رامیان و محمدآباد تشکیل می‌شود. این رودخانه پس از عبور از شهرهای گنبدکاووس و آق‌قلا با تشکیل یک دلتای بزرگ به دریای کاسپین می‌ریزد. متوسط آبدهی سالانه این رودخانه حدود ۹۲۰ میلیون مترمکعب است. سد وشمگیر و نیز سدهای گلستان و بوستان به‌منظور بهره‌برداری برای توسعه کشاورزی بر روی این رودخانه و شاخه‌های فرعی آن احداث شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز گرگانرود

داده‌ها و روش کار

در این مطالعه داده‌های نقشه‌ای (نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، لایه خاک فائو با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰، لایه کاربری ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان جنگل‌ها مراتع و آبخیزداری کشور (تدقیق شده توسط تصاویر ماهواره‌ای و گوگل ارث Google earth)، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ سنجنده TM+ سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ و لندست ۸ سنجنده OLI مربوط به سال ۲۰۲۱، مدل رقومی ارتفاع ۱۲/۵ متر)، داده‌های اقلیمی (پارامترهای مؤثر اقلیمی شامل میانگین روزانه دما، حداکثر بارندگی روزانه در یک بازه ۳۰ ساله (۱۹۹۰-۲۰۲۰) ایستگاه‌های باران‌سنجی وزارت نیرو و کلیماتولوژی و سینوپتیک حوضه و مجاور آن) از مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی معیارهای مورد استفاده در این تحقیق از جمله طبقات کاربری اراضی و ارزیابی دقت نتایج مدل نیز از طریق مطالعات میدانی انجام گرفت. شکل ۲ مراحل انجام پژوهش به صورت نمودار نمایش داده شده است.



شکل ۲: مراحل انجام پژوهش

واحد پاسخ هیدرولوژیک^۱

به طور کلی واحدهای پاسخ هیدرولوژیک شناختی کلی از یک ناحیه از حوضه را برای کاربر می‌تواند ارائه دهد. همچنین کاربر می‌تواند با مطالعه ویژگی هر واحد با توجه به نوع کاربری، خاک و ویژگی‌های توپوگرافی مثل شیب واحد مناسب هدف خود را انتخاب کند. در پژوهش حاضر، در محدوده مطالعاتی تعداد ۷۲ واحد پاسخ هیدرولوژیک تهیه شد. به طوری که تنوع بیش‌تر واحدهای پاسخ هیدرولوژیک در نیمه‌ی شرقی، جنوب و جنوب‌غربی محدوده مطالعاتی دیده می‌شود که علت آن تنوع شیب و کاربری اراضی در این بخش حوضه است (شکل ۲). در این مطالعه واحد کاری به عنوان واحد هیدرولوژیک پایه از ادغام چهار لایه شیب، کاربری اراضی، بافت خاک و واحد اراضی به دست آمده است که یک کد چهار رقمی را تشکیل می‌دهد و عدد اول کد کلاس شیب، عدد دوم کلاس کاربری اراضی، عدد سوم کلاس خاک و عدد چهارم نیز واحد اراضی حوضه مطالعاتی را معرفی می‌کند.

اندازه‌گیری سبزی‌نگی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست

در این پژوهش پس از تهیه تصویر لندست در دسترس برای محدوده مطالعه، میزان و تراکم پوشش گیاهی در محیط نرم‌افزاری جی‌آی‌اس استخراج شد.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

رابطه (۱)

که در رابطه ۱، NIR و RED به ترتیب بازتابش طیفی باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز است. دامنه این شاخص از -۱ تا +۱ متغیر است. دامنه شاخص تفاضل گیاهی نرمال شده برای پوشش گیاهی سبز از حدود ۰/۱ تا ۰/۸. (سبزی‌نگی و تراکم گیاهی بالا) است. بنابراین این شاخص می‌تواند میزان رشد و توزیع گیاه را نشان دهد.

^۱. Hydrologic Response Units (HRU)

روش بارش-رواناب^۱

در روش بارش-رواناب ارتفاع رواناب حاصله از یک بارندگی از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$R = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad \text{رابطه ۲}$$

R = ارتفاع رواناب برحسب میلی‌متر

P = ارتفاع بارندگی برحسب میلی‌متر

S = عامل نگهداشت رطوبت خاک برحسب میلی‌متر که مقدار آن برابر است با رابطه‌ی ۳.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{رابطه ۳}$$

در این معادله CN، شماره‌ی منحنی مربوط به مقدار نفوذ آب در حوضه است. مقدار CN بین صفر و ۱۰۰ متغیر است. در CN برابر صفر، روانابی از بارندگی حاصل نیامده و در CN برابر ۱۰۰ تمامی بارش در سطح زمین جریان یافته و ارتفاع رواناب برابر ارتفاع بارندگی خواهد بود. این شاخص به عواملی همچون گروه هیدرولوژیکی خاک، پوشش گیاهی، نوع کاربری و بافت خاک بر اساس راهنمای ارائه‌شده توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا به دست می‌آید که ابتدا بر اساس بافت خاک گروه هیدرولوژیکی خاک تعیین و سپس بر اساس جدول (علیزاده، ۱۳۸۹، ۵۲۵) مربوط با تطبیق نوع کاربری و گروه هیدرولوژیکی، شماره‌ی منحنی به دست می‌آید.

بحث و یافته‌ها

استخراج واحدهای پاسخ هیدرولوژیک

واحدهای پاسخ هیدرولوژیک با کدهای ۱۱۱۴ و ۲۶۱۰ به ترتیب بیشترین و کمترین مساحت محدوده مطالعاتی برابر ۳۳ و ۰/۵ درصد از حوضه مطالعاتی را دربر گرفته‌اند (شکل ۳).

شاخص NDVI سال ۱۹۹۰

بر اساس وضعیت پوشش گیاهی منطقه مطالعاتی در سال ۱۹۹۰ در محدوده مطالعاتی مقادیر شاخص NDVI در چهار طبقه بین مقادیر کمتر از صفر تا بیشتر از ۰/۴ قرار دارند (شکل ۴). طبقه بین صفر تا ۰/۲ به صورت یک پهنه گسترده در شمال و جنوب ۶۴ درصد (جدول ۱) محدوده مطالعاتی را در سال ۱۹۹۰ دربر گرفته است. در سال ۱۹۹۰ تقریباً ۹۹ درصد محدوده مطالعاتی از پوشش گیاهی طبیعی و زراعی پوشیده بوده است.

جدول ۱: مساحت و درصد شاخص NDVI سال ۱۹۹۰

درصد	مساحت (هکتار)	طبقات
۱	۱۰۴۵۴	< ۰
۶۴	۷۳۸۸۷۶	۰ - ۰/۲
۲۹	۳۳۰۷۸۹	۰/۲ - ۰/۴
۶	۶۶۸۰۳	> ۰/۴

^۱. Soil Conservation Service (SCS)

شاخص NDVI سال ۲۰۰۰

با توجه به مقادیر شاخص NDVI در شکل ۵ در ۴ کلاس طبقه بندی شده است. با توجه به جدول ۲ پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۰ در بازه صفر تا ۰/۲ بیشترین مساحت و برابر ۴۸ درصد مشاهده شده است. تراکم پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۰ برابر ۸۹ درصد که نسبت به سال ۱۹۹۰ کاهش چشم‌گیری در یک بازه ده ساله مشاهده می‌شود.

جدول ۲: مساحت و درصد شاخص NDVI سال ۲۰۰۰

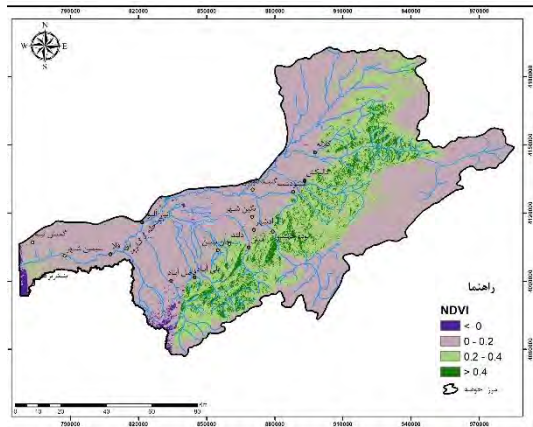
طبقات	مساحت	درصد
< ۰	۱۲۳۹۹۳	۱۱
۰ - ۰/۲	۵۴۷۷۹۶	۴۸
۰/۲ - ۰/۴	۱۸۴۲۴۹	۱۶
> ۰/۴	۲۹۰۸۶۲	۲۵

شاخص NDVI سال ۲۰۲۱

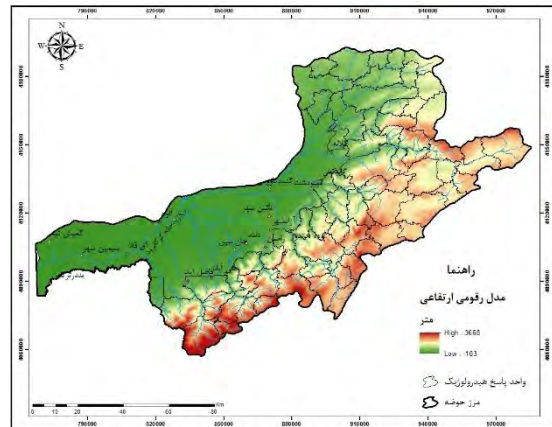
نقشه وضعیت شاخص NDVI محدوده مطالعاتی در سال ۲۰۲۱ نشان می‌دهد مقدار شاخص NDVI در سال ۲۰۲۱ افزایش یافته است بطوریکه مقدار تراکم پوشش گیاهی در این سال به ۹۹ درصد رسیده که نسبت به سال ۲۰۰۰ افزایش داشته است و تقریباً با تراکم پوشش گیاهی در سال ۱۹۹۰ برابر شده است. در حالی که درصد طبقات NDVI در سال ۱۹۹۰ نسبت به سال ۲۰۲۱ بسیار متفاوت است. برای مثال درصد طبقه (۰ - ۰/۲) در سال ۱۹۹۰ حدود ۶۴ درصد از محدوده مطالعاتی را شامل شده و در سال ۲۰۲۱ به ۴۴ درصد کاهش یافته در حالیکه طبقه بیشتر از ۰/۴ در سال ۱۹۹۰، ۶ درصد از محدوده مطالعاتی را فراگرفته در سال ۲۰۲۱ به ۲۲/۵ درصد افزایش یافته است.

جدول ۳: مساحت و درصد شاخص NDVI سال ۲۰۲۱

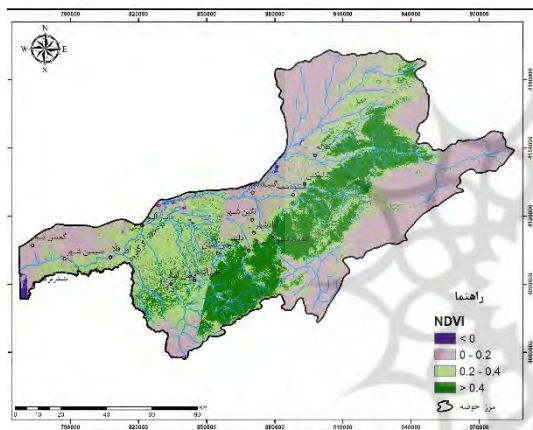
طبقات	مساحت	درصد
< ۰	۵۵۲۲	۰/۵
۰ - ۰/۲	۵۰۱۹۱۳	۴۴
۰/۲ - ۰/۴	۳۷۹۷۴۹	۳۳
> ۰/۴	۲۵۹۷۲۶	۲۲/۵



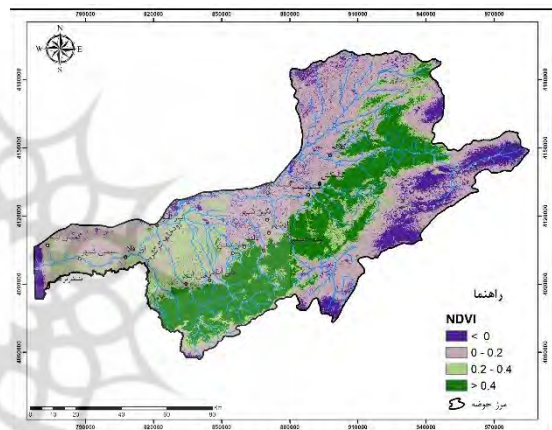
شکل ۴: شاخص NDVI حوضه آبریز گرگانرود سال ۱۹۹۰



شکل ۳: واحدهای پاسخ هیدرولوژیک در حوضه آبریز گرگانرود



شکل ۶: شاخص NDVI حوضه آبریز گرگانرود سال ۲۰۲۱



شکل ۵: شاخص NDVI حوضه آبریز گرگانرود سال ۲۰۰۰

تحلیل تغییرات تراکم پوشش گیاهی در واحدهای کاری

در پژوهش حاضر، تغییرات تراکم پوشش گیاهی واحدهای پاسخ هیدرولوژیک و تأثیر آن بر سیلاب برای بازه زمانی ۳۱ ساله (۱۹۹۰-۲۰۲۱) در واحد کاری بررسی شد.

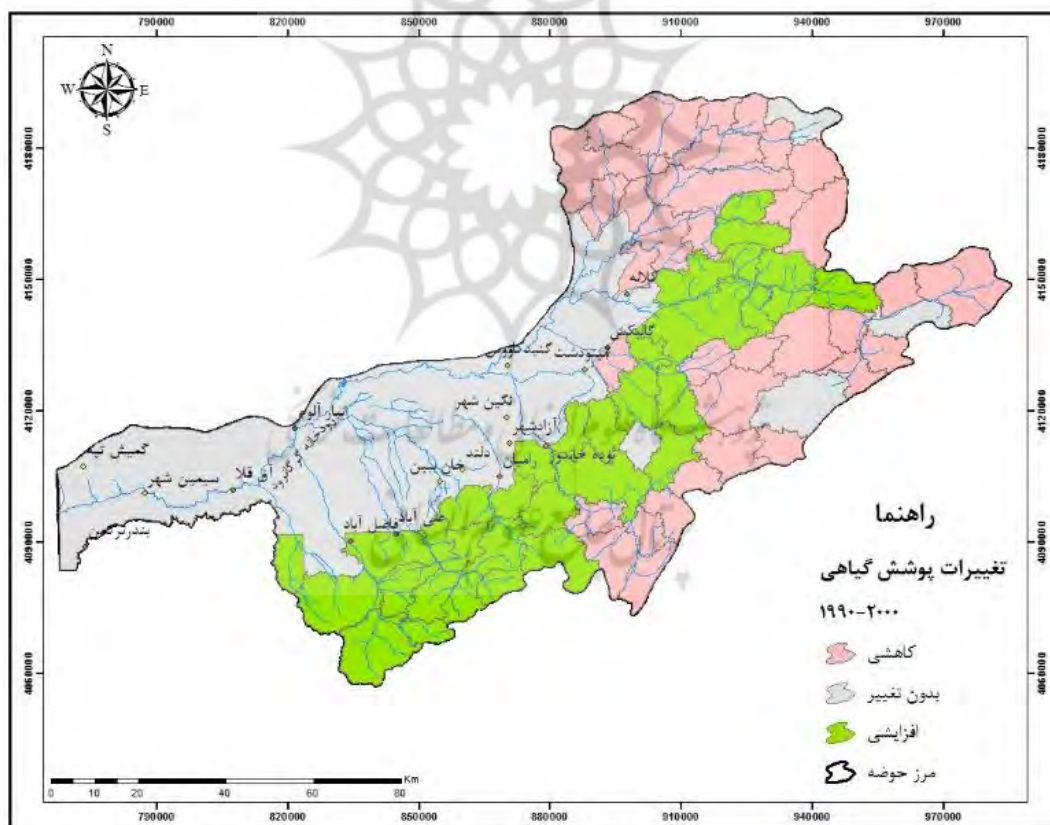
تغییرات تراکم پوشش گیاهی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۰۰

تراکم پوشش گیاهی حوضه آبریز گرگانرود در طول ۱۰ ساله (۱۹۹۰-۲۰۰۰) سه روند کاهشی، افزایشی و بدون تغییر بوده است (شکل ۷). تراکم پوشش گیاهی در شهرهای فاضل‌آباد و علی‌آباد و کاربری جنگل و مرتع در سال ۲۰۰۰ نسبت به ۱۹۹۰ (حدود ۳۵۰۲۰۲ هکتار) ۳۰/۵ درصد افزایش داشته‌است. در پهنه‌های شمال شرق و جنوب شرق حوضه آبریز مطالعاتی از جمله شهر گالیش تراکم پوشش گیاهی (حدود ۳۷۱۶۴۱ هکتار) ۳۲/۴ درصد از محدوده مطالعاتی کاهش یافته است. همچنین پوشش گیاهی ۳۷/۱ درصد (حدود ۴۲۵۹۸۸ هکتار) از مساحت حوضه آبریز گرگانرود در سال ۲۰۰۰ نسبت به سال ۱۹۹۰ تغییر نداشته است (جدول ۱). در حقیقت شهرهای بندرترکمن، گمیش تپه، آق قلا، نگین شهر، آزادشهر، سیمین شهر، گنبدکاووس، نوده خاندوز، مینودشت، انبارآلوم، دلدن، خان ببین، رامیان و کلاله و رودخانه گرگانرود پوشش گیاهی از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ تغییر نکرده است. عدم تغییرات تراکم پوشش گیاهی در بازه ده ساله (۱۹۹۰-۲۰۰۰) ناشی

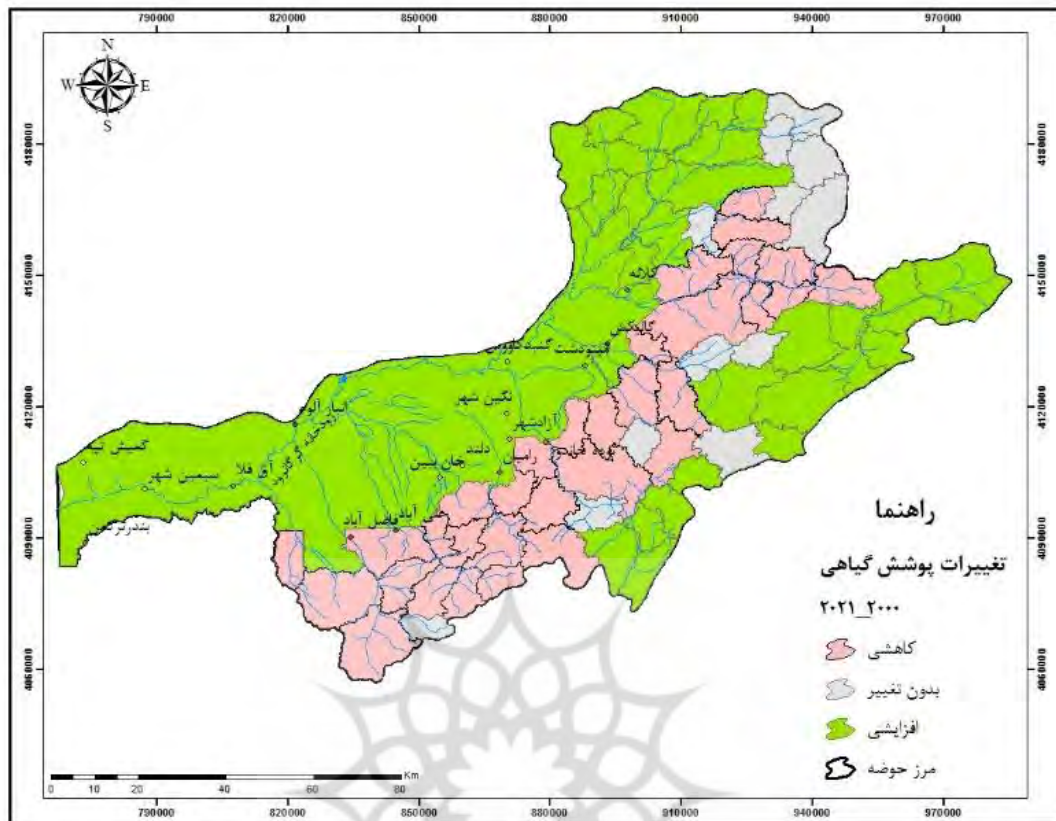
از حفظ و تقویت پوشش گیاهی، احیای برنامه‌های تنفس جنگل، آموزش روستائینان، خروج دام از جنگل، اجرای طرح‌های هادی روستایی جهت جلوگیری از ساخت‌وسازهای بی‌رویه در این مناطق می‌توان بیان کرد.

تغییرات تراکم پوشش گیاهی سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۰۰

شکل ۸ تغییرات تراکم پوشش گیاهی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ با سه روند کاهشی، افزایشی و بدون تغییر نشان می‌دهد. با کاهش شیب و ارتفاع در مناطق دشتی و هموار تراکم پوشش گیاهی افزایش داشته است. شهرهای بندرترکمن، گمیش تپه، آق قلا، نگین شهر، آزادشهر، سیمین شهر، گنبدکاووس، مینودشت، انبارآلوم، دلد، خان ببین، رامیان و کلالة و رودخانه گرگانرود تراکم پوشش گیاهی ۶۹۹۳۱۶ هکتار معادل ۶۱ درصد افزایش یافته است. با توجه به مطالعات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای و همچنین ویژگی مورفولوژیکی این پهنه فعالیت کشاورزی و باغی در بازه ۲۱ ساله افزایش یافته و در سال‌های اخیر شهرها در حاشیه رودخانه‌ها توسعه یافته‌اند. تراکم پوشش گیاهی از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۲۱ حدود ۱۰۳۶۲۵ هکتار معادل ۹ درصد از محدوده مطالعاتی بدون تغییر بوده است. تراکم پوشش گیاهی در ارتفاعات با کاربری جنگل و مرتع درجه یک و شهرهای نوده خاندوز، فاضل آباد و علی آباد حدود ۳۴۴۸۹۱ هکتار معادل ۳۰ درصد از محدوده مطالعاتی در بازه ۲۱ ساله (۲۰۲۱ - ۲۰۰۰) کاهش یافته است (جدول ۴).



شکل ۷: تغییرات پوشش گیاهی حوضه آبریز گرگان رود (۱۹۹۰-۲۰۰۰)



شکل ۸: تغییرات پوشش گیاهی حوضه آبریز گرگان رود (۲۰۰۰-۲۰۲۱)

جدول ۴: مساحت و درصد تغییرات تراکم پوشش گیاهی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۰۰-۲۰۲۱

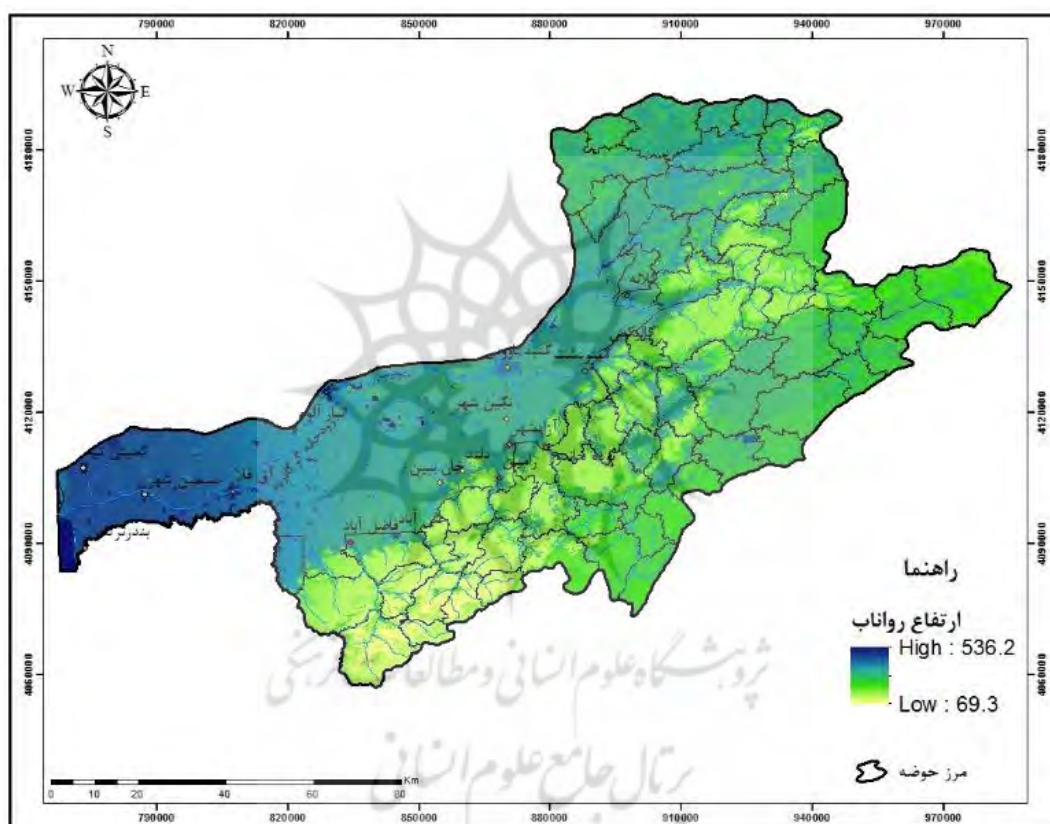
سال ۲۰۰۰-۲۰۲۱		سال ۱۹۹۰-۲۰۰۰		تغییرات تراکم پوشش گیاهی
درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	
۳۰	۳۴۴۸۹۱/۳	۳۲/۴	۳۷۱۶۴۱/۶	کاهشی
۹	۱۰۳۶۲۵/۷	۳۷/۱	۴۲۵۹۸۸/۶	بدون تغییر
۶۱	۶۹۹۳۱۶	۳۰/۵	۳۵۰۲۰۲/۸	افزایشی

تحلیل تغییرات ارتفاع رواناب در واحدهای کاری

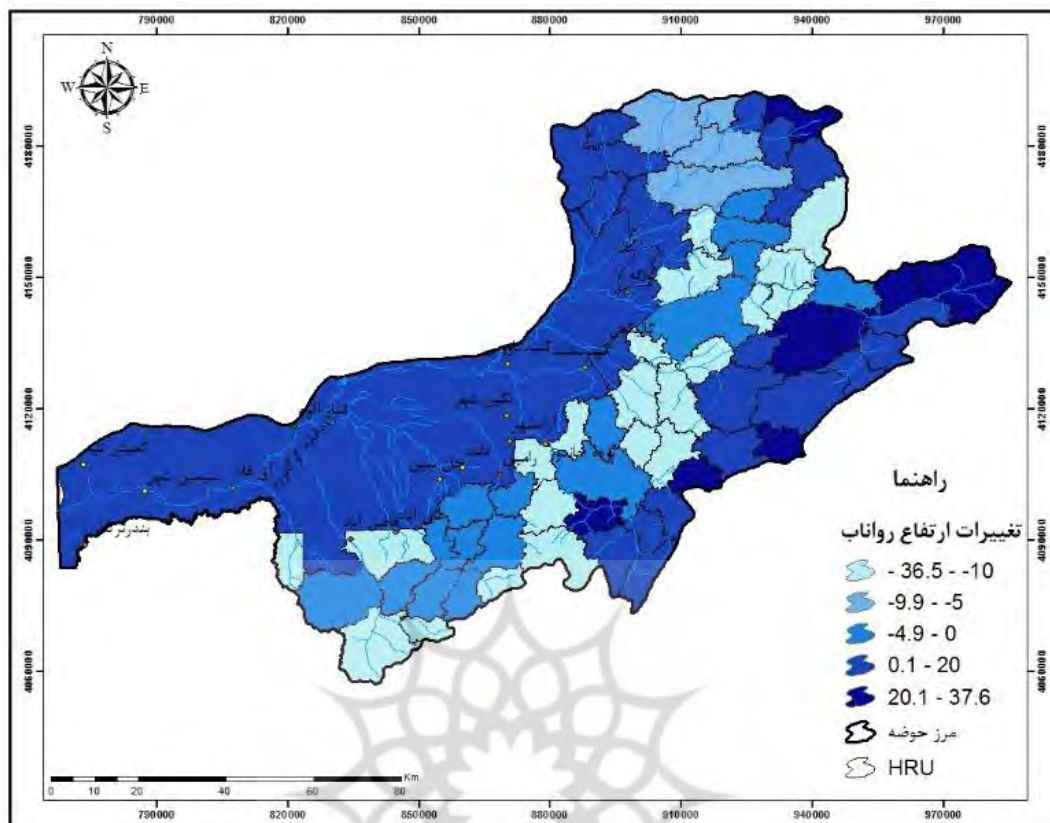
در صورتی که در هنگام بارش، شدت بارندگی بیشتر از ظرفیت نفوذ آب به داخل خاک باشد؛ بخشی از آب ناشی از بارندگی در سطح زمین باقی می‌ماند که به آن، رواناب سطحی می‌گویند. افزایش ارتفاع رواناب در رودخانه و مسیل و سرریز آب از آن و اشغال بخشی از دشت‌های حاشیه رودخانه باعث ایجاد سیل می‌شود که با غرقاب نمودن منطقه باعث وارد آمدن خسارات بر ساختمان و تأسیسات عمومی شده و تلفات انسانی و دامی نیز به همراه دارد. بعد از تعیین مقادیر شماره منحنی و میزان نفوذپذیری، میزان رواناب تولیدشده در منطقه مورد مطالعه برای هر واحد به دست آمد.

حداکثر ارتفاع رواناب در شهرهای آق قلا، سیمین شهر و گمیش تپه و در رودخانه گرگانرود مشاهده می‌شود که مقدار $536/2$ میلیمتر به خود اختصاص داده است. با فاصله از رودخانه‌های اصلی احتمال وقوع سیلاب کاهش یافته است. بطوریکه در ارتفاعات جنوب غربی محدوده مطالعاتی کمترین ارتفاع رواناب برابر $69/3$ متر وجود دارد (شکل ۹).

تغییرات حجم رواناب در بازه ۲۱ ساله (۲۰۰۰-۲۰۲۱) می‌تواند گویای تغییرات صورت گرفته در تراکم پوشش گیاهی، نوع کاربری‌ها، میزان نفوذپذیری و ارتفاع رواناب تولیدی در حوضه آبریز گرگانرود باشد. تغییرات ارتفاع رواناب در بازه مطالعاتی از ۳۶/۵- تا ۳۷/۶ مشاهده شده است. با توجه به شکل ۱۰ در ارتفاعات و کاربری جنگل به دلیل تراکم پوشش گیاهی میزان تغییرات رواناب بین ۳۶/۵- تا صفر مشاهده می‌شود در حالیکه در مناطق شهری با کاربری کشاورزی به دلیل کاهش ارتفاع، تراکم پوشش گیاهی و نفوذپذیری، منجر به افزایش تغییرات رواناب در بازه مطالعاتی شده است. جدول ۵ مساحت و درصد هر یک از طبقات تغییرات ارتفاع ارائه شده است که با توجه به آن طبقه (۲۰ - ۰/۱) و (۵- - ۹/۹-) به ترتیب بیشترین (۵۲/۷ درصد) و کمترین (۵/۷ درصد) از مساحت حوضه آبریز مطالعاتی را در بر گرفته‌اند.



شکل ۹: ارتفاع رواناب در واحدهای کاری حوضه آبریز گرگانرود



شکل ۱۰: تغییرات روند ارتفاع رواناب حوضه آبریز گرگانرود از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱

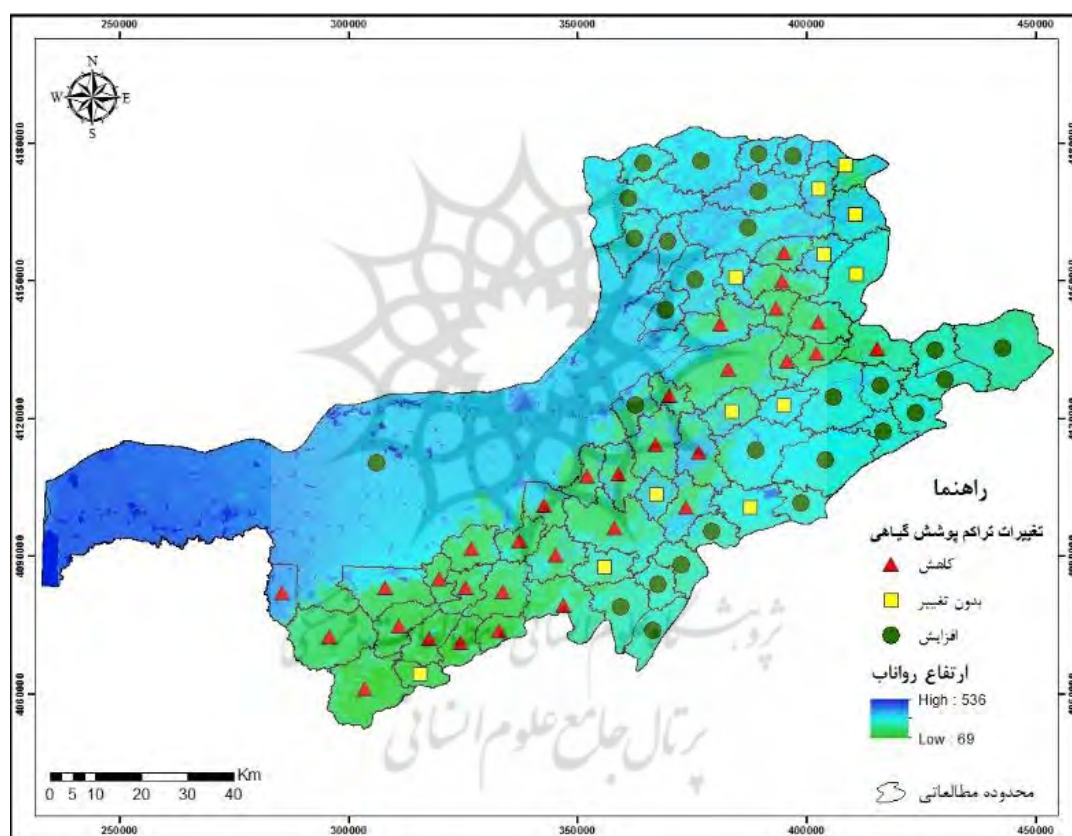
جدول ۵: مساحت و درصد تغییرات روند ارتفاع رواناب از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱

درصد	مساحت (هکتار)	تغییرات ارتفاع رواناب
۱۸/۲	۲۰۸۵۴۰	-۳۶/۵ - -۱۰
۵/۷	۶۵۳۲۸	-۹/۹ - -۵
۱۵/۶	۱۷۹۴۰۶	-۴/۹ - ۰
۵۲/۷	۶۰۴۸۵۰	۰/۱ - ۲۰
۷/۸	۸۹۷۰۸	۲۰/۱ - ۳۷/۶

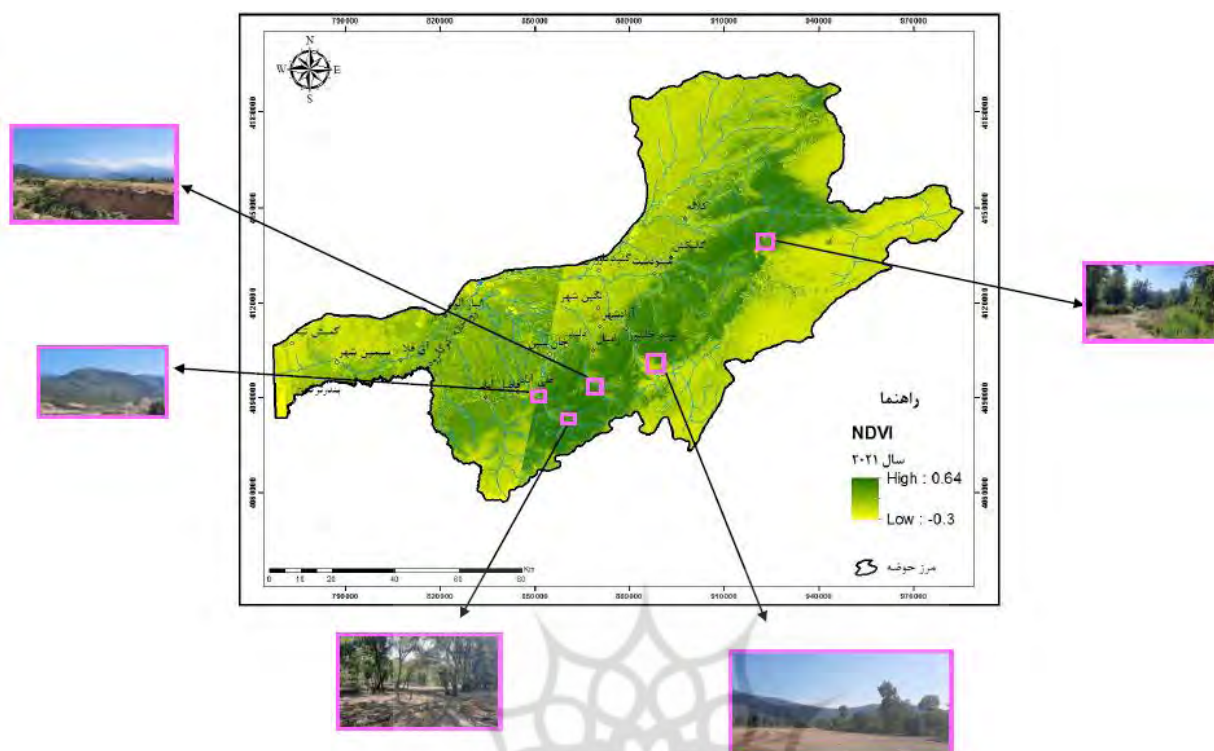
ارتباط تراکم پوشش گیاهی با ارتفاع رواناب

شکل ۱۱ ارتباط میان تراکم پوشش گیاهی و ارتفاع رواناب را در حوضه آبریز مطالعاتی نشان می‌دهد. در واحدهای کاری مرتفع با کاربری جنگل و مرتع با وجود کاهش تراکم پوشش گیاهی (مثلاً قرمز) ارتفاع رواناب نیز کاهش یافته است. در واحدهای کاری دشتی با وجود افزایش تراکم پوشش گیاهی (دایره سبز) ارتفاع رواناب افزایش یافته است. که می‌تواند ناشی از افزایش فعالیت کشاورزی و باغی و توسعه شهرها باشد. بازدیدهای میدانی از زیرحوضه آبریز گرگانرود نشان داد مناطق شهری محدوده مطالعاتی از جمله گمیش تپه، سیمین شهر و آق‌قلا توسعه یافته اند و بسیاری از اراضی جنگلی و مرتعی درجه یک به زیر کشت رفته و در حال حاضر کاربری کشاورزی دارند. همچنین چرای مفرط دام سبب فشردگی خاک و از بین رفتن پوشش گیاهی در محدوده مطالعاتی شده است (شکل ۱۲). از بین رفتن پوشش گیاهی طبیعی و به زیر کشت بردن این اراضی و یا تغییر در نوع و نحوه کشت و کار گیاهانی که تلفات برگابی زیادی ندارند سبب افزایش حجم جریان و فزونی بده سیلاب می‌گردد. از طرفی توسعه شهرها منجر به افزایش سطوح غیر قابل نفوذ (از قبیل: خیابان‌ها و

معابر پوشیده‌شده از آسفالت و موزاییک و غیره) می‌شود که حاکی از کاهش نفوذپذیری در این واحدهای کاری و به دنبال آن سیل‌خیز شدن این مناطق شده است. همبستگی فضایی ارتباط میان دو متغیر تغییرات پوشش گیاهی و ارتفاع رواناب را در منطقه مطالعاتی نمایان می‌سازد. میزان همبستگی فضایی پوشش گیاهی با ارتفاع رواناب ۷۸ درصد به دست آمده است که بیانگر همبستگی فضایی منفی بین این دو متغیر است به عبارتی در حوضه آبریز گرگانود با افزایش تراکم پوشش گیاهی از میزان ارتفاع رواناب کاسته می‌شود. بنابراین تغییرات کاربری ناشی از فعالیت‌های انسانی، تخریب جنگل و مرتع و افزایش زمین‌های کشاورزی در سال‌های اخیر منجر به کاهش پوشش گیاهی در بازه مطالعاتی در حوضه آبریز گرگانود شده که در نتیجه آن ارتفاع رواناب افزایش یافته است.



شکل ۱۱: ارتباط تراکم پوشش گیاهی با ارتفاع رواناب حوضه آبریز گرگانود



شکل ۱۲: وضعیت شاخص تفاضل گیاهی نرمال شده سال ۲۰۲۱ و تغییرات کاربری حوضه آبریز گرگانرود

نتیجه گیری

امروزه با توجه به تغییرات اقلیمی و تغییر ماهیت شرایط اقلیمی از جمله تغییر کمی و کیفی بارش‌ها و همچنین دستکاری انسان در طبیعت و تغییرات کاربری‌ها به خصوص در حوضه‌های آبریز بالادستی رودخانه‌ها، بر حجم مخاطرات از جمله سیلاب افزوده شده است که ضرورت شناخت پهنه‌های در معرض خطر و آمادگی برای خدمات‌رسانی در زمان بحران وجود دارد. این مطالعه با هدف بررسی تغییرات پوشش گیاهی و ارتباط تراکم پوشش گیاهی با ارتفاع رواناب در حوضه آبریز گرگانرود صورت گرفت.

در این پژوهش، واحدهای پاسخ هیدرولوژیک به عنوان کوچکترین واحد مطالعاتی، معرفی گردیده و برای برآورد نقشه تغییرات پوشش گیاهی و پتانسیل تولید رواناب به کار گرفته شد. واحد پاسخ هیدرولوژیک پهنه‌ای است که از نظر شرایط توپوگرافی به خصوص شیب زمین، کاربری اراضی، واحد اراضی و نوع خاک همگن بوده و بنابراین دارای رفتار مشابه در فرآیند تولید رواناب و تغییرات پوشش گیاهی است. بدین منظور واحدهای پاسخ هیدرولوژیک برای حوضه آبریز گرگانرود استخراج گردید. نتایج مدلسازی نشان می‌دهد که تعداد ۷۲ واحد پاسخ هیدرولوژیک برای حوضه آبریز گرگانرود استخراج شده است که هر واحد دارای شرایط همگن بافت خاک، شیب، واحد اراضی و کاربری اراضی است. وسعت و تراکم پوشش گیاهی به دلیل دخالت انسان تغییر کرده است. جهت بررسی تراکم پوشش گیاهی و برآورد میزان تغییرات آن در یک دوره ۳۱ ساله (۱۹۹۰-۲۰۲۱) از شاخص تفاضل گیاهی نرمال شده، در حوضه گرگانرود استفاده شد. تغییرات تراکم پوشش گیاهی از سال ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۰۰ نشان داد حدود ۳۷ درصد حوضه آبریز مطالعاتی تغییر نداشته است و تراکم پوشش گیاهی در ارتفاعات بخصوص جنگل‌ها و مراتع افزایش داشته است. در حالیکه در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ فعالیت کشاورزی و باغی بخصوص در مناطق دشتی اطراف رودخانه‌ها و توسعه سکونتگاه‌ها افزایش یافته است. از طرفی تراکم پوشش گیاهی در جنگل‌ها و مراتع کاهش داشته به طوری که بسیاری از مراتع به زیر کشت رفته اند. تغییرات روند ارتفاع رواناب از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ نشان داد حدود ۶۹۴۵۵۸ هکتار (۶۰/۵ درصد) از مساحت حوضه آبریز مطالعاتی ارتفاع رواناب

افزایش داشته است. همبستگی فضایی نشان داد ۷۸ درصد همبستگی بین ارتفاع رواناب با تراکم پوشش گیاهی در حوضه آبریز گرگانود وجود دارد. در مناطق دشتی به دلیل افزایش فعالیت‌های انسانی و توسعه کشاورزی سبب کاهش پوشش گیاهی طبیعی شده است. شهرهای آق قلا، سیمین شهر و گمیش تپه و رودخانه گرگانود به دلیل کاهش نفوذپذیری ناشی از تغییر کاربری و توسعه شهرنشینی در پهنه‌های با حداکثر ارتفاع رواناب برابر ۵۳۶ میلی‌متر قرار گرفته‌اند. لذا تغییرات کاربری زمین در فاصله زمانی مذکور باعث افزایش پتانسیل تولید رواناب و افزایش سیلاب در هر واحد کاری می‌شود. تحلیل یافته‌های تحقیق مؤید این موضوع است که استخراج و استفاده از واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی به عنوان واحدهای کاری به خوبی می‌تواند رابطه بین فرم و فرآیندهای ژئومورفولوژیکی را نشان دهد و جایگزینی مناسب برای زیرحوضه‌ها در مطالعات ژئومورفولوژی است و به خوبی می‌تواند نشان‌دهنده ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیکی حوضه‌های آبریز باشد. نتایج پژوهش همانند احمدآبادی و همکاران (۱۳۹۴) نشان‌دهنده این امر است که استفاده از واحد پاسخ هیدرولوژیکی به عنوان واحد پایه در شناسایی دقیق‌تر قابلیت رواناب حوضه مطالعاتی مناسب است.

نتایج این پژوهش با پژوهش‌های انجام شده توسط پارسایی و همکار (۱۳۹۱) و سلیمانی و همکاران (۱۳۹۹) در خصوص توسعه شهرنشینی حوضه آبریز گرگانود و کاهش نفوذ مطابقت دارد. همچنین با نتایج حسینی و همکاران (۱۳۹۳) و عیشویی و همکاران (۱۳۹۸) در ارتباط با تغییر کاربری اراضی حوضه آبریز گرگانود که موجب کاهش تراکم پوشش گیاهی مرتعی و جنگلی و به موازات آن افزایش اراضی کشاورزی و باغی شده است مطابقت دارد.

منابع

- احمدآبادی، ع.، کرم، ا. و پوربشیر هیر، م.، ۱۳۹۴. اولویت‌بندی واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی از نظر نیاز به عملیات آبخیزداری در حوضه آبخیز لتیان، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۱۵، شماره ۳۹، صص ۷۴-۵۷.
- پارسایی، ل.، و صلبی، م.، ۱۳۹۱. کنترل و جمع‌آوری رواناب‌های شهری گرگان و آق قلا، تبدیل تهدید سیلاب‌ها به فرصت، اولین همایش سطوح آبگیر ایران.
- حسینی، ش.، غفارزاده، ح.، عابدی، ز. و شیرازی، ن.، ۱۳۹۳. بررسی پدیده تغییر اقلیم و تاثیرات آن بر کاربری اراضی طبیعی حوضه آبریز گرگان رود، نشریه محیط زیست طبیعی (منابع طبیعی ایران)، دوره ۶۷، شماره ۱، صص ۳۹-۲۵.
- زمردیان، محمدجعفر.، ۱۳۸۱، ژئومورفولوژی ایران، جلد دوم، چاپ ششم، دانشگاه فردوسی، مشهد.
- شعبانی‌نیا، ح.، جانباز قبادی غ.، و خالدی، ش.، ۱۳۹۹. برآورد مقادیر ارتفاع رواناب و دبی حداکثر سیلاب با استفاده از تلفیق مدل‌های اتومات سلوللی و SCS مطالعه موردی: حوضه آبخیز لایوچ‌رود، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۹، شماره ۲۴، ۷۹-۹۸.
- صفاری، ا.، ساسان‌پور ف.، و موسیوند، ع.، ۱۳۹۰. ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر خطر سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی مطالعه موردی: منطقه ۳ تهران، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، دوره ۱۷، شماره ۲۰، صص ۱۵۰-۱۲۹.
- علیزاده، ا.، ۱۳۸۹، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ ۳۰، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.
- عیشویی، ا.، میریعقوب‌زاده م.، و شاهدهی، ک.، ۱۳۹۸. آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین بمنظور ارزیابی سلامت و پایداری حوزه آبخیز گرگان رود، چهاردهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران.
- فرزین، س.، و علی‌زاده‌صنمی، ف.، ۱۳۹۶. مدل‌سازی و تحلیل تغییرات رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه گرگانود، ایستگاه هیدرومتری تهر)، نشریه علمی-پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دوره ۱۱، شماره ۳۷، صص ۴۵-۳۵.

- قنوتی، ع.، کرم، ا. و آقاعلیخانی، م.، ۱۳۹۱. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر رخداد سیلاب در حوضه فرحزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۲۳، شماره ۴، صص ۱۳۸-۱۲۱.
- گنجی، ک.، قره‌چلو س. و احمدی، ا.، ۱۴۰۰. تعیین عوامل موثر بر سیل خیزی رودخانه گرگانرود و ریز پهنه بندی خطر سیلاب شهرستان آق قلا با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی AHP، فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره: ۱۰، شماره ۴، صص ۴۶-۲۵.
- محمدی، ح. و پناهی، ع.، ۱۳۸۵. برآورد میزان رواناب با استفاده از روش SCS و GIS در حوضه‌ی آبریز قلعه چای آذربایجان شرقی، نشریه‌ی انجمن جغرافیایی ایران، شماره ۱۰ و ۱۱، ۱۲۳-۱۱۹.
- ملاشاهی، ش. و محمدکلته، ا.، ۱۳۹۷. تحلیل فراوانی وقوع سیل در استان گیلان، سیزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران و سومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست، ۱۰ و ۱۱ مهر، دانشگاه محقق اردبیلی.
- ناصری، م.، زهرایی، ب.، پورسیاهی سامیان، ح.، خدادادی م. و دولت‌آبادی، ن.، ۱۴۰۰. ارزیابی روش‌های تجربی برآورد جریان در حوضه‌های بدون ایستگاه نمونه پژوهش: حوضه سفیدرود بزرگ، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دوره ۳۲، شماره ۱، صص ۲۴-۱.
- ناطقی، س.، نوحه‌گر، ا.، احسانی، ا. و بذرافشان، ا.، ۱۳۹۶. بررسی تغییرات پوشش گیاهی براساس شاخص‌های گیاهی با استفاده از سنجش از دور، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۲۴، شماره ۴، صص ۷۹۰-۷۷۸.
- نیک‌پور، ن.، نگارش، ح.، فتوحی، ص.، حسینی، ز.، بهرامی، ش.، ۱۳۹۷. پایش روند تغییرات شاخص پوشش گیاهی یکی از مهمترین شاخص‌های تخریب سرزمین (در استان ایلام)، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره ۵، شماره ۴، صص ۴۸-۲۱.

- Akukwe, T.I. Oluoko-odingo, A.A. and Krhoda, G.O., 2020. Do floods affect food security? A before-and-after comparative study of flood-affected households' food security status in South-Eastern. *Bulletin of Geogrphy. Socio. Economic Series*, 47, 115-131.
- Bates, B. C. Kundzewicz, Z. W. Wu, S. and Palutikof, J. P., 2008. *Climate change and water. Technical paper of the intergovernmental panel on climate change, IPCC secretariat, Geneva, climate Change Policy with a Renewed Environmental Ethic*, 21, 85-101.
- Flugel, W.A., 1995. Delineating hydrological response units by geographical information system analyses for regional hydrological modelling using PRMS/MMS in the drainage basin of the River Brol, Germany. *Hydrological processes*, 9(3), 423-436.
- Guan, X. Zang, Y. Meng, Y. Liu, Y. Lv, H. and Yan, D., 2021 *Study on spatiotemporal distribution characteristics of flood and drought disaster impacts on agriculture in China. International Journal of Disaster Risk*, 64, 105-118.
- Hettiarachchi, S. Wasko, C. and Sharma, A., 2018. Increase in flood risk resulting from climate change in a developed urban watershed – the role of storm temporal patterns. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22, 2041-2056.
- Kaspersen, P.S. Høegh Ravn, N. Arnbjerg-Nielsen, K. Madsen, H. and Drews, M., 2015. Influence of urban land cover changes and climate change for the exposure of European cities to flooding during high-intensity precipitation. *Proc. Int. Assoc. Hydrological Sciences*, 370, 21-27.
- Kurki-Fox, J. A. Doll, B. E. Line, D. E. Baldwin, M. M. Klondike, T. and A. Fox, A., 2022. The flood reduction and water quality impacts of watershed-scale natural infrastructure implementation in North Carolina, USA, *Ecological Engineering*, 181.

- Miller, J.D. and Hutchins, M., 2017. *Regional Studies the impacts of urbanisation and climate change on urban flooding and urban water quality: a review of the evidence concerning the United Kingdom. Hydrology, 12, 345–362.*
- Pradhan-salike, I. and Pokharel, J.R., 2017. *Impact of urbanization and climate change on urban Flooding: a case of the Kathmandu valley. Natural Resources and development, 7, 56–66.*
- Richards, John. A. and Xiuping, Jia., 1999. *Remote sensing digital image analysis. Berlin.*
- Rouse, J.W. Haas, R.H. Schell, J.A. and Deering, D.W., 1973. *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317.*
- Vourlitis, G. L. Pinto Jr, O. Dalmagro, H.J. Zanella de Arruda, P.E. de Almeida Lobo, F. and Souza Nogueira, J., 2022. *Tree growth responses to climate variation in upland and seasonally flooded forests and woodlands of the Cerrado-Pantanal transition of Brazil. Forest Ecology and Management, 505.*
- Zhao, G. and Gao, H., 2016. *Effects of urbanization and climate change on peak flows over the San Antonio river basin, Texas. Journal of Hydrometeorol, 17, 2371–2389.*

