Dor: 20.1001.1.20085656.1401.15.55.4.6

صص ۷۵-۶۳

بررسی روابط منطقه‌ای بین رسوب‌دهی و پوشش گیاهی در حوضه‌های آبخیز کوهستان سبلان

صیاد اصغری سراسکانرود*

دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

مهدی جدیدالاسلامی قلعه‌نو

دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۶/۱۷ تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۱۰/۲۷

چکیده

شناخت روابط مکانی پوشش گیاهی با رسوب‌دهی حوضه‌ها جهت کنترل و مدیریت بهینه منابع آب‌وخاک ضرورتی اساسی دارد. پژوهش حاضر باهدف تشخیص و تعیین روابط بین پوشش گیاهی و رسوب‌دهی سالانه حوضه‌های آبخیز سبلان واقع در شمال غرب کشور بر اساس تحلیل‌های همبستگی و رگرسیون انجام گرفت. متغیرهای مستقل شامل مقادیر متوسط، کمینه و بیشینه شاخص گیاهی NDVI بود که از طریق پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در محیط نرم‌افزاری Envi استخراج گردید. نتایج اجرای آزمون همبستگی نشان داد که رابطه قوی و معناداری بین متوسط شاخص گیاهی و میزان رسوب‌دهی سالانه حوضه‌ها (r = -0/758) وجود داشت. گذشته از این، نتایج آزمون‌های رگرسیونی نشان داد که امکان ارائه مدل‌های برآورد منطقه‌ای از رسوب‌دهی سالانه حوضه‌ها از طریق برازش توابع رگرسیونی خطی، درجه ۲ و توانی وجود دارد. در این راستا، مدل درجه دو از بالاترین کارایی برخوردار بوده و توانست ۷۵ درصد از واریانس رسوب‌دهی سالانه را توضیح دهد. یافته‌های پژوهش می‌تواند جهت توسعه برنامه‌های حفاظت خاک و پیگیری بازدهی اقدامات تخفیف فرسایش خاک در منطقه مور مطالعه به کار برده شود.

واژگان کلیدی: رسوب‌دهی، شاخص گیاهی، رگرسیون، سبلان.

مقدمه

فرسایش خاک و رسوب‌دهی در زمره مهم‌ترین معضلات و چالش‌های زیست‌محیطی حوضه‌های آبریز محسوب می‌شود. بار رسوب رودخانه مشکلات زیادی از جمله رسوب‌گذاری در مخازن سدها، تغییر مسیر رودخانه‌ها به دلیل رسوب‌گذاری در بستر آن‌ها، کاهش ظرفیت آبگذری آبراهه‌ها و تأسیسات انتقال آب و تغییر کیفیت آب به لحاظ مصارف شرب و کشاورزی به وجود می‌آورد (Grauso et al. 2007؛ معتمد وزیری و همکاران، ۱۳۸۸). مسائل ناشی از تولید و انتقال رسوب در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل قلّت منابع آب‌وخاک مناسب، اهمیت حیاتی پیدا می‌کند. کشور ما از نظر حجم فرسایش

*نویسنده مسئول: ۰۹۱۰۴۰۲۰۲۵۱ Email: S.asghari @uma.ac.ir

خاک در میان کشورهای منطقه، رتبه نخست و در جهان، رتبه دوم را دارد (کاویان و صفری، ۱۳۹۲). در ایران سالانه حدود دو میلیارد تن از خاک‌های حاصلخیز زراعی و مرتعی، در اثر بهره‌برداری نادرست و بارندگی شسته شده، از دست می‌رود (رنجبر، ۱۳۸۸). جهت حفاظت بهینه منابع آب‌وخاک و کاستن از خطرات و زیان‌های اقتصادی ـ اجتماعی ناشی از تولید و انتقال رسوب در عرصه حوضه‌های آبخیز بایسته است تا آگاهی و شناخت لازم در خصوص تغییرات فضایی رسوب‌دهی و عوامل مؤثر بر آن را کسب نمود.

رسوب‌دهی حوضه‌ها ناشی از عوامل اقلیمی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و ویژگی‌های مورفومتری حوضه بالادست است (قربانی و همکاران، ۱۳۹۰). در بین عوامل فوق، پوشش گیاهی نقشی اساسی در تولید رسوب و انتقال آن دارد. پوشش گیاهی شاخص مهمی از شرایط اکولوژیکی و زیست‌محیطی است که از سطح زمین در برابر اثرات قطرات باران محافظت نموده و نرخ نفوذ را کنترل و رواناب سطحی را کاهش می‌دهد (Xin et al. 2010). در این خصوص، نقش پوشش جنگلی در کاهش رواناب و رسوب‌دهی (Singh et al. 2008; Xiaoming et al. 2010; Shresta et al. 2014) نمونه روشنی می‌تواند باشد. با این اوصاف، شناخت درست و علمی از کم و کیف تأثیر پوشش گیاهی بر میزان رسوب‌دهی حوضه‌های آبخیز ضرورت می‌یابد. این شناخت نظام‌مند نیازمند بهره‌گیری از داده‌های وسیع و بهنگام از کمیت پوشش گیاهی از یک‌سو و مدل‌های ریاضی و آماری تبیین‌گر روابط مورد نظر از سوی دیگر است. امروزه سنجش و اندازه‌گیری پوشش گیاهی از طریق دسترسی گسترده و سریع به داده‌های دورسنجی میسر شده است. در این زمینه، شاخص گیاهی NDVI به‌طور گسترده‌ای برای تحلیل وضعیت پوشش گیاهی در مقیاس منطقه‌ای مورد استفاده واقع شده است (Du et al. 2013). همچنین استفاده از تکنیک‌های آماری رگرسیونی جهت تبیین و تعمیم منطقه‌ای روابط فضایی رسوب‌دهی با ویژگی‌های طبیعی حوضه‌ها رایج بوده است (Rompaey et al. 2005). با استفاده از تحلیل منطقه‌ای و روش رگرسیونی در یک منطقه نسبتاً همگن می‌توان رابطه‌ای بین میزان رسوب‌دهی حوضه‌های دارای آمار کافی و سایر ویژگی‌های آن‌ها برقرار نموده و از آن برای برآورد رسوب‌دهی حوضه‌های فاقد آمار و یا دارای آمار ناکافی در آن منطقه استفاده کرد.

مطالعات فراوانی در خصوص روابط فضایی بین پوشش گیاهی و فرسایش و رسوب‌دهی حوضه‌های آبخیز از گذشته تاکنون در جریان بوده است. Ouyang و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از مدل SWAT به بررسی روابط مکانی پوشش گیاهی با رسوب‌دهی در بالادست رودخانه زرد چین پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد شاخص گیاهی NDVI بر اساس یک رابطه نمایی، ۴۳ درصد تغییرات مقادیر رسوب‌دهی را توضیح داد. Du و همکاران (۲۰۱۳) طی تجزیه و تحلیل اثرات بارندگی و پوشش گیاهی بر روی رواناب و رسوب‌دهی در حوضه رودخانه جینشا کشور چین به همبستگی منفی بین رسوب‌دهی و شاخص NDVI دست یافتند. Zhao و همکاران (۲۰۱۶) ضمن مقایسه عوامل پوشش گیاهی و توپوگرافی با عوامل انسانی در قبال رسوب‌دهی حوضه‌های فلات لسی کشور چین پی بردند که نرخ فرسایش و رسوب‌دهی، همبستگی معنی‌داری با درصد پوشش گیاهی و شاخص NDVI داشت. Li و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از تحلیل همبستگی و رگرسیون خطی چندگانه به بررسی اثرات توأم بارندگی و پوشش گیاهی روی رواناب و رسوب‌دهی سالانه در حوضه‌های

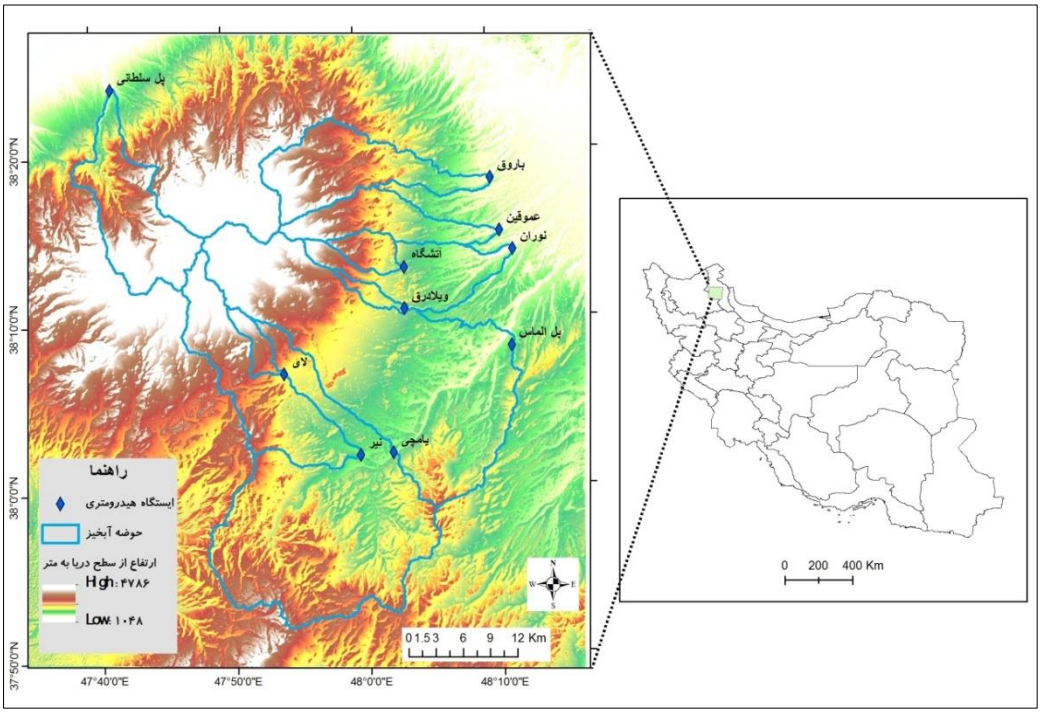
شمال شرق چین پرداختند. نتایج حاصل نشان از وجود رابطه معکوس شاخص پوشش گیاهی (NDVI) با رسوب‌دهی سالانه داشت. ثقفیان و همکاران (۲۰۰۵) جهت تجزیه و تحلیل منطقه‌ای رسوب در ۲۰ حوضه واقع در جنوب غرب ایران از شاخص گیاهی NDVI به‌عنوان یکی از متغیرهای مستقل سود جستند. نتایج پژوهش نشانگر رابطه مثبت درصد اراضی لخت و رابطه معکوس پوشش مرتعی متراکم و جنگلی با میزان رسوب‌دهی حوضه‌ها بود. نجفیان و همکاران (۱۳۸۹) طی بررسی نقش پوشش گیاهی در تولید رواناب و رسوب در اراضی مرتعی منطقه سوادکوه مازندران به رابطه غیرخطی معکوس بین درصد پوشش گیاهی و بار رسوب دست یافتند. کاشی زنوزی و همکاران (۱۳۹۴) سعی در برآورد رسوب‌دهی بر اساس متغیرهای شیب، پوشش گیاهی و نفوذپذیری خاک در حوضه آبخیز زنوزچای داشتند. نتایج پژوهش نشان داد که فرسایش و رسوب‌دهی در وهله نخست متأثر از درصد تاج پوشش گیاهی (شاخص NDVI) بود. نتایج مطالعه جبله و همکاران (۱۳۹۷) در خصوص نقش پوشش گیاهی بر میزان رواناب و رسوب خروجی آبخیزهای شهرستان گرگان نشانگر افزایش چشمگیر میزان رواناب و رسوب خروجی حوضه در زمین‌های آیش یا شخم‌خورده نسبت به زمین‌های با پوشش گیاهی دائمی بود. عرب‌خدری و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی ارتباط فصلی پوشش گیاهی با رسوب‌دهی حوضه‌های آبخیز لتیان و کسیلیان از شاخص گیاهی NDVI استفاده نمودند. از نتایج مهم این پژوهش رابطه منفی و معنی‌دار شاخص گیاهی با رسوب‌دهی حوضه کسیلیان بود.

از آنجایی که اصولاً رابطه بین پوشش گیاهی و رسوب‌دهی حوضه‌های آبخیز پیچیده و غیریکنواخت است، تنها اتکا به روابط خطی در بررسی روابط این دو متغیر نارسا و ناکافی می‌نماید. بسیاری از پژوهشگران تنها به یک نوع تابع رگرسیونی (خطی یا غیرخطی) در این خصوص اکتفا کرده‌اند. مقایسه بین توابع خطی و غیرخطی می‌تواند کاستی‌های روش‌شناختی را برطرف کرده و تبیین روابط را کامل‌تر و روشن‌تر سازد. پژوهش حاضر به در نظر گرفتن چنین ضرورت روش‌شناختی، قصد دارد تا با به‌کارگیری توابع رگرسیونی خطی و غیرخطی در تحلیل منطقه‌ای روابط بین رسوب‌دهی و پوشش گیاهی حوضه‌های آبخیز سبلان، اولاً به کم و کیف تأثیر پوشش گیاهی بر میزان رسوب‌دهی سالانه حوضه‌ها شناخت پیدا نماید و ثانیاً در صورت وجود روابط معنی‌دار، به مدل‌های بهینه برآورد رسوب‌دهی دست یابد. چنین مطالعه‌ای در حوضه‌های آبخیز کوهستان سبلان که با مسائل و مشکلات ناشی از فرسایش و رسوب‌دهی دست به گریبان می‌باشند تا به حال انجام نیافته است. نتایج حاصل می‌تواند برای مدیران منابع آب‌وخاک که مشغول تخفیف اثرات زیان‌بار فرسایش و رسوب‌دهی بر محیط‌زیست و بهبود پایداری منابع طبیعی هستند، مفید واقع شود.

منطقه مورد مطالعه

حوضه‌های آبخیز سبلان (۱۰ حوضه) در مختصات جغرافیایی "۲۵ '۵۱ °۳۷ تا "۰۰ '۲۵ °۳۸ عرض شمالی و "۱۳ '۳۸ °۴۷ تا "۳۳ '۱۲ °۴۸ طول شرقی واقع گردیده‌اند (شکل ۱). به لحاظ تقسیمات کشوری، این حوضه‌ها عمدتاً در قسمت

میانی استان اردبیل و شهرستان‌های اردبیل، سرعین، نیر و مشگین و همچنین بخشی نیز در استان آذربایجان شرقی و شهرستان سراب جای گرفته‌اند.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه‌های آبخیز سبلان

جدول ۱ مشخصات حوضه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. وجود اختلاف ارتفاع زیاد بین پست‌ترین و بلندترین نقاط منطقه که برابر با ۳۷۰۰ متر است، باعث گردیده تا وضعیت اقلیمی متفاوتی در گستره حوضه‌ها حاکم شود. بالادست حوضه‌ها با اقلیم مرطوب از بارندگی ۶۰۰ میلی‌متری و پایین‌دست آن‌ها با اقلیم نیمه مرطوب از بارندگی ۴۰۰ میلی‌متری منتفع می‌شود. دامنه شیب منطقه نیز به‌تبع ارتفاع بالا بوده و از صفر تا ۶۰ درجه متغیر است. اختلافات ناهمواری باعث فعالیت زمین ریختاری برجسته شده و به‌مرور زمان ارتفاعات متشکل از سازندهای سخت آذرین فرسوده شده و تشکیل کوهپایه‌های بادبزنی و پادگانه‌ای پرشده از رسوبات را داده‌اند. همین رسوبات طی فرایند رودخانه‌ای شسته شده و در نهایت به خروجی حوضه‌ها منتقل شده‌اند. حوضه‌های مورد مطالعه از رژیم هیدروکلیمایی نسبتاً مشخصی برخوردارند، به‌طوری که وقوع بارش‌های غالب در فصل بهار و افزایش میزان و شدت آبدهی رودخانه‌ها در این فصل نمود آشکاری دارد. در مقابل، فصل تابستان با کم‌ترین بارش فصلی و رواناب سطحی مشخص است. به لحاظ کاربری و پوشش زمین، قسمت اعظم منطقه را مراتع و دیم‌زارها تشکیل می‌دهند. مراتع که عمدتاً در میان دست و بالادست حوضه‌ها حضور دارند، نزدیک به نیمی از منطقه را در برگرفته و دیم‌زارها نیز ۳۰ درصد مساحت منطقه را شامل می‌شوند.

جدول ۱: مشخصات حوضه‌های آبخیز کوهستان سبلان

نام حوضه	نام ایستگاه	مساحت (کیلومترمربع)	محیط (کیلومتر)	ارتفاع متوسط (متر)	رسوب‌دهی کل (تن در سال)	رسوب‌دهی وِیژه (تن در کیلومترمربع سال)
نوران‌چای	آتشگاه	۲۵	۲۹/۱	۲۲۴۵	۳۶۲	۴/۳۹
شهریور چای	باروق	۱۲۷/۲	۸۶/۶	۲۴۵۷	۷۶۰	۶/۰۶
بالیخلی‌چای	پل الماس	۱۰۳۲/۲۴	۲۱۳/۹	۲۱۱۰	۳۸۸۴	۳/۷۵
خیاوچای	پل سلطانی	۱۳۳/۳۶	۸۶/۷	۲۶۹۴	۳۴۱۰	۲۵/۴۴
یدی‌بولیک‌چای	عموقین	۷۸/۸۴	۷۰/۸	۲۲۰۳	۴۵۴	۵/۶۲
لای‌چای	لای	۱۷/۳۴	۳۱/۷	۲۷۸۰	۲۳۰	۱۳/۲۸
نیرچای	نیر	۱۶۴/۷۶	۱۰۱	۲۴۸۸	۱۵۱۰	۹/۱۵
نوران‌چای	نوران	۱۲۶/۸۳	۷۴/۲	۱۹۳۶	۵۵۶	۴/۳۹
ولادرق‌چای	ویلادرق	۱۱/۱۸	۲۷/۸	۲۰۷۹	۱۰۵	۹/۱۱
بالیخلی‌چای	یامچی	۵۶۷/۴۵	۱۷۷/۵	۲۱۱۶	۳۹۷۸	۷/۰۰

مأخذ: مددی و قراچورلو

داده‌ها و روش‌ها

پژوهش حاضر بر اساس تحلیل آماری همبستگی و رگرسیون انجام گرفت. متغیرهای پژوهش شامل مقادیر شاخص پوشش گیاهی (NDVI) به‌عنوان متغیر مستقل و مقادیر رسوب‌دهی کل و ویژه به‌عنوان متغیرهای وابسته است. داده‌های رسوب‌دهی متعلق به ایستگاه‌های هیدرومتری از سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل اخذ گردید و شاخص پوشش گیاهی نیز از تصاویر ماهواره‌ای لندست استخراج گردید که از سایت USGS دریافت شده بود. ابزارهای تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات شامل نرم‌افزارهای GIS، ENVI و SPSS بود. مراحل انجام پژوهش به شرح زیر بود:

الف- محاسبه و تهیه مقادیر رسوب‌دهی سالانه

داده‌های اخذشده بار رسوبی ایستگاه‌های هیدرومتری طی سال‌های آبی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۶ در ابتدا مورد بازبینی قرار گرفته و نسبت به حذف داده‌های مشکوک و پرت اقدام شد. سپس مقادیر میانگین رسوب‌دهی کل (تن در سال) در هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه گردید. با استفاده از همین مقادیر و تقسیم آن‌ها بر مساحت حوضه‌ها، مقادیر میانگین رسوب‌دهی ویژه (تن در کیلومترمربع سال) نیز حاصل شد. مقادیر حاصل در نهایت جهت آگاهی از نرمال بودن و داشتن صلاحیت ورود به تحلیل‌های همبستگی و رگرسیون، مورد آزمون کلموگروف – اسمیرنوف قرار گرفت.

ب- پردازش تصاویر ماهواره‌ای و تهیه شاخص گیاهی NDVI

پس از تعیین حدود منطقه مورد مطالعه مشخص شد که محدوده مذکور در دوشیت تصاویر لندست واقع شده است. این دوشیت شامل گذر ۱۶۷ و ردیف‌های ۳۳ و ۳۴ بود؛ بنابراین تصاویر لندست ۸ مربوط به این دوشیت که به تاریخ ۲۰۲۱/۰۶/۲۳ اخذ شده بود، از سایت USGS دریافت شد. سپس تصاویر مذکور جهت رسیدن به مقادیر بازتابی مورد

تصحیح اتمسفری قرار گرفت. این کار در محیط نرم‌افزاری Envi و با استفاده از دستور Quac[1] میسر شد. در گام بعدی، نسبت به محاسبه شاخص NDVI از تصاویر تصحیح‌شده اقدام شد. در نهایت، دو تصویر شاخص گیاهی با یکدیگر ترکیب گردیده و آماره‌های مربوط به هر حوضه از تصویر نهایی استخراج شد (جدول ۲). شکل ۲ نشانگر تصویر نهایی شاخص گیاهی است.

جدول ۲: نتایج محاسبه مقادیر متوسط، کمینه و بیشینه شاخص NDVI در حوضه‌های آبخیز سبلان

نام حوضه	نام ایستگاه	میانگین	کمینه	بیشینه
نوران‌چای	آتشگاه	۰/۳۸	۰/۰۹	۰/۸۲
شهریورچای	باروق	۰/۴۲	−۰/۱۷	۰/۹۴
بالیخلی‌چای	پل الماس	۰/۲۵	−۰/۷۲	۰/۹۶
خیاوچای	پل سلطانی	۰/۳۱	−۰/۳۰	۰/۸۹
یدی‌بولیک‌چای	عموقین	۰/۴۴	۰/۰۱	۰/۹۵
لای‌چای	لای	۰/۳۴	۰/۰۱	۰/۸۶
نیرچای	نیر	۰/۳۲	−۰/۳۶	۰/۹۲
نوران‌چای	نوران	۰/۳۵	۰/۰۲	۰/۹۲
ولادرق‌چای	ویلادرق	۰/۳۵	۰/۰۵	۰/۸۴
بالیخلی‌چای	یامچی	۰/۲۸	−۰/۷۲	۰/۸۹

مآخذ: نگارندگان

ج- تحلیل همبستگی (پیرسون) و رگرسیون

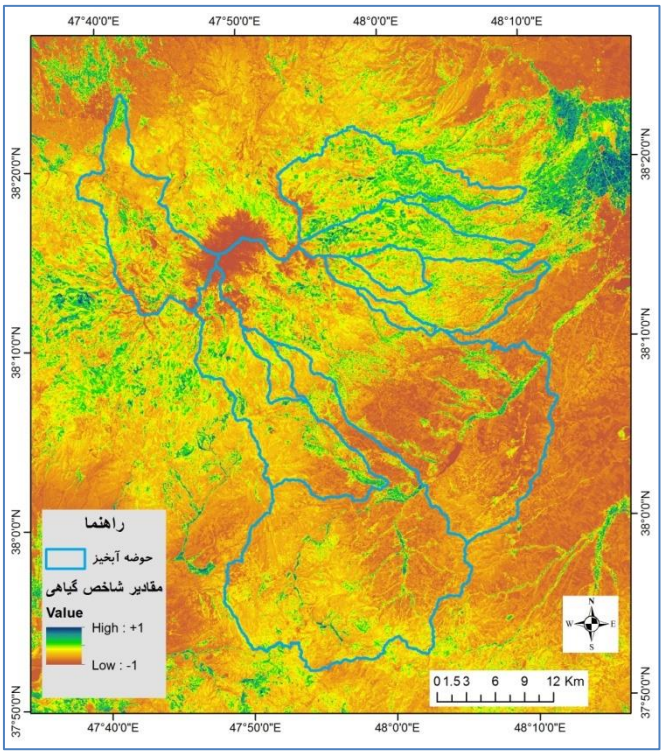
با در دست داشتن مقادیر رسوب‌دهی کل و ویژه (متغیرهای وابسته) و آماره‌های میانگین، کمینه و بیشینه شاخص NDVI (متغیرهای مستقل) برای هر حوضه، روابط همبستگی میان متغیرها در محیط نرم‌افزار SPSS مورد آزمون واقع شد. پس از آگاهی از کم و کیف روابط همبسته میان متغیرها، آزمون رگرسیونی جهت رسیدن به معادلات برآورد رسوب‌دهی انجام گرفت. با توجه به پیچیدگی روابط میان پوشش گیاهی و رسوب‌دهی، توابع رگرسیونی مختلف شامل خطی، درجه دو، توانی و نمایی به داده‌ها برازش یافت (جدول ۳) تا بهترین مدل انتخاب شود. انتخاب مدل بهینه بر اساس آماره‌های ضریب تعیین و F صورت گرفت. در ضمن، سطح معنی‌داری روابط ۰/۰۵ و کمتر در نظر گرفته شد.

جدول ۳: معادلات مربوط به توابع رگرسیونی مورد آزمون

تابع رگرسیونی	معادله
خطی	$Y = a + bx$
درجه ۲	$Y = a + (b_1x) + (b_2x^2)$
توانی	$Y = a\ (x^b)$
نمایی	$Y = a\ (e^{bx})$

مآخذ: خودآموز نرم‌افزار SPSS

[1] Quick atmospheric correction



مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: نقشه تغییرات فضایی شاخص گیاهی NDVI در حوضه‌های آبخیز سبلان

بحث و یافته‌ها

قبل از پرداختن به آزمون همبستگی پیرسون میان متغیرهای مورد نظر، آزمون نرمالیته در خصوص مقادیر متغیر وابسته صورت گرفت. نتایج آزمون نرمالیته بر روی متغیر وابسته بدین‌صورت بود که آماره آزمون برابر با ۰/۸۸۶ و سطح معنی‌داری برابر با ۰/۴۰۸ حاصل شد. با توجه به بالا بودن معنی‌داری حاصل از مقدار ۰/۰۵ و نیز قرار گرفتن مقادیر آماره آزمون در بازه ۱/۹۶- و ۱/۹۶+، می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های مورد بررسی نرمال بوده و از صلاحیت ورود به آزمون همبستگی پیرسون برخوردار هستند. جهت کسب شناخت کلی از وضعیت پوشش گیاهی حوضه‌های منطقه سعی شد تا یک جمع بندی از مقادیر شاخص گیاهی NDVI در بین حوضه‌های منطقه طبق جدول ۴ ارائه شود. طبق این جدول معلوم شد که میانگین مقادیر متوسط شاخص گیاهی برابر با ۰/۳۴ است که نشان از پوشش گیاهی نسبتاً تنک منطقه دارد. کمینه و بیشینه متوسط شاخص گیاهی به ترتیب در حوضه‌های بالیخلی (۰/۲۵) و یدی‌بولیک‌چای (۰/۴۴) حاصل شده است که با توجه به گسترش دیم‌زارها در حوضه بالیخلی و تغییر و تبدیل پوشش گیاهی طبیعی این حوضه قابل انتظار است. از طرفی، مقادیر انحراف معیار برای این متغیر نشانگر همگونی حوضه‌های مورد مطالعه به لحاظ تراکم پوشش گیاهی است؛ اما در خصوص مقادیر کمینه شاخص گیاهی مشاهده می‌شود که ناهمگونی قابل توجهی بین حوضه‌ها وجود دارد. دلیل آن این است که مقادیر کمینه، مناطق عاری از پوشش گیاهی (سنگ، آب، ابر، برف و یخ) را نشان می‌دهند که از ناهمگنی بالای سطوح بازتابی به‌تبع طبیعت متفاوت برخوردارند. بالاترین و پایین‌ترین مقادیر کمینه به ترتیب در حوضه‌های نوران‌چای

(۰/۰۹) و بالیخلی (۰/۷۲-) دیده می‌شود. سومین متغیر مستقل عبارت از بیشینه شاخص گیاهی NDVI است که نشانگر بهترین وضعیت پوشش گیاهی در منطقه است. مقادیر حاصل برای این متغیر نشان می‌دهد که ظاهراً مراتع غنی و بیشه‌زارهای منطقه در وضعیت خوبی به سر می‌برند و ناهمگونی کمی بدین لحاظ با یکدیگر دارند. کمینه و بیشینه این متغیر به ترتیب در حوضه‌های نوران‌چای (۰/۸۲) و بالیخلی (۰/۹۶) حاصل شده است. با در نظر گرفتن این نکته که بعضاً باغ‌های منطقه مقادیر بالای شاخص گیاهی را نشان می‌دهند، این نتیجه برای حوضه بالیخلی نشانگر وضعیت خوب پوشش گیاهی آن نیست. به‌علاوه، با توجه به نبود پوشش جنگلی متراکم و بسیار متراکم در حوضه‌های مورد مطالعه، تفسیر نتایج مربوط دشوار می‌نماید. در کل می‌توان گفت که حوضه‌های دامنه شرقی سبلان چون نوران و یدی‌بولیک‌چای از پوشش گیاهی بهتری نسبت به حوضه‌های دامنه جنوبی سبلان چون بالیخلی برخوردارند که متأثر از توسعه کم فعالیت‌های انسانی در حوضه‌های شرقی است.

جدول ۴: آماره‌های توصیفی مربوط به مقادیر متوسط، کمینه و بیشینه شاخص NDVI در بین حوضه‌های آبخیز سبلان

آماره	میانگین	کمینه	بیشینه	دامنه	انحراف معیار
متوسط NDVI	۰/۳۴	۰/۲۵	۰/۴۴	۰/۱۹	۰/۰۶
کمینه NDVI	-۰/۲۱	-۰/۷۲	۰/۰۹	۰/۸۱	۰/۳
بیشینه NDVI	۰/۹	۰/۸۲	۰/۹۶	۰/۱۳	۰/۰۵

مآخذ: نگارندگان

تحلیل همبستگی

نتایج آزمون همبستگی بین متغیرهای مورد بررسی در جداول ۵ و ۶ آورده شد. طبق این جداول معلوم می‌شود که اولاً روابط معنی‌داری در خصوص ارتباط میزان شاخص NDVI و میزان رسوب‌دهی ویژه دیده نمی‌شود؛ ثانیاً در خصوص رسوب‌دهی کل، روابط معنی‌داری بین مقادیر این متغیر و دو متغیر متوسط و کمینه NDVI وجود دارد، در حالی که مابین متغیر مستقل بیشینه NDVI و متغیر وابسته رسوب‌دهی کل، همبستگی معنی‌داری حاصل نشده است. از آنجایی که به لحاظ طراحی و برنامه‌ریزی برای مخازن و سدها و سایر سازه‌های مهندسی، مقادیر رسوب‌دهی کل سالانه بر مقادیر رسوب‌دهی ویژه ارجحیت دارد، وجود روابط معنی‌دار و نزدیک‌بین مقادیر رسوب‌دهی کل و مقادیر شاخص پوشش گیاهی به لحاظ کاربردی اهمیت ویژه‌ای دارد.

جدول ۵: نتایج آزمون همبستگی بین مقادیر NDVI و رسوب‌دهی کل در حوضه‌های آبخیز سبلان

متغیر مستقل	متوسط NDVI	کمینه NDVI	بیشینه NDVI
ضریب همبستگی (r)	-۰/۷۵۸	-۰/۹۳۰	۰/۳۳۲
معنی‌داری (sig)	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰	۰/۱۷۴

مآخذ: نگارندگان

جدول ۶: نتایج آزمون همبستگی بین مقادیر NDVI و رسوب‌دهی ویژه در حوضه‌های آبخیز سبلان

متغیر مستقل	متوسط NDVI	کمینه NDVI	بیشینه NDVI
ضریب همبستگی (r)	-۰/۰۸۳	۰/۱۶۷	-۰/۵
معنی‌داری (sig)	۰/۸۲۱	۰/۶۴۶	۰/۱۴۱

آنچه که در اینجا مهم بوده و نمایانگر رابطه کلی تراکم پوشش گیاهی با میزان رسوب‌دهی است، رابطه معکوس متوسط شاخص گیاهی با رسوب‌دهی کل (r = -0/758) است. به عبارتی، با افزایش میزان پوشش گیاهی در حوضه‌های مورد مطالعه از میزان رسوب‌دهی آن‌ها کاسته می‌شود؛ اما تفسیر رابطه کمینه NDVI با رسوب‌دهی کل حوضه‌ها کمی دشوار می‌نماید. اول این‌که مقادیر کمینه، نمایانگر زمین‌های بدون پوشش گیاهی است و دوم این‌که مقادیر مذکور با ناهمگنی و تفاوت فضایی بالا مواجه است. با این حال رابطه منفی این متغیر مستقل با متغیر وابسته را بدین گونه می‌توان تشریح نمود که با افزایش مقدار رطوبت خاک و آب و برف از میزان تولید و انتقال رسوب کاسته می‌شود. اثر رطوبت خاک در ایجاد اتصال بین ذرات تشکیل‌دهنده آن و تحکیم ساختمان آن مانع از فروپاشی و تخریب خاک می‌گردد. پهنه‌های پوشیده از آب نیز که بدون خاک در معرض فرسایش هستند؛ اما وجود برف نیز به‌مانند عایقی خاک زیرین را پوشانده و فرایند هوازدگی را به تعویق می‌اندازد. در نهایت، رخنمون‌های سنگی که مقادیر نزدیک به صفر NDVI (مابین ۰/۰۵+ و ۰/۰۵-) را داشته و بیشتر در ارتفاعات بالا حضور دارند، به دلیل سختی و نفوذناپذیری، کمتر دچار تخریب و فروپاشی واقع می‌شوند. در کنار روابط دو متغیر مستقل مذکور با متغیر وابسته، نوع رابطه متغیر مستقل بیشینه شاخص گیاهی با متغیر وابسته نیز علی‌رغم عدم معنی‌داری جالب می‌نماید. وجود رابطه مستقیم بین بیشینه NDVI و رسوب‌دهی کل دور از انتظار بوده و ظاهراً نشان می‌دهد که با افزایش پوشش گیاهی متراکم بر میزان تولید و انتقال رسوب افزوده می‌شود.

آزمون رگرسیونی و تهیه معادلات برآورد رسوب‌دهی

با توجه به این‌که روابط همبسته معنی‌داری بین مقادیر رسوب‌دهی ویژه و مقادیر شاخص NDVIحاصل نشد، نمی‌توان بین مقادیر دو متغیر روابط رگرسیونی برقرار ساخت؛ بنابراین با توجه به وجود روابط معنی‌داری متغیرهای مستقل متوسط و کمینه NDVI با میزان رسوب‌دهی کل، نسبت به برازش توابع رگرسیونی مختلف به داده‌های متغیرهای مذکور اقدام شد تا کم و کیف تبیین متغیر وابسته توسط دو متغیر مستقل مشخص شود. نتایج آزمون مدل‌های رگرسیونی مختلف در روابط شاخص گیاهی با رسوب‌دهی حوضه‌ها طبق جداول ۷ و ۸ مشاهده می‌شود. در خصوص متغیر مستقل متوسط NDVI به غیر از مدل نمایی، سایر مدل‌ها معنی‌دار بودند. در بین توابع رگرسیونی، بالاترین مقادیر ضریب تعیین (۰/۷۵) و آماره F (۱۰/۲۹) به تابع درجه ۲ تعلق دارد؛ بنابراین مدل حاصل از برازش این تابع به‌عنوان بهترین مدل رگرسیونی جهت برآورد رسوب‌دهی کل انتخاب می‌شود. رابطه خطی نیز بر طبق میزان ضریب تعیین بالا (۰/۵۷) از توان پیش‌بینی خوبی برخوردار بوده و قادر به توضیح درصد قابل‌توجهی از واریانس رسوب‌دهی کل است؛ اما در خصوص متغیر مستقل

کمینه NDVI می‌توان گفت که تابع خطی برازش بهتری داشته و بالاترین مقادیر ضریب تعیین (۰/۸۶) و آماره F (۵۰/۸۱) را کسب کرد. همچنین تابع درجه ۲ نیز با توجه به مقادیر ضریب تعیین (۰/۸۲) و آماره F (۲۸/۳۲)، مدل خوبی محسوب می‌شود. تابع توانی به دلیل وجود مقادیر منفی متغیر مستقل برازش نیافت؛ اما مدل حاصل از تابع‌نمایی هم مدل مناسبی است.

جدول ۷: آماره‌ها و معادلات آزمون‌های رگرسیونی بین متوسط شاخص NDVI و رسوب‌دهی کل در حوضه‌های آبخیز سبلان

تابع رگرسیونی	ضریب تعیین	آماره F	معنی‌داری	معادله رگرسیونی
خطی	۰/۵۷	۷/۸۳	۰/۰۱۱	Y = 8585/47 - 20566/91x
درجه ۲	۰/۷۵	۱۰/۲۹	۰/۰۰۸	Y = 29652/76 - 144606/57x + 177896/09x2
توانی	۰/۴	۵/۳۲	۰/۰۵	Y = 5/29 x-4/65
نمایی	۰/۳۶	۴/۴۳	۰/۰۶۸	Y = 68729/32 (e-12/92x)

مآخذ: نگارندگان

جدول ۸: آماره‌ها و معادلات آزمون‌های رگرسیونی بین کمینه شاخص NDVI و رسوب‌دهی کل در حوضه‌های آبخیز سبلان

تابع رگرسیونی	ضریب تعیین	آماره F	معنی‌داری	معادله رگرسیونی
خطی	۰/۸۶	۵۰/۸۱	۰/۰۰۰	Y = 488/11 - 4838/32x
درجه ۲	۰/۸۲	۲۸/۳۲	۰/۰۰۱	Y = 483/48 - 5178/38x + 524/69x2
نمایی	۰/۷۹	۲۶/۶۲	۰/۰۰۱	Y = 68729/32 (e-3/69)

مآخذ: نگارندگان

نتیجه‌گیری

حوضه‌های آبخیز کوهستان سبلان به دلیل ناهمواری بالا، رژیم فصلی بارندگی و زمین‌ساخت فعال و سازندهای فرسایش پذیر و تخریب اکوسیستم‌های طبیعی، در معرض فرایندهای فرسایش و رسوب‌دهی قابل‌توجهی هستند. پژوهش حاضر به‌منظور تشخیص و تعیین اثرات پوشش گیاهی بر رسوب‌دهی حوضه‌های سبلان به‌منظور رسیدن به مدل‌های برآورد منطقه‌ای انجام گرفت. نتایج آزمون‌های همبستگی و رگرسیون نشان می‌دهد که رابطه قوی و معناداری بین تراکم پوشش گیاهی و میزان رسوب‌دهی کل حوضه‌ها وجود دارد. وجود رابطه معکوس و نزدیک‌بین متوسط شاخص گیاهی NDVI با رسوب‌دهی کل (r = -0/758) با نتایج بسیاری از پژوهش‌های پیشین (Du و همکاران، ۲۰۱۳؛ Zhao و همکاران، ۲۰۱۶؛ Li و همکاران، ۲۰۲۰؛ جبله و همکاران، ۱۳۹۷ و عرب‌خدری و همکاران، ۱۳۹۹) هم‌خوانی داشته و اشاره به تأثیر مثبت پوشش گیاهی بر حفاظت خاک و کاهش تولید و انتقال رسوب در داخل حوضه‌های آبخیز دارد. این نقش مهم حفاظتی در حوضه‌های سبلان بر عهده مراتع است که حدود نیمی از منطقه را پوشانده‌اند؛ اما رابطه معکوس حاصل بین کمینه شاخص گیاهی با رسوب‌دهی کل حوضه‌ها گرچه پیچیده و نامربوط می‌نماید، با این حال نشان می‌دهد که سطوح سنگی و مرطوب

و پوشیده از برف باعث کاهش تولید و انتقال رسوبات شده و به‌نوبه خود، حافظ خاک هستند. وجود رابطه مستقیم بین بیشینه NDVI و رسوب‌دهی کل نیز این‌گونه بوده و ظاهراً نشان می‌دهد که با افزایش پوشش گیاهی متراکم بر میزان تولید و انتقال رسوب افزوده می‌شود؛ اما با رجوع به مقادیر میانگین این متغیر (۰/۹) در منطقه مورد مطالعه می‌توان گفت که احتمالاً مقادیر بیشینه NDVI دچار افزونگی و اشباع بازتاب واقع شده است. از طرفی، وجود برخی باغات و درختان غیر جنگلی و دست‌کشت در حاشیه رودخانه‌ها که از مقادیر بالای شاخص گیاهی (بالای ۰/۷) برخوردارند، مزید بر علت شده و تفسیر نتایج رابطه مورد نظر را با اشکال مواجه می‌سازد.

نتایج آزمون‌های رگرسیونی موفقیت‌آمیز بوده و نشان می‌دهد که مدل‌های برآورد خوبی از تغییرات مکانی رسوب‌دهی بر اساس کمیت پوشش گیاهی می‌توان ارائه داد. در بهترین حالت، تابع درجه دو توانست ۷۵ درصد از واریانس رسوب‌دهی کل را توضیح دهد. رابطه خطی نیز از توان پیش‌بینی خوبی برخوردار بوده و قادر به توضیح ۵۷ درصد واریانس رسوب‌دهی کل است. برتری تابع غیرخطی به تابع خطی در تبیین بهتر روابط بین پوشش گیاهی و رسوب‌دهی را می‌توان با نتایج Ouyang و همکاران (۲۰۱۰) و نجفیان و همکاران (۱۳۸۹) هم‌راستا دانست. این نوع رابطه دلالت بر پیچیدگی روابط پوشش گیاهی با فرسایش و رسوب‌دهی حوضه‌های آبخیز دارد که Wang و همکاران (۲۰۱۶) و Xuو همکاران (۲۰۱۸) نیز بدان اذعان داشتند؛ اما به لحاظ قدرت تبیین مدل‌ها می‌توان گفت که ضریب تعیین مدل خطی حاصل کمتر از مدل خطی کاشی زنوزی و همکاران (۱۳۹۴) و در مقابل، بیشتر از مدل‌های خطی Li و همکاران (۲۰۲۰) است کاشی زنوزی و همکاران (۱۳۹۴) به ضریب تعیین ۰/۶۸ دست یافتند. ضرایب تعیین مدل‌های خطی Li و همکاران (۲۰۲۰) نیز از ۰/۱۴ تا ۰/۳۲ متغیر بود. به لحاظ مقایسه مدل نمایی، Ouyang و همکاران (۲۰۱۰) به رابطه نمایی دست یافتند که قادر به توضیح ۴۳ درصد واریانس رسوب‌دهی بود، در حالی که رابطه نمایی حاصل از این پژوهش کمتر بوده و تنها قادر به توضیح ۳۶ درصد واریانس رسوب‌دهی بود. این تفاوت‌ها به این واقعیت برمی‌گردد که در هر منطقه روابط ویژه‌ای مابین عوامل مؤثر بر رسوب‌دهی و تغییرات رسوب‌دهی با توجه به ویژگی‌های خاص آن ناحیه وجود دارد و از همین روست که معادلات ارائه‌شده جهت برآورد رسوب‌دهی تنها برای منطقه مورد مطالعه معتبر است. در همین راستا، وجود تفاوت‌ها در سنجش و اندازه‌گیری متغیرهای مورد بررسی نیز دلیل دیگری می‌تواند باشد که بر توان و دقت مدل‌های منطقه‌ای تأثیرگذار است. در هر حال، توجه به خطاهای پیش‌بینی نیز ضرورت داد. خطاهایی که از خلال مدل‌سازی‌ها سر برمی‌آورد ممکن است مربوط به اشتباهات اندازه‌گیری رسوب‌دهی و نیز ناهمگنی فضایی حوضه‌ها به لحاظ ویژگی‌های فیزیوگرافیک باشد که همواره در مدل‌های برآورد میزان فرسایش و رسوب‌دهی حضور دارند.

در کل، نتایج حاصل دلالت بر این دارد که پوشش گیاهی به طرز مؤثری در کم و کیف تغییرات مکانی میزان رسوب‌دهی حوضه‌ها مؤثر افتاده و شاخص گیاهی NDVI به‌عنوان نماینده پوشش گیاهی به طرز موفقیت‌آمیزی برای ایجاد یک مدل آماری از تغییرات میزان رسوب‌دهی می‌تواند مورد استفاده واقع شود. این فاکتور از آن جهت اهمیت دارد که برخلاف سایر متغیرهای طبیعی، پویا بوده و قابل کنترل و مدیریت است. به‌علاوه، مدل‌های آماری ارائه‌شده می‌تواند

جهت کاوش و پیگیری بازدهی اقدامات تخفیف فرسایش خاک در منطقه مور مطالعه به کار برده شود. به لحاظ اولویت نظارت بر پوشش گیاهی مراتع و حفاظت از آن، حوضه‌های دامنه جنوبی سبلان چون بالیخلی‌چای که دستخوش تغییر و تبدیلات بیشتر کاربری و پوشش زمین هستند، در اولویت قرار دارند. همچنین، حفاظت از مراتع خوب حوضه‌های واقع در دامنه شرقی سبلان چون نوران و یدی‌بولیک‌چای به جهت حفظ پایداری اکوسیستم‌های ارزشمند منطقه ضرورت می‌یابد. بدون شک، حفظ و استرداد این مراتع نقش مؤثری در پایداری منابع آب‌وخاک و استمرار زندگی ساکنین منطقه خواهد داشت.

منابع

۱- ثقفیان، بهرام؛ قرمز چشمه، باقر؛ سمیعی، مسعود (۱۳۸۴): تجزیه و تحلیل منطقه‌ای رسوب معلق بر مبنای پردازش تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل‌های GIS. سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران: مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور.

۲- جبله، علی؛ نجفی‌نژاد، علی؛ حسینعلی‌زاده، محسن؛ محمدیان بهبهانی، علی؛ گلکاریان، علی (۱۳۹۷): نقش پوشش گیاهی در تولید رواناب و رسوب اراضی لسی گرگان. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال ۹، شماره ۱۷، صص ۱۹۲-۱۸۲.

۳- رنجبر، محسن (۱۳۸۸). آبخیزداری (برای دانشجویان رشته جغرافیا). تهران، نشر آییژ.

۴- عرب‌خدری، محمود؛ اسدی، حسین؛ اسلامی، فاطمه؛ گرامی، زهرا؛ وظیفه دوست، مجید (۱۳۹۹): کاربرد داده‌های چرخه فصلی پوشش گیاهی، رسوب‌دهی و فرسایندگی باران برای مدیریت بهره‌برداری اراضی. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک، جلد ۲۷، شماره ۵، صص ۲۳۲-۲۱۷.

۵- قربانی، محمدعلی؛ فاخری‌فرد، احمد؛ نعمتی، سمیرا و طلوعی، سمیرا (۱۳۹۰): تعیین نواحی همگن توزیع مکانی بار معلق در حوضه آبریز رودخانه آجی‌چای، نشریه دانش آب‌وخاک، شماره ۲، صص ۲۴-۱۶.

۶- کاشی‌زنوزی، لیلا؛ احمدی، حسن؛ نظری سامانی، علی‌اکبر (۱۳۹۴): بهره‌گیری از روش آماری هیدروژئومورفولوژی در برآورد رسوب تولیدی حوزه آبخیز (مطالعه موردی: حوزه‌های آبخیز زنوزچای و زیلبرچای). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال ۶، شماره ۱۲، صص ۱۷۴-۱۶۶.

۷- کاویان، عطاا...؛ و صفری، عطا (۱۳۹۲): تعیین مدل مناسب برای برآورد رسوب‌دهی با استفاده از روش‌های آماری، مطالعه موردی: حوزه آبخیز بابلرود. فصلنامه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۳۰، صص ۱۳۰-۱۱.

۸- مددی، عقیل؛ قراچورلو، مرتضی (۱۳۹۹): بررسی تغییرات مکانی میزان رسوب‌دهی در ارتباط با پراکنش اجزاء لندفرمی (مطالعه موردی حوضه آبریز قره‌سو). فصلنامه پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۳(۳۹)، صص ۴۱-۲۲.

۹- معتمد وزیری، بهاره؛ احمدی، حسن؛ مهدوی، محمد؛ شریفی، فرود و جواهری، نصرا... (۱۳۸۸): بررسی امکان مدل‌سازی بار معلق با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز زنجانرود)، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۲، شماره ۲، صص ۲۸۳- ۲۹۸.

۱۰- نجفیان، لیلا؛ کاویان، عطاا... قربانی، جمشید؛ تمرتاش، رضا (۱۳۸۹): اثر فرم رویشی و مقدار پوشش گیاهی بر تولید رواناب و رسوب اراضی مرتعی منطقه سوادکوه مازندران. مجله مرتع، سال ۴، شماره ۲، صص ۳۴۷-۳۳۴.

11- Du, J. & Shi, C. X. (2013): Modeling And Analysis Of Effects Of Precipitation And Vegetation Coverage On Runoff And Sediment Yield In Jinsha River Basin. Water Science And Engineering, 6(1), Pp. 44-58.
12- Grauso, S. Fattoruso, G. Crocetti, C. And Montanari, A. (2007): A Spatially Distributed Analysis Of Erosion Susceptibility And Sediment Yield In A River Basin By Means Of Geomorphic Parameters And Regression Relationships. Hydrology And Earth System Sciences Discussions, 4(2), Pp. 627-654.
13- Li, T. Dong, J. & Yuan, W. (2020): Effects Of Precipitation And Vegetation Cover On Annual Runoff And Sediment Yield In Northeast China: A Preliminary Analysis. Water Resources, 47, Pp. 491-505.
14- Ouyang, W. Hao, F. Skidmore, A. K. & Toxopeus, A. G. (2010): Soil Erosion And Sediment Yield And Their Relationships With Vegetation Cover In Upper Stream Of The Yellow River. Science Of The Total Environment, 409(2), Pp. 396-403.
15- Rompaey, A.V. (2005): Modeling Sediment Yields In Italian Catchments. Geomorphology 65, Pp. 157–169.
16- Singh, O. Sharma, M. C. Sarangi, A. & Singh, P. (2008). Spatial And Temporal Variability Of Sediment And Dissolved Loads From Two Alpine Watersheds Of The Lesser Himalayas. Catena, 76(1), 27-35.
17- Xin, Z. Yu, X. & Lu, X. X. (2010): Factors Controlling Sediment Yield In China's Loess Plateau. Earth Surface Processes And Landforms, 36(6), Pp. 816-826.
18- Xiaoming, Z. Wenhong, C. Qingchao, G. & Sihong, W. (2010): Effects Of Landuse Change On Surface Runoff And Sediment Yield At Different Watershed Scales On The Loess Plateau. International Journal Of Sediment Research, 25(3), Pp. 283-293.
19- Xu, G.C. Zhang, J.X. Li, P. Et Al. (2018): Vegetation Restoration Projects And Their Influence On Runoff And Sediment In China. Ecological Indicators, 95 (1), Pp. 233–241.
20- Zhao, J. Vanmaercke, M. Chen, L. & Govers, G. (2016): Vegetation Cover And Topography Rather Than Human Disturbance Control Gully Density And Sediment Production On The Chinese Loess Plateau. Geomorphology, 274, Pp. 92-105.