

ارزیابی و تحلیل میزان تاثیر کاربری اراضی بر فرسایش خاک با استفاده از مدل تجربی

RUSLE (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بالیخلوچای، استان اردبیل)^۱

امیرحسام پاسبان^۱، موسی عابدینی*^۲، مهدی فروتن^۳

۱. دانشجوی دکتری، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی، اردبیل، ایران.

۲. استاد، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی، اردبیل، ایران

abedini@uma.ac.ir

۳. دانشجوی دکتری، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی، اردبیل، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۹

چکیده

نوع و شدت فرسایش خاک در یک منطقه، تابع شرایط اقلیمی، پستی و بلندی زمین، خاک و کاربری اراضی است که در این میان اهمیت کاربری اراضی به دلیل نقش مؤثر انسان بر آن نسبت به دیگر عوامل زیادتیر است. هدف از این پژوهش ارزیابی و تحلیل میزان فرسایش خاک در حوضه آبخیز بالیخلوچای با استفاده از مدل تجربی RUSLE در استان اردبیل است. به منظور اجرای این تحقیق ابتدا تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه مربوط به سال ۱۴۰۰ و ماه خرداد از مرکز تحقیقات زمین‌شناسی آمریکا دریافت و پس از تصحیحات اتمسفری و رادیومتریک با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده به شیوه ماشین بردار پشتیبان اقدام به تهیه نقشه کاربری اراضی شد. سپس به منظور برآورد میزان فرسایش از مدل RUSLE استفاده شد. جهت تجزیه و تحلیل و تولید نقشه‌ها در اجرای این تحقیق نیز از نرم‌افزارهای SPSS 21، ArcGIS 5.4، ArcHydro، ENVI 5.3 استفاده شد. لایه پارامترهای مدل RUSLE شامل لایه فرساینده‌گی باران، لایه خاک، لایه توپوگرافی، لایه پوشش گیاهی و عامل حفاظتی خاک هم‌چنین آمارهای مختلف مربوط به ایستگاه‌های باران‌سنجی، هیدرومتری، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ هم‌چنین DEM (۲۰ متر منطقه) و نیز بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و سنجش از دور استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار متوسط فرسایش سالانه خاک برای کل حوضه در دامنه بین ۶/۶۵- تا ۱۴/۷۵ تن در هکتار در سال متغیر است. هم‌چنین بررسی روابط رگرسیونی بین فاکتورهای مدل RUSLE و مقدار فرسایش سالانه خاک نشان داد که فاکتور توپوگرافی (LS) با بالاترین مقدار ضریب تعیین $R^2 = 0/95$ بیش‌ترین اهمیت را در برآورد فرسایش سالانه خاک به‌وسیله مدل RUSLE دارد. **واژه‌های کلیدی:** کاربری اراضی، فرسایش، ماشین بردار پشتیبان، بالیخلوچای، مدل تجربی راسل.

^۱ مقاله با کد ۲۳۰۱-۱۷۹۶ مستخرج از طرح پژوهشی نوع ۳ (ویژه دانشجویان تحصیلات تکمیلی) به شماره قرارداد ۱۰۳/۴۰۱ با

نظارت دکتر موسی عابدینی و با حمایت دانشگاه محقق اردبیلی انجام گرفته است. مجری طرح امیرحسام پاسبان

مقدمه

یکی از مشکلات جدی و پیوسته محیط زیست فرسایش خاک و تخریب زمین به‌ویژه در کشورهای جهان سوم است که اقتصاد آن‌ها وابسته به کشاورزی است. در سراسر جهان هر ساله بیش از ۷۵ میلیارد تن خاک به‌دلیل فرسایش از زمین‌های کشاورزی از بین می‌رود (Asis et al., 2018). با این حال، خاک ممکن است توسط فعالیت‌های انسانی و عوامل محیطی تخریب شود که افزایش جمعیت، جنگل‌زدایی و چرای بی‌رویه سه عامل اصلی هستند که باعث و تشدید فرسایش خاک می‌شوند (Emadodin et al., 2012). فرسایش اثرات منفی بسیاری دارد که به‌دلایل مختلف باعث مشکلات جدی می‌شود. اولاً حذف لایه بالایی خاک حاصل‌خیز (خاک سطحی) توسط فرسایش بر حاصل‌خیزی خاک و بهره‌وری محصول تأثیر می‌گذارد ثانیاً، فرسایش ظرفیت و عملکرد مخزن را کاهش می‌دهد و کیفیت آب پایین‌دست را کاهش می‌دهد (El Jazouli et al., 2017). از طرفی دیگر فرسایش خاک باعث افزایش آلاینده‌ها و رسوب‌گذاری در نهرها و رودخانه‌ها و در نتیجه مسدود شدن این آبراه‌ها و کاهش تنوع زیستی می‌شود در نهایت، فرسایش زمینی را که می‌تواند میزبان گیاهان کم‌تری باشد که قادر به جذب دی‌اکسید کربن گرم‌کننده آب و منجر به از بین رفتن پوشش گیاهی و تشدید اثرات گرمایش جهانی می‌شود (Allafta and Opp., 2022). برآورد تقریبی نشان می‌دهد که سالانه ۱۰ میلیون هکتار از زمین‌های زراعی به‌دلیل فرسایش خاک تخریب می‌شود. به همین دلیل تولیدات کشاورزی کاهش می‌یابد که منجر به کاهش منابع اقتصادی و افزایش سوء تغذیه می‌شود (Gayen et al., 2019). هزینه‌های ناشی از فرسایش خاک در ایران بین ۵۶ تا ۱۱۲ میلیارد دلار بیش‌تر از درآمد سالانه نفت کشور است (Allafta and Opp., 2022; Financial Tribune, 2022). مدل‌های مختلفی برای تخمین هدررفت خاک توسط آب در سطوح مختلف جهانی، منطقه‌ای و محلی استفاده شده است که از مهم‌ترین این مدل‌ها، می‌توان به معادله جهانی فرسایش خاک (USLE¹)، پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی (WEPP²)، ابزار ارزیابی خاک و آب (SWAT³) و مدل اروپایی فرسایش خاک (EURUSEM⁴) اشاره نمود در طی ۴۰ سال اخیر مدل USLE به‌سبب داشتن محاسبات ساده، پرکاربردترین روش تخمین پتانسیل فرسایش خاک و برآورد اثرات عملیات‌های مدیریتی مختلف بوده است (Kinell, 2000). نسخه جدید مدل USLE با نام معادله تجدیدنظر شده جهانی هدررفت خاک (RUSLE⁵) توسعه یافته که برآوردهای دقیق‌تری از فاکتورهای K, R, C و P فرسایش

¹- Universaal Soil Loss Equation (USLE)

²- Water Erosion Prediction project (WEPP)

³- Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

⁴- European Soil Erosion Model (EUROSEM)

⁵- Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

خاک ارائه می‌دهد (Renard et al., 1994). فرسایش خاک، یک فرآیند طبیعی است که هدررفت خاک توسط عوامل محیطی مختلف نظیر آب و هوا، خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی را موجب می‌شود (عبیات و همکاران، ۱۴۰۰). با این حال، مداخلات انسانی از طریق تغییر کاربری زمین و فعالیت‌های کشاورزی و توسعه شهری می‌تواند فرسایش خاک را تسریع بخشد (Vanacker et al., 2019). از این جهت امروزه فرسایش خاک ناشی از تغییر کاربری زمین به مهم‌ترین مسئله تخریب زمین در سراسر جهان تبدیل شده که دگرگونی شکل اراضی و اختلال کارکردهای اصلی اکوسیستم از پیامدهای این واکنش‌های ژئومورفیکی آن است که واکنش‌های ژئومورفولوژیکی تشدید فرسایش خاک و افزایش مناطق آسیب‌پذیر را به همراه دارد (Assis et al., 2021). در مطالعات اخیر بیان شده که خصوصیات چشم‌انداز حوضه‌های آبخیز می‌تواند حدود ۵۶ تا ۴۷ درصد تغییرات کاربری را در فرسایش خاک و تولید رسوب توجیه نماید (Ouyang et al., 2018). زیرا کاربری اراضی بازتاب کنش‌های میان انسان و محیط زیست و نیز توصیف‌کننده نحوه بهره‌برداری متنوع انسان از مکان است (Ren et al., 2019). استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند شناخت مناسبی نسبت به چگونگی تغییرات کاربری اراضی و مدیریت بهینه آن ارائه دهد و اطلاعات ماهواره‌ای با توجه به این‌که توانایی پوشش سطح وسیعی از منطقه مورد مطالعه، فرآیند تکرارپذیری پردازش داده‌ها، به‌روزرسانی آن‌ها و زمان و هزینه اندک می‌تواند در تهیه نقشه‌ها و مدیریت آن مناطق کاربرد بهتری داشته باشد در این بین تصاویر دوره‌ای ماهواره لندست، یکی از مهم‌ترین منابع داده‌ای برای مطالعه انواع مختلف تغییر کاربری و پوشش زمین می‌باشد و استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای به‌وسیله طبقه‌بندی، از پرکاربردترین روش‌های موجود است (اسماعیل پور و همکاران، ۱۳۹۸). انتخاب روش و الگوریتم کار جهت بازیابی و کشف این تغییرات اقدامی مهم و اساسی است (کاظمی‌نیا، ۱۳۹۷). روش‌های طبقه‌بندی، به‌عنوان روش‌هایی با ضریب اطمینان بالا نسبت به روش‌های دیگر استخراج اطلاعات استفاده می‌شوند همچنین اخیراً روش تقسیم‌بندی و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای تکنولوژی شیء‌گرا است (خضری و سلیمان، ۱۳۹۶). طبقه‌بندی شیء‌گرا، فرآیندی است که کلاس‌های پوشش اراضی را به اشیاء تصویری ارتباط می‌دهد و در آن علاوه بر ارزش‌های عددی از اطلاعات مربوط به بافت، شکل و تن رنگ در فرآیند طبقه‌بندی استفاده می‌شود (Lillesand et al., 2015). هم‌چنین با اطلاع از روند تغییرات کاربری زمین می‌توان در راستای جلوگیری از فرسایش خاک و هدایت اکوسیستم، به سمت تعادل و پایداری قدم برداشت (Zhang et al.,)

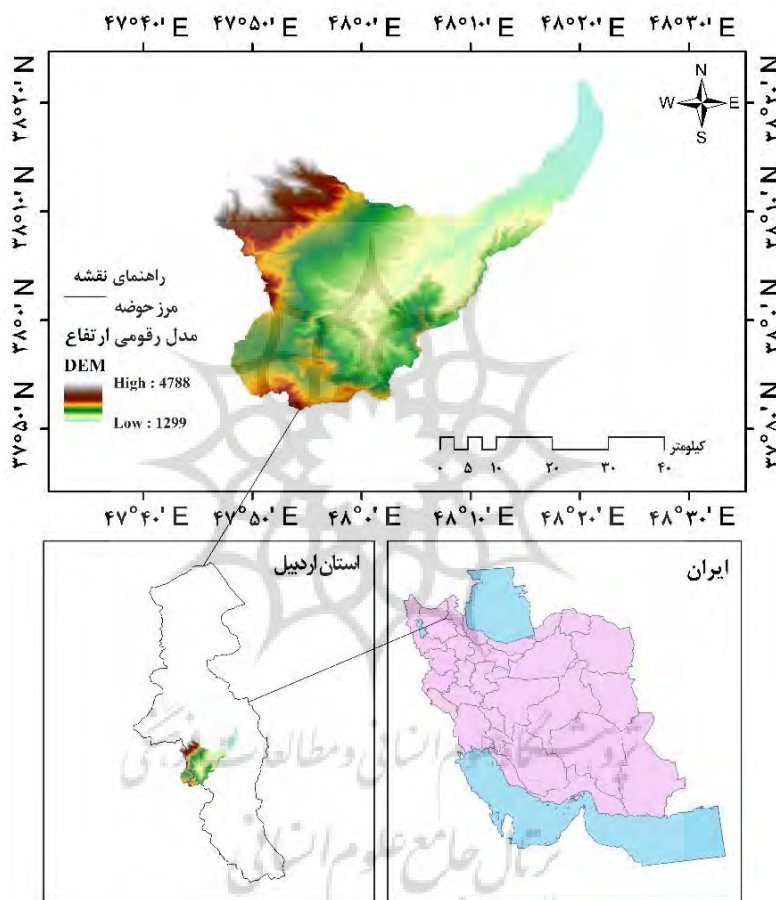
(2020; Han et al., 2020). تاکنون مطالعات متعددی در رابطه با موضوع تغییر کاربری‌ها و تأثیر آن بر فرسایش خاک در مناطق مختلف به انجام رسیده است. Santos و همکاران (۲۰۱۷)، به بررسی تغییرات کاربری اراضی و نقش آن در فرسایش خاک در کشور برزیل پرداختند و نتایج نشان داد که سطح زمین‌های کشاورزی و مراتع کاهش یافته و میزان فرسایش در این مناطق ۱۰ برابر افزایش یافته است. Chi و همکاران (۲۰۱۹)، به منظور بررسی اثرات تغییر کاربری زمین بر فرسایش بادی خاک در کشور چین پرداختند و به این نتیجه رسیدند که میانگین فرسایش خاک از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ به نصف کاهش یافته است. در این کشور بین فرسایش خاک و انواع کاربری و پوشش زمین اختلاف زیادی مشاهده شد. Singh و همکاران (۲۰۲۰)، به بررسی تغییرات کاربری اراضی بر روی تالاب هارایک در ایالت پنجاب کشور هندوستان پرداخت و نتایج نشان داد که در طی بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ تأثیرات منفی عوامل انسانی هم‌چون کشت بی‌رویه و عدم اختصاص حق‌آبه مورد نیاز تالاب سبب کاهش وسعت پهنه آبی و نیز فرسایش خاک شده است. عابدینی و طولایی (۱۳۹۶)، به منظور مدل‌سازی فرسایش خاک و تولید رسوب با سه مدل EPM، WEPP و Fournier در حوضه آبخیز سولاچای استان اردبیل پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که مدل WEPP نسبت به دو مدل دیگر از کارایی بهتری در برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز سولاچای برخوردار است. فیضی‌زاده (۱۳۹۶)، تغییرات کاربری اراضی و نقش آن در فرسایش حوضه سد علویان در شهرستان مراغه استان آذربایجان شرقی را مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که تبدیل اراضی مرتعی پر تراکم به مرتع کم تراکم و زراعت دیم مهم‌ترین عامل در فرسایش منطقه است. معتمدی و آذری (۱۳۹۷)، در پژوهشی ارتباط بین ویژگی‌های ژئومورفیک با رسوب آبخیز حوضه‌های منتخب خراسان رضوی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقدار رسوب تولیدی با ضریب فرم حوضه و متوسط بارندگی سالانه، همبستگی مثبت داشته و در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است. هم‌چنین پارامترهای مربوط به شکل حوضه شامل ضریب فرم حوضه، کشیدگی و شاخص شکل به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۷۶، ۰/۷۶/۵ و ۰/۷۲ درصد در کنار بارندگی سالانه با ضریب ۰/۷۳/۹ درصد، بیش‌ترین همبستگی را با مقدار رسوب حوضه‌ها داشته‌اند. تیموری و همکاران (۱۳۹۸)، به منظور ارزیابی اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک حوضه آبخیز کندران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که عامل فرساینده گیاهی باران (R) و عامل پوشش گیاهی (C) در مدل RUSLE تحت تأثیر مستقیم تغییرات اقلیمی و نیز تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی قرار دارند. به طوری که میزان عامل فرسایش‌پذیری از ۰/۷۶/۳۸ در دوره پایه به ۰/۸۳/۷ در دوره ۲۰۱۶-۲۰۳۰ و ۰/۸۲/۳ مگاژول بر میلی‌متر در هکتار در سال در دوره ۲۰۱۶-۲۰۳۰ و

۰/۵۶ در ۲۰۳۱-۲۰۵۰ افزایش می‌یابد. هم‌چنین میانگین فرسایش خاک در دوره پایه ۹/۸ (تن در هکتار در سال) بود که طی دو دهه آینده (۲۰۱۶-۲۰۳۰) با استفاده از دو سناریوی بررسی شده به‌طور متوسط ۱۶ درصد و طی پنج دهه آینده ۲۰ درصد بر میزان فرسایش افزوده می‌شود. محمدنژاد و همکاران (۱۳۹۹)، به بررسی روند تغییرات کاربری اراضی شهرستان نیر واقع در استان اردبیل و تاثیر آن بر فرسایش خاک (بین سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۶) با استفاده از تکنیک سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداختند. نتایج نشان داد که به‌طور عمده مناطق با طبقه بسیار پر خطر و پر خطر در هر دو دوره زمانی در کاربری‌های زراعت دیم و زراعت آبی - باغات قرار دارند. اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۹)، به بررسی تغییر کاربری اراضی با استفاده از روش‌های پیکسل‌پایه و شی‌گرا و تحلیل اثرات تغییر کاربری‌ها بر فرسایش خاک در شهرستان مراغه استان آذربایجان شرقی پرداختند. با توجه به نتایج پهنه‌بندی خطر فرسایش سال ۲۰۰۰ به‌ترتیب ۹/۰۸ و ۱۵/۸۸ درصد و با توجه به پهنه‌بندی فرسایش سال ۲۰۱۷ به‌ترتیب ۱۳/۶۶ و ۲۹/۷۶ درصد از مساحت شهرستان در دو طبقه بسیار پر خطر و پرخطر قرار دارند. هم‌چنین نتایج نشان داد که در دوره یاد شده افزایش کاربری باغات متراکم، باغات کم تراکم، مسکونی و صنعتی، تخریب و تبدیل شدن اراضی مرتعی و اراضی دیم در سطح قابل توجهی صورت گرفته است که نقش مهمی در افزایش آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه در مقابل فرسایش خاک دارد. عابدینی (۱۴۰۰)، در پژوهشی جهت بررسی کمی فرسایش خندقی و رسوبدهی با استفاده از شاخص‌های فرسایش‌دهی باران، مورفومتری و رگرسیون خطی در حوضه آبخیز هرزند چای پرداخت. نتایج تحقیق نشانگر میزان بالای فرسایش خاک و توسعه خندق‌ها در حوضه مورد تحقیق است. عابدینی و همکاران (۱۴۰۰)، آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تکنیک‌های شی‌گرا و پیکسل‌پایه در حوضه مردق چای را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که بر اساس نتایج حاصله از آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی، بیشترین میزان تغییر حادث شده مربوط به کاربری مرتع متراکم به مرتع متوسط با مقدار ۳۵/۴۴۸، کاربری خاک به مرتع متوسط با مقدار ۲۷/۶۸۶ و مرتع متوسط به مناطق مسکونی با مقدار ۲۱/۳۴۷ کیلومتر مربع می‌باشد. هم‌چنین کمترین تغییرات حادث شده مربوط به کاربری کوهستان به خاک با مقدار ۰/۰۱۵، مناطق مسکونی به مرتع متراکم با مقدار ۰/۰۲۳ و مرتع متراکم به خاک با مقدار ۰/۰۸۱ کیلومتر مربع می‌باشد. بنابراین هدف از این پژوهش ارزیابی و تحلیل میزان فرسایش خاک در حوضه آبخیز بالیخلوچای با استفاده از مدل تجربی **RUSLE** می‌باشد.

روش تحقیق

موقعیت منطقه مورد مطالعه

از زیرشاخه‌های رودخانه قره‌سو، رودخانه بالیخلوچای می‌باشد که در جنوب غربی شهرستان نیر از گردنه بالیخلی در حد فاصل دو رشته‌کوه بزغوش و سبلان سرچشمه می‌گیرد. موقعیت جغرافیایی حوضه رودخانه بالیخلوچای ۴۷ درجه ۴۶ دقیقه تا ۴۸ درجه ۶ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه ۵۲ دقیقه تا ۳۸ درجه ۱۵ دقیقه عرض شمالی واقع گشته است (رئوف و علی اوغلی، ۱۳۹۹). و بالاترین ارتفاع حوضه ۴۷۸۸ متر و پایین‌ترین ارتفاع حوضه ۱۲۹۸ متر می‌باشد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوضه ابخیز بالیخلوچای در ایران و استان نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه ابخیز بالیخلوچای در سطح کشور و استان اردبیل، منبع: نویسندگان ۱۴۰۱

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، جهت تجزیه تحلیل داده‌های بارش ازداده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی در داخل و خارج حوضه استفاده شد. لازم به ذکر است که کیفیت داده‌ای مورد استفاده، قبل از وارد شدن در مراحل تجزیه و تحلیل آماری، مورد بررسی قرار گرفت و پس از رفع نقایص آماری احتمالی و هم‌چنین بررسی پرت بودن داده‌ها، وارد مرحله

تجزیه و تحلیل آماری شد.

در پردازش تصاویر ماهواره‌ای، انتخاب زمان مناسب تصاویر اخذ شده جهت تهیه نقشه کاربری اراضی، بسیار مهم می‌باشد، بنابراین در پژوهش حاضر تصاویر سری لندست شامل لندست ۸ با سنجنده OLI در شرایط بدون ابرناکی (باسکولا^۱ و همکاران، ۲۰۱۷) در ۲ تیرماه (June) سال ۱۴۰۰ شمسی (۲۰۲۱ میلادی) از طریق سایت نقشه‌برداری زمین‌شناسی آمریکا (USGS^۲) دریافت شد. با توجه به فصل رویش گیاهان مرتعی و زمان‌بندی کشت و برداشت محصولات زراعی، به نظر می‌رسد که تصاویر مربوط به اواسط خرداد، برای تهیه نقشه کاربری اراضی مناسب باشد. تصویر سال ۱۴۰۰ مربوط به لندست ۸ است. اطلاعات این ماهواره دارای ۱۱ باندها می‌باشد که باندهای ۱ تا ۶ و ۷ آن به‌عنوان باندهای طیفی به‌ترتیب داری قدرت تفکیک مکانی ۳۰ و ۶۰ متر می‌باشد. در این پژوهش اطلاعات تمامی باندهای طیفی تصویر مذکور جهت طبقه‌بندی کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفت. در جدول (۱) مشخصات تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده ارائه شده است. همچنین در این پژوهش از نرم افزارهای SPSS 21، Excel، Arc GIS 10.8، Archydo و ENVI 5.3 جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها و تهیه نقشه‌ها استفاده گردید.

جدول ۱: مشخصات تصویر ماهواره‌ای استفاده شده در پژوهش، منبع: سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS).

ماهواره	سنجنده	تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	گذر	ردیف
لندست ۸	OLI	23 June 2021	۲ تیر ۱۴۰۰	۱۶۷	۳۳

پیش پردازش تصاویر

تصحیحات رادیومتریک شامل آن دسته از تصحیحات می‌باشند که تنها روی درجات خاکستری اعمال شده و فقط با تغییر مقادیر آن‌ها به‌صورت مجزا (به‌صورت پیکسل به پیکسل)، سعی در جبران بعضی خطاهای موجود دارند. از عمده موارد خطاهای رادیومتریکی عبارت‌اند از: خطوط جا افتاده، خطای نوار نوار شدن، خطاهای اتمسفری، خطاهای دستگاهی و نویزها (کانتاکومار و نلامستی، ۲۰۱۵). پس از دریافت تصاویر ماهواره‌ای مذکور، کنترل کیفیت داده‌ها، وجود خطاهای اتمسفری، هندسی و رادیومتری با برنامه ENVI 5.3 مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این که تصاویر دریافتی دارای سیستم مختصات بود و از صحت هندسی بالایی برخوردار بود، بنابراین نیازی به تصحیح هندسی نبود. در تمامی تصاویر دریافتی تصحیح رادیومتریک انجام شد. به‌منظور اطمینان از بازیابی دقیق اطلاعات طیفی تصاویر، جهت تصحیح اتمسفری اعمال گردید. اتمسفر زمین از ذرات مایع، جامد و گاز تشکیل

¹ Basukala

² United States Geological Survey

شده است که بسیاری از این ذرات سبب جذب^۱، انتشار^۲ و پراکندگی^۳ اپتیکی می‌شوند. سیگنال دریافتی در ماهواره، تابش نوری^۴ از سطح زمین و اتمسفر است که به صورت مستقیم از طریق سنسور ثبت می‌شود. تابش اندازه‌گیری شده در سنسور به تابش^۵ TOA معروف است. هدف از تصحیحات اتمسفری تبدیل تابش TOA اشیاء به بازتاب از سطح زمین است (کانتاکومار و نلامستی^۶، ۲۰۱۵). زمانی که از تصاویر چندزمانه جهت طبقه‌بندی کاربری اراضی استفاده می‌گردد، توصیه شده است که تصحیح اتمسفری تصاویر انجام گردد (کانتاکومار و نلامستی، ۲۰۱۵) و از طرف دیگر برای محاسبه شاخص NDVI، تصحیح رادیومتریکی ضرورت دارد (نگوین و فام^۷، ۲۰۱۶). بنابراین ابتدا جهت تصحیح رادیومتریکی، مقادیر^۸ DN تصویر به تابش^۹ کالیبره گردید (تاگر^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۷)، سپس با استفاده از ماژول^{۱۱} FLAASH تصحیح اتمسفری اعمال گردید (کانتاکومار و نلامستی، ۲۰۱۵). این ماژول توانایی اصلاح طول موج در ناحیه مرئی و مادون قرمز نزدیک^{۱۲} و مادون قرمز نزدیک موج کوتاه^{۱۳} تا بالای ۳ میکرومتر را دارا می‌باشد (کانتاکومار و نلامستی، ۲۰۱۵). پارامترهای مورد نیاز برای تصحیح اتمسفری هم‌چون تاریخ و ساعت تصویربرداری از اطلاعات فایل متنی^{۱۴} که ضمیمه تصاویر است، استخراج گردید.

طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان

با توجه به ویژگی‌های روش‌های مختلف، قابلیت‌های SVM به‌عنوان روشی کارا برای ارزیابی داده‌های طیفی مورد بررسی قرار گرفته است. این روش با استفاده از داده‌های آموزشی کم از خواص هندسی داده‌ها برای طبقه‌بندی استفاده می‌کند. هم‌چنین SVM از توابع کرنلی برای انتقال داده‌های غیرخطی در فضای ورودی به داده‌های خطی در فضای ویژگی استفاده می‌کند (زلفی باروق، ۱۳۹۰). این الگوریتم پس از یک طبقه‌بندی اولیه، با استفاده از کلاس هر پیکسل و همسایه‌هایش به صورت سلسله‌مراتبی تصمیم‌گیری می‌کند. تصمیم‌گیری در هر یک از سطوح این طبقه‌بندی‌کننده به وسیله یک ماشین بردار پشتیبان انجام می‌شود (مانترو^{۱۵} و همکاران، ۲۰۰۵). الگوریتم SVM در واقع یک الگوریتم طبقه‌بندی‌کننده دودویی است که دو کلاس را با استفاده از یک مرز خطی از هم جدا می‌کند. در

¹Absorption

²Dffusion

³Scattering

⁴Emergent Radiation

⁵Top of Atmosphere

⁶ Kantakumar and Neelamsetti

⁷ Nguyen and Pham

⁸Digital Numbers

⁹Radiance

¹⁰ Thakkar

¹¹Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Spectral Hyper cubes

¹²Near-Infrared

¹³Shortwave Infrared

¹⁴ MTL

¹⁵ Mantero

این روش با استفاده از تمامی باندها و یک الگوریتم بهینه‌سازی، نمونه‌هایی که مرزهای کلاس‌ها را تشکیل می‌دهند به دست می‌آورند، این نمونه‌ها را بردارهای پشتیبان گویند. تعدادی از نقاط آموزشی که کم‌ترین فاصله تا مرز تصمیم‌گیری را دارند می‌توانند به عنوان زیر مجموعه‌ای برای تعریف مرزهای تصمیم‌گیری و به عنوان بردار پشتیبان در نظر گرفته شوند (واپنیگ و چرونونکیس^۱، ۱۹۹۱).

برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE

برای ارزیابی خاک در زیرحوضه از روش RUSLE استفاده شد. این روش شامل شش عامل، یعنی فرسایش بارندگی، فرسایش‌پذیری خاک، طول شیب و شیب، حفاظتی و عوامل مدیریت پوشش است. مدل تلفات خاک را می‌توان به صورت رابطه ۱ بیان کرد (Renard et al., 1991):

$$A = R_e * K_e * L S_e * C_e * P_e \quad \text{رابطه ۱}$$

فرسایش باران (R_e) تأثیر شدت بارندگی را بر فرسایش شیارها و ورق تعیین می‌کند. فرسایش‌پذیری خاک (K_e) به حساسیت خاک نسبت به فرسایش اشاره دارد و توسط آب و هوا، خواص خاک، کاربری زمین و پوشش گیاهی کنترل می‌شود. این یک جزء ضروری در برآورد فرسایش خاک است. $L S_e$ به طول شیب و فاکتور شیب اشاره دارد. P_e به عامل حفاظتی و C_e عامل مدیریت پوشش است. P_e و C_e اثرات بدون بعد بر مدیریت و سیستم کشت دارند در حالی که عامل $L S_e$ تأثیر بدون بعد بر شیب و طول شیب دارد. همه این پارامترهای بدون بعد در یک واحد نسبی نرمال شدند (Dabral et al., 2008).

ضریب فرسایش بارندگی (R_e)

فرسایش بارندگی (R_e) از نظر کمی تأثیر بارندگی بر سطح خاک را منعکس می‌کند (Wischmeier and Smith, 1965). شرایط فرسایشی خاک با برخورد قطرات باران با خاک سطحی و تبدیل انرژی جنبشی به انرژی پتانسیل تعیین می‌شود. بنابراین، فرسایش بارندگی با افزایش شدت بارندگی افزایش می‌یابد فرسایش بارندگی را می‌توان به صورت رابطه ۲ بیان کرد (Wischmeier and Smith, 1978). ابتدا انتخاب ایستگاه‌های مناسب از نظر طول دوره

¹ Vapnik and Chervonenkis

آماري، انتخاب پایه زمانی مشترک، کنترل کیفی، همگن سازی و رفع نواقص قبل از محاسبه شاخص مبتنی بر مقدار بارندگی در ایستگاه‌های باران‌سنجی انجام شد. برای انجام این تحقیق داده‌های بارش از دوره آماری ۱۰ ساله ایستگاه باران‌سنجی موجود در داخل و اطراف حوضه کسب شد. سپس با استفاده از روابط (۲، ۳ و ۴) مقدار R مورد محاسبه قرار گرفت.

$$R_e = 79 + 0.363 * P_a$$

رابطه ۲

که در آن P_a میانگین بارندگی سالانه است.

رابطه ۳

$$R = 0.07397 \times MFI1.847 MFI < 55 \text{mm}$$

رابطه ۴

$$R = (95.77 - 6.081 \times F + 0.4770 \times MFI2) / 1 \quad MFI \geq 55 \text{mm}$$

در این رابطه R متوسط فرساینده بر حسب $Mj.mm.ha-1.h-1.month-1$ برای دوره آماری، n تعداد سال‌های آماری، mj تعداد حوادث فرساینده برای ماه j و EL30 میزان فرساینده باران برای رخداد K است. فرساینده باران برای هر رخداد بارش بر اساس رابطه ۷ به دست می‌آید:

پس از محاسبه عامل R در سه ایستگاه باران‌سنجی مورد مطالعه، تغییرات مکانی آن با استفاده از روش درونیابی عکس فاصله وزنی (IDW) مورد بررسی و نقشه تغییرات مکانی عامل R تهیه گردید.

عامل فرسایش پذیری خاک (K_e)

فرسایش پذیری خاک (K_e) با شدت رواناب تعیین می‌شود. این عمدتاً تابع پتانسیل زهکشی خاک، ماده آلی، اندازه دانه و انسجام خاک است. فرسایش پذیری خاک در برابر حمل و نقل و جداشدگی مقاوم است. مورگان برای ضریب فرسایش پذیری خاک‌های مختلف اعدادی را پیشنهاد نموده است که در جدول (۲)، نشان داده شده است (احمدی، ۱۳۸۸). به منظور تهیه نقشه عامل عامل فرسایش پذیری خاک (K) از نقشه بافت خاک ۱:۲۵۰۰۰۰ ایران و اطلاعات جدول (۳)، استفاده شد.

جدول ۲: ضریب فرسایش پذیری خاک (K)، منبع: احمدی، ۱۳۸۸.

K	وضعیت خاک	K	وضعیت خاک
۰/۱	اراضی مقاوم به فرسایش	۰/۵	خاک سطحی با پوشش سنگریزه‌ای
۰/۴۲	خاک‌های ماسه‌ای نرم	۰/۱۶	خاک‌های ماسه‌ای
۰/۴۲	خاک‌های لومی با ماسه بسیار ریز	۰/۱۲	خاک‌های لومی شنی
۰/۳۷	خاک‌های لومی	۰/۴۸	خاک‌های سیلتی لومی
۰/۳۷	خاک‌های لومی رسی	۰/۲۵	خاک‌های سیلتی رسی

طول شیب و فاکتورهای شیب (LS_e)

فاکتورهای طول شیب (L) و شیب (S) با استفاده از مدل ارتفاعی دیجیتال (DEM) ماموریت توپوگرافی رادار شاتل (SRTM) محاسبه شد. طول شیب، فاصله‌ای را که در آن رسوب‌گذاری صورت می‌گیرد یا جریان زمینی به یک کانال مجزا برخورد می‌کند، توصیف می‌کند (Wischmeier and Smith, 1978). تأثیر طول و شیب بر فرسایش توسط عوامل L و S بیان می‌شود. شیب تند مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده از دست دادن خاک نسبت به طول شیب است. طول شیب به‌عنوان فاصله بین منبع نقطه جریان زمینی و نقطه رواناب در یک کانال مجزا با شیب ملایم اندازه‌گیری می‌شود تلفات خاک در واحد سطح با افزایش طول شیب افزایش می‌یابد علاوه بر این، ویژگی‌های سه‌بعدی زمین به‌طور متناسب بر افت خاک تأثیر می‌گذارد این نشان می‌دهد که شیب‌ها افت خاک را در تسکین پیچیده کنترل می‌کنند و بنابراین، یک پارامتر ضروری برای محاسبه ضریب LS_e در نظر گرفته می‌شود. شیب یک پارامتر مهم برای محاسبه ضریب LS_e در نظر گرفته می‌شود. ناحیه شیب به‌عنوان یک عامل پیشرفته برای محاسبه ضریب LS_e مورد استفاده قرار گرفت و می‌توان به‌صورت رابطه ۴ بیان کرد (Wischmeier and Smith, 1978):

$$LS_e = \left(\frac{AS}{22.13} \right) y * \left(\frac{\sin B}{0.0896} \right) m \quad \text{رابطه ۴}$$

LS_e (ضریب توپوگرافی) در ArcGIS با استفاده از ابزار جبر نقشه محاسبه شد. تجمع جریان و زاویه شیب را نشان می‌دهد.

ضریب مدیریت پوشش (C_e)

شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) پر کاربردترین معیار رویش پوشش گیاهی، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده است که با استفاده از فن آوری سنجش از راه دور به دست می آید. برای تصویر لندست این شاخص به صورت زیر می باشد:

$$NDVI = \frac{(IR - R)}{(IR + R)}$$

رابطه ۵

این شاخص معرف انعکاس انرژی خورشیدی از سطح زمین است که انواع شرایط پوشش گیاهی را نشان می دهد. مقادیر NDVI بین ۱- و ۱+ در نوسان است. زمانی که پاسخ طیفی اندازه گیری شده از سطح زمین برای هر دو باند خیلی مشابه باشد، مقادیر NDVI به صفر نزدیک می شود. پوشش گیاهی سالم (دارای فعالیت فتوسنتزی) در بخش طیفی مادون قرمز (IR) (باند ۴ لندست) در مقایسه با بخش طیفی مرئی قرمز (R) (باند ۳ لندست) انعکاس بیش تری دارد. بنابراین مقادیر NDVI برای پوشش گیاهی سبز مثبت خواهد شد. مناطق با پوشش گیاهی کم یا بدون پوشش گیاهی مانند مناطق شهری و اراضی بایر معمولاً مقادیر NDVI بین ۰/۱+ و ۰/۱- را نشان می دهند. ابرها و منابع آبی مقادیر منفی یا صفر را نشان می دهند. شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) برای محاسبه داده های طیفی زمینی استفاده شده و نتایج آن نشان داده که این شاخص، همبستگی بالایی با زیست توده سطح زمین دارد (نوربخش و نظری نژاد، ۱۴۰۱).

مدیریت پوشش (C_e) با اندازه گیری نسبت هدررفت خاک از زمین زراعی ارزیابی شد (Wischmeier and Smith, 1978). این الگوی کشت مناسب و اتخاذ شیوه های مدیریتی برای کاهش فرسایش خاک را نشان می دهد (Wang et al., 2002).

رابطه ۶

$$C = \exp(-\alpha NDVI / \beta - NDVI)$$

که در آن NDVI شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده $\alpha - 2$ و $\beta - 1$ پارامترهایی هستند که شکل رابطه منحنی بین NDVI و C را مشخص می کنند. در پژوهش حاضر نقشه عامل پوشش گیاهی (C) با استفاده از شاخص پوشش گیاهی سال ۱۴۰۰ و رابطه ۶ تهیه گردید.

عامل عمل حفاظت (P_e)

عملکرد تولید رسوب و رواناب توسط شیوه های مختلف حفاظت از خاک کنترل می شود و C_e عوامل مهمی برای کاهش فرسایش خاک و رواناب سطحی هستند (Renard et al., 1991). میزان فرسایش خاک با روش های حمایتی انجام شده در زمین های زیر کشت تعیین می شود. کشاورزی خطی، کشت نواری و روش های کشت تراس برای

کنترل فرسایش خاک موثر است. جدول ۳ مقادیر عملیات حفاظتی شیب را نشان می‌دهد. هر چه ارزش عملیات حفاظتی بالاتر باشد، اقدامات انجام شده برای محدود کردن فرسایش خاک کم‌تر است (Shin, 1999).

جدول ۳: مقادیر عملیات حفاظتی در شیب‌های مختلف (منبع: Shin, 1999).

فاکتور P	شیب (درصد)
۰/۲۷	۰-۷
۰/۳	۷-۱۱/۳
۰/۴	۱۱/۳-۶/۱۷
۰/۴۵	۱۷/۶-۲۶/۸
۰/۵	۲۸/۶ <

پس از تهیه نقشه‌های ۵ عامل مدل RUSLE، با ترکیب مقادیر عامل‌های مذکور نقشه فرسایش خاک در سال ۱۴۰۱ تهیه گردید.

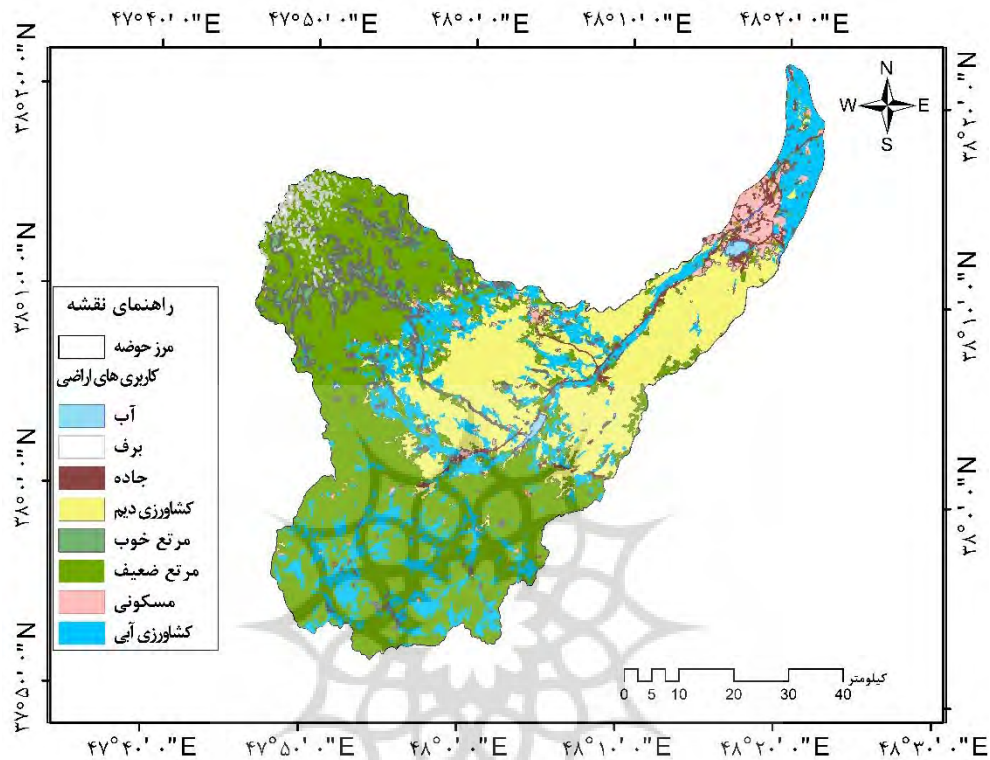
آزمون همبستگی پیرسون

گسترده‌ترین کاربرد شاخص آماری همبستگی دو متغیری، ضریب همبستگی گشتاوری پیرسون است که به‌طور معمول همبستگی پیرسون نامیده می‌شود. ضریب پیرسون نشان می‌دهد که تا چه اندازه بین متغیرهای کمی رابطه خطی وجود دارد. کاربرد اصلی ضریب پیرسون زمانی است که متغیرها از نوع پارامتری باشند. به این معنا که توزیع نرمال داشته باشند و در سطح فاصله‌ای یا نسبی باشند. البته زمانی که متغیرها از نوع شبه‌فاصله‌ای باشند (هر متغیر، ترکیبی از چند متغیر ترتیبی باشد که اصطلاحاً به آن مقیاس‌های تراکمی می‌گویند)، برخی از پژوهشگران از ضریب پیرسون استفاده می‌کنند. برخی از محققین استفاده از ضریب پیرسون برای یک متغیر دو ارزشی و یک متغیر فاصله‌ای یا نسبی را هم مجاز شمرده‌اند. تفسیر همبستگی پیرسون زمانی که یکی از متغیرها دو ارزشی (فقط شامل دو سطح) اما متغیر دیگر کمی است نیز می‌تواند منطقی باشد (فیضی‌زاده، ۱۳۹۶).

نتایج

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای: پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، نقشه کاربری اراضی به‌دست آمده به هشت کلاس پهنه‌های آب، برفی، مسکونی، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، مراتع خوب، ضعیف، و جاده تفکیک شد (شکل ۲). صحت نقشه‌های به‌دست آمده با استفاده از ۱۰۰ نقطه کنترل زمینی و تصویر رنگی کاذب همان سال

مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش، ضرایب کاپا و صحت کلی نقشه‌های کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۱ به ترتیب برابر ۰/۹۹ و ۹۹/۸۴ به دست آمد. در شکل ۲ و جدول ۴ به ترتیب نقشه کاربری اراضی و مساحت و درصد هریک از کاربری‌های اراضی حوزه آبخیز بالیخوچای ارائه شده است.



شکل ۲: نقشه کاربری اراضی (سال ۲۰۲۱) حوزه آبخیز بالیخوچای، منبع: نویسندگان ۱۴۰۱

جدول (۴): مساحت و درصد کلاس‌های کاربری اراضی حوزه آبخیز بالیخوچای منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱.

نام کلاس	برحسب کیلومتر	برحسب درصد
مسکونی	۳۸/۸۲	۳/۱۶
دیم	۳۱۷/۳۶	۲۶/۳۹
کشاورزی آبی	۲۰۵/۰۵	۱۷/۰۷
مرتع ضعیف	۵۷۸/۳۳	۴۸/۱۳
مرتع خوب	۳۹/۵۰	۳/۲۵
جاده	۱۴/۱۸	۱/۱۷
آب	۴/۵۰	۰/۳۳
برف	۶/۰۷	۰/۵۰
مجموع	۱۱۹۷/۷۴	۱۰۰

شاخص فرساینده‌ی باران (R): مشخصات ایستگاه‌های باران سنجی و نتایج حاصل از محاسبه میزان شاخص فرساینده‌ی باران در ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از شاخص اصلاح شده فورنیه رابطه (۶) در طی دوره آماری ۱۰ ساله در جدول (۵) ارائه شده است. همچنین نقشه فاکتور فرساینده‌ی باران (R) در شکل (۳، الف) ارائه شده است.

جدول (۵): محاسبه و برآورد عامل R برای ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه آبخیز عموقین، منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱.

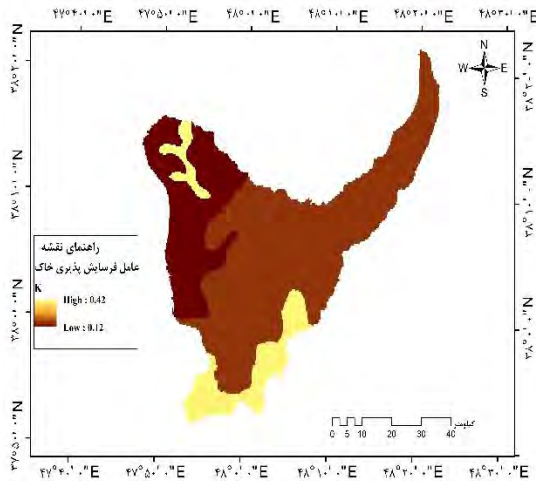
ردیف	ایستگاه	R
۱	کوزه‌توپراقی	۱۳۴۵/۲۵
۲	سرعین	۱۵۴۳/۴۵
۳	سامیان	۱۳۷۸/۴۵
۴	هیر	۹۰/۴۳
۵	گلی	۸۹/۵
۶	خوش‌آباد	۹۵/۵
۷	قوریچای	۱۶۵۰/۲

عامل فرسایش‌پذیری خاک (K): اطلاعات مورد نیاز از گزارش تفصیلی حوضه آبخیز بالیخلوچای استخراج شد و پس از آن نقشه عامل K با توجه به جدول (۱) و مطالعات سایر محققین در محیط ArcGIS تهیه شد. نقشه عامل فرسایش‌پذیری خاک در شکل ۳ (ب) ارائه شده است. براساس شکل (۳، ب) مقدار شاخص فرسایش‌پذیری خاک (K) برای حوضه بالیخلوچای بین ۰/۱۲ تا ۰/۴۲ متغیر می‌باشد.

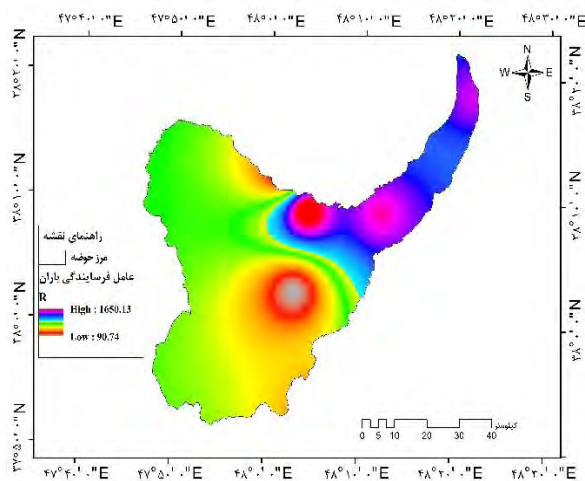
عامل توپوگرافی (LS): نقشه عامل توپوگرافی (LS) حوضه مورد مطالعه با تهیه و ایجاد لایه‌های لازم براساس رابطه ۷ به‌دست آمد که در شکل (۳، ج) ارائه شده است. براساس شکل (۳، ج)، مقدار عامل LS برای حوضه آبخیز بالیخلوچای در دامنه بین ۰ تا ۲۱/۱۸ متغیر می‌باشد که در دامنه‌های پرشیب به‌خصوص اطراف آبراهه‌ها به‌دلیل کوهستانی بودن حوضه مورد مطالعه این مقدار بیش‌تر است.

عامل پوشش گیاهی (C): نقشه عامل پوشش گیاهی C حوضه آبخیز بالیخلوچای براساس رابطه ۴ و ۵ تهیه شد که در شکل (۳، د) ارائه شده است. براساس شکل (۳، د)، مقادیر عامل C از ۰/۱۸- الی ۱ متغیر می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت حوضه آبخیز بالیخلوچای به‌دلیل وسعت کمتر اراضی جنگلی مقادیر بیشتری از مقدار C را دارد و بیش‌ترین مقدار در نواحی شمال‌شرقی و نواحی مرکزی دیده می‌شود.

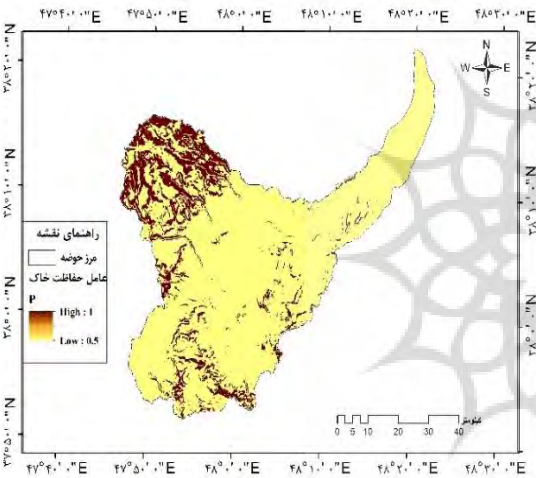
عامل حفاظتی خاک (P): با توجه به عدم انجام اقدامات حفاظتی در منطقه مورد مطالعه، مقدار فاکتور P برای کل منطقه ۱ در نظر گرفته شد در شکل (۳، ه) عامل P ارائه شده است.



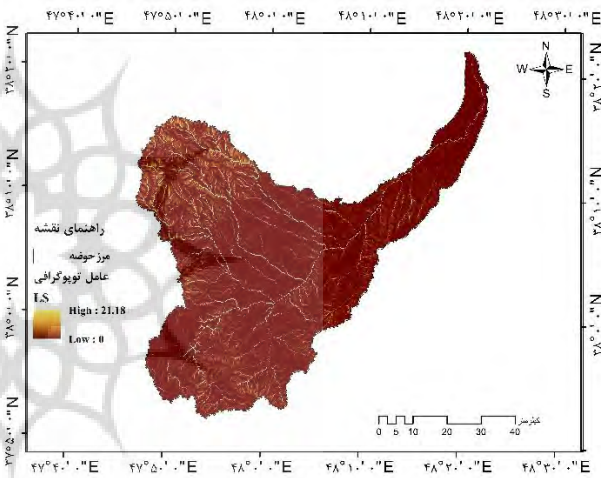
(ب) عامل فرسایش پذیری خاک (K)



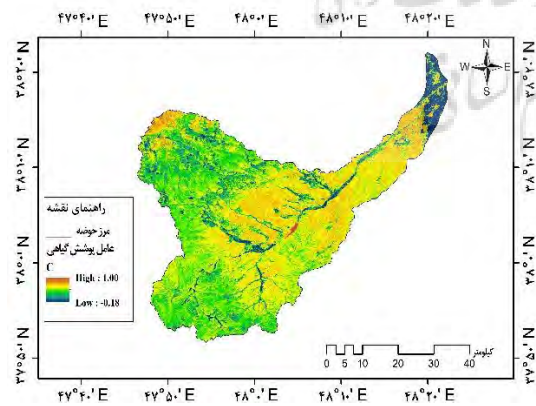
(الف) عامل فرسایش پذیری باران (R)



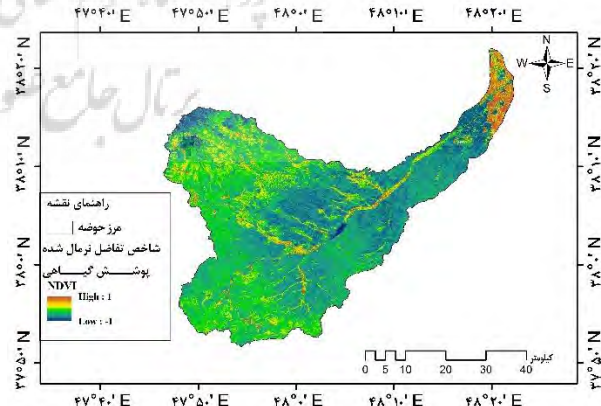
(ه) عامل حفاظتی خاک (P)



(ج) عامل توپوگرافی (LS)



(د) عامل پوشش گیاهی (C)

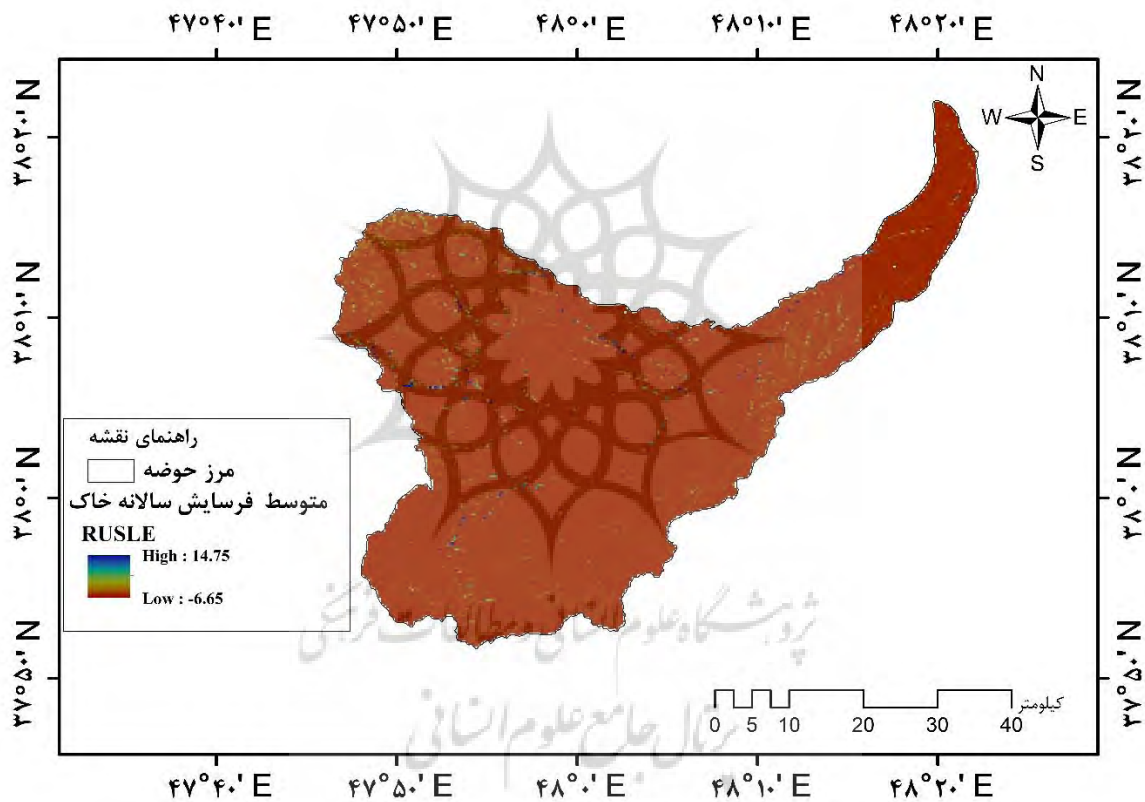


(خ) شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)

شکل ۳: الف) عامل فرسایش پذیری باران (R)، ب) عامل فرسایش پذیری خاک (K)، ج) عامل توپوگرافی (LS)، د) عامل پوشش گیاهی (C)، خ) شاخص تفاضل

نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، ه) عامل حفاظتی خاک (P) حوضه آبخیز بالیخولجای، منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱.

نقشه متوسط فرسایش سالیانه خاک (RUSLE): جهت تهیه نقشه فرسایش متوسط سالانه خاک (A) از حاصل ضرب فاکتورهای فرسایش باران (R)، فرسایش پذیری خاک (K)، مدیریت پوشش گیاهی (C)، توپوگرافی (LS)، و عملیات حفاظت (P) براساس رابطه ۱ در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) محاسبه شد و مقادیر هدررفت سالانه خاک (A) بر حسب تن در هکتار در سال به دست آمد. نقشه به دست آمده در شکل (۴) ارائه شده است. بر اساس شکل (۴) مقادیر نقشه فرسایش سالانه خاک در حوضه بالیخلوچای بین ۶/۶۵- الی ۱۴/۷۵ تن در هکتار در سال در سطح پیکسل متغیر می باشد.



شکل ۴: نقشه متوسط فرسایش سالیانه خاک (برحسب تن در هکتار در سال) حوضه آبخیز بالیخلوچای، منبع:

نویسندگان، ۱۴۰۱

نتیجه گیری

کاربری اراضی، یکی از عوامل مهم در ایجاد فرسایش خاک است و در سالهای اخیر، تاثیر متقابل تغییر کاربری اراضی و فرسایش خاک به یک نگرانی عمده زیست محیطی تبدیل شده است. با توجه به اهمیت موضوع، در

پژوهش حاضر نیز ارزیابی میزان هدررفت خاک در کاربری‌های اراضی حوزه آبخیز بالیخلوچای با استفاده از مدل RUSLE مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست 8 OLI و با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در هشت کلاس پهنه‌های آب، برفی، مسکونی، جاده، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، مراتع خوب و ضعیف طبقه‌بندی گردید. صحت کلی و ضریب کاپا برای نقشه کاربری اراضی تهیه شده به ترتیب برابر ۰/۹۹ و ۹۹/۸۴ درصد به دست آمد. سپس نقشه‌های عوامل R, K, LS, C و P مدل RUSLE در محیط GIS تهیه و پس از تلفیق این لایه‌ها از طریق Raster Calculator در محیط Arcmap نقشه متوسط فرسایش سالانه خاک برای کل حوزه آبخیز بالیخلوچای بین ۶/۶۵- تا ۱۴/۷۵ تن در هکتار در سال محاسبه شد. نتایج ارزیابی نقشه هدررفت خاک بر روی کاربری‌های اراضی منطقه مورد مطالعه نشان داد که کاربری اراضی دیم با میانگین فرسایش خاک ۲/۶۵ تن در هکتار در سال دارای بیش‌ترین هدررفت خاک و مراتع خوب با میانگین فرسایش ۱/۲۵ تن در هکتار در سال دارای کم‌ترین هدررفت خاک را در بین سایر کاربری‌های موجود در منطقه را دارا می‌باشند. در این پژوهش سعی شد از قابلیت‌های GIS برای ایجاد داده‌های مورد نیاز مدل RUSLE استفاده شود. هم‌چنین بررسی روابط رگرسیونی بین فاکتورهای مدل RUSLE و مقدار فرسایش سالانه خاک نشان داد که فاکتور توپوگرافی (LS) با بالاترین مقدار ضریب تعیین $R^2 = 0/95$ بیش‌ترین اهمیت را در برآورد فرسایش سالانه خاک به وسیله مدل RUSLE دارد. در نهایت پیشنهاد می‌گردد، با تعیین ظرفیت چراء، مدیریت پوشش گیاهی، روند تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز بالیخلوچای کنترل و در جهت احیا، اصلاح و توسعه مراتع گام برداشته شود. بنابراین انتظار می‌رود، این مطالعه و نتایج حاصل از این پژوهش راه‌گشایی برای اعمال مدیریت بهتر و علمی‌تر مدیران و برنامه‌ریزان ذی‌صلاح در این زمینه گردد.

منابع

- احمدی، ح. ۱۳۸۸. ژئومورفولوژی کاربردی (فرسایش آبی)، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.
- اصغری سراسکانرود، ص.، محمدنژاد آروق، و.، امامی، ه. ۱۳۹۸. بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های پیکسل پایه و شی‌گرا و تحلیل اثرات تغییر کاربری‌ها بر فرسایش خاک (مطالعه موردی: شهرستان مراغه)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۸(۱): ۱۶۰-۱۷۸.
- زلفی باروق، م. ۱۳۹۰. بررسی و پیاده‌سازی روش SVM برای تصاویر ماهواره‌ای، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران - سنجش از دور، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اصفهان، ۲۵(۵): ۲-۴.
- آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تکنیک‌های شی‌گرا و پیکسل پایه مطالعه موردی: حوضه مردق‌چای، نویس موسی عابدینی، احسان قلعه، نشریه هیدروژئومورفولوژی، ۲۷(۸): ۱۶۳-۱۸۴.
- عابدینی، م. ۱۴۰۰. بررسی کمی فرسایش خندقی و رسوبدهی با استفاده از شاخص‌های فرساینده‌گی باران، مورفومتری و رگرسیون خطی در حوضه آبخیز هرزند چای، نشریه تخریب و احیاء اراضی طبیعی، ۲(۳): ۱۰۰-۱۱۱.

- عابدینی، م.، طولایی، س. ۱۳۹۶. مدل‌سازی فرسایش خاک و تولید رسوب با سه مدل EPM، WEPP و Fournier در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سولاچای اردبیل)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۳۲(۲): ۹۳-۱۰۵.
- عیبات، م.، عیبات، م.، عیبات، م. ۱۴۰۰. بررسی تغییرات کاربری اراضی و اثر آن بر روند فرسایش خاک در حوضه باغملک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مدل RUSLE. محیط شناسی، ۴۷(۱): ۷۳-۹۱.
- فیضی‌زاده، ب. ۱۳۹۶. مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر سیستم فرسایش در حوضه سد علویان با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS، هیدروژئومورفولوژی، ۳(۱۱): ۲۱-۳۸.
- محمدی، ش.، کریم‌زاده، ح.ر.، پورمنافی، س.، سلطانی‌کوپایی، س. ۱۳۹۷. برآورد مکانی و زمانی فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و سری‌های زمانی ماهواره لندست، مندرجان، اصفهان، مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۷۱(۳): ۷۵۹-۷۷۴.
- معتمدی، ر.، آذری، م. ۱۳۹۷. ارتباط بین ویژگی‌های ژئومورفیک با رسوب آبخیز (مطالعه موردی: زیرحوضه‌های منتخب خراسان رضوی)، پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۲۸(۴): ۱۰۱-۸۲.
- نژاداف‌ضلی، ک.، شاهرخی، م.ر.، بیاتانی، ف. ۱۳۹۸. برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و شناسایی موثرترین عامل آن در حوضه آبخیز دهکان (جنوب کرمان). مخاطرات محیط طبیعی، ۸(۲۰): ۲۱-۳۸.
- نوربخش، م. و نظری‌نژاد، ا. ۱۴۰۱. بررسی ارتباط شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI، EVI با دمای سطح زمین در شهر تهران، جغرافیا و روابط انسانی، ۵(۱): ۲۲۵-۲۳۶.
- Allafta, H.; Opp, C. 2021. GIS-based multi-criteria analysis for flood prone areas mapping in the trans-boundary Shatt Al-Arab basin, Iraq-Iran. *Geomat. Nat. Hazards Risk*, 12, 2087–2116.
- Assis, K. G. O., da Silva, Y. J. A. B., Lopes, J. W. B., Medeiros, J. C., Teixeira, M. P. R., Rimá, F. B., Singh, V. P. 2021. Soil loss and sediment yield in a perennial catchment in Southwest Piauí, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(1), 1-11.
- Assis, K. G. O., da Silva, Y. J. A. B., Lopes, J. W. B., Medeiros, J. C., Teixeira, M. P. R., Rimá, F. B., Singh, V. P. 2021. Soil loss and sediment yield in a perennial catchment in Southwest Piauí, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(1), 1-11.
- Dabral, N. Baithuri, A. 2008. Pandey Soil erosion assessment in a hilly catchment of North Eastern India using USLE, GIS and remote sensing *Water Resour. Manag.*, 22 (12):1783-1798.
- El Jazouli, A.; Ghafiri, A.; El Moutaki, S.; Ettaqy, A.; Khellouk, R. 2017. Soil erosion modeled with USLE, GIS, and remote sensing: A case study of Ikkour watershed in Middle Atlas (Morocco). *Geosci.* 4, 25.
- Emadodin, I.; Bork, H. 2012. Degradation of soils as a result of long-term human-induced transformation of the environment in Iran: An overview. *J. Land Use Sci.* 7, 203–219.
- Financial Tribune. Available online: <https://financialtribune.com/articles/energy/113053/iran-soil-erosion-7-times-globalaverage> (accessed on 1 July 2022).
- Gayen, A.; Saha, S. 2017. Application of weights-of-evidence (WoE) and evidential belief function (EBF) models for the delineation of soil erosion vulnerable zones: A study on Pathro river basin, Jharkhand, India. *Model. Earth Syst. Environ.* 3, 1123–1139.

- Han, J., Ge, W., Hei, Z., Cong, C., Ma, C., Xie, M., Liu, B., Feng, W., Wang, F., & Jiao, J. 2020. Agricultural land-use and management weaken the soil erosion induced by extreme rainstorms. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 301, 107047.
- Kantakumar, L.N., Neelamsetti, P. 2015. Multi-temporal land use classification using hybrid approach. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(2), 289-295.
- Kantakumar, L.N., Neelamsetti, P. 2015. Multi-temporal land use classification using hybrid approach. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(2), 289-295.
- Kinnell, P.I.A. 2000. AGNPS-UM: Applying the USLE within the agricultural non point source pollution model. *Environmental Modelling and Software*, 15(3): 331-341.
- Lillesand, T., Kiefer, R.W., and Chipman, J. 2015. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley and Sons, 736 p.
- Mantero, P., Moser, G., Sebastiano, B., Serpico, s. 2005. Partially supervised classification of remote sensing images through SVM-based probability density estimation, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, 43(3), 559-570.
- Ouyang, W., Wu, Y., Hao, Z., Zhang, Q., Bu, Q., & Gao, X. 2018. Combined impacts of land-use and soil property changes on soil erosion in a mollisol area under long-term agricultural development. *Science of the total environment*, 613, 798-809.
- Ouyang, W., Wu, Y., Hao, Z., Zhang, Q., Bu, Q., & Gao, X. 2018. Combined impacts of land-use and soil property changes on soil erosion in a mollisol area under long-term agricultural development. *Science of the total environment*, 613, 798-809.
- Paul, S. S., Li, J., Li, Y., & Shen, L, 2019. Assessing land-use/land-cover change and soil erosion potential using a combined approach through remote sensing, RUSLE and random forest algorithm. *Geocarto International*, 36, 1-15.
- Ren, Y., Lü, Y., Comber, A., Fu, B., Harris, P., & Wu, L. 2019. Spatially explicit simulation of land-use/landcover changes: Current coverage and future prospects. *Earth Science Reviews*, 190, 398-415.
- Renard et al., 1991 K.G. Renard, G.R. Foster, G.A. 1991. Weesies, J.P. Porter RUSLE: Revised universal soil loss equation *J. Soil Water Conserv.*, 46 (1): 30-33.
- Renard, K.G., and Freidmund, J.R. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the RUSLE, National Agricultural Library, *Journal of Hydrology*, 157: 287-306.
- Santos, J.C.N., Andrade, E.M., Medeiros, P.H.A., and Joao, M. (2017). Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. *Revista Ciencia Agronomica*. 48(2), 251-260.
- Shin, G.J., 1999. *The analysis of soil erosion analysis in watershed using GIS*. Ph.D. thesis, Department of Civil Engineering, Gang-won National University.
- Singh, S., Bhardwaj, A., and Verma, V. 2020. Remote sensing and GIS based analysis of temporal land use/land cover and water quality changes in Harike wetland ecosystem, Punjab, India. *Journal of Environmental Management*. 262, 11035.
- Van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A., and Montanarella, L. 2000. Soil Erosion Risk Assessment in Europe. European Soil Bureau, 1-34.
- Vanacker, V., Ameijeiras-Mariño, Y., Schoonejans, J., Cornélis, J. T., Minella, J. P., Lamouline, F., Vermeire, M. L., Campforts, B., Robinet, J., Van de Broek, M., Delmelle, P., & Opfergelt, S. 2019. Land-use impacts on soil erosion and rejuvenation in Southern Brazil. *Catena*, 178, 256-266.
- Vapnik, V., Chervonenkis, A. 1991. The necessary and sufficient conditions for consistency in the empirical risk minimization method, *Pattern Recognition and Image Analysis*, 1(3), 283-305.

- Wang et al., 2002. G. Wang, S. Wente, G.Z. Gertner, A. Anderson Improvement in mapping vegetation cover factor for the universal soil loss equation by geostatistical methods with Landsat Thematic Mapper images Int. J. Remote Sens., 23 (18): 3649-3667.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.
- Zhang, B., He, C., Burnham, M., Zhang, L., 2016. Evaluating the coupling effects of climate aridity and vegetation restoration on soil erosion over the Loess Plateau in China. Science of The Total Environment 539, 436-449. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.132>.

