



دوره‌ی ۳۵، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۳۷، زمستان ۱۴۰۱، صفحه‌های ۸۹-۷۷  
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2022.358248.1463

مقاله‌ی پژوهشی



# پژوهش‌های آبخیزداری

## تفکیک سهم نسبی پوشش‌های گوناگون زمین در تولید رسوب بستر در رودخانه‌ی واز با ویژگی‌های زمین‌شیمیایی

نبیه کریمی

دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

لیلا غلامی

(نویسنده‌ی مسئول)\* دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

عطاله کاویان

استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

عبدالواحد خالدی درویشان

دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

\*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: Igholami@sanru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱ اردیبهشت ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: ۳۱ خرداد ۱۴۰۱

### چکیده

شناسایی منبع‌های رسوب و آلاینده‌های متصل به آن و تفکیک سهم کاربری‌ها/پوشش‌های زمین در تولید رسوب ابزاری ارزشمند در اولویت‌بندی مکانی کنش‌های حفاظت خاک در حوزه‌های آبخیز است. این پژوهش با هدف منشأیابی رسوب بستر با روش زمین‌شیمیایی در آبخیز واز در استان مازندران انجام شد. سی نمونه‌ی خاک از پوشش‌های گوناگون زمین که سرچشمه‌ی رسوب بود، و یک نمونه‌ی رسوب بستر از خروجی حوزه برداشته، و ۵۹ عنصر آن با روش ICP-OES اندازه گرفته شد. با ترکیب کردن آزمون‌های دامنه، کروسکال‌والیس، و تحلیل تابع تفکیک در بسته‌ی FingerPro در نرم‌افزار R، ۱۵ عنصر Ta، Nd، Ba، Sb، Rb، Ge، Ga، Cu، Fe، Cr، V، P، Li، K و W برای ردیابی بهینه انتخاب شد. نتیجه با شاخص نکویی برازش ۷۸/۳۱ نشان داد که سهم زمین‌های کشاورزی، مرتع، جنگل و کناره‌های آبراه در تولید رسوب بستر به ترتیب ۲/۷۷٪، ۳/۶۱٪، ۱۲/۱۴٪ و ۷۳/۸۴٪ بود. نتیجه‌ی محاسبه‌ی سهم نسبی هر منبع در تولید رسوب نشان داد که کناره‌های آبراه و مرتع با سهم نسبی ۰/۴۳ و ۰/۰۰۸٪ به ازای هر هکتار به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین است.

واژگان کلیدی: آبخیز واز، بسته‌ی FingerPro، ردیاب فرسایش، سرچشمه‌ی رسوب، منشأیابی رسوب

## مقدمه

فرسایش خاک موجب افزایش برده‌شدن رسوب و آلاینده‌ها به بوم‌سازگان‌های رودخانه می‌شود (اونز و همکاران ۲۰۰۵). ردیابی سرچشمه‌ی رسوب و آلاینده‌های مرتبط با آن گامی حیاتی به سوی کاستن از این آلاینده‌ها است (والینگ و کولینز ۲۰۰۸، کویسادا و همکاران ۲۰۱۴). بنابراین شناسایی منطقه‌هایی که آسیب‌پذیری‌شان در برابر فرسایش خاک بیش‌ترین است، برای نگه‌داشت مواد مغذی خاک که اندوخته‌های حیاتی آن است ضروری است (کویجانو و همکاران ۲۰۱۶، لوید و همکاران ۲۰۱۹). رسوب‌های ریزدانه (۲ میلی‌متر، اما بیش‌تر به‌اندازه‌ی بیش از ۶۳ میکرومتر) توجه علمی و مدیریتی بسیاری به خود جلب کرده است، زیرا ذره‌های ریز بردارهایی مهم برای بردن، پراکندن و جابه‌جا کردن مواد مغذی و آلاینده‌ها است (چن و همکاران ۲۰۱۹).

آلاینده‌ها، از جمله فلزهای سنگین، به‌شکل محلول یا ذره‌های ریز از راه روان‌آب برده می‌شود، و همراه با رسوب‌های معلق و بستر پیش می‌رود. در آبخیزها رسوب بستر اثرهای منفی زیادی به‌دنبال دارد که بر زیست‌بوم انسان و دیگر زیندگان تاثیر می‌گذارد. از جمله‌ی این اثرها شست‌وشوی مواد آلی خاک، تخریب ساختمان خاک، کاهش نفوذپذیری خاک، کاهش بهره‌وری خاک، پر شدن حجم مفید مخزن‌های آب از گل‌ولای، افزایش خطر سیل، به‌خطر افتادن زندگی جانوران آبی به‌دلیل کم‌شدن مواد غذایی، و آلوده‌شدن آب‌ها است (پالازون و همکاران ۲۰۱۵، لامبا و همکاران ۲۰۱۵). به‌دلیل این اثرهای زیان‌بار، در کاربرد از زمین نمی‌توان مندی زمین و روش‌های حفاظت خاک را نادیده گرفت. بنابراین، مدیران و سیاست‌گذاران برای مدیریت کردن موفق و برنامه ریزی درست در نگه‌داشت کیفیت آب و حفاظت از اندوخته‌های خاک، به اطلاعات اعتماد‌کردنی در باره‌ی منشأ رسوب نیاز دارند (ناواس ۲۰۰۹). پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که برای آگاهی از سهم و اهمیت نسبی سرچشمه‌های رسوب لایه‌های اطلاعاتی گوناگونی مانند کاربری زمین، فرسایش (راسل ۲۰۰۱)، و واحدهای سنگ‌شناسی (والینگ ۲۰۰۵) به‌کار برده شده‌است. ابزارهای پرشماری برای آگاهی از کمیت اثرهای سازوکارهای گوناگون فرسایش و منشأیابی رسوب درست شده‌است (رویرا و همکاران ۲۰۱۲، لیزاگا و همکاران، ۲۰۱۸، واینانت و همکاران ۲۰۲۰). با این حال، آگاهی از منشأ رسوب در آبخیزها با روش‌های سنتی اغلب پرهزینه است. برخی پژوهش‌گران روش‌های منشأیابی را کلید حل این مشکل دانسته‌اند (کولینز و والینگ ۲۰۰۴، والینگ ۲۰۰۵، کریشناپان و همکاران

۲۰۰۹، والینگ ۲۰۱۳، میلر و همکاران ۲۰۱۵، اونز و همکاران ۲۰۱۶). منشأیابی به روش زمین‌شیمیایی به‌گسترده‌گی در پژوهش‌های منتشرشده به‌کار برده شده‌است. این روش منشأ رسوب را شناسایی می‌کند و سهم نسبی هر منبع احتمالی را با ویژگی‌های گوناگون ردیاب انتخاب‌شده تخمین می‌زند (حدادچی و همکاران ۲۰۱۴، فروگر و همکاران ۲۰۱۸، نصرتی و همکاران ۲۰۱۸، محمدی و همکاران ۲۰۱۹، محمدی و همکاران ۲۰۲۱، لیزاگا و همکاران ۲۰۱۹ ب و ۲۰۲۰، فتاحی و همکاران، ۲۰۲۲). رسوب‌های تهنشسته‌ی بستر اغلب ویژگی‌های زمین‌شیمیایی را در فرآیندهای برده‌شدن و جابه‌جایی حفظ می‌کند، بنابراین زمین‌شیمی عنصرها ممکن است برای منشأیابی خاک‌های گوناگون به‌کار برده‌شود (هوگز و همکاران ۲۰۲۰). ویژگی‌های رسوب‌های بستر از دید دگرگونی زمانی و مکانی متأثر از ویژگی‌های اندوخته‌های حوزه‌ی است، چراکه میان جریان و رسوب معلق همراه آن با رسوب بستر، به‌ویژه در بخش ریزدانه‌ی آن، داد و ستد کیفی و کمی می‌شود. بنابراین تاثیرپذیری رسوب بستر و بار معلق از سرچشمه‌های گوناگون رسوب از نظر مفهومی بسیار شبیه به هم است، و تنها تفاوت در سهم سرچشمه‌ها به‌دلیل تفاوت در دانه‌بندی است. در سال‌های پیشین علاقه به روش منشأیابی رسوب‌ها بسیار بود، و به همین دلیل، روی کردهای گوناگونی پدیدار شد. یکی از این‌ها بسته‌ی FingerPro در نرم‌افزار R است. این روش شامل آزمون بقای جرم اولیه است، که آزمون دامنه<sup>۱</sup> نامیده می‌شود، و پس از آن آزمون‌های کروسکال والیس و تحلیل تابع تفکیک<sup>۲</sup> را به‌کار می‌برد. این روش توانایی ردیاب‌های فردی برای تمایز میان سرچشمه‌ها را می‌آزماید، و بهترین ترکیب ردیاب‌ها را شناسایی می‌کند، که بیشینه‌ی اختلاف را میان سرچشمه‌های گوناگون فراهم می‌کند (لیزاگا و همکاران ۲۰۲۰). پژوهش‌های اندکی منشأیابی به روش زمین‌شیمیایی را برای تعیین سهم سرچشمه‌های رسوب با بسته‌ی FingerPro به‌کار برده‌اند (لیزاگا و همکاران ۲۰۱۹، الف، لیزاگا و همکاران ۲۰۲۰، لیزاگا و همکاران ۲۰۲۱، محمدی و همکاران ۲۰۲۱)، اما پژوهش‌های بسیار اندکی هست که سهم پوشش‌های گوناگون زمین را بر رسوب بستر با روش زمین‌شیمیایی و بسته‌ی FingerPro بررسی کرده باشد (محمدی و همکاران، ۲۰۲۱). به‌دلیل اهمیت جلوگیری از تخریب و تغییر پوشش‌های گوناگون زمین که از عامل‌های اصلی تولید رسوب در رودها است، این پژوهش با هدف آگاهی از سهم پوشش‌های گوناگون زمین در رسوب بستر در حوزه‌ی واز انجام شد.

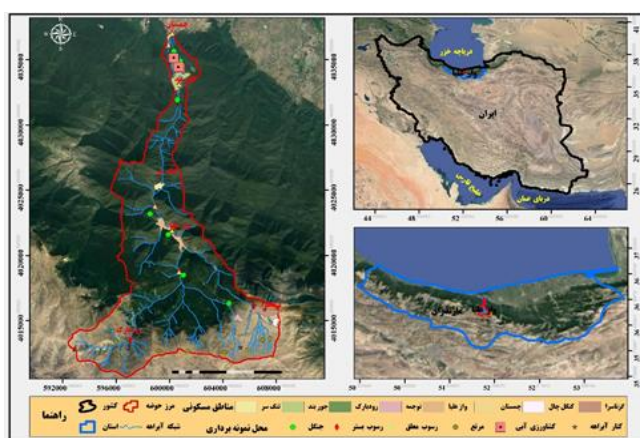
1- Range Test  
2 - DFA Test

## مواد و روش

### ویژگی‌های جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

با کاهش تدریجی بلندی به‌سوی شمال به منطقه‌ی جلگه‌یی دریای خزر می‌پیوندد. مساحت آبخیز ۱۴۷۹۲ هکتار است و جریان آب در آن دائمی است. کاربری حوزه جنگل، مرتع، کشاورزی، مسکونی و کنار آب‌راه است، که مساحت هر یک به‌ترتیب ۶۷/۲۷، ۲۸/۳۴، ۰/۷۲، ۲/۴۲ و ۱/۱۳٪ از حوزه است. ایستگاه‌های نمونه‌برداری با بازدید میدانی، شرایط کاربری‌های زمین، موقعیت منطقه‌های مسکونی و راه‌های ارتباطی، موقعیت زمین‌های کشاورزی، جای پیوستن شاخه‌های فرعی مهم به رود، و دگرگونی مشخص در شرایط فرسایشی کناره‌های رودخانه تعیین شد (شکل ۱).

آبخیز وازرود در بخش میانی استان مازندران است. این آبخیز دو خط‌راس اصلی در شرق و غرب دارد که در راستای جنوب به شمال کشیده شده است، و خط‌راس هلالی شکل آن در بلندی‌های جنوبی بیش‌تر به شکل مخروطی است که قائده‌ی آن به‌سوی جنوب و نوک آن به‌سوی شمال است. از نظر زمین‌ریخت‌شناسی شکل آن بادبزی است. این حوزه در دامنه‌ی " ۱۵' ۵۵° ۵۱" تا " ۱۵' ۱۲° ۵۲" طول شرقی و " ۲۶' ۱۳° ۳۶" تا " ۲۶' ۱۳° ۳۶" عرض شمالی است، و



شکل ۱- موقعیت آبخیز وازرود در ایران و استان مازندران (راست)، و ایستگاه‌های نمونه‌برداری (چپ).

سنگین) از رسوب‌های سطح بستر برداشته شد (لیو و همکاران ۲۰۱۷).

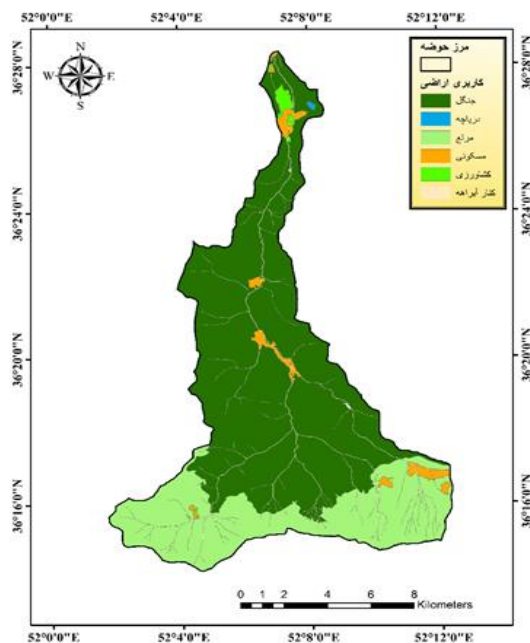
**تلفیق نقشه‌ی کاربری زمین و کناره‌های آبراه**  
پوشش زمین یکی از عامل‌های موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب است. افزایش پوشش زمین یکی از روش‌های پایه‌یی برای مهار کردن فرسایش خاک در کاربری‌های گوناگون زمین است. دخالت‌های انسانی و دگرگونی طبیعی در پوشش زمین منجر به دگرگونی اندازه‌ی فرسایش خاک می‌شود. به‌دلیل نقش و اهمیت پوشش زمین در تولید رسوب، سرچشمه‌های رسوب بر پایه‌ی کاربری‌های زمین رده‌بندی شد. برای شناخت منشأهای احتمالی رسوب‌های بستر، از خاک بخشی از کناره‌های رود واز که رخساره‌های مشخص فرسایش کناره‌یی در آن بود نیز نمونه برداشته‌شد. نقشه‌ی میان‌گیر (بافر) کنار آبراه‌ها تهیه شد. نقشه‌ی کاربری زمین با نقشه‌ی میان‌گیر (بافر) کنار آبراه‌ها تلفیق شد، و نقشه‌ی نهایی کاربری زمین/پوشش زمین به‌دست آمد (شکل ۲). پنج کاربری/پوشش جنگل، مرتع، کشاورزی، کناره‌های آبراه، و مسکونی در منطقه بود (جدول ۱).

### نمونه‌برداری و جمع‌آوری داده‌ها

سی نمونه خاک از کاربری‌های جنگل، مرتع و کشاورزی آبی در همراه ۱۴۰۰ از کرت‌های ۱ متر مربع با پنج تکرار برداشته شد. نمونه‌ها با هم ترکیب شد، لاش‌برگ سطحی جدا شد، و ۵۰۰ گرم از ژرفای ۵-۱۰ سانتی‌متر سطح خاک برداشته شد (لامبا و همکاران ۲۰۱۵، لیزاگا و همکاران ۲۰۱۹، محمدی و همکاران ۲۰۲۱). برای شناخت منشأهای احتمالی رسوب‌ها، در بخشی از کناره‌های رود واز که رخساره‌های مشخص فرسایش کناره‌یی داشت نیز نمونه‌ی خاک برداشته‌شد (لامبا و همکاران ۲۰۱۵). پراکنش و تعداد نمونه‌ها در هر کاربری برپایه‌ی دسترسی به ایستگاه‌ها و رعایت فاصله‌ی یکسان جاهای نمونه‌برداری با شبکه‌ی زه‌کشی، جوری انتخاب شد که جاهای نمونه‌برداری بخت برابری از دیدگاه رسیدن به شبکه‌ی زه‌کشی داشته باشد (جدول ۱). از رسوب بستر در خروجی آبخیز نمونه‌برداری شد. ژرفای نمونه‌برداری از رسوب بستر در پژوهش‌های گوناگون از حدود کم‌تر از ۳ سانتی‌متر (دوادو و همکاران ۲۰۱۶) تا ۲/۶ متر (بایبک و همکاران ۲۰۱۵) است. یک کیلوگرم نمونه‌ی رسوب بستر با بیلچه‌ی پلاستیکی (به‌دلیل اثرنگذاشتن بر فلزات

جدول ۱- مساحت کاربری‌ها/پوشش زمین در آبخیز واز.

کاربری/پوشش زمین	جنگل	مرتع	کشاورزی	کنار آب‌راه	مسکونی
مساحت (ha)	۹۹۵۰	۴۱۹۲	۱۰۷	۱۶۸	۳۵۹
تعداد نمونه	۷	۸	۵	۱۰	-



شکل ۲- کاربری زمین/پوشش زمین در آبخیز وازرود.

(لیزاگا و همکاران ۲۰۲۰) انجام شد. در مرحله‌ی اول بسته‌ی FingerPro آزمون دامنه به کار برده شد. این آزمون نشان می‌دهد که ویژگی‌های زمین‌شیمیایی ردیاب باید پایا و با ثبات نسبی باشد، و از منبع تا جای نمونه برداری تغییر نکند (نوبی و گیلس ۲۰۱۳). در مرحله‌ی دوم انتخاب ردیاب آزمون کروسکال-والیس به کار برده شد. هدف آن حذف ردیاب‌هایی بود که تفاوت معنی‌داری در سرچشمه‌های رسوبی انتخاب شده نداشت. در گام سوم انتخاب ردیاب آزمون تحلیل تابع تفکیک به کار برده شد. تحلیل تابع تفکیک با انتخاب کم‌ترین ردیاب، بیش‌ترین تفکیک میان سرچشمه‌های رسوبی ایجاد می‌کند (لیزاگا و همکاران ۲۰۲۰). نمودارهای جعبه‌ای<sup>۳</sup>، نمودارهای تحلیل تابع تفکیک<sup>۴</sup> و نمودارهای همبستگی<sup>۵</sup> در بسته‌ی FingerPro نیز برای کمک به تصمیم‌گیری بهتر در انتخاب مجموعه‌ی ردیاب‌های مناسب به کار برده شده‌است. نتیجه‌ی نهایی در بسته‌ی FingerPro یعنی سهم نسبی هر منبع مشخص شد. سهم ویژه نیز از سهم نسبی هر منبع در تولید رسوب به ازای هر هکتار برای هر کاربری به دست آمد.

### تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی

در آزمایشگاه شیمی خاک، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، سنگ‌ریزه و ریشه‌ی گیاهان از نمونه‌های خاک و رسوب بستر جدا شد، از الک ۲ میلی‌متر گذرانده شد، و در پتری‌دیش ریخته شد. نمونه‌های خاک ۲۴ ساعت و نمونه‌های رسوب بستر به علت رطوبت بیش‌تر ۴۸ ساعت در دستگاه خشک‌کن انجمادی خشک کرده شد (والینگ و همکاران ۱۹۹۹). نمونه‌های خشک‌شده در هاون کوبیده شد، از الک ۶۳ میکرون گذرانده شد، و نمونه‌ی نهایی در ظرف فالکون ریخته شد. با دستگاه ICP-OES GBC Integra و با نمونه‌ی بمعیار Merck و رسم منحنی واسنجی، ویژگی‌های زمین‌شیمیایی ۵۹ عنصر در نمونه‌ی خاک اندازه‌گیری شد تا ردیاب اولیه‌ی پژوهش باشد.

ترکیب بهینه‌ی از ردیاب‌ها با روش‌های آماری با توانایی تفکیک‌کردن سرچشمه‌های رسوب انتخاب شد. مرحله‌های انتخاب ردیاب و کاربرد مدل ترکیبی در تعیین مشارکت نسبی کاربری‌های گوناگون زمین در تولید رسوب با روش‌های رمزنویسی‌شده در بسته‌ی FingerPro در نرم‌افزار R

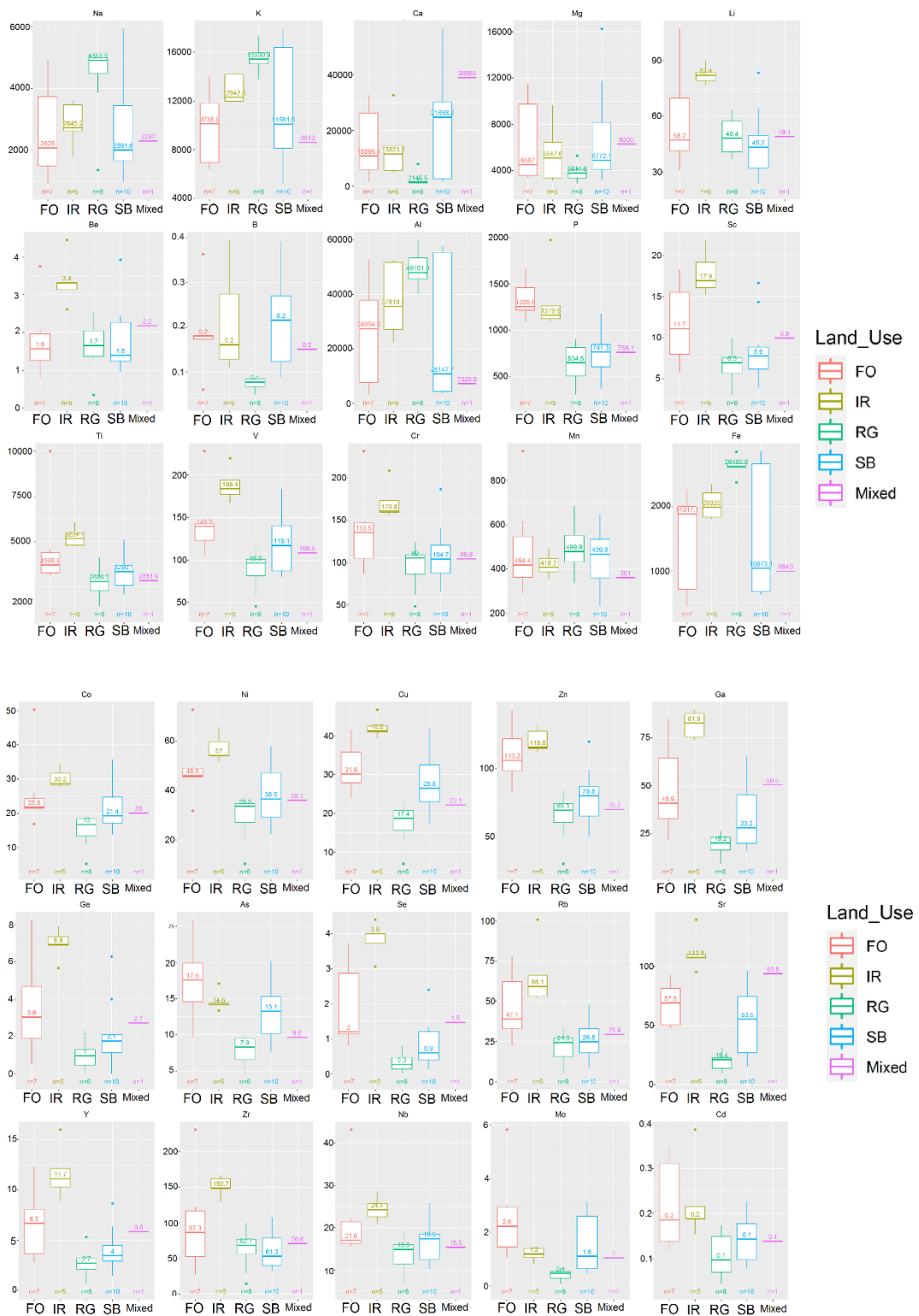
3 - Box Plot  
4 - LDA Plot  
5 - PCA Plot

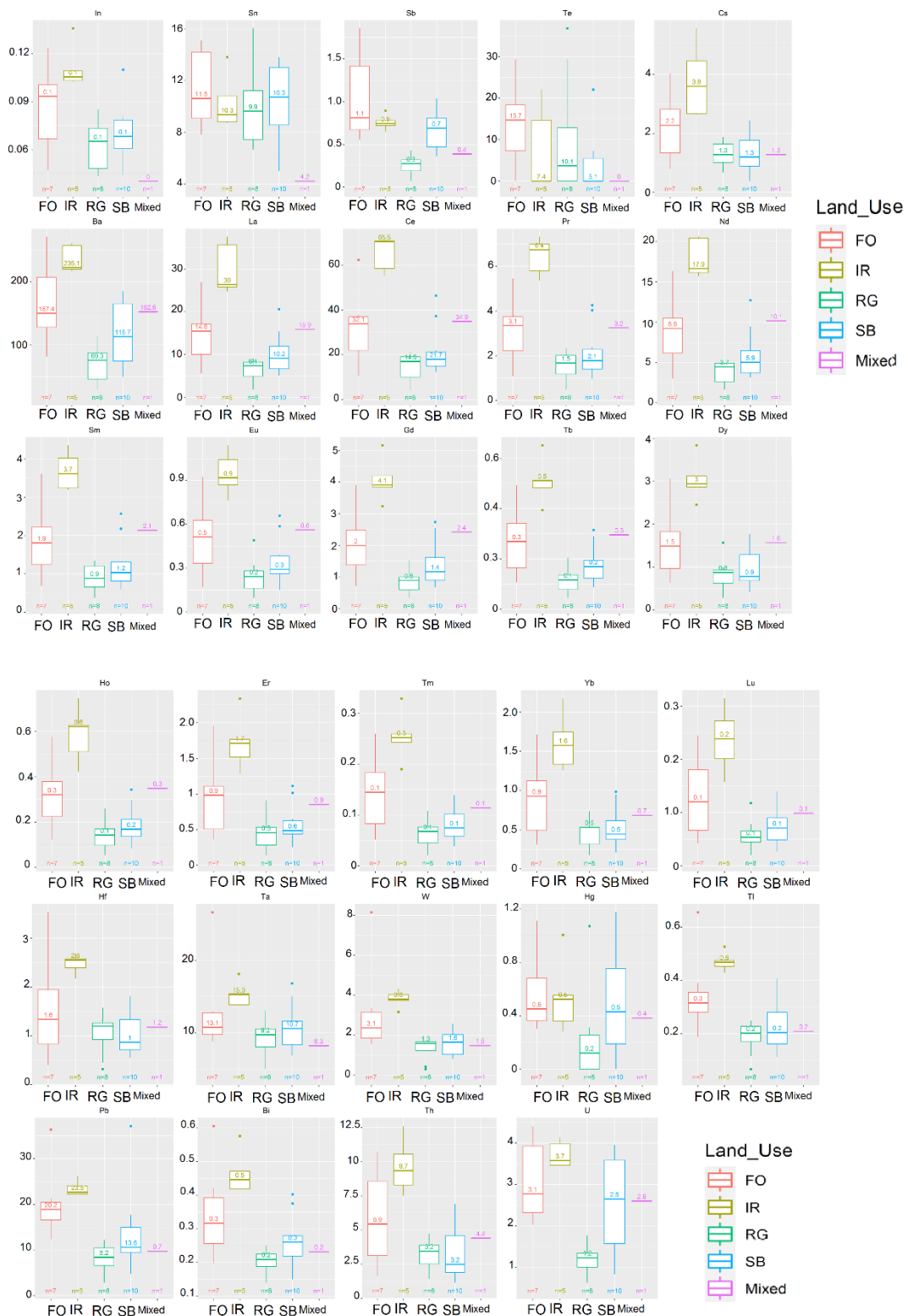
## نتایج و بحث

منشایی رسوب بر پایه ی پوشش های مختلف زمین تحلیل و مقایسه ی ویژگی های ردیاب های گوناگون با بسته ی FingerPro در نرم افزار R انجام شد. انتخاب ردیاب های بهینه معمولاً بر پایه ی روش دو مرحله یی (کالینز و والینگ ۲۰۰۲) است که شامل برخی از روش های آماری قبلی مانند آزمون دامنه، کروسکال والیس و تابع تفکیک است. بنابراین، FingerPro این تابع ها را برای پشتیبانی از تصمیم کاربر در نظر می گیرد (لیزاگا و همکاران ۲۰۲۰). در آزمون دامنه پایابودن ویژگی های زمین شیمیایی ردیاب ها بررسی شد. آزمون دامنه نمی تواند به طور قطعی همه ی ردیاب هایی که توانایی تفکیک سرچشمه های رسوبی دارند شناسایی کند، اما ردیاب هایی را که بیش ترین تفاوت با دیگر نمونه ها دارند، حذف می کند (بلاک و همکاران ۲۰۱۸). بنابراین نتیجه ی آزمون دامنه نشان داد که پس از اجرای آن عنصرهای In و Sn به طور موثر حذف شد. آزمون کروسکال والیس ردیاب هایی را از مجموعه ی داده ی اصلی که تفاوت بسیاری میان سرچشمه ها نشان نداد حذف کرد. پس از اجرای آزمون کروسکال والیس شش عنصر Na

Ca, Be, B, Sc, Ti, Co, Ni, Zn, As, Se, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cd, Cs, La, Ce, Pr, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Th, Bi, Pb, Tl, Hf, Lu, Yb, Tm, Er, U به طور موثر حذف شد. سرانجام ۱۵ عنصر Fe, Cr, V, P, Li, K, Ta, Nd, Ba, Sb, Rb, Ge, Ga, Cu و W انتخاب شد که ردیاب بهینه باشد. لیزاگا و همکاران (۲۰۱۹ الف) نشان دادند که کاربری و پوشش های گوناگون زمین در انتخاب ردیاب های بهینه تاثیرگذار است. لیزاگا و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان دادند که سه عنصر ردیاب در مرحله ی آزمون دامنه، و ۱۳ عنصر در مرحله ی آزمون کروسکال والیس حذف شد، و سرانجام Bi, Pbex, Si و ردیاب بهینه انتخاب شد. بنابراین، با مقایسه ی نتیجه ی این پژوهش با نتایج دیگر پژوهش گران می توان نشان داد که میان عنصرهای ردیاب در کاربری های زمین گوناگون اختلاف معنی داری هست. نمودار جعبه یی غلظت های گوناگون هر ردیاب را در برابر نمونه ی درهم نشان داد (شکل ۳).

# تفکیک سهم نسبی پوشش‌های گوناگون زمین در تولید رسوب بستر...

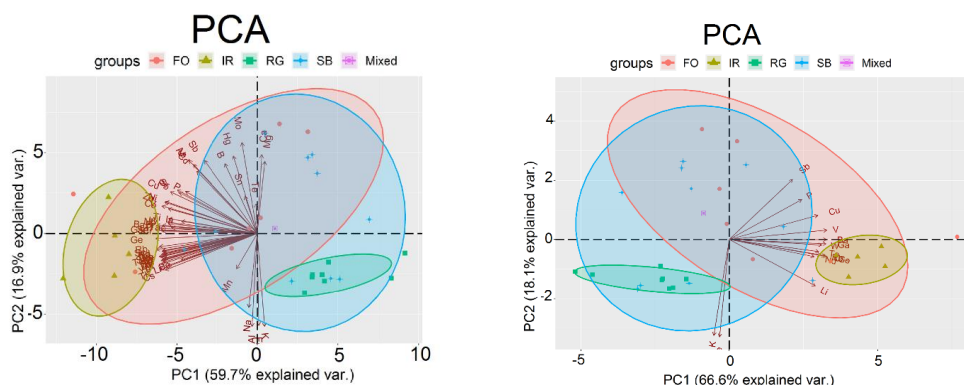




شکل ۳- نمودار جعبه‌یی غلظت ۵۹ ردیاب در پوشش‌های گوناگون جنگل (FO)، مرتع (RG)، کشاورزی (IR) و کناره‌های آبراه (SB) در آبخیز وازرود.

آوردند نیز دیده شده بود. نمودار همبستگی تحلیل مؤلفه‌های اصلی را روی ماتریس نشان می‌دهد. این نمودار یک‌بار پیش از آزمون تابع تفکیک و شامل همه‌ی ردیاب‌ها، و یک‌بار پس از آزمون تابع تفکیک و انتخاب ردیاب‌های بهینه نمایش داده شد (شکل ۴). پیکان‌های ردیاب‌های حذف‌شده در نمودار همبستگی موازی با ردیاب‌های بهینه‌ی است که در مجموعه‌ی داده می‌ماند. نتیجه نشان داد که پس از انجام آزمون تابع تفکیک و انتخاب ردیاب‌های بهینه نیز همبستگی عنصرهای ردیاب معنی‌دار است. لیزاگا و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان دادند که همبستگی معنی‌داری میان عنصرهای ردیاب در این نمودار هست. نمودار تحلیل تابع تفکیک نیز تجزیه‌تحلیل تفکیک خطی را سه‌بعدی نمایش داد، و نشان داد که متغیرهای حذف‌شده ظرفیت تفکیک میان سرچشمه‌ها را افزایش یا کاهش می‌دهند.

برای هر عنصر ردیاب یک نمودار جعبه‌ی هست که در آن غلظت هر ردیاب در هر کاربری نشان داده می‌شود، و نشان داده می‌شود که هر ردیاب در کدام کاربری غلظت بیش‌تری دارد. در میان ردیاب‌های بهینه عنصرهای Ta, Ba, Rb, V, Cu, Cr, Nd, Ge, W بیش‌ترین غلظت در کاربری کشاورزی و کم‌ترین غلظت در کاربری مرتع داشت. غلظت این عنصرها در کاربری کشاورزی به‌علت کاربرد سم‌ها و کودهای کشاورزی، و نزدیک‌بودن به منطقه‌های مسکونی افزایش یافت. بیش‌ترین غلظت P و Sb در کاربری جنگل و کم‌ترین آن در کاربری مرتع، بیش‌ترین غلظت K و Fe در کاربری مرتع و کم‌ترین آن در کاربری جنگل، و بیش‌ترین غلظت Li در کاربری کشاورزی و کم‌ترین آن در کنار آبراه بود. این نتیجه در لیزاگا و همکاران (۲۰۱۹ الف) و لیزاگا و همکاران (۲۰۲۰) که نمودار جعبه‌ی غلظت‌های گوناگون هر ردیاب را برای پیش و پس از دوره‌ی بارندگی شدید به‌دست

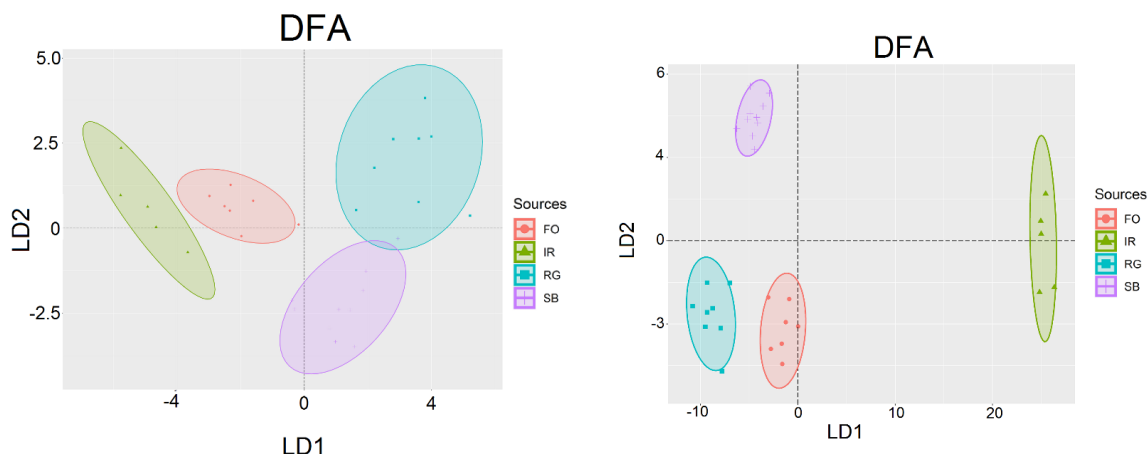


شکل ۴- نمودار همبستگی پیش (چپ) و پس از انتخاب ردیاب‌های بهینه (راست) در پوشش‌های گوناگون جنگل (FO)، مرتع (RG)، کشاورزی (IR) و کناره‌های آبراه (SB).

بهینه هیچ هم‌پوشانی میان سرچشمه‌های گوناگون رسوب و کاربری‌ها در نمودار تحلیل تابع تفکیک دیده نشد، و تفکیک بسیار زیادی میان آن‌ها بود. لیزاگا و همکاران (۲۰۱۹ الف و ۲۰۲۰) نیز نشان دادند که پیش از انجام آزمون‌ها در نمودار تحلیل تابع تفکیک میان سرچشمه‌ها هم‌پوشانی بود، اما پس از آزمون‌ها هیچ هم‌پوشانی نبود. نتیجه‌ی نهایی در بسته‌ی FingerPro شامل جدولی با اندازه‌ی میانگین و انحراف معیار همان سرچشمه‌ها است (جدول ۱).

نتیجه‌ها نشان داد که پیش از آزمون تابع تفکیک، و با بودن همه‌ی ردیاب‌ها، هم‌پوشانی بسیار کمی میان رسوب‌های کنار آبراه و مرتع بود، اما پس از آزمون تابع تفکیک و انتخاب ردیاب‌های بهینه هیچ هم‌پوشانی میان سرچشمه‌ها نبود، و نتیجه‌ی تفکیک بسیار خوبی میان آن‌ها دیده شد (شکل ۵). لیزاگا و همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان دادند که پیش از آزمون تابع تفکیک هم‌پوشانی بسیار کمی میان کاربری مرتع و رسوب‌های کنار آبراه بود، اما پس از انتخاب ردیاب‌های





شکل ۵- نمودار تحلیل تابع تفکیک پیش از انتخاب ردیاب‌های بهینه (چپ) و پس از آن (راست) برای پوشش‌های گوناگون جنگل (FO)، مرتع (RG)، کشاورزی (IR) و کناره‌های آبراه (SB).

جدول ۲- سهم نسبی و سهم ویژه‌ی پوشش‌های گوناگون زمین در تولید رسوب بستر و شاخص نکویی برازش.

سهم	کنار آبراه	کشاورزی	مرتع	جنگل
سهم ویژه (%)	۰/۴۳	۰/۰۲۵	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱
سهم نسبی (%)	۷۳/۸۴	۲/۷۷	۳/۶۱	۱۲/۱۴

مالمورتا و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان دادند که بیش‌ترین سرچشمه‌های رسوب بستر در آبخیز شهری از کناره‌های آبراه است. لیزاگا و همکاران (۲۰۲۱) نیز با ترکیب کردن ردیاب‌های ایزوتوپ پایدار با آزمون تابع تفکیک نشان دادند که میان سهم سرچشمه‌های رسوب کاربری‌های گوناگون زمین اختلاف معنی‌دار هست، با این تفاوت که در پژوهش آن‌ها سهم کاربری کشاورزی بیش‌ترین بود. نتیجه‌ی پژوهش ما نشان داد که به‌جز کناره‌های آبراه، سه کاربری جنگل، مرتع، و کشاورزی سهم بسیار کمی در تولید رسوب حوزه داشتند، اما به دلیل فاصله‌ی نزدیک‌تر به خروجی حوزه، و از سوی دیگر مساحت کم، سهم نسبی کاربری کشاورزی به ازای هر هکتار (سهم ویژه) بیش‌تر بود. لیزاگا و همکاران (۲۰۲۰) در آبخیزی مدیترانه‌یی با بسته‌ی FingerPro نتیجه‌ی مشابه با پژوهش ما گرفتند، و نشان دادند که میان سهم سرچشمه‌های رسوب جنگل کاری قدیمی، جدید، و کشاورزی اختلاف معنی‌داری بود. اگرچه، اختلاف جنگل کاری قدیمی و جنگل کاری جدید بسیار کم بود، و بیش‌ترین سهم تولید رسوب از کاربری کشاورزی بود که به خروجی نزدیک‌تر است. نتیجه‌ی آستروگا و همکاران (۲۰۲۰) نیز در به‌کارگیری روش EDXRF برای آگاهی از غلظت ردیاب‌ها و سهم سرچشمه‌های رسوبی نشان داد که چراگاه‌ها و کناره‌های آبراه به‌ترتیب اولین و دومین منبع رسوب‌ها بود. بنابراین می‌توان تایید کرد که پوشش‌های گوناگون زمین در معنی‌دار

نتیجه‌ی بسته‌ی FingerPro نشان داد که میانگین و انحراف معیار شاخص نکویی برازش به‌ترتیب ۷۸/۳۱٪ و ۰/۰۲۶ بود. پژوهش‌های گذشته مانند چن و همکاران (۲۰۱۹)، گاسپر و همکاران (۲۰۱۹)، و لیزاگا و همکاران (۲۰۲۰) نشان داده است که مدل‌های با شاخص نکویی برازش بیش‌تر از ۶۰٪ نتیجه‌ی پذیرفتنی می‌دهد. بنابراین، برپایه‌ی اندازه‌های به‌دست‌آمده، نتیجه‌ها با درصد اطمینان زیادی پذیرفتنی است.

سهم نسبی تولید رسوب کاربری جنگل، مرتع، کشاورزی و کناره‌های آبراه به ترتیب ۱۲/۱۴، ۳/۶۱، ۲/۷۷ و ۷۳/۸۴٪ و سهم نسبی هر منبع در تولید رسوب به ازای هر هکتار، یعنی سهم ویژه برای کاربری‌های جنگل، مرتع، کشاورزی و کنار آبراه به‌ترتیب ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۰۸، ۰/۰۲۵ و ۰/۴۳ بود (جدول ۲). اختلاف زیادی میان سهم سرچشمه‌های گوناگون رسوب (جنگل، مرتع، کشاورزی و کناره‌های آبراه) بود.

بیش‌ترین سهم نسبی و سهم ویژه‌ی سرچشمه‌های رسوب در رسوب‌های کنار آبراه بود. لیزاگا و همکاران (۲۰۱۹ الف) نیز نشان دادند که سهم کناره‌های آبراه حدود ۴۴ تا ۷۱٪ از سرچشمه‌های رسوب در کنار کشاورزی، جنگل‌های کاج و جنگل‌های باز بود. چن و همکاران (۲۰۱۹) در دو زیرحوزه با مدل‌های ترکیبی چندمتغیره نشان دادند که بیش‌ترین سهم سرچشمه‌های رسوب در زمین‌های شیب‌دار و مزرعه‌ها است، و میان سرچشمه‌های رسوب اختلاف زیادی هست.

واز دارد. در این حوزه کنار آبراه‌ها سهم بیش‌تری در تولید رسوب بستر دارد. بنابراین توصیه می‌شود برنامه‌های مدیریت و حفاظت خاک در منطقه، از جمله روش‌های مهندسی زیستی در کناره‌های رود اجرا شود. پیشنهاد می‌شود در دوره‌ی پرآبی نیز نمونه‌برداری شود، و با این نتیجه‌ها مقایسه شود، که در آینده توسط نویسندگان مقاله انجام خواهد شد.

#### سیاس‌گذاری

این مقاله برگرفته از رساله‌ی دکتری نبیه کریمی مصوب وزارت علوم، تحقیقات و فناوری در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری است. نویسندگان مقاله تشکر خود را از این دانشگاه و معاونت علمی و فن‌آوری ریاست جمهوری (ستاد توسعه فن‌آوری‌های آب، خشک‌سالی، فرسایش و محیط‌زیست) برای حمایت مالی در انجام این رساله اعلام می‌کنند.

شدن ردیاب‌های گوناگون تاثیرگذار است. این نتیجه با نتیجه‌ی اندازه‌ی فرسایش خاک تولیدشده (لیزاگا و همکاران ۲۰۱۹ و الف، لیزاگا و همکاران ۲۰۲۰، لیزاگا و همکاران ۲۰۲۱، و محمدی و همکاران ۲۰۲۱) هم خوانی داشت.

#### نتیجه‌گیری

به‌کار بردن مدل‌های ترکیبی برای درک رابطه‌های سرچشمه‌های رسوب و ردیاب‌ها ضروری است، و معمولاً نرم‌افزارهای گوناگونی برای انتخاب بهترین ترکیب ردیاب‌های رسوب به‌کار برده می‌شود. بسته‌ی FingerPro در نرم‌افزار R آزمون‌ها و نمودارهای گوناگونی برای انتخاب ردیاب به‌کار می‌برد. علاوه بر این، سرچشمه‌های گوناگون رسوب را می‌شناساند، و ارتباط میان ردیاب‌ها و ردیاب‌های بهینه را آشکار می‌کند. نتیجه‌گیری می‌شود که منشأیابی به روش زمین‌شیمیایی و مبتنی بر بسته‌ی FingerPro نقش مهمی در مدیریت تولید رسوب در آبخیز

#### فهرست منابع

- Astorga R, Garcias T, Borgatello G, Velasco H, Padilla R, Dercon G, Mabit L. 2020. Use of geochemical fingerprints to trace sediment sources in an agricultural catchment of Argentina. *International Soil and Water Conservation Research*, 8(4): 410–417.
- Bábek O, Grygar TM, Faměra M, Hron K, Nováková T, Sedláček J. 2015. Geochemical background in polluted river sediments: How to separate the effects of sediment provenance and grain size with statistical rigour. *Catena*, 135: 240–253.
- Blake WH, Boeckx P, Stock BC, Smith HG, Bodé S, Upadhyay HR, Gaspar L, Goddard R, Leonard AT, Lizaga I, Lobb DA, Owens PN, Peticrew EL, Kuzyk ZA, Gari BD, Munishi L, Mtei K, Nebiyu A, Mabit L, Navas A, Semmens BX. 2018. A deconvolutional Bayesian mixing model approach for river basin sediment source apportionment. *Scientific Reports*, 8(1): 1–12.
- Chen J, Shi Z, Wen A, Yan D, Chen T. 2019. <sup>137</sup>Cs-based variation of soil erosion in vertical zones of a small catchment in Southwestern China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(8): 71–85.
- Collins AL, Walling DE. 2004. Documenting catchment suspended sediment sources: problems, approaches and prospects. *Progress in Physical Geography*, 28(2): 159–196.
- Duodu GO, Goonetilleke A, Ayoko GA. 2016. Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metal in Brisbane River sediment. *Environmental Pollution*, 219(16): 1077–1091.
- Fatahi A, Gholami H, Esmailpour Y, Fathabadi A. 2022. Fingerprinting the spatial sources of fine-grained sediment deposited in the bed of the Mehran River, southern Iran. *Scientific Reports*, 12(1): 1–17.
- Froger C, Ayrault S, Evrard O, Monvoisin G, Bordier L, Lefèvre I, Quantin C. 2018. Tracing the sources of suspended sediment and particle-bound trace metal elements in an urban catchment coupling elemental and isotopic geochemistry and fallout radionuclides. *Environmental Pollution*, 25 (28): 28667–

- 28681.
- Gaspar L, Blake WH, Smith HG, Lizaga I, Navas A. 2019. Testing the sensitivity of a multivariate Mixing model using geochemical fingerprints with artificial mixtures. *Geoderma*, 337:498–510.
- Gellis AC, Noe GB. 2013. Sediment source analysis in the Linganore Creek watershed, Maryland, USA, using the sediment fingerprinting approach: 2008 to 2010. *Journal of Soils and Sediments*, 13(10): 1735–1753.
- Haddadchi A, Nosrati K, Ahmadi F. 2014. Differences between the source contribution of bed material and suspended sediments in a mountainous agricultural catchment of western Iran. *Catena*, 116: 105–113.
- Huang LS, Rad L, Xu L, Gui X, Song Y, Li Z. 2020. Heavy Metals Distribution, Sources, and Ecological Risk Assessment in Huixian Wetland, South China. *Water*, 12(2): 1–14.
- Krishnappan BG, Chambers PA, Benoy G, Culp J. 2009. Sediment source identification: a review and a case study in some Canadian streams. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 36(10): 1622–1633.
- Lamba J, Karthikeyan KG, Thompson AM. 2015. Apportionment of suspended sediment sources in an agricultural watershed using sediment fingerprinting. *Geoderma*, 239(12): 25–33.
- Liao J, Chen J, Ru X, Chen J, Wu H, Wei C. 2017. Heavy metals in river surface sediments affected with multiple pollution sources, South China: Distribution, enrichment and source apportionment. *Journal of Geochemical Exploration*, 176(10): 9–19.
- Lizaga I, Latorre B, Gaspar L, Navas A. 2020. FingerPro: an R package for tracking the provenance of sediment. *Water Resour. Water Resources Management*, 34(12): 3879–3894.
- Lizaga I, Gaspar L, Blake WH, Latorre B, Navas A. 2019a. Fingerprinting changes of source apportionments from mixed land uses in stream sediments before and after an exceptional rainstorm event. *Geomorphology*, 341(19): 216–229.
- Lizaga I, Quijano L, Gaspar L, Ramos MC, Navas A. 2019b. Linking land use changes to variation in soil properties in a Mediterranean mountain agroecosystem. *Catena*, 172(32): 516–527.
- Lizaga I, Bodé S, Gaspar L, Latorre B, Boeckx P, Navas A. 2021. Legacy of historic land cover changes on sediment provenance tracked with isotopic tracers in a Mediterranean agroforestry catchment. *Journal of Environmental Management*, 288: 1–11.
- Lloyd CM, Johnes PJ, Freer JE, Carswell AM, Jones JI, Stirling MW, Hodgkinson RA, Richmond C, Collins AL. 2019. Determining the sources of nutrient flux to water in headwater catchments: examining the speciation balance to inform the targeting of mitigation measures. *Science of the Total Environment*, 648(22): 1179–1200.
- Malhotra K, Lamba J, Shepherd S. 2020. Sources of stream bed sediment in an urbanized watershed. *Catena*, 18: 104–120.
- Miller JR, Mackin G, Miller SO. 2015. Application of geochemical tracers to fluvial sediment. *Springer International Publishing*, 319(10): 1–11.
- Mohammadi M, Khaledi Darvishan AV, Bahramifar N. 2019. Spatial distribution and source identification of heavy metals (As, Cr, Cu and Ni) at sub-watershed scale using geographically weighted regression. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(3): 308–315.
- Mohammadi M, Khaledi Darvishan AV, Dinelli E, Bahramifar N, Alavi S.J. 2021. How does land use configuration influence on sediment heavy metal pollution? Comparison between riparian zone and sub-watersheds. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*

- ment,36(3): 719–734
- Navas A, Valero-Garcés B, Gaspar L, Machín J. 2009. Reconstructing the history of sediment accumulation in the Yesa reservoir: An approach for management of mountain reservoirs. *Lake and Reservoir Management*, 25(16): 15–27.
- Nosrati K, Haddadchi A, Collins AL, Jalali S, Zare MR. 2018. Tracing sediment sources in a mountainous forest catchment under road construction in northern Iran: Comparison of bayesian and frequentist approaches. *Environmental Science and Pollution Research*,25(31): 30979–30997
- Owens PN, Batalla RJ, Collins AJ, Gomez B, Hicks DM, Horowitz AJ, Kondolf GM, Marden M, Page MJ, Peacock DH, Petticrew EL, Salomons W, Trustrum NA. 2005. Fine-grained sediment in river systems: Environmental Significance and Management Issues *River Research and Applications*,21(7): 693–717.
- Owens PN, Blake WH, Gaspar L, Gateuille D, Koiter AJ, Lobb DA, Petticrew EL, Reiffarth DG, Smith HG, Woodward JC. 2016. Fingerprinting and tracing the sources of soils and sediments: Earth and ocean science, geoarchaeological, forensic, and human health applications. *Earth-Science Reviews*,162: 1–23
- Palazo L, Latorre B, Gaspar L, Blake WH, Smith H, Nava A. 2015. Comparing catchment sediment fingerprinting procedures using an auto-evaluation approach with virtual sample mixtures. *Science of the Total Environment*,532: 456–466.
- Quesada S, Tena A, Guillén D, Ginebreda A, Vericat D, Martínez E, Navarro-Ortega A, Batalla RJ, Barceló D. 2014. Dynamics of suspended sediment borne persistent organic pollutants in a large regulated Mediterranean river (Ebro, NE Spain). *Science of the Total Environment*,473(14): 381–390.
- Quijano L, Gaspar L, Navas A. 2016. Spatial patterns of SOC, SON, 137Cs and soil properties as affected by redistribution processes in a Mediterranean cultivated field Central Ebro Basin). *Soil Tillage Research*, 155(24): 318–328.
- Rovira A, Alcaraz C, Ibáñez C. 2012. Spatial and temporal dynamics of suspended load at a-cross-section: the lowermost Ebro River (Catalonia, Spain). *Water Research*, 46(11): 3671–3681
- Russell MA, Walling DE, Hodgkinson RA. 2001. Suspended sediment sources in two small lowland agricultural catchments in the UK, *Journal of Hydrology*, 252(12): 1–24.
- Walling DE. 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems, *Science of the Total Environment*, 344(23): 159–184.
- Walling DE. 2013. The evolution of sediment source fingerprinting investigations in fluvial systems. *Journal of Soils and Sediments*,13(10): 1658–1675.
- Walling DE, Collins AL. 2008. The catchment sediment budget as a management tool. *Environmental Science & Policy, Monitoring and Modelling Diffuse Pollution From Agriculture for Policy Support: UK and European Experience*, 11(14): 136–143.
- Walling DE, Owens PN, Leeks GJL. 1999. Fingerprinting suspended sediment sources in the catchment of the River Ouse, Yorkshire, UK. *Hydrological Processes*,13(7): 955–975.
- Wynants M, Millward G, Patrick A, Taylor A, Munishi L, Mtei K, Brendonck L, Gilvear D, Boeckx P, Ndakidemi P, Blake WH. 2020. Determining tributary sources of increased sedimentation in East-African Rift Lakes. *Science of the Total Environment*, 717(13): 68–81.



## ***Watershed Management Research***

VOL. 35, No.4, Ser. No: 137, Winter 2023, pp. 77 -89  
DOI: 10.22092/WMRJ.2022.358248.1463

Research Paper



# **Separation of the Relative Contribution of Different Land Covers in Bed Sediment Yield in Vaz River Using Geochemical Characteristics**

### **Nabiyeh Karimi**

Ph.D. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

### **Leila Gholami**

(Corresponding Author)\* Associate Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

### **Ataollah Kavian**

Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

### **Abdulvahed Khaledi Darvishan**

Associate Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

\*Corresponding Author Email: l.gholami@sanru.ac.ir

Received: 21 April 2022 Accepted: 21 June 2022

### **Abstract**

Identification of sediment resources and their associated pollutants and contribution separation of land uses / land cover in sediment production is a valuable tool in spatial prioritization of soil conservation practices at watersheds. The present study was conducted with aim of bed sediment Fingerprinting using the geochemical method in Vaz watershed in Mazandaran Province. Thirty soil samples from different land covers were collected as sediment sources, and a sample of bed sediment at the basin outlet was measured. The geochemical characteristics including 59 elements were measured using ICP-OES. Then, using the combination of range tests, Kruskal-Valis and DFA test in FingerPro package at R software, 15 elements including K, Li, P, V, Cr, Fe, Cu, Ga, Ge, Rb, Sb, Ba, Nd, Ta, and W were selected as the optimal tracers. The results with a goodness index of fit of 78.31 showed that the contributions of agricultural, rangeland, forest, and stream bank lands in the bed sediment yield were with rates of 2.77, 3.61, 12.14, and 73.84 %, respectively. Finally, the relative contribution of each source in sediment yield for each hectare was calculated and the results showed that stream bank and rangeland with the relative contribution of 0.43 and 0.0008 percent for each hectare have the highest and lowest participation in sediment yield, respectively.

■ **Keywords:**Erosion tracer, FingerPro package, sediment fingerprinting, sediment sources, Vaz watershed ■