

بررسی سهم منابع تولیدکننده رسوب ناشی از فرسایش‌های ورقه‌ای، شیاری، خندقی و آبراهه‌ای با استفاده از روش انگشت‌نگاری رسوب در حوضه آبخیز نی‌ریز استان فارس

سید مسعود سلیمان‌پور*: استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس،

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

حمید غلامی: دانشیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

امید رحمتی: استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران

صمد شادفر: دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۱۷)



20.1001.1.22517812.1401.12.3.8.7

چکیده

فرسایش شدید خاک، تهدیدی جدی برای مدیریت پایدار سرزمین و استفاده از منابع آب و خاک در بسیاری از نقاط جهان است. به منظور کنترل فرسایش‌های ورقه‌ای، شیاری، خندقی و آبراهه‌ای و کاهش رسوب تولیدی ناشی از آنها در خروجی حوضه‌های آبخیز، لازم است به شناسایی سهم منابع تولیدکننده رسوب آنها پرداخت تا اقدامات حفاظتی با موفقیت بیشتری انجام شود. یکی از متداول‌ترین روش‌هایی که در سال‌های اخیر از آن به منظور تعیین سهم منابع مختلف رسوب استفاده شده، روش انگشت‌نگاری رسوب است. هدف از این پژوهش، بررسی سهم منابع تولیدکننده رسوب ناشی از فرسایش‌های ورقه‌ای، شیاری، خندقی و آبراهه‌ای با استفاده از این روش در حوضه آبخیز نی‌ریز واقع در شرق استان فارس به کمک نمونه‌برداری از رسوب نهشته شده در بستر است؛ بنابراین از هر نوع از رسوبات فرسایش‌های ورقه‌ای، شیاری، خندقی، آبراهه‌ای، آبراهه اصلی درون حوضه و منطقه خروجی حوضه آبخیز، ده نمونه (در مجموع شصت نمونه) برداشت شد. به منظور تعیین ردیاب‌های بهینه نیز از دو آزمون دامنه و تحلیل تشخیص چند متغیره استفاده شد و با استفاده از مدل کولینز و همکاران، سهم هر یک از منابع مختلف رسوب به دست آمد. سپس فقدان قطعیت مرتبط با سهم منابع بالقوه رسوبات، با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو با اطمینان ۹۵ درصد در نرم‌افزار MATLAB محاسبه شد. به منظور ارزیابی نتایج حاصل از مدل چند متغیره ترکیبی، از نکویی برازش (GOF) پیشنهادی توسط کولینز و همکاران استفاده شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که چهار ردیاب (Lu و Sn, Al, Zr) به عنوان ردیاب‌های بهینه نهایی انتخاب شدند. به علاوه میزان سهم فرسایش‌های خندقی، ورقه‌ای، شیاری و آبراهه‌ای به ترتیب برابر با ۴۵/۲۱، ۳/۰۷، ۱۶ و ۳۵/۷۲ درصد از کل فرسایش‌های اتفاق افتاده در این حوضه آبخیز بود. در این پژوهش، کارایی روش انگشت‌نگاری رسوب به عنوان روشی موفق و مؤثر در تعیین منابع رسوبات اثبات شد؛ زیرا چهار ردیاب بهینه توانستند ۹۵ درصد منابع رسوب را به درستی طبقه‌بندی و جداسازی کنند. همچنین با توجه به مقدار $GOF = 0.8869$ نیز دقت بالای مدل را تأیید کرد.

واژگان کلیدی: انگشت‌نگاری، رسوب، شبیه‌سازی، فرسایش، مونت کارلو.

۱- مقدمه

فرسایش شدید خاک، تهدیدی جدی برای مدیریت پایدار سرزمین و استفاده از منابع آب و خاک در بسیاری از نقاط جهان است (Mukundan et al, 2010 & Collins et al, 2001). برای درک بهتر فرایندها و کنترل اولیه عوامل فرسایش آب و ارائه یک مرجع مفید برای استفاده علمی از زمین و اقدامات حفاظتی، به دست آوردن میزان فرسایش منابع رسوب اهمیت زیادی دارد؛ به این منظور، فهم دینامیک منبع رسوب برای مدیریت اثر فرایندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی بر منابع خاک و آب ضروری است (Lal, 2001). شناسایی منشأ مواد منتقل شده به منظور شناسایی نقاط بحرانی (مناطق که نسبت به مناطق اطراف درصد فرسایش بالایی دارند) و زمان‌های بحرانی (دوره‌های زمانی کوتاه با درصد فرسایش بالا نسبت به دوره‌های زمانی طولانی‌تر) برای طراحی بهترین عملیات مدیریتی امری مؤثر است (Mukundan et al, 2012 & Gellis and Walling, 2011 & Collins and Walling, 2008). میزان آورد رسوبات، اطلاعات اندکی درباره هدررفت خاک ناشی از آب یا باد ارائه می‌دهد؛ زیرا هیچ اطلاعاتی درباره منابع رسوب ارائه نمی‌دهد که نشان دهد کدام قسمت‌ها بیشترین رسوب را در آبخیز تولید می‌کنند و بار رسوب زیادی برای شبکه رودخانه‌ها به همراه دارند (Owens et al, 2005). بنابراین، شناخت تغییرات زمانی و مکانی منابع رسوب در مدیریت رسوب و آلاینده‌ها در سیستم‌های رودخانه‌ای ضرورت دارد (Le Gall et al, 2016).

روش انگشتنگاری رسوب^۱، روشی رایج در تشخیص و کمی کردن سهم منابع رسوبات است (Tiecher et al, 2017 & Gholami et al, 2018) که برای اولین بار، کولینز و همکاران در سال ۱۹۹۷ از آن به منظور تعیین سهم منابع رسوب در بریتانیا استفاده کردند. در چهار دهه اخیر، شاهد کاربرد گسترده این روش در تعیین سهم منابع مختلف رسوب بوده‌ایم. روش انگشتنگاری رسوب، از طریق تلفیق مدل‌های ترکیبی کمی با ردیاب‌های ترکیبی^۲، تخمین‌های کمی از سهم نسبی منابع مختلف تولید رسوب فراهم می‌کند (Walling, 2005). این روش بر اساس مقایسه مستقیم خصوصیات رسوبات (آبی یا بادی) با منابع پایه‌گذاری شده است (Collins et al, 2010 & Gholami et al, 2017). در این روش، مجموعه‌ای از خصوصیات رسوبات در نمونه‌های منابع اندازه‌گیری و مقایسه می‌شود تا سهم منابع مختلف در رسوب خروجی حوضه تعیین شود (Walling et al, 1999).

در دهه اخیر از روش انگشتنگاری رسوب، به عنوان ابزاری قوی برای شناسایی منابع رسوب استفاده شد؛ به عنوان مثال، در برزیل Tiecher و همکاران (2017)، در فرانسه Foucher و همکاران (2015)، در مکزیک Evrard و همکاران (2013)، در کانادا Barthod و همکاران (2015)، در بریتانیا Pulley و همکاران (2015)، در اسپانیا Brosinsky و همکاران (2014)، در ترکیه D'Haen و همکاران (2013)، در تونس Ben Slimane و همکاران (2013)، در استرالیا Laceby و همکاران (2015)، در ایران Gholami و همکاران (2019 و 2017)، Haddadchi و همکاران (2014)، Hayatnia و همکاران (2022) و تعداد دیگری از محققان، از این روش در پژوهش‌های خود استفاده کردند. پژوهش‌های ذکر شده نشان می‌دهد که اغلب آنها، پیرامون مشخص کردن سهم نسبی منابع مولد رسوب است و فقدان قطعیت سهم منابع، کمتر قابل توجه می‌باشد. با توجه به پژوهش‌های انجام شده در داخل و خارج از کشور،

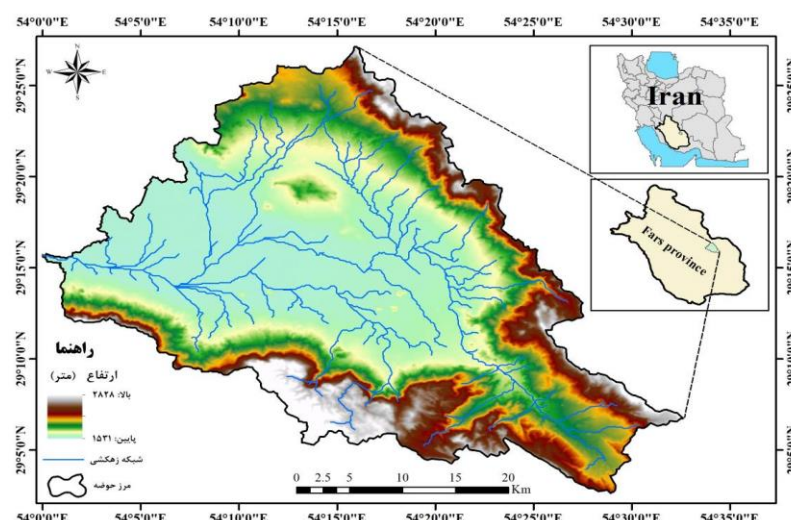
¹ Sediment Fingerprinting² Composite Fingerprint

می‌توان به این نکته اشاره کرد که در این پژوهش‌ها پیشنهاد شده‌است از دانش انگشت‌نگاری به‌عنوان روشی علمی و معتبر استفاده شود. همچنین کاربرد روش‌های مختلف در این زمینه، بر دقت و کارایی آن خواهد افزود. فرسایش‌های ورقه‌ای، شیار، خندقی و آبراهه‌ای، از انواع فرسایش آبی است که تولید رسوب و هدررفت خاک ناشی از آنها، خسارت‌های زیادی به منابع آب و خاک وارد می‌کند (Refahi, 2017). برای درک بهتر فرایندها و کنترل اولیه عوامل انواع مختلف فرسایش‌های آبی، ارائه یک مرجع مفید برای استفاده علمی از زمین و اقدام‌های حفاظتی، به‌دست آوردن میزان فرسایش و منابع رسوب اهمیت زیادی دارد؛ به همین دلیل، شناسایی منابع رسوب برای تعیین بیلان رسوب آبخیز، توسعه مدل‌ها و اجرای استراتژی‌های حفاظت خاک امری ضروری است (Porto et al, 2016).

آگاهی از سهم نسبی منابع مختلف تولیدکننده رسوب در انواع فرسایش‌ها، قسمت مهمی از فهم دینامیک رسوب است و لازم است به‌منظور توسعه برنامه‌های مدیریت رسوب از آنها استفاده شود؛ زیرا با استفاده از این روش، اهمیت نسبی منابع رسوب تعیین می‌شود و عملیات مدیریتی کنترل رسوب به‌طور دقیق‌تری عملی خواهد شد. به این منظور، در این پژوهش برای اولین بار به کمی‌سازی سهم منابع رسوب در فرسایش‌های ورقه‌ای، شیار، خندقی و آبراهه‌ای و بررسی آن با منابع رسوب واقع در آبراهه اصلی درون حوضه و منطقه خروجی حوضه آبخیز نی‌ریز استان فارس پرداخته و فقدان قطعیت مرتبط با آنها محاسبه شد. مهم‌ترین مزیت استفاده از این روش آن است که در روش انگشت-نگاری رسوب با یک بار نمونه‌برداری و با کمترین به‌هم‌ریختگی و آشفتگی در سطح خاک می‌توان با کمترین هزینه، سهم منابع رسوب را تعیین کرد؛ در صورتی که سایر روش‌ها به زمان و هزینه بیشتری نیازمند است.

۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز نی‌ریز در شرق استان فارس، در محدوده طول جغرافیایی ۵۴ درجه، ۲۰ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۵۴ درجه، ۲۳ دقیقه و ۰۳ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه، ۱۳ دقیقه و ۰۵ ثانیه تا ۲۹ درجه، ۱۴ دقیقه و ۴۰ ثانیه شمالی قرار گرفته‌است. منطقه تحت اثر فرسایش‌ها در نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ شماره NH40-9 نی‌ریز، ۱:۵۰۰۰ نی‌ریز و ۱:۲۵۰۰۰ شماره IINW ۶۸۴۸ نی‌ریز واقع شده‌است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه بر روی آبرفت‌های حاصل از فرسایش پهنه‌های مارنی میوسن ایجاد شده‌است که در نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ نی‌ریز قرار دارد و فرسایش‌های (ورقه‌ای، شیار، خندقی و آبراهه‌ای) مورد مطالعه در این منطقه بر روی این آبرفت‌ها قرار دارند. کاربری منطقه کشاورزی، دیم است و آبراهه فعال نیز دارد. مساحت حوضه، ۱۱۳۳/۴ کیلومتر مربع است. ارتفاع متوسط منطقه، ۱۶۳۰ متر از سطح دریا و شیب متوسط آن، ۳ درصد است. تیپ اراضی در این منطقه، دشت دامنه‌ای است. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن گسترده، اقلیم خشک بیابانی سرد است. متوسط دما و بارندگی سالانه طبق آمار ۲۱ ساله (۱۳۷۹-۱۳۹۹)، به‌ترتیب معادل ۱۹/۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۹۷/۹۶ میلی‌متر است و حداکثر بارندگی روزانه در دوره مذکور برابر با ۶۷/۸ میلی‌متر است (Website of Fars Meteorological Department, 2022).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۳- مواد و روش

با توجه به اینکه هدف از این پژوهش، نمونه برداری از رسوب نهشته شده در بستر است؛ برداشت ده نمونه معرف از نقاط تعیین شده مربوط به فرسایش های مورد نظر شامل فرسایش های ورقه ای، شیاری، خندقی و کنار رودخانه ای (آبراهه ای) در سطح حوضه آبخیز نی ریز استان فارس (شکل ۲) به شرح زیر انجام شد:

به این منظور از خاک دارای فرسایش های ورقه ای و شیاری، نمونه های خاک از عمق صفر تا پنج سانتی متری و از خاک دارای فرسایش های خندقی و کنار رودخانه ای (آبراهه ای)، از دیواره ها و کف به مقدار کافی (تقریباً دو کیلوگرم) توسط یک بیلچه استیل برداشت شد (Walling et al, 1999) و پس از هر بار برداشت به منظور دقت بیشتر، بیلچه استریل و مجدداً از آن استفاده شد. همچنین سعی شد نمونه برداری از پراکنش مناسبی برخوردار باشد؛ به طوری که نمونه های برداشت شده، شاخص مناسبی از کل مساحت منبع رسوب باشد. همچنین ده نمونه در مسیر آبراهه اصلی (قسمت های میانی حوضه) و ده نمونه در خروجی حوضه آبخیز برداشت شد. سپس به منظور حداقل کردن تأثیر اندازه ذرات بر خصوصیات اندازه گیری شده، تمامی نمونه ها از الک ۶۳ میکرومتر (مش ۲۳۰) عبور داده شد. سپس نمونه ها بسته بندی و کد گذاری (شکل ۳) و به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه هرمزگان منتقل شد.



شکل ۲: برداشت نمونه از فرسایش ورقه‌ای، شیاری، خندقی و آبراهه‌ای



شکل ۳: الک کردن نمونه‌ها با استفاده از الک ۶۳ میکرومتر و بسته‌بندی و کدگذاری آنها

در آزمایشگاه به‌منظور آماده‌سازی و اندازه‌گیری عناصر ژئوشیمیایی، ابتدا نیم گرم خاک از هر نمونه در دو اسید HClO_4 و HF حل شد و بر روی دستگاه گرم‌کن به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت. پس از خنک شدن، محلول ژله‌ای با اسیدهای HNO_3 و HCl به مدت دو ساعت مجدد در دستگاه گرم‌کن قرار داده شد و رقیق‌سازی، نمونه‌ها برای قرائت با دستگاه ICP-OES آماده شد (شکل ۴).



شکل ۴: آماده سازی نمونه ها بر روی دستگاه گرم کن و هضم نمونه ها در اسید

برای هر نمونه ۵۶ عنصر ژئوشیمیایی اعم از عناصر اصلی، عناصر کمیاب و عناصر نادر خاکی (Al)، Ba445, Ba493, Be, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Hf, Ho, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pr, Rb, Sb, Sc, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Ti, Tl, Tm, V, W, Y, Zr, Zn, Yb (Sb و S) اندازه گیری شد. (ذکر این امر لازم است که واحد اندازه گیری برای Al، Ca، Cu، Fe، K، Mg، Na، P و Ti بر حسب درصد وزنی (wt%) و بقیه عناصر بر حسب واحد در میلیون (ppm) است). همچنین ذکر این امر لازم است که میزان دقت عناصر در اندازه گیری به این روش در انتخاب ترکیب بهینه اثرگذار است؛ زیرا همه عناصر در تمامی نمونه ها با دستگاه ICP-OES اندازه گیری (شکل ۵) و مقادیر هر عنصر در نمونه با مقادیر همان عنصر در سایر نمونه ها مقایسه شد.



شکل ۵: اندازه گیری نمونه ها به وسیله دستگاه ICP-OES

به منظور تعیین ردیاب های بهینه، از دو آزمون شامل آزمون «دامنه» و «تحلیل تشخیص چند متغیره» استفاده شد. پس از تعیین ردیاب های محافظه کار، ترکیب ردیاب های بهینه با استفاده از آزمون «تحلیل تشخیص چند متغیره» با حداقل کردن ویلکس لامبدا انتخاب شد. پس از آن نیز با استفاده از مدل ترکیبی چند متغیره، سهم منابع رسوب با استفاده از مدل Collins و همکاران (1997) رابطه ۱ تعیین شد:

$$f(x_i) = \sum_{i=1}^n ((B_i - \sum_{j=1}^m A_j \cdot X_{j,i}) / B_i)^2$$

رابطه ۱

که در این معادله، $f(X_j)$ تابع هدف، B_i غلظت ردیاب i ام در نمونه‌های رسوب، A_j سهم فرضی منبع j ام و $X_{j,i}$ غلظت ردیاب i ام در منبع j ام است. ذکر این امر لازم است که در این روابط چون تعداد ردیاب‌ها بیش از تعداد منابع است؛ بیش برآزشی اتفاق می‌افتد. در این حالت به‌جای داشتن یک جواب بهینه، مجموعه‌ای از جواب‌ها وجود دارند که می‌توانند محدودیت‌ها را برآورد کنند (Collins et al, 1997)؛ به این منظور، در این پژوهش با استفاده از انحراف معیار و میانگین داده‌های مشاهداتی برای هر یک از ردیاب‌های بهینه، داده‌های تصادفی با تکرار ۱۰۰۰۰ بار تولید شد و در نهایت، محدوده فقدان قطعیت مربوط به سهم منابع رسوب با رابطه ۱ در سطح ۹۵ درصد (صدک‌های ۲/۵ و ۹۷/۵ درصد) در نرم‌افزار MATLAB محاسبه شد.

در انتها به‌منظور ارزیابی نتایج حاصل از مدل چند متغیره ترکیبی، از GOF^1 پیشنهادی توسط Collins و همکاران (2012) استفاده شد که از رابطه ۲ به دست آمد:

$$GOF = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{(B_i - \sum_{j=1}^m A_j \cdot X_{j,i})}{B_i} \right) \quad \text{رابطه ۲}$$

۴- یافته‌ها (نتایج)

۴-۱- آزمون دامنه

آزمون دامنه برای شناسایی مقادیر خارج از محدوده (داده‌های پرت) انجام شد. بر این اساس، خواص محافظه‌کارانه ردیاب‌ها توسط آزمون دامنه شناسایی شد. بر اساس این آزمون، از بین ۵۱ ردیاب اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها، دوازده ردیاب (Ag, Ba, Be, Eu, Mn, Ni, Ta, Tb, Th, Tm, W و Zn) به‌عنوان ردیاب‌های نامحافظه‌کار شناسایی شد که این ردیاب‌ها در سایر آزمون‌های آماری مانند کروسکال‌والیس و تابع تحلیل تشخیص کنار گذاشته شدند.

۴-۲- آزمون کروسکال‌والیس

نتایج آزمون کروسکال‌والیس نشان داد که از بین ۳۹ ردیاب‌های عبور کرده از آزمون دامنه، شانزده ردیاب (Al, Ca, Co, Cr, Er, Fe, Gd, Lu, Mo, Na, Nd, Pb, Pr, S, Sc و Zr) دارای معناداری در سطح یک درصد ($p \leq 0.01$)، و ۹ ردیاب (Cu, Ga, Hf, Ho, La, Sn, Sr, Y و Yb) دارای معناداری در سطح پنج درصد ($p \leq 0.05$) است که در مجموع، این ۲۵ ردیاب دارای سطح معناداری بود و می‌توانست به تفکیک منابع پیردازد؛ در حالی که چهارده ردیاب (As, Ce, Cs, Dy, K, Li, Mg, Nb, P, Rb, Sm, Te, Ti و V) از نظر آماری معنی‌دار نبود که این ردیاب‌ها از آزمون آماری DFA کنار گذاشته شد.

۴-۳- آزمون DFA گام به گام

پس از بررسی توانایی ردیاب‌ها برای تفکیک منابع با آزمون کروسکال‌والیس، از ردیاب‌های عبور کرده از این آزمون در مرحله بعدی آماری یعنی آزمون DFA گام به گام استفاده شد. طبق جدول ۱، ردیاب‌های وارد شده به DFA به ترتیب در شش گام و طی مراحل ۱ تا ۶ نشان داده شد. در اولین گام، ردیاب Zr، گام دوم ردیاب‌های Zr و Al (با ویلکس‌لامبدای ۰/۷۱۷ تا ۰/۲۴۴)، گام سوم ردیاب‌های Al, Zr و Fe (با ویلکس‌لامبدای ۰/۳۹ تا ۰/۰۵۷)، گام

¹ Goodness of fit

چهارم ردیاب های Zr, Al, Fe و Sn (با ویلکس لامبدای ۰/۳۶۲ تا ۰/۰۴)، گام پنجم ردیاب های Zr, Al, Fe, Sn و Lu (با ویلکس لامبدای ۰/۲۳۳ تا ۰/۰۳) و گام ششم ردیاب های Zr, Al, Sn و Lu (با ویلکس لامبدای ۰/۲۸۹ تا ۰/۰۴۵) به مدل وارد شد.

جدول ۱: جزئیات بیشتر برای ردیاب های نهایی وارد و حذف شده در DFA گام به گام

Step	Tracer	Tolerance	F to remove	Wilks' Lambda
۱	Zr	۱	۳۷/۱	-
۲	Zr	۰/۲۳۵	۱۳۴/۵	۰/۷۱۷
۲	Al	۰/۲۳۵	۳۸/۱	۰/۲۴۴
۳	Zr	۰/۲۳۵	۹۸/۱	۰/۳۹
۳	Al	۰/۲۳۴	۲۲/۲	۰/۱۲
۳	Fe	۰/۹۸۱	۴/۷	۰/۰۵۷
۴	Zr	۰/۱۸۷	۱۲۲/۳	۰/۳۶۲
۴	Al	۰/۲۳۳	۹/۵	۰/۰۵۶
۴	Fe	۰/۱۴۱	۵/۶	۰/۰۴۵
۴	Sn	۰/۱۳	۳/۹	۰/۰۴
۵	Zr	۰/۱۸۶	۱۰۳/۱	۰/۲۳۳
۵	Al	۰/۲۳۳	۹	۰/۰۴
۵	Fe	۰/۰۴	۲/۵	۰/۰۲۷
۵	Sn	۰/۰۹۹	۵/۵	۰/۰۳۳
۵	Lu	۰/۰۳۱	۳/۹	۰/۰۳
۶	Zr	۰/۱۹۲	۱۰۷/۲	۰/۲۸۹
۶	Al	۰/۲۳۴	۱۰/۶	۰/۰۵۳
۶	Sn	۰/۰۹۹	۵/۸	۰/۰۴۱
۶	Lu	۰/۱۱	۷/۵	۰/۰۴۵

بر اساس نتایج به دست آمده از بین ۲۵ ردیاب عبوری از آزمون کروسکال والیس، پنج ردیاب (Zr, Al, Fe, Lu, Sn) و Zr به آزمون DFA گام به گام وارد شد. در مرحله سوم، ردیاب آهن (Fe) به مدل وارد و در مرحله ششم، از آزمون DFA حذف شد. به طور کلی، چهار ردیاب Zr, Al, Sn و Lu به عنوان ردیاب های بهینه نهایی انتخاب شد (جدول ۲).

جدول ۲: نتایج حاصل از آزمون DFA گام به گام برای انتخاب ردیاب‌های بهینه به منظور تفکیک منابع رسوب

گام	ردیاب‌های نهایی ورودی	ردیاب حذف شده	Wilks' Lambda
۱	Zr		۳۷/۱
۲	Al		۳۷
۳	Sn		۲۰/۲
۴	Lu		۱۷/۷
۵		Fe	۲۱/۳

نتایج آزمون DFA گام به گام، در جدول ۳ خلاصه شده است. بر اساس این نتایج، ترکیبی از Sn، Al، Zr و Lu توانستند ۹۵ درصد منابع رسوب را به درستی طبقه‌بندی کنند.

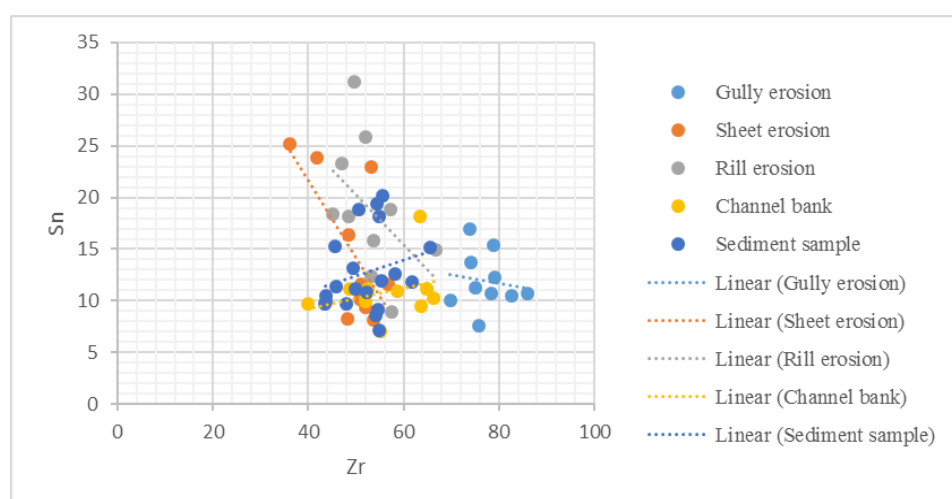
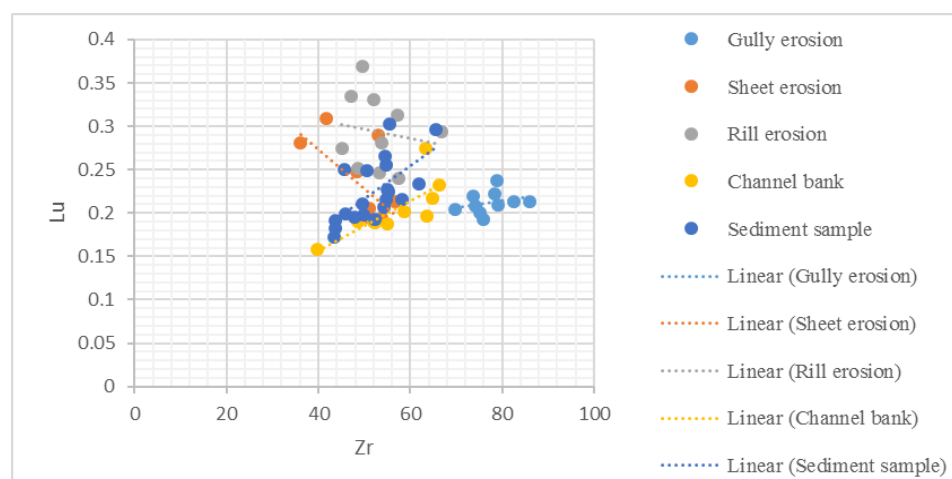
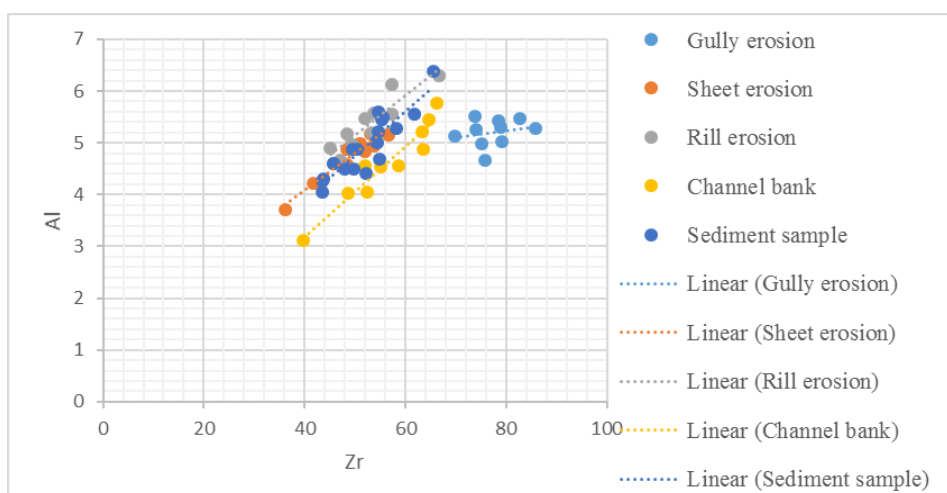
جدول ۳: طبقه‌بندی نمونه منابع رسوبات با استفاده از آزمون DFA گام به گام

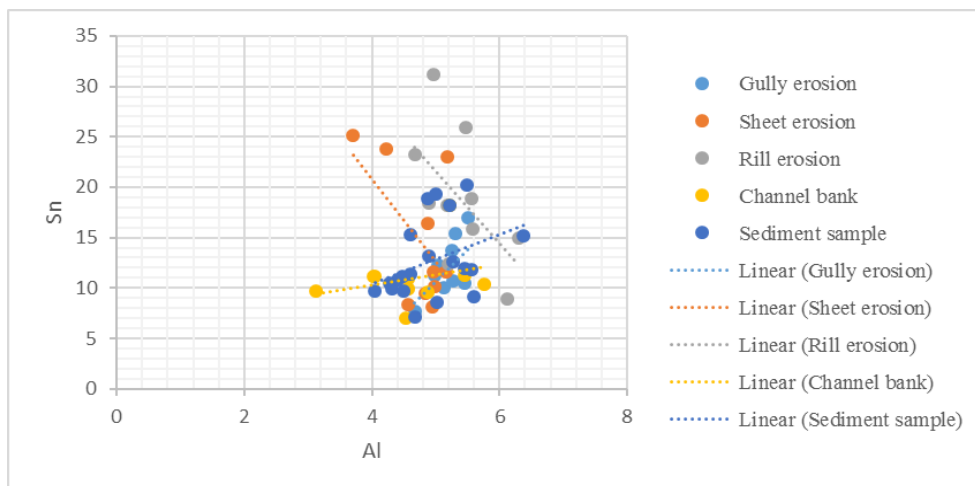
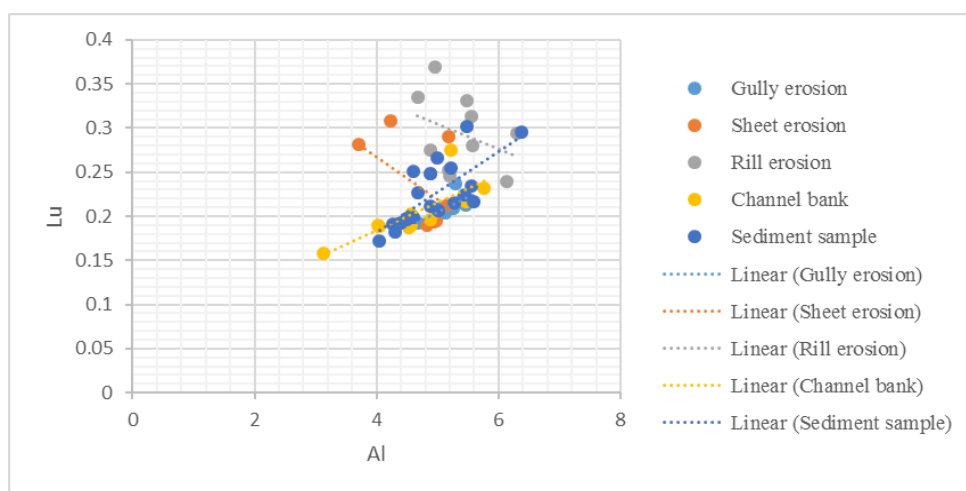
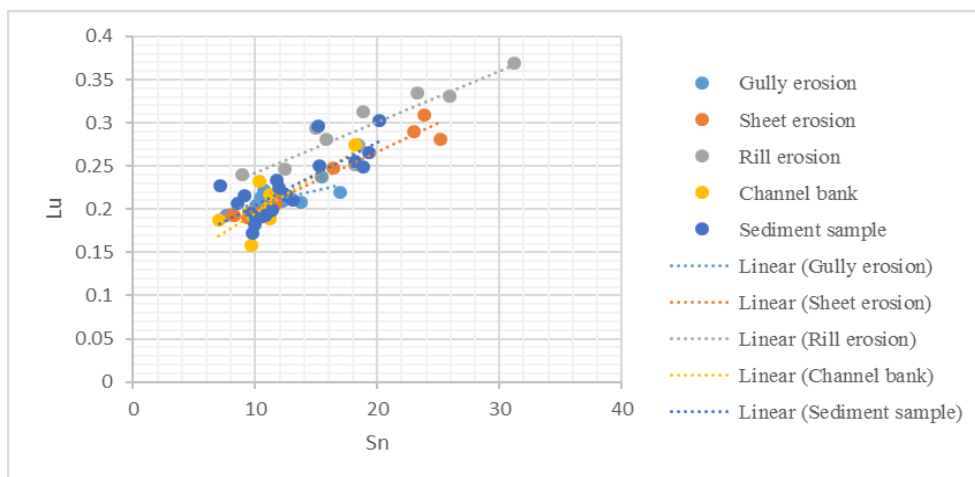
منابع	پیش‌بینی عضویت در گروه‌ها				مجموع
	فرسایش خندقی	فرسایش ورقه‌ای	فرسایش شیاری	فرسایش کناره‌ای	
فرسایش خندقی	۱۰	۰	۰	۰	۱۰
فرسایش ورقه‌ای	۰	۹	۱	۰	۱۰
فرسایش شیاری	۰	۰	۹	۱	۱۰
فرسایش آبراهه‌ای	۰	۰	۰	۱۰	۱۰
فرسایش خندقی	۱۰۰	۰	۰	۰	۱۰۰
فرسایش ورقه‌ای	۰	۹۰	۱۰	۰	۱۰۰
فرسایش شیاری	۰	۰	۹۰	۱۰	۱۰۰
فرسایش آبراهه‌ای	۰	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰

۴-۴-۴ آزمون پلات‌های زوجی برای ردیاب‌های بهینه

علاوه بر آزمون دامنه که از آن به منظور بررسی رفتار محافظه کارانه و نامحافظه کارانه خصوصیات ژئوشیمیایی استفاده می‌شود، از پلات‌های زوجی می‌توان به منظور ارزیابی شباهت‌ها در روابط بین ردیاب‌ها در نمونه‌های منبع و رسوب استفاده کرد. به این منظور، از چهار ردیاب ژئوشیمیایی بهینه شامل Sn، Al، Zr و Lu برای ساخت پلات‌های زوجی استفاده شد.

نتایج حاصل از آزمون پلات‌های زوجی برای ردیاب‌های بهینه، در شکل ۶ نشان داده شده است. جاهایی که نمونه‌های منبع و رسوب در فضای مشابه قرار نمی‌گیرد؛ بیانگر رفتار محافظه کارانه ردیاب‌ها است. نمودار آزمون پلات‌های زوجی، رفتارهای محافظه کارانه ردیاب‌های نهایی را در هنگام جمع‌آوری رسوب و انتقال به نقاط نمونه‌برداری در خروجی حوضه آبخیز نی‌ریز استان فارس تأیید کرد؛ زیرا نمونه‌های منبع و نمونه‌های رسوب مورد نظر در یک فضا در هر قطعه رسم شده است. نمودارهایی که نمونه‌ها در یک فضا قرار نمی‌گیرند، بیانگر رفتار نامحافظه کارانه ردیاب‌های مورد نظر است.





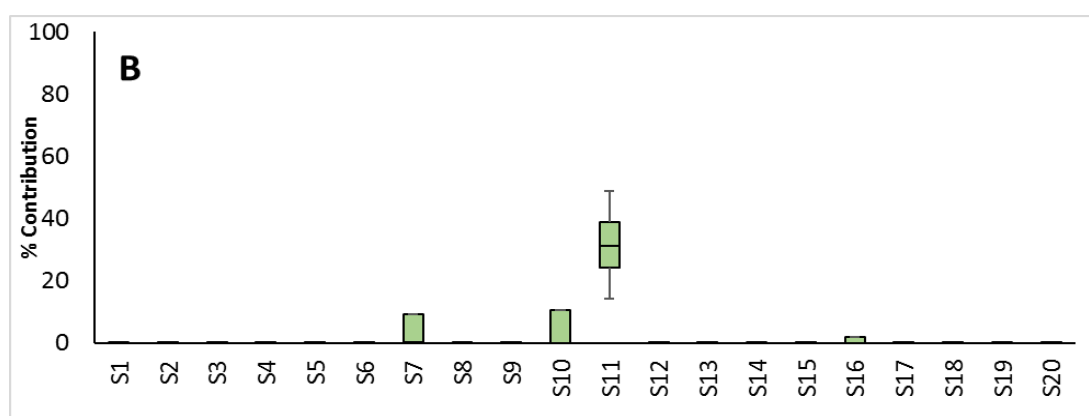
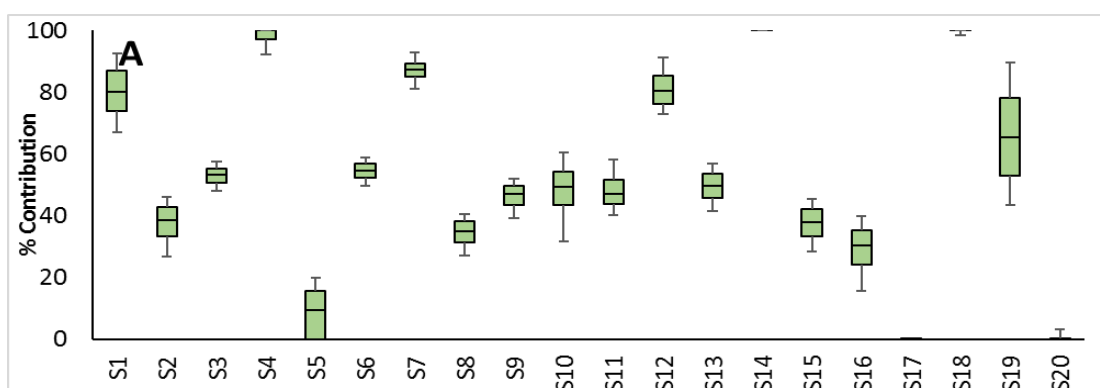
شکل ۶: نمودارهای آزمون پلات‌های زوجی ردیاب‌های نهایی در نمونه‌های منبع و رسوب

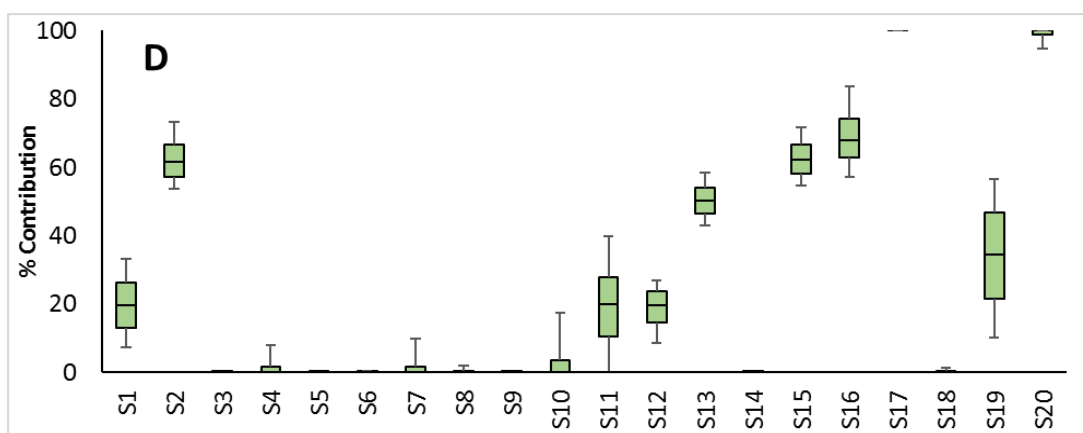
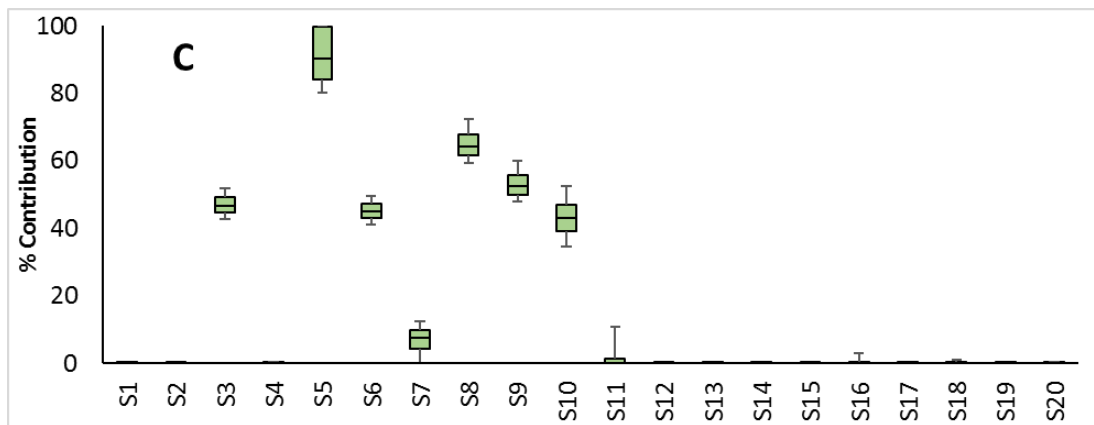
۵-۴- تحلیل رویکرد فقدان قطعیت مونت کارلو

پس از مشخص شدن عناصر ترکیبیات بهینه، بر اساس شبیه‌سازی مونت کارلو در هر منبع و بر اساس مقدار ردیاب خاص، مقادیر میانگین به‌منظور ورود به مدل‌های کمی محاسبه شد. شکل ۷، شبیه‌سازی مقادیر ردیاب‌ها را بر اساس

شبیه سازی مونت کارلو نشان می دهد. محدوده فقدان قطعیت (صدک های ۲/۵، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۷/۵ درصد) برای سهم منابع چهار نوع فرسایش (خندقی، ورقه ای، شیاری و آبراهه ای) پیش بینی شده توسط مدل مونت کارلو، در این شکل نشان داده شد.

ذکر این امر لازم است که به منظور شبیه سازی مونت کارلو با استناد به پژوهش های متعددی مانند Collins و همکاران (2012 و 2013)، Pulley و Collins (2018)، Habibi و همکاران (2018)، از میانگین و انحراف معیار ردیاب های انتخاب شده در ترکیبات نهایی در هر کدام از نمونه های هدف به منظور ساخت توزیع های چگالی احتمالی استفاده شد. سپس با استفاده از نمونه برداری لاتین (LHS)، نمونه های تصادفی از توابع چگالی احتمال استخراج و معادله ۲۰۰۰ بار اجرا شد. پیش بینی نسبت منبع تولید شده توسط شبیه سازی های مونت کارلو، به نوبه خود به توابع چگالی احتمال تبدیل و برای ارائه فاصله اطمینان ۹۵ درصد، برای مشارکت منبع بر اساس صدک های ۲/۵، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۷/۵ درصد از سهم منبع پیش بینی شده برای هر نمونه رسوب استفاده شد.





شکل ۷: محدوده فقدان قطعیت با حدود اطمینان ۹۵٪ (با صدک‌های ۲/۵، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۷/۵٪) مرتبط با مشارکت‌های پیش‌بینی شده در نمونه‌های هدف مورد بررسی با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو (A) فرسایش خندقی، B فرسایش ورقه‌ای، C فرسایش شیار و D فرسایش آبراهه‌ای)

نمودار A تا D مندرج در شکل ۷، سهم فرسایش‌های خندقی، ورقه‌ای، شیار و آبراهه‌ای را برای نمونه رسوب توسط روش مونت کارلو در سطح اطمینان ۹۵ درصد و صدک‌های ۲/۵، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۷/۵ درصد نشان داده‌است. میانگین سهم از این منبع مکانی برای بیست نمونه این چهار نوع فرسایش، در جدول ۴ ارائه شده‌است.

جدول ۴: میانگین سهم منبع مکانی چهار فرسایش خندقی، ورقه‌ای، شیاری و آبراهه‌ای برای نمونه‌های رسوب توسط روش مونت کارلو در سطح اطمینان

۹۵ درصد

محدودهٔ فقدان قطعیت				
آبراهه‌ای	شیاری	ورقه‌ای	خندقی	نمونهٔ رسوب
۷/۵۱ - ۳۳	۰ - ۰/۰۰۱	۰ - ۰	۶۶/۹ - ۹۲/۴	۱
۵۳/۷ - ۷۳/۱۸	۰ - ۰/۰۰۴	۰ - ۰/۱۹	۲۶/۸ - ۴۶/۱	۲
۰ - ۰/۰۰۱	۴۲/۶ - ۵۱/۸	۰ - ۰/۰۰۷	۴۸/۱ - ۵۷/۳	۳
۰ - ۷/۸۷	۰ - ۰/۳۹	۰ - ۲/۷	۹۲/۱ - ۹۹/۹	۴
۰ - ۰/۰۰۴	۸۰/۱ - ۹۹/۹	۰ - ۳/۴	۰ - ۱۹/۸	۵
۰ - ۰/۴	۴۱/۲ - ۴۹/۷	۰ - ۴/۳	۴۹/۸ - ۵۸/۷	۶
۰ - ۹/۷	۰ - ۱۲/۵	۰ - ۱۵/۳	۸۰/۹ - ۹۲/۸	۷
۰ - ۱/۹	۵۹/۳ - ۷۲/۴	۰ - ۴/۶	۲۷/۱ - ۴۰/۶	۸
۰ - ۰/۰۶	۴۸ - ۵۹/۹	۰ - ۴/۹	۳۹/۳ - ۵۱/۹	۹
۰ - ۱۷/۴	۳۴/۵ - ۵۲/۴	۰ - ۲۴/۲	۳۱/۶ - ۶۰/۵	۱۰
۰ - ۴۰	۰ - ۱۰/۹	۱۴/۲ - ۴۷/۴	۴۰/۱ - ۵۸/۲	۱۱
۸/۵ - ۲۶/۹	۰ - ۰/۰۰۲	۰ - ۰/۰۱	۷۳ - ۹۱/۳	۱۲
۴۳ - ۵۸/۴	۰ - ۰/۰۰۲	۰ - ۰/۰۱	۴۱/۵ - ۵۶/۹	۱۳
۰ - ۰/۰۰۱	۰ - ۰/۰۰۸	۰ - ۰	۹۹/۹ - ۹۹/۹	۱۴
۵۴/۶ - ۷۱/۶	۰ - ۰/۰۰۳	۰ - ۰/۰۲	۲۸/۳ - ۴۵/۳	۱۵
۵۷/۲ - ۸۳/۶	۰ - ۲/۹۶	۰ - ۹/۵۰	۱۵/۵ - ۳۹/۹	۱۶
۹۹/۹ - ۹۹/۹	۰ - ۰/۰۰۴	۰ - ۰/۰۰۱	۰ - ۰	۱۷
۰ - ۱/۳۱	۰ - ۱/۱۳	۰ - ۰/۴۵	۹۸/۶ - ۹۹/۹	۱۸
۱۰/۱ - ۵۶/۵	۰ - ۰/۰۰۴	۰ - ۰/۰۰۵	۴۳/۴ - ۸۹/۶	۱۹
۹۴/۶ - ۹۹/۹	۰ - ۰/۵۶	۰ - ۵/۳۷	۰ - ۳/۱۷	۲۰

۶-۴- ارزیابی نتایج مدل‌های ترکیبی با استفاده از GOF

به منظور ارزیابی نتایج حاصل از مدل چند متغیرهٔ ترکیبی، از GOF پیشنهادی توسط Collins و همکاران (2012) استفاده شد که نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است. یافته‌های این پژوهش نشان داد که میزان سهم فرسایش‌های خندقی، ورقه‌ای، شیاری و آبراهه‌ای به ترتیب برابر با ۴۵/۲۱، ۳/۰۷، ۱۶ و ۳۵/۷۲ درصد از کل فرسایش‌های اتفاق افتاده در این حوضه آبخیز است. همچنین همان‌طور که مشاهده می‌شود با توجه به مقدار $GOF = ۰/۸۸۶۹$ و ذکر این نکته که هر چه این مقدار به یک نزدیک تر باشد، دقت بیشتر نتایج مدل را نشان می‌دهد؛ این مورد در این پژوهش صادق است و این تحلیل نیز دقت بالای مدل را تأیید می‌کند.

جدول ۵: نتایج مربوط به ارزیابی مدل ترکیبی با استفاده از GOF

شماره نمونه رسوب	انواع فرسایش (منابع رسوب)				مقدار GOF
	خندقی	ورقه‌ای	شیاری	آبراهه‌ای	
۱	۰/۵۹۹	۰	۰	۰/۴۰۰	۰/۸۵۰
۲	۰/۲۷۲	۰	۰	۰/۷۲۷	۰/۹۳۱
۳	۰/۶۱۰	۰	۰/۳۸۹	۰	۰/۸۴۷
۴	۰/۷۱۰	۰	۰	۰/۲۸۹	۰/۸۲۲
۵	۰/۲۳۷	۰	۰/۷۶۲	۰	۰/۹۴۰
۶	۰/۵۰۵	۰	۰/۴۹۴	۰	۰/۸۷۳
۷	۰/۸۷۷	۰/۰۵۷۲	۰/۰۶۵	۰	۰/۷۸۰
۸	۰/۳۴۷	۰	۰/۶۵۲	۰	۰/۹۱۳
۹	۰/۵۳۰	۰	۰/۴۶۹	۰	۰/۸۶۷
۱۰	۰/۴۷۴	۰/۱۷۸	۰/۳۴۶	۰	۰/۸۸۱
۱۱	۰/۴۹۶	۰/۳۷۶	۰	۰/۱۲۷	۰/۸۷۵
۱۲	۰/۶۵۰	۰	۰	۰/۳۴۹	۰/۸۳۷
۱۳	۰/۲۷۷	۰	۰	۰/۷۲۲	۰/۹۳۰
۱۴	۱	۰	۰/۰۸	۰	۰/۷۵
۱۵	۰/۲۰۹	۰	۰/۰۷	۰/۷۹۰	۰/۹۴۷
۱۶	۰/۲۶۳	۰	۰/۰۹	۰/۷۳۶	۰/۹۳۴
۱۷	۰	۰	۰/۰۸	۱	۱
۱۸	۰/۹۷۸	۰	۰/۰۲۱	۰	۰/۷۵۵
۱۹	۰	۰	۰	۱	۱
۲۰	۰	۰	۰	۱	۱
میانگین	۰/۴۵۲۱	۰/۰۳۰۷	۰/۱۶۰۰	۰/۳۵۷۲	۰/۸۸۶۹
میزان سهم (درصد)	۴۵/۲۱	۳/۰۷	۱۶/۰۰	۳۵/۷۲	۸۸/۶۹

۵- بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که کارایی روش انگشت‌نگاری به‌عنوان روشی موفق و مؤثر به‌منظور تعیین منابع رسوبات اثبات شد؛ زیرا اولین و مهم‌ترین مرحله روش منشأیابی رسوب، انتخاب ترکیب مناسبی از ردیاب‌ها است که می‌تواند به جداسازی منابع رسوب بپردازد و این مهم، در این پژوهش به درستی انجام شد؛ به طوری که در انتها از بین ۵۱ ردیاب اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها، چهار ردیاب Lu و Zr , Al , Sn می‌توانند به جداسازی منابع رسوب در حوضه آبخیز نی‌ریز بپردازند.

با توجه به اینکه برای تعیین سهم منابع مختلف رسوب، از مدل‌های ترکیبی مختلفی استفاده می‌شود و این مدل‌های ترکیبی اگرچه می‌توانند اطلاعات مفید و قابل قبولی از مشکلات منابع مولد رسوب در مقیاس حوضه آبخیز ارائه کنند،

باید توجه داشت که سهم‌های ارائه شده برای هر منبع رسوب به بررسی توسط رویکرد فقدان قطعیت و آزمون بهینه-سازی‌ها نیاز دارد که در این پژوهش به‌منظور رسیدن به این هدف، از فقدان قطعیت مونت کارلو استفاده شد. سطوح اطمینان فقدان قطعیت مونت کارلو نشان داد که دامنه این فقدان قطعیت، بزرگ است (۰/۸۶۹) و بنابراین، فقدان قطعیت بیشتری را روی منابع مختلف تولید رسوب نشان می‌دهد.

مشخص شدن سهم چهار نوع فرسایش موجود در منطقه مورد مطالعه و قرار گرفتن سهم فرسایش خندقی به‌عنوان مهم‌ترین نوع فرسایش در تولید رسوب تولیدی در این آبخیز، پژوهش‌های بسیاری از پژوهشگران از جمله Soleimanpour و همکاران (2021)، Rahmati و همکاران (2022) و Borrelli و همکاران (2022) را تأیید می‌کند. به این منظور، لازم است نسبت به کنترل فرسایش‌ها به ویژه فرسایش خندقی، با تأکید بر اقدامات بیولوژیک اقدام کرد.

با توجه به یافته‌های این پژوهش، موارد زیر به‌عنوان پیشنهاد ارائه می‌شود:

الف - پیشنهاد می‌شود در زمینه منشأیابی رسوب و استفاده از مدل‌های ترکیبی در مشخص کردن سهم منابع رسوب و به منظور عدم ورود داده‌های پرت به این روند، از اجماع چندین روش شناسایی داده‌های پرت استفاده شود و تنها یک شاخص یا یک آزمون، ملاک عمل قرار نگیرد.

ب - تعیین سهم منابع مختلف رسوب با اندازه‌گیری‌های میدانی و مقایسه نتایج روش انگشتنگاری با آن.

پ - استفاده از سایر روش‌های فقدان قطعیت مانند بی‌زین، GLUE و در پژوهش‌های آینده.

ت - تعیین و مقایسه میزان فرسایش مختلف رسوب با استفاده از روش‌های اندازه‌گیری فرسایش (کرت‌های فرسایشی و ...) و مقایسه آنها با نتایج روش انگشتنگاری.

ث - استفاده از دیگر ردیاب‌ها همچون کانی‌های رسی، ردیاب‌های رادیواکتیو و دیگر عناصر در مناطق مورد مطالعه و مقایسه نتایج آنها با یافته‌های این پژوهش.

ج - در پژوهش‌های آینده به‌منظور شناسایی بهترین منشأیاب رسوب، از روش‌های دیگر مانند آنالیز مؤلفه‌های اصلی و الگوریتم ژنتیک نیز استفاده شود.

۶- سپاس‌گزاری

این مقاله برگرفته از بخشی از نتایج پروژه تحقیقاتی مستقل با کد مصوب ۹۹۰۲۲۹-۹۹۰۰۸-۲۹-۵۰-۲، در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری است. به این منظور، نویسندگان این اثر بر خود واجب می‌دانند از همکاری‌های آن پژوهشکده، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس و آزمایشگاه مرکزی دانشگاه هرمزگان قدردانی و سپاس‌گزاری کنند.

منابع

1. Barthod, L. R. M.; Liu, K.; Lobb, D. A.; Owens, P. N.; Martinez-Carreras, N.; Koiter, A. J.; Peticrew, E. L.; McCullough, G. K.; Liu, C.; & L. Gaspar, 2015. Selecting color-based tracers and classifying sediment sources in the assessment of sediment dynamics using sediment source fingerprinting, *J. Environ. Qual*, 44, 1605-1616.

2. Ben Slimane, A.; Raclot, D.; Evrard, O.; Sanaa, M.; Lefèvre, I.; Ahmadi, M.; & Y. Le Bissonnais, 2013. Fingerprinting sediment sources in the outlet reservoir of a hilly cultivated catchment in Tunisia, *Journal of Soils and Sediments*, 13(4), 801-815.
3. Borrelli, P.; Poesen, J.; Vanmaercke, M.; Ballabio, C.; Hervás, J.; Maerker, M.; Scarpa, S.; & P. Panagos, 2022. Monitoring gully erosion in the European Union: A novel approach based on the Land Use/Cover Area frame survey (LUCAS), *International Soil and Water Conservation Research*, 10(1), 17-28.
4. Brosinsky, A.; Foerster, S.; Segl, K.; & H. Kaufmann, 2014. Spectral fingerprinting: Sediment source discrimination and contribution modelling of artificial mixtures based on VNIR-SWIR spectral properties, *Journal of Soils and Sediments*, 14(12), 1949-1964.
5. Collins, A. L.; Burak, E.; Harris, P.; Pulley, S.; Cardenas, L.; & Q. Tang, 2019. Field scale temporal and spatial variability of $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, TC and TN soil properties: Implications for sediment source tracing, *Geoderma*, 333, 108-122.
6. Collins, A. L.; Pulley, S.; Foster, I. D. L.; Gellis, A.; Porto, P.; & A. J. Horowitz, 2017. Sediment source fingerprinting as an aid to catchment management: a review of the current state of knowledge and a methodological decision-tree for end-users, *J. Environ. Manage*, 194, 86-108.
7. Collins, A. L.; Walling, D. E.; & G. J. L. Leeks, 1997. Source type ascription for fluvial suspended sediment based on a quantitative composite fingerprinting technique, *Catena*, 29, 1-27.
8. Collins, A. L.; Walling, D. E.; Sickingabula, H. M.; & G. J. L. Leeks, 2001. Suspended sediment source fingerprinting in a small tropical catchment and some management implications, *Apply Geography*, 21, 387-412.
9. Collins, A. L.; Walling, D. E.; Stroud, R. W.; Robson, M.; & L. M. Peet, 2010. Assessing damage droadvergesasa suspended sediment source in the Hampshire Avon watershed, southern United Kingdom, *Hydrology Processes*, 24, 1106-1122.
10. Collins, A. L.; Zhang, Y.; Walling, D. E.; Grenfell, S. E.; Smith, P.; Grischeff, J.; & D. Brogden, 2012. Quantifying fine-grained sediment sources in the River Axe Catchment, southwest England: Application of a Monte-Carlo numerical modelling framework incorporating local and genetic algorithm optimization, *Hydrological Processes*, 26(13), 1962-1983.
11. D'Haen, K.; Duser, B.; Verstraeten, G.; Degryse, P.; & H. De Brue, 2013. A sediment fingerprinting approach to understand the geomorphic coupling in an eastern Mediterranean mountainous river catchment, *Geomorphology*, 197, 64-75.
12. Evrard, O.; Poulenard, J.; Némery, J.; Ayrault, S.; Gratiot, N.; Duvert, C.; & M. Esteves, 2013. Tracing sediment sources in a tropical highland catchment of central Mexico by using conventional and alternative fingerprinting methods, *Hydrological Processes*, 27(6), 911-922.
13. Foucher, A.; Laceby, P. J.; Salvador-Blanes, S.; Evrard, O.; Le Gall, M.; Lefèvre, I.; & M. Desmet, 2015. Quantifying the dominant sources of sediment in a drained lowland agricultural catchment: The application of a thorium-based particle size correction in sediment fingerprinting, *Geomorphology*, 250, 271-281.
14. Gellis, A. C., & D. E. Walling., (2011). Sediment-Source Fingerprinting (Tracing) and Sediment Budgets as Tools in Targeting River and Watershed Restoration Programs. In *Stream Restoration in Dynamic Fluvial Systems: Scientific Approaches, Analyses, mend Tools*, edited by A. Simon, S.J. Bennett, and J.M. Castro. *American Geophysical Union Monograph Series*. 194, 263-291.
15. Gholami, H.; Telfer, M. W.; Blake, W. H.; & A. Fathabadi, 2017. Aeolian sediment fingerprinting using a Bayesian mixing model. *Earth Surf. Process, Landforms*, 42, 2365-2376.

16. Habibi, S.; Gholami, H.; Fathabadi, A.; & D. Walling, 2018. Source Fingerprinting of Sediment Deposited in the Dam Reservoir: A Case of Lavar Dam Watershed, Fin, Hormozgan Province, *Environmental Erosion Research Journal*, 8(3), 1-15.
17. Haddadchi, A.; Olley, J.; & P. Laceby, 2014. Accuracy of mixing models in predicting sediment source contributions, 2014 Nov 1;497-498:139e52 Sci. Total Environ. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.105>. Epub 2014 Aug 14.
18. Hayatnia, F.; Rostami, N.; Gholami, H.; & M. Rostaminia, 2022. Origin of Aeolian Sediments Using Fingerprinting Approach in Abu Ghovir Dehloran, Ilam Province, *Environmental Erosion Research Journal*, In Press. (in Persian)
19. Laceby, J. P.; Olley, J.; Pietsch, T. J.; Sheldon, F.; & S. E. Bunn, 2015. Identifying subsoil sediment sources with carbon and nitrogen stable isotope ratios, *Hydrological processes*, 29(8), 1956-1971.
20. Lal, R., 2001. Soil Degradation by erosion, *Land Degradation and Development*, 12, 519-539.
21. Le Gall, M.; Evrard, O.; Foucher, A.; Laceby, J. P.; Salvador-Blanes, S.; Thil, F.; & S. Ayrault, 2016. Quantifying sediment sources in a lowland agricultural catchment pond using ^{137}Cs activities and radiogenic $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios, *Science of the Total Environment*, 566, 968-980.
22. Mukundan, R.; Radcliffe, D. E.; Ritchie, J. C.; Risse, L. M.; & R. A. McKinley, 2010. Sediment fingerprinting to determine the source of suspended sediment in a southern piedmont stream, *J. Environ. Qual*, 39, 1328-1337.
23. Mukundan, R.; Walling, D. E.; Gellis, A. C.; Slattery, M. C.; & D. E. Radcliffe, 2012. Sediment source fingerprinting: Transforming from a research tool to a management tool, *J. Am. Water Resource. Assoc*, 48(6), 1241-1257.
24. Owens, P. N.; Batalla, R. J.; Collins, A. L.; Gomez, B.; Hicks, D. M.; Horowitz, A. J.; Kondolf, G. M.; Marden, M.; Page, M. J.; Peacock, D. H.; Petticrew, E. L.; Salomons, W.; & N. A. Trustrum, 2005. Fine-grained sediment in river systems: environmental significance and management issues, *River Res. Appl*, 21(7), 693-717.
25. Porto, P.; Walling, D. E.; Cogliandro, V.; & G. Gallegari, 2016. Validating a mass balance accounting approach to using ^7Be measurements to estimate event-based erosion rates over an extended period at the catchment scale, *Water Resource Research*, 52(7), 5285-5300.
26. Pulley, S., & A. L. Collins., (2018). Tracing catchment fine sediment sources using the new SIFT (Sediment Fingerprinting Tool) open source software. *Science of the Total Environment*. 635, 838-858.
27. Pulley, S.; Foster, I.; & P. Antunes, 2015. The uncertainties associated with sediment fingerprinting suspended and recently deposited fluvial sediment in the Nene River Basin, *Geomorphology*, 228, 303-319.
28. Rahmati, O.; Kalantari, Z.; Ferreira, C. S.; Chen, W.; Soleimanpour, S. M.; Kapović-Solomun, M.; Seifollahi-Aghmiuni, S.; Ghajarnia, N.; & N. Kazemi Kazemabady, 2022. Contribution of physical and anthropogenic factors to gully erosion initiation, *Catena*, 210(105925), 1-11.
29. Refahi, H., 2017. Water erosion and its control, University of Tehran Press, Seventh Edition , 672 p. (in Persian)
30. Soleimanpour, S. M.; Pourghasemi, H. R.; & M. Zare, 2021. A comparative assessment of gully erosion spatial predictive modeling using statistical and machine learning models, *Catena*, 207(105679), 1-11.
31. Tiecher, T.; Minella, J. P. G.; Caner, L.; Evrard, O.; Zafar, M.; Capoane, V.; & D. R. Dos Santos, 2017. Quantifying land use contributions to suspended sediment in a large cultivated catchment of Southern Brazil (Guaporé River, Rio Grande do Sul), *Agriculture Ecosystems & Environment*, 237, 95-108.

32. Tiecher, T.; Minella, J. P. G.; Evrard, O.; Caner, L.; Merten, G. H.; Capoane, V.; & D. R. Dos Santos, 2018. Fingerprinting sediment sources in a large agricultural catchment under no-tillage in Southern Brazil (Conceição River), *Land Degradation & Development*, 29(4), 939-951.
33. Walling, D. E., & A. L. Collins., (2008). The catchment sediment budget as a management tool. *Environ. Sci. Policy*. 11(2), 136-143.
34. Walling, D. E.; Owens, P. N.; & G. J. Leeks, 1999. Fingerprinting suspended sediments sources in the catchment of the River Ouse, Yorkshire, UK. *Hydrological Processes*, 13, 955-975.
35. Walling, D. E., 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems, *Science of the Total Environment*, 344(1-3), 159-184.
36. Website of Fars Meteorological Department, 2022. Reporting meteorological statistics of Fars cities.

Investigating the Contribution of Sheet, Rill, Gully, and Stream Bank Erosions in Sediment Production Using Sediment Fingerprinting Method in Neyriz Watershed, Fars Province

Seyed Masoud Soleimanpour¹: Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

Hamid Gholami: Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

Omid Rahmati: Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sanandaj, Iran

Samad Shadfar: Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Article History (Received: 2022/02/28

Accepted: 2022/04/6)



20.1001.1.22517812.1401.12.3.8.7

Extended abstract

1- Introduction

Severe soil erosion is a serious threat to the sustainable management of land and the use of water and soil resources in many parts of the world. In order to control erosion of sheet, rill, gully, and stream bank erosions and to reduce the resulting sediment at the outlet of watersheds, it is necessary to identify the share of sources that produce their sediment to make protective measures more successful. One of the most common methods that has been used in recent years to determine the share of different sources of sediment is the sediment fingerprinting method.

2- Methodology

The purpose of this study is to investigate contribution of sheet, rill, gully and stream bank erosions in sediment production by using sediment fingerprinting method in Neyriz watershed, located in East of Fars province, with the help of sampling of sediment deposited in the bed. From each type of sediments, sheet, rill, gully and stream bank erosions, the main waterway within the basin and the outlet area of the watershed, 10 samples (60 samples in total) were collected. In order to determine the optimal tracers, two tests of "domain" test and "multivariate detection analysis" were used. Furthermore, by using the model of Collins et al., the share of each of the different sources of sediment was obtained. Then, the uncertainty related to the share of potential sources of sediments was calculated using the Monte Carlo simulation method with 95% confidence in MATLAB software. In order to evaluate the results of the hybrid multivariate model, the Goodness of Fit (GOF) proposed by Collins et al. was used.

3- Results

Based on the range test, among the 51 tracers measured in the samples, twelve tracers (Ag, Ba, Be, Eu, Mn, Ni, Ta, Tb, Th, Tm, W, and Zn) are found as tracer's non-conservative variables were identified, and these detectors were discarded in other statistical tests such as Kruskal-Wallis and discriminant analysis function. The results of the Kruskal-Wallis test showed that among the 39 tracers that passed the range test, sixteen tracers (Al, Ca, Co, Cr, Er, Fe, Gd, Lu, Mo, Na, Nd, Pb, Pr, S, Sc and Zr) with significance at one percent level ($p \leq 0.01$), and 9 tracers (Cu, Ga, Hf, Ho, La, Sn, Sr, Y and Yb) with significance at five percent level ($p \leq 0.05$) is that in total, these 25 detectors had a significant level and could separate sources; while fourteen tracers (As, Ce, Cs, Dy, K, Li, Mg, Nb, P, Rb, Sm, Te, Ti and V) were not statistically significant, these tracers were deleted from the DFA statistical test. In the first step of the DFA test, the Zr detector, the second step of Zr and Al detectors (with Wilks lambda from 0.717 to 0.244), the third step of Al, Zr and Fe detectors (with Wilks lambda from 0.39 to 0.057), the fourth

¹ Corresponding Author: m.soleimanpour@areeo.ac.ir

step of Zr, Al, Fe and Sn detectors (with Wilks-lambda 0.362 to 0.04), the fifth step of Zr, Al, Fe, Sn and Lu detectors (with Wilks-lambda 0.233 to 0.03) and the sixth step Zr, Al, Sn and Lu tracers (with Wilks lambda 0.289 to 0.045) were entered into the model. Based on the obtained results, among the 25 tracers that passed the Kruskal-Wallis test, five tracers (Al, Fe, Lu, Sn and Zr) were entered into the DFA test step by step. In the third stage, iron tracer (Fe) was added to the model and in the sixth stage, it was removed from the DFA test. In general, four Zr, Al, Sn and Lu tracers were selected as the final optimum tracers. These four detectors were able to correctly classify 95% of sediment sources. The findings of this research, which were obtained by using Monte Carlo simulation and the combined multivariable model and evaluating their results using GOF, showed the contribution of gully, sheet, rill and stream bank erosion to the order is equal to 45.21, 3.07, 16 and 35.72% of the total erosions that have occurred in this watershed. Also, considering the GOF value of 0.8869 and mentioning that the closer this value is to one, the more accurate the results of the model is true in this research and this analysis also confirms the high accuracy of the model.

4- Discussion & Conclusions

In this study, the efficiency of sediment fingerprinting method was proved as a successful and effective method to determine sediment sources because the first and most important stage of the sediment source method is to choose a suitable combination of tracers that can isolate sediment sources, and this was done correctly in this research. Also, Monte Carlo uncertainty confidence levels showed that the scope of this uncertainty is large (0.8869) and therefore, it shows a greater lack of certainty on different sources of sediment production. Determining the share of four types of erosion in the Neyriz watershed and placing the share of gully erosion as the most important type of erosion in the production of productive sediments in it shows the importance of controlling erosions, especially gully erosion, with emphasis on biological plans.

Key Words: Fingerprint, Sediment, Simulation, Erosion, Monte Carlo.