

برآورد عدم قطعیت و سهم تولید رسوب جاده‌های جنگلی حوزه آبخیز زیارت، استان گلستان با استفاده از ردیاب‌های ژئوشیمیایی

❖ کاظم نصرتی*؛ دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ایران.

❖ سعیده جلالی؛ دانش‌آموخته ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ایران.

چکیده

شناسایی منابع رسوب یکی از پارامترهای مهم در انتخاب روش مناسب حفاظت خاک و کنترل فرسایش است. هدف اصلی این پژوهش، برآورد عدم قطعیت و سهم تولید رسوب جاده‌های جنگلی با استفاده از ردیاب‌های ژئوشیمیایی در حوزه زیارت شهرستان گرگان است. به این منظور ۴۷ نمونه خاک از منابع مختلف کاربری اراضی و ۱۴ نمونه از رسوب معلق رواناب خروجی حوزه، جمع‌آوری شد. به منظور منشأیابی رسوب تولیدی حوزه و تعیین سهم هر یک از منابع ۱۱ ردیاب شامل کربن آلی (C)، استرانسیم (Sr)، نیکل (Ni)، سدیم (Na)، پتاسیم (K)، مس (Cu)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، کلسیم (Ca) و منیزیم (Mg)، سرب (Pb)، در نمونه‌های منابع رسوب و رسوب معلق اندازه‌گیری شد. با مقایسه ردیاب‌ها در منابع رسوب و تحلیل تابع تشخیص^۱، ردیاب‌های کربن آلی (C)، مس (Cu)، آهن (Fe)، به‌عنوان ترکیب بهینه ردیاب‌ها در تفکیک منابع رسوب انتخاب شدند؛ و در نهایت با استفاده از مدل بی‌زین^۲ کاربری کشاورزی، جاده و جنگل به ترتیب با ۶۷/۱۱ (۶۱/۶-۷۱/۸)، ۳۱/۴ (۲۷/۱-۳۵/۹) و ۱/۲ (۰/۱-۵/۱) درصد به‌عنوان سهم هر کدام از منابع در تولید رسوب تعیین شدند و بیش‌ترین میزان عدم قطعیت متعلق به کاربری کشاورزی است. نتایج این تحقیق می‌تواند در انتخاب مناسب‌ترین روش کنترل فرسایش در منطقه مطالعاتی و تعمیم به مناطق مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: ردیاب‌های ژئوشیمیایی، عدم قطعیت، مدل بی‌زین، منشأیابی رسوب، حوزه زیارت.

۱. مقدمه

فرسایش خاک و رسوب‌گذاری، فرآیندهای طبیعی هستند، اما این فرآیندها بر اثر دخالت انسان در سراسر طبیعت با جنگل تراشی، چرای بیش از حد مراتع و عملیات زراعی نادرست حالت تشدید می‌گیرد [۳۳]. به همین دلیل فرسایش شدید خاک و افزایش بار رسوبی تهدیدهای جدی را در مورد مدیریت رضایت‌بخش اراضی و بهره‌برداری از منابع آب در بسیاری از نقاط جهان مطرح می‌کند که این مشکلات در کشورهای در حال توسعه به علت استفاده بی‌رویه از منابع طبیعی از نمود بیشتری برخوردار است [۶]. در بین کاربری‌های مختلف احداث جاده به‌عنوان یکی از منابع رسوب مخصوصاً در حوضه‌های جنگلی است که باعث به هم خوردن مسیر و سرعت آب‌های سطحی و زیرسطحی شده و سبب تغییر الگوی توزیع آب می‌شود. در طی فرآیند احداث جاده، سطح وسیعی از جنگل‌ها و مراتع در طول و حاشیه مسیر آن تخریب شده و حجم بسیار زیادی از خاک از محل خود منتقل می‌شود. خاک‌های انتقال‌یافته وارد آبراهه‌ها و رودخانه‌ها شده و در نهایت به‌صورت رسوب وارد مخازن سدها، تالاب‌ها، دریاچه‌ها و دریاها شده و سبب کاهش کیفیت آب و آسیب رساندن به اکوسیستم آبی می‌شود. فرسایش کنار جاده‌ای از شیب جانبی یکی از مهم‌ترین منابع رسوب است. فرسایش در جاده از دو بخش کف و کناره صورت می‌گیرد. جاده‌های جنگلی باعث به هم خوردن مسیر و سرعت آب‌های سطحی و زیرسطحی شده و سبب تغییر الگوی توزیع آب می‌شود [۹]. مشکلات به وجود آمده از فرسایش تشدید می‌شود که نه تنها به مشکلات درون منطقه‌ای در تخریب منابع طبیعی پایدار مانند کاهش عمق و میزان مواد آلی خاک، تخلیه‌ی مواد مورد نیاز و در دسترس گیاه ختم نمی‌شود، بلکه سبب مشکلات برون منطقه‌ای مانند رسوب‌گذاری در مزارع، دشت‌های سیلابی و مجموعه‌های آبی، کیفیت آب و خسارت به آبزیان را نیز در بر می‌گیرد [۷، ۱۶]. میزان رسوبات تولیدشده در حوزه‌های آبخیز ایران بین ۰/۰۴ تا

۲۳/۹۱ تن در هکتار متغیر است [۱]. با توجه به اینکه تعیین نوع رسوبات و تشخیص منشأ مکانی آن‌ها با استفاده از روش‌های سنتی غیرمستقیم مشکل است [۲۵]، نیاز است از روش‌های دیگر برای ردیابی رسوبات استفاده شود. تکنیک‌های اندازه‌گیری متفاوتی برای تشخیص منابع رسوب و تعیین سهم نسبی آن وجود دارد [۲۹]. در سال‌های اخیر، در تحقیقات مربوط به فرسایش و رسوب استفاده از تکنیک منشأیابی رسوب^۱ در حال افزایش است [۱۴]. چراکه در این تکنیک با انجام مقایسه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بین منابع رسوب و رسوبات تولیدی در خروجی حوضه می‌توان مناطق پرخطر از نظر تولید رسوب را شناسایی کرد. از این‌رو در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای صورت گرفته که بر اساس خصوصیات مختلف و مدل‌های آماری متفاوت در حوضه‌های سراسر دنیا با استفاده از این تکنیک سهم نسبی منابع رسوب در تولید رسوب را برآورد کرده‌اند که می‌توان به موارد زیر اشاره کردند. ردیاب‌های ژئوشیمیایی [۱۷، ۲۲]، رنگ رسوبات [۱۸]، فعالیت آنزیم‌ها [۲۳]، رادیونوکلئیدهای ریزشی [۳۳، ۳۱، ۲۰ و ۳۴]، خصوصیات مغناطیسی [۱۶] و کربن آلی [۳۲]. امروزه با استفاده از مدل‌های آماری متعدد عدم قطعیت را همگام با روش منشأیابی برآورد کرده‌اند [۳۲ و ۱۰، ۱۱، ۱۴، ۱۹، ۲۴، ۲۶]. در پژوهشی که واقع در حوضه ون سوم^۲ انگلستان صورت گرفته است، منشأیابی رسوبات را در ۵ رویداد بارش در دوره‌ی زمانی ۲۰۱۳-۲۰۱۲ انجام دادند، آن‌ها ردیاب‌های ژئوشیمیایی را به‌عنوان خصوصیات اصلی در نظر گرفته از بین عناصر اندازه‌گیری شده ۸ ردیاب به‌عنوان ردیاب‌های بهینه انتخاب شدند و سطوح عدم قطعیت را با استفاده از مدل ترکیبی بیزین ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که در بین منابع رسوب بیش‌ترین سهم متعلق به منابع سطحی (کشاورزی- مرتع) ۶۳ درصد و در سطح عدم قطعیت ۸۰-۴۴ درصد و در مرتبه‌ی بعدی مربوط به فرسایش زیرسطحی (جاده و

¹ Sediment fingerprinting

² Wensum

[۱۰]. محققین دیگری اقدام به منشایابی رسوبات در رودخانه میل از زیرشاخه‌های چیز پک^۱ واقع در ایالت مریلند آمریکا پرداخته‌اند و به نتیجه رسیده‌اند که آبراهه، چراگاه‌ها و جنگل، به ترتیب ۹۹-۸۳، ۰/۰۸-۰/۰۶-۰/۱۴ درصد میزان عدم قطعیت سهم منابع در تولید رسوب بوده که با استفاده از رویکرد بی‌زین برآورد شده است [۱۹]. زیارت از جمله حوضه‌های جنگلی می‌باشد که در دهه‌ی اخیر مورد تخریب و تغییر کاربری از جنگل به کشاورزی، احداث ویلا و جاده واقع شده است. در نتیجه‌ی این پدیده فرسایش خاک و تولید رسوب و آلودگی رودخانه زیارت به عنوان منبع تامین کننده‌ی آب شرب شهرستان گرگان از جمله آثار زیان‌بار تغییرات در این حوضه می‌باشد. با توجه به کمبود مطالعات منشایابی با ردیاب‌های متعدد و نبود مطالعات مرتبط با استفاده از مدل‌های ترکیبی به ویژه در زمینه برآورد عدم قطعیت در ایران، هدف از این پژوهش برآورد عدم قطعیت و سهم تولید رسوب جاده‌های جنگلی با استفاده از ردیاب‌های ژئوشیمیایی در حوضه زیارت شهرستان گرگان می‌باشد.

۲. روش‌شناسی تحقیق

۲.۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد پژوهش به نام حوضه زیارت شناسایی می‌گردد که با مساحت ۷۷/۹ کیلومتر مربع و محیط ۴۰/۵۱ کیلومتر در استان گلستان، در شهرستان گرگان و بین مختصات ۵۴ درجه، ۲۳ دقیقه و ۵۳ ثانیه تا ۵۴ درجه، ۳۱ دقیقه و ۱۱ ثانیه طول جغرافیایی و ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه و ۵۱ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه و ۵۹ ثانیه عرض جغرافیایی قرار گرفته است. حوضه دارای اقلیم آب و هوایی معتدل تا سرد کوهستانی است و میانگین درجه حرارت در آن ۱۳/۷ و نیز بیش‌ترین میزان بارندگی در فصول سرد سال (پائیز و زمستان) رخ داده و میانگین آن معادل ۵۳۱/۲۵ میلی‌متر در سال برآورد و بیشینه رطوبت در فصول سرد به ۷۸ و در فصول گرم به ۷۱ درصد می‌رسد. بلندترین

آبراهه) ۳۷ درصد و در سطح عدم قطعیت (۵۹-۱۳) درصد است [۸]. محققین دیگری با استفاده از تکنیک منشایابی رسوبات ذخیره‌شده چک دم در حوزه هیو پرداخته و به این نتیجه دست یافتند که در بین ۳ کاربری، چراگاه، باغ و آبراهه به ترتیب ۲۰/۸، ۱۱/۲ و ۶۸ درصد سهم نسبی منابع در تولید رسوب است، همچنین با استفاده از رویکرد مدل عدم قطعیت بی‌زین را برآورد کرده که به ترتیب ۲۴-۲، ۲۶-۱، ۶۸-۶۶ درصد است [۲۳]. همچنین می‌توان به نمونه‌ای دیگر اشاره کرد که در آن محققینی با استفاده از تکنیک منشایابی و رویکرد مونت کارلو و زنجیره مارکوف^۱ در مدل چند متغیره ترکیبی بی‌زین برای بررسی عدم قطعیت منابع رسوبات آبرفتی دشت سیلابی واقع در حوزه آبخیز بوگداز^۲ مطالعه انجام دادند، حوضه موردنظر از حوزه‌های مدیریت‌شده بوده و از جنگل پوشیده شده است، اراضی کشاورزی، خانه‌های روستایی از کاربری‌های مشهود حوزه است. هدف آنان از انجام این پژوهش شناخت تغییرات اقلیم دوران هولوسن از نظر زمانی و مکانی بوده، چراکه در این دوران اقلیم گرم‌تر و مرطوب‌تر گردید و در پی آن بارش بیشتر و در نتیجه حجم عظیمی از رسوبات آبرفتی روی هم انباشته شده‌اند بدین منظور با استفاده از تکنیک منشایابی رسوب و برآورد سطوح عدم قطعیت و همچنین استفاده از تصاویر ماهواره‌ای کوئیک‌برد^۳ و استر^۴ این تغییرات را شناسایی کرده‌اند، رسوبات رودخانه در طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱ جمع‌آوری شده بود واحدهای زمین‌شناسی به عنوان منبع رسوب در نظر گرفته‌اند و با استفاده از آزمون آماری کروسکال والیس و تحلیل تشخیص ۱۳ ردیاب ژئوشیمی و کربن آلی را به عنوان ترکیب بهینه انتخاب کرده‌اند و در نهایت با استفاده از مدل بی‌زین به این نتیجه رسیدند که سنگ مارن با ۵۷ درصد بیش‌ترین عامل رسوب در حوزه آبخیز می‌باشد

^۱ Markov chain Mont carlo

^۲ Markov chain Mont carlo

^۳ Bugdaz

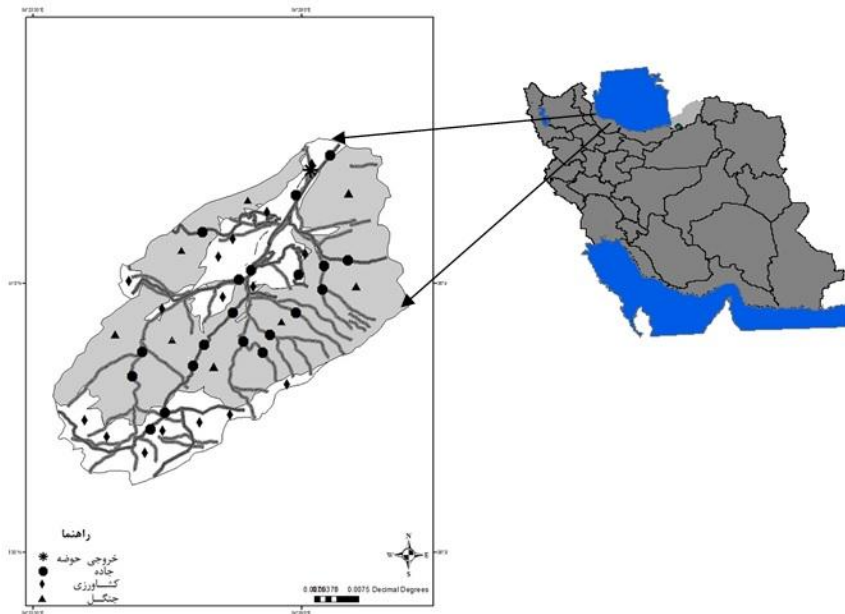
^۴ Quickbird

^۵ ASTER

^۶ Cheaspack

در پالئوزوئیک و شامل مجموعه دگرگونی شیست گرگان (بخش شمالی حوزه) و جدیدترین تشکیلات، سنگ‌های آهکی مارنی مربوط به دوره کرتاسه بالایی است. شکل شماره (۱)، موقعیت حوزه را نشان می‌دهد.

ارتفاعات مربوط به جنوبی‌ترین بخش حوضه با ارتفاع ۳۰۲۰ متر از سطح دریا و کمترین نقطه مربوط به بخش شمالی و خروجی حوضه با ارتفاع ۷۵۶/۴ متر است. زیارت از لحاظ زمین‌شناسی دارای چندین واحد لیتولوژیک است که قدیمی‌ترین این واحدهای سنگی مربوط به دوره اردویسین



شکل ۱. موقعیت حوضه زیارت و نقاط نمونه‌برداری

نمونه‌برداری در یک شعاع تقریبی ۱۰۰ متری، حدود ۵ نمونه برداشت و پس از مخلوط کردن آن‌ها، حدود یک کیلوگرم نمونه برداشت شد.

۲.۳. نمونه‌برداری از رواناب

در این پژوهش تعداد ۱۴ نمونه‌ی رسوب از رسوب‌های معلق حوضه جمع‌آوری شد. بدین شرح که در طول هر رخداد بارش در بازه زمانی سال (۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳) هر ۱۵ دقیقه یک‌بار رسوبات معلق از آبراهه نقطه خروجی حوضه برداشته و از کاغذ صافی عبور داده شدند و سپس در داخل آون قرار گرفته و پس از خشک شدن با ال‌ک ۶۳ میکرون غربال شده و به آزمایشگاه انتقال یافتند [۲۲، ۵].

۲.۲. نمونه‌برداری از منابع رسوب

به‌منظور نمونه‌برداری از منابع رسوب، بعد از پیمایش صحرائی و آماده‌سازی نقشه‌های مورد نیاز، با توجه به کاربری موجود ۳ گروه منبع رسوب شامل فرسایش سطحی (کشاورزی و جنگل) و زیرسطحی (جاده) انتخاب شدند. مطابق شکل (۱)، نمونه‌های برداشت شده از منطقه در مجموع ۴۳ نمونه از واحدهای فرسایشی متفاوت، شامل ۸ نمونه از جنگل، ۱۶ نمونه از اراضی کشاورزی و ۱۹ نمونه از جاده جمع‌آوری شد. نمونه‌های خاک، از عمق ۵-۱۰ سانتی‌متری [۸، ۱۱، ۱۵ و ۲۲] برداشته شدند، به دلیل اینکه بخش عمده‌ای از فرسایش در این سطح اتفاق می‌افتد. به‌منظور اینکه نمونه‌ها معرف کاملی از محل نمونه‌برداری شده باشد در هر یک از محل‌های

جدول ۱. ویژگی‌های نمونه برداری رواناب

نمونه رواناب	تاریخ نمونه برداری	میزان بارندگی (میلی‌متر)	غلظت مواد معلق در رواناب (گرم در لیتر)
۱	۹۱/۹/۸	۱۴/۵	۱
۲	۹۱/۹/۱۹	۱۰/۵	۰/۳
۳	۹۱/۹/۲۲	۲۴/۵	۱/۲
۴	۹۱/۱۰/۶	۱۵/۴	۰/۷
۵	۹۱/۱۰/۲۲	۳۷	۰/۸
۶	۹۱/۱۱/۱۱	۹	۲/۳
۷	۹۱/۱۲/۷	۱۰/۷	۰/۹
۸	۹۱/۱۲/۲۹	۱۲/۲	۱/۳
۹	۹۲/۱/۵	۱۲/۲	۰/۴
۱۰	۹۲/۲/۲	۱۲	۱/۲
۱۱	۹۲/۲/۵	۶	۳/۴
۱۲	۹۲/۸/۱۳	۶/۵	۲/۸
۱۳	۹۲/۹/۸	۱۰/۲	۱/۹
۱۴	۹۳/۱/۳	۲۳	۳/۷

۲.۴. تجزیه‌های آزمایشگاهی

با توجه به مطالعات انجام شده قبلی [۱۰، ۱۱، ۱۴، ۱۹، ۲۲، ۲۴، ۲۶] و استدلال‌های موجود، عناصر آلی و ژئوشیمیایی شامل، کربن آلی (C)، استرانسیم (Sr)، نیکل (Ni)، سدیم (Na)، پتاسیم (K)، مس (Cu)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، کلسیم (Ca) و منیزیم (Mg)، سرب (Pb)، به منظور منشأیابی انتخاب شدند. استدلال انتخاب این عناصر این است که عناصر انتخابی ترکیبی از عناصری است که هم بیانگر میزان مواد آلی موجود در خاک است که می‌تواند تفاوت بین فرسایش در خاک سطحی و عمقی را نشان دهد و هم عناصری است که می‌تواند تفاوت فرسایش سطحی در کاربری اراضی مختلف را مشخص نماید [۵، ۶، ۷، ۲۲]. بدین ترتیب ترکیب عناصر انتخابی می‌تواند تأثیر مدیریت محیط را نیز مشخص نماید. برای استخراج عناصر از نمونه‌های خاک و رسوب از روش هضم اسیدی استفاده شد. یک گرم نمونه خشک با قطر کمتر از ۰/۲

میلی لیتری درون ظرف هضم ریخته با آب مقطر مرطوب گشت. ۱۰ میلی لیتر محلول اکوارجیا^۱ (ترکیب اسید کلریدریک غلیظ و اسید نیتریک با نسبت ۳ به ۱: ۷ میلی لیتر اسید کلریدریک غلیظ و ۳ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ) به آن اضافه و به مدت ۱۲ ساعت درون ترمواکتور قرار داده شد. در نهایت پس از سرد شدن، نمونه‌ها با کاغذ صافی صاف و درون لوله‌های آزمایش نگهداری شد. غلظت عناصر ژئوشیمیایی با استفاده از دستگاه جذب اتمی^۲ و استفاده از نمونه استاندارد مرک^۳ و رسم منحنی کالیبراسیون اندازه‌گیری و به واحد میکروگرم بر گرم نمونه خاک گزارش شد همچنین مواد آلی نیز به روش و الکی و بلاک^۴ اندازه‌گیری شد [۲، ۲۲]. انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها و تفکیک منابع بالقوه رسوب با استفاده از روش‌های آماری عموماً در روش

¹ Aqua Regia

² Atomic Absorption

³ Merck Standard

⁴ Walkley-Black method

۲. ۵. مدل سازی منشأیابی بر اساس عدم قطعیت

با استفاده از روش بیزین

در این مطالعه آنالیز عدم قطعیت در تعیین سهم نسبی منابع رسوب بر اساس مدل ترکیبی بیزین مورد استفاده و در قالب یک مدل ترکیبی منشأیابی رسوب مورد استفاده قرار گرفت [۲۲]. ابتدا بر اساس روش آماری بیزین، توابع احتمال برای سهم نسبی هر منبع رسوب f_i برای هر یک از منابع رسوب i و حاصل از مخلوطی از خاک فرسایش یافته منابع مختلف محاسبه شد. همچنین تابع احتمال سهم نسبی منابع رسوب f_q با تولید داده‌های تصادفی از روی داده‌های اولیه (داده‌های اصلی منابع رسوب) محاسبه شد. بر اساس قانون نظریه بیس، احتمال هر یک از f_q بر اساس داده‌ها و اطلاعات اولیه محاسبه شد. بدین ترتیب تابع احتمال پسین برای تمام f_i از طریق ضرب توزیع احتمال اولیه در دست نمایی آن و تقسیم حاصل آن بر مجموع کل آن و به صورت معادله زیر به دست آمد [۸].

$$p(fq | data) = \frac{l(fq | data) \times p(fq)}{\sum l(fq | data) \times p(fq)} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن $f_q | data$ درست نمایی داده f_q احتمال اولیه بر اساس اطلاعات اولیه و f_q توزیع سهم منابع رسوب q است. همچنین منظور از $l(fq | data) \times p(fq)$ احتمالات پسین غیر نرمال است. برای مثال فرض شود که برآورد توزیع i منابع رسوب با مخلوطی از رسوب با زردیاب مدنظر است. در این مدل زردیاب‌ها از ترکیب داده‌های رسوب به دست آمده و فرض می‌شود که توزیع آن نرمال است. عدم قطعیت در مقادیر زردیاب منابع با تعریف میانگین و واریانس پارامترهای هر یک از منابع رسوب i و مقادیر غلظت زردیاب z تعریف می‌گردد. توابع توزیع پیشنهادی برای مخلوط رسوب توسط میانگین و انحراف معیار مخلوط رسوب توسط میانگین و انحراف معیار مخلوط رسوب بر اساس مقادیر

منشأیابی مرکب و کمی از روش‌های آماری از جمله آزمون‌های مقایسه میانگین‌ها و تحلیل تشخیص استفاده می‌شود [۱۶]. در این مطالعه ردیاب‌های ژئوشیمیایی را در قالب یک روش آماری دومرحله‌ای برای انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌های قادر به جداسازی منابع رسوب است استفاده شد، بدین منظور با استفاده از آماره H یا کروسکال والیس^۱ در آزمون نا پارامتری، توانایی هر کدام از ردیاب‌ها در تفکیک منابع رسوب سطحی و زیرسطحی بررسی شد. در نتیجه ردیاب‌هایی که سطح معناداری آن‌ها کمتر از ۰/۰۵ باشد منابع رسوب را از هم تفکیک می‌کنند و وارد مرحله دوم می‌شوند همچنین سایر ردیاب‌هایی که سطح معناداری‌شان بیشتر از ۰/۰۵ باشد، حذف می‌گردند. سپس در مرحله بعد آنالیز تابع تشخیص گام به گام، برای کاهش خصوصیات انتخابی اولیه به طوری که دارای حداقل همبستگی و حداکثر توان تفکیک باشند به کار گرفته شده است [۲۳ و ۲، ۴، ۵، ۶، ۷، ۳]. آنالیز تشخیص، راهکاری است برای آنکه متغیرها را در قالب گروه‌های مجزا از هم تفکیک کنیم، به صورتی که هر گروه در عین اینکه با گروه دیگر شباهت و همبستگی دارد، از انسجام لازم نیز برخوردار باشد. در واقع آنالیز تشخیص، اعضای جامعه مورد تحقیق را در قالب گروه‌های مجزا از هم طبقه‌بندی و تفکیک می‌کند. علاوه بر این تابع تشخیص معادله‌ای است که با داشتن مشخصات هر فرد از جامعه می‌توان با قرار دادن این مشخصات در آن معادله، پیش‌بینی کرد که وی به کدام گروه تعلق دارد، به سخن دیگر منظور از آنالیز تشخیص، گروه‌بندی داده‌ها به گروه‌های متجانس است، به گونه‌ای که مشاهدات هر گروه با یکدیگر شبیه باشند و مشاهدات گروه‌های مختلف نسبت به یکدیگر کمترین شباهت را داشته باشند. روش‌ها آماری مربوط به این دو مرحله با استفاده از نرم‌افزار محاسبات آماری^۲ صورت پذیرفت.

1 Kruskal-Wallis
2 SPSS 16

استفاده از برنامه‌نویسی در برنامه متلب^۱ تهیه و اجرا شد. خروجی این مدل شامل سهم نسبی هر یک از منابع رسوب در تولید رسوب بود، که به صورت نمودارهایی برای هر یک از منابع رسوب به صورت جداگانه و به شکل سطوح اطمینان یا محدوده عدم قطعیت ارائه گردید. همچنین به منظور ارائه سطوح اطمینان در بازه‌های مختلف، صدک‌های ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۵ درصد هم از خروجی‌های این مدل است که صدک ۵۰ درصد بیانگر میانه سهم نسبی هر منبع در تولید رسوب است.

۳. نتایج

۳.۱. ترکیب بهینه ردیاب‌های ژئوشیمیایی

جدول (۲)، نتایج آزمون آماری کروسکال والیس را در کاربری اراضی نشان می‌دهد، با توجه به این جدول از ۱۱ عنصر به کاررفته به جز ۶ عنصر، ۵ عنصر دیگر کربن آلی (C)، مس (Cu)، آهن (Fe)، استرانسیم (Sr)، (Ca) سطح معنی‌داری آن‌ها کمتر از ۰/۰۵ است که با ستاره مشخص شده‌اند. این ۵ عنصر قادر به تفکیک و جداسازی واحدهای فرسایشی می‌باشند. یعنی میانگین غلظت هر یک از عناصر حداقل در یک منبع از منابع دیگر متفاوت است. در این جدول مقدار آماره H نیز در نظر گرفته شده است هر چه مقدار H بالاتر باشد قدرت تفکیک عنصر هم بیشتر می‌شود همان‌طور که در اینجا مشخص شده است با افزایش مقدار آماره H سطح معنی‌داری نیز بهتر شده است. جدول (۳)، مراحل مختلف اضافه شدن خصوصیات ردیاب در توابع تشخیص به روش گام‌به‌گام و تأثیر آن‌ها بر توان جداسازی منابع رسوب برای کاربری اراضی نشان می‌دهد. آماره ویلکس لامبدا^۲ معیاری مناسب از نسبت اختلاف‌های درون‌گروهی به اختلاف‌های بین‌گروهی است [۲، ۳، ۴، ۷، ۸]. در هر مرحله متغیری وارد تابع شده که در سطح ۰/۰۵ یا کمتر معنی‌دار بوده است. همان‌طور

تصادفی f تعیین می‌شود.

$$\hat{\mu}_j = \sum_{i=1}^n (f_i \times m_{jSource_i}) \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$\hat{\sigma}_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (f_i^2 \times S_{jSource_i}^2)} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که $m_{jSource_i}$ میانگین ردیاب زام منبع رسوب i ام، $S_{jSource_i}^2$ واریانس ویژگی ردیاب زام منبع رسوب i ام است. بر اساس انحراف معیار و میانگین، درست‌نمایی داده‌های نمونه‌های رسوب به صورت زیر محاسبه می‌شود؛

$$L(\hat{X} | \mu_j, \hat{\sigma}_j^2) \equiv \prod_{k=1}^n \prod_{j=1}^n \frac{1}{\sigma_{j \times \sqrt{2 \times \pi}}} \times \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$\exp \frac{1}{\sigma_{j \times \sqrt{2 \times \pi}}} \times \exp \frac{X_{kj} - \hat{\mu}_j^2}{2 \times \hat{\sigma}_j^2}$$

که در آن X_{kj} ویژگی ردیاب K ام نمونه رسوب است. درست‌نمایی سهم نسبی منابع رسوب f_q بر اساس اطلاعات اولیه (با استفاده از ضرایب α و β برای هر منبع) بر اساس تابع توزیع بتا محاسبه می‌شود.

$$L(f_q | \alpha_i, \beta_i) = \prod_{i=1}^n \frac{f_i^{\alpha_i-1} \times (1-f_i)^{\beta_i-1}}{B(\alpha_i, \beta_i)} \quad (\text{رابطه ۵})$$

بدین ترتیب در نهایت درست‌نمایی اطلاعات اولیه در درست‌نمایی نمونه‌های رسوب به منظور محاسبه احتمال پسین غیر نرمال، ضرب می‌شود. این مدل بر اساس دو شرط نتایج سهم منابع رسوب را با در نظر گرفتن عدم قطعیت ارائه می‌نماید. شرایط مذکور شامل تغییرپذیری درصد سهم منابع رسوب بین صفر و یک ($0 \leq f_i \leq 1$) و برابری مجموع درصد سهم منابع رسوب با یک است [۲۲].

در این مطالعه، عدم قطعیت در قالب یک برنامه با

1 Matlab

2 Wilks Lambda

شده است و در نتیجه توان جداسازی تحلیل و میزان تفکیک بین گروه‌ها افزایش یافته است.

که در جدول مشخص شده است با اضافه شدن هر ردیاب مقدار ویلکس لامبدا کاهش یافته و سطح معنی‌داری بهتر

جدول ۲. نتایج آزمون آماری کروسکال والیس در واحدهای کاربری

ردیاب	H مقدار	سطح معنی‌داری	ردیاب	H مقدار	سطح معنی‌داری
Sr*	۹/۶	۰/۰۰۵	Fe*	۱۸/۰۳	۰/۰۰۴
Mn	۱۰/۲	۰/۰۳۹	Ca*	۱۲/۶	۰/۰۲۱
Na	۴/۳	۰/۱۵۰	C*	۳۴/۵۶	<۰/۰۰۱
Mg	۵/۱	۰/۱۲۴	Pb	۴/۵	۰/۱۶۵
K	۸	۰/۰۶۷	Ni	۴	۰/۱۴۰
Cu*	۱۲/۰۷	۰/۰۰۲	*سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵		

جدول ۳. وضعیت گام‌های مختلف ورود عناصر به مدل در واحدهای کاربری

گام	خصوصیات ردیاب	ویلکس لامبدا	سطح معنی‌داری
۱	Fe	۰/۰۹	<۰/۰۰۰۱
۲	Cu	۰/۰۷	<۰/۰۰۰۱
۳	C	۰/۰۴	<۰/۰۰۰۱

نتایج آزمون تابع تحلیل تشخیص در جدول (۴)، نشان داده شده است.

جدول ۴. ویژگی‌های توابع تحلیل تشخیص در واحدهای کاربری

تابع	مقدار ویژه	درصد تجمعی	درصد تجمعی واریانس	همبستگی کانونی	کای اسکور	سطح معنی‌داری
۱	۳۴/۷	۹۶/۵	۹۶/۵	۰/۹	۱۲/۹	<۰/۰۰۱
۲	۰/۲۴	۳/۵	۱۰۰	۰/۳	۰/۷۱	۰/۰۵

به‌وسیله آماره کای مشخص شده است. جدول (۵)، درصد طبقه‌بندی صحیح در هر گروه و تعداد نمونه‌های درست طبقه‌بندی شده را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول نمونه‌ها در واحدهای فرسایشی تا ۱۰۰ درصد صحیح برداشت و طبقه‌بندی شده‌اند.

با توجه به این جدول دو تابع بر اساس ویژگی‌های ردیاب‌ها مشخص شده است. درصد واریانس دو تابع به ترتیب برابر با ۹۶/۵ و ۳/۵ است و همچنین درصد تجمعی واریانس دو تابع برابر با ۹۸/۵ و ۱۰۰ درصد نشان داده شده است. در جدول یادشده معنی‌داری توابع

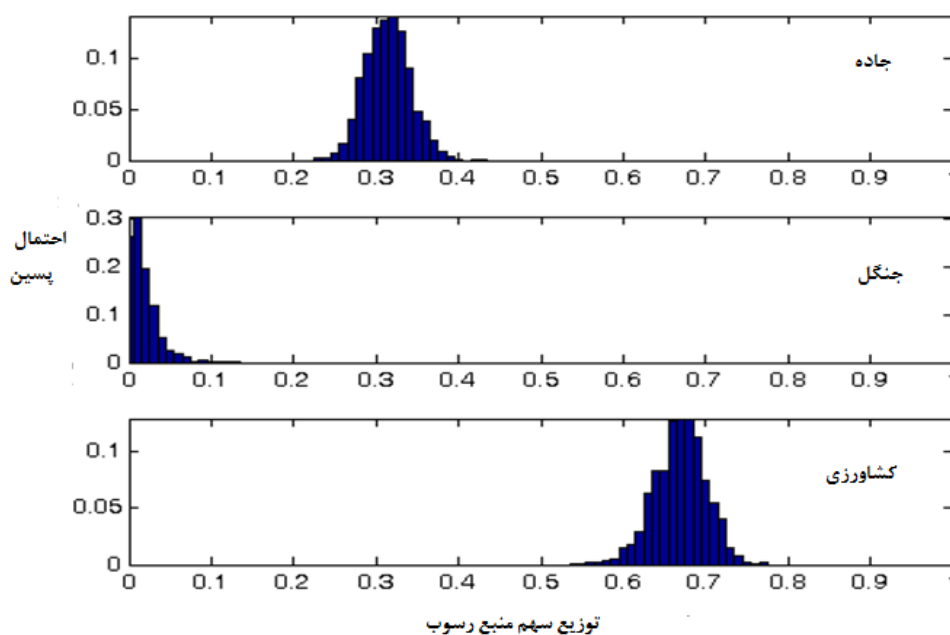
جدول ۵. درصد طبقه‌بندی صحیح نمونه‌ها در واحدهای کاربری

منابع رسوب	درصد صحت طبقه‌بندی	نمونه‌های تأیید شده توسط تحلیل تشخیص در منابع رسوب		
فرسایش زیرسطحی- جاده	۱۰۰	۱۹	۰	۰
فرسایش سطحی- جنگل	۱۰۰	۰	۸	۰
فرسایش سطحی- کشاورزی	۱۰۰	۰	۰	۱۶

۳.۲. برآورد عدم قطعیت و سهم تولید رسوب

برای ارزیابی عدم قطعیت در سهم هر یک از منابع رسوب، مدل ترکیبی عدم قطعیت برای ترکیب کل نمونه‌های رسوب مورد بررسی قرار گرفت. با در نظر گرفتن 10^6 تکرار برای نمونه‌برداری مجدد برای برآورد احتمال پسین، این مدل توانست تابع تراکمی پسین صحیحی از داده‌ها ایجاد کند. همچنین توزیع احتمالات پسین نرمال نشده اثبات می‌نماید که مدل پیشنهادی وزن مناسبی بر هر دو طرف تابع توزیع قرار داده است. با توجه به شکل ۲ با اجرای مدل عدم قطعیت هیستوگرام تشخیصی به دست آمده توزیع مناسبی بر اساس آماره درست نمایی نسبی دارد. اگر میانگین سهم هر منبع برابر با میانه یا صدک ۵۰ باشد و صدک ۵ و ۹۵ بیانگر سطوح اطمینان عدم قطعیت

باشد، نتایج حاصل از ترکیب ردیاب‌ها مشخص می‌کند که برای سه منبع رسوب حوضه زیارت یعنی کشاورزی- فرسایش سطحی، جاده فرسایش زیرسطحی، جنگل-فرسایش سطحی به ترتیب $67/1$ ($71/8-61/6$)، $31/4$ ($35/9-27/1$) و $1/2$ ($5/1-0/1$) درصد برآورد شده است. مقادیر داخل پرانتز حدود اطمینان صدک ۵ و ۹۵ درصد است. نتایج توزیع سهم هر یک از سه منبع رسوب بر اساس برآورد توزیع احتمال پسین در شکل ۳ نشان داده شده است. محور Xها نشان‌دهنده میزان سهم نسبی هر یک از منابع رسوب در تولید رسوب و محور Yها بیانگر احتمال پسین به دست آمده از تکرار نمونه‌برداری مجدد بر اساس داده‌های واقعی است.



شکل ۲. برآورد سهم ۳ منبع رسوب حوزه آبخیز زیارت با استفاده از مدل عدم قطعیت

۴. بحث و نتیجه گیری

برآورد عدم قطعیت و سهم تولید رسوب جاده‌های جنگلی با استفاده از ردیاب‌های ژئوشیمیایی حوضه زیارت استان گلستان هدف از این پژوهش بود. مدل ترکیبی بی‌زین تهیه شد و نتایج نشان داد برای سه منبع رسوب، کشاورزی (فرسایش سطحی)، جاده (فرسایش زیرسطحی) و جنگل (فرسایش سطحی) به ترتیب ۶۷/۱ (۶۱/۶-۷۱/۸)، ۳۱/۴ (۲۷/۱-۳۵/۹) و ۱/۲ (۰/۱-۵/۱) درصد برآورد شده است و سهم منابع فرسایشی را به خوبی تفکیک کرده است با مقایسه‌ی سطح هر کاربری و سهم آنان در تولید رسوب به این نتیجه می‌رسیم که بین این دو عامل رابطه‌ی معکوس وجود دارد، مساحت هر کدام از کاربری‌ها (جنگل و کشاورزی)، به ترتیب ۵۲ و ۲۵ کیلومترمربع و مجموع طول جاده‌ی احداث شده ۳۲ کیلومتر است، در مقابل کاربری‌های کشاورزی، جاده و جنگل به ترتیب بیش‌ترین و کمترین سهم را در تولید رسوب دارند. این مدل به‌طور موفقیت‌آمیزی عدم قطعیت را در منشأیابی رسوب برآورد کرده است، سهم منابع رسوب به‌صورت اعداد صفر و یک است و ردیاب‌ها در توزیع احتمال پسین یکپارچه شده‌اند و مجموع آن‌ها برابر یک است نتایج این پژوهش با نتایج [۸، ۴، ۱۴]، مطابقت دارند، محققین نامبرده با استفاده از تکنیک منشأیابی و رویکرد عدم قطعیت سهم هر کدام

از کاربری‌ها را بررسی کردند و نتایج حاکی از سهم بالای زمین‌های کشاورزی و جاده در تولید رسوب است و تأثیر تغییر و تخریب کاربری‌ها و انواع فرسایش را در تولید رسوب تبیین کرده‌اند. با توجه به مشخص شدن سهم هر کدام از کاربری‌های اراضی در تولید رسوب، پیشنهاد می‌گردد که برنامه‌ریزی همه‌جانبه جهت کنترل و کاهش فرسایش و رسوب حوضه‌ی زیارت انجام گردد و در مطالعات بعدی به این نتایج توجه داده شود. بر طبق بازدیدهای میدانی صورت گرفته اکثر اراضی کشاورزی در جهت شیب دایر شده‌اند که ضروری است این اراضی ساماندهی شوند، همچنین جاده‌های احداث شده بسیاری از دامنه‌ها را تغییر داده و باعث افزایش پدیده‌ی زمین لغزش گردیده است. لازم است با توجه به دیدگاه آمایش مدارانه سایت‌های تفریحی و گردشگری مکان‌یابی شود تا در آینده شاهد تخریب بیشتر نباشیم. افزایش سیلاب شهری و برهم خوردن چرخه هیدرولوژیکی و از بین رفتن زیست‌گاه گیاهی و جانوری از تبعات زیان باری است که در آینده‌ای نزدیک ما با آن مواجه خواهیم بود. همچنین پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی، از ردیاب‌های رادیونوکلئیدی از جمله سزیم ۱۳۷ به دلیل نیمه‌ی عمر طولانی‌تر و توان بالاتر در عدم قطعیت استفاده شود.

References

- [1] Arab Khedri, M., Hakim Khani, S., and Charkhabi, A. (2004). Estimating and mapping of sediment yield for Iran. Research Institute of Soil Conservation and Watershed Management Tehran.
- [2] Carter, J., Owens, P N., Walling, D. E., and Leeks, Graham J. L. (2003). Fingerprinting suspended sediment sources in a large urban river system. *Science of The Total Environment*, 314–316(0), 513-534.
- [3] Collins, A. L., Walling, D. E., Stroud, R. W., Robson, M., and Peet, L. M. (2010). Assessing damaged road verges as a suspended sediment source in the Hampshire Avon catchment, southern United Kingdom. *Hydrological Processes*, 24(9), 1106-1122.
- [4] Collins, A. L., Walling, D. E., Webb, L., and King, P. (2010). Apportioning catchment scale sediment sources using a modified composite fingerprinting technique incorporating property weightings and prior information. *Geoderma*, 155(3–4), 249-261.
- [5] Collins, A. L., Williams, L. J., Zhang, Y. S., Marius, M., Dungait, J. A. J., Smallman, D. J. and Naden, P. S. (2013). Catchment source contributions to the sediment-bound organic matter degrading salmonid spawning gravels in a lowland river, southern England. *Science of The Total Environment*, 456–457(0), 181-195.
- [6] Collins A.L., Walling D.E. and Leeks G.J.L. (1997). Source type ascription for fluvial suspended sediment based on a quantitative composite fingerprinting technique. *CATENA*, 29, 1-27.
- [7] Collins A.L., Walling D.E. and Sickingabula H.M. (2001). Suspended sediment source fingerprinting in small tropical catchment and management implications. *Applied Geography*, 21, 387-412.
- [8] Cooper, R., Krueger, T., Hiscock, K. M., and Rawlins, B. G. (2015). High-temporal resolution fluvial sediment source fingerprinting with uncertainty: a Bayesian approach. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(1), 78-92.
- [9] Dun, Shuhui, Wu, Joan Q., Elliot, William J., Robichaud, Peter R., Flanagan, Dennis C. Frankenberger, James R. and Arthur, C. (2009). Adapting the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model for forest applications. *Journal of Hydrology*, 366(1–4), 4654.
- [10] Haen, D. K., Verstraeten, G., Dugar, B., Degryse, B., Heax, J. and Walkens, M. (2012). Unravelling changing sediment sources in a Mediterranean mountain catchment: Bayesian fingerprinting approach. *Hydrological Processes*, 27, 896-927.
- [11] Devereux, O., H., Prestegard, K. L., Needelman, B. A., and Gellis, A. C. (2010). Suspended-sediment sources in an urban watershed, Northeast Branch Anacostia River, Maryland. *Hydrological Processes*, 24(11), 1391-1403.
- [12] Dutton, Ch., Anisfeld, Sh. and Ernstberger, H. (2013). A novel sediment fingerprinting method using filtration: application to the Mara River, East Africa. *Journal of Soils and Sediments*, 13(10), 1708-1723.
- [13] Foster, I. D. L., Lees, J. A., Jones, A. R., Chapman, A. S., and Turner, S.E. (2002.). The possible role of agricultural land drains in sediment delivery to a small reservoir, Worcestershire, UK: a multiparameter fingerprint study. In: Hodgkinson, R., (Ed.), *The Structure, Function and Management Implications of Fluvial Sedimentary Systems*, IAHS Publ. 276, 433-442.
- [14] Fox, J. F., and Papanicolaou, A. N. (2008). An un-mixing model to study watershed erosion processes. *Advances in Water Resources*, 31(1), 96-108.
- [15] Gruszowski, K. E., Foster, I. D. L., Lees, J. A., and Charlesworth, S. M. (2003). Sediment sources and transport pathways in a rural catchment, Herefordshire, UK. *Hydrological Processes*, 17(13), 2665-2681.
- [16] Hatfield, R. G., and Maher, B.A. (2009). Fingerprinting upland sediment sources: particle size-specific magnetic linkages between soils, lake sediments and suspended sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(10), 681359-1373
- [17] Juracek, KE, and Ziegler, AC. (2009). Estimation of sediment sources using selected chemical tracers in the Perry lake basin, Kansas, USA. *International Journal of Sediment Research*, 24(1), 108-125.

- [18] Martínez-Carreras, N., Krein, A., Gallart, F., Iffly, J.F., Pfister, L., Hoffmann, L., and Owens, P. P. N. (2010). Assessment of different colour parameters for discriminating potential suspended sediment sources and provenance: A multi-scale study in Luxembourg. *Geomorphology*, 118(1-2), 118-129.
- [19] Massoudieh, A., Gellis, A., Banks, W. S., and Wieczorek, M, E. (2013). Suspended sediment source apportionment in Chesapeake Bay watershed using Bayesian chemical mass balance receptor modeling. *Hydrological Processes*, 27(24), 3363-3374.
- [20] Matisoff, G. (2014). 210Pb as a tracer of soil erosion, sediment source area identification and particle transport in the terrestrial environment. *Journal of Environmental Radioactivity*, 138(0), 343-354.
- [21] Miller, J. R., Lord, M., Yurkovich, S., Mackin, G. and Kolenbrander, L. (2005). Historical trends in sedimentation rates and sediment provenance, FAIRFIELD LAKE, western north CAROLINA1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 41(5), 1053-1075.
- [22] Nosrati, k., Govers, G., Semmenes, B.X., and Ward, E.J. (2014). A mixing model to incorporate uncertainty in sediment fingerprinting. *CATENA*, 217-218, 173-180.
- [23] Nosrati, K., Govers, G., Ahmadi, H., Sharifi, F., Amoozegar, M., Merckx, R. and Vanmaercke, M. (2011). An exploratory study on the use of enzyme activities as sediment tracers: biochemical fingerprints? *International Journal of Sediment Research*, 26(2), 136-151.
- [24] Palmer, M. J. and Douglas, G. B. (2008). A Bayesian statistical model for end member analysis of sediment geochemistry, incorporating spatial dependences. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 57(3), 313-327.
- [25] Poulenard, J. Legout, C. Némery, J. Bramorski, J. Navratil, O. Estèves, M, and Perrette, Y. (2009). Tracing sources of sediments during flood events by Diffuse Reflectance Infrared Fourier-Transform (DRIFT). Paper presented at the EGU General Assembly Conference Abstracts.
- [26] Rowan, J. S., Black, S. and Franks, S. W. (2012). Sediment fingerprinting as an environmental forensics tool explaining cyanobacteria blooms in lakes. *Applied Geography*, 32(2), 832-843.
- [27] Small, L.F., Rowan, J.S. and Franks, S.W. (2002). Quantitative sediment fingerprinting using a Bayesian uncertainty estimation framework In: Dyer, F.J., Thoms, M.C., Olley, J.M.(Eds). *The structure, Function and Management Implication of Fluvial Sedimentary System*.
- [29] Smith, H. G., and Dragovich, D. (2008). Sediment budget analysis of slope-channel coupling and in-channel sediment storage in an upland catchment, southeastern Australia. *Geomorphology*, 101(4), 643-654.
- [30] Van der Sluis, L. G., Hollund, H. I., Buckley, M., De Louw, P. G. B., Rijdsdijk, K. F., and Kars, H. (2014). Combining histology, stable isotope analysis and ZooMS collagen fingerprinting to investigate the taphonomic history and dietary behaviour of extinct giant tortoises from the Mare aux Songes deposit on Mauritius. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 416(0), 80-91.
- [31] Wallbrink, P. J., Martin, C. E., and Wilson, C. J. (2003). Quantifying the contributions of sediment, sediment-P and fertiliser-P from forested, cultivated and pasture areas at the landuse and catchment scale using fallout radionuclides and geochemistry. *Soil and Tillage Research*, 69(1-2), 53-68.
- [32] Walling, D. E., Collins, A. L., and Stroud, R. W. (2008). Tracing suspended sediment and particulate phosphorus sources in catchments. *Journal of Hydrology*, 350(3-4), 274-289.
- [33] Wilkinson, S. N., Wallbrink, P. J., Hancock, G. J., Blake, W. H., Shakesby, R. A., and Doerr, S. H. (2009). Fallout radionuclide tracers identify a switch in sediment sources and transport-limited sediment yield following wildfire in a eucalypt forest. *Geomorphology*, 110(3-4), 140-151.
- [34] Zapta, F. (2003). The use of environmental radionuclides as tracers in soil erosion and sediment investigation. *Soil and Tillage Research*, 63, 3-13.