

منشأیابی منابع رسوب: ارتباط بین فعالیت‌های آنزیمی خاک و رسوب

کاظم نصرتی^{۱*}، حسن احمدی^۲ و فرود شریفی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۸/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۹/۲۹)

چکیده

شناخت سهم و یا جداسازی منابع رسوب به عنوان ابزاری در پیش‌بینی فرسایش، اعتبارسنجی مدل‌های فرسایش و رسوب، پایش بیلان رسوب و در نتیجه در تعیین مناسب‌ترین عملیات کنترل فرسایش و رسوب و حفاظت خاک در مقیاس حوزه آبخیز مورد نیاز است. تفکیک خاک فرسایش یافته به چندین منبع با استفاده از ردیاب‌های طبیعی رویکردی جامع در مطالعات فرسایش و رسوب محسوب می‌شود. هدف از این تحقیق، به عنوان نخستین مطالعه، بررسی تغییرات مکانی ردیاب‌های بیوشیمیایی و کارایی این ردیاب‌ها در جداسازی منابع رسوب در سطح حوزه آبخیز تحت تأثیر انواع کاربری اراضی و فرسایش آبی، و کاربرد آنها به عنوان منشأیاب و تعیین سهم نسبی منابع رسوب است. به این منظور چهار فعالیت آنزیمی به عنوان ردیاب بیوشیمیایی در ۴۲ نمونه منابع رسوب و ۱۴ نمونه رسوب اندازه‌گیری گردید. نتایج تحلیل توابع تشخیص نشان داد ترکیب بهینه دو ردیاب شامل اوره‌آز و دهیدروژناز با تایید بیش از ۹۲ درصد تفکیک منابع رسوب قادر به جداسازی منابع رسوب در منطقه مطالعاتی هستند. مدل منشأیابی منابع رسوب براساس ترکیب بهینه ردیاب‌های حاصل از تحلیل توابع تشخیص اجرا و درصد سهم نسبی هر یک از منابع رسوب تعیین گردید. نتایج نشان داد میانگین سهم نسبی رسوب (خطای استاندارد \pm میانگین) از واحدهای کاری مرتع- فرسایش سطحی، اراضی کشاورزی-فرسایش سطحی، مرتع- فرسایش آبراه‌ای و اراضی دیم- فرسایش سطحی به ترتیب برابر با مقادیر $۱۱/۳ \pm ۵/۳$ ، $۸/۱ \pm ۳/۸$ ، $۷۵ \pm ۸/۵$ و $۳/۶ \pm ۲/۵$ درصد است. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت منشأیابی با استفاده از ردیاب‌های بیوشیمیایی، می‌تواند باعث تحول و ارتقای مدل‌های منشأیابی گشته و گام نخستی برای ایجاد ابزاری نوین برای تکمیل رویکرد منشأیابی در آینده باشد.

واژه‌های کلیدی: منشأیابی رسوب، ردیاب‌های بیوشیمیایی، مدل ترکیبی، حوزه آبخیز زیدشت

۱. استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۲. استاد احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۳. استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: k_nosrati@sbu.ac.ir

مقدمه

فرسایش خاک یکی از فرآیندهای اصلی تخریب خاک است که اثرات برون محلی آن شامل مشکلات رسوب‌زایی در رودخانه‌ها، آلودگی (افزایش سموم و آفت‌کش‌ها)، کورشدگی منابع آب، تأثیر بر تنوع زیستی، پر شدن مخزن‌های منابع آبی از رسوب، پر غذایی، افزایش خطر سیلاب و کاهش طول عمر مخازن سدها می‌شود (۱۱ و ۲۲). تخمین‌ها نشان می‌دهد که در اثر فرسایش خاک سالانه بین ۰/۵ تا یک درصد ظرفیت مخازن آبی دنیا از رسوبات پر می‌شود (۲۴). اطلاعات دقیق و صحیح از میزان فرسایش در ایران بسیار محدود بوده و بین اندازه‌گیری‌ها و تخمین‌های مختلف براساس مدل‌های متفاوت اختلاف زیادی دیده می‌شود. ولی نقطه اشتراک همه آنها مقادیر بالای میزان فرسایش در کشور می‌باشد. نرخ فرسایش آبی در کشور در سال‌های ۱۳۳۰، ۱۳۴۰، ۱۳۵۰، ۱۳۶۰، ۱۳۷۲ و ۱۳۷۸ با لحاظ نمودن ۱۲۰ میلیون هکتار از اراضی تحت فرسایش، به ترتیب برابر با ۴/۲، ۶/۳، ۸/۳، ۱۲/۵، ۲۰/۸ و ۲۲/۵ تن بر هکتار بر سال برآورد شده است (براساس داده‌های ۱ و ۱۶). شناخت اهمیت منابع رسوب و سهم نسبی هر یک در تولید رسوب و شناسایی مناطق بحرانی در تولید رسوب بسیار مهم و یکی از مباحث مورد توجه محققان و سیاست‌گذاران حفاظت خاک در کاهش و یا توقف اثرات برون محلی فرسایش خاک می‌باشد. بنابراین شناخت سهم نسبی هر یک از منابع رسوب به تمرکز بر مناطق پرخطر و انتخاب روش‌های کنترل رسوب و حفاظت خاک و انتخاب عملیات اصلاحی و در نتیجه کاهش هزینه‌ها کمک خواهد نمود.

روش‌های متعددی در تعیین و شناسایی منابع رسوب و سهم آنها وجود دارد. روش منشأیابی یا ردیابی منابع رسوب به عنوان روشی با کارایی بالا مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است. منشأیابی به تکنیک‌های اندازه‌گیری بر پایه برداشت‌های صحرائی اطلاق می‌گردد که خاک فرسایش یافته از چندین منبع را با استفاده از ویژگی‌های ردیاب‌ها و مدل‌های ریاضی ترکیبی، سهم‌بندی و یا جداسازی می‌نماید (۹).

ردیاب‌ها عموماً ویژگی‌های آلی و یا معدنی خاک هستند که تفاوت‌های منابع رسوب را مشخص و آنها را تفکیک می‌نمایند. تاکنون خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک مانند ویژگی‌های ژئوشیمیایی (۵) بیوژئوشیمیایی (۸)، خصوصیات مغناطیسی کانی‌ها (۱۲)، غلظت عناصر رادیواکتیو (۲)، اسپکتروسکوپی مادون قرمز (۱۵) و عناصر کمیاب زمین (۲۵) به عنوان ردیاب در مطالعات منشأیابی مورد استفاده قرار گرفته است. به‌طور کلی براساس نوع و تعداد منابع رسوب و ویژگی‌های حوزه آبخیز، ردیاب باید توانایی تفکیک منابع رسوب را داشته باشد (۷). بسیاری از وظایف و کارکردهای خاک که مرتبط با فعالیت و تنوع میکروبی است به‌طور مستقیم با فعالیت آنزیمی مرتبط است (۲۶). بنابراین تغییرات فعالیت آنزیمی خاک می‌تواند به عنوان شاخصی از تغییرات خاک تحت تأثیر تنش‌های مختلف در اکوسیستم‌های متفاوت پیشنهاد گردد (۱۴). شاخص‌های بیوشیمیایی خاک به دلیل این‌که دارای حساسیت بالا به تنش‌های اکولوژیک هستند، ابزاری مناسب برای ارزیابی درجه تخریب خاک فراهم می‌نمایند (۳). آنزیم‌های خاک به‌طور ذاتی در مقایسه با ویژگی‌های معدنی خاک دارای حساسیت بیشتر به شرایط محیطی هستند و بنابراین روابط متقابل بین فرآیندهای بیوشیمیایی طبیعی و عملیات مدیریت تحت کنترل انسان را منعکس می‌نمایند. بدین ترتیب آنزیم‌ها می‌توانند به عنوان شاخص بیوشیمیایی به منظور جداسازی کاربری اراضی مختلف مورد استفاده قرار گیرند. این یافته‌ها مشخص می‌نماید که پارامترهای بیوشیمیایی می‌تواند به عنوان یک ردیاب در تفکیک منابع رسوب (فرض اساسی منشأیابی) مورد استفاده قرار گیرد.

قابلیت استفاده از آنزیم‌ها به عنوان ردیاب بستگی به پایداری آنها دارد. برخی از پارامترهای بیوشیمیایی دارای تغییرات فصلی نبوده که می‌تواند به علت پایداری شدن آنها توسط کلئیدهای خاک باشد (۲۱). فاز معدنی خاک نقش مهمی در تحرک، انتقال و پایداری این خصوصیات داشته و آنها به مدت چندین سال در حتی نمونه‌های هواخشک پایدار

و تراکم آبره‌ها ۲ است. میانگین بارش سالانه طولانی‌مدت (۲۰۰۳-۱۹۷۵) منطقه ۴۶۰ میلی‌متر می‌باشد. ارتفاع حداقل، حداکثر و ارتفاع متوسط وزنی به ترتیب برابر با ۱۶۹۰، ۳۰۳۸ و ۱۸۷۵ متر است.

نمونه‌برداری

در حوزه آبخیز زیدشت به منظور نمونه‌برداری از منابع رسوب تعداد ۱۱ نمونه از خاک سطحی فرسایش یافته (۵-۰ سانتی‌متر) و واحد کاری کشاورزی- فرسایش سطحی، تعداد ۱۱ نمونه از واحد مرتع- فرسایش سطحی و ۷ نمونه از واحد کاری دیم- فرسایش سطحی جمع‌آوری گردید (شکل ۱). به منظور اطمینان از اینکه نمونه‌های جمع‌آوری شده نماینده نمونه همگن از مواد فرسایش یافته منابع رسوب باشد، نمونه، مخلوطی از ۵ نمونه است که از مساحت ۱۰۰ مترمربع برداشت و از ترکیب آنها یک نمونه تهیه گردید. هم‌چنین تعداد ۱۳ نمونه مرکب از کناره‌های در حال فرسایش از واحد کاری مرتع- فرسایش آبراه‌های برداشت شد. این نمونه نیز از مخلوط ۵ زیرنمونه در مجاورت نقطه نمونه‌برداری تهیه شد. در نمونه‌برداری سعی شد تا تغییرات مکانی نمونه‌برداری به گونه‌ای باشد که تغییرات واحد کاری مانند شیب و جهت را منظور نماید. در این حوضه تعداد ۱۴ نمونه رسوب از نهشته‌های جدید محل تلاقی آبراه‌ها و انتهای زیرحوضه‌ها جمع‌آوری شد. تمامی نمونه‌های رسوب مخلوطی از ۷ زیرنمونه در مجاورت نقطه نمونه‌برداری بود تا نماینده همگنی از نمونه‌ها باشد.

تعیین فعالیت آنزیمی نمونه‌ها

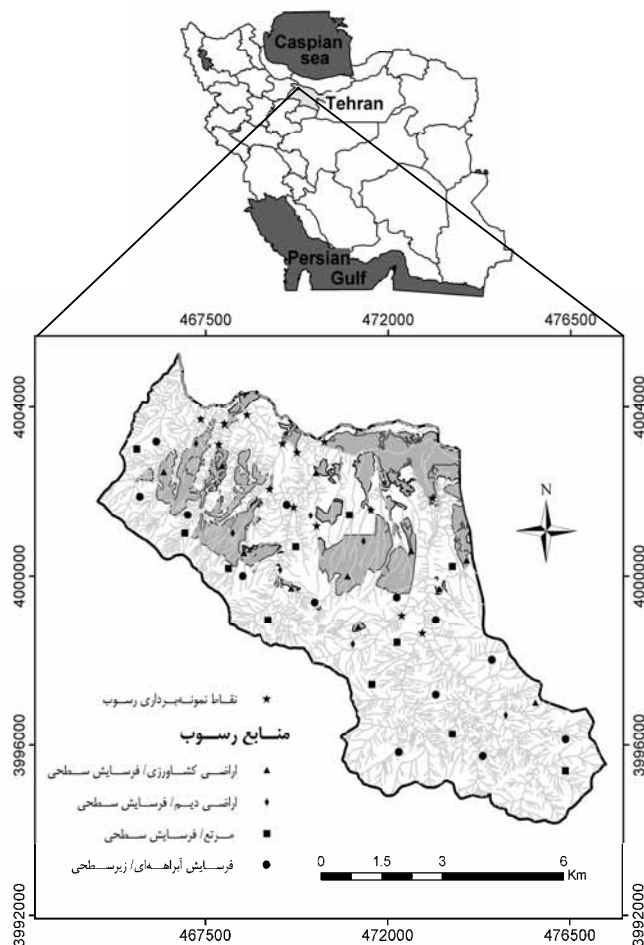
فعالیت‌های آنزیمی اوره‌آز، دهیدروژناز، آلکالین فسفاتاز و بتا گلوکزیداز (پارامترهای بیوشیمیایی) نمونه‌های خاک و رسوب از روش استاندارد طباطبایی (۱۹) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم اوره‌آز ابتدا ۵ گرم خاک با ۰/۲ میلی‌لیتر تولوئن تیمار و پس از افزودن ۹ میلی‌لیتر بافر تریس (تریس هیدروکسی متیل آمینومتان، pH=۹) و یک میلی‌لیتر

هستند (۲۰). با توجه به حساسیت فعالیت آنزیمی خاک به تغییرات محیطی مانند کاربری اراضی و تنش‌های محیطی مانند فرسایش خاک، شناخت ویژگی‌های فعالیت آنزیمی خاک و رسوب به عنوان ردیاب‌های بیوشیمیایی موجب بهبود مدل‌ها برای بررسی منشأیابی منابع رسوب می‌شود. بنابراین کاربرد فعالیت آنزیم‌های خاک به عنوان ردیاب جهت بررسی پدیده فرسایش می‌تواند یک ابزار تحقیقاتی مهم در منشأیابی منابع رسوب باشد. بدین ترتیب با توجه به کمبود مطالعات منشأیابی در ایران و هم‌چنین عدم استفاده از ردیاب‌های بیوشیمیایی در منشأیابی منابع رسوب در دنیا علی‌رغم حساسیت بسیار بالای آن به تغییرات محیطی و مدیریت منابع اراضی، هدف از این مطالعه بررسی کارایی فعالیت آنزیمی خاک به عنوان ردیاب بیوشیمیایی در جداسازی منابع رسوب و منشأیابی و تعیین سهم نسبی منابع رسوب در حوزه آبخیز زیدشت است.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه زیدشت از حوزه‌های آبخیز طالقان در موقعیت جغرافیایی $36^{\circ} 37' 46''$ و $50^{\circ} 44' 56''$ طول شرقی و $36^{\circ} 5' 35''$ و $46' 11' 36''$ عرض شمالی در ارتفاعات جنوبی البرز مرکزی و در ۹۰ کیلومتری شمال غرب تهران واقع شده است (شکل ۱). رودخانه طالقان که زه‌کش حوزه آبخیز طالقان است، از ارتفاعات عسلک سرچشمه گرفته و پس از اتصال چندین شاخه کوچک سرچشمه گرفته از زیرحوضه‌های مختلف از جمله زیدشت، از طرفین به سد مخزنی طالقان جریان می‌یابد. از نظر چینه‌شناسی از قدیمی‌ترین سازندهای متعلق به پرکامبرین تا جوان‌ترین سازندهای متعلق به کواترنر رخنمون دارند و دارای خصوصیات سنگ‌شناسی متنوعی می‌باشند. گسل‌های مهم منطقه طالقان را گسل‌های طالقان، کندوان، هرنج و حسنجون و حيله‌رود تشکیل می‌دهند. مساحت حوضه تقریباً ۶۵ کیلومترمربع است. طولانی‌ترین آبراهه آن به طول تقریبی ۲۱ کیلومتر و میانگین شیب حوضه ۱۹/۳ درصد



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز زیدشت و سایت‌های نمونه‌برداری رسوب و منابع رسوب

گرمی از این مخلوط تهیه و به هر کدام یک میلی‌لیتر محلول ۳ درصد ماده TTC (۲، ۳، ۵ تری فنیل تترازولیوم کلرید) و آنگاه ۲/۵ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت انکوباسیون گردید. پس از انکوباسیون ۱۰ میلی‌لیتر متانول افزوده و سوسپانسیون حاصل به کمک یک قیف شیشه‌ای حاوی پنبه جاذب فیلتر و با افزودن متانول اضافی مواد رنگی حاصل به‌طور کامل به یک بالن ۱۰۰ میلی‌لیتر منتقل و به حجم رسانده شد. ماده قرمز رنگ حاصل TPF (تری فنیل فرمازان) در طول موج ۴۵۸ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر Shimadzu UV-160A سنجش گردید و برحسب $\mu\text{gTPFg}^{-1}\text{h}^{-1}$ محاسبه شد. اندازه‌گیری فعالیت

محلول ۰/۲ مولار اوره، به مدت ۲ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوباسیون گردید، آنگاه ۳۵ میلی‌لیتر محلول $\text{KCl}-\text{Ag}_2\text{SO}_4$ (۲/۵) مولار نسبت به KCl و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به Ag_2SO_4) به آن افزوده شد. مقدار آمونیوم آزاد شده در سوسپانسیون به روش تقطیر با بخار آب تعیین شد. با کم کردن مقدار نیتروژن آمونیومی تیمار شاهد که این تیمار در شروع انکوباسیون اوره دریافت نکرده بود، از تیمار اصلی، فعالیت آنزیم اوره‌آز برحسب $\text{NH}_4 + \text{-N}$ ($\mu\text{g/g.2h}$) محاسبه گردید.

به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم دهیدروژناز ۲۰ گرم خاک با ۰/۲ گرم کربنات کلسیم مخلوط و سه تکرار شش

ردیاب‌ها در منابع رسوب (کاربری اراضی - فرسایش) دارای تفاوت معنی‌داری باشد، وارد مرحله دوم می‌شود. در مرحله دوم، از تحلیل تشخیص توابع چند متغیره گام به گام به منظور انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها از مجموعه ردیاب‌های انتخابی در مرحله اول، استفاده شد. هدف این تجزیه و تحلیل حداکثر نمودن تفکیک بین منابع رسوب با به حداقل رساندن مجموعه بهینه ردیاب‌ها می‌باشد. نرم‌افزار STATISTICA (۱۸) برای اجرای رویه انتخاب گام به گام متغیرها براساس سه روش استاندارد (Standard mode)، پیش‌رونده (Forward mode) و پس‌رونده (Backward mode) مورد استفاده قرار گرفت. برای پی بردن به وجود اختلاف معنی‌دار بین توابع متمایز کننده و اختلاف منابع از آزمون‌های آماری متعددی مانند مقادیر ویژه، همبستگی کانونیک، ویلکس - لامبدا، کای - اسکوئر و مقادیر معنی‌داری p استفاده شد. هم‌چنین آماره فاصله ماهالانوبیس (Mahalanobis)، به عنوان اندازه فاصله بین دو نقطه در فضای تعریف شده توسط دو یا بیشتر متغیر همبسته، به عنوان اطلاعات تکمیلی به منظور ارزیابی توانایی مجموعه متغیرها (ردیاب‌ها) برای تفکیک گروه‌های منابع رسوب مورد استفاده قرار گرفت.

تعیین سهم نسبی منابع رسوب

بخش نهایی عملیات منشأیابی رسوب برآورد سهم نسبی هر یک از منابع بالقوه در نمونه‌های رسوب جمع‌آوری شده در حوزه آبخیز است که با مقایسه ردیاب‌های رسوب و منابع رسوب صورت پذیرفت. این رویکرد با استفاده از مدل ترکیبی چند متغیره کولینز و همکاران (۶) انجام شد. این مدل براساس دو شرط استوار است که مجموع سهم نسبی منابع رسوب برابر یک است و هم‌چنین مقادیر آن بین صفر و یک قرار دارد. به دلیل بیشتر بودن تعداد معادلات نسبت به تعداد متغیرهای مجهول، باید مدل توسط حداقل نمودن تابع تابع هدف با تکرار برازش داده شود. در این تحقیق تابع هدف براساس مجموع مربعات انحراف غلظت‌های پیش‌بینی شده ردیاب از مقادیر اندازه‌گیری شده در نظر گرفته شد.

آنزیم آلکالین فسفاتاز و بتا گلوکوزیداز به ترتیب براساس سوبسترای پارانیتروفیل فسفات و PNG (پارانیتروفیل بتا دی گلوکوزاید) تعیین شد. یک گرم خاک و ۰/۲ میلی‌لیتر تولوئن، ۴ میلی‌لیتر بافر MUB (با pH=۱۱ برای آلکالین فسفاتاز و pH=۶ برای بتا گلوکوزیداز) و یک میلی‌لیتر محلول پارانیتروفیل فسفات (۰/۰۵ مولار (برای آنزیم آلکالین فسفاتاز) و یک میلی‌لیتر محلول PNG ۰/۰۵ مولار (برای آنزیم بتا گلوکوزیداز) به آن افزوده و به مدت یک ساعت در انکوباتور با دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سپس یک میلی‌لیتر کلرور کلسیم نیم مولار و ۴ میلی‌لیتر سود نیم مولار افزوده و سوسپانسیون با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۲۷ صاف و غلظت پارانیتروفیل در عصاره صاف شده در طول موج ۴۰۰ تا ۴۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر Shimadzu UV-160A اندازه‌گیری شد و براساس تیمار شاهد، فعالیت آنزیم فسفاتاز و بتا گلوکوزیداز برحسب میلی‌گرم پارانیتروفیل آزاد شده در هر گرم خاک در ساعت ($\text{mgPNPg}^{-1}\text{h}^{-1}$) محاسبه شد.

تفکیک منابع رسوب

لازمه اجرای منشأیابی رسوب تعیین ترکیب بهینه از ردیاب‌ها یا مجموعه‌ای از خصوصیات مواد منابع رسوب است که توانایی و قدرت تشخیص و تفکیک منابع بالقوه رسوب را داشته باشد. در این بخش قابلیت و هم‌چنین ترکیب بهینه ردیاب‌ها در جداسازی منابع رسوب (که شرط اساسی منشأیابی رسوب است) مورد آزمون قرار می‌گیرد. در این مطالعه، ردیاب‌های بیوشیمیایی شامل: آنزیم اوره‌آز، آنزیم دهیدروژناز، آلکالین فسفاتاز و بتاگلوکوزیداز در قالب یک روش آماری دو مرحله‌ای که توسط کولینز و والینگ (۴) و والینگ (۲۳) ارایه شده است، برای انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها برای تفکیک منابع رسوب به‌کار گرفته شد. در مرحله اول، آماره H یا کروسکال - والیس (Kruskal-Wallis) در آزمون ناپارامتری برای تعیین ردیاب‌هایی که قادر به جداسازی و تفکیک منابع رسوب بودند استفاده شد. به عبارت دیگر چنانچه میانگین غلظت هر یک از

و بدین ترتیب پارامترهای تشخیصی قابل اعتمادی برای تکنیک منشأیابی می‌باشند. نتایج توابع تفکیک حاصل از تحلیل توابع تشخیص با استفاده از ردیاب‌های بیوشیمیایی براساس سه روش استاندارد، پیش‌رونده و پس‌رونده در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد در روش استاندارد هر چهار ردیاب مورد استفاده به عنوان متغیر با تأیید ۹۰/۵ درصدی تفکیک منابع رسوب و در روش پیش‌رونده ۳ ردیاب با درصد صحت کلی طبقه‌بندی ۹۰/۵ درصد وارد مدل شده‌اند. درحالی‌که روش پس‌رونده تنها ۲ ردیاب با تأیید بیش از ۹۲ درصد تفکیک منابع رسوب، ردیاب‌های اوره‌آز و دهیدروژناز را به عنوان ترکیب بهینه از ردیاب‌های بیوشیمیایی که قادر به جداسازی منابع رسوب در حوضه زیدشت هستند، انتخاب نموده است.

نتایج برخی از آماره‌های آزمون توابع تشخیص مانند مقادیر ویژه، همبستگی کانونیک، Wilks' Lambda، کای اسکوئر و سطح معنی‌داری در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به نتایج و سطح معنی‌داری روش پس‌رونده با تعداد ۲ ردیاب بهترین مقادیر آماره‌ها را به خود اختصاص داده است. مقادیر ویژه نسبت اهمیت ابعادی طبقه‌بندی نمونه‌های متغیر وابسته را منعکس می‌نماید. همبستگی کانونیک میزانی از ارتباط بین گروه‌های متغیرهای وابسته و توابع متمایز شده را بیان می‌کند. مقادیر نزدیک به یک همبستگی قوی بین گروه‌ها و توابع را نشان می‌دهد. آزمون آماری ویلکس-لامبدا یکی از آزمون‌های مورد استفاده است که مقدار معنی‌داری توابع تفکیک را نشان می‌دهد. این آماره بخشی از واریانس کل است که توسط تفاوت بین گروه‌ها توجیه نشده است و بین مقادیر ۰ و ۱ است. مقادیر نزدیک به صفر معنی‌داری تفاوت بین منابع را نشان می‌دهد. هم‌چنین مقادیر معنی‌داری کمتر از ۰/۱ بیان‌کننده تفاوت میانگین گروه‌های تفکیک شده توسط آزمون است (۱۰). بدین ترتیب نتایج تحلیل تشخیص نشان داد که ۲ ردیاب نام‌برده شده معنی‌دارترین ردیاب‌ها در تفکیک و جداسازی چهار منبع رسوب براساس ردیاب‌های بیوشیمیایی در حوضه زیدشت می‌باشند. به منظور ارزیابی الگوهای مختلف تغییرات

$$R = \sum_{i=1}^m \left\{ \frac{\left(Y_i - \left(\sum_{s=1}^n P_s a_{is} Z_s \right) \right)^2}{Y_i} \right\} \times W_i \quad [1]$$

که Y_i غلظت ردیاب i در نمونه رسوب؛ a_{is} غلظت ردیاب i در منبع s ؛ P_s سهم نسبی از منبع s (متغیر مجهول که در مدل تعیین می‌شود)؛ Z_s فاکتور تصحیح اندازه ذرات (نسبت سطح ویژه هر یک از نمونه‌های رسوب به متوسط سطح ویژه نمونه‌های خاک هر یک از منابع رسوب) و W_i ضریب وزنی ویژه هر یک از ردیاب‌ها است. ردیاب‌هایی که دقت اندازه‌گیری آنها بالاست تأثیر بیشتری در برآورد مدل‌های ترکیبی چند متغیره خواهند داشت (۶). محاسبه این ضریب براساس تکرارهای انجام شده میزان ردیاب در نمونه‌ها در اندازه‌گیری با ابزار آزمایشگاهی انجام می‌شود. ضریب ویژه وزنی ردیاب، براساس عکس انحراف معیار هر ردیاب تقسیم بر مجموع عکس انحراف ردیاب‌های هر منبع رسوب، محاسبه شد (۱۷). مدل ترکیبی با استفاده از برنامه‌نویسی در برنامه Matlab اجرا و نتایج به صورت درصد گزارش شد، که بیانگر سهم نسبی هر یک از منابع رسوب در تولید رسوب است.

نتایج

نتایج آزمون آماری کروسکال-والیس در بررسی توان ردیاب‌های بیوشیمیایی در جداسازی واحدهای کاری شامل مرتع- فرسایش سطحی، اراضی کشاورزی- فرسایش سطحی، اراضی دیم- فرسایش سطحی و مرتع- فرسایش آبراه‌ای (فرسایش زیرسطحی) در حوزه آبخیز زیدشت در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به نتایج، تمام ردیاب‌های بیوشیمیایی دارای قدرت تفکیک و جداسازی واحدهای کاری در این حوضه می‌باشند. بدین ترتیب هر ۴ ردیاب وارد مرحله دوم یعنی آزمون تحلیل توابع تشخیص شدند. این نتایج اثبات می‌نماید که فعالیت‌های آنزیمی تحت کاربری اراضی و فرسایش خاک دارای تفاوت معنی‌داری بین منابع رسوب است

جدول ۱. نتایج آزمون کروسکال-والیس در بررسی توان ردیابهای بیوشیمیایی در جداسازی منابع رسوب

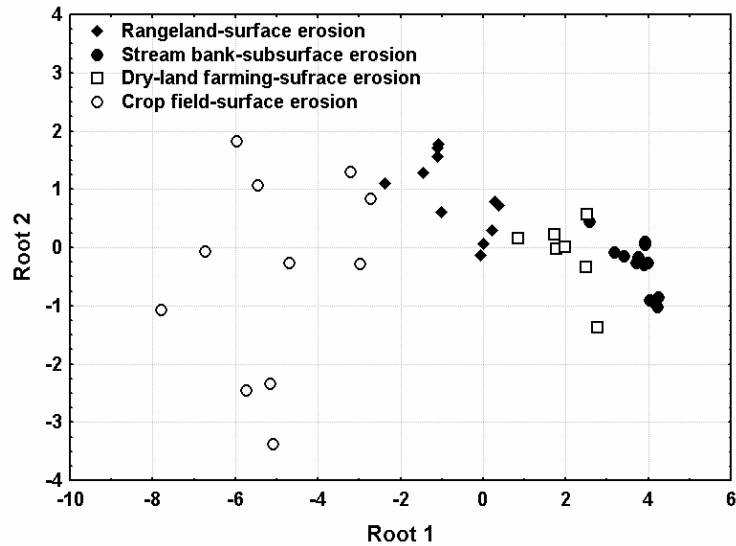
سطح معنی داری	آماره H	ردیاب بیوشیمیایی
کمتر از ۰/۰۰۰۱	۳۷/۸	اوره آز ($\text{g}^{-1} \text{h}^{-1} \text{dry soil } \text{NH}_4^+ - \text{N } \mu\text{g}$)
کمتر از ۰/۰۰۰۱	۳۵/۵	آلکالین فسفاتاز ($\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{h}^{-1} \text{dry soil}$)
کمتر از ۰/۰۰۰۱	۳۷/۶	بناگلوکوزیداز ($\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{h}^{-1} \text{dry soil}$)
کمتر از ۰/۰۰۰۱	۳۶/۹	دهیدروژناز ($\mu\text{g TPF g}^{-1} \text{h}^{-1} \text{dry soil}$)

جدول ۲. صحت طبقه بندی منابع رسوب بر اساس ردیابهای بیوشیمیایی مورد استفاده در تحلیل توابع تشخیص

نمونه های تایید شده توسط تحلیل تشخیص				درصد صحت طبقه بندی	منابع رسوب
اراضی دیم	فرسایش آبراهه ای	اراضی کشاورزی	اراضی مرتع		
روش استاندارد					
۰	۰	۰	۱۱	۱۰۰/۰	مرتع-فرسایش سطحی
۰	۰	۱۰	۱	۹۰/۹	اراضی کشاورزی-فرسایش سطحی
۱	۱۲	۰	۰	۹۲/۳	مرتع-فرسایش آبراهه ای
۵	۲	۰	۰	۷۱/۴	اراضی دیم-فرسایش سطحی
۶	۱۴	۱۰	۱۲	۹۰/۵	مجموع
روش پیش رونده					
۰	۰	۰	۱۱	۱۰۰/۰	مرتع-فرسایش سطحی
۰	۰	۹	۲	۸۱/۸	اراضی کشاورزی-فرسایش سطحی
۱	۱۲	۰	۰	۹۲/۳	مرتع-فرسایش آبراهه ای
۶	۱	۰	۰	۸۵/۷	اراضی دیم-فرسایش سطحی
۷	۱۳	۹	۱۳	۹۰/۵	مجموع
روش پس رونده					
۰	۰	۰	۱۱	۱۰۰/۰	مرتع-فرسایش سطحی
۰	۰	۱۰	۱	۹۰/۹	اراضی کشاورزی-فرسایش سطحی
۱	۱۲	۰	۰	۹۲/۳	مرتع-فرسایش آبراهه ای
۶	۱	۰	۰	۸۵/۷	اراضی دیم-فرسایش سطحی
۷	۱۳	۱۰	۱۲	۹۲/۹	مجموع

جدول ۳. آزمون های کای اسکوتر برای توابع حاصل از روش های تحلیل تشخیص سه منبع رسوب بر اساس ردیابهای بیوشیمیایی

سطح معنی داری	کای اسکوتر	Wilks' Lambda	همبستگی کانونیک	مقدار ویژه	تابع	روش تحلیل تشخیص
کمتر از ۰/۰۰۰۱	۱۱۲/۱	۰/۰	۱/۰	۱۳/۵	۱	روش استاندارد
کمتر از ۰/۰۰۰۱	۱۳/۱	۰/۷	۰/۵	۰/۴	۲	
کمتر از ۰/۰۰۰۱	۱۱۱/۵	۰/۱	۱/۰	۱۳/۱	۱	روش پیش رونده
کمتر از ۰/۰۰۰۱	۱۲/۲	۰/۷	۰/۵	۰/۴	۲	
کمتر از ۰/۰۰۰۱	۱۱۱/۲	۰/۱	۱/۰	۱۳/۱	۱	روش پس رونده
کمتر از ۰/۰۰۰۱	۱۰/۷	۰/۷	۰/۵	۰/۴	۲	



شکل ۲. نمودار پراکنش توابع تحلیل تشخیص براساس ترکیب بهینه ردیاب‌های بیوشیمیایی

بحث

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که آنزیم‌های خاک ابزاری مطمئن در منشأیابی رسوب است. آنزیم‌ها منابع رسوب را به صورت مطمئن از همدیگر تفکیک نمود. این جداسازی می‌تواند به دلیل کاربرد حاصل‌خیزکننده‌ها و عملیات‌های مدیریتی با افزایش مواد آلی خاک باشد که تأثیر مهمی بر آنزیم‌های خاک دارد. هم‌چنین در فرسایش کناره‌ای با افزایش عمق میزان مواد آلی کاهش یافته و بنابراین میزان فعالیت آنزیمی خاک نیز کاهش می‌یابد. بدین ترتیب نتایج نشان داد میزان آنزیم‌ها به‌طور معنی‌داری در فرسایش کناره‌ای کمتر از منابع دیگر رسوب می‌باشد. آنزیم‌ها در اثر فعالیت میکربی تولید می‌گردد که تحت تأثیر تغییرات زمانی می‌باشد. با وجود این، چندین مطالعه اخیر نشان دادند که فعالیت آنزیم‌ها اغلب در محیط خاک پایدار است (۱۳، ۲۰، ۲۱). هم‌چنین جذب آنزیم‌ها بر ذرات رس یا مواد آلی و معدنی نه تنها بر تحرک و پایداری آنزیم‌ها (۲۱) بلکه بر جدایش و انتقال آنها توسط آب در فرآیند فرسایش تأثیر می‌گذارد، به‌طوری‌که مواد آلی خاک از آنزیم‌ها در برابر تخریب میکربی حفاظت می‌نماید. مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که فعالیت آنزیمی به‌طور معنی‌داری با مواد آلی در

مکانی چهار منبع رسوب، نمودار پراکنش توابع اول و دوم محاسبه شده توسط روش پس‌رونده تحلیل توابع تشخیص و براساس ترکیب بهینه ۲ ردیاب بیوشیمیایی اوره‌آز و دهیدروژناز ترسیم شد (شکل ۲). نتایج اثبات می‌نماید که هر چهار منبع رسوب براساس ۲ ردیاب اوره‌آز و دهیدروژناز به خوبی تفکیک شده و فرض اساسی منشأیابی در مورد این منابع رسوب صدق می‌نماید. با حل معادله مدل ترکیبی از طریق به حداقل رساندن معادله مدل ترکیبی برای هر یک از نمونه‌های رسوب و میانگین‌گیری از مقادیر به‌دست آمده، سهم هر یک از واحدهای کاری در تولید رسوب حوضه زیدشت به‌دست آمد. نتایج نشان داد میانگین سهم نسبی (خطای استاندارد \pm میانگین) از واحدهای کاری مرتع- فرسایش سطحی، اراضی کشاورزی- فرسایش سطحی، مرتع- فرسایش آبراهه‌ای و اراضی دیم- فرسایش سطحی به ترتیب برابر با مقادیر $۱۱/۳ \pm ۵/۳$ ، $۸/۱ \pm ۳/۸$ ، $۸/۱ \pm ۸/۵$ و $۳/۶ \pm ۲/۵$ درصد می‌باشد. در نتیجه فرسایش آبراهه‌ای در این حوضه بیشترین سهم رسوب را به خود اختصاص داده است، که با مطالعات اخیر مانند اسمیت و دراگوویچ (۱۷) و کولینز و والینگ (۵) که با از استفاده از ردیاب‌های دیگر براساس روش منشأیابی رسوب صورت گرفته، مطابقت دارد.

محسوب می‌شود و توسعه کاربردی این ردیاب‌ها گام مهمی در مطالعات فرسایش و رسوب در آینده خواهد بود.

نتیجه‌گیری

منشأیابی رسوب با استفاده از ردیاب‌های بیوشیمیایی به‌طورکلی می‌تواند باعث تحول و ارتقای تکنیک منشأیابی گشته و گام مهمی برای ایجاد ابزاری نوین برای تکمیل تکنیک منشأیابی در آینده باشد. باید توجه نمود علی‌رغم شناخت امکان و توانایی ردیاب‌های نوین در مطالعات منشأیابی رسوب، عامل‌های دیگر نیز با پارامترهای بیوشیمیایی خاک مرتبط است که ممکن است ترکیب مواد آلی خاک را تغییر دهد. بنابراین شناسایی و تعیین فاکتورهایی که تغییرات خصوصیات بیوشیمیایی را در سطح منابع خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد، بسیار مهم است.

خاک سطحی و پروفیل خاک همبستگی دارند (۳). بنابراین آنزیم‌ها در شبکه‌ای از کمپلکس‌های آلی- معدنی قرار دارد (۲۰) که می‌تواند در مدت طولانی پایداری خود را حفظ نماید. حمل و انتقال آنزیم‌ها در قالب کمپلکس‌ها و ترکیبات با ذرات ریزدانه خاک مانند رس و مواد آلی است که در طول فرآیندها فرسایش کمتر دچار تغییر در غلظت شده و تأثیر این فرآیندها در منبع رسوب و محل رسوب‌گذاری تقریباً همسان خواهد بود. هم‌چنین با توجه به اثبات کارایی عناصر مؤثر در تشکیل آنزیم‌ها مانند کربن آلی، فسفر و نیتروژن به عنوان منشأیاب رسوب در مطالعات پیشین و هم‌چنین مطالعه نسبت کربن به نیتروژن و توزیع مکانی ردیاب‌های بیوژئوشیمیایی در منشأیابی رسوب توسط فاکس و پاپانیوکولا (۷)، می‌توان نتیجه گرفت کاربرد ردیاب‌های بیوشیمیایی ابزاری مهم در منشأیابی رسوب

منابع مورد استفاده

۱. احمدی، ح. ۱۳۷۸. ژئومرفولوژی کاربردی. جلد اول، فرسایش آبی، انتشارات دانشگاه تهران.
2. Blake, W.H., P.J. Wallbrink, S.N. Wilkinson, G.S. Humphreys, S.H. Doerr, R.A. Shakesby and K.M. Tomkins. 2009. Deriving hillslope sediment budgets in wildfire-affected forests using fallout radionuclide tracers. *Geomorphology* 104 (3-4): 105-116.
3. Chaer G. M., Myrold D. D. and Bottomley P. J. 2009, A soil quality index based on the equilibrium between soil organic matter and biochemical properties of undisturbed coniferous forest soils of the Pacific Northwest. *Soil Biol. & Biochem.* 41: 822-830.
4. Collins, A.L. and D.E. Walling. 2002. Selecting fingerprint properties for discriminating potential suspended sediment sources in river basins. *J. Hydrol.* 261(1-4): 218-244.
5. Collins, A.L. and D.E. Walling. 2007. Sources of fine sediment recovered from the channel bed of lowland groundwater-fed catchments in the UK. *Geomorphology* 88(1-2): 120-138.
6. Collins, A.L., D.E. Walling and G.J.L. Leeks. 1997. Source type ascription for fluvial suspended sediment based on a quantitative composite fingerprinting technique. *CATENA* 29(1): 1-27.
7. Foster, I.D.L. and J.A. Lees. 2000. Tracers in Geomorphology: theory and applications in tracing fine particulate sediments. PP: 3-20. *In: I.D.L. Foster. (Ed.), Tracers in Geomorphology.* Chichester Wiley, John Wiley, Chichester, UK.
8. Fox, J.F. and A.N. Papanicolaou. 2008. Application of the spatial distribution of nitrogen stable isotopes for sediment tracing at the watershed scale. *J. Hydrol.* 358(1-2): 46-55.
9. Gruszowski, K.E., I.D.L. Foster, J.A. Lees and S.M. Charlesworth. 2003. Sediment sources and transport pathways in a rural catchment, Herefordshire, UK. *Hydrol. Proc.* 17: 2665-2681.
10. Härdle, W. and L. Simar. 2007. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 2nd ed., Springer-Verlag Pub., Berlin, Heidelberg.
11. Haregeweyn, N., J. Poesen, J. Nyssen, J. De Wit, M. Haile, M., G. Govers and S. Deckers. 2006. Reservoirs in Tigray (Northern Ethiopia): characteristics and sediment deposition problems. *Land Degradation and Development* 17(2): 211-230.
12. Hatfield, R.G. and B.A. Maher. 2009. Fingerprinting upland sediment sources: particle size-specific magnetic linkages between soils, lake sediments and suspended sediments. *Earth Surface Proc. and Landforms* 34: 1359-1373.

13. Nannipieri P., Kandeler E. and Ruggiero P. 2002. Enzyme activities and microbiological and biochemical processes in soil. PP: 1-33. *In*: Burns R. G. and Dick R. P. (Eds.), *Enzymes in the Environment: Activity, Ecology and Applications*. Marcel Dekker Inc., New York.
14. Naseby D. C. and Lynch J. M. 2002. Enzymes and microorganisms in the rhizosphere. PP: 109-123. *In*: Burns R. G. and Dick R. P. (Eds.), *Enzymes in the Environment: Activity, Ecology and Applications*. Marcel Dekker Inc., New York.
15. Poulenard, J., Y. Perrette, B. Fanget, P. Quetin, D. Trevisan and J.M. Dorioz. 2009. Infrared spectroscopy tracing of sediment sources in a small rural watershed (French Alps). *Sci. Total Environ.* 407(8): 2808-2819.
16. Sharifi, F. and S.A. Heydarian. 1999. On the land and water resources management (LWR) strategies in Iran. PP: 237-255. *In*: N. Talebbeydokhti, A. Telvari and S.A. Heydarian (Eds.) *The Regional Workshop on Traditional Water Harvesting System*. Tehran, Iran.
17. Smith, H.G. and D. Dragovich. 2008. Improving precision in sediment source and erosion process distinction in an upland catchment, south-eastern Australia. *CATENA* 72(1): 191-203.
18. StatSoft, Inc. 2001. STATISTICA: [data analysis software system], Version 6.0 for Windows update. StatSoft, Inc.
19. Tabatabai, M.A. 1994. Soil enzymes. PP: 775-833. *In*: R.W. Weaver, J.S. Angle and P.J. Bottomley (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2, Microbiological and Biochemical Properties*. SSSA, Madison.
20. Tabatabai, M.A. and W.A. Dick. 2002. Enzymes in soil research and developments in measuring activities. PP: 567-596. *In*: R.G. Burns and R.P. Dick (Eds.), *Enzymes in the Environment: Activity, Ecology and Applications*. Marcel Dekker Inc., New York.
21. Tate III A.L. 2002. Microbiology and enzymology of carbon and nitrogen cycling. PP: 227-248. *In*: R.G. Burns and R.P. Dick (Eds.), *Enzymes in the Environment: Activity, Ecology and Applications*. Marcel Dekker Inc., New York.
22. Verstraeten, G. and J. Poesen. 1999. The nature of small-scale flooding, muddy floods and retention pond sedimentation in central Belgium. *Geomorphology* 29: 275-292.
23. Walling, D.E. 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. *Sci. Total Environ.* 344(1-3): 159-184.
24. WCD, 2000. *Dams and Development. A new framework for decision making*. Earthscan Pub. Ltd., London, 356 p.
25. Zhang, Q., T. Lei and J. Zhao. 2008. Estimation of the detachment rate in eroding rills in lume experiments using an REE tracing method. *Geoderma* 147(1-2): 8-15.
26. Zornoza, R., J. Mataix-Solera, C. Guerrero, V. Arcenegui, F. García-Orenes, J. Mataix-Beneyto and A. Morugán. 2007. Evaluation of soil quality using multiple lineal regression based on physical, chemical and biochemical properties *Sci. Total Environ.* 378: 233-237.

Sediment Sources Fingerprinting: Relation between Enzyme Activities in Soil and Sediment

K. Nosrati^{1*}, H. Ahmadi² and F. Sharifi³

(Received : Nov. 13-2010 ; Accepted : Dec. 19-2011)

Abstract

Sediment sources fingerprinting is needed as an autonomous tool for erosion prediction, validation of soil erosion models, monitoring of sediment budget and consequently for selecting soil conservation practices and sediment control methods at the catchment scale. Apportioning of eroded-soil into multiple sources using natural tracers is an integrated approach in soil erosion and sediment studies. The objectives of this study, as a first work, are to assess spatial variations of biochemical tracers and their validation in discriminating sediment sources under different land uses and water erosions at catchment scale and to apply them as fingerprints to determine relative contributions of sediment sources in Zidasht catchment, Iran. In view of this, 4 enzyme activities as biochemical tracers were measured in 42 different sampling sites from four sediment sources and 14 sediment samples. The results of discriminant function analysis (DFA) provided an optimum composite of two tracers, i.e. urease and dehydrogenase that afforded more than 92% correct assignments in discriminating between the sediment sources in the study area. Sediment source fingerprinting model was used based on optimum composite of two tracers resulting from DFA to explore the contributions of sediment from the four sources. The results showed that the relative contributions from rangeland/surface erosion, crop field/surface erosion, stream bank and dry-land farming/surface erosion sources were 11.3 ± 5.3 , 8.1 ± 3.8 , 75 ± 8.5 and 3.6 ± 2.5 , respectively. Therefore, we can conclude that fingerprinting using biochemical tracers may help develop sediment fingerprinting models and as a first step facilitate a more complete tool for fingerprinting approach in the future.

Keywords: Sediment fingerprinting, Biochemical tracers, Mixing model, Zidasht catchment

-
1. Assistant Prof., Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
 2. Full Prof., Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
 3. Assistant Prof. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran.
- *: Corresponding Author, Email: k_nosrati@sbu.ac.ir