تعیین نقش اشکال فرسایش سطحی و زیرسطحی در منشاء رسوبات معلق و کف آبراهه در مقیاس حوزه آبخیز

کاظم نصرتی[1*]، فروزان احمدی[2]، علی اکبر نظری سامانی[3]

1-استادیار دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی

2- دانش‌آموخته رشته جغرافیای طبیعی- ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی

3- استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: 1391/8/15

تأیید نهایی مقاله: 12 /1392/8

چکیده

شناسایی منابع رسوب یکی از پارامترهای مهم در انتخاب روش مناسب حفاظت خاک و کنترل فرسایش می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از تکنیک منشایابی رسوبات، سهم هر یک از منابع رسوب براساس فرسایش سطحی و زیرسطحی در حوضه طالقانی شهرستان خرم‌آباد تعیین گردید. به این منظور، 44 نمونه خاک از منابع مختلف رسوب مشتمل بر فرسایش سطحی و زیرسطحی، و همچنین 19 نمونه از رسوب تولیدی حوضه شامل 11 نمونه از رسوبات کف بستر و هشت نمونه از رسوب معلق رواناب خروجی حوضه، برداشت شد. به منظور منشایابی رسوب تولیدی حوضه و تعیین سهم هر یک از منابع، 11 ردیاب شامل آهن (Fe)، روی (Zn)، مس (Cu)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na)، کلسیم (Ca)، پتاسیم (K) منگنز (Mn)، کربن آلی (C)، نیتروژن کل (N) و فسفر قابل جذب (P) در نمونه‌های منابع رسوب و رسوب کف و معلق اندازه‌گیری شد. همچنین میزان دقت نتایج نمونه‌های کف بستر و نتایج نمونه‌های رسوب معلق رواناب در تکنیک منشایابی رسوب مورد مقایسه قرار گرفت.با مقایسه ردیاب‌ها در منابع رسوب و تحلیل تابع تشخیص، ردیاب‌های Na و K به عنوان ترکیب بهینه ردیاب‌هادر تفکیک منابع رسوب انتخاب شدند. نتایج مدل‌های چند متغیره ترکیبی نشان داد سهم منابع تولید رسوب براساس فرسایش سطحی و زیرسطحی به ترتیب برابر با 20/6 و 79/4 درصد است. نتایج این تحقیق می تواند در انتخاب مناسب‌ترین روش کنترل فرسایش در منطقه مطالعاتی و تعمیم به مناطق مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: منشایابی رسوب، منابع رسوب، ردیاب‌های شیمیایی، حوضه طالقانی

*- نویسنده مسئول: 29902604 Email: k_nosrati@sbu.ac.ir

مقدمه

فرسایش خاک اثرات منفی بسیاری را به دنبال دارد که به شدت حیات انسانی و زندگی جانوری را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. از جمله این مسائل می‌توان شستشوی مواد رویی، تخریب ساختمان، کاهش نفوذپذیری، کاهش بهره دهی خاک، پر شدن حجم مفید مخازن آبی به وسیله گل و لای، افزایش خطر سیل و به خطر افتادن زندگی حیوانات و آبزیان به دلیل کم شدن مواد غذایی و آلوده شدن آبها اشاره کرد. جبران خاک فرسایش یافته، برای طبیعتبسیار دشوار و طولانی است. این مسئله به کارگیری مدیریت و استراتژی بهتر و قوی تری برای حفظ و نگهداری خاک و همچنین جلوگیری از فرسایش ایجاب می‌کند. برای این منظور، باید مکان‌هایی که در معرض خطر و فرسایش بیشتری هستند، شناسایی و سپس با مشخص کردن عوامل موثر در فرسایش مدیریت بهتری را در مورد خاک اعمال نمود. انواع منابع رسوب را می‌توان به دو دسته فرسایش سطحی یا دامنه‌ای و زیرسطحی طبقه‌بندی نمود که به ترتیب لایه سطحی و عمقی خاک (از طریق فرسایش دیواره آبراهه‌ها) تحت تاثیر فرآیند فرسایش قرار می‌گیرند و این طبقه‌بندی بستگی به فرآیند فرسایش‌دهندگی خاک در منطقه مورد مطالعه دارد (کولینز و والینگ، 2007).

برای شناخت منابع رسوب، روش‌ها و تکنیک‌های مختلفی وجود دارد. کارایی روش منشایابی رسوب به عنوان روشی موثر برای تعیین منابع رسوب در طول دو دهه گذشته به اثبات رسیده است، این تکنیک در حوضه‌های مناطق معتدل و گرمسیری استفاده شده و نتایج موفقیت آمیزی داشته است (پولنارد و همکاران، 2009). در این تکنیک با انجام مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بین منابع رسوب و رسوبات تولیدی در خروجی حوضه می‌توان مناطق پر خطر از نظر تولید رسوب را شناسایی کرد. طیف وسیعی از این ویژگی‌ها از جمله کانی شناسی (حکیم‌خانی، 1385)، خاصیت مغناطیسی (هاتفیلد و ماهر، 2009) رادیونوکلوئیدی (ویلکینسون و همکاران، 2009)، عناصر ژئوشیمیایی (کولینز و والینگ، 2007؛ کولینز و همکاران، 1997)، زیست محیطی (زاپاتا، 2003؛ واناکر و همکاران، 2007)، مواد آلی (کولینز و والینگ، 2007)، اندازه ذرات (والینگو همکاران، 2000؛ بالانتاین و همکاران، 2009)، رنگ رسوبات (کرین و همکاران، 2003)، فعالیت آنزیم‌ها (نصرتی و همکاران، 2011) و ایزوتوپ پایدار (فوکس و پاپاتیکولا، 2008) تاکنون مورد استفاده قرار گرفته است.

در تکنیک منشایابی حوزه‌ی آبخیز را به واحدهایی به عنوان منابع رسوب تقسیم می‌کنند. انتخاب منابع رسوب در حوضه به ویژگی‌های حوضه مربوط می‌شود. از مهمترین طبقه‌بندی‌های انجام گرفته در این زمینه می‌توان به طبقه‌بندی براساس کاربری اراضی (والبرینگ، 2004؛ فوکس و پاپاتیکولا، 2008)، زمین‌شناسی (بالانتاینو همکاران، 2009)، زیرحوضه‌ها (والینگو کولینز، 2008؛ والینگو همکاران، 2008)، فرسایش سطحی و زیر سطحی (کولینز و همکاران، 2009؛ گراسووسکی و همکاران، 2003)، کاربری و فرسایش (نصرتی و همکاران، 2011) و یا ترکیبی از این موارد اشاره نمود.

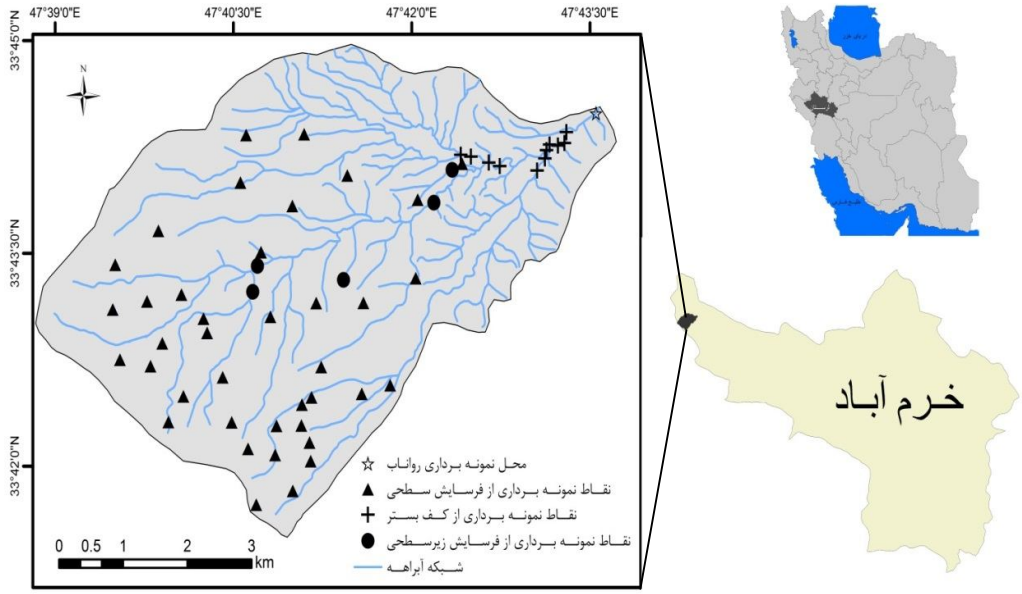
بدین ترتیب با توجه به پیشینه تحقیق روش منشایابی رسوب یکی از روش‌های معتبر در شناخت سهم هر یک از انواع فرسایش در مقیاس حوزه آبخیز می‌باشد. در این مطالعه حوضه طالقانی، خرم‌آباد بر پایه مرفولوژی اشکال

فرسایش به فرآیندهای سطحی (بین شیاری و شیاری) و زیرسطحی (آبراهه‌ای) طبقه بندی شد و برای تعیین سهم هر یک از این واحدها در تولید رسوب، با استفاده از تکنیک منشایابی رسوب مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مطالعاتی

حوضه طالقانی در ´42 °33 الی ´44 °33 شمالی و ´39 °47 الی ´44 °47 شرقی با مساحت بیش از 26 کیلومتر مربع یکی از زیر حوضه های رودخانه کشکان از حوزه آبخیز رودخانه کرخه است در خرم آباد و در 22 کیلومتری شمال کوهدشت، در استان لرستان واقع شده است (شکل 1).



شکل 1: موقعیت منطقه و نقاط نمونه‌برداری منابع رسوب و رسوب

جمع‌آوری نمونه‌ها و تجزیه آزمایشگاهی

در مجموع 44 نمونه از منابع رسوب و 19 نمونه از رسوبات خروجی حوضه جمع‌آوری شد. نمونه‌های خاک منابع در فرسایش سطحی، از عمق 5-0 سانتی‌متری برداشت شد. به منظور این‌که نمونه ها معرف کاملی از محل نمونه برداری شده باشد، در هر یک از محل‌های نمونه برداری در یک شعاع تقریبی 100 متری، حدود 10 نمونه برداشت و پس از مخلوط کردن آنها، حدود یک کیلوگرم نمونه برداشت شد. در نمونه‌برداری از منابع فرسایش زیرسطحی از کناره آبراهه تا عمقی که دارای فرسایش فعال بود،نمونه‌برداری شد. همچنین، در این حوضه، تعداد 19 نمونه از رسوبات خروجی حوضه که شامل 11 نمونه ار کف بستر و هشت نمونه ازرسوبات معلق رواناب منطقه جمع‌آوری شد (شکل1). برای نمونه‌برداری از رواناب در طول هر رخداد بارندگی (در بازه زمانی سال 1390 تا 1391) هر 15 دقیقه یک بار از

رسوبات معلق از نقطه خروجی حوضه نمونه‌برداری شد و در پایان هر رخداد، نمونه‌ها با هم ترکیب و سپس با استفاده از کاغذ صافی نمونه‌ها صاف شدند. با توجه به لحاظ نمودن زمان در نمونه‌برداری از رسوبات معلق تمامی حوضه، نقش یکسان در تولید رسوب خواهد داشت. جدول 1 ویژگی‌های نمونه‌برداری رواناب را نشان می‌دهد.

جدول 1: تاریخ نمونه‌برداری رواناب و پارامترهای آن

نمونه رواناب	تاریخ نمونه‌برداری	میزان بارندگی (mm)	غلظت مواد معلق در رواناب ($g\ L^{-1}$)
1	90/1/17	5/6	13/73
2	90/8/8	17/3	2/32
3	90/8/15	19/4	105/8
4	90/8/16	8/3	9/18
5	91/1/9	8	1/15
6	91/1/11	2/3	8/16
7	91/2/26	6/4	21/3
8	91/1/28	25/4	3/8

با توجه به مطالعات انجام شده قبلی و استدلال‌های موجود، عناصر ژئوشیمیایی آهن (Fe)، روی (Zn)، مس (Cu)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na)، کلسیم (Ca)، پتاسیم (K) منگنز (Mn)، کربن آلی (C)، نیتروژن کل (N) و فسفر قابل جذب (P) به منظور منشایابی 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. بدین ترتیب ترکیب عناصر انتخابی می‌تواند ضمن بیان تفاوت فرسایش سطحی و زیرسطحی، می‌تواند تاثیر مدیریت محیط را نیز مشخص نماید.

برای استخراج عناصر از نمونه‌های خاک و رسوب از روش هضم اسیدی استفاده شد. سه گرم نمونه خشک با قطر کمتر از 63 میکرون درون ظروف هضم ریخته شد و با آب دو بار تقطیر مرطوب شد. 29 میلی‌لیتر محلول اکوآ رجیا (ترکیب اسید کلریدریک غلیظ و اسید نیتریک با نسبت 3 به 1: 21 میلی‌لیتر اسید کلریدریک غلیظ و هفت میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ) به آن اضافه شد و به مدت دو ساعت درون ترمورآکتور قرار داده شد. در نهایت، پس از سرد شدن، نمونه‌ها با کاغذ صافی قطر 0/2 میکرون صاف و درون ظروف نگهداری شد. غلظت عناصر ژئوشیمیایی با استفاده از دستگاه ICP-OES (GBC Integra) و استفاده از نمونه استاندارد مرک و رسم منحنی کالیبراسیون اندازه‌گیری و به واحد میکروگرم بر گرم نمونه خاک گزارش شد. موادآلی به روش والکلی و بلاک (اسکمستاد و بالدوک، 2008).

فسفر قابل جذب با استفاده از اسپکتروفتومتری (والبرینک و همکاران، 2003) و نیتروژن قابل جذب به روش کجلدال (روترفورد و همکاران، 2008) اندازه‌گیری شد.

انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها

پس از اندازه‌گیری غلظت ردیاب‌های انتخابی اولیه در نمونه‌ها، برای انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها دو مرحله آماری کروسکال والیس[1] و تحلیل تشخیص[2] بر روی نمونه‌های منابع رسوب انجام شد. آزمون کروسکال والیس سطح معنی‌داری عناصر را مطرح می‌کند. در این آزمون، عناصری که اختلاف میانگین آنها کمتر از 0/05 باشد، می‌تواند برای مرحله بعد یعنی تحلیل تشخیص استفاده شود. بعد از آزمون کروسکال والیس، تابع تحلیل تشخیص مورد استفاده قرار گرفت. تابع تحلیل تشخیص ضریب توان تفکیک‌پذیری ردیاب‌ها را برآورد می‌کند. در این روش، برای رسیدن به ترکیب بهینه، از الگوریتم انتخاب گام به گام استفاده شده و از عملیات حداقل کردن آماره Wilk's Lambda استفاده شد (نصرتی، 1390؛ نصرتی و همکارن 1391؛ نصرتی و همکاران، 2011؛ کولینز و همکاران، 2010). تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

تعیین سهم هر یک از منابع رسوب در تولید رسوب

با استفاده از ترکیب بهینه ردیاب‌های انتخابی از مرحله تحلیل تشخیص و با توجه به رابطه (1) درصد نسبی هر یک از منابع رسوب محاسبه شد (کولینز و همکاران، 2010).

رابطه (1) $RME = 1 - -\sum C -$ که $(\sum P S Z O SV) / C W$

در آن C غلظت ردیاب در نمونه‌های رسوب، P_s سهم درصدی بهینه شده منابع رسوب، S_{si} میانگین غلظت ردیاب در منابع رسوب، Z ضریب اصلاحی اندازه ذرات در نمونه‌های منابع رسوب، O ضریب اصلاحی موادآلی در منابع رسوب، SV_{si} نماینده وزن تغییرپذیری منابع درون-گروهی از سهم منابع در منابع رسوب، W_i تفاوت ردیاب وزنی، n تعداد ویژگی‌های ردیاب شامل ترکیب بهینه ردیاب، m تعداد منابع رسوب طبقه‌بندی شده است.

نتایج

نتایج آزمون آماری کروسکال در جدول (2) نشان داده شده است، با توجه به این جدول، از 11 عنصر به کار رفته به غیر از دو عنصر Mn و Fe، 9 عنصر دیگر شامل Zn، Cu، K، Na، P، N، C، Ca و Mg دارای سطح معنی‌داری کمتر از 0/05 است و این نه عنصر قادر به تفکیک و جداسازی واحدهای فرسایشی می‌باشند. مقدار آماره H نیز در این عناصر بالاتر است (جدول 2). جدول (3) مراحل مختلف اضافه شدن خصوصیات ردیاب در توابع تشخیص به روش گام به گام و تاثیر آنها بر توان ردیاب‌ها در جداسازی منابع رسوب را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج با اضافه شدن ردیاب دوم مقدار Wilk's Lambda کاهش یافته و سطح معنی‌داری بیشتر شده است و در نتیجه توان جداسازی و تفکیک بین گروه‌ها افزایش یافته است.

1-Kruskall-Wallis
2- Discriminant Analysis

جدول2: سطح معنی‌داری ردیاب‌ها بر اساس منابع رسوب

ردیاب	مقدار H	سطح معنی‌داری	ردیاب	مقدار H	سطح معنی‌داری
*C	8/22	0/004	*Cu	13	<0/0001
*N	9/76	0/002	*Zn	13	<0/0001
*P	11/5	0/001	Fe	2/6	0/11
*Na	17/02	<0/0001	Mn	1/23	0/27
*K	10/96	0/001	*Ca	6/61	0/01
*Mg	13	<0/0001			

*سطح معنی‌داری کمتر از 0/05

نتایج آزمون تابع تحلیل تشخیص در جدول (4) نشان داده شده است. با توجه به این جدول یک تابع بر اساس ویژگی‌های ردیاب‌ها مشخص شده است. درصد واریانس و واریانس تجمعی در این تابع برابر با 100 می‌باشد. در این جدول معنی-داری توابع به وسیله آماره کای مشخص شده است.

جدول3: وضعیت گام‌های مختلف ورود عناصر به مدل

گام	خصوصیات ردیاب	Wilk's Lambda	معنی‌داری
1	Na	0/56	<0/0001
2	K	0/02	0/021

جدول 4: ویژگی تابع تحلیل تشخیص

تابع	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی واریانس	همبستگی کانونی	کای اسکور	سطح معنی-داری
1	69/3	100	100	0/99	159/5	<0/0001

جدول (5) درصد طبقه بندی صحیح در هر گروه و تعداد نمونه‌های درست طبقه‌بندی شده را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول نمونه‌ها در واحدهای فرسایشی (سطحی و زیر سطحی) 100 درصد صحیح طبقه‌بندی شده‌اند. در نتیجه، درصد طبقه‌بندی صحیح به طور کل برابر با 100 می-باشد. همچنین نتایج ارزیابی متقابل تحلیل تشخیص نیز طبقه‌بندی کامل را نشان می‌دهد (جدول 5).

تعیین سهم منابع رسوب در تولید رسوب

جدول (6) سهم هر یک از منابع رسوب را در تولید رسوب نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، سهم فرسایش زیر سطحی 79/4 درصد و فرسایش سطحی 20/6 درصد در تولید رسوب حوضه است. این نتایج نشان می‌دهد که سهم منابع زیر سطحی در تولید رسوب از اهمیت بیشتری برخوردار است. سهم رسوبات تولیدی به دست آمده بر اساس کف بستر و رواناب نیز همین روند را دنبال می‌کند با این تفاوت که نسبت

درصدها با هم اختلاف دارند. سهم هر یک از منابع رسوب در تولید رسوب در شکل (2) به صورت نمودار نشان داده شده است.

جدول 5: درصد طبقه‌بندی صحیح نمونه‌ها

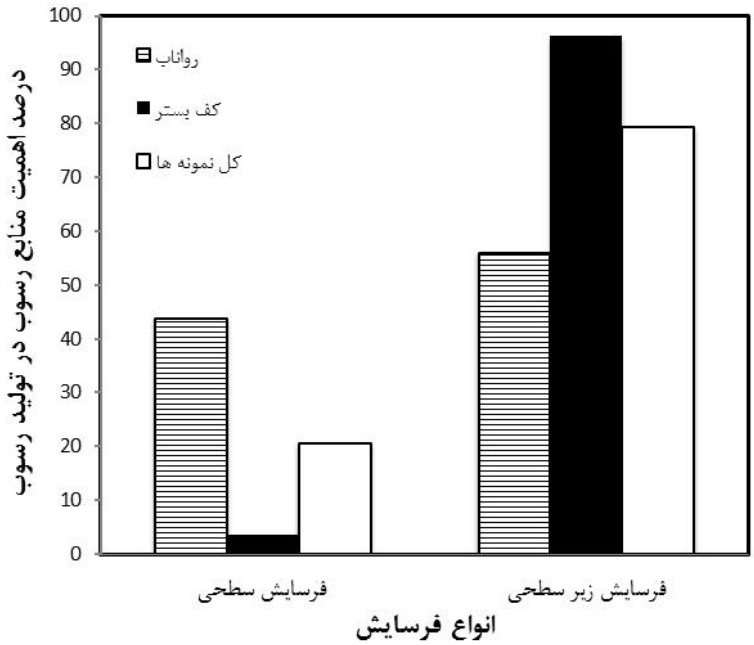
واحدهای فرسایشی			پیش‌بینی عضویت در گروه‌ها		کل نمونه‌ها
			1	2	
نتایج تحلیل	تعداد	1	39	0	39
		2	0	5	5
	درصد	1	100	0	100
		2	0	100	100
نتایج ارزیابی تحلیل	تعداد	1	39	0	39
		2	0	5	5
	درصد	1	100	0	100
		2	0	100	100

جدول6: درصد سهم واحدهای فرسایشی در تولید رسوب

واحدهای فرسایشی	نمونه رسوب		
	رواناب	کف بستر	کل نمونه‌ها
فرسایش سطحی	43/8	3/6	20/6
فرسایش زیرسطحی	56/1	96/3	79/4

مقایسه نتایج نمونه‌های رواناب با نتایج نمونه‌های کف بستر

به منظور بالا بردن دقت کار، در این تحقیق، علاوه بر نمونه‌های کف بستر، نمونه‌های رواناب نیز به عنوان نمونه رسوب برداشت و همچنین سعی شد نتایج هر دو گروه (نمونه‌های کف بستر و نمونه-های رواناب) به صورت جداگانه بررسی شود. با در نظر گرفتن این موضوع که نمونه‌های رواناب از دقت بیشتری برخوردارند، نتایج این نمونه‌ها با نتایجی که براساس نمونه‌های کف بستر به دست آمد، مقایسه شد تا میزان دقت نمونه‌های برداشت شده از کف بستر نیز ارزیابی شود. سهم رسوبات تولیدی به دست آمده بر اساس کف بستر و رواناب یک روند کلی را دنبال می‌کرد با این تفاوت که نسبت درصدها اختلاف زیادی را با هم دارند، به طوری که سهم هر یک از منابع رسوب با توجه به نمونه‌های کف بستر در فرسایش سطحی و زیر سطحی به ترتیب برابر با 3/6 و 96/3 درصد و سهم هر یک از منابع رسوب در تولید رسوب با توجه به نمونه‌های رواناب در فرسایش سطحی و زیر سطحی به ترتیب برابر با 43/8 و 56/1 درصد به دست آمد (جدول 6).



شکل2: نمودار سهم واحدهای فرسایشی در تولید رسوب

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج آزمون کروسکال والیس عناصرZn، Cu، K، Na، P، N، C، Ca و Mgقادر به تفکیک منابع رسوب (سطحی و زیرسطحی) می‌باشند. این نتایج دلیلی است بر تفاوت میزان این عناصر در دو نوع فرسایش که می‌توان نتیجه گرفت این عناصر قابلیت جداسازی این دو نوع فرسایش را دارند. ترکیب بهینه نهایی عناصر که شامل سدیم و پتاسیم است به این معنی است که این دو عنصر که از عناصر غذایی ضروری گیاهان محسوب می‌شوند و با فرسایش می‌تواند از عمق ریشه خارج شده و موجب تفاوت در میزان عناصر در دو نوع فرسایش گردد.

با به دست آوردن ترکیب بهینه و به حداقل رساندن معادله (1)، نتایج این پژوهش نشان داد که فرسایش زیرسطحی در منطقه از اهمیت بیشتری برخوردار است و کناره‌آبراهه به عنوان فرسایش زیرسطحی در تولید رسوب منطقه نقش زیادی دارد. این نتایج با مطالعات کولینز و همکاران (2009) مغایرت و با مطالعات نصرتی و همکاران (2011)، حکیم‌خانی (1389)، گروزوسکی و همکاران (2003) و کارتر و همکاران (2003) مطابقت داشت. نتایج مطالعه کارتر و همکاران (2003) در منشایابی منابع رسوبات معلق نشان داد رسوبات در بازه‌های بالادست رودخانه عمدتا از منابع فرسایش زیرسطحی (آبراهه‌ای) (48-43 درصد)، اراضی بدون کشت و رهاشده (57-16 درصد) و در بازه های پایین دست اراضی تحت کشت (45-20 درصد) است. اسمیت و دراگوویچ (2008) با توسعه مدل و بهبود دقت و کارایی مدل ترکیب منشایابی، منابع رسوب و فرآیندهای فرسایش را در جنوب شرقی استرالیا به منظور تعیین سهم رسوب سطحی و زیرسطحی (آبراهه‌ای) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد 74 درصد رسوبات متعلق به منابع زیرسطحی می‌باشد. با

توجه به اثرات منفی خاک در مسائل زیست محیطی و این‌که این زیر حوضه جزء حوزه آبخیز سد کرخه است و تولید رسوب باعث کم شدن مخزن آبی این سد می‌شود نیاز است در کنترل رسوب این حوضه تصمیمات جدی اتخاذ گردد و همچنین با توجه به متفاوت و معنی‌دار بودن نتایج نمونه‌های مختلف رسوب می‌توان نتیجه گرفت که در به کار گیری تکنیک منشایابی رسوب در نظر گرفتن نمونه‌های رواناب، برای مقایسه منابع رسوب با رسوب تولیدی حوضه نیاز بوده و می‌تواند از دقت بیشتری برخوردار باشد.

منابع

- حکیم‌خانی، ش.، 1385. بررسی استفاده از ردیاب‌ها در منشایابی رسوبات آبی ریزدانه (مطالعه موردی حوزه ایستگاه پخش سیلاب پلدشت). پایان نامه دکتری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

- حکیم خانی، ش.، 1389. ارزیابی اهمیت انواع فرسایش در تولید رسوب (بررسی موردی: حوزه قره آغاج، ماکو). نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره 63 ، ص 13 تا 27.

- نصرتی، ک.، 1390. منشایابی رسوب بر اساس برآورد عدم قطعیت، مجله پژوهش‌های آب ایران، سال پنجم، شماره 9، ص 51 تا 60.

- نصرتی، ک.، احمدی، ح.، و شریفی، ف.، 1391. منشایابی منابع رسوب: ارتباط بین فعالیت‌های آنزیمی خاک و رسوب. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال شانزدهم، شماره 60، ص 227 تا 237.

-Ballantine, D., Walling, D., Collins, A., and Leeks, G., 2009. The content and storage of phosphorus in fine-grained channel bed sediment in contrasting lowland agricultural catchments in the UK. Geoderma, v. 151, p. 141-149.

-Carter, J., Owens, P.N., Walling, D.E., and Leeks, G.J.L., 2003. Fingerprinting suspended sediment sources in a large urban river system. The Science of the Total Environment, v. 314, p. 513-534.

-Collins, A., Anthony, S., Hawley, J., and Turner, T., 2009. The potential impact of projected change in farming by 2015 on the importance of the agricultural sector as a sediment source in England and Wales. Catena,v. 79, p. 243-250.

-Collins, A., and Walling, D., 2007. Sources of fine sediment recovered from the channel bed of lowland groundwater-fed catchments in the UK. Geomorphology, v. 88, p. 120-138.

-Collins, A., Walling, D., and Leeks, G., 1997. Use of the geochemical record preserved in floodplain deposits to reconstruct recent changes in river basin sediment sources. Geomorphology, v. 19, p. 151-167.

-Collins, A., Walling, D., Webb, L., and King, P., 2010. Apportioning catchment scale sediment sources using a modified composite fingerprinting technique incorporating property weightings and prior information. Geoderma,v. 155, p. 249-261.

-Fox, J., and Papanicolaou, A., 2008. Application of the spatial distribution of nitrogen stable isotopes for sediment tracing at the watershed scale. Hydrology,v. 358, p. 46-55.

-Gruszowski, K., Foster, I.D.L., Lees, J., and Charlesworth, S., 2003. Sediment sources and transport pathways in a rural catchment, Herefordshire, UK. Hydrological Processes,v. 17, p. 2665-2681.

Spatial variation of suspended sediment concentrations in a tropical Andean river system: The Paute River, southern Ecuador. Geomorphology, v. 87, p. 53-67.

-Wallbrink, P., Martin, C., and Wilson, C., 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, v. 69, p. 53-68.

-Wallbrink, P.J., 2004. Quantifying the erosion processes and land-uses which dominate fine sediment supply to Moreton Bay, Southeast Queensland, Australia. Journal of environmental radioactivity,v. 76, p. 67-80.

-Walling, D., and Collins, A., 2008. The catchment sediment budget as a management tool. Environmental Science & Policy,v. 11, p. 136-143.

-Walling, D., Collins, A., and Stroud, R., 2008. Tracing suspended sediment and particulate phosphorus sources in catchments. Journal of Hydrology,v. 350, p. 274-289.

-Walling, D.E., Owens, P.N., Waterfall, B.D., Leeks, G.J.L., and Wass, P.D., 2000. The particle size characteristics of fluvial suspended sediment in the Humber and Tweed catchments, UK. The Science of the Total Environment, v. 251, p. 205-222.

-Wilkinson, S., Wallbrink, P., Hancock, G., Blake, W., Shakesby, R., and Doerr, S., 2009. Fallout radionuclide tracers identify a switch in sediment sources and transport-limited sediment yield following wildfire in a eucalypt forest. Geomorphology,v. 110, p. 140-151.

-Zapata, F., 2003. The use of environmental radionuclides as tracers in soil erosion and sedimentation investigations: recent advances and future developments. Soil and Tillage Research,v. 69, p. 3-13.

-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,v. 34, p. 1359-1373.

-Krein, A., Petticrew, E., and Udelhoven, T., 2003. The use of fine sediment fractal dimensions and colour to determine sediment sources in a small watershed. Catena,v. 53, p. 165-179.

-Nosrati, K., Govers, G., Ahmadi, H., Sharifi, F., Amoozegar, M. A., 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,v. 26, p. 136-151.

-Poulenard, J., Perrette, Y., Fanget, B., Quetin, P., Trevisan, D., and Dorioz, J.M., 2009. Infrared spectroscopy tracing of sediment sources in a small rural watershed (French Alps). Science of The Total Environment,v. 407, p. 2808-2819.

-Rutherford, P.M., McGill, W.B., Arocena, J.M. and Figueiredo, C.T. 2008. Total nitrogen. In: M.R. Carter and E.G. Gregorich (Editors), Soil Sampling and Methods of Analysis, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton.

-Skjemstad, J.O., and Baldock, J.A., 2008. Total and organic carbon. In: Carter, M.R., Gregorich, E.G. (Eds.), Soil Sampling and Methods of Analysis. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, p. 225-237.

-Smith H. G. and Dragovich D. 2008, Improving precision in sediment source and erosion process distinction in an upland catchment, south-eastern Australia. Catena, v. 72, p. 191-203.

-Vanacker, V., Molina, A., Govers, G., Poesen, J., and Deckers, J., 2007.