

نشریه مرتع و آبخیزداری  
دوره ۶۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۲  
۶۳۳

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۱/۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۳/۱۷

## تعیین ترکیب مناسبی از عناصر ژئوشیمیایی برای بررسی اهمیت نسبی واحدهای سنگ‌شناسی حوزه آبخیز خور و سفیدارک در تولید رسوب<sup>۱</sup>

- ❖ سادات فیض‌نیا\*: استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
- ❖ سهیلا یونس‌زاده جلیلی: کارشناس ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
- ❖ حسن احمدی: استاد گروه آبخیزداری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

### چکیده

به دلیل وجود مشکلات زیاد در کاربرد روش‌های سنتی، روش انگشت‌نگاری یا منشأیابی، که بر استفاده از خصوصیات فیزیکی، ژئوشیمیایی، و آلی رسوب و منابع رسوب متکی است، به عنوان روشی جایگزین و مناسب برای تعیین منابع اصلی رسوب و اهمیت نسبی آن‌ها، مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این تحقیق، با استفاده از این روش، نخست ترکیبی از ویژگی‌های متمایزکننده، که منابع رسوب را دقیق و واضح جدا کنند، انتخاب شد. این ترکیب در زیرحوضه‌های مختلف حوزه خور و سفیدارک واقع در شهرستان ساوجبلاغ استان البرز تعیین شد و سهم هر واحد سنگی در تولید بار معلق محاسبه گردید. با تهیه نقشه سنگ‌شناسی، واحدهای سنگ‌شناسی حوضه به عنوان منابع رسوب در نظر گرفته شد و رسوبات پشت سازه‌های آبخیزداری به عنوان مناطق رسوب‌گذاری. غلظت ۹ عنصر ژئوشیمیایی برای مواد با قطر کمتر از ۶۲/۵ میکرون اندازه‌گیری شد. سپس، بعد از اطمینان از نبود داده‌های پرت و بررسی آزمون‌های تجزیه و آریانس یک‌طرفه و کولموگروف-اسمیرنوف، از روش تحلیل تشخیص برای انتخاب ترکیب مناسب نهایی استفاده شد. از میان عناصر انتخابی، عنصر Ca مهم‌ترین عنصر در جداسازی واحدهای سنگ‌شناسی بود. در نهایت، اهمیت نسبی هر واحد سنگ‌شناسی نسبت به تولید رسوب معلق محاسبه شد که نشان داد سازندهای شمشک و زاگون بیشترین سهم را در تولید بار معلق منطقه دارند.

واژگان کلیدی: تحلیل تشخیص، خور و سفیدارک، عناصر شیمیایی، منابع رسوب، منشأیابی، واحدهای سنگ‌شناسی.

۱. این پژوهش با حمایت قطب علمی مدیریت پایدار حوزه‌های آبخیز انجام گرفته است.

## مقدمه

از اطلاعات در زمینه منابع رسوب می‌توان در تهیه بیلان رسوب آبخیز و، در نتیجه، شناسایی سیستم ایجاد رسوب، حمل، و رسوب‌گذاری [۱۹، ۲۰]، ارزیابی مدل‌های فرسایش و تولید رسوب [۱۷]، و تفسیر داده‌های تولید رسوب بر حسب عوامل اقلیم و فیزیوگرافی [۱۵]، مقدار و توزیع مکانی فرسایش، و الگوی شکل‌گیری سطح زمین [۱۰] استفاده کرد. مدیریت صحیح حوزه‌های آبخیز در گرو درک صحیح بودجه رسوبی آن حوضه است [۲۱]. از روش‌های اصلی برای نیل به اهداف بالا روش انگشت‌نگاری رسوبات است. روش انگشت‌نگاری یا ردیابی یا، به طور ساده‌تر، منشأیابی، که بر استفاده از خصوصیات رسوب متکی است، به عنوان روشی جایگزین و مناسب برای تعیین منابع اصلی رسوب و اهمیت نسبی آن‌ها، مورد توجه محققان مختلف قرار گرفته است [۹]. کارایی روش منشأیابی یا انگشت‌نگاری، به عنوان روشی موفق و مؤثر برای تعیین منابع رسوبات، به اثبات رسیده است [۶]. یکی از اهداف اصلی آبخیزداری کنترل فرسایش و جلوگیری از آن است و، با توجه به نقش ویژه واحدهای سنگ‌شناسی در تولید رسوبات، کاربرد روش‌های جدید و تکمیل و تصحیح روش‌های فعلی برآورد رسوب ضروری به نظر می‌رسد. محقق دیگری از خصوصیات ژئوشیمیایی و آلی رسوب و منابع رسوب برای تعیین منابع اصلی رسوب و تعیین اهمیت نسبی آن‌ها استفاده کرد. وی با استفاده از ترکیبی مناسب از خصوصیات جداکننده منابع رسوب و مدل‌های چندمتغیره ترکیبی سهم منابع رسوب را در تولید رسوب تعیین کرد [۶]. محقق دیگری از خصوصیات فیزیکی، مغناطیسی، ژئوشیمیایی و آلی رسوب و منابع رسوب برای تعیین منابع اصلی رسوب

و تعیین اهمیت نسبی آن‌ها استفاده کرد. وی با استفاده از ترکیب مناسبی از خصوصیات جداکننده منابع رسوب و مدل‌های چندمتغیره ترکیبی سهم منابع رسوب را در تولید رسوب تعیین کرد [۷]. شخص دیگری با استفاده از دو ردیاب سزیم ۱۳۷ و سرب ۲۱۰ به تعیین میزان رسوب‌گذاری در دشت‌های سیلابی دو رودخانه در ایالات متحده آمریکا پرداخت [۱۴]. شناسایی منابع اصلی تولید رسوب معلق در حوزه آبخیز خور و سفیدارک و تأثیر آن در استقرار و دوام مناسب سازه‌های آبخیزداری منطقه باعث کاهش خسارت سیل به روستاهای خور، سفیدارک، عرب‌آباد و شهرهای هشتگرد و نظرآباد، اتوبان استراتژیک تهران- قزوین، جاده قدیم تهران- قزوین، و اراضی کشاورزی منطقه خواهد شد، بنابراین، با شناسایی منابع اصلی رسوب در منطقه، می‌توان راهکارهای عملی مهار رسوبات را در طرح‌های آبخیزداری، که هدف آن‌ها جلوگیری یا کاهش انباشت رسوبات در مخازن سدهای ذخیره‌ای، رودخانه‌ها، کانال‌های آبرسانی و اراضی زراعی است، ارائه کرد. به طور کلی، اهداف مورد نظر در این تحقیق عبارت‌اند از بررسی رسوب‌شناسی رسوبات پشت هر سازه، مطالعه حوزه آبخیز هر سازه و تهیه نقشه‌های لازم، بررسی رابطه بین رسوبات پشت سازه‌ها و خصوصیات حوزه آبخیز آن بر اساس روش روندیابی ژئوشیمیایی، طبقه‌بندی مقدار تولید رسوب بر اساس نوع سازندهای زمین‌شناسی (واحدهای سنگی) و تعیین سهم مشارکت هر یک از آن‌ها در تولید رسوب معلق، تفکیک بار بستر از بار معلق و اینکه بار معلق از کدام سازندها منشأ گرفته است، و به‌دست آوردن اطلاعاتی در مورد حساسیت به فرسایش و رسوب‌زایی سازندهای بالادست حوزه آبخیز.



تعیین ترکیب مناسبی از عناصر ژئوشیمیایی برای بررسی اهمیت...

جدول ۱. راهنمای زمین‌شناسی حوزه آبخیز خور و سفیدارک

اسم سازند	خصوصیات سنگ‌شناسی	علامت	سن		
			دوران	دوره	دور
-	نهشته‌های آبرفتی و دشت سیلابی	Q <sub>2al</sub>	سنوزوئیک	کواترنری	هولوسن
-	نهشته‌های مخروط‌افکنه‌ای	Q <sub>2af</sub>			
-	نهشته‌های واریزه	Q <sub>2t</sub>			
-	نهشته‌های گراولی پلیستوسن زیرین	Q <sub>1g</sub>	پلیستوسن		
کرج	Ekta: توف اسیدی (ریولیتی) و کمی ریولیت Ekv: آندزیت	Ekta Ekv	ائوسن	ترسیر	
تیزکوه	آهک	Kl	موزوئیک	کرتاسه	
لار و دلیچای	آهک	JK		ژوراسیک	
شمشک	شیل، سیلت سنگ با لایه‌های ماسه‌سنگ لیتیک‌دار (خاکستری)	Js		تریاس	
الیکا	دولومیت کرم‌رنگ	TRe			
روته و نسن	آهک و بعضاً دولومیت	Pr			
درود	ماسه‌سنگ خاکستری و ماسه‌سنگ کوارتزی با لایه‌های گل سنگ، سیلت سنگ و آهک	Pd		پرمن	
جیرود	Ds: ماسه‌سنگ خاکستری Db: دیابازهای نفوذ کرده در داخل سازند لالون Dv: گدازه بازی (بازالت، بازالت-آندزیت)	Dv		دونین	
میلا	آهک و دولومیت	Com		اردویسین	
لالون	Cl: ماسه‌سنگ صورتی و قرمز Cq: ماسه‌سنگ کوارتزی سفیدرنگ	Cq		کامبرین	
		Cl			
زاگون	شیل، گل سنگ، و سیلت سنگ قرمز مایل به بنفش، کمی ماسه سنگ قرمز	Cz			

## روش کار

اجرای روش منشأیابی در بررسی منابع رسوب حوضه‌های مورد مطالعه شامل مراحل زیر بوده است:  
۱. نمونه‌برداری از منابع رسوب و رسوبات در منطقه مورد مطالعه؛

۲. انتخاب ردیاب‌ها و اندازه‌گیری آزمایشگاهی آن‌ها در نمونه‌های رسوب و منابع رسوب (جدول ۲)؛  
۳. تفکیک منابع بالقوه با استفاده از نتایج اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و روش‌های آماری؛

۴. تعیین سهم منابع رسوب بر اساس مقایسه خصوصیات نمونه‌های رسوب و منابع رسوب با استفاده از روش‌های کمی.

در فاز نمونه‌برداری، از هر واحد سنگ‌شناسی (منطقه برداشت و در واحدهای کاری مشابه) ۳ نمونه ۲ کیلوگرمی برداشت و مجموعاً ۲۴ نمونه تهیه شد. از رسوبات پشت سدهای کوچک احداثی در مسیر آبراهه‌ها نیز به عنوان مناطق رسوب‌گذاری و با توجه به وضعیت زیرحوضه‌های در نظر گرفته شده، به تعداد مناسب، نمونه‌برداری شد. سپس، نمونه‌ها از الک ۶۲/۵ میکرون عبور داده شد که عمدتاً دربرگیرنده بار معلق زیرحوضه‌هاست [۴]. به علت نبود سازه‌ها و شیب کم، سازندهای کواترنری واقع در انتهای حوضه در مطالعات وارد نشدند. معمولاً واحدهای کواترنری با شیب کم (۱۲ درصد)، سهم کمتری (۰ درصد) در تولید رسوب حوضه دارند [۶]. منابع تولید رسوب ممکن است سنگ‌ها و سازندهای زمین‌شناسی، واحدهای خاک، زیرحوضه‌ها، فرسایش سطحی یا زیرسطحی، و انواع کاربری‌های اراضی باشد. از آنجا که تمامی حوضه‌های مورد تحقیق دارای کاربری مرتع و فرسایش سطحی اند، سازندهای زمین‌شناسی در زیرحوضه‌های مختلف به عنوان منشأ

تولید رسوب در نظر گرفته شد. با روی هم انداختن نقشه‌های هیدروگرافی و توپوگرافی و با توجه به آبراهه‌های فرعی و حضور گابیون‌ها، ۶ زیرحوزه آبخیز در مسیر دو شاخه اصلی خور و سفیدارک بسته شد، به صورتی که هر حوضه از نظر مساحت حوضه قبلی را پوشش دهد. مطالعات ژئوشیمیایی در غالب این ۶ زیرحوضه صورت پذیرفت و ترکیب رسوبی گابیون‌های خروجی هر زیرحوضه به عنوان منطقه رسوب‌گذاری بررسی شد (جدول ۳ و شکل ۳). در این تحقیق ۹ پارامتر به عنوان منشأیاب‌های اولیه انتخاب و بررسی شد. این منشأیاب‌ها شامل کلسیم، کبالت، کروم، منیزیم، پتاسیم، سدیم، نیتروژن، فسفر، و کربن آلی است. پس از انتخاب ترکیب اولیه ردیاب‌ها و اندازه‌گیری آن‌ها، در مرحله دوم ترکیبی بهینه از خصوصیات اولیه، که قابلیت تفکیک منابع رسوب را داشته باشد، انتخاب شد و نمونه‌های رسوب و منابع رسوبی از نظر نرمال‌بودن با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد (جدول ۴). در این تحقیق یک روش آماری دو مرحله‌ای به منظور تعیین ترکیب بهینه خصوصیات منشأیاب استفاده شد: نخست آزمون تجزیه واریانس به منظور بررسی اینکه کدام یک از خصوصیات منشأیاب اختلاف معنی‌داری بین انواع منابع را نشان می‌دهد (جدول ۴) و در مرحله بعد آنالیز تابع تشخیص Stepwise برای کاهش خصوصیات انتخابی اولیه؛ به طوری که دارای حداقل همبستگی و حداکثر توان تفکیک باشند (جدول ۵). از بین روش‌های آماری مختلف- نظیر شبکه عصبی و نزدیک‌ترین همسایه- تحلیل تشخیص بیشترین کاربرد را دارد [۲۲].

## مدل‌های چندمتغیره ترکیبی

در مدل‌های چندمتغیره ترکیبی از برنامه‌نویسی خطی

aij مقدار میانگین ردیاب ام در منبع رسوب زام. معادله ۱ را با حذف تأثیر واحدهای مختلف اندازه گیری می توان به صورت معادله ۴ نوشت:

$$R = \sum_{i=1}^m \left| \frac{X_i - \left( \sum_{j=1}^n a_{ij} b_j z_j \right)}{X_i} \right|^2 \quad (4)$$

مجموع خطاهای نسبی به صورت معادله ۵ محاسبه می شود:

$$E = \sum_{i=1}^m \left| \frac{X_i - \hat{X}_i}{X_i} \right| = \sum_{i=1}^m \left| \frac{X_i - \left( \sum_{j=1}^n a_{ij} b_j z_j \right)}{X_i} \right| \quad (5)$$

که E مجموع خطاهای نسبی است. به این معادلات توابع هدف نیز می گویند. جواب های بهینه برای سهم منابع رسوب با حداقل کردن یکی از معادلات E یا R و با استفاده از عملیات تکرار و سعی و خطا و با در نظر گرفتن دو شرط  $0 \leq b_j \leq 1$  و مجموع bها باید برابر با ۱ باشد و با استفاده از ابزار solver به دست می آید. در نهایت، اهمیت نسبی واحدهای سنگ شناسی در تولید بار معلق (جداول ۷) و نقش حساسیت به فرسایش از نظر تولید بار معلق (شکل ۴) رسم شده است.

### ضرایب اصلاحی

مسئله غنی شدگی یا تهی شدگی عمومیت دارد و کمتر ردیابی را می توان یافت که فرایندهای یاد شده در آن تأثیر نگذاشته باشد. برای اصلاح مسئله یاد شده از نسبت میزان کربن آلی نمونه رسوب به متوسط

برای حل تعدادی از معادلات استفاده می شود. در این مدلها فرض بر این است که ترکیب و مخلوط شدن خصوصیات منشأیاب از منابع مختلف به صورت خطی است [۵]. از این رو، می توان مدل یا معادله ترکیبی را برای هر یک از خصوصیات منشأیاب به صورت معادله ۱ نوشت:

$$\sum_{j=1}^n b_j = 1 \quad (1)$$

$$0 \leq b_j \leq 1 \quad (2)$$

در حل این معادلات باید دو شرط زیر را در نظر گرفت [۳]:

۱. مقادیر ضریب سهم هر یک از منابع رسوب باید بین صفر و یک باشد؛

۲. مجموع ضرایب سهم هر یک از منابع رسوب باید برابر با یک باشد.

در مطالعات منشأیابی، روش هایی از جمله حداقل کردن مجموع مربعات باقی مانده [۱۳، ۲۱] یا حداقل کردن مجموع خطاهای نسبی [۱] و یا هر دو [۶] برای به دست آوردن سهم بهینه منابع رسوب برآورد شده توسط مدل های چندمتغیره ترکیبی استفاده شده است.

مجموع مربعات باقی مانده را می توان به صورت معادله ۳ نوشت:

(۳)

$$R = \sum_{i=1}^m (X_i - \hat{X}_i)^2 = \sum_{i=1}^m \left[ X_i - \left( \sum_{j=1}^n a_{ij} b_j z_j \right) \right]^2$$

که R مجموع مربعات باقی مانده است،  $X_i$  مقدار اندازه گیری شده خصوصیت i ام در نمونه رسوب،  $Z_j$  ضریب اصلاحی مواد آلی، m تعداد خصوصیات ردیاب، n تعداد متغیر گروه بندی (سازندهای زمین شناسی)،  $b_j$  ضریب سهم هر یک از منابع رسوب،

برای ارزیابی نتایج مدل‌های چندمتغیره ترکیبی استفاده کرد.

میزان کربن آلی هر یک از منابع رسوب استفاده شده است. که میزان کربن آلی می‌تواند نماینده و معرف میزان مواد آلی باشد [۱۱].

## نتایج

نتایج تحقیق در قالب شکل‌ها و جدول‌های زیر نشان داده شده است.

### ارزیابی نتایج مدل چندمتغیره ترکیبی

از معیارهای خطای نسبی [۲، ۱۸]، روش‌های غیرمستقیم، و مشاهدات صحرایی [۲، ۱۲] می‌توان

جدول ۲. غلظت عناصر اندازه‌گیری شده و آمارهای توصیفی هر یک از خصوصیات منشأ یاب در نمونه‌های رسوب و منابع رسوب

عناصر	Mg (mg/L)	Oc (%)	N (%)	Ca (meq/100soil)	P (PPM)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Cr (ppb)	Co (ppb)
میانگین	۲۹,۹۳۵	۰,۲۰۸۳۳۳	۰,۰۲۴۳۳۳	۱۸,۹۳۳۳۳	۲۷,۱۳۳۳۳	۱۵۲,۶۶۶۷	۶,۸۳۳۳۳۳	۵۵,۸۱۵	۶۵,۹۰۸۳۳
انحراف معیار	۴,۸۷۴۳۸۵	۰,۱۶۹۵۱۹	۰,۰۱۹۳۱۵	۵,۶۷۱۹۱۹	۱۴,۸۴۵۱۶	۱۱۹,۵۳۰۲	۲,۶۳۹۴۴۴	۴,۰۰۷۳۳۷	۴,۵۷۱۸۳۷
min	۲۰,۷۱	۰,۰۳	۰,۰۰۳	۹,۶	۱۷,۲	۴۴	۵	۵۱,۱۵	۶۰,۱۵
max	۴۳,۷۶	۰,۴۶	۰,۰۵	۲۶,۴	۵۶	۳۰,۴	۱۲	۶۲,۰۹	۷۲,۲۷
میانگین	۱۵,۷۶۰۴۲	۰,۵۷۰۸۳۳	۰,۰۶۲۱۶۷	۲۴,۲۶۶۶۷	۳۷,۶۶۶۶۷	۲۰۳,۵	۱۵,۲۲۹۱۷	۵۸,۸۵۶۶۷	۶۳,۲۱۴۱۷
انحراف معیار	۶,۸۱۷۲۶۸	۰,۴۷۵۸۴۲	۰,۰۴۸۵۲۲	۷,۰۶۴۰۹۶	۲۴,۴۵۸۱۴	۱۲۳,۲۵۰۵	۶,۴۴۷۰۴۴	۵,۴۲۴۹۲۵	۱۰,۱۹۳۰۴
min	۸,۸۱	۰,۰۲	۰,۰۰۲	۸	۱۴,۸	۴۴	۷	۴۶,۰۳	۳۹,۲۱
max	۳۹,۵۵	۱,۹	۰,۲	۳۴,۴	۹۷,۶	۳۷۶	۳۴	۶۸,۰۶	۷۹,۳۹

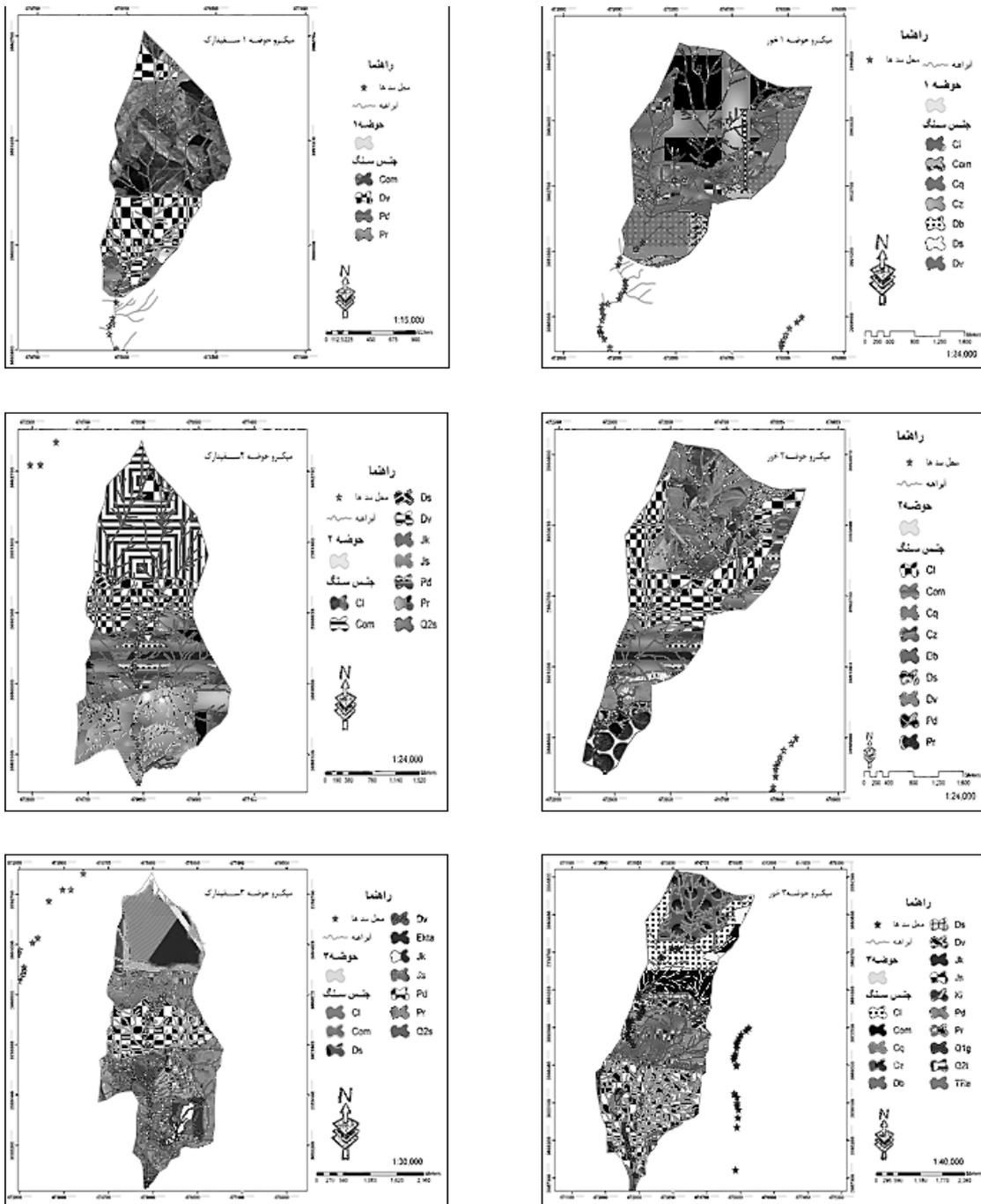
رسوبات پشت سدها  
(منطقه رسوب گذاری)

رسوبات واحدهای سنگ  
شناسی (منطقه برداشت)

جدول ۳. تقسیم‌بندی زیرحوضه‌های منطقه برای مطالعات منشأ بابی ژئوشیمیایی

آبراهه	زیرحوضه	مساحت	کل گابون‌های موجود	گابون‌هایی که رسوب آن‌ها به عنوان رسوب خروجی زیرحوضه در نظر گرفته شده است
	۱	۵۷۰,۰۱	۶	۴-۶
شاخه خور	۲	۶۶۰,۸۹	۲۲	۱۷,۱۹,۲۲
	۳	۱۵۳۳,۹۳	۲۶	۲۴-۲۶
	۱	۱۷۲,۸۵	۷	۵-۷
شاخه سفیدارک	۲	۶۸۱,۸۰	۲۰	۱۷-۲۰
	۳	۸۵۶,۲۳	۲۲	۲۰-۲۲

تعیین ترکیب مناسبی از عناصر ژئوشیمیایی برای بررسی اهمیت...



شکل ۳. زیرحوضه‌های مورد مطالعه در حوضه خور و سفیدارک

جدول ۴. نتایج آزمون Kolmogorove- Smirnov یک‌نمونه‌ای در نمونه‌های رسوبی و منابع رسوب و نتایج آزمون تجزیه واریانس در منابع رسوب

توزیع	آزمون Kolmogorove-Smirnov	عناصر (نمونه‌های رسوب)	آزمون تجزیه واریانس (Sig)	توزیع	آزمون Kolmogorove-Smirnov	عناصر (منابع رسوب)
	یک‌نمونه‌ای / سطح معنی داری				یک‌نمونه‌ای / سطح معنی داری	
نرمال	۰/۷۰۶	Mg	۰/۷۰۳	نرمال	۰/۲۹۹	Mg
نرمال	۰/۹۹۸	Oc	۰/۱۱۸	نرمال	۰/۷۵۸	Oc
نرمال	۰/۹۹۹	N	۰/۱	نرمال	۰/۷۷۹	N
نرمال	۰/۹۹۸	Ca	۰/۰۳	نرمال	۰/۶۷۰	Ca
نرمال	۰/۵۸۸	P	۰/۱۵	غیرنرمال	۰/۰۰۸	P
نرمال	۰/۶۹۸	Na	۰/۳۵۷	نرمال	۰/۱۲۲	Na
نرمال	۰/۶۷۲	K	۰/۰۵۷	نرمال	۰/۴۴۰	K
نرمال	۱	Cr	۰/۶۳	نرمال	۰/۸۹۳	Cr
نرمال	۰/۸۱۹	Co	۰/۰۹	نرمال	۰/۹۱۹	Co

جدول ۵. نتایج آزمون تابع تشخیص در انتخاب عناصر تفکیک‌کننده مناسب در زیرحوضه‌های مختلف

زیرحوضه‌ها	زیرحوضه ۱ خور	زیرحوضه ۲ خور	زیرحوضه ۳ خور	زیرحوضه ۱ سفیدارک	زیرحوضه ۲ سفیدارک	زیرحوضه ۳ سفیدارک	عناصر
	Sig.	Sig.	Sig.	Sig.	Sig.	Sig.	
	۰/۳۹۱	۰/۴۲۹	۰/۷	۰/۶۵۰	۰/۶۹۲	۰/۷۷۰	Mg
	۰/۳۱۴	۰/۱۴	۰/۲	۰/۱۸۰	۰/۲۳	۰/۱۱۵	Oc
	۰/۳۱۷	۰/۱۴	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۱۹	۰/۰۱	N
	۰/۰۸۶	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۴۶۳	۰/۶۴۱	۰/۱	Ca
	۰/۴۷۳	۰/۴۰	۰/۰۵	۰/۱۶۱	۰/۰۵	۰/۰۱	P
	۰/۱۴۹	۰/۳۴	۰/۳	۰/۳۵۳	۰/۲۴۴	۰/۴۱۳	Na
	۰/۵۳۳	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۵۷۵	۰/۱۸	۰/۱۶	K
	۰/۳۹۰	۰/۲۴	۰/۶	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۹	Cr
	۰/۳۶۶	۱/۰	۰/۱	۰/۷۷۰	۰/۸۹۰	۰/۰۴	Co

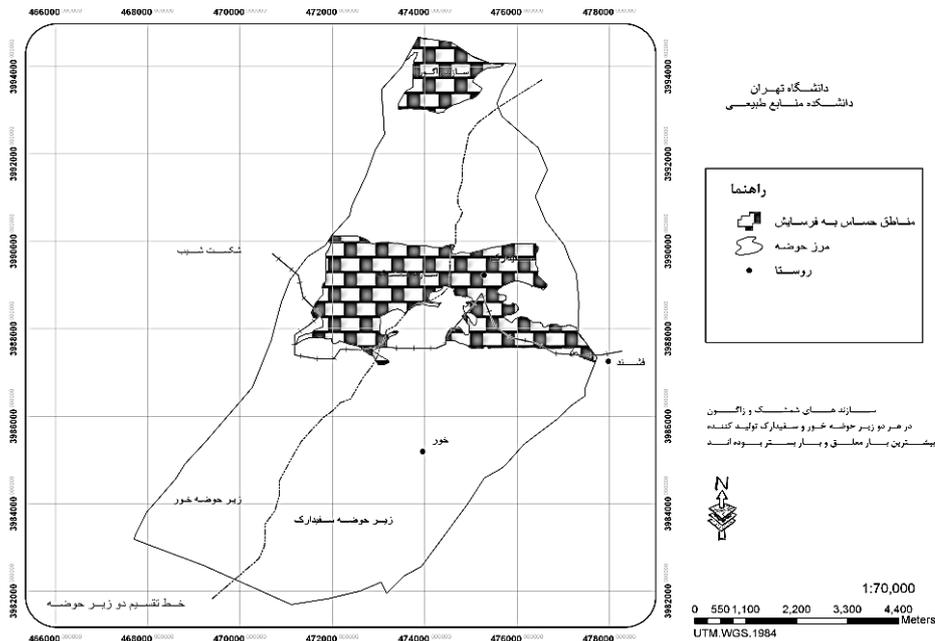
تعیین ترکیب مناسبی از عناصر ژئوشیمیایی برای بررسی اهمیت...

جدول ۶. اهمیت نسبی سازندهای زمین شناسی در سرشاخه خور

اهمیت نسبی	مساحت (%)	سهم کل (درصد)	منابع تولید رسوب	خطای نسبی	زیرحوضه
۲,۶۱۴۶۷۹	۳۸,۲۴۵۶۱	۱۰۰	Cz		زیرحوضه ۱ خور
۰	۲۰,۷۰۱۷۵	۰	Com	۱۵	
۰	۴۱,۰۵۲۶۳	۰	Cl		
۰	۳۰,۹۰۹۰۹	۰	Cl		
۰	۱۸,۸۴۴۸۵	۰	Com		
۱,۹۵۲۴۵	۳۳,۰۳۰۳	۶۴,۹۵	Cz		زیرحوضه ۲ خور
۰	۱,۵۱۵۱۵۲	۰	Ds	۱۵	
۰,۸۶۰۸۷	۳,۴۸۴۸۴۸	۳	Dv		
۰	۶,۵۱۵۱۵۲	۰	Pd		
۵,۷۸۱۶	۶,۰۶	۳۲,۰۴	Pr		
۰	۱۴,۰۸۱۷۵	۰	Cl		زیرحوضه ۳ خور
۰	۱۱,۳۴۳۶۳	۰	Com		
۰,۸۲۹۱۴۶	۱۴,۲۱۲۱۴	۱۱,۷۸۳۹۴	Cz		
۰	۱,۶۹۵۰۲۶	۰	Ds	۱۲	
۱,۹۶۹۱۶۸	۴,۱۷۲۳۷۱	۸,۲۱۶۱	Dv		
۲,۹۰۰۹۹۳	۲۷,۵۷۶۷۷	۸۰	Js		
۰	۴,۸۸۹۴۹۷	۰	Pd		
۰	۲۲,۰۲۸۸۲	۰	Pr		

جدول ۷. اهمیت نسبی سازندهای زمین شناسی در سرشاخه سفیدارک

اهمیت نسبی	مساحت (%)	سهم کل (درصد)	منابع تولید رسوب	خطای نسبی	زیرحوضه
۱,۱۶	۶,۰۱۸	۷۰	Com		زیرحوضه ۱ سفیدارک
۰,۹۷	۳۳,۴۴	۳۰	Dv	۱۲	
۰	۶,۳۶	۰	Pd		
۰,۰۶۷۷۶۱	۲۹,۵۱	۲	Com		زیرحوضه ۲ سفیدارک
۰,۷۱۶۸۴۲	۲۵,۴۰	۱۰	Dv	۱۳	
۳,۷۷۸۴۵۲	۲۲,۷۶۰۶۵	۸۶	Js		
۰,۰۸۹۶۰۵	۲۲,۳۲۰۱۲	۲	Pd		
۰	۲۳,۴۸۱۳۱	۰	Com		
۰,۴۸	۱۲,۵	۶	Dv		زیرحوضه ۳ سفیدارک
۰,۱۱	۱۷,۶۴۰۱۹	۲	Pd	۱۵	
۳,۲۷	۲۷,۸۰۳۷۴	۹۱	Js		
۰,۰۹	۱۸,۵۷۴۷۷	۱	Pr		



شکل ۴. مهم‌ترین سازندهای تولیدکننده رسوب در حوزه آبخیز خور و سفیدارک

می‌دهد که در آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه در سطح ۹۰ درصد عناصر کلسیم، پتاسیم، نیتروژن، و کبالت انتخاب شده‌اند. نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نمونه‌ای در جدول ۴ نشان می‌دهد که نمونه‌های منابع رسوب همگی از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند و علت این امر آن است که نمونه‌های رسوب ترکیبی از منابع رسوب حوضه‌اند، بنابراین، تغییرات منابع رسوب در آن‌ها تعدیل شده است. عناصر نمونه‌های سازندهای زمین‌شناسی هم، به‌جز عنصر فسفر، از جامعه نرمال برخوردارند. البته، عدم تبعیت مجموعه متغیرها از فرض نرمال حیاتی نیست و آزمون معنی‌داری حاصل تا زمانی که غیرنرمال بودن ناشی از چولگی است و نه داده‌های پرت معتبر است [۱۶]. در زیرحوضه ۱ خور عنصر کلسیم دارای کمترین میزان ویلکوکس لامبدا و بزرگ‌ترین مقدار F است، بنابراین، توان تفکیکی بهتری نسبت به سایر متغیرها دارد. طبق جدول ۶، اهمیت نسبی در این

## بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به جدول ۲، میزان تغییرات هر یک از خصوصیات منشأیاب در نمونه‌های رسوب کمتر از نمونه‌های منابع رسوب است. این موضوع با نتایج [۷، ۸] مطابقت دارد. نمونه‌های برداشت‌شده از منابع رسوب از نقاط مختلف حوضه، که دارای ویژگی‌های مختلفی است، برداشت شده است، بنابراین، مقادیر آن‌ها دارای تغییرات زیادی است، در حالی که در رسوبات پشت سازه‌ها این رسوبات با هم تداخل و هم‌پوشانی پیدا کرده و تغییرات آن‌ها تعدیل شده است. از بین ۹ خصوصیت انتخابی اولیه، چهار خصوصیت شامل فسفر، کلسیم، نیتروژن، و کبالت-توانستند منابع رسوب را در هر دو شاخه خور و سفیدارک به‌خوبی تفکیک کنند، بنابراین، بهترین خصوصیات منشأیاب برای این مناطق هستند؛ این نتیجه با نتایج [۲۱] مطابقت دارد. جدول ۴ نشان

سفیدارک دارند. جدول ۷ در زیرحوضه ۲ سفیدارک نشان می‌دهد که در ستون معنی‌داری، عناصر نیتروژن، فسفر، و کروم در سطح ۵ درصد معنا دارند. مقادیر درصد اشتراک در تولید رسوب نشان می‌دهد که واحد Js با ۸۶ درصد در رتبه اول و Dv با ۱۰ درصد در رتبه دوم قرار می‌گیرد. با در نظر گرفتن مساحت واحدهای سنگ‌شناسی، اهمیت نسبی آن‌ها به فرسایش بین ۰/۰۶ تا ۳/۷۷ به دست آمد که به ترتیب متعلق به واحدهای Js و Com است. ملاحظه می‌شود که با دور شدن خروجی حوضه از واحد Com و کاهش درصد اشتراک آن در سطح حوضه، به طور چشمگیری، از اهمیت نسبی آن در تولید رسوب کاسته شده است. جدول ۷ در زیرحوضه ۳ سفیدارک نشان می‌دهد که عناصر نیتروژن، فسفر، و کبالت در سطح ۹۵ درصد و عنصر کلسیم در سطح ۹۰ درصد معنادار هستند. مقادیر درصد اشتراک در تولید رسوب نشان می‌دهد که واحد Js با ۹۱ درصد در رتبه اول و Dv با ۶ درصد در رتبه دوم قرار می‌گیرد. با در نظر گرفتن مساحت واحدهای سنگ‌شناسی، اهمیت نسبی آن‌ها به فرسایش بین ۰ تا ۳/۲۷ به دست آمد که به ترتیب متعلق به واحدهای Js و Com است. میانگین خطای نسبی روش در حدود ۱۳/۵ است.

نتایج روش ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که به طور کلی و صرف نظر از افزایش‌های موضعی در بار رسوبی ناشی از نزدیکی به خروجی یا مساحت زیاد، واحد سنگ‌شناسی زاگون و شمشک از اهمیت بالایی در تولید رسوب برخوردارند، نزدیکی سازند شمشک به بند خاکی خور اهمیت این سازند را بیشتر کرده است. در زیرحوضه سفیدارک نیز سازند شمشک سهم بسیاری در تولید رسوب معلق دارد.

زیرحوضه بین ۰ تا ۲/۶۱ متغیر است که واحدهای Com و Cl دارای اهمیت نسبی ۰ و سازند Cz دارای اهمیت نسبی ۲/۶۱ است. جدول ۶ در زیرحوضه ۲ خور نشان می‌دهد که کلسیم در سطح ۵ درصد و کبالت در سطح ۱۰ درصد معنادار است. اهمیت نسبی حوضه بین مقادیر ۰ تا ۵/۷۸ متغیر است که دارای بالاترین اهمیت نسبی است. بالابودن سهم و اهمیت نسبی Pr در این زیرحوضه به علت استقرار این واحد سنگ‌شناسی در خروجی حوضه، کثرت تعداد گابیون‌های احداثی در Pr، و کم‌بودن مساحت آن است. جدول ۶ در زیرحوضه ۳ خور نشان می‌دهد که عناصر Ca و P در سطح ۵ درصد و Co و N در سطح ۱۰ درصد معنادار هستند. سهم کل بر حسب درصد به صورت ۸۰، ۱۱/۲۸، و ۲۱/۸ به ترتیب متعلق به سازندهای Js، Cz، و Dv است. اهمیت نسبی حوضه بین مقادیر ۰ تا ۲/۹۰ متغیر است که Js دارای بالاترین اهمیت نسبی است. بالابودن سهم و اهمیت نسبی Dv در این زیرحوضه به علت افزایش مساحت و افزایش زهکش‌های تخلیه‌کننده رسوبات Dv به گابیون‌هاست. جدول ۷ در زیرحوضه ۱ سفیدارک نشان می‌دهد که عناصر نیتروژن و کروم در سطح ۵ درصد معنادار است. توزیع سهم نسبی ۷۰ و ۳۰ درصد به ترتیب متعلق به واحدهای Com و Dv است. اهمیت نسبی از ۰ تا ۱/۱۶ متغیر است و بیشترین مقدار آن متعلق به Com است. علت نقش زیاد Com این است که ۶۰ درصد از مساحت این زیرحوضه تحت اشغال این واحد است و بعد از آن واحد سنگ‌شناسی Dv قرار می‌گیرد که ۳۰ درصد از زیرحوضه را اشغال کرده است، بنابراین، این دو واحد به علت مساحت زیاد و فاصله کم تا خروجی حوضه نقش زیادی در تولید رسوب زیرحوضه ۱

## تشکر و قدردانی

جناب آقای مهندس سید علیخانی، به دلیل راهنمایی و لطف بی‌شائبه‌شان در تکمیل این تحقیق، بی‌نهایت سپاسگزاریم.

از کارکنان محترم بخش آبخیزداری اداره منابع طبیعی هشتگرد و به‌ویژه ریاست محترم بخش مربوطه،

## References

- [1]. Bottrill, L.J., Walling, D.E., Leeks, G.J.L. (2000). Using recent overbank deposits to investigate contemporary sediment sources in larger river basins. In: Foster, I.D.L. (Ed.), *Tracers in geomorphology*, Wiley, Chichester, 369-387.
- [2]. Collins, A.L., Walling, D.E., Leeks, G.J.L. (1998). Use of composite fingerprintings to determine the provenance of the contemporary suspended sediment load transported by rivers. *Earth Surface Processes and Landforms* 23, 31-52.
- [3]. Collins, A.L., Walling, D.E., Sickingabula, H.M., Leeks, G.J.L. (2001). Suspended sediment source fingerprinting in a small tropical catchment and some management implications. *Applied Geography*, 21, 387-412.
- [4]. Feiznia, S. (2008), Applied sedimentology with emphasize on soil erosion and sediment production, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, 358 p. (in Persian).
- [5]. Foster, I.D.L., Lees, J.A. (2000). Tracers in geomorphology. In: Foster, I.D.L. (Ed.). *Tracers in geomorphology*, Wiley, Chichester, 3-20.
- [6]. Hakimkhani, S. (2006). Investigating use of tracers for source identification of fine alluvial sediments (case study Pole Dasht Water Spreading Station), Ph.D. Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran (in Persian).
- [7]. Kouhpeima, A.A. (2008). Investigation of sediments of small dams and their relation with drainage basin characteristics (case study: Semnan Province), M.Sc. Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 139 p. (in Persian).
- [8]. Moazzami, M. (2006). Source studies of fine alluvial sediments using sediment fingerprinting method, M.Sc. Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 158 p. (in Persian).
- [9]. Oldfield, F., Appleby, P.G., Cambray, R.W., Eakins, J.D., Barber, K.E., Battarbee, R.W., Pearson, G.W., Williams, J.W. (1979). Lead-210, Caesium-137 and Plutonium-239 profiles in ombrotic peat, *Oikos* 33, 40-45.
- [10]. Peart, M.R., Walling, D.E. (1986). *Fingerprinting sediment source: The example of a drainage basin in Devon*, *International Association of Hydrological Science, Publication No. 159*, 41-55.
- [11]. Peart, M.R., Walling, D.E. (1988). Techniques for establishing suspended sediment sources in two drainage basins in Devon, UK: A comparative assessment. In: Bordas, M.P. and Walling, D.E., *Sediment budgets*, Wallingford, I Alts Publication No. 174, 269-279, Policy, 11, 136-143.
- [12]. Rowan, J.S., Goodwill, P., Franks, S.W. (2000). Uncertainly estimation in fingerprinting suspended sediment sources. In: Foster, I.D.L. (Ed.). *Tracers in Geomorphology*, John Wiley, Chichester, 279-290.
- [13]. Russell, M.A., Walling, D. E., Hodgkinson, R.A. (2001). Suspended sediment sources in two small lowland agriculture catchments in the UK. *Journal of Hydrology*, 252, 1-24.
- [14]. Soster, F.M., Matisoff, G., Whiting, P.J., Fornes, W., Ketterer, M., Szechenyi, S. (2007). Floodplain sedimentation rates in an alpine watershed determined by radionuclide techniques. *Earth Surface Processes and Landforms* 31, 910-928.

- [15]. Summer, W., Klaghofer, E., Hintersteiner, K. (1996). Treats in soil erosion and sediment yield in the Alpine basin of the Austrian Danube. In: Walling, D.E. and Webb, B.W. (Eds.), Erosion and sediment yield. Global IAHS Publ. No. 236, 473-479.
- [16]. Tabachnick, B.G., Fidel, L.S. (2012). Using Multivariate Statistics. Harper Collins College Publishers, New York, 1024 p.
- [17]. Takhen, I., Beuselinck, L., Nachtergaele, J., Govers, G., Poesen, J., and Degraer, G. (1999). Spatial evaluation of a physically based distributed erosion model (LISEM). *Catena* 37, 431-447.
- [18]. Walling, D.E., Woodward, J.C. (1995). Tracing sources of suspended sediment in river basins: A case study of the River Culm, Devon, UK. *Marine and Freshwater Research* 46, 327-336.
- [19]. Walling, D.E., Collins, A.L., Sichingabula, H.M., Leeks, G.J.L. (2001). Integrated assessment of catchment suspended sediment budget, a Zambian example. *Land Degradation and Development* 12, 387-415.
- [20]. Walling, D.E., Russell, M.A., Hodgkinson, R.A., Zhang, X. (2002). Fine grained sediment budgets for two small lowland agricultural catchments in the UK. *Catena* 47, 323-353.
- [21]. Walling, D.E., Collins, A.L. (2008), The catchment sediment budget as a management tool, *Environmental Science and Policy*, 11, 136-143.
- [22]. Walling, D.E. (2005). Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. *Science of the Total Environment*, 344 (1-3), 159-184.