تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۱/۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۳/۱۷

نشریه مرتع و آبخیزداری
دورهٔ ۶۶، شمارهٔ ٤، زمستان ۱۳۹۲

تعیین ترکیب مناسبی از عناصر ژئوشیمیایی برای بررسی اهمیت نسبی واحدهای سنگ‌شناسی حوزهٔ آبخیز خور و سفیدارک در تولید رسوب[1]

❖ **سادات فیض‌نیا*:** استاد دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران
❖ **سهیلا یونس‌زاده جلیلی:** کارشناس ارشد دانشکدهٔ 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 حوضهٔ خور و سفیدارک واقع در شهرستان ساوجبلاغ استان البرز تعیین شد و سهم هر واحد سنگی در تولید بار معلق محاسبه گردید. با تهیهٔ نقشهٔ 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 ٦٢,٥ میکرون اندازه‌گیری شد. سپس، بعد از اطمینان از نبود داده‌های پرت و بررسی آزمون‌های تجزیهٔ واریانس 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 حمایتِ قطب علمی مدیریت پایدار حوزه‌های آبخیز انجام گرفته است.
* نویسندهٔ مسئول: تلفن: ۳۲۲۲۳۰٤٤- ۰۲٦ Email:sfeiz@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

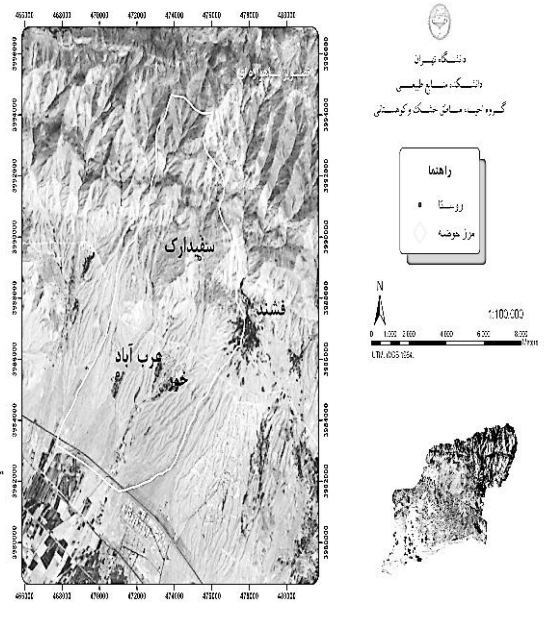
از اطلاعات در زمینهٔ منابع رسوب می‌توان در تهیهٔ بیلان رسوب آبخیز و، در نتیجه، شناسایی سیستم ایجاد رسوب، حمل، و رسوب‌گذاری [۱۹، ۲۰]، ارزیابی مدل‌های فرسایش و تولید رسوب [۱۷]، و تفسیر داده‌های تولید رسوب بر حسب عوامل اقلیم و فیزیوگرافی [۱۵]، مقدار و توزیع مکانی فرسایش، و الگوی شکل‌گیری سطح زمین [۱۰] استفاده کرد. مدیریت صحیح حوزه‌های آبخیز در گرو درک صحیح بودجهٔ 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 [٦]. یکی از اهداف اصلی آبخیزداری کنترل فرسایش و جلوگیری از آن است و، با توجه به نقش ویژهٔ واحدهای سنگ‌شناسی در تولید رسوبات، کاربرد روش‌های جدید و تکمیل و تصحیح روش‌های فعلی برآورد رسوبْ 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 جداکنندهٔ منابع رسوب و مدل‌های چندمتغیرهٔ ترکیبی سهم منابع رسوب را در تولید رسوب تعیین کرد [٦]. محققی دیگر 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 جداکنندهٔ منابع رسوب و مدل‌های چندمتغیرهٔ 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 متحدهٔ امریکا پرداخت [١٤]. شناسایی منابع اصلی تولید رسوب معلق در حوزهٔ 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، مطالعهٔ حوزهٔ آبخیز هر سازه و تهیهٔ نقشه‌های لازم، بررسی رابطهٔ بین رسوبات پشت سازه‌ها و خصوصیات حوزهٔ 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 به‌دست‌آوردن اطلاعاتی در مورد حساسیت به فرسایش و رسوب‌زایی سازندهای بالادست حوزهٔ آبخیز.

Archive of SID

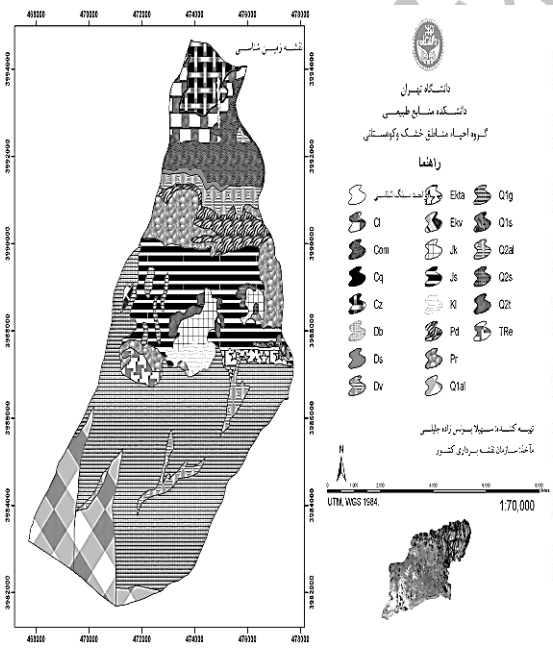
www.SID.ir

روش‌شناسی

منطقهٔ مورد مطالعه در حوزهٔ آبخیز رودخانهٔ کردان واقع است و، بر اساس تقسیم‌بندی جاماب، در حوزهٔ آبخیز دریاچهٔ نمک قرار دارد. منطقهٔ مورد مطالعه در ارتفاعات جنوبی رشته‌کوه البرز، در محدودهٔ "۱'٤۸,۵۲ ۳۶ و "۵۰٤۵'۵,۲۹ در شرق، "٤۲,۵۲ '۳۶۲ و "۵۰٤۰'٤۱,۸۳ در غرب، "۵'۳۹,۸۷ ۳۶ و "٤۳'۸,۵۲ ۵۰ در شمال، و "۸,۷۳' ۵۹ ۳۵ و "۳۹'٤۳,۲۹ ۵۰ در جنوب واقع گردیده است. مساحت حوضه ۶۶۷۰,۲۷ هکتار است. طولانی‌ترین آبراههٔ آن به طول ۱۵,۱۳۹ کیلومتر و در امتداد شمالی- جنوبی است (شکل ۱). روستاهای خور، سفیدارک، و عرب‌آباد در این ناحیه واقع شده‌اند. در محدودهٔ حوزهٔ آبخیز خور تنوع چینه‌شناسی چشمگیری مشاهده می‌شود، به گونه‌ای که واحدهای سنگ‌چینه‌ای با سن کامبرین تا کواترنری رخنمون یافته‌اند. در این میان سازندهایِ دوران اول و دوم به صورت ردیف رسوبی تقریباً کامل قابل برداشت‌اند، اما از دوران سوم فقط برون‌زدهای کوچکی از سنگ‌های ائوسن قابل مشاهده است. سازندها و واحدهای سنگ‌شناسی موجود در منطقه به ترتیب سن عبارت‌اند از زاگون (Cz)، لالون (Cl)، میلا (Com)، جیرود (Ds)، درود (Pd)، روته و نسن (Pr)، الیکا (Tre)، شمشک (Js)، دلیچای و لار (Jk)، تیزکوه (Kl)، کرج (Ek)، و واحدهای کواترنری (Q). در منطقهٔ مورد مطالعه سنگ‌های آذرین، رسوبی، و آذرآواری وجود دارد که، از حیث وسعت، مقدار سنگ‌های آذرین و آذرآواری نسبت به سنگ‌های رسوبی کاملاً ناچیز است (شکل ۲ و جدول ۱). شبکه‌ای از سازه‌های آبخیزداری شامل سدهای گابیونی و... در حوضه احداث شده که تحقیق حاضر به بررسی رسوبات سرشاخهٔ اصلی می‌پردازد.



شکل ۱. شمای کلی منطقهٔ مورد مطالعه



شکل ۲. نقشهٔ زمین‌شناسی

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱. راهنمای زمین‌شناسی حوزهٔ آبخیز خور و سفیدارک

سن			علامت	خصوصیات سنگ‌شناسی	اسم سازند
دوران	دوره	دور			
سنوزوئیک	کواترنری	هولوسن	Q_2al	نهشته‌های آبرفتی و دشت سیلابی	–
			Q_2af	نهشته‌های مخروط‌افکنه‌ای	–
			Q_2t	نهشته‌های واریزه	–
		پلئیستوسن	Q_1g	نهشته‌های گراولی پلئیستوسن زیرین	–
	ترسیر	ائوسن	Ekta Ekv	Ekta: توف اسیدی (ریولیتی) و کمی ریولیت Ekv: آندزیت	کرج
مزوزوئیک	کرتاسه	–	Kl	آهک	تیزکوه
	ژوراسیک		Jk	آهک	لار و دلیچای
	تریاس		Js	شیل، سیلت سنگ با لایه‌های ماسه‌سنگ لیتیک‌دار (خاکستری)	شمشک
			TRe	دولومیت کرم‌رنگ	الیکا
پالئوزوئیک	پرمین	–	Pr	آهک و بعضاً دولومیت	روته و نسن
			Pd	ماسه‌سنگ خاکستری و ماسه‌سنگ کوارتزی با لایه‌های گل سنگ، سیلت سنگ و آهک	درود
	دونین		Dv	Ds: ماسه‌سنگ خاکستری Db: دیابازهای نفوذکرده در داخل سازند لالون Dv: گدازهٔ بازی (بازالت، بازالت–آندزیت)	جیرود
			Db	Ds	
	اردویسین		Com	آهک و دولومیت	میلا
	کامبرین		Cq	Cl: ماسه‌سنگ صورتی و قرمز Cq: ماسه‌سنگ کوارتزی سفیدرنگ	لالون
			Cl		
			Cz	شیل، گل‌سنگ، و سیلت سنگ قرمز مایل به بنفش، کمی ماسه سنگ قرمز	زاگون

Archive of SID

www.SID.ir

نشریه مرتع و آبخیزداری، دورهٔ ۶۶، شمارهٔ ٤، زمستان ۱۳۹۲، صفحه ۶۳۳ تا ۶٤۵

روش کار

اجـرای روش منشـأیابی در بررسـی منـابع رسـوب حوضه‌های مورد مطالعه شامل مراحل زیر بوده است:

۱. نمونه‌برداری از منابع رسوب و رسـوبات در منطقهٔ مورد مطالعه؛

۲. انتخاب ردیاب‌ها و اندازه‌گیری آزمایشـگاهی آن‌ها در نمونه‌های رسوب و منابع رسوب (جدول ۲)؛

۳. تفکیـک منـابع بـالقوه بـا اسـتفاده از نتـایج اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و روش‌های آماری؛

٤. تعیین سهم منابع رسوب بر اسـاس مقایسـهٔ خصوصیات نمونه‌هـای رسـوب و منـابع رسـوب بـا استفاده از روش‌های کمّی.

در فاز نمونه‌برداری، از هر واحد سنگ‌شناسـی (منطقهٔ برداشت و در واحدهای کاری مشابه) ۳ نمونهٔ ۲ کیلوگرمی برداشت و مجموعاً ۲٤ نمونه تهیـه شـد. از رسوبات پشت سدهای کوچک احـداثی در مسـیر آبراهه‌ها نیز به عنوان مناطق رسوب‌گذاری و با توجه به وضعیت زیرحوضه‌های در نظـر گرفتـه شـده، بـه تعداد مناسب، نمونه‌برداری شد. سـپس، نمونـه‌هـا از الـک ٦۲٫۵ میکـرون عبـور داده شـد کـه عمـدتاً دربرگیرندهٔ بار معلق زیرحوضه‌هاست [٤]. بـه علـت نبود سازه‌ها و شیب کم، سازندهای کـواترنری واقـع در انتهای حوضه در مطالعـات وارد نشـدند. معمـولاً واحدهای کواترنری با شیب کـم (۱۲ درصـد)، سـهم کمتری (۰ درصد) در تولید رسوب حوضه دارند [٦].

منـابع تولیـد رسـوب ممکـن اسـت سـنگ‌هـا و سازندهای زمین‌شناسی، واحدهای خاک، زیرحوضـه‌هـا، فرسایش سطحی یـا زیرسـطحی، و انـواع کـاربری‌هـای اراضی باشد. از آنجا که تمامی حوضه‌های مـورد تحقیـق دارای کاربری مرتع و فرسایش سـطحی انـد، سـازندهای زمین‌شناسی در زیرحوضه‌های مختلف بـه عنـوان منشـأ تولید رسوب در نظر گرفتـه شـد. بـا روی هـم انـداختن نقشـه‌هـای هیـدروگرافی و توپـوگرافی و بـا توجـه بـه آبراهه‌های فرعی و حضور گابیون‌ها، ٦ زیرحـوزهٔ آبخیـز در مسیر دو شاخهٔ اصلی خور و سفیدارک بسته شـد، بـه صورتی که هر حوضه از نظر مسـاحت حوضـهٔ قبلـی را پوشـش دهـد. مطالعـات ژئوشـیمیایی در غالـب ایـن ٦ زیرحوضه صورت پذیرفت و ترکیب رسوبی گابیون‌های خروجی هر زیرحوضه به عنوان منطقـهٔ رسـوب‌گـذاری بررسـی شـد (جـدول ۳ و شـکل ۳). در ایـن تحقیـق ۹ پارامتر به عنوان منشأیاب‌های اولیه انتخاب و بررسی شد. این منشأیاب‌هـا شـامل کلسـیم، کبالـت، کـروم، منیـزیم، پتاسیم، سدیم، نیتروژن، فسفر، و کربن آلی است. پـس از انتخاب ترکیب اولیهٔ ردیاب‌هـا و انـدازه‌گیـری آن‌هـا، در مرحلهٔ دوم ترکیبی بهینه از خصوصیات اولیه، که قابلیـت تفکیک منـابع رسـوب را داشـته باشـد، انتخـاب شـد و نمونه‌های رسوب و منابع رسوبی از نظر نرمـال‌بـودن بـا آزمون کولموگروف- اسمیرنوف بررسی شد (جدول ٤). در این تحقیق یک روش آماری دو مرحله‌ای بـه منظـور تعیین ترکیب بهینهٔ خصوصیات منشـأیاب اسـتفاده شـد: نخست آزمون تجزیهٔ واریانس به منظـور بررسـی اینکـه کدام یک از خصوصیات منشـأیاب اخـتلاف معنـی‌داری بین انواع منابع را نشان می‌دهد (جـدول ٤) و در مرحلـهٔ بعـد آنـالیز تـابع تشـخیص Stepwise بـرای کـاهش خصوصیات انتخابی اولیه؛ به طـوری کـه دارای حـداقل همبستگی و حداکثر توان تفکیـک باشـند (جـدول ۵). از بین روش‌های آمـاری مختلـف ـ نظیـر شـبکهٔ عصـبی و نزدیک‌ترین همسایه ـ تحلیلِ تشخیص بیشترین کاربرد را دارد [۲۲].

مدل‌های چندمتغیرهٔ ترکیبی

در مدل‌های چندمتغیرهٔ ترکیبی از برنامه‌نویسی خطـی

Archive of SID

www.SID.ir

برای حل تعدادی از معادلات استفاده می‌شود. در این مدل‌ها فرض بر این است که ترکیب و مخلوط‌شدن خصوصیات منشأیاب از منابع مختلف به صورت خطی است [۵]. از این رو، می‌توان مدل یا معادلهٔ ترکیبی را برای هر یک از خصوصیات منشأیاب به صورت معادلهٔ ۱ نوشت:

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

$$0 \le b_j \le 1 \qquad (2)$$

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، روش‌هایی از جمله حداقل‌کردن مجموع مربعات باقی‌مانده [۱۳، ۲۱] یا حداقل‌کردن مجموع خطاهای نسبی [۱] و یا هر دو [۶] برای به‌دست‌آوردن سهم بهینهٔ منابع رسوب برآوردشده توسط مدل‌های چندمتغیرهٔ ترکیبی استفاده شده است.

مجموع مربعات باقی‌مانده را می‌توان به صورت معادلهٔ ۳ نوشت:

(۳)

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

که R مجموع مربعات باقی‌مانده است، X_i مقدار اندازه‌گیری‌شدهٔ خصوصیت i ام در نمونهٔ رسوب، Zj ضریب اصلاحی مواد آلی، m تعداد خصوصیات ردیاب، n تعداد متغیر گروه‌بندی (سازندهای زمین‌شناسی)، bj ضریب سهم هر یک از منابع رسوب، aij مقدار میانگین ردیاب iام در منبع رسوب j ام.

معادلهٔ ۱ را با حذف تأثیر واحدهای مختلف اندازه‌گیری می‌توان به صورت معادلهٔ ٤ نوشت:

(٤)

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

مجموع خطاهای نسبی به صورت معادلهٔ ۵ محاسبه می‌شود:

(۵)

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

که E مجموع خطاهای نسبی است. به این معادلات توابع هدف نیز می‌گویند. جواب‌های بهینه برای سهم منابع رسوب با حداقل‌کردن یکی از معادلات E یا R و با استفاده از عملیات تکرار و سعی و خطا و با در نظر گرفتن دو شرط $0 \le bj \le 1$ و مجموع bjها باید برابر با ۱ باشد و با استفاده از ابزار solver به‌دست می‌آید. در نهایت، اهمیت نسبی واحدهای سنگ‌شناسی در تولید بار معلق (جداول ۷) و نقشهٔ حساسیت به فرسایش از نظر تولید بار معلق (شکل ٤) رسم شده است.

ضرایب اصلاحی

مسئلهٔ غنی‌شدگی یا تهی‌شدگی عمومیت دارد و کمتر ردیابی را می‌توان یافت که فرایندهای یادشده در آن تأثیر نگذاشته باشد. برای اصلاح مسئلهٔ یادشده از نسبت میزان کربن آلی نمونهٔ رسوب به متوسط

Archive of SID

www.SID.ir

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

ارزیابی نتایج مدل چندمتغیرهٔ ترکیبی

از معیارهای خطای نسبی [۲، ۱۸]، روش‌های غیرمستقیم، و مشاهدات صحرایی [۲، ۱۲] می‌توان برای ارزیابی نتایج مدل‌های چندمتغیرهٔ ترکیبی استفاده کرد.

نتایج

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

جدول ۲. غلظت عناصر اندازه‌گیری‌شده و آمارهای توصیفی هر یک از خصوصیات منشأیاب در نمونه‌های رسوب و منابع رسوب

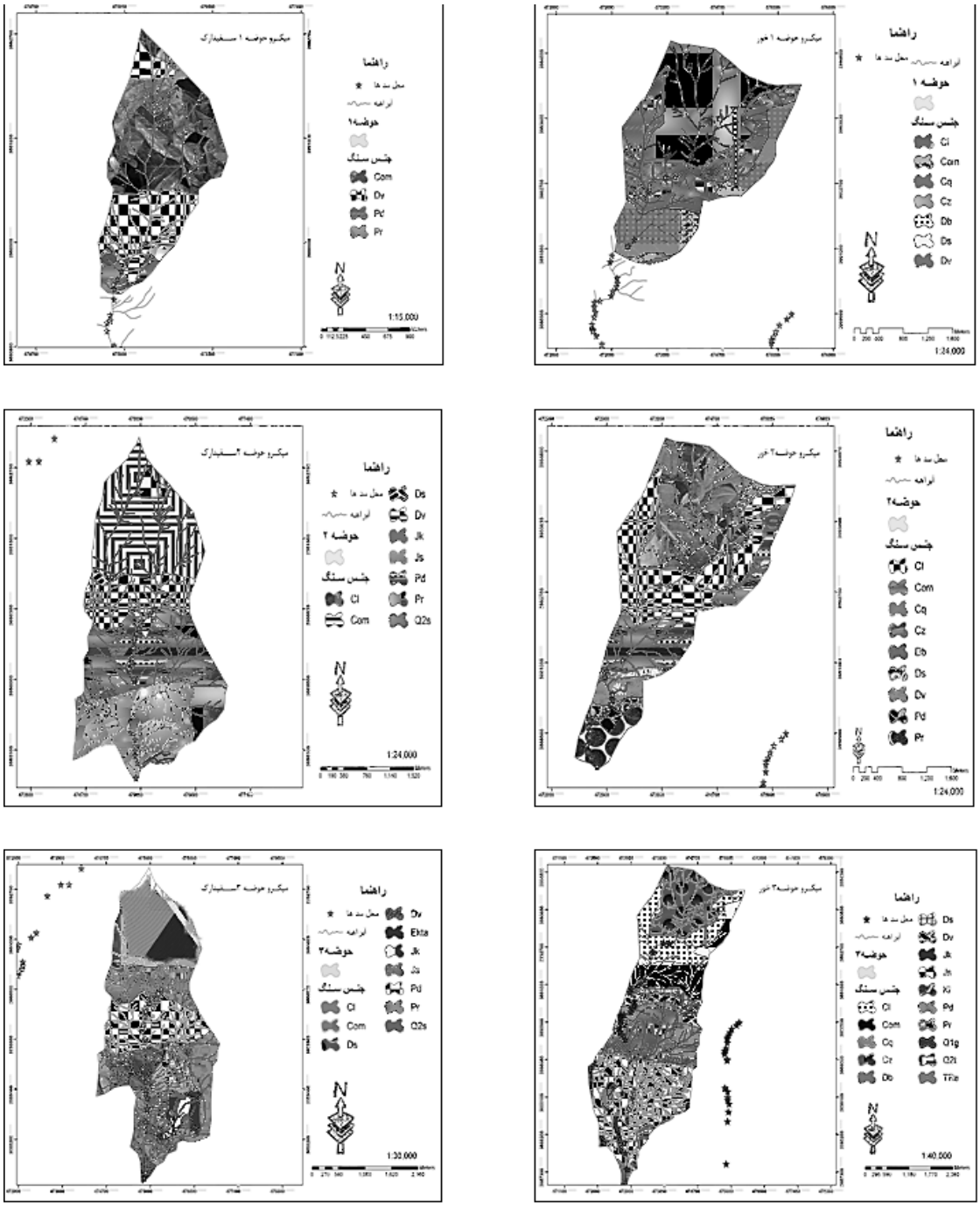
	عناصر	Mg (mg/L)	Oc (%)	N (%)	Ca (meq/100soil)	P (PPM)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Cr (ppb)	Co (ppb)
رسوبات پشت سدها (منطقهٔ رسوب‌گذاری)	میانگین	۲۹٫۹۳۵	۰٫۲۰۸۳۳۳	۰٫۰۲٤۳۳۳	۱۸٫۹۳۳۳۳	۲۷٫۱۳۳۳۳	۱۵۲٫٦٦٦۷	٦٫۸۳۳۳۳۳	۵۵٫۸۱۵	٦۵٫۹۰۸۳۳
	انحراف معیار	٤٫۸۷٤۳۸۵	۰٫۱٦۹۵۱۹	۰٫۰۱۹۳۱۵	۵٫٦۷۱۹۱۹	۱٤٫۸٤۵۱٦	۱۱۹٫۵۳۰۲	۲٫٦۳۹٤٤٤	٤٫۰۰۷۳۳۷	٤٫۵۷۱۸۳۷
	min	۲۰٫۷۱	۰٫۰۳	۰٫۰۰۳	۹٫٦	۱۷٫۲	٤٤	۵	۵۱٫۱۵	٦۰٫۱۵
	max	٤۳٫۷٦	۰٫٤٦	۰٫۰۵	۲٦٫٤	۵٦	۳۰٤	۱۲	٦۲٫۰۹	۷۲٫۲۷
رسوبات واحدهای سنگ شناسی (منطقهٔ برداشت)	میانگین	۱۵٫۷٦۰٤۲	۰٫۵۷۰۸۳۳	۰٫۰٦۲۱٦۷	۲٤٫۲٦٦٦۷	۳۷٫٦٦٦٦۷	۲۰۳٫۵	۱۵٫۲۲۹۱۷	۵۸٫۸۵٦٦۷	٦۳٫۲۱٤۱۷
	انحراف معیار	٦٫۸۱۷۲٦۸	۰٫٤۷۵۸٤۲	۰٫۰٤۸۵۲۲	۷٫۰٦٤۰۹٦	۲٤٫٤۵۸۱٤	۱۲۳٫۲۵۰۵	٦٫٤٤۷۰٤٤	۵٫٤۲٤۹۲۵	۱۰٫۱۹۳۰٤
	min	۸٫۸۱	۰٫۰۲	۰٫۰۰۲	۸	۱٤٫۸	٤٤	۷	٤٦٫۰۳	۳۹٫۲۱
	max	۳۹٫۵۵	۱٫۹	۰٫۲	۳٤٫٤	۹۷٫٦	۳۷٦	۳٤	٦۸٫۰٦	۷۹٫۳۹

جدول ۳. تقسیم‌بندی زیرحوضه‌های منطقه برای مطالعات منشأیابی ژئوشیمیایی

آبراهه	زیرحوضه	مساحت	کل گابیون‌های موجود	گابیون‌هایی که رسوب آن‌ها به عنوان رسوب خروجی زیرحوضه در نظر گرفته شده است
شاخهٔ خور	۱	۵۷۰٫۰۱	٦	٤-٦
	۲	٦٦۰٫۸۹	۲۲	۱۷،۱۹،۲۲
	۳	۱۵۳۳٫۹۳	۲٦	۲٤-۲٦
شاخهٔ سفیدارک	۱	۱۷۲٫۸۵	۷	۵-۷
	۲	٦۸۱٫۸۰	۲۰	۱۷-۲۰
	۳	۸۵٦٫۲۳	۲۲	۲۰-۲۲

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳. زیرحوضه‌های مورد مطالعه در حوضهٔ خور و سفیدارک

www.SID.ir

جدول ٤. نتایج آزمون Kolmogorove- Smirnov یک‌نمونه‌ای در نمونه‌های رسوبی و منابع رسوب و نتایج آزمون تجزیهٔ واریانس در منابع رسوب

عناصر (منابع رسوب)	آزمون Kolmogorove-Smirnov یک‌نمونه‌ای/ سطح معنی‌داری	توزیع	آزمون تجزیهٔ واریانس (Sig.)	عناصر (نمونه‌های رسوب)	آزمون Kolmogorove-Smirnov یک‌نمونه‌ای/ سطح معنی‌داری	توزیع
Mg	۰/۲۹۹	نرمال	۰/۷۰۳	Mg	۰/۷۰٦	نرمال
Oc	۰/۷۵۸	نرمال	۰/۱۱۸	Oc	۰/۹۹۸	نرمال
N	۰/۷۷۹	نرمال	۰/۱	N	۰/۹۹۹	نرمال
Ca	۰/٦۷۰	نرمال	۰/۰۳	Ca	۰/۹۹۸	نرمال
P	۰/۰۰۸	غیرنرمال	۰/۱۵	P	۰/۵۸۸	نرمال
Na	۰/۱۲۲	نرمال	۰/۳۵۷	Na	۰/٦۹۸	نرمال
K	۰/٤٤۰	نرمال	۰/۰۵۷	K	۰/٦۷۲	نرمال
Cr	۰/۸۹۳	نرمال	۰/٦۳	Cr	۱	نرمال
Co	۰/۹۱۹	نرمال	۰/۰۹	Co	۰/۸۱۹	نرمال

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

زیرحوضه‌ها	زیرحوضهٔ ۱ خور	زیرحوضهٔ ۲ خور	زیرحوضهٔ ۳ خور	زیرحوضهٔ ۱ سفیدارک	زیرحوضهٔ ۲ سفیدارک	زیرحوضهٔ ۳ سفیدارک
عناصر	Sig.	Sig.	Sig.	Sig.	Sig.	Sig.
Mg	۰/۳۹۱	۰/٤۲۹	۰/۷	۰/٦۵۰	۰/٦۹۲	۰/۷۷۰
Oc	۰/۳۱٤	۰/۱٤	۰/۲	۰/۱۸۰	۰/۲۳	۰/۱۱۵
N	۰/۳۱۷	۰/۱٤	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۱۹	۰/۰۱
Ca	۰/۰۸٦	۰/۰٤	۰/۰۳	۰/٤٦۳	۰/٦٤۱	۰/۱
P	۰/٤۷۳	۰/٤۰	۰/۰۵	۰/۱٦۱	۰/۰۵	۰/۰۱
Na	۰/۱٤۹	۰/۳٤	۰/۳	۰/۳۵۳	۰/۲٤٤	۰/٤۱۳
K	۰/۵۳۳	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۵۷۵	۰/۱۸	۰/۱٦
Cr	۰/۳۹۰	۰/۲٤	۰/٦	۰/۰٤	۰/۰۲	۰/۹
Co	۰/۳٦٦	۱/۰	۰/۱	۰/۷۷۰	۰/۸۹۰	۰/۰٤

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٦. اهمیت نسبی سازندهای زمین‌شناسی در سرشاخهٔ خور

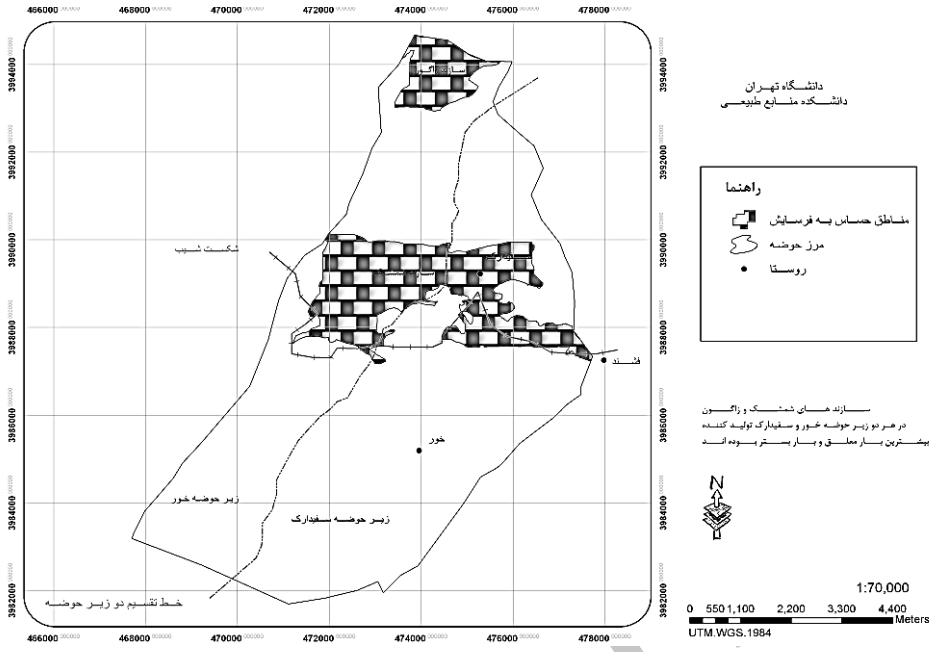
زیرحوضه	خطای نسبی	منابع تولید رسوب	سهم کل (درصد)	مساحت (%)	اهمیت نسبی
		Cz	١٠٠	٣٨٫٢٤٥٦١	٢٫٦١٤٦٧٩
زیرحوضهٔ ١ خور	١٥	Com	٠	٢٠٫٧٠١٧٥	٠
		Cl	٠	٤١٫٠٥٢٦٣	٠
		Cl	٠	٣٠٫٩٠٩٠٩	٠
		Com	٠	١٨٫٨٤٤٨٥	٠
		Cz	٦٤٫٩٥	٣٣٫٠٣٠٣	١٫٩٥٢٤٥
زیرحوضهٔ ٢ خور	١٥	Ds	٠	١٫٥١٥١٥٢	٠
		Dv	٣	٣٫٤٨٤٨٤٨	٠٫٨٦٠٨٧
		Pd	٠	٦٫٥١٥١٥٢	٠
		Pr	٣٢٫٠٤	٦٫٠٦	٥٫٧٨١٦
		Cl	٠	١٤٫٠٨١٧٥	٠
		Com	٠	١١٫٣٤٣٦٣	٠
		Cz	١١٫٧٨٣٩٤	١٤٫٢١٢١٤	٠٫٨٢٩١٤٦
		Ds	٠	١٫٦٩٥٠٢٦	٠
زیرحوضهٔ ٣ خور	١٢	Dv	٨٫٢١٦١	٤٫١٧٢٣٧١	١٫٩٦٩١٦٨
		Js	٨٠	٢٧٫٥٧٦٧٧	٢٫٩٠٠٩٩٣
		Pd	٠	٤٫٨٨٩٤٩٧	٠
		Pr	٠	٢٢٫٠٢٨٨٢	٠

جدول ٧. اهمیت نسبی سازندهای زمین‌شناسی در سرشاخهٔ سفیدارک

زیرحوضه	خطای نسبی	منابع تولید رسوب	سهم کل (درصد)	مساحت (%)	اهمیت نسبی
		Com	٧٠	٦٠٫١٨	١٫١٦
زیرحوضهٔ ١ سفیدارک	١٢	Dv	٣٠	٣٣٫٤٤	٠٫٩٧
		Pd	٠	٦٫٣٦	٠
		Com	٢	٢٩٫٥١	٠٫٠٦٧٧٦١
زیرحوضهٔ ٢ سفیدارک	١٣	Dv	١٠	٢٥٫٤٠	٠٫٧١٦٨٤٢
		Js	٨٦	٢٢٫٧٦٠٦٥	٣٫٧٧٨٤٥٢
		Pd	٢	٢٢٫٣٢٠١٢	٠٫٠٨٩٦٠٥
		Com	٠	٢٣٫٤٨١٣١	٠
		Dv	٦	١٢٫٥	٠٫٤٨
زیرحوضهٔ ٣ سفیدارک	١٥	Pd	٢	١٧٫٦٤٠١٩	٠٫١١
		Js	٩١	٢٧٫٨٠٣٧٤	٣٫٢٧
		Pr	١	١٨٫٥٧٤٧٧	٠٫٠٩

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ٤. مهم‌ترین سازندهای تولیدکنندهٔ رسوب در حوزهٔ آبخیز خور و سفیدارک

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 برداشت‌شدهٔ 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 شاخهٔ خور و سفیدارک به‌خوبی تفکیک کنند، بنابراین، بهترین خصوصیات منشأیاب برای این مناطق هستند؛ این نتیجه با نتایج [۲۱] مطابقت دارد. جدول ٤ نشان می‌دهد که در آزمون تجزیهٔ واریانس یک‌طرفه در سطح ۹۰ درصد عناصر کلسیم، پتاسیم، نیتروژن، و کبالت انتخاب شده‌اند. نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نمونه‌ای در جدول ٤ 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 جامعهٔ نرمال برخوردارند. البته، عدم تبعیت مجموعه متغیرها از فرض نرمال حیاتی نیست و آزمون معنی‌داری حاصل تا زمانی که غیرنرمال‌بودن ناشی از چولگی است و نه داده‌های پرت معتبر است [۱٦]. در زیرحوضهٔ 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 ٦، اهمیت نسبی در این

Archive of
www.SID.ir

زیرحوضه بین ۰ تا ۲٫٦۱ متغیر است که واحدهای Com و Cl دارای اهمیت نسبی ۰ و سازند Cz دارای اهمیت نسبی ۲٫٦۱ است. جدول ٦ در زیرحوضهٔ 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 Pr 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 ٦ در زیرحوضهٔ 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 به‌ترتیب 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 تخلیه‌کنندهٔ رسوبات Dv به گابیون‌هاست. جدول ۷ در زیرحوضهٔ ۱ سفیدارک نشان می‌دهد که عناصر نیتروژن و کروم در سطح ۵ درصد معنادار است. توزیع سهم نسبی ۷۰ و ۳۰ درصد به‌ترتیب متعلق به واحدهای Com و Dv است. اهمیت نسبی از ۰ تا ۱٫۱٦ متغیر است و بیشترین مقدار آن متعلق به Com است. علت نقش زیاد Com این است که ٦۰ 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 فاصلهٔ کم تا خروجی حوضه نقش زیادی در تولید رسوب زیرحوضهٔ ۱ سفیدارک دارند. جدول ۷ در زیرحوضهٔ 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 ۸٦ درصد در رتبهٔ اول و Dv با ۱۰ درصد در رتبهٔ دوم قرار می‌گیرد. با در نظر گرفتن مساحت واحدهای سنگ‌شناسی، اهمیت نسبی آن‌ها به فرسایش بین ۰٫۰٦ تا ۳٫۷۷ به‌دست آمد که به‌ترتیب متعلق به واحدهای Js و Com است. ملاحظه می‌شود که با دورشدن 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 زیرحوضهٔ 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 رتبهٔ اول و Dv با ٦ درصد در رتبهٔ دوم قرار می‌گیرد. با در نظرگرفتن مساحت واحدهای سنگ‌شناسی، اهمیت نسبی آن‌ها به فرسایش بین ۰ تا ۳٫۲۷ به‌دست آمد که به‌ترتیب 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 زیرحوضهٔ سفیدارک نیز سازند شمشک سهم بسیاری در تولید رسوب معلق دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

تشکر و قدردانی

از کارکنان محترم بخش آبخیزداری ادارهٔ منابع طبیعی هشتگرد و به‌ویـژه ریاسـت محتـرم بخـش مربوطـه، جناب آقای مهندس سید علیخانی، به دلیل راهنمـایی و لطف بی‌شائبه‌شان در تکمیل این تحقیق، بی‌نهایـت سپاسگزاریم.

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., Sichingabula, 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). Investigting use of tracers for source identification of fine alluvial sediments (case study Pole Dasht Water Spreeding 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 finger- printing 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 ombrotermic 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.

Archive of SID

www.SID.ir

[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., Hodghinson, 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.

Archive of SID

www.SID.ir