

Determining Geological Formation Contribution in Suspended Sediment Yield Using Sediment Fingerprinting Technique (Ziarat Drainage Basin, Golestan Province)

KAZEM NOSRATI^{1*}, MOHAMMAD REZA ZARE², SAEDEH JALALI³

1. Associated professor of Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2. Assistan professor Department of physic, Mallek Ashtar University- Tehran, Tehran, Iran

3. Master science Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

(Received: May. 132, 2018- Revised: July. 7, 2018- Accepted: July. 10, 2018)

ABSTRACT

Sediment tracing method has been proven as a successful and effective method to determining sediment sources contribution in sediment yield in recent two decades. Ziarat drainage basin in Golestan province is one of the water supply resources in Gorgan city. The main lithological formations in the study area are Gorgan Schists, Quaternary alluvial deposits, Shemshak and Khosh yeylagh Formation which could have an important role in erosion and sediment yield. For tracing sediment, 14 samples of suspended sediment from catchment outlet during precipitation events and 43 representative samples of geologic formations (as sediment sources) from the soil surface (depth of 0-5 cm) were collected and geochemical elements, ¹³⁷Cs and organic carbon were measured in the samples as tracers. The optimum set of tracers was selected by using Kruskal-Wallis test and discriminate function analysis. The results of this study indicate that the tracers including OC, ¹³⁷Cs and Cu have the most potential to discriminate the sediment sources. The result of the sediment fingerprinting mixing model showed that Shemshak formation, fluvial deposition, Khosh yeylagh and Shist formation have 42, 31/9 and 23/7, 1.6% of the sediment contributions in sediment yield, respectively.

Keywords: Sediment tracing, geochemical tracer, ziarat watershed, ¹³⁷Cs

* Corresponding Author's E-mail: k_nosrati@sbu.ac.ir

تعیین سهم سازندهای زمین‌شناسی در تولید رسوب معلق با استفاده از روش منشایابی رسوب (حوزه آبخیز زیارت استان گلستان)

کازم نصرتی^۱، محمد رضا زارع^۲، سعیده جلالی^۳

۱. دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲. استادیار فیزیک دانشگاه مالک اشتر تهران، تهران، ایران

۳. کارشناس ارشد رشته جغرافیای طبیعی - ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۲۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۴/۱۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۴/۱۹)

چکیده

روش منشایابی رسوب به‌عنوان روشی موفق و مؤثر برای تعیین سهم منابع رسوب در تولید رسوب در طول دو دهه‌ی اخیر به اثبات رسیده است. حوزه آبخیز زیارت در استان گلستان، یکی از منابع تأمین آب شهر گرگان است. واحدهای اصلی زمین‌شناسی این حوضه شامل شیست گرگان، رسوبات آبرفتی دوره کواترنر، سازند شمشک و خوش بیلاق است که می‌توانند نقش مهمی در فرسایش و تولید رسوب داشته باشند. برای منشایابی رسوب، ۱۴ نمونه از رسوب معلق رواناب خروجی حوضه (رسوب تولیدی) و ۴۳ نمونه از واحدهای زمین‌شناسی (منبع رسوب) از عمق ۵-۰ سانتی‌متری جمع‌آوری و عناصر ژئوشیمیایی و سزیم^{۱۳۷} به‌عنوان ردیاب در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. با استفاده از آزمون کروسکال-والیس و تحلیل تشخیص ترکیب بهینه ردیاب‌ها مشخص شد. بر این اساس، ردیاب‌های کربن آلی، سزیم^{۱۳۷} و مس بالاترین توان جداسازی منابع رسوب را داشتند. نتیجه‌ی مدل چندمتغیره‌ی ترکیبی منشایابی رسوب نشان داد، سازند شمشک، نهشته‌های آبرفتی رودخانه، خوش بیلاق و شیست گرگان به ترتیب ۴۲/۲، ۳۱/۹، ۲۳/۷ و ۱/۶ درصد در تولید رسوب سهم دارند.

واژه‌های کلیدی: منشایابی رسوب، ردیاب ژئوشیمیایی، حوزه آبخیز زیارت، سزیم^{۱۳۷}

مقدمه

مسئله فرسایش شدید شونده خاک در ایران طی ۵۰-۶۰ سال اخیر افزایش قابل‌توجهی پیدا کرده است (Nosrati *et al.*, 2011). از این رو با توجه به افزایش فرسایش خاک و تولید رسوب، آگاهی از تعیین سهم نسبی منابع فرسایش خاک و تولید رسوب یکی از نیازهای ضروری در مدیریت حوزه‌های آبخیز ایران برای انتخاب روش حفاظت خاک و کنترل رسوب به شمار می‌رود. امروزه فن منشایابی یا ردیابی رسوب به یک روش اساسی و کلیدی در تعیین منابع رسوب در یک حوزه آبخیز تبدیل شده است. (Collins *et al.*, 1997). مطالعات متعددی در سراسر دنیا انجام شده و روش‌ها و مدل‌های متفاوت و همچنین ردیاب‌ها و گروه‌های منابع تولید رسوب متعددی مورد آزمایش و طبقه‌بندی قرار گرفته است. طیف وسیعی از ردیاب‌ها مانند ویژگی‌های فیزیکی رنگ، (Barthod *et al.*,

2015) و اندازه ذرات (Weltje., 2012)، کانی‌شناسی (Gingele and De Deckker, 2005)، ژئوشیمیایی (Xie *et al.*, 2018) ایزوتوپ پایدار (Fox and Papanicolaou., 2008)، بیومارکر^۱ (Alewell *et al.*, 2016)، آنزیم خاک (Nosrati *et al.*, 2011) و کربن آلی و نیتروژن (Chun *et al.*, 2018) و ردیاب‌های ریزشی^۲ رادیونوکلوئیدی از جمله سزیم^{۱۳۷} و سرب^{۲۱۰} (Evrard *et al.*, 2016; Alewell *et al.*, 2016) به‌عنوان قابل‌اعتمادترین ردیاب‌ها در مطالعات منشایابی شناخته شده‌اند. از میان نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش‌های مختلف، سازندهای زمین‌شناسی به‌عنوان منابع رایج برای مطالعات منشایابی رسوبات معلق انتخاب شده‌اند (Smith and Blake, Collins *et al.*, 2013a; Palazon *et al.*, 2015; Wilkinson *et al.*, 2013; 2014; Gellis *et al.*, 2009; Nosrati *et al.*, 2014.). پژوهش‌های مختلفی در رابطه با فرسایش‌پذیری و توان رسوب‌زایی سازندهای زمین‌شناسی صورت گرفته است. Samadi Arghini

فصول سرد سال (پائیز و زمستان) رخ داده و میانگین آن معادل ۵۳۱/۲۵ میلی‌متر در سال برآورد و بیشینه رطوبت در فصول سرد به ۷۸ و در فصول گرم به ۷۱ درصد می‌رسد. بلندترین ارتفاعات مربوط به جنوبی‌ترین بخش حوضه با ارتفاع ۳۰۲۰ متر از سطح دریا و پست‌ترین نقطه مربوط به بخش شمالی و خروجی حوضه با ارتفاع ۷۵۶/۴ متر است. زیارت از لحاظ زمین‌شناسی دارای چندین واحد لیتولوژیک است که قدیمی‌ترین این واحدهای سنگی مربوط به دوره اردوئین در پالئوزوئیک و شامل مجموعه دگرگونی شیست گرگان (بخش شمالی حوضه) و جدیدترین تشکیلات، سنگ‌های آهکی مارنی مربوط به دوره کرتاسه بالایی است. موقعیت حوضه و مشخصات سازندها به ترتیب در شکل (۱) نشان داده شده است (Consultant engineering pazhubab-sharg, 2010)

نمونه‌برداری از منابع رسوب

به‌منظور نمونه‌برداری از منابع رسوب، بعد از پیمایش صحرائی و آماده‌سازی نقشه‌های موردنیاز، با توجه به سازندهای موجود ۴ گروه منبع رسوب شامل شیست گرگان، نهشته‌های آبرفتی بستر رودخانه، سازند شمشک و خوش ییلاق انتخاب شدند. مطابق شکل (۱)، نمونه‌های برداشت‌شده از منطقه در مجموع ۴۳ نمونه از واحدهای زمین‌شناسی متفاوت، از عمق ۵-۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد. به‌منظور اینکه نمونه‌ها معرف کاملی از محل نمونه‌برداری شده باشد در هریک از محل‌های نمونه‌برداری در یک شعاع تقریبی ۱۰۰ متری، حدود ۵ نمونه برداشت و پس از مخلوط کردن آن‌ها، حدود یک کیلوگرم نمونه برداشت شد (Collins et al., 1997; Cooper et al., 2015; Massoudieh et al., 2013 and Devereux et al., 2010)

نمونه‌برداری از رسوبات معلق

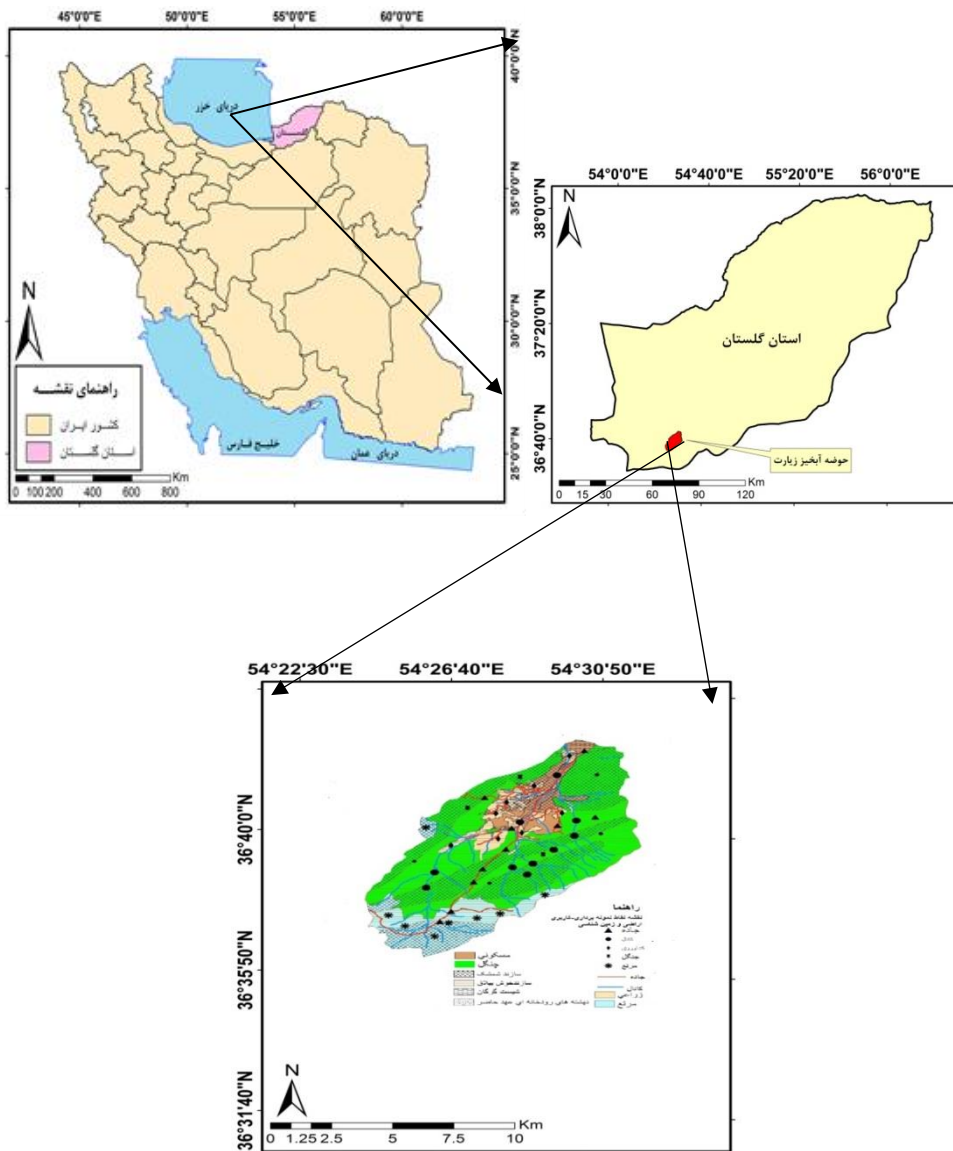
در این پژوهش تعداد ۱۴ نمونه‌ی رسوب از رسوب‌های معلق حوضه جمع‌آوری شد. بدین شرح که در طول هر چهارده رخداده باران در بازه زمانی سال هر ۱۵ دقیقه یک‌بار از جریان خروجی حوضه ۱۰ لیتر و در مجموع در هر رخداده حدود ۱۰۰ لیتر نمونه برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌ها از کاغذ صافی عبور داده شدند و در داخل آون قرار گرفته و پس از خشک شدن با الک ۶۳ میکرون غربال شدند. شکل (۲)، ویژگی‌های رخدادهای بارندگی و غلظت رسوب رواناب خروجی رخدادهای بارش را در حوضه‌ی آبخیز زیارت نشان می‌دهد.

(2013) *et al.* سهم واحدهای زمین‌شناسی را در تولید رسوب حوضه آبخیز حسن ابدال زنجان بررسی و به این نتیجه رسیدند سازند زاگون (شیل میکایی صورتی تا قرمز) با ۴۴/۶۲ درصد بیش‌ترین سهم را در فرسایش و تولید رسوب بر عهده داشته‌اند. (2001) Hessami. در مطالعه‌ی خود به این نتیجه رسید که واحد سنگ‌شناسی دگرگونی با ۴۹/۸۱ درصد بیش‌ترین اهمیت نسبی را در تولید فرسایش و رسوب داشته که این واحد شامل اسکارن و کمی هورن فلز است. (2009) Feiznia *et al.* در مطالعه‌ی خود به این نتیجه رسیدند در حوضه‌ی آبخیز ابولفارس استان خوزستان، بخش لهبری از سازند آجاجری و پابده-گورپی به ترتیب با ۳۹/۳ و ۶/۹ درصد مهم‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین بخش‌های حوضه در تولید رسوب هستند. مرور پیشینه پژوهش در ایران نشان می‌دهد که علاوه بر کمبود مطالعات منشایی، در مطالعات انجام‌گرفته به‌جز تعداد محدودی مانند (Nosrati *et al.*, 2015) نمونه‌برداری رسوب معلق به صورت کلی در زمانی از سال بوده و بر پایه رخدادهای بارندگی و تولید رسوب ناشی از آن نبوده است. همچنین در کلیه مطالعاتی که نمونه‌برداری رسوب معلق برداشت شده است از ردیاب سزیم^{۱۳۷} استفاده نشده است. بدین ترتیب با توجه به سهم اندک انجام مطالعات منشایی در ایران و مخصوصاً حوضه‌های آبخیز شمال کشور و روند رو به رشد تخریب خاک و فرسایش و رسوب در حوضه‌ی آبخیز زیارت به‌عنوان تأمین‌کننده‌ی ۳۰ درصد از نیاز آب شرب شهرستان گرگان، هدف از این پژوهش، گزینش ترکیب مناسبی از عناصر ژئوشیمیایی، آلی و رادیواکتیو و تعیین سهم واحدهای زمین‌شناسی حوضه آبخیز زیارت در تولید رسوب است.

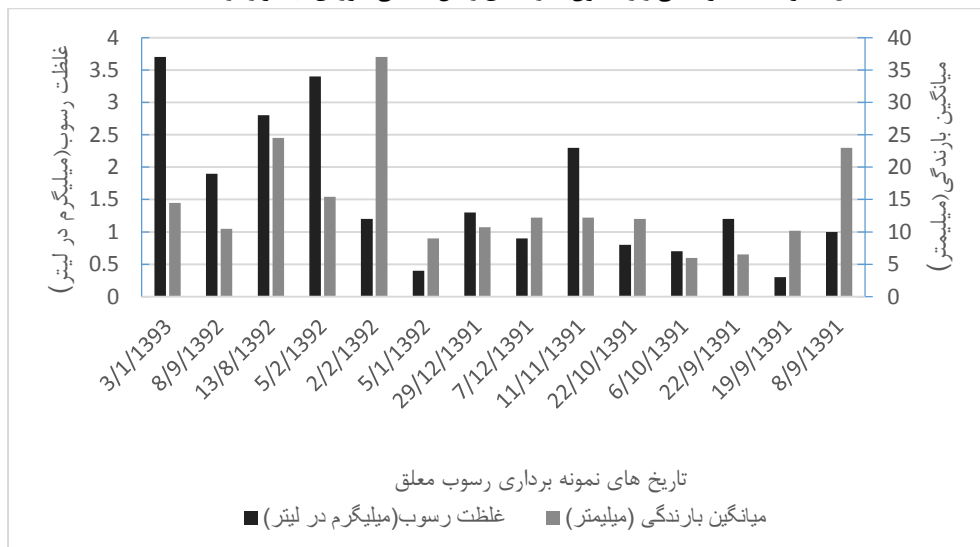
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی موردپژوهش با نام حوضه‌ی آبخیز زیارت با مساحت ۷۷/۹ کیلومترمربع و محیط ۴۰/۵۱ کیلومتر در استان گلستان، در شهرستان گرگان و بین مختصات ۵۴ درجه، ۲۳ دقیقه و ۵۳ ثانیه تا ۵۴ درجه، ۳۱ دقیقه و ۱۱ ثانیه طول جغرافیایی و ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه و ۵۱ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه و ۵۹ ثانیه عرض جغرافیایی قرار گرفته است. حوضه دارای اقلیم آب و هوایی معتدل تا سرد کوهستانی است و میانگین درجه حرارت در آن ۱۳/۷ سانتی‌گراد و نیز بیش‌ترین میزان بارندگی در



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و رخنمون سازندهای زمین‌شناسی حوزه آبخیز زیارت



شکل ۲. ویژگی‌های رخدادهای بارندگی و غلظت رسوب رواناب خروجی از حوزه آبخیز زیارت

گروه‌های مجزا، به صورتی که هر گروه در عین اینکه با گروه دیگر شباهت و همبستگی دارد، از انسجام لازم نیز برخوردار باشد. منظور از آنالیز تشخیص، گروه‌بندی داده‌ها به گروه‌های متجانس است، به‌گونه‌ای که مشاهده‌های هر گروه با یکدیگر شبیه باشند و مشاهده‌های گروه‌های مختلف نسبت به یکدیگر کمترین شباهت را داشته باشند (Collins and Walling, 2003; Walling et al., 2003; Cooke et al., 2007). روش‌های آماری مربوط به این دو مرحله با استفاده از نرم‌افزار محاسبات آماری SPSS.۱۶ انجام گردید.

تعیین سهم منابع رسوب

در مدل‌های چند متغیره ترکیبی از برنامه‌نویسی خطی برای حل تعدادی از معادلات استفاده می‌شود. در این مدل‌ها فرض بر این است که ترکیب و مخلوط شدن خصوصیات منشأیاب از منابع مختلف به صورت خطی است (D Haen., 2012). از این رو می‌توان مدل یا معادله ترکیبی را برای هر یک از خصوصیات منشأیاب به صورت زیر نوشت:

$$\hat{X}_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} b_j \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این معادله \hat{X}_i ، برابر با مقدار برآوردی خصوصیت i ام (m و ... و ۲ و ۱)، مقدار میانگین خصوصیت i ام در منبع رسوب j ام (n و ... و ۲ و ۱)، b_j ، سهم منبع رسوب j ام، a_{ij} ، تعداد منابع رسوب و m ، تعداد خصوصیات منشأیاب است. برای هر یک از خصوصیات منشأیاب، معادله فوق تکرار می‌شود و بنابراین به تعداد خصوصیات، معادله وجود خواهد داشت و مدل چند متغیره ترکیبی با تعدادی معادله مشخص خواهد شد. با حل این معادلات می‌توان سهم هر یک از منابع مختلف رسوب را به دست آورد. در حل این معادلات باید دو شرط زیر را در نظر گرفت (Collins et al., 2013b):

چون مجموعه معادلات یادشده دارای مجهولات زیادی بوده و راه‌حل‌های متنوعی می‌تواند داشته باشد از این رو برای بدست آوردن نتایج بهینه در تعیین سهم منابع رسوب و بجای حل مستقیم باید از روش‌های بهینه‌سازی استفاده شود. در مطالعات منشأیابی، روش‌هایی از جمله حداقل کردن مجموع مربعات باقیمانده یا حداقل کردن مجموع خطاهای نسبی و یا هر دو برای بدست آوردن سهم بهینه منابع رسوب برآورد شده توسط مدل‌های چند متغیره ترکیبی وجود دارد. مجموع مربعات باقیمانده را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$R = \sum_{i=1}^m (X_i - \hat{X}_i)^2 = \sum_{i=1}^m \left[X_i - \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} b_j z_j \right) \right]^2 \quad (\text{رابطه ۲})$$

اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی

با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده، عناصر آلی و ژئوشیمیایی و رادیونوکلوئیدی، شامل، سزیم ^{137}Cs ، کربن آلی (OC)، استرانسیم (Sr)، نیکل (Ni)، سدیم (Na)، پتاسیم (K)، مس (Cu)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، کلسیم (Ca) و منیزیم (Mg)، سرب (Pb)، به منظور منشأیابی انتخاب شدند. استدلال انتخاب این عناصر این است که عناصر انتخابی ترکیبی از عناصری است که هم بیانگر میزان مواد آلی موجود در خاک است که می‌تواند تفاوت بین فرسایش در خاک سطحی و عمقی را نشان دهد و هم عناصری است که می‌تواند تفاوت فرسایش سطحی را در سازندهای زمین‌شناسی مختلف مشخص نماید. ترکیب عناصر انتخابی می‌تواند علاوه بر تأثیر سازندها، تأثیر مدیریت محیط را نیز مشخص نماید. برای استخراج عناصر از نمونه‌های خاک و رسوب از روش هضم اسیدی استفاده شد. یک گرم نمونه خشک با قطر کمتر از ۶۳ میکرون را درون ظرف هضم ریخته و با آب مقطر مرطوب گشت. ۱۰ میلی‌لیتر محلول اکوا رجیا ترکیب اسیدکلریدریک غلیظ و اسید نیتریک با نسبت سه‌به‌یک به آن اضافه و به مدت ۲ ساعت درون ترموراکتور با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. در نهایت پس از سرد شدن، نمونه‌ها با کاغذ صافی صاف و درون لوله‌های آزمایش نگهداری شد. غلظت عناصر ژئوشیمیایی با استفاده از دستگاه جذب اتمی و استفاده از نمونه استاندارد مرک و رسم منحنی کالیبراسیون اندازه‌گیری شد. کربن آلی نیز به روش والکی و بلاک اندازه‌گیری شد (Carter et al., 2003). عنصر سزیم ^{137}Cs نیز با استفاده از روش گاما اسپکترومتر (Callins et al., 1997) اندازه‌گیری شد.

انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها

انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها و تفکیک منابع بالقوه رسوب با استفاده از روش‌های آماری دو مرحله ای تعیین می‌گردد (Collins & Walling, 2004; Lindsey et al., 2007). در مرحله نخست با استفاده از آزمون ناپارامتری کروسکال والیس (آماره H) توانایی هر کدام از ردیاب‌ها در تفکیک منابع رسوب بررسی می‌شود. در نتیجه ردیاب‌هایی که سطح معناداری آن‌ها کمتر از ۰/۰۵ باشد منابع رسوب را از هم تفکیک می‌کنند و وارد مرحله دوم می‌شوند. سایر ردیاب‌هایی که سطح معناداری‌شان بیشتر از ۰/۰۵ باشد، حذف می‌گردند. سپس در مرحله بعد آنالیز تابع تشخیص گام‌به‌گام، برای کاهش خصوصیات انتخابی اولیه به‌طوری که دارای حداقل همبستگی و حداکثر توان تفکیک باشند به کار گرفته می‌شود. آنالیز تشخیص، راهکاری است برای تفکیک متغیرها در قالب

معادله و با استفاده از عملیات تکرار و سعی و خطا و با در نظر گرفتن دو شرط $0 \leq bj \leq 1$ و مجموع bj ها باید برابر با ۱ باشد و با استفاده از ابزار solver به دست می‌آید.

نتایج و بحث:

ترکیب بهینه ردیاب‌ها بر اساس واحدهای زمین‌شناسی

جدول (۱) نتایج آزمون آماری کروسکال والیس را در سازندهای زمین‌شناسی نشان می‌دهد. با توجه به این جدول از ۱۱ ردیاب به‌کاررفته، ۵ ردیاب، قادر به تفکیک و جداسازی واحدهای زمین‌شناسی می‌باشند. در این جدول مقدار آماره H نیز در نظر گرفته شده است. هر چه مقدار H بالاتر باشد قدرت تفکیک عنصر هم بیشتر می‌شود. با افزایش مقدار آماره H سطح معنی‌داری نیز مناسب شده است.

R مجموع مربعات باقیمانده و X_i مقدار اندازه‌گیری شده خصوصیت i ام در نمونه رسوب، Z_j ضریب اصلاحی مواد آلی، m تعداد خصوصیات ردیاب و n تعداد متغیر گروه‌بندی (سازند-های زمین‌شناسی)، b_j ضریب سهم هر یک از منابع رسوب و a_{ij} مقدار میانگین ردیاب i ام در منبع رسوب j ام است. معادله فوق را با حذف تأثیر واحدهای مختلف اندازه‌گیری می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$R = \sum_{i=1}^m \left[\frac{X_i - \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} b_j z_j \right)}{X_i} \right]^2 \quad (\text{رابطه ۳})$$

جواب بهینه برای سهم منابع رسوب با حداقل کردن این

جدول ۱. نتایج آزمون کروسکال والیس

ردیاب	مقدار H	سطح معنی‌داری	ردیاب	مقدار H	سطح معنی‌داری
Sr*	۹/۶	۰/۰۰۵	Fe*	۱۸/۰۳	۰/۰۰۴
Mn	۱۰/۲	۰/۰۳۹	Ca*	۱۲/۶	۰/۰۲۱
Na	۴/۳	۰/۱۵۰	C*	۳۴/۵۶	۰/۰۰۰
Mg	۵/۱	۰/۱۲۴	Pb	۴/۵	۰/۱۶۵
K	۸	۰/۰۶۷	Ni	۴	۰/۱۴۰
Cu*	۱۲/۰۷	۰/۰۰۲	³⁷ Cs*	۲۹/۳	۰/۰۰۰

* سطح خطای موردپذیرش کمتر از ۰/۰۵ است

میزان تفکیک بین گروه‌ها افزایش یافته است. مس، کربن آلی و سزیم^{۱۳۷} بالاترین توان جداسازی را در بین عناصر داشتند. نتایج آزمون تابع تحلیل تشخیص در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۲. مراحل گام‌به‌گام ورود ردیاب به مدل

گام	خصوصیات ردیاب	ویلیکس لامبدا	سطح معنی‌داری
۱	C	۱۸/۴	<۰/۰۰۰۱
۲	¹³⁷ Cs*	۱۶	<۰/۰۰۰۱
۳	Cu	۱۱	<۰/۰۰۰۱

در مرحله دوم پنج ردیاب حاصل از آماره H مورد تحلیل تابع تشخیص قرار گرفتند. جدول (۲) مراحل مختلف اضافه شدن خصوصیات ردیاب در توابع تشخیص به روش گام‌به‌گام و تأثیر آن‌ها بر توان جداسازی منابع رسوب را برای سازند نشان می‌دهد. آماره ویلیکس لامبدا معیاری مناسب از نسبت اختلاف-های درون‌گروهی به اختلاف‌های بین‌گروهی است، در هر مرحله متغیری وارد تابع شده که در سطح ۰/۰۵ یا کمتر معنی‌دار بوده است. همان‌طور که در جدول مشخص شده است با اضافه شدن هر ردیاب مقدار ویلیکس لامبدا کاهش یافته و سطح معنی‌داری بهتر شده است و در نتیجه توان جداسازی تحلیل و

جدول ۳. ویژگی‌های توابع تحلیل تشخیص در سازندهای زمین‌شناسی

تابع	مقدار ویژه	درصد تجمعی	درصد تجمعی واریانس	همبستگی کانونی	کای اسکور	سطح معنی‌داری
۱	۳۴/۷	۹۶/۵	۹۶/۵	۰/۹۰۵	۱۲/۹	<۰/۰۰۰۱
۲	۰/۲۴	۳/۵	۱۰۰	۰/۲۸۸	۰/۷۱	<۰/۰۵۸

نتیجه گیری

در این پژوهش برای اولین بار در ایران در یک حوضه آبخیز جنگلی-کوهستانی سهم واحدهای زمین شناسی در تولید رسوب معلق در رخدادهای بارندگی با استفاده از ردیابهای ژئوشیمیایی، رادیونوکلوئیدی و کربن آلی مورد بررسی قرار گرفت. توانایی سه عنصر کربن آلی و سزیم^{۱۳۷} و مس در جداسازی سهم واحدهای زمین شناسی در آزمون کروسکال والیس و تحلیل تشخیص در سطح کمتر از ۰/۰۵ مورد تأیید قرار گرفت. دو ردیاب سزیم^{۱۳۷} و کربن آلی، بیش از ۹۶ درصد نمونههای برداشت شده را درست طبقه بندی کردند که بیانگر توان زیاد آنها در جداسازی انواع سازندهای زمین شناسی است. عناصر رادیواکتیو در منشایابی بسیار مناسب هستند، زیرا میزان چسبندگی آنها به سطح ذرات خاک در آبخیزهای با سطح وسیع تقریباً یکنواخت است و رفتار آنها به طور مؤثری مستقل از نوع خاک و سنگ شناسی است (Wallbrink *et al.*, 1998; Hakimkhani, 2009). مواد آلی یکی از اجزای مهم رسوب معلق در بسیاری از محیطهای طبیعی است که اجزای آلی رسوب انتقالی شامل کربن، نیتروژن، فسفر و گردهای گیاهان است (Hosholt, 1998). با استفاده از مدل خطی سهم سازندها در تولید رسوب معلق محاسبه شد. نتیجه نشان داد، سازند شمشک و نهشتههای آبرفتی بستر رودخانه در مجموع ۷۴ درصد از سهم تولید رسوب را در کل حوضه به خود اختصاص دادند که با توجه به بازدیدهای گسترده میدانی، نتایج قابل قبول است.

سازند شمشک از سازندهای شیلی و حساس به فرسایش بوده و از سوی دیگر بخش وسیعی از این سازند شامل اراضی بوته و درختچههای نیمه متراکم بوده که نسبت به جنگل حساسیت بالاتری نسبت به فرسایش و تولید رسوب دارند. همچنین مستعد بودن حاشیه آبراهها به حرکات توده‌ای کناری و سوابق متعدد وقوع جریانهای واریزه‌ای خود دلیلی بر صحت این نتایج است. روش منشایابی رسوب قادر به تعیین و جداسازی مناسب سهم انواع فرسایش است؛ مخصوصاً در حوضه‌هایی که پوشش جنگلی داشته و دچار آسیب‌هایی انسانی شده‌اند. پیشنهاد می‌شود برای اجرای طرحهای آبخیزداری و حفاظت خاک، از روش منشایابی، با استفاده از تعداد بیشتر انواع ردیابها و در بازه‌های زمانی طولانی‌تر از این روش برای مدیریت مؤثرتر حوضه‌های آبخیز استفاده گردد.

با توجه به این جدول دو تابع بر اساس ویژگیهای ردیابها مشخص شده است. درصد واریانس دو تابع به ترتیب برابر با ۹۶/۵ و ۳/۵ است و همچنین درصد تجمعی واریانس دو تابع برابر با ۹۶/۵ و ۱۰۰ درصد نشان داده شده است. در جدول یادشده معنی‌داری توابع به وسیله آماره کای مشخص شده است. نتایج پژوهش با مطالعه‌ی (Wilkinson *et al.*, 2009) مطابقت دارد. بر اساس نتیجه‌ی آنان، می‌توان از ردیاب سزیم^{۱۳۷} به عنوان قابل اعتمادترین ردیاب در منشایابی رسوب معلق در یکی از حوضه‌های آبخیز جنگل اکالیپتوس در استرالیا استفاده کرد. همچنین نتیجه به دست آمده با پژوهش (Sadeghi *et al.*, 2017) مبنی بر توان بالای ردیاب مس با ۹۰ درصد اطمینان در تفکیک منابع رسوب واحد های زمین شناسی در حوضه‌ی آبخیز حسن ابدال زنجان ایران نیز مطابقت دارد.

تعیین سهم هر یک از سازندهای زمین شناسی در تولید رسوب با به حداقل رساندن رابطه (۴ و ۳) سهم هر یک از منابع در تولید رسوب حوضه زیارت به دست می‌آید. جدول (۴)، سهم هر یک از انواع سازندهای زمین شناسی را نشان می‌دهد. بر این اساس بیشترین سهم متعلق به سازند شمشک با ۴۲/۲ درصد و کمترین سهم متعلق به سازند شیست گرگان با ۱/۶ درصد می‌باشد.

جدول ۴. سهم سازندهای زمین شناسی در تولید رسوب

نام سازند	درصد
شمشک	۴۲/۲
نهشته‌های آبرفتی بستر رودخانه	۳۱/۹
خوش ببلق	۲۳/۷
شیست گرگان	۱/۶

نتایج بررسی با مطالعه‌ی (Collins *et al.*, 2017) که بر اساس نتایج آنان، در بین منابع فرسایشی، واحدهای زمین شناسی بالاترین صحت و دقت را در تعیین سهم نسبی رسوب دارند و همچنین مطالعه‌ی (Kouhpeyma *et al.*, 2009) که بر اساس آن، سازندهای کواترنر، شمشک، دلی چای، کرج و هزار دره به ترتیب دارای بیشترین اهمیت نسبی در تولید رسوب هستند مطابقت دارد.

REFERENCES

- Alewell C., Birkholz A., Meusburger K., Schindler Wildhaber Y., (2016). Quantitative sediment source attribution with compound-specific isotope analysis in C3-lant dominated catchment (central Switzerland). *Journal of Biogeosciences* 13. 1587-1597.
- Barthod L.R.M., Liu K., Lobb D.A., Ownes P.N., Martines N., Koiter A.J., Petticrew E.L., (2015).

- Selecting color-based tracers and classifying sediment sources in the assessment of sediment dynamic using sediment sources fingerprinting *Journal of Environment Quality* 44, 1605-1616.
- Carter, J., Owens, P N., Walling, D, E., and Leeks, Graham J. L. (2003). Fingerprinting suspended sediment sources in a large urban river system. *Journal of Science of The Total Environment*, 314: 513-534.
- Chun L., Zhongwu L., Xiaofeng Ch., JijunHe., Xiaodong Ni ., LinLiu., HaibingXiao., Danyang W., Hao Pe ., Guangming Z. (2018). Soil carbon and nitrogen sources and redistribution as affected by erosion and deposition processes: A case study in a loess hilly-gully catchment, China. *Journal of Agriculture, Ecosystems & Environment* 253, Pages 11-22.
- Collins A.L., Pulley S., Foster I.D.L., Gellis A., Porto P., Horowitz A.J.M (2017). Sediment source fingerprinting as an aid to catchment management : A review of the current state of knowledge and a methodological decision-tree for end-users. *Journal of environment management*. 194: 86-108.
- Collins A.L., Zhang Y.S., Hickinbotham R., Bailey G., Darlington S., Grenfell S.E., Evan R., Blackewll M., (2013a). Contemporary fine-grained bed sediment sources across the river wensum demonstration test catchment UK. *Journal of Hydrolgy. Process* 27. 857-884.
- Collins A.L., Walling D.E., Leeks G.J.L (1997) . Source type ascription for fluvial suspended sediment based on a quantitative composite fingerprinting technique. *Journal of CATENA*, 29:1-27.
- Collins A.L., Walling D.E., (2004:). Documenting catchment suspended sediment sources:problems, approaches and prospects, *Progress in Physical Geography*,. 28:, 159-196.
- Collins, A., & Walling, D. (2007). Sources of fine sediment recovered from the channel bed of lowland groundwater-fed catchments in the UK. *Journal of Geomorphology*, 88:120-138
- Collins, A. L., Williams, L. J., Zhang, Y. S., Marius, M., Dungait, J. A. J., Smallman, D. J., Naden, P. S. (2013b). Catchment source contributions to the sediment-bound organic matter degrading salmonid spawning gravels in a lowland river, southern England. *Journal of Science of The Total Environment*, 456: 181-195.
- Cooper, R., Krueger, T., Hiscock, K, M., and Rawlins, Barry G. (2015) . High-temporal resolution fluvial sediment source fingerprinting with uncertainty: a Bayesian approach. *Journal of Earth Surface Processes and Landforms*, 40: 78-92.
- Cooke, D. R., Hollings, P., Wilkinson, J. J., & Tosdal, R. M. (2014). Geochemistry of Porphyry Deposits. In H. D. H. K. Turekian (Ed.), *Treatise on Geochemistry* (Second Edition)).
- Consultant engineering pazhhab-sharg, technical report of Ziarat basin flood and sediment control project – abstract study- phase 1. (2010). (in farsi)
- Devereux, O, H., Prestegard, K. L., Needelman, B. A., and Gellis, Allen C. (2010) . Suspended-sediment sources in an urban watershed, Northeast Branch Anacostia River, Maryland. *Journal of Hydrological Processes*, 24:1391-1403.
- D Haen K, Verstraeten G., Dusar B., Degryse B., Heax J., Walkens M. (2012) . Unravelling changing sediment sources in a Mediterranean mountain catchment Bayesian fingerprinting approach. *Journal of Hydrological Processes*. 27:896-927.
- Evrard, O., Laceyby P.J., Huon S., Lefevre I., Sengtaheuanghoung O., Ribolz O.,(2016).Combinig multiple fallout radionuclides (¹³⁷Cs., ⁷Be., ²¹⁰Pb_{ex}) to investigate temporal sediment source dynamics in tropical ephemeral river systems. *Journal of Soils Sediments* 16, 1130-1144.
- Feiznia S., Ahmadi H., Moazzami M., Fahmi H. (2009) Investigation and determination of sediment source proportion by using soil natural tracers(case study: Abolfars khuzestan). *Journal of watershedes and grasland – iran natural source*. 63: pp, 503-514.(in farsi)
- Fox, J. F., & Papanicolaou, A. N. (2008) . An un-mixing model to study watershed erosion processes. *Journal of Advances in Water Resources*, 31: 96-108.
- Gellis A.C. Hupp C.R., Pavich M.J., Landwehr J.M., Banks W.S.L., Hubbard B.E., Langland M.J., Ritchie J.C., Reuter J.M., (2009). Sources transport and storage of chesapeake bay watershed U.S. *Journal of Geology .Survey. Science. Investigation. Rep.*2008-5186,95.
- Gingele F.X. and De Deckker P., (2005). Clay mineral geochemical and Sr-Nd isotopic fingerprinting of sediments in the Murray-Darling fluvial system southeast Australia Aust. *Journal of Earth Science* 52. 956-974.
- Hessami. D. (2001). Sediment tracing input to Zarivar Kordestan province to determine formation sedimentation and erosion, Master science thesis, university Tehran. (in farsi)
- Kouhpeyma A., Moazzami M., Feiznia S., Ghadimi H. (2009). Determination of source sediment relative proportion based of sediment fingerprinting. 8th international conference of river engineering. Ahwaz- shahid Chamran university. (In farsi)
- Lindsey, David A, Langer, William H, & Van Gosen, Bradley S. (2007). Using pebble lithology and roundness to interpret gravel provenance in piedmont fluvial systems of the Rocky Mountains, USA. *Sedimentary Geology*, 199(3), 223-232. *Journal of*
- Massoudieh, A., Gellis, A., Banks, W. S., and Wiczorek, M, E., (2013) . Suspended sediment source apportionment in Chesapeake Bay watershed using Bayesian chemical mass balance receptor modeling. *Journal of Hydrological Processes*, 27: 3363-3374.
- Nosrati, K. Govers, G. Ahmadi, H. Sharifi, F. Amoozegar, M, Merckx, R. and Vanmaercke, M.

- (2011) . An exploratory study on the use of enzyme activities as sediment tracers: biochemical fingerprints? *International Journal of Sediment Research*, 26: 136-151.
- Nosrati K., Ahmadi F., Nazari Samani A.A., Sarvati M.R. (2015). Determin role of land use in suspended sediment and bed load yield based on sediment fingerprinting in Taleghani watershed, Khorramabad. *Iranian Journal of Natural Resources*.68:4:pp765-751.
- Nosrati k, Govers G, Semmenes B.X, and Ward E.J., (2014). A mixing model to incorporate uncertainty in sediment fingerprinting. *Journal of CATENA*, 217: 173-180.
- Palazon L., Latorre B., Gaspar L., Blake,HB., Smith H.G. Navas A. (2015). Comparing catchment sediment fingerprinting procedures using an autoevaluation approach with virtual sample mixture *Journal of Science Total Environment* 532,456-466.
- Sadeghi S.H., Najafi S., Riyahi Bakhtiari A. (2017) Sediment contribution from different geologic formations and land uses in an Iranian small watershed, case study. *International Journal of Sediment Research*. 32, Issue 2, June 2017, Pages 210-220
- Samadi Arghini, H, Feiznia. S, Nazari Samani A.A. (2013). Using magnetic properties to investigating effect geology units in sediment yield. *Journal of Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineerin*, 25(2):46-39 (in Persian with English abstract).
- Smith H.G. and Blake W.H. (2014). Sediment fingerprinting in agricultural catchments: a critical re-examination of source sediment discrimination and data correction. *Journal of Geomorphology* 204. 177-191.
- Walling, DE, Collins, AL, & Sickingabula, HM. (2003). Using unsupported lead-210 measurements to investigate soil erosion and sediment delivery in a small Zambian catchment. *Geomorphology*, 52(3), 193-213.
- Wallbrink, P.J., Murray, A.S., Olley, J.M., Olive, L.J., (1998). Determining the sources and transit times of suspended sediment in the Murrumbidgee River, New South Wales, Australia, using fallout ¹³⁷C and ²¹⁰Pb. *Water Resources Research* 34 (4), 879–887.
- Wilkinson, Scott N., Hancock, Gary J., Bartley, Rebecca, Hawdon, Aaron A., & Keen, Rex J. (2013). Using sediment tracing to assess processes and spatial patterns of erosion in grazed rangelands, Burdekin River basin, Australia. *Journal of Agriculture, Ecosystems & Environment*, 180(0), 90-102.
- Wilkinson S., Wallbrinkb P.J., Hancockb G.,BlakecdR.A., .ShakesbyeS...Doerr F. (2009). Fallout radionuclide tracers identify a switch in sediment sources and transport-limited sediment yield following wildfire in a eucalypt forest. *Journal of GEOMORPHOLOGY*.110- 3,4. PP 140-151