

منشأیابی رسوبات ته‌نشین شده در مخزن سد با استفاده از روش انگشت‌نگاری

(مطالعه موردی: حوزه‌ی آبخیز سد لاور فین، استان هرمزگان)

سمانه حبیبی: گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

حمید غلامی*: گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

ابوالحسن فتح‌آبادی: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبد، ایران.

Desmond Walling: گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اکستر، اکستر، انگلستان.

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۴)

چکیده

شناسایی منابع تولیدکننده‌ی رسوب در یک آبخیز برای کاهش اثرات درون منطقه‌ای و برون منطقه‌ای رسوب امری ضروری است؛ بدین منظور تکنیک منشأیابی رسوب، ابزاری مفید و کارا برای کمی نمودن سهم منابع رسوبات آبی محسوب می‌شود. هدف از این تحقیق، برآورد درصد سهم سه زیرحوزه در رسوبات ته‌نشین شده در مخزن سد لاور فین در استان هرمزگان با استفاده از مدل ترکیبی چند متغیره است که از نتایج مدل‌سازی می‌توان در راستای جلوگیری از کاهش عمر مفید مخزن سد استفاده کرد. بدین منظور با توجه به مساحت هر زیرحوزه، ۲۳ نمونه از منابع بالقوه‌ی تولیدکننده‌ی رسوب (زیرحوزه‌ها) و ۱۷ نمونه از رسوبات ته‌نشین شده در پشت سد جمع‌آوری شد. بعد از آماده‌سازی نمونه‌ها، ۵۶ عنصر اعم از عناصر اصلی، کمیاب و عناصر نادر خاکی (REE) توسط دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری و ۸ شاخص مربوط به عناصر نادر خاکی نیز محاسبه شد. همچنین در مرحله‌ی اولیه، ۶۴ خصوصیت به عنوان ردیاب اولیه در نظر گرفته شد. به منظور کمی کردن سهم منابع با استفاده از مدل ترکیبی، ۶ ردیاب بهینه شامل Cr، La/Yb، Nd/Yb، Th، Bi و Pr با استفاده از آنالیز تحلیل تشخیص، انتخاب و به عنوان پارامترهای ورودی به مدل در نظر گرفته شد. نتایج تحلیل تشخیص نشان داد که از بین شش ردیاب بهینه، سه ردیاب Pr، La/Yb و Nd/Yb از شاخص‌ها و عناصر نادر خاکی انتخاب شد که خود بیانگر توانایی بالای عناصر نادر خاکی در تفکیک منابع است؛ زیرا این ردیاب‌ها در حین فرآیندهای حمل، هوازگی و ته‌نشینی دچار کمترین تغییر و تحول می‌شوند. بر طبق نتایج، زیرحوزه‌ی جنوبی با میانگین سهم ۶۶ درصد به عنوان منبع اصلی تأمین‌کننده‌ی رسوب برای رسوبات ته‌نشین شده در مخزن، شناسایی شد؛ بنابراین، برای کنترل رسوب و جلوگیری از ورود آنها به دریاچه‌ی پشت سد می‌بایست فعالیت‌های اجرایی مانند احداث خشکه‌چین، سازه‌های سنگی - ملاتی و فعالیت‌های بیولوژیک در آبراهه‌های فرعی و اصلی زیرحوزه‌ی جنوبی صورت گیرد.

واژگان کلیدی: منشأیابی رسوب، ردیاب، منابع بالقوه‌ی رسوب، عناصر نادر خاکی، سد لاور.

۱- مقدمه

Archive of SID

فرسایش خاک یک تهدید محیطی جدی در سرتاسر دنیا است. این فرآیند نه تنها باعث کاهش حاصلخیزی خاک و عملکرد محصول می‌شود (Bakker et al, 2004)، بلکه بار رسوب زیادی برای شبکه‌ی رودخانه‌ها تأمین می‌کند

(Owens et al, 2004). بار رسوب معلق زیاد ممکن است به افزایش کدورت^۱ آب و رسوب‌گذاری در مخازن پایین- دست و رودخانه‌ها در اراضی پست منجر شود (Devlin et al, 2008). همچنین ممکن است رسوب، حاوی مواد مغذی و آلاینده‌ها شامل فسفر، آفت‌کش‌ها، آلاینده‌های آلی مقاوم، فلزات سنگین، پاتوژن‌ها و رادیونوکلئیدها باشد (Horowitz, 2008)؛ بنابراین، شناخت تغییرات زمانی و مکانی منابع رسوب، در مدیریت رسوب و آلاینده‌ها در سیستم‌های رودخانه‌ای ضرورت دارد (Le Gall et al, 2016).

به دلیل وجود مشکلات در کاربرد روش‌های سنتی، محققان روش انگشت‌نگاری^۲ یا ردیابی رسوب^۳ را به عنوان روشی جایگزین برای تعیین منابع اصلی رسوب قابل توجه قرار دادند (Walling, 2005). انگشت‌نگاری رسوب، روشی رایج در تشخیص و کمی نمودن سهم منابع رسوب معلق رودخانه‌ای (Laceby et al, 2016 & Tiecher et al, 2018 & Le Gall et al, 2016 & Sadeghi et al, 2017 & Nosrati et al, 2018) و رسوبات بادی (غلامی و همکاران، ۱۳۹۳، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۶؛ دولت‌کردستانی و همکاران، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷؛ Gholami et al, 2017a and 2017b) است که برای اولین بار در سال ۱۹۹۷ توسط Collins و همکاران به منظور تعیین سهم منابع رسوب در بریتانیا استفاده شد. انگشت‌نگاری رسوب یا منشأیابی عبارت است از بررسی چندین منبع بالقوه‌ی رسوب از طریق چندین گروه متفاوت از خصوصیات که به منظور افزایش تشخیص بین منابع و اجتناب از منبع رسوب غیر واقعی استفاده می‌شود؛ بدین منظور، از طیف وسیعی از خصوصیات مختلف شناختی شامل عناصر ژئوشیمیایی، ایزوتوپ‌ها، عناصر آلی، رنگ و کانی‌شناسی استفاده می‌شود (Collins et al, 1997). در این روش از طریق تلفیق مدل‌های ترکیبی کمی با ردیاب‌های ترکیبی^۴، تخمین‌های کمی از سهم نسبی منابع مختلف تولید رسوب فراهم می‌شود (Walling, 2005). این روش بر دو فرض اصلی مبتنی است: الف) منابع بالقوه‌ی رسوب می‌توانند بر پایه‌ی خصوصیات فیزیکی، ژئوشیمیایی و بیوژنیک^۵ آنها یا ردیاب‌ها تفکیک شوند؛ ب) می‌توان اهمیت منابع رسوب را از طریق مقایسه‌ی نمونه‌های رسوب و منبع با استفاده از خصوصیات آنها یا ردیاب‌ها تعیین کرد (همان).

در برخی مطالعات، Collins و همکاران (۱۹۹۷) و Nosrati و همکاران (۲۰۱۸) منابع مکانی رسوب (انواع زیرحوزه‌ها) را درون یک حوزه تعیین کردند؛ در حالی که در برخی مطالعات دیگر، خاک سطحی انواع کاربری‌های اراضی و فرسایش کانالی (Russell et al, 2001)، سازندهای زمین‌شناسی (Walling et al, 1999) و انواع کاربری‌های اراضی را به عنوان منابع مکانی رسوب معلق در حوزه‌ی آبخیز مورد مطالعه قرار دادند. حیدری و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از روش منشأیابی، سهم واحدهای کاری در تولید رسوب معلق را در حوزه‌ی آبخیز تول‌بنه در استان گلستان تعیین کردند و اظهار داشتند که منشأیابی رسوب یک روش ارزشمند برای تعیین سهم منابع رسوب معلق در رسوب خروجی حوزه‌ی آبخیز است. فتح‌آبادی و همکاران (۱۳۹۶)، منشأ رسوبات معلق در حوزه‌ی آبخیز زیدشت - فشندک طالقان را به همراه فقدان قطعیت مربوط به سهم منابع مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که منابع زیرسطحی^۶ (مانند فرسایش خندقی) نسبت به منابع سطحی (شامل فرسایش سطحی و شیاری) در تولید رسوب معلق منطقه‌ی مورد

¹ Turbidity

² Fingerprinting

³ Sediment tracing

⁴ Composite Fingerprint

⁵ Biogenic

⁶ Sub-surface sources

مطالعه سهم بیشتری دارد. Tiecher و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از روش انگشت‌نگاری، سهم منابع رسوب را در یک آبخیز کشاورزی بزرگ در جنوب برزیل تعیین کردند و نشان دادند که اراضی زراعی با سهم بیش از ۷۰ درصد، منبع اصلی تأمین‌کننده‌ی رسوب در منطقه‌ی مورد مطالعه است. Zhang و همکاران (۲۰۱۷) بعد از یک بارش شدید، با استفاده از روش انگشت‌نگاری سهم منابع رسوب را در آبخیزی کوچک در فلات لسی‌چین تعیین کردند و اراضی بایر به عنوان منبع اصلی تولید‌کننده‌ی رسوب معرفی شد. Nosrati و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره‌ی مختلف و مدل اصلاح شده‌ی MixSIR، سهم زیرحوزه‌ها را در تولید رسوب معلق تعیین و با روش‌های مختلف، سهم‌های متفاوتی برای زیرحوزه‌ها محاسبه کردند. Sadeghi و همکاران (۲۰۱۷)، سهم سازندهای مختلف زمین‌شناسی و کاربری‌های اراضی را در آبخیزی کوچک تعیین کردند و سازندهای مارنی گچی قرمز با ۸۵ درصد و کاربری مرتع با ۸۸ درصد، به عنوان منابع اصلی تولید رسوب شناسایی شد. هدف از این تحقیق، تعیین سهم زیرحوزه‌ها به عنوان منابع مکانی تأمین‌کننده‌ی رسوب در حوزه‌ی آبخیز سد لاور فین در استان هرمزگان با استفاده از روش انگشت‌نگاری رسوب (شکل ۱) است.

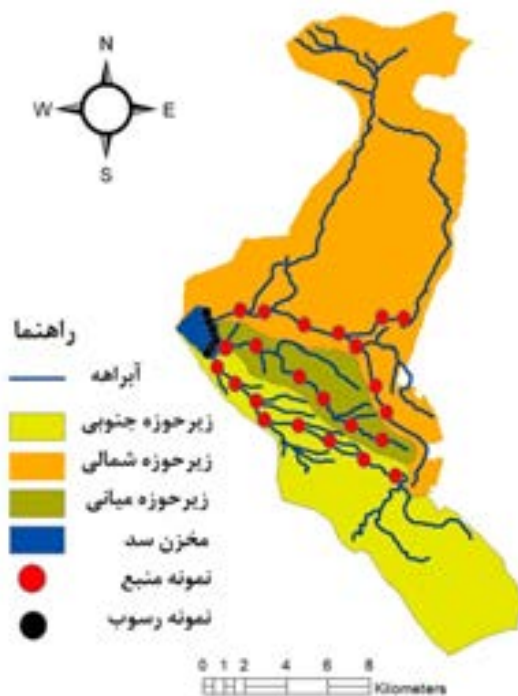


شکل ۱: چارچوب روش انگشت‌نگاری در تحقیق حاضر.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

حوزه‌ی آبخیز لاور فین در ۶۰ کیلومتری قسمت شمالی شهر بندرعباس واقع شده‌است که ۲۲/۵۰۰ هکتار مساحت دارد. این حوزه به ترتیب از سه زیرحوزه‌ی شمالی، میانی و جنوبی تشکیل شده‌است (شکل ۲). منطقه‌ی مورد مطالعه، ۱۷۲ میلیمتر بارندگی سالیانه دارد و به شدت رسوب‌زا می‌باشد. این منطقه عمدتاً از سازندهای کواترنری شامل ماسه-سنگ‌ها، تراس‌ها و مخروط‌افکنه‌های جوان، پادگانه‌های آبرفتی، سازندهای رسی و مارنی به ویژه در زیرحوزه‌ی جنوبی تشکیل شده‌است. عمده مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه به ویژه در زیرحوزه‌های میانی و جنوبی، از اراضی بایر تشکیل

شده است و بخش‌های دیگری از حوزه به ویژه زیرحوزه شمالی شامل دو کاربری کشاورزی و مسکونی است که عمده فعالیت‌های کشاورزی شامل کشت صیفی‌جات در آن صورت می‌گیرد.



شکل ۲: نقشه‌ی حوزه‌ی آبخیز مورد مطالعه.

۳- مواد و روش

نمونه‌برداری، آماده‌سازی نمونه‌ها و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی

پس از تهیه‌ی نقشه از حوزه‌ی آبخیز مورد مطالعه، سه زیرحوزه‌ی اصلی از هم تفکیک و به عنوان منابع مکانی تولید رسوب در حوزه‌ی مورد مطالعه در نظر گرفته شد. سپس نمونه‌ها از بستر آبراهه‌ی اصلی هر زیرحوزه جمع‌آوری شد؛ از زیرحوزه‌ی شمالی منطقه‌ی مورد مطالعه ۹ نمونه، از زیرحوزه‌ی میانی ۶ نمونه و از زیرحوزه‌ی جنوبی ۸ نمونه برداشت و ۱۷ نمونه از مواد ته‌نشین شده در پشت سدّ خاکی لاور برداشت شد. نمونه‌های سطحی، از مواد ته‌نشین شده در بستر کانال‌های اصلی برداشت شد. بعد از جمع‌آوری، نمونه‌های رسوب به دلیل رطوبت بالا در هوای آزاد خشک شد و بخش کمتر از ۶۳ میکرومتر از نمونه‌ها تفکیک و آزمایش شد. در هر نمونه، ۵۶ عنصر ژئوشیمیایی (شامل Ca, Be, Ba, Al, Ni, Nd, Nb, Na, Mo, Mn, Mg, Lu, Li, La, K, Ho, Hf, Gd, Ga, Fe, Eu, Er, Dy, Cu, Cs, Cr, Co, Ce, Bi, As, Zr, Ag, Zn, Yb, Y, W, V, U, Tm, Tl, Ti, Th, Te, Tb, Ta, Sr, Sn, Sm, Sc, Sb, Rb, Pr, Pb, P, S و Sb) با استفاده از دستگاه ICP-OES در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه هرمزگان اندازه‌گیری شد. در بین ۵۶ عنصر

اندازه‌گیری شده، ۱۵ عنصر نادر خاکی (REEs¹) نیز اندازه‌گیری ش و ۸ شاخص مربوط به عناصر نادر خاکی شامل $(Gd/Yb)_n$ و $\sum REE$ ، $(La/Sm)_n$ ، δCe ، $(La/Lu)_n$ ، $(La/Yb)_n$ ، Eu/Eu^* محاسبه شد.

تفکیک منابع رسوبات معلق با استفاده از ترکیب بهینه از ردیاب‌ها

برای تعیین ترکیب بهینه از ردیاب‌ها، روش‌های مختلفی وجود دارد که عبارتند از: روش آماری دو مرحله‌ای کروسکال والیس و تحلیل تشخیص (Collins et al, 1997)، کروسکال والیس (Nosrati et al, 2018)؛ تجزیه‌ی کلاستر و آنالیز تحلیل تشخیص. در این تحقیق به منظور انتخاب ردیاب‌های بهینه، از تست آنالیز تحلیل تشخیص گام به گام (DFA²) استفاده شد. از ویلکس لامبدا³ به عنوان مبنای اصلی تشخیص و تفکیک منابع در تست DFA⁴ استفاده شد. تست DFA گام به گام بر پایه‌ی کمینه‌سازی ویلکس لامبدا (Collins et al, 1997) عمل می‌کند و از ردیاب‌های بهینه⁵ به عنوان متغیرهای ورودی به مدل‌های ترکیبی برای کمی کردن سهم منابع رسوبات معلق استفاده می‌شود.

کمی کردن سهم منابع رسوب معلق

به منظور کمی کردن سهم منابع رسوبات معلق، مدل‌های ترکیبی متعددی وجود دارد که عبارتند از: Haddadchi و همکاران (۲۰۱۳)، مدل Collins و همکاران (۱۹۹۷)، مدل Slattery و همکاران (۲۰۰۰)، مدل Motha و همکاران، (۲۰۰۳)، مدل Hughes و همکاران (۲۰۰۹)، مدل Collins اصلاح شده (Collins et al, 2010)، مدل Lnadwehr (Devereux et al, 2010)؛ و مدل Landwehr اصلاح شده (Gellis et al, 2009). در این تحقیق به منظور کمی کردن سهم منابع، از مدل رایج Collins و همکاران (۱۹۹۷) استفاده شد که ساختار مدل (f(c)) به صورت زیر است:

$$f(c) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{(C_{is} - \sum_{j=1}^m C_{js} \cdot C_{j,i})^2}{C_{is}} \right) \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

در این معادله، f(c) تابع هدف، C_{is} غلظت ردیاب i ام در نمونه‌های رسوب، C_{js} سهم فرضی منبع j ام و C_{j,i} غلظت ردیاب i ام در منبع j ام، m تعداد منابع رسوب (در این تحقیق برابر است با ۳) و n تعداد ردیاب‌های بهینه است که در این تحقیق برابر است با ۶. در این تحقیق ردیاب‌های Cr، (La/Yb)_n، (Nd/Yb)_n، Th، Bi و Pr با روش‌های آماری انتخاب شد.

در مدل‌های چند متغیره‌ی ترکیبی، از برنامه نویسی خطی برای حل تعدادی از معادلات استفاده می‌شود و با حل این معادله، سهم هر یک از منابع مختلف رسوب به دست می‌آید. برای هر یک از ردیاب‌های بهینه، معادله‌ی بالا تکرار می‌شود؛ بنابراین به تعداد ردیاب‌ها، معادله وجود خواهد داشت و مدل چند متغیره‌ی ترکیبی با تعدادی معادله مشخص خواهد شد. با حل این معادله می‌توان سهم هر یک از منابع مختلف رسوب را به دست آورد. جواب‌های بهینه برای سهم

¹ Rare Earth Elements

² Discriminant function analysis

³ Wilks lambda

⁴ Discriminant function analysis

⁵ Optimum fingerprints

منابع رسوب با کمینه‌سازی^۱ معادله‌ی (۱) با استفاده از عملیات تکرار، سعی و خطا و با در نظر گرفتن دو شرط زیر محاسبه می‌شود:

(۱) مقادیر ضریب سهم هر یک از منابع باید بین یک و صفر باشد؛ (۲) مجموع ضرایب سهم هر یک از منابع باید برابر با یک باشد. بهینه‌سازی با استفاده از الحاقیه‌ی سولور^۲ در اکسل انجام شد.

ارزیابی نتایج مدل ترکیبی با استفاده از GOF^۳

برای ارزیابی نتایج حاصل از مدل ترکیبی، از GOF پیشنهادی توسط کالینز و همکاران (۲۰۱۲) استفاده شد که از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود. هر چه مقدار GOF به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، بیانگر دقت بیشتر در نتایج مدل است.

$$GOF = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_{is} - \sum_{j=1}^m C_{js} \cdot C_{j,i}}{C_{is}} \right)^2 \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

۴- یافته‌ها (نتایج)

تفکیک منابع

برای تفکیک منابع رسوبات ته‌نشین شده در مخزن سد لاور در منطقه‌ی مورد مطالعه، از روش DFA گام به گام استفاده شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده‌است. بر طبق جدول ۱، شش ردیاب شامل $(La/Yb)_n$ ، Cr، Nd/Yb، Th، Bi و Pr در طی شش گام به مدل وارد شد و به عنوان ردیاب بهینه انتخاب شد. در نهایت این شش ردیاب به عنوان پارامترهای ورودی به مدل ترکیبی (رابطه‌ی ۱)، برای سهم‌بندی منابع رسوبات ته‌نشین شده در پشت سد در نظر گرفته شد. در این روش، تفکیک منابع براساس کمینه‌سازی ویلکس لامبدا انجام شد که بر طبق نتایج، مقدار ویلکس لامبدا از گام یک تا شش از ۰/۵۵۹ تا ۰/۰۴۱ کاهش یافت.

جدول ۱: نتایج DFA گام به گام به منظور انتخاب ترکیب بهینه از ردیاب‌ها برای تشخیص منابع رسوبات ته‌نشین شده

در مخزن سد در منطقه‌ی مورد مطالعه.

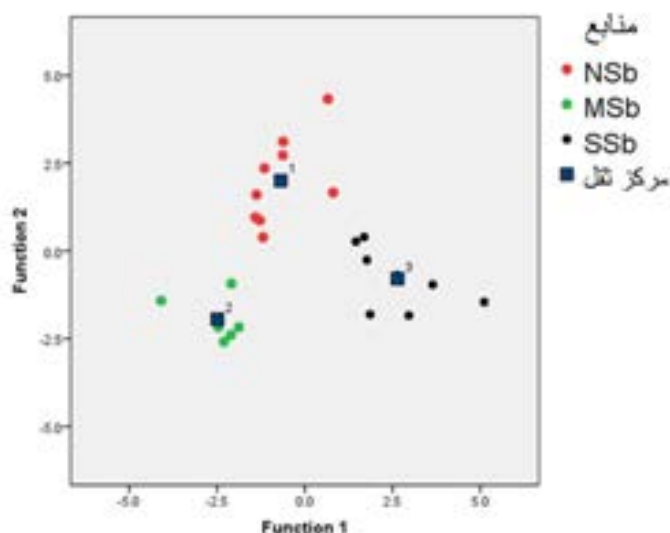
گام	ردیاب بهینه	ویلکس لامبدا	
		آماره	F
		آماره	Sig
۱	Cr	۰/۵۵۹	۷/۸۸۹
۲	$(La/Yb)_n$	۰/۳۳۰	۷/۰۲۵
۳	Nd/Yb	۰/۱۸۸	۷/۸۵۱
۴	Th	۰/۱۰۸	۸/۶۵۴
۵	Bi	۰/۰۶۳	۹/۵۳۱
۶	Pr	۰/۰۴۱	۹/۸۸۳

^۱ Minimization

^۲ Solver

^۳ Goodness of fit

تفکیک و جداسازی منابع رسوبات ته‌نشین شده در پشت سد، توسط توابع اول و دوم DFA گام به گام انجام شد که در شکل ۳ نشان داده شده است. بر طبق نتایج، تفکیک منابع رسوب معلق با استفاده از شش ردیاب بهینه نشان داد که ۱۰۰ درصد نمونه‌های منابع رسوبات ته‌نشین شده در پشت سد، به درستی طبقه‌بندی شده است (شکل ۳ و جدول ۲) که دقت بالای نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.



شکل ۳: جداسازی منابع رسوبات ته‌نشین شده در مخزن سد لاور فین توسط توابع اول و دوم.
NSb زیرحوزه شمالی، MSb زیرحوزه میانی و SSb زیرحوزه جنوبی.

جدول ۲: طبقه‌بندی نمونه منابع رسوبات ته‌نشین شده در پشت سد با استفاده از روش DFA گام به گام

منابع	پیش‌بینی عضویت در گروه‌ها			مجموع
	زیرحوزه شمالی	زیرحوزه میانی	زیرحوزه جنوبی	
تعداد	۹	۰	۰	۹
زیرحوزه میانی	۰	۶	۰	۶
زیرحوزه جنوبی	۰	۰	۸	۸
درصد	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰
زیرحوزه میانی	۰	۱۰۰	۰	۱۰۰
زیرحوزه جنوبی	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰

تعیین سهم زیرحوزه‌ها در تولید رسوب

نتایج سهم‌بندی منابع رسوبات ته‌نشین شده در مخزن سد توسط مدل ترکیبی، در جدول ۳ نشان داده شده است. بر طبق نتایج، زیرحوزه جنوبی به عنوان منبع غالب برای ۱۳ نمونه رسوب ته‌نشین شده در پشت سد و زیرحوزه میانی فقط به عنوان منبع غالب برای نمونه‌های رسوب شماره‌ی ۲ و ۱۷ است، زیرحوزه شمالی نیز به عنوان منبع اصلی برای

نمونه‌های رسوب شماره‌ی ۱۰ و ۱۲ شناسایی می‌شود. زیرحوزه‌ی جنوبی به عنوان منبع اصلی تأمین‌کننده‌ی رسوب برای نمونه‌های رسوب ۱، ۶، ۱۳ و ۱۵، صد درصد رسوب را فراهم می‌کند.

جدول ۳: نتایج سهم‌بندی منابع رسوبات ته‌نشین شده در مخزن سد در منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از روش انگشت‌نگاری.

نمونه رسوب	سهم منابع		
	زیرحوزه‌ی شمالی	زیرحوزه‌ی میانی	زیرحوزه‌ی جنوبی
۱	۰	۰	۱۰۰
۲	۰	۵۹	۴۱
۳	۰	۲۴	۷۶
۴	۱۱	۰	۸۹
۵	۳۵	۰	۶۵
۶	۰	۰	۱۰۰
۷	۰	۱۴	۸۶
۸	۰	۶	۹۴
۹	۲۶	۱	۷۳
۱۰	۴۵	۱۶	۳۸
۱۱	۳۱	۰	۶۹
۱۲	۷۱	۲۹	۰
۱۳	۰	۰	۱۰۰
۱۴	۳۱	۱۶	۵۳
۱۵	۰	۰	۱۰۰
۱۶	۵۰	۰	۵۰
۱۷	۰	۱۰۰	۰
میانگین سهم	۱۸	۱۶	۶۶

ارزیابی نتایج حاصل از مدل ترکیبی

به منظور ارزیابی نتایج مدل ترکیبی، از معیار GOF استفاده شد. کمترین و بیشترین مقدار GOF برای نمونه‌های رسوب ۱۵ و ۳ به ترتیب ۹۱ و ۹۹ درصد محاسبه شد. GOF محاسبه شده برای اکثر نمونه‌ها بیش از ۹۰ درصد است که دقت بالای محاسبات را نشان می‌دهد.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای شناسایی منابع تولیدکننده‌ی رسوبات ته‌نشین شده در مخزن سد و کمی نمودن سهم هر یک از زیرحوزه‌ها به عنوان منابع مکانی تولیدکننده‌ی رسوب، از روش انگشت‌نگاری به عنوان ابزاری مفید در این رابطه

استفاده و نتایج آن توسط معیار GOF ارزیابی شد. به منظور تفکیک و شناسایی منابع رسوبات ته‌نشین شده در پشت سد، شش ردیاب شامل Cr, (La/Yb)_n, Nd/Yb, Th, Bi و Pr به عنوان ردیاب‌های بهینه انتخاب شد که از بین آنها سه ردیاب Pr، نسبت‌های Nd/Yb و (La/Yb)_n مربوط به عناصر نادر خاکی است و توانایی بالای این عناصر و شاخص‌های مربوط به آنها در تفکیک منابع و قابلیت بالای این ردیاب‌ها در روش انگشت‌نگاری رسوب را نشان می‌دهد. متأسفانه تاکنون در مطالعات اندکی از این شاخص‌ها استفاده شده‌است. در مطالعه‌ای که Gholami و همکاران (۲۰۱۷a, b) انجام داده‌اند، از بین ۶ ردیاب بهینه - که برای تفکیک منابع کمی کردن سهم منابع رسوبات بادی معرفی کردند - دو ردیاب (La/Yb)_n و δCe مربوط به عناصر نادر خاکی است. عناصر نادر خاکی به این دلیل که در طی فرآیند هوازدگی، انتقال و رسوب، کمترین تغییر و تحول را متحمل می‌شوند، می‌توان از آنها به عنوان ردیاب‌های محافظه کار^۱ و ابزارهای کلیدی در مطالعات منشأ رسوبات استفاده کرد (Honda et al, 2004). بر طبق نتایج DFA گام به گام، ۱۰۰ درصد نمونه‌های منابع رسوب ته‌نشین شده در پشت سد، با ۶ ردیاب بهینه به درستی طبقه‌بندی شده‌اند که این امر دقت بالای نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

به طور کلی بر طبق نتایج مدل، میانگین سهم زیرحوزه‌های شمالی، میانی و جنوبی در تولید رسوبات ته‌نشین شده در مخزن سد به ترتیب ۱۸، ۱۶ و ۶۶ درصد محاسبه شد. این امر نشان می‌دهد که زیرحوزه‌ی جنوبی، منبع اصلی تأمین رسوبات ته‌نشین شده در مخزن سد لاور در خروجی حوزه‌ی آبخیز لاور فین در استان هرمزگان است. مساحت هر زیرحوزه‌ی آبخیز نیز در تأمین رسوب ته‌نشین شده در مخزن سد تأثیرگذار می‌باشد که می‌توان نقش مساحت در محاسبه‌ی اهمیت نسبی هر زیرحوزه را در تأمین رسوب نیز لحاظ کرد. به منظور ارزیابی نتایج، از معیار GOF استفاده شد. در بیشتر نمونه‌ها مقدار GOF بیش از ۹۰ درصد محاسبه شد که این امر دقت بالای مدل مورد استفاده را نشان می‌دهد. Zhou و همکاران (۲۰۱۶) برای ارزیابی نتایج مدل ترکیبی در روش انگشت‌نگاری، از معیار GOF استفاده و اظهار کردند که مقدار GOF بالای ۸۰ درصد از مدل ترکیبی قابل قبول است. مطالعات متعددی (دولت‌کردستانی و همکاران، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷؛ Haddachi et al, 2013 & Martinez-Carreras et al, 2010 & Liu and Chen et al, 2016 & Zhang, 2010 & Liu et al, 2016) برای ارزیابی نتایج حاصل از روش انگشت‌نگاری، از معیار GOF استفاده کردند؛ به عنوان مثال، Collins و همکاران (۲۰۱۲) برای ارزیابی نتایج حاصل از یک مدل ترکیبی، از معیار GOF استفاده کردند که میانگین آن در زیرحوزه‌های مختلف بیش از ۸۵ درصد بود.

از نظر زمین‌شناسی، منطقه‌ی مورد مطالعه از تناوب سازندهای ریزدانه‌ی رسی و مارنی و سازندهای درشت‌دانه‌ی ماسه‌سنگی پوشیده شده‌است. سازندهای ریزدانه، در سطح و در دیواره‌ی رودخانه‌ی زیرحوزه‌ی جنوبی به صورت یکپارچه و یکنواخت قابل مشاهده است. در لایه‌ی زیرین نیز در برخی نقاط از دیواره‌ی رودخانه، سازند درشت‌دانه دیده می‌شود؛ به گونه‌ای که ذرات ریزدانه‌ی رس و مارن در مواقع بارش به ویژه در مواقع سیلابی، به داخل کانال اصلی و در نهایت به مخزن سد وارد می‌شود. سطح زیرحوزه‌های میانی و شمالی، عمدتاً از ذرات درشت‌دانه‌ی ماسه‌سنگی پوشیده شده‌اند و در برخی نقاط از این دو زیرحوزه، سازندهای ریزدانه به صورت لکه‌ها و تپه‌ها قابل مشاهده هستند که می‌توانند سهم اندکی در تولید رسوب داشته باشند؛ بنابراین، به منظور جلوگیری از ورود رسوب به دریاچه‌ی سد باید

¹ Conservative Tracers

فعالیت‌های اجرایی مانند احداث خشکه‌چین، بندهای سنگی ملاتی و فعالیت‌های بیولوژیک در زیرحوزه‌ی جنوبی مستقر شوند. در این تحقیق، نقش سازندهای زمین‌شناسی در تولید رسوب بیش از مساحت است. عامل دیگری که در تولید رسوب در منطقه‌ی مورد مطالعه تأثیرگذار می‌باشد، تغییر کاربری اراضی است که به نوعی این تغییر کاربری اراضی (از اراضی بایر به اراضی کشاورزی)، به انسداد آبراهه‌های متعددی در زیرحوزه‌ی شمالی منجر شده‌است که از تحویل رسوب این زیرحوزه به مخزن سد جلوگیری می‌کند و باعث می‌شود زیرحوزه‌ی شمالی با وجود مساحت بیشتر نسبت به دو زیرحوزه‌ی دیگر، سهم کمتری در تولید رسوب برای منطقه‌ی مورد مطالعه داشته باشد.

منابع

1. Bakker, M. M.; Govers, G.; & M. D. A , Rounsevell, 2004. The crop productivity–erosion relationship: an analysis based on experimental work, *Catena*, 57 (1), 55–76.
2. Chen, F.; Fang, N.; & Z. Shi, 2016. Using biomarkers as fingerprint properties to identify sediment sources in a small catchment, *Science of the Total Environment*, 557-558, 123–133. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.03.028.
3. Collins, A. L.; Walling, D. E.; & G. J. L. Leeks, 1997. Fingerprinting the origin of fluvial suspended sediment in larger river basins: combining assessment of spatial provenance and source type, *Geografiska Annaler*, 79, 239–254.
4. Collins, A. L.; Walling, D. E.; Stroud, R. W.; Robson, M.; & L. M. Peet, 2010. Assessing damaged road verges as a suspended sediment source in the Hampshire Avon catchment, southern United Kingdom, *Hydrological Processes*, 24, 1106-1122. doi: 10.1002/hyp.7573
5. Collins, A. L.; Zhang, Y.; Walling, D. E.; Grenfell, S. E.; Smith, P.; Grischeff, J. ... & D. Brogden, 2012. Quantifying fine-grained sediment sources in the River Axe Catchment, southwest England: Application of a Monte-Carlo numerical modelling framework incorporating local and genetic algorithm optimisation, *Hydrological Processes*, 26 (13), 1962–1983. doi:10.1002/hyp.8283.
6. Devlin, M. J.; Barry, J.; Mills, D. K.; Gowen, R. J.; Foden, J.; Sivyer, D.; & P. Tett, 2008. Relationships between suspended particulate material, light attenuation and Secchi depth in UK marine waters. *Estuar, Coast, Shelf Sci*, 79 (3), 429–439.
7. Devereux, O. H.; Prestegard, K. L.; Needelman, B. A.; & A. C. Gellis, 2010. Suspended-sediment sources in an urban watershed, Northeast Branch Anacostia River, Maryland, *Hydrological Processes*, 24, 1391–1403. doi: 10.1002/hyp.7604.
8. Dolat Kurdestani, M.; Gholami, H.; Ahmadi, J.; Walling, D.; & A. Fathabadi, 2018. Apportionment sources of sand dune sediment using two mixing models used to sediment fingerprinting (Case study: Jazmurian region, south of Kerman province), *Journal of Quantitative Geomorphological Researches*, 6(3), 1-14.
9. Dolat Kurdestani, M.; Gholami, H.; Ahmadi, J.; Walling, D.; and A. Fathabadi, 2018. Quantifying source contributions of Aeolian sediments using a Monte Carlo-fingerprinting framework (Case Study: Jazmurian sand dunes, South of Kerman province), *Journal of Earth Science Researches*, 9(33), 14-29.
10. Fathabadi, A.; Salajegheh, A.; Pezeshk, H.; Nazari Samani, A. A.; & H. Rouhani, 2017. Suspended sediment fingerprinting and uncertainty estimation (Case study: Zidasht-Fashandak sub-watershed in Taleghan), *Journal of Range and Watershed Management*, 70(1), 57-69.
11. 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.; & J. M. Reuter, 2009. Sources, transport, and storage of

sediment in the Chesapeake Bay Watershed. U.S, *Geological Survey Scientific Investigations Report* , 2008-5186: 95.

12. Gholami, H.; Feiznia, S.; Ahmadi, J.; Ahmadi, H.; Nazari Samani, A. A.; & A. Nohegar, 2015. The contribution of different Geomorphologic Facies in sand dunes sediments supply using sediments tracing (case study: Ashkzar sand dunes), *Desert Management*, 4, 31-42.

13. Gholami, H.; Mehrdadi, M. R.; & A. H. Fathabadi, 2018. Quantify uncertainty associate with source contribution of Aeolian sediments using Fingerprinting-GLUE approach, *4th National Conference on Wind Erosion and Dust Storms*, Iran, Yazd, 7-8 March.

14. Gholami, H.; Middleton, N.; NazariSamani, A. A.; & R. Wasson, 2017a. Determining contribution of sand dune potential sources using radionuclides, trace and major elements in central Iran, *Arab J Geosci*, 10:163. doi. 10.1007/s12517-017-2917-0.

15. Gholami, H.; Taheri Moghadam, E.; Najafi Ghiri, M.; & R. Mahdavi, 2015. Determination of land uses contribution to production of sand dune sediments using fingerprinting approach (Case study: Negar Erg, Bardsir, Kerman province), *Quarterly Journal of Environmental Erosion Research*, 5, 2(18), 46-54.

16. Gholami, H.; Telfer, M. W.; Blake, W. H.; & A. Fathabadi, 2017b. Aeolian sediment fingerprinting using a Bayesian mixing model, *Earth Surf. Process. Landforms*, 42, 2365–2376. doi: 10.1002/esp.4189.

17. Haddadchi, A.; Ryder, D.; Evrard, O.; & J. Olley, 2013. Sediment fingerprinting in fluvial systems: review of tracers, sediment sources and mixing models, *International Journal of Sediment Research*, 28, 560-578. doi.org/10.1016/S1001-6279(14)60013-5.

18. Heidary, K.; Najafi Nejad, A.; Khormali, F.; & M. Baba Nejad, 2013. Determining land units contributions to suspended sediment yield using sediment fingerprinting method (Case study: Tull Bane Basin, Golestan Province), *Quarterly Journal of Environmental Erosion Researches*, 11, 27-38.

19. Honda, M.; Yabuki, S.; & H. Shimizu, 2004. Geochemical and isotopic studies of aeolian sediments in China, *Sedimentology*, 51, 211-230.

20. Horowitz, A. J., 2008. Determining annual suspended sediment and sediment-associated trace element and nutrient fluxes, *Sci. Total Environ*, 400 (1–3), 315–343.

21. Hughes, A. O.; Olley, J. M.; Croke, J. C.; & L. A. McKergow, 2009. Sediment source changes over the last 250 years in a dry-tropical catchment, central Queensland, Australia, *Geomorphology*, 104, 262-275. doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.09.003

22. Laceby, J. P.; Olley, J.; Pietsch, T. J.; Sheldon, F.; & S. E. Bunn, 2015. Identifying subsoil sediment sources with carbon and nitrogen stable isotope ratios, *Hydrol. Process*, 29(8), 1956–1971. doi: 10.1002/hyp.10311.

23. Le Gall, M.; Evrard, O.; Foucher, A.; Laceby, J. P. ; Salvador-Blanes, S.; Thill, O.; Dapoigny, A.; Lefèvre, I.; Cerdan, O.; & S. Ayrault, 2016. Quantifying sediment sources in a lowland agricultural catchment pond using ¹³⁷Cs activities and radiogenic ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios, *Science of the Total Environment*, 566–567 (2016) 968–980. doi: j.scitotenv.2016.05.093.

24. Liu, B.; Niu, Q.; Qu, J.; & R. Zu, 2016. Quantifying the provenance of aeolian sediments using multiple composite fingerprints, *Aeolian Research*, 22, 117-122. dx.doi.org/10.1016/j.aeolia.2016.08.002.

25. Martinez-Carreras, N.; Krein, A.; Udelhoven, T.; Gallart, F.; Iffly, J. F.; Hoffmann, L.; & D. E. Walling, 2010. A rapid spectral-reflectance-based fingerprinting approach for documenting suspended sediment sources during storm runoff events, *Journal of Soils and Sediments*, 10 (3), 400–413. doi:10.1007/s11368-009-0162-1.

26. Motha, J. A.; Wallbrink, P. J.; Hairsine, P. B.; & R. B. Grayson, 2003. Determining the sources of suspended sediment in a forested catchment in southeastern Australia, *Water Resources*, 39 (3), 1056. doi:10.1029/2001wr000794.
27. Nosrati, K.; Collins, A. L.; & M. Madankan, 2018. Fingerprinting sub-basin spatial sediment sources using different multivariate statistical techniques and the Modified MixSIR model, *Catena*, 164, 32-43.
28. Owens, P. N.; Batalla, R. J.; Collins, A. J.; Gomez, B.; Hicks, D. M.; Horowitz, A. J.; Kondolf, G. M.; Marden, M.; Page, M. J.; Peacock, D. H.; Petticrew, E. L.; Salomons, W.; & N. A. Trustrum, 2005. Fine-grained sediment in river systems: environmental significance and management issues, *River Res. Appl*, 21 (7), 693-717.
29. Russell, M. A.; Walling, D. E.; & R. A. Hodgkinson, 2001. Suspended sediment sources in two small lowland agricultural catchments in the UK, *Journal of Hydrology*, 252, 1-24. doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00388-2.
30. Sadeghi, S. H.; Najafi, S.; & A. RiyahiBakhtiari, 2017. Sediment contribution from different geologic formations and land uses in an Iranian small watershed, case study, *International Journal of Sediment Research*, 32, 210-220.
31. Slattery, M.; Walden, J.; & T. P. Burt, 2000. Fingerprinting suspended sediment sources using mineral magnetic measurements- A quantitative approach. Tracers in geomorphology, *John Wiley and Sons*: pp. 309-322.
32. Tiecher, T.; Minella, J. P. G.; Evard, O.; Caner, L.; Merten, G. H.; Capoane, V.; Didone, E. J.; & D. R. dos Santos, 2018. Fingerprinting sediment sources in a large agricultural catchment under no-tillage in southern Brazil (Conceicao River), *Land Degrad Dev*, 1-13.
33. Walling, D. E., 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems, *Science of the Total Environment*, 344(1-3), 159-184. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.02.011.
34. Walling, D. E.; Owens, P. N.; & G. J. L. Leeks, 1999. Fingerprinting suspended sediment sources in the catchment of the River Ouse, Yorkshire, UK, *Hydrological Processes*, 13, 955-975. doi. 10.1002/(SICI)1099-1085(199905)13:7<955::AID-HYP784>3.0.CO;2-G
35. Zhang, X. C., & B. L. Liu., (2016). Using multiple composite fingerprints to quantify fine sediment source contributions: A new direction. *Geoderma*. 268, 108-118. dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.031
36. Zhang, J.; Yang, M.; Zhang, F.; Zhang, W.; Zhao, T.; & Y. Li, 2017. Fingerprinting sediment sources after an extreme rainstorm event in a small catchment on the Loess Plateau, PR China, *Land Degrad. Develop*, 28, 2527-2539.
37. Zhou, H.; Chang, W.; & L. Zhang, 2016. Sediment sources in a small agricultural catchment: A composite fingerprinting approach based on the selection of potential sources, *Geomorphology*, 266, 11-19. dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.05.007.

Source Fingerprinting of Sediment Deposited in the Dam Reservoir: A Case of Lavar Dam Watershed, Fin, Hormozgan Province

Samaneh Habibi: PhD student in Watershed Management, Department of Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar-Abbas, Hormozgan, Iran.

Hamid Gholami^{1*}: Department of Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar-Abbas, Hormozgan, Iran.

Aboalhassan Fathabadi: Department of Rangeland and Watershed Management Engineering, University of Gonbad, Gonbad, Iran.

Desmond Walling: Professor of Physical Geography, University of Exeter, Exeter, UK.

Article History (Received: 2018/06/22 Accepted: 2019/01/4)

Extended abstract

1. Introduction

Soil erosion is a major environmental threat worldwide. This three-stage process including detachment, transportation and sedimentation of soil particle by runoff affects natural and agricultural areas of Iran. Soil erosion has many off-site and on-site effects such as sediment deposition in the lake of dam and channels, transportation of nutrients and contaminants including phosphorous, pesticides, heavy metals, pathogens and radionuclides (Horowitz, 2008). Therefore, understanding spatial variations of sediment sources can be useful for managing the supply of sediment and contaminants in river systems. Quantifying sediment sources can be important to target efficient management measures, reducing sediment supply in the catchments. Sediment fingerprinting techniques are therefore increasingly applied to determine sediment sources and pathways in catchments and thus inform management interventions (Walling, 2005). Many scientists applied sediment fingerprinting techniques for quantifying source contribution of fluvial (e.g., Owens et al., 2005; Russell et al., 2001; Walling et al., 1999; Zhang and Liu., 2016; Nosrati et al., 2018; Collin et al., 1997 and 2012) and aeolian sediments (Gholami et al., 2017a,b; Liu et al., 2016). The sediment fingerprinting approach has been used for a variety of different applications including agricultural, forest harvesting, wildfires and urbanization (Koiter et al., 2018).

Fingerprinting techniques have evolved from single-property fingerprints to multi-property composite fingerprints because reliance on a single property of sediment makes it difficult to accurately distinguish sediments from a variety of sources in large fluvial systems, such as catchments (Collins and Walling, 2004). Many different physicochemical properties have been successfully used to discriminate potential sediment sources, including mineralogy (Klages and Hsieh, 1975), geochemical elements (e.g. Martinez-Carreras et al. (2010b); Collins et al. (2013); Pulley et al. (2015); Chen et al. (2016)), elemental composition (e.g. Motha et al. (2003); Devereux et al. (2010)), biomarkers (Chen et al., 2016), and environmental radionuclides (Martinez-Carreras et al. (2010)). Sediment fingerprinting technique is principally based on statistical tests such as Kruskal-Wallis H test and discriminant function analysis; and mathematical mixing models. The main objective of this study is quantifying sub-basins contributions as potential sources for sediments deposited on the back of the dam in the Lavar watershed, Fin, Hormozgan province by fingerprinting technique.

* Corresponding author: hgholami@hormozgan.ac.ir

2. Methodology

2.1. Sampling and Laboratory analysis

In this study, spatially distributed source samples were taken from 23 sites, of which 9, 6 and 8 samples were taken from northern sub-basin, middle sub-basin and southern sub-basin potential sources, respectively, and seventeen samples were collected from the deposited sediments in the lakes dam, Lavar watershed, Fin, Iran. Samples were collected from the upper 0–5 cm depth of potential sources and deposited sediments on the lake's dam. All sediment samples and potential source samples were dry sieved in the laboratory. Concentration of 56 geochemical elements including Al, Ba, Be, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Hf, Ho, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pr, Rb, Sb, Sc, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn, Ag, Zr, As, Bi, Sand Sb were determined using ICP-OES and also, eight REE ratios (\sum REE, Nd/Yb, Eu/Eu* (Europium Anomaly), (La/Lu)_n, (La/Sm)_n, (Gd/Yb)_n, (La/Yb)_n and δ Ce (Cerium Anomaly)) were calculated and assumed as tracers.

2.2. Discrimination of sources and quantification of their contribution

A stepwise discriminant function analysis (DFA) applied to discriminate sources. A mathematical multivariate mixing model was used in conjunction with the composite fingerprint to quantify the relative contributions of each source type to the sediment samples collected from the back of dam.

3. Results

The results of the stepwise DFA, based on the minimization of Wilk's lambda, for discriminating the three source types, on the basis of the individual geochemical properties, showed that six tracers including La/Yb, Nd/Yb, Th, Bi, Pr and Cr were selected as optimum fingerprints. A total of six properties were selected for the optimum composite fingerprint, which correctly discriminated 100% of the source type samples. The minimum and maximum of GOF were calculated 45 and 94%, respectively. The fact that a majority of the GOF values was well above 80% suggested that the mixing model performed well in assessing the sediment sources in our study area (Zhou et al., 2016; Haddadchi et al., 2013).

4. Discussion & Conclusions

Among of six optimum fingerprints for discriminating sources of sediment, three optimum fingerprints (La/Yb, Nd/Yb and Pr) were selected from rare earth elements and their indices. This indicates that rare earth elements (REE) and their indices have great potential to identify the provenance of aeolian sediments and their transport pathways, because they are less fractionated during weathering, transport and sedimentation (e.g. Rao et al. (2011); Hu & Yang, (2016)). According to the results, the contribution mean from northern sub-basin, middle sub-basin and southern sub-basin were estimated 18%, 16% and 66%, respectively. Therefore, southern sub-basin was recognized as the main source to supply material for sediments deposited on the back of the dam.

Key Words: Sediment Fingerprinting, Tracer, Potential Sources, Rare Earth Elements, Lavar Dam.