



دوره ۳۲، شماره ۲، شماره پیاپی ۱۲۳، تابستان ۱۳۹۸، صفحات ۹۴-۷۹
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2019.124151.1170

پژوهش‌های آبخیزداری

بررسی کارایی ساختارهای مختلف مدل ترکیبی در روش انگشت‌نگاری رسوب برای تعیین سهم منابع مختلف رسوب ته‌نشین‌شده در مخزن سد خاکی لاور فین، استان هرمزگان

سمانه حبیبی

دانش‌آموخته‌ی دکترای مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
حمید غلامی*

(نویسنده‌ی مسئول)* عضو هیات علمی گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
ابوالحسن فتح‌آبادی

عضو هیات علمی گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران

دسموند والینگ

استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اکستر، اکستر، انگلستان

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: hgholami@hormozgan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۳ آبان ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: ۲۱ اسفند ۱۳۹۷

چکیده

برای مهار کردن فرسایش و کاهش دادن رسوب خروجی هر آبخیز باید قسمت‌هایی از آن که سهم‌شان در رسوب خروجی بیش‌تر است شناسایی گشته، و اقدام‌های حفاظتی بر آن‌ها متمرکز شود. یکی از متداول‌ترین روش‌هایی که در سال‌های اخیر در تعیین سهم منابع مختلف به‌کار رفته روش انگشت‌نگاری است. تاکنون ساختارهای مختلفی از این روش داده شده که لازم است کارایی آن‌ها نسبت به یک‌دیگر مقایسه، تا ضعف‌ها و قوت‌های آن‌ها شناسایی شود. برای کمی کردن سهم منابع در تولید رسوب‌های ته‌نشین‌شده در مخزن سد لاور فین در استان هرمزگان، کارایی هشت مدل ترکیبی کولینز، هیوز، موتا، اسلاتری، لندور، لندور اصلاح‌شده، مدل بی‌زی با تبدیل CLR، مدل بی‌زی با توزیع دریکله بررسی و مقایسه گردیدند. پس از جمع‌آوری اطلاعات اولیه و تهیه‌ی نقشه‌های پایه در بازدید میدانی، ۲۳ نمونه‌ی سطحی از سه زیرحوضه و نه نمونه از رسوب‌های ته‌نشین‌شده در مخزن سد جمع‌آوری، و برای هر نمونه ۵۶ ردیاب اندازه‌گیری شد. ترکیب بهینه‌ی ردیاب با استفاده از روش‌های آماری شناسایی، و مدل‌های مختلف ترکیبی اجرا شدند. نتایج نشان دادند که چهار عنصر La، Mn و Th ترکیب بهینه‌ی ردیاب‌ها بود. نتایج مدل‌های ترکیبی نشان داد که در حالتی که اندازه‌ی ردیاب‌های نمونه‌های رسوب در دامنه‌ی اندازه‌ی متوسط ردیاب‌های منابع باشد عمل‌کرد تمام مدل‌ها شبیه است. در حالتی که اندازه‌ی ردیاب‌های نمونه‌های رسوب خارج از اندازه‌ی متوسط ردیاب‌های منابع باشد، بسته به نوع تابع، بهینه‌سازی عمل‌کرد مدل‌های مختلف متفاوت، و عمل‌کرد مدل‌ها با تابع هدف مشابه یکسان بود، به‌طوری که در این پژوهش مدل‌های کولینز با هیوز و بی‌زی با تبدیل CLR، موتا با اسلاتری و لندور با لندور اصلاح‌شده شبیه عمل کردند. به‌طور کلی، کارایی مدل‌های ترکیبی مختلف در انگشت‌نگاری متفاوت است، و خروجی آن‌ها به نوع تابع هدف، که در بهینه‌سازی کمینه می‌شود، بستگی دارد.

واژگان کلیدی: تحلیل تابع تشخیص، ترکیب بهینه ردیاب‌ها، مدل ترکیبی، منشاء‌یابی رسوب

مقدمه

فرسایش شدید خاک تهدیدی جدی برای مدیریت پایدار زمین و استفاده از منابع آب در بسیاری از نقاط جهان است (کولینز و همکاران ۲۰۰۱؛ موکوندان و همکاران ۲۰۱۰). برای درک کردن بهتر فرآیندها و مهار کردن اولیهی عوامل فرسایش آبی و دادن مرجعی مفید برای استفادهی علمی از زمین و اقدامهای حفاظتی، به دست آوردن میزان فرسایش و سهم منابع رسوب مهم است. میزان آورد رسوبها اطلاعات کمی در بارهی هدررفت خاک ناشی از آب می‌دهد، در حالی که هیچ اطلاعاتی دربارهی منابع رسوب، که نشان دهد کدام قسمت‌ها بیشترین رسوب را در آبخیز تولید می‌کند نمی‌دهد. شناسایی منابع رسوب برای تعیین ترازمندی رسوب آبخیز (بیلان)، توسعهی مدل‌ها و اجرای راه‌بردهای حفاظت خاک ضروری است (پورتو و همکاران ۲۰۱۶). تعیین منابع رسوب به دو روش نامستقیم و مستقیم است. در روش‌های نامستقیم تعیین منابع رسوب شامل تفسیر چشمی منابع بالقوه با عکس‌های هوایی و مشاهده‌های صحرایی، پیمایش و اندازه‌گیری‌های محلی با استفاده از نیم‌رخ‌سنج (پروفیل‌متر)، و اندازه‌گیری هدررفت خاک در جاهایی با کاربری متفاوت، با استفاده از قطعه‌های فرسایشی است. این روش‌ها معمولاً با مشکلات مکانی و زمانی نمونه‌برداری و تنگناهای اجرایی مواجه است، و با وجود پیشرفت‌های اخیر هنوز نتوانسته است ارتباط بین منبع و رسوب را به خوبی برقرار کند، برخی از این روش‌ها نیز به زمان و هزینه‌ی زیادی نیاز دارد، و عدم قطعیت‌های زیادی در منشایابی رسوبها هست. در مقابل، روش‌های مستقیم ارتباط بین منبع و رسوب را مستقیمانه بررسی می‌کند و نیاز به اطلاعات جانبی کمتری دارد. این روش‌ها برخلاف روش‌های سنتی با مرتبط کردن منابع رسوب به رودخانه و تولید رسوب، سهم هر یک از منابع رسوب را مستقیمانه تعیین می‌کند. از میان این روش‌ها می‌توان به روش‌های رسوب‌نگار، حلقه‌ی هیسترتیس و روش انگشت‌نگاری اشاره کرد (کولینز و والینگ ۲۰۰۴). یکی از این روش‌ها که در سال‌های اخیر برای تعیین منابع رسوب به‌کار گرفته شده روش انگشت‌نگاری رسوب است. این روش بر اساس مقایسه‌ی مستقیم ویژگی‌های رسوب‌های آبی و بادی با منابع آن‌ها پایه‌گذاری شده است (والینگ و همکاران ۱۹۹۳؛ جعفری تختی‌نژاد و همکاران ۲۰۱۹؛ غلامی و همکاران ۲۰۱۷؛ دهمرده‌به‌روز و همکاران ۲۰۱۹). در این روش مجموعه‌ی ویژگی‌های رسوبها در نمونه‌های منابع اندازه‌گیری و مقایسه می‌شود، تا سهم منابع مختلف در رسوب خروجی حوضه تعیین شود (کولینز و همکاران ۱۹۹۷). انواع مختلفی از ویژگی‌ها مثل مشخصه‌های فیزیکی (اندازه، شکل ذره و رنگ رسوبها)، مشخصه‌های زمین‌شیمیایی (مثل عناصر زمین‌شیمیایی)، رادیونوکلوئیدها (مثل ^{137}Cs ، ^{210}Pb ناپایدار)، مشخصه‌های مغناطیسی معدنی (مثل خاصیت مغناطیسی) و مشخصه‌های زیستی (مثل ایزوتوپ‌های پایدار با

ترکیب خاص، گروه‌های میکروبی، گرده و آنزیم‌های خاک)، را می‌توان در تشخیص منابع بالقوه‌ی رسوبها به‌کار برد (کولینز و همکاران ۲۰۱۷؛ حدادچی و همکاران ۲۰۱۳؛ اونس و همکاران ۲۰۱۷؛ والینگ ۲۰۰۵). در این روش پس از تعیین ترکیب بهینه‌ی ردیاب‌هایی که قادراند منابع مختلف را تفکیک کنند، سهم منابع مختلف با به‌کار بردن مدل ترکیبی چندمتغیره تعیین می‌شود. مدل‌های ترکیبی پرکاربردترین مدل‌ها برای روش انگشت‌نگاری رسوب است که محققان مختلف در دهه‌های گذشته آن‌ها را روشی جایگزین و پذیرفتنی برای تعیین منابع اصلی رسوب در توصیف سهم منابع رسوبها دانسته‌اند. مدل‌های ترکیبی اغلب بخشی از روش انگشت‌نگاری رسوبها برای تعیین کمی سهم منابع است که در سال‌های اخیر در بسیاری از کشورهای جهان به‌کار گرفته شده است (کویترو و همکاران ۲۰۱۳).

در ابتدا در روش انگشت‌نگاری با مقایسه‌ی ردیابها در نمونه‌های منبع و رسوب سهم کیفی منابع مختلف تعیین می‌شود (وود ۱۹۷۸؛ وال و ویلینگ ۱۹۷۵؛ کلاگس و هسیه ۱۹۷۵). به تدریج مدل ترکیبی برای تعیین سهم منابع مختلف با به‌کار بردن حل معادله و در نظر گرفتن میانگین ردیابها در منابع و رسوب برای کمی‌کردن سهم منابع مختلف گسترش پیدا کرد (والینگ و همکاران ۱۹۹۳؛ پیرت و والینگ ۱۹۸۶؛ حبیبی و همکاران ۲۰۱۹). کولینز و همکاران (۱۹۹۷) رویکردی جامع برای تعیین ردیاب‌های بهینه و برآورد کمی سهم منابع با به‌کار بردن مدل ترکیبی چند متغیره دادند، و رویکردهای مختلفی از مدل ترکیبی در تحقیقات اسلاتری و همکاران (۲۰۰۰)، موتا و همکاران (۲۰۰۳)، و جلیس و همکاران (۲۰۰۹) داده شد. در اغلب این رویکردها، با کم‌ترین کردن تابع هدف که نشان‌دهنده‌ی اختلاف بین اندازه‌ی عنصرهای مشاهده‌ی در رسوبها، و اندازه‌ی عناصر برآوردشده برای هر نمونه‌ی رسوب با به‌کار بردن منابع است، اندازه‌ی سهم منابع مختلف برآورد می‌شود. مدل‌های کولینز و همکاران (۱۹۹۷)، موتا و همکاران (۲۰۰۳)، و اسلاتری و همکاران (۲۰۰۰) از این گروه است. با توجه به منابع عدم قطعیت، که ناشی از تعداد کم نمونه‌های برداشته از منابع است، رویکردهای مبتنی بر نمونه‌برداری از نمونه‌های منابع توسعه پیدا کرد. برای نمونه هیوز و همکاران (۲۰۰۹) برای بررسی تغییرات منابع رسوب در یک دوره‌ی ۲۵۰ ساله در آبخیزی گرمسیری در کوئینزلند مرکزی در استرالیا رویکردی مبتنی بر نمونه‌ی بوت استرپی از منابع و ردیاب‌های زمین‌شیمیایی و رادیواکتیو به‌کار بردند، و منابع آبراه رودخانه را مهم‌ترین منبع تولیدکننده‌ی رسوب در منطقه دانستند. نتایج انگشت‌نگاری منابع رسوب در آبخیزی در جنوب استرالیا با به‌کار بردن روش شبیه‌سازی مونت کارلو (موتا و همکاران، ۲۰۰۳) نشان داد که سهم تولید رسوب از زمین‌های جنگلی بی‌به‌هم‌ریختگی ۵۰ تا ۷۰٪ است. نتایج کولینز و والینگ (۲۰۰۷) در بررسی ذخیره و منشأ رسوب ریزدانه در

نشان داد که منبع غالب رسوب در منطقه، زمین‌شناسی آن شامل ماسه‌سنگ‌ها همراه با سیلت‌سنگ و گل‌سنگ است. در روش انگشت‌نگاری رسوب، برای نمونه‌برداری و اندازه‌گیری ردیاب‌ها در منابع و رسوب‌ها هزینه‌های زیادی می‌شود. در این روش پس از تعیین ردیاب‌های اصلی سهم منابع مختلف با به‌کاربردن مدل ترکیبی چندمتغیره برآورد کرده می‌شود. صحت نتایج این روش بستگی به توانایی مدل ترکیبی به‌کاررفته دارد. بنابراین، به‌کاربردن مدلی که صحت آن بیش‌ترین باشد اهمیت زیادی دارد. در تحقیقات اندکی، عمل‌کرد مدل‌های مختلف ترکیبی مقایسه شده است، در حالی که برای افزایش اطمینان به مدل‌ها و تفسیر بهتر نتایج آن‌ها، نیاز است تا عمل‌کرد مدل‌های مختلف مقایسه، ضعف‌ها و قوت‌های هر مدل شناخته شود. در این پژوهش کارآیی هشت مدل ترکیبی متداول شامل کولینز، هیوز، موتا، اسلاتری، لندور، لندور اصلاح‌شده، مدل بیزی با تبدیل CLR و مدل بیزی با توزیع دریکله در منشأیابی رسوب‌های آبی در حوضه‌ی سد لاور فین استان هرمزگان بررسی و مقایسه شد.

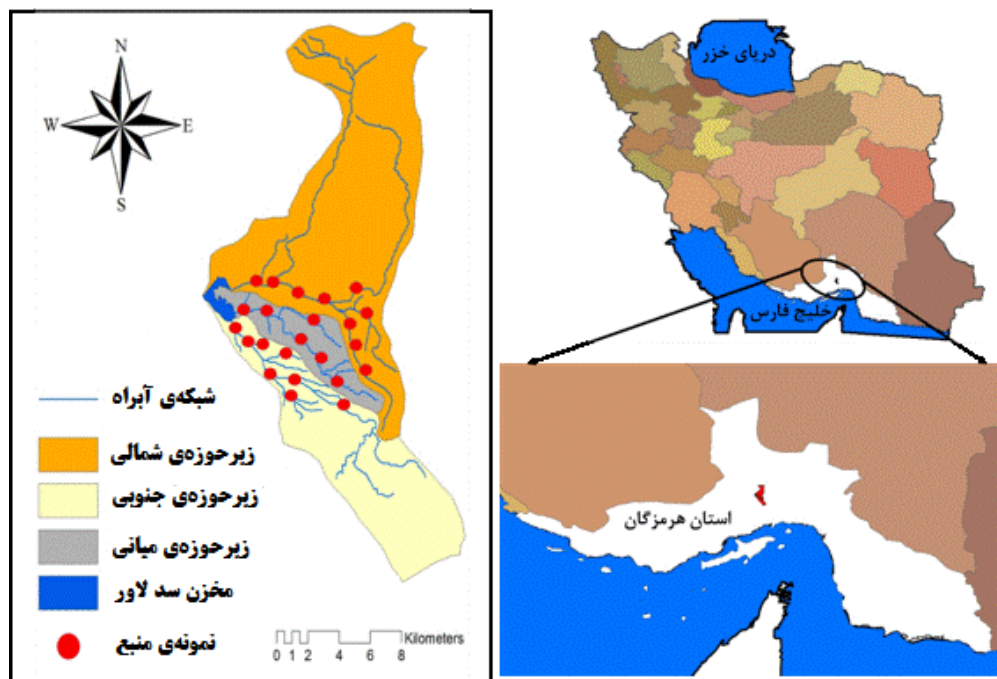
مواد و روش‌ها

منطقه‌ی بررسی‌شده

آبخیز سد لاور فین (شکل ۱) در استان هرمزگان در ۶۰ کیلومتری شمال غربی بندرعباس و در نزدیکی شهر فین است. این حوضه در سرشاخه‌های رودخانه‌ی گل و بر اساس تقسیم‌بندی طرح جامع آب کشور بخشی از آبخیز خلیج‌فارس و دریای عمان است. مساحت آن ۲۱۱۰۰ هکتار و در طول شرقی ۶'' ۱' ۵۶° تا ۵۵' ۹' ۵۶° و عرض شمالی ۳۵' ۲۴' ۲۷° تا ۳۲' ۲۷' واقع شده است. محدوده‌ی بررسی در زاگرس چین‌خورده، و شامل سه زیرحوضه‌ی شمالی، میانی و جنوبی است. عمدتاً از سازندهای دوران چهارم شامل ماسه‌سنگ‌ها، پادگانه‌ها و مخروط‌افکنه‌های جوان، پادگانه‌های آب‌رُفتی، سازندهای رسی و آهک‌رسی به‌ویژه در زیرحوضه‌ی جنوبی تشکیل شده است. بخش عمده‌ی منطقه به‌ویژه در زیرحوضه‌های میانی و جنوبی زمین‌های بایر است، و در بخش‌های دیگری از حوضه، به‌ویژه در زیرحوضه‌ی شمالی دو کاربری کشاورزی و مسکونی است، و فعالیت‌های عمده‌ی کشاورزی کشت صیفی‌جات است.

بستر دو رودخانه با روش انگشت‌نگاری نشان داد که منبع رسوب ریزدانه در دو حوضه متفاوت است. کولینز و همکاران (۲۰۱۲) از چارچوب مدل‌سازی عددی مونت‌کارلو برای کمی‌کردن منابع رسوب ریزدانه در آبخیزی در جنوب انگلستان، خاک سطحی چراگاه را منبع اصلی رسوب در منطقه دانستند. مشکل اساسی در روش‌های شبیه‌سازی عدم قطعیت در نظر نگرفتن همبستگی ردیاب‌ها در منابع است. در پژوهش‌های حدادچی و همکاران (۲۰۱۳ و ۲۰۱۴) مدل‌های مختلف ترکیبی چندمتغیره برای انگشت‌نگاری منابع رسوب در آبخیز بررسی و مقایسه شد. بسته به نوع مدل ترکیبی به‌کاررفته، اندازه‌ی سهم‌های منابع مختلف بسیار متغیر بود.

یکی از مشکلات عمده‌ی روش انگشت‌نگاری، تعیین میزان صحت نتایج با اطلاعات به‌دست آمده از سایر روش‌ها است، زیرا تعیین منابع مکانی فرسایش با روش‌های دیگر هزینه‌بر و زمان‌بر است و در برخی شرایط اندازه‌گرفتنی نیست، و در عمل امکان اجرای این روش‌ها برای تعیین توزیع مکانی منابع مکانی فرسایش نیست (کولینز و والینگ ۲۰۰۴). در این حالت، در سال‌های اخیر به‌کاربردن نمونه‌های رسوب مصنوعی که سهم منابع مختلف در آن‌ها شناخته شده است راه‌کاری جای‌گزین در روش منشأیابی بوده است (حدادچی و همکاران ۲۰۱۴؛ لاسبی و همکاران ۲۰۱۵). حدادچی و همکاران (۲۰۱۴) برای ارزیابی دقت مدل‌های ترکیبی به‌کاررفته در روش انگشت‌نگاری رسوب نمونه‌های مصنوعی به‌کار بردند و نتیجه گرفتند که مدل توزیعی دقیق‌ترین تخمین از سهم منابع رسوب را در آبخیز به‌دست می‌دهد. نتایج منشأیابی رسوب با به‌کاربردن نسبت‌های ایزوتوپی نیتروژن و کربن (لاسی و همکاران ۲۰۱۵) نشان داد که فرسایش کانالی منبع اصلی تأمین‌کننده‌ی رسوب در خلیج موریتون، جنوب شرقی کوئینزلند استرالیا است. به‌کاربردن نمونه‌های رسوب با اندازه‌ی سهم‌های مشخص این امکان را به ما می‌دهد تا توانایی روش‌های مختلف را مقایسه کنیم. به‌کاربردن نمونه‌های مصنوعی برای اولین بار در تحقیق لیز (۱۹۹۷) گزارش شد. غلامی و همکاران (۲۰۱۹) برای کمی‌کردن سهم منابع رسوب‌های ساحلی در خروجی آبخیز جگین، شرق استان هرمزگان روش شبیه‌سازی مصنوعی منت کارلو و ساخت نمونه‌های مصنوعی را به‌کار بردند. نتایج آن‌ها

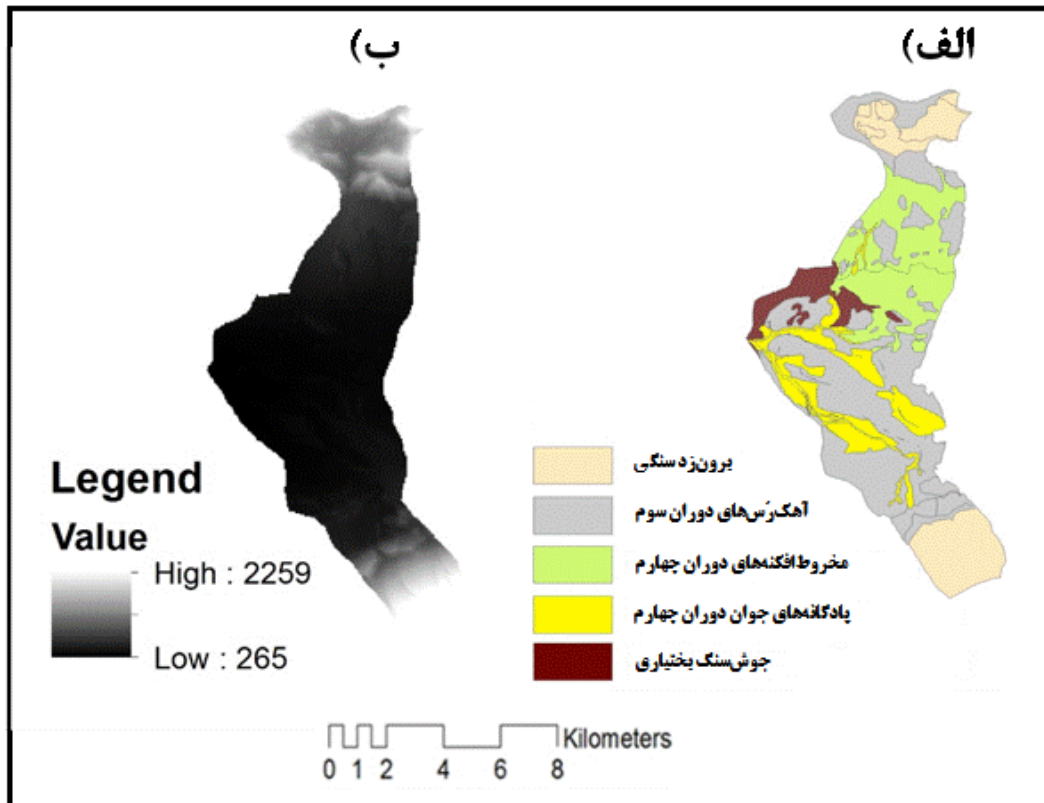


شکل ۱- موقعیت آبخیز سد لاور و نقطه‌های نمونه‌برداری.

دو اسید (HF و HClO_4) حل کرده، و ۴۸ ساعت روی دستگاه گرم‌کن گذاشته شد. پس از خنک شدن، محلول ژله‌یی دوباره دو ساعت با اسیدهای HNO_3 و HCl در دستگاه گرم‌کن گذاشته شد. نمونه‌ها پس از رقیق کردن، برای خوانده‌شدن با دستگاه ICP-OES آماده شد. برای هر نمونه ۵۶ عنصر زمین-شیمیایی اصلی، کم‌یاب و نادر خاکی (Ca, Be, Ba493, Ba445, Al, 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 و Ti, Tl, Tm, V, W, Y, Yb, Zn, Zr, Ag, As, Bi, S (Sb) اندازه‌گیری شد.

روش تحقیق

پس از جمع‌آوری اطلاعات اولیه و تهیه‌ی نقشه‌های پایه (نقشه‌ی زمین‌شناسی و نقشه‌ی طبقه‌های ارتفاعی) (شکل ۲)، بازدیدهای میدانی در پاییز ۱۳۹۶ در سه روز نمونه‌برداری انجام و ۲۳ نمونه از بستر آبراه اصلی سه زیرحوضه (نه نمونه از زیرحوضه شمالی، شش نمونه از زیرحوضه میانی، هشت نمونه از زیرحوضه جنوبی)، و نه نمونه از رسوب‌های مخزن سد خاکی لاور برداشته شد. نمونه‌ها در مجاورت هوا خشک کرده شد. برای کم‌ترین کردن تاثیر اندازه‌ی ذره‌ها بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، تمامی نمونه‌ها از الک ۶۳ میکرومتری عبور داده شد. مراحل آماده‌سازی و اندازه‌گیری عنصرهای زمین‌شیمیایی در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه هرمزگان انجام شد. از هر نمونه ۰/۵ گرم خاک با



شکل ۲- الف) نقشه‌ی زمین‌شناسی، و ب) نقشه‌ی طبقه‌های ارتفاعی آبغیز.

کمی کردن سهم منابع رسوب‌های ته‌نشین شده در مخزن سد در روش انگشت‌نگاری پس از تعیین ترکیب بهینه‌ی ردیاب‌ها، با به‌کاربردن مدل‌های ترکیبی چندمتغیره (جدول ۱) سهم منابع تعیین کرده شد. در این پژوهش هشت مدل رایج و کاربردی کولینز و همکاران (۱۹۹۷) (معادله‌ی ۱)، اسلاتری و همکاران (۲۰۰۰) (معادله‌ی ۲)، موتا و همکاران (۲۰۰۳) (معادله‌ی ۳)، هیوز و همکاران (۲۰۰۹) (معادله‌ی ۴)، لندور (دورنوکس و همکاران ۲۰۱۰) (معادله‌ی ۵)، لندور اصلاح‌شده (جلیس و همکاران ۲۰۰۹) (معادله‌ی ۶)، بیزی با تبدیل CLR (رابطه‌ی ۷)، و مدل بیزی با توزیع پیشین دریکله (رابطه‌ی ۸) بررسی شد. در این رابطه‌ها (جدول ۱) باید فرض‌های زیر رعایت شود:

$$0 \leq A_j \leq 1 \quad (1)$$

$$\sum A_j = 1 \quad (2)$$

A_j : سهم نسبی منبع j در نمونه‌ی رسوب

تعیین ترکیب بهینه‌ی ردیاب‌ها و اجرای مدل‌های ترکیبی در روش انگشت‌نگاری معمولاً با طیف گسترده‌یی از ردیاب‌ها انجام می‌شود. معمولاً تمام ردیاب‌های اندازه‌گیری شده توانایی به‌کاربرده شدن در مدل ترکیبی ندارند. در این حالت باید ردیاب‌هایی را که در فرسایش تغییر نکرده است و توانایی تفکیک کردن منابع مختلف را دارند انتخاب، و در مدل ترکیبی به‌کاربرد. در منابع مختلف آزمون‌های مختلفی برای تعیین کردن ردیاب‌های بهینه به‌کاررفته است، و در این پژوهش دو آزمون دامنه و تحلیل تشخیص چندمتغیره برگزیده شد. در آزمون دامنه، بیشینه و کمینه‌ی هر ردیاب در رسوب تعیین، و با کمینه و بیشینه‌ی آن‌ها در منابع مقایسه کرده می‌شود. اگر ردیاب‌های اندازه‌گیری شده در رسوب در دامنه‌ی بیشینه و کمینه‌ی آن‌ها در منابع نباشد، نامحافظه‌کار دانسته می‌شود و در مرحله‌های بعد به‌کاربرده نمی‌شود. پس از تعیین ردیاب‌های محافظه‌کار، ترکیب ردیاب‌های بهینه با آزمون تحلیل تشخیص چندمتغیره با کمینه‌کردن ویلکس لامبدا انتخاب می‌شود.

به دلیل این که تعداد ردیابها بیش تر از تعداد منابع است، یک جواب بهینه، مجموعه‌یی از جوابها هست که می‌تواند بیش‌برازشی اتفاق می‌افتد. در این حالت به جای داشتن محدودیت‌ها را برآورد کند (کولینز و همکاران ۱۹۹۷).

جدول ۱- مدل‌های ترکیبی به‌کاررفته در پژوهش.

شماره‌ی معادله	معادله	نام مدل
۱	$f(X_j) = \sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{B_i - \sum_{j=1}^m A_j \cdot X_{j,i}}{B_i} \right)^2 \right)$	کولینز
۲	$f(X_j) = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m A_j X_{j,i} - B_i \right)^2$	اسلاتری
۳	$f(X_j) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (B_i - \sum_{j=1}^m X_{j,i} A_j)^2}{n}}$	موتا
۴	$f(X_j) = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\sum_{i=2}^{1000} \sum_{j=1}^m X_{j,i} A_j / 1000 - B_i}{B_i} \right]^2$	هیوز
۵	$F(X_j) = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n \left B_i - \sum_{j=1}^m A_j X_{j,i} \right / \sqrt{\sum_{j=1}^m A_j^2 VAR_{i,j}}$	لندور
۶	$F(X_j) = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n \left B_i - \sum_{j=1}^m A_j X_{j,i} \right / \sqrt{\sum_{j=1}^m A_j^2 (VAR_{i,j} / m_j)}$	لندور اصلاح شده
۷	$\phi_i = CLR(P_i) = \log \left[\frac{P_{i1}}{g(P_i)}, \dots, \frac{P_{ik}}{g(P_i)} \right]$	CLR
۸	$f(P) = \frac{\Gamma(\sum_{i=1}^n a_i)}{\prod_{i=1}^n \Gamma(a_i)} \prod_{i=1}^n p_i^{a_i-1}$	دریکله

Bi اندازه‌ی ردیاب i (i=1 تا n) در نمونه‌ی رسوب، Xji مقدار ردیاب i در منبع j (j=1 تا m)، Aj سهم نسبی منبع j در نمونه‌ی رسوب، m تعداد منبع‌های رسوب، n تعداد ردیاب‌های بررسی شده.

مطالعه‌ی انگشت‌نگاری توجه زیادی شده است (والینگ ۲۰۰۵). پژوهش‌های زیادی روش‌های متعددی برای بررسی عدم قطعیت مربوط به سهم منابع رسوب به‌کاربرده اند، و روش شبیه‌سازی مونت کارلو رایج‌تر بوده است (موتا و همکاران ۲۰۰۳؛ کالینز و همکاران ۲۰۱۳؛ اسمیت و بلیک ۲۰۱۴). پژوهش‌های دیگری مانند غلامی و همکاران (۲۰۱۷) و دیویس و همکاران (۲۰۱۸) برای بررسی عدم قطعیت سهم منابع رسوب‌های بادی و آبی روی کرد بی‌زین را برگزیدند. اخیراً دهمرده‌بهرروز و همکاران (۲۰۱۹) سهم منابع ریزگرد اتمسفری را با روش GLUE بررسی کردند. در این پژوهش برای کمی کردن سهم از روی کرد

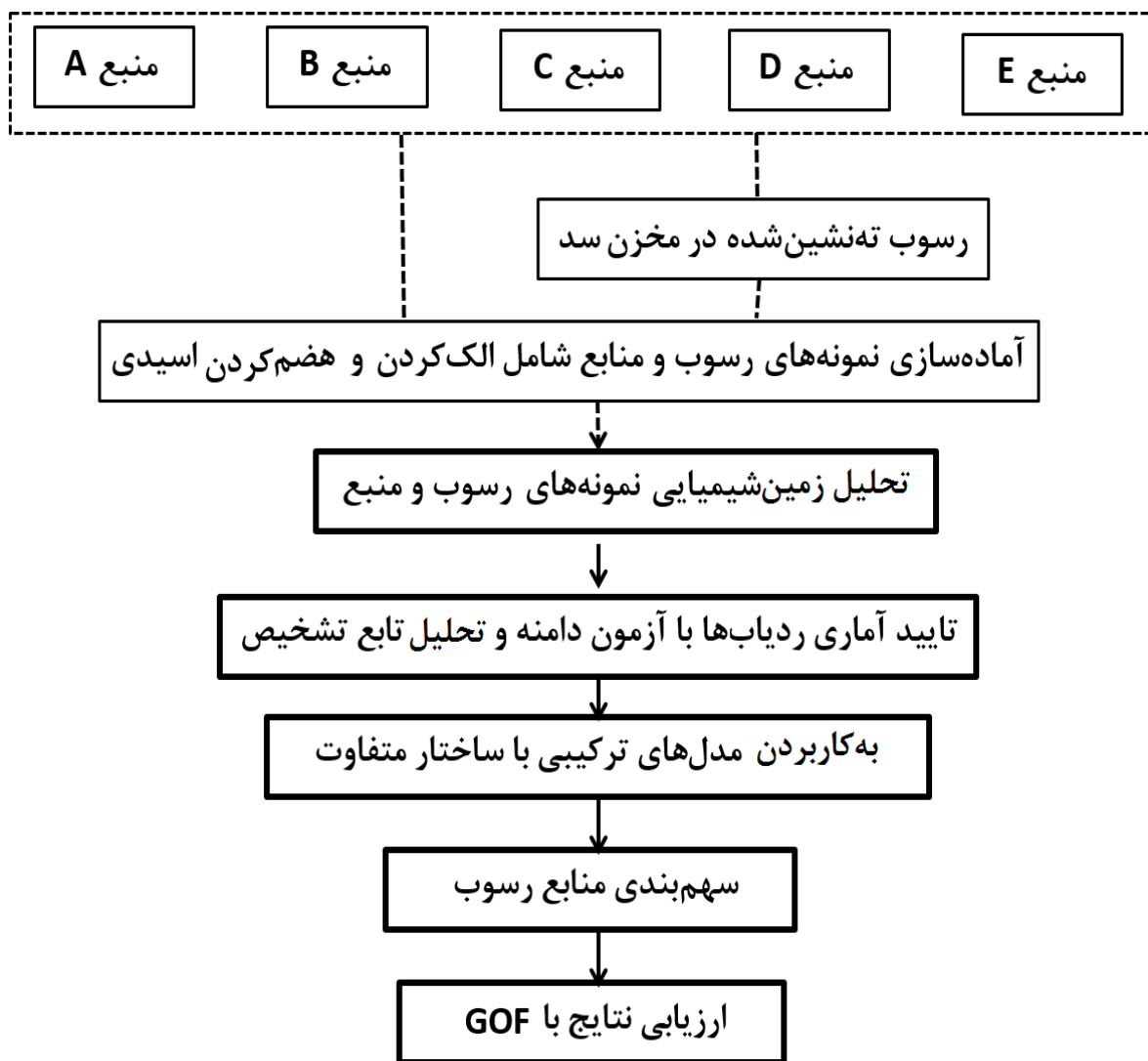
در رابطه‌های یک تا سه برای برآورد کردن اندازه‌ی سهم‌ها فقط اندازه‌ی میانگین ردیاب‌ها در منابع و رسوب به‌کار می‌رود. برای اجرای مدل هیوز و همکاران (۲۰۰۹) در ابتدا با روش بوت استرپ برای هر منبع، اندازه‌ی ردیاب‌ها در نمونه‌های مشاهده‌ی ۲۰۰۰ مرتبه نمونه‌گیری، و سپس رابطه‌ی ۴ اجرا شد. ردیاب‌ها در این رابطه دوباره نمونه‌گیری شد. در روش‌های لندور و لندور اصلاح‌شده علاوه بر مقدار ردیاب در منابع و رسوب، اندازه‌ی پراش ردیاب‌ها در منابع نیز محاسبه و در رابطه گذاشته شد. در سال‌های اخیر به عدم قطعیت مربوط به نتیجه‌ی سهم‌های داده‌شده برای منبع رسوب با مدل‌های ترکیبی در

صفر تا یک، و جمع آن‌ها یک است، به کار رفت. مراحل روش تحقیق در شکل ۳ نشان داده شده است.

ارزیابی نتایج مدل‌های ترکیبی با به کار بردن GOF نتایج مدل ترکیبی با GOF پیشنهادشده‌ی کولینز و همکاران (۲۰۱۲) ارزیابی شد (رابطه‌ی ۳). هرچه مقدار GOF به یک نزدیک‌تر باشد نشان دهنده‌ی دقت بیش‌تر مدل است.

$$GOF = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{B_i - \sum_{j=1}^m A_{ji} \cdot X_j}{B_i} \right)^2 \quad (2)$$

بیزین شامل تبدیل CLR و توزیع دریکله به کار برده شد. در هر دو روش بیزی برای مقدار ردیاب‌ها در منابع توزیع بهنجار چندمتغیره که ماتریس واریانس کواریانس آن توزیع پیشین ویشارت داشت، به کار رفت. برای حالت تبدیل CLR برای سهم‌ها توزیع بهنجار به کار رفت. با توجه به آن که اندازه‌ی توزیع بهنجار از منفی تا مثبت بی‌نهایت است، برای آن که اندازه‌ی به‌دست‌آمده بین صفر تا یک، و جمع آن‌ها یک باشد تبدیل CLR به کار برده شد. برای حالت توزیع دریکله برای سهم‌ها، تابع توزیع پیشین دریکله که تضمین می‌کند اندازه‌ی سهم‌ها بین



شکل ۳- نمودار جریانی روش تحقیق.

باقی مانده (Ba, Be, Ca, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga), Gd, Hf, Ho, K, La, Lu, Mn, Na, Nb, Nd, P, Pb, Pr, Sb, Sm, Sr, Ta, Tb, Th, Ti, Tm, V, Y, Yb, Zn, Ag, Bi) در مرحله‌ی دوم آماری (تحلیل تشخیص چندمتغیره) به کار برده شد (جدول ۲). از ۳۹ ردیاب به کاررفته، چهار ردیاب (Th, Mn, La, Nd) در ردیاب‌های بهینه دانسته شد.

نتایج

برای انتخاب ردیاب‌های بهینه دو روش آماری آزمون دامنه و تحلیل تشخیص گام‌به‌گام (DFA) به کار برده شد. نتایج آزمون دامنه نشان داد که از ۵۶ عنصر اندازه‌گیری شده، غلظت ۱۷ عنصر (Rb, Sc, Al, Ce, Co, Cr, Li, Mg, Mo, Ni), W, Zr, As, Sn, Te, Tl) در نمونه‌های رسوب خارج از دامنه‌ی این ردیاب در منابع است، که ردیاب‌های نامحافظه‌کار دانسته شد و در مراحل بعدی به کار برده نشد. ۳۹ عنصر

جدول ۲- نتیجه‌ی تحلیل تشخیص گام‌به‌گام (DFA) برای انتخاب ترکیب بهینه از ردیاب‌ها برای تشخیص منابع رسوب.

گام	ردیاب‌های بهینه	ویلیکس لامبدا	معنی‌داری
۱	Mn	۰/۵۶۴	۰/۰۰۳
۲	La	۰/۳۴۶	۰/۰۰۰
۳	Nd	۰/۱۴۸	۰/۰۰۰
۴	Th	۰/۰۸۲	۰/۰۰۰

پژوهش در مجموع هفت نمونه‌ی رسوب مصنوعی تولید شد. در جدول ۳ اندازه‌ی سهم‌های به‌دست آمده برای هفت نمونه رسوب مصنوعی آورده شد (با توجه به عمل کرد مشابه مدل‌های مختلف، فقط نتیجه‌ی برخی از مدل‌ها آورده شد). اختلاف‌های جزئی میان مدل‌های مختلف در اندازه‌ی سهم‌های به‌دست آمده دیده می‌شود، و می‌توان گفت عمل کرد مدل‌های مختلف شبیه بود.

ارزیابی نتیجه‌ی مدل‌های ترکیبی

پس از تعیین کردن ترکیب بهینه‌ی ردیاب‌ها، مدل‌های مختلف ترکیبی اجرا شد. برای مقایسه و ارزیابی بهتر، این مدل‌ها با به کار بردن نمونه‌های رسوب مصنوعی اجرا شد. برای تولید نمونه‌های رسوب مصنوعی با در نظر گرفتن سهم‌های فرضی برای هر یک از منابع‌ها، این سهم‌ها در میانگین مقدار ردیاب‌های هر یک از منابع‌ها ضرب و با هم جمع شدند، تا اندازه‌ی ردیاب‌ها در هر یک از نمونه‌های رسوب مصنوعی محاسبه شود. در این

جدول ۳- عمل کرد مدل‌های مختلف برای نمونه‌های رسوب مصنوعی.

شماره‌ی نمونه	کولینز			موتا			اسلتری		
	X1	X2	X3	X1	X2	X3	X1	X2	X3
S1	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۴
S2	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
S3	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰
S4	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰
S5	۰/۶۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۶۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۶۰	۰/۲۰	۰/۲۰
S6	۰/۲۰	۰/۶۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۶۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۶۰	۰/۲۰
S7	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۶۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۶۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۶۰

در روش‌های اسلتری و موتا از سهم منبع سه کاسته و به سهم منبع یک افزوده شد. روش‌های لندور و لندور اصلاح شده برای منبع یک سهم ۱۰۰٪ گرفتند. در روش بیزی با توزیع دریکله دو منبع یک و سه سهم تقریباً مشابهی داشت. برای نمونه‌های رسوب S۲، S۸ تا S۱۱ در روش‌های کولینز، هیوز و بیزی با تبدیل CLR و دریکله بیش‌ترین سهم برای منبع دو بود. در روش‌های موتا، اسلتری، لندور و لندور اصلاح‌شده برای این پنج نمونه، بیش‌ترین سهم در منبع یک بود. در مجموع، با توجه به نتایج این قسمت در روش‌های کولینز، هیوز و بیزی با تبدیل CLR بیش‌ترین سهم‌ها به ترتیب به منابع سه و دو، و در روش‌های اسلتری و موتا بیش‌ترین سهم‌ها به منابع سه و یک داده شد.

در روش‌های موتا و اسلتری در بیش‌تر نمونه‌ها سهم‌های داده‌شده به منبع یک مشابه سهم‌های داده‌شده به منبع دو با روش‌های کولینز، هیوز و بیزی با تبدیل CLR بود. برای روش‌های لندور و لندور اصلاح‌شده بیش‌ترین سهم به منبع یک داده‌شده، به طوری که به شش نمونه رسوب سهم ۱۰۰٪ داده‌شده. پس از منبع یک، منبع دو سهم بیش‌تری از منبع سه داشت. در روش بیزی با تابع دریکله در مجموع سهم تمام منابع در نمونه‌های رسوب برداشته‌شده نسبتاً یکسان بود. در جدول ۵ ضریب همبستگی بین سهم‌های به‌دست‌آمده با روش‌های مختلف آورده شد. بیش‌ترین ضریب همبستگی بین اندازه‌ی سهم‌های به‌دست‌آمده با روش‌های کولینز، هیوز و بیزی با تبدیل CLR، با سهم‌های به‌دست‌آمده با روش‌های موتا و اسلتری است. کم‌ترین ضریب همبستگی نیز برای سهم‌های به‌دست‌آمده با روش لندور و لندور اصلاح‌شده با سهم به‌دست‌آمده با روش‌های کولینز و هیوز و بیزی با تبدیل CLR است. عمل کرد روش‌های موتا و اسلتری بین روش‌های کولینز، هیوز، لندور و لندور اصلاح‌شده است. روش بیزی با توزیع دریکله کم‌ترین همبستگی را با روش‌های لندور و لندور اصلاح‌شده داشت.

مقدار سهم‌های محاسبه‌شده در سه زیرحوضه‌ی شمالی (X_1)، میانی (X_2) و جنوبی (X_3) به‌همراه مقدار معیار GOF برای نمونه‌های رسوب در جدول ۴ آورده شد. بزرگ‌ترین مقدار GOF برای روش‌های کولینز و هیوز برای تمام نمونه‌های رسوب محاسبه شد. بعد از این دو مدل، روش‌های بیزی با تبدیل CLR، تابع دریکله، موتا و اسلتری در رتبه‌ی بعدی بودند. مشابه همین یافته در تحقیق حدادچی و همکاران (۲۰۱۳) مشاهده شد. دلیل این مسأله را می‌توان در آن دانست که معیار GOF رابطه‌ی مشابه با تابع هدف روش‌های کولینز و هیوز دارد. پالازون و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که GOF معیار مناسبی برای ارزیابی عمل کرد روش انگشت‌نگاری نیست. در واقع GOF نشان‌دهنده‌ی خطای بهینه‌سازی است، و نشان‌دهنده‌ی عمل کرد مدل نیست. تابع در روش‌های بیزی، مانند روش‌های دیگر بهینه نمی‌شود، اما مقدار GOF داده‌شده‌ی این دو روش مشابه مقدار داده‌شده‌ی سایر روش‌ها است.

روش‌های موتا با اسلتری و لندور با لندور اصلاح‌شده دوبه‌دو مشابه یک‌دیگر عمل کردند (جدول ۴). برای نمونه‌های S۱، S۳، S۴ و S۵ در روش‌های کولینز، هیوز و بیزی با تبدیل CLR بیش‌ترین سهم به منبع سه داده شد، در حالی که در روش اسلتری و موتا از اندازه‌ی سهم منبع سه کاسته، و به سهم منبع یک افزوده شد. در روش‌های لندور و لندور اصلاح‌شده بر خلاف روش‌های کولینز و هیوز بیش‌ترین سهم به منبع یک داده شده است. در روش بیزی با توزیع دریکله از سهم منبع سه کاسته و به سهم منابع یک و دو اضافه شد. برای نمونه‌ی S۶ در روش‌های کولینز، هیوز و بیزی، با تبدیل CLR از سهم منبع سه کاسته و به سهم منبع دو افزوده شد. در حالی که در روش‌های دیگر به منبع یک سهم ۱۰۰٪ داده شد. در روش بیزی با تابع دریکله بیش‌ترین سهم در منبع دو است. برای نمونه‌ی S۷ در روش‌های کولینز، هیوز و بیزی با تبدیل CLR سهم ۱۰۰٪ به منبع سه داده شد، در حالی که

جدول ۴- سهم‌بندی منبع رسوب با مدل‌های ترکیبی به‌کاررفته در انگشت‌نگاری رسوب و ارزیابی نتیجه با معیار GOF.

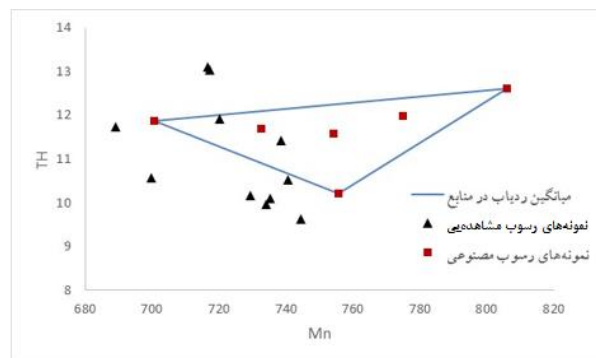
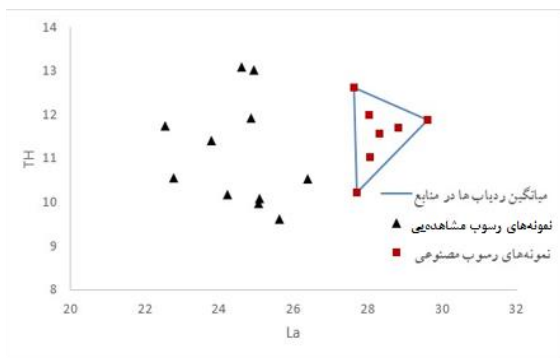
نمونه	S1				S2				S3			
	X1	X2	X3	GOF	X1	X2	X3	GOF	X1	X2	X3	GOF
مدل												
کولینز	۰	۰/۰۰۷	۰/۹۹	۹۹/۵۱	۰	۰/۶۴	۰/۳۶	۹۸/۴۳	۰	۰/۰۳	۰/۹۷	۹۹/۰۲
موتا	۰/۳۷	۰	۰/۶۳	۹۹/۳۹	۰/۴۳	۰/۱۲	۰/۴۵	۹۸/۱۹	۰/۴	۰	۰/۶	۹۸/۸۰
اسلاتری	۰/۳۶	۰	۰/۶۳	۹۹/۳۹	۰/۴۳	۰/۱۳	۰/۴۴	۹۸/۱۹	۰/۴	۰	۰/۶	۹۸/۸۰
لندور	۰/۵۶	۰/۲	۰/۲۴	۹۸/۳۵	۱	۰	۰	۹۸/۱۳	۱	۰	۰	۹۷/۸۹
لندور اصلاح‌شده	۰/۵۵	۰/۲۱	۰/۲۴	۹۸/۵۱	۰/۷۳	۰	۰/۳	۹۸/۱۳	۱	۰	۰	۹۷/۸۹
هیوز	۰	۰/۰۲	۰/۹۸	۹۹/۵۱	۰/۰۳	۰/۴۸	۰/۴۹	۹۸/۴۶	۰	۰/۰۵	۰/۹۵	۹۹/۰۱
CLR	۰/۱	۰/۲	۰/۷	۹۹/۳۴	۰/۰۷	۰/۲۳	۰/۷	۹۸/۳۱	۰/۰۵	۰/۱	۰/۸۵	۹۸/۹۱
دریکله	۰/۱۷	۰/۲۳	۰/۶	۹۹/۲۹	۰/۳۵	۰/۲۳	۰/۴۲	۹۸/۲۸	۰/۴۴	۰/۱۲	۰/۴۴	۹۸/۶۴
نمونه	S4				S5				S6			
مدل	X1	X2	X3	GOF	X1	X2	X3	GOF	X1	X2	X3	GOF
کولینز	۰/۰۳۵	۰/۱۷۳	۰/۸	۹۹/۷	۰	۰/۱۴	۰/۸۶	۹۸/۴۵	۰	۰/۳۷	۰/۶۳	۹۶/۴۶
موتا	۰/۳	۰/۰۳	۰/۶۷	۹۹/۶	۰/۴۸	۰	۰/۵۲	۹۸/۱۸	۱	۰	۰	۹۵/۶۵
اسلاتری	۰/۳	۰/۰۲	۰/۶۸	۹۹/۶	۰/۴۸	۰	۰/۵۲	۹۸/۱۸	۱	۰	۰	۹۵/۶۵
لندور	۰/۶۲	۰/۳۸	۰	۹۹/۱	۱	۰	۰	۹۷/۳۸	۱	۰	۰	۹۵/۶۵
لندور اصلاح‌شده	۰/۴۸	۰/۲۳	۰/۲۹	۹۹/۱	۱	۰	۰	۹۷/۵۲	۱	۰	۰	۹۵/۶۵
هیوز	۰/۰۴	۰/۱۸	۰/۷۸	۹۹/۶۷	۰	۰/۱۷	۰/۸۳	۹۸/۴۵	۰	۰/۴۱	۰/۵۹	۹۶/۴۶
CLR	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۷۵	۹۹/۶۷	۰/۰۶	۰/۳	۰/۶۴	۹۸/۲۹	۰/۱	۰/۶۲	۰/۳۳	۹۶/۲۷
دریکله	۰/۲۳	۰/۱۷۲	۰/۶	۹۹/۶۴	۰/۴۳	۰/۲۷	۰/۳۰	۹۸/۰۲	۰/۳۰	۰/۵۷	۰/۱۳	۹۶/۱۵
نمونه	S7				S8				S9			
مدل	X1	X2	X3	GOF	X1	X2	X3	GOF	X1	X2	X3	GOF
کولینز	۰	۰	۱	۹۹/۱	۰/۰۸۴	۰/۸۰۳	۰/۱۱۲	۹۵/۹۱	۰/۲۵	۰/۷	۰/۰۵	۹۸/۴۳
موتا	۰/۲	۰	۰/۸	۹۸/۹	۱	۰	۰	۹۵/۳	۰/۸۲	۰/۱۸	۰	۹۸/۲۳
اسلاتری	۰/۲	۰	۰/۸	۹۸/۹	۱	۰	۰	۹۵/۳	۰/۸۱	۰/۱۹	۰	۹۸/۲۳
لندور	۱	۰	۰	۹۷/۶	۱	۰	۰	۹۵/۳	۰/۸۱	۰/۱۹	۰	۹۸/۲۳
لندور اصلاح‌شده	۱	۰	۰	۹۷/۶	۱	۰	۰	۹۵/۳	۰/۸۱	۰/۱۹	۰	۹۸/۲۳
هیوز	۰	۰	۱	۹۹/۰۷	۰/۱۲	۰/۸۴	۰/۰۴	۹۵/۹۰	۰/۲۸	۰/۷۲	۰	۹۸/۴۵
CLR	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۸۱	۹۸/۸۴	۰/۰۷	۰/۷۴	۰/۱۰	۹۵/۸۸	۰/۰۸۶	۰/۳۸	۰/۴۹	۹۸/۲۸
دریکله	۰/۴۴	۰/۱۳	۰/۴۳	۹۸/۴	۰/۲۳	۰/۶۸	۰/۰۷	۹۵/۸۹	۰/۴۱	۰/۳۶۶	۰/۲۲	۹۸/۳۶

جدول ۵- ضریب همبستگی بین مدل‌های مختلف ترکیبی.

مدل	زیرحوضه شمالی	زیرحوضه میانی	زیرحوضه جنوبی
اسلاتری و کولینز	۰/۵۵۸	۰/۷۵۲	۰/۸۷۱
اسلاتری و لندور	۰/۳۶۶	۰/۴۳۶	۰/۴۸۳
کولینز و لندور	-۰/۰۳۷	-۰/۱۴۶	۰/۲۷۳
CLR و دریکله	۰/۰۵۳	۰/۷۵۲	۰/۶۹۷
دریکله و اسلاتری	-۰/۱۶۵	۰/۱۳۲	۰/۸۴۴
دریکله و کولینز	۰/۰۸۱	۰/۶۸۹	۰/۶۵۳
دریکله و لندور	۰/۵۷۹	-۰/۱۰۶	۰/۷۲۶

نیست، و برخی ردیاب‌های مشاهده‌ی در خارج از دامنه‌ی مقدار متوسط ردیاب‌های منبع‌ها است، و در نمودارها نیز خارج از چندضلعی‌های منبع‌ها است. در حالت نمونه‌های رسوب واقعی، نوع تابع هدف تعریف‌شده برای بهینه‌سازی سهم منبع‌ها، عامل موثر بر عمل کرد مدل‌ها است. گرچه ساختار روش‌های هیوز و کولینز و موتا و اسلتری متفاوت است، به دلیل این که در نهایت تابع هدف آنان مشابه است، عمل کرد آن‌ها نیز مشابه بود.

در حالی که روش‌های مختلف برای نمونه‌های رسوب مصنوعی نتایج کاملاً مشابهی دادند، نتیجه‌ی مدل‌های مختلف برای داده‌های رسوب واقعی متفاوت بود. دلیل این مسأله در نمودارهای شکل ۴ دیده می‌شود (طرح‌های پراکنش برای برخی از ردیاب‌ها آورده شد). در نمونه‌های رسوب مصنوعی مقدار تمام ردیاب‌ها در دامنه‌ی مقدار متوسط ردیاب‌های منبع‌ها است، و مقدار ردیاب‌ها در آن‌ها درون چندضلعی‌های ردیاب‌های منبع‌ها است، در حالی که برای ردیاب‌های مشاهده‌ی این مسأله صادق



شکل ۴- قطعه‌های زوجی ردیاب‌های بهینه.

با تبدیل CLR بیش‌ترین سهم به منابع دو و سه داده شد، در حالی که در روش لندور و لندور اصلاح‌شده بیش‌ترین سهم به منبع یک داده شده بود.

بنابراین، اگرچه ردیاب‌های مشابهی برای تمام مدل‌های ترکیبی انتخاب شد، اما بسته به نوع مدل ترکیبی به کاررفته تفاوت زیادی در نتیجه‌ها بود. این مسأله نشان‌دهنده‌ی اهمیت نوع مدل ترکیبی به کاررفته در جواب‌های نهایی به دست آمده از این روش است. مدل‌های ترکیبی مبتنی بر بهینه‌سازی نمی‌تواند دامنه‌ی عدم قطعیت بدهد، و برای برآورد کردن دامنه‌ی عدم قطعیت نیاز به داده‌های شبیه‌سازی شده‌ی مونت کارلو است، در حالی که روش‌های بیزی می‌تواند دامنه‌ی عدم قطعیت را برآورد کند. به علاوه، این پژوهش نشان داد که دقت برآورد روش بیزی با تبدیل CLR مشابه با روش‌های کولینز و هیوز است. به دلیل این که توزیع پیشین برای این مدل توزیع پهنجار است و برای نشان دادن اختلاف بین مقدارهای اندازه‌گیری شده با برآورد شده‌ی ردیاب‌ها در شبیه‌سازی مونت کارلو از زنجیره مارکف استفاده می‌شود، نتایج این مدل با مدل‌های بیزی با تابع توزیع دریکله، هیوز و کولینز شبیه بود.

نتایج این تحقیق نشان داد که اضافه کردن متغیرهای جدید

بحث و نتیجه گیری

کارآیی مدل‌های ترکیبی با ساختارهای متفاوت در روش انگشت‌نگاری رسوب‌های آبی ته‌نشین شده در مخزن سد لاور فین در استان هرمزگان بررسی شد. با در نظر گرفتن سه زیرحوضه‌ی منبع تولید رسوب، از منبع‌ها و رسوب‌ها نمونه‌برداری، و مقدار ردیاب‌های آن‌ها گرفته شد. در مجموع ۵۶ ویژگی اندازه‌گیری شد، که از این تعداد ۱۷ ردیاب با آزمون دامنه رد شد، و از ۳۹ ردیاب باقی مانده چهار ردیاب La ، Mn ، Th و Nd با آزمون تحلیل تشخیص چندمتغیره، ترکیب بهینه دانسته شد. نتیجه‌ی مدل‌های ترکیبی نشان داد که اگر مقدار ردیاب‌های نمونه‌های رسوب در محدوده‌ی مقدار متوسط ردیاب‌ها در منابع باشد، تمام روش‌ها سهم‌های یکسان و برابر با سهم واقعی مشاهده‌ی را به دست می‌دهد، اما اگر مقدار ردیاب‌ها خارج از چندضلعی‌های منبع‌ها باشد، بسته به شکل تابع بهینه‌سازی، عمل کرد مدل‌های مختلف متفاوت است، به طوری که مدلی که تابع هدف آن‌ها شکل یکسانی داشت عمل کرد مشابه داشتند. برای نمونه‌های رسوب مشاهده‌ی، بیش‌ترین تفاوت بین نتایج روش‌های کولینز، هیوز و بیزی با تبدیل CLR با روش‌های لندور و لندور اصلاح شده بود، به طوری که در روش‌های کولینز، هیوز و بیزی

سنجه‌ها با داده‌های مشاهده‌ی درون مدل برآورد می‌شود، در حالی که در پژوهش پیش‌گفته برخی از سنجه‌ها به صورت اعداد ثابت به مدل معرفی شد. دلیل عمل‌کرد نه‌چندان خوب روش لندور و لندور اصلاح‌شده را می‌توان به کاربردن پراش ردیاب‌ها در مدل ترکیبی دانست. حدادچی و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که پراش ردیاب‌ها از بزرگی اندازه‌ی ردیاب‌ها اثر می‌گیرند؛ برای نمونه تغییر غلظت ردیاب a (با غلظت کم‌تر)، بیش‌تر از ردیاب b (با غلظت بیش‌تر) است، اما به‌دلیل بیش‌تر بودن غلظت ردیاب b ، واریانس آن بزرگ‌تر، و در نتیجه تأثیر آن بر خروجی مدل کم‌تر است. در پژوهش‌وال و همکاران (۲۰۱۶) از آن‌جاکه در روش کولینز داده‌های شبیه‌سازی‌شده‌ی مونت‌کارلو به‌کاربرده شد، تفاوت‌هایی در نتیجه‌ی روش‌های هیوز و کولینز بود. به‌طور کلی، نتیجه‌ی مدل‌های مختلف به تابع هدف کمینه‌شده و سنجه‌های اصلاحی اضافه‌شده به ساختار مدل‌ها وابسته است، و مدل‌هایی مانند کولینز اصلاح‌شده به‌دلیل به‌کاربردن ضریب‌های اصلاحی W ، Z ، O و SV در ساختار مدل، منجر به عدم قطعیت کم‌تری در سهم تخمین‌زده‌شده‌ی مدل می‌شود.

مانند پراش ردیاب‌ها به ساختار مدل‌ها لزوماً منجر به بهبود عمل‌کرد مدل ترکیبی نشد، و در برخی موارد بدتر هم شد، موضوعی که در تحقیقات حدادچی و همکاران (۲۰۱۴)، اسمیت و بلیک (۲۰۱۴)، پالازون و همکاران (۲۰۱۵) به آن اشاره شده است. دو روش کولینز و هیوز با روش بیزی با تبدیل CLR مشابه هم عمل کردند. در تحقیق حدادچی و همکاران (۲۰۱۴) دو روش کولینز و هیوز مشابه عمل نکرده بودند، و دلیل آن به‌کاربردن ضریب‌های اصلاحی در مدل کولینز بود. حدادچی و همکاران (۲۰۱۳) در مقایسه‌ی روی‌کردهای مختلف مدل ترکیبی مشاهده کردند که مدل‌هایی که شکل تابع هدف‌شان یکسان است نتایج مشابه می‌دهند. در این پژوهش، در حالتی که برای روش بیزی تابع توزیع پیشین دریکله به‌کاربرده شد، نسبت به حالتی که تبدیل CLR برای سهم به‌کاررفت تفاوت بین سهم‌های به‌دست‌آمده زیاد بود. در حالی که در تحقیق کوپر و همکاران (۲۰۱۵) این دو تابع عمل‌کرد مشابهی داشت. دلیل این مسأله را می‌توان در ساختار مدل بیزی به‌کاررفته در دو پژوهش دید. در این پژوهش مدل بیزی به‌کاررفته کاملاً بیزی است، به‌طوری‌که تمام اندازه‌های

- Brosinsky A, Foerster S, Segl K, Kaufmann H. 2014. Spectral fingerprinting: sediment source discrimination and contribution modelling of artificial mixtures based on VNIR-SWIR spectral properties. *J. Soil Sediments* 14: 1949–1964.
- Collins AL, Pulley S, Foster IDL, Gellis A, Porto P, Horowitz AJ. 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. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.075>
- Collins AL, Walling DE, Leeks GJL. 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.
- Collins AL, Walling DE. 2004. Documenting catchment suspended sediment sources: problems, approaches and prospects. *Prog. Phys. Geogr.* 28: 159–196.
- Collins AL, Walling DE. 2007. The storage and provenance of fine sediment on the channel bed of two contrasting lowland permeable catchments, UK. *River Res. Appl.* 23: 429–450.
- Collins AL, Walling DE, Sickingabula HM, Leeks GJL. 2001. Using ¹³⁷Cs measurements to quantify soil erosion and redistribution rates for areas under different land use in the Upper Kaleya River basin, southern Zambia. *Geoderma*. 104: 299–323.
- Collins AL, Zhang Y, Walling DE, Grenfell SE, Smith P, Grischeff J, Brogden D. 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.
- Collins AL, Zhang YS, Duethmann D, Walling DE, Black KS. 2013. Using a novel tracing-tracking framework to source fine-grained sediment loss to watercourses at sub-catchment scale. *Hydrological Processes*. 27 (6): 959–974. doi:10.1002/hyp.9652.
- Cooper RJ, Krueger T, Hiscock KM, Rawlins BG. 2015. High-temporal resolution fluvial sediment source fingerprinting with uncertainty: A Bayesian approach. *Earth Surface Processes and Landforms*. 40(1): 78–92. doi:10.1002/esp.3621.
- Dahmardeh Behrooz R, Gholami H, Telfer MW, Jansen JD, Fathabadi A. 2019. Using GLUE to pull apart the provenance of atmospheric dust. *Aeolian Research*. 37: 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2018.12.001>.
- Davies J, Olley J, Hawker D, McBroom J. 2018. Application of the Bayesian approach to sediment fingerprinting and source attribution. *Hydrological Processes*. 32(26): 3978–3995.
- Devereux OH, Prestegard KL, Needelman BA, Gellis AC. 2010. Suspended-sediment sources in an urban watershed, Northeast Branch Anacostia River, Maryland. *Hydrological Processes*. 24: 1391–1403. doi. 10.1002/hyp.7604.
- Franks SW, Rowan JS. 2000. Multi-parameter fingerprinting of sediment sources: Uncertainty estimation and tracer selection. *Comput. Methods Water Resour.* 13:1067–1074.
- Gellis AC, Hupp CR, Pavich MJ, Landwehr JM, Banks WSL, Hubbard BE, Langland MJ, Ritchie JC, Reuter JM. 2009. Sources, transport, and storage of sediment in the Chesapeake Bay Watershed. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report. 2008–5186. pp. 95: 10.3133/sir20085186

- Gholami, H., Jafari TakhtiNajad, E., Collins, A.L. and Fathabadi, A. 2019. Monte Carlo fingerprinting of the terrestrial sources of different particle size fractions of coastal sediment deposits using geochemical tracers: some lessons for the user community. *Environ Sci Pollut Res.* <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05443-0>
- Gholami H, Telfer MW, Blake WH, Fathabadi A. 2017. Aeolian sediment fingerprinting using a Bayesian mixing model. *Earth Surf. Process. Landforms.* 42: 2365–2376. doi: 10.1002/esp.4189.
- Habibi S, Gholami H, Fathabadi A, Jansen J. 2019. Fingerprinting sources of reservoir sediment via two modelling approaches. *Science of the Total Environment*, 663- 78-96. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.327>.
- Haddachi A, Olley J, Pietsch T. 2015. Quantifying sources of suspended sediment in three size fractions. *J. Soils Sediments.* 15: 2086–2100.
- Haddadchi A, Olley J, Laceby P. 2014. Accuracy of mixing models in predicting sediment source contributions. *Sci. Total Environ*, Nov. 1: 497–498:139–52.
- Haddadchi A, Ryder D, Evrard O, Olley J. 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.
- Hughes AO, Olley JM, Croke JC, McKergow LA. 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.
- Jafari TakhtiNajad, E, Gholami H, Collins AL. and Fathabadi, A. 2019. Identifying and quantifying the terrestrial sediment source contributions to coastal dunes for targeting wind erosion mitigation in Jagin Watershed, Hormozgan province, Iran. *Watershed Management Research*, vol 32, no.1, Ser.No:122, Springer, 3-18. Doi:10.22092/wmej.2019.123109.1142.
- Klages MG, Hsieh YP. 1975. Suspended solids carried by the Gallatin River of southwestern Montana: II. Using mineralogy for inferring sources. *J Environ Qual.* 4:68–73.
- Koiter AJ, Owens PN, Petticrew EL, Lobb DA. 2013. The behavioural characteristics of sediment properties and their implications for sediment fingerprinting as an approach for identifying sediment sources in river basins. *Earth-Science Reviews.* 125: 24–42.
- Lacey JP, Olley J, Pietsch TJ, Sheldon F, Bunn SE. 2015. Identifying subsoil sediment sources with carbon and nitrogen stable isotope ratios. *Hydrol. Process.* 29(8): 1956–1971. doi: 10.1002/hyp.10311.
- Lees JA. 1997. Mineral magnetic properties of mixtures of environmental and synthetic materials: linear additivity and interaction effects. *Geophys. J. Int.* 131: 335–346.
- Miller J, Macklin G, Orbock Miller SM. 2015. Application of geochemical tracers to fluvial sediment. Springer Publishing.
- Motha JA, Wallbrink PJ, Hairsine PB, Grayson RB. 2003. Determining the sources of suspended sediment in a forested catchment in southeastern Australia. *Water Resources.* 39 (3): 1056. doi:10.1029/2001wr000794.
- Mukundan R, Walling DE, Gellis AC, Slattery MC, Radcliffe DE. 2012. Sediment source fingerprinting: transforming from a research tool to a management tool. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 48: 1241–1257.
- Owens PN, Blake WH, Gaspar L, Gateuille D, Koiter AJ, Lobb DA, Petticrew EL, Reiffarth DG, Smith HG, Woodward JC. 2017. Fingerprinting and tracing the sources of soils and sediments: earth and ocean science, geoarchaeological, forensic, and human health applications. *Earth Sci. Rev.* 162:1–23. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.012>.

- Palazón L, Gaspar L, Latorre B, Blake WH, Navas A. 2015. Identifying sediment sources by applying 1655 a fingerprinting mixing model in a Pyrenean drainage catchment. *J. Soils Sediments*. 15: 2067–2085.
- Peart MR, Walling DE. 1986. Fingerprinting sediment source: the example of a drainage basin in Devon, UK. In: *Drainage Basin Sediment Delivery*. IAHS Publ. 159, IAHS Press, Wallingford, UK. pp 41–55.
- Porto P, Walling DE, Cogliandro V, Gallegari G. 2016. Validating a mass balance accounting approach to using ⁷Be measurements to estimate event-based erosion rates over an extended period at the catchment scale. *Water Resource Research*. 52(7): 5285–5300.
- Slattery M, Walden J, Burt TP. 2000. Fingerprinting suspended sediment sources using mineral magnetic measurements- A quantitative approach. *Tracers in geomorphology*, John Wiley and Sons: pp. 309–322.
- Smith HG, Blake WH. 2014. Sediment fingerprinting in agricultural catchments: A critical re-examination of source discrimination and data corrections. *Geomorphology*. 204: 177–191.
- Vale SS, Fuller IC, Procter JN, Basher LR, Smith I E. 2016. Characterization and quantification of suspended sediment sources to the Manawatu River, New Zealand. *Science of the Total Environment*. 543: 171–186.
- Wall GJ, Wilding LP. 1975. Minerology and related parameters of fluvial suspended sediments in Northwestern Ohio. *J Environ Qual*. 5:168–173.
- Walling DE. 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.
- Walling DE, Woodward JC, Nicholas AP. 1993. A multi-parameter approach to fingerprinting suspended-sedimentsources. In: *Tracers in hydrology*. IAHS Publ. 215, IAHS Press, Wallingford, UK. pp 313–318.
- Wood PA. 1978. Fine-sediment mineralogy of source rocks and suspended sediment, rother catchment, West Sussex. *Earth Surf Process*. 3: 255–263.



Watershed Management Research

VOL. 32, No. 2, Ser. No: 123, Summer 2019, pp:79-94
DOI: 10.22092/wmej.2019.124151.1170

Assessment of the Applicability of the Mixing Models Used in the Sediment Fingerprinting of Different Sources Deposited in the Lavar Fin Reservoir, the Province of Hormozgan

Samaneh Habibi

Ph.D. student in Watershed Management, Department of Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar-Abbas, Hormozgan, Iran

Hamid Gholami*

(Corresponding Author)* 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

*Corresponding Email: hgholami@hormozgan.ac.ir

Received: 14 November 2018 Accepted: 12 March 2019

Abstract

Identification of the erosion-pron parts of a watershed is of at most importance if the soil conservation activities are to be implemented on it to mitigate sedimentation into the flood-receiving reservoir. Sediment fingerprinting is one of the most common methods used for quantifying source contributions of the suspended load. As the mixing models with different structures of sediment fingerprinting method are implemented, their advantages and disadvantages should be identified. The applicability of eight mixing models, namely: Collins, Hughes, Motha, Slattery, Landwher, Modified Landwher, and Bayesian with the CLR transformation and the Dirichlet distribution were investigated in order to quantify source contributions of sediment deposited in the Lavar Reservoir, the Province of Hormozgan. Twenty-three soil samples were collected from the contributing watersheds, 9 sediments samples were extracted from the reservoir, and concentration of 56 elements were measured in each of the samples. The optimum composite fingerprints were identified by statistical methods and the mixing models were executed. Based on the results, four geochemical properties, namely Mn, La, Nd and Th were selected as optimum fingerprints. The results obtained by all of the mixing models were similar when the values of tracer concentrations in the sediment samples fall inside of those ranges in the source samples. When the values of tracers in the sediment samples fall outside of those values in the source samples, the mixing models with the same objective functions presented similar results. The results of Collins, model were similar to those of Hughes, and the results of Bayesian models were similar to those of Hughes the with the CLR transformation; the results calculated by the Motha were similar to those presented by Slattery, and results of Landwher were similar to the modified Landwher. Generally, applicability of the various mixing models in fingerprinting are different, as their outputs are dependent on the target functions, which are minimized in optimization.

Keywords: Discriminant function analysis, mixing model, optimum composite fingerprints, sediment sourcing