



دوره ۳۳، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۲۲، بهار ۱۳۹۸، صفحات ۱۸-۳
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2019.123109.1142

پژوهش‌های آبخیزداری

شناسایی و کمی‌سازی سهم منابع رسوب‌های ساحلی برای مهار کردن فرسایش بادی در آبخیز جگین، استان هرمزگان

ابراهیم جعفری تختی‌نژاد

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، هرمزگان، ایران
حمید غلامی*

(نویسنده‌ی مسئول)* استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، هرمزگان، ایران
آدریان کولینز

استاد گروه علوم کشاورزی پایدار، مرکز تحقیقات ژئامستد، انگلستان

ابوالحسن فتح‌آبادی

استادیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه گنبد، گنبد کاووس، گلستان، ایران

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

تاریخ دریافت: ۳۰ مرداد ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: ۲۱ اسفند ۱۳۹۷

چکیده

هدف از این پژوهش، شناسایی و کمی‌سازی سهم منابع تپه‌های ماسه‌یی ساحلی در خروجی آبخیز جگین، شرق جاسک، در استان هرمزگان با استفاده از روش انگشت‌نگاری رسوب است. بیست نمونه‌ی رسوب از رسوب‌های ساحلی و ۶۲ نمونه از منابع بالقوه‌ی رسوب‌های ساحلی در بالادست برداشت شد و ۴۹ عنصر ژئوشیمیایی به‌عنوان ردیاب در نمونه‌های منبع و رسوب با ICP-OES اندازه‌گیری شد. سپس، یک فرآیند آماری سه مرحله‌یی شامل آزمون دامنه، کروسکال-والیس و تحلیل تشخیص گام‌به‌گام برای انتخاب کردن ردیاب‌های بهینه در تفکیک منابع رسوب به‌کار گرفته شد. هفت عنصر Cu, Th, Be, Al, La, Mg و Fe ردیاب بهینه شناخته شد. میانگین سهم محاسبه‌شده با مدل ترکیبی برای چهار منبع شامل رسوب‌های دوره‌ی کوآترنر، دور الیگوسن-میوسن، میوسن و پالئوسن به‌ترتیب ۵، ۵، ۱۰ و ۸۰٪ محاسبه شد. بنابراین، برای مهار کردن فرسایش بادی در بیابان‌های ساحلی به‌ویژه منطقه‌ی مکران، توجه به آبخیزهای مشرف بالادست ساحل ضروری است و باید محل‌های مولد رسوب را در این مناطق شناسایی و تثبیت کرد. به‌طور کلی در این پژوهش، رسوب‌های پالئوسن (شامل ماسه‌سنگ چندآمیزه‌یی، سیلت‌سنگ، گل‌سنگ و مقدار کمی جوش‌سنگ) منبع غالب برای ۱۶ نمونه‌ی رسوب شناسایی شد. بنابراین فعالیت‌های مدیریتی برای مهار کردن فرسایش آبی در بالادست و کاهش اثرهای فرسایش بادی در پایین‌دست باید در این منبع متمرکز شود.

واژگان کلیدی: آبخیز جگین، انگشت‌نگاری، ردیاب بهینه، ماسه‌های ساحلی، منابع رسوب

مقدمه

تپه‌های ساحلی، واحدهای مهم طبیعی در سیستم‌های ساحلی است و طیف وسیعی از مزایا را برای بشر فراهم می‌کند (اورارد و همکاران ۲۰۱۰). از آنجا که همچون موانع طبیعی امن در مقابل سیلاب‌های دریایی عمل می‌کنند، محیط‌های طبیعی ارزشمندی اند و می‌توان برای تولید آب شیرین و استفاده‌های تفریحی از آن‌ها استفاده کرد. باوجود مزایای ذکر شده، حرکت و جابجایی تپه‌های ماسه‌یی ساحلی مشکلات اقتصادی، اجتماعی، بهداشتی و غیره برای ساکنان مناطق ساحلی ایجاد می‌کند، بنابراین شناسایی منشأ رسوب‌های تپه‌های ساحلی برای کاهش اثرهای منفی آن‌ها ضروری است. گرچه پژوهش‌های متعددی مانند روزینک و همکاران (۲۰۱۷)؛ کارانزا-ادوارد و همکاران (۲۰۱۷)؛ پترسون و همکاران (۲۰۱۷)؛ و کاسترو و همکاران (۲۰۱۷) بر تپه‌های ساحلی متمرکز شده‌اند، ولی متأسفانه پژوهش‌های محدودی بر شناسایی منشأ آن‌ها گزارش شده است.

منشأیابی نقاط برداشت یا تپه‌های ماسه‌یی از اصول اولیه‌ی مهار و مبارزه کردن با فرسایش بادی است زیرا با شناسایی مناطق می‌توان به جای پرداختن به معلول‌ها، علت‌ها را شناسایی نمود و فعالیت‌های اجرایی مبارزه با فرسایش را در مناطق برداشت متمرکز کرد. در بسیاری موارد دیده شده است که به رغم تلاش گسترده‌ی دستگاه‌های اجرایی در تثبیت ماسه‌های روان، مشکل طوفان‌های ماسه‌یی و فرسایش بادی همچنان باقی و تپه‌های جدیدی در حال شکل گرفتن است. دلیل این می‌تواند شناسایی نکردن مناطق برداشت و شیوه‌های نادرست مهار کردن آن باشد. تجربه‌های به دست آمده نشان می‌دهد که بهترین مرحله‌ی مبارزه با فرسایش بادی از میان سه مرحله‌ی برداشت، حمل و رسوب‌گذاری، مرحله‌ی برداشت است، و تنها در مواقع ضروری و فوری می‌توان عملیات مهار را به دو منطقه‌ی دیگر معطوف داشت (اختصاصی ۱۹۹۵).

تلفیق مدل‌های ترکیبی کمی در ارتباط با ردیاب‌های ترکیبی^۱ در اواخر دهه‌ی ۱۹۸۰ و اوایل دهه‌ی ۱۹۹۰ وارد پژوهش‌های شناسایی منبع شد و امکان به‌دست آوردن تخمین‌های کمی از سهم نسبی منابع مختلف را فراهم کرد (والینگ ۲۰۰۵). انگشت‌نگاری رسوب یا منشأیابی مرکب عبارت از بررسی چندین منبع بالقوه‌ی رسوب با چندین گروه متفاوت از

خصوصیات، برای افزایش تشخیص بین منابع و اجتناب از منبع رسوب غیرواقعی است، و شامل طیف وسیعی از خصوصیات مختلف شناختی است (کالینز و همکاران ۲۰۱۰). طیف وسیعی از خصوصیات ردیاب بررسی شده و در رویکرد انگشت‌نگاری به کار رفته اند (کالینز و والینگ ۲۰۰۴؛ والینگ ۲۰۱۳). محققانی مانند مارتینز کارارز و همکاران (۲۰۱۰) و بارتود و همکاران (۲۰۱۵) از خصوصیات فیزیکی شامل رنگ، و افرادی مانند ولتج و پرینز (۲۰۰۷) از اندازه‌ی ذره در مطالعه منشأ رسوب‌ها استفاده نمودند. یکی دیگر از خصوصیات که در منشأیابی رسوب استفاده می‌شود خصوصیات شیمیایی شامل کانی‌شناسی رس، ژئوشیمی، رادیونوکلیدهای ریزشی^۲، رادیونوکلیدهای کیهانی^۳، ایزوتوپ‌های پایدار و نسبت‌های ایزوتوپی است که افرادی مانند کالینز و والینگ (۲۰۰۲)؛ پرگ و همکاران (۲۰۰۳)؛ ابرل (۲۰۰۴) و ویلکینسون و همکاران (۲۰۱۳) آن را در انگشت‌نگاری رسوب به کار برده اند. خصوصیت سوم در منشأیابی رسوب خصوصیات زیستی شامل آنزیم‌های خاک و گرده است که نصرتی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کرده اند. به طور کلی، آگاهی از سهم نسبی منابع مختلف تولیدکننده‌ی رسوب در آبخیز، قسمت مهمی از فهم پویایی رسوب است و برای توسعه‌ی برنامه‌های مدیریت رسوب به کار می‌رود (کوئیر و همکاران ۲۰۱۸). بدین دلیل، روش انگشت‌نگاری روشی کارآ و مفید است که محققان به‌طور فزاینده‌ای آن را به کار می‌گیرند (والینگ ۲۰۰۵). با استفاده از این روش، اهمیت نسبی منابع رسوب (نسبت درصد سهم هر منبع به درصد مساحت هر منبع) تعیین، و عملیات مدیریتی مهار کردن رسوب شامل خشکه‌چین‌ها، سدهای سنگی ملاتی، و عملیات زیستی در منابع مهم مستقر خواهد شد.

پژوهش‌های متعددی برای شناسایی و کمی‌سازی سهم منابع رسوب‌های آبی و بادی روش انگشت‌نگاری را به کار بردند. لیو و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از انگشت‌نگاری ترکیبی، منشأ رسوب‌های بادی را کمی کردند و استفاده از این روش را برای بررسی رسوب‌های بادی در مناطق دیگر توصیه نمودند. غلامی و همکاران (۲۰۱۷) برای شناسایی منابع رسوب‌های بادی و کمی‌سازی عدم قطعیت مرتبط با سهم آن‌ها در دشت یزد-اردکان، مدلی ترکیبی-بیزی با استفاده از زنجیره‌ی مارکف مونت کارلو (MCMC) معرفی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل مذکور کاربرد موفقیت‌آمیزی در

- 1-Composite fingerprints
- 2-Fallout Radionuclides
- 3-Cosmogenic Radionuclides
- 4-Markov Chain Monte Carlo

به کار برده نشده است. بنابراین، هدف از این تحقیق شناسایی و کمی‌سازی سهم منابع تپه‌های ماسه‌یی ساحلی در خط ساحلی میان دریای عمان و آبخیز جگین، شرق جاسک، استان هرمزگان با استفاده از روش انگشت‌نگاری است. سد جگین در آبخیز جگین است و یکی از منابع تامین کننده آب شرب و کشاورزی در استان هرمزگان است، بنابراین شناسایی منابع تولیدکننده رسوب در این آبخیز از دو نظر مهم است، زیرا رسوب‌ها به مخزن سد وارد و منجر به کاهش ظرفیت مفید و عمر سد خواهد شد، و از طرفی رودخانه‌های پایین‌دست سد بخشی زیادی از رسوب ریزدانه شامل مواد مغذی خاک را از حوزه خارج و به دریا وارد می‌کند، و آن‌ها را از دست‌رس خارج می‌کند. در نتیجه اکوسیستم خشکی با تخلیه‌ی مواد مغذی و کاهش حاصل‌خیزی مواجه خواهد شد. کاربرد روش انگشت‌نگاری در طیف وسیعی از آبخیزها (مانند حوزه‌های شهری، کشاورزی و کوهستانی) برای شناسایی منابع رسوب‌های ریزدانه به کار رفته است، ولی تاکنون گزارشی مبنی بر استفاده از این روش در حوزه‌های ساحلی و به‌ویژه شناسایی منشأ ماسه‌های ساحلی گزارش نشده است، که در این تحقیق برای اولین بار به آن پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی پژوهش

آبخیز جگین با مساحت ۷۳۴۰ کیلومتر مربع در شرق شهرستان جاسک، استان هرمزگان در مختصات جغرافیایی $25^{\circ} 32'$ تا $26^{\circ} 56'$ و $57^{\circ} 32'$ تا $58^{\circ} 24'$ است. در این آبخیز که از نظر زمین‌شناسی در ناحیه‌ی مکران است (شایان و همکاران ۲۰۱۴)، سد جگین وجود دارد که بر رودخانه‌ی اصلی ساخته شده است (شکل ۱، B) بر اساس نقشه‌ی زمین‌شناسی (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، سال نامعلوم)، این منطقه از رسوب‌های دوره‌ی کواترنری و دوران سنوزویک شامل دوره‌های پالئوسن، میوسن و الیگوسن میوسن تشکیل شده است (شکل ۱، A). سازندهای دور پالئوسن از ماسه‌سنگ چندآمیزه‌یی، سیلت‌سنگ، گل‌سنگ و مقدار کم جوش‌سنگ (کنگومرا) تشکیل شده است. مساحت زیادی از سازندهای دوره‌ی کواترنری با دشت رسی پوشیده شده و بخش خیلی کمی از آن از نهشته‌های پادگانه‌یی دره‌یی و مخروط‌افکنه‌های پست و مرتفع تشکیل شده است. دور الیگوسن میوسن از شیل، گل‌سنگ‌های گچی، شیل لای

منشأیی رسوب‌های بادی دارد. محققان دیگری مانند غلامی و همکاران (۲۰۱۵ و ۲۰۱۵b)؛ غلامی و همکاران (۲۰۱۷) و (۲۰۱۸) و دولت‌کردستانی و همکاران (۲۰۱۸ و ۲۰۱۸b) برای کمی‌سازی منشأ رسوب‌های بادی روش انگشت‌نگاری رسوب را به کار بردند. استفاده از روش انگشت‌نگاری در بررسی منشأ رسوب‌های آبی رایج‌تر از رسوب بادی است و پژوهش‌های متعددی استفاده از این روش گزارش نموده‌اند. ژانگ و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از روش انگشت‌نگاری، منابع رسوب بعد از بارش شدید، در آبخیز کوچکی در فلات لسی چین را تعیین کردند و زمین‌های بایر را منبع اصلی تامین‌کننده‌ی رسوب شناختند. پولی و کالینز (۲۰۱۸) نرم‌افزار منبع باز^۵ جدیدی به نام SIFT^۶ برای ردیابی منابع رسوب ریز در آبخیزها معرفی کردند. این نرم‌افزار ساختارهای چندگانه‌ی گروه‌بندی منابع رسوب و ردیاب‌های بهینه را شناسایی می‌کند و با کاربرد روش‌های چندگانه‌ی تحلیل حساسیت می‌آزماید. تایچر و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از روش انگشت‌نگاری، منابع رسوب را در آبخیز کشاورزی بزرگی در جنوب برزیل تعیین و زمین‌های کشاورزی^۷ را منبع اصلی تامین‌کننده‌ی رسوب معرفی کردند. نصرتی و همکاران (۲۰۱۸) سهم منابع مکانی زیرحوزه‌ها را در تولید رسوب با استفاده از مدل MixSIR اصلاح شده تخمین زدند. پژوهش‌های متعدد دیگری مانند استون و همکاران (۲۰۱۴)، اسمیت و بلیک (۲۰۱۴)، و چن و همکاران (۲۰۱۶) برای شناسایی منبع رسوب‌ها از روش انگشت‌نگاری استفاده کردند. به‌رغم شناسایی سریع و آسان نقطه‌های رسوب‌گذاری یا تپه‌های ماسه‌یی به دلیل نمود ظاهری، شناخت نقطه‌های منشأ (منطقه‌ی برداشت) و تعیین حساسیت آن‌ها نیازمند پیچیدگی و ظرافت است، زیرا در اصل، غالب محیط‌های بیابانی به دلیل تراکم اندک پوشش گیاهی از فرسایش بادی تاثیر می‌گیرند. بنابراین، معرفی بخش وسیعی از آن‌ها بی‌تعیین درجه‌ی حساسیت و اولویت آن‌ها، عملیات اجرایی مهار کردن فرسایش در عرصه‌ی وسیع را با مشکلات و محدودیت‌های مالی و اجرایی مواجه می‌سازد، بنابراین در شناسایی زمین‌های منشأ باید به‌دقت مناطقی را معرفی کرد که حساسیت آن‌ها زیاد باشد و از نظر اولویت تثبیت بالاتر باشد (اختصاصی ۱۹۹۵). به‌طور کلی پژوهش‌های متعددی از روش انگشت‌نگاری رسوب برای شناسایی منشأ رسوب‌ها استفاده کرده‌اند ولی این روش تاکنون در آبخیزهای ساحلی

5- Open source

نرم افزاری است که می‌توان در کد منبع آن تغییر ایجاد کرد

6- Sediment Fingerprinting Tool

7- Cropland

شیل و گل‌سنگ به‌نام سازندهای دارفان و جگین تشکیل شده است.

(سیلت) با ماسه‌سنگ اندک و آهک تشکیل شده است که به‌سازند سبزه و قصر قند شناخته می‌شود. رسوب‌های دور میوسن عمدتاً از ماسه‌سنگ، سیلت سنگ، جوش سنگ،



شکل ۱- منطقه‌ی بررسی: (A) نقشه‌ی زمین‌شناسی، نقاط نمونه‌برداری منابع و رسوب؛ (B) نقشه‌ی شبکه‌ی هیدروگرافی و موقعیت سد جگین؛ و (C) نقاط نمونه‌برداری از منطقه‌ی رسوب.

ته‌نشین شده در بستر ساحل دریا در نظر گرفته شد. نمونه‌برداری در زمستان ۱۳۹۶ انجام و ۶۲ نمونه‌ی سطحی (۳-۰ سانتیمتر) از مناطق منبع (سازندهای زمین‌شناسی) و ۲۰ نمونه از مناطق رسوب با وزن تقریبی ۱ کیلوگرم برداشته شد. نمونه‌های منبع به‌صورت تصادفی از سازندهای مختلف زمین‌شناسی برداشته و سعی شد پراکنش نمونه-برداری مناسب باشد، به‌طوری که نمونه‌های برداشته شده شاخص مناسبی از کل مساحت منبع رسوب باشد. تعداد نمونه‌ها بسته به مساحت منبع رسوب در هر یک سازندهای

روش تحقیق

نمونه‌برداری، آماده‌سازی نمونه‌ها و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی

پس از تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی آبخیز جگین (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، سال نامعلوم) منابع تولیدکننده‌ی رسوب سازندهای زمین‌شناسی (شامل رسوب‌های دور پلئوسن، دوره‌ی کواترنری، دور الیگوسن - میوسن و رسوب‌های عهد میوسن) و مناطق رسوب تپه‌های ساحلی حدواسط دریا و آبخیز جگین و رسوب‌های

کم‌ترین و بیش‌ترین مقادیر همان ردیاب‌ها در نمونه‌ی رسوب قرار گیرند تایید خواهند شد. طبق این آزمون اگر مقدار غلظت ردیاب‌های اندازه‌گیری شده در نمونه‌های رسوب در محدوده‌ی غلظت همان ردیاب در نمونه‌های منبع باشد ردیاب محافظه‌کار دانسته می‌شود، و اگر مقدار ردیاب در نمونه‌ی رسوب در خارج از محدوده‌ی مقادیر همان ردیاب در نمونه‌های منبع باشد داده‌ی پرت دانسته می‌شود و به کار برده نمی‌شود.

تفکیک منابع رسوب

پس از بررسی داده‌های پرت، فرآیند آماری دو مرحله‌ی شامل آزمون کروسکال‌والیس و تحلیل تشخیص (DFA^{۱۲}) گام‌به‌گام پیشنهاد شده‌ی کالینز و همکاران (۱۹۹۷) برای تفکیک منابع رسوب‌های به‌کار گرفته‌شده در مرحله‌ی اول، از آزمون کروسکال‌والیس برای بررسی توانایی اولیه‌ی ردیاب‌ها در تفکیک منابع استفاده شد. ردیاب‌هایی اختلاف معنی‌دار در تراز ۹۵٪ بین منابع مختلف نشان داد، بدین معنی که توانایی تفکیک منابع رسوب را دارد. در مرحله‌ی دوم، از آزمون تحلیل تشخیص برای انتخاب ردیاب‌های بهینه^{۱۳} در تفکیک منابع به‌کار گرفته‌شده. ویلکس لامبدا^{۱۴} آماره‌ی است که مقادیر آن در تحلیل تشخیص محاسبه می‌شود و در جدول خروجی این آزمون گزارش می‌شود، و مبنای اصلی تشخیص و تفکیک منابع رسوب است. ردیاب‌هایی که در گام‌های مختلف وارد مدل می‌شود و معنی‌داری در تراز ۹۵٪ را نشان می‌دهند ردیاب‌های بهینه دانسته می‌شوند.

کمی‌سازی سهم منابع رسوب

مدل‌های ترکیبی متعددی مانند موتا، اسلاتری، لندور، لندور اصلاح شده، کالینز، کالینز اصلاح شده و هوگس برای کمی‌سازی سهم منابع رسوب در روش انگشت‌نگاری رسوب به‌کار گرفته می‌شوند. پژوهش‌های زیادی به‌دلیل کارایی زیاد در کمی‌سازی سهم منابع رسوب از مدل ترکیبی کالینز (کالینز و همکاران ۱۹۹۷) استفاده کردند. در این تحقیق نیز همین مدل ترکیبی^{۱۵} به‌کار گرفته‌شد (معادله‌ی ۱).

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

بالادست تغییر می‌کند، به‌عبارتی، تعداد نمونه‌های برداشته از منابع با مساحت بزرگ‌تر بیشتر از منابع با مساحت کم‌تر است. نمونه‌ها، به‌ویژه نمونه‌های منطقه‌ی جزر و مدی پس از نمونه‌برداری در هوای آزاد خشک کرده و سپس از الک‌های ۵۰۰ میکرون و ۶۳ میکرون عبور داده شد، و بخش ذره‌ی ۶۳ تا ۵۰۰ میکرون آزمایش شد. ذره‌های ۶۳ تا ۵۰۰ میکرون بخش غالب نمونه‌های رسوب شامل است، و به‌همین دلیل این بخش هدف آزمایش بود (دیو^{۱۶} و همکاران، ۲۰۱۸). برای حذف برخی ترکیبات زائد مانند کربنات‌ها، نمونه‌ها در محلول Aqua regia هضم اسیدی شدند (کالینز و همکاران، ۲۰۱۰؛ غلامی و همکاران، ۲۰۱۷) و سپس غلظت ۴۹ عنصر ژئوشیمیایی شامل آلومینیوم (Al)، باریوم (Ba)، برلیوم (Be)، کلسیم (Ca)، سربوم (Ce)، کبالت (Co)، کروم (Cr)، سزیوم (Cs)، مس (Cu)، دیتریوم (Dy)، اربیوم (Er)، یورپیم (Eu)، آهن (Fe)، گالیوم (Ga)، گادلیوم (Gd)، هافنیوم (Hf)، هولمیوم (Ho)، ایندیوم (In)، لانتانیوم (La)، پتاسیم (K)، لیتیوم (Li)، لوتیوم (Lu)، منیزیم (Mg)، منگنز (Mn)، مولیبدن (Mo)، سدیم (Na)، نئوبیم (Nb)، نئودیمیوم (Nd)، نیکل (Ni)، فسفر (P)، سرب (Pb)، پرمیوم (Pr)، روبیدیوم (Rb)، اسکاندیوم (Sc)، ساماریوم (Sm)، قلع (Sn)، استرانسیوم (Sr)، تریوم (Tb)، تلوریوم (Te)، توریوم (Th)، تیتانیوم (Ti)، تولیوم (Tm)، اورانیوم (U)، وانادیوم (V)، تنگستن (W)، یتریوم (Y)، یتربیوم (Yb)، روی (Zn) و زیرکن (Zr) با دستگاه طیف‌سنج نوری پلاسمای جفت القایی (ICP-OES^۱) در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه هرمزگان اندازه‌گیری شد.

آزمون‌های آماری برای تفکیک منابع رسوب‌های تپه‌های ساحلی

شناسایی ردیاب‌های محافظه‌کار^{۱۰}

آزمون دامنه^{۱۱} پیشنهاد شده‌ی کالینز و همکاران (۲۰۱۰) برای شناسایی ردیاب‌هایی با مقادیر غلظت خارج از محدوده به‌کار گرفته شد. اگر مقادیر ردیاب‌های اندازه‌گیری شده در نمونه‌های منبع رسوب از کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار همان ردیاب در نمونه‌های رسوب کم‌تر و بیش‌تر باشد از نظر آزمون دامنه رد خواهد شد، و مقدار ردیاب‌هایی که در محدوده‌ی

9- Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer

10- Conservative tracers

11- Range test

12- Discriminant function analysis

13- Optimum fingerprints

14- Wilks lambda

15-Mixing model

16- Solver

در مدل‌های ترکیبی برای حل برخی از معادله‌ها از برنامه نویسی خطی استفاده می‌شود که با حل کردن آن‌ها سهم هر یک از منابع مختلف رسوب به‌دست می‌آید. معادله‌ی بالا برای هر یک از ردیاب‌های بهینه، تکرار می‌شود؛ بنابراین به تعداد ردیاب‌ها معادله وجود خواهد داشت، و مدل ترکیبی با تعدادی معادله مشخص خواهد شد. با حل این معادله‌ها می‌توان سهم هر یک از منابع مختلف رسوب را به‌دست آورد. نمودار جریان‌ی تحقیق در شکل ۲ نشان داده شده است.

Cis غلظت ردیاب i ام در نمونه رسوب s ام؛ Ps سهم فرضی منبع s ام؛ و S_j, s غلظت ردیاب j ام در منبع s ام، m تعداد منابع رسوب؛ و n تعداد ردیاب‌های بهینه است. برای حل معادله‌ی ۱ دو شرط باید رعایت شود: الف) سهم هر منبع باید بین صفر و یک باشد، و ب) مجموع سهم همه‌ی منابع ۱ باشد. برای بهینه‌کردن سهم‌های منابع رسوب افزونه‌ی سولور^{۱۶} در SPSS20 به‌کار رفت و مقادیر فرضی سهم‌ها به مقادیر واقعی و بهینه تبدیل شد.



شکل ۲- نمودار جریان‌ی پژوهش حاضر.

شد. تایچر و همکاران (۲۰۱۸) نیز عناصر $Ca, K, Mg, Na, Sr, Ti, Al, Li, Pb$ و کربن آلی کل را ردیاب غیرمحافظة‌کار معرفی کردند و از سایر مراحل آماری کنار گذاشتند. دو ردیاب Ti و Ca به‌طور مشترک در این تحقیق و پژوهش تایچر و همکاران (۲۰۱۸) ردیاب پرت شناسایی شد که بدان معنی است که این ردیاب‌ها توان تفکیک منابع را در مناطق بررسی‌شده ندارند.

نتایج
تفکیک منابع رسوب از طریق آزمون‌های آماری نتایج آزمون دامنه برای شناسایی مقادیر خارج از محدوده (داده‌های پرت) در جدول ۱ نشان داده شده است. طبق جدول ۱ غلظت ردیاب‌های $Ca, Co, Cs, In, Mn, Mo, Nd, P, Te$ و Ti غیرمحافظة‌کار^{۱۷} شناسایی شد و در سایر آزمون‌های آماری مانند کرومکال‌والیس و تحلیل تشخیص کنار گذاشته

جدول ۱- نتایج آزمون دامنه برای شناسایی ردیاب‌های محافظه‌کار.

Cr	Co	Ce	Ca	Be	Ba	Al	ردیاب	
۴۰	۷/۵	۲۲	۴/۶	۰/۲۹	۱۳۶	۳/۳	حداقل	منبع
۱۵۹	۳۰	۳۹	۱۲	۱/۳	۶۳۹	۷/۳	حداکثر	
۴۶	۷/۲	۲۶	۷	۰/۵۲	۱۶۵	۴	حداقل	رسوب
۷۱	۱۶	۳۲	۱۴	۰/۸۸	۳۸۵	۵/۳	حداکثر	
Ga	Fe	Eu	Er	Dy	Cu	Cs	ردیاب	
۷/۴	۱/۸	۰/۶	۱/۳	۲/۳	۰/۰۰۱	۴/۷	حداقل	منبع
۱۶/۳	۵	۱	۲/۸	۴/۳	۰/۰۰۵	۱۹	حداکثر	
۷/۵	۲	۰/۷۵	۱/۴	۳	۰/۰۰۱	۲/۳	حداقل	رسوب
۱۱	۳	۰/۸۵	۱/۷	۳/۷	۰/۰۰۲	۸	حداکثر	
Li	K	La	In	Ho	Hf	Gd	ردیاب	
۹/۵	۰/۶۳	۱۶/۵	۰/۳	۰/۶۷	۰	۱/۷	حداقل	منبع
۴۵	۲/۴	۲۷	۰/۷۴	۰/۹۵	۰/۳	۳/۹	حداکثر	
۱۱/۴	۱	۱۸	۰/۴۲	۰/۶۹	۰/۰۴	۱/۸	حداقل	رسوب
۳۱	۱/۵	۲۲	۰/۷۹	۰/۸۲	۰/۱	۲/۷	حداکثر	
Nd	Nb	Na	Mo	Mn	Mg	Lu	ردیاب	
۳۱	۲/۷	۱	۲/۶	۵۱۳	۰/۹	۰/۱	حداقل	منبع
۶۱	۱۲	۷/۵	۱۸/۴	۱۰۱۲	۳/۱	۰/۲۹	حداکثر	
۳۷	۳/۹	۱/۷	۲/۱	۶۹۶	۱	۰/۱۱	حداقل	رسوب
۶۳	۷	۲/۲	۵/۲	۱۱۹۴	۱/۹	۰/۱۸	حداکثر	
Sm	Sc	Rb	Pr	Pb	P	Ni	ردیاب	
۲/۲	۵/۹	۲۶/۷	۰/۸	۴/۶	۰/۰۱	۳۲	حداقل	منبع
۴/۵	۱۷	۱۰۲/۵	۷/۳	۷۳/۳	۰/۰۸	۱۶۱	حداکثر	
۲/۳	۷	۲۹/۷	۲/۹	۵/۶	۰/۰۳	۴۰	حداقل	رسوب
۳/۳	۱۰	۵۵	۵/۹	۱۳	۰/۰۹	۷۱	حداکثر	
Tm	Ti	Th	Te	Tb	Sr	Sn	ردیاب	
۰/۰۸	۰/۲	۳/۶	۰/۰۹	۰/۱	۱۴۹	۱/۱	حداقل	منبع
۰/۳	۰/۳۹	۱۴	۰/۷۲	۰/۵۹	۶۱۱	۱۹/۷	حداکثر	
۰/۱	۰/۲	۴/۵	۰/۰۸	۰/۲۱	۲۱۳	۳/۷	حداقل	رسوب
۰/۱۷	۰/۲۹	۷	۰/۱۵	۰/۴۷	۴۳۵	۹/۳	حداکثر	
Zr	Zn	Yb	Y	W	V	U	ردیاب	
۲۷	۲۵	۱/۱	۱۱/۷	۰/۶	۴۶	۲/۴	حداقل	منبع
۶۲/۴	۷۹	۱/۸	۱۷/۴	۹	۱۳۳	۴/۳	حداکثر	
۲۸	۲۷	۱/۲	۱۲/۶	۱	۴۸	۲/۶	حداقل	رسوب
۴۳	۵۲	۱/۴	۱۴/۵	۴/۶	۷۶	۳/۳	حداکثر	

را ندارد (یعنی معنی‌داری در تراز ۰.۵٪ نشان نمی‌دهد) و ۳۲ ردیاب Al, Be, Cr, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, La, K, Li, Lu, Mg, Na, Nb, Ni, Pb, Pr, Rb, Sc, Sm, Sn, Tb, Th, Tm, U, V, Y, Zn این توانایی را دارند و در تراز ۰.۵٪ معنی‌داری نشان می‌دهند.

پس از شناسایی ردیاب‌های غیرمحافظه‌کار، روش آماری دو مرحله‌ی شامل آزمون کروسکال‌والیس و DFA گام‌به‌گام برای شناسایی ترکیبی بهینه از ردیاب‌ها به کار گرفته شد. جدول ۲ نتایج آزمون کروسکال‌والیس را نشان می‌دهد، که از بین ۳۹ ردیاب عبوری از آزمون دامنه، فقط ردیاب‌های Sr, W, Ba, Ce, Hf, Ho, Yb توانایی تفکیک منابع

جدول ۲ - نتایج آزمون کروسکال والیس برای بررسی توانایی اولیه ی ردیاب ها در تفکیک منابع رسوب.

آزمون کروسکال والیس			آزمون کروسکال والیس		
معناداری	مربع کای	ردیاب	معناداری	مربع کای	ردیاب
۰/۰۰۰**	۱۹/۹۸	Nb	۰/۰۰۲**	۱۴/۷۲	Al
۰/۰۰۰**	۱۹/۵۶	Ni	۰/۳۴۳ ^{ns}	۳/۳۴	Ba
۰/۰۰۳**	۱۴/۰۸	Pb	۰/۰۰۰**	۱۸/۴۸	Be
۰/۰۰۰**	۲۸/۰۱	Pr	۰/۱۷۹ ^{ns}	۴/۹	Ce
۰/۰۳۲*	۸/۸۱	Rb	۰/۰۰۱**	۱۷/۴۴	Cr
۰/۰۰۰**	۲۰/۱۹	Sc	۰/۰۰۰**	۲۴/۲۳	Cu
۰/۰۰۴**	۱۳/۱۴	Sm	۰/۰۰۱**	۱۷/۴۷	Dy
۰/۰۰۵**	۱۳/۰۶	Sn	۰/۰۰۲**	۱۴/۶۸	Er
۰/۰۹۲ ^{ns}	۶/۴۵	Sr	۰/۰۱۶*	۱۰/۳۱	Eu
۰/۰۰۹**	۱۱/۵۶	Tb	۰/۰۰۰**	۲۳/۷	Fe
۰/۰۰۰**	۱۹/۹۳	Th	۰/۰۰۰**	۱۸/۵	Ga
۰/۰۰۰**	۱۷/۷۴	Tm	۰/۰۰۰**	۲۳/۵۴	Gd
۰/۰۰۰**	۲۲/۲۸	U	۰/۶۵۴ ^{ns}	۱/۶۲	Hf
۰/۰۰۰**	۲۴/۳۳	V	۰/۴۵۸ ^{ns}	۲/۵۹	Ho
۰/۰۵۳ ^{ns}	۷/۶۹	W	۰/۰۰۰**	۲۱/۴۱	La
۰/۰۳۲*	۸/۸	Y	۰/۰۰۵**	۱۲/۸۵	K
۰/۱۱۸ ^{ns}	۵/۸۶	Yb	۰/۰۰۱**	۱۷/۲۲	Li
۰/۰۰۰**	۲۰/۰۲	Zn	۰/۰۰۰**	۲۲/۲۳	Lu
۰/۰۰۵**	۱۲/۸۱	Zr	۰/۰۰۱**	۱۵/۸۵	Mg
			۰/۰۰۰**	۲۰/۸۲	Na

ns نشان دهنده ی معنی دار نبودن؛ * معنی داری در تراز ۹۵٪؛ ** معنی داری در تراز ۹۹٪.

آماری که ردیاب های بهینه را برای تفکیک گروه های منبع انتخاب می کند) مبنای اصلی تشخیص و تفکیک منابع در آزمون DFA گرفته شد، و ردیاب های بهینه بر مبنای کمینه سازی ویلکس لامبدا انتخاب شد (کالینز و همکاران، ۱۹۹۷). طبق نتایج، مقدار ویلکس لامبدا از ۰/۴۳۱ تا ۰/۰۶۳ متغیر بود.

پس از بررسی توانایی ردیاب ها برای تفکیک منابع با آزمون کروسکال والیس، ردیاب های گذشته از این آزمون در مرحله ی دوم آماری یعنی آزمون DFA گام به گام به کار گرفته شد. طبق نتایج این آزمون (جدول ۳)، هفت ردیاب Cu، Th، Mg، La، Al، Be و Fe در هفت گام به عنوان ردیاب های بهینه انتخاب شد. در این آزمون، ویلکس لامبدا (پارامتر

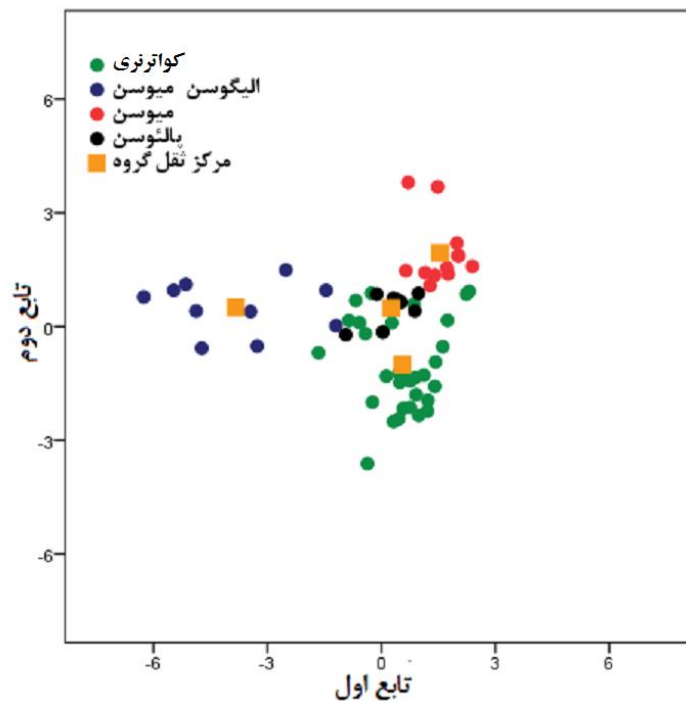
جدول ۳- نتایج حاصل از آزمون DFA گام به گام برای انتخاب ردیاب‌های بهینه برای تفکیک منابع رسوب.

گام	ردیاب وارد شده به مدل	آماره	sig	ویلیکس لامبدا
۱	Cu	۰/۴۳۱	۰/۰۰۰	
۲	Th	۰/۲۴۶	۰/۰۰۰	
۳	Be	۰/۱۵۸	۰/۰۰۰	
۴	Al	۰/۱۱۸	۰/۰۰۰	
۵	La	۰/۰۹۶	۰/۰۰۰	
۶	Mg	۰/۰۷۸	۰/۰۰۰	
۷	Fe	۰/۰۶۳	۰/۰۰۰	

بر طبق جدول ۴، سه تابع تشخیص در مرحله‌ی دوم آماری (آزمون DFA گام به گام) برای تفکیک منابع ساخته شد. توابع اول، دوم و سوم به ترتیب ۶۲/۱، ۲۷/۲ و ۱۰/۷٪ از واریانس را داشت، و همبستگی کانونی برای آن‌ها به ترتیب ۰/۸۷، ۰/۷۶ و ۰/۵۹ بود.

جدول ۴- خلاصه‌ی تابع‌های تشخیص کانونی به دست آمده از آزمون DFA گام به گام.

تابع	Eigenvalue	درصد واریانس	درصد تجمعی	همبستگی کانونی
۱	۳/۲۱	۶۲/۱	۶۲/۱	۰/۸۷
۲	۱/۴	۲۷/۲	۸۹/۳	۰/۷۶
۳	۰/۵۵	۱۰/۷	۱۰۰	۰/۵۹



شکل ۳- تفکیک منابع رسوب با استفاده از توابع اول و دوم در آزمون DFA گام به گام.

۱۰۰٪ از نمونه‌های برداشته شده از نهشته‌های دوره‌ی کواترنری و دوره‌های الیگوسن-میوسن، میوسن و پالتوسن به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند، به‌طوری‌که ۲۵٪ از نمونه‌های طبقه‌بندی‌شده در منبع کواترنری با نمونه‌های برداشته شده از منابع میوسن و پالتوسن هم‌پوشانی دارند، بدان معنی که تفکیک منابع در این قسمت به‌خوبی انجام نشده است.

شکل ۳ نمودار پراکندگی نمونه‌ها، ساخته شده از توابع اول و دوم در آزمون DFA گام‌به‌گام را نشان می‌دهد. دقت نمونه‌برداری در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که ۸۵/۵٪ نمونه‌ها از ۴ منبع رسوب‌های دوره‌ی کواترنری و دوران سنوزوئیک شامل رسوب‌های دوره‌های الیگوسن-میوسن، میوسن و پالتوسن به‌درستی طبقه‌بندی شده است. بر طبق جدول ۵ و شکل ۳، ۷۵، ۹۰، ۱۰۰ و

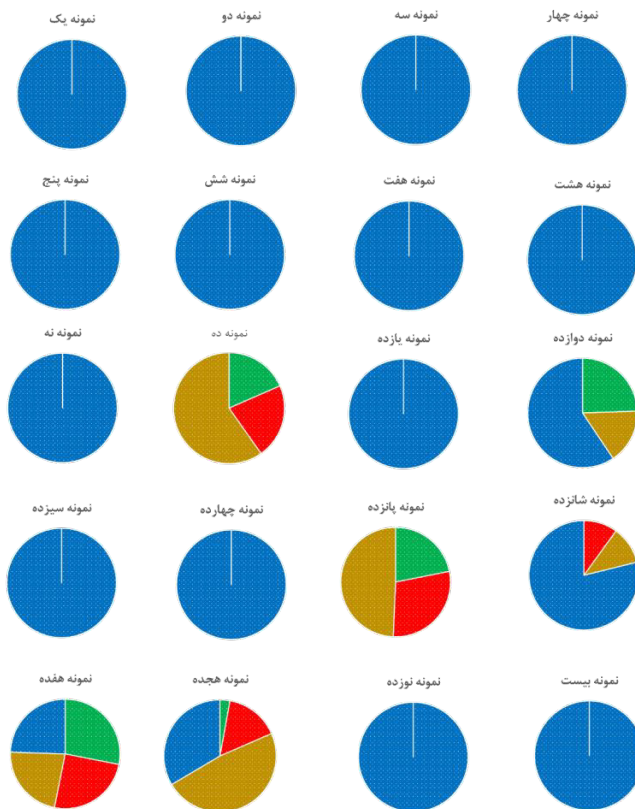
جدول ۵- پیش‌بینی عضویت نمونه‌ها در گروه‌های مختلف منابع رسوب و دقت نمونه‌برداری.

تعداد کل	پیش‌بینی عضویت در گروه‌ها				منبع	تعداد
	پالتوسن	میوسن	الیگوسن-میوسن	کواترنری		
۳۲	۴	۴	۰	۲۴	کواترنری	
۱۰	۱	۰	۹	۰	الیگوسن-میوسن	
۱۲	۰	۱۲	۰	۰	میوسن	
۸	۸	۰	۰	۰	پالتوسن	
۱۰۰	۱۲/۵	۱۲/۵	۰	۷۵	کواترنری	درصد
۱۰۰	۱۰	۰	۹۰	۰	الیگوسن-میوسن	
۱۰۰	۰	۱۰۰	۰	۰	میوسن	
۱۰۰	۱۰۰	۰	۰	۰	پالتوسن	

مواد برای نمونه‌های رسوب ۱۰، ۱۵ و ۱۸ از سازندهای مربوط به میوسن که شامل ماسه‌سنگ، جوش‌سنگ، سیلت‌سنگ، جوش‌سنگ، شیل و گل‌سنگ (سازندهای جگین و دارفان) تامین می‌شود، و منبع اصلی برای این سه نمونه است. مواد مربوط به دوره‌ی کواترنری که عمدتاً از دشت‌های رسی و مخروط‌افکنه‌های پست و مرتفع، و نهشته‌های دره‌یی و تراس‌ها است تنها منبع اصلی برای نمونه‌ی رسوب ۱۷ است.

سهم‌بندی منابع رسوب با استفاده از مدل ترکیبی نتایج سهم‌بندی منابع برای ۲۰ نمونه‌ی رسوب در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که رسوب‌های پالتوسن که شامل ماسه‌سنگ همراه با سیلت‌سنگ، جوش‌سنگ چندآمیزه‌بی^{۱۸} و گل‌سنگ^{۱۹} است ۱۰۰٪ مواد برای نمونه‌های رسوب ۱-۹، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۹ و ۲۰ تولید می‌کند، و برای نمونه‌های ۱۲، ۱۶ و ۱۸ منبع غالب است.

18- Polymictic
19- Mudstone



شکل ۴- سهم‌های محاسبه شده‌ی چهار منبع رسوب برای ۲۰ نمونه‌ی رسوب*.

*: رنگ‌های آبی، سبز، قرمز و قهوه‌یی به ترتیب نشان‌دهنده‌ی واحدهای پالئوسن، کواترنری، الیگوسن-میوسن و میوسن است.

بدان معنی که در سایر روش‌های آماری نمی‌توان از آن‌ها استفاده کرد. سپس از بین ۳۹ ردیاب گذر کرده از آزمون دامنه، ۳۲ ردیاب از آزمون کروسکال‌والیس گذر کردند و آزمون DFA گام‌به‌گام بر آن‌ها انجام شد، که در نهایت هفت ردیاب بهینه انتخاب شد و ۸۵/۵٪ نمونه‌ها از گروه‌های منبع به‌درستی طبقه‌بندی شد. از بین ردیاب‌های بهینه نیز La بهینه انتخاب شد که جزو عناصر نادر خاکی دانسته می‌شود. این یافته نشان‌دهنده‌ی قابلیت زیاد این عناصر در تفکیک منابع است. عناصر نادر خاکی و کمیاب ابزارهای مناسبی برای شناسایی منشأ دانسته می‌شوند، و در سال‌های اخیر به‌طور فزاینده‌یی برای ردیابی منشأ رسوب‌های سطحی به کار گرفته شده‌اند، زیرا در فرآیندهای هوازدگی، انتقال و رسوب

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای شناسایی و کمی‌سازی سهم منابع ماسه‌های ساحلی و رسوب‌های ته‌نشین شده در بستر ساحل در خروجی آبخیز جگین در شرق جاسک، استان هرمزگان، از روش انگشت‌نگاری استفاده گردید. برای تفکیک منابع رسوب، سه آزمون آماری شامل آزمون دامنه (برای بررسی خصوصیات محافظه‌کاری و غیرمحافظه‌کاری ردیاب‌ها)، کروسکال‌والیس (برای بررسی توانایی ردیاب‌ها در تفکیک منابع) و DFA گام‌به‌گام (برای انتخاب ردیاب‌های بهینه به عنوان متغیرهای ورودی به مدل ترکیبی) برای سهم‌بندی منابع رسوب به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که ردیاب‌های Ca, Co, Cs, In, Ti و Mn, Mo, Nd, P, Te غیرمحافظه‌کار^{۲۰} می‌باشند،

کم‌تر تغییر می‌کنند (راو و همکاران، ۲۰۱۱).
 به‌طور کلی رسوب‌های پالئوسن منبع اصلی تأمین‌کننده‌ی مواد برای ۱۶ نمونه‌ی رسوب، مواد میوسن برای سه نمونه‌ی رسوب و مواد کواترنری برای یک نمونه رسوب بود. میانگین سهم محاسبه‌شده با مدل ترکیبی برای چهار منبع شامل رسوب‌های کواترنری، الیگوسن-میوسن، میوسن و پالئوسن به ترتیب ۵، ۱۰ و ۸۰٪ محاسبه شد. در این بین، مواد الیگوسن-میوسن شامل شیل، ماسه‌سنگ‌های گچی، و شیل لای با گل‌سنگ کم و آهک در هیچ‌یک از نمونه‌های رسوب منبع غالب برای نمونه‌های رسوب شناخته نشد. علت آن گچ و آهک موجود بود که باعث سیمانی شدن سایر ذرات حساس به فرسایش می‌شود و آن‌ها را در مقابل عوامل فرساینده حفظ می‌کند. از طرفی مساحت زیادی از سازندهای مربوط به دوره‌ی کواترنری در منطقه از دشت رسی تشکیل شده است، که در محل خروجی حوزه و در قسمت جنوبی آن است.

از آن‌جا که اندازه‌ی غالب در نمونه‌های ماسه‌ی ساحلی در محدوده‌ی ۱۰۰ تا ۵۰۰ میکرون است و تفاوت اندازه‌ی ذره با نمونه‌های جمع‌آوری شده از سازندهای کواترنری باعث شد که این منبع نقش به‌سزایی در تولید رسوب برای نمونه‌های رسوب نداشته باشد. منبع اصلی در منطقه رسوب‌های پالئوسن شامل ماسه‌سنگ همراه با سیلت‌سنگ، جوش‌سنگ چندآمیزه‌ی و گل‌سنگ است. این منبع به‌دلیل ماهیت حساس آن‌ها به‌خاطر وجود ریزدانه اصلی‌ترین تغذیه‌کننده‌ی رسوب به رودخانه جگین است و بار رسوبی زیادی به خارج از حوزه منتقل می‌کند که در بستر کم‌عمق دریا و ساحل دریا ته‌نشین می‌شود. رسوب‌ها همراه با امواج دریا و فعالیت جزرومدی به سمت خشکی منتقل می‌شود و در نهایت تپه‌های ماسه‌ی را به‌وجود می‌آورند. دیو و همکاران (۲۰۱۸) از شواهد ژئوشیمیایی برای منشأیابی نهشته‌های بادی در حوزه‌ی کایدام^{۲۱}، فلات لسی استفاده کردند و نشان دادند که خصوصیات ژئوشیمیایی ذرات درشت‌دانه‌ی ماسه (۷۵ تا ۵۰۰ میکرون) از رسوب‌های آبرفتی، رسوب‌های مربوط به دوره‌های بارانی^{۲۲} و رودخانه‌ی گرفته می‌شوند، که عمدتاً از مناطق کوهستانی منشأ می‌گیرند. این یافته با نتایج این تحقیق که بیانگر تأمین رسوب از بالادست است هم‌خوانی دارد. راو و همکاران (۲۰۱۱) خصوصیات ژئوشیمیایی شامل عناصر نادر خاکی و عناصر کمیاب ماسه‌های ریزدانه و درشت‌دانه

را در بیابان اردوس^{۲۳} و رسوب‌های مناطق اطراف آن بررسی کردند و نشان دادند که بخش درشت‌دانه‌ی ماسه از هوازدگی ماسه‌سنگ‌ها در آن بیابان گرفته می‌شوند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. نتایج پیس و چاکریان (۲۰۰۲) نشان داد که ماسه‌های Wahiba در عمان از کوهستان‌های هاجر^{۲۴} منشأ می‌گیرند. هامدان و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که ماسه‌های Toshla از هوازدگی ماسه‌سنگ‌ها در مناطق اطراف منشأ می‌گیرند، که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. به‌طور کلی، نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که بار رسوب رودخانه‌های منتهی به مناطق ساحلی از سازندهای ماسه‌سنگی بالادست تأمین می‌شود و تپه‌های ماسه‌ی را در مناطق پایین‌دست به وجود می‌آورد.

به‌طور کلی، تشکیل تپه‌های ماسه‌های ساحلی در جنوب کشور و به‌ویژه در سواحل مکران، متأثر از فعالیت آبخیزهای بالادست است، و تشکیل آن‌ها در نوار ساحلی مستلزم تأمین مواد در بالادست است. از آن‌جا که استان هرمزگان، به‌ویژه در شهرستان جاسک کانون‌های بحران متعدد فرسایش بادی دارد، و حرکت ماسه‌ها هر ساله باعث خسارت‌های زیاد اقتصادی، اجتماعی و بهداشتی در منطقه می‌شود، جامعه نیازمند اتخاذ تصمیمی عاجل در این زمینه است. اولین مرحله برای مقابله با فرسایش بادی، شناسایی مناطق برداشت است (ابرل، ۲۰۰۴). بنابراین، برای مهار کردن فرسایش بادی در این منطقه و سایر مناطق مشابه به‌ویژه در نوار ساحلی مکران، نیازمند توجه به آبخیز مشرف بالادست و شناسایی مناطق مولد رسوب و تثبیت آن‌ها است. پس از تثبیت منشأ تپه‌های ساحلی در مناطق بالادست، می‌توان منشأ برداشت فرسایش بادی (تپه‌های ماسه‌ی) را تثبیت کرد.

بهترین روش تثبیت تپه‌های ماسه‌ی در این منطقه راه‌کار زیستی و استفاده از گونه‌ی سمر (*Prosopis juliflora*) به‌دلیل استقرار سریع در محیط است. گونه‌ی سمر از نظر گستره و دوام تاج پوشش ایجادشده، مطلوب‌ترین گونه برای استفاده در تثبیت ماسه‌های روان سواحل جاسک است (اکبریان و بی‌نیاز، ۲۰۱۱). با توجه به این‌که، تاکنون به‌کارگیری روش انگشت‌نگاری برای شناسایی مناطق منبع ماسه‌های ساحلی گزارش نشده است، و مطالعات در این زمینه اندک است، پیشنهاد می‌شود از این روش برای شناسایی منابع رسوب‌ها، جلوگیری از انتشار مواد مغذی و ریزدانه از آبخیزهای ساحلی به محیط‌های دریایی در نوار جنوبی کشور استفاده شود.

21- Qaidam
 22- Pluvial sediment
 23- Ordos
 24- Hajar

فهرست منابع

- Akbaryan M, Biniiaz M. 2011. Evaluation of plant species used in wind erosion control (case study: Jask city, Homozgan province). *Environmental Erosion Researches*. 2: 29–42.
- Barthod LRM, Liu K, Lobb DA, Owens PN, Martinez-Carreras N, Koiter AJ, Petticrew EL, McCullough GK, Liu C, Gaspar L. 2015. Selecting color-based tracers and classifying sediment sources in the assessment of sediment dynamics using sediment source fingerprinting. *Journal of Environmental Quality*. 44: 1605–1616.
- Cañro JWA, Malta JV, Miguel LLAJ, Cabral CL, Passemilio AB. 2017. Chronological reconstruction of eolianites and transversal mobile dunes of northwest coast of Ceará State – Brazil, in the last 3000 cal yrs BP. *Aeolian Research*. 28: 51–57.
- Carranza-Edwards A, Kasper-Zubillaga JJ, Martinez-Serrano RG, Cabrera-Ramirez M, Hoz LR, Mendieta MAA, Marquez-Garcia AZ, Cruz RLS. 2018. Provenance inferred through modern beach sands from the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Geological Journal*. 54(1):1–12.
- Chen F, Fang N, Shi Z. 2016. Using biomarkers as fingerprint properties to identify sediment sources in a small catchment. *Science of the Total Environment*, 557-558: 123–133.
- 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. 2002. Selecting fingerprint properties for discriminating potential suspended sediment sources in river basins. *Journal of Hydrology*. 261: 218–244.
- Collins AL, Walling DE. 2004. Documenting catchment suspended sediment sources: problems, approaches and prospects. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 28: 159–196.
- Collins AL, Walling DE, Stroud RW, Robson M, Peet LM. 2010. Assessing damaged road verges as a suspended sediment source in the Hampshire Avon Catchment, southern United Kingdom. *Hydrological Processes*. 24 (9): 1106–1122.
- Dolat Kurdestani M, Gholami H, Ahmadi J, Walling D, Fathabadi A. 2018a. 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. (In Persian).
- Dolat Kurdestani M, Gholami H, Ahmadi J, Walling D, Fathabadi, A. 2018b. 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. (In Persian).
- Du S, Wu Y, Tan L. 2018. Geochemical evidence for the provenance of aeolian deposits in the Qaidam Basin, Tibetan Plateau. *Aeolian Research*. 32: 60–70.
- Eberl DD. 2004. Quantitative mineralogy of the Yukon River system: changes with reach and season, and determining sediment provenance. *American Mineralogist*. 89: 1784–1794.
- Ekhtesasi MR. 1995. Provenancing of sand dunes in the Yazd-Ardekan. *Research Institute of Forests and Rangelands*. 308 p.
- Everard M, Jones L, Watts B. 2010. Have we

- neglected the societal importance of sand dunes? An ecosystem services perspective. *Aquat. Conserv: Marine Freshwater Ecosyst.* 20: 476–487.
- Geological Survey and Mineral Exploration of Iran. Unknown date. Geological Map of Iran.
- Gholami H, Feiznia S, Ahmadi J, Ahmadi H, Nazari Samani AA, Nohegar A. 2015a. The contribution of different Geomorphologic Facies in sand dunes sediments supply using sediments tracing (case study: Ashkzar sand dunes). *Desert Management.* 4: 31–42. (In Persian).
- Gholami H, Mehrdadi MR, Fathabadi A. 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. (In Persian).
- Gholami H, Middleton N, NazariSamani AA, Wasson R. 2017a. Determining contribution of sand dune potential sources using radionuclides, trace and major elements in central Iran. *Arabian Journal of Geoscience.* 10(163): 1–9.
- Gholami H, Taheri Moghadam E, Najafi Ghiri M, Mahdavi R. 2015b. 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. (In Persian).
- Gholami H, Telfer MW, Blake WH, Fathabadi A. 2017. Aeolian sediment fingerprinting using a Bayesian mixing model. *Earth Surf. Process. Landforms.* 42: 2365–2376.
- Hamadn MA, Refaat AA, Anwar EA, Shallaly NA. 2015. Source of the aeolian dune sand of Toshka area, southeastern Western Desert, Egypt. *Aeolian Research.* 17: 275–289.
- Koiter AJ, Owens PN, Peticrew EL, Lobb DA. 2018. Assessment of particle size and organic matter correction factors in sediment source fingerprinting investigations: An example of two contrasting watersheds in Canada. *Geoderma.* 325: 195–207.
- Liu BL, Niu QH, Qu JJ, Zu RP. 2016. Quantifying the provenance of aeolian sediments using multiple composite fingerprints. *Aeolian Research.* 22: 117–122.
- Martínez-Carreras N, Udelhoven T, Krein A, Gallart F, Iffly JF, Ziebel J, Walling DE. 2010. The use of sediment colour measured by diffuse reflectance spectrometry to determine sediment sources: Application to the Attert River Catchment (Luxembourg). *Journal of Hydrology.* 382 (1–4): 49–63.
- Nosrati K, Govers G, Ahmadi H, Sharifi F, Amoozegar MA, Merckx R, 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, Collins AL, Madankan M. 2018. Fingerprinting sub-basin spatial sediment sources using different multivariate statistical techniques and the Modified MixSIR model. *Catena.* 164: 32–43.
- Pease PP, Tchakerian VP. 2002. Composition and source of sand in the Wahiba sand sea, Sultanate of Oman. *Annals of the Association of American Geographers.* 92(3): 416–434.
- Perg LA, Anderson RS, Finkel RC. 2003. Use of cosmogenic radionuclides as a sediment tracer in the Santa Cruz littoral cell, California, United States. *Geology.* 31: 299–302.
- Peterson CD, Murillo-Jimenez JM, Stock E, Price DM, Hosteler SW, Percy D. 2017. Origins of late- Pleistocene coastal dune sheets, Magdalena and Guerrero Negro, from

- continental shelf low-stand supply (70–20 ka), under conditions of southeast littoral- and eolian-sand transport, in Baja California Sur, Mexico. *Aeolian Research*. 28: 13–28.
- Pulley S, Collins AL. 2018. Tracing catchment fine sediment sources using the new SIFT (Sediment Fingerprinting Tool) open source software. *Science of the Total Environment*. 635: 838–858.
- Rao W, Tan H, Jiang S, Chen J. 2011. Trace element and REE geochemistry of fine- and coarse-grained sands in the Ordos deserts and links with sediments in surrounding areas. *Chemie der Erde*. in press.
- Ruessink BG, Arens SM, Kuipers M, Donker JJA. 2017. Coastal dune dynamics in response to excavated foredune notches. *Aeolian Research*. in press.
- Shayan S, Akbarian M, Yamani M, Sharifikia M, Maghsoudi M. 2014. Analysis of sand dune masses morphogenetic in Makran coastal plain. *Environmental Erosion Researches*. 13: 62–78.
- Smith HG, Blake WH. 2014. Sediment fingerprinting in agricultural catchments: A critical re-examination of source discrimination and data corrections. *Geomorphology*. 204: 177–191.
- Stone M, Collins AL, Silins U, Emelko MB, Zhang YS. 2014. The use of composite fingerprints to quantify sediment sources in a wildfire impacted landscape, Alberta, Canada. *Science of the Total Environment*. 473–474: 642–650.
- Tiecher T, Minella JPG, Evrard O, Caner L, Merten GH, Capoane V, Didone EJ, Dos Santos DR. 2018. Fingerprinting sediment sources in a large agricultural catchment under no-tillage in Southern Brazil (Conceição River). *Land Degradation and Development*. 29(4): 939–951.
- Walling DE. 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. *Science of the Total Environment*. 344 (1–3): 159–184.
- Walling DE. 2013. The evolution of sediment source fingerprinting investigations in fluvial systems. *Journal of Soils and Sediments*. 13 (10): 1658–1675.
- Weltje GJ, Prins MA. 2007. Genetically meaningful decomposition of grain-size distributions. *Sediment Geology*. 202: 409–424.
- Wilkinson SN, Hancock GJ, Bartley R, Hawdon AA, Keen RJ. 2013. Using sediment tracing to assess processes and spatial patterns of erosion in grazed rangelands, Burdekin River Basin, Australia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 180: 90–102.
- Zhang J, Yang M, Zhang F, Zhang W, Zhao T, Li Y. 2017. Fingerprinting sediment sources after an extreme rainstorm event in a small catchment on the Loess Plateau, PR China. *Land Degradation and Development*. 28: 2527–2539.



Watershed Management Research

VOL. 32, No. 1, Ser.No: 122, Spring 2019, pp. 3- 18

DOI: 10.22092/wmej.2019.123109.1142

Identifying and Quantifying the Terrestrial Sediment Source Contributions to Coastal Dunes for Targeting Wind Erosion Mitigation in Jagin Watershed, Hormozgan Province, Iran

Ebrahim Jafari Takhtinajad

Ph.D., Student, Department of Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar-Abbas, Hormozgan, Iran

Hamid Gholami*

(Corresponding Author)* Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar-Abbas, Hormozgan, Iran

Adrian Collins

Full Professor, Department of Sustainable Agriculture Sciences, Rothamsted Research, North Wyke, Okehampton, Devon, EX20, 2SB, U.K.

Abolhassan Fathabadi

Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, University of Gonbad-e-Kavoos, Gonbad-e-Kavoos, Golestan, Iran

*Corresponding Email: hgholami@hormozgan.ac.ir

Received: 21 August 2018 Accepted: 12 March 2019

Abstract

A sediment fingerprinting method was applied to identify and quantify terrestrial sediment source contributions to coastal sand dunes at the outlet of the Jagin watershed, east of Jask, the Province of Hormozgan. Sampling comprised of 20 sediment samples from coastal sands and 62 samples from potential upstream terrestrial sources. Concentration of 49 geochemical elements in the sediment and source samples were measured using the ICP-OES technique. A three-stage statistical procedure was used to identify final composite fingerprints for source discrimination, and this comprised of a range test for tracer conservation, the Kruskal-Wallis H-test for confirming the discriminatory efficacy of the individual properties and the stepwise discriminant function analysis (DFA) for selecting a tracer shortlist (i.e., composite signature). The final composite fingerprint selected by the stepwise DFA comprised of Cu, Th, Be, Al, La, Mg and Fe. Using this signature, the overall average mean relative contributions from the Quaternary, Oligocene-Miocene, Miocene and Paleocene geological units were estimated at 5%, 5%, 10% and 80%, respectively. The Paleocene geological unit was identified as the dominant spatial source for 16 of the 20 sediment samples. Therefore, wind erosion control for the benefit of coastal deserts, and especially the Makran region, needs to target upstream watersheds with the Paleocene outcrops. Overall, Paleocene age deposits (including multi-ophiolite sandstone, siltstone, mudstone, and minor conglomerate) was recognized as the main source for 16 sediment samples. Therefore, for controlling water erosion in upstream and mitigating effects of wind erosion in downstream, management activities must focus on this source.

■ **Keywords:** Coastal sands, composite fingerprint, fingerprinting, Jagin Watershed, sediment sources ■