

کمی سازی عدم قطعیت سهم منابع رسوب تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از روش انگشت‌نگاری مونت کارلو (مطالعه موردی: تپه‌های ماسه‌ای جازموریان، جنوب استان کرمان)

مجتبی دولت کردستانی^۱، حمید غلامی^{۲*}، سید جواد احمدی^۳، دزموند ولینگ^۴، ابوالحسن
فتح آبادی^۵

- ۱- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان
- ۲- استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان
- ۳- استاد پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، تهران
- ۴- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اکستر، اکستر، انگلستان.
- ۵- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۳/۲۵

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۱۸

چکیده

امروزه استفاده از تکنیک انگشت‌نگاری رسوب در تعیین سهم منابع رسوبات در حال افزایش می‌باشد، بنابراین توجه به آنالیز عدم قطعیت در طی فرآیند مدل‌سازی ضروری می‌باشد. در این تحقیق به منظور بررسی عدم قطعیت سهم منابع رسوبات تپه‌های ماسه‌ای در منطقه جازموریان، استان کرمان از تکنیک انگشت‌نگاری مونت-کارلو مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور، پس از انتخاب ترکیب بهینه از ردیاب‌ها توسط یک فرآیند آماری دو مرحله‌ای شامل آزمون‌های کروسکال والیس و آنالیز تابع تشخیص، مدل ترکیبی Collins با ۱۰۰۰۰ بار تکرار در MATLAB اجرا گردید و محدوده‌ی عدم قطعیت مربوط به سهم منابع رسوبات تپه‌های ماسه‌ای در سطح اطمینان ۹۵ درصد (صدک‌های ۲/۵ و ۹۷/۵ درصد) محاسبه گردید. بر طبق نتایج، از بین ده ردیاب اندازه‌گیری شده، ۴ ردیاب شامل Cr، Ni، Li و Co به‌عنوان ترکیب بهینه انتخاب شدند و در نهایت به‌عنوان پارامتر ورودی به فرآیند مدل‌سازی در نظر گرفته شدند. عدم قطعیت کامل (۰-۱۰۰٪) در سهم منابع به‌ویژه در Qs و Qal و برای برخی نمونه‌های رسوب دیگر، منبع Qt محاسبه گردید و دو منبع اول در بیشتر نمونه‌های رسوب بیشترین عدم قطعیت نشان دادند و هم‌چنین به علت وزش بادهای چند جهته در منطقه، منابع تامین-کننده رسوب برای نمونه‌های مختلف تپه‌های ماسه‌ای نیز متغیر می‌باشد. با توجه به کارایی بالای این تکنیک، استفاد از این روش در مناطقی با تپه‌های ماسه‌ای فعال به منظور شناسایی منابع آنها، کمی کردن سهم منابع و بررسی عدم قطعیت آنها توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: انگشت‌نگاری، عدم قطعیت، مونت کارلو، سهم منابع، جازموریان.

مقدمه

تپه‌های ماسه‌ای دوره کواترنر مساحت زیادی از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، بخش زیادی (نه به طور کامل) در بیابان‌های تحت‌استوایی و هم-چنین مناطق باران‌پناهی در عرض‌های میانه را اشغال می‌کنند (ویلسون، ۱۹۷۳؛ وارن، ۲۰۱۳؛ لرنز و زیمبلمن، ۲۰۱۴). اگر چه مطالعات زیادی در ارتباط با ماسه‌های بادی دوره کواترنر وجود دارد که بیشتر آنها بر روی پیدایش اشکال تپه‌ها، ساختمان-های رسوبی، کروئولوژی نهشته‌های تپه‌ها به عنوان یک شاخص اقلیم‌های گذشته کواترنر تمرکز نموده‌اند (موس، ۲۰۱۷). جالب اینجاست که مطالعات کمتری به منظور شناخت منشأ رسوب بادی انجام شده است و بیشتر مطالعات فرض نموده‌اند که یک سنگ یا رسوب اطراف به‌عنوان منبع اولیه برای رسوب بادی عمل می‌کند. چندین مطالعه استثنایی در این خصوص شامل مطالعات منابع تپه‌های ماسه‌ای کواترنر در شمال غربی مکزیک و جنوب غربی آمریکا می‌باشد (موس و همکاران، ۲۰۰۳؛ سچیدت و همکاران، ۲۰۱۱)، در بیابان تار هند (است و همکاران، ۲۰۱۵)، در جنوب غربی دریای ماسه‌ای نامیب آفریقا (گارزانتی و همکاران، ۲۰۱۲) می‌باشند. غیرمعمول بودن مطالعات منشأ تپه‌ها در ژئومورفولوژی بادی مربوط به زمان‌بر بودن تکنیک‌های مورد نیاز و احتمال بروز خطا از سوی متصدی (در خصوص فلزات سنگین)، هزینه بر بودن (بعضی از تکنیک‌های ژئوشیمیایی)، یا نیاز به دستگاه‌های پیچیده (مانند بیشتر تکنیک-های ایزوتوپی) می‌باشد (موس، ۲۰۱۷). علی‌رغم وجود چالش‌هایی برای تعیین منشأ ماسه، شناسایی منشأ رسوب برای تپه‌های ماسه‌ای در مدیریت محیط و کنترل فرسایش بادی مهم و ضروری است. روش‌های مختلفی برای تعیین منشأ رسوبات در دهه‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته است که در

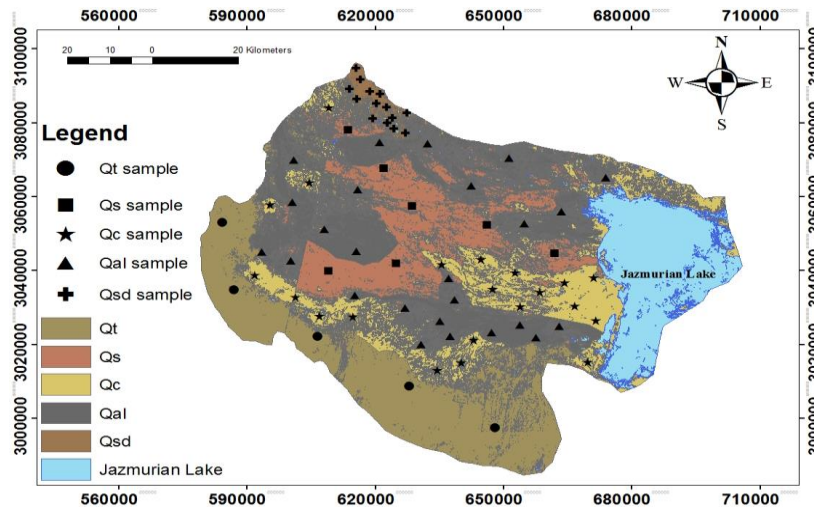
این بین روش انگشت‌نگاری رسوب همرا با مدل ترکیبی ریاضیاتی دارای قابلیت بالایی در تعیین منشأ رسوب و سهم هر یک از منابع به صورت کمی دارا می‌باشد که در طی این دو دهه مورد استقبال توسط محققان متعددی در سراسر دنیا قرار گرفته است. تلفیق مدل‌های ترکیبی کمی در ارتباط با ردیاب‌های مرکب در اواخر دهه ۱۹۸۰ و اوایل دهه ۱۹۹۰ به مطالعات ردیابی منبع ورود کرد و امکان به دست آوردن تخمین‌های کمی از سهم نسبی منابع مختلف را فراهم نمودند (والینگ، ۲۰۰۵). در این رابطه، روش انگشت‌نگاری رسوب برای اولین بار توسط کالینز و همکاران (۱۹۹۷) به منظور تعیین سهم منابع رسوب به صورت کمی در انگلستان معرفی گردید. انگشت‌نگاری رسوب یا منشأیابی مرکب عبارت است بررسی چندین منبع بالقوه رسوب از طریق چندین گروه متفاوت از خصوصیات است که برای افزایش تشخیص بین منابع و اجتناب از منبع رسوب غیر واقعی است و شامل طیف وسیعی از خصوصیات مختلف شناختی می‌باشد (کالینز و همکاران، ۲۰۱۰). خصوصیتی که در روش انگشت‌نگاری به‌طور موفقیت‌آمیزی برای تشخیص منابع بالقوه رسوب در یک آبخیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند عبارتند از کانی‌شناسی و رنگ (کلاگس و هسیه، ۱۹۷۵؛ گریم‌شاو و لوین، ۱۹۸۰)، خصوصیات مغناطیسی کانی (کیت‌چئون، ۱۹۹۳؛ والدن و همکاران، ۱۹۹۷)، رادیونوکلوئیدهای محیطی (والینگ و ودوارد، ۱۹۹۲)، ترکیب ژئوشیمیایی (فوستر و والینگ، ۱۹۹۴)، ایزوتوپ‌های پایدار (داگلاس و همکاران، ۱۹۹۵)، عناصر نادر خاکی (مورتون و همکاران، ۱۹۹۱)، مواد آلی (هاشلوت، ۱۹۹۸)، خصوصیات بیوژنیک (برون، ۱۹۸۵) و اندازه ذره (استون و ساندرسون، ۱۹۹۲). مطالعات متعددی در زمینه منشأیابی رسوبات آبی از روش انگشت‌نگاری

اصلی تحقیق حاضر شناسایی منابع رسوب و کمی نمودن عدم قطعیت مربوط به سهم منابع رسوب تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از یک مدل انگشت-نگاری مونت کارلو در منطقه جازموریان، جنوب استان کرمان می‌باشد.

محدوده مورد مطالعه

جازموریان فرورفتگی وسیعی در جنوب شرقی ایران، واقع در ارتفاع بین ۳۶۰-۵۰۰ متر از سطح دریا است. در حقیقت فروافتادگی جازموریان یک فرو افتادگی خشکی‌زایی مربوط به اواخر پلیوسن می‌باشد. جازموریان در مختصات جغرافیایی ۵۸ درجه ۵۰ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۹ دقیقه طول شرقی و ۲۷ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. که طول آن تقریباً ۲۸۰-۳۰۰ کیلومتر (از کهنوج تا ایرانشهر) و عرض آن ۸۰-۱۴۰ کیلومتر دارای شکل بیضوی است. رشته کوه‌های آتشفشانی در شمال شرق (جبال بارز)، جازموریان را از کویر لوت جدا می‌کند. میزان بارندگی سالانه در ارتفاعات شمال غربی بیش از ۲۰۰ میلی‌متر، در بخش شرقی آن بلافاصله در شرق ایرانشهر بیش‌تر از ۱۵۰ میلی‌متر و میزان بارندگی در جنوب غربی کمتر از صد میلی‌متر در سال است (علی‌محمدی، ۱۳۸۹). در شکل ۱ موقعیت منطقه جازموریان و سازندهای زمین-شناسی آن نشان داده شده است. مساحت منطقه مورد مطالعه ۸۰۵۰ کیلومترمربع می‌باشد که ۱۷۵۴ کیلومتر مربع از واحد Qt، ۱۴۴۳ کیلومترمربع از Qs، ۱۶۶۷ کیلومترمربع از Qc، ۱۸۸۷ کیلومترمربع از Qal و ۱۹۹ کیلومترمربع از Qsd تشکیل شده است و ۱۱۰۰ کیلومترمربع دریاچه جازموریان شامل می‌شود. بر طبق گلباد سالانه، بادهای غالب از جهات جنوب غربی، جنوبی و جنوب شرقی می‌وزند.

استفاده نمودند (کالینز و همکاران، ۱۹۹۷؛ والینگ و همکاران، ۱۹۹۹؛ لی‌گال و همکاران، ۲۰۱۶؛ هوگس و همکاران، ۲۰۰۹؛ چن و همکاران، ۲۰۱۶؛ استون و همکاران، ۲۰۱۴؛ زو و همکاران، ۲۰۱۶؛ پولی و همکاران، ۲۰۱۵؛ لامبا و همکاران، ۲۰۱۵؛ زانگ و لیو، ۲۰۱۶). در سال‌های اخیر توجه زیادی به عدم قطعیت مربوط به نتایج سهم‌های ارائه شده برای منابع رسوب به‌وسیله مدل‌های ترکیبی در مطالعه انگشت‌نگاری به خود جلب نموده است (والینگ و همکاران، ۲۰۰۵). مطالعات زیادی به‌منظور بررسی عدم قطعیت مربوط به سهم منابع رسوب از روش‌های متعددی استفاده نمودند که در این بین استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو رایج‌تر می‌باشد به‌عنوان مثال موتا و همکاران (۲۰۰۳)، کالینز و همکاران (۲۰۱۲)، ویلکنسون و همکاران (۲۰۱۳)، ولی و همکاران (۲۰۱۳)، داتون و همکاران (۲۰۱۳)، کالینز و همکاران (۲۰۱۳)، اسمیت و همکاران (۲۰۱۳) و استون و همکاران (۲۰۱۴). هم‌چنین مطالعات دیگری مانند نصرتی و همکاران (۲۰۱۴) و مسعودیه و همکاران (۲۰۱۳) به‌منظور بررسی عدم قطعیت سهم منابع رسوب آبی از رویکردی بیزین استفاده نمودند. متأسفانه علی‌رغم وجود مطالعات متعدد در خصوص منشأیابی رسوبات آبی، مطالعات اندکی در خصوص منشأیابی رسوبات بادی با استفاده از روش انگشت‌نگاری در کمی نمودن سهم منابع آنها وجود دارد که می‌توان به غلامی و همکاران (۱۳۹۳)، غلامی و همکاران (۱۳۹۴) و غلامی و همکاران (۲۰۱۷a,b) اشاره نمود. غلامی و همکاران (۲۰۱۷b) یک مدل ترکیبی بیزین برای منشأیابی رسوبات بادی در دشت یزد- اردکان ارائه دادند و اظهار داشتند که مدل ارائه شده دارای قابلیت بالایی در منشأیابی رسوبات بادی می‌باشد و می‌توان در سایر مناطق بیابانی مورد استفاده قرار داد. به‌طور کلی، هدف



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری در منطقه جازموریان.

مواد و روش ها

نمونه برداری و اندازه گیری های آزمایشگاهی

بعد از تهیه نقشه زمین شناسی و مشخص نمودن جهت بادها در منطقه مورد مطالعه، در پاییز سال ۱۳۹۵ اقدام به نمونه برداری در قالب سازندهای زمین شناسی انجام گردید. سازندهای Qt، Qal، Qs و Qc به عنوان منابع رسوبات تپه های ماسه ای و سازند Qsd (تپه های ماسه ای) به عنوان منطقه رسوب بادی در نظر گرفته شد و سپس اقدام به نمونه برداری از منابع و رسوب گردید. تعداد ۷، ۲۵، ۵ و ۲۱ نمونه رسوب بر پایه مساحت سازندهای زمین شناسی به ترتیب از سازندهای Qt، Qal، Qs و Qc به عنوان منابع رسوبات تپه های ماسه ای و ۱۴ نمونه از سازند Qsd به عنوان رسوب بادی جمع آوری گردید. پس از انتقال نمونه ها به آزمایشگاه، با استفاده از الک های خشک (۵/۶۲، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میکرون) بخش های مختلف ذرات از هم تفکیک گردید و سپس بخش غالب مربوط به اندازه ذرات به عنوان هدف آزمایشگاه به منظور اندازه گیری عناصر ژئوشیمیایی انتخاب گردید. پس از آماده سازی نمونه های با محلول Aqua regia (کالینز و همکاران، ۲۰۱۲) غلظت ۱۰

عنصر ژئوشیمیایی شامل Sr، Ba، P، Mn، Ga، Cr، Co، Cu، Ni و Li به عنوان ردیاب های اولیه با استفاده از دستگاه جذب اتمی (AAS) اندازه گیری شدند.

روش های آماری مورد استفاده به منظور تفکیک منابع رسوبات بادی در روش انگشت نگاری: یک روش آماری دو مرحله ای پیشنهاد شده به وسیله کالینز و همکاران (۱۹۹۷) به منظور تفکیک منابع رسوبات بادی در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله اول با استفاده از تست H کروسکال والیس توانایی ردیاب ها در تفکیک منابع مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله دوم با استفاده از آنالیز تابع تشخیص گام به گام (DFA: Stepwise Discriminant Function Analysis) ردیاب های ترکیبی بهینه براساس کمینه سازی ویلکس لامبدا به عنوان پارامتر ورودی به مدل ترکیبی کالینز تعیین شدند. مطالعات متعددی با استفاده از این روش آماری دو مرحله ای منابع رسوب آبی و بادی تفکیک نمودند (غلامی و همکاران، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴؛ والینگ و همکاران، ۱۹۹۹؛ استون و همکاران، ۲۰۱۴؛ زو و همکاران، ۲۰۱۶؛ چن و همکاران،

۲۰۱۶؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۶؛ غلامی و همکاران، ۲۰۱۷؛ نصرتی و همکاران، ۲۰۱۱).

کمی نمودن سهم منابع تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از مدل ترکیبی: پس از انتخاب ردیاب‌های ترکیبی بهینه (با استفاده از تحلیل تشخیص)، برای تعیین سهم و اهمیت نسبی هر یک از منابع رسوب از مدل‌های ترکیبی استفاده می‌شود. مدل ترکیبی مورد استفاده به منظور کمی نمودن سهم منابع رسوبات توسط (کالینز و همکاران، ۱۹۹۷) ارائه شده است. ساختار مدل به صورت رابطه ۱ می‌باشد:

$$f(X_j) = \sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{B_i - \sum_{j=1}^m A_j \cdot X_{j,i}}{B_i} \right)^2 \right)$$

که در این معادله؛ $f(X_j)$ تابع هدف می‌باشد؛ B_i غلظت ردیاب i ام در نمونه‌های رسوب؛ A_j سهم فرضی منبع j ام؛ و $X_{j,i}$ غلظت ردیاب i ام در منبع j ام.

در مدل‌های چند متغیره ترکیبی از برنامه نویسی خطی برای حل تعدادی از معادلات استفاده می‌شود و با حل این معادلات سهم هر یک از منابع مختلف رسوب به دست می‌آید (فوستر و لیز، ۲۰۰۰). برای هر یک از ردیاب‌های بهینه، معادله بالا تکرار می‌شود و بنابراین به تعداد ردیاب‌ها، معادله وجود خواهد داشت و مدل چند متغیره ترکیبی با تعدادی معادله مشخص خواهد شد. با حل این معادلات می‌توان سهم هر یک از منابع مختلف رسوب را به دست آورد. بنابراین، بهینه‌سازی (سهم‌های بهینه) با رعایت دو شرط که سهم منبع بین ۰ و ۱ متغیر می‌باشد و مجموع سهم منابع باید برابر یک باشد از طریق حداقل کردن مجموع مربعات باقیمانده بدست می‌آید.

بررسی عدم قطعیت مرتبط با سهم منابع رسوبات تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از رویکرد شبیه‌سازی مونت-کارلو: یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای تحلیل عدم

قطعیت مدل‌های مختلف، روش مونت‌کارلو می‌باشد. در این روش برای مجموعه داده‌های ورودی توزیع مناسب انتخاب کرده و مجموعه‌ای از ورودی‌های محتمل با نمونه‌برداری از هر یک از توزیع‌ها بدست می‌آید. اگر تعداد تکرارها زیاد باشد می‌توان یک توزیعی از خروجی مدل برای مجموعه ورودی‌های مختلف تعیین کرد که نشان‌دهنده عدم قطعیت پیش‌بینی می‌باشد. در روش مونت‌کارلو یک توزیعی برای کمیت‌های ورودی مثل x ، d ، $g(x)$ و $g(d)$ در نظر گرفته می‌شود و آنها را در داخل مدل قرار می‌دهند تا $f(y)$ یا همان توزیع خروجی مدل بدست آید. در واقع روش مونت‌کارلو برای برآورد عدم قطعیت ناشی از ورودی‌های مدل استفاده می‌شود. در این مطالعه، با استفاده از انحراف معیار و میانگین داده‌های مشاهداتی برای هر یک از ردیاب‌های بهینه، داده‌های تصادفی با تکرار ۱۰۰۰۰ بار تولید گردید و در نهایت محدود عدم قطعیت مربوط به سهم منابع رسوب با رابطه ۱ در سطح ۹۵ درصد (صدک‌های ۲/۵ و ۹۷/۵ درصد) در نرم‌افزار MATLAB محاسبه گردیدند. لازم به ذکر است که نمونه‌برداری با روش Latin Hypercube انجام گردید. محققان زیادی از جمله هوگس و همکاران (۲۰۰۹)، کالینز و همکاران (۲۰۱۳) و بروساینسکی و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از میانگین و انحراف از معیار داده‌های مشاهداتی محدوده عدم قطعیت مربوط به سهم منابع رسوبات آبی تعیین نمودند.

بحث و نتایج

تفکیک منابع رسوبات تپه‌های ماسه‌ای

انتخاب یک ترکیب قوی از ردیاب‌ها برای تفکیک منابع رسوبات در ابتدا نیازمند تایید آماری ردیاب‌ها می‌باشد (کالینز و همکاران، ۲۰۱۰). بدین منظور، یک فرآیند آماری دو مرحله‌ای شامل تست‌های کروسکال والیس و آنالیز تابع تشخیص گام به گام

شده تفاوت معنی داری در سطح ۹۹ درصد بین منابع نشان دادند که این بدان معنی است که هر ۱۰ ردیاب قادر به تفکیک منابع تپه های ماسه ای در منطقه مورد مطالعه می باشند.

مورد استفاده قرار گرفت. نتایج مربوط به تست H کروسکال والیس به منظور بررسی توانایی ردیابها در تفکیک چهار منبع تپه های ماسه ای شامل Qs, Qal, Qt و Qc در جدول ۱ نشان داده شده است. بر طبق جدول ۱، هر ۱۰ ردیاب اندازه گیری

جدول ۱: نتایج تست H کروسکال والیس برای تشخیص منابع رسوبات تپه های ماسه ای در منطقه جازموریان.

	Ni	Cu	Co	Cr	Ga	Mn	P	Ba	Sr	Li
Chi-Square	۴۰/۹	۴۰/۶	۳۹/۳	۴۰/۸	۴۰/۲	۳۴/۴	۳۹/۳	۱۸/۳	۳۹/۷	۴۱/۷
Sig	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

این جدول از بین ده ردیاب، ۴ ردیاب شامل Ni, Cr, Li و Co به عنوان بهینه انتخاب شدند (جدول ۲). به طور کلی، هشتاد و یک درصد نمونه های منبع با چهار ردیاب بهینه به درستی طبقه بندی شده اند (جدول ۳).

در مرحله دوم، همه ده ردیاب عبوری از مرحله اول (تست کروسکال والیس) به مرحله دوم (تست DFA گام به گام) وارد گردید تا بتوان از بین این ده ردیاب، ردیاب های بهینه به عنوان ورودی های مدل ترکیبی انتخاب شوند. جدول ۲، نتایج مربوط به مرحله دوم آماری را نشان می دهد. بر طبق نتایج

جدول ۲: نتایج DFA گام به گام برای انتخاب ترکیب بهینه از ردیابها برای تشخیص منابع تپه های ماسه ای.

گام	ردیاب های بهینه	ویلیکس لامبدا	Sig
۱	Cr	۱۷۸/۹	۰/۰۰۰
۲	Li	۵۵/۱	۰/۰۰۰
۳	Ni	۳۷/۸	۰/۰۰۰
۴	Co	۳۰/۲	۰/۰۰۰

جدول ۳: صحت طبقه بندی نمونه های برداشت شده از منابع رسوبات تپه های ماسه ای.

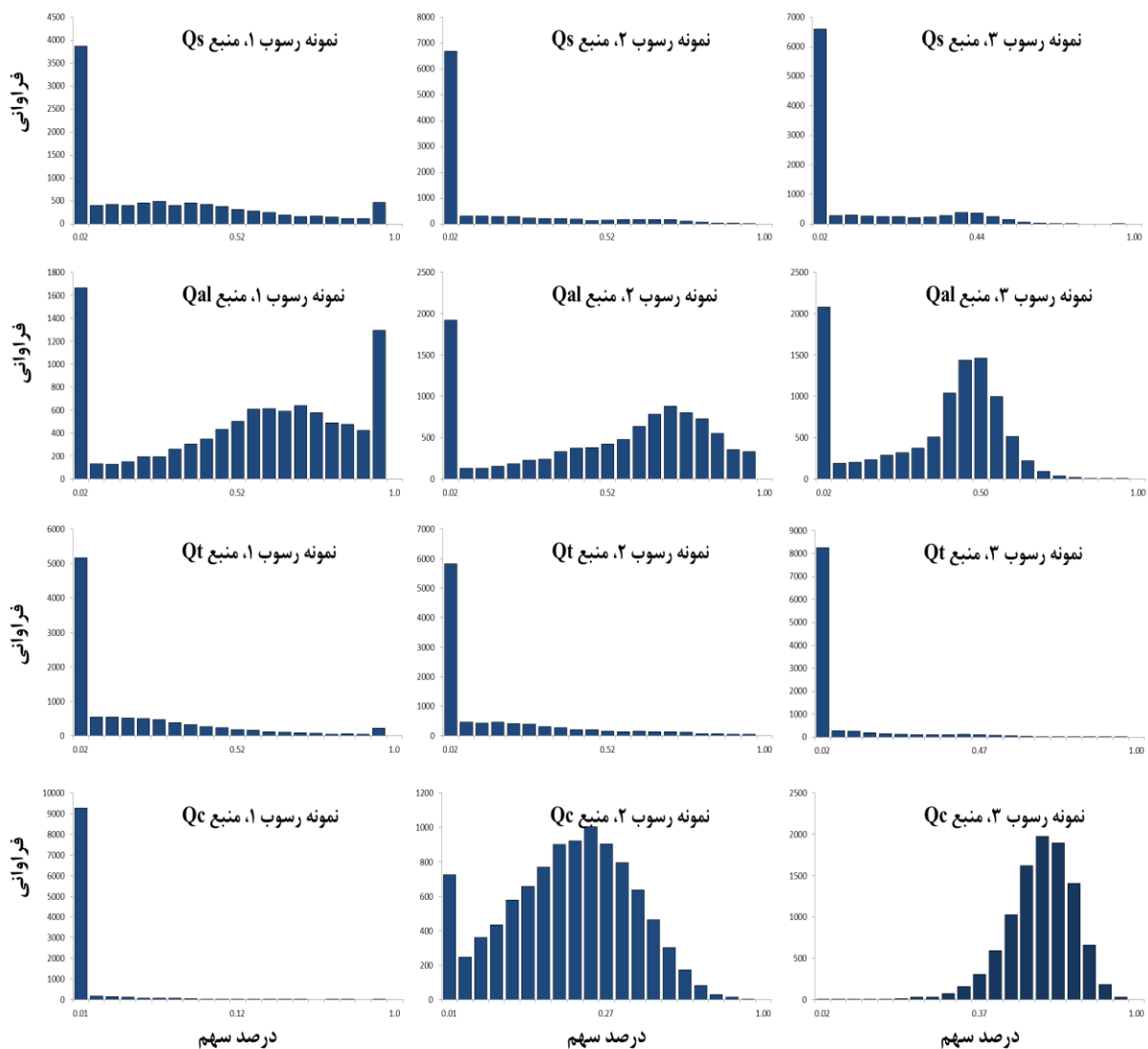
	منابع	پیش بینی عضویت در گروهها				جمع کل
		Qs	Qal	Qt	Qc	
تعداد	Qs	۶	۱	۰	۰	۷
	Qal	۸	۱۶	۱	۰	۲۵
	Qt	۱	۰	۴	۰	۵
	Qc	۰	۰	۰	۲۱	۲۱
درصد	Qs	۸۵/۷	۱۴/۳	۰	۰	۱۰۰
	Qal	۳۲	۶۴	۴	۰	۱۰۰
	Qt	۲۰	۰	۸۰	۰	۱۰۰
	Qc	۰	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰

ماسه‌ای از منبع Qal به ترتیب با سهم میانگین ۵۵ و ۵۱ درصد تأمین می‌شود. هم‌چنین بیشترین سهم میانگین از منابع برای تأمین رسوب برای نمونه شماره ۳، مربوط به منبع Qc با ۵۱ درصد می‌باشد. به‌طور کلی در نمونه‌های شماره ۱، ۲ و ۳، بیشترین دامنه عدم قطعیت سهم مربوط به منبع Qal می‌باشد که در نمونه یک عدم قطعیت کامل (-۱۰۰٪) (۰ برای منبع Qal مشاهده گردید (جدول ۴).

عدم قطعیت مرتبط با سهم منابع تپه‌های ماسه‌ای: به منظور تعیین محدوده عدم قطعیت مربوط به سهم منابع رسوب از روش شبیه‌سازی مونت کارلو در سطح ۹۵ درصد استفاده شد که نتایج آن در اشکال (۲، ۳، ۴ و ۵) و جدول ۴ نشان داده شده است. محدوده عدم قطعیت مربوط به سهم منابع در سطح ۹۵ درصد برای نمونه‌های تپه ماسه‌ای شماره ۱ تا ۳ در شکل ۲ نشان داده شده است. بیشترین درصد رسوب برای نمونه‌های شماره یک و دو تپه‌های

جدول ۴: عدم قطعیت مرتبط با سهم منابع رسوبات تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو.

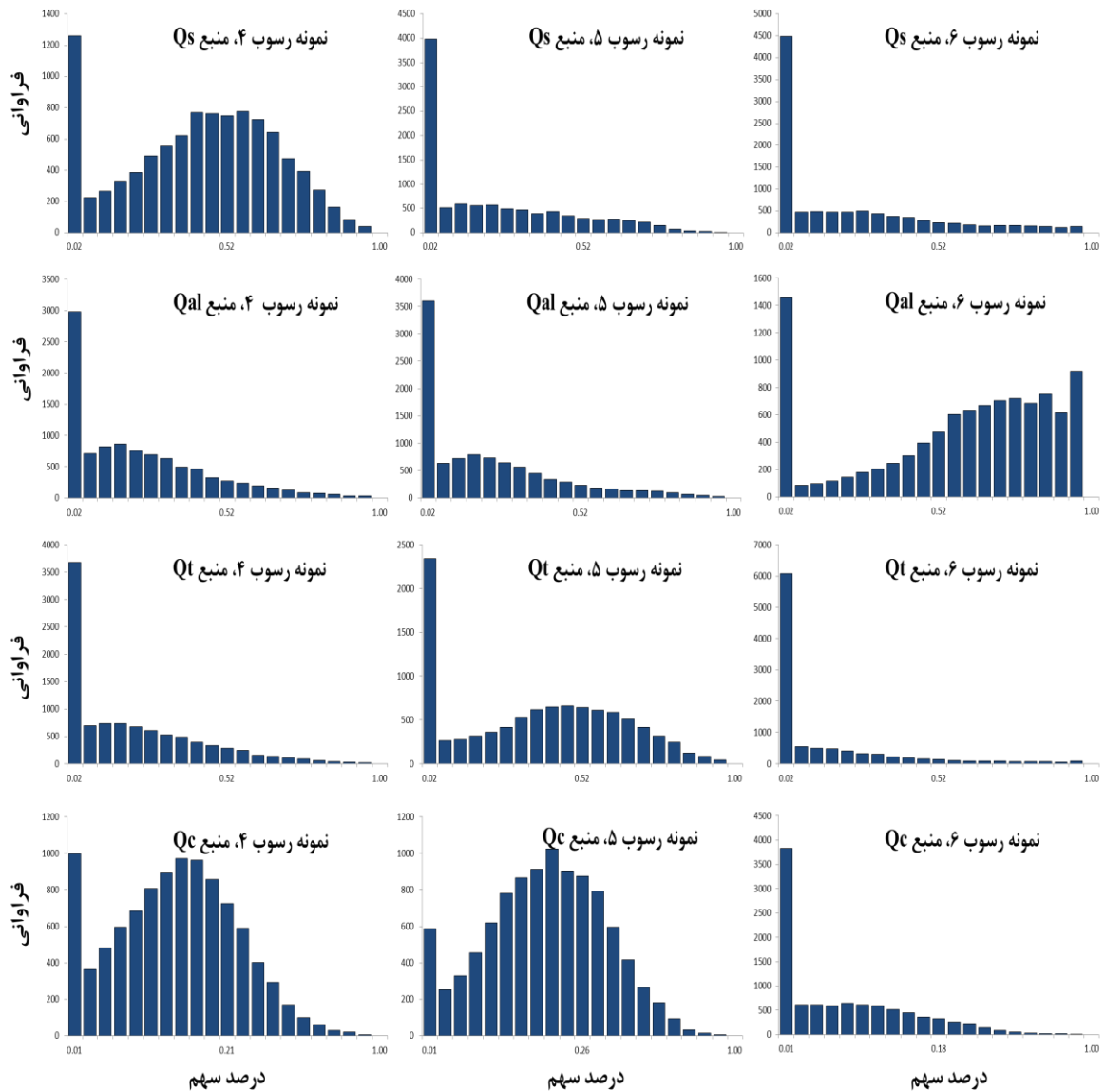
شماره نمونه	منبع	صدک‌ها (%)		میانگین سهم	شماره نمونه	منبع	صدک‌ها (%)		میانگین سهم
		۲/۵	۹۷/۵				۲/۵	۹۷/۵	
۱	Qs	۰	۱۰۰	۲۸	۸	Qs	۰	۱۰۰	۵۵
	Qal	۰	۱۰۰	۵۵		Qal	۰	۸۴	۲۱
	Qt	۰	۹۲	۱۷		Qt	۰	۹۱	۲۳
	Qc	۰	۶	۰		Qc	۰	۴	۰
۲	Qs	۰	۷۶	۱۳	۹	Qs	۰	۹۹	۵۳
	Qal	۰	۹۷	۵۱		Qal	۰	۷۹	۲۲
	Qt	۰	۷۹	۱۵		Qt	۰	۸۳	۲۳
	Qc	۰	۴۰	۲۱		Qc	۰	۱۴	۲
۳	Qs	۰	۵۰	۱۰	۱۰	Qs	۰	۷۸	۳۷
	Qal	۰	۶۴	۳۴		Qal	۰	۷۵	۲۴
	Qt	۰	۴۸	۵		Qt	۰	۶۸	۱۸
	Qc	۳۴	۶۳	۵۱		Qc	۲	۳۵	۲۱
۴	Qs	۰	۸۶	۴۳	۱۱	Qs	۰	۷۶	۱۲
	Qal	۰	۷۷	۲۳		Qal	۰	۱۰۰	۲۲
	Qt	۰	۷۴	۲۰		Qt	۰	۱۰۰	۵۱
	Qc	۰	۳۰	۱۴		Qc	۰	۱۰۰	۱۴
۵	Qs	۰	۷۷	۲۲	۱۲	Qs	۰	۶۹	۱۰
	Qal	۰	۸۰	۲۰		Qal	۰	۱۰۰	۱۹
	Qt	۰	۸۵	۳۷		Qt	۰	۱۰۰	۵۰
	Qc	۰	۳۹	۲۱		Qc	۰	۱۰۰	۲۱
۶	Qs	۰	۹۱	۲۲	۱۳	Qs	۰	۵۷	۸
	Qal	۰	۱۰۰	۵۸		Qal	۰	۸۰	۱۴
	Qt	۰	۸۱	۱۳		Qt	۰	۱۰۰	۵۰
	Qc	۰	۲۳	۷		Qc	۰	۹۲	۲۸
۷	Qs	۰	۸۶	۲۷	۱۴	Qs	۰	۹۳	۲۶
	Qal	۰	۹۶	۴۷		Qal	۰	۹۵	۲۱
	Qt	۰	۷۹	۱۸		Qt	۰	۶۴	۷
	Qc	۰	۲۳	۸		Qc	۰	۱۰۰	۴۶



شکل ۲: نتایج شبیه سازی مونت کارلو برای نمونه های ۱ تا ۳ تپه های ماسه ای. محور افقی درصد سهم و محور عمودی فراوانی مدل سازی شده نشان می دهد. تعداد دفعات مدل سازی ۱۰۰۰۰ بار می باشد.

میانگین برای نمونه های تپه های ماسه ای شماره ۵ و ۶ به ترتیب از منابع Qt و Qal با سهم میانگین ۳۷ و ۵۸ تامین می شود و عدم قطعیت کامل (۰-۱۰۰٪) در نمونه ۶ برای منبع Qal محاسبه گردید.

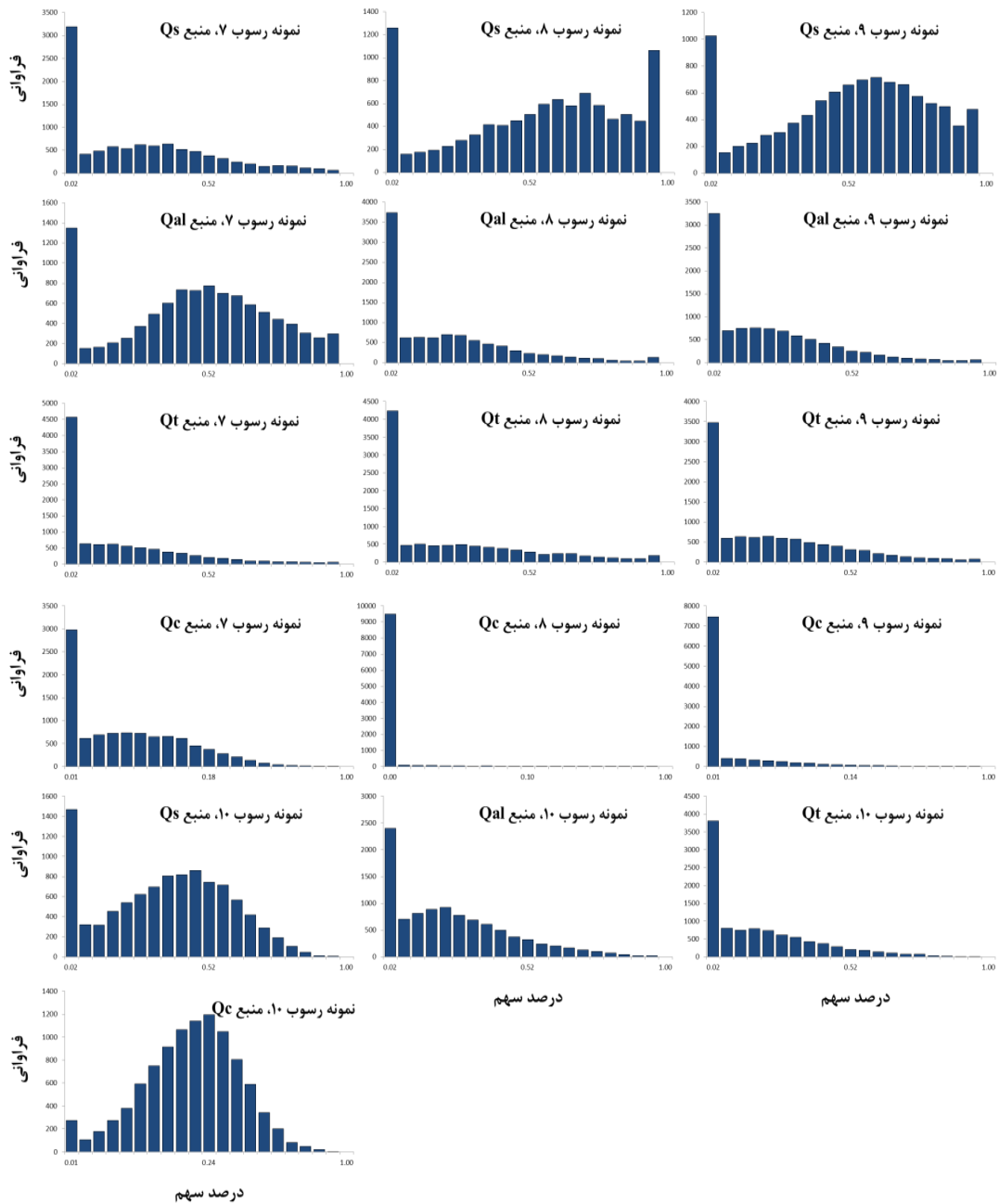
نتایج شبیه سازی مونت کارلو از سهم منابع در سطح ۹۵ درصد برای نمونه های رسوب شماره ۴، ۵ و ۶ در شکل ۳ و جدول ۴ نشان داده شده است. بیشترین میانگین سهم برای نمونه ۴ از منبع Qs با ۴۳ درصد تامین می شود و دارای دامنه عدم قطعیت نسبتاً بزرگ می باشد. بیشترین سهم



شکل ۳: نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو برای نمونه‌های ۴ تا ۶ تپه‌های ماسه‌ای. محور افقی درصد سهم و محور عمودی فراوانی مدل‌سازی شده نشان می‌دهد. تعداد دفعات مدل‌سازی ۱۰۰۰۰ بار می‌باشد.

هم‌چنین بیشترین دامنه عدم قطعیت در نمونه‌های ۸، ۹ و ۱۰ مربوط به منبع QS می‌باشد که در نمونه ۸ عدم قطعیت کامل و هم‌چنین در نمونه ۹ نیز عدم قطعیت نزدیک به کامل (۰-۹۹٪) محاسبه شد.

نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو در سطح ۹۵ درصد برای سهم منابع نمونه‌های رسوب به شماره ۷، ۸، ۹ و ۱۰ در شکل ۴ و جدول ۴ نشان داده شده است. بیشترین دامنه عدم قطعیت در نمونه ۷ مربوط به منبع Qal با میانگین سهم ۴۷ درصد می‌باشد و



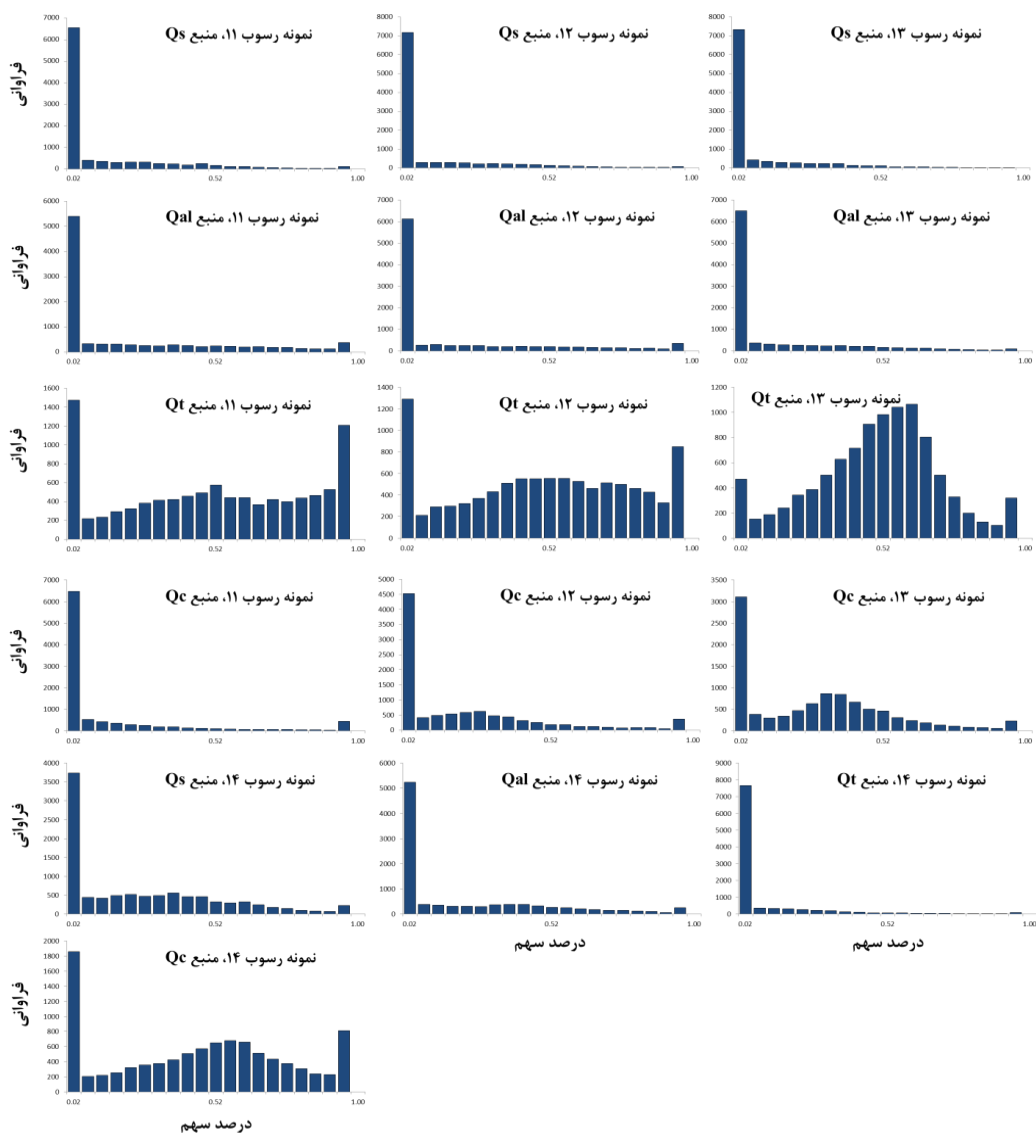
شکل ۴: نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو برای نمونه‌های ۷ تا ۱۰ تپه‌های ماسه‌ای. محور افقی درصد سهم و محور عمودی فراوانی مدل‌سازی شده نشان می‌دهد. تعداد دفعات مدل‌سازی ۱۰۰۰۰ بار می‌باشد.

کامل (۱۰۰٪-۰) نشان دادند. برای نمونه شماره ۱۴، منبع Qc به‌عنوان منبع اصلی تأمین‌کننده رسوب با سهم میانگین ۴۶ و دامنه عدم قطعیت کامل شناخته شد (جدول ۴). به‌طور کلی، با روش شبیه‌سازی مونت کارلو دامنه عدم قطعیت کامل در سهم منابع برای بیشتر نمونه‌های تپه ماسه‌ای

نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو از سهم منابع برای نمونه‌های رسوب شماره ۱۱ تا ۱۴ در شکل ۵ نشان داده شده است. مهم‌ترین منبع تولیدکننده رسوب برای نمونه رسوب شماره ۱۱، ۱۲ و ۱۳ منبع Qt با سهم میانگین ۵۱، ۵۰ و ۵۰ درصد می‌باشد و برای این سه نمونه، سه منبع Qc، Qal و Qt عدم قطعیت

انگشت‌نگاری به نقش باد و تغییرپذیری آن در مسیر منطقه ترانزیت و رسوب نمودن مواد بادی در منابع دیگر و ترکیب نمودن رسوب از منابع مختلف مرتبط می‌شود. به طوری که در منطقه مورد مطالعه، بادهای اصلی و فرعی در فصل‌های مختلف از چندین جهت می‌وزند که باعث ترکیب نمودن مواد بادی از منابع مختلف می‌شود و در نهایت دامنه عدم قطعیت افزایش می‌یابد.

محاسبه گردید. به عنوان مثال، کالینز و همکاران (۲۰۱۴) عدم قطعیت کامل (۰-۱۰۰٪) در سهم بندی منابع با استفاده از روش انگشت‌نگاری رسوب در بریتانیا گزارش داده‌اند. هورویتز (۲۰۱۷) اظهار داشت که عدم قطعیت کامل (۰-۱۰۰٪) یا عدم قطعیت بزرگ در انگشت‌نگاری رسوبات آبی و هیدرولوژی احتمالاً به محاسبات یا اندازه‌گیری‌های پیچیده مرتبط می‌باشد. به نظر می‌رسد عدم قطعیت کامل در سهم منابع رسوبات بادی در روش



شکل ۵: نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو برای نمونه‌های ۱۱ تا ۱۴ تپه‌های ماسه‌ای. محور افقی درصد سهم و محور عمودی فراوانی مدل‌سازی شده نشان می‌دهد. تعداد دفعات مدل‌سازی ۱۰۰۰۰ بار می‌باشد.

نتیجه‌گیری

این بین عدم قطعیت کامل (۰-۱۰۰٪) در بعضی از منابع (عمدتاً در منابع Qs و Qal) برای نمونه‌های رسوب محاسبه گردید، که این موضوع احتمالاً به تغییر پذیری جهت باد و وجود بادهای چند جهته در منطقه و ترکیب نمودن مواد منابع مختلف مرتبط می‌شود. به منظور کاهش دادن محدوده‌ی عدم قطعیت می‌توان از رویکرد بیزین استفاده نمود. به‌عنوان مثال، غلامی و همکاران (۲۰۱۷b) نیز برای تعیین سهم منابع رسوبات بادی در دشت یزد- اردکان از یک مدل ترکیبی بیزین استفاده نمودند و در هیچ یک از منابع، عدم قطعیت کامل از سهم منابع رسوبات بادی مشاهده نشد. مطالعاتی دیگر مانند نصرتی و همکاران (۲۰۱۴)، مسعودیه و همکاران (۲۰۱۳) و کوپر و همکاران (۲۰۱۴) و (۲۰۱۵) نیز به منظور تعیین سهم منابع رسوبات آبی در حوضه آبخیز از مدل‌های بیزین استفاده نمودند. در نهایت با توجه به کارایی بالا این رویکرد و رویکردها مشابه در کمی نمودن عدم قطعیت، استفاده از این تکنیک‌ها در سایر مناطق بیابانی در کمی نمودن سهم منابع آنها و عدم قطعیت مربوط به آنها پیشنهاد می‌گردد.

شناسایی منابع تپه‌های ماسه‌ای و کمی نمودن عدم قطعیت مربوط به سهم آنها برای تثبیت تپه‌ها، کاستن اثرات درون منطقه‌ای و برون منطقه‌ای فرسایش بادی و مدیریت محیط‌های مناطق خشک و بیابانی ضروری به نظر می‌رسد. به منظور کمی نمودن سهم و عدم قطعیت مرتبط به آنها، مدل‌های ترکیبی کمی و روش‌های کمی سازی عدم قطعیت آنها در سال‌های اخیر برای رسوبات آبی توسعه یافته‌اند. در این تحقیق، برای اولین بار برای کمی نمودن عدم قطعیت مربوط به سهم منابع تپه‌های ماسه‌ای از ترکیب نمودن روش شبیه‌سازی مونت- کارلو با تکنیک انگشت‌نگاری رسوب استفاده گردید. استفاده از این تکنیک و دیگر تکنیک‌های مشابه بیشتر در زمینه منشأیابی رسوبات آبی رایج می‌باشد و در زمینه منشأیابی رسوبات بادی به‌جز چندین مطالعه (غلامی و همکاران، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴؛ غلامی و همکاران ۲۰۱۷ a,b؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۶) تحقیقات دیگری در دسترس نمی‌باشد. نتایج انگشت‌نگاری مونت کارلو نشان داد که منابع تپه‌های ماسه‌ای (Qc و Qt, Qal, Qs) دامنه‌های متفاوتی از سهم برای نمونه‌های رسوب تولید می‌کنند و در

منابع

-غلامی، ح.، فیض‌نیا، س.، احمدی، ج.، احمدی، ح.، و مهدوی نجف‌آبادی، ر.، ۱۳۹۴. تعیین سهم کاربری- های اراضی در تولید رسوب تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از روش انگشت‌نگاری (منطقه مورد مطالعه: ارگ نگار بردسیر، استان کرمان)، پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره ۵ (۲)، ص ۴۶-۵۴.

-غلامی، ح.، فیض‌نیا، س.، احمدی، ج.، احمدی، ح.، نظری سامانی، ع.ا. و نوحه‌گر، ا.، ۱۳۹۳. تعیین سهم رخساره‌های ژئومورفولوژی در تولید رسوبات بادی با بهره‌گیری از روش ردیابی رسوبات (بررسی موردی: تپه‌های ماسه‌ای اشکذر)، مدیریت بیابان، شماره ۴، پاییز و زمستان ۱۳۹۳، ص ۳۱-۴۲.

-Brosinsky, A., Foerster, S., Segl, K., Lopez-Tarazan, J.A., Pique, G. and Bronstert, A., 2014. Spectral fingerprinting: characterizing suspended sediment sources by the use of VNIR-

SWIR spectral information, *Journal of Soils and Sediments*, doi:10.1007/s11368-014-092-z.
-Brown, A.G., 1985. The potential use of pollen in the identification of suspended

- sediments sources, *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 10, p. 27-32.
- Caitcheon, G.G., 1993. Sediment source tracing using environmental magnetism: a new approach with examples from Australia, *Hydrology Processes*, v. 7, p. 349-358.
- Chen, F., Fang, N. and Shi, Z., 2016. Using biomarkers as fingerprint properties to identify sediment sources in a small catchment, *Science of the Total Environment*, v. 557-558, p. 123-133, doi:10.1016/j.scitotenv, 2016.03.028.
- Collins, A.L., Walling, D.E. and Leeks, G.J.L., 1997. Fingerprinting the origin of fluvial suspended sediment in larger river basins: combining assessment of spatial provenance and source type, *Geografiska Annaler*, v. 79, p. 239-254.
- Collins, A.L., Walling, D.E., Stroud, R.W., Robson, M. and Peet, L.M., 2010. Assessing damaged road verges as a suspended sediment source in the Hampshire Avon catchment, southern United Kingdom, *Hydrological Processes*, v. 24, p.1106-1122, doi: 10.1002/ hyp.7573.
- Collins, A.L., Williams, L.J., Zhang, Y.S., Marius, M., Dungait, J.A.J., Smallman, D.J. and Naden, P.S., 2014. Sources of sediment-bound organic matter infiltrating spawning gravels during the incubation and emergence life stages of salmonids, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 196, p. 76-93, doi.org/10.1016/ j.agree. 2014.06.018.
- Collins, A.L., Zhang, Y.S., Duethmann, D., Walling, D.E. and Black, K.S., 2013. Using a novel tracing-tracking framework to source fine-grained sediment loss to watercourses at sub-catchment scale, *Hydrological Processes*, v. 27 (6), p. 959-974, doi:10.1002/ hyp. 9652.
- Collins, A.L., Zhang, Y., Walling, D.E., Grenfell, S.E., Smith, P., Grischeff, J. and 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*, v. 26 (13), p. 1962-1983, doi:10.1002/hyp.8283.
- Cooper, R.J., Krueger, T., Hiscock, K.M. and Rawlins, B.G., 2014. Sensitivity of fluvial sediment source apportionment to mixing model assumptions: A Bayesian model comparison, *Water Resources Research*, v. 50, p. 9031-9047. doi:10.1002/2014WR016194.
- Cooper, R.J., Krueger, T., Hiscock, K.M. and Rawlins, B.G., 2015. High-temporal resolution fluvial sediment source fingerprinting with uncertainty: A Bayesian approach, *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 40(1), p. 78-92, doi:10.1002/esp, 3621.
- Douglas, G.B., Gray, C.M., Hart, B.T. and Beckett, R., 1995. A Strontium isotopic investigation of the origin of suspended particulate matter (SPM) in the Murray-Darling river system, Australia, *Chemical Geology*, v. 59, p. 3799-3815.
- Dutton, C., Anisfeld, S.C. and Ernstberger, H., 2013. A novel sediment fingerprinting method using filtration: Application to the Mara River, East Africa, *Journal of Soils and Sediments*, v. 13(10), p. 1708-1723, doi:10.1007/s11368-013-0725-z.
- East, A.E., Clift, P.D., Carter, A., Alizai, A. and VanLaningham, S., 2015. Fluvial-eolian interactions in sediment routing and sedimentary signal buffering: an example from the Indus Basin and Thar Desert, *J. Sediment, Res*, v. 85, 715e728.
- Foster, I.D.L. and Walling, D.E., 1994. Using reservoir deposits to reconstruct changing sediment yields and sources in

- catchments of Old Mill Reservoir, South Devon, UK, over the past 50 years, *Hydrological Sciences Journal*, v. 39, p. 347-368.
- Garzanti, E., Ando, S., Vezzoli, G., Lustrino, M., Boni, M. and Vermeesch, P., 2012. Petrology of the Namib sand sea: Long-distance transport and compositional variability in the wind-displaced Orange Delta, *Earth Sci, Rev*, v. 112, 173e18 9.
- Gholami, H., Middleton, N., Nzari Samani, A. and Wasson, R., 2017a. Determining contribution of sand dune potential sources using radionuclides, trace and major elements in central Iran, *Arab J Geosci*, v. 10, p. 1-9, doi, 10.1007/s12517-017-2917-0.
- Gholami, H., Telfer, M.W., Blake, W.H. and Fathabadi, A., 2017. Aeolian sediment fingerprinting using a Bayesian mixing model, *Earth Surf, Process, Landforms*, v. 42, p. 2365-2376. doi: 10.1002/esp.4189.
- Grimshaw, D.L. and Lewin, J., 1980. Source identification for suspended sediment, *Journal of Hydrology*, v. 47, p. 151-162.
- Hasholt, B., 1988. On identification of sources of sediment transport in small basins with special reference to particulate phosphorus, In: Boards, M.P. and Walling, D.E., (Eds), *Sediment budgets*, IAHS Publ, No, 174, IAHS Press, Wallingford, p. 241-250.
- Horowitz, A.J., 2017. A question of uncertainty, *Hydrological Processes*, 1-2. doi. 10, 1002/hyp.111 42.
- Hughes, A.O., Olley, J.M., Croke, J.C. and McKergow, L.A., 2009. Sediment source changes over the last 250 years in a dry-tropical catchment, central Queensland, Australia, *Geomorphology*, v. 104, p. 262-275, doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.09.003.
- Klages, M.G. and Hsieh, Y.P., 1975. Suspended solids transported by the Gallatin river of southern Montana: II using mineralogy for inferring sources, *Journal of Environmental Quality*, v. 4, p. 68-73.
- Lamba, J., Karthikeyan, K.G. and Thompson, A.M., 2015. Apportionment of suspended sediment sources in an agricultural watershed using sediment fingerprinting, *Geoderma*, v. 239-240, p. 25-33, doi:10.1016/j.geoderma.2014.09.024.
- LeGall, M., Evrard, O., Foucher, A., Laceby, J.P., Salvador-Blanes, S., Thill, O., Dapoigny, A., Lefèvre, I., Cerdan, O. and Ayrault, S., 2016. Quantifying sediment sources in a lowland agricultural catchment pond using ¹³⁷Cs activities and radiogenic ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios, *Science of the Total Environment*, v. 566-567, p. 968-980, doi: j.scitotenv, 2016.05.093.
- Liu, B., Niu, Q., Qu, J. and Zu, R., 2016a. Quantifying the provenance of aeolian sediments using multiple composite fingerprints, *Aeolian Research*, v. 22, p. 117-122, dx.doi.org/ 10.1016/j.aeolia.2016.08.002.
- Lorenz, R.D. and Zimelman, J.R., 2014. *Dune Worlds: How Windblown Sand Shapes Planetary Landscapes*, Springer, 308 p.
- Massoudieh, A., Gellis, A., Banks, W.S. and Wiczorek, M.E., 2013. Suspended sediment source apportionment in Chesapeake Bay Watershed using Bayesian chemical mass balance receptor modeling, *Hydrological Processes*, v. 27(24), p. 3363-3374, doi:10.1002/hyp.9429.
- Morton, A.C., 1991. Geochemical studies of detrital heavy minerals and their application to provenance research, *Geological Society Special Publication*, v. 57, p. 31-45.
- Motha, J.A., Wallbrink, P.J., Hairsine, P.B. and Grayson, R.B., 2003. Determining the sources of suspended sediment in a forested catchment in southeastern Australia, *Water*

- Resources, v.39(3), p.1-14, doi:10.1029/2001wr000794.
- Muhs, D.R., 2017. Evaluation of simple geochemical indicators of Aeolian sand provenance: Late Quaternary dune fields of North America revisited, *Quaternary Science Reviews*, v. 171, p. 260-296, doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.07.007.
- Muhs, D.R., Reynolds, R., Been, J. and Skipp, G., 2003. Eolian sand transport pathways in the southwestern United States: importance of the Colorado River and local sources, *Quat, Int*, 104 p.
- Nosrati, K., Govers, G., Ahmadi, H., Sharifi, F., Amoozgar, M.A., Merckx, R. and Vanmaercke, M., 2011. An exploratory study on the use of enzyme activities as sediment tracers: biochemical fingerprints, *International Journal of Sediment Research*, v. 26, p. 136-151.
- Nosrati, K., Govers, G., Semmens, B.X. and Ward, E.J., 2014. A mixing model to incorporate uncertainty in sediment fingerprinting, *Geoderma*, v. 217-218, p. 173-180, doi:10.1016/j.geoderma.2013.12.002.
- Pulley, S., Foster, I. and Antunes, P., 2015. The uncertainties associated with sediment fingerprinting suspended and recently deposited fluvial sediment in the Nene River Basin, *Geomorphology*, v. 228, p. 303-319, doi:10.1016/j.geomorph.2014.09.016.
- Scheidt, S., Lancaster, N. and Ramsey, M., 2011. Eolian dynamics and sediment mixing in the Gran Desierto, Mexico, determined from thermal infrared spectroscopy and remote-sensing data, *Geological Society of America Bulletin*, v. 123, 1628-1644.
- Smith, H.G., Blake, W.H. and Owens, P.N., 2013. Discriminating fine sediment sources and the application of sediment tracers in burned catchments: A review, *Hydrological Processes*, v. 27 (6), p. 943-958, doi:10.1002/hyp.9537.
- Stone, M., Collins, A.L., Silins, U., Emelko, M.B. and Zhang, Y.S., 2014. The use of composite fingerprints to quantify sediment sources in a wildfire impacted landscape, Alberta, Canada, *Science of the Total Environment*, v. 473-474, p. 642-650, doi:10.1016/j.scitotenv.2013.12.052.
- Stone, M. and Saunderson, H., 1992. Particle size characteristics of suspended sediments in southern Ontario rivers tributary to the Great Lakes, *Geological Society Special Publication*, v. 57, p. 31-45.
- Voli, M.T., Wegmann, K.W., Bohnenstiehl, D.R., Leithold, E., Osburn, C.L. and Polyakov, V., 2013. Fingerprinting the sources of suspended sediment delivery to a large municipal drinking water reservoir: Falls Lake, Neuse River, North Carolina, USA, *Journal of Soils and Sediments*, v. 13(10), p. 1692-1707, doi:10.1007/s11368-013-0758-3.
- Walden, J., Slattery, M.C. and Burt, T.P., 1997. Use of mineral magnetic measurements to fingerprints suspended sediment sources: approaches and techniques for data analysis, *Journal of Hydrology*, v. 202, p. 353-372.
- Walling, D.E., 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems, *Science of the Total Environment*, v. 344 (1-3), p. 159-184, doi:10.1016/j.scitotenv.2005.02.011.
- Walling, D.E., Owens, P.N. and Leeks, G.J.L., 1999. Fingerprinting suspended sediment sources in the catchment of the River Ouse, Yorkshire, UK, *Hydrological Processes*, v. 13, p. 955-975. doi. 10, 1002/(SICI)1099-1085(199905)13:7< 955:: AID-HYP784> 3.0.CO; 2-G.
- Walling, D.E. and Woodward, J.C., 1995. Tracing sources of suspended sediment in river basins: a case study of river Culm, Devon, UK, *Marin and*

Freshwater Research, v. 46, p. 327-336.
-Warren, A., Dunes, J. And Sons, Ltd., 2013. Chichester, 219 pp. Wilkinson, S.N., Hancock, G.J., Bartley, R., Hawdon, A.A., and Keen, R.J. 2013. Using sediment tracing to assess processes and spatial patterns of erosion in grazed rangelands, Burdekin River Basin, Australia, Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 180, p. 90-102. doi:10.1016/j.agee.2012.02.002.
-Wilson, I.G., 1973. Ergs. Sediment Geology, v. 10, 77-106.

-Zhang, X.C. and Liu, B.L., 2016. Using multiple composite fingerprints to quantify fine sediment source contributions: A new direction, Geoderma, v. 268, p. 108-118. Dx, doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.03
-Zhou, H., Chang, W. and Zhang, L., 2016. Sediment sources in a small agricultural catchment: A composite fingerprinting approach based on the selection of potential sources, Geomorphology, v. 266, p. 11-19. dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.05.007.