

مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران  
دوره ۷۱، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷

ص ۱۰۴۳-۱۰۵۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۵

تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۰/۱۹

## منشأیابی رسوبات بادی با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو

- ❖ حمید غلامی\*؛ گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
- ❖ محمدرضا مهردادی؛ گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
- ❖ مهدی نجفی قیری؛ گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، فارس، ایران.
- ❖ مهدی بی‌نیاز؛ گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

### چکیده

کمی نمودن سهم منابع رسوبات بادی به منظور اولویت‌بندی آن‌ها و کاهش یا کنترل فرسایش بادی ضروری می‌باشد. هدف از این تحقیق، کمی نمودن عدم قطعیت سهم منابع رسوبات بادی با استفاده از تکنیک انگشت‌نگاری و روش شبیه‌سازی مونت کارلو در دشت سیرجان می‌باشد. بدین منظور، ۴۶ نمونه سطحی شامل ۶ نمونه پهنه‌های ماسه‌ای به عنوان منطقه رسوب بادی و ۴۰ نمونه از منابع بالقوه رسوبات بادی شامل  $Q_c (n=17)$ ،  $Q_c (n=5)$ ،  $Q_c (n=13)$ ،  $Q_t (n=13)$ ،  $Q_c (n=5)$  و  $D_c (n=5)$  جمع‌آوری گردید. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، غلظت هشت عنصر ژئوشیمیایی به عنوان ردیاب در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد و سپس منابع رسوبات بادی با استفاده از یک فرآیند آماری دو مرحله‌ای شامل آزمون‌های آماری کرو سکال‌والیس و آنالیز تحلیل تشخیص گام به گام تفکیک شدند. در نهایت، ردیاب‌های بهینه به عنوان پارامتر ورودی به مدل ترکیبی در نظر گرفته شد و عدم قطعیت مربوط به سهم‌های ارائه شده، توسط روش شبیه‌سازی مونت کارلو محاسبه گردید. نتایج نشان داد که چهار ردیاب  $Fe$ ،  $K$ ،  $Mg$  و  $Cu$  به عنوان ردیاب بهینه انتخاب شدند و کمی‌سازی سهم منابع با استفاده از این چهار ردیاب انجام گردید. منابع اصلی تأمین‌کننده رسوب برای رسوبات بادی در منطقه مورد مطالعه،  $Q_c$  و  $D_c$  شناخته شدند و همچنین عدم قطعیت کامل (۱۰۰٪) در سهم برخی منابع محاسبه گردید. بنابراین فعالیت‌های مدیریتی به منظور کنترل و تثبیت فرسایش بادی باید در این دو منبع به منظور جلوگیری از برداشت ذرات متمرکز گردد. با توجه به کارایی بالای این روش، استفاده از آن به منظور کمی نمودن سهم منابع رسوبات بادی در سایر مناطق با فرسایش بادی فعال پیشنهاد می‌گردد.

کلید واژگان: انگشت‌نگاری، ردیاب، رسوب بادی، شبیه‌سازی مونت کارلو، سیرجان

## ۱. مقدمه

شناسایی و کمی نمودن منابع رسوبات بادی یک چالش مهم برای زمین‌شناسان و سایر محققان محسوب می‌شود و اطلاعات این چینی اهمیت زیادی در شناخت جریان رسوب در طیفی از مقیاس‌ها دارا می‌باشد [۱۷]. مطالعات متعددی به بررسی پیدایش<sup>۱</sup> اشکال تپه‌ها، ساختمان‌های رسوبی و کروئولوژی تپه‌ها به عنوان شاخصی از اقلیم گذشته پرداخته‌اند، اما مطالعات مربوط به شناسایی منشأ رسوبات بادی اندک می‌باشند که بیشتر این مطالعات، یک سنگ یا رسوب به عنوان منبع اولیه برای رسوب بادی معرفی نموده‌اند [۲۳]. بنابراین، تعیین کمی سهم منابع مختلف تولیدکننده رسوب بادی در مناطق خشک و بیابانی به منظور کنترل یا کاهش اثرات درون‌منطقه‌ای<sup>۲</sup> و برون‌منطقه‌ای<sup>۳</sup> فرسایش بادی، اولویت‌بندی منابع رسوب و مدیریت محیط ضروری می‌باشد.

روش‌های مختلفی برای شناسایی منشأ رسوبات مانند منشأیابی گام‌به‌گام [۱۱]، منشأیابی با استفاده از روش کانی‌شناسی، انگشت‌نگاری<sup>۴</sup> (ردیابی) با روش‌های ژئوشیمی و ایزوتوپی و رنگ وجود دارد که روش‌های گام‌به‌گام و کانی‌شناسی قادر به ارائه سهم کمی برای منابع رسوب نمی‌باشند و بیشتر به صورت کیفی عمل می‌کنند، ولی روش انگشت‌نگاری از طریق مقایسه خصوصیات نمونه‌های رسوب و منابع آن‌ها از طریق یک مدل ترکیبی قادر به ارائه سهم کمی از منابع مولد رسوب می‌باشد. در همه مطالعات منشأیابی، ماهیت و موقعیت منابع اولیه در ارتباط با رسوبات مشتق‌شده از آن‌ها اطلاعات با ارزشی درباره تاریخ زمین‌شناسی یک منطقه فراهم می‌کنند [۲۹].

تلفیق مدل‌های ترکیبی کمی در ارتباط با ردیاب‌های ترکیبی<sup>۵</sup> در اواخر دهه ۱۹۸۰ و اوایل دهه ۱۹۹۰ به

مطالعات منشأیابی منبع ورود کرد و امکان به دست آوردن تخمین‌های کمی سهم نسبی از منابع مختلف را فراهم نمود [۱۳، ۱۴]. منشأیابی مرکب عبارت است برر سی 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.

روش انگشت‌نگاری شامل ردیابی مرکب است که در حال حاضر برای تعیین منبع رسوب به طور موفقیت‌آمیزی در تحقیقات زیادی استفاده می‌شود [۱۷]. انگشت‌نگاری رسوب به عنوان یک روش رایج در منشأیابی رسوبات آبی می‌باشد [۵، ۳۴، ۲، ۸، ۶، ۲۲، ۱۸، ۱۹، ۲۶] ولی در سال‌های اخیر در چندین مطالعه [۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷] انگشت‌نگاری رسوب به عنوان یک روش مفید و کارا جهت شناسایی منابع رسوبات بادی و کمی نمودن سهم آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. در سال‌های اخیر عدم قطعیت مربوط به نتایج سهم‌های ارائه شده برای منابع رسوب به وسیله مدل‌های ترکیبی در مطالعه انگشت‌نگاری توجه زیادی به خود جلب نموده است [۳۴]. در مطالعات مختلفی، به منظور بررسی عدم قطعیت مربوط به سهم منابع رسوبات آبی ارائه شده توسط مدل‌های ترکیبی، از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو<sup>۷</sup> استفاده شده است [۲۲، ۸، ۳۵، ۳۳، ۱۰، ۹، ۳۰، ۳۱]. در مطالعات دیگر [۲۵، ۲۷، ۲۱] به منظور بررسی عدم قطعیت مدل‌های ترکیبی، روش بیزین مورد استفاده قرار گرفته شده است. اخیراً، محققان از یک مدل ترکیبی بیزین به منظور بررسی عدم قطعیت مرتبط با سهم منابع رسوبات بادی در دشت یزد-اردکان استفاده نمودند [۱۷]. با توجه به اینکه حرکت و جابجایی تپه‌های ماسه‌ای در منطقه مورد مطالعه می‌تواند اثرات مخربی بر مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی، مناطق ویژه اقتصادی و

4. Fingerprinting

2. Composite Fingerprint

6. Uncertainty

7. Monte Carlo simulation

1. Genesis

2. On-site effects

3. Off-site effects

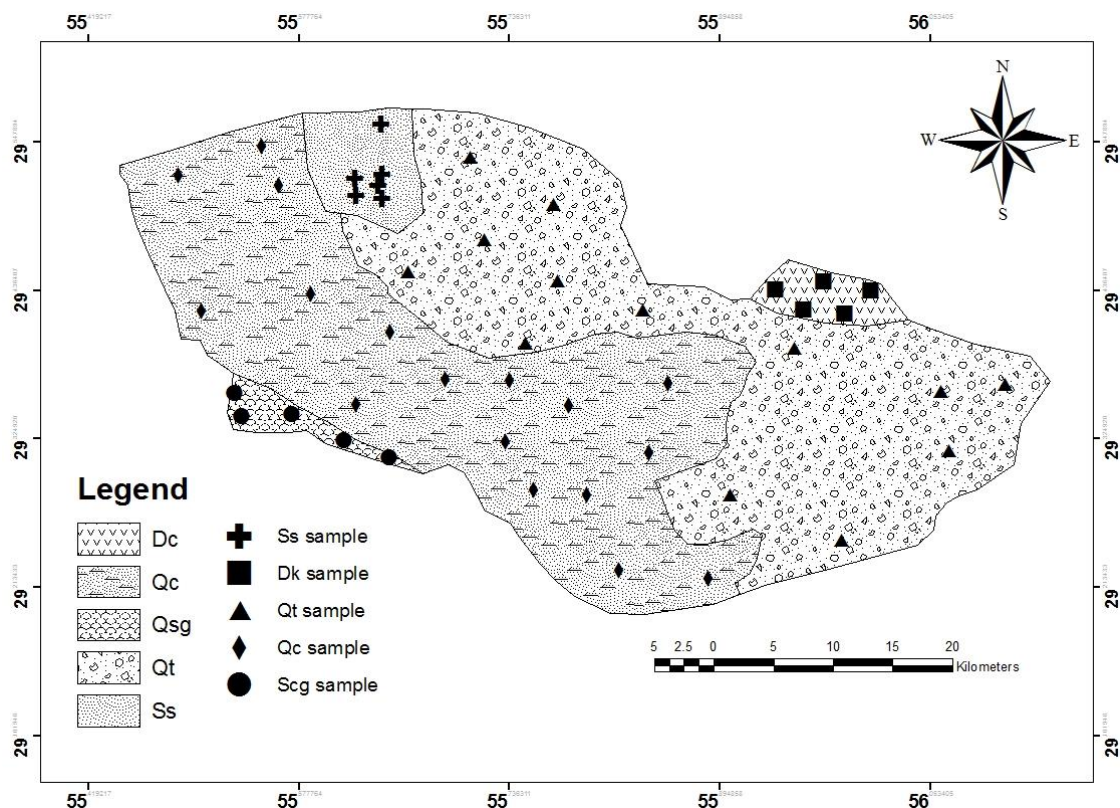
زمین‌شناسی (Qt)، ۴۶/۵ درصد از دشت رسی (واحد زمین‌شناسی Qc)، ۱/۸ درصد از نمک و گچ (واحد زمین‌شناسی Qsg)، ۲/۴ درصد از مخلوط شیست‌ها، شیست‌های سبز و میکا (سازند زمین‌شناسی Dc) و ۴/۳ درصد از پهنه‌های ماسه‌ای (واحد زمین‌شناسی Ss) تشکیل شده است (شکل ۱). بر طبق گلباد سالیانه، بادهای غالب منطقه از جهات جنوب شرقی، جنوب و جنوب غربی می‌وزند. همچنین، بادهای فرعی از جهات شرقی و غربی در منطقه مورد مطالعه وجود دارد. مهم‌ترین کاربری‌ها در منطقه مورد مطالعه شمال اراضی مرتعی، کشاورزی، اراضی بایر و مناطق مسکونی و اقتصادی می‌باشد. با توجه به اهمیت موضوع، شناسایی منابع تولید‌کننده رسوب و تعیین سهم کمی آن‌ها به منظور جلوگیری از اثرات زیان‌بار بر روی منطقه ویژه اقتصادی و فرودگاه ضروری می‌باشد.

فرودگاه داشته باشد، شناسایی مناطق منبع آن‌ها ضروری می‌باشد. بنابراین هدف از این تحقیق، کمی نمودن عدم قطعیت مرتبط با سهم منابع رسوبات بادی با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو می‌باشد.

## ۲. روش شناسی

### ۱,۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده عرض جغرافیایی ۱۹' تا ۲۹° ۵۷' شمالی و طول ۱۴' ۵۵° تا ۴۴' ۵۵° واقع شده است. پهنه‌های ماسه‌ای یک مشکل جدی برای فرودگاه سیرجان و منطقه ویژه اقتصادی در قسمت شمالی منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شود. مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۶۳۳ کیلومترمربع شامل ۴۵ درصد منطقه از تراس‌ها و مخروط‌افکنه‌های کواترنر (واحد



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

## ۲،۲. روش کار

## ۱،۲،۲. نمونه برداری و اندازه گیری های آزمایشگاهی

بر اساس نقشه زمین شناسی، مناطق رسوب و منابع بالقوه تولیدکننده رسوبات بادی در منطقه مورد مطالعه تعریف گردید. واحدهای زمین شناسی  $Q_c$ ،  $Q_t$ ،  $Q_{sg}$  و  $D_c$  به عنوان منابع بالقوه تولیدکننده رسوب و واحد  $S_s$  به عنوان منطقه رسوب در نظر گرفته شد. بدین منظور، تعداد ۴۰ نمونه سطحی از منابع رسوب شامل ۱۳ نمونه از  $Q_t$ ، ۱۷ نمونه از  $Q_c$ ، ۵ نمونه از  $Q_{sg}$  و ۵ نمونه از  $D_c$  جمع آوری گردید و همچنین ۶ نمونه رسوب از  $S_s$  (پهنه های ماسه ای) به عنوان منطقه رسوب برداشت گردید. موقعیت نقاط نمونه برداری شده در شکل ۱ نشان داده شده است. پس از جمع آوری نمونه ها، از محلول Aqua Regia (نسبت ۳:۱؛ اسید هیدروکلریک به اسید نیتریک) [۸] به منظور آماده سازی آن ها به منظور اندازه گیری غلظت عناصر استفاده گردید. پس از آماده سازی نمونه ها، غلظت ۸ عنصر شامل  $Ca$ ،  $Cu$ ،  $Fe$ ،  $K$ ،  $Mg$ ،  $Mn$ ،  $Na$  و  $Zn$  با استفاده از دستگاه جذب اتمی (AAS) اندازه گیری گردید و به عنوان ردیاب مورد استفاده قرار گرفت.

## ۲،۲،۲. تفکیک منابع رسوبات بادی

یک فرآیند آماری دو مرحله ای پیشنهاد شده برای شناسایی ترکیب ردیاب های بهینه به منظور تشخیص منابع رسوبات بادی در دشت سیرجان مورد استفاده قرار گرفت [۵]. در مرحله اول، با استفاده از آزمون  $H$  کروسکال والیس توانایی ردیاب ها به منظور تفکیک منابع رسوب ( $p > 0.05$ ) مورد بررسی قرار می گیرد. در مرحله دوم، یک الگوریتم آنالیز تابع تشخیص (DFA) گام به گام بر پایه کمیته سازی ویلکس لامبدا به منظور انتخاب ردیاب های بهینه از بین ردیاب های عبوری از مرحله اول آماری مورد استفاده قرار می گیرد. مطالعات متعددی به

منظور تفکیک منابع رسوبات از این فرآیند آماری دو مرحله ای استفاده نمودند [۳۳، ۱۶، ۱۷، ۲۵، ۱۸، ۶، ۸].

## ۳،۲،۲. کمی نمودن سهم منابع رسوبات بادی

بدین منظور از مدل ترکیبی پیشنهاد شده [۵] استفاده گردید (معادله ۱).

$$f(X_j) = \sum_{i=1}^n \left( (C_i - \sum_{j=1}^m S_j \cdot A_{j,i}) / C_i \right)^2 \quad (\text{رابطه ۱})$$

که  $C_i$  غلظت ردیاب بهینه  $i$ ام در نمونه های رسوب بادی،  $S_j$  سهم فرضی منبع  $j$ ام (منابع  $Q_c$ ،  $Q_t$ ،  $Q_{sg}$  و  $D_c$ )،  $A_{j,i}$  غلظت ردیاب بهینه  $i$ ام در منبع  $j$ ام،  $n$  تعداد ردیاب های بهینه، و  $m$  تعداد منابع تأمین کننده رسوب می باشد. معادله بالا با رعایت دو شرط که سهم فرضی منابع بین صفر و یک باشد و مجموع سهم فرضی منابع برابر یک باشد حل می شود. برای هر یک از ردیاب های بهینه، معادله بالا تکرار می شود و بنابراین به تعداد ردیاب ها، معادله وجود خواهد داشت و مدل چند متغیره ترکیبی با تعدادی معادله مشخص خواهد شد. با حل این معادلات می توان سهم هر یک از منابع مختلف رسوب را به دست آورد. مطالعات متعددی [۸، ۱۲، ۱۶، ۷، ۲۶] از یک مدل ترکیبی برای کمی نمودن سهم منابع رسوبات استفاده کرده اند.

## ۴،۲،۲. کمی نمودن عدم قطعیت سهم منابع رسوبات

## بادی با روش شبیه سازی مونت کارلو

یکی از متداول ترین روش ها برای تحلیل عدم قطعیت مدل های مختلف، روش مونت کارلو می باشد. در روش مونت کارلو یک توزیع برای کمیت های ورودی مثل  $x$  و  $d$ ،  $g(x)$  و  $g(d)$  در نظر گرفته می شود و آن ها را در داخل مدل قرار می دهند تا  $f(y)$  یا همان توزیع خروجی مدل به دست آید. در واقع روش مونت کارلو برای برآورد عدم قطعیت ناشی از ورودی های مدل استفاده می شود. در این تحقیق، با استفاده از میانگین و انحراف معیار داده های مشاهداتی، برای هر یک از ردیاب های بهینه داده های تصادفی با توزیع

<sup>2</sup> . Discriminant Function Analysis

<sup>1</sup> . Optimum Composite Fingerprints

منابع رسوبات بادی در سطح ۹۹ درصد را دارا می‌باشند. ردیاب‌هایی که قادر بودند منابع رسوبات تفکیک کنند به مرحله دوم آماری وارد شده و از بین آن‌ها ردیاب‌های بهینه با استفاده از DFA گام‌به‌گام شناسایی شدند که نتایج آن در جدول (۱) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که ۴ ردیاب K, Fe, Mg و Cu به عنوان ردیاب بهینه برای تفکیک منابع انتخاب شدند و سپس به عنوان پارامتر ورودی به مدل ترکیبی برای کمی نمودن سهم منابع رسوبات مورد استفاده قرار گرفتند.

به منظور نشان دادن پراکنش نمونه‌های برداشت شده و بررسی دقت نمونه‌برداری، نمودار پراکنندگی نمونه‌ها توسط توابع اول و دوم ترسیم گردید (شکل ۲).

نرمال با تکرار ۱۰۰۰۰ بار تولید گردید و در نهایت محدوده عدم قطعیت مرتبط با سهم هر منبع در سطح ۹۵ درصد در MATLAB محاسبه گردید. به منظور بررسی عدم قطعیت سهم منابع رسوبات از روش شبیه‌سازی مونت کارلو در برخی مطالعات استفاده شده است [۸،۱].

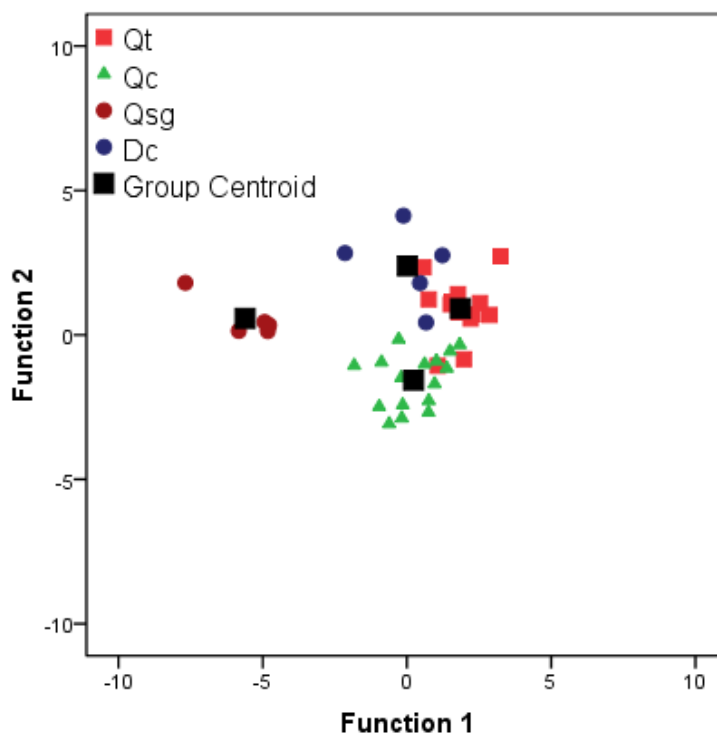
### ۳. نتایج

#### ۱،۳. تفکیک منابع رسوبات بادی

بر طبق نتایج حاصل از تست H کروسکال‌والیس، از بین ۸ ردیاب اندازه‌گیری شده، هفت ردیاب توانایی تفکیک

جدول ۱. انتخاب ردیاب‌های بهینه به منظور تفکیک منابع رسوبات بادی با استفاده از DFA گام‌به‌گام

گام ورود	ردیاب	ویلیکس لامبدا	p-value
۱	K	۰/۲۳۱	<۰/۰۰۱
۲	Fe	۰/۱۱۵	<۰/۰۰۱
۳	Mg	۰/۰۵۷	<۰/۰۰۱
۴	Cu	۰/۰۳۳	<۰/۰۰۱



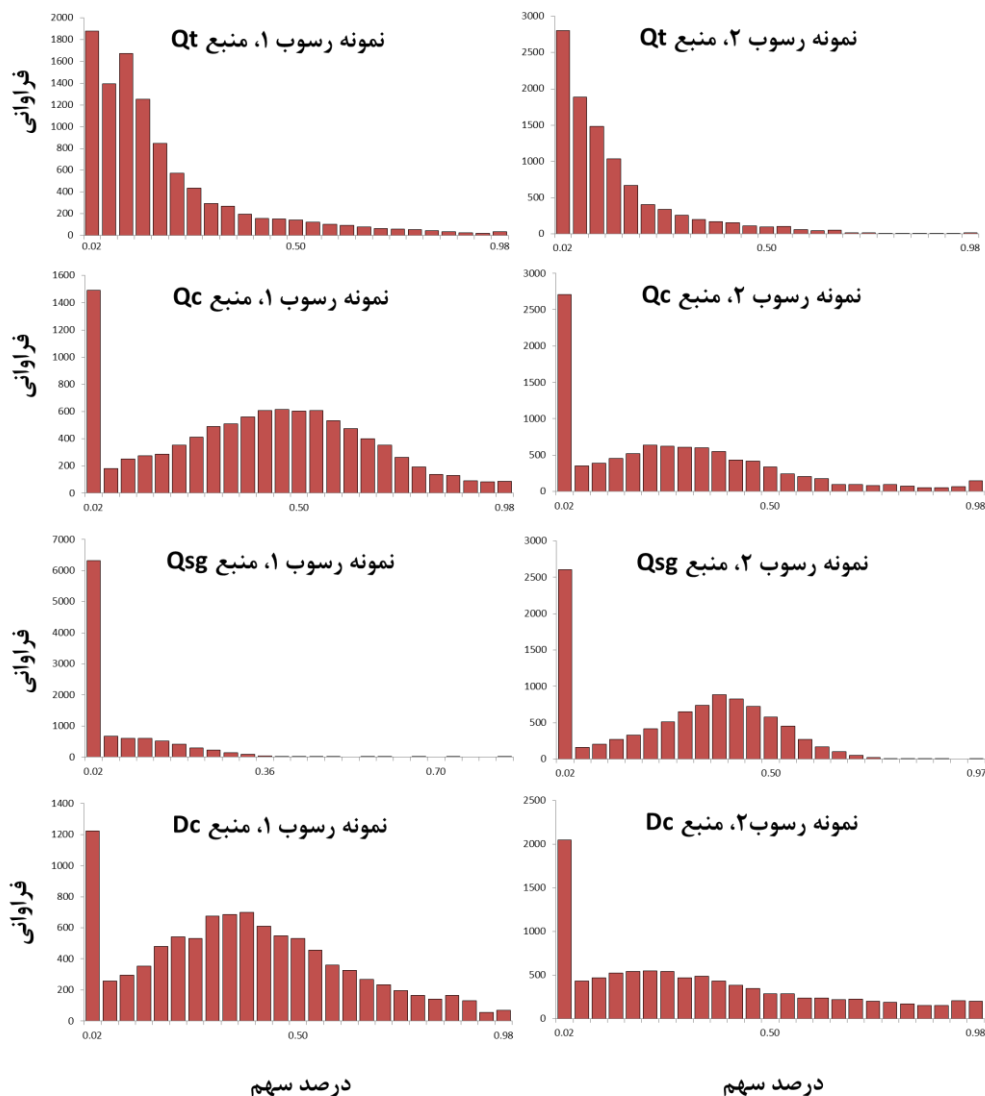
شکل ۲. جداسازی منابع رسوبات بادی با استفاده از توابع یک و دو

گزارش شده است [۱۸، ۱۹].

### ۲،۳. عدم قطعیت مرتبط با سهم منابع رسوبات بادی

به منظور کمی نمودن عدم قطعیت مرتبط با سهم منابع رسوب از روش شبیه سازی مونت کارلو در سطح ۹۵ درصد استفاده شد که نتایج آن در اشکال ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است. محدوده عدم قطعیت مربوط به سهم منابع در سطح ۹۵ درصد برای نمونه های رسوب شماره ۱ و ۲ در شکل (۳) نشان داده شده است.

نتایج نشان داد که ۸۷/۵ درصد از نمونه های برداشت شده به درستی طبقه بندی شده اند. اگرچه تفکیک منابع به خوبی صورت گرفت ولی اندکی هم پوشانی بین نمونه های منبع Dc و Qt مشاهده گردید که می توان این موضوع را به همگنی منطقه مورد مطالعه از نظر زمین شناسی مرتبط نمود. در مطالعه ای منابع رسوبات بادی در دشت یزد-اردکان با استفاده از شش ردیاب بهینه شامل Rb، Sr، Ga، (La/Yb)n،  $^{87}\text{Sr}$  و  $\delta\text{Ce}$  تفکیک گردید و دقت طبقه بندی نمونه های منابع ۸۱/۶ درصد



شکل ۳. نتایج شبیه سازی مونت کارلو برای نمونه های شماره ۱ و ۲ رسوب بادی.

محور افقی درصد سهم و محور عمودی فرآوانی سهم های مدل سازی شده را نشان می دهد. تعداد دفعات مدل سازی ۱۰۰۰۰ بار می باشد.

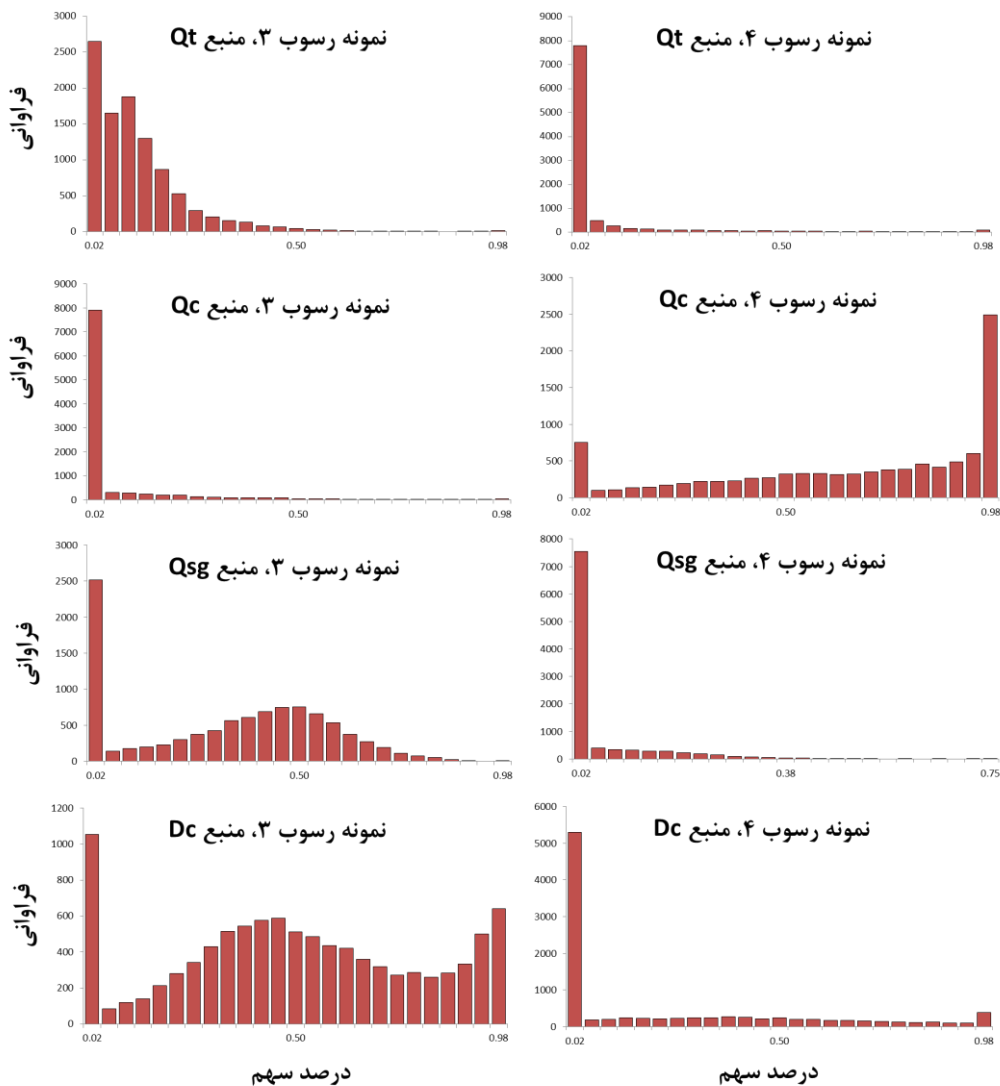
رسوب ۱ در سطح ۹۵ درصد (صدک های ۹۷/۵ و ۲/۵

دامنه سهم منابع Qt، Qc، Qsg و Dc برای نمونه

۰٪- (با میانه برابر با ۳۱ درصد) و ۹۵٪- (با میانه برابر با ۲۷ درصد) بدست آمد.

نتایج شبیه سازی مونت کارلو در سطح ۹۵ درصد برای سهم منابع نمونه های رسوب ۳ و ۴ در شکل ۴ نشان داده شده است.

درصد) به ترتیب ۷۴٪- (با میانه<sup>۲</sup> برابر ۱۲ درصد)، ۸۸٪- (با میانه برابر با ۴۱ درصد)، ۲۹٪- (با میانه برابر ۰ درصد) و ۸۸٪- (با میانه برابر با ۳۶ درصد) محاسبه گردید. همچنین دامنه سهم منابع Qt، Qc، Qsg و Dc برای نمونه رسوب ۲، به ترتیب ۵۷٪- (با میانه برابر ۹ درصد)، ۸۹٪- (با میانه برابر با ۲۳ درصد)، ۶۲



شکل ۴. نتایج شبیه سازی مونت کارلو برای نمونه های شماره ۳ و ۴ رسوب بادی.

محور افقی درصد سهم و محور عمودی فراوانی مدل سازی شده را نشان می دهد. تعداد دفعات مدل سازی ۱۰۰۰۰ بار می باشد.

درصد)، ۵۲٪- (با میانه برابر با ۰ درصد)، ۷۲٪- (با میانه برابر با ۳۶/۵ درصد) و ۱۰۰٪- (با میانه برابر ۴۹

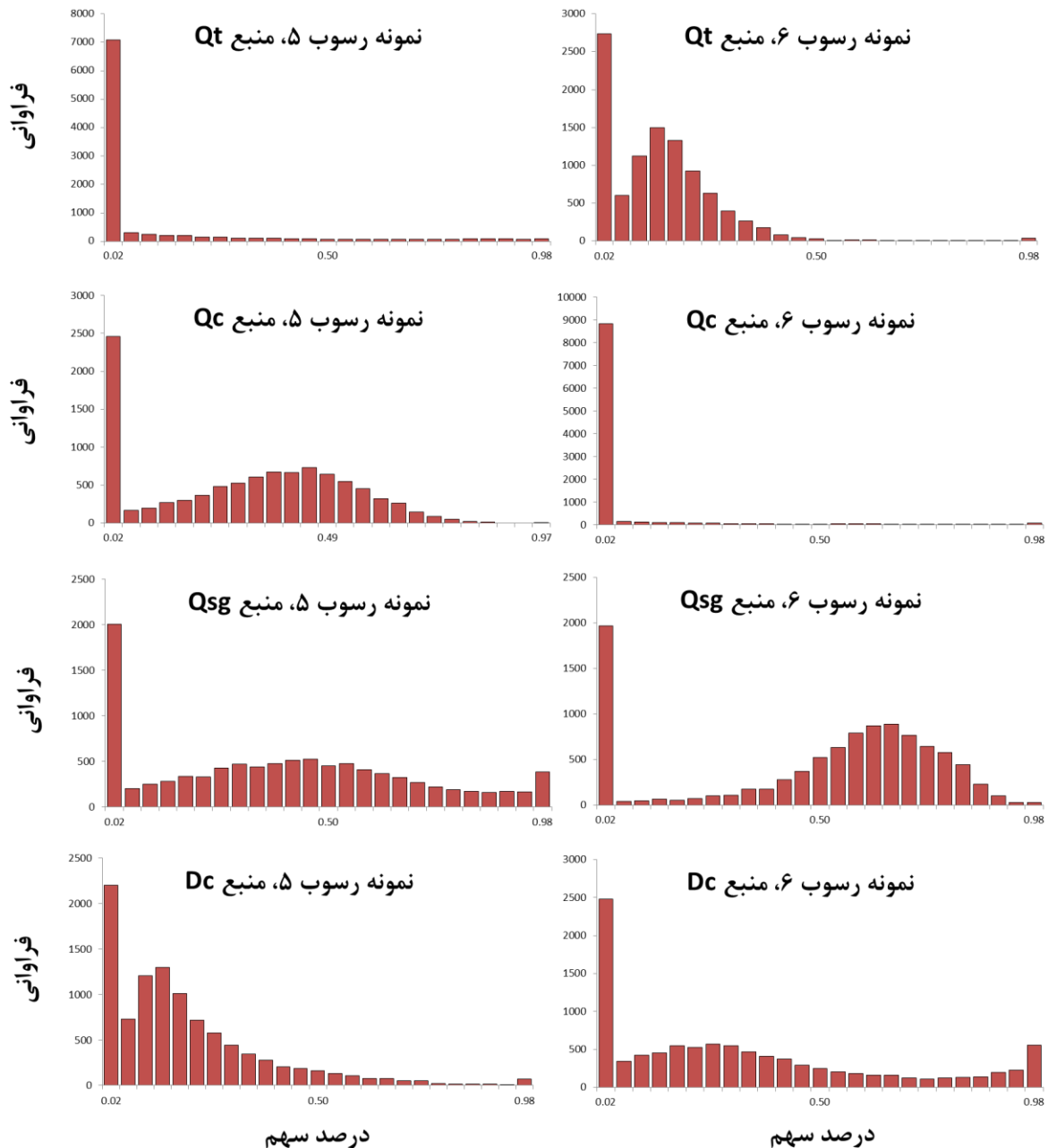
بر طبق نتایج، دامنه سهم منابع Qt، Qc، Qsg و Dc برای نمونه رسوب ۳ به ترتیب ۴۳٪- (با میانه برابر ۹

1 . Percentile  
2 . Median



با ۰ درصد بدست آمد. نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو به منظور بررسی عدم قطعیت مرتبط با سهم منابع رسوبات بادی در شکل ۵ نشان داده شده است.

در صد) محاسبه گردید. سهم منابع Qt، Qc، Qsg و Dc در تأمین رسوب برای نمونه ۴ به ترتیب ۰.۷۲٪- (با میانۀ برابر ۰ درصد)، ۰.۱۰۰٪- (با میانۀ برابر با ۷۴ درصد)، ۰.۲۹٪- (با میانۀ برابر ۰ درصد) و ۰.۱۰۰٪- (با میانۀ برابر



شکل ۵. نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو برای نمونه‌های شماره ۵ و ۶ رسوب بادی.

محور افقی درصد سهم و محور عمودی فراوانی مدل‌سازی شده را نشان می‌دهد. تعداد دفعات مدل‌سازی ۱۰۰۰۰ بار می‌باشد.

درصد)، ۰.۱۰۰٪- (با میانۀ برابر با ۳۸ درصد)، ۰.۷۰٪- (با میانۀ سهم برابر با ۳۳ درصد) و ۰.۸۹٪- (با میانۀ سهم

دامنه سهم منابع Qt، Qc، Qsg و Dc در تأمین رسوب برای نمونه ۵ به ترتیب ۰.۶۸٪- (با میانۀ سهم برابر با ۱۵



فعالیت‌های مدیریتی در این دو واحد متمرکز شوند. از سوی دیگر، عدم قطعیت کامل (۰-۱۰۰٪) برای برخی منابع رسوب محاسبه گردید که با نتایج برخی مطالعات [۴] که به منظور بررسی عدم قطعیت سهم منابع رسوب آبی در انگلستان از روش شبیه سازی مونت کارلو استفاده کرده‌اند، مشابهت دارد. باید توجه داشت که سطوح بالای عدم قطعیت (عدم قطعیت کامل یا ۰-۱۰۰٪) مربوط به تعداد کم نمونه‌ها، پیچیدگی محاسبات و اندازه‌گیری‌ها می‌باشد [۲۳]. برای تعیین سهم منابع رسوب در یک حوضه مخزن آب شهری از روش شبیه سازی مونت کارلو استفاده شده است [۲۳]. استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو به منظور بررسی عدم قطعیت سهم منابع رسوبات آبی رایج می‌باشد و در بسیاری مطالعات به کار گرفته شده است [۹، ۳۱، ۳۶، ۲۸، ۳، ۳۲]. متأسفانه در ارتباط با استفاده از رویکردهای مدل سازی عدم قطعیت در زمینه انگشت‌نگاری رسوبات بادی مطالعات چندانی صورت نگرفته است. از این موارد معدود می‌توان به مطالعه‌ای اشاره نمود که در آن، یک مدل بیزین به منظور کمی نمودن سهم منابع رسوبات بادی در دشت یزد-اردکان مورد استفاده قرار گرفته شده است [۱۷]. بنابراین پیشنهاد می‌گردد به منظور کاهش عدم قطعیت مرتبط با سهم منابع رسوبات بادی، تعداد نمونه‌های برداشتی از مناطق منبع رسوب افزایش یابد و همچنین به منظور شناسایی و تفکیک بهتر منابع رسوب از عناصر نادر خاکی و شاخص‌های مرتبط با آن‌ها (مانند ناهنجاری‌های سریوم و یوروپیم و همچنین نسبت‌های عناصر نادر خاکی) استفاده گردد.

برابر ۰ درصد) محاسبه گردید. دامنه سهم منابع  $Q_c$ ،  $Q_t$ ،  $Q_{sg}$  و  $D_c$  برای نمونه رسوب ۶، به ترتیب ۰-۴۲٪ (با میانه سهم برابر با ۱۴ درصد)، ۰-۶۲٪ (با میانه سهم برابر با ۰)، ۰-۸۶٪ (با میانه سهم برابر با ۵۸ درصد) و ۰-۱۰۰٪ (با میانه سهم برابر با ۲۶ درصد) آمد.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

کمی‌سازی سهم منابع رسوبات بادی و عدم قطعیت مرتبط با آن‌ها برای برنامه‌ریزی و مدیریت محیطی و انتخاب بهترین استراتژی‌ها برای مقابله با اثرات درون منطقه‌ای و برون منطقه‌ای فرسایش بادی ضروری می‌باشد. در این تحقیق، پس از تفکیک منابع رسوبات بادی با استفاده از یک فرآیند آماری دو مرحله‌ای و انتخاب ردیاب‌های بهینه به عنوان پارامترهای ورودی به مدل ترکیبی، به منظور کمی‌سازی عدم قطعیت مرتبط با سهم منابع رسوبات بادی در دشت سیرجان، استان کرمان از روش شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده گردید.

مهم‌ترین منبع تأمین‌کننده رسوب برای نمونه شماره ۱، منبع  $Q_c$  با دامنه سهم برابر ۰-۸۸٪ می‌باشد که این سازند در برگیرنده دشت رسی (دق) می‌باشد. در مطالعه‌ای، منبع  $Q_c$  به عنوان یک منبع مهم برای برخی از رسوبات بادی دشت یزد-اردکان معرفی گردید [۱۹]. همچنین مهم‌ترین منابع برای نمونه‌های رسوب ۴ و ۵، منبع  $Q_c$  با دامنه سهم ۰-۱۰۰٪ درصد شناخته شد. مهم‌ترین منبع برای نمونه‌های رسوب ۲، ۳ و ۶ منبع  $D_c$  (مخلوط شیت‌ها و میکاها) به ترتیب با دامنه سهم ۰-۹۵٪، ۰-۱۰۰٪ و ۰-۱۰۰٪ شناخته شدند. به طور کلی، منابع غالب برای نمونه‌های رسوب دشت سیرجان، واحدهای زمین‌شناسی  $Q_c$  و  $D_c$  شناسایی شدند. به منظور کاهش اثرات درون منطقه‌ای و برون منطقه‌ای فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه نیاز است که

## References

- [1]. 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.
- [2]. Carter, J., Owens, P. N. Walling, D. E., and Leeks, G. J. L., (2003). "Fingerprinting suspended sediment sources in a large urban river system." *The Science of the Total Environment* 314–316: 513–534.
- [3]. 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*, 557-558, 123–133. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.03.028.
- [4]. Collins, A. L., Williams, L. J., Zhang, Y. S., Mari us, M., Dunga it, 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*, 196, 76 – 93. doi.org/10.1016/j.agee.2014.06.018
- [5]. 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*, 79, 239–254
- [6]. 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*, 24, 1106-1122. doi: 10.1002/hyp.7573
- [7]. Collins, A. L., Walling, D. E., and Leeks, G. J. L. (1998). Use of composite fingerprints to determine the provenance of the contemporary suspended sediment load transported by rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23, 31-52. doi. 10.1002/(SICI)1096-9837(199801)23:1<31::AID-ESP816>3.0.CO;2-Z
- [8]. 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*, 26 (13), 1962–1983. doi:10.1002/hyp.8283.
- [9]. 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*, 27 (6), 959–974. doi:10.1002/hyp.9652.
- [10]. 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*, 13 (10), 1708–1723. doi:10.1007/s11368-013-0725-z.
- [11]. Ekhtesasi, M.R., Ahmadi, H., Baghestani, N., Khalili, A., and Fayznia, S. (1996). Sand dunes fingerprinting in Yazd-Ardakan. *Forests, Range and watershed management organization press*. 260p.
- [12]. Franz, C., Makeschin, F., Weiß, H., and Lorz, C. (2014). Sediments in urban river basins: Identification of sediment sources within the Lago Paranoá Catchment, Brasilia DF, Brazil - using the fingerprint approach. *Science of the Total Environment*, 466-467, 513–523. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.07.056.
- [13]. Gholami, H. (2016). Fingerprinting, new approach to source study of dust. The 34<sup>th</sup> National and 2<sup>nd</sup> International Geosciences Congress. 22-24 Feb. 2016, Tehran, Iran.
- [14]. Gholami, H., Feiznia, S., Ahmadi, S.J., Ahmadi, H., Nazari Samani, A.A., and Nohegar, A. (2015). The Contribution of Different Geomorphologic Facies in Sand Dunes Sediments Supply Using Sediments Tracing (Case Study: Ashkzar Sand Dunes). *Desert Management*, No. 4, Autumn & Winter, pp 31-42.
- [15]. Gholami, H., Taheri Moghadam, E., Najafi Ghiri, M., and Mahdavi, R. (2015). Determination of land uses contribution to production of sanddune sediments using fingerprinting approach (case study: negar ,arg,bardsir, kerman province). *Journal of environmental erosion research*, vol. 5: 2(18), 46-54.
- [16]. 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*, 10:163. doi. 10.1007/s12517-017-2917-0.

- [17]. Gholami, H., Telfer, M. W., Blake, W. H., and Fathabadi, A. (2017b) Aeolian sediment fingerprinting using a Bayesian mixing model. *Earth Surf. Process. Landforms*, 42, 2365-2376. doi: 10.1002/esp.4189.
- [18]. Haddadchi, A., Olley, J., and Laceby, P. (2014). Accuracy of mixing models in predicting sediment source contributions. *Science of the Total Environment*, 497-498, 139-152. dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.105
- [19]. Haddadchi, A., Ryder, D., Evrard, O., and 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
- [20]. Horowitz, A. J. (2017). A question of uncertainty. *Hydrological Processes*, 1-2. doi. 10.1002/hyp.111 42
- [21]. Massoudieh, A., Gellis, A., Banks, W.S., and Wieczorek, M.E. (2013). Suspended sediment source apportionment in Chesapeake Bay Watershed using Bayesian chemical mass balance receptor modeling. *Hydrological Processes*, 27 (24), 3363–3374. doi:10.1002/hyp.9429.
- [22]. 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*, 39 (3), 1056. doi:10.1029/2001wr000794.
- [23]. Muhs, D. R. (2017). Evaluation of simple geochemical indicators of Aeolian sand provenance: Late Quaternary dune fields of North America revisited. *Quaternary Science Reviews*, 171, 260-296. doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.07.007
- [24]. Nickling, W.G., and Neuman, C.M. (2009). *Aeolian sediment transport, Geomorphology of Desert Environments*. Springer, pp. 517–555.
- [25]. Nosrati, K. (2016). Ascribing soil erosion of hillslope components to river sediment yield. *Journal of Environmental Management*, 1-10. http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.011
- [26]. Nosrati, K., Govers, G., Ahmadi, H., Sharifi, F., Amoozegar, 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*, 28, 136-151. doi.org/10.1016/S1001-6279(11)60082-6
- [27]. Nosrati, K., Govers, G., Semmens, B.X., and Ward, E.J. (2014). A mixing model to incorporate uncertainty in sediment fingerprinting. *Geoderma*, 217-218, 173–180. doi:10.1016/j.geoderma.2013.12.002.
- [28]. 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*, 228, 303–319. doi:10.1016/j.geomorph.2014.09.016.
- [29]. Sircombe, A. (1999). "Tracing provenance through the isotope ages of littoral and sedimentary detrital zircon, eastern Australia." *Sedimentary Geology* 124: 47-67.
- [30]. 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*, 27 (6), 943–958. doi:10.1002/hyp.9537.
- [31]. 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*, 473-474, 642–650. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.12.052.
- [32]. Vale, S. S., Fuller, I. C., Procter, J. N., Basher, L. R., and 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. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.11.003
- [33]. 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*, 13(10), 1692–1707. doi:10.1007/s11368-013-0758-3.
- [34]. Walling, D.E. (2005). Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. *Science of the Total Environment*, 344 (1-3), 159–184. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.02.011.

- [35]. 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*, 180, 90–102. doi:10.1016/j.agee.2012.02.002
- [36]. Zhang, X. C., and Liu, B. L. (2016). Using multiple composite fingerprints to quantify fine sediment source contributions: A new direction. *Geoderma*, 268, 108-118. dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.031.