

## نقش ضرایب تصحیح در منشأیابی رسوبات تپه‌های ماسه‌ای ساحل غربی دریاچه ارومیه

حسام احمدی بیرگانی\* - استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۱۰

### چکیده

روش منشأیابی یا انگشت‌نگاری رسوب با استفاده از حل معادلات تابع هدف یا مدل ترکیبی، برخلاف مدل‌های رایج فرسایش و رسوب در دنیا، نتایج قابل قبول‌تری با عدم قطعیت پایین‌تری از میزان تولید رسوب ارائه می‌دهد. الحاقیات و پیوست‌های موجود به این تابع ضرایب تصحیحی هستند که شامل ضریب تصحیح ماده آلی، اندازه ذرات، و وزن تشخیصی ردیاب‌اند و از این ضرایب، بدون هیچ‌گونه توجه و ضرورتی، در بیشتر پژوهش‌ها استفاده می‌شود. در تحقیق پیش رو اهمیت وجودی این ضرایب تصحیح در خصوص منشأیابی تپه‌های ماسه‌ای غرب دریاچه ارومیه در واحدهای ژئومورفولوژی / سنگ‌شناسی بررسی شده است. نتایج این تحقیق نشان داد سهم منابع رسوب قبل از اعمال ضرایب تصحیح، پهنه هموار ماسه‌ای (Qmf) به میزان ۴۷٫۷۶ درصد و مخروط‌افکنه‌ها و پادگانه‌های آبرفتی (Qt) به میزان ۵۲٫۲۴ درصد است؛ در صورتی که بعد از اعمال ضرایب تصحیح مناطق منشأ به مخروط‌افکنه سنگریزه‌ای کوهرفتی (Qf) به میزان ۶۷٫۵۰ درصد و شیل نازک لایه همراه آهک دولومیتی ضخیم (Klshi) به میزان ۳۲٫۵۰ درصد تغییر یافته است. لذا، اگر از ضرایب تصحیح موجود در تابع هدف به‌درستی و با دلیل علمی استفاده نشود، نه تنها ممکن است سهم منابع احتمالی تولیدکننده رسوب بیشتر یا کمتر برآورد شود، بلکه منابع تولید رسوب تغییر یابد و با منابع دیگر جای‌گزین شود.

کلیدواژه‌ها: تپه‌های ماسه‌ای، دریاچه ارومیه، ضرایب تصحیح، منشأیابی رسوب.

### مقدمه

امروزه، بر کسی پوشیده نیست که رخداد‌های مخربی همچون بیابان‌زایی و تخریب اراضی ناشی از تغییرات آب و هوایی و فعالیت انسان‌ها همه اقلیم‌ها به‌خصوص اقلیم‌های خشک، نیمه‌خشک، و خشک نیمه‌مرطوب را تحت تأثیر قرار داده است (گزارش کنوانسیون مقابله با بیابان‌زایی، ۲۰۱۵). بیابان‌زایی، به‌منزله فرایندی خزننده، ممکن است خود را در قالب مشکلاتی همچون تشکیل و حرکت تپه‌های ماسه‌ای و رخداد‌های گرد و غبار (احمدی بیرگانی و همکاران، ۲۰۱۸<sub>a</sub>، ۲۰۱۷)، شوری گسترده خاک (دالیاکوپولوس و همکاران، ۲۰۱۶)، کاهش حاصل‌خیزی اراضی کشاورزی، و رشد محصولات (ژائو و همکاران، ۲۰۰۶) نشان دهد. در حوضه‌های آبریز داخلی، چاله‌های کویری و دریاچه‌های شور نیز می‌توانند درگیر فرایندهای بیابان‌زایی، اعم از کاهش سطح آب دریاچه‌ها (آقاچوچک و همکاران، ۲۰۱۵)، تداخل آب شور و شیرین (کلاسن و آلن، ۲۰۱۷)، شوری آب زیرزمینی در آبخوان‌های ساحلی (پلت-جیروود و همکاران، ۲۰۱۶)، ظهور رخداد‌های گرد و غبار (احمدی بیرگانی و همکاران، ۲۰۱۵)، آسیب به جوامع غیرزیستی و زیستی جانوری و گیاهی

(داسیلوا و همکاران، ۲۰۱۳)، و حتی مشکلات اجتماعی و اقتصادی (گزارش برنامه محیط‌زیست ملل متحد، ۲۰۱۲) شوند؛ همان‌چیزی که به‌خوبی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه دیده می‌شود.

تپه‌های ماسه‌ای و ماسه‌زارها، به‌منزله یکی از اشکال منحصربه‌فرد ژئومورفولوژیک (یانگ و همکاران، ۲۰۱۱)، در سراسر جهان، مانند منطقه شمال آفریقا، خاورمیانه، آسیای مرکزی، حاشیه سواحل خلیج فارس، دریای مکران، گسترده شده‌اند و مناطق اطراف خود را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده‌اند؛ خالی‌شدن سکنه روستایی مهم‌ترین دستاورد اجتماعی و اقتصادی آن است (احمدی بیرگانی و همکاران، ۲۰۱۷). بیشتر مطالعات در زمینه تپه‌های ماسه‌ای و ماسه‌زارها به مطالعات زمین‌شناسی دیرینه و به دوره هولوسن مربوط می‌شود (هو و همکاران، ۲۰۱۷؛ یانگ و همکاران، ۲۰۱۷)؛ اثرهای تغییرات اقلیم جهانی و مشکلات انسان‌زاد در زمان کنونی به‌خوبی مطالعه نشده است. بنابراین، با توجه به فرایندهای شدید بیابان‌زایی در جهان و به‌خصوص در کشور ایران نیاز است تا مناطقی را که امروزه شروع به تشکیل و تکامل تپه‌های ماسه‌ای نموده‌اند به‌خوبی مطالعه کرد تا فرایندهای ژئومورفولوژی بادی<sup>۱</sup> منطقه به‌خوبی درک شود.

طی بیست سال گذشته، روند خشک‌شدن سریع دریاچه ارومیه و کاهش ارتفاع آب آن از سطح تراز ۱۲۷۶ متر در طول سالیان متوالی به حدود ۱۲۷۰ متر در سالیان اخیر باعث کاهش حجم آب آن از میزان ۲۵ میلیارد متر مکعب به حدود ۱ میلیارد متر مکعب و افزایش خشکی سطح آن به میزان بیش از ۹۰ درصد مساحت قبلی (شکل ۱) شده است. این امر تشکیل و پیشروی تپه‌های ماسه‌ای وسیعی را در سطح ساحل غربی این دریاچه باعث شده است که زمانی به دلیل بالابودن آب دریاچه ارومیه منطقه عاری از تپه‌های ماسه‌ای بوده است. اما، امروزه همگان با یک سؤال اساسی روبه‌رو هستند و آن این است که این تپه‌های ماسه‌ای چگونه و چطور متولد شده‌اند؟ منبع و محل تشکیل آن‌ها کجاست؟ ارتباط حوضه آبریز بالادست آن با حوضه آبریز پایین‌دست آن چگونه است؟



شکل ۱. تغییرات سطح تراز آب دریاچه ارومیه در مدت شصت سال (گزارش شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی)

مجموعه سؤالات بالا منتج به مطالعه منشأ رسوبات<sup>۱</sup> تپه‌های ماسه‌ای ساحل غربی دریاچه ارومیه شد؛ نمونه کارهای مشابه در خصوص منشأیابی رسوبات تپه‌های ماسه‌ای توسط احمدی بیرگانی و همکاران (۲۰۱۸b) و غلامی و همکاران (۲۰۱۷) در تپه‌های ماسه‌ای ماسه‌زار اشکذر یزد انجام شده است. روش‌های منشأیابی رسوبات به‌منزله روشی مهم و کارآمد برای تشخیص منبع رسوبات در محیط‌های رسوبی مختلف و متنوع شامل محیط‌های رودخانه‌ای-آبرفتی (دو و والینگ، ۲۰۱۷؛ چن و همکاران، ۲۰۱۶) و بادی و خشک (غلامی و همکاران، ۲۰۱۷؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۶) مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش علمی، از شاخص‌های گوناگونی همچون شاخص کانی‌شناختی ذرات (لیو و همکاران، ۲۰۱۶)، عناصر ژئوشیمیایی (ژانگ و لیو، ۲۰۱۶؛ لامبا و همکاران، ۲۰۱۵)، خصوصیات مغناطیسی (هاتفیلد و ماهر، ۲۰۰۹)، عناصر رادیواکتیو و ایزوتوپ (دو و والینگ، ۲۰۱۷؛ اورارد و همکاران، ۲۰۱۶)، و نوع آنزیم و نشانه‌های زیستی (الول و همکاران، ۲۰۱۶؛ نصرتی و همکاران، ۲۰۱۱) برای مطالعات منشأیابی رسوبات استفاده شده است. در این روش، ذرات رسوب تشکیل‌شده در حوضه آبریز بالادست به کمک نیروی فرساینده، اعم از باد و آب، به پایین حوضه آبریز وارد و در آنجا ته‌نشین می‌شوند. بنابراین، فهم رسوب‌زاترین و حساس‌ترین واحد مکانی مورد مطالعه به عنوان منابع تولید رسوب، اعم از واحدهای سنگ‌شناختی، کاربری‌های اراضی، و زیرحوضه‌های آبریز، بسیار مهم است (شکل ۲). ذکر این نکته لازم است که برای تعیین سهم هر واحد مکانی منبع به کمک معادله تابع هدف<sup>۲</sup> این مهم انجام می‌گیرد که در سال‌های اخیر دچار تغییراتی در شیوه محاسبه و الحاق ضرایبی شده است تا قدرت بهینه‌سازی و برآورد دقیق را محاسبه کند. یکی از این الحاقیات مهم ضرایب تصحیح<sup>۳</sup> است که هدف اصلی این پژوهش نیز محاسبه و بررسی نقش این ضرایب در تعیین هرچه بهتر یا بی‌اثر آن‌ها در سهم منابع رسوب است. پژوهش‌های فراوانی در دنیا در زمینه این ضرایب در رسوبات معلق و رودخانه‌ای در سیال آب انجام و بر نقش آن‌ها تأکید شده است (کولینز و همکاران، ۲۰۱۷، ۱۹۹۸؛ ژوراسیک و زیگلر، ۲۰۰۹)؛ ولی نقش آن‌ها در بررسی رسوبات بادی هنوز بررسی نشده است و این مهم می‌تواند به‌منزله جنبه نوآورانه این پژوهش در تعیین اثر اعمال یا عدم اعمال ضرایب تصحیح در معادله تابع هدف مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۲. مدل مفهومی روش منشأیابی رسوبات بادی و آبی در یک حوضه آبریز

1. sediment fingerprinting
2. objective function
3. correction factors

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه، بزرگ‌ترین دریاچه کشور و دومین دریاچه شور جهان، به دلیل مدیریت غلط و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب و خاک آن، در حال طی کردن روند بیابان‌زایی با سرعتی بسیار زیاد است که جای‌جای آن تغییرات منحصر به فرد خود را دارد. در محدوده غرب دریاچه ارومیه و در حوضه آبریز کهریز، که با رودخانه‌ای به همین نام تغذیه می‌شود و به دریاچه ارومیه ختم می‌گردد، در پهنه‌ای به مختصات جغرافیایی  $37^{\circ} 4'$  و  $38^{\circ} 15'$  عرض جغرافیایی و  $45^{\circ} 3'$  و  $46^{\circ} 2'$  طول جغرافیایی، بعد از پسروی آب دریاچه به میزان حدود ۷ کیلومتر، نزدیک به ۲۰۰۰ هکتار از زمین‌های مشرف به دریاچه ارومیه در محدوده روستاهای جبل‌کندی و گل‌تپه، در مدت کمتر از بیست سال با حجم وسیعی از تپه‌های ماسه‌ای پوشانده شده است و ساکنان منطقه را نیز با سوآلی اساسی روبه‌رو کرده است: منشأ این تپه‌ها کجاست و از چه ناحیه‌ای تغذیه می‌شود؟ (شکل ۳).



شکل ۳. نقشه کشور ایران، محدوده مورد مطالعه در دریاچه ارومیه و نمونه‌ای از تپه‌های ماسه‌ای ساحل غربی دریاچه ارومیه

## منشأیابی رسوبات و تعیین ضرایب تصحیح

همان‌گونه که اشاره شد، در تعیین منشأیابی رسوبات از معادله تابع هدف و بهینه‌سازی استفاده می‌شود (کولینز و همکاران، ۱۹۹۷<sub>ab</sub>، ۲۰۱۲، ۲۰۱۳). این معادله، با توجه به اینکه بر اساس یک سری پیش‌روش‌های آماری تعیین می‌شود، نیازمند این است تا از حالت فیزیکی و بدون ماهیت به معادله‌ای بر اساس عامل‌ها و الحاقیاتی رسوب‌شناختی به آن ضمیمه شود (شامل تغییراتی در اندازه رسوب، ترکیب رسوب، مجموعه تغییرات ذرات رسوب در زمان انتقال رسوب، دوری و نزدیکی به محل ته‌نشست رسوبات، فرایندهای انتقال رسوب، و ...) تا هم دقت نتایج بیشتر شود و هم اثر عامل‌های محیطی و رسوب‌شناختی به‌خوبی در منشأیابی رسوب لحاظ شود (معادله ۱).

معادله ۱ (کولینز و همکاران، ۱۹۹۷<sub>ab</sub>)

$$OF = \sum_{i=1}^n \left( \frac{S_{Sink} - \left( \sum_{j=1}^m S_{Source} \cdot P_s \cdot Z_s \cdot O_s \right)}{S_{Sink}} \right)^2 W_i \quad 0 \leq P_s \leq 1 \quad \sum_{j=1}^m P_s = 1 \quad (1)$$

که:

OF: تابع هدف (مجموعه مربعات باقی‌مانده)

n: تعداد عناصر مورد استفاده

m: تعداد گروه‌های منبع (در این مطالعه واحدهای ژئومورفولوژیکی / سنگ‌شناختی لحاظ شده‌اند)

$S_{Sink}$ : غلظت متوسط عنصر J در رسوب ته‌نشست‌یافته خروجی حوضه آبریز

$S_{Source}$ : غلظت متوسط عنصر J در گروه منبع I

$P_s$ : سهم نسبی گروه منبع I در رسوب ته‌نشست‌یافته خروجی حوضه آبریز

برای تعیین اندازه ذرات مناسب به‌منظور مطالعات منشأیابی رسوب از روش شیکر و غربال خشک استفاده شد و درصد وزنی ذرات در مش‌های ۱۸ (۱ میلی‌متر)، ۶۰ (۰٫۲۵۰ میلی‌متر)، ۸۰ (۰٫۱۷۷ میلی‌متر)، ۱۲۰ (۰٫۱۲۵ میلی‌متر)، ۱۷۰ (۰٫۰۸۸ میلی‌متر)، ۲۰۰ (۰٫۰۷۴ میلی‌متر)، ۲۷۰ (۰٫۰۵۳ میلی‌متر)، و ۴۰۰ (۰٫۰۳۷ میلی‌متر) تعیین شد. سپس، با توجه به در نظر گرفتن ذرات زیر ۶۳ میکرون (شماره مش‌های ۲۷۰ و ۴۰۰)، به دلیل جابه‌جایی و انتقال بالای ۹۵ درصد ذرات به عنوان بار رسوب معلق در رودخانه‌ها (والینگ و همکاران، ۲۰۰۰) و ۶۵ درصد ذرات به صورت بار جهشی و معلق در فرایند فرسایش بادی (بگنولد، ۱۹۴۱)، مطالعات ژئوشیمیایی و عنصری بر روی این اندازه از ذرات انجام گرفته است. به کمک معادله ۱، که از آن به نام مدل ترکیبی<sup>۱</sup> نیز نام برده می‌شود، سهم نسبی هر منبع رسوب (حوضه آبریز بالادست) در مجموع رسوب خروجی ته‌نشست‌یافته از حوضه آبریز (خروجی حوضه آبریز و ورودی حوضه آبریز) مشخص می‌شود. ضرایب تصحیح، که به عنوان الحاقیات به معادله تابع هدف اضافه شده‌اند تا بازدهی این معادله را ارتقا دهند، شامل ضریب تصحیح اندازه ذرات<sup>۲</sup> ( $Z_s$ )، ضریب تصحیح ماده آلی<sup>۳</sup> ( $O_s$ )، و ضریب تصحیح وزن تشخیصی ردیاب<sup>۴</sup> ( $W_i$ ) است (کولینز و همکاران، ۱۹۹۷<sub>ab</sub>، ۲۰۰۱، ۲۰۱۰). به کمک این ضرایب قابلیت مقایسه نمونه رسوب خروجی حوضه آبریز و هر منبع احتمالی تولیدکننده رسوب ارتقا می‌یابد (کولینز و همکاران، ۲۰۰۱).

1. mixing model
2. particle size correction factor
3. organic matter correction factor
4. tracer discriminatory weighting correction factor

ضریب تصحیح اندازه ذرات نسبت مساحت سطح ویژه<sup>۱</sup> ذرات رسوب در مواد ته‌نشست‌یافته خروجی حوضه آبریز به میانگین مساحت سطح ویژه ذرات رسوب برای هر منبع خاص در نظر گرفته می‌شود (کولینز و همکاران، ۲۰۰۱). به دلیل مشکلات و نبود تجهیزات کافی در بیشتر مطالعات، این مقدار به صورت مقادیر پیش‌فرض و بر اساس مقادیر از پیش تعیین شده محاسبه می‌شود که خطای بسیار زیادی دارد. مقدار این ضریب به صورت واحد  $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  محاسبه شده است؛ در تحقیق حاضر، نمونه‌های رسوب به آزمایشگاه شیمی خاک دانشکده علوم زیست‌محیطی در دانشگاه کالیفرنیا ایالات متحده منتقل و به کمک روش جدید و مقرون به صرفه جذب سطحی بخار آب<sup>۲</sup> مساحت سطح ویژه نمونه‌های رسوب اندازه‌گیری شد. ذکر این نکته لازم است که روش‌های قدیمی شامل استفاده از گاز  $\text{N}_2$  و مایع اتیلن گلیکول مونواتیلن اثر به دلیل زمان بر بودن، نبود تجهیزات آزمایشگاهی مناسب، تعیین سطح بیرونی ذرات رسوب، هزینه بالا، و ... جای خود را به روش جذب سطحی بخار آب داده است (جدول ۲). اهمیت این ضریب در این است که به طور گسترده‌ای درک شده است اندازه ذره رسوب در غلظت ژئوشیمیایی عناصر تأثیر بسزایی دارد. بنابراین، با وجود استفاده از الک خشک و تعیین قطر ذرات کمتر از ۶۳ میکرون، اعمال این ضریب مهم است و امکان مقایسه بار رسوب خروجی و منابع احتمالی تولیدکننده رسوب حوضه آبریز را فراهم می‌آورد (کولینز و همکاران، ۲۰۱۰؛ هورویتس، ۱۹۹۱).

ضریب تصحیح ماده آلی نسبت مقدار ماده آلی ذرات رسوب در مواد ته‌نشست‌یافته خروجی حوضه آبریز به مقدار میانگین ماده آلی ذرات رسوب برای هر منبع خاص در نظر گرفته می‌شود (کولینز و همکاران، ۲۰۰۱). مقدار ماده آلی در این تحقیق به روش اکسایش تر واکلی- بلک برای همه نمونه‌های رسوب خروجی و رسوب تولیدی هر منبع احتمالی تعیین شده است. در تحقیق حاضر مقدار ماده آلی در آزمایشگاه تجزیه آب، خاک، و گیاه استان آذربایجان غربی- ارومیه و آزمایشگاه معتمد سازمان حفاظت محیط‌زیست انجام شده است (جدول ۲). نقش ماده آلی در مطالعات به‌خوبی درک می‌شود و با تغییر مقدار آن غلظت عناصر موجود در رسوبات نیز تغییر می‌یابد (کولینز و همکاران، ۲۰۱۰).

ضریب تصحیح وزن تشخیصی ردیاب بیانگر قدرت تشخیصی هر ردیاب است. این ضریب کارآمدی نسبی تشخیصی هر ردیاب خاص در مجموعه‌ای از ردیاب‌های حاصل از نتایج تجزیه و تحلیل تابع تشخیص<sup>۳</sup> است (کولینز و همکاران، ۲۰۱۰). ماهیت استفاده از این ضریب تصحیح این است که ردیاب‌هایی که بیشترین دقت در مجموعه ردیاب‌ها را فراهم می‌کنند باید بیشترین تأثیر را در معادله مدل ترکیبی یا تابع هدف بگذارند (کولینز و همکاران، ۱۹۹۶) (جدول ۲).

#### تعیین اهمیت و نقش ضرایب تصحیح در منشأیابی رسوبات

مهم‌ترین هدف این پژوهش رسیدن به این نکته اساسی است که آیا به مانند رسوبات آبی و رودخانه‌ای که نیازمند این ضرایب تصحیح‌اند و محققان سراسر جهان بدان تأکید کرده‌اند نیاز است تا در خصوص منشأیابی رسوبات بادی و تپه‌های ماسه‌ای نیز از این ضرایب استفاده شود؟ زیرا تعیین کمی مقدار این ضرایب بسیار مشکل، هزینه‌بر و زمان‌بر، و نیازمند دستگاه‌های آزمایشگاهی دقیق است. بنابراین، این تحقیق به محققان این زمینه علمی کمک خواهد کرد تا به کمک نتایج این پژوهش در مطالعات این‌چنینی به افزایش یا کاهش لحاظ ضرایب تصحیح اقدامات لازم را برای جلوگیری از صرف هزینه زیاد و اطاله زمان مبذول نمایند.

در این زمینه از روش آماری آزمون t جفتی<sup>۴</sup> مربوط به مقایسه دو گروه وابسته به هم استفاده شد تا نقش ضرایب

1. specific surface area

2. water vapour adsorption method

3. discriminant function analysis (DFA)

4. paired-samples t test

تصحیح و مقدار عملکرد آن‌ها در مدل ترکیبی مشخص شود. به کمک آزمون  $t$  جفتی می‌توان مشخص کرد که دو متغیر یا ویژگی در یک دوره زمانی و در یک مکان مشخص اختلافی وجود دارد یا نه تا بتوان اعمال تیمار و هر نوع ضریبی را بر داده وابسته خود سنجید و پژوهش را برنامه‌ریزی کرد (زارع چاهوکی، ۱۳۸۹). بنابراین، به کمک این روش آماری، تأثیر ضرایب تصحیح در مدل ترکیبی و وجود نقش مؤثر یا بی‌تأثیر این ضرایب به صورت رابطه‌ای منطقی و کمی به صورت تحلیلی آماری دیده خواهد شد. کارهای آماری در این پژوهش به کمک نرم‌افزار IBM-SPSS نسخه ۲۳ انجام گرفته است.

### یافته‌های پژوهش

در محدوده مورد مطالعه تعداد هشت منبع احتمالی تولیدکننده بار رسوبی (به استثنای تپه‌های ماسه‌ای به عنوان رسوب خروجی حوضه آبریز) وجود داشته که به تفکیک بر اساس خصوصیات ژئومورفولوژیکی/ سنگ‌شناختی در جدول ۱ مشخص شده‌اند.

جدول ۱. نام واحدهای ژئومورفولوژی/سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه و کد واحدهای مربوطه

شماره	نام واحدهای ژئومورفولوژی/سنگ‌شناسی	کد واحد
۱	رسوبات بستر رودخانه	Qal
۲	پهنه هموار ماسه‌ای	Qmf
۳	مخروطه‌افکنه سنگریزه‌ای کوهرفتی	Qf
۴	مخروطه‌افکنه‌ها و پادگانه‌های آبرفتی	Qt
۵	آهک مرجانی، سنگ آهک دولومیتی و چرتی دولومیت، شیل‌های سیلتی	OMI
۶	ریولیت، گرانیت، آگماتیت همراه لایه‌های گابرو	gr
۷	چرتی دولومیت، شیل‌های ماسه‌ای، ماسه‌سنگ دگرگون شده	Eb
۸	شیل نازک لایه همراه آهک دولومیتی ضخیم	Klshi
۹	تپه‌های ماسه‌ای (رسوب خروجی حوضه آبریز)	Sd

با توجه به نمونه‌برداری از هر واحد ژئومورفولوژیکی/سنگ‌شناختی به تعداد کافی، تجزیه ژئوشیمیایی و عنصری هر یک به تفکیک و به کمک معادله ۱ سهم هر واحد بدون در نظر گرفتن ضرایب تصحیح تعیین شد. سپس، ضرایب تصحیح اعمال و سهم هر منبع احتمالی دوباره تعیین شد. در جدول ۲ مقادیر کمی هر یک از ضرایب تصحیح به تفکیک هر منبع احتمالی تولیدکننده بار رسوبی در منطقه مورد مطالعه همراه تعیین سهم واحدهای ژئومورفولوژیکی/سنگ‌شناختی قبل و بعد از اعمال ضرایب تصحیح نمایش داده شده است.

حال با مقایسه متغیرهای سهم منبع قبل از اعمال ضرایب تصحیح و سهم منبع بعد از اعمال ضرایب تصحیح به کمک روش آماری آزمون  $t$  جفتی مشخص شده است که بین این دو گروه آماری تفاوتی در سطح معناداری آن‌ها وجود ندارد و وجود ضرایب تصحیح تأثیر بسزایی در تفاوت میانگین این دو گروه نداشته است (جدول ۳).

جدول ۲. مقدار کمی ضرایب تصحیح، تعیین سهم هر منبع احتمالی تولیدکننده رسوب قبل و بعد از اعمال ضرایب تصحیح

شماره	کد واحد	ضریب تصحیح اندازه ذرات	ضریب تصحیح ماده آلی	ضریب تصحیح وزن تشخیصی ردیاب	سهم منبع قبل از اعمال ضرایب تصحیح به %	سهم منبع بعد از اعمال ضرایب تصحیح به %
۱	Qal	۰/۰۷۳۴۵	۰/۸۸۹	Zn	۰/۰۰	۰/۰۰
۲	Qmf	۰/۰۴۰۴۳	۰/۸۴۲	۰/۲۷	۴۷/۷۶	۰/۰۰
۳	Qf	۰/۱۳۲۳۲	۰/۸۰۰	Na	۰/۰۰	۶۷/۵۰
۴	Qt	۰/۰۶۰۲۰	۰/۰۸۴	۰/۶۲	۵۲/۲۴	۰/۰۰
۵	OMI	۰/۱۳۳۵۸	۰/۵۳۳	Al	۰/۰۰	۰/۰۰
۶	gr	۰/۰۸۰۱۷	۰/۵۱۶	۰/۹۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۷	Eb	۰/۴۵۱۹۶	۰/۵۳۳		۰/۰۰	۰/۰۰
۸	Klshi	۰/۱۴۳۱۳	۰/۷۶۲		۳۲/۵۰	۰/۰۰
۹	Sd	۱/۰۰۰۰۰	۱/۰۰۰		-----	-----

جدول ۳. نتایج آماری آزمون t جفتی مقایسه دو گروه سهم منبع قبل از اعمال ضرایب تصحیح و سهم منبع بعد از اعمال ضرایب تصحیح

آماره نمونه‌ها در آزمون t جفت شده			همبستگی نمونه‌های جفت شده		
میانگین	انحراف معیار	تعداد	میانگین خطای معیار	تعداد	همبستگی معناداری
۱۲/۵۰	۲۳/۱۷	۸	۸/۱۹	۸	۰/۴۵۷
سهم منبع قبل از اعمال ضرایب تصحیح			سهم منبع قبل و بعد از اعمال ضرایب تصحیح		-۰/۳۰۹
۱۲/۵۰	۲۴/۹۶	۸	۸/۸۲	۸	
سهم منبع بعد از اعمال ضرایب تصحیح					
نتایج نمونه‌ها در آزمون t جفت شده					
تفاوت نمونه‌های جفت شده					
۹۵٪ فاصله اطمینان تفاوت بین نمونه‌ها					
میانگین	انحراف معیار	میانگین خطای معیار	حد پایینی	حد بالایی	درجه آزادی
۰/۰۰	۳۸/۹۵	۱۳/۷۷	-۳۲/۵۶	۳۲/۵۶	۷
سهم منبع قبل و بعد از اعمال ضرایب تصحیح					۱/۰۰

### بحث و نتیجه گیری

از مزایای روش منشأیابی رسوبات کاربرد گسترده آن در کلیه محیط‌های رسوبی- اعم از بادی، خشک و نیمه‌خشک، رودخانه‌ای، آبرفتی، و دریاچه‌ای- بدون هیچ محدودیتی است که به مطالعات غلامی و همکاران (۲۰۱۷)، کولینز و همکاران (۲۰۱۷)، فوستر و همکاران (۱۹۹۸) می‌توان اشاره کرد.

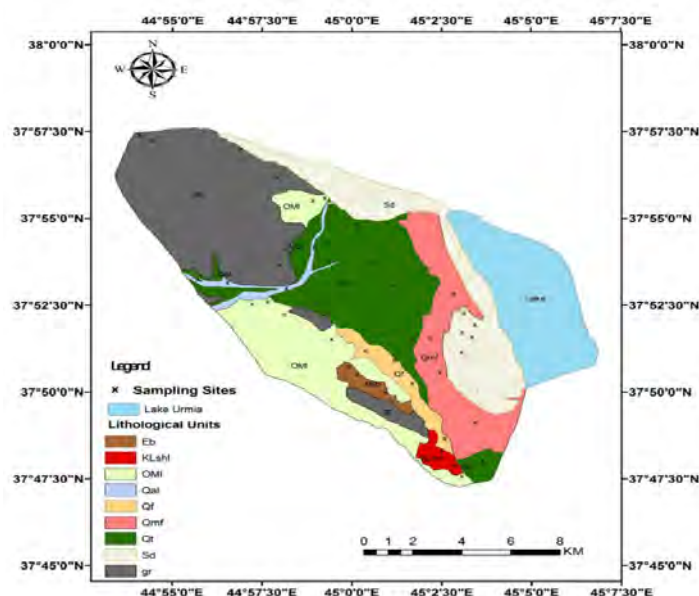
در پژوهش پیشرو، برخلاف مطالعات مشابهی که در زمینه منشأیابی چه در ایران و چه جهان انجام شده است، هدف دیگری دنبال شده است و آن تعیین نقش ضرایب تصحیح در مدل ترکیبی یا همان تابع هدف است که به کمک این تابع سهم هر زیرحوضه آبریز در میزان تولید رسوب خروجی در حوضه آبریز تعیین می‌شود. کلیه مطالعات محققان و



پژوهشگران در این خصوص وقتی مرور می‌شود، همه آن‌ها در تابع هدف یا مدل ترکیبی خود ضرایب تصحیح را با دلیل یا بی‌دلیل اعمال کرده‌اند. حتی برای تعیین داده‌های ضرایب خود مانند ضریب تصحیح اندازه ذرات از معادلات خاص برای دامنه‌ای از اندازه ذرات شامل سیلت و رس استفاده کرده‌اند که دقت و صحت نتایج آن مورد تردید است.

تحقیق حاضر بر روی تپه‌های ماسه‌ای غرب دریاچه ارومیه و بررسی نقاط و مکان‌های منبع و تغذیه‌کننده احتمالی حوضه آبریز بالادست آن انجام شده است. ضرایب تصحیح نخست با روش‌های آزمایشگاهی دقیق و صحیح اندازه‌گیری و سپس به مدل اضافه شدند. بنابراین، مقایسه‌ای کمی و آماری بین سهم احتمالی هر منبع قبل از اعمال ضرایب تصحیح و سهم احتمالی هر منبع بعد از اعمال ضرایب تصحیح انجام گرفت. نتایج حاکی از آن است که، با توجه به مقدار معناداری ۱۰۰ در سطح اطمینان ۹۵ درصد، در روش آماری آزمون t جفتی برای مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) اختلاف معنادار نشده است. این بدان معناست که وجود یا فقدان ضرایب تصحیح در تابع هدف یا مدل ترکیبی نقشی نداشته و به زبانی می‌توان آن‌ها را نادیده گرفت و در معادله وارد نمود که کمک بزرگی به صرفه‌جویی در هزینه و زمان خواهد کرد. ولی نکته اصلی و مهم این است که اگرچه نتایج آماری اختلاف معنادار بین سهم احتمالی هر منبع قبل از اعمال ضرایب تصحیح و سهم احتمالی هر منبع بعد از اعمال ضرایب تصحیح را نشان نمی‌دهد، نتایج جدول ۲ کمک زیادی به نقش می‌کند و تأثیر چشم‌گیر ضرایب تصحیح را نشان می‌دهد. سهم منابع تولیدکننده رسوب قبل از اعمال ضرایب تصحیح شامل واحدهای ژئومورفولوژی/ سنگ‌شناسی پهنه هموار ماسه‌ای (Qmf) به میزان ۴۷/۷۶ درصد و مخروط‌افکنه‌ها و پادگانه‌های آبرفتی (Qt) به میزان ۵۲/۲۴ درصد است؛ در صورتی که بعد از اعمال ضرایب تصحیح مناطق منشأ به واحدهای ژئومورفولوژی/ سنگ‌شناسی مخروط‌افکنه سنگریزه‌ای کوه‌رفتی (Qf) به میزان ۶۷/۵۰ درصد و شیل نازک لایه همراه آهک دولومیتی ضخیم (Klshi) به میزان ۳۲/۵۰ درصد تغییر یافته است. بنابراین، جدا از نتایج آماری نقش پُررنگ ضرایب تصحیح دیده می‌شود و لزوم استفاده بجا و دقیق از آن مهم است. با توجه به ضریب تصحیح اندازه ذرات در واحدهای ژئومورفولوژی/ سنگ‌شناسی Qmf و Qt به مقدار ۰/۰۴۰۴۳ و ۰/۰۶۰۲۰ سانتی‌متر مربع بر گرم و ۰/۱۳۳۳۲ و ۰/۱۴۳۱۳ سانتی‌متر مربع بر گرم در Qf و Klshi به ترتیب نشان‌دهنده افزایش این ضریب از پایین حوضه آبریز به بالای حوضه آبریز است (شکل ۴). با توجه به معادله ضریب تصحیح اندازه ذرات، واحدهای ژئومورفولوژی/ سنگ‌شناسی Qmf و Qt دارای ذرات سیلت و رس بیشتری بوده است، بنابراین، مقدار مساحت سطح ویژه بیشتر و ضریب کمتری دارد. با در نظر گرفتن این مهم که رسوب خروجی حوضه آبریز در غرب دریاچه ارومیه تپه‌های ماسه‌ای اند، واحدهای ژئومورفولوژی/ سنگ‌شناسی، که از ذرات درشت‌دانه‌تری تشکیل شده باشند، نقش مؤثرتری در تابع هدف ایفا می‌کنند و سهم منبع بیشتری را در تولید رسوب به خود اختصاص می‌دهند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که نقش ضریب تصحیح اندازه ذرات در منشأیابی رسوبات بادی و مناطق خشک بسیار مهم و حیاتی است.

در خصوص ضریب تصحیح ماده آلی: با توجه به مقدار ماده آلی کم در رسوبات تپه‌های ماسه‌ای، منبع احتمالی رسوباتی بیشترین ضریب تصحیح را دارد که مقدار ماده آلی در آن منبع نیز کم باید باشد. بنابراین، با افزایش ضریب تصحیح نقش آن واحد ژئومورفولوژی/ سنگ‌شناسی برجسته‌تر است. از این رو، واحدهای ژئومورفولوژی/ سنگ‌شناسی Qf و Klshi دارای درصد ماده آلی کم و ضریب تصحیح ماده آلی بالایی هستند (به ترتیب ۰/۸ و ۰/۷۶۴). واحدهای ژئومورفولوژی/ سنگ‌شناسی Qmf و Qal نیز دارای ماده آلی بالایی هستند (به ترتیب ۰/۸۸۹ و ۰/۸۴۲)؛ ولی به دلیل مقدار کمی پایین ضریب تصحیح اندازه ذراتشان (به ترتیب ۰/۰۷۳۴۵ و ۰/۰۴۰۴۳) تأثیر چندانی بر سهم‌گیری در تولید رسوب حوضه آبریز مورد مطالعه بعد از اعمال ضرایب تصحیح نداشته‌اند. بنابراین، نقش توأمان این دو ضریب تصحیح در معادله تابع هدف یا مدل ترکیبی به‌خوبی خود را نشان می‌دهد.



شکل ۴. نقشه واحدهای ژئومورفولوژی / سنگ‌شناسی ساحل غربی دریاچه ارومیه

نکات مهم این است که حتی با غربال رسوبات مناطق منشأ و ته‌نشست یافته در حوضه آبریز و در نظر گرفتن ذرات زیر ۶۳ میکرون در مطالعات، اختلافات قابل ملاحظه‌ای در ترکیب اندازه ذرات بین منابع احتمالی تولید رسوب و رسوب خروجی حوضه وجود دارد؛ زیرا همیشه فرض بر وجود رابطه خطی ساده‌ای بین غلظت عناصر و اندازه ذرات بوده است (کولینز و همکاران، ۱۹۹۷<sub>ab</sub>؛ اسمیت و بلک، ۲۰۱۴)؛ گرچه اثبات شده است که این رابطه برای بسیاری از غلظت ردیاب‌ها در اندازه‌های مختلف ذرات خطی نیست (اولدفیلد و همکاران، ۲۰۰۹). بنابراین، استفاده از این ضریب تصحیح هنگامی که دامنه اندازه ذرات رسوب انتخابی محدود بوده (مثلاً کمتر از ۱۰ میکرون) و رابطه‌ای معنادار بین غلظت عناصر هر منبع احتمالی و دامنه اندازه مختلف ذرات وجود ندارد توصیه نمی‌شود. ماده آلی در رسوبات نقش رقیق‌کنندگی و پوشش سطحی بر روی ذرات معدنی ایجاد می‌کند و نقش تغلیظ‌کننده را بازی می‌کند (کولینز و همکاران، ۲۰۱۷). بنابراین، مانند مبحث اندازه ذرات، غلظت ردیاب‌ها در مقادیر مختلف ماده آلی باید در نظر گرفته شود و بر اساس رابطه رگرسیونی معنادار یا بی‌معنی به اعمال این ضریب تصمیم گرفته شود یا نشود. همچنین، توصیه می‌شود اگر مقدار ماده آلی رسوب بالادست و پایین‌دست حوضه آبریز کمتر از ۵ درصد باشد، با توجه به عدم قطعیت پایین، می‌توان آن را در مدل ترکیبی نادیده گرفت (کولینز و همکاران، ۲۰۱۷). علاوه بر این، با توجه به هضم اسیدی که از معرف‌های شیمیایی مانند هیدروژن پراکسید ( $H_2O_2$ ) در طول فرایند هضم استفاده می‌شود، نیازی به استفاده از ضریب تصحیح ماده آلی در تابع هدف نخواهد بود و در مطالعات منشأیابی رسوبات، که هضم اسیدی در آن روی نمی‌دهد (مانند مطالعات کانی‌شناختی، مغناطیسی، و رنگ رسوب)، اعمال آن حیاتی و صحیح خواهد بود.

روی هم‌رفته، برآیند تجربه و علم در زمینه منشأیابی رسوب نشان می‌دهد که بدون لحاظ محیط رسوبی (مانند محیط آبی، بادی، رودخانه‌ای، و دریاچه‌ای)، گاهشماری مطالعات (مطالعات دوره جدید یا دوره قدیم و تاریخی)، نوع رسوب مطالعاتی (رسوبات بادی، آبی، رودخانه‌ای، و ...)، نوع روش منشأیابی رسوب (کانی‌شناختی، مغناطیسی، ژئوشیمیایی، ایزوتوپی، نشانه‌های زیستی، و ...) و بررسی تغییرات دامنه اندازه ذرات در مقابل غلظت عناصر نتایج پژوهش‌های منشأیابی رسوب، مانند تحقیق حاضر، می‌تواند با دقت بسیار زیاد یا کاملاً متفاوت و با دقت پایین ارائه شوند.

## منابع

زارع چاهوکی، م.ع. (۱۳۸۹). تجزیه و تحلیل داده‌ها در پژوهش‌های منابع طبیعی با نرم‌افزار SPSS، انتشارات جهاد دانشگاهی، واحد تهران.

AghaKouchak, A.; Norouzi, H.; Madani, K.; Mirchi, A.; Azarderakhsh, M.; Nazemi, A. and Hasanzadeh, E. (2015). Aral Sea syndrome desiccates Lake Urmia: call for action, *Journal of Great Lakes Research*, 41(1): 307-311.

Ahmady-Birgani, H.; McQueen, K. G. and Mirnejad, H. (2018<sub>a</sub>). Characteristics of mineral dust impacting the Persian Gulf. *Aeolian Research*, 30, 11-19.

Ahmady-Birgani, H.; Agahi, E.; Ahmadi, S.J. and Erfanian, M. (2018<sub>b</sub>). Sediment Source Fingerprinting of the Lake Urmia Sand Dunes, *Scientific reports*, 8(1): 206.

Ahmady-Birgani, H.; McQueen, K.G.; Moeinaddini, M. and Naseri, H. (2017). Sand Dune Encroachment and Desertification Processes of the Rigboland Sand Sea, Central Iran, *Scientific Reports*, 7(1): 1523.

Ahmady-Birgani, H.; Mirnejad, H.; Feiznia, S. and McQueen, K.G. (2015). Mineralogy and geochemistry of atmospheric particulates in western Iran, *Atmospheric Environment*, 119: 262-272.

Alewell, C.; Birkholz, A.; Meusburger, K.; Schindler Wildhaber, Y. and Mabit, L. (2016). Quantitative sediment source attribution with compound-specific isotope analysis in a C3 plant-dominated catchment (central Switzerland), *Biogeosciences*, 13(5): 1587-1596.

Bagnold, R.A. (1941). *The physics of blown sand and desert dunes*, Methuen press.

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: 123-133.

Collins, A.L.; Pulley, S.; Foster, I.D.; Gellis, A.; Porto, P. and Horowitz, A.J. (2017). Sediment source fingerprinting as an aid to catchment management: a review of the current state of knowledge and a methodological decision-tree for end-users, *Journal of environmental management*, 194: 86-108.

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.

Collins, A.L.; Zhang, Y.; McChesney, D.; Walling, D.E.; Haley, S.M. and Smith, P. (2012). Sediment source tracing in a lowland agricultural catchment in southern England using a modified procedure combining statistical analysis and numerical modelling, *Science of the Total Environment*, 414: 301-317.

Collins, A.L.; Walling, D.E.; Webb, L. and King, P. (2010). Apportioning catchment scale sediment sources using a modified composite fingerprinting technique incorporating property weightings and prior information, *Geoderma*, 155(3): 249-261.

Collins, A.L.; Walling, D.E.; Sickingabula, H.M. and Leeks, G.J.L. (2001). Suspended sediment source fingerprinting in a small tropical catchment and some management implications, *Applied Geography*, 21(4): 387-412.

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(1): 31-52.

Collins, A.L.; Walling, D.E. and Leeks, G.J.L. (1997a). Use of the geochemical record preserved in floodplain deposits to reconstruct recent changes in river basin sediment sources, *Geomorphology*, 19(1-2): 151-167.

- Collins, A.L.; Walling, D.E. and Leeks, G.J.L. (1997b). Source type ascription for fluvial suspended sediment based on a quantitative composite fingerprinting technique, *Catena*, 29(1): 1-27.
- Collins, A.L.; Walling, D.E. and Leeks, G.J.L. (1996). Composite fingerprinting of the spatial source of fluvial suspended sediment: a case study of the Exe and Severn River basins, United Kingdom, *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 2(2): 41-53.
- Daliakopoulos, I.N.; Tsanis, I.K.; Koutroulis, A.; Kourgialas, N.N.; Varouchakis, A.E.; Karatzas, G.P. and Ritsema, C.J. (2016). The threat of soil salinity: A European scale review, *Science of the Total Environment*, 573: 727-739.
- Da Silva, M.T.; De Oliveira Pereira, J.; Vieira, L.J.S. and Petry, A.C. (2013). Hydrological seasonality of the river affecting fish community structure of oxbow lakes: A limnological approach on the Amapá Lake, southwestern Amazon, *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 43(2): 79-90.
- Du, P. and Walling, D.E. (2017). Fingerprinting surficial sediment sources: Exploring some potential problems associated with the spatial variability of source material properties, *Journal of environmental management*, 194: 4-15.
- Evrard, O.; Laceby, J.P.; Huon, S.; Lefèvre, I.; Sengtaheuanghoung, O. and Ribolzi, O. (2016). Combining multiple fallout radionuclides (<sup>137</sup>Cs, <sup>7</sup>Be, <sup>210</sup>Pbxs) to investigate temporal sediment source dynamics in tropical, ephemeral riverine systems, *Journal of soils and sediments*, 16(3): 1130-1144.
- Foster, I.D.; Lees, J.A.; Owens, P.N. and Walling, D.E. (1998). Mineral magnetic characterization of sediment sources from an analysis of lake and floodplain sediments in the catchments of the Old Mill reservoir and Slapton Ley, South Devon, UK, *Earth Surface Processes and Landforms*, 23(8): 685-703.
- Gholami, H.; Telfer, M.W.; Blake, W.H. and Fathabadi, A. (2017). Aeolian sediment fingerprinting using a Bayesian mixing model, *Earth Surface Processes and Landforms*.
- Hatfield, R.G. and Maher, B.A. (2009). Fingerprinting upland sediment sources: Particle size-specific magnetic linkages between soils, lake sediments and suspended sediments, *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(10): 1359-1373.
- Horowitz, A.J. (1991). *Primer on sediment-trace element chemistry*, Lewis Publishers.
- Hu, G.; Yu, L.; Dong, Z.; Jin, H.; Luo, D.; Wang, Y. and Lai, Z. (2017). Holocene aeolian activity in the Headwater Region of the Yellow River, Northeast Tibet Plateau, China: A first approach by using OSL-dating, *Catena*, 149: 150-157.
- Klassen, J. and Allen, D.M. (2017). Assessing the risk of saltwater intrusion in coastal aquifers, *Journal of Hydrology*.
- Lamba, J.; Karthikeyan, K.G. and Thompson, A.M. (2015). Apportionment of suspended sediment sources in an agricultural watershed using sediment fingerprinting, *Geoderma*, 239: 25-33.
- Juracek, K.E. and Ziegler, A.C. (2009). Estimation of sediment sources using selected chemical tracers in the Perry lake basin, Kansas, USA, *International Journal of Sediment Research*, 24(1): 108-125.
- Liu, B.; Niu, Q.; Qu, J. and Zu, R. (2016). Quantifying the provenance of aeolian sediments using multiple composite fingerprints, *Aeolian Research*, 22: 117-122.
- 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*, 26(2): 136-151.

- Oldfield, F.; Hao, Q.; Bloemendal, J.A.N.; GIBBS-EGGAR, Z.O.Ë.; Patil, S. and Guo, Z. (2009). Links between bulk sediment particle size and magnetic grain-size: general observations and implications for Chinese loess studies, *Sedimentology*, 56(7): 2091-2106.
- Petelet-Giraud, E.; Négrel, P.; Aunay, B.; Ladouche, B.; Bailly-Comte, V.; Guerrot, C. and Dörfliger, N. (2016). Coastal groundwater salinization: Focus on the vertical variability in a multi-layered aquifer through a multi-isotope fingerprinting (Roussillon Basin, France), *Science of The Total Environment*, 566: 398-415.
- Smith, H.G. and Blake, W.H. (2014). Sediment fingerprinting in agricultural catchments: a critical re-examination of source discrimination and data corrections, *Geomorphology*, 204: 177-191.
- The drying of Iran's Lake Urmia and its environmental consequences Article reproduced from United Nations Environment Programme (UNEP) Global Environmental Alert Service (GEAS) (2012).
- United Nation Convention to Combat Desertification Report (UNCCD Report) (2015). 1-48.
- Walling, D.E.; Owens, P.N.; Waterfall, B.D.; Leeks, G.J. and Wass, P.D. (2000). The particle size characteristics of fluvial suspended sediment in the Humber and Tweed catchments, UK, *Science of the Total Environment*, 251: 205-222.
- Yang, L.; Wang, T.; Long, H. and He, Z. (2017). Late Holocene dune mobilization in the Horqin dunefield of northern China, *Journal of Asian Earth Sciences*, 138: 136-147.
- Yang, X.; Scuderi, L.; Paillou, P.; Liu, Z.; Li, H. and Ren, X. (2011). Quaternary environmental changes in the drylands of China—a critical review, *Quaternary Science Reviews*, 30(23): 3219-3233.
- Zare Chahooki, M.A. (2010). Data analysis in natural resources research using SPSS software, Jahad Daneshgahi Publishers.
- Zhang, X.J. and Liu, B.L. (2016). Using multiple composite fingerprints to quantify fine sediment source contributions: A new direction, *Geoderma*, 268: 108-118.
- Zhao, H.L.; Zhou, R.L.; Zhang, T.H. and Zhao, X.Y. (2006). Effects of desertification on soil and crop growth properties in Horqin sandy cropland of Inner Mongolia, north China, *Soil and Tillage Research*, 87(2): 175-185.