

صورت نگرفته است. استفاده از آنزیم‌ها به صورت محدود بوده است که از جمله دلایل آن هزینه زیاد و مواد شیمیایی است. استفاده از ردیاب‌هایی از جمله عناصر رادیواکتیو به علت پایدار بودن و فلزات سنگین و عناصر نادر به دلیل عدم واکنش و تغییر غلظت ترجیح داده می‌شود. جهت کاهش هزینه‌ها و تحلیل دقیق نتایج، با استفاده از آنالیز آزمایشگاهی نمونه رسوب ردیاب‌های لازم جهت منشایابی رسوب انتخاب گردد سپس به اندازه‌گیری غلظت همان ردیاب‌ها در منابع رسوب پرداخته شود.

واژه‌های کلیدی: تحلیل تشخیص، ردیاب‌ها، منشایابی، منابع رسوب، مدل‌های ترکیبی

#### مقدمه

فرسایش خاک تهدید محیطی جدی است که در سرتاسر دنیا سبب کاهش حاصلخیزی خاک می‌شود [۴] و بار رسوب زیادی را به رودخانه انتقال می‌دهد [۴۷]. بار رسوب معلق می‌تواند منجر به افزایش کدورت آب و رسوب‌گذاری در مخازن پایین دست و رودخانه شود که ممکن است حاوی رسوب، مواد مغذی و آلاینده‌ها شامل فسفر، آفت‌کش‌ها، فلزات سنگین و رادیونوکلئیدها باشد [۲۵]. رسوب‌دهی حوضه‌ها از مخرب‌ترین پدیده‌هایی می‌باشد که سبب تغییرات اکولوژیکی قابل توجه در خیلی از مناطق شده است [۳]. برای دستیابی به اطلاعات کامل از مناطق حساس به فرسایش باید مکان‌های در معرض خطر و رسوب‌دهی بیش‌تر شناسایی شده و با مشخص شدن عوامل موثر در تولید رسوب مدیریت بهتری اعمال نمود که یکی از این تکنیک‌ها منشایابی رسوب است [۱]. به دلیل مشکلات کاربرد روش سنتی، روش انگشت‌نگاری که بر استفاده از خصوصیات رسوب متکی است به عنوان روشی جایگزین برای تعیین منابع اصلی رسوب و اهمیت نسبی آن‌ها با توجه به خصوصیت فیزیکی، ژئوشیمیایی و آلی مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است [۴۷، ۵۵]. مقالات مطالعه شده را می‌توان در جدول ۱ مشاهده کرد.

هم‌چنین منشایابی روشی رایج در تشخیص و کمی نمودن سهم منابع رسوب معلق رودخانه‌ای [۴۵، ۵۱] و رسوبات بادی [۱۷] می‌باشد. مطالعات زیادی در زمینه منشایابی انجام گرفته است [۲، ۵۲]. برای استفاده از تکنیک منشایابی رسوب دو نکته مد نظر است. اولین مورد شامل انتخاب منابع رسوب است که بر اساس کاربری

## مروری بر مطالعات منشایابی رسوبات آبی در ایران

منظر محمودی<sup>۱\*</sup>، سعید نجفی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۳

DOR: 20.1001.1.26454777.1400.9.34.5.0

### چکیده

منشایابی رسوبات آبی روشی مناسب برای تعیین سهم منابع در تولید رسوب و به‌عنوان تکنیک فرسایش و رسوب برای شناسایی منشأ و حرکات رسوبات در داخل رودخانه و برآورد نسبی فرسایش خاک است که در دهه‌های اخیر کاربرد آن افزایش یافته است. مرور جامع پیشینه پژوهشی در زمینه فرسایش خاک و رسوب، مدل‌های ترکیبی، ردیاب‌های مختلف و روش‌های نمونه‌برداری در مطالعات گوناگون منشایابی در مقیاس ایران انجام شده است. داده‌های موجود به‌منظور رسیدن به دیدگاهی واحد و ارائه ردیاب‌های موثر در منشایابی و تعیین سهم منابع رسوب در تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز ایران مورد مقایسه قرار می‌گرفت. بررسی‌های حاصل نشان داد که مطالعات منشایابی از سال ۱۳۸۷ شروع و با کمک ردیاب‌های ژئوشیمیایی، رادیونوکلئید، عناصر کمیاب، کانی‌شناسی، خواص مغناطیسی و آنزیم‌ها انجام گرفته است. تأکید بیش‌تر مطالعات روی تقسیم‌بندی منابع در دسته فرآیندی (کاربری‌ها و فرسایش) است. در تقسیم‌بندی منابع برحسب مکانی (زیرحوضه) زیرحوضه‌های نزدیک به خروجی بیش‌ترین سهم نسبی تولید رسوب را داشته است. در نمونه‌گیری از رسوب بیش‌تر مطالعات مبتنی بر اندازه‌گیری رسوبات پشت بند اصلاحی یا نمونه بستر آبراهه بوده است. حجم نمونه‌برداری در سه دسته کلی قرار گرفتند و در صورتی که در پژوهش، گرانولومتری نمونه مدنظر قرار نگیرد حجم کم‌تر نمونه در حد ۰/۵-۱ کیلوگرم ترجیح داده می‌شود. از بین تمام مطالعات انجام گرفته، دو مورد در مقیاس مکانی محلی (۱۰ کیلومترمربع) و سایر موارد در مقیاس مکانی متوسط (۱۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع) انجام گرفته است و هیچ پژوهشی در مقیاس منطقه‌ای (بزرگ‌تر از ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع)

\*۱ دانشجوی دکتری علوم و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه  
Email: manzarmahmodi75@yahoo.com

۲- استادیار، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

جدول ۱: مطالعات انجام شده منشایابی رسوبات آبی در ایران

مطالعات	حوزه آبخیز	مساحت	منابع رسوب	واحد‌های کاری	ردیاب‌ها	نمونه منبع رسوب	نمونه رسوب	عمق نمونه برداری (cm)	روش‌ها	بیش‌ترین سهم منابع رسوب	کم‌ترین سهم منابع رسوب	نتایج
تفکیک												
زیرحوضه اول و دوم با TI, Ce	زیرحوضه اول ۹۰٪				۳۶ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی، رادیواکتیو، آلی	۴۵ نمونه	-	۱۵	چندمتغیره خطی، مدل والینگ	زیرحوضه چهارم ۷۰/۲۹ درصد و زیرحوضه پنجم ۶۶/۳۰٪	زیرحوضه دوم ۱۰٪	تفکیک زیرحوضه سوم و چهارم با W, Pb, V تفکیک زیرحوضه پنجم و ششم با Ce, Mn, Ni
زیرحوضه دوم با TI, Ce	زیرحوضه اول ۹۰٪				۳۶ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی، رادیواکتیو، آلی	۱۰۶ نمونه	۶ نمونه	۰-۵	تحلیل تشخیص مدل والینگ	فرسایش زیرسطحی ۶۹/۳۵ درصد	فرسایش سطحی ۳۰/۶۵ توان	تفکیک ۸۶ درصد انواع فرسایش توسط P, OC, Cs <sup>137</sup> و برآورد ۹۹ درصد ضریب کارایی مدل
زیرحوضه دوم با TI, Ce	زیرحوضه اول ۹۰٪				۳۶ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی، رادیواکتیو، آلی	۴۵ نمونه	۵ نمونه	۰-۵	مدل ترکیبی خطی	آبراهه‌ای، خندقی، رودخانه‌ای	۶۵/۴۰ درصد	تفکیک فرسایش با Nb و OC, Cs <sup>137</sup> و برآورد ۹۹ درصد ضریب کارایی مدل
زیرحوضه دوم با TI, Ce	زیرحوضه اول ۹۰٪				۳۶ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی، رادیواکتیو، آلی و مغناطیسی	۷۲ نمونه	۹ نمونه (کاربری)، ۱۵ (پشت سد)	۰-۲	تحلیل تشخیص، مدل مجموع مربعات و باقی‌مانده و بهینه‌سازی	آبراهه‌ای، خندقی، رودخانه‌ای	۵۶/۳٪ کشاورزی	تفکیک فرسایش با Oc, N, Ni, In, X <sub>lf</sub> , X <sub>fd</sub> , Te, Ge, Mn, Zn بخش لهری سازی آغاچاری (۲۹/۳) درصد و پابده گورپی (۶/۹) بیش‌ترین سهم رسوبات کواترنر، شمشک، دلیچای، هزاردره، کرج و لار در A و رسوبات کواترنر، فرسایش خندقی و سازند کرج، شمشک قرمز بالایی و لار در B تفکیک منابع رسوب توسط K, C, B, TL و Pb, P, MO
زیرحوضه دوم با TI, Ce	زیرحوضه اول ۹۰٪				۱۵ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی، آلی، کانی، رسی، خصوصیت مغناطیسی	۶۰ نمونه	-	۱۵	تحلیل تشخیص، مدل مجموع مربعات باقی‌مانده و بهینه‌سازی	A ۹۵/۸٪ (کانی رسی اپلیت و منیزیم و کربن آلی) B ۹۲/۹ درصد توسط XFD و نیتروژن و کربن آلی	۴۳/۷٪ مرتع	بخش لهری سازی آغاچاری (۲۹/۳) درصد و پابده گورپی (۶/۹) بیش‌ترین سهم رسوبات کواترنر، شمشک، دلیچای، هزاردره، کرج و لار در A و رسوبات کواترنر، فرسایش خندقی و سازند کرج، شمشک قرمز بالایی و لار در B تفکیک منابع رسوب توسط K, C, B, TL و Pb, P, MO
زیرحوضه دوم با TI, Ce	زیرحوضه اول ۹۰٪				۲۶ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی، آلی و نسبت عناصر	۴۲ نمونه	۱۴ نمونه	۰-۵	رویکرد بیسین	فرسایش آبراهه‌ای (۵۹ درصد)	فرسایش سطحی	تفکیک منابع رسوب توسط K, C, B, TL و Pb, P, MO
زیرحوضه دوم با TI, Ce	زیرحوضه اول ۹۰٪				۱۸ ردیاب ترکیبی	۳ نمونه	۳ نمونه	۳-۵	تحلیل تشخیص مدل والینگ	۵۶٪	کاربری مرتع و بوته‌زار و واحد سنگ‌شناسی خوش بیلاق (۵۶ درصد سهم توسط آبراهه)	تعیین سهم نسی توسط K <sub>2</sub> O, SiO <sub>2</sub> , CaO, Al, Rb <sub>2</sub> O, Ca+Mg+Na
زیرحوضه دوم با TI, Ce	زیرحوضه اول ۹۰٪				۳۶ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی، رادیواکتیو، آلی	۱۰۶ نمونه	۶ نمونه	۰-۵	تحلیل تشخیص مدل والینگ	فرسایش زیرسطحی ۶۹/۳۵ درصد	فرسایش سطحی ۳۰/۶۵ توان	تفکیک ۸۶ درصد انواع فرسایش توسط P, OC, Cs <sup>137</sup> و برآورد ۹۹ درصد ضریب کارایی مدل
زیرحوضه دوم با TI, Ce	زیرحوضه اول ۹۰٪				۳۶ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی، رادیواکتیو، آلی	۷۲ نمونه	۹ نمونه (کاربری)، ۱۵ (پشت سد)	۰-۲	تحلیل تشخیص، مدل مجموع مربعات و باقی‌مانده و بهینه‌سازی	آبراهه‌ای، خندقی، رودخانه‌ای	۶۵/۴۰ درصد	تفکیک فرسایش با Nb و OC, Cs <sup>137</sup> و برآورد ۹۹ درصد ضریب کارایی مدل
زیرحوضه دوم با TI, Ce	زیرحوضه اول ۹۰٪				۳۶ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی، رادیواکتیو، آلی و مغناطیسی	۷۲ نمونه	۹ نمونه (کاربری)، ۱۵ (پشت سد)	۰-۲	تحلیل تشخیص، مدل مجموع مربعات و باقی‌مانده و بهینه‌سازی	آبراهه‌ای، خندقی، رودخانه‌ای	۵۶/۳٪ کشاورزی	تفکیک فرسایش با Oc, N, Ni, In, X <sub>lf</sub> , X <sub>fd</sub> , Te, Ge, Mn, Zn بخش لهری سازی آغاچاری (۲۹/۳) درصد و پابده گورپی (۶/۹) بیش‌ترین سهم رسوبات کواترنر، شمشک، دلیچای، هزاردره، کرج و لار در A و رسوبات کواترنر، فرسایش خندقی و سازند کرج، شمشک قرمز بالایی و لار در B تفکیک منابع رسوب توسط K, C, B, TL و Pb, P, MO
زیرحوضه دوم با TI, Ce	زیرحوضه اول ۹۰٪				۱۵ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی، آلی، کانی، رسی، خصوصیت مغناطیسی	۶۰ نمونه	-	۱۵	تحلیل تشخیص، مدل مجموع مربعات باقی‌مانده و بهینه‌سازی	A ۹۵/۸٪ (کانی رسی اپلیت و منیزیم و کربن آلی) B ۹۲/۹ درصد توسط XFD و نیتروژن و کربن آلی	۴۳/۷٪ مرتع	بخش لهری سازی آغاچاری (۲۹/۳) درصد و پابده گورپی (۶/۹) بیش‌ترین سهم رسوبات کواترنر، شمشک، دلیچای، هزاردره، کرج و لار در A و رسوبات کواترنر، فرسایش خندقی و سازند کرج، شمشک قرمز بالایی و لار در B تفکیک منابع رسوب توسط K, C, B, TL و Pb, P, MO
زیرحوضه دوم با TI, Ce	زیرحوضه اول ۹۰٪				۲۶ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی، آلی و نسبت عناصر	۴۲ نمونه	۱۴ نمونه	۰-۵	رویکرد بیسین	فرسایش آبراهه‌ای (۵۹ درصد)	فرسایش سطحی	تفکیک منابع رسوب توسط K, C, B, TL و Pb, P, MO
زیرحوضه دوم با TI, Ce	زیرحوضه اول ۹۰٪				۱۸ ردیاب ترکیبی	۳ نمونه	۳ نمونه	۳-۵	تحلیل تشخیص مدل والینگ	۵۶٪	کاربری مرتع و بوته‌زار و واحد سنگ‌شناسی خوش بیلاق (۵۶ درصد سهم توسط آبراهه)	تعیین سهم نسی توسط K <sub>2</sub> O, SiO <sub>2</sub> , CaO, Al, Rb <sub>2</sub> O, Ca+Mg+Na

صحبیح گروه‌ها توسط As	تحلیل تشخیص، مدل مجموع مربعات باقی‌مانده و بهینه‌سازی	۲-۳۰ (رخساره فرسایش)، ۱۵ (نمونه رسوب)	۶	۱۶ ردیاب ترکیبی	۵۰ نمونه ۶ نمونه	سنگ‌شناسی و فرسایش سطحی و زیرسطحی	۶	ha ۱۹۶۹	حوضه ایده‌لو زنجان	نجفی و همکاران [۳۵]
سهم مارن ۸۵ درصد، رسوب رودخانه‌ای جدید ۱۱ درصد و تراس آبرفتی قدیم ۴ درصد	نمونه کنار رودخانه، سازند Ngm زیرسطحی (فرسایش آبراهه‌ای و رودخانه‌ای)	۲	۱۱	۵۷ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی، عنصر آلی	۶۳ نمونه ۱۳ نمونه	فرسایش سطحی و زیرسطحی	۱۱	ha ۲۶۷۳۷	حوضه زیدشت طالقان	فتح آبادی و همکاران [۱۳]
۱۷ عنصر به‌عنوان ترکیب بهینه، بیش‌تر بودن سهم منابع زیرسطحی نسبت به منابع سطحی	کشاورزی (۵۳/۴) سازند کواترنر ترکیب بهینه، تفکیک درصد (۶۵) کاربری و سازند (۸۷/۵) تله‌زنگ (۶۶) توسط Na.C Mg (درصد)	۰-۵	۳	عناصر ژئوشیمیایی و آلی	۳۹ نمونه ۱۹ نمونه	کاربری اراضی و زمین‌شناسی	۳	۲۶ km <sup>2</sup>	حوضه طالقانی	نصرتی و همکاران [۳۶]
جنگل (۱۶/۲) انتخاب Zn.C. درصد) Ca و Mg به‌عنوان سازند کواترنر ترکیب بهینه، تفکیک کاربری و سازند واحد زمین‌شناسی توسط Na.C و Mg (درصد)	کلریت بالاترین قدرت تفکیک (۵۳/۶۱٪)	-	۳۱	۹ ردیاب کانی رسی و غیر رسی	۱۰۴ نمونه ۷ نمونه	کاربری اراضی جنگل، مرتع و زراعت	۳۱	ha ۷۰۰۰	حوزه نوکنده	خسروی و همکاران [۲۹]
واحد قهوه‌ای (آهک اوربیتولین‌دار، آهک‌های شیلی، ملس‌سنگ قرمز و توف) زیرحوضه توان تفکیک توسط بسامد با فرکانس بالا و پایین	واحد سیاه (شیل ذغالی)	۰-۵	۹	رنگ دانه‌های خاک	۴۵ نمونه ۱۹ نمونه	واحد سنگ‌شناسی	۹	ha ۴۸۱۱	حوضه ورتوران قزوین	مصفايي و همکاران [۳۱]
عناصر کربن، مس، تیتانیوم، سیلیکون، استرانسیم، نسبت ایزوتوبی نئودیمیم درصد (۵۴/۷) تفکیک کننده سازند و رسوب	اراضی مرتعی (۶۵) سازند آسماری (۵/۵۶) درصد) زیرحوضه ۶ (۱۱/۵۹) درصد) و زیرحوضه ۵ (۷/۵۸)	-	۳	خصوصیت مغناطیسی	۲۰ نمونه ۵ نمونه	زیرحوضه	۳	km <sup>2</sup> ۲۷۰	حوضه آشان مراغه	نصرتی و همکاران [۳۸]
توان تفکیک توسط فرسایش سطحی کربن آلی، Cu و فصل زمستان و بهار	تحلیل تشخیص، مدل مجموع مربعات باقی‌مانده	۰-۵	۱۰	۱۰ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی، آلی و راديوکتيو (Cs <sup>137</sup> )	۴۳ نمونه ۱۴ نمونه	کاربری اراضی باغ، کشاورزی، جنگل و مرتع	۴	۸۱/ km <sup>2</sup> ۷	حوضه بهشت گمشده شیراز	نوحه‌گر و همکاران [۴۲]
توان تفکیک توسط As, P, S Zn, Oc درصد، مرتع ۱/۵۴ ۱۴/۲۷ درصد	تحلیل تشخیص، مدل مجموع مربعات خطا	۰-۵	۴	۳۵ ردیاب ژئوشیمیایی و کربن آلی	۴۵ نمونه ۱۱ نمونه	کاربری اراضی مسکونی، باغ و مرتع	۴	۵۷۵۸/۸۳ ha	حوضه کند تهران	خورمیزی و همکاران [۵۸]

مصفايي و همکاران [۳۰]	حوضه ورتوران قزوین	۴۸۱۱ ha	واحد سنگ شناسی (آتشفشانی، آهکی و رسوبی)	۳	۹ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی، آلی و کانی ها	۶۶ نمونه ۹ نمونه	۰-۵	تحلیل تشخیص، خوشه‌ای، مدل والینگ	واحد رسوبی، تخریبی و رسوبی ۴۷/۶ درصد	واحد رسوبی ۱۵/۱ درصد	رسوبی تخریبی و آتشفشانی	انتخاب کلسیت، کادمیوم و سرب به‌عنوان ترکیب بهینه
ذرتی‌پور و همکاران [۵۹]	حوضه دره انار خوزستان	ha ۶۷۴۷	کاربری اراضی و زمین‌شناسی	۹	۷ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی و غیرآلی	-	۳-۵	تحلیل تشخیص، رویکرد بیسین	سازند گچساران (۵۳/۳ درصد) سازند کواترنر (۳۹/۹ درصد) مراتع فقیر و رها شده (۷۱/۵ درصد)	سازند گچساران (۵۳/۳ درصد) بختیاری کاربری جنگل (۰/۳ درصد)	Cu (۵۴/۷ درصد)	
نصرتی و همکاران [۴۵]	حوضه طالقانی خرم آباد	km <sup>2</sup> ۲۶	کاربری اراضی	۴	۱۱ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی و آلی	۳۹ نمونه ۷ نمونه	-	تحلیل تشخیص، مدل والینگ	۶۷/۹ درصد منابع کشاورزی، ۳۲/۱ درصد منابع مرتع	۰/۳۲٪ جنگل	تفکیک واحد اراضی توسط Cu, K, Mg, Ca, Zn, N, C	
مصفايي و همکاران [۳۲]	حوضه ورتوران قزوین	ha ۴۸۱۱	واحد سنگ شناسی (آتشفشانی، آهکی و رسوبی تخریبی)	۳	۹ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی	-	۰-۵	تحلیل تشخیص، خوشه‌ای، مدل والینگ	واحد رسوبی ۴۷/۶ درصد واحد آهکی ۳۷/۴ درصد	واحد آتشفشانی ۱۵/۱ درصد	کلسیت، کادمیوم و سرب به‌عنوان ترکیب بهینه، بیش‌ترین وزن رسوبات مربوط به آهک پلاژیوکلازدار	
حبیبی و همکاران [۲۰]	مخزن سد لاور فین هرمزگان	ha ۲۲۵۰۰	زیرحوضه	۳	۶۴ ردیاب عناصر اصلی و کمپاب	۲۳ نمونه ۱۷ نمونه	-	تحلیل تشخیص، مدل والینگ	سهم زیرحوضه‌ی میانی ۱۶ درصد و جنوبی ۶۶ درصد شمالی ۱۸ درصد	Pr, La/Yb, Nd/Yb		
احمدی و همکاران [۱]	حوضه کوهدشت	km <sup>2</sup> ۱۱۳۸	کاربری اراضی کشاورزی، مرتع و جنگل	۳	۱۵ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی و آلی	۱۱۹ نمونه ۱۲ نمونه	-	تحلیل تشخیص، رویکرد بیسین	۹۵ درصد کشاورزی	۰/۹ جنگل	Pb, K, N, C, Mg, Sr, Zn	قادر به تفکیک واحد کاربری‌ها
نصرتی و همکاران [۴۱]	حوضه زیارت گلستان	km <sup>2</sup> ۷۷/۹	واحد زمین‌شناسی	۴	عناصر ژئوشیمیایی آلی و رادیونوکلوئیدی	۴۳ نمونه ۱۴ نمونه	۰-۵	تحلیل تشخیص، مدل والینگ	سازند شمشک (۴۲/۲ درصد)	شیبست گرگان (۱/۶ درصد)	بیش‌ترین تولید رسوب توسط واحد زمین‌شناسی و سازندهای کواترنر، شمشک، دلی‌چای، کرج و هزاردره	
محمدی رایگانی و همکاران [۳۴]	حوضه کمیش شرق کرمانشاه	km <sup>2</sup> ۳۰۸	منابع سطحی و زیرسطحی	۳	۳۴ ردیاب عناصر اصلی و کمپاب	۷۹ نمونه ۱۰ نمونه	۰-۵	تحلیل تشخیص، رویکرد بیسین	۳۵/۲ درصد کانال رودخانه	۳۱/۸ درصد منابع کشاورزی	Sr, Sc, Mn, Mo	طبقه‌بندی ۹۶٪ منابع توسط Sr, Sc, Mn, Mo و یکسان بودن سهم نسبی منابع رسوب سطحی و زیرسطحی
نصرتی و همکاران [۴۳]	حوضه هایو	km <sup>2</sup> ۵۵	فرسایش سطحی (مرتع و باغ) و سواحل رودخانه	۳	ردیاب ژئوشیمیایی و آنزیم فعال	۵۴ نمونه ۱۲ نمونه	۰-۵	تحلیل تشخیص، مدل والینگ	۷۳/۷ درصد رودخانه ۱۵/۱ درصد باغ	۱۱/۳ درصد مراتع	تفکیک منابع توسط S, P, N, C	نقش مهم آنزیم‌ها

اهمیت سواحل رودخانه در تولید رسوب، طبقه‌بندی منابع رسوب با Na, Mg, K, Zn, Ca	در مدل کالینز تحلیل تشخیص، ۷۶/۹ درصد مدل هاقس و والینگ اصلاح شده درصد سواحل کانال	-	۸ نمونه	۴۴ نمونه	۱۱ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی	۳	کاربری اراضی و سواحل رودخانه	۲۶ km <sup>2</sup>	حوضه آبریز طالقانی	حدادچی و همکاران [۱۹]
تشخیص ۶۴ درصد منبع توسط Zn, Fe, Cr و	۴۴ درصد فرسایش شیبیاری و خندقی	۰-۳۰	۶ نمونه	۵۰ نمونه	۱۶ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی و آلی	۳	فرسایش سطحی و زیرسطحی	۲۰ km <sup>2</sup>	حوضه ایده‌لو زنجان	صادقی و همکاران [۵۰]
نمایش ۹۷ درصد تخصیص منابع توسط B, Ti, Sr, C و	۶۸ درصد ساحل رودخانه ۲۰/۸٪ مرتع	۰-۵	۱۲ نمونه	۶۰ نمونه	۲۸ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی، رادیونوکلئیدی، آلی	۳	فرسایش سطحی (مرتع و باغ) و سواحل رودخانه	۵۰ km <sup>2</sup>	حوضه هایو ایران	نصرتی و همکاران [۴۴]
تخمین ۸۶ درصد منابع توسط As, Oc, Zn, Cu, N (Co و)	۸۵ درصد رسوب توسط مارن گچی آهکی	۲-۳۰	۶ نمونه	۵۰ نمونه	۱۶ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی و آلی	۳	کاربری اراضی و زمین‌شناسی	۲۰ km <sup>2</sup>	حوضه آدیلو ایران	صادقی و همکاران [۵۱]
kw-H و DFA (Cu, Mg, K) kw-H (Cu, Mg, K, Mn, Ni) kw-H و PCA (Cu, Mg, Mn, C)	DFA و kw-H و PCA kw-H (زیرحوضه ۱) kw-H (زیرحوضه ۳)	-	۷ نمونه	۲۱ نمونه	۹ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی و آلی	۳	زیرحوضه	۲۲۸ km <sup>2</sup>	حوضه میرآباد نیشابور	نصرتی و همکاران [۴۵]
H-DFA H- داده کاوی (۱۱/۴ درصد) ۱۳/۶ (درصد) زیرحوضه ۳ H-PCA (۲۰/۳ درصد)	زیرحوضه ۱ H-DFA H- داده کاوی (۵۴/۳ درصد) ۷۲ درصد (۵۰/۸ درصد)	-	۱۱ نمونه	۴۳ نمونه	۳۴ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی	۳۳	زیرحوضه	۳۰۸ km <sup>2</sup>	حوضه کمیش شرق کرمانشاه	محمدی رایگانی و همکاران [۳۴]
kw-H و DFA (Ca, Mg, Mn, OC) kw-H (سطح تپه) -PA (Ca, Co, Fe, Mg, Mn, Oc, Sr) kw-H و PCA (Fe, Oc, Sr)	kw-H و DFA kw-H و PA kw-H (جاده) اصلی (PCA)، رویکرد بیسین	-	۵ نمونه	-	۱۱ ردیاب عناصر ژئوشیمیایی و آلی	۳	جاده، سطح تپه، سواحل رودخانه	۲۹۲ ha	حوضه آبریز کوهسار تهران	نصرتی و همکاران [۴۱]

و شیمیایی و بیولوژیک قابل شناسایی می‌باشند و از طریق مقایسه این خصوصیات با همان خصوصیات در نمونه رسوب، سهم نسبی منابع در تولید رسوب مشخص می‌گردد [۱۰]. طیف گسترده‌ای از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مانند خصوصیات ژئوشیمیایی

اراضی [۱۵]، زمین‌شناسی [۵]، زیرحوضه‌ها رسوب‌دهی سطحی و زیرسطحی [۷، ۱۵]، کاربری و فرسایشی [۴۳] یا ترکیبی از این موارد می‌توان اشاره کرد. روش انگشت‌نگاری بر این فرض استوار است که منابع مختلف تولید رسوب با بهره‌گیری از خصوصیات فیزیکی

[۱۰]، ردیاب‌های بیوزئوشیمیایی [۱۵]، ویژگی‌های مغناطیسی [۱۴]، [۲۷، ۱۸]، غلظت رادیونوکلیدها [۱۲، ۵۴]، نسبت ایزوتوپ پایدار [۴۱]، طیف سنجی مادون قرمز [۴۹] و عناصر خاکی کمیاب [۲۰، ۳۳، ۵۶] به‌عنوان ردیاب رسوب استفاده می‌شود. هدف پژوهش حاضر مرور روش‌های منشایی رسوب و تعیین مهمترین ردیاب‌ها در منشایی رسوبات آبی است. این مقاله بر اساس بررسی مطالعات منشایی رسوب در حوضه‌های آبخیز در ایران و با تمرکز بر (۱) مقایسه روش‌های مختلف نمونه‌برداری رودخانه در مطالعات ردیابی رسوب و کاربرد آن‌ها برای شرایط مختلف هیدرولوژیکی (۲) توصیف خصوصیت رسوب مورد استفاده برای اختصاص منشایی و شناسایی کمی منابع گسسته رسوب (۳) مقایسه منابع رسوب از حوزه آبخیز در سراسر ایران (۴) کاهش هزینه‌های لازم در امر منشایی رسوب است.

### ۱- نمونه‌برداری از منبع خاک و رودخانه

از آنجایی که ذرات در حد سیلت و رس بیش‌ترین جذب را در سطح ذرات خود دارند بنابراین در تمام مطالعات به‌جز یک مورد مطالعاتی [۲] از بخش زیر ۶۳ میکرون برای تجزیه آزمایشگاهی و تعیین غلظت ردیاب‌ها و همچنین در اکثر موارد بررسی شده از الک خشک برای جداکردن اندازه ذرات مشخص استفاده شده است به‌جز یک مورد که دلیل استفاده از روش الک تر را کلوخه‌ای بودن ذرات دانسته‌اند [۵۹]. نمونه‌برداری از رسوبات پشت بند و مخزن سد در موارد اندکی مشاهده شد [۱۴، ۲۰، ۲۷، ۳۷]. سه روش اصلی که برای جمع‌آوری نمونه‌های رسوبی معلق در جریان حوضه‌های آبخیز استفاده می‌شود شامل نمونه‌برداری نقطه‌ای، نمونه‌های زمان-پیوسته و جمع‌آوری تصادفی نمونه‌های آب است. در تمامی روش‌های تعیین غلظت رسوبات معلق رودخانه‌ها معمولاً نمونه‌گیری از مواد معلق رودخانه با استفاده از دو نوع نمونه‌بردار دستی و نمونه‌بردار وزنی به روش انتگراسیون عمقی انجام می‌گیرد که خود دارای دو نوع نمونه‌بردار نقطه‌ای و نمونه‌بردار عمقی می‌باشد. در روش دستی، برای تخمین غلظت بار معلق به روش‌های مذکور از جریان رودخانه نمونه‌گیری می‌شود. در آزمایشگاه پس از جدا کردن مواد رسوبی به وسیله کاغذ صافی رسوب را خشک می‌کنند و پس از توزین غلظت رسوب را بر حسب گرم در لیتر می‌سنجند [۱۸]. روش سنتی نمونه‌برداری رسوب معلق، هنوز هم به‌عنوان روش متداول برآورد رسوب در بسیاری از کشورها می‌باشد. این روش به‌دلیل مواردی از جمله هزینه زیاد نظارت، زمان‌بر بودن و خطرات دسترسی به مکان‌های سیلابی، با مشکلات اجرایی متعددی مواجه است [۷].

### ۲- منابع رسوب

منابع مختلف رسوبات شامل جاده‌های جنگلی [۱، ۱۹، ۴۱]، منابع سطحی و زیرسطحی [۲۱، ۲۲، ۲۳، ۳۹]، واحدهای زمین‌شناسی و کاربری [۲۴، ۵۱، ۵۹]، واحد سنگ‌شناسی [۲، ۳۰، ۳۱، ۳۵]، واحدهای

زیرحوضه [۲۰، ۲۱، ۳۴، ۳۸، ۴۰] و سواحل رودخانه [۴۱] می‌باشد. نکته اول در منشایی انتخاب منابع رسوب می‌باشد که در طبقات کاربری اراضی، زمین‌شناسی، زیرحوضه‌ها، رسوب‌دهی سطحی و زیرسطحی، کاربری و فرسایش یا ترکیبی از موارد مذکور قرار می‌گیرند [۱]. و به‌طور کلی در دو گروه منابع مکانی (واحد زمین‌شناسی حوزه، زیرحوضه‌ها) و فرآیندی (کاربری‌های حوزه، فرسایش‌های مختلف حوزه) تقسیم گردیده‌اند [۳۱]. اگر منبع رسوب زیرحوضه‌ها باشد نمونه‌های منبع رسوب از بستر آبراهه اصلی هر زیرحوضه [۲۰] و بعد از تلاقی زیرحوضه‌ها و انتهای هر کدام از زیرحوضه‌ها برداشت می‌شود [۲۱]. مورد بعدی منبع رسوب تهیه نمونه از واحدهای کاری همگن کاربری اراضی و زمین‌شناسی می‌باشد [۵۹]. نمونه‌های منبع رسوب از واحدی با فرسایش سطحی کاربری‌های مختلف مانند کشاورزی و مرتع، واحد فرسایش زیرسطحی مانند سواحل رودخانه [۳۳]، جاده و آبراهه [۳۳، ۳۹]، دامنه‌های واحد سنگی [۳۵، ۳۲، ۲۴، ۵۹، ۳۱] انجام گرفته است. نمونه‌های منبع اگر به‌صورت ترکیبی از خصوصیات جدا کننده منشای رسوب و منشایی به‌صورت مرکب و کمی باشد، از ترکیب خصوصیات منشایی برای تفکیک منشای رسوب استفاده می‌شود. پس از نمونه‌برداری از رسوباتی که چند سال پیش رسوبگذاری کرده‌اند منشایی مورد استفاده انتخاب می‌گردد [۱۴]. همچنین نمونه رسوب انتخابی از خروجی حوضه جهت مقایسه با نمونه منبع رسوب برداشت می‌شود [۱، ۳۱]. سازندهای زمین‌شناسی منابع رایجی برای مطالعات منشایی رسوبات معلق هستند [۹، ۳۶]. نشان دادن تنوع زمانی مقاومت خاک در برابر فرسایش با توجه به منابع فرسایشی و توجه به اختلاف فرسایش در فصول در حوزه آبخیز مهم است. در صورتی که در مطالعات منشایی رسوبات آبی در ایران کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است و برآورد سهم نسبی هر یک از واحدهای کاری مورد نظر در فصل‌های مختلف در تعداد کمی از مطالعات انجام گرفته است [۳۹، ۴۰]. بدین ترتیب ضروری است که میزان تولید رسوب در فصل‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد تا به‌دلیل ایجاد رسوب و عامل موثر که می‌تواند نبود پوشش گیاهی یا سایر عوامل از جمله خصوصیت زمین‌شناسی حوزه و فعالیت‌های انسانی باشد، پی برد و مدیریت بهتری درباره روش‌های حفاظت خاک اعمال گردد.

### ۳- ردیاب‌ها

برای بررسی منابع رسوب و مواد مغذی به سیستم‌های رودخانه‌ای، از انواع تکنیک‌های ردیاب استفاده شده است. این تکنیک‌های ردیابی شامل اندازه‌گیری یک یا چند پارامتر برای تشخیص یک منبع رسوب از منبع دیگر در حوضه می‌باشد. برای این که یک پارامتر در ردیابی منبع رسوب مفید باشد، باید هم قابل اندازه‌گیری و هم محافظه کارانه‌تر باشد به گونه‌ای که:

یک ردیاب باید بتواند رسوبات حاصل از مناطق مختلف را تشخیص دهد، برای منبع رسوب که نسبت به زمان تغییر نمی‌کند،

ردیاب رسوب نیز باید از نظر زمان ثابت باشد یا به روشی قابل پیش‌بینی تغییر کند هم‌چنین برای یک منبع رسوب معین که با توجه به فاصله حمل و نقل رسوب تغییر نمی‌کند، ردیاب نیز باید در طول این مسیر ثابت باشد یا به روشی قابل پیش‌بینی تغییر کند [۱۹].

ردیاب‌های مورد استفاده در مطالعات منشایابی رسوبات می‌تواند بر اساس عناصر ژئوشیمیایی غیرآلی [۵۹]، عناصر ژئوشیمیایی، آلی و رادیواکتیو [۲۱، ۲۲، ۲۳، ۳۹]، خصوصیات مغناطیسی [۱۴، ۲۸]، نسبت‌های ایزوتوپ پایدار [۵۹]، عناصر کمیاب خاکی [۲۰، ۳۳]، کانی‌شناسی رسی [۲۷، ۳۰]، رنگ رسوبات [۳۱]، آنزیم‌های فعال [۳۷] است. استفاده از آنزیم‌ها تنها در یک مورد مطالعاتی مشاهده گردید [۳۷]. از جمله دلایل عدم استفاده از آنزیم‌ها و بکارگیری محدود این نوع ردیاب در مقالات مربوط به منشایابی رسوبات آبی هزینه زیاد و مواد شیمیایی می‌باشد و پژوهشگران امروزه جهت کاهش هزینه‌ها روی به استفاده از ردیاب‌های ارزان قیمت آورده‌اند. مزیت ردیاب‌های فیزیکی از جمله رنگ این است که به راحتی قابل شناسایی و اندازه‌گیری هستند [۱۱]. هر چند این ردیاب‌ها می‌توانند غیرمحافظة کارانه‌تر و دستخوش تغییراتی در طول مسیر گردند. ردیاب‌های غیرآلی نسبت به ردیاب‌های آلی موفقیت کم‌تری برای نسبت دادن فرآیندهای ویژه خاک-محیط دارد زیرا شماری از ردیاب‌های بالقوه غیرآلی و فرآیندهای حمل و نقل ممکن است تأثیر گذار در ترکیب عناصر رسوب باشد. از ژئوشیمیایی رسوب برای شناسایی مکان منبع رسوب منتقل شده به آبراه‌ها به‌طور گسترده استفاده شده است [۴۰، ۴۴، ۵۰]. مطالعه خصوصیات ژئوشیمیایی و توزیع مواد در خاک به عوامل کانی‌شناسی سنگ‌هایی که مواد مادری را تشکیل می‌دهند و فرآیندهای آب‌سویی، خروج مواد از خاک، کربناته شدن، پدوزولی شدن، احیایی شدن و تجمع مواد آلی بستگی دارد. اگر رسوب تولید شده از انواع سنگ‌ها باشد می‌توان منابع رسوب انتقالی را تعیین کرد [۸، ۹]. تعدادی از ردیاب‌های غیرآلی از جمله عناصر خاکی کمیاب، عناصر کمیاب، عناصر اصلی و تعدادی ردیاب آلی از جمله کربن آلی کل، نیتروژن و فسفر در مطالعات منشایابی رسوب استفاده شده است. عناصر اصلی بخصوص کلسیم اکسید، سیلیسیم اکسید، روییدوم اکسید ردیاب‌های مفیدی برای تعیین سهم منابع کاربری و سنگ‌شناسی در تولید رسوب می‌باشند [۲۴].

فعالیت‌های رادیونوکلوئیدی ریزشی دارای مقادیر بیش‌تری در مواد سطحی در مقایسه با مواد زیرسطحی می‌باشد که سبب تشخیص دقیق توزیع مواد سطحی و زیرسطحی می‌شود. سزیم ۱۳۷ به سرعت جذب ذرات ریز سطح خاک می‌شود و غالباً در سراسر لایه شخم خورده مخلوط می‌شوند. توزیع مناسب و نیمه عمر طولانی و توزیع زمانی مناسب سبب شده است که به‌عنوان ردیاب مناسب شناخته شود. برتری بریلیم ۷ نسبت به روش‌های سزیم ۱۳۷ و سرب ۲۱۰ تخمین فرسایش خاک پس از هر واقعه و ارزیابی تأثیر عملیات یا مدیریت حفاظت خاک در دوره زمانی کوتاه می‌باشد. ایزوتوپ‌های پایدار کربن و نیتروژن پتانسیل حساسیت بیش‌تری

برای شناسایی منبع رسوب برای استفاده در حوزه‌های آبخیز ناهمگن مفید هستند از آنجا که غلظت اینها مستقل از نوع خاک و اساس زمین‌شناسی است [۱۵]. خواص مغناطیسی خاک‌ها که مربوط به زمین‌شناسی و نوع خاک است شامل قابلیت مغناطیسی با بسامد پایین  $(Xlf)^1$  و بالا  $(Xhf)^2$ ، پارامتر قابلیت مغناطیسی وابسته به بسامد  $(Xfd)^3$  می‌باشد که با کانی‌های فرومغناطیس ثانویه که در اثر پدیده بهبود خاصیت مغناطیسی بوجود می‌آیند کنترل می‌شود [۲۷]. از مزایای این ردیاب‌ها برای تعیین منابع رسوب این است که روش اندازه‌گیری زمان‌بر و هزینه‌بر نمی‌باشد، پتانسیل تشخیص منابع رسوب، حساسیت زیاد به تغییرات تند در طیف وسیعی از تنظیمات محیط زیست از دیگر مزایای آن است. وابسته بودن بسیار به اندازه ذرات و این‌که به‌صورت خطی افزایش نمی‌یابند. توسعه تکنیک‌های منشایابی سبب ایجاد تبعیض از نقاط مختلف و منابع متنوع گردیده است. مقیاس‌های مکانی از محلی (۱۰ کیلومتر مربع)، متوسط (۱۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع) تا منطقه‌ای (بزرگ‌تر از ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع) متغیر هستند و در مقیاس زمانی سه دوره معاصر (۵۰ سال اخیر)، تاریخی (۵۰ تا ۱۰۰۰۰ سال اخیر) و زمین‌شناسی (بزرگ‌تر از ۱۰۰۰۰ سال) مد نظر است [۱۱]. منابع رسوب شامل جاده [۳۹، ۴۱]، زمین‌های قابل کشت و زمین‌های مرتعی [۱]، ۲۴، ۴۰، ۵۱، ۵۱، ۲۱، ۳۹، ۱۹، ۱۴، ۴۲]، کف جنگل [۱، ۱۹، ۴۲]، مناطق زیرسطحی [۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۸، ۳۹]، سواحل رودخانه [۱۹، ۳۶، ۳۸، ۴۱]، سطح باغ [۳۷، ۳۹] می‌باشد. اراضی مرتعی (خاک‌های سطح مرتع) به‌عنوان یکی از عوامل موثر در رسوب معلق ثبت شده است [۲۱]، ۴۲، ۴۴، ۵۷]. حال مطالعات دیگری در ایران بیانگر پایین بودن میزان تأثیر مراتع در تولید رسوب می‌باشد [۱، ۱۴، ۳۷، ۳۹، ۴۰، ۴۴] که از جمله دلایل مربوط به این نتیجه‌گیری در نظر گرفتن تأثیر فصل‌های مختلف و افزایش میزان پوشش می‌باشد که سبب کاهش میزان حمل و نقل رسوب می‌شود سطوح بدون پوشش در هنگام بارندگی زیاد، افزایش شیب و کاهش مواد آلی خاک می‌تواند فرآیند فرسایش را تسریع کند. اهمیت جاده‌ها به‌عنوان مکان منشأ رسوب به‌طور گسترده تصدیق شده است [۳۹، ۴۱] که سهم آن‌ها در تولید رسوب با اتصال به شبکه زهکشی و هم‌سو بودن با آن و فعال بودن آبراه‌های فرعی در این محدوده تشدید می‌گردد. اهمیت نسبی سواحل کانال به‌عنوان منبع رسوب در سیستم‌های زهکشی به دلایل زمین‌شناسی و نوع رسوب، هیدرولوژی، شکل کانال و ابعاد و فشارهای استفاده از سواحل کناری در حوضه‌های آبخیز متفاوت خواهد بود [۸]. در یک مورد مطالعاتی تعیین غلظت عناصر ژئوشیمیایی پس از عمل هضم اسیدی به‌صورت ترکیبی از دو روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی و طیف‌سنجی اتمی پلاسمای جفت شده القایی بوده است [۲۳]. مزیت استفاده از روش ترکیبی طیف‌سنجی این است که طیف‌سنجی جرمی که دقت و سرعت بیش‌تری نسبت به

- 1 low frequency
2. frequency depended
3. high frequency



طیف‌سنجی اتمی دارا می‌باشد و می‌تواند ضعف طیف‌سنجی اتمی را پوشش دهد. از بین ردیاب‌های ذکر شده ایزوتوپ پایدار قادر به تفکیک منابع رسوب نبوده است [۴۲]. بنابراین این نوع ردیاب‌ها توان تفکیک واحد کاربری اراضی را ندارند. از جمله دلایل عدم تفکیک مناسب توسط این نوع ردیاب‌ها می‌تواند بکارگیری سایر ردیاب‌ها مانند ردیاب‌های آلی و ژئوشیمیایی باشد که توان بیش‌تری در تفکیک منابع رسوب دارند. در تعیین غلظت عناصر ژئوشیمیایی نیازمند عمل هضم اسیدی نمونه‌ها می‌باشد که در اکثر مطالعات بررسی شده اسید فلئوئوریک (HF) را از آن‌جایی که اسیدی به شدت خطرناک است و هزینه‌بر می‌باشد، استفاده نکردند و بکارگیری اسید مذکور در هفت مورد مطالعاتی مشاهده گردید [۲۱، ۲۲، ۲۳، ۳۵، ۵۰، ۵۱].

#### ۴- وزن نمونه‌برداری

حجم نمونه نهایی برداشتی در مطالعات مختلف متفاوت بوده است و از مقدار یک کیلوگرم تا سه کیلوگرم متفاوت بوده است. نمونه‌های یک کیلوگرمی در شش مورد از پژوهش‌های کار شده مشاهده گردید [۳۶، ۳۹، ۴۰، ۴۱، ۳۳، ۱]. برداشت نمونه دو کیلوگرم در هفت مورد از مطالعات [۳۵، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۹، ۱۴، ۲۸] و هم‌چنین برداشت نمونه سه کیلوگرمی در مطالعات مصفایی و همکاران [۳۱] و مصفایی و همکاران [۳۰] مشاهده گردید. با در نظر گرفتن قطر ذرات برای انجام آنالیز آزمایشگاهی، مقداری از حجم نمونه‌ی انتخابی در مطالعات کار شده پس از الک کردن نمونه‌ها و باقی‌ماندن ماده نمونه‌گیری شده روی الک برای انجام عمل هضم اسیدی نمونه‌ها و سایر مراحل آزمایشگاهی استفاده می‌گردد. در صورتی که توزیع اندازه ذرات مدنظر قرار گیرد حجم بیش‌تری نسبت به الک کردن قطر مشخص ذرات بکار می‌رود. بنابراین بسته به هدف مطالعه حجم نمونه‌برداری متفاوت می‌باشد. به‌طور کلی زمانی که گرانولومتری مدنظر نباشد حجم میزان نمونه‌برداری کاهش پیدا می‌کند در نتیجه سبب تسهیل مراحل نمونه‌برداری از نظر انتقال به مکان موردنظر جهت آنالیز آزمایشگاهی می‌باشد.

#### ۵- عمق نمونه‌برداری

نمونه‌های خاک از منابع رسوب بسته به هدف و نوع منشا و بافت و ساختمان از عمق‌های متفاوت صورت گرفته است که بر اساس تقسیم‌بندی‌های صورت گرفته در ۴ طبقه اصلی با عمق مختلف ۵-۰، ۳-۵، ۲۰-۰ و ۳۰-۰ سانتی‌متر انجام گرفته است. طبقه‌بندی‌های لازم تحقیقات صورت گرفته از نظر دامنه عمق نمونه‌برداری در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس این تقسیم‌بندی متوجه می‌شویم که بیش‌ترین تحقیقات صورت گرفته نمونه‌برداری از منابع رسوب را در عمق ۵-۰ سانتی‌متری انجام داده‌اند که مواردی از این تحقیقات نمونه‌برداری از منابع رسوب سطحی و زیر سطحی را شامل گردیده است و سایر تحقیقات این عمق نمونه‌برداری مربوط به

واحد سنگ‌شناسی و همگن می‌باشد [۲۲، ۵۸، ۲۳، ۱۴، ۳۷، ۳۶، ۳۹، ۳۱، ۳۰، ۳۲، ۴۱، ۳۳، ۴۳، ۴۴]. هم‌چنین از میان ۵ مورد مذکور نمونه‌برداری در عمق ۲-۰ سانتی‌متری از منابع رسوب یک مورد نمونه‌برداری از منابع سطحی و زیرسطحی در این عمق انجام گرفته است و سایر موارد مربوط به نمونه‌برداری از واحدهای همگن بوده است [۱۴، ۲۷، ۱۳، ۳۵، ۲۸]. با در نظر گرفتن عمق نمونه‌برداری ۵-۳ سانتی‌متر متوجه می‌شویم که هر دو پژوهش صورت گرفته در این عمق مربوط به واحدهای همگن کاربری و زمین‌شناسی می‌باشد [۲۴، ۵۷]. هم‌چنین عمق نمونه‌برداری ۲۰-۰ سانتی‌متر مربوط به تحقیقات صورت گرفته بر روی بررسی سهم نسبی تولید رسوب فرسایش آبکندی بوده است و دلیل عمق زیاد نمونه‌برداری نوع فرسایش مورد بررسی می‌باشد [۴۲]. در نهایت عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری مربوط به واحد همگن کاربری و زمین‌شناسی و انواع فرسایش‌ها است [۵۱، ۵۰].

جدول ۲: عمق نمونه‌برداری در منابع رسوب

عمق نمونه‌براری (cm)	مطالعات انجام شده
۰-۵	[۲۲، ۵۸، ۲۳، ۱۴، ۳۷، ۳۶، ۳۹، ۳۱، ۳۰، ۳۲، ۴۱، ۴۳، ۴۴]
۰-۲	[۲۸، ۳۵، ۱۳، ۲۷، ۱۴]
۳-۵	[۲۴، ۵۹]
۰-۲۰	[۴۳]
۰-۳۰	[۵۱، ۵۰]

#### ۶- تعیین تعداد نمونه‌های موردنیاز

در تعیین نمونه‌ها نسبت تعداد نمونه‌برداری‌های انجام گرفته به تعداد ردیاب‌ها باید رعایت گردد. از جمله مواردی که در طراحی چارچوب پژوهش ضروری می‌باشد تعیین تعداد نمونه‌های موردنیاز می‌باشد. برای هر گروه لازم است از تمام گروه‌ها به‌عنوان منبع رسوب تعداد یکسانی نمونه‌گیری صورت گیرد در غیراین‌صورت سبب تأثیرپذیری توابع تشخیص و طبقه‌بندی بیش‌تر مشاهدات در گروه‌های بزرگتر می‌گردد [۵۲]. در بسیاری از مطالعات نسبت ۲۰ را در نظر می‌گیرند. اما با توجه به غیرعملی بودن این نسبت در شرایط واقعی، کم‌ترین نسبت قابل قبول ۵ عنوان گردیده است. با توجه به جدول ۳ از میان مطالعات انجام گرفته در ایران تنها در یک مورد مطالعاتی [۴۶] نسبت موردنظر نمونه‌برداری مشاهده شده است و در اکثر مطالعات منشایابی رسوب نسبت حاصله از تعداد نمونه‌برداری به تعداد متغیرهای مستقل مقدار عددی کم‌تر از ۵ را به خود اختصاص داده‌اند. هم‌چنین در یکسری از این تحقیقات نسبت حاصله عددی بین ۲۰-۵ را شامل گردیده است.



جدول ۳: نسبت نمونه برداری در منابع رسوب

نسبت نمونه برداری	مطالعات انجام شده
< ۵	[۲۷، ۳۷، ۳۳، ۲۰، ۲۳، ۲۲، ۲۱، ۳۵، ۱۳، ۱۴، ۳۹، ۴۰، ۵۸، ۲۰، ۱۷، ۴۴، ۴۳، ۵۰، ۵۱، ۴۵، ۱۹، ۳۴، ۴۱]
۵	[۴۱]
۵-۲۰	[۱، ۲۹، ۳۰، ۳۶، ۳۷]

### ۷- الگوریتم ژنتیک

برای ارزیابی نتایج حاصل از مدل ترکیبی یا آزمون نیکویی برازش می توان از GOF<sup>۱</sup> پیشنهادی توسط کالینز و همکاران [۸] استفاده کرد که محاسبه آن توسط رابطه ۱ صورت می گیرد. در مطالعات منشایابی رسوب معادله GOF قادر به یافتن بهترین سهم رسوبی با به حداقل رساندن خطای مدل ترکیبی می باشد. این الگوریتم به عنوان روشی مبتنی بر فرآیندهای بیولوژیکی است و از قدرتمندترین روش های بهینه سازی است و قابلیت اجرا و کاربرد در مشکلات غیر خطی و پیچیده را دارد. از فرضیات محدود کننده توانایی تولید بیش از یک راه حل بهینه و استقلال آن می باشد. مزایا و تفاوت بهینه سازی جهانی (الگوریتم ژنتیک) در مقایسه با روش های بهینه سازی محلی به شرح زیر می باشد. الگوریتم ژنتیک از خود هدف استفاده می کند نه از اطلاعات مشتق شده. ویژگی ذاتی الگوریتم به جلوگیری از بهینه سازی محلی کمک می کند. زمانی که چندین راه حل وجود داشته باشد یافتن راه حل برای روش های بهینه سازی محلی غیر ممکن است و دیگر اینکه بهینه سازی از طریق متغیرهای مختلف امکان پذیر است [۱۹].

$$GOF = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((C_{is} - \sum_{j=1}^m C_{js} \cdot C_{ji}) / C_{is})^2 \quad (1)$$

### ۸- مدل ترکیبی

در مطالعات ردیابی ژئوشیمیایی سهم نسبی ماده منبع در رسوب معلق با استفاده از مدل ترکیبی چند متغیره برآورد می شود. در تمام مدل های ترکیبی هدف این است با به حداقل رساندن خطاها نسبت اجزای منبع در نمونه رسوب را تعیین کنیم (جدول ۴). سهم نسبی هر منبع  $X_j$  باید محدودیت های زیر را برآورد کند [۵۹، ۴۲]. الف). مقادیر ضریب سهم هر کدام از منابع رسوب باید بین صفر و یک باشد. ب). مجموع ضرایب سهم هر یک از منابع رسوب باید برابر با یک باشد.

الگوریتم اصلاح شده مدل والینگ از همان نسخه اصلی برای بهینه سازی برآورد سهم نسبی از منابع بالقوه رسوب استفاده می کند اما شامل وزن مخصوص و تعریف متفاوتی برای پارامتر  $W_i$  می باشد. در مدل اصلاح شده، وزنی (SV<sub>ji</sub>) برای انعکاس تنوع درون منبع و اطمینان از مقدار اثر انگشت نگاری برای منبع خاص تعیین شده است [۸]. پارامتر  $W_i$  در معادله والینگ، وزن مخصوص ردیاب است

1. Goodness of fit

که می تواند با استفاده از معکوس ریشه واریانس برای هر ردیاب در همه منابع محاسبه شود. این پارامتر در معادله والینگ اصلاح شده وزن متمایز ردیاب بر اساس درصد طبقه بندی صحیح منبع با استفاده از آنالیز عملکرد متمایز است. مدل ترکیبی هاقس روش مونت کارلو را بر اساس تکرار نمونه ها (نه میانگین آن ها) و اجرای تکرار تصادفی برای بدست آوردن کم ترین خطا اجرا می کند. تفاوت هایی بین مدل والینگ و هاقس مشاهده می گردد. مدل والینگ از مقدار میانگین هر پارامتر ردیاب مربوط به هر نوع منبع خاص استفاده می کند، در حال که روش هاقس از تمام نمونه های منبع مربوط به مونت کارلو استفاده می کند. مورد بعدی، فاکتور تصحیح (مثلا اندازه ذرات) فقط در مدل والینگ بکار می رود [۱۴، ۲۰]. مدل لندور به دلیل استفاده از انحراف معیار نرمال از چندین منبع به جای ارتباط مستقیم مقادیر متغیر فردی، از نظر آماری مدل قدرتمندی را ارائه می دهد. نسخه اصلاح شده مدل لندور از نظر آماری با اضافه کردن اصطلاحی در مخرج که تقسیم مدت واریانس بر  $m_j$  می باشد نتیجه بهتری را ارائه می دهد.

به همه پارامترهای مدل نمادهایی اختصاص داده شده است که به صورت زیر می باشد.  $C_i$  غلظت خاصیت انگشت نگاری در هر نمونه رسوب  $(i)$ ،  $S_{ij}$  غلظت خاصیت انگشت نگاری  $(i)$  در گروه منبع  $(j)$ ،  $X_j$  درصد مشارکت از گروه منبع  $(j)$ ،  $Z_j$  فاکتور اصلاح اندازه ذرات برای گروه منبع  $(j)$ ،  $O_j$  فاکتور اصلاح محتوای مواد آلی برای گروه منبع  $(j)$ ،  $W_i$  وزن مخصوص ردیاب یا وزن ویژه ردیاب،  $SV_{ji}$  وزنی که نمایانگر تنوع درون منبع از خاصیت انگشت نگاری  $(i)$  در گروه منبع  $(j)$  است،  $VAR_{ij}$  واریانس مقادیر اندازه گیری شده ردیاب  $i$  در منطقه منبع  $j$ ،  $m_j$  تعداد کل نمونه ها برای منبع منفرد،  $n$  تعداد ویژگی انگشت نگاری و  $m$  تعداد دسته های منبع رسوب می باشد.

### نتیجه گیری

رسوبات معلق در سیستم های رودخانه ای منجر به اثرات مخرب زیست محیطی می شوند. از طریق روش منشایابی رسوب می توان منابع رسوب را شناسایی کرد. در این روش انتخاب مدل و بهینه سازی تأثیر عمیقی بر خروجی تجزیه و تحلیل منشایابی رسوب دارد. در ایران حدود ۳۲ مورد مطالعه در زمینه منشایابی رسوب صورت گرفته و توسعه مدل در زمینه منشایابی توسط هیچ محقق صورت نگرفته است. از میان مدل های ترکیبی مدل والینگ و رویکرد غیر ترکیبی بیسین بیشترین استفاده را در بین سایر مدل ها داشته و استفاده از سایر مدل ها به صورت محدود بوده است. در تمام پژوهش ها باید روش نمونه برداری، انتخاب ردیاب ها و مدل های ترکیبی به درستی انتخاب شود. به علت محدودیت زمانی و بودجه تعیین سهم رسوب در فصل های مختلف به صورت محدود مشاهده می شود. با توجه به بودجه اختصاص داده شده به پژوهش نوع ردیاب ها انتخاب می گردد. ردیاب فیزیکی به هم چنین در تقسیم بندی منابع برحسب مکانی (زیرحوزه) زیرحوزه های نزدیک به خروجی در

منبع	مدل	مطالعه
[۳۸]	$\sum_{i=1}^n [\sum_{j=1}^m s_{ij} X_j - c_i]^2$	اسلتری (Slattery)
[۳۷، ۱۰]	$\sum_{i=1}^n \{ [c_i - (\sum_{j=1}^m X_j s_{ij} z_j \rho_j)] / c_i \}^2 W_i$	والینگ (Walling)
[۹، ۸]	$\sum_{i=1}^n \{ [c_i - (\sum_{j=1}^m X_j s_{ij} z_j \rho_j s v_{ij})] / c_i \}^2 W_i$	والینگ اصلاح شده (M Walling)
[۱۹]	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (c_i - \sum_{j=1}^m X_j s_{ij})^2}{n}}$	موثا (Motha)
[۱۹]	$\sum_{i=1}^n \left( \frac{\sum_{k=2}^{1000} \sum_{j=1}^m X_j c_{i,j,k,l} / 1000 - c_i}{n} \right)^2$	هاقس (Hughes)
[۳۸]	$\left( \frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n \left  c_i - \sum_{j=1}^m X_j s_{ji} \right  / \sqrt{\sum_{j=1}^m X_j^2 VAR_{ij}}$	لدور (Landwehr)
[۳۸، ۱۹]	$\left( \frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n \left  c_i - \sum_{j=1}^m X_j s_{ji} \right  / \sqrt{\sum_{j=1}^m X_j^2 (VAR_{ij} / m_j)}$	لدور اصلاح شده (M Landwehr)
[۳۷، ۱۰]	$X_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^p X_j^k s_{ik} + \epsilon_{ij}}{\sum_{k=1}^p s_{ik}}$	میکس سیار (mix-sayar)
[۳۷]	$P(f_q   data) = (L(data   f_q) * P(f_q)) / \sum L(data   f_q) * P(f_q)$	بیسین (Basian)
[۸]	$P(x, y, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-y)^2}{2\sigma^2}\right)$	مونت کارلو (Monte-Carlo)

شود اما چون محافظه کارانه نیستند ممکن است سبب ابهام در تفسیر نتایج شود. ردیاب ژئوشیمیایی به دلیل تعداد زیاد عناصر برای اندازه‌گیری منشایابی رسوب مورد علاقه پژوهشگران می‌باشد و اکثر تحقیقات که ۲۵ مورد از بین تمامی پژوهش‌های انجام گرفته با استفاده از این ردیاب‌ها می‌باشد.

ردیاب رادیونوکلوئید جزء قوی‌ترین ردیاب‌ها برای تعیین سهم منابع رسوب در تولید رسوب می‌باشند اما اندازه‌گیری این ردیاب‌ها نیازمند ابزار گران قیمت می‌باشد که به علت مقرون به صرفه نبودن در مطالعات آتی پیشنهاد نمی‌گردد. از بین تمام مطالعات انجام گرفته تنها پژوهش کوهیما و همکاران [۲۷] و نصرتی و همکاران [۴۱] در مقیاس مکانی محلی و سایر موارد در مقیاس مکانی متوسط بوده و هیچ پژوهشی در مقیاس منطقه‌ای صورت نگرفته است. تاکید بیش‌تر مطالعات روی تقسیم‌بندی منابع در دسته فرآیندی (کاربری‌ها و فرسایش) می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت استفاده از اندازه ذرات ۶۳ میکرون و عدم مدنظر قرار دادن ابعاد مختلف ذرات، غنی‌شدگی و تهی‌شدگی ردیاب‌ها را در پژوهش‌ها سبب می‌گردد. بررسی تغییرات زمانی رسوب با نمونه‌گیری از منابع رسوب در بازه‌های زمانی متفاوت به دلیل مدیریت صحیح منابع ضروری می‌باشد. هم‌چنین جهت کاهش هزینه‌ها و تحلیل دقیق نتایج، با استفاده از آنالیز آزمایشگاهی نمونه رسوب ردیاب‌های لازم جهت

تمام مطالعات به‌جز یک مورد مطالعاتی [۲] بیش‌ترین سهم نسبی تولید رسوب را داشته است. مقایسه چندین مدل ترکیبی و در نتیجه انتخاب مدل والینگ اصلاح شده در یک مطالعه مشاهده گردید. استفاده از ذراتی با قطر کوچک‌تر از ۶۳ میکرون در تمام مطالعات بررسی شده است. هم‌چنین بیش‌تر مطالعات مبتنی بر اندازه‌گیری رسوبات پشت بند اصلاحی یا نمونه بستر آبراهه بوده است و کم‌تر تحقیقی مبتنی بر نمونه‌برداری به هنگام از رسوبات سیلاب بوده است. از بین ردیاب‌های بکار رفته ایزوتوپ پایدار به علت توانایی بالای سایر ردیاب‌های همراه در تفکیک بهتر منابع قادر به جداسازی منابع رسوب نبوده است. حجم نمونه‌برداری در مطالعات مختلف متفاوت بوده است و در سه دسته کلی قرار گرفتند و در صورتی‌که در پژوهش گرانولومتری نمونه مدنظر قرار نگیرد حجم کم‌تر نمونه در حد ۱-۰/۵ کیلوگرم ترجیح داده می‌شود. در ۱۹ مورد مطالعاتی تقسیم‌بندی منابع رسوب بر اساس یک معیار صورت گرفته است. بررسی ما از تمام مطالعات منشایابی رسوب در ایران، استفاده از کاربری‌های مختلف و سپس زمین‌شناسی و فرسایش سطحی و زیر سطحی را به‌عنوان متغیر متداول منابع رسوب شناسایی کرد. اهمیت نسبی منابع رسوب به دلیل تضاد و تفاوت زمین‌شناسی، مورفولوژی، هیدرولوژی، سیستم رودخانه‌ای، دخالت‌های انسانی و سایر عوامل متفاوت می‌باشد. علت هزینه پایین می‌تواند به راحتی اندازه‌گیری

fingerprint properties for discriminating potential suspended sediment sources in river basins. *Journal of Hydrology*. 261: 218-244.

10. Collins, A. L., Walling, D. E., 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.

11. Davis, C. M., Fox, J. F. 2009. Sediment fingerprinting: review of the method and future improvements for allocating nonpoint source pollution. *Journal of Environmental Engineering* 135(7): 490-504.

12. Estrany J., Garcia C., Walling D. E. 2010. An investigation of soil erosion and redistribution in a Mediterranean lowland agricultural catchment using caesium-137. *International Journal of Sediment Research*. (25): 1-16.

13. Fathabadi, A., Selajgeh, A., Physician, H., Samani, A., and Rouhani, H. 2013. Origin of suspended sediments and estimation of its uncertainty (Case study: Zidasht-Fashandak Taleghan basin) . *Rangeland and watershed management*. 70(1): 57-69.

14. Faizunia, S., Ahadi, H., Moazami, M., Fahmi, H. 2010. Investigation and determination of the share of sediment production sources using natural soil detectors (Case study of Abolfars watershed in Khuzestan). *Rangeland and Watershed Management*, 63(4): 514-503.

15. Fox, J., Papanicolaou, A. 2008. Application of the spatial distribution of nitrogen stable isotopes for sediment tracing at the watershed scale. *Hydrology* (358): 46-55.

16. Gruszowski, K., Foster, I.D.L., Lees, J., Charlesworth, S. 2003. Sediment sources and transport pathways in a rural catchment, Herefordshire, UK. *Hydrological Processes* (17): 2665-2681.

17. Gholami, H., Telfer, M. W., Blake, W. H., A. Fathabadi, 2017b. Aeolian sediment fingerprinting using a Bayesian mixing model, *Earth Surf. Process. Landforms*, 42: 2365-2376.

18. Hatfield R. G., Maher B. A. 2009. Fingerprinting upland sediment sources: particle size-specific

منشایابی رسوب انتخاب گردد سپس به اندازه‌گیری غلظت همان ردیاب‌ها در منابع رسوب پرداخته شود.

#### منابع

1. Ahmadi, F., Nosrati, K., Hosseinzadeh, M.M. 2017. Effects of land use change on sedimentation of Koohdasht basin using sediment source technique. *Iranian Soil and Water Research*. 50(8): 2035-2023.

2. Atapourfard, SA, Fattahi Ardakani, MA, Hakim Khani, Sh. 2017. Sediment Origin Instructions. Ministry of Energy, National Committee of Great Dams of Iran. 102 pages.

3. Aiello, A., Adamo, M., Canora, F. 2015. Remote sensing and GIS to assess soil erosion with RUSLE3D and USPED at river basin scale in southern Italy. *Catena* (131): 174-185.

4. Bakker, M. M.; Govers, G., M. D. A, Rounsevell, 2004. The crop productivity-erosion relationship: an analysis based on experimental work, *Catena*, 57 (1): 55-76.

5. Ballantine, D., Walling, D., Collins, A., Leeks, G. 2009. The content and storage of phosphorus in fine-grained channel bed sediment in contrasting lowland agricultural catchments in the UK. *Geoderma* (151):141-149.

6. Bagheri, Z., Bakhtiari, A.R., Bagheri, H. 2013. Study of determination of concentration and origin of lead and cadmium metals in surface sediments of Bandar Abbas coasts by sequential extraction method. *Journal of Oceanography*. 4(14): 33-27.

7. Benaduki, F., Dashtarani, M., Sharifi, M., Benadooki, A. 2016. Construction and evaluation of river flow pollution measuring device. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*. 11(38): 82-73.

8. Collins, A., Anthony, S., Hawley, J., Turner, T. 2009. The potential impact of projected change in farming by 2015 on the importance of the agricultural sector as a sediment source in England and Wales. *Catena* (79): 243-250.

9. Collins, A.L., D.E. Walling. 2002. Selecting

between sediments deposited behind small dams and sediment production sources based on the source method in Semnan province. *Journal of Watershed Management Research*. (90): 28-20.

28. Kouhpeima, A., Feiznia, S., Ahmadi, H., Hashemi, S.A.A. 2011. Determining the ability of acid extractable metals as a fingerprint in sediment source discrimination. *International Journal of Natural Resources and Marine Sciences*, 1(2): 93-99.

29. Khosravi, Sh., Javadi, M., and Hashemi, S.A.A. 2015. Use of clay minerals in mineralization (Morrdi study: Nokandeh watershed). *Journal of Watershed Management Research*. 107: 24-13.

30. Mossafaei, J., Exclusive, M., Salehpour Jam, A., Rajabi, M. 2016. Origin of aqueous sediments in Vartoran basin of Qazvin by combined fingerprinting method. 8(16):131-123.

31. Mossafaei, J., Exclusive, M. 2016. Comparison of sedimentation capacity of lithological units using relative color index. *Iranian Watershed Management Science and Engineering*. 10(32): 58-51.

32. Mossafaei, J., Eghtesadi, M., Pourjam, AS. 2018. Comparison of the performance of fingerprinting method and field measurement of erosion in the origin of aqueous sediments. *Iranian Watershed Management Science and Engineering*. 12(40): 9-1.

33. Mohammadi Raigani, Z., Nosrati, K. 2020. Quantification of the share of suspended sediment sources during floods using the source method in the Kamish Basin, east of Kermanshah. *Journal of Rangeland and Watershed Management*. 73(2): 421-405.

34. Mohammadi Raigani, Z., Nosrati, K., Collins, A. 2020. Fingerprinting sub-basin spatial sediment sources in a large Iranian catchment under dry-land cultivation and rangeland farming: Combining geochemical tracers and weathering indices. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 24: 100613.

35. Najafi, S., Sadeghi, S.H.R. 2013. Determining the share of sediment production sources by comparing the results of erosion map methods, fingerprinting and field measurements *Journal of Watershed Engineering and Management*. 5(3):178-165.

magnetic

Linkages between soils, lake sediments and suspended sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34: 1359-1373.

19. Haddadchi, A., Nosrati, K., Ahmadi, F. 2014. Differences between the source contribution of bed material and suspended sediments in a mountainous agricultural catchment of western Iran. 116, 105-113.

20. Habibi, S., Gholami, H., Fathabadi, A., Walling, D. 2018. Origin of sediments in the dam reservoir using fingerprinting method (Case study: Lavar Fin Dam watershed, Hormozgan province). *Environmental Erosion Research*. 3(8): 15-1.

21. HakimKhani, Sh., Ahmadi, H. 2008. Determining the share of sub-basins in sediment production using the source method (Case study: Morgen Poldasht Basin, Mako). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 5(1): 12-1.

22. HakimKhani, Sh., Ahmadi, H., Ghayoumian, J. 2009. Determining the share of surface and subsurface erosion in sediment production using the source method in the Morgen-Mako watershed. *Journal of Water and Soil Knowledge*. 19(1): 96-84.

23. HakimKhani, Sh., Alijanpour, A. 2010. Detection of outlier data in the sedimentation method. *Journal of Soil and Water Conservation Research*. 17(1): 43-23.

24. Heidari, K., Najafinejad, A., Khormali, F., Babanejad, M. 2013. Determining the share of work units in the production of suspended sediment using sediment source method (Case study: Tol Baneh watershed, Golestan province). *Journal of Environmental Erosion Research*. 3(11): 38-27.

25. Horowitz, A. J., Elrick, K. A. Hooper, R. C. 1989. A comparison of instrumental dewatering methods for the separation and concentration of suspended sediment for subsequent trace element analysis. *Hydrological Processes*, 3(2); 163-184.

26. Juracek, K.E., Ziegler, A.C., 2009. Estimation of sediment sources using selected chemical tracers in the Perry lake basin, Kansas, USA. *Int. J. Sediment Res.* 24 (1): 108-125.

27. Kouhpeima, A., Ahmadi, H., Feyznia, S., Hashemi, S.A.A. 2011. Investigating the relationship

45. Nosrati, K., Collins, L. A. Madankan, M. 2018. Fingerprinting sub-basin spatial sediment sources using different multivariate statistical techniques and the Modified MixSIR model. *Catena*, (164): 32-43
46. Nosrati, K., Collins, A. 2019. Investigating the importance of recreational roads as a sediment source in a mountainous catchment using a fingerprinting procedure with different multivariate statistical techniques and a Bayesian unmixing model. *Journal of Hydrology*. 1-44.
47. Owens, P. N., Batalla, R. J., Collins, A. J., Gomez, B., Hicks, D. M., Horowitz, A. J., Kondolf, G. M., Marden, M., Page, M. J., Peacock, D. H.; Petticrew, E. L., Salomons, W., N. Horowitz, A. J., 2008. Determining annual suspended sediment and sediment-associated trace element and nutrient fluxes, *Sci. Total Environ*, 400 (1-3): 315-343.
48. Poulénard J., Perrette Y., Fanget B., Quetin P., Trevisan D., Dorioz J. M. 2009. Infrared spectroscopy tracing of sediment sources in a small rural watershed (French Alps). *Science of the Total Environment*. 407(8): 2808-2819.
49. Poulénard, J., Legout, C., Némery, J., Bramorski, J., Navratil, O., Douchin, A., Fanget, B. Perrette, Y., Evrard, O. 2012. Tracing sediment sources during floods using Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectrometry (DRIFTS): A case study in a highly erosive mountainous catchment (Southern French Alps). *Journal of Hydrology* 414-415: 452-462.
50. Sadeghi, S. H.R., Najafi, S., RiyahiBakhtiari, A., Abadi, P. 2014. Ascribing soil erosion types for sediment yield using composite fingerprinting technique. *Hydrological Sciences journal*. 59 (9): 1753-1762
51. Sadeghi, S. H., Najafi, S., RiyahiBakhtiari, A. 2017. Sediment contribution from different geologic formations and land uses in an Iranian small watershed, case study, *International Journal of Sediment Research*, 32: 210-220.
52. Sadeghi, S. H., and Najafi, S. 2014. Fingerprinting of water sediments in watersheds Concepts, new methods and technologies. University Jihad Publishing
36. Nosrati, K., Ahmadi, F., Samani, A.N., Thorati, M. 2015. Determining the role of land use in suspended sediment and floor production based on sediment origin in Taleghani basin, Khorramabad. *Rangeland and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*. 68(4): 765-751.
37. Nosrati, K. 2011. Sediment descent based on uncertainty estimates. *Iranian Journal of Water Research*. 5(9): 60-51.
38. Nosrati, K., Amini, M., Haddadchi, A., Zare, M. 2016. Determining the share of sub-basins in sediment production using the magnetic susceptibility characteristics of sediments and the combined uncertainty model (Case study: Ashan watershed, Maragheh city). *Journal of Soil and Water Sciences (Agricultural Science and Technology and Natural Resources)*. 20(38): 155-141.
39. Nosrati, K., Jalali, S. 2017. Investigation of suspended sediment production in Gorgan Ziarat watershed in different seasons using sediment source technique. *Echo Hydrology*. 4(3): 895-887.
40. Nosrati, K., Ahmadi, F. 2018. Origin of sediment sources in spring and autumn using geochemical tracers. *Iranian Journal of Geology*. 12(46): 73-65.
41. Nosrati, K., Zaref, M.R., Jalali, S. 2019. Determining the share of geological formations in suspended sediment production using sediment source method (Ziarat watershed of Golestan province). *Iranov Soil and Water Research* 50(2): 387-379.
42. Nohegar, A., Kazemi, M., Ahmadi, S.J., Gholami, H., Mahdavi, R. 2017. Use of hybrid models and tracers to determine the share of land use units in the rate of erosion and sediment (Case study: Tang Bostanak watershed, Fars province). *Geography and environmental hazards*. 22: 17-35.
43. 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. *Sediment Research*, (26): 136-151.
44. Nosrati, K., Govers, G., semmens, B., and Ward, E. 2014. A mixing model to incorporate uncertainty in sediment fingerprinting. *Geoderma*. 217(218): 173-



57. Zhang Q., Lei T., Zhao J. 2008, Estimation of the detachment rate in eroding rills in flume experiments using an REE tracing method. *Geoderma*.147 (1-2): 8-15.
58. Area khormizi, M., kavian, A., Soleimani. K., and Nosrati, K. 2016. Determining Sediment Contribution of Land Use Units in Kond Watershed using the Fingerprinting Approach. *Water and soil sci.* 21(2): 83-94
59. Zoratipor, M., Moazami, M., and Ansari, M. 2018. Determining the share of sediment sources in the basin using the fingerprinting technique of geochemical elements (Case study: Baghmalek Pomegranate Valley basin). *Journal of Water and Soil.* 32(6): 1067-1055.
- Organization. 256 pages
53. Slattery M., Walden J., Burt T. P. 2000. Fingerprinting suspended sediment sources using mineral magnetic measurements- A quantitative approach. *Tracers in geomorphology*, John Wiley and Sons: 309-322.
54. Smith H. G. and Dragovich D. 2008. Improving precision in sediment source and erosion process distinction in an upland catchment, south-eastern Australia. *Catena*172.): 191-203.
55. Walling, D. E., 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems, *Science of the Total Environment*, 344(1-3): 159-184
56. Walling, D. E., Owens, P. N., Leeks, G. J. L., 1999. Fingerprinting suspended sediment sources in the catchment of the River Ouse, Yorkshire, UK. *Hydrological Processes*, 13: 955-975.





## Abstract

**A review of studies on the sediment fingerprinting in Iran**M. Mahmoudi<sup>1\*</sup>, S. Najafi<sup>2</sup>

Received: 2021/06/23 Accepted: 2021/08/25

Sediment fingerprinting of water sediments is a suitable method to determine the share of resources in sediment production and as an erosion and sedimentation technique to identify the origin and movements of sediments in the river and relative estimation of soil erosion, which has increased in recent decades. A comprehensive review of the research background in the field of soil and sediment erosion, hybrid models, different tracers and sampling methods has been performed in various Iranian-scale origin studies. The available data were compared in order to achieve a unified view and provide effective tracers in the origin and determination of the share of sediment sources in sediment production in Iran's watersheds. The results showed that the source studies have been started since 2008 with the help of geochemical, radionuclide, trace elements, mineralogy, magnetic properties and enzymes. Most studies focus on the division of resources into process categories (uses and erosion). In the division of resources according to location (sub-basins), sub-basins close to the output had the largest relative share of sediment production. In sediment sampling, most studies have been based on the measurement of sediment at the backbone or the sample of the canal bed. Sampling volume was divided into three general categories and if granulometry of the sample is not considered in the research, a smaller sample size of 0.5-1 kg is preferred. Of all the studies, two were conducted at the local spatial scale (10 Km<sup>2</sup>) and the other at the medium spatial scale (10 to 10,000 Km<sup>2</sup>) and no research was conducted at the regional scale (greater than 10,000 Km<sup>2</sup>). The use of enzymes has been limited, due to the high cost and chemicals. The use of tracers such as radioactive elements is preferred due to its stability and heavy metals and rare elements due to lack of reaction and concentration changes. In order to reduce costs and analyze the results accurately, using laboratory analysis of sediment samples, the necessary detectors for sediment fingerprinting should be selected and then the concentration of the same detectors in sediment sources should be measured.

**Keywords: Discriminant analysis, Traces, Fingerprinting, Sediment sources, Combined models**

1. PhD Student in Watershed Management and Engineering, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Correspond Author, Email: manzarmahmodi75@yahoo.com

2. Assistant Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University