

تعیین سهم سازندها و کاربری اراضی در فرسایش و رسوب برپایه‌ی مدل ترکیبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز تنگ‌بستانک شیراز)

احمد نوحه‌گر: استاد دانشکده‌ی محیط زیست، دانشگاه تهران

محمد کاظمی*: دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه هرمزگان

سیدجواد احمدی: دانشیار پژوهشکده‌ی چرخه سوخت، سازمان انرژی اتمی

حمید غلامی: استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه هرمزگان

رسول مهدوی: استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه هرمزگان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۲/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۱۷

چکیده

در راستای کنترل فرسایش، رسوب و حفاظت خاک، شناخت منابع تولید رسوب و تعیین سهم نسبی هر یک از منابع برای تعیین فعالیت‌های مدیریتی مناسب نقش به‌سزایی دارد. کارآیی روش منشأیابی با ردیاب‌ها یا انگشت‌نگاری به‌عنوان روشی موفق و مؤثر، برای تعیین منابع رسوبات به اثبات رسیده‌است. هدف از تحقیق حاضر، تعیین سهم سازندها و کاربری‌های اراضی مختلف بر فرسایش و رسوب است که با استفاده از مدل ترکیبی هوگس صورت گرفت؛ بدین منظور ۴۳ نمونه‌ی سطحی جمع‌آوری شد که از میان آنها ذرات کمتر از ۶۳ میکرون به‌عنوان هدف آزمایش قرار گرفتند. به‌منظور اندازه‌گیری عناصر ژئوشیمیایی از دستگاه ICP-AES و برای اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های استرانسیوم (^{87}Sr و ^{86}Sr) و نئودیمیوم (^{143}Nd و ^{144}Nd) از دستگاه ICP-MS استفاده شد. برای یافتن بهترین پاسخ در حل این مدل، از سه روش الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی لوکال و شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شد و برای تعیین ضریب کارآیی مناسب مدل، از شاخص GOF. عناصر کربن، مس، سیلیکون و تیتانیوم به‌عنوان ترکیب بهینه‌ی ردیاب‌ها برای تفکیک سهم واحدهای کاربری اراضی و عناصر استرانسیوم، تیتانیوم، مس و نسبت ایزوتوپی نئودیمیوم $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ به‌عنوان بهترین ترکیب بهینه برای تفکیک سهم سازندهای زمین‌شناسی انتخاب شدند. نتایج نشان داد روش بهینه‌سازی لوکال، با شاخص GOF ۹۹/۹۴ درصد در واحد سازندها و روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک، با شاخص GOF ۹۷/۸۴ درصد در واحد کاربری اراضی بیشترین مقادیر دقت را دارند. بیشترین سهم منابع تولید رسوب در واحد سازندها به ترتیب مربوط به سازندهای آسماری و کواترنر معادل ۸۴/۵۱ و ۵/۳۷ درصد و بیشترین سهم منابع تولید رسوب در واحد کاربری‌های اراضی مربوط به کاربری‌های مراتع و جنگل‌ها، به ترتیب معادل ۶۳/۰۴ و ۳۱/۸۱ درصد است. سازندهای پابده‌گورپی و بختیاری به ترتیب با امتیاز ۰/۲۴ و ۰/۲۷ و اراضی زراعی و جنگلی به ترتیب با امتیاز ۰/۲۲ و ۰/۵۵ نسبت به بقیه‌ی سازندها و کاربری‌های اراضی کمترین اهمیت نسبی را به خود اختصاص دادند و برای مدیریت اراضی در اولویت قرار ندارند.

واژگان کلیدی: مدل‌های ترکیبی، ردیاب، الگوریتم ژنتیک، اهمیت نسبی، تنگ‌بستانک.

۱- مقدمه

کاهش تولید رسوب، به اجرای روش‌های مناسب کنترل رسوب و حفاظت خاک در مناطق بحرانی منبع رسوب در حوزه‌ی آبخیز نیازمند است (Patrick Laceby et al, 2015). لازمه‌ی شناخت روش مناسب و اجرای صحیح برنامه‌های حفاظت خاک، شناسایی اهمیت نسبی منابع رسوب و سهم هر یک از این منابع (Chen et al, 2016) در تولید رسوب است. برای ارائه‌ی برنامه‌های مدیریتی در حفاظت از خاک و کنترل رسوب، اطلاع از ماهیت، اهمیت نسبی و منشأ، منابع اصلی رسوب در حوزه‌های آبخیز است (نجفی و همکاران، ۱۳۹۲). لازمه‌ی اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و کنترل رسوب، کسب اطلاع از اهمیت نسبی منابع رسوب و سهم آنها در تولید رسوب و در نتیجه مناطق بحرانی حوزه‌ی آبخیز است (Collins et al, 2010). تفکیک خاک فرسایش یافته به چندین منبع با استفاده از ردیاب‌های طبیعی، رویکردی جامع در مطالعات فرسایش و رسوب محسوب می‌شود (نصرتی، ۱۳۹۰). روش انگشت‌نگاری^۱، ردیابی یا به عبارتی منشأیابی به‌عنوان روشی جایگزین و مناسب، در تعیین سهم و اهمیت نسبی این منابع در تولید رسوب کاربرد روزافزونی یافته‌است (Walling, 2005). شناخت سهم یا جداسازی منابع رسوب به‌عنوان ابزاری در پیش‌بینی فرسایش، اعتبارسنجی مدل‌های فرسایش و رسوب، پایش بیلان رسوب و در نتیجه تعیین مناسب‌ترین عملیات کنترل فرسایش و رسوب و حفاظت خاک در مقیاس حوزه‌ی آبخیز موردنیاز است. در این روش از ویژگی‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی، ژئوشیمیایی و آلی رسوب و منابع آن، همچنین تکنیک‌های آماری چند متغیره و مدل‌های ترکیبی یا غیرترکیبی در تعیین سهم نسبی هر منبع استفاده می‌شود (Koiter et al, 2013). تلفیق مدل‌های ترکیبی کمی درباره‌ی ردیاب‌های مرکب، در اواخر دهه‌ی ۱۹۸۰ و اوایل دهه‌ی ۱۹۹۰ به مطالعات ردیابی منبع وارد شد و امکان به دست آوردن تخمین‌های کمی سهم نسبی را از منابع مختلف فراهم کرد (Walling, 2005).

منشأیابی مرکب عبارت است از بررسی چندین منبع بالقوه‌ی رسوب از طریق چندین گروه متفاوت از خصوصیات که برای افزایش تشخیص بین منابع و اجتناب از منبع رسوب غیرواقعی است و انواع وسیعی از خصوصیات مختلف شناختی را در بر می‌گیرد (Collins et al, 2010). انگشت‌نگاری رسوب شامل دو فرض اصلی است: ۱) منابع بالقوه‌ی رسوب می‌توانند بر پایه‌ی خصوصیات فیزیکی، ژئوشیمیایی و بیوژنیک آنها یا ردیاب‌ها تفکیک شوند؛ ۲) مقایسه‌ی نمونه‌های رسوب و منبع با استفاده از خصوصیات آنها یا ردیاب‌ها، اجازه می‌دهد اهمیت منابع رسوب تعیین شود (Collins et al, 2012 & Walling, 2015). محققان مختلفی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مانند ویژگی‌های ژئوشیمیایی (کالینز و والینگ، ۲۰۰۷)، بیوژئوشیمیایی (Fox and Papanicolaou, 2008)، خصوصیات مغناطیسی کانی‌ها (Hatfield and Poulénard, 2009) و عناصر رادیواکتیو (Blake et al, 2009)، اسپکتروسکوپی مادون قرمز (Poulénard, 2009) و عناصر نادر خاکی^۲ (Zhang et al, 2008) را به‌عنوان ردیاب در مطالعات منشأیابی استفاده کردند.

¹ fingerprinting

² Rare Earth Elements

از جمله تحقیقات داخلی می‌توان به تحقیق عباسی و همکاران (۱۳۸۹) اشاره کرد که با استفاده از روش تحلیل تشخیص و تعیین ترکیب‌های مناسب از عناصر - که قادر به جداسازی واحدهای سنگ‌شناسی، کاربری‌های اراضی و واحدهای رخساره در منطقه‌ی مورد مطالعه بودند - با استفاده از مدل چند متغیره‌ی ترکیبی کالینز کلاسیک^۱، سهم و اهمیت نسبی منابع رسوب را تعیین کردند. نصرتی (۱۳۹۰) با تهیه‌ی مدل منشأیابی رسوب براساس برآورد عدم قطعیت و تئوری بیضی، درصد سهم هر یک از این منابع را در حوزه‌ی آبخیز زیدشت تعیین کرد. نامبرده معتقد است مطالعات اندکی وجود دارد که برآورد سطح عدم قطعیت را در رویکرد منشأیابی رسوب T به منظور تعیین سهم نسبی هر یک از این منابع قابل توجه قرار داده‌است. همچنین از دیگر تحقیقات داخلی، می‌توان به تحقیق حیدری و همکاران (۱۳۹۲) در حوزه‌ی تول‌بنه استان گلستان و تعیین سهم واحدهای کاری در تولید رسوب معلّق با استفاده از روش منشأیابی رسوب اشاره کرد. نامبردگان با ۱۷ ردیاب در پنج واحد کاری و سه مقطع از رودخانه، به بررسی بیشترین و کمترین سهم منابع تولید رسوب پرداختند. ذکر این امر لازم است که در تحقیقات داخلی تا جایی که بررسی شد، از مدل هوگس استفاده نشده‌است و بیشتر محققان داخلی بر مدل کالینز یا نسخه‌ی اصلاح شده‌ی آن^۲ تمرکز داشته‌اند.

در مطالعات خارجی می‌توان به تحقیق حدادچی^۳ و همکاران (Haddadghi et al, 2013) اشاره کرد. آنها در تحقیقی با نمونه‌گیری از رسوبات معلّق و استفاده از مدل‌های ترکیبی موجود، سعی کردند این مدل‌ها را توسعه دهند و به شناسایی منشأ رسوبات بپردازند. آنها در تحقیق خویش، از ردیاب‌های بیوشیمیایی و فیزیکی استفاده و در نهایت اعلام کردند که استفاده از مدل‌های بهینه شده با الگوریتم ژنتیک (مدل کالینز بازنگری شده) (Collins et al, 2010) و مدل هوگس (Hughes al, 2009)، بهترین رابطه‌ی توزیعی بین منابع رسوب را پیش‌بینی می‌کند. همچنین هوگس و همکاران (2009) در تحقیقی با استفاده از ردیاب‌های ایزوتوپی رادیوم، سزیم، سرب و عناصر ژئوشیمیایی، به بررسی سهم سازندها و کاربری‌های اراضی در یک دوره‌ی ۲۵۰ ساله در یکی از زیرحوزه‌های آبخیز رودخانه‌ی فیتزروی^۴ پرداختند. نامبردگان از مدل ترکیبی هوگس استفاده کردند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که مناطق بازالتی و اراضی کشاورزی، بیشترین سهم را در تولید رسوب داشته‌اند. منطقه‌ی تنگ‌بستانک یکی از حوزه‌های آبخیز بالادستی سد درودزن استان فارس است (فاصله‌ی تقریبی بیست کیلومتر) که این سد، آب شرب و کشاورزی مناطق شهری و روستایی شهرستان شیراز، مرودشت و ... را تأمین می‌کند و سالانه سرازیر شدن حجم قابل توجهی از رسوبات به سمت این سد مهم، به بروز خسارت‌های فراوانی منجر می‌شود؛ از این رو مدیریت حوزه‌های آبخیز بالادست در امر فرسایش و رسوب و شناسایی سهم منابع مختلف موّلد آن، اجتناب‌ناپذیر است و شرایطی می‌طلبد که این مشکل رفع گردد.

در تحقیق حاضر، برای تشخیص سهم و اهمیت نسبی کاربری‌های اراضی موجود و سازندهای زمین‌شناسی در منطقه‌ی تنگ‌بستانک استان فارس، از مدل ترکیبی هوگس بر پایه‌ی بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و لوکال استفاده شد. تا علاوه بر

¹ Collins 1997

² Modified Collins

³ Haddadchi

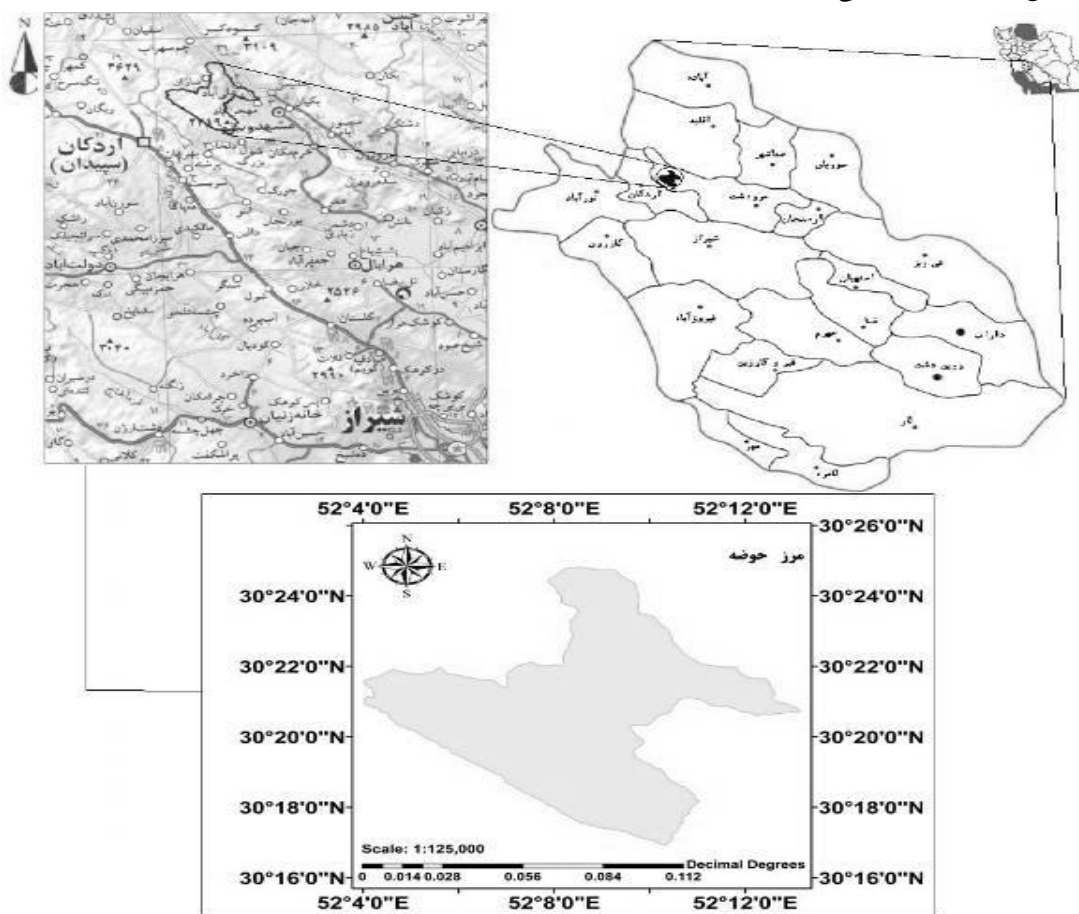
⁴ Fitzroy

بررسی کارآیی روش انگشت‌نگاری ترکیبی با شاخص GOF^1 در تعیین سهم منابع رسوب، مقایسه‌ی نتایج ناشی از روش شبیه‌سازی مونت کارلو با نتایج به‌دست آمده از بهینه‌سازی‌ها در واحدهای کاربری اراضی و سازندها مدنظر قرار گیرد.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در این تحقیق با مساحت $81/73$ کیلومتر مربع، تحت عنوان حوزه‌ی آبخیز بهشت گمشده (تنگ-بستانک) در حدود 80 کیلومتری شمال غرب شهرستان شیراز و در موقعیت جغرافیایی $30^{\circ} 33' 16''$ تا $30^{\circ} 25' 18''$ شمالی واقع شده‌است. اقلیم این حوزه مطابق با اقلیم‌نمای دومارتن، مدیترانه‌ای سرد و بارش سالانه‌ی آن، 609 میلی‌متر است. حداکثر بارش 24 ساعته در این حوزه، 64 میلی‌متر است. مقادیر متوسط، متوسط حداکثرها و متوسط حداقل‌های درجه حرارت سالانه‌ی منطقه $13/5$ ، $20/5$ و 6 درجه‌ی سانتی‌گراد است. شکل ۱ موقعیت و راه‌های دسترسی به این منطقه را نشان می‌دهد.

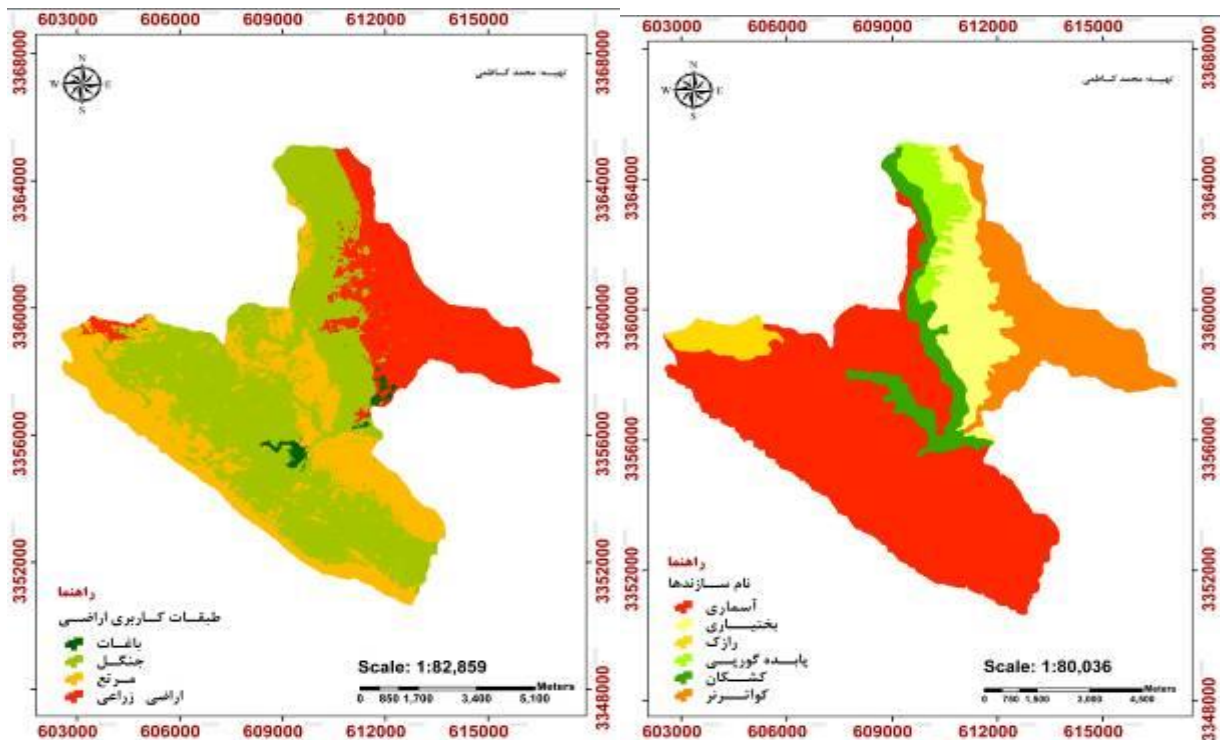


شکل ۱: موقعیت محدوده‌ی مورد مطالعه در استان فارس و راه‌های دسترسی به آن

۲-۲- نمونه‌برداری

¹ Goodness of fit

در این مطالعه، نقشه‌ی کاربری اراضی تحت عنوان کاربری‌های اراضی زراعی، جنگل، باغ‌ها و مراتع به‌عنوان واحدهای مولد رسوب و مطابق با روش الگوریتم حداکثر تشابه^۱، با تصویر ماهواره‌ی لندست ۸ سنجنده OLI (تیرماه ۱۳۹۴) تهیه شد. همچنین نقشه‌ی سازندهای زمین‌شناسی با استفاده از روش مشخصه‌ی برآزش طیفی^۲ و تحت عنوان سازندهای رازک، کشکان، بختیاری، کواترنر، پابده گورپی و آسماری فراهم شد (شکل ۲).



شکل ۲: نقشه‌ی واحدهای کاربری اراضی و سازندهای زمین‌شناسی به‌عنوان منابع مختلف تولیدکننده‌ی رسوب

نمونه خاک هر یک از کاربری‌های اراضی حدوداً به اندازه‌ی ۲ کیلوگرم از عمق ۰ تا ۵ سانتی‌متری، با یک بیلچه‌ی استیل برداشت شد (Walling et al, 1999). از هر واحد کاری با توجه به وسعت، حداقل ۵ نمونه‌برداری صورت گرفت. نمونه‌ها طوری انتخاب شدند که معرف تغییرات در نوع کاربری‌ها باشند. در مجموع تعداد ۴۳ نمونه برداشت شد. بعد از خشک کردن نمونه‌ها در هوای آون و دمای ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، از الک‌های ۶۲/۵، ۷۵، ۱۵۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۱۱۸۰ و ۱۷۰۰ میکرون عبور داده شدند. سپس بر مقدار خاکی که کمتر از ۶۳ میکرون بود، عملیات آزمایشگاهی صورت گرفت و مقادیر عناصر با دستگاه ICP-AES و مقادیر ایزوتوپ‌های ^{86}Sr ، ^{87}Sr ، ^{143}Nd و ^{144}Nd با دستگاه ICP-Mass اندازه‌گیری شد.

۳-۲- انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها

¹ ML

² SFF

برای تعیین ترکیب ردیاب‌های منشأیاب، از یک روش آماری دو مرحله‌ای استفاده شد؛ در مرحله‌ی اول در صورت فقدان تبعیت از توزیع نرمال، از آزمون غیرپارامتری آزمون H یا آزمون کروسکال_والیس استفاده شد (Palazón et al, 2015). در مرحله‌ی دوم، تعیین تابع تحلیل تشخیص و ضرائب آن برای کاهش خصوصیات انتخابی اولیه‌ی ردیاب‌ها به کار گرفته شده‌است؛ به طوری که حداقل همبستگی و حداکثر توان تفکیک منابع رسوب را داشته باشد. بعد از محاسبه‌ی توابع، تشخیص سطح معنی‌داری آماری آنها با معیارهای ویلکس لامبدا^۱ و مربع فاصله ماهالانویس صورت گرفت. برای نشان دادن توان جداسازی یا طبقه‌بندی تحلیل تشخیص، معنی‌داری توابع، اختلاف گروه‌ها و ماتریس طبقه‌بندی بررسی شده‌است. درصد طبقه‌بندی صحیح، مهمترین معیار بررسی توان طبقه‌بندی تحلیل تشخیص است که برای تعیین آن از ماتریس طبقه‌بندی استفاده شده‌است. در ضمن، برای ارزیابی نتایج تحلیل تشخیص از روش ارزیابی متقابل استفاده شد. ترکیب مناسب به دست آمده از ردیاب‌ها در این مرحله، برای تعیین سهم منابع رسوب در مرحله‌ی بعد استفاده می‌شود (Walling et al, 2008). یکی از پیش‌فرض‌های روش تحلیل تشخیص، نبود هم‌خطی چندگانه قوی بین متغیرهاست. برای تشخیص هم‌خطی چندگانه، از عدد تحمل و عکس آن (عامل تورم واریانس) استفاده شده‌است. عدد تحمل برابر یا کوچکتر از ۰/۱ و عامل تورم واریانس برابر یا بزرگتر از ۱۰، هم‌خطی قوی بین متغیرها را نشان می‌دهد. برای مقابله با مشکلات هم‌خطی چندگانه قوی، ترکیب‌هایی از عناصر طوری انتخاب شدند که کمترین هم‌خطی در بین آنها (عامل تورم واریانس حداکثر ۱۰) وجود داشته باشد (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹).

۴-۲- مدل‌های ترکیبی و کمی

تعیین سهم منابع رسوب براساس مقایسه‌ی خصوصیات نمونه‌های رسوب و منابع آن، با استفاده از روش‌های کمی یا به عبارتی مدل‌های چند متغیره‌ی ترکیبی صورت گرفت. برای حل این مدل‌ها، از برنامه‌نویسی خطی برای حل و بهینه سازی مقادیر سهم نسبی استفاده می‌شود (Haddadghi et al, 2013 & Walling et al, 2008). در مدل‌های یاد شده براساس فرض خطی بودن رابطه بین ردیاب‌های مواد منبع رسوب و نمونه‌های آن، از برنامه‌نویسی خطی برای حل این معادلات استفاده می‌شود. بر همین اساس، رابطه‌ی ترکیبی برای هر یک از ردیاب‌ها به صورت رابطه‌ی (۱) بیان می‌شود:

$$C_i = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} P_j \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

که در آن C_i برابر با مقدار برآوردی ردیاب i ام برای نمونه‌های رسوب ($i=1, 2, \dots, m$)، α_{ij} مقدار میانگین ردیاب i ام در واحد کاربری اراضی j ام ($j=1, 2, \dots, n$)، P_j میانگین مشارکت نسبی واحد کاربری اراضی j ام (که نامعلوم بوده‌است و به وسیله‌ی مدل برآورد می‌شود)، n تعداد واحدهای کاربری اراضی و m تعداد ردیاب‌های انتخاب شده (ترکیب بهینه) است. از آنجایی که فرض می‌شود ردیاب‌ها و ویژگی‌های آنها در نمونه‌های رسوب، کاملاً وابسته به مواد منبع واحدها هستند و این ردیاب‌ها تنها از این واحدها ناشی می‌شوند؛ بنابراین نتایج حاصل، مشروط به دو محدودیت (P_j) زیر هستند:

$$0 \leq P_j \leq 1 \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

$$\sum_{j=1}^n P_j = 1 \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

^۱ Wilk'S Lambda

به این علت که در چنین مدل‌هایی رابطه‌ی (۱) برای تمام ردیاب‌ها تکرار می‌شود؛ بنابراین، تعداد معادلات بیشتری نسبت به متغیرهای مجهول وجود خواهد داشت. برای حل این معادلات، از روش بهینه‌سازی تابع هدف و تکرار عملیات استفاده می‌شود. در این پژوهش نیز از کمینه‌سازی مجموع مربعات باقی مانده به‌عنوان تابع هدف استفاده شد. مدل هوگس (2009) در واقع، صورت اصلاح‌شده‌ی مدل پیشنهادی اولی و سایچئون^۱ (2000) است که به جای استفاده از مقادیر میانگین اصلی ردیاب‌ها، با انجام عملیات تکرار بسیار زیاد بر پایه‌ی شبیه‌سازی مونت کارلو، مقادیر جدیدی را به‌عنوان ورودی انتخاب می‌کند که میزان خطای این داده‌ها کم شده‌است (Haddadchi et al, 2014). در این مدل ابتدا براساس مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی ردیاب‌ها (i) در هر منبع (j)، با استفاده از تابع توزیع احتمال ردیاب‌ها در هر منبع و با تکیه بر شبیه‌سازی مونت کارلو و با توجه به رابطه‌ی (۴) مقادیر شبیه‌سازی شده‌ی تصادفی (\bar{C}_{ki}) تولید می‌شود.

$$\bar{C}_{ki} = \sum_{i=1}^l \bar{P}_i C_{i,j,k,l} \quad \text{رابطه‌ی (۴):}$$

در این رابطه، \bar{P}_i سهم توزیعی هر منبع و $C_{i,j,k,l}$ میزان ردیاب شبیه‌سازی شده براساس روش مونت کارلو است. در روش شبیه‌سازی مونت کارلو - که بر پایه‌ی چگالی احتمال داده‌ها و عملیات تکرار زیاد استوار است - این نیاز وجود دارد که در هر منبع از هر ترکیب بهینه ردیاب‌ها، تابع چگالی احتمال استخراج شود. در مرحله‌ی بعد براساس رابطه‌ی ۵، مقادیر میانگین ردیاب‌ها (\bar{C}_k) در هر منبع به‌دست می‌آید. سپس این مقادیر به مدل کمی هوگس وارد می‌شود و با بهینه‌سازی مجموع مربعات باقیمانده (رابطه‌ی ۶)، سهم هر منبع مشخص خواهد شد.

$$\bar{C}_k = \sum_{i=1}^{1000} \bar{C}_{ki} / 1000 \quad \text{رابطه‌ی (۵):}$$

سپس برای ارزیابی مدل از لحاظ صحت و دقت، از رابطه‌ی (۷) استفاده می‌شود که در آن \bar{C}_k سهم بهینه ردیاب در مقدار شبیه‌سازی شده‌ی ردیاب با استفاده از مونت کارلو و C_d مقدار ردیاب در نمونه رسوب است.

رابطه‌ی (۶):

$$R = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{i=2}^{1000} \sum_{j=1}^m X_j C_{i,j,k,l} / 1000 - C_i}{C_i} \right)^2$$

رابطه‌ی (۷):

$$\sum_{k=1}^k \left(\frac{\bar{C}_k - C_d}{C_d} \right)^2$$

ذکر این امر لازم است که برای بهینه‌سازی رابطه‌ی (۷)، کدنویسی الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار متلب^۲ انجام شده - است. همچنین برای بهینه‌سازی لوکال، از الحاقیه Solver نرم‌افزار اکسل استفاده شد. همان‌گونه که در زیر مشاهده می‌-

¹ Olley and Caitcheon

² Matlab

شود؛ اندازه‌ی جمعیت در روش الگوریتم ژنتیک ۴۳، تعداد کروموزوم‌ها همان تعداد منابع رسوب است که برای کاربری اراضی ۴ و برای سازندها ۶، تقاطع ۰/۷ و میزان جهش نیز ۰/۳ تنظیم است.

۳- نتایج و بحث

نتایج آزمون آماری کروسکال والیس در بررسی توان ردیاب‌ها در جداسازی واحدهای کاربری، در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است که شامل اراضی مرتعی، جنگلی، زراعی و باغ‌ها، همچنین سازندهای رازک، کشکان، بختیاری، کواترنری، پابده گورپی و آسماری در منطقه‌ی تنگ بستانک است

جدول ۱: نتایج آزمون کراسکال- والیس برای تعیین خصوصیت منشأیاب مناسب در تفکیک منابع رسوب (کاربری‌ها)

منشأیاب	آماره H	سطح معنی داری
باریم	۶/۳۸۸	۰/۳۸۱
کادمیوم	۴/۶۸۳	۰/۵۳۳
کیالت	۷/۲۵۹	۰/۲۹۸
کروم	۸/۹۷۴	۰/۱۷۵
مس	۱۳/۸۷۳	۰/۰۳۴
لیتیم	۵/۴۴۲	۰/۴۸۸
منگنز	۵/۸۵۵	۰/۴۴۰
نئودیمیوم	۹/۹۴۵	۰/۱۲۷
نیکل	۱۱/۷۳۶	۰/۰۶۸
فسفر	۱/۵۹۳	۰/۹۴۳
سیلیکون	۱۴/۶۱۷	۰/۰۲۸
استرانسیوم	۱۲/۴۴۵	۰/۰۴۴
تیتانیوم	۱۵/۱۰۹	۰/۰۲۲
وانادیوم	۷/۱۴۴	۰/۳۰۸
زینک	۴/۰۷۴	۰/۶۶۷
نیتروژن	۱۵/۷۸۲	۰/۰۱۵
کربن	۱۶/۱۷۸	۰/۰۱۳
استرانسیوم ۸۷ / استرانسیوم ۸۶	۳/۱	۰/۷۹۶
نئودیمیوم ۱۴۴ / نئودیمیوم ۱۴۳	۵/۹۲۵	۰/۴۳۲

جدول ۲: نتایج آزمون کراسکال- والیس برای خصوصیت منشأیاب مناسب در تفکیک منابع رسوب (سازندها)

منشأیاب	آماره H	سطح معنی داری
باریم	۲/۴۹۶	۰/۷۷۷
کادمیوم	۵/۰۰۴	۰/۴۱۵

۰/۸۱۳	۲/۲۵۶	کبالت
۰/۹۲۳	۱/۴۱۱	کروم
۰/۰۳۰	۱۲/۲۹۹	مس
۰/۶۶۳	۳/۲۴۰	لیتیم
۰/۷۴۷	۲/۶۹۱	منگنز
۰/۰۲۰	۱۳/۳۶۴	نئودیمیوم
۰/۵۹۱	۳/۷۱۹	نیکل
۰/۷۳۷	۲/۷۶۰	فسفر
۰/۰۲۳	۱۳/۰۶۲	سیلیکون
۰/۰۳۷	۱۱/۷۴۷	استرانسیوم
۰/۰۲۸	۱۲/۳۵۰	تیتانیوم
۰/۸۴۶	۲/۰۲۱	وانادیوم
۰/۷۸۴	۲/۴۴۸	زینک
۰/۰۲۹	۱۲/۴۱۹	نیتروژن
۰/۰۲۵	۱۲/۸۰۵	کربن
۰/۴۰۰	۵/۱۳۵	استرانسیوم ۸۷ / استرانسیوم ۸۶
۰/۰۴۳	۱۱/۴۶۳	نئودیمیوم ۱۴۴ / نئودیمیوم ۱۴۳

از نظر این آزمون، اختلاف میانگین‌های هر یک از عناصر در واحدهای کاربری اراضی در سطح کمتر از ۵ درصد، معنی‌دار نیست؛ به غیر از شش عنصر کربن، نیتروژن، مس، استرانسیوم، تیتانیوم و سیلیکون. در واقع تمام عناصر به غیر از شش عنصر یاد شده، قدرت تفکیک و جداسازی واحدهای مذکور را ندارند. همان‌گونه که از جدول شماره ۱ (۲) بر می‌آید؛ تنها عناصر مس، نئودیمیوم، سیلیکون، استرانسیوم، تیتانیوم، کربن، نیتروژن و نئودیمیوم ۱۴۴ / نئودیمیوم ۱۴۳ به مرحله‌ی بعد یعنی آزمون تحلیل تشخیص راه یافته‌اند و این عناصر و ایزوتوپ‌ها توان تفکیک منابع را از هم نشان داده‌اند. نتایج تحلیل تشخیص (DFA) و معنی‌داری آماری: ترکیب بهینه‌ی خصوصیات منشأیاب باید طوری انتخاب شود که علاوه بر داشتن کمترین هم‌خطی چندگانه، بیشترین توان تفکیک منابع را نیز داشته باشد تا در تفسیر اهمیت هر یک از متغیرها و ناپایداری نتایج طبقه‌بندی تحلیل، مشکلاتی به وجود نیارد. معیار کمترین هم‌خطی برای عناصر ترکیب‌ها، داشتن عامل تورم واریانس حداقل ۱۰ است. ضرایب همبستگی بیش از ۹۵٪ با حذف یکی از دو ماتریس همبستگی اصلاح می‌شود. جداول ۳ و ۴، مراحل مختلف اضافه شدن عناصر ردیاب در توابع تشخیص برای واحدهای کاربری اراضی و سازندها به روش گام به گام و تأثیر آنها بر توان جداسازی تحلیل تشخیص را نشان می‌دهد. با اضافه شدن هر عنصر، مقدار مربع فاصله ماهالانویس افزایش و میزان Wilk's lambda کاهش می‌یابد. چهار تابع براساس عناصر یاد شده در واحدهای کاربری اراضی استخراج شده‌اند و جداول ۵ و ۶، معنی‌داری توابع را به وسیله‌ی آماره‌ی مربع کای نشان می‌دهند که توابع اول به ترتیب در واحدهای تفکیک منابع رسوب ۶۵/۳٪ و ۷۱/۳٪ را به خود اختصاص داده‌اند. توابع اول با بیشترین همبستگی کانونی، بیشترین تغییرات و اختلاف‌ها را در گروه‌ها توصیف می‌کنند. درصد طبقه‌بندی صحیح در تفکیک منابع رسوب برای واحدهای کاربری اراضی ۷۵٪ و برای واحدهای سازندها ۸۶٪ بود. برای بررسی بیشتر، توان

توابع تشخیص به دست آمده و جداسازی گروه‌ها و هم‌پوشانی احتمالی، نمودار پراکنش تابع یک در مقابل تابع دو - که بیشتر تغییرات گروه‌ها را بیان می‌کند - بررسی شد.

جدول ۳: مراحل اضافه شدن عناصر ردیاب در تابع تشخیص (کاربری اراضی)

گام	خصوصیات منشأیاب وارد شده	حداقل مربع فاصله ماهالانویس	Wilks' Lambda	عدد تحمل (Tolerance)	عامل تورم واریانس (VIF)	وزن ردیاب منشأیاب در منبع
۱	کرین	۰/۰۰۴	۰/۶۴۴	۱ (کرین)	۱	۱/۸
۲	مس	۰/۳۹۱	۰/۳۵۱	۰/۷۸۸ (کرین) ۰/۷۸۸ (مس)	۱/۲۶	۱/۵
۳	سیلیکون	۰/۷۲۴	۰/۲۴۴	۰/۷۶۶ (کرین) ۰/۷۸۸ (مس) ۰/۹۶۷ (سیلیکون)	۱/۳ ۱/۲۶ ۱/۰۳	۱/۳
۴	تیتانیوم	۱/۲۳	۰/۱۶۹	۰/۷۳۴ (کرین) ۰/۶۷۷ (مس) ۰/۸۸۸ (سیلیکون) ۰/۶۶۶ (تیتانیوم)	۱/۳۶ ۱/۴۷ ۱/۱۲ ۱/۵	۱/۵

جدول ۴: مراحل اضافه شدن عناصر ردیاب در تابع تشخیص (سازند)

گام	خصوصیات منشأیاب وارد شده	حداقل مربع فاصله ماهالانویس	Wilks' Lambda	عدد تحمل (Tolerance)	عامل تورم واریانس (VIF)
۱	استرانسیوم	۰/۰۲۳	۰/۷۹۸	۱ (استرانسیوم)	۱
۲	تیتانیوم	۰/۵۸۳	۰/۶۲۳	۰/۹۳۹ (استرانسیوم) ۰/۹۳۹ (تیتانیوم)	۱/۰۶ ۱/۰۶
۳	مس	۰/۷۰۰	۰/۴۵۵	۰/۶۹۶ (استرانسیوم) ۰/۹۲۱ (تیتانیوم) ۰/۷۴۱ (مس)	۱/۴۳ ۱/۰۸ ۱/۳۴
۴	نسبت ایزوتوپی نئودیمیوم ۱۴۳/۱۴۴	۱/۶۷۴	۰/۳۳۸	۰/۶۶۶ (استرانسیوم) ۰/۹۲۱ (تیتانیوم) ۰/۷۳۸ (مس) ۰/۹۲۱ (نسبت ایزوتوپی نئودیمیوم)	۱/۵ ۱/۰۸ ۱/۳۵ ۱/۰۸

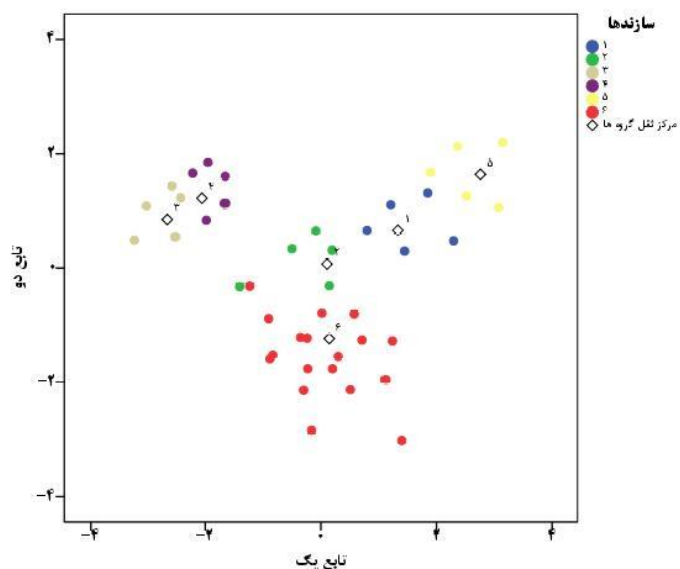
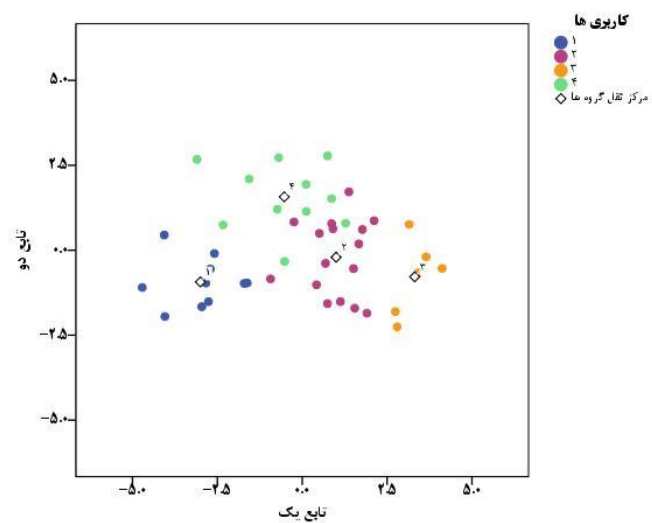
جدول ۵: مشخصات توابع تشخیص حاصل برای تفکیک منابع رسوب (کاربری اراضی)

تابع	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی واریانس	همبستگی کانونی	Wilks' Lambda	آماره مربع کای	معنی‌داری
۱	۱/۵۷۷	۶۵/۳	۶۵/۳	۰/۷۸۲	۰/۱۶۹	۶۴/۸۲۶	۰/۰۰۰
۲	۰/۷۰۷	۲۲	۸۷/۳	۰/۶۴۴	۰/۴۳۶	۳۰/۲۸	۰/۰۱۱
۳	۰/۲۹۵	۱۱/۳	۹۸/۶	۰/۴۷۷	۰/۷۴۵	۱۰/۷۵۸	۰/۰۲۱۶
۴	۰/۰۳۷	۱/۴	۱۰۰	۰/۱۸۸	۰/۹۶۵	۱/۳۱۴	۰/۰۷۲۶

جدول ۶: مشخصات توابع تشخیص حاصل برای تفکیک منابع رسوب (سازند)

تابع	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی واریانس	همبستگی کانونی	Wilks' Lambda	آماره مربع کای	معنی داری
۱	۱/۰۵۳	۷۱/۳	۷۱/۳	۰/۷۱۶	۰/۳۳۸	۴۱/۲۰۶	۰/۰۰۰
۲	۰/۳۷۷	۲۵/۵	۹۶/۹	۰/۵۲۳	۰/۶۹۴	۱۳/۸۷۲	۰/۰۳۱
۳	۰/۰۴۶	۳/۱	۱۰۰	۰/۲۱۰	۰/۹۵۶	۱/۷۱۹	۰/۰۴۲۳

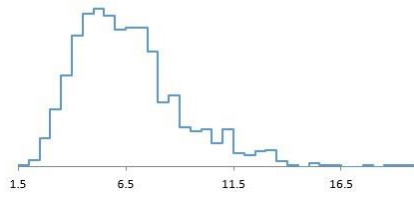
همان‌گونه که مشاهده شد در واحدهای کاربری اراضی، تعدادی از عناصر در مرحله‌ی اول (۶ عنصر) توان تفکیک منابع را نشان دادند؛ از آن‌جمله نیتروژن و استرانسیوم بودند که این عناصر در مرحله‌ی دوم و در تابع تشخیص حذف شدند و در جمع ترکیب بهینه قرار نگرفتند. از مجموع ۱۹ عنصر و نسبت ایزوتوپی، تنها ۴ عنصر مس، کربن، سیلیکون و تیتانیوم (عناصر نادر) می‌توانستند به جداسازی منابع رسوب پردازند؛ بدین ترتیب، نتایج تحلیل تشخیص نشان داد که ۴ ردیاب آلی و ژئوشیمیایی قادر به تفکیک ۴ منبع رسوب در حوزه‌ی آبخیز تنگ‌بستانک بودند. همچنین برای سازندها ۷ عنصر مس، نئودیمیوم، سیلیکون، استرانسیوم، کربن، نیتروژن و نئودیمیوم ۱۴۴/نئودیمیوم ۱۴۳، به مرحله‌ی آزمون تحلیل تشخیص راه یافته‌اند که تنها ۴ عنصر استرانسیوم، تیتانیوم، مس و ایزوتوپ نئودیمیوم ۱۴۴/نئودیمیوم ۱۴۳، در ترکیب بهینه ردیاب‌ها قرار گرفتند.



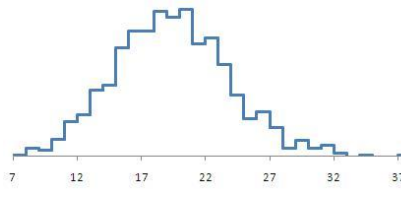
شکل ۴: نمودار پراکنش تابع یک در مقابل تابع دو در تفکیک منابع رسوب (به ترتیب از بالا به پایین کاربری ها و سازندها)

بعد از مشخص شدن عناصر ترکیب بهینه، براساس شبیه سازی مونت کارلو در هر منبع و براساس مقدار ردیاب خاص، مقادیر میانگین برای ورود به مدل هوگس محاسبه شد. شکل های ۵ و ۶ به ترتیب شبیه سازی مقادیر ردیابها را براساس مونت کارلو نشان می دهد.

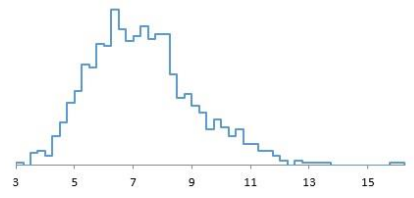
شبهه سازی مونت کارلو منبع ۱ ردیاب ۱



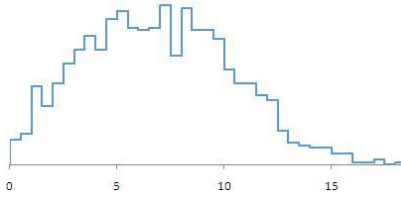
شبهه سازی مونت کارلو منبع ۱ ردیاب ۲



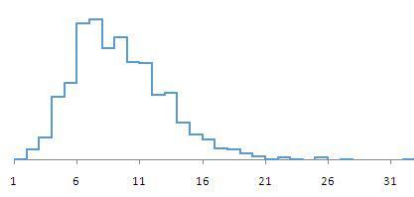
شبهه سازی مونت کارلو منبع ۱ ردیاب ۳



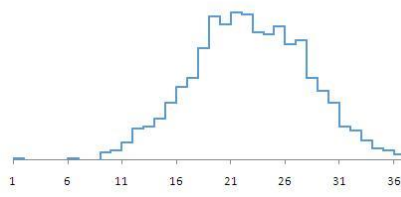
شبهه سازی مونت کارلو منبع ۱ ردیاب ۴



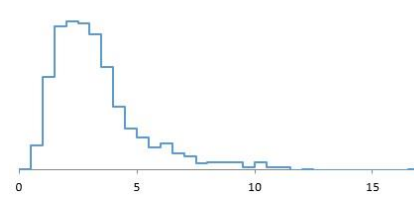
شبهه سازی مونت کارلو منبع ۲ ردیاب ۱



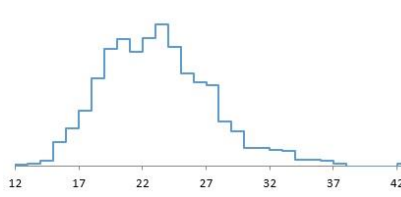
شبهه سازی مونت کارلو منبع ۲ ردیاب ۲



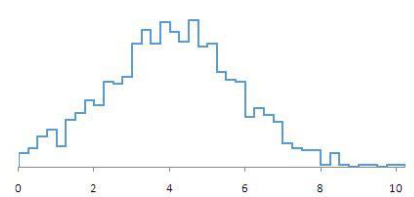
شبهه سازی مونت کارلو منبع ۲ ردیاب ۳



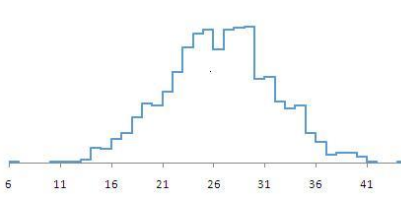
شبهه سازی مونت کارلو منبع دو ردیاب چهار



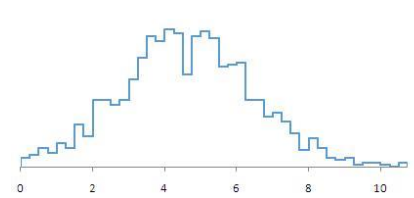
شبهه سازی مونت کارلو منبع ۳ ردیاب ۱



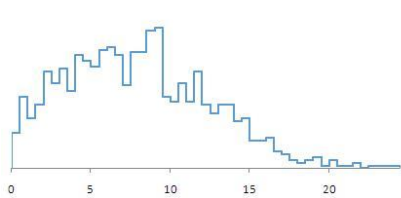
شبهه سازی مونت کارلو منبع ۳ ردیاب ۲

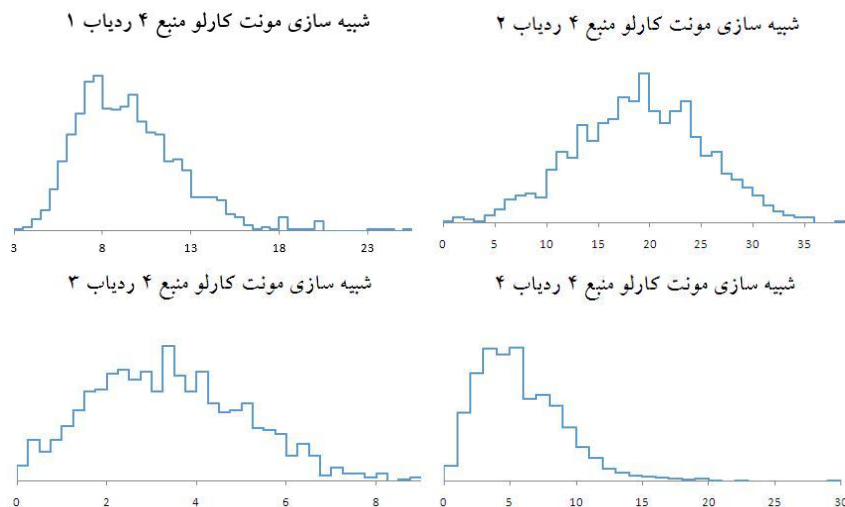


شبهه سازی مونت کارلو منبع ۳ ردیاب ۳

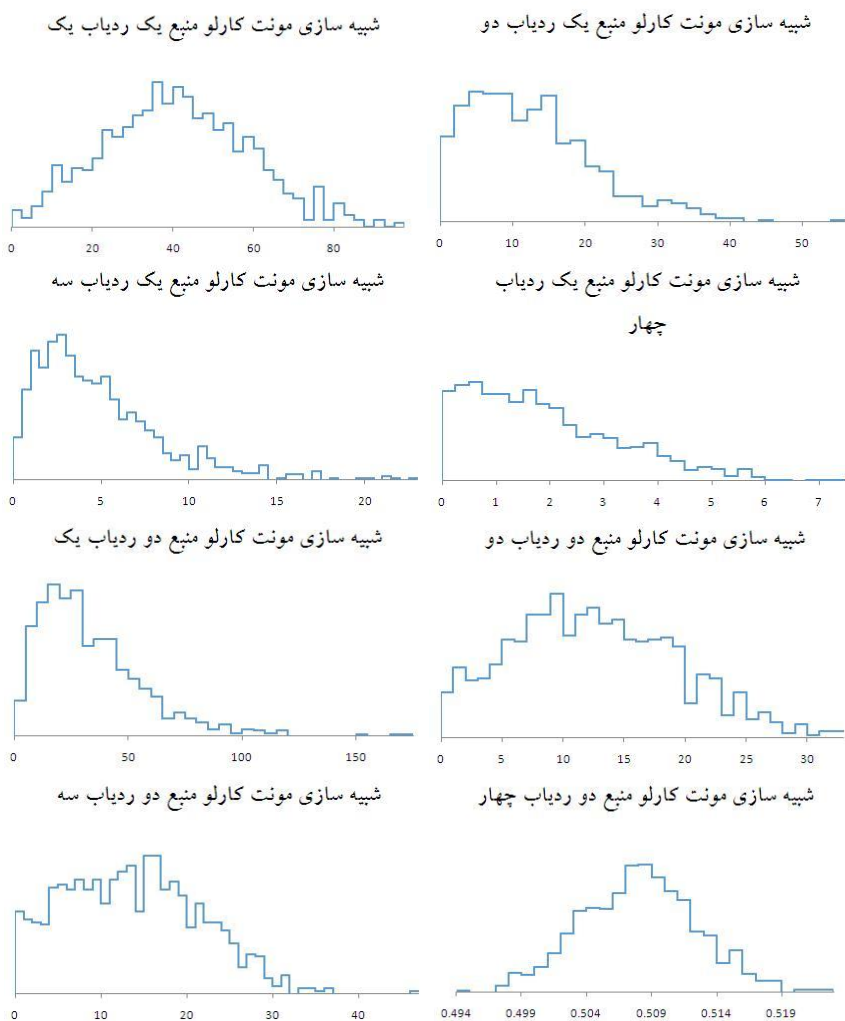


شبهه سازی مونت کارلو منبع ۴ ردیاب ۳

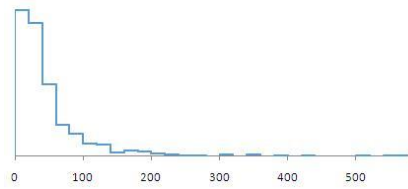




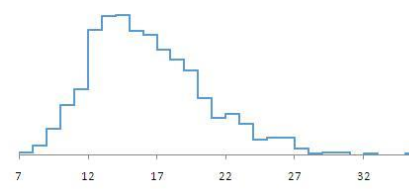
شكل ۵: شبيه سازي مونت كارلو براي ردياب هاي منابع مختلف کاربري اراضي



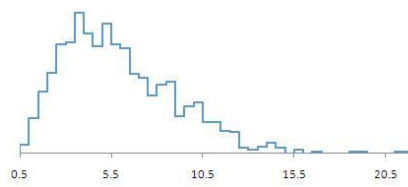
شبیه سازی مونت کارلو منبع سه ردیاب یک



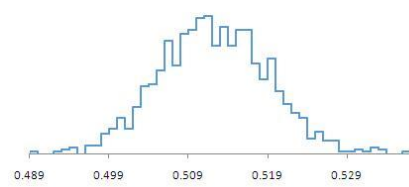
شبیه سازی مونت کارلو منبع سه ردیاب دو



شبیه سازی مونت کارلو منبع سه ردیاب سه

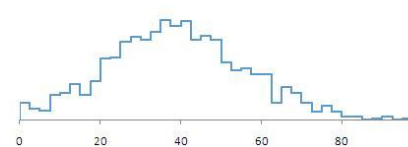


شبیه سازی مونت کارلو منبع سه ردیاب چهار

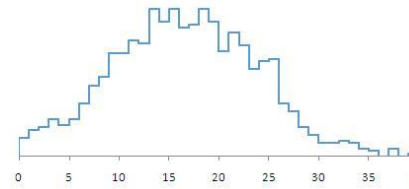


شبیه سازی مونت کارلو منبع چهار ردیاب

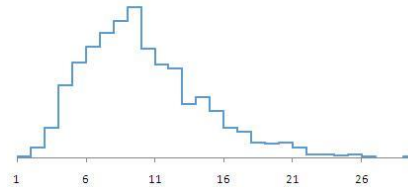
یک



شبیه سازی مونت کارلو منبع چهار ردیاب دو

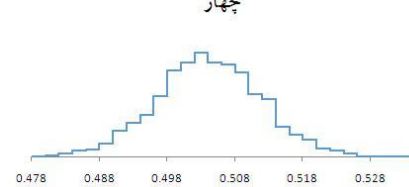


شبیه سازی مونت کارلو منبع چهار ردیاب سه

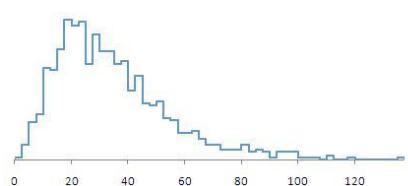


شبیه سازی مونت کارلو منبع چهار ردیاب چهار

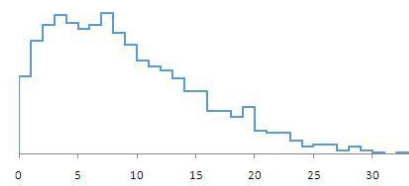
چهار



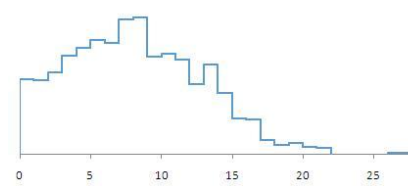
شبیه سازی مونت کارلو منبع پنج ردیاب یک



شبیه سازی مونت کارلو منبع پنج ردیاب دو

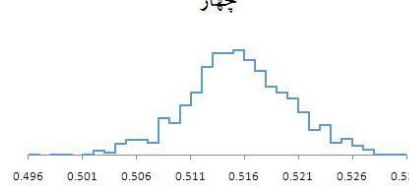


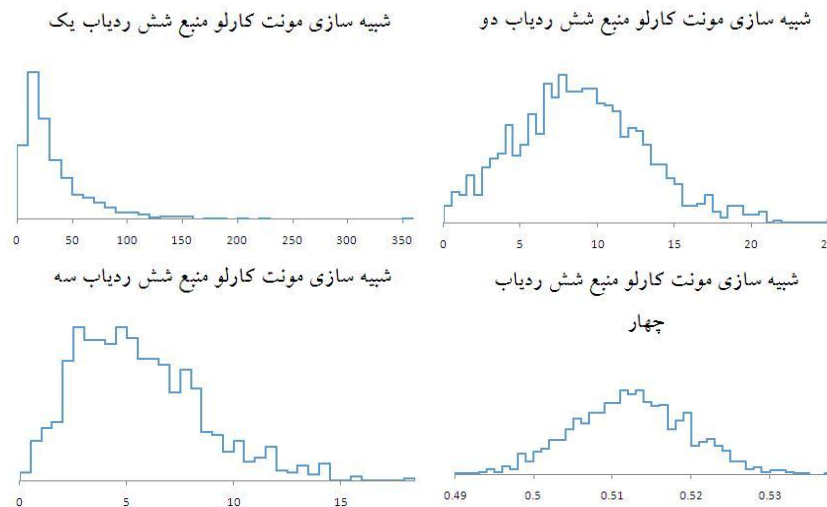
شبیه سازی مونت کارلو منبع پنج ردیاب سه



شبیه سازی مونت کارلو منبع پنج ردیاب چهار

چهار





شکل ۶: شبیه‌سازی مونت کارلو برای ردیاب‌های منابع مختلف سازندها

با به حداقل رساندن معادله‌ی ۷ برای هر یک از نمونه‌های رسوب و متوسط‌گیری از مقادیر حاصل، سهم هر یک از منابع حاصل شد. همان‌گونه که در جدول ۷ مشاهده می‌شود؛ سهم کل بر حسب درصد در واحدهای کاربری اراضی زراعت آبی، کمترین و اراضی مرتعی، بیشترین سهم را در تولید رسوب دارند.

جدول ۷: سهم نسبی کاربری اراضی در تولید رسوب (مدل هوگس)

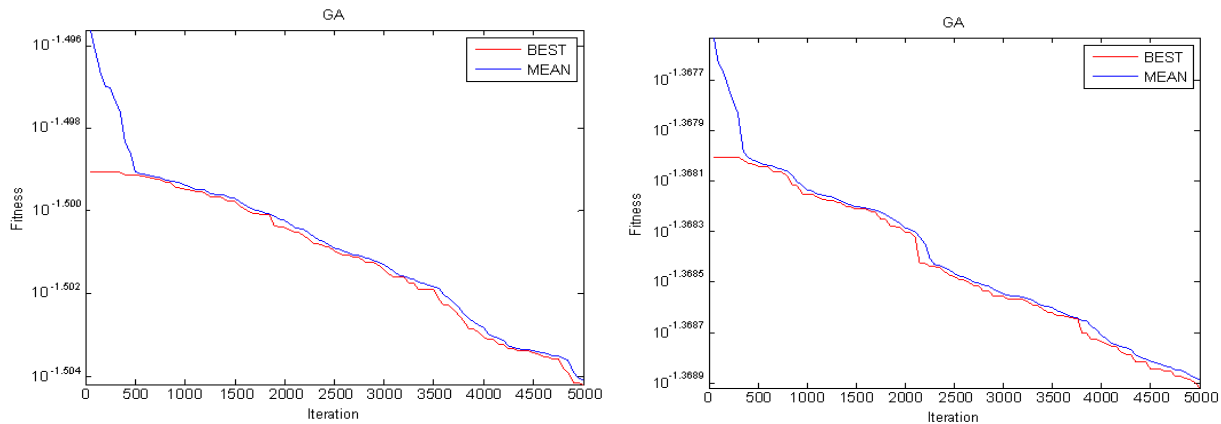
نوع کاربری اراضی	مدل هوگس (Hughes)		
	درصد سهم میانگین بروس	درصد سهم میانگین بروس بهینه-	درصد سهم میانگین بروس شبیهه-
	بهینه‌سازی لوکال	سازی الگوریتم ژنتیک	سازی مونت کارلو
زراعت آبی	۰/۸۶	۰/۵۱	۴/۹۹
اراضی جنگلی	۳۰/۸۳	۳۱/۸۱	۲۱/۲۲
اراضی باغی	۳/۹۲	۴/۶۴	۷/۶۶
اراضی مرتعی	۶۴/۳۹	۶۳/۰۴	۶۶/۱۳

همچنین نتایج شاخص GOF برای کاربری‌های اراضی نشان داد که روش بهینه‌سازی لوکال با مقدار ۹۸/۰۳ درصد، روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک با مقدار ۹۷/۸۴ درصد و روش شبیه‌سازی مونت کارلو با تکرار ۵۰۰۰ بار حل مدل و با مقدار ۹۸/۲۳ درصد، برآزش مناسب و قابل‌قبولی از مدل هوگس نشان می‌دهد. در این بین روش مونت کارلو با حل زیاد مدل، توانسته بیشترین مقدار شاخص GOF را به خود اختصاص دهد و سهم‌های حاصل از این روش، مقبول‌تر از روش دیگر است. بر این اساس و با توجه به مساحت واحدهای کاربری اراضی که به ترتیب برای اراضی کشاورزی، جنگل، باغ‌ها و مراتع معادل ۲۲/۴۳۱٪، ۵۷/۲۴۳٪، ۳/۵۴۹٪ و ۱۶/۷۷۷٪ است، اهمیت نسبی هر یک از منابع، معادل ۰/۰۲۲، ۰/۵۵، ۱/۳ و ۳/۷۵ خواهد بود (اهمیت نسبی هر منبع در تولید رسوب، از نسبت درصد سهم هر منبع به درصد مساحت تحت‌پوشش آن منبع به دست می‌آید). بنابراین کمترین اهمیت نسبی در بحث فرسایش و رسوب، مربوط به کاربری اراضی کشاورزی و بیشترین اهمیت با توجه به نوع کاربری اراضی، مربوط به اراضی مرتعی است. ذکر این امر لازم است که اراضی مرتعی

منطقه، پوششی متوسط و ضعیف دارند و بیشتر به سمت منفی و ضعیف شدن گرایش می‌یابند. همچنین نتایج شاخص GOF برای سازندهای زمین‌شناسی، نشان داد که روش بهینه‌سازی لوکال با مقدار ۹۹/۹۴ درصد، روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک با مقدار ۹۹/۹۲ درصد و روش شبیه‌سازی مونت کارلو با تکرار ۵۰۰۰ بار حل مدل و با مقدار ۹۹/۹۱ درصد، برآزش مناسب و قابل قبولی از مدل هوگس نشان می‌دهند. در این بین روش لوکال با مقدار ۹۹/۹۴ درصد، بیشترین مقدار را کسب کرد و سهم‌های منابع حاصل از این روش مقبولیت بیشتری داشت. جدول (۸)، نتایج سهم نسبی هر یک از منابع موآد رسوب را نشان می‌دهد. همچنین شکل (۷)، روند حل مدل هوگس را با استفاده از الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد.

جدول ۸: سهم نسبی سازندها در تولید رسوب (مدل هوگس)

نام سازند	مدل هوگس (Hughes)		
	درصد سهم میانگین روش بهینه‌سازی	درصد سهم میانگین روش بهینه‌سازی	درصد سهم میانگین روش شبیه‌سازی مونت-کارلو
	لوکال	سازی	الگوریتم ژنتیک
رازک	۰/۷۹	۱/۱۳	۱/۹۵
کشکان	۴/۴	۵/۹۲	۵/۴
بختیاری	۴/۴۶	۵/۱۸	۳/۵۸
کواترنر	۵/۳۷	۴/۸۴	۵/۱۲
پابده گورپی	۰/۴۷	۱/۴۱	۳/۸۷
آسماری	۸۴/۵۱	۸۱/۵۳	۸۰/۰۹



شکل ۷: روند بهینه‌سازی والد و فرزندان در الگوریتم ژنتیک برای سازندها و کاربری‌های اراضی (به ترتیب از بالا به پایین)

همان‌گونه که شکل ۷ نشان می‌دهد؛ روش الگوریتم ژنتیک به خصوص در مورد کاربری‌های اراضی نتوانسته معرّف خوبی از والدها (ردیاب‌ها) باشد و نتایج تعیین سهم هر منبع نسبت به روش‌های دیگر، ضعیف‌تر بوده‌است. میزان شاخص GOF در مورد سازندها بیشتر شده و فرزندان (بهترین مقدار یا مقادیر بهینه) نتوانسته‌اند با مقادیر میانگین (والدها) سازگاری مناسب‌تری داشته‌باشند. با توجه به درصد مساحت سازندهای آسماری، بختیاری، کشکان، پابده گورپی، کواترنر

و رازک که به ترتیب معادل ۶۲/۸۷٪، ۱۶/۴۲٪، ۴/۲۳٪، ۱/۹۴٪، ۱۳/۲۳٪ و ۱/۳۳٪ هستند، اهمیت نسبی این واحدها معادل ۱/۳۴، ۰/۲۷، ۱/۰۴، ۰/۲۴، ۰/۴ و ۰/۵۹ خواهد بود. همان گونه که مشاهده می شود سازند آسماری با وجود مقادیر قابل توجهی از رگه های مارن و قرار گرفتن در شرایط مستعد فرسایش و رسوب گذاری، بیشترین اهمیت نسبی و سازند پابده گورپی با وجود بالقوه بودن (با توجه به وجود منابع مارنی فراوان در این سازند) و قرار نگرفتن در شرایط مستعد فرسایش و رسوب حوزه، با اهمیت نسبی ۰/۲۴ کمترین نقش را در اولویت مدیریتی به خود اختصاص داده است.

۴- نتیجه گیری

قرارگیری کشور ایران در شرایط خشک و نیمه خشک و تأثیر عوامل انسانی طی چند دهه ی اخیر، موجب تشدید فرآیند طبیعی فرسایش شده است. مطالعات نشان دهنده ی افزایش ۸۰۰ درصدی میزان فرسایش خاک بین سال های 1951 تا 2002 بوده است (Nosrati et al, 2011) که این مهم مدیریت مؤثر بر کاربری های اراضی و منابع تولید رسوب را طلب می کند. در این بین مدل های ترکیبی با شناسایی سهم منابع تولید رسوب و اهمیت نسبی آنها، به مدیریت و اولویت بندی این مناطق در مدیریت حوزه های آبخیز کمک شایانی داشته اند. با توجه به نتایج کارآیی روش انگشت نگاری رسوب در منطقه ی مورد مطالعه، کاربرد مدل هوگس مورد تأیید است، این مدل علی رغم در نظر نگرفتن مواردی همچون غنی شدگی رسوبات از نظر ذرات ریز و مواد آلی، مقایسه ی بین خصوصیات خاک منابع رسوب و نمونه های رسوب - که از نظر اختلاف در اندازه ی ذرات، نتایج قابل قبول و قوی ارائه می دهد - مرهون تکرار بسیار زیاد برپایه ی شبیه سازی مونت کارلو (Hughes et al, 2009) است و باعث صرفه جویی در هزینه های آزمایشگاهی و وقت می شود. در مورد انتخاب ردیابها ذکر موارد ذیل جایز است: حضور عنصر کربن (C) به عنوان ردیاب ثابت در تفکیک منابع رسوب به ویژه کاربری های اراضی دیده شده که با نتایج والینگ و همکاران (1999)، کالینز و همکاران (2010)، ژانگ و همکاران (2008)، حدادچی و همکاران (2013)، ونگ و همکاران (2014) و نصرتی و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت می کند. حضور عنصر کربن آلی در تمایز بین کاربری های مختلف، می تواند بیانگر تأثیر حاصل خیز کننده ها باشد. نتایج حکیم خانی و همکاران (۱۳۸۹)، بیانگر نقش متمایز کننده ی عناصر نادر از جمله سیلیکون، تیتانیوم و مس در تفکیک منابع رسوب است. فقدان عنصر نیتروژن در مرحله ی دوم انتخاب بهترین ترکیب بهینه ردیابها با استفاده از تابع تحلیل تشخیص گام به گام، می تواند ناشی از هم خطی بین ردیابها باشد که نتایج تحقیقات والینگ (2005) و فرجی و همکاران (۱۳۸۹) به این مهم اذعان دارند. بیشترین اهمیت نسبی مربوط به کاربری مراتع است. کاربری زراعت به دلیل قرار گرفتن در دشت بسیار مسطح (شیب بسیار کم)، کشت متناوب (برنج و گندم) و بدون آیش در منطقه، از نظر تولید رسوب در محدوده ی مطالعاتی دارای کمترین اهمیت نسبی است و نتایج حاصل از اجرای مدل هوگس و اهمیت نسبی، این موضوع را تصدیق می کند. بنابراین مراتع و به خصوص مراتع ضعیف، بالاترین اولویت را در بحث مدیریت کاربری های اراضی به خود اختصاص داده اند. در ردیاب های انتخاب شده برای سازندها، عناصر آلی همچون کربن و نیتروژن در ترکیب بهینه ردیابها دیده

نمی‌شوند. تحقیقات عباسی و همکاران (۱۳۸۹) و واسون^۱ (2002) بیان می‌کنند که به دلیل ماهیت سازندهای موجود در مناطق خشک و نیمه‌خشک، عناصری مانند کربن آلی، نیتروژن و فسفر غلظت پایین دارند و نتایج این تحقیق در مورد ترکیب بهینه ردیاب‌ها در تفکیک سازندها به منابع مختلف تولید رسوب، با نتایج اعلام شده از سوی نامبردگان مطابقت دارد. بیشترین اهمیت نسبی دو مورد سازندها مربوط به آسماری بود که به دلیل وجود رگه‌های مارنی و شرایط مستعد فرسایش، از جمله شیب زیاد و افزایش قدرت فرسایندهی باران در این قسمت از حوزه و ... اولویت مدیریت سازندها را به‌خود اختصاص داده‌است. سازند پابده‌گورپی علی‌رغم وجود مارن و آهک‌مارنی، در شرایطی قرار دارد که خیلی مستعد فرسایش و رسوب‌زایی نیست؛ از جمله شیب ملایم، فاصله‌ی بیشتر تا خروجی حوزه، پوشش گیاهی مناسب، قدرت فرسایندهی کمتر باران در این محدوده از حوزه و ... که این سازند را اولویت مدیریت قرار نخواهد داد. مدل هوگس به دلیل استفاده از مقادیر میانگین شبیه‌سازی شده با روش مونت کارلو، نسبت به دیگر مدل‌های ترکیبی تعیین سهم‌های فرسایش و رسوب دارای نتایج خوب و قوی است. این مدل بر خلاف مدل‌های دیگر از جمله مدل کالینز و کالینز اصلاح‌شده که بیشتر در بین محققان ایرانی و خارجی مرسوم است، به متغیرهای دیگری به جز مقدار ردیاب در هر منبع نیاز ندارد؛ درحالی‌که مدل‌های ذکرشده به متغیرهایی همچون ضریب تصحیح سطح ویژه ذرات، ضریب تصحیح ماده‌آلی، ضریب وزنی ردیاب و ضریب وزن ردیاب در هر منبع نیاز دارند که علاوه بر افزایش هزینه و وقت، به دقت در اندازه‌گیری موارد فوق نیازمند است. اما مدل هوگس به موارد ذکر شده نیاز ندارد و دقت قابل قبولی را از برآورد ارائه می‌دهد. ذکر این امر لازم است که این مدل در کشور کمتر استفاده شده و نیاز است از الگوریتم‌های شبیه‌سازی برای برآورد سهم‌های فرسایشی، بیشتر استفاده شود. حدادچی و همکاران (2013) ضمن استفاده از مدل‌های ذکر شده در بالا (کالینز، کالینز اصلاح شده و ...)، از چندین مدل ترکیبی دیگر نیز استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل هوگس بهترین پیش‌بینی و برآورد را در تعیین سهم منابع رسوب دارد. همچنین ذکر این امر لازم است که بهینه‌سازی لوکال تنها شامل جواب‌های مقطعی و موضعی است و الگوریتم ژنتیک نسبت به روش لوکال، از مزیت جواب‌های عمومی برخوردار است. (Collins et al, 2010 & Collins et al, 2012)، البته این امر دلیل بر برتری این روش در نتایج خروجی نخواهد بود. همان‌طور که نتایج نشان داد، الگوریتم ژنتیک در این مدل نتوانسته‌است برتری خود را نسبت به دو روش نشان دهد؛ نتایج GOF این امر را اثبات می‌کند. نتایج حدادچی و همکاران (Haddadghi et al, 2013) در مورد مدل هوگس در هر دو حوزه، بالاتر بودن میزان GOF روش لوکال را نسبت به روش الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد. همچنین نتایج مقایسه‌ی مدل هوگس با بقیه‌ی مدل‌های ترکیبی، بیانگر بالاتر بودن مقدار GOF (GOF=۷۷٪) نسبت به بقیه‌ی مدل‌های ترکیبی است. همچنین حدادچی و همکاران (2014) در مقایسه‌ی مدل‌های لاندور^۲، هوگس^۳، کالینز و یک مدل توزیعی (DA) بیان کردند که مدل هوگس با کمترین میزان میانگین خطای مطلق (MAE)، بهترین مدل ترکیبی در بین این چند مدل

¹ Wasson

² Landwehr

³ Hughes

در برآورد سهم سازندهای مختلف در رسوب خروجی از حوزه‌ی اموکرک^۱ بوده‌است. این امر از قابلیت بالای این مدل حکایت می‌کند.

منابع

1. Abbasi, M., Feiznia, S., Ahmadi, H., Kazmei, Y., 2010, Study of sand dunes origin by geochemical trades of eolian sediment in Niatak, Arid Biom Scientific and Research Journal, Vol. 1 No. 1, pp. 34-44.
2. Blake, W. H.; Wallbrink, P. J.; Wilkinson, S. N.; Humphreys, G. S.; Doerr, S. H.; Shakesby, R. I.; & K. M. Tomkins, 2009. Deriving hillslope sediment budgets in wildfire - affected forests using fallout radionuclide tracers, *Geomorphology*, 104 (3-4): 105 – 116.
3. Chen, F.; Fang, N.; & Z. Shi, 2016. Using biomarkers as fingerprint properties to identify sediment sources in a small catchment, *Science of the Total Environment*, 557-558 (2016) 123-133.
4. Collins, A. L.; Zhang, Y.; McChesney, D.; Walling, D. E.; Haley, SM.; & P. Smith, 2012. Sediment source tracing in a lowland agricultural catchment in southern England using a modified procedure combining statistical analysis and numerical modelling, *Sci Total Environ*, 414: 301 – 317.
5. Collins, A.; Walling, D.; Webb, L.; & P. King, 2010. Apportioning catchment scale sediment sources using a modified composite fingerprinting technique incorporating property weightings and prior information, *Geoderma*, 155, 249 - 261.
6. Faraji, M., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Jafari, M. and Feiznia, S., 2011. Fingerprinting the sources of sand dunes using tracers and indicator minerals, case study, *Journal of Range and Watershed Managment*, 64 (2)1-18.
7. Fox, J. F., & A. N. Papanicolaou. 2008. An un - mixing model to study watershed erosion processes. *Advances in Water Resources*. Vol. 31. 1, 96 – 108.
8. Haddadchi, A.; Olley, J.; & P. Laceby, 2014. Accuracy of mixing models in predicting sediment source contributions, *Science of the Total Environment*, 497 – 498 (2014) 139-152.
9. Haddadghi, A.; Ryder, D. S.; Evrard, O.; & J. Olley, 2013. Sediment fingerprinting in fluvial systems: review of tracers, sediment sources and mixing models, *International Journal of Sediment Research*, 28, 560 - 578.
10. Hakimkhani, Sh., 2010, Assessing Relative Importance of Erosion Types in Sediment Yield (Case study: Ghara-aghaj Watershed, Makoo), *Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*, Vol. 63, No. 1, 2010. pp.13-27
11. Hatfield, R. G., & B. A. Maher., 2009, Fingerprinting upland sediment sources : Particle size-specific magnetic linkages between soils, lake and suspended sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 34. 10, 1359 – 1373.
12. Heidary, K., Najafi Nejad, A., khormali, F., Baba Nejad, M., 2013, Determining land units contributions to suspended sediment yield using sediment fingerprinting method (Case study: Tull bane basin, Golestan province), *Scientific-Research Quarterly Journal Of Environmental Erosion Researches*, Vol. 2, No. 10, pp: 65-76
13. Hughes, A. O.; Olley J. M.; Croke, J. C.; & L. A. McKergow, 2009. Sediment source changes over the last 250 years in a dry - tropical catchment, central Queensland, Australia. *Geomorphology*, Vol. 104, 3 – 4. 262 – 275.
14. Koiter, A. j.; Owens, P. N.; Petticrew, E. L.; & D. A. Lobb, 2013. The behavioural characteristics of sediment properties and their implications for sediment fingerprinting as an approach for identifying sediment sources in river basins, *Earth - Science Reviews*, 125, 24 – 42.

¹ Emu Creek

15. Najafi. S., Sadeghi, S. H. R., 2013, Estimation of sediment sources through comparing results from soil erosion mapping, fingerprinting and field measurement techniques, *Journal of Watershed Engineering and Management*, Volume 5, Issue 3, pp. 165-178.
16. Nosrati, K., 2011, Sediment fingerprinting based on uncertainty approach, *Journal Of Iranian Water Researches*, 5 (9), pp.51-60.
17. Nosrati, K., Ahmadi, F., Nazari Samani, A.A., Servati, R., 2015. Determination role of land uses in suspended mattered and bed load sediment based on fingerprinting technique (case study: Taleghani catchment), *Journal of range and watershed*, issue 68, No. 4., pp 751-765.
18. Nosrati, K.; Govers, G.; Ahmadi, H.; Sharifi, F.; Amoozegar, M. A.; Merckx, R.; & M. Vanmaercke, 2011. An exploratory study on the use of enzyme activities as sediment tracers: biochemical fingerprints? *Int. J. Sediment Res*, 26 (2), 136 –151.
19. Olley, J. M., & G. Caitcheon, (2000), Major element chemistry of sediments from the Darling – Barwon river and its tributaries: implications for sediment and phosphorus sources. *Hydrological Processes*. Vol. 14. 7, 1159 – 1175.
20. Palazón, L.; Gaspar, L.; Latorre, B.; Blake, W.; & A. Navas, 2015. Identifying sediment sources by applying a fingerprinting mixing model in a Pyrenean drainage catchment, *J Soils Sediments*, 15, 2067 – 2085, DOI 10.1007/s11368-015-1175-6.
21. Patrick Laceby, J.; McMahon, J.; Evrard, O.; & J. Olley, 2015. A comparison of geological and statistical approaches to element selection for sediment fingerprinting, *Soils Sediments*, 15, 2117 – 2131 DOI 10.1007/s11368-015-1111-9.
22. Poulenard, J.; Perrette, Y.; Fanget, B.; Quetin, P.; Trevisan, D.; & J. M. Dorioz, 2009. Infrared spectroscopy tracing of sediment sources in a small rural watershed (French Alps), *Science of The Total Environment*, Vol. 407. 8, 2808 – 2819.
23. Walling, D. E., 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems, *Science of the Total Environment*, 344: 159 - 184.
24. Walling, D. E.; Collins, A. L.; & R. W. Stroud, 2008. Tracing suspended sediment and particulate phosphorus sources in catchments, *Journal of Hydrology*, 350, 274 - 289.
25. Walling, D. E.; Owens, P. N.; & G. J. L. Leeks, 1999. Fingerprinting suspended sediment sources in the catchment of the River Ouse, Yorkshire, UK, *Hydrological Processes*, 13, 955 - 975.
26. Wang, Y.; Chen, L.; Fu, B.; & Y. Lu, 2014. Check dam sediments: an important indicator of the effects of environmental changes on soil erosion in the Loess Plateau in China, *Environ Monit Assess*, 186, 4275 – 4287, DOI 10.1007/s10661-014-3697-6.
27. Wasson, R. J.; Caitcheon, G. G.; Murray, A. S.; McCulloch, M.; & J. Quade, 2002. Sourcing sediment using multiple tracers in the catchment of Lake Argyle, Northwestern Australia. *Environmental Management*, 29 (5), 634 – 646.
28. Zhang, Q.; Lei, T.; & J. Zhao, 2008. Estimation of the detachment rate in eroding rills in flume experiments using an REE tracing method, *Geoderma*, Vol. 147. 1– 2, 8 –15.

Using Mixed Models to Determine the Contribution of Land Use and Geology Formation in Erosion and Sediment Yield: A Case Study of Tange Bostanak Watershed in Fars province, Iran

Ahmad Nohegar: *Professor, Faculty of Environment, University of Tehran*

Mohamad Kazemi*: *Ph.D. candidate, Natural Resources Department, University of Hormozgan*

Javad Ahmadi: *Associate professor, Fuel Cycle Research Institute of Atomic Energy Organization*

Hamid Gholami: *Assistant professor, Natural Resources Department, University of Hormozgan*

Rasol Mahdavi: *Assistant professor, Natural Resources Department, University of Hormozgan*

Article History (Received: 2016/08/7

Accepted: 2017/05/3)

Introduction

Many catchment erosion studies focus on formation and land use as the primary source of sediment. It is important to improve information on sediment sources, especially in large catchments and sediment source information which can support catchment management decisions. Erosion control projects need to be understood as the relative contributions of different sediment sources from catchments. Fingerprinting methods identify soil erosion sources where geologic variations or different land uses span watershed boundaries. Sediment fingerprinting studies often rely on the collection of sediment from different sources within a catchment. Few studies have focused on using the Hughes mixed model to identify sediment sources. This model can quickly process a large number of samples from the main samples based on Monte Carlo simulation. The main objectives of this research were to determine the contribution of sediment sources by applying a fingerprinting mixing model in a Tange Bostanak drainage catchment.

Material and Methods.

Case Study

Our study area was located in the Tange Bostanak catchment (30°16' to 30°25' N and 52°03' to 52°13' E), in the Southern Zagros Mountains, 80 km Northwest of Shiraz, Iran. The drainage area of the Tange Bostanak catchment is 81.73 km².

Sediment source samples were collected throughout the study catchment from each of the three principal source types (cultivated land, pasture, forest, gardens and also six formations in catchment). 43 representative samples were collected from these potential sources at different locations within the study catchment. Samples were initially oven-dried to 40 °C in order to remove the bias associated with the grain-size effects, only the <63 μm soil and sediment fraction, obtained by dry sieving, was taken for tracer analysis. To discriminate sediment sources, two stages were performed to confirm the discrimination of the potential sediment sources within each land use and six formations. The first step was based on the use of the Kruskal–Wallis H-test to discriminate the potential sources by the fingerprint properties. Stepwise multivariate discriminant function analysis (DFA) was applied to identify the optimum combination of the tracers passing the Kruskal–Wallis H-test for maximizing the discrimination between the potential sources. The multivariate mixed model involves minimizing the sum of squares of residuals between the predicted tracer values for each source in the sediment samples and those observed, which is an optimization problem. A Monte Carlo mixed model was used to predict the relative contribution of each of the sources. The Hughes mixed model was used for both the geochemical and radionuclide tracing. In the mixed model, individual sample concentrations were denoted by $C_{i,j,k}$, where i =source index ($i=1, \dots, I$; $I=3$ for erosion sources and $I=4$ for rock type sources), j =sample number index ($j=1, \dots, J$; J is 10 for both the geochemical and radionuclide tracing) and each sample has k constituent concentrations ($k=1, \dots, K$; $K=2$ for radionuclide tracing and $K=9$ for geochemical tracing). For each

Monte Carlo iteration (l) and for each source (i), j is randomly selected and $C_{i,j,k,l}$ is used to calculate source-weighted composite concentrations:

Eq.1

$$\bar{C}_{kl} = \sum_{i=1}^l \hat{P}_i C_{i,j,k,l}$$

Where $l=1, \dots, 1000$ and \hat{P}_i is the proportion contributed from each sediment type source. The relative contribution of each erosion type source, \hat{P}_j must meet the following constraints:

$$0 \leq P_j \leq 1$$

$$\sum_{j=1}^n P_j = 1$$

For each geochemical property/radionuclide tracer, the average concentration of C is calculated over 1000 iterations using:

Eq.2

$$\bar{C}_k = \sum_{l=1}^{1000} \bar{C}_{k,l} / 1000$$

The best estimate of the relative contribution (\hat{P}_i) of each erosion type/rock type was determined by minimizing the sum of squares of the deviations of the concentration calculated in Eq. (2) from the measured geochemical property/radionuclide tracer concentration of the deposit (C_d):

Eq.3

$$\sum_{k=1}^k \left(\frac{\bar{C}_k - C_d}{C_d} \right)^2$$

Also, the genetic algorithm, local optimization and Monte Carlo simulation were used to solve the following equation.

$$R = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{l=1}^{1000} \sum_{j=1}^m X_j C_{i,j,k,l} / 1000 - C_i}{C_i} \right)^2$$

Results and Discussion

C, N, Cu, Ti, Si and Sr were identified by the Kruskal–Wallis test to discriminate the potential sediment sources in land use and Nd, Si, C, N, Ti and Nd144/Nd143 were identified by the Kruskal–Wallis test to discriminate the potential sediment sources in the formations. In stepwise multivariate discriminant function analysis, four tracers (C, Cu, Si, Ti) were capable of correctly distinguishing the land use source type. Four tracers (Nd143/144, Cu, Si, Ti) verified the ability to discriminate between geology information source categories. The results on geology information showed that the mean relative contributions related to the areas of Asmary (84.51%) and Quaternary (5.37%) were highest, respectively in Local optimization with 99.94 GOF index. For land uses, the results showed that the GOF index with 97.84 associated with GA optimization were the greatest. The relative contributions related to the areas of range lands (63.04%) and forest (31.81%) were the highest, respectively. Pabedeh Gorpi and Bakhtyari information with 0.24 and 0.27 were the lowest relative importance; also cultivation and forest land uses with 0.022 and 0.55 were the lowest relative importance, respectively. This study suggested that the future sediment fingerprinting studies use models that combine the best explanatory parameters provided by the Hughes (relying on iterations involving all data, and not only their mean values) models with the optimization using genetic algorithms to best predict the relative contribution of sediment sources. Comparing the applications in this catchment, the Hughes mixed model appears a more robust method in Tange Bostanak catchment using the GA optimization method.

Keywords: Fingerprinting, Mixing model, Relative contribution, GA, Tange Bostanak watershed