کاربرد روش انگشت‌نگاري چندپارامتري به منظور منشايابي رسوبات،مطالعه موردي:غرب استان گيلان

الهام علي‌دوست[۱*]، حسين اسدي[۲]، نجات پيرولي بيرانوند[۳]، سيدعلي موسوي[۴] و ليلا بلوري[۵]
[۱] دانش‌آموخته کارشناسي ارشد، گروه خاکشناسي، دانشکده علوم کشاورزي، دانشگاه گيلان، [۲] استاديار گروه خاکشناسي، دانشکده علوم کشاورزي، دانشگاه گيلان،[۳ و ۵] عضو هيأت علمي پژوهشکده تحقيقات کشاورزي، پزشکي و صنعتي کرج و
[۴] مربي گروه مهندسي آب، دانشکده علوم کشاورزي، دانشگاه گيلان
(تاريخ دريافت: ۱۳۹۰/۹/۲۸- تاريخ تصويب:۱۳۹۱/۹/۱۱)

چکيده

اجراي بهينه استراتژي‌هاي حفاظت خاک و کنترل فرسايش، مستلزم شناسايي مناطق رسوب‌خيز و مستعد فرسايش است. يکي از روش‌هاي تعيين و اولويت‌بندي مناطق نيازمند به عمليات حفاظتي، روش انگشت‌نگاري يا منشايابي چندپارامتري رسوبات است.در پژوهش حاضر، از روش منشايابي چندگانه کمي به منظور تعيين منابع عمده رسوب در حوضه ناو واقع در غرب استان گيلان، استفاده شد. بر اساساين روش،ترکيب مناسبي از عناصر ژئوشيميايي، سزيم ۱۳۷، کربن آلي، نيتروژن و فسفر، براي تفکيک انواع کاربري‌ها مورد استفاده قرار گرفت. به‌کارگيري مدل چندمتغيره کمي نشان داد که ميانگين سهم هر يک از کاربري‌هاشامل ديواره خندق، مراتع تخريب شده، مراتع داراي پوشش و جنگل در توليد رسوب، به ترتيب برابر ۹۲، ۶/۵، ۱ و ۰/۵ درصد است. خطاي نسبي مدل براي برآورد سهم انواع کاربري‌ها به طور ميانگين برابر ۰/۹۸ به دست آمد که نشان‌دهنده صحت و کارايي زياد مدل بود.مشاهدات صحرايي نتايج پژوهش را تاييد کرد.

واژه‌هاي کليدي: تحليل تشخيص، ردياب، فرسايش خاک، منابع رسوب

مقدمه

از ديرباز، فرسايش خاک معضلي اساسي بوده که باعث تخريب اراضي زراعي يا کاهش قابل ملاحظه توان توليد آن مي‌شود و پيامدهاي درون‌عرصه‌اي و برون‌عرصه‌اي مخرب ديگري نيز به دنبال دارد. از جمله آثار برون‌عرصه‌اي فرسايش، مي‌توان به آلودگي منابع آب، کاهش ظرفيت آبراهه‌ها و مخازن ذخيره آب به علت تجمع رسوبات، تشکيل لجن در کانال‌ها و شبکه‌هاي توزيع آب و تجمع آلاينده‌هايي نظير حشره‌کش‌ها و عناصر سنگين در نقاط رسوبگذاري اشاره کرد که مبين کاهش کيفيت زيستگاه‌هاي آبي هستند(Lal,2001).اين مسائل، نشان-دهنده اهميت بالاي رسوبات ريز بوده و ضرورت به‌کارگيري برنامه‌هاي موثر کنترل رسوب در مديريت حوضه‌هاي آبخيز را نمايان مي‌کند(Walling, 2006).

در برنامه‌هاي مديريت حوضه آبخيز، تشخيص درست نقاط فرسايش‌پذير و در نتيجه منابع اصلي توليد رسوب ضروري است. در بسياري از موارد مشاهده شده است که اقدامات حفاظتي گران‌قيمتي براي جلوگيري از فرسايش در مناطقي صورت گرفته است که اصولا رسوب‌خيز نبوده و درنتيجه موجب کاهشبار رسوب نشده است (Morgan, 2005).

روش‌هاي مرسوم تعيين منشأ رسوبات، استفاده از شماري از تکنيک‌هاي اندازه‌گيري، شامل ارزيابي چشمي منابع بالقوه به کمک عکس‌ها و مشاهدات صحرايي، پايش منابع بالقوه با نيمرخ‌سنج‌ها، پين‌هاي فرسايش و اندازه‌گيري تلفات خاک با استفاده از کرت‌هاي فرسايشي مي‌باشد. اما، معمولاً به کار بردن اين روش‌ها، به علت مشکلات مکاني و زماني نمونه‌برداري و هزينه آن‌ها، محدود مي‌شود(Walling et al., 2008).با توجه به مسائل و مشکلات مربوط به روش‌هاي مرسوم، روش انگشت-نگاري (Fingerprinting) به‌عنوان يک روش جايگزين براي فراهم کردن اطلاعاتي راجع به منابع رسوب در يک حوضه، مورد توجه قرار گرفته است. انگشت‌نگاري يا منشايابي رسوبات بر اين پايه استوار است که ويژگي‌هاي فيزيکي و شيميايي رسوبات معلق، منعکس‌کننده منابع اوليه آن‌ها است (Juracek and Ziegler, 2009).خواص انگشت‌نگار يا ردياب مورد استفاده مي‌تواند شامل کاني‌شناسي و رنگ، خصوصيات آهنربايي کاني-ها، پرتوزاهاي محيطي، ترکيب ژئوشيميايي، ايزوتوپ‌هاي پايدار، عناصر کمياب، مواد آلي، ويژگي‌هاي بيوژنيک و توزيع اندازه ذرات باشد.نتايج حاصل از اندازه‌گيري ردياب‌ها، پس از عبور از آزمون‌هاي آماري، وارد مدل‌هاي چند متغيرهکمي شده و با تصحيحات صورت گرفته، سهم نسبي هر يک از منابع بالقوه رسوب مشخص مي‌شود (Walling et al., 2008).

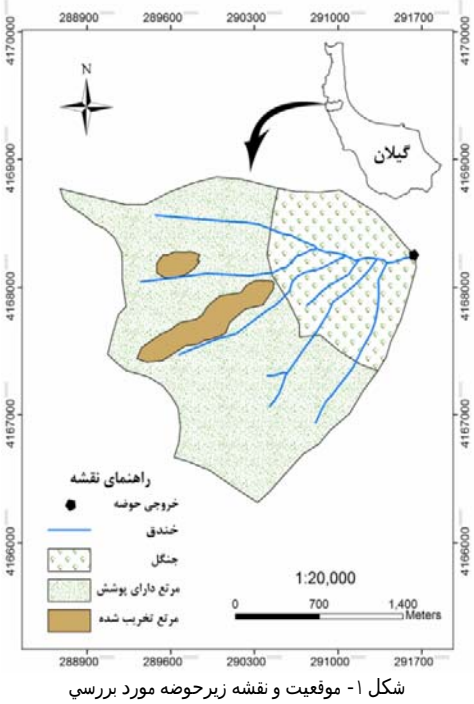
*پست الکترونيک مکاتبه کننده: elhaam_alidoost@yahoo.com

پژوهشگران مختلفي از جمله Collins et al. (2010b, 2012)، Wilkinson et al. (2012)، Hughes et al. (2009)، Martinez-Carreras et al. (2010) و Hakimkhani (2010)، از تكنيک انگشت‌نگاري چندپارامتري براي منشايابي رسوبات در حوضه‌هاي مختلف استفاده كرده‌اند. نتايج اين پژوهش‌ها، به طور كلي بيانگر مناسب بودن روش انگشت‌نگاري چندپارامتري براي منشايابي رسوبات است. نظر به اين كه محققان مختلف، تركيب‌هاي متفاوتي را براي منشايابي، مناسب تشخيص دادند و به علت متفاوت بودن ماهيت حوضه‌هاي مختلف، اجماع كلي براي تعيين بهترين ردياب‌ها وجود ندارد. بر اين اساس پژوهش حاضر به منظور كاربرد و ارزيابي روش انگشت‌نگاري چندپارامتري و با هدف تعيين بهترين پارامترها به منظور منشأيابي رسوبات و بررسي ميزان مشاركت هر بخش در توليد رسوب، در يكي از زيرحوضه‌هاي رسوب‌خيز حوضه آبخيز ناو واقع در غرب استان گيلان انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، يكي از زيرحوضه‌هاي رودخانه ناورود واقع در شهرستان تالش استان گيلان مي‌باشد (شكل ۱). اين منطقه به وسعت حدود ٤/٥ كيلومتر مربع و در موقعيت جغرافيايي"۱۵ '۳۶ °۴۸ تا "۲۰ '۳۸ °۴۸ طول شرقي و"۳۵ '۳۸ °۳۷ تا "۱۲ '۳۷ °۳۷عرض شمالي واقع است.



شكل ۱- موقعيت و نقشه زيرحوضه مورد بررسي

حوضه مورد مطالعه از نظر زمين‌شناسي داراي سازندهاي كنگلومرايي و حساس به فرسايش بوده و پوشش گياهي آن جنگلي و مرتعي است. اين منطقه كوهستاني داراي اقليم سرد و مرطوب بوده و بارش در آن به صورت برف و باران رخ مي‌دهد. ميانگين بارندگي سالانه حوضه تقريباً ٦٣٣ ميلي‌متر است كه با در نظر گرفتن رژيم بارندگي پاييزه منطقه، حداكثر بارش زماني است كه سطح خاک در اثر چرا، عاري از پوشش متراكم مرتعي است. در نتيجه بارندگي مي‌تواند تاثير قابل توجهي بر فرسايش خاک داشته باشد.

تقسيم‌بندي حوضه، نمونه‌برداري و آناليز نمونه‌ها

سطح حوضه مورد مطالعه بر اساس بررسي‌هاي صحرايي و با توجه به نوع كاربري،پوشش و عوارض فرسايشي موجود، به چهار منطقه شامل جنگل، مراتع داراي پوشش علفي مناسب، مراتع تخريب شده با رخساره‌هاي فرسايش سطحي و فاقد پوشش، و ديواره خندق تقسيم شد. نمونه‌برداري از خاک چهار منطقه، به تعداد ۱۰ نمونه از هر منطقه انجام شد. نمونه‌برداري از خاک رويين (۰ تا ۵ سانتي‌متري) و از نقاط حساس به فرسايش و يا فرسايش يافته انجام شد. در مورد ديواره‌هاي خندق، نمونه‌ها به صورت عمودي و به عرض حدود ۳۰ سانتي‌متر و در امتداد عمق خندق، برداشت شد. همچنين مجموعاً ۱۰ نمونه رسوب از رسوبات نهشته شده در خروجي حوضه و نيز رسوبات حمل شده با جريان سيلاب در هنگام رخداد بارندگي برداشت شد.

در مجموع، ۵۰ نمونه خاک پس از انتقال به آزمايشگاه و هواخشک شدن، از الک ٦٣ ميكرون عبور داده شد. استفاده از الک ٦٣ ميكرون به منظور كاهش تاثير اندازه ذرات بر مقدار عناصر استخراجي و امكان مقايسه مستقيم نتايج، صورت گرفت(Walling et al., 2008). ردياب‌هاي اندازه‌گيري شده شامل عناصر قابل استخراج با اسيد (Co، Cu، Fe، Mn، Ni، Pb و Zn)، عناصر قابل عصاره‌گيري با پيروفسفات سديم و سيترات-دي‌تيونات (Fe و Mn)، كاتيون‌هاي بازي (Ca، K، Mg و Na)، عنصر پرتوزاي ^{137}Cs، نيتروژن، كربن آلي و فسفربود. غلظت كليه فلزات سنگين و Ca و Mg به‌وسيله دستگاه جذب اتمي، K و Na به‌وسيله دستگاه فليم‌فتومتر، سزيم به‌روش گاماسپكترومتري، فسفر به‌روش السن و به‌وسيله اسپكتروفتومتر، نيتروژن به‌روش كجلدال و كربن آلي به‌روش والكي-بلک تعيين شد(Sparks, 1996). همچنين توزيع اندازه ذرات خاک به روش هيدرومتري و با ۹ قرائت در۲٤ ساعت انجام شده و جزء شن با استفاده از سري الک‌ها تفكيک شد (Gee and Or, 2002).

تجزیه و تحلیل آماري

شناسايي مشاهدات پرت

به‌منظور بررسي يک‌متغيره داده‌هاي پرت از روش‌هاي Median±3MAD و نمودار جعبه‌اي استفاده شد.داده‌هاي پرت از ديدگاه چندمتغيره نيزبا استفاده از مقايسه $\frac{MD^2}{df}$ (مربع فاصله ماهالانوبيس تقسيم بر درجه آزادي) و توزيع t و نيز آزمون مربع كاي بررسي شدند(Hair et al., 1998).

تعيين بهترين تركيب ردياب‌ها براي منشايابي رسوبات

پس از بررسي مقدماتي داده‌ها، به منظور تعيين تركيب ابتدايي از ردياب‌هايي كه قادر به متمايز كردن منابع از يكديگر باشند، از آزمون تجزيه واريانس يك‌طرفه و آزمون H كروسكال-واليس به ترتيب براي داده‌هاي داراي توزيع نرمال و غيرنرمال استفاده شد. طبق اين آزمون‌ها، ردياب‌هايي كه آماره محاسبه شده آن‌ها معني‌دار بود، قادر به متمايز كردن حداقل دو منبع بودند و لذا وارد مرحله بعد شدند.

در مرحله دوم، به منظور كاهش تعداد متغيرهاي ورودي به مدل‌هاي تركيبي و تعيين تركيب بهينه نهايي از ردياب‌ها، از تحليل تشخيص (Discriminant Analysis) استفاده شد (Collins et al.,2010b).

قبل از استفاده از تحليل تشخيص، فرض‌هاي تحليل كه شامل برقرار بودن نرمال چندمتغيره، برابري ماتريس كواريانس و نبود هم‌خطي چندگانه قوي بين متغيرهابود، مورد بررسي قرار گرفت. فرض برقراري نرمال چندمتغيره،به كمک نمودار چندک-چندک مربع فاصله ماهالانوبيس در مقابل توزيع مربع كاي بررسي شد. براي بررسي فرض برابري ماتريس‌هاي كواريانس بين گروه‌ها، از آزمونBox'sM استفاده شد.فرض صفر اين آزمون برابري ماتريس كواريانس است و در صورت معني‌دار نبودن آماره محاسبه شده، اين فرض تاييد مي‌شود. همچنين،به‌منظور بررسي وجود هم‌خطي بين متغيرها ازماتريس همبستگي (همبستگي‌هاي بالاتر از ۰/۹ حذف شدند)، عدد تحمل و عكس آن يعني عامل تورم واريانس استفاده شد. اگر R^2 حاصل از معادله رگرسيوني از يک كم شود ($1-R^2$)، مقدار حاصل برابر با عدد تحمل است و عكس آن عامل تورم واريانس را نشان مي-دهد. از حدود آستانه‌اي معمول براي تشخيص هم‌خطي، مقدار عدد تحمل بزرگ‌تر و يا مساوي ۰/۱ و در نتيجه عامل تورم واريانس كوچک‌تر و يا مساوي ۱۰ است (Hair et al., 1998). در اين پژوهش براي محاسبه و تعيين توابع تشخيص از روش گام-به‌گام و براي انتخاب متغيرهاي مستقل از آماره Wilk's lambda استفاده شد. آماره Wilk's lambdaمعياري از نسبت اختلاف‌هاي درون‌گروهي به اختلاف‌هاي بين‌گروهي است. همچنين،براي بررسي توان تفكيكي ماتريس طبقه‌بندي تحليل تشخيص در مقايسه با مدل شانس، آزمون آماري Press's Q مورد استفاده قرار گرفت (Hair et al., 1998).

تعيين سهم نسبي منابع بالقوه در توليد رسوب

براي تعيين سهم و اهميت نسبي هر يک از منابع رسوب، از يک مدل‌موازنه جرم چندگانه كمي استفاده شد. به طور خلاصه مدل زير با حداقل كردن مجموع مربعات باقيمانده، برآوردهاي مختلف ميزان مشاركت منابع را بهينه مي‌كند:

$$R = \Sigma_{i=1}^{m}\left[\frac{x_i - (\Sigma_{j=1}^{n} a_{ij} b_j z_j)}{x_i}\right] w_i \qquad (1)$$

كه در آن R: مجموع مربعات باقيمانده و X_i: مقدار اندازه-گيري شده ويژگي iام در نمونه رسوب، a_{ij}: مقدار ميانگين ويژگيiام در منبع رسوب زام (n و ...، ۲، ۱=j)، b_j: سهم منبع رسوب‌زام، n: تعداد منابع رسوب و m: تعداد ويژگي‌هاي منشايابي Z_j: ضريب تصحيح اندازه ذرات و W_i: ضريب وزني ردياب‌ها است.

براي هر يک از ويژگي‌هاي منشايابي، معادله فوق تكرار شد. با حل اين معادلات كه تعدادشان برابر تعداد ردياب‌ها بود، سهم هر يک از منابع بالقوه رسوب به‌دست آمد. در حل معادلات دو شرط زير درنظر گرفته شد:

الف- مقادير ضريب سهم هر يک از منابع رسوب بايد بين صفر و يک باشد ($0 \le b \le 1$)، و

ب- مجموع ضرايب سهم منابع رسوب بايد برابر يک باشد ($\Sigma_{j=1}^{n} b_j = 1$) (Collins et al., 2010a).

در مدل فوق، ضريب تصحيح اندازه ذرات(Z_j)به منظور رفع مشكل غني‌شدگي يا تهي‌شدگي رسوب از بعضي از اندازه-هابا فرض اين‌كه ردياب‌ها به يک اندازه تحت تاثير اين فرآيندها قرار مي‌گيرند،مورد استفاده قرار گرفت. به دليل نقش زياد پارامتر سطح ويژه در ميزان ردياب‌ها و انعكاس تركيب اندازه ذرات، از نسبت سطح ويژه هر يک از نمونه‌هاي رسوب به ميانگين سطح ويژه نمونه‌هاي خاک هر يک از منابع استفاده شد (Collins et al., 2010a). به‌منظور محاسبه سطح ويژه، براي ذرات شن و سيلت با فرض كروي بودن نسبت $\frac{6}{p_b d}$ و براي ذرات رس با فرض پولكي و صفحه‌اي بودن نسبت $\frac{[4+2(\frac{a}{h})}{P_b d}$ به كار برده شد. در اين روابطd: برابر قطر ذرات، p_b: جرم مخصوص حقيقي (۲/۶۵ گرم بر سانتي‌متر مربع) و h: ضخامت ذره رس است(Skopp, 2000). همچنين،ردياب‌هايي كه دقت اندازه‌گيري آن‌ها بالاست بايد تاثير بيش‌تري در برآورد مدل‌هاي چندمتغيره كمي داشته باشند كه به اين منظور از يک ضريب وزني ويژه (W_i) استفاده شد.براي محاسبه آن، ابتدا هر يک از ردياب‌ها با

پنج تکرار در آزمایشگاه اندازه‌گیري شده ومقادیر حاصل با تقسیم شدن بر میانگین خود استاندارد شده، سپس ضریب وزني ویژه (Wi) هر یک از ردیاب‌ها با محاسبه عکس ریشه دوموارياانس داده‌هاي استاندارد شده همان ردیاب به دست آمد(Walling, 2005).

جواب‌هاي بهینه براي سهم منابع رسوب با حداقل کردن معادله (۱) با استفاده از عملیات تکرار و صحیح و خطا به‌دست مي‌آید. به این شیوه که مقادیر مختلف براي سهم منابع رسوب (bj)انتخاب شده و مقدار تابع هدف (R) محاسبه مي‌شود. این عملیات تا جایي ادامه مي‌یابد که R به کم‌ترین مقدار خود برسد. در این حالت مقادیر انتخابي براي سهم منابع رسوب به عنوان جواب‌هاي بهینه مورد قبول واقع مي‌شوند. این کار براي تمام نمونه‌هاي رسوب انجام شده و از مقادیر سهم هر یک از منابع رسوب براي به‌دست آوردن سهم متوسط، میانگین‌گیري مي‌شود. در پژوهش حاضر براي یافتن جواب‌هاي بهینه از ابزار Solver در نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

شناسایي مشاهدات پرت

بر اساس آزمون Median±3MAD و رسم نمودار جعبه‌اي، هفت ردیاب داراي داده پرت بودند که پس از حصول اطمینان از پرت بودن آن‌ها، در مرحله بعدي حذف شده و در آزمون‌هاي آماري به عنوان کرت گمشده، برآورد شدند. حذف داده‌هاي پرت در مرحله قبل و جایگزین کردن آن‌ها با مقادیر برآوردي، باعث شد که در بررسي چندمتغیره داده‌هاي پرت، هیچ یک از داده‌ها، شرایط داده پرت را احراز نکرده و بنابراین وارد مراحل بعدي تجزیه شوند.

تعیین بهترین ترکیب ردیاب‌ها براي منشایابي رسوبات

براي تعیین ترکیب ابتدایي از ردیاب‌ها، در مرحله اول از آزمون مقایسه میانگین، استفاده شد. لذا، بر اساس نوع توزیع متغیرها و نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه، ردیاب‌هاي آهن قابل استخراج با سیترات-دي‌تیونات، سدیم و کربن آلي با آماره‌هاي غیرمعني‌دار قادر به تفکیک منابع رسوب از یکدیگر نبودند. همچنین، آزمون Hکروسکال-والیس نشان داد که پتاسیم، با توجه به توزیع غیرنرمال آن، فاقد توانایي تفکیک منابع است.

نتیجه بررسي فرض اول تحلیل تشخیص نشان‌دهنده برقرار بودن توزیع نرمال چندمتغیره بر اساسنمودار چندک-چندک فاصله ماهالانوبیسبود. دومین فرض تحلیل تشخیص، برابري ماتریس کوواریانس داده‌ها در انواع کاربري‌ها بود که با آزمون Box'sM بررسي شد. آماره به دست آمده براي این آزمون برابر ۰/۰۳۹ بود که در سطح ۰/۰۱ غیرمعني‌دار است. در آزمون فرض سوم، براي تشخیص هم‌خطي چندگانه بین متغیرها از سه روش استفاده شد که شامل بررسي ماتریس همبستگي، معیار عدد تحمل و عامل تورم واریانس بودند. در جدول همبستگي بین متغیرها، بالاترین همبستگي بین منگنز قابل استخراج با سیترات-دي‌تیونات و منگنز قابل استخراج با پیروفسفات (۰/۹۱۹) و کربن آلي و نیتروژن (۰/۹۴۲) مشاهده شد و همبستگي بین سایر متغیرها کمتر از ۰/۹ بود. آنالیز داده‌ها نشان‌دهنده وجود هم‌خطي شدید بین تعدادي از متغیرها بود که بنا برآنچه در مواد و روش‌ها گفته شد، تعدادي از آن‌ها حذف شدند.

با توجه به کلیه بررسي‌هاي انجام شده که در بالا مطرح شدو طي چند مرحله تکرار و حذف متغیرهاي داراي همبستگي بالا و هم‌خطي شدید، بهترین ترکیب براي ورود به تابع تشخیص، تعیین شد. این ترکیب بهینه شامل ۱۳ردیاب بود که همبستگي بین هیچ یک بالاتر از ۰/۹ نبوده و معیارهاي عدد تحمل و عامل تورم واریانس آن‌ها به‌ترتیب بیشتر از ۰/۱ و کمتر از ۱۰ مي‌باشد. بنابراین، ردیاب‌هايCa، Co، ^{137}Cs، Cu، Fe، $Fe_{Pyrophpsphate}$، Mn، $Mn_{Pyrophpsphate}$، N، Ni، P، Pbو Zn به‌عنوان بهترین گروه ردیاب‌ها، وارد تحلیل تشخیص شدند.

تحلیل تشخیص در شش گام انجام شد. در هر گام متغیري که در سطح ۰/۰۵ یا کمتر معني‌دار بود، وارد تحلیل شده و باعث کاهش Wilk's lambdaو به عبارتي کاهش تفاوت‌هاي درون‌گروهي نسبت به تفاوت‌هاي بین‌گروهي شد. از میان ۱۳ردیابي که وارد تحلیل تشخیص شد، شش ردیاب سرب، آهن، منگنز قابل استخراج با پیروفسفات، سزیم، نیکل و نیتروژن، داراي شرایط ورود به توابع تشخیص بودند (جدول ۱).

در خلال این تحلیل، سه تابع تشخیص به‌دست آمد (جدول ۲). در تحلیل تشخیص ترکیب‌هاي مختلفي از متغیرها (توابع) طوري به دست مي‌آیند که اولین تابع بیش‌ترین سهم را در جداسازي گروه‌ها داشته باشد و توابع بعدي بهترتیب شماره، در رتبه‌هاي بعدي قرار خواهند گرفت. در ضمن، توابع مستقل هستند، یعني سهم آن‌ها در جداسازي گروه‌ها هم‌پوشاني ندارد. سه تابع به دست آمده به‌ترتیب ۸۹/٤، ٦/٥ و ٤/١ درصد از واریانس کل را به خود اختصاص داده‌اند و ۹۷درصد از تغییرات متغیر وابسته (انواع کاربري‌ها) توسط تابع اول بیان مي‌شود (مربع همبستگي کانوني). رسم مقادیر مربوط به توابع اول و دوم (شکل ۲) نشان مي‌دهد که این توابع قادرند چهار کاربري مورد بررسي را به‌خوبي از یکدیگر تفکیک نمایند. فقط هم-پوشاني مختصري بین کاربري‌هاي مرتع داراي پوشش ومرتع

تخریب‌شده وجود دارد که با توجه به ماهیت این کاربری‌ها، چندان دور از انتظار نبود. بررسي‌ها نشان داد که تابع سوم، دو کاربري اخير را به خوبي متمايز مي‌کند. ماتريس طبقه‌بندي، درصد طبقه‌بندي صحيح در گروه‌ها و نيز ارزيابي متقابل نتايج را ۹۷/۵ نشان داد. طي پژوهشي کهHakimkhani (۲۰۱۰) در حوضه قره‌آغاج ماکو انجام داد، درصد طبقه‌بندي صحيح نمونه‌هاي تحليل ۹۳/۳ درصد و نتيجه ارزيابي متقابل نمونه‌ها ۸۶/۷ درصد به‌دست آمد. معيار شانس در اين پژوهش برابر ۳۱/۲۵ درصد $\left(\frac{100}{4}\times 1.25\right)$ محاسبه شد که درصد طبقه‌بندي صحيح تحليل بسيار بزرگ‌تر از آن بود. مقدار آماره Press's Qنيزبرابر ۱۱۲/۱۳۳ به دست آمد که در سطح معني‌داري ۰/۰۱ بسيار بيش‌تر از مقدار جدول (۶/۶۳) مي‌باشد.

جدول ۱- مراحل افزوده شدن ردياب‌ها در توابع تشخيص به روش گام‌به‌گام

گام	متغير افزوده شده	Wilk's lambda	سطح معني‌داري F	Tolerance
۱	Pb	۰/۰۵۳	۰/۰۰۰	۰/۶۴۸
۲	Fe	۰/۰۲۸	۰/۰۰۰	۰/۴۷۳
۳	MnPyr.	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰	۰/۴۶۶
۴	^{137}Cs	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰	۰/۵۷۷
۵	Ni	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	۰/۵۱۰
۶	N	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۴۸۷

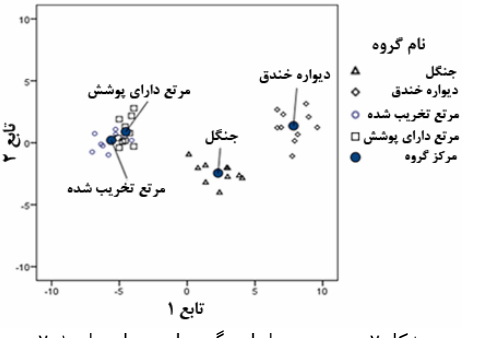
جدول ۲- مشخصات توابع تشخيص به دست آمده از تحليل

تابع	مقدار مشخصه*	درصد واريانس	درصد تجمعي واريانس	همبستگي كانوني	تبيين درصد تغييرات	Wilk's lambda	مربع كاي اسكوئر	سطح معني داري
۱	۳۲/۹۵۴	۸۹/۴	۸۹/۴	۰/۹۸۵	۰/۹۷۰	۰/۰۰۳	۱۹۲/۸۲۵	۰/۰۰۰
۲	۲/۴۱۱	۶/۵	۹۵/۹	۰/۸۴۱	۰/۰۲۱	۰/۱۱۷	۷۲/۹۷۴	۰/۰۰۰
۳	۱/۵۰۸	۴/۱	۱۰۰	۰/۷۷۵	۰/۰۰۵	۰/۳۹۹	۳۱/۲۵۸	۰/۰۰۰

*eigen value

توجه به نوع ردياب‌هاي برگزيده تحليل تشخيص (جدول ۱) نشان مي‌دهد که انتخاب اوليه ردياب‌هايي از گروه‌هاي مختلف به جاي تکيه بر ويژگي‌هاي يک گروه خاص، منتهي به تعيين ترکيب قدرتمندتري براي تشخيص منابع خواهد شد.

در اين پژوهش، ردياب‌هاي نهايي تحليل تشخيص متعلق به چهار گروه مختلف ويژگي‌ها، يعني عناصر سنگين قابل استخراج با اسيد، عناصر قابل استخراج با پيروفسفات سديم، عناصر پرتوزا و ويژگي‌هاي آلي مواد است. اين نتيجه با پژوهش Collins و Walling(2002) هماهنگي دارد.



شکل ۲- وضعيت جداسازي گروه‌ها به‌وسيله توابع ۱ و۲

تعيين سهم نسبي منابع بالقوه در توليد رسوب

با توجه به معني‌دار شدن توابع تشخيص و قابل قبول بودن صحت طبقه‌بندي، نتايج به‌دست آمده از تحليل تشخيص وارد مدل موازنه جرم چندمتغيره کمي (معادله ۱) شدند. بررسي‌ها نشان داد که در خروجي‌هاي تحليل تشخيص، بهترين ترکيب، متغيرهايي هستند که توابع اصلي بر اساس آن‌ها ساخته شده‌اند. مجموعاً شش ردياب سرب، آهن، منگنز قابل استخراج با پيروفسفات، سزيم، نيکل و نيتروژن،در ترکيب سه تابع به‌کار رفته‌اندکه براي هر يک از اين ويژگي‌هاي منشايابي که در مرحله قبل به عنوان قوي‌ترين ردياب‌ها تعيين شدند، معادله (۱) تکرار شد. مجموع معادلات که داراي مجهولات زيادي بودند، با دو شرط مطرح شده و با به‌کارگيري ضرايب اصلاحي، به روش بهينه‌سازي خطي و حذاقل کردن مجموع مربعات باقيمانده با استفاده از عمليات تکرار حل شد.

بر اساس جدول (۳)، ديواره‌هاي خندق (۹۲ درصد) بيش‌ترين و مناطق جنگلي (۰/۵درصد) کم‌ترين سهم را در توليد رسوب حوضه دارند. ترتيب ياد شده بر اساس سهم کل بوده و نسبت آن‌ها به سطح حوضه در نظر گرفته نشده است. بر اساس سهم کل، نمي‌توان در مورد اهميت نسبي هر کاربري در توليد رسوب اظهارنظر کرده و آن‌ها را با هم مقايسه نمود. لذا، سهم کلي هر کاربري بر درصد مساحت تحت پوشش آن تقسيم شد تا اهميت نسبي هر کاربري در توليد رسوب مشخص شود. همان‌گونه که مشاهده مي‌شود، ديواره‌هاي خندق، علي‌رغم مساحت بسيار کم، بالاترين اهميت نسبي را در توليد رسوب حوضه دارند. ميانگين خطاي نسبي براي تمام نمونه‌هاي رسوب برابر ۰/۹۸ به دست آمد که نشان‌دهنده صحت و کارايي زياد مدل است.Walling(2005)، Walling et al. (2008)، Juracek

and Ziegler (2009) و Collins et al. (2010a) نیز در پژوهش‌هاي مشابهي، منبع عمده توليد رسوب را در حوضه‌هاي مورد بررسي، ديواره‌هاي خندق با درصد متفاوت مشاركت در توليد رسوب، تشخيص دادند. تفاوت در اهميت متوسط نسبي ديواره‌هاي خندق در بين زيرحوضه‌هاي مختلف، منعكس كننده تعدادي از عوامل كليدي از جمله مورفولوژي و تعداد خندق‌ها، ابعاد ديواره‌ها و فشارهاي ناشي از كاربري اراضي در سواحل رودخانه‌ها است.

جدول ۳- سهم و اهميت نسبي هر يک از كاربري‌ها در توليد رسوب

كاربري	سهم كل (درصد)	درصد مساحت	اهميت نسبي
جنگل	۰/۵	۲۶/۶	۰/۰۱
ديواره خندق	۹۲	۰/۷	۱۳۱/۴۲
مرتع تخريب‌شده	۶/۵	۶/۱	۱/۰۶
مرتع داراي پوشش	۱	۶۶/۶	۰/۰۱

نتيجه گيري كلي

در اين پژوهش، روش منشايابي چندمتغيره كمي رسوبات با فرض اين‌كه رسوبات منعكس‌كننده ويژگي‌هاي منابع خود هستند ومي‌توان از اين ويژگي، براي رديابي آن‌ها استفاده كرد، در حوضه ناورود در غرب استان گيلان مورد ارزيابي قرار گرفت. پس از بازديد صحرايي، منابع بالقوه توليد رسوب به چهار دسته جنگل، مراتع داراي پوشش، مراتع تخريب‌شده وديواره خندق تقسيم شد. پس از آناليزهاي آزمايشگاهي و آماري نمونه‌هاي خاک منابع بالقوه و رسوبات،نهايتاً بهترين تركيب ردياب‌ها براي منشايابي رسوبات، شش رديابPb، Fe، $Mn_{Pyr.}$، ^{137}Cs، Ni وNتشخيص داده شد كه متعلق به چهار گروه مختلف ويژگي‌ها، يعني عناصر سنگين قابل استخراج با اسيد، عناصر قابل استخراج با پيروفسفات سديم، عناصر پرتوزا و ويژگي‌هاي آلي مواد است.تركيب اين ردياب‌ها قادرند منابع بالقوه رسوب را كاملا از يكديگر متمايز كنند. حل معادلات مربوط به مدل چندمتغيره كمي بر اساس ردياب‌هاي فوق نشان داد كه ديواره‌هاي خندق، عليرغم مساحت اندک، سهم عمده‌اي در توليد رسوب اين حوضه دارد. پس از ديواره خندق، مراتع تخريب شده، مراتع داراي پوشش و اراضي جنگل به ترتيب در جايگاه‌هاي بعدي قرار گرفتند. با توجه به شيب حوضه مورد بررسي (حدود ۲۰ درصد) و وجود خندق‌هاي فعال و عميق با ديواره‌هاي تقريبا قائم، كسب چنين نتيجه‌اي در مورد ديواره‌هاي خندق، قابل انتظار بود. نظر به اهميت نسبي بالاي خندق‌ها در توليد رسوب كه به معني فرسوده‌تر گشتن و گسترش خندق‌ها به مرور زمان مي‌باشد، مي‌توان با عمليات حفاظتي مناسب (مانند گابيون‌بندي) در سطح بسيار محدودي از مساحت حوضه (حدود ۰/۷ درصد)، از حجم رسوب خروجي حوضه به مقدار معني‌داري كاست.

در انتها مي‌توان گفت، روش منشايابي كمي چندمتغيره، قادر به تفكيک مناسب سهم منابع رسوب حوضه آبخيز ناو است و كم بودن خطاي نسبي مدل، صحت طبقه‌بندي و دقت زياد مدل را مطرح مي‌كند. با توجه به موفقيت‌آميز بودن كاربرد روش منشايابي چندمتغيره كمي در اين پژوهشو نيز سرعت زياد و اقتصادي بودن روش كه تنها نياز به جمع‌آوري و تجزيه و تحليل نمونه‌هاي رسوب و خاک منابع به جاي پايش درازمدت و گرانقيمت فرسايش و حمل رسوب دارد،استفاده از اين روش در ساير حوضه‌هاي آبخيز كشور، مي‌توان نتايج موثقي در مورد منابع اصلي توليد رسوب به‌دست دهد.

سپاسگزاري

بدين‌وسيله از شركت آب منطقه‌اي گيلان به خاطر حمايت مالي براي اجراي اين طرح و پژوهشكده علوم و فنون هسته‌اي كرج بابت همكاري در اندازه‌گيري سزيم ۱۳۷، قدرداني مي‌شود.

REFERENCES

Collins, A.L. and Walling, D.E. (2002). Selecting fingerprint properties for discriminating potential suspended sediment sources in river basins. *Journal of Hydrology*, 261, 218-244.

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

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

Collins, A.L., Zhang, Y., Walling, D.E., Grenfell, S.E. and Smith P. (2010b).Tracing sediment loss from eroding farm tracks using a geochemical fingerprinting procedure combining local and genetic algorithm optimisation.*Science of the Total Environment*, 408, 5461–5471.

Gee, G.W. and Or, D. (2002). Particle-Size Analysis.*Methods of Soil Analysis: Physical methods*, 5, 255-293.

Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L. and Black, W.C. (1998). Multivariate Data Analysis.*Prentice Hall, Upper Saddle River,New Jersey*.

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, 63 (1),13-27. (In Farsi)

Hughes, A.O., Olley, J.M., Croke, J.C. and McKergow, L.A. (2009).Sediment source changes over the last 250 years in a dry-tropical catchment, central Queensland, Australia. *Geomorphology*, 104, 262–275.

Juracek, K. E. and Ziegler A. C. (2009).Estimation of sediment sources using selected chemical tracers in the Perry lake basin, Kansas, USA. *International Journal of Sediment Research*, 24, 108–125.

Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion.*Land Degradation and Development*, 12, 519–539.

Martinez-Carreras, N., Udelhoven, T., Krein, A., Gallart, F., Iffly J.F., Ziebel, J., Hoffmann, L., Pfister, L. and Walling, D.E. (2010). The use of sediment colour measured by diffuse reflectance spectrometry todetermine sediment sources: Application to the Attert River catchment (Luxembourg). *Journal of Hydrology*, 382, 49–63.

Morgan, R.P.C. (2005). Soil and Water Conservation. *Blackwell, 3nd edition.*

Skopp, J.M. (2000). Physical properties of primary particles. In: Sumner, M.E. (Eds.), *Handbook of Soil Science*,chap. 1, pp. A-3-A-17.CRC press.

Sparks, D.L. (ed.). (1996). Methods of Soil Analysis, Part 3-Chemical Methods.*Agronomy monograph*, Vol 9.ASA and SSSA, Madison, WI.

Walling, D.E. (2005). Tracing suspended sediment sources in catchment and river systems. *Science of the Total Environment*, 344, 159-184.

Walling, D.E. 2006. Tracing versus monitoring: new challenges and opportunities in erosion and sediment delivery research. In: *Owens, P.N. and A.J. Collins, (Eds.),* Soil Erosion and Sediment Redistribution in River Catchments. *CAB International, Wallingford*, pp, 13–27.

Walling, D.E., Collins, A.L. and Stroud, R.W. (2008). Tracing suspended sediment and particulate phosphorus sources in catchments. *Journal of Hydrology*, 350, 274– 289.

Wilkinson, S.N., Hancock, G.J., Bartley, R. ,Hawdon, A.A. and Keen, R.J. (2012).Using sediment tracing to assess processes and spatial patterns of erosion in grazed rangelands, Burdekin River basin, Australia.*Agriculture, Ecosystems and Environment.*ARTICLE IN PRESS.