

انتخاب بهترین تکنیک خوشه‌بندی سلسله مراتبی بر مبنای تحلیل مؤلفه‌های اصلی در برآورد رسوب معلق

مریم ادهمی: گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
محسن ذبیحی: گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
سعید زارع‌نقده: گروه مهندسی عمران (هیدرولیک، هیدرولوژی و منابع آب)، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه *Dokuz Eylul*، ازمیر
رئوف مصطفی‌زاده*: گروه منابع طبیعی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۱۹)

چکیده

تحلیل منطقه‌ای توزیع رسوب معلق از موارد اساسی در اجرای پروژه‌های حفاظت آب‌و خاک است که امکان برآورد رسوب را در آبخیزهای فاقد آمار فراهم می‌سازد. برای این منظور تعیین مناطق همگن برای ارائه‌ی نتایج نزدیک به واقعیت، نیازمند خوشه‌بندی صحیح آبخیزها در واحدهای همگن است. در همین راستا، هدف پژوهش حاضر مقایسه‌ی تکنیک‌های مختلف روش سلسله مراتبی اعم از *Ward, Single linkage* و *β-Flexible* و انتخاب بهترین تکنیک برای تعیین مناطق همگن در حوضه‌ی رودخانه‌های قره‌سو و گرگانرود استان گلستان است. در هر کدام از روش‌های خوشه‌بندی آبخیزها، به‌عنوان پیش‌فرض ۲، ۳، ۴ و ۵ خوشه در نظر گرفته و با شاخص‌های اعتبارسنجی *Dunn* و *Pseudo-F* بررسی شد. نتایج نشان داد که از بین تکنیک‌های مختلف مورد استفاده و براساس شاخص‌های سنجش کیفیت خوشه‌بندی، روش *Single linkage* عملکرد بهتری را ارائه داد. با توجه به اینکه مقادیر رسوب معلق از داده‌های اندازه‌گیری‌شده‌ی دبی و منحنی‌های سنجه رسوب به‌دست آمده، خوشه‌بندی دارای صحت بیشتری است؛ لذا روش مناسب خوشه‌بندی می‌تواند در اتخاذ روش‌های صحیح مدیریت در حوضه‌های آبخیز، به‌خصوص در مسائل رسوب‌گذاری و فرسایش مؤثر باشد.

واژگان کلیدی: تحلیل منطقه‌ای، خوشه‌بندی، رسوب معلق، مناطق همگن، گرگانرود و قره‌سو.

۱- مقدمه

فرسایش و پیامدهای ناشی از آن با تشدید بهره‌برداری انسان از طبیعت، یکی از مشکلات مهم در مدیریت حوضه‌های آبخیز بوده و اثرات منفی خود را بر اکوسیستم حیاتی وارد ساخته‌است (Lanckriet et al, 2016؛ Mostafazadeh et al, 2015). ارزیابی و برآورد حجم بار رسوبی آبخیز به‌منظور کنترل فرسایش خاک و کاهش رسوب‌دهی ضرورت دارد؛ بنابراین بار رسوبی به‌عنوان بخشی از فرسایش و رسوب تولیدی، تنها منبع مفید برای استخراج اطلاعات در مورد شدت فرسایش خالص درون حوضه است. به‌علاوه، چگونگی توزیع زمانی رسوب طی جریان سیلاب‌ها از موارد اساسی در پروژه‌های حفاظت آب‌و خاک است که تعیین آن مستلزم صرف انرژی و هزینه است (Khosravi et al, 2015)؛ (Telvari, 2002). ضمناً تفاوت در اندازه‌گیری‌ها و برآوردها و فقدان اندازه‌گیری‌های درازمدت، مانعی

* نویسنده مسئول: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

است در دستیابی به اعداد قابل اعتماد در خصوص میزان فرسایش و رسوب؛ از این رو، می‌توان از آمار رسوب‌دهی خروجی حوضه‌ها در برآورد نسبی وضعیت فرسایش و تلفات خاک در حوضه‌های آبخیز بالادست استفاده کرد (Tramblay et al, 2015). یکی از روش‌های مطمئن در اندازه‌گیری روزانه بار رسوبی معلق، اندازه‌گیری غلظت رسوب معلق و دبی جریان است که مستلزم اندازه‌گیری پیوسته و معمولاً تنها برای رودخانه‌های مهم و دائمی امکان‌پذیر است (Kheirfam and Vafakhah, 2015). بنابراین یکی از روش‌های برآورد فرسایش خاک، استفاده از آمار رسوب ایستگاه‌های هیدرومتری و رسوب‌سنجی است که در ترکیب با خصوصیات حوضه، برآورد دقیقی از میزان رسوب‌دهی ارائه خواهد داد (Kisi, 2010). برای این منظور شناخت دقیق خصوصیات حوضه و ارتباط آن با میزان فرسایش خاک و رسوب‌دهی، می‌تواند برآورد میزان رسوب معلق را متناسب با خصوصیات ذاتی آن حوضه میسر سازد (Adhami et al, 2002). در راستای این هدف تعیین زیر حوضه‌های مشابه از نظر ویژگی‌های اقلیمی، فیزیوگرافی، زمین‌شناسی و کاربری اراضی و مدیریت گروه‌بندی آنها می‌تواند در اولویت‌بندی توان تولید رسوب، اجرای عملیات کنترل و مهار فرسایش در حوضه‌های فاقد آمار مؤثر باشد (Razavi and Coulibaly, 2013). از طرفی گروه‌بندی حوضه‌های آبخیز مشابه با استفاده از روش‌های مختلف، یکی از ابزارهای اصلی در تحلیل سیلاب و مطالعات هیدرولوژی به شمار می‌رود (Srinivas et al, 2008).

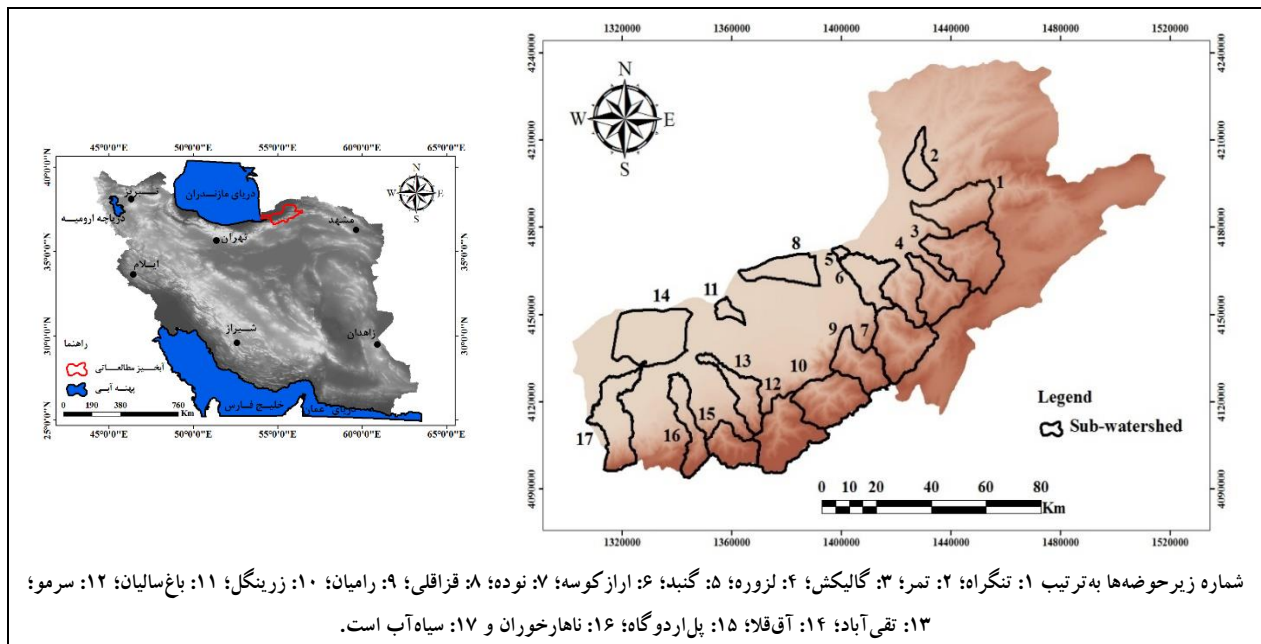
در همین راستا، Telvari (2002) تعداد ۱۵ زیرحوضه‌ی دارای آمار رسوب را در رودخانه‌های کرخه و دز در محدوده‌ی استان لرستان بررسی کرد. عوامل مؤثر به کمک تحلیل عاملی تقلیل یافت، گروه‌بندی زیرحوضه‌های همگن با استفاده از تحلیل خوشه‌ای انجام شد و روابط رگرسیونی خطی یا نمایی بین میزان رسوب‌دهی و متغیرهای مؤثر در کل منطقه و مناطق همگن به تفکیک ارائه شد. Sadeghi و همکاران (2007)، در حوضه‌ی اصفهان و سیرجان ارتباط تولید رسوب روزانه‌ی زیرحوضه‌ها را با ویژگی‌های فیزیوگرافی، هیدرولوژی، کاربری اراضی، زمین‌شناسی و اقلیمی ارزیابی کردند. این بررسی در ۱۴ زیرحوضه‌ی منتخب در طی یک دوره‌ی مشترک آماری ۱۱ ساله اجرا شد. ایشان دو مدل رگرسیونی را در دو منطقه‌ی همگن به‌عنوان مناسب‌ترین مدل‌ها برای برآورد تولید رسوب معلق روزانه انتخاب و معرفی کردند. Robertson و همکاران (2006)، چندین شاخص مؤثر در کیفیت آب را با استفاده از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای در منطقه‌ی Great lake ارزیابی کردند. براساس نتایج ایشان رسوب معلق به‌عنوان یکی از فاکتورهای اساسی کیفیت آب، به‌صورت منطقه‌ای با توجه به خصوصیات فیزیوگرافی، خاک‌شناسی و زمین‌شناسی منطقه برآورد شد. Tramblay و همکاران (2010)، مقادیر رسوب ۱۴۰ ایستگاه در رودخانه‌های کانادا و ایالات متحده‌ی آمریکا را مدل‌سازی کردند. ایشان دو روش استفاده از خصوصیات فیزیوگرافی در رگرسیونی چندمتغیره را در هر خوشه به کار گرفتند. در نهایت، مقادیر منطقه‌ای رسوب برآوردی با مقادیر مشاهده‌ای مقایسه شد و نتایج نشان داد که خوشه‌بندی منطقه‌ای بسیار مؤثرتر است و نتایجی نزدیک به واقعیت ارائه می‌دهد. Asong و همکاران (2015) برای برآورد منطقه‌ای بارش، از خصوصیات جغرافیایی و اقلیمی منطقه‌ی Canadian Prairie استفاده کردند و با روش تجزیه عاملی به شناسایی تعداد متغیرهای مؤثر پرداختند. در این راستا از مقادیر ماهانه، فصلی و مقادیر حدی بارش استفاده و در نهایت با کاربرد روش خوشه‌بندی فازی، منطقه‌ی مورد نظر را به پنج محدوده‌ی همگن تقسیم کردند.

با توجه به آنچه که بیان شد تخمین میزان دقیق رسوب در مناطق فاقد آمار، نیازمند مطالعات جامع در مناطق مشابه است تا اندازه‌گیری دقیقی از میزان رسوب این مناطق صورت گیرد و از آمارها و مدل‌های برآورد رسوب آن استفاده شود. تمامی مطالعات و پژوهش‌های فوق، خوشه‌بندی را گام اساسی رسیدن به مدل نهایی برآورد رسوب معرفی می‌کنند؛ چراکه تشابهات فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، هیدرولوژی و اقلیمی به‌همراه میزان رسوب تولیدی مبنای تفکیک خوشه‌هاست. با توجه به نقش عوامل اقلیمی در ترکیب با عوامل حوضه‌ای در شدت و ضعف فرسایش طبیعی و تشدید، انتظار می‌رود که بتوان بین این عوامل و میزان رسوب‌دهی حوضه‌ها در یک منطقه نیز روابطی به‌دست آورد و بر مبنای آن، برآورد قابل قبولی از مقدار رسوب‌دهی حوضه‌های فاقد آمار رسوب در همان منطقه یا مناطق مشابه فراهم ساخت؛ از این‌رو، ضرورت منطقه‌بندی حوضه‌ی رودخانه‌های مورد مطالعه آشکارتر می‌شود. بررسی منابع مختلف نشان می‌دهد که در خوشه‌بندی عوامل مؤثر بر تولید رسوب، از روش‌ها و تکنیک‌های مختلف برای تعیین بهترین تعداد خوشه استفاده شده‌است، ولی استفاده از چندین روش خوشه‌بندی و انتخاب بهترین آنها در مطالعات محدودی مشاهده شده و به عبارتی، این امر به صورت جدی قابل توجه قرار نگرفته‌است. در همین خصوص، هدف پژوهش حاضر تعیین مهم‌ترین متغیرهای مستقل در تولید رسوب و استفاده از روش‌های Ward, Single linkage و β -Flexible در تعیین مناطق همگن از نظر تولید رسوب در حوضه‌ی گرگانرود و قره‌سو و معرفی بهترین روش با استفاده از شاخص‌های اعتبارسنجی در منطقه‌ی مورد مطالعه است. همچنین به‌دلیل اختلاف در ماهیت هر کدام از روش‌های مورد استفاده، پژوهش حاضر می‌کوشد بیشترین تطابق را بین مدل‌های مذکور با داده‌های رسوب - که به ندرت قابل توجه بوده‌است - تشخیص دهد.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه‌ی رودخانه‌های گرگانرود و قره‌سو با حداکثر ارتفاع ۳۵۰۰ متر، در حوضه‌ی آبخیز محمدآباد و حداقل ارتفاع حدود ۲۷- متر در سواحل دریای خزر در استان گلستان قرار گرفته‌است. ارتفاع متوسط بخش کوهستانی حوضه حدود ۱۵۰۰ متر، متوسط شیب حوضه‌ی رودخانه‌های قره‌سو و گرگانرود ۵/۱ و ۱/۲۷ درصد و شیب رودخانه‌ها بین ۳/۲۴ تا ۱/۰۷ درصد متغیر است. حدود ۵۰٪ از محدوده‌ی مورد مطالعه توسط زمین‌های کشاورزی، ۳۰٪ توسط مناطق جنگلی و بقیه توسط سایر کاربری‌ها (مانند مناطق شهری و روستایی، کوهستانی و زمین‌های بایر) اشغال شده‌است. میانگین سالانه‌ی دما در مناطق غربی محدوده‌ی مطالعاتی (گرگان)، نزدیک ۱۸ درجه و رقم مشابه در ارتفاعات جنوب‌شرقی (رباط قره‌بیل) حدود ۱۲ درجه‌ی سانتی‌گراد است (Adhami et al, 2002). موقعیت حوضه‌ی رودخانه‌های گرگانرود و قره‌سو همچنین موقعیت ایستگاه‌های رسوب‌سنجی مورد مطالعه، در شکل ۱ نشان داده شده‌است.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های رسوب‌سنجی مورد مطالعه در حوضه رودخانه‌های گرگانرود و قره‌سو

۲-۲- روش پژوهش

- تعیین ایستگاه‌های هیدرومتری

ابتدا داده‌های مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری و رسوب‌سنجی در کل حوضه جمع‌آوری و پس از ترسیم هیستوگرام دوره آماری رسوب، دبی روزانه، دبی حداکثر لحظه‌ای و بارندگی سالانه‌ی آنها، تعداد ۱۷ ایستگاه با دوره آماری مشترک ۲۴ از سال آبی ۶۶ - ۱۳۶۵ تا ۸۹ - ۱۳۸۸ انتخاب شد.

- آماده‌سازی داده‌ها

به‌منظور کنترل آمار و حذف داده‌های ناهمگن، از آزمون داده‌های پرت و روش Grubbs استفاده شد (1969 Grubbs). برای بازسازی نواقص آماری مربوط به داده‌های رسوب، دبی روزانه، دبی حداکثر لحظه‌ای و بارندگی نیز از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها استفاده شد (Mahdavi, 2009). برای اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، آزمون کلموگروف - اسمیرنوف (Kelly et al, 2011) و به‌منظور محاسبه بار معلق رسوب سالانه از مقادیر روزانه دبی و منحنی سنج رسوب استفاده شد، سپس بهترین روابط، انتخاب و رسوب سالانه محاسبه شد. این معادلات بر پایه‌ی بهترین معادله‌ی رگرسیونی بین داده‌های دبی آب و رسوب استوار بود و میزان رسوب کل را با توجه به منحنی تداوم جریان و احتمالات مربوط به هر دبی و رسوب تولیدی آن محاسبه می‌کرد. از نظر نوع منحنی سنج رسوب و استفاده از دبی جریان، روش‌های برآورد رسوب به سه نوع منحنی سنج یک خطی، چند خطی و حد وسط دسته‌ها طبقه‌بندی می‌شود. در این میان، روش حد وسط دسته‌ها روش مناسب‌تری است؛ زیرا ارزش بیشتری به دبی‌های بالا اختصاص می‌دهد. برای کنترل همگنی داده‌ها نیز از آزمون دنباله‌ها استفاده شد (Mahdavi, 2009). از آنجا که وجود روندی مشخص در سری داده‌های متوسط رسوب سالانه، مدل‌سازی و تولید آمار را دچار مشکل خواهد کرد، سری داده‌های دارای توزیع آماری نرمال با روش پارامتری رگرسیون خطی (Walling and Fang, 2003) و سری داده‌های دارای توزیع غیرنرمال

با روش همبستگی من-کندال (Huang et al, 2010) تجزیه و تحلیل شدند. استقلال داده‌ها نیز توسط آزمون توابع خودهمبستگی (Haan, 2003) بررسی شد.

- محاسبه‌ی ویژگی‌های آبخیزها

در این مرحله، کلیه‌ی نقشه‌های مورد نیاز شامل نقشه‌های توپوگرافی (۱/۵۰۰۰۰)، شبکه آبراهه‌ها (۱/۵۰۰۰۰)، زمین‌شناسی (۱/۱۰۰۰۰۰) و کاربری اراضی حوضه تهیه و جمع‌آوری شد و از میانگین تولید رسوب سالانه به‌عنوان متغیر وابسته و ویژگی‌های مختلف آبخیز به‌عنوان متغیر مستقل استفاده شد. در پژوهش حاضر ویژگی‌های فیزیوگرافی زیرحوضه‌های مورد مطالعه شامل ارتفاع حداقل، ارتفاع حداکثر، طول، شیب، محیط، مساحت، ضریب گراولیوس، طول و شیب آبراهه‌ی اصلی، زمان تمرکز، سرعت جریان، درصد اراضی در جهت‌های اصلی جغرافیایی و تراکم زهکشی آبراهه‌های رتبه یک تا چهار است. از متغیرهای مربوط به کاربری اراضی، درصد کاربری‌های مختلف جنگلی، مرتعی، زراعی و سایر کاربری‌ها و از خصوصیات زمین‌شناسی، درصد سازندهای نفوذپذیر و سازندهای کربناته مورد استفاده قرار گرفتند. مقادیر دما و بارش متوسط، شاخص خشکی دومارتن و حداکثر بارش سالانه و ماهانه به‌عنوان ویژگی‌های اقلیمی در نظر گرفته شدند. علاوه بر این، در تحلیل‌ها نیز از خصوصیات هیدرولوژی زیرحوضه‌ها مانند مقادیر میانگین دبی سالانه و دبی با دوره برگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله استفاده شد. تمامی متغیرهای اندازه‌گیری شده در جداول ۱ تا ۳ ارائه شده‌است.

جدول ۱: متغیرهای فیزیوگرافی زیرحوضه‌های منتخب در آبخیز رودخانه‌های گرگانرود و قره‌سو مورد استفاده در تحلیل همگنی

ایستگاه متغیر	سیاه‌آب	ناهارخوران	پل اردوگاه	آق‌فلا	تقی‌آباد	سرمو	باغ‌سالیان	زرین‌گل	رامیان	قزاقلی	نوده	ارازکوسه	گنبد	لزوره	گالیکش	تمر	تنگراه
Max-E	۲۶۱۲	۳۰۰۰	۳۱۰۰	۸۵	۲۵۲۸	۲۶۰۰	۲۸	۲۹۰۰	۲۵۰۰	۷۰	۱۵۰۰	۲۸۷۸	۵۲	۲۵۰۰	۷۰	۶۷۰	۱۸۰۰
Min-E	-۵۲	.	.	-۹۳	-۵۴	۵۰۰	-۹۴	۳۰۰	۲۰۰	-۶۰	۱۰۰	۱۷	۱۷	۲۰۰	-۸۰	۸	۱۰۰
L	۳۹/۵۹	۳۵/۹۱	۴۱/۷۶	۳۲/۵۶	۳۴/۳۸	۲۹/۶۹	۱۲/۷۲	۲۹/۱۶	۲۴/۵۱	۶۳/۰۸	۹/۷	۴۷/۲۸	۴/۸۹	۲۶/۷۳	۳۵/۲۸	۲۱/۸	۲۹/۸
P	۱۶۴/۸	۱۲۹/۲۵	۱۴۵/۲	۸۷/۲۹	۱۲۷/۱	۸۷/۹۶	۳۴/۳۹	۸۳/۹۶	۷۹/۳۳	۲۹۵/۳	۳۵/۶	۲۰۵/۵	۱۴/۹۷	۸۶/۲۶	۱۴۷/۱	۵۸/۲	۸۷/۹۶
A	۳۴۵/۸	۲۱۲/۹	۲۱۵/۲	۴۵۸/۹	۱۹۴/۱	۱۰۲/۴	۱۷۱۹	۳۴۴/۹	۲۴۱/۹	۳۱۰/۵	۴۴/۳	۱۶۷۸	۵۳۱۰	۲۶۰/۸	۲۶۴/۸	۱۵۲۴	۱۷۹۱
G-co	-/۰۶	-/۰۸	-/۰۹	-/۰۲	-/۰۹	-/۱۲	-/۱	-/۰۳	-/۰۴	-/۰۵	-/۱۱	-/۰۵	-/۲۱	-/۰۴	-/۰۷۸	-/۰۶	-/۰۴
MSL	۴۳/۵	۴۴/۰۴	۳۵/۱۵	۳۷/۱۵	۳۴/۹۸	۲۸/۴	۱۲/۸۲	۲۰/۵۷	۲۷/۴۴	۷۸/۵۵	۱۰/۱۹	۷۸/۵	۵/۱۱	۲۵/۷۷	۳۶/۲۱	۱۷/۵	۳۴/۲
MSS	۴/۲	۷/۶۶	۷/۹۳	۷/۹۳	۶/۲۲	۱۰/۹۲	۰/۱۹	۹/۰۹	۸/۲۶	-/۰۶	۱/۳۸	۴/۸۴	-/۱۴	۵/۹	-/۱۲	۱	۱/۳۳
Tc	۴/۱۱	۳/۲۹	۶/۳۲	۱۹/۹۸	۲/۹۸	۲/۰۵	۵/۲۵	۱/۷۱	۲/۲۲	۳۲/۹۷	-/۱۸۶	۶/۱۳	۲/۹۱	۲/۴۱	۱۳/۹۶	۳/۵۴	۵/۳۲
V	۲/۹۴	۳/۷۲	-/۶۶	-/۵۲	۳/۲۶	۳/۸۵	۰/۶۸	۳/۳۳	۳/۴۳	-/۶۶	-/۷۱	۳/۵۶	-/۴۹	۲/۹۷	-/۷۲	۱/۳۸	۱/۷۹
S	۴/۴۲	۱۳/۴۶	۵۵/۸۵	۱/۳۷	۲۱/۳۸	۱۸/۹۵	۳/۸۲	۱۶/۳۸	۱۲/۶۹	۱۲/۶۹	۱۴/۰۱	۳۰/۶۵	۹/۰۴	۳۷/۶	۳/۳۱	۵/۷۱	۹/۰۹
F-A	۲۶/۶	۳۲/۹۲	۳۴/۵۲	۹۸/۷۹	۲۶/۶	۱/۵۹	۹۸/۰۶	۱۰/۸۴	۴۴/۰۸	۷۸/۵۴	۳۳/۹	۸۷/۱	۶۴/۷۴	۲۸/۷۸	۵۷/۴۴	۴۱/۴	۴۶/۲۷
N-A	۲۷/۶۳	۴/۸۸	۲۵/۹۱	۱/۲	۳۳/۹۵	۱۶/۹۸	-/۱۹	۱۸/۹۶	۱۵/۹۵	۲/۴۵	۱۸/۱۷	۶/۲۸	۲/۵۹	۱۲/۲	۵/۴۵	۳/۸	۵/۲۹
S-A	۹/۵	۹/۸۷	۲۴/۷۹	.	۳/۶۶	۴۴/۸۲	-/۵۱	۱۹/۷۲	۷/۵۲	۵/۱۸	۱۰/۳۵	۳/۲۸	۱۰/۳۷	۱۵/۲۷	۱۲/۱۶	۱۸/۲	۱۸/۶۷
E-A	۱۶/۶۶	۲۶/۱۷	۱۴/۷۸	.	۶/۹۴	۶/۳۴	-/۵۷	۲۵/۷۲	۱۴/۶۷	۷/۸۸	۱۶/۰۸	۲/۳۵	۹/۲۸	۱۹/۴	۱۰/۹۲	۵/۸۷	۵/۸۷
W-A	۱۹/۶	۲۶/۱۶	.	.	۲۸/۸۴	۳۰/۲۷	-/۶۷	۲۴/۷۶	۱۷/۷۸	۵/۹۵	۲۱/۵	-/۹	۱۳/۰۲	۲۴/۳۵	۱۴/۰۳	۲۳/۷	۲۳/۹
Dd	۰/۴	۰/۳۲	-/۲۶	-/۳۹	-/۳۴	-/۵۶	-/۰۷	۱/۴۱	-/۱۶	-/۳۳	۰/۳	۰/۱۲	۱/۱۹	۰/۲۳	-/۳۷	۰/۶۱	۰/۳
Dd2	۰/۱۵	۰/۱۴	-/۱۱	-/۱۵	-/۲۶	-/۳۲	.	۱/۰۷	-/۰۹	-/۱۱	-/۱۶	.	-/۶۹	.	-/۳۲	۰/۱۴	۰/۱۴
Dd3	۰/۰۹	۰/۱۷	-/۰۶	-/۰۸	-/۰۶	-/۱۴	.	۳/۴۸	-/۰۹	-/۰۶	-/۰۵	.	-/۲۳	.	-/۰۵	۰/۱۹	۰/۰۳
Dd4	۰/۰۳	.	.	.	-/۱۱	-/۱۱	.	۳/۱۶	.	-/۱۱	-/۰۳	.	-/۰۵	.	-/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
Dd	۰/۶۶	۰/۶۴	-/۴۲	-/۵۲	-/۶۶	۱/۱۳	-/۰۷	۳/۱۵	-/۳۶	-/۴۲	-/۴۷	-/۱۲	۲/۱۷	-/۲۳	-/۴۹	۱/۱۷	-/۵۲
DI	۹/۶۸	۸/۲۶	۶/۰۴	۹/۲	۸/۶۲	۵/۴	۸/۲۱	۵/۳۶	۵/۵۸	۷/۶۸	۶/۸۱	۶	۵/۵۵	۷/۱۳	۶	۶	۶
T	۱۷	۱۵	۱۳	۱۷	۱۶	۹	۱۷	۱۰	۱۱	۱۷	۱۷	۱۳	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۵
Pa	۵۳۹/۳۴	۷۴۳/۵۶	۳۷۰/۳۶	۴۱۸/۹۴	۵۸۰/۱۱	۷۷۸/۹۳	۳۷۹/۰۴	۷۹۳/۲۵	۷۶۸/۶۵	۸۱۰/۳۲	۶۷۰/۲	۴۴۹/۹۹	۴۵۶/۸۲	۸۷۳/۳۵	۸۱۵	۵۸۲	۷۷۲/۵
Max-P	۷۳۴/۵	۱۰۸۶/۳	۵۰۲/۵	۶۰۹	۷۱۰	۱۰۴۹	۵۱۷/۴	۱۱۶۵/۷	۱۲۵۸/۳	۱۱۵۰/۲	۱۱۷۰/۲	۶۱۴/۲	۶۳۵	۱۳۸۶/۵	۱۳۹۶/۵	۸۵۴	۱۳۵۰

در جدول فوق Max-E حداکثر ارتفاع (متر)، Min-E حداقل ارتفاع (متر)، L طول آبخیز (کیلومتر)، P محیط آبخیز (کیلومتر)، A مساحت آبخیز (کیلومترمربع)، G-co ضریب گراولپوس، MSL طول آبراهه اصلی (کیلومتر)، MSS شیب آبراهه اصلی (درصد)، Tc زمان تمرکز (ساعت)، V سرعت جریان (متر بر ثانیه)، S شیب آبخیز (درصد)، F-A درصد مناطق مسطح، N-A درصد مساحت اراضی با جهت شمال، S-A درصد مساحت اراضی با جهت جنوب، E-A درصد مساحت اراضی با جهت شرق، W-A درصد مساحت اراضی با جهت غرب و Dd 1, 2, 3 and 4 تراکم زهکشی آبراهه‌های با رتبه ۱، ۲، ۳ و ۴ هستند.

جدول ۲: متغیرهای کاربری اراضی و زمین‌شناسی زیرحوضه‌های منتخب در آبخیز رودخانه‌های گرگانرود و قره‌سو مورد استفاده در تحلیل همگنی

ایستگاه متغیر	سیاه‌آب	ناهارخوران	پل‌اردوگاه	آق‌قلا	تقی‌آباد	سرمو	باغ‌سالیان	زرین‌گل	رامیان	قزاقلی	نوده	ارازکوسه	گنبد	لزوره	گالیکش	تمر	تنگراه
F	۲۷/۰۵	۴۸/۲۷	۷۸/۱	۰	۱/۶۹	۱۰	۰	۸۲/۰۳	۷۷/۶۹	۰	۶۴/۷۲	۴۱/۲۲	۰	۵۵/۶۹	۱۸/۹	۲/۲۳	۴۸/۷
R	۰/۰۴	۶/۵۸	۰	۲۴/۷۶	۸۰/۲۵	۴۲	۸/۲۵	۰	۰	۶۹/۱۱	۲/۲۸	۱۶/۹۹	۲/۳۳	۰/۰۸	۳۶/۸۱	۳/۹	۱۳
A	۷۰/۸۲	۱۰/۳۸	۲۱/۶۹	۷۲/۴۷	۰	-/۱۵	۸۸/۹۸	۱۶/۲۳	۲۱/۷۳	۲۵/۴۵	۳۲/۴۶	۲۶/۷۵	۸۵/۱۱	۴۲/۸	-/۲۲	۷/۸۷	۳۷/۹
O	۲/۰۸	۳۴/۷۷	۰/۱۹	۲/۷۶	۱۱۲	۴۷/۹۸	۲/۷۷	۱/۷۴	-/۵۸	۵/۴۴	-/۵۴	۱۵/۰۴	۱۲/۵۶	۱/۴۳	۴۴/۰۷	۶/۱۶	-/۳۵
PF	۲/۳۵	۱۳/۵۷	۴۲/۶۵	۵۳/۹۹	۴/۳۴	-/۲۵	۱۰/۹۴	۹/۲۵	۵/۸۵	۸/۳۲	۶/۷۸	۳/۹۳	۳۴/۷۹	۱/۸۲	۵/۴۷	۸/۹۲	-/۲۹
CF	۰/۲۱	۸/۷۵	۲/۲۴	۱۰/۸۵	۴/۳۷	۳۶/۹۲	۷/۱۴	۲۲/۶۸	۱۸/۳۲	۱۲/۵	۱۰/۳۲	۱۷/۹۸	۳۳/۹	۴/۷۶	۲۷/۰۸	۲۹/۴	۱/۴۴

در جدول فوق F درصد اراضی جنگلی، R مساحت اراضی مرتعی، A درصد اراضی زراعی، O درصد مساحت سایر کاربری‌ها، PF درصد مساحت سازندهای نفوذپذیر و CF درصد مساحت سازندهای کربناته هستند.

جدول ۳: متغیرهای هیدرولوژی و هواشناسی زیرحوضه‌های منتخب در آبخیز رودخانه‌های گرگانرود و قره‌سو مورد استفاده در تحلیل همگنی

ایستگاه متغیر	سیاه‌آب	ناهارخوران	پل‌اردوگاه	آق‌قلا	تقی‌آباد	سرمو	باغ‌سالیان	زرین‌گل	رامیان	قزاقلی	نوده	ارازکوسه	گنبد	لزوره	گالیکش	تمر	تنگراه
Q	۲	-/۳۲	۱۲/۵۴	۱۱/۷	-/۴	۱/۱	۳/۰۴	۱۷/۰۳	۱/۱۲	۶/۳۲	۱/۱۲	۵/۴۵	۷/۰۳	۲/۰۸	۲/۱۳	۱/۲۳	۱/۳۲
Q₂	۱/۹۴	-/۳	۱۱/۶۲	۱۰/۶۴	-/۴	-/۹۸	۵/۲۱	۳۰/۶۷	۱/۳۸	۱۲/۰۹	۱/۳۱	۵/۲۲	۶/۵۱	۱/۹۱	۲/۵۴	۱/۴۷	۱/۴۷
Q₅	۲/۹	-/۴۲	۱۶/۵۵	۱۶/۷۲	-/۶۱	۱/۵۱	۶/۷۳	۸۷/۱۸	۱/۶۷	۱۶/۰۴	۱/۹۷	۶/۷۹	۹/۰۵	۲/۵۸	۳/۲۸	۱/۹۴	۲/۱۹
Q₁₀	۳/۴۳	-/۵۱	۱۹/۰۵	۲۰/۳۴	-/۷۱	۱/۹۲	۷/۷۱	۱۳۷/۹	۲/۰۳	۱۸/۴۵	۳/۳۲	۷/۷۲	۱۰/۸۱	۳/۰۶	۳/۷۶	۲/۳۵	۲/۶
Q₂₅	۴/۰۲	-/۶۵	۲۱/۲۹	۲۴/۴۹	-/۷۸	۲/۴۷	۸/۷۹	۲۱۱/۴۷	۲/۵۳	۲۱/۳	۴/۰۱	۸/۸۱	۱۳/۲۹	۳/۵	۴/۳۶	۳/۰۴	۳/۰۵
Q₅₀	۴/۴	-/۷۶	۲۲/۴۳	۲۷/۳	-/۸۳	۲/۸۸	۹/۵۱	۲۷۰/۰۳	۲/۹	۲۳/۳۱	۶/۲۵	۹/۵۶	۱۵/۳۵	۴/۱۹	۴/۴	۳/۷۳	۳/۳۴
Q₁₀₀	۴/۷۲	-/۹	۲۳/۲۵	۲۹/۸۷	-/۹۷	۳/۲۹	۱۰/۲۷	۳۲۹/۷۵	۳/۲۸	۲۵/۲۲	۸/۳۱	۱۰/۲۷	۱۷/۶۳	۴/۷	۵/۲۴	۴/۶۱	۳/۶
DI	۹/۶۸	۸/۲۶	۶/۰۴	۹/۲	۸/۶۲	۵/۴	۸/۲۱	۵/۳۶	۵/۵۸	۷/۶۸	۶/۸۱	۶	۷	۵/۵۵	۷/۱۳	۶	۶
T	۱۷	۱۵	۱۳	۱۷	۱۶	۹	۱۷	۱۰	۱۱	۱۷	۱۷	۱۳	۱۷	۱۳	۱۷	۱۷	۱۵
Pa	۵۳۹/۳۴	۷۴۲/۵۶	۳۷۰/۳۶	۴۱۸/۹۴	۵۸۰/۱۱	۷۷۸/۹۳	۳۷۹/۰۴	۷۹۳/۲۵	۷۶۸/۶۵	۸۱۰/۳۲	۶۷۰/۲	۴۴۹/۹۹	۴۵۶/۸۲	۸۷۳/۳۵	۸۱۵	۵۸۲	۷۷۲/۵
Max-P	۷۳۴/۵	۱۰۸۶/۳	۵۰۲/۵	۶۰۹	۷۱۰	۱۰۴۹	۵۱۷/۴	۱۱۶۵/۷	۱۲۵۸/۳	۱۱۵۰/۲	۱۱۷۰/۲	۶۱۴/۲	۶۳۵	۱۳۸۶/۵	۱۳۹۶/۵	۸۵۴	۱۳۵۰

در جدول فوق Q دبی متوسط سالانه (مترمعبک بر ثانیه)، Q₂, 5, 10, 25, 50, 100 دبی با دوره‌های برگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله، DI شاخص خشکی دومارتن، T دمای متوسط سالانه (درجه سانتی‌گراد)، Pa بارندگی متوسط سالانه (میلی‌متر) و Max-P بارندگی حداکثر سالانه (میلی‌متر)، هستند.

- تجزیه عاملی (PCA)

به منظور تعیین میزان اثر هر متغیر قابل اندازه‌گیری در تحلیل‌های منطقه‌ای رسوب، باید تمامی متغیرهای اقلیمی، هیدرولوژی، کاربری اراضی و زمین‌شناسی در حوضه‌ی مورد مطالعه بررسی شود تا در گام‌های بعدی، شدت اثر این متغیرها بر متغیر وابسته (رسوب) تعیین گردد. در پژوهش حاضر به منظور کاهش تعداد پارامترهای دخیل در تولید رسوب، از تجزیه و تحلیل عاملی استفاده شد (Bro and Smilde, 2014). این مجموعه n بعدی دارای n محور است. طولانی‌ترین این محورها از روند عمومی یا امتداد اکثریت نقاط پیروی می‌کند که می‌توان از بین متغیرهای انتخاب شده، متغیرهای مؤثرتر بر تولید رسوب را مشخص کرد. از چرخش عمودی به روش Varimax، برای کاهش واریانس بار هر یک از عوامل و تسهیل متغیرهای ساختار عاملی استفاده شد. برای محدود کردن تعداد عامل‌ها نیز از آماره‌ی کفایت اندازه داده‌ها (KMO) استفاده شد. مدل تحلیل عاملی در حالت کلی برای P عامل و m متغیر ($P \leq m$) به صورت زیر است:

$$Y_i = \mu_i + \sum_{j=1}^p \lambda_{ij} f_j + e_i \quad \text{رابطه ۱}$$

$i = 1, 2, 3, \dots, m$

که در آن μ_i میانگین متغیر i ام کلیه‌ی مشاهدات، λ_{ij} ضریب عامل j ام در باره‌ی متغیر i ام (یا در حقیقت کوواریانس بین متغیر i ام و عامل j ام)، f_j عوامل مؤثر بر متغیر وابسته و e_i اثر عوامل خطاست که فرض می‌شود همبستگی بین آنها صفر و دارای توزیع نرمال هستند. از ماتریس دورانی Varimax - که از ضرایب عامل متغیرهای مورد استفاده تشکیل می‌شود - می‌توان براساس معیار کفایت، اندازه نمونه KMO متغیرهای مستقل مناسب را برای منظور شدن در مدل تجزیه عاملی انتخاب کرد (Wiltshire, 1985). این ضریب با استفاده از رابطه‌ی (۲) محاسبه می‌شود:

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum_{i \neq j} i^{rij2}}{\sum_{i \neq j} \sum_{i \neq j} i^{rij2} + \sum_{i \neq j} \sum_{i \neq j} i^{aij2}} \quad \text{رابطه ۲}$$

براساس این رابطه، مقادیر ۰/۹، ۰/۸، ۰/۷، ۰/۶، ۰/۵ و کمتر از ۰/۵ به ترتیب بیانگر نتیجه‌ی تجزیه عاملی بسیار مناسب، مناسب، متعادل، متوسط، کم و نامناسب هستند (همان).

- تکنیک‌های خوشه‌بندی در منطقه‌ی مورد مطالعه

در این مطالعه برای تعیین بهترین تکنیک خوشه‌بندی منطقه مورد مطالعه، سه تکنیک خوشه‌بندی Single linkage، Ward و β -Flexible مربوط به روش سلسله مراتبی استفاده شد. روش Single linkage، این روش یکی از ساده‌ترین تکنیک‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی و انحصاری به شمار می‌رود که به آن نزدیک‌ترین همسایه نیز گفته می‌شود (Saini and Kaur, 2014). روش Ward: در این روش به‌عنوان دقیق‌ترین روش سلسله مراتبی، هر عضو در گروهی جای می‌گیرد که مجموع مربعات انحرافات درون گروهی به حداقل برسد. برای خوشه‌بندی با این روش، ماتریس‌های ورودی همان ماتریس‌های

ورودی به روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی است (Gocic and Trajkovic, 2014).

روش β -Flexible: روش کلی خوشه‌بندی سلسله مراتبی توسط لانس و ویلیامز^۱ (2014) ارائه و بعدها ضریب β برای بهینه‌سازی آن معرفی شد. ضریب β که بین مقدار ۱- و ۱ در تغییر است، با استفاده از رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود. این تکنیک حد وسط Single Linkage و Complete Linkage است (De Caceres et al, 2017).

$$d_g(ij) = \alpha_i \cdot d_{gi} + \alpha_j \cdot d_{gj} + \beta \cdot d_{ij} + \lambda \cdot |d_{gi} - d_{gj}| \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

- شاخص‌های اندازه‌گیری اعتبار روش‌های خوشه‌بندی

شاخص‌های اعتبارسنجی خوشه‌بندی به منظور تعیین بهترین تعداد خوشه‌ها به کار می‌رود که این شاخص‌ها بر اساس نتایج الگوریتم منطقه‌بندی عمل می‌کنند. در پژوهش حاضر از دو شاخص Pseudo F و Dunn استفاده شده است که با توجه به ضرایب مربوط به شرح زیر (رابطه‌ی ۴ و ۵)، مناسب‌ترین تعداد خوشه‌ها تعیین می‌شود. Pseudo F - این شاخص یکی از معمول‌ترین شاخص‌ها برای تعیین مناسب‌ترین تعداد خوشه به روش بهینه‌سازی است.

$$F(c) = \frac{A/(C-1)}{W/(N-C)} \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

که در آن W مجموع مربعات داخل خوشه و A مجموع مربعات فازی درون خوشه است.

- Dunn:

$$D(U) = \min\{\min[\delta(X_i X_j)/\max(\Delta(X_k))]\} \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

که در آن $\delta(X_i, X_j)$ بیانگر فاصله‌ی بیرونی بین خوشه‌ی X_i و X_j ، $D(X_i)$ نماینده‌ی فاصله‌ی درونی بین دو خوشه و K تعداد خوشه‌ها در محدوده‌ی U است. هدف این روش، بهینه‌سازی فواصل بیرونی و کمینه‌سازی فواصل درونی است (Raju and Nagesh Kumar, 2010). هر سه تکنیک خوشه‌بندی و اعتبارسنجی خوشه‌ها در محیط نرم‌افزار Ginkgo انجام شده است.

۳- یافته‌ها (نتایج)

مقادیر میانگین رسوب سالانه باید کاملاً تصادفی باشد که برای تحقق این پیش‌فرض، آزمون همگنی داده‌ها انجام شد. مقادیر عددی مربوط به P-Value همگنی داده‌ها در جدول ۴ و نتایج آزمون آماری ACF برای تعیین استقلال داده‌ها در شکل ۲ ارائه شده است.

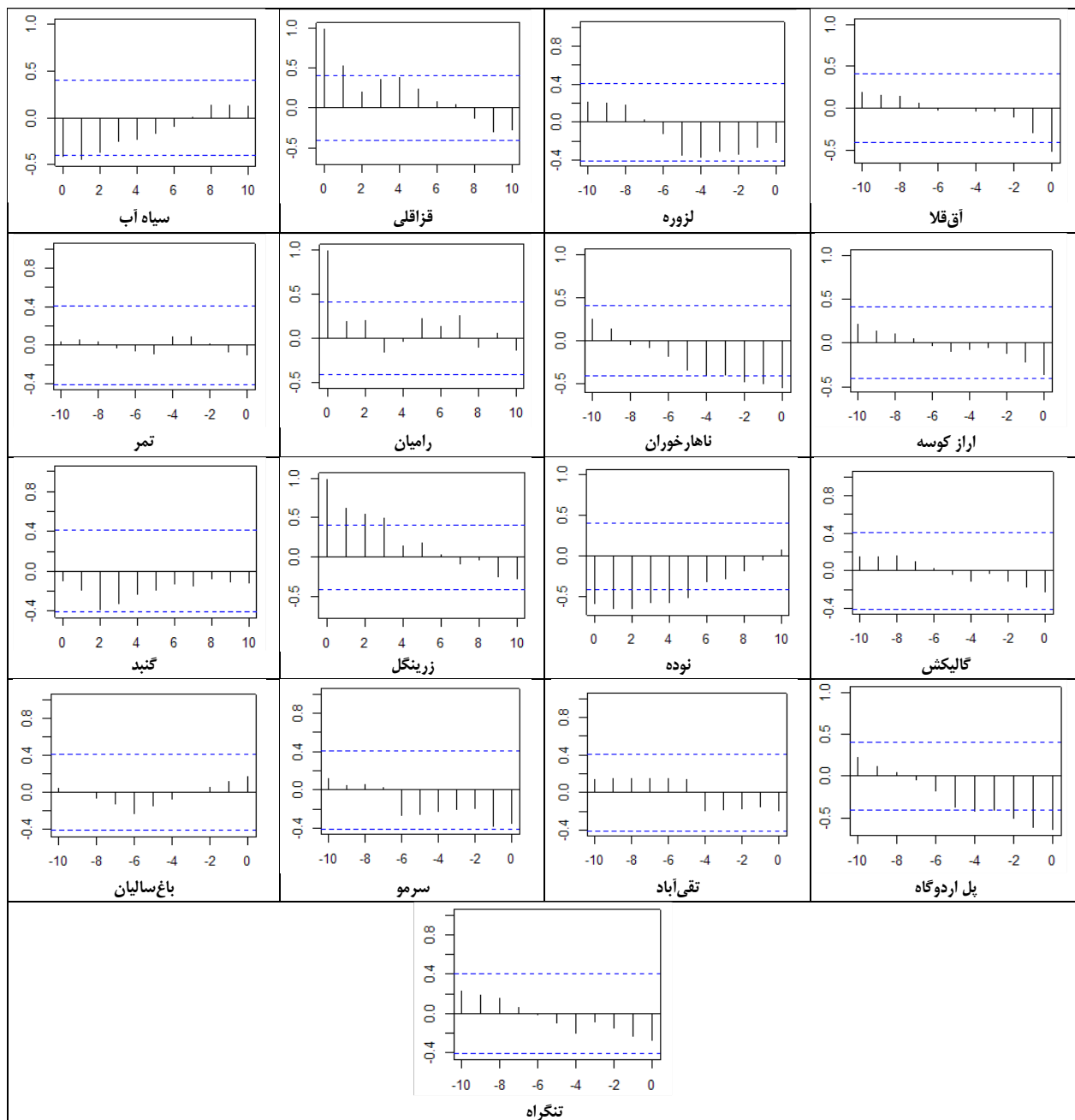
جدول ۴: نتایج آزمون همگنی داده‌های ایستگاه‌های منتخب حوضه‌ی رودخانه‌های گرگانرود و قره‌سو

ردیف	نام ایستگاه	معنی‌داری	ردیف	نام ایستگاه	معنی‌داری
۱	سیاه آب	۰/۱۵*	۱۰	رامیان	۰/۷۶*
۲	آق‌قلا	۰/۷۹*	۱۱	آراز کوسه	۰/۵۳*
۳	ناهارخوران	۰/۶۵*	۱۲	گنبد	۰/۵۱*
۴	پل اردوگاه	۰/۴۲*	۱۳	نوده	۰/۵۳*

¹ Lance and Williams

۰/۵۳°	گالیکش	۱۴	۰/۲۳°	تقی آباد	۵
۰/۱۰°	لزوره	۱۵	۰/۵۶°	باغه سالیان	۶
۰/۵۵°	تمر	۱۶	۰/۷۷°	سرمو	۷
۰/۳۲°	تنگراه	۱۷	۰/۲۹°	زرینگل	۸
-	-	-	۰/۱۴°	قزاقلی	۹

*: معنی‌دار



شکل ۲: نمودارهای تابع خودهمبستگی سری‌های میانگین رسوب سالانه در سطح ۹۵ درصد در ایستگاه‌های منتخب

با توجه به توزیع آماری سری داده‌های متوسط رسوب سالانه، از روش تحلیل روند متناسب استفاده شد. نتایج تحلیل روند در جدول ۵ ارائه شده‌است.

جدول ۵: نتایج آزمون تحلیل روند آمار رسوب ایستگاه‌های منتخب حوزه‌های گرگانرود و قره‌سو

ردیف	نام ایستگاه	معنی داری	وضعیت	ردیف	نام ایستگاه	معنی داری	وضعیت
۱	سیاه آب	۰/۰۵۱	فاقد روند	۹	قزاقلی	۰/۱۲۳	فاقد روند
۲	آق قلا	۰/۳۸۸	فاقد روند	۱۰	آراز کوسه	۰/۹۰۴	فاقد روند
۳	ناهار خوران	۰/۰۵۲۲	فاقد روند	۱۱	گنبد	۰/۶۴۳	فاقد روند
۴	پل اردوگاه	۰/۰۰۲	دارای روند	۱۲	نوده	۰/۰۰۴	دارای روند
۵	تقی آباد	۰/۴۵۹	فاقد روند	۱۳	لزوره	۰/۶۷۲	فاقد روند
۶	باغه سالیان	۰/۳۶۹	فاقد روند	۱۴	گالیکش	۰/۰۵۴	فاقد روند
۷	سرمو	۰/۰۵۶	فاقد روند	۱۵	تمر	۰/۳۴۷	فاقد روند
۸	زرینگل	۰/۰۰۲	دارای روند	۱۶	تنگره	۰/۷۱۳	فاقد روند

در هر کدام از ایستگاه‌ها ۳۸ متغیر مستقل اندازه‌گیری و محاسبه شد، سپس توسط تجزیه و تحلیل عاملی در هفت مؤلفه قرار گرفت. مقادیر مربوط به درصد واریانس هفت مؤلفه‌ی اصلی، در جدول ۶ ارائه شده‌است.

جدول ۶: نتایج ماتریکس دورانی Varimax برای تعیین مؤلفه‌ها

مؤلفه‌ها	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
مؤلفه ۱	۷/۹۹	۲۱/۶	۲۱/۶
مؤلفه ۲	۶/۸۲	۱۸/۴۳	۴۰/۰۳
مؤلفه ۳	۵/۹۷	۱۶/۱۲	۵۶/۱۶
مؤلفه ۴	۵/۲۵	۱۴/۱۸	۷۰/۳۳
مؤلفه ۵	۴/۹۸	۱۳/۴۷	۸۳/۸۱
مؤلفه ۶	۲/۵۶	۶/۹۲	۹۰/۷۳

هفت مؤلفه‌ی مشخص شده در جدول فوق، ۹۶ درصد تغییرات رسوب معلق را به خود اختصاص داده‌اند؛ لذا هفت مؤلفه برای تعیین پارامترهای مستقل مؤثر بر میزان رسوب منطقه بررسی شد. مؤثرترین متغیرها در جدول ۷ به همراه مقدار واریانس مرتب شده‌اند.

جدول ۷: مؤثرترین متغیرهای مستقل بر رسوب معلق حاصل تجزیه عاملی

مؤلفه	مقدار ویژه	واریانس (%)	واریانس تجمعی (%)	متغیر منتخب	واریانس
۱	۷/۹۹	۲۱/۶۰	۲۱/۶۰	طول رودخانه اصلی	۰/۹۴
۲	۶/۸۲	۱۸/۴۳	۴۰/۰۳	دبی با دوره بازگشت ۱۰ سال	۰/۹۹
۳	۵/۹۷	۱۶/۱۲	۵۶/۱۶	درصد مساحت اراضی جنگلی	-۰/۹۵
۴	۵/۲۵	۱۴/۱۸	۷۰/۳۳	درصد مساحت اراضی کشاورزی	۰/۷۵
۵	۴/۹۸	۱۳/۴۷	۸۳/۸۱	ضریب زهکشی	۰/۹۳
۶	۲/۵۶	۶/۹۲	۹۰/۷۳	درصد مساحت سازندهای نفوذپذیر	-۰/۹۲
۷	۱/۹۵	۵/۲۸	۹۶/۰۱	زمان تمرکز	۰/۹۵

خوشه‌بندی منطقه‌ی مورد مطالعه براساس متغیرهای مؤثر، با استفاده از سه روش سلسله مراتبی اعم از Single Ward linkage و β -Flexible انجام و مقایسه شد. نتایج روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی منتخب در پژوهش حاضر، در جدول ۸ ارائه شده‌است.

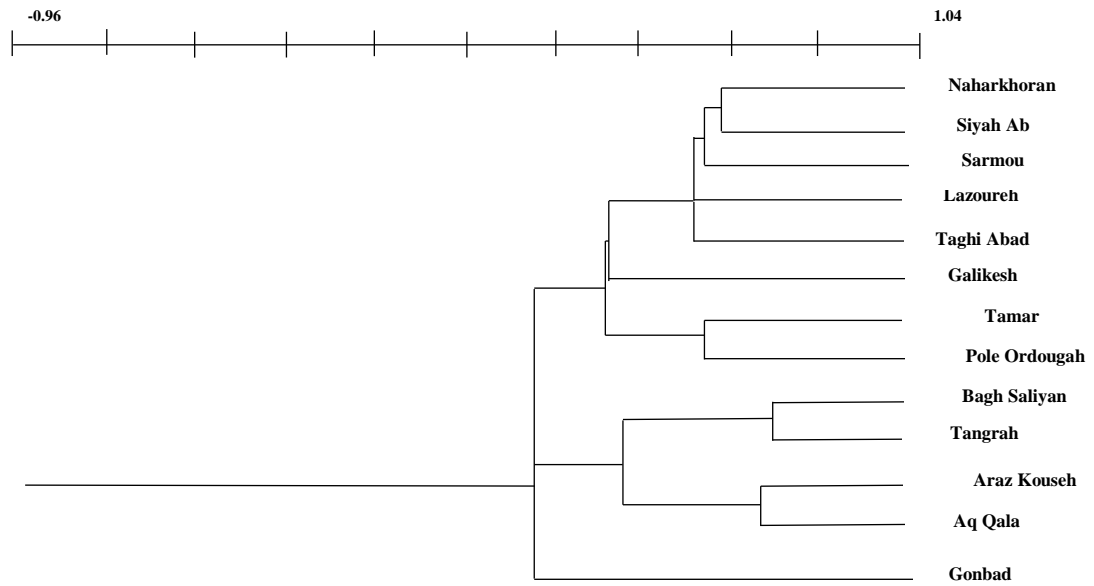
جدول ۸: نتایج خوشه‌بندی با استفاده از روش‌های Ward، Single linkage و β -Flexible

ضریب Pseudo F	ضریب Dunn	تعداد خوشه‌ها	روش خوشه‌بندی
۲/۱۲	۲	۰/۲۹	Single Linkage
۴/۰۶	۳	۰/۴۸	
۲/۸۹	۴	۰/۳۲	
۳/۳	۵	۰/۴۳	
۴/۰۶	۲	۰/۲۹	Ward
۲/۷۳	۳	۰/۱۹	
-	۴	-	
-	۵	-	
۳/۵۷	۲	۰/۲۹	β -Flexible
-	۳	-	
۴/۰۶	۴	۰/۳۷	
-	۵	-	

زیرحوضه‌های مربوط به تعداد خوشه‌های مناسب در هر کدام از روش‌های مورد استفاده در جدول ۹ و دندروگرام خوشه‌بندی با روش‌های Ward، Single Linkage و β -Flexible با شکل‌های ۳، ۴ و ۵ نمایش داده شده‌اند.

جدول ۹: زیرحوضه‌های موجود در هر خوشه با روش خوشه‌بندی Ward، Single linkage و β -Flexible

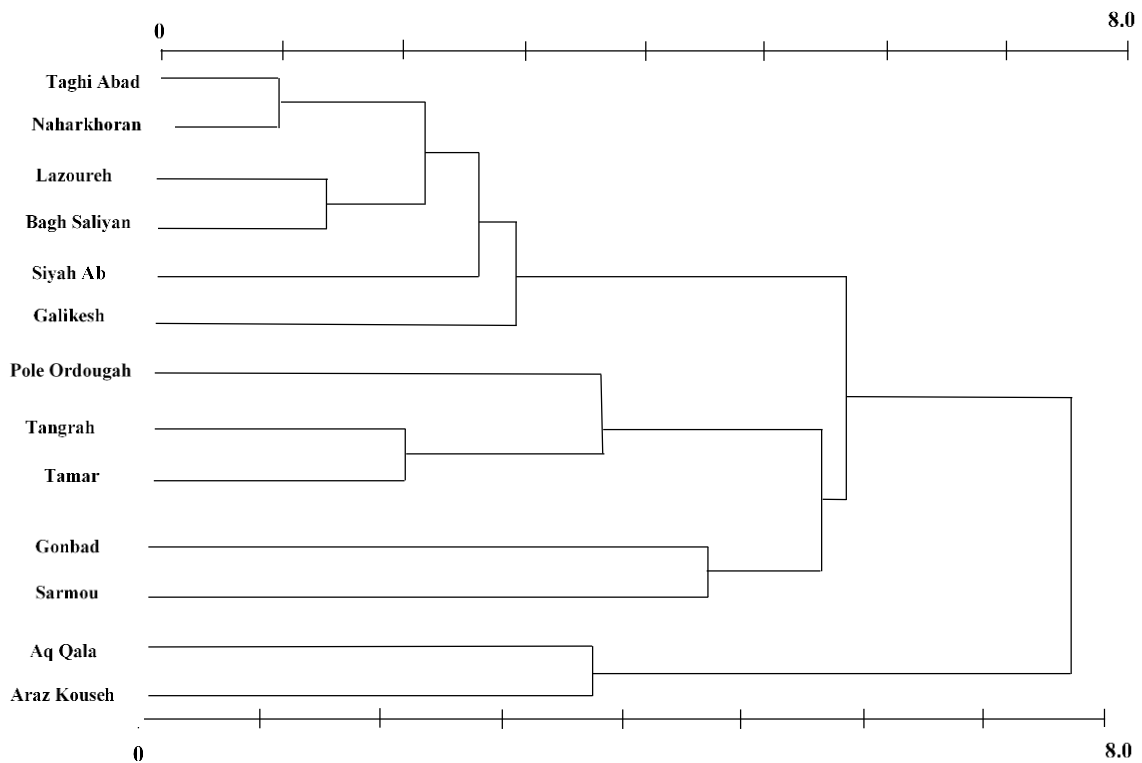
زیرحوضه‌ها	خوشه	روش خوشه‌بندی
گنبد	۱	Single linkage
آق‌قلا، آراز کوسه	۲	
تقی‌آباد، گالیکش، لزوره، پل‌اردوگاه، تنگراه، باغ‌سالیان، ناهارخوران، سیاه‌آب، تمر، سرمو	۳	
آق‌قلا، آراز کوسه	۱	Ward
تقی‌آباد، گالیکش، لزوره، پل‌اردوگاه، تنگراه، باغ‌سالیان، ناهارخوران، سیاه‌آب، تمر، گنبد، سرمو	۲	
آق‌قلا، آراز کوسه	۱	β -Flexible
تقی‌آباد، گالیکش، لزوره، پل‌اردوگاه، تنگراه، باغ‌سالیان، ناهارخوران، سیاه‌آب، تمر	۲	
سرمو	۳	
گنبد	۴	



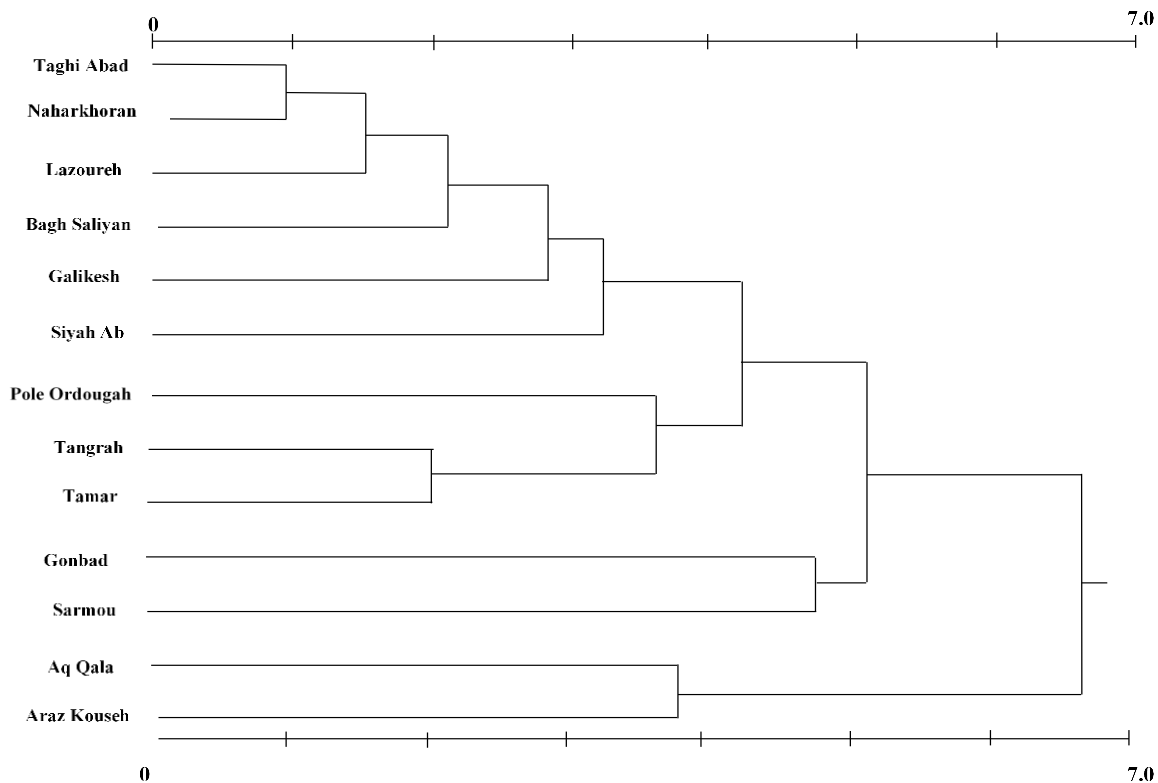
شکل ۳: دندروگرام خوشه‌بندی به روش Single linkage

جدول ۱۰: زیرحوزه‌های موجود در هر خوشه با روش خوشه‌بندی Ward

خوشه	زیرحوزه‌ها
۱	آق‌قلا، آرازکوسه
۲	تقی‌آباد، گالیکش، لزوره، پل‌اردوگاه، تنگراه، باغ‌سالیان، ناهارخوران، سیاه‌آب، تمر، گنبد، سرمو



شکل ۴: دندروگرام خوشه‌بندی به روش Ward



شکل ۵: دندروگرام خوشه‌بندی به روش β -Flexible

۴- بحث و نتیجه‌گیری

مطالعات متعددی منطقه‌بندی حوزه‌های آبخیز را برای ارائه‌ی مدل‌های منطقه‌ای و برآورد تولید رسوب در مناطق بدون آمار معرفی کرده و در آنها روش‌های متفاوت خوشه‌بندی پیشنهاد شده‌است. در این پژوهش، خوشه‌بندی آبخیزهای حوزه‌ی گرگانرود و قره‌سو با استفاده از سه روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی Ward, Single Linkage و β -Flexible صورت گرفت و با استفاده از شاخص‌های صحت‌سنجی، بهترین تعداد خوشه‌ها همچنین بهترین روش خوشه‌بندی انتخاب شد.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۴، مقادیر P-Value مربوط به همه‌ی زیرحوضه‌های مورد مطالعه بزرگ‌تر از ۰/۰۵ هستند و سری آماری همگن دارند. خود همبستگی سری داده‌ها تحت عنوان همبستگی بین مشاهدات متوالی، در بازه‌های زمانی مختلف در نظر گرفته می‌شود. ویژگی مهم در سری‌های زمانی این است که معمولاً مشاهدات متوالی مستقل نیستند و دقیقاً این وابستگی است که بررسی می‌شود. برای بررسی این وابستگی، از تابع خودهمبستگی و تابع خودهمبستگی جزئی استفاده می‌شود. با توجه به نتایج آزمون ACF (شکل ۲)، تنها داده‌های مربوط به ایستگاه رامیان دارای همبستگی درونی در فاصله اطمینان ۹۵ درصد هستند که با توجه به شکل مربوط، مقدار همبستگی از حد آستانه عبور کرده‌است. نرمال بودن سری‌ها و نداشتن خودهمبستگی در سری‌های زمانی، از جمله شرایط استفاده از روش‌های ناپارامتری تحلیل روند است.

با توجه به مقادیر P-Value آزمون نرمال بودن داده‌ها، سری‌های با مقدار P-Value بیش از ۰/۰۵، سری نرمال و کمتر از ۰/۰۵، دارای سری غیرنرمال مشخص شدند. از بین ۱۷ ایستگاه منتخب برای مطالعه، ۱۱ ایستگاه دارای توزیع

نرمال و سایر ایستگاه‌ها دارای توزیع غیر نرمال بودند. روش‌های متفاوتی برای نرمال‌سازی داده‌ها وجود دارد که مینا و اساس آنها توجه به چولگی توزیع است. اگر چولگی در قسمت بالای سمت راست QQ پلات باشد، با لگاریتم گرفتن از داده‌ها و اگر در قسمت پایین سمت چپ باشد، با ریشه‌ی دوم گرفتن از داده‌ها می‌توان آنها را نرمال کرد (Helsel and Hirsch, 2002). براساس نتایج آزمون کلموگروف - اسمیرنوف، داده‌های مربوط به پنج ایستگاه نرمال نبود که اقدامات لازم به‌منظور نرمال‌سازی آنها صورت گرفت.

با توجه به نتایج آزمون تحلیل روند براساس روش‌های رگرسیون خطی و روش ناپارامتری من-کندال و مقادیر P-Value، سه ایستگاه پل‌اردوگاه، نوده و زرینگل دارای روند بوده (کوچک‌تر از ۰/۰۵)؛ از این رو حذف این ایستگاه‌ها برای ادامه‌ی مطالعه ضروری است. ذکر این امر لازم است که ایستگاه رامیان نیز دارای روند بود که با توجه به هم‌پوشانی با آزمون استقلال داده‌ها، حذف و ایستگاه‌های باقی‌مانده برای انجام تحلیل خوشه‌ای ارزیابی شد.

در هر کدام از ایستگاه‌ها ۳۸ متغیر مستقل اندازه‌گیری و محاسبه شد، سپس توسط تجزیه و تحلیل عاملی در هفت مؤلفه قرار گرفت. به دلیل همبستگی داخلی بین متغیرهای موجود در هر مؤلفه، از هر مؤلفه مؤثرترین عامل به‌عنوان نماینده انتخاب و برای خوشه‌بندی از آن استفاده شد (جدول ۶). طبق نتایج، هفت متغیر اعم از طول رودخانه‌ی اصلی، دبی با دوره بازگشت ۱۰ ساله، درصد مساحت اراضی جنگلی، درصد مساحت اراضی کشاورزی، ضریب زهکشی، درصد مساحت سازندهای نفوذپذیر و زمان تمرکز مؤثرترین متغیرهای مستقل بر میزان رسوب سالانه بوده‌اند (جدول ۷). رابطه‌ی مثبت زمان تمرکز با رسوب‌دهی، بیانگر این است که هر چه مدت زمان حرکت رواناب از دورترین نقطه - ی حوضه به خروجی بیشتر باشد، فرصت کنش و حمل رسوب بیشتر خواهد بود (Arabkhedri, 2005). از سوی دیگر افزایش تعداد و طول آبراهه در واحد سطح، میزان ارتباط آب با خاک را افزایش و مقدار ذرات بیشتری را شستشو خواهد داد.

نتایج جدول ۷ و حضور دو متغیر مربوط به کاربری اراضی در بین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تولید رسوب، اهمیت کاربری این اراضی را در منطقه‌ی مورد مطالعه بیش از پیش آشکار می‌سازد. درصد مساحت اراضی جنگلی با تولید رسوب، رابطه‌ای منفی دارد و عاملی در تثبیت خاک منطقه محسوب می‌شود (همان). در حالی که درصد مساحت اراضی کشاورزی یکی از عوامل تولیدکننده‌ی رسوب است. با توجه به روابط دبی و رسوب در منحنی‌های سنجه رسوب، ارتباط مستقیم آنها مشاهده شد. علاوه بر این، با توجه به همبستگی مثبت بین مقدار متوسط دبی و دبی با دوره بازگشت ۱۰ ساله، متغیر دوم با بیشترین مقدار واریانس به‌عنوان نماینده انتخاب شد. واضح است که افزایش حجم عبوری آب در واحد زمان، میزان تولید رسوب را به طریق فرسایش بستر و کنش کناره‌های آبراهه افزایش می‌دهد (Telvari and Samiee, 2009). میزان رسوب زیرحوضه‌های مورد مطالعه با افزایش سازندهای نفوذپذیر کاهش یافته‌است. در سازندهای نفوذپذیر امکان نفوذ جریان رواناب بیشتر است، در نتیجه احتمال تشکیل رواناب و تولید رسوب کاهش می‌یابد. خوشه‌بندی منطقه‌ی مورد مطالعه براساس متغیرهای مؤثر، با استفاده از سه روش سلسله مراتبی اعم از Single Ward linkage و β -Flexible انجام و مقایسه شد. در هر کدام از روش‌های مذکور، منطقه‌ی مورد مطالعه به‌صورت پیش‌فرض به ۲، ۳، ۴ و ۵ خوشه تقسیم شد و با شاخص‌های اعتبارسنجی مورد سنجش قرار گرفت. با توجه به اینکه بیشترین مقدار دو شاخص اعتبارسنجی Pseudo F و Dunn بیانگر حداکثر مطلوبیت است، در روش Single

Linkage قرار گرفتن زیرحوضه‌های مورد مطالعه در سه خوشه نسبت به حالت دو، چهار و پنج خوشه‌ای، مقدار ضریب Dunn و Pseudo F بیشتری را نشان می‌دهد (جدول ۸). در روش Ward دو خوشه‌ای شدن زیرحوضه‌ها، حداکثر مقدار Pseudo F ارائه شده در هر سه روش را نشان داده و مقدار شاخص Dunn نیز بیش از سه خوشه است. در این روش، ۴ و ۵ خوشه براساس محاسبات حاکم بر دو شاخص تعیین کیفیت معنی‌دار نیست. روش β -Flexible چهارخوشه را بهترین حالت ممکن برای خوشه‌بندی منطقه معرفی می‌کند (جدول ۸).

تفاوت عملکرد روش‌های به کار رفته را می‌توان در ماهیت آنها جستجو کرد. در روش Single Linkage، در واقع شباهت بین دو خوشه کمترین فاصله‌ی بین یک عضو از یکی با عضوی از دیگری است. در ابتدا هر داده به‌عنوان یک خوشه در نظر گرفته می‌شود و یافتن نزدیک‌ترین خوشه در واقع یافتن کم‌ترین فاصله‌ی بین داده‌های بالا خواهد بود. داده‌هایی که با هم فاصله‌ی کمی دارند، با هم ترکیب شده‌اند و خوشه‌ی جدیدی ایجاد می‌کنند که فاصله‌ی آن از سایر خوشه‌ها با کمترین فاصله بین سایر خوشه‌ها و خوشه‌ی جدید ایجاد شده برابر است که تا ترکیب تمامی داده‌ها ادامه می‌یابد. شاخص‌های به کار رفته، تعداد خوشه‌ی مناسب را مشخص می‌سازد. تفاوت اساسی روش Ward با Single Linkage این است که در آن به سبب حذف داده‌های پرت، برای محاسبه‌ی فقدان شباهت بین خوشه‌ها از معیاری جدید استفاده می‌شود. در روش Ward، از مجموع مربعات تفاضل هر داده از یک خوشه با بردار میانگین آن خوشه به‌عنوان معیاری برای سنجش یک خوشه استفاده می‌شود. از آنجا که قبل از خوشه‌بندی، آزمون داده‌های پرت بر روی مقادیر رسوب معلق اعمال شد؛ لذا نیاز به حذف داده‌های پرت در روش Ward مرتفع شده بود. از این‌رو، روش ساده‌ی Single Linkage برای این سری از داده‌ها کارایی بالاتری داشت. از طرف دیگر، در مجموعه‌ای از داده‌ها که دارای خوشه‌هایی تفکیک‌پذیر هستند، اگر فاصله بین خوشه‌ها زیاد و قطر خوشه‌ای آن کوچک باشد، شاخص Dunn مقداری بزرگ‌تر و مطلوب‌تر خواهد بود. از معایب این روش، حساسیت به نوسان در داده‌هاست؛ لذا با توجه به حذف داده‌های پرت، این مشکل از بین رفته و شاخص مذکور شاخصی مناسب برای ارزیابی خوشه‌بندی خواهد بود.

نتایج مقایسه‌ها نشان داد که روش خوشه‌بندی Single Linkage در مقایسه با سایر روش‌های سلسله مراتبی در حوزه‌ی رودخانه گرگان‌رود و قره‌سو، نتیجه‌ی بهتری داشته‌است. مقادیر شاخص‌های صحت‌سنجی نشان داد که در این روش، مقدار عددی مربوط به شاخص Dunn بیشترین مقدار (۰/۱۰-۲۹/۴۸) را به خود اختصاص داده؛ در حالی که بیشترین مقدار مربوط به این شاخص در سایر روش‌ها ۰/۳۷ بوده‌است. مطلوب‌ترین حالت برای شاخص Pseudo F، زمانی است که مقدار مربوط به آن بیشینه باشد که در روش Single Linkage این شرایط برقرار است. حداکثر مقدار این شاخص مقدار ۴/۰۶ بود که در تمام روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی مشاهده شد؛ از این‌رو، روشی که مقدار عددی مربوط به هر دو شاخص را به‌طور همزمان در حالت بیشینه به خود اختصاص دهد، روش مطلوب خواهد بود.

بررسی نتایج به‌دست آمده بیانگر این مطلب است که روش Single Linkage نسبت به سایر روش‌ها، در شناسایی مناطق همگن از نظر تولید رسوب در محدوده‌ی تحت بررسی نتایج قابل قبول‌تری ارائه کرده‌است. با توجه به اینکه میزان رسوب، از مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی دبی و منحنی‌های سنج رسوب در ترکیب با خصوصیات تأثیرگذار آبخیز به دست آمده‌است، خوشه‌بندی دارای صحت بیشتری است؛ لذا روش مناسب خوشه‌بندی می‌تواند در اتخاذ شیوه‌های صحیح مدیریت در حوزه‌های آبخیز، به‌خصوص در مورد مسائل فرسایش خاک و رسوب‌گذاری استفاده شود.

منابع

1. Adhami, M.; Najafinejad, A.; Sadoddin, A.; & H. Abghari, 2002. Long - term analysis of flow discharge and sediment in some hydrometry stations of Golestan Province, *Regional Geographic Environment*, 3, 21- 38. (In Persian)
2. Arabkhedri, M., 2005. A study on the suspended sediment yield in river basins of Iran. *Iran-Water Resources Research*, 1(2), 51- 60. (In Persian)
3. Asong, Z. E.; Khaliq, M. N.; & H. S. Wheater, 2015. Regionalization of precipitation characteristics in the Canadian Prairie Provinces using large - scale atmospheric covariates and geophysical attributes, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29 (3), 875 - 892.
4. Bro, R., & A. K. Smilde., (2014). Principal component analysis. *Analytical Methods*. 6, 2812 - 2831.
5. De Caceres, M.; Oliva, F.; Font, X.; & S. Vives, 2007. Ginkgo, a program for non - standard multivariate fuzzy analysis, *Advances in Fuzzy Sets and Systems*, 2, 41 - 56 .
6. Gocic, M., & S. Trajkovic, (2014). Spatiotemporal characteristics of drought in Serbia. *Journal of Hydrology*. 510, 110 - 123.
7. Grubbs, F., 1969. Procedures for detecting outlying observations in samples, *Technometrics* 11 (1), 1 - 21. <http://dx.doi.org/10.1080/00401706.1969.10490657>.
8. Haan, C. T., 2003. Statistical methods in hydrology, 2nd edition, Blackwell Publishing, 378 p.
9. Helsel, D. R., & R. M. Hirsch., 2002, Statistical Methods in Water Resources. 510 PP.
10. Huang, F.; Xia, Z. Q.; & Y. K. Wang, 2010. Runoff regimes of upstream Yangtze River in dry season and October, *Journal of Hohai University: Natural Sciences*, 38 (2), 129 - 133.
11. Kelly, R. F.; Higuera, P. E.; Barrett, C. M.; & H. F. Sheng, 2011. A signal - to -noise index to quantify the potential for peak detection in sediment - charcoal records, *Quaternary Research*, 75, 11- 17.
12. Kheirfam, H., & M. Vafakhah, 2015. Assessment of some homogeneous methods for the regional analysis of suspended sediment yield in the south and southeast of the Caspian Sea. *Journal of Earth System Science*. 124 (6), 1247 - 1263.
13. Khosravi, M.; Solomatine, D.; Salajegheh, A.; Mohseni Saravi, M.; Malekian, A.; & G. Corzo, 2015. Experiments with clustering of catchments in PCA - reduced space and regionalization of a hydrological model (Central Alborz region, Iran), In EGU General Assembly Conference Abstracts.
15. Kisi, O, 2010. Wavelet regression model for short - term streamflow forecasting, *Journal of hydrology*, 389 (3), 344 - 353.
14. Lance, G. N., & W. T. Williams, 1967. Mixed - data classificatory programs. I. Agglomerative systems. *Australian Computer Journal*. 1, 15 - 20 .
15. Lanckriet, S.; Asfaha, T.; Frankl, A.; Zenebe, A.; & J. Nyssen, 2016. Sediment in alluvial and lacustrine debris fans as an indicator for land degradation around Lake Ashenge (Ethiopia), *Land Degradation and Development*, 27 (2), 258 - 269 .
16. Mahdavi, M., 2009. Applied Hydrology. Vol 2. Tehran University Press, 362 p. (In Persian)
17. Mostafazadeh, R.; Vafakhah, M.; & M. Zabihi, 2015. Analysis of monthly wet and dry spell occurrence by using Power Laws in Golestan Province, Iran. *Ecohydrology*, 2 (2), 29 - 43. (In Persian)

18. Prosdocimi, M.; Jordán, A.; Tarolli, P.; Keesstra, S.; Novara, A.; & A. Cerdà, 2016. The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean vineyards, *Science of the Total Environment*, 547, 323 - 330 .
19. Raju, K. S., & D. Nagesh Kumar, 2010. Multicriterion analysis in engineering and management. Prentice Hall of India, New Delhi.
20. Razavi, T., & P. Coulibaly, 2013. Streamflow prediction in ungauged basins: Review of regionalization methods. *Journal of Hydrologic Engineering*. 18 (8), 958 - 975.
21. Robertson, D. M.; Saad, D. A.; & D. M. Heisey, 2006. A regional classification scheme for estimating reference water quality in streams using land - use - adjusted spatial regression - tree analysis, *Environmental Management*, 32 (2), 209 – 229.
22. Sadeghi, S. H. R.; Najafi, D. A; & M. Vafakhah, 2007. Regional Analysis of Suspended Sediment Estimation in Esfahan and Sirjan Watershed, *Iran - Water Resources Research Journal*, 2 (3), 51- 65. (In Persian)
26. Saini, G., & K. Kaur, 2014. Regionalization as spatial data mining problem based on clustering: review. *International Journal of Computer Engineering and Applications*. 6, 163 - 173.
23. Srinivas, V. V.; Tripathi, S.; Rao, A. R.; & R. S. Govindaraju, 2008. Regional flood frequency analysis by combining self - organizing feature map and fuzzy clustering, *Journal of Hydrology*, 348 (1), 148 - 166.
24. Telvari, A. R., 2002. Relationship of suspended sediment yield and some watershed characteristics in upland rivers of Karkhe and Dez in Lorestan Province. *Pajouhesh and Sazandegi*, 56 & 57, 56 - 61. (In Persian)
25. Telvari, A. R., & M. Samiee, 2009. Determining homogeneous watersheds of Fars province by using statistical analysis and affecting factors on flood discharge. *Pajouhesh and Sazandegi*, 85, 63 - 74. (In Persian)
26. Tramblay, Y.; Ouarda, T. B.; St - Hilaire, A.; & J. Poulin, 2010. Regional estimation of extreme suspended sediment concentrations using watershed characteristics, *Journal of Hydrology*, 380 (3), 305 - 317.
27. Walling, D. E., & D. Fang, 2003. Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. *Global and Planetary Change*. 39 (1), 111 - 126.
28. Wiltshire, S. E., 1985. Grouping basins for regional flood frequency analysis, *Hydrological Sciences Journal*, 30 (1), 151- 159.

Choosing the Best Hierarchical Clustering Technique Based on Principal Components Analysis for Suspended Sediment Load Estimation

Maryam Adhami, *PhD Student, Dept. of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran*

Mohsen Zabihi, *PhD Student, Dept. of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran*

Saieed Zare Naghadeh, *PhD Student, Dept. of Hydraulic, Hydrology and Water Resources, Faculty of Civil Engineering, Dokuz Eylul University, İzmir, Turkey*

Raof Mostafazadeh* *Assistant Professor, Dept. of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran*

Article History (Received:2016/09/27

2016 - Accepted: 2017/03/09)

Extended abstract

1- INTRODUCTION

The assessment of watershed sediment load is necessary for controlling soil erosion and reducing the potential of sediment production. Different estimates of sediment amounts along with the lack of long-term measurements limits the accessibility to reliable data series of erosion rate and sediment yield. Therefore, the observed data of suspended sediment load could be used to estimate soil loss in the catchment upstream. Hence, one of the valid methods to estimate soil erosion is using of the recorded data of hydrometry stations in combination with catchment characteristics that will provide accurate predictions. For this purpose, recognition of similar sub-watersheds according to climatic, physiographic, geologic land use could be useful in the erosion control operations.

2- THEORETICAL FRAMEWORK

To estimate the exact amount of sediment in the ungauged areas, clustering is introduced as a key step. Various methods and techniques have been used to determine the best number of clusters. However, application of different clustering methods and selection of the best one is rarely found. To this aim, the objective of present study is to determine the most important variables in sediment production using Single linkage, Ward and β -Flexible methods for the clustering of sub-watersheds of Gorganroud and Qareh-Sou river basins in Golestan Province.

3- METHODOLOGY

The Gorganroud and Qareh Sou Watersheds are located at the North-Eastern part of Iran. The seventeen hydrometric stations were selected with a 24-year (1986–2010) recorded data of discharge and suspended sediment load. The Grubbs and Beck method was used to perform the verity in order to verify the outlier discharge measured data. The correlation method was used to fill the missing data in time series. The normality of discharge and suspended sediment data were tested using Kolmogrov-Smirnov test and verified for choosing the well-set trend analyses method. The linear regression and Mann-Kendal Taw methods were used for the data with normal and non-normal distribution in trend analysis, respectively. Auto Correlation Function (ACF) test method was used to determine the internal consistency between the data series.

A set of 38 factors from the five main groups of categories were investigated to determine the sediment yield controlling independent variables. Principal Component Analysis (PCA)

* - Corresponding author: raofmostafazadeh@uma.ac.ir

was used to determine the most effective variables. In order to detect the best classification method, three classification techniques (Single linkage, Ward's, and β -flexible methods) were examined in the study area. The Single Linkage also called nearest neighbor is a simple clustering method. The object pairs forms clusters hierarchically starting from the most similar pairs according to the similarity in a descending order. Ward's algorithm is one of the frequently used techniques for the regionalization studies of hydrology and climatology factors. A generalized hierarchical method, β -Flexible, formed the group calculating the external object. The distance from a point to the group was computed in this method.

Many indices have been developed to examine the validity of clustering techniques based on finding an optimal partitioning. In the present study, Pseudo F and Dunn's Indices were used to assess the accuracy of clustering algorithms. Accurate clustering means having non-overlapping partitions. One of the most commonly used criteria for the selection of group number is the maximization of pseudo-F statistics. This statistics is based on multivariate normal distribution of data.

4- RESULTS

All data series of 17 sub-watersheds in Gorganroud and Qareh Sou basins were tested with different clustering algorithms. Two data series showed autocorrelation, detected by the ACF test. Two data sets had trends according to the Kendal's test. Therefore, 13 sub-watersheds remained for the final classification. Some 38 independent variables were calculated and screened with PCA. The variables with similar effects on sediment yield, were grouped in 7 components. The selected components were chosen according to the amount of variance. The results of PCA and the selected representative variables in each component have been given in Table 1.

Table 1: Result of Principal Component Analysis of effective variables on sediment yield in Gorganroud and Qareh Sou Watersheds, Iran

Components	Spatial Amount	Variance (%)	Cumulative Variance (%)	Representative variable
1	7.99	21.60	21.60	Main stream length
2	6.82	18.43	40.03	Flow discharge with 10 years of return period
3	5.97	16.12	56.16	Percent of forest area
4	5.25	14.18	70.33	Percent of agricultural lands area
5	4.98	13.47	83.81	Drainage density
6	2.56	6.92	90.73	Percentage of permeable formations area
7	1.95	5.28	96.01	Concentration time

Results of Ward's, Single linkage and β -flexible methods as hierarchical techniques have been summarized in Table 2.

Table 2 Results of the hierarchical clustering technique in Gorganroud and Qareh Sou Watersheds, Iran.

Method	Clusters Number	Dunn Coefficient	Psedue-F
Single Linkage	2	0.29	2.12
	3	0.45	3.50
	4	0.32	2.89
	5	0.43	3.30
Ward	2	0.29	4.06
	3	0.19	2.73
	4	-	-
	5	-	-
β -Flexible	2	0.29	3.57
	3	-	-
	4	0.37	4.06
	5	-	-

5- CONCLUSIONS & SUGGESTIONS

The results showed that the Single linkage method presented a better performance considering the accuracy criterion. The suspended sediment values were determined using measured discharge and available Sediment Rating Curves; therefore, the identified clusters as the reliable and appropriate watershed grouping methods which could be regarded as a useful tool in the management of watersheds particularly in the context of erosion and sedimentation.

Key Words: Clustering, Gorganroud and Qareh-Sou, Homogenous Region, Regional Analysis, Suspended Sediment Load.

* Corresponding author: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir