تاثیر هم‌گنی حوزه‌های آبخیز در دقت روابط منطقه‌ای سیلاب

علیرضا اسلامی[1]، کارشناس ارشد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
عبدالرسول تلوری، دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۰۵/۲۳ **پذیرش مقاله:** ۱۳۸۹/۰۹/۲۰

چکیده

در یک حوزه آبخیز، بین وقایع هیدرولوژیک و ساختار فیزیکی و شرایط اقلیمی حاکم بر آن، ارتباط وجود دارد. با توجه به تنوع شرایط در حوزه‌های آبخیز، عکس‌العمل‌های هیدرولوژیکی آن‌ها با یک‌دیگر متفاوت است. با شناخت عوامل اصلی می‌توان حوزه‌های آبخیز دارای شرایط هیدرولوژیکی مشابه را از طریق روش‌های تعیین هم‌گنی تفکیک کرد. در نتیجه، می‌توان مدل‌های برآورد دبی سیلاب را برای حوزه‌های هم‌گن با دقت بالاتری نسبت به مدل‌های کلی منطقه به‌دست آورد. در این تحقیق، ابتدا کمیت‌های مورفومتری مختلف ۳۱ حوزه آبخیز انتخابی مربوط به ناحیه خاوری ساحل دریای خزر (خزر خاوری) با مختصات جغرافیایی ۲۲, ۵۲° تا ۲۶, ۵۶° طول خاوری و۱۸,۶۰° تا۵۴,۳۷° عرض شمالی در محیط GIS استخراج شد. سپس، بر اساس تجزیه و تحلیل عاملی، کمیت‌های مساحت، شیب متوسط وزنی و تراکم زهکشی حوزه‌های آبخیز و متغیر بارندگی متوسط سالیانه به‌عنوان متغیرهای اصلی انتخاب شد. بر اساس این متغیرها و با استفاده از روش‌های آماری تجزیه و تحلیل‌خوشه‌ای و توابع متمایزکننده و نیز روش گرافیکی منحنی آندرو، حوزه‌های آبخیز به گروه‌های هم‌گن طبقه‌بندی شد. سپس، بررسی کارآیی گروه‌های هم‌گن، با انتخاب دو حوزه آبخیز شاهد در منطقه، از طریق آزمون تحلیل ممیزی، میزان تعلق آن‌ها به هر یک از گروه‌های هم‌گن تعیین شد. درنتیجه، حوزه زرین‌گل با ۱۰۰ درصد احتمال عضویت به گروه هم‌گن چهار و حوزه داراب کلاً با ۵۴ درصد و ۴۶ درصد احتمال عضویت به‌ترتیب به گروه‌های هم‌گن یک و سه تعلق داشت. بررسی دقت روابط منطقه‌ای سیل مربوط به گروه‌های هم‌گن در مقایسه با رابطه کل منطقه، با استفاده از معیار جذر میانگین مربع خطا (RMSE) نشان‌داد که روابط مربوط به گروه‌های هم‌گن از دقت بالاتری برخوردارند. به‌عنوان مثال، برای یک گروه هم‌گن، مقادیر RMSE با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ به‌ترتیب معادل ۳۵/۸، ۴۴/۶، ۶۶/۴، ۸۸/۳، ۱۲۰/۲ در مقایسه با RMSE مربوط به رابطه کل منطقه به‌ترتیب ۵۸/۷، ۸۰/۵، ۱۱۴/۱، ۱۳۵/۴، ۱۶۴ به‌دست آمد. با توجه به این مقایسه، مقادیر دبی برآورد شده برای دو حوزه شاهد در دوره بازگشت‌های مختلف از طریق روابط رگرسیونی گروه‌های همگن (Qes) با مقادیر حاصل از توابع توزیع فراوانی سیلاب (Qpdf) نشان داد که این مقادیر درسطح معنی‌داری کم‌تر از یک درصد و با ضریب R= ۰/۹۹ از همبستگی بسیارخوبی برخوردارند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه عاملی، تحلیل خوشه‌ای، توابع متمایزکننده، حوزه خزر، گروه‌های هم‌گن، منحنی‌آندرو

مقدمه

تحلیل منطقه‌ای جریان‌های سیلابی در رودخانه‌ها به‌منظور تعیین ابعاد بهینه سازه‌های هیدرولیکی، طراحی ابنیه بتنی و نیز تحلیل جریان‌های کم‌آبی، برای پیش‌بینی‌خشک‌سالی در راستای مدیریت و حفاظت منابع آب و خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به تنوع اقلیمی، زمین‌شناختی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی و مورفولوژیکی حوزه‌های آبخیز، واکنش هیدرولوژیکی مناطق مختلف متفاوت است. با تفکیک یک منطقه با ویژگی‌های متنوع به گروه‌های هم‌گن هیدرومورفولوژیک می‌توان مدل‌هایی برای برآورد دبی سیلاب در هرگروه هم‌گن ارائه کرد که نسبت

[1] eslamiar72@gmail.com

www.SID.ir
Archive of SID

به مدل‌های به‌دست آمده برای‌کل منطقـه از دقت وکارآیی بیش‌تری برخوردار باشند. با مشخص‌کردن روابط برآورد دبی درگروه‌های هم‌گن، تعمیم نتـــایج به حوزه‌های آبخیز فاقد آمار و مشابه با هر گروه امکان‌پذیر است.

یک منطقه هم‌گن به جمعی از زیرحوزه‌ها اتلاق می‌شود که نه ضرورتاً از نظر جغرافیایی بلکه از نظر پاسخ هیدرولوژیکی متشابه باشند. از نظر آماری نیز هم‌گنی مکانی بدین معنی است که طبیعت هر روی‌داد خاص هیدرولوژیکی و هواشناسی در یک منطقه هم‌گن، به‌گونه‌ای است که از نظر آماری تشابه آن‌ها قابل قبول و تقریباً دارای واکنش یک‌سان است (Burn و Goel، ۲۰۰۰) تحقیقات متعددی در زمینه هم‌گن‌بندی حوزه‌های آبخیر در داخل و خارج از کشور انجام گرفته است.

در تحقیق دیگری (Nathan و McMahon، ۱۹۹۰) برای تعیین مناطق هم‌گن در جنوب خاوری استرالیا به‌منظور برآورد جریان‌های کمینه ۷ روزه و بده با فراوانی ۹۰ درصد از منحنی آندرو و روش تجزیه خوشه‌ای استفاده کردند. آن‌ها اعتقاد دارند که روش منحنی‌های آندرو بهترین روش برای تعیین تعلق حوزه‌های فاقد آمار به گروه‌های هم‌گن مشخص شده است و این‌کار از طریق دیدن وضعیت منحنی ایستگاه بدون آمار، نسبت به گروه‌های هم‌گن موجود صورت می‌گیرد.

در مطالعه‌ای، Nathan (۱۹۹۳)، روش انتقال شاخص‌های هیدرولوژیک را در شمال ایالت ویکتوریا در استرالیا به‌کار برد. وی معتقد بود که انتقال داده‌های جریان از مناطق دارای آمار به مناطق فاقد آمار، بر مبنای مناطق و حوزه‌های هم‌گن، دقیق‌تر از روش تحلیل رگرسیونی است. وی ابتدا با استفاده از رگرسیون گام به‌گام، مدل‌هایی را برای برآورد ویژگی‌های جریان در منطقه ارائه نمود. سپس، از عوامل بارندگی متوسط سالیانه، ارتفاع مرکز ثقل، درصد اراضی جنگلی و تراکم آبراهه‌ها، منحنی‌های آندرو را برای تعیین تشابه هیدرولوژیک حوزه‌های دارای آمار با حوزه‌های فاقد آمار به‌کار گرفت. با استفاده از مدل رگرسیونی و همچنین روش انتقال داده‌ها از حوزه دارای آمار به حوزه فاقد آمار، مقادیر جریان را با این دو روش برآورد کرد. با مقایسه مقادیر برآورد شده و مشاهده‌ای دریافت که روش انتقال داده‌ها از دقت بیش‌تری برخوردار است.

Burn و Goel (۲۰۰۰) در مطالعه خود روش جدیدی را برای تعیین گروه‌بندی حوزه‌هایی در کشور هند به‌منظور برآورد جریان‌های استثنایی، بر اساس الگوریتم خوشه‌ای توسعه دادند. در این روش، برای تشابه هیدرولوژیکی از یک شاخص به‌نام فاصله وزنی بین هر حوزه با هر گروه و برای ارزیابی هم‌گنی از واریانس وزنی و یک معیار یک‌نواختی استفاده کردند.

Telvari و Islami (۲۰۰۲) طی تحقیقی با انتخاب مهم‌ترین عوامل فیزیوگرافی و اقلیمی مربوط به ۳۱ حوزه آبخیز ناحیه خزر خاوری و ۲۳ حوزه خزر باختری در دو حالت، حوزه‌ها را هم‌گن‌بندی نمودند. حالت اول براساس متغیر مساحت حوزه و دبی ویژه دوساله که در این‌صورت هر دو ناحیه به سه گروه هم‌گن تقسیم‌بندی شدند. حالت دوم براساس متغیرهای مستقل مساحت، شیب متوسط وزنی، ارتفاع متوسط، تراکم زهکشی، بارندگی متوسط سالیانه و طول آبراهه اصلی حوزه، هم‌گن‌بندی انجام گرفت. در این مورد هر دو ناحیه به چهار گروه همگن تقسیم شدند. حوزه‌های گنبد، قزاقلی و کردخیل در خزر خاوری به علت داشتن مساحت زیاد در یک گروه هم‌گن قرار گرفتند. همین‌طور حوزه رزن در خزر باختری به‌عنوان یک حوزه ناهم‌گن نسبت به بقیه حوزه‌ها در یک گروه جداگانه دسته‌بندی شد.

غیاثی (۱۳۷۷) هم‌گن‌بندی ۴۲ حوزه آبخیز را در دامنه البرز شمالی، برمبنای ویژگی‌های هندسی آن‌ها به‌روش تحلیل خوشه‌ای انجام داد. در این بررسی بهترین طبقه‌بندی براساس متغیرهای مساحت، ارتفاع متوسط، تراکم زهکشی، بارندگی متوسط سالیانه، شیب رودخانه، درصد مساحت با پوشش جنگلی و نسبت انشعاب حوزه‌ها به‌دست آمد. چاوشی (۱۳۷۷) با استفاده از ۲۵ ایستگاه آب‌سنجی واقع در سه حوزه زاینده‌رود، کارون شمالی و کاشان و با استفاده از دبی بیشینه لحظه‌ای سیلاب، حوزه مورد مطالعه را از روش منحنی‌های اندرو هم‌گن‌بندی کرد. وی پس از رسم منحنی‌ها، زیرحوزه‌ها را بر اساس متغیرهای مستقل گروه‌بندی نمود. داودی‌راد (۱۳۷۸) با انجام آزمون‌های تحلیل عاملی، تحلیل خوشه‌ای و توابع متمایزکننده، گروه‌های هم‌گن را بر مبنای عوامل مستقل و موثر در دبی بیشینه سیلاب

www.SID.ir

لحظه‌ای در ۲۳ حوزه کویر مرکزی بررسی کرد. نتایج نشان‌داد که در روابط رگرسیونی چندمتغیره برای گروه‌های هم‌گن، عواملی مانند مساحت حوزه، ارتفاع متوسط، تراکم زهکشی، بارندگی بیشینه ۲۴ ساعته و تعداد روزهای بارانی، بیش‌ترین تأثیر را در تولید جریان سیلابی دارند.

موسوی (۱۳۷۸) در یک بررسی بر پایهٔ نظریه حوزه‌های آبخیز مشابه، اقدام به برآورد سیلاب‌های بیشینه و جریان‌های کمینه در ۱۹ زیرحوزه منتخب دریاچه نمک نمود. وی از میان عوامل مورفومتری حوزه (مساحت، محیط، تراکم زهکشی)، متغیرهای اقلیمی (بارندگی سالیانه، بارندگی بیشینه ۲۴ ساعته با دوره بازگشت‌های مختلف) و عوامل زمین‌شناختی (درصد سازندهای نفوذپذیر) متغیرهایی را که کم‌ترین همبستگی داخلی را داشتند، انتخاب کرد. با انجام هم‌گن‌بندی حوزه‌ها با دو روش تحلیل خوشه‌ای و منحنی‌های آندرو، نشان داد که روش گرافیکی آندرو نسبت به‌روش تحلیل خوشه‌ای کارآیی بهتری دارد.

محمدی (۱۳۸۱) با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای بر مبنای متغیرهای مساحت، شیب متوسط حوزه، طول آبراهه اصلی، بارندگی متوسط سالیانه، تراکم زهکشی، ضریب کشیدگی و دبی ویژه هم‌گنی، تعداد ۳۵ حوزه آبخیز واقع در ناحیه خزر باختری را بررسی کرد. در این تحقیق دو گروه هم‌گن به‌ترتیب با تعداد ۱۴ و ۱۸ حوزه به‌دست آمد و سه حوزه به‌علت بزرگ بودن مساحت آن‌ها در هیچ یک از نواحی هم‌گن قرار نگرفت. ایشان سپس روابط منطقه‌ای سیلاب کمینه را بر اساس سه متغیر مهم‌تر یعنی مساحت، شیب و بارندگی متوسط برای دو گروه هم‌گن استخراج نمود.

رهنما و رستمی (۱۳۸۲) به‌منظور تحلیل فراوانی سیل منطقه‌ای با روش گشتاورهای خطی، ۶۲ ایستگاه آب‌سنجی با آمار کافی را مورد بررسی قرار دادند. ایشان محدوده‌ی مورد بررسی را با استفاده از عوامل ارتفاع و مختصات جغرافیایی، شدت بارش طرح، ضریب رواناب، مساحت و دبی بیشینه لحظه‌ای ایستگاه‌ها به‌روش تحلیل خوشه‌ای، به چهار منطقه هم‌گن طبقه‌بندی کردند. این تحقیق نیز نشان‌داد که میزان معیار جذر میانگین مربع خطاهای نسبی (RMSE) مربوط به مناطق هم‌گن، در مقایسه با میزان RMSE مربوط به ایستگاه‌ها کم‌تر است. عرفانیان (۱۳۸۳) با استفاده از کمیت‌های مورفومتری و اقلیمی در ۲۴ حوزه آبخیز استان سمنان روش تحلیل عاملی را برای تعیین متغیرهای مستقل به‌کار برد. درنتیجه به‌روش تحلیل خوشه‌ای و بر مبنای ۵ متغیر اصلی مساحت، متوسط بارندگی سالیانه، ضریب‌گراویلیوس، شکل و تراکم، زهکشی حوزه‌های آبخیز را طبقه‌بندی هیدرومورفولوژیکی نمود. سپس با تفکیک کامل گروه‌ها با استفاده از توابع متمایزکننده، برای چهار حالت هم‌گن‌بندی، توابع تشخیص را به‌دست آورد. با استفاده از این توابع می‌توان میزان مشابهت یا تعلق یک حوزه آبخیز فاقد آمار را با گروه‌های هم‌گن موجود، تعیین کرد.

با توجه به‌مراتب فوق، از جمله اهداف مورد نظر در این تحقیق، بررسی اثر عوامل مختلف هیدرومورفومتری نظیر سطح زهکشی حوزه، بارندگی متوسط سالیانه، شیب متوسط وزنی، تراکم زهکشی و ارتفاع متوسط حوزه در طبقه‌بندی حوزه‌های آبخیز بوده است. همچنین، نحوه تعیین گروه‌های هم‌گن هیدرولوژیکی و کارآیی این گروه‌ها در دقت نتایج تحلیل منطقه‌ای سیلاب برای حوزه‌های فاقد آمار، مورد تحلیل قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

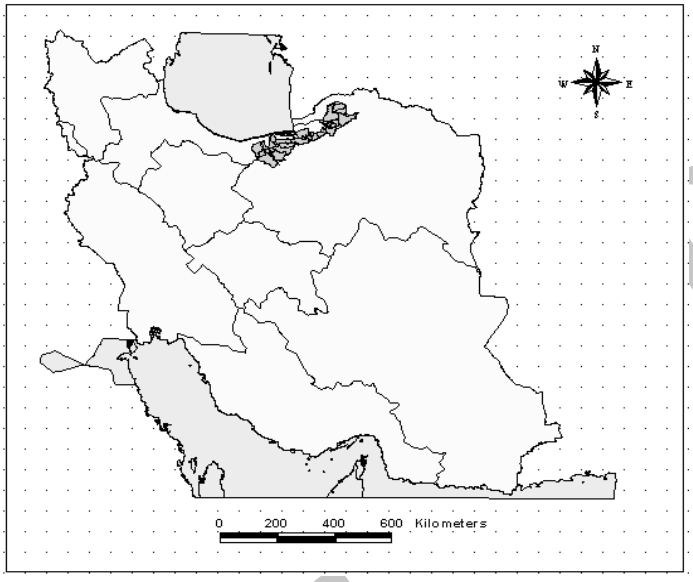
منطقه مورد تحقیق: منطقه مورد تحقیق، حوزه‌های آبخیز واقع در ناحیه خاوری ساحل دریای خزر (خزر خاوری) بوده و از شهرگنبد کاووس در خاور تا شهر بابلسر در باختر را شامل می‌شود. این منطقه با مساحت حدود ۲۰۱۷۵ کیلومترمربع بین موقعیت جغرافیایی '۲۲, °۵۲ تا '۲۶, °۵۶ طول خاوری و '۱۸,°۳۶ تا '۵۴,°۳۷ عرض شمالی واقع شده و شامل حوزه‌های فرعی گرگانرود و قره‌سو، نکارود و تجن، تالار و بابل‌رود است (شکل ۱).

روش تحقیق

پس از انتخاب ۳۱ حوزه آبخیز واقع در ناحیه مذکور، نقشه توپوگرافی آن‌ها با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به‌کمک سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) رقومی شد. در این مرحله، ویژگی‌های هندسی و مورفومتریک هر حوزه شامل مساحت، محیط، شیب متوسط وزنی، ارتفاع متوسط، شیب و طول آبراهه اصلی، طول حوزه، تراکم زهکشی، فاکتور

www.SID.ir
Archive of SID

شکل و ضریب گراولیوس استخراج شد. از میان عوامل اقلیمی نیز، بارندگی متوسط حوزه‌ها از طریق روش میان‌یابی کریجینگ براساس داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی منطقه محاسبه شد. از سوی دیگر، پس از بازسازی و تطویل داده‌های دبی بیشینه لحظه‌ای ایستگاه‌های آب‌سنجی با توجه به دوره آماری مشترک ۲۷ ساله، فراوانی سیلاب ایستگاه‌ها مورد تحلیل قرار گرفت. بدین منظور، به‌کمک نرم‌افزار آماری Hyfa برازش داده‌ها با هفت تابع توزیع احتمال متداول، شامل توزیع نرمال، لوگ نرمال دوعامله، لوگ نرمال سه‌عامله، گامای دوعامله، پیرسون تیپ سوم، لوگ پیرسون تیپ سوم و گامبل انجام شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه‌های آبخیز خاوری

به‌منظور تعیین متغیرهای مستقل و مؤثر در تولید جریان سیلابی، کمیت‌های مورفومتریک و عامل اقلیمی بارندگی متوسط سالیانه حوزه‌ها، با نرم‌افزار SPSS مورد تحلیل عاملی قرار گرفت. در واقع تحلیل عاملی وقتی کاربرد دارد که همبستگی شدیدی بین متغیرها وجود داشته باشد. در این ارتباط تست بارتلت[1] و شاخصی به‌نام KMO[2] که یک ضریب برای مقایسه ضرایب همبستگی ساده و جزئی بر روی کلیه متغیرها است، وجود دارد. در مرحله بعد گروه‌های هم‌گن هیدرولوژیکی بر اساس عوامل مستقل انتخابی و نیز متغیر دبی ویژه دوساله، با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای تعیین شد. انتخاب دبی ویژه به این دلیل بوده است که این کمیت به نوعی تغییرات سایر متغیرهای موثر در دبی (متغیر وابسته) را در خود نهفته دارد و با انتخاب آن تا حدودی اثرات دیگر متغیرها هم در انجام گروه‌بندی وارد خواهند شد. درمرحله بعد به‌منظور بررسی، تفکیک و تمایز کامل گروه‌های هم‌گن، تحلیل توابع متمایزکننده روی گروه‌ها اعمال شد (دورنکامپ، ۱۳۷۰). علاوه بر آن تشابه هیدرولوژیکی حوزه‌ها از طریق رسم منحنی‌های آندرو حوزه‌های مجاور هم (با توجه به ماهیت روش) مورد بررسی قرار گرفت. آندرو یک روش گرافیکی است که در آن یک نقطه در فضای چند بعدی از صفات به‌وسیله یک منحنی دوبعدی که از معادله زیر به‌دست می‌آید نمایش داده می‌شود.

$$F_{(t)} = \frac{X_1}{\sqrt{2}} + X_2 Sin(t) + X_3 Cos(t) + X_4 Sin(2t) + X_5 Cos(2t) + \ldots \qquad (1)$$

متغیرهای X_1 ، X_2، ... بیان‌گر هر یک از مشخصه‌های نقاط مورد نظر و به‌ترتیب اهمیتی که دارا می‌باشند، هستند. به‌منظور بررسی کارآیی گروه‌های هم‌گن، دو ایستگاه آب‌سنجی زرین‌گل و داراب‌کلا به‌ترتیب با طول دوره آماری ۲۲ و ۲۴ سال انتخاب شد. سپس، از طریق روش توابع متمایز کننده، میزان تعلق آن‌ها به هر یک از گروه‌های

[1] Bartletts Test
[2] Kaiser-Meyer-Olkin

www.SID.ir

هم‌گن مشخص شد. با استفاده از روابط رگرسیونی مربوط به کل منطقه و گروه‌های هم‌گن و نیز روش شاخص سیل، مقادیر دبی بیشینه لحظه‌ای سیلاب در دوره‌های بازگشت مختلف برآورد و از طریق معیارهای جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و خطای برآوردی (PE) مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

توزیع فراوانی منطقه‌ای: با تحلیل فراوانی سیلاب‌های بیشینه لحظه‌ای ایستگاه‌ها و با توجه به معیار کم‌ترین مربعات انحراف نسبی، توزیع لوگ نرمال سه‌عامله، به‌عنوان مناسب‌ترین توزیع برای گروه‌های هم‌گن انتخاب و دبی با دوره بازگشت‌های مختلف ایستگاه‌ها به‌دست آمد.

تجزیه و تحلیل عاملی: با توجه به ماتریس همبستگی و ماتریس دوران متعامد[1] حاصل از چرخش عوامل به‌روش متعارف وریماکس[2] (آقائی‌سربرزه، ۱۳۷۷)، مشخص شد که عوامل مساحت، محیط، طول حوزه و طول آبراهه اصلی نیز هم‌گنی در یک دسته هستند و نقش خود را در قالب عامل یک F_1 نشان می‌دهند (جدول ۱). در این میان، متغیر مساحت با ضریب ۸۸/۸ درصد، بیش‌ترین درصد تغییرات عامل وابسته را در قالب عامل یک نشان می‌دهد. بنابراین، از بین این سه متغیر، مساحت به‌عنوان متغیر مستقل انتخاب شد. از بین دو عامل تراکم زهکشی و شیب آبراهه اصلی که به‌صورت عامل دوم F_2 ظاهر شدند، تراکم زهکشی با توجه به ضریب وزنی بیش‌تر انتخاب شد. بارندگی متوسط سالیانه، ارتفاع متوسط و شیب متوسط وزنی حوزه نیز به‌ترتیب هر کدام درقالب عامل‌های سوم (F_3)، چهارم (F_4) و پنجم (F_5) که گویای ویژگی‌های خاصی از متغیر وابسته هستند، به‌عنوان متغیرهای مستقل انتخاب شد.

جدول ۱- ماتریس دوران متعامد بر روی عوامل مؤثر در جریان، مربوط به حوزه‌های مورد مطالعه

متغیرها / عامل‌ها	عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳	عامل ۴	عامل ۵
مساحت حوزه	۰/۸۸۸	-۰/۲۲۲	-۰/۲۶۱	-۰/۱۷۸	۰/۱۲۹
محیط	۰/۸۷۱	۰/۳۳۵	-۰/۲۱۲	-۰/۲۳	۰/۰۷۳
طول حوزه	۰/۸۸۶	-۰/۱۷۴	-۰/۲۱۸	۰/۰۸۵	-۰/۳۲۴
طول آبراهه اصلی	۰/۸۶۸	-۰/۱۸۷	-۰/۲۰۱	۰/۱۲۶	-۰/۳۳۴
تراکم زهکشی	-۰/۱۶۵	۰/۹۶۷	-۰/۰۲۲	-۰/۰۸۵	-۰/۰۲۲
شیب آبراهه اصلی	-۳۴۰	۰/۷۳	۰/۳۴۷	۰/۰۰۴	۰/۴۲۳
بارندگی متوسط سالیانه	-۰/۳۶۳	۰/۰۷۹	۰/۸۹۳	-۰/۰۷۵	۰/۲۰۳
ارتفاع متوسط حوزه	-۰/۰۴۰	-۰/۰۸۵	-۰/۰۵۶	۰/۹۷۶	۰/۰۹۷
شیب متوسط وزنی حوزه	-۰/۳۴۳	۰/۱۳۴	۰/۴۲۱	۰/۴۱۹	۰/۶۸۶
شکل	-۰/۶۹۶	-۰/۱۱۴	۰/۰۲۶	۰/۱۸۷	۰/۰۹۶
ضریب گراولیوس	۰/۵۸۷	۰/۳۲۳	-۰/۰۶۷	-۰/۰۲۱	۰/۲۲۳

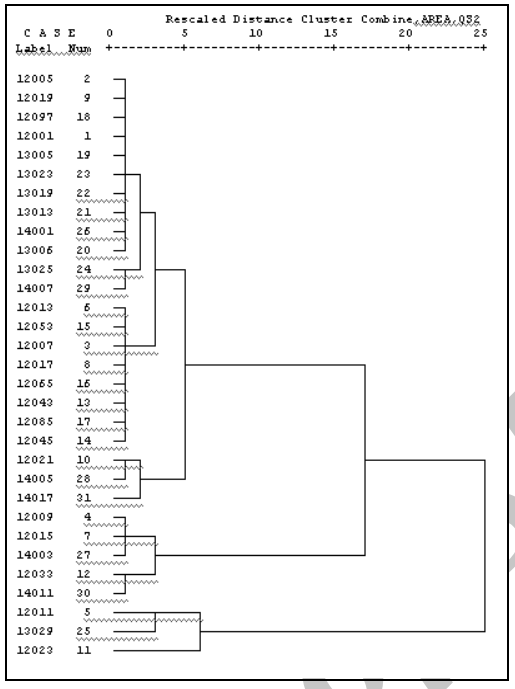
تجزیه و تحلیل خوشه‌ای و توابع متمایز کننده: به‌منظور تجزیه و تحلیل سیلاب‌های بیشینه لحظه‌ای رودخانه‌ها به‌روش شاخص سیل و رگرسیون چندمتغیره لازم است، ابتدا حوزه‌های هم‌گن براساس دخالت دادن متغیرهای مستقل مشخص شوند. به‌همین انگیزه حوزه‌های آبخیز، یک بار فقط براساس متغیر مساحت و دبی ویژه دوساله (Q_2/A) و بار دیگر با دخالت دادن دیگر متغیرهای مستقل نظیر ارتفاع متوسط، شیب متوسط وزنی، تراکم زهکشی و بارندگی متوسط حوزه‌ها، تحت آزمون هم‌گنی و تحلیل قرار گرفتند.

در این راستا، تحلیل خوشه‌ای که از طریق نرم‌افزار SPSS به‌دست آمد، به‌گونه‌ای بود که ابتدا با استفاده از یکی از روش‌های استاندارد کردن داده‌ها (روش Z Scores)، عوامل مستقل مورد نظر به انضمام دبی ویژه دوساله، استاندارد

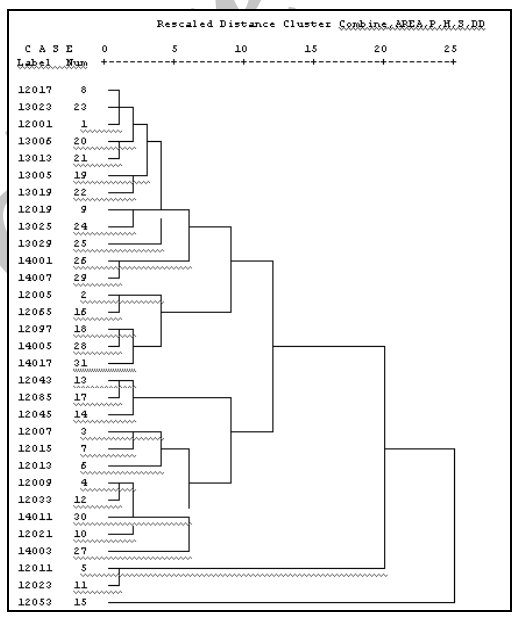
[1] Rotated Factor Matrix
[2] Varimax Method

www.SID.ir
Archive of SID

شد و سپس به‌روش ورد[1] و مربع فاصله اقلیدسی به‌روی آن‌ها هم‌گن‌بندی صورت پذیرفت (آمارپردازان، ۱۳۷۷). نمودار خوشه‌ای نشان‌داد که حوزه‌های آبخیز در فاصله اقلیدسی بین ۵ تا ۱۰ براساس عوامل مساحت و دبی ویژه دوساله به سه گروه هم‌گن (شکل ۲) و براساس عوامل مستقل به چهار گروه هم‌گن هیدرولوژیکی طبقه‌بندی می‌شوند (شکل ۳).



شکل ۲- حوزه‌های هم‌گن براساس مساحت و دبی ویژه



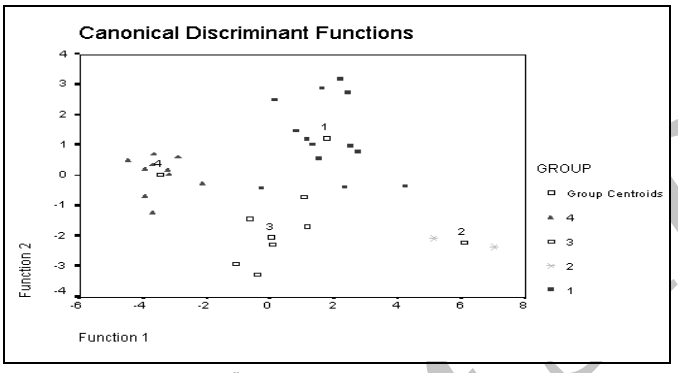
شکل ۳- حوزه‌های هم‌گن براساس عوامل مستقل و دبی ویژه

در مرحله بعد، جدا بودن کامل چهار گروه هم‌گن حاصل از تحلیل خوشه‌ای بر مبنای عوامل مستقل، به‌روش توابع متمایز کننده نیز با نرم‌افزار SPSS مورد تحلیل قرار گرفت. این توابع نشان دادند که گروه هم‌گن ۱ به‌میزان ۷/۷

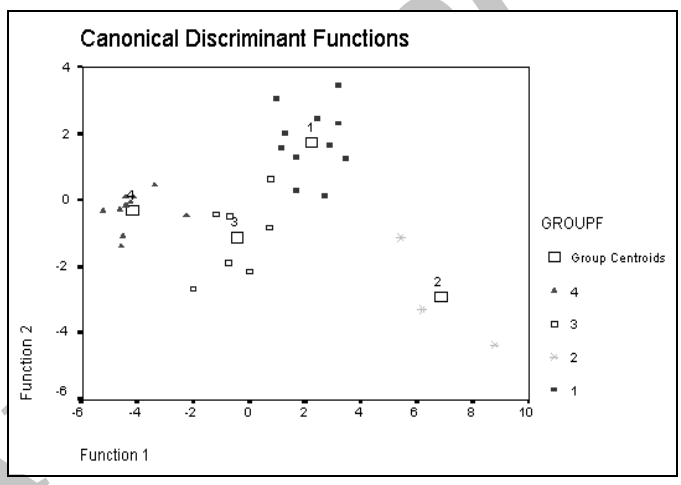
[1] Ward's Method

www.SID.ir

درصد با گروه‌های ۲ و ۳ هم‌پوشانی دارد. پس از آن با بررسی مقادیر امتیازات ممیزی[1] هر مشاهده (حوزه) و احتمال قرار گرفتن هر مشاهده درگروه‌های مختلف، مشخص شد که حوزه‌های کردخیل (کد ۱۳۰۲۹) و ارازکوسه (کد۱۲۰۱۹) از گروه هم‌گن ۱ به‌ترتیب با گروه‌های ۲ و ۳ هم‌پوشانی دارند. لذا پس از انتقال این دو حوزه به گروه‌های جدید، مجدداً توابع متمایزکننده در حوزه‌های مورد نظر آزمایش شد. نتایج نهایی تحلیل ممیزی با توجه به مقادیر ریشه پنهان ماتریس همبستگی توابع اول و دوم که در مجموع واریانس ۹۱/۹۲ درصدی را ارائه می‌دهند، نشان داد که گروه‌ها به‌طور کامل از یک‌دیگر جدا هستند. نتیجه آزمون توابع متمایزکننده و وضعیت گروه‌های هم‌گن با وجود هم‌پوشانی و نیز تمایز کامل گروه‌ها به‌ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.



شکل۴- وجود هم‌پوشانی در گروه‌های هم‌گن با آزمون توابع متمایزکننده



شکل ۵- تمایز کامل گروه‌ها ی هم‌گن با آزمون توابع متمایزکننده

روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب: بررسی دقت روابط منطقه‌ای سیل مربوط به گروه‌های هم‌گن در مقایسه با رابطه کل منطقه، با استفاده از معیار جذر میانگین مربع خطا (RMSE)، نشان‌داد که روابط گروه‌های هم‌گن از دقت بالاتری برخوردار است. به‌عنوان مثال در روش رگرسیون چند متغیره برای یک گروه هم‌گن مقادیر RMSE در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به‌ترتیب معادل ۳۵/۸، ۴۴/۶، ۶۶/۴، ۸۸/۳ و ۱۲۰/۲ در مقایسه با RMSE مربوط به رابطه کل منطقه، به‌ترتیب با مقادیر ۵۸/۷، ۸۰/۵، ۱۱۴/۱، ۱۳۵/۴ و ۱۶۴ به‌دست آمد. مقادیر دبی بیشینه لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف برای دو حوزه شاهد، از روش‌های شاخص سیل و رگرسیون چندگانه با استفاده از روابط گروه‌های هم‌گن و کل منطقه محاسبه گردید (جداول ۲ و ۳). شکل ۶ مقادیر دبی برآوردی (Qes) حاصل از روابط مذکور را در مقایسه با مقادیر دبی تابع توزیع احتمال (Qpdf) برای دوحوزه شاهد، به‌طور هندسی نشان

[2] Discriminate Scores

www.SID.ir

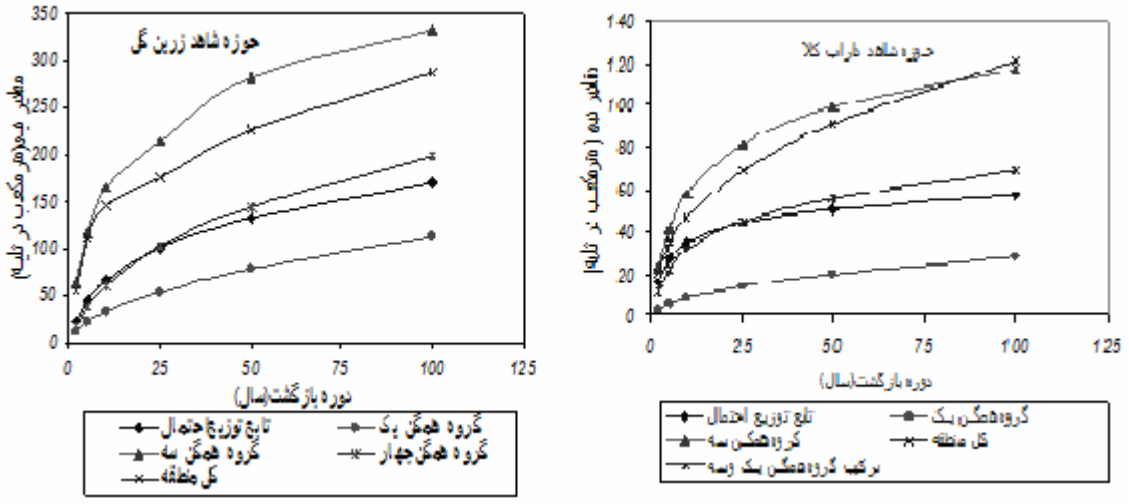
می‌دهند. دبی‌های حوزه زرین‌گل با گروه هم‌گن چهار با رابطه Qes=1/23Qpdf-16/98 و دبی‌های حوزه داراب‌کلا با گروه ترکیبی یک و سه هم‌گن، با رابطه Qes=1/39Qpdf-14/46، از بهترین برازش برخوردار بودند. در ضمن هر دو رابطه در سطح معنی‌داری کم‌تر از یک درصد و با ضریب R=0/99 همبستگی آماری داشتند.

جدول ۲- مقادیر دبی بیشینه لحظه‌ای سیلاب (مترمکعب بر ثانیه) با دوره بازگشت‌های مختلف حوزه داراب‌کلا

دوره بازگشت (سال)	روش ترکیبی گروه‌های هم‌گن $Q_{۰/۵۴}$ ۱ +$Q_{۰/۴۶}$ ۳	روش شاخص سیلاب			تابع توزیع احتمال (لوگ نرمال سه‌عامله)
		گروه یک	گروه سه	کل منطقه	
۲	۱۲	۲	۲۲/۶	۲۰/۶	۱۶/۳
۵	۲۲	۵	۴۰/۹	۳۵/۷	۲۷/۶
۱۰	۳۱/۵	۱۰	۵۸/۵	۴۷/۴	۳۴/۸
۲۵	۴۵	۲۵	۸۱/۷	۶۸/۹	۴۴
۵۰	۵۶/۳	۵۰	۹۹/۳	۹۱/۵	۵۰/۷
۱۰۰	۶۹	۱۰۰	۱۱۶/۹	۱۲۱/۶	۵۷/۴

جدول ۳- مقادیر دبی بیشینه لحظه‌ای سیلاب (مترمکعب در ثانیه) با دوره بازگشت‌های مختلف حوزه زرین‌گل

دوره بازگشت (سال)	روش رگرسیون چندمتغیره	روش شاخص سیلاب		تابع توزیع احتمال (لوگ نرمال سه‌عامله)
	گروه چهار	کل منطقه	گروه سه	گروه یک
۲	۱۷	۵۵/۶	۶۴/۳	۱۱/۵	۲۲/۶
۵	۳۷/۹	۱۱۱/۴	۱۱۵/۸	۲۳/۴	۴۵/۵
۱۰	۶۱/۵	۱۴۵/۷	۱۶۵/۸	۳۳/۷	۶۶/۷
۲۵	۱۰۲/۵	۱۷۵/۹	۲۱۴	۵۴/۴	۱۰۱/۳
۵۰	۱۴۴/۸	۲۲۷	۲۸۲	۷۸/۲	۱۳۳/۱
۱۰۰	۱۹۷/۷	۲۸۶/۷	۳۳۲	۱۱۲/۴	۱۷۰/۳



شکل ۶- نمودار مقادیر دبی تابع توزیع احتمال (لوگ نرمال سه‌عامله) در برابر دبی‌های برآوردی حوزه زرین‌گل و داراب‌کلا

روش منحنی‌های آندرو: پس از استخراج منحنی آندرو، آن دسته از حوزه‌هایی که دارای منحنی مشابه بودند به‌عنوان حوزه‌های هم‌گن طبقه‌بندی شدند. به‌عنوان نمونه در شکل ۷ منحنی آندرو برای سه حوزه با ایستگاه‌های گنبد، کردخیل و قزاقلی نشان‌داده شده است. در این شکل، تغییرات بسیار مشابه منحنی‌ها، نشان‌دهنده یک‌نواختی

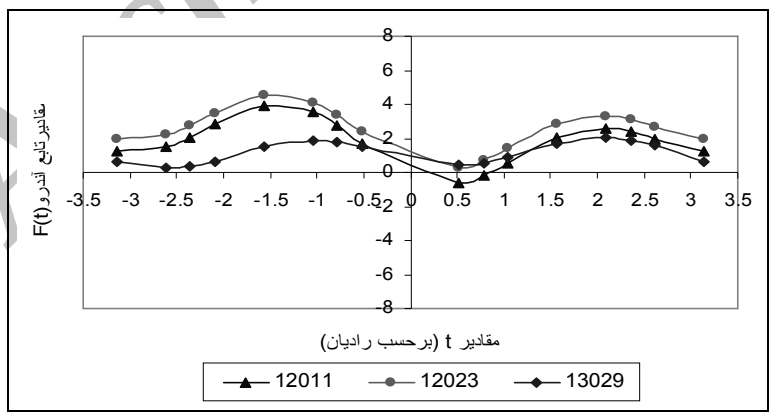
www.SID.ir

پاسخ هیدرولوژیکی این حوزه‌ها است. لازم به‌ذکر است این سه حوزه در تحلیل خوشه‌ای نیز یک گروه هم‌گن را تشکیل دادند.

به‌منظور بررسی و کارآیی روش آندرو، حوزه زرین‌گل (کد ۱۲۰۷۱) که یک ایستگاه آب‌سنجی (در حد ضرورت) در مجاورت آن وجود داشت، به‌عنوان زیرحوزه شاهد در نظر گرفته شد. منحنی‌های آندرو برای این حوزه و ۱۲ حوزه مجاور آن از طریق مقادیر استاندارد شده متغیرهای مستقل و با استفاده از تابع $F(t)$ رسم شد. با توجه به خطای برآوردی دبی (PE) مربوط به مقادیر $F(t)$، مشاهده شد که حوزه پادگان نوده (کد ۱۲۰۱۷) بیش‌ترین شباهت و کم‌ترین اختلاف را با منحنی حوزه زرین‌گل دارد (جدول ۴). شکل ۸ نیز این تشابه را به‌کمک منحنی آندرو به‌صورت گرافیکی نشان می‌دهد. این شباهت بدان معنی است که شاخص‌های هیدرولوژیکی یا ویژگی‌های جریان در حوزه پادگان نوده، قابل انتقال به حوزه زرین‌گل است. به‌عبارت دیگر، این دو حوزه دارای واکنش هیدرولوژیکی مشابهی هستند. موقعیت مکانی آن‌ها نیز نشان می‌دهد که این دو حوزه به‌هم نزدیکند و همین عامل مهم، تا حد زیادی بر شباهت هیدرولوژیکی آن‌ها می‌افزاید. به‌عبارتی، روند دبی اوج لحظه‌ای این دو حوزه هم‌خوانی خوبی با یک‌دیگر دارد. به‌طوری‌که مقادیر دبی اوج با دوره بازگشت ۲ الی ۱۰۰ ساله این دو حوزه به‌هم نزدیک است. علاوه بر این همبستگی آماری، دبی‌های حوزه زرین‌گل از دو روش روابط رگرسیونی مبنی بر منحنی آندرو و رگرسیون ایستگاه‌های مجاور آن مطابق شکل ۹ مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۴- مقادیر خطای برآوردی دبی‌های بیشینه لحظه‌ای حوزه زرین‌گل با هر یک از حوزه‌های مجاور آن

ردیف	نام ایستگاه	کد ایستگاه	مقادیر خطای برآوردی (P.E)	ردیف	نام ایستگاه	کد ایستگاه	مقادیر خطای برآوردی (P.E)
۱	تنگراه	۱۲۰۰۱	۴۵/۲۹	۷	پس پشته	۱۲۰۱۵	۸۷/۵۳
۲	تمر	۱۲۰۰۵	۸۹/۲۵	۸	پادگان نوده	۱۲۰۱۷	۳۴/۰۰
۳	گالیکش	۱۲۰۰۷	۳۸/۶۱	۹	اراز کوسه	۱۲۰۱۹	۳۶/۵۵
۴	قلی تپه	۱۲۰۰۹	۹۸/۱۵	۱۰	رامیان	۱۲۰۲۱	۵۰/۵۹
۵	گنبد	۱۲۰۱۱	۱۲۵/۸۶	۱۱	قزاقلی	۱۲۰۲۳	۱۷۳/۴۴
۶	لزوره	۱۲۰۱۳	۶۳/۹۹	۱۲	کسک	۱۲۰۶۵	۷۲/۴۱



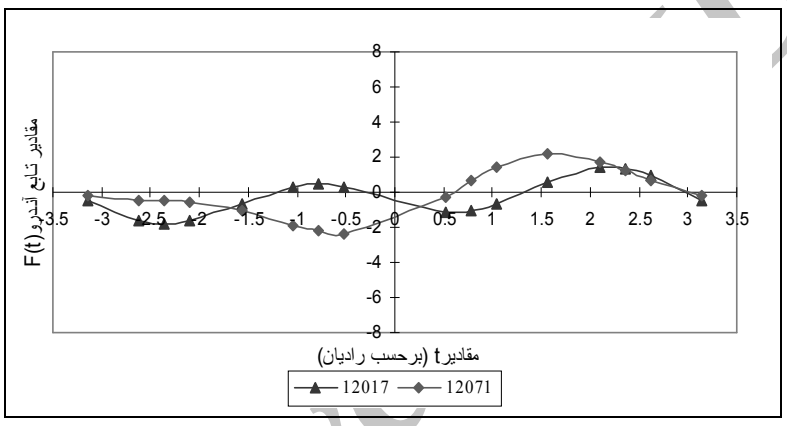
شکل ۷- منحنی‌های آندرو مربوط به سه حوزه هم‌گن با ایستگاه‌هایی به‌نام گنبد، کردخیل و قزاقلی

عوامل اقلیمی و خصوصیات فیزیکی یا مورفومتری حوزه‌ها از جمله عواملی هستند که در ایجاد سیلاب و جریانات سطحی نقش مهمی دارند. وجود روابط درونی یا ژنتیکی بین عوامل مذکور پیچیدگی ارتباط آن‌ها را با دبی سیلابی به‌دنبال دارد. بنابراین بایستی به‌منظور جلوگیری از تاکید دوگانه اثر عاملی، تغییر در اثر واقعی و یا حتی حذف اثر آن که به‌نوعی در دقت روابط نقش دارد، متغیرهای مستقل و اصلی را مشخص نمود. در واقع شناسایی متغیرهای مستقل

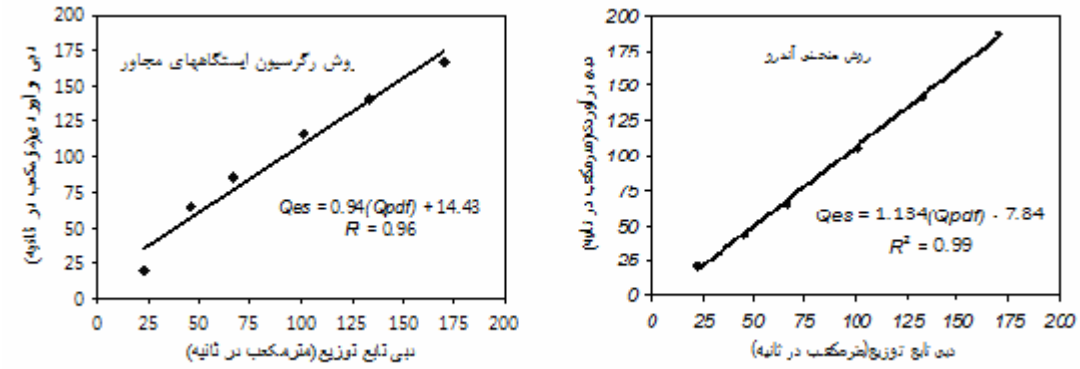
www.SID.ir

در تعیین حوزه‌های هم‌گن از میان مناطق با خصوصیات اقلیمی و مورفولوژیکی متنوع، از اهمیت خاصی برخوردار است. در این خصوص تحلیل عاملی روش مناسبی برای تعیین متغیرهای مستقل و مهم است. با استفاده از این روش از میان ۱۱ متغیر استخراج شده در ۳۱ حوزه آبخیز ناحیه خزر خاوری، پنج متغیر اصلی شامل مساحت، تراکم زهکشی، بارندگی متوسط سالیانه، ارتفاع متوسط و شیب متوسط وزنی حوزه به‌عنوان متغیرهای مستقل حوزه‌ها انتخاب شدند.

در روش تحلیل خوشه‌ای، طبقه‌بندی حوزه‌ها با توجه به ماهیت متغیرها و فواصل اقلیدسی متفاوت بوده و حتی امکان هم‌پوشانی بین طبقات نیز وجود دارد. بنابراین، بررسی نتیجه طبقه‌بندی به‌روش توابع متمایزکننده ضرورت دارد. در این راستا تحلیل ممیزی با توجه به مقادیر ریشه پنهان ماتریس همبستگی توابع متمایزکننده، ضمن بررسی هم‌پوشانی و یا تفکیک کامل گروه‌ها، درصد واریانس قابل پیش‌بینی عامل وابسته را نیز توسط متغیرهای مورد آزمون بیان می‌کند. روش منحنی‌های آندرو روش دیگری است که برای تعیین گروه‌های هم‌گن در این تحقیق، به‌کار گرفته شد. از ویژگی‌های خوب این روش نشان دادن تغییرات وضعیت هیدرولوژیکی حوزه‌ها به‌صورت گرافیکی است. اما نقص آن این است که با افزایش حوزه‌ها تشخیص بصری منحنی‌های مشابه، مشکل‌تر خواهد شد.



شکل۸- منحنی‌های آندرو مربوط به حوزه زرین‌گل (۱۲۰۷۱) و حوزه پادگان نوده (۱۲۰۱۷)



شکل ۹- مقایسه دبی با دوره بازگشت‌های مختلف حوزه زرین‌گل از روش منحنی آندرو و رگرسیون ایستگاه‌های مجاور

در این بررسی مانند بسیاری از تحقیقات مشابه نظیر غیاثی (۱۳۷۷)، داودی‌راد (۱۳۷۸) و عرفانیان (۱۳۸۳)، متغیرهای مساحت، شیب، ارتفاع، تراکم زهکشی و بارندگی متوسط سالیانه حوزه‌ها به‌عنوان مهم‌ترین عوامل درتعیین حوزه‌های هم‌گن تعیین شدند. مقادیر دبی برآورد شده از روابط رگرسیونی و شاخص سیل در مقایسه با مقادیر حاصل از توابع توزیع فروانی سیلاب برای حوزه‌های شاهد، نشان‌داد که روابط رگرسیونی گروه‌های هم‌گن نسبت به رابطه کلی برای منطقه، از دقت و کارآیی بیش‌تری برخوردار است. به‌منظور برآورد دبی حوزه‌های فاقد آمار، بایستی ابتدا عوامل مستقل حوزه استخراج شود. سپس میزان تعلق آن به هر یک از گروه‌های هم‌گن، به‌کمک روش‌هایی از جمله تحلیل

www.SID.ir

ممیزی محاسبه شود. درنتیجه می‌توان با اعمال ضرایب حق عضویت حوزه مورد نظر در دبی‌های برآوردی از روابط گروه‌های هم‌گن، دبی با دوره بازگشت دل‌خواه را به‌صورت ترکیب خطی از آن‌ها برآورد نمود.

منابع مورد استفاده

۱. آقائی‌سربرزه، م. و م. مقدم. ۱۳۷۳. آشنائی با روش‌های آماری چند متغیره . انتشارات پیشتاز علم.

۲. چاوشی، س. ۱۳۷۷. منطقه‌ای کردن برآورد دبی بیشینه سیلاب در مناطق خشک طبق روش هیبرید. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۲۰ صفحه.

۳. داودی‌راد، ع. ا. ۱۳۷۸. بررسی روابط بین عوامل مورفومتری حوزه و دبی‌های سیلابی در حوزه‌های آبخیز مرکزی ایران. دانشگاه تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۵۵ صفحه.

۴. دورنکامپ. ۱۳۷۰. تحلیل‌های کمی در ژئومورفولوژی. ترجمه جمشید فریفته. دانشگاه تهران.

۵. شرکت آمارپردازان. ۱۳۷۷. راهنمای کاربران SPSS for Windows. جلد دوم. انتشارات مرکز فرهنگی حامی.

۶. رهنما، م. و ر. رستمی. ۱۳۸۲. تجزیه منطقه‌ای سیل با استفاده از گشتاورهای خطی (مطالعه موردی حوزه‌های استان آذربایجان باختری). هشتمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۰ صفحه.

۷. عرفانیان، م. ۱۳۸۳. شناسایی و طبقه‌بندی هیدرومورفولوژیکی حوزه‌های آبخیز استان سمنان. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۰۰ صفحه.

۸. غیاثی، ن. ۱۳۷۷. مقایسه روش‌های برآورد برخی از ویژگی‌های هندسی آبخیزها از نقطه نظر اثر آن‌ها بر سیلاب‌های بیشینه سالانه با دوره‌برگشت‌های مختلف. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.

۹. محمدی، س. ۱۳۸۱. تحلیل جریان کمینه و تعمیم پیوسته روابط منطقه‌ای در بستر GIS (حوزه‌های گیلان). دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۷۱ صفحه.

۱۰. موسوی، ع.ا. ۱۳۷۸. بررسی و تعیین شاخص‌های هیدرولوژیک به‌کمک حوزه‌های آبخیز مشابه (مطالعه موردی حوزه آبخیز دریاچه نمک). دانشگاه تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۴۳ صفحه.

11. Burn, D.H and N.K. Goel. 2000. The formation of groups for regional flood frequency analysis. Hydrological Sciences, 45(1):127-137.
12. Nathan, R.J. and T.A. McMahon. 1990. Identification of homogeneous regions for the purposes of regionalization. Journal of Hydrology, 121:217-238.
13. Nathan, R.J. 1993. On the assessment of catchments similarity for the transposition of hydrologic indices. Journal of Hydrology, 121:217-238.
14. Telvari, A.R. and A.R. Islami. 2002. Regional flood frequency in North basins of Iran. International Conference on Flood Estimation, Switzerland, P717-726.

Archive of SID

www.SID.ir