

طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها بر اساس پارامترهای مورفومتریک با استفاده از تحلیل‌های

خوشه‌ای در حوضه آبخیز پل دو آب شازند

حمید دارابی^{1*}، کریم سلیمانی²، کاکا شاهدی³ و میرحسین میریعقوب‌زاده⁴

تاریخ دریافت: 90/07/13 تاریخ پذیرش: 91/05/07

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

² استاد گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

³ استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

⁴ دانشجوی دکترای گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

* مسئول مکاتبه: Email: Hamid.darabi2011@gmail.com

چکیده

آنالیز مورفومتریک توصیفی کمی از ویژگی‌های هندسی حوضه آبخیز را به منظور درک بهتر شرایط مورفولوژیکی فراهم می‌کند. این ویژگی‌ها در حوضه‌های فاقد آمار مهمترین نقش را در برآوردهای هیدرولوژی دارند. تعیین و تشخیص شباهت بین زیرحوضه‌های آبخیز فاقد آمار، با ویژگی‌های مورفولوژیک مشابه، کمک می‌کند که عملیات حفاظت آب و خاک به عنوان روشی برای اجرای هماهنگ در بین زیرحوضه‌ها انجام شود. در تحقیق حاضر، تکنیک‌های خوشه‌بندی چند میانگینی یا (KCA) و روش سلسله مراتبی یا (HCA) با هدف طبقه‌بندی 24 زیرحوضه در گروه‌های همگن، در حوضه آبخیز پل دو آب شازند با استفاده از 10 پارامتر مورفومتریک بکار رفتند. بدین منظور بعد از استخراج پارامترهای مورفومتریک ابتدا اقدام به استاندارد کردن داده‌ها شد و سپس به منظور تعیین تعداد خوشه‌های بهینه از شاخص دیویس-بولدین استفاده شد. با توجه به این شاخص تعداد 5 خوشه جهت طبقه‌بندی نهایی زیرحوضه‌ها تعیین گردید. نتایج روش KCA نشان داد که تعداد اعضای خوشه‌های 1، 2، 3، 4 و 5 به ترتیب برابر با 3، 7، 3، 7 و 4 زیرحوضه می‌باشد. هم‌چنین نتایج روش HCA نیز نشان داد که تعداد اعضای خوشه‌های 1، 2، 3، 4 و 5 به ترتیب برابر با 3، 7، 2، 8 و 4 زیرحوضه می‌باشد. در نهایت مقایسه نتایج این دو تکنیک نشان داد که 23 زیرحوضه (95%) توسط هر دو تکنیک به طور مشترک بیان شده است.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای مورفومتریک، حوضه آبخیز، طبقه‌بندی، HCA، KCA.

Sub-Watersheds Classification Based on Morphometric Parameters Using Cluster Analysis in Pol-Doab Shazand Watershed

H Darabi^{1*}, K Solaimani², K Shahedi³, Mh Miryaghubzadeh⁴

Received: 5 October 2011 Accepted: 28 July 2012

¹M.Sc. Student, Dept. of Rangeland and Watershed management, Univ. of Agric. Sci. and Natural Resources. Sari, Iran.

²Prof., Dept. of Rangeland and Watershed management, Univ. of Agric. Sci. and Natural Resources. Sari, Iran.

³ Assist. Prof., Dept. of Rangeland and Watershed Management, Univ. of Agric. Sci. and Natural Resources. Sari, Iran.

⁴ Ph.D. Student, Dept. of Rangeland and Watershed management, Univ. of Agric. Sci. and Natural Resources. Sari, Iran.

*Corresponding author E-mail: Hamid.darabi2011@gmail.com

Abstract

Morphometric analysis provides a quantitative description of geometric characteristics in a watershed to understand its morphologic conditions. These characteristics play an important role to estimate hydrologic variables in ungauged watersheds. In such watersheds, determination of morphometric similarities among sub-watersheds helps to prioritize soil and water conservation measures. In this study multi-averaging clustering technique or K-means Cluster Analysis (KCA) and Hierarchical Cluster Analysis (HCA) have been used to classify 24 sub-watersheds in Pol-Doab Shazand watershed using 10 morphometric parameters. After extracting morphometric parameters data were standardized. To determine proper numbers of clusters, Davis-Bouldin Index was used. Considering this index, 5 clusters have been chosen to do final classification of the sub-watersheds. The Results show that number of sub-watersheds based on KCA technique is 3, 7, 3, 7 and 4 for clusters 1, 2, 3, 4 and 5, respectively. The results indicate that number of sub-watersheds based on HCA technique is 3, 7, 2, 8 and 4 for clusters 1, 2, 3, 4 and 5, respectively. Comparison of the results reveals that 23 sub-watersheds (95%) out of 24 can be classified based on both techniques of KCA and HCA.

Keywords: Classification, HCA, KCA, Morphometric Parameters, Watershed

خاک، کاربری اراضی، ته نشست رسوبات و منابع آب می‌باشند (اسرینی و اسا و ناگش کومار 2011). کمبود اعتبارات و محدودیت‌های اقتصادی و فنی در حوضه‌های آبخیز ایجاب می‌کند که اقدامات آبخیزداری جهت کاهش هزینه‌های مرتبط در بخش‌هایی از حوضه آبخیز

مقدمه

حوضه آبخیز می‌تواند به عنوان یک واحد مطالعه، برنامه‌ریزی و اجرای عملیات حفاظت آب و خاک در نظر گرفته شود. فاکتورهای مهمی که متاثر از توسعه و برنامه‌ریزی حوضه آبخیز هستند شامل فرسایش

انجام گیرد که دارای شرایط بدی نسبت به دیگر مناطق هستند. همچنین با توجه به گستردگی حوضه‌های آبخیز و تنوع آنها به لحاظ پوشش گیاهی، زمین شناسی، خاک، عوامل اقلیمی، فیزیوگرافی و کمبود آمار، استفاده از تکنیک‌های خوشه بندی جهت صرفه جویی در هزینه‌ها و زمان، به منظور طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها در گروه‌های همگن را آشکارتر می‌سازد (غیاثی و همکاران 1383). به علاوه همه زیرحوضه‌ها ممکن است به عملیات حفاظتی مشابه نیاز نداشته باشند لذا به جای آنالیز تک تک زیرحوضه‌ها برای احیاء و همچنین اقدامات آبخیزداری، زیرحوضه‌های مشابه در گروه‌های یکسان طبقه‌بندی شده و لذا برنامه‌های حفاظتی را برای یکی از زیرحوضه‌ها انجام داد و به دیگر زیرحوضه‌های هم گروه تجویز کرد (اسرینی و آسا و ناگش کومار 2011). یکی از روش‌های آماری برای تعیین همگنی حوضه‌های آبخیز استفاده از تحلیل خوشه‌ای است. اگر حوضه‌های آبخیز دارای خواص اندازه گیری مشابه باشند، در فضای n بعدی بسیار نزدیک به یکدیگر قرار می‌گیرند لذا مشابهت‌های این حوضه‌ها به کمک اندازه گیری فاصله بین آنها در این فضا بررسی می‌گردد که نتیجه آن شاخصی بنام ضریب مشابهت است که شباهت حوضه-ها را تعیین می‌کند (فریفته 1370). هدف از تحلیل خوشه-ای گروه‌بندی متغیرها است به طوری که متغیرهای داخل یک گروه تا حد امکان همگن باشند، لیکن خصوصیات آنها در بین دیگر گروه‌ها دارای وجه تمایز باشد (غیاثی و همکاران 1383).

استفاده از ویژگی‌های ژئومورفولوژی کمی در فرایندهای هیدرولوژی از دیرباز مورد توجه هیدرولوژیست‌ها بوده است. بطوریکه محققان زیادی به بررسی و مطالعه در این زمینه پرداخته‌اند: عطایی و شیران (1390) به شناسایی زیرحوضه‌های هیدرولوژیکی همگن از نظر عوامل ژئومورفولوژیک موثر بر سیلاب با استفاده از تحلیل خوشه‌ای پرداختند. در این تحقیق آنها از 13 متغیر کمی ژئومورفولوژی با

استفاده از تحلیل خوشه‌ای به روش طبقاتی و روش فازی استفاده کردند. نتایج حاکی از آن بود که روش طبقاتی تفکیک بهتری برای زیرحوضه‌ها انجام داده است. رضایی (1390) به منظور تحلیل منطقه‌ای آب‌دهی سالانه با دوره بازگشت‌های مختلف در تعدادی از زیرحوضه-های سد سفیدرود بر اساس ویژگی‌های فیزیوگرافی و بارندگی سالانه، تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی را برای رسیدن به زیرحوضه‌های همگن انجام دادند. نتایج خوشه‌بندی در این تحقیق نشان داد که انجام عمل خوشه‌بندی موثر نبوده و تنها براساس کل زیرحوضه-های انتخابی، امکان ساخت مدل ریاضی پیش‌بینی جریان وجود دارد. بیسواس و همکاران (2002) آنالیز مورفومتریکی را با استفاده از پارامترهایی مثل نسبت انشعاب، تراکم زهکشی، فراوانی آبراهه‌ها، نسبت بافت، ضریب شکل حوضه، ضریب گردی و ضریب کشیدگی برای حوضه آبخیز میدناپور در منطقه غرب بندجال در هند انجام دادند. جینگی و هال (2004) روش‌های جغرافیایی، روش خوشه‌بندی وارد، روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای فازی و روش شبکه عصبی کوهنون را برای 86 منطقه، در دو آبخیز در جنوب چین برای تعیین مناطق همگن استفاده کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که روش شبکه عصبی کوهنون نتیجه بهتری را نسبت به بقیه روش‌ها ارائه می‌دهد. اسرینی و آسا و ناگش کومار (2007) برای طبقه بندی ایستگاه‌های هواشناسی در هند از سه تکنیک طبقه بندی به نام‌های تجزیه و تحلیل خوشه‌ای فازی، تجزیه و تحلیل خوشه‌ای به روش چند میانگینی و شبکه عصبی کوهنون استفاده کردند. سینگ و همکاران (2009) با استفاده از 13 پارامتر فیزیوگرافی بدون بعد، 16 حوضه آبخیز را در منطقه چامبال در کشور هند بررسی کردند. آنها آنالیز مولفه اصلی را به منظور استخراج مهمترین پارامترهای فیزیوگرافی بکار بردند. سپس نتیجه گرفتند که این مطالعه کمک می‌کند تا فاکتورهای فیزیوگرافی مهم در داخل گروه‌هایی دسته بندی شوند. اسرینی و آسا و ناگش کومار (2011) به

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز پل دوآب شانزد با مختصات جغرافیایی "15' 4' 49° تا "12' 52' 49° شرقی و "42' 44' 33° تا "13' 12' 34° شمالی و مساحتی معادل 1738/744 کیلومتر مربع، یکی از سرشاخه‌های مهم رودخانه قره‌چای است که پس از ادغام با سرشاخه‌های دیگر از استان همدان در نهایت به سد الغدیر ساوه می‌ریزند. شکل 1 نشان دهنده موقعیت منطقه مورد مطالعه در سطح استان و ایران می‌باشد. اقلیم حوضه با استفاده از روش آمبرژه و بر اساس ایستگاه تبخیرسنجی قدمگاه که در داخل حوضه قرار دارد، در طبقه نیمه خشک معتدل تا نیمه‌خشک سرد قرار دارد. به طوری که حداکثر دمای آن در تیر ماه برابر با 42 درجه سلسیوس و حداقل آن در دی ماه برابر با 25/7- درجه سلسیوس می‌باشد. نزولات جوی در این منطقه عمدتاً از نوع باران و برف می‌باشد، و مقدار متوسط سالانه آن طبق آمار 30 ساله ایستگاه‌های داخل حوضه (مزرعه خاتون، قدمگاه، عمارت و آستانه) برابر 430/2 میلی‌متر می‌باشد. توزیع زمانی بارندگی در ماه‌های مختلف سال متفاوت است، به طوری که می‌توان ماه‌های تیر، مرداد و شهریور را از ماه‌های کم باران و آبان، آذر و فروردین را از ماه‌های پر باران سال به حساب آورد.

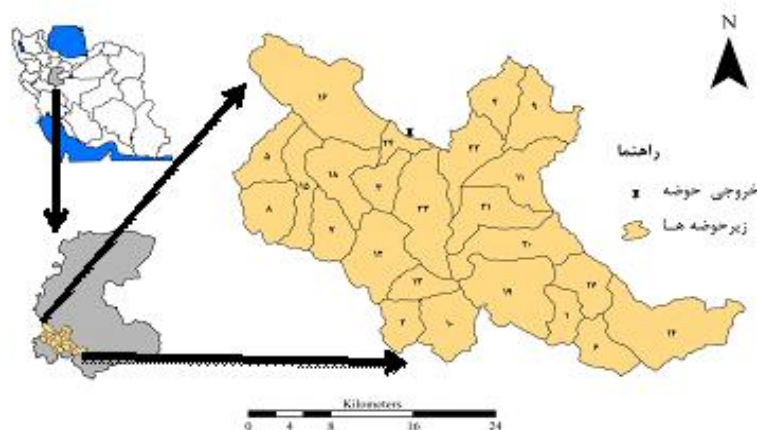
منظور طبقه بندی حوضه‌های آبخیز کوچک بر اساس خصوصیات مورفومتریک از سه تکنیک طبقه بندی، بنام تجزیه و تحلیل خوشه‌ای چند میانگینی¹ (KCA)، تجزیه و تحلیل خوشه‌ای فازی² (FCA)، و شبکه عصبی کوهنون³ (KNN) برای 25 حوضه آبخیز کوچک در آبخیز خرتال در هند استفاده کردند. مقایسه تجزیه و تحلیل تکنیک‌های گروه‌بندی، نشان داد که 13 زیرحوضه از 25 زیرحوضه عموماً توسط KCA، FCA و KNN یعنی 52% پیشنهاد شده‌اند، 17 زیرحوضه یعنی 68% عموماً توسط KCA و FCA پیشنهاد شده‌اند در حالی که 16 (64%) زیرحوضه توسط FCA و KNN و 15 (60%) زیر حوضه توسط KCA و KNN پیشنهاد شدند.

منطقه مورد مطالعه به علت وسعت زیاد و همچنین کمبود اعتبارات لازم جهت اجرای عملیات آبخیزداری، نیازمند زمان زیادی می‌باشد. بنابراین تحقیق حاضر با هدف همگن‌بندی حوضه‌های آبخیز بوده است، بطوری که بتوان زیرحوضه‌هایی که از نظر برخی از پارامترهای مورفومتریک به هم شباهت ذاتی دارند را با استفاده تکنیک‌های خاص در گروه‌های مشابه، طبقه بندی کرد از این‌رو افرادی که در یک گروه قرار می‌گیرند، از نظر صفات استفاده شده در گروه‌بندی اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود ندارد. به این ترتیب می‌توان عملیات حفاظتی و آبخیزداری را در یکی از زیرحوضه‌ها که شرایط بدی را نسبت به دیگر نقاط دارند، انجام داد و در نهایت این عملیات را به زیرحوضه‌های هم گروه تجویز کرد. بنابراین انجام چنین کاری ضمن کاهش حجم داده‌ها، سبب صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌ها در منطق مورد مورد مطالعه می‌شود.

¹ K-means cluster analysis

² Fuzzy Cluster Analysis

³ Kohonen Neural Networks



شکل 1- موقعیت حوزه آبخیز پل دوآب شازند روی نقشه ایران و استان مرکزی

عملیات حفاظت آب و خاک در بین زیرحوضه‌ها، تعیین و تشخیص شباهت‌های بین آنها بر اساس ویژگی‌های مورفولوژیک صورت گرفت. بدین منظور تکنیک‌های خوشه‌بندی چند میانگینی² (KCA) و روش سلسله مراتبی³ (HCA) استفاده شدند. بعد از استخراج پارامترهای مورفومتریک اقدام به استاندارد کردن داده شد. سپس تعداد خوشه‌های بهینه از شاخص دیویس-بولدین استفاده شد. فرمول‌های ریاضی برای استخراج هر کدام از این پارامترها به همراه مقادیر بدست آمده برای یکی از زیرحوضه (به عنوان مثال زیرحوضه شماره 9) در جدول 1 ارائه شده است.

انتخاب الگوریتم مناسب برای خوشه‌بندی

تحلیل خوشه‌ای یک روش آماری است که مبتنی بر داده‌های کمی است، با توجه به این که این داده‌ها قابل اندازه‌گیری و محاسبه می‌باشند بنابراین نتیجه بدست آمده از این روش‌ها، دقیق‌تر و از اعتماد بیشتری برخوردار هستند. انتخاب الگوریتم مناسب برای تجزیه و

مواد و روش‌ها

نقشه‌های توپوگرافی 1:25000 منطقه از استانداری استان مرکزی تهیه شد، سپس منطقه مورد مطالعه براساس تأثیر عواملی از قبیل تغییر در شکل ظاهری و تغییر در میزان تراکم آبراهه‌ها و وسعت کل حوضه و خط‌الراس‌های تفکیک‌کننده به 24 زیرحوضه تقسیم شد و خصوصیات مورفومتریک زیرحوضه‌ها در محیط GIS بر مبنای مدل رقومی ارتفاعی¹ تهیه شدند. نقشه شبکه آبراهه‌ها و زیرحوضه‌ها با کمک نرم افزار ILWIS 3.2 و با تکیه بر نقشه مدل رقومی ارتفاع تهیه شدند. 10 پارامتر فیزیوگرافی به نام‌های تراکم زهکشی، نسبت انشعاب، فراوانی آبراهه‌ها، طول جریان سطحی، ضریب فرم حوضه، شکل حوضه، ضریب کشیدگی، ضریب گردی، ضریب فشردگی و نسبت بافت، بر اساس مطالعات بیسواس و همکاران (2002)، کورپا و همکاران (2005)، راتنم و همکاران (2005)، اسرینی و اسما و ناگش کومار (2011) به منظور طبقه‌بندی انتخاب شدند، سپس پارامترهای ذکر شده برای هر کدام از 24 زیرحوضه بدست آمدند. در تحقیق حاضر به منظور اجرای هماهنگ

² K-means cluster analysis

³ Hierarchical cluster analysis

¹ Digital elevation model

مورد استفاده قرار می‌گیرند باید از نوع پارامتری یا کمی باشند (زارع‌چاهوکی 1389).

تحلیل خوشه‌ای به روش طبقاتی (HCA)

روش طبقاتی با تعیین فاصله هر فرد از سایر افراد شروع، سپس با استفاده از یکی از دو روش زیر انجام می‌شود. الف) روش تجمعی که به تدریج افراد مشابه طی فرایند جمع آوری در یک گروه با هم ادغام می‌شوند. ب) روش تقسیم که همه افراد ابتدا در یک گروه و سپس به تدریج بر اساس تفاوت‌ها و شباهت‌ها به زیرگروه‌ها تقسیم، تا در نهایت افراد مشابه در یک گروه جمع شوند (فاضلی رستم پور 1389). در تحقیق حاضر با استفاده از روش طبقاتی تجمعی و محاسبه فاصله زیرحوضه‌ها از یکدیگر با استفاده از فاصله اقلیدوسی بر اساس روش حداقل واریانس وارد¹ زیرحوضه‌ها طبقه‌بندی شدند.

استاندارد کردن داده‌ها

پارامترهای مورفومتريک بدست آمده هر کدام به عنوان معیاری برای طبقه‌بندی در نظر گرفته شدند، به طوری که قبل از انجام عمل طبقه‌بندی ابتدا این پارامترها بر اساس روش‌های پیشنهاد شده توسط بیسواس و همکاران (2002)، راتنم و همکاران (2005) و همچنین اسرینی و اسوا و ناگش کومار (2011) و با استفاده از رابطه 1 به منظور ورود به نرم افزارهای آماری استاندارد شدند. لذا جهت استفاده از رابطه 1 ابتدا برای هر کدام از زیرحوضه‌ها یک مقدار مطلوب از بین هرکدام از پارامترهای مورفومتريک انتخاب شد (راجو کومار و همکاران 2011). این مقدار مطلوب، همان نوع حد می‌باشد که در جدول 2 ارائه شده است. سپس هر کدام از پارامترهای مورفومتريک در هر زیرحوضه به مقدار مطلوب مربوطه تقسیم شد که حاصل آن پارامترهای مورفومتريک استاندارد شده در جدول 3 می‌باشد.

تحلیل خوشه‌ای بستگی به نوع داده و هدف دارد. دو روش جزء به جزء یا تجزیه‌ای و روش طبقاتی برای آنالیزهای خوشه‌ای به کار می‌روند. در روش جزء به جزء به افراد اجازه داده می‌شود تا در تکرار و مراحل مختلف به داخل یا خارج از گروه حرکت کنند. در این روش خوشه‌ها بر پایه ساختار درختی شکل نمی‌گیرند، بلکه تعدادی هسته اولیه با کمترین مجموع مربعات فاصله‌ها از میانگین‌های درون خوشه‌ای شکل می‌گیرد سپس هر مشاهده به نزدیکترین خوشه موقتی اختصاص می‌یابد، این هسته دوباره در تکرارهای بعدی بر اساس میانگین خوشه موقتی جایگزین شده تا جایی که میانگین خوشه‌ها تغییر ننماید. در این روش تعداد خوشه‌ها توسط استفاده کننده تعیین می‌شود. روش دوم یا روش طبقاتی در علوم مرتبط با زمین کاربرد وسیعی دارد. از مزایای روش طبقاتی ترسیم دندروگرام می‌باشد که از آن گروه‌های همگن استخراج می‌شود (گیائی و همکاران 1383). تحقیق حاضر از هر دو الگوریتم، با استفاده از دو تکنیک تحلیل خوشه‌ای به روش چند میانگینی (الگوریتم جزء به جزء) و تحلیل خوشه‌ای به روش طبقاتی (الگوریتم طبقاتی) در محیط‌های نرم‌افزاری SYSTAT و Pcordi انجام شد و در نهایت مقایسه‌ای بین این دو الگوریتم صورت گرفت.

تحلیل خوشه‌ای به روش چند میانگینی (KCA)

تحلیل خوشه‌ای چند میانگینی، که از جمله روش‌های متداول خوشه‌بندی است، توسط مک کوپین در سال 1967 ارائه شد و تا امروز به تنهایی و یا با تلفیق روش‌های دیگر در علوم مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. این روش بر اساس حداقل فاصله داده‌ها از مرکز خوشه‌هایی که بصورت تصادفی و از بین داده‌های موجود انتخاب می‌شود، عمل خوشه‌بندی را انجام می‌دهد (زهرائی 1388). این روش سعی می‌کند تا گروه‌هایی همگنی از عناصر مورد مطالعه را بر اساس ویژگی‌های انتخاب شده شناسایی کند. داده‌هایی که در این روش

¹Wards minimum-variance method

$$Y_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{j \text{ ideal}}} \quad [V]$$

شاخص ارزیابی تعداد بهینه خوشه‌ها
 به منظور ارزیابی تعداد بهینه خوشه‌ها برای
 مجموعه‌ای از داده‌ها در اینجا از شاخص دیویس -
 بولدین¹ استفاده شد (اسرینی و اسا و ناگش کومار
 2011) که به صورت زیر بیان می‌شود.

$$DB = \frac{1}{n} + \sum_{i=1, i \neq j}^n \max \left(\frac{\sigma_i + \sigma_j}{d(C_i, C_j)} \right) \quad [V]$$

در اینجا X_{ij} ، مقدار j مین معیار یا پارامتر فیزیوگرافی
 برای i مین زیرحوضه مورد نظر است و $X_{j \text{ ideal}}$ ، مقدار
 مطلوب j مین معیار در میان زیرحوضه‌ها می‌باشد و Y_{ij}
 ، مقدار استاندارد شده j مین معیار برای i مین زیرحوضه
 می‌باشد.

نتایج و بحث

فرمول‌های ریاضی برای استخراج هر کدام از این ده
 پارامتر در جدول 1 به همراه مقادیر بدست آمده برای
 یکی از زیرحوضه‌ها (به عنوان مثال زیرحوضه 9) آورده
 شده است.

در این رابطه، n تعداد خوشه‌ها، C_i مرکز خوشه i ، σ_i
 میانگین فاصله هر یک از اعضا در خوشه x تا مرکز C_j
 و $d(C_i, C_j)$ فاصله بین مراکز C_i و C_j می‌باشد. در
 مورد این شاخص مقدار کمتر در رابطه با تعداد خوشه-
 ها، نتیجه مطلوب‌تری را ارائه می‌دهد.

جدول 1- پارامترهای مورفومتریک، فرمول‌ها و مقادیر استخراج شده برای زیرحوضه 9

پارامترها	فرمول	واحد	مقادیر
طول حوضه	$L_b = 1.312A^{0.268}$	Km	15/181
تراکم زهکشی	$D_d = L/A$	Km ⁻¹	2/085
نسبت انشعاب	$R_b = N_u/N_{u+1}$	-	4/651
فراوانی آبراهه‌ها	$F_u = N/A$	Km ⁻²	1/678
طول جریان سطحی	$L_o = 0.5/D_d$	Km	0/240
ضریب فرم حوضه	$R_f = A/L_b^2$	-	0/323
شکل حوضه	$S_x = L_b^2/A$	-	3/094
ضریب کشیدگی	$R_e = 1.128A^{0.5}/L_b$	-	0/641
ضریب گردی	$R_c = 12.57A/P^2$	-	0/360
ضریب فشردگی	$C_c = 0.2821P/A^{0.5}$	-	1/668
نسبت بافت	$T = N_1/P$	Km ⁻¹	1/958

علائمی که در فرمول‌ها ارائه شده است شامل:

A مساحت حوضه، L مجموع طول تمام آبراهه‌ها، N_u تعداد آبراهه‌ها با رتبه u ، N_{u+1} تعداد آبراهه‌ها با رتبه $u+1$ ، N تعداد آبراهه‌های
 تمام رتبه‌ها، D_d تراکم زهکشی، L_b حداکثر طول حوضه، P محیط حوضه، N_1 تعداد آبراهه‌های رتبه یک.

مساحت 74/495 کیلومترمربع، محیط 51/021 کیلومتر، مجموع طول تمام آبراهه‌های تمام رتبه‌ها 155/342 کیلومتر، تعداد کل آبراهه‌ها 125
 عدد، تعداد آبراهه‌های رتبه 1: 98 عدد، تعداد آبراهه‌ها هر یک از رتبه‌ها 22، 4، 1 عدد، تعداد آبراهه‌های رتبه 1 به بالاتر: 22، 4، 1 عدد.

¹ Davies-Bouldin index

مشخص شده است که این عدد با توجه به ماهیت خود پارامترهای مورفومتریک (مقدار حداکثر و یا حداقل) تعیین می‌شود. که در تحقیق حاضر 5 پارامتر دارای کران حداکثر و 5 پارامتر نیز دارای کران حداقل می‌باشند.

جدول 2 مساحت هر کدام از زیرحوضه‌ها و ماتریس حاصل از 24 زیرحوضه و 10 پارامتر مورفومتریک را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در این جدول در قسمت پایین برای هر کدام از پارامترهای مورفومتریک یک حد و یا یک کران (اسرینی و اسما و ناگش کومار 2011) به منظور انجام عملیات استاندارد کردن پارامترها

جدول 2- پارامترهای مورفومتریک استخراج شده برای زیرحوضه‌های آبخیز پل دوآب شانزند

نسبت ضریب فشردگی بافت (km ⁻¹)	ضریب گردی	ضریب کشیدگی	شکل حوضه	ضریب فرم حوضه	طول جریان سطحی (km)	فراوانی آبراهه‌ها (km ²)	نسبت انشعاب	تراکم زهکشی (km ⁻¹)	مساحت (km ²)	زیرحوضه	
0/621	1/461	0/469	0/675	2/797	0/358	0/287	1/382	6/500	1/744	35/455	1
1/319	1/254	0/636	0/670	2/834	0/353	0/235	1/561	7/500	1/129	39/084	2
1/019	1/354	0/546	0/665	2/879	0/347	0/266	1/527	4/111	1/878	43/869	3
1/495	1/473	0/461	0/657	2/952	0/339	0/269	1/498	3/875	1/862	52/720	4
1/546	1/522	0/432	0/657	2/944	0/340	0/165	2/031	3/079	3/023	51/692	5
2/872	1/343	0/554	0/661	2/911	0/344	0/198	2/080	5/000	2/523	47/593	6
1/486	1/291	0/600	0/658	2/942	0/340	0/198	2/154	3/089	2/531	51/535	7
1/661	1/219	0/673	0/650	3/012	0/332	0/200	1/846	3/175	2/504	61/227	8
1/958	1/668	0/360	0/641	3/094	0/323	0/240	1/678	4/651	2/085	74/495	9
1/925	1/255	0/635	0/645	3/057	0/327	0/177	2/140	4/877	2/832	68/233	10
3/523	1/613	0/385	0/639	3/115	0/321	0/189	1/865	3/372	2/650	78/288	11
4/082	1/328	0/567	0/632	3/188	0/314	0/197	1/907	5/293	2/538	92/795	12
1/060	1/392	0/516	0/676	2/787	0/359	0/180	1/966	3/752	2/788	34/586	13
6/819	1/542	0/421	0/612	3/396	0/294	0/203	1/875	6/178	2/462	147/763	14
1/896	1/996	0/251	0/651	2/999	0/333	0/186	1/972	3/161	2/682	59/319	15
4/567	1/431	0/488	0/605	3/481	0/287	0/205	1/933	4/493	2/437	177/458	16
2/306	1/308	0/585	0/655	2/966	0/337	0/216	1/978	3/301	2/313	54/601	17
2/074	1/610	0/386	0/640	3/107	0/322	0/194	1/884	5/486	2/578	76/944	18
5/754	1/414	0/501	0/621	3/302	0/303	0/201	1/779	3/784	2/492	120/265	19
2/062	1/751	0/326	0/633	3/174	0/315	0/146	1/955	4/170	3/436	90/037	20
3/242	1/570	0/406	0/641	3/095	0/323	0/153	1/714	3/740	3/274	74/693	21
2/939	1/664	0/361	0/644	3/064	0/326	0/154	2/031	3/095	3/243	69/432	22
5/216	1/487	0/452	0/623	3/283	0/305	0/223	1/647	3/812	2/239	115/348	23
0/883	1/702	0/345	0/698	2/610	0/383	0/198	1/524	3/097	2/642	21/311	24
حداکثر	حداقل	حداقل	حداقل	حداقل	حداقل	حداکثر	حداکثر	حداکثر	حداکثر	-	نوع حد
6/819	1/219	0/251	0/605	2/610	0/287	0/287	2/154	7/500	3/436	-	مقادیر نوع حد

پارامترهای محاسبه شده سپس براساس روش‌های پیشنهاد شده توسط بیسواس و همکاران (2002)، راتنم و همکاران (2005) و همچنین اسرینی‌واسا و ناگش کومار (2011) با استفاده از رابطه 1 استاندارد شدند. نتایج پارامترهای استاندارد شده در جدول 3 ارائه شده است.

جدول 3- مقادیر استاندارد شده پارامترهای مورفومتريک

پارامترهای مورفومتريک										
T	C _c	R _c	R _e	B _s	R _f	L _o	F _u	R _b	D _d	زیرحوضه
0/091	1/199	1/867	1/115	1/071	1/246	1/000	0/642	0/867	0/508	1
0/193	1/029	2/533	1/108	1/086	1/230	0/818	0/725	1/000	0/620	2
0/149	1/111	2/174	1/099	1/103	1/210	0/928	0/709	0/548	0/547	3
0/219	1/209	1/836	1/085	1/131	1/180	0/936	0/696	0/517	0/542	4
0/227	1/248	1/721	1/087	1/128	1/184	0/576	0/943	0/411	0/880	5
0/421	1/102	2/209	1/093	1/115	1/197	0/690	0/966	0/667	0/734	6
0/218	1/059	2/392	1/087	1/127	1/184	0/688	1/000	0/412	0/737	7
0/244	1/000	1/682	1/074	1/154	1/157	0/696	0/857	0/423	0/729	8
0/287	1/368	1/433	1/060	1/185	1/126	0/835	0/779	0/620	0/607	9
0/282	1/029	2/531	1/066	1/171	1/140	0/615	0/993	0/650	0/824	10
0/517	1/323	1/532	1/056	1/193	1/119	0/657	0/866	0/450	0/771	11
0/599	1/090	2/258	1/044	1/221	1/093	0/686	0/886	0/706	0/739	12
0/155	1/142	2/057	1/117	1/068	1/250	0/627	0/913	0/500	0/809	13
1/000	1/265	1/677	1/012	1/301	1/026	0/708	0/870	0/824	0/716	14
0/278	1/637	1/000	1/077	1/149	1/162	0/650	0/916	0/421	0/780	15
0/670	1/174	1/945	1/000	1/334	1/000	0/715	0/897	0/599	0/709	16
0/338	1/073	2/331	1/083	1/136	1/175	0/753	0/918	0/440	0/673	17
0/304	1/320	1/538	1/058	1/191	1/121	0/676	0/875	0/731	0/750	18
0/844	1/160	1/994	1/026	1/265	1/055	0/699	0/826	0/505	0/725	19
0/302	1/437	1/300	1/046	1/216	1/098	0/507	0/907	0/556	1/000	20
0/475	1/288	1/617	1/060	1/186	1/126	0/532	0/796	0/499	0/953	21
0/431	1/365	1/439	1/065	1/174	1/137	0/537	0/943	0/413	0/944	22
0/765	1/220	1/802	1/029	1/258	1/061	0/778	0/765	0/508	0/652	23
0/129	1/396	1/376	1/154	1/000	1/335	0/659	0/893	0/413	0/769	24

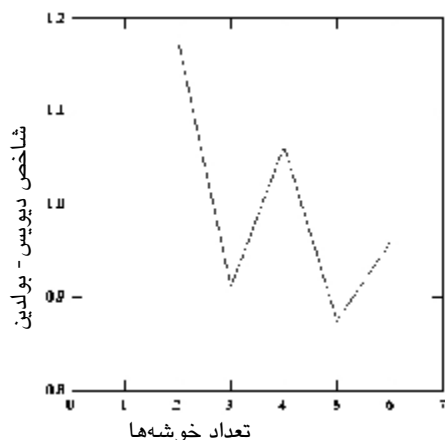
D_d تراکم زهکشی، R_b نسبت انشعاب، F_u فراوانی آبراهه‌ها، L_o طول جریان سطحی، R_f ضریب فرم حوضه، B_s

شکل حوضه، R_e ضریب کشیدگی، R_c ضریب گردی، C_c ضریب فشردگی و T نسبت بافت

نهایی انجام شد. جهت تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها، مقدار شاخص دیویس- بولدین برای تعداد خوشه‌های 2، 3، 4، 5، و 6 بدست آمد که به ترتیب برابر با 1/175، 0/912، 1/062، 0/874 و 0/959 می‌باشد. با توجه به اینکه

پس از استخراج پارامترهای مورفومتريک و استاندارد کردن آنها، داده‌های موجود (جدول 3) برای طبقه بندی نهایی وارد محیط نرم افزاری SYSTAT و Pcordi شدند که با استفاده از دو تکنیک KCA و HCA طبقه بندی

کمترین مقدار این شاخص (در اینجا 0/874) مبین تعداد بهینه خوشه‌ها می‌باشد، لذا تعداد بهینه خوشه‌ها، برای انجام عمل طبقه بندی برابر با 5 می‌باشد (شکل 2).



شکل 2- مقادیر شاخص دیویس - بولدین برای تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها

برای روش HCA نیز به ترتیب خوشه 1 دارای 3 زیرحوضه (زیرحوضه‌های 1-3-4)، خوشه 2 دارای 7 زیرحوضه (زیرحوضه‌های 17-12-10-8-7-6-2)، خوشه 3 دارای 2 زیرحوضه (زیرحوضه‌های 13-5)، خوشه 4 دارای 8 زیرحوضه (زیرحوضه‌های 24-22-21-20-18-15-11-9) و خوشه 5 دارای 4 زیرحوضه (زیرحوضه‌های 23-19-16-14) می‌باشد (جدول 4).

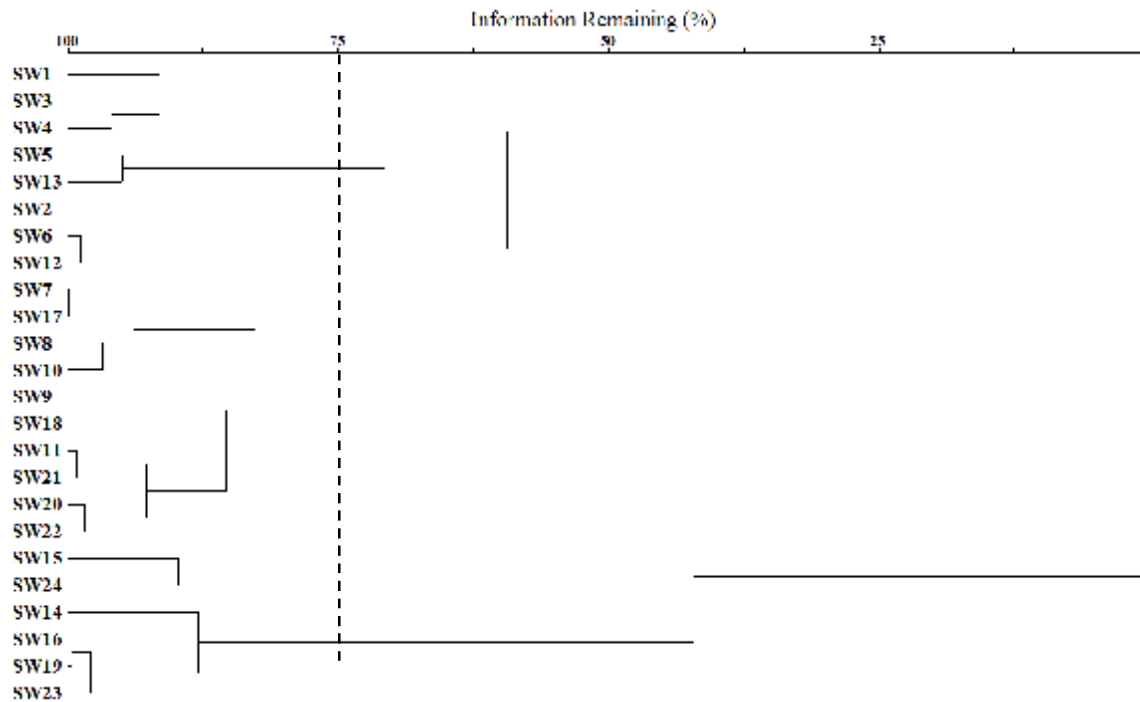
نتایج حاصل از طبقه‌بندی با استفاده از روش KCA به این صورت بود که خوشه 1 دارای 3 زیرحوضه (زیرحوضه‌های 1-3-4)، خوشه 2 دارای 7 زیرحوضه (زیرحوضه‌های 17-12-10-8-7-6-2)، خوشه 3 دارای 3 زیرحوضه (زیرحوضه‌های 13-5-21)، خوشه 4 دارای 7 زیرحوضه (زیرحوضه‌های 24-22-21-20-18-15-11-9) و خوشه 5 دارای 4 زیرحوضه (زیرحوضه‌های 23-19-16-14) می‌باشد. همچنین

جدول 4- نتایج طبقه‌بندی نهایی توسط KCA و HCA

خوشه	تکنیک		ترکیبی از هر دو تکنیک KCA و HCA
	KCA	HCA	
1	1-3-4 (3)	1-3-4 (3)	3
2	2-6-7-8-10-12-17 (7)	2-6-7-8-10-12-17 (7)	7
3	5-13-21 (3)	5-13 (2)	2
4	9-11-15-18-20-22-24 (7)	9-11-15-18-20-21-22-24 (8)	7
5	14-16-19-23 (4)	14-16-19-23 (4)	4
مجموع	24	24	23

در روی دندروگرام جایی است که فاصله زیاد بین ادغام دو خوشه مشاهده می‌شود و اعضای هر کدام از خوشه‌ها دارای تشابه زیادی می‌باشند.

شکل 3 نمودار شاخه‌درختی یا دندروگرام حاصل از روش خوشه‌بندی HCA را نشان می‌دهد. تعداد بهینه خوشه‌ها بر اساس شاخص دیویس- بولدین و همچنین



شکل 3- دندروگرام حاصل از روش طبقه‌بندی HCA

از تعیین مناطق همگن در دو آبخیز در جنوب چین با استفاده از روش‌های مختلف به این نتیجه رسیدند که روش شبکه عصبی کوهنون نتیجه بهتری را نسبت به بقیه روش‌ها ارائه می‌دهد. این درحالی است که اسرینی و اسوا و ناگش کومار (2011) روش KCA را به دلیل پارامترهای مورد نیاز کمتر و کاربرد وسیع‌تر جهت طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها معرفی کرده است و یا دیویس (1986) استفاده از روش طبقاتی تجمعی را به دلیل کاربرد وسیع‌تر در علوم زمینی توصیه نموده است. در تحقیق حاضر نیز روش‌های KCA و HCA به منظور انجام طبقه‌بندی استفاده شدند که نتایج حاصل از هر دو روش دارای همپوشانی 95% می‌باشد، لذا می‌توان روش طبقاتی تجمعی (HCA) را به دلیل کاربرد وسیع‌تر در ارتباط با موضوع بکار برد (زارع‌چاهوکی 1389). نتایج

رویکرد ارائه شده در این تحقیق در حقیقت کاربرد برخی متغیرهای فیزیوگرافی در یک ناحیه وسیع جهت طبقه‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز بوده است. بدین منظور زیرحوضه‌های آبخیز پل دوآب شازند با استفاده از تحلیل‌های خوشه‌ای و بر اساس شاخص دیویس- بولدین به 5 گروه طبقه بندی شدند. همان طور که در جدول 4 مشاهده می‌شود تکنیک‌های متفاوت (در اینجا KCA و HCA) الزاماً نتایج یکسانی را برای مجموع معینی از داده‌ها فراهم نمی‌آورند. لذا برای انجام تجزیه و تحلیل‌های خوشه‌ای روش‌های متعددی برای کاربردهای مختلف وجود دارد که برخی مکانی، زمانی و یا برخی خوشه‌بندی را به صورت مکانی - زمانی انجام می‌دهند. لیکن تا کنون هیچ کدام از آنها به عنوان بهترین روش معرفی نشده‌اند به عنوان مثال جینگی و هال (2004)، پس

یکسان نمی‌باشند، به عنوان مثال بر اساس روش خوشه-بندی HCA و همچنین KCA (جدول 4)، زیرحوضه‌های 17-12-10-8-7-6-2 در گروه 2 قرار دارند لذا به طور ذاتی این زیرحوضه‌ها به هم شبیه بوده و عملیات حفاظتی یکسانی را نیز می‌طلبند از این رو همان-طور که عطایی و شیران (1390) بیان کردند این نوع طبقه‌بندی اجرای عملیات مدیریتی و حفاظتی، در مناطق با ویژگی‌های مشابه را ساده‌تر می‌کند. در نهایت 5 گروه پیشنهاد شده توسط این دو روش می‌تواند به منظور اجرای عملیات حفاظتی توسط مدیران و برنامه‌ریزان اولویت‌بندی شده و تصمیم‌گیری‌ها بر اساس اولویت‌ها به مرحله اجراء درآیند. به عنوان نتیجه‌گیری نهایی باید بیان داشت که کاربرد این قبیل روش‌های آماری باید فقط در حوضه‌های مشابه و فاقد آمار صورت گیرد.

بدست آمده از تفکیک گروه‌ها در هر دو تکنیک نشان می‌دهد چنانچه گروه‌های کوچکتر انتخاب شوند، ضرائب همبستگی یا تشابه آنها بالاتر خواهد بود. بنابراین با توجه به دندروگرام حاصل از روش HCA (شکل 3) و همچنین با توجه به تعداد خوشه‌های بهینه (در تحقیق حاضر 5 خوشه)، می‌توان اظهار داشت که زیرحوضه-های موجود در هر یک از 5 خوشه با توجه به خط Cut off (خط تفکیک‌کننده خوشه‌ها از یکدیگر بر اساس تعداد خوشه‌ها و حداکثر ضریب تشابه آنها) موجود در دندروگرام، دارای ضریب تشابهی حدود 75% می‌باشند (شکل 3). دسته‌بندی زیرحوضه‌ها توسط روش طبقاتی و پس از تعیین مناطق همگن در زیرحوضه‌های آبخیز پل دوآب، می‌توان اظهار داشت که تمام زیرحوضه‌ها (کل حوضه آبخیز) لزوماً نیازمند اجرای عملیات حفاظتی

منابع مورد استفاده

- رضایی ع، 1390. تحلیل منطقه‌ای آب‌دهی سالانه با دوره‌های بازگشت مختلف در زیرحوضه‌های سد سفیدرود. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد 18، شماره 1. صفحه‌های 146 تا 241.
- زارع‌چاهوکی م، ع، 1389. تجزیه و تحلیل داده‌ها در پژوهش‌های منابع طبیعی با نرم افزار SPSS. انتشارات جهاد دانشگاهی. دانشگاه تهران.
- زهرایی ب، 1388. تدوین مدل خوشه‌بندی اطلاعات و سیگنال‌های هواشناسی با هدف پیش‌بینی دوره‌های کم بارش. گزارش نهایی شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران. وزارت نیرو، تهران.
- عطایی ه و شیران م، 1390. شناسایی زیرحوضه‌های هیدرولوژیکی همگن از نظر عوامل ژئومورفولوژیک موثر بر سیلاب با استفاده از تحلیل خوشه‌ای (مطالعه موردی: دشت کرون). مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، جلد 42، شماره 2. صفحه‌های 79 تا 98.
- غیائی ن، عرب خدیری م و غفاری ع، 1383. بررسی تاثیر برخی ویژگی هندسی آبخیزها در سیلاب‌های حداکثر لحظه‌ای با دوره برگشت‌های مختلف. مجله پژوهش و سازندگی، شماره 61. صفحه‌های 2 تا 10.
- فاضلی‌رستم‌پور م، 1389. تجزیه و تحلیل با استفاده از SAS. انتشارات سپهر، تهران.
- فریفته ج، 1370. تحلیل‌های کمی در ژئومورفولوژی، انتشارات دانشگاه تهران.
- Biswas S, Sudhakar S and Desai VR, 2002. Remote sensing and geographic information system based approach for watershed conservation. Survey Engineering 128: 108 - 124.
- Chorpa R, Dhiman RD and Sharma PK, 2005. Morphometric analysis of sub-watershed in Gurdaspur district Punjab using remote sensing and GIS techniques. Indian Society of Remote Sensing 33: 531-539.

- Davis JE, 1986. Statistical and Data Analysis in Geology. John Wiley Pub, American, New York.
- Jingyi Z, and Hall MJ, 2004. Regional flood frequency analysis for the GanMing river basin in China. Hydrology 296: 98 -117.
- Ratnam KN, Srivastava YK, Rao VV, Amminedu E and Murthy KSR, 2005. Check dam positioning by prioritization of micro-watersheds using SYI model and morphometric analysis - remote sensing and GIS perspective. Indian Society of Remote Sensing 33: 25-38.
- Srinivasa Raju K and Nagesh Kumar D, 2007. Classification of Indian meteorological stations using cluster and fuzzy cluster analysis and Kohonen artificial neural networks. Nordic Hydrology 38: 303-314.
- Srinivasa Raju K and Nagesh Kumar D, 2011. Classification of microwatersheds based on morphological characteristics. Hydro-environment Research 5: 101-109.
- Singh PK, Kumar V, Purohit RC, Kothari M and Dashora PK, 2009. Application of principal component analysis in grouping geomorphic parameters for hydrologic modeling. Water Resoure Management 23: 325- 339.