

## کاربرد تجزیه مؤلفه‌های اصلی در تعیین عوامل مؤثر بر تولید رواناب

کاظم نصرتی<sup>۱\*</sup>، محمدمهدی حسین‌زاده<sup>۱</sup>، سپیده ایمنی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، تهران  
<sup>۲</sup>دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران  
تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۱۲

### چکیده

تولید رواناب و سیل تابع عوامل پیچیده‌ای می‌باشند. بنابراین مشخص کردن این عوامل و شناخت اثر آنها بر تولید رواناب یک حوضه، به برنامه‌ریزی‌های بهتر برای کاهش خسارات ناشی از رواناب و سیلاب در یک حوضه کمک می‌کند. عوامل مختلفی چون بهره‌برداری غیراصولی انسان از طبیعت، ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولوژیکی حوضه بر مؤلفه‌هایی نظیر روند تولید و تجمیع رواناب تأثیرگذار می‌باشند. هدف از این مطالعه، شناخت عوامل مؤثر بر تولید رواناب حوضه حصارک می‌باشد. به این منظور میزان رواناب حوضه آبخیز با استفاده از روش SCS و مدل HEC- HMS برآورد و با استفاده از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی، عوامل مؤثر بر تولید رواناب تعیین گردید. نتایج نشان داد که از بین عوامل مؤثر بر تولید رواناب حوضه آبخیز حصارک، دو عامل زمین‌شناسی و نوع کاربری اراضی در میزان تولید رواناب مؤثر است.

**واژه‌های کلیدی:** تجزیه مؤلفه‌های اصلی، تولید رواناب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، حوضه آبخیز حصارک

### مقدمه

۲۰۰۴). یکی از روش‌های مهمی که در تحلیل عوامل مؤثر در تولید رواناب بکار می‌رود استفاده از روش‌های آماری مانند تحلیل عاملی<sup>۴</sup> و تجزیه مؤلفه‌های اصلی<sup>۵</sup> است. با این تحلیل، پارامترهای مؤثر بر تولید رواناب را به‌طور جداگانه طبقه‌بندی نموده و میزان تشابه آنها با یکدیگر، نشان داده می‌شود. روش‌های آماری چند متغیره مانند تحلیل عاملی، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای در مطالعات مختلف هیدرولوژی مانند جریان کمینه (نصرتی و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۳۶-۱۲۱) و فرسایش و رسوب (کلت، ۱۳۸۱: ۹۲-۱۰) انجام شده است. در حقیقت هدف از تجزیه و تحلیل چندمتغیره به‌ویژه تحلیل عاملی متغیرها، ساده و مترکم نمودن مجموعه‌ای از اطلاعات است که در تولید رواناب حائز اهمیت هستند (میر داوودی و همکاران، ۱۳۸۵: ۲۰۱) که تعیین عوامل مؤثر در این فرآیند، راهگشای دستیابی به مدل‌ها و روش‌های بهینه برآورد رواناب و

روند فزاینده رواناب نشانه رخداد ناهنجاری‌هایی در مدیریت حوضه آبخیز است. ادامه این روند سبب کاهش توان تولیدی سرزمین و مشکلات زیست‌محیطی می‌شود. در نتیجه اهمیت مطالعه رواناب و عوامل محیطی تأثیرگذار روی آن همواره مورد توجه محققان و کارشناسان بوده است (میرداوودی و همکاران، ۱۳۸۵: ۲۰۱). همچنین برآورد رواناب سطحی در حوضه‌های فاقد ایستگاه و یا فاقد آمار با استفاده از روش‌های مطمئن اهمیت ویژه‌ای دارد. بدین منظور یافتن روش‌هایی برای برآورد علمی و دقیق تولید رواناب در حوضه‌های کشور به‌منظور کنترل این فرایند امری ضروری است. بنابراین باید با کاربرد روش‌هایی، تعداد فاکتورهای مؤثر در تولید رواناب را به تعدادی کاهش داد که بیش‌ترین تأثیر را در تولید رواناب دارند (نوری و همکاران، ۲۰۱۱؛ لین و وانگ<sup>۲</sup>، ۲۰۰۶؛ کاراتی<sup>۳</sup>،

3. Caratti  
4. Factor Analysis (FA)  
5. Principal Component Analysis (PCA)

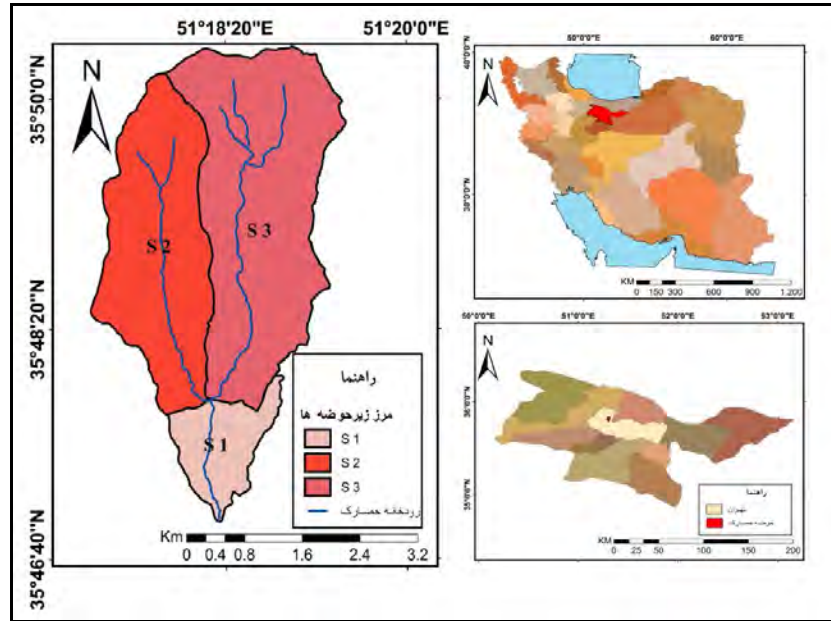
\*مسئول مکاتبه: k\_nosrati@sbu.ac.ir  
2. Lin & Wang

مورفومتری) با دبی حداکثر سیلابی برای حوضه‌های آبخیز کویر مرکزی (دریاچه نمک) را بررسی کردند. سپس با انجام تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای عوامل مؤثر بر دبی حداکثر را مشخص و مناطق همگن را تعیین نمود؛ بنابراین شناخت عوامل مؤثر بر تولید رواناب به ویژه در حوضه‌های فاقد آمار می‌تواند در بهینه‌سازی مدل‌های تجربی برآورد رواناب و برنامه‌ریزی در جهت بهبود شرایط در جلوگیری از رخداد سیل مفید باشد. بدین ترتیب هدف از این مطالعه شناخت عوامل مؤثر بر تولید رواناب با استفاده از تکنیک آماری چندمتغیره تجزیه مولفه‌های اصلی در حوضه آبخیز حصارک، تهران می‌باشد.

### روش پژوهش

**موقعیت منطقه مورد مطالعه:** حوضه آبخیز حصارک، حوضه‌ای کوهستانی در شمال غرب استان تهران است که در  $30^{\circ} 19' 51''$  تا  $51^{\circ} 17' 51''$  طول شرقی و  $35^{\circ} 51'$  تا  $35^{\circ} 46'$  عرض شمالی واقع شده است. این منطقه از غرب به حوضه آبخیز کن و از شرق به حوضه آبخیز فرحزاد محدود می‌شود و مساحت آن  $13/87$  کیلومترمربع است. رودخانه حصارک مسیل اصلی این منطقه است که از کوه بندعیش به ارتفاع  $2766$  متر سرچشمه گرفته است و پس از عبور روستای حصارک و بزرگراه آیت الله کاشانی در امتداد جنوب از اراضی شهران و جنت آباد گذشته و در محل اتوبان تهران- کرج به مسیل برگردان غرب می‌ریزد و در نهایت به رودخانه کن می‌پیوندد. از نظر هیدرولوژیکی رودخانه حصارک دارای دو شاخه اصلی به نام‌های چپ دره و دوچناران است که یک یال اصلی به ارتفاع حداکثر  $2405$  متر در وسط آن قرار می‌گیرد (شکل ۱).

رخداد سیل و در نتیجه مدیریت مناسب خواهد بود. مزبانی (۱۳۹۱)، برای شناخت عوامل مؤثر بر دبی حداکثر در زیرحوضه‌ها و مناطق همگن هیدرولوژیکی حوضه آبخیز دره شهر از تحلیل عاملی استفاده کرد. نتایج نشان داد که در زیرحوضه‌ها متغیرهای مساحت و تراکم زهکشی و در مناطق همگن مساحت، طول آبراهه، جمع آبراهه‌ها، زمان تمرکز، تراکم زهکشی و نسبت انشعاب به عنوان عامل فیزیوگرافی، بر سیلخیزی حوضه مؤثر می‌باشند. امیدوار و همکاران (۱۳۸۹)، با به دست آوردن  $28$  پارامتر ژئومتری، فیزیوگرافی، نفوذپذیری و اقلیمی در  $29$  زیرحوضه حوضه آبخیز کنجانچم استان ایلام به پهنه‌بندی سیلخیزی اقدام کرده‌اند. میرلطیفی و همکاران (۱۳۸۹)، در مقاله‌ای تحت عنوان توسعه مدل ترکیبی رگرسیون چندگانه - تحلیل مؤلفه‌ها و عامل‌های اصلی (PCA)، عوامل مؤثر در تبخیر و تعرق استان کرمان را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که متغیرهای شدت تابش، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، دمای حداقل و دمای حداکثر بر ای برآورد تبخیر- تعرق از اهمیت بیشتری نسبت به سایر متغیرها برخوردار هستند. اسلامی (۱۳۸۴)، با بررسی تحقیقات گذشته و با استفاده از تحلیل عاملی از میان عوامل مؤثر بر جریان‌های حداکثر سیلابی در حوضه‌های آبخیز شمال کشور، عامل مساحت را مهم‌ترین متغیر تأثیرگذار تشخیص داد. تلوری (۱۳۸۲)، طی تحقیقی بر روی حوضه‌های آبخیز شمالی کشور (ناحیه خزر) با استفاده از تحلیل عاملی، مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر دبی حداکثر لحظه‌ای را تعیین نمود. نتایج نشان داد که پارامترهای فیزیوگرافی و اقلیمی مربوط به  $31$  حوضه آبخیز خزر شرقی و  $23$  حوضه آبخیز خزر غربی مهم‌ترین عوامل هستند. سپس براساس عوامل اصلی به همگن‌بندی حوضه‌های آبخیز پرداخت. داوودی راد (۱۹۹۹) رابطه عوامل مؤثر بر جریان (به ویژه عوامل



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (مأخذ: نگارندگان)

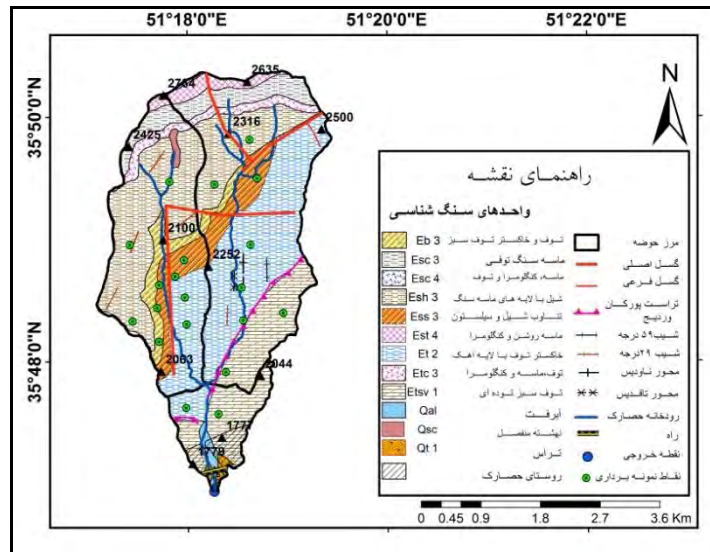
(شکل ۴). به منظور شناخت عوامل محیطی مؤثر بر ارتفاع رواناب، ابتدا ارتفاع رواناب با استفاده از روش SCS و مدل HEC- HMS محاسبه شد. سپس به منظور صحت‌سنجی مقادیر برآورد شده، با توجه به عدم وجود ایستگاه هیدرومتری در منطقه مطالعاتی، براساس مطالعات میدانی و پیمایش صحرایی، آثار و شواهد دبی لبالی حاشیه کانال و داغاب سیلاب‌های پیشینه ثبت و براساس سطح مقطع آبراهه، دبی حداکثر محاسبه و با رواناب برآوردی مدل‌ها مقایسه شدند. علاوه بر این مقادیر دبی برآورد شده در این مطالعه با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط سازمان جنگل‌ها و مراتع استان تهران انطباق دارد (شرکت جهاد و تحقیقات آب و انرژی، ۱۳۹۰: ۸۳-۸۰).

سپس عوامل محیطی نظیر درصد نفوذپذیری واحدهای سنگ‌شناسی (براساس مطالعات کتابخانه‌ای، نفوذپذیری هر سازند تعیین شد)، اقلیم و بارندگی منطقه، درصد مساحت کاربری‌اراضی، خصوصیات فیزیکی، درصد سیلت، شن و رس (از طریق نمونه‌برداری از خاک حوضه و انجام آزمایش هیدرومتری برای تعیین بافت خاک ۲۰ نمونه برداشته شده از حوضه) هر زیرحوضه تعیین شد (شکل ۲).

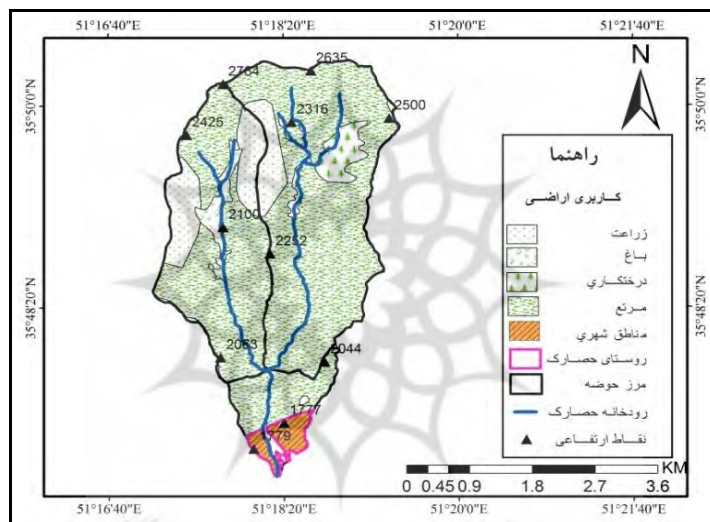
#### داده‌ها و اطلاعات پژوهش

حدود حوضه آبخیز حصارک با استفاده از نقشه توپوگرافی کن با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۷۵) استخراج گردید. به‌منظور تعیین نفوذپذیری هر یک از سازندهای موجود در حوضه از نقشه زمین‌شناسی تهران با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، استفاده گردید و حوضه آبخیز حصارک از آن استخراج و رقمی شد (شکل ۲) سپس مساحت هر یک از سازندها مشخص شد. همچنین با استفاده از داده‌های سازمان جنگل‌ها و مراتع استان تهران و بهره‌گیری از نرم‌افزار Google Earth محدوده اولیه کاربری‌های موجود در حوضه مشخص گردید و با بازدید میدانی نوع کاربری محدوده‌های مشخص شده، کنترل شد (شکل ۳). برای تعیین حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته زیرحوضه‌ها از داده‌های بارش روزانه ۲۰ ایستگاه باران‌سنجی و تبخیرسنجی واقع در مجاور حوضه آبخیز حصارک استفاده شده است (جدول ۱) و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته طی دوره آماری (۱۳۷۹-۱۳۹۲) برای هر ایستگاه مشخص و سپس مقادیر آنها از طریق روش IDW<sup>۱</sup> به کل حوضه تعمیم داده شد و متوسط بارش وزنی برای هر زیرحوضه محاسبه گردید

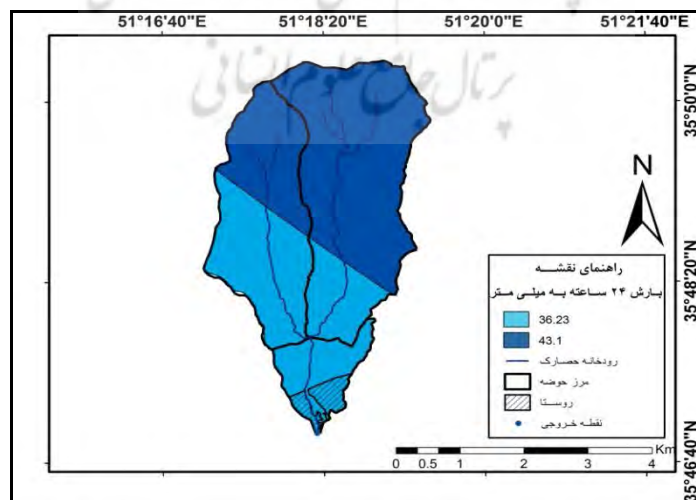
1- Inverse Distance Weighting



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (مأخذ: نگارندگان)



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه (مأخذ: سازمان جنگل‌ها و مراتع استان تهران)



شکل ۴- نقشه پراکنش مکانی حداکثر بارش ۲۴ ساعته حوضه آبخیز حصارک

با استفاده از روش IDW (مأخذ: نگارندگان)

جدول ۱- حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته (میلی‌متر) در ایستگاه‌های منتخب اطراف حوضه (دوره آماری ۱۳۷۹-۱۳۹۲)

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (M)	بارش ۲۴ ساعته (Mm)
سنگان	۵۱/۲۳	۳۵/۸۶	۲۱۰۰	۳۸/۵۹
درکه	۵۱/۳۸	۳۵/۸	۱۷۰۰	۳۸/۳۷
سد کرج	۵۱/۰۸	۳۵/۹۵	۱۶۱۳	۳۷
کندسلفی	۵۱/۶	۳۵/۸	۱۹۵۰	۳۷/۳۳
شمشک	۵۱/۴۹	۳۶	۲۷۰۰	۵۴/۰۴
آهار	۵۱/۴۶	۳۵/۹۳	۲۱۰۰	۴۹/۰۸
راحت آباد	۵۱/۶	۳۵/۸	۲۳۸۴	۴۹
فشم	۵۱/۵۳	۳۵/۹۳	۱۹۴۰	۴۸/۱۲
شهرستانک	۵۱/۳۳	۳۵/۹۵	۲۱۹۳	۴۵/۹۱
کیگا	۵۱/۳۲	۳۵/۸۶	۲۰۴۲	۴۸/۵
بیلقان	۵۱	۳۵/۸	۱۳۸۲	۲۷/۶۱
رندان	۵۱/۲۸	۳۵/۸۸	۲۰۲۶	۳۷/۳
کشار	۵۱/۲۳	۳۵/۸۱	۱۷۳۳	۳۵/۲۷
امامه	۵۱/۵۸	۳۵/۹۱	۲۲۴۸	۵۵/۱۶
افجه	۵۱/۷	۳۵/۸۵	۱۷۹۰	۵۲/۲۹
آب سطحی	۵۱/۱۸	۳۵/۶۸	۱۲۴۰	۲۸/۷۴
عباسپور	۵۱/۳۸	۳۵/۷	۱۴۸۲	۳۶/۳۱
رودک	۵۱/۵	۳۵/۸	۱۷۱۴	۵۱/۲۹
سعیدآباد	۵۱/۱۸	۳۵/۶۸	۱۱۲۵	۲۴/۴۴
رودبار قصران	۵۱/۵	۳۵/۸	۱۹۰۰	۶۱

### تعیین عوامل مؤثر بر تولید رواناب

تجزیه مؤلفه‌های اصلی می‌تواند به عنوان روشی در کاهش داده‌ها مورد استفاده قرار گیرد تا مجموعه داده‌هایی که شامل تعداد زیادی متغیر است به تعداد مناسب و معقول کاهش یابد (نصرتی، ۱۳۹۲: ۶۳). همچنین تجزیه مؤلفه‌های اصلی یک شیوه چندمتغیره است که برای توصیف روابط درونی برخی از متغیرهای هم‌بسته از نظر برخی فاکتورهای مهم استفاده می‌شود (ویچرمن و جانسون، ۱۹۹۲). در این پژوهش ۲۲ متغیر مرتبط با ویژگی‌های اقلیم، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، خاک و فیزیوگرافی به همراه ارتفاع رواناب حاصل از روش SCS و مدل HEC- HMS (جدول ۲) استفاده شد. به طوری که فرض شد ارتفاع رواناب تحت کنترل ویژگی‌های محیطی بوده و تحلیل آمون آماری تجزیه مؤلفه‌های اصلی می‌تواند عوامل کنترل‌کننده رواناب را مشخص نماید. با توجه به اینکه در این تحقیق از تکنیک آماری چندمتغیره تجزیه مؤلفه‌های اصلی استفاده گردید؛ لذا پیش از

انجام هر یک از آنها ابتدا فرض‌های مرتبط با نوع آزمون برای تمام داده‌های مورد استفاده، انجام شد. به منظور بررسی تناسب و کیفیت داده‌ها برای PCA از آماره‌های KMO و بارتلت استفاده شد. KMO معیاری از کفایت نمونه‌برداری است که صلاحیت کاهش داده‌ها به گروه‌های کوچکتر را تعیین می‌کند. آماره کرویت بارتلت نشان می‌دهد که آیا ماتریس همبستگی، یک ماتریس همسان و واحد است؛ که غیر وابستگی متغیرها را نشان می‌دهد. مقادیر بسیار کوچک (کمتر از ۰/۰۵) بیانگر این است که روابط معنی‌داری بین متغیرها وجود دارد. به منظور اجتناب از اثر مقیاس‌های گوناگون متغیرها، داده‌ها استاندارد شدند در این صورت میانگین برابر با صفر و انحراف معیار برابر با یک خواهد شد (میر داوودی و همکاران، ۱۳۸۵: ۲۰۳).

به‌طور کلی در سه مرحله روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی، خصوصیتی که بیشترین نقش را در عوامل محیطی مؤثر بر تولید رواناب داشته‌اند تعیین گردید.

و مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در تولید رواناب حوضه تعیین شدند.

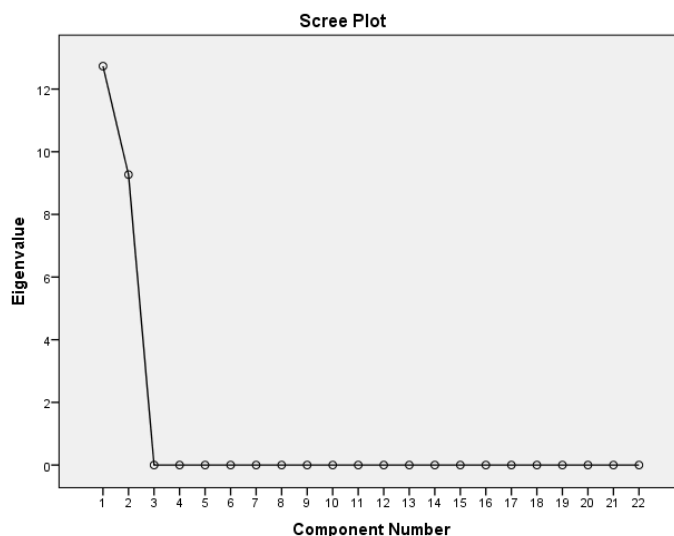
### نتایج و یافته

از آنجایی که تعداد ۲۲ متغیر در ۳ زیرحوضه جهت بررسی انتخاب شدند (جدول ۲) برای تعیین میزان کفایت داده از آماره KMO استفاده شد. با در نظر گرفتن  $KMO=0/92$  و ضریب بارلت کمتر از ۰/۰۱ برای هر دو روش بکار برده شده برای تعیین رواناب (SCS و HMS-HEC)، میزان کفایت داده تأیید شد. در طی تحلیل ۲۲ متغیر در ۳ زیرحوضه مورد بررسی، مشخص شد که داده‌ها حول ۲ مؤلفه با مقادیر ویژه بیش از یک خلاصه شدند.

در مرحله اول مقدار بار یا وزن ویژه برای هر مؤلفه با استفاده از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی تعیین شد. در مرحله دوم فاکتورهایی که دارای مقدار ویژه بیش از یک بودند انتخاب شدند. پس از انتخاب اولیه وزن مؤلفه‌ها، قدم بعدی دوران آن‌ها برای بدست آوردن مؤلفه‌هایی است که به آسانی تفسیر شوند. روش واریمکس عمومی‌ترین روش دوران متعامد است که مربعات عناصر ستونی برآورد ماتریس وزن مؤلفه‌ها را ماکزیمم می‌سازد. در داخل هر مؤلفه انتخاب شده که مقدار ویژه بیش از یک داشتند، وزن فاکتورهای محیطی در آن مؤلفه‌ها بررسی و خصوصیتی که دارای وزن بیشتری برای آن مؤلفه‌ها بودند به‌عنوان شاخص آن مؤلفه انتخاب گردیدند (کیاشمشکی، ۱۳۹۳: ۷۸)

جدول ۲- مشخصات زیرحوضه‌های حوضه آبخیز حصارک

زیرحوضه ۳	زیرحوضه ۲	زیرحوضه ۱	پارامترهای استاندارد شده
۵/۶۲	۵/۱۳	۶/۳۶	رواناب با روش SCS (Mm)
۲/۸۴	۲/۳	۳/۵۹	رواناب با مدل HEC- HMS (Mm)
۳۸	۴۵/۷۷	۳۹/۳۴	درصد شیب حوضه
۱۴/۴	۲۲/۵۶	۸/۲	درصد شیب آبراهه
۷/۱	۴/۵۶	۱/۷	طول کل آبراهه (Km)
۷/۳	۵/۰۹	۱/۵	مساحت (Km <sup>2</sup> )
۴۰/۷۲	۵۲/۱۳	۴۴/۱۶	درصد سیلت
۱۳/۱۲	۷۲/۹۲	۵۰/۹۶	درصد شن
۳۲/۱۶	۲۸/۵۲	۱۳/۱۶	درصد رس
۷۵	۷۸	۸۰	متوسط شماره منحنی (CN)
۱/۵	۷/۰۷	۴/۶۶	درصد مساحت باغ
۸۵/۴۷	۷۰/۹۲	۶۷/۳۳	درصد مساحت مراتع
۵/۸۹	۰	۰/۶۶	درصد مساحت جنگل
۰	۰	۲۶/۶۶	درصد مساحت شهر
۶/۷۱	۲۱/۰۲	۰	درصد مساحت زمین زراعی
۰/۱۳	۰	۰	درصد مساحت رخنمون سنگی
۰	۰/۱۱	۰	درصد مساحت صخره
۱۷۲۰	۱۷۲۰	۱۵۸۰	حداقل ارتفاع (متر)
۲۷۵۰	۲۷۵۰	۲۰۶۰	حداکثر ارتفاع (متر)
۴۹/۵۴	۳۷/۳۹	۹/۴۹	تراکم زهکشی
۲۳/۵۶	۸۶/۸۳	۶۷/۲۶	درصد مساحت سازندهای زمین شناسی با نفوذپذیری کم
۷۶/۱۶	۱۰/۲۱	۱۸	درصد مساحت سازندهای زمین شناسی با نفوذپذیری متوسط
۰	۱/۱۷	۱۳/۳۳	درصد مساحت سازندهای زمین شناسی با نفوذپذیری زیاد
۴۱/۷۵	۳۸/۱۶	۳۶/۲۳	بارش (Mm)



شکل ۵- نمودار Scree منتج از تحلیل عاملی زیر حوضه‌ها بر اساس روش SCS

با توجه به شکل ۵ و ۶ مقدار ویژه بعد از مؤلفه دوم به سرعت افت می‌کند. در هر دو روش فوق مقادیر ویژه مؤلفه‌های اول و دوم بیشتر از یک می‌باشد (شکل‌های ۵ و ۶).

جدول ۳- مقادیر ویژه و واریانس توجیه شده پارامترهای منتخب شده حوضه حصارک بر اساس روش SCS

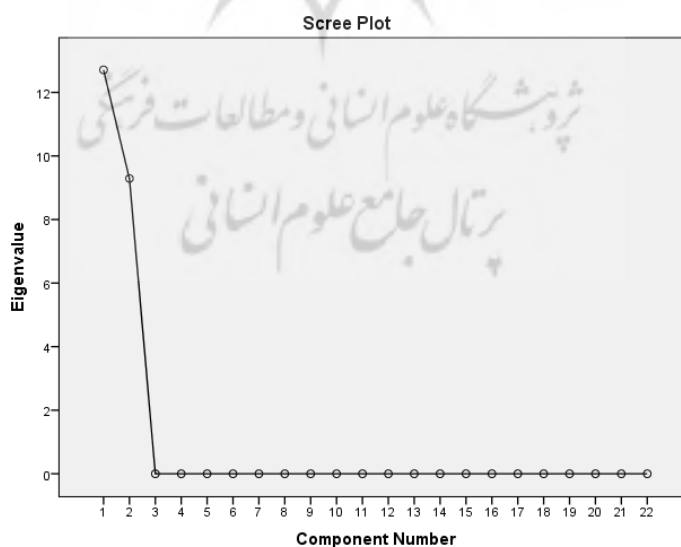
عامل	مقادیر ویژه اولیه			مقادیر ویژه مؤلفه‌های اصلی		
	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی
۱	۱۲/۷۳	۵۷/۸۶	۵۷/۸۶	۱۲/۷۳	۶۲/۳	۶۲/۳
۲	۹/۲۶	۴۲/۱۳	۱۰۰	۹/۲۶	۳۷/۷	۱۰۰

بر اساس نتایج جدول ۳، درصد توجیه واریانس هر یک از مؤلفه‌ها به ترتیب عبارتند از ۵۷/۸۶ و ۴۲/۱۳ می‌باشند. بار مؤلفه‌ها را می‌توان به صورت قوی، متوسط و ضعیف به ترتیب بر اساس مقادیر عددی بیش از ۰/۷۵، ۰/۵-۰/۷۵ و ۰/۵-۰/۳ طبقه‌بندی نمود. بر اساس نتایج بر اساس داده‌های ارتفاع رواناب حاصل از روش SCS و سایر متغیرها، عامل دوم ۴۲/۱۳ درصد از کل واریانس را توجیه می‌کند (جدول ۳). بار عامل شیب حوضه، شیب رود، درصد سیلت، درصد ماسه، درصد مساحت کاربری باغ، درصد مساحت کاربری کشاورزی، درصد مساحت کاربری صخره، درصد مساحت کاربری شهری و درصد مساحت سازندهایی با نفوذپذیری کم با بار وزنی به ترتیب ۰/۹۷، ۰/۹۲، ۰/۹۳، ۰/۷۶، ۰/۷۹، ۰/۹۶، ۰/۹۹، ۰/۸۳ و ۰/۷۹ با ارتفاع رواناب حاصل از روش SCS که بار وزنی آن ۰/۸۳ می‌باشد، بار عاملی بالای ۰/۷۵ داشته و در تولید رواناب حوضه آبخیز حصارک تأثیرگذار می‌باشند و این متغیرها مربوط به مؤلفه دوم است. با توجه به این که تعداد عوامل مربوط به کاربری اراضی بیشتر است؛ لذا مؤلفه دوم به عنوان عامل پوشش گیاهی یا کاربری اراضی نامیده می‌شود. در عامل اول ۵۷/۸۶ درصد از واریانس کل توجیه می‌شود، اما بار عاملی رواناب در این مؤلفه دارای مقدار کم بوده و با سایر متغیرها در یک مؤلفه قرار نمی‌گیرند.

بر اساس نتایج جدول ۳، درصد توجیه واریانس هر یک از مؤلفه‌ها به ترتیب عبارتند از ۵۷/۸۶ و ۴۲/۱۳ می‌باشند. بار مؤلفه‌ها را می‌توان به صورت قوی، متوسط و ضعیف به ترتیب بر اساس مقادیر عددی بیش از ۰/۷۵، ۰/۵-۰/۷۵ و ۰/۵-۰/۳ طبقه‌بندی نمود. بر اساس نتایج بر اساس داده‌های ارتفاع رواناب حاصل از روش SCS و سایر متغیرها، عامل دوم ۴۲/۱۳ درصد از کل واریانس را توجیه می‌کند (جدول ۳). بار عامل شیب حوضه، شیب رود، درصد سیلت، درصد ماسه، درصد مساحت کاربری باغ، درصد مساحت کاربری کشاورزی، درصد مساحت کاربری صخره، درصد مساحت کاربری شهری و درصد مساحت سازندهایی با نفوذپذیری کم در عامل دوم، بار مثبت قوی دارند و پارامترهای درصد مساحت کاربری پوشش درختی و درصد مساحت سازندهایی با نفوذپذیری متوسط دارای بار عاملی منفی متوسط و بیش از ۰/۵ می‌باشند (جدول ۴). با توجه به جدول ۴،

جدول ۴- ماتریس دورانی واریماکس پارامترهای منتخب حوضه آبخیز حصارک بر اساس روش SCS

بار عامل ها		پارامترهای استاندارد شده
۲	۱	
۰/۸۳	-۰/۵۵	ارتفاع رواناب با روش SCS
۰/۹۷	-۰/۲۱	شیب حوضه
۰/۹۲	۰/۳۸	شیب آبراهه
۰/۱	۰/۹۹	طول رود
۰/۱۸	۰/۹۸	مساحت
۰/۷۶	-۰/۶۶	درصد شن
۰/۳۸	۰/۹۲	درصد رس
۰/۹۳	-۰/۳۴	درصد سیلت
۰/۷۹	-۰/۶	درصد مساحت کاربری باغ
۰/۹۶	۰/۲۶	درصد مساحت کاربری کشاورزی
-۰/۴۵	۰/۸۹	درصد مساحت کاربری برون زدگی سنگی
۰/۹۹	-۰/۵۳	درصد مساحت کاربری صخره
-۰/۲۷	۰/۹۶	درصد مساحت کاربری مرتع
-۰/۵۶	۰/۸۴	درصد مساحت کاربری پوشش درختی
۰/۸۳	-۰/۵۴	درصد مساحت کاربری شهر
۰/۷۹	-۰/۷۱	درصد مساحت سازندهای زمین شناسی با نفوذپذیری کم
-۰/۵۴	۰/۸۳	درصد مساحت سازندهای زمین شناسی با نفوذپذیری متوسط
-۰/۴۷	-۰/۸۷	درصد مساحت سازندهای زمین شناسی با نفوذپذیری زیاد
۰/۵۴	۰/۸۳	حداقل ارتفاع
۰/۵۴	۰/۸۳	حداکثر ارتفاع
۰/۲۷	۰/۹۶	تراکم زهکشی
-۰/۱۱	۰/۹۹	بارش



شکل ۶- نمودار Scree منتج از تحلیل عاملی زیر حوضه ها بر اساس مدل HEC- HM



جدول ۵- مقادیر ویژه و واریانس توجیه شده پارامترهای منتخب شده حوضه حصارک بر اساس مدل HEC- HMS

عامل	مقادیر ویژه اولیه			مقادیر ویژه مؤلفه های اصلی		
	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی
۱	۱۱/۸۶	۴۹/۳۴	۴۹/۳۴	۱۱/۸۶	۴۹/۳۴	۴۹/۳۴
۲	۹/۲۹	۶۰/۶۶	۱۰۰	۹/۲۹	۶۰/۶۶	۱۰۰

جدول ۶- ماتریس دورانی، واریانس پارامترهای منتخب حوضه آبخیز حصارک بر اساس مدل HEC- HMS

بار عامل ها		پارامترهای استاندارد شده
۲	۱	
-۰/۵۳	۰/۸۴	ارتفاع رواناب با روش HEC- HMS
۰/۲۱	۰/۹۵	شیب حوضه
۰/۳۷	۰/۹۴	شیب آبراهه
۰/۹۹	۰/۱	طول رود
۰/۹۸	۰/۱۹	مساحت
-۰/۶۶	۰/۸۳	درصد شن
۰/۹۲	۰/۳۸	درصد رس
-۰/۳۴	۰/۹۲	درصد سیلت
-۰/۶۱	۰/۷۱	درصد مساحت کاربری باغ
۰/۹۶	۰/۲۷	درصد مساحت کاربری کشاورزی
۰/۸۹	-۰/۴۵	درصد مساحت کاربری برون زدگی سنگی
۰/۹۹	-۰/۵۶	درصد مساحت کاربری صخره
۰/۲۷	۰/۹۶	درصد مساحت کاربری مرتع
۰/۸۴	۰/۵۳	درصد مساحت کاربری پوشش درختی
-۰/۵۳	-۰/۵۴	درصد مساحت کاربری شهر
۰/۶۱	-۰/۷۱	درصد مساحت سازندهای زمین شناسی با نفوذپذیری کم
۰/۸۳	۰/۷۶	درصد مساحت سازندهای زمین شناسی با نفوذپذیری متوسط
-۰/۸۷	۰/۹۸	درصد مساحت سازندهای زمین شناسی با نفوذپذیری زیاد
۰/۵۴	۰/۸۳	حداقل ارتفاع
۰/۵۴	۰/۸۳	حداکثر ارتفاع
۰/۶۹	۰/۲۷	تراکم زهکشی
۰/۹۹	-۰/۱۱	بارش

وزنی آن ۰/۸۴ می‌باشد، در یک مؤلفه قرار می‌گیرند و بدین ترتیب بر رواناب حاصل از مدل HEC- HMS تأثیرگذار می‌باشند. با توجه به اینکه تعداد عوامل مربوط به جنس زمین نسبت به سایر متغیرها بیشتر است در نتیجه عامل اول، عامل زمین‌شناسی نامیده می‌شود. بار عاملی سایر پارامترها به دلیل اینکه بین ۰/۳ - ۰/۵ و حتی کمتر از آن می‌باشد جزء پارامترهای بدون اثر محسوب می‌شود. در عامل دوم نیز بار عاملی رواناب در مقایسه با عامل اول کمتر می‌باشد؛ لذا

بر اساس جدول ۵، درصد توجیه واریانس هر یک از مؤلفه‌ها به ترتیب ۴۹/۳۴ و ۶۰/۶۶ می‌باشند. با توجه به جدول ۶، متغیرهای شیب حوضه، شیب رود، درصد شن، درصد سیلت، درصد مساحت کاربری مرتع، درصد مساحت سازندهایی با نفوذپذیری متوسط، درصد مساحت سازندهایی با نفوذپذیری زیاد، حداکثر ارتفاع و حداقل ارتفاع با بار وزنی به ترتیب ۰/۹۵، ۰/۹۴، ۰/۸۳، ۰/۹۲، ۰/۹۶، ۰/۷۶، ۰/۹۸، ۰/۸۳ و ۰/۸۳ با ارتفاع رواناب حاصل از مدل HEC-HMS که بار

مختلف کشور با هدف شناسایی علمی و دقیق عوامل مؤثر بر تولید رواناب حوضه‌های آبخیز انجام شود.

#### منابع

- ۱- اسلامی، علیرضا. ۱۳۸۴. تأثیر همگنی حوضه‌های آبخیز در روابط منطقه‌ای سیلاب. مجله حفاظت آب و خاک، جلد ۱، شماره ۳، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گرگان.
- ۲- امیدوار، کمال. آمنه کیانفر و شمس‌اله. ۱۳۸۹. پهنه‌بندی سیلخیزی حوضه آبخیز کنجانچم. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۲، شماره ۷۲، دانشگاه تهران.
- ۳- توری، عبدالرسول. ۱۳۸۲. واسنجی و مقایسه کاربرد برخی‌ای تجربی برای برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای در حوضه آبخیز کرخه، مجله حفاظت خاک و آبخیزداری، شماره ۳، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- ۴- سازمان جنگل‌ها و مراتع استان تهران. ۱۳۹۰. نقشه کاربری اراضی، شمال تهران، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰.
- ۵- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. ۱۳۷۵. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ تهران، کن.
- ۶- شرکت جهاد تحقیقات آب و انرژی. ۱۳۹۰. طرح جامع احیاء منابع طبیعی اراضی مشرف به منطقه ۵ شهرداری تهران، گزارش هیدرولوژی.
- ۷- کلتنه، امان محمد. ۱۳۸۱. بررسی عوامل مؤثر بر رسوبدهی حوضه‌های آبخیز البرز شمالی و جنوبی، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، استاد راهنما: سادات فیض نیا، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، گروه آبخیزداری.
- ۸- کیاشمشکی، سارا. ۱۳۹۳. نقش عوامل مؤثر بر رخداد بهمن و پهنه‌بندی آن در محور میگون - شمشک، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، استاد راهنما: کاظم نصرتی، دانشگاه شهیدبهشتی، دانشکده علوم زمین، گروه جغرافیای طبیعی.
- ۹- داوودی راد، علی اکبر. ۱۳۷۸. بررسی روابط بین عوامل مورفومتری حوضه و دبی سیلابی در حوضه‌های آبخیز مرکزی ایران، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، استاد راهنما: محمد مهدوی، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، گروه جغرافیای طبیعی.
- ۱۰- مزبانی، مهدی. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی پتانسیل سیلخیزی

پارامترهایی که دارای بار عاملی قوی هستند با رواناب در یک عامل قرار نمی‌گیرند. در پژوهشی که توسط نصرتی و همکاران در حوضه آبخیز دره شهر انجام شد، نشان داد که در زیرحوضه‌ها ۲ پارامتر فیزیوگرافی (مساحت و تراکم زهکشی) و در مناطق همگن هیدرولوژیک ۶ پارامتر فیزیوگرافی (مساحت، طول آبراهه اصلی، جمع کل آبراهه‌ها، تراکم شبکه زهکشی، نسبت انشعاب و زمان تمرکز) در پتانسیل سیلخیزی حوضه مؤثر می‌باشند (نصرتی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۱۹). همچنین مونتانو و همکارانش در مطالعه‌ای با استفاده از تکنیک تحلیل عاملی در پاترامیکا، ویژگی‌های شیب، جهت شیب، بارش، تابش خورشید، پوشش گیاهی و تا حدودی فعالیت‌های انسانی را از جمله دلایل وقوع بهمن می‌دانند (مونتانو و همکاران، ۲۰۱۱: ۷۰۰-۶۹۱).

#### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تجزیه مؤلفه‌های اصلی برای ۲۰ متغیر محیطی و ارتفاع رواناب با روش SCS، و ارتفاع رواناب با مدل HEC- HMS، انجام شد. براساس نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی ارتفاع رواناب حاصل از روش SCS با عامل دوم به عنوان عامل پوشش گیاهی یا کاربری اراضی دارای بار عاملی قوی می‌باشد. همچنین ارتفاع رواناب حاصل از مدل HEC- HMS با عامل اول یعنی زمین‌شناسی در یک عامل قرار می‌گیرند؛ بنابراین می‌توان گفت که تعیین زیرحوضه‌ها با ویژگی‌های ژئومورفولوژیک مشابه و دسته‌بندی آنها برای اجرای هماهنگ عملیات کنترل سیلاب، به‌عنوان روشی برای مدیریت سیلاب در حوضه‌های فاقد آمار پیشنهاد می‌شود. همچنین نظر به تأثیر فراوان شناخت صحیح عوامل دخیل در تولید رواناب در حوضه‌های آبخیز کشور از جهت تأثیرگذاری بر شیوه‌های مدیریتی حوضه، اختصاص منابع مالی در امر مبارزه با تولید رواناب و سیلاب، دستیابی مدل‌های مطلوب در این بخش و افزایش بازدهی طرح‌های حفاظت آب و خاک، پیشنهاد می‌شود مطالعات جامعی در مناطق

16. Johnson, R.A., and Wichern, D.W. 1992. Applied multivariate statistical analysis Prentice-Hall: Englewood Cliffs, NJ, p: 184-188.
17. Lin, G.F. and Wang, Ch.M. 2006. Performing cluster analysis and discrimination analysis of hydrological factors in one step. *Advances in Water Resources*, 29: 1573-1585.
18. Munteanu, A., Nedelea, A., and Comanescu, L. 2011. The dynamics of the snow avalanche affected areas in Piatra Mica mountains (Romania). *Comptes Rendus Geoscience*, 343(10): 691-700.
19. Noori, R., Karbassi, A.R., Moghaddamnia, A., Han, D., Zokaei-Ashtiani, M.H., Farokhnia, A. and Ghafari, G.M. 2011. Assessment of input variables determination on the SVM model performance using PCA, Gamma test, and forward selection techniques for monthly stream flow prediction. *Journal of Hydrology*, 401: 177-189.
20. Nosrati, K., Laaha, G., Sharifnia, S.A., and Rahimi, M. 2015. Regional low flow analysis in Sefidrood Drainage Basin, Iran using principal component regression, *Hydrology Research*, 46 (1): 121-136.
- در حوضه آبخیز سراب دره شهر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: محمدرضا ثروتی و محمود احمدی، دانشگاه شهیدبهشتی، دانشکده علوم زمین، گروه جغرافیای طبیعی.
- ۱۱- میرداوودی، حمیدرضا. حجت‌اله زاهدی و مسعود شکویی و جواد ترکان. ۱۳۸۵. شناخت عوامل اکولوژیکی مؤثر بر پوشش گیاهی مراتع با استفاده از تجزیه تحلیل‌های چندمتغیره (مطالعه موردی: جنوب استان مرکزی)، فصلنامه علمی- پژوهشی مرتع و بیابان ایران، دوره ۱۳، شماره ۳، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور.
- ۱۲- میرلطیفی، سیدمجید. اکرم سیفی و حسین ریاحی. ۱۳۸۹. توسعه مدل ترکیبی رگرسیون چندگانه-تحلیل مؤلفه‌ها و عامل‌های اصلی (MLR-PCA) در پیش‌بینی تبخیر-تعرق مرجع (مطالعه موردی: ایستگاه کرمان)، نشریه آب و خاک، دوره ۲۴، شماره ۶، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۱۳- نصرتی کاظم. محمود احمدی و محمدرضا ثروتی و مهدی مزبانی. ۱۳۹۲. تعیین عوامل مؤثر بر پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز دره شهر براساس مناطق همگن هیدرولوژیک، مجله آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۳، شماره ۸، دانشگاه گلستان.
- ۱۴- نصرتی، کاظم. ۱۳۹۲. روش‌های کاربردی در پژوهش علمی، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد شهید بهشتی. دانشگاه شهید بهشتی.
15. Caratti, J.F., Nesser, J.A. and Maynard, C.L. 2004. Watershed classification using canonical correspondence analysis and clustering techniques: A cautionary note. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 40(5): 1257-1268.