

تحلیل عاملی پارامترهای مورفومتریک و مدل‌سازی سیلاب (مطالعه موردی حوضه‌های آبریز استان کردستان)

فاطمه منبری - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.
امجد ملکی* - دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.
هادی نبیری - استادیار ژئومورفولوژی، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، کردستان.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۱۹ تأیید نهایی: ۱۴۰۲/۰۲/۱۱

چکیده

شاخص‌های مورفومتریک نقش تعیین‌کننده‌ای در پاسخ‌های هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز دارند، به همین دلیل توجه ژئومورفولوژیست‌ها را به خود جلب کرده‌اند. براین اساس تحقیق حاضر با هدف بررسی اهمیت این پارامترها در سیل خیزی حوضه‌های آبریز استان کردستان با استفاده از روش تحلیل عاملی انجام گرفته است. در این تحقیق ابتدا ۱۲ شاخص مورفومتریک با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و ابزار GIS استخراج گردید. با استفاده از تحلیل عاملی و دوران متغیرها به روش واریانس، متغیرها در سه عامل گروه‌بندی شده که هر یک از متغیرها با توجه به درجه همبستگی خود با هر عامل در یکی از عوامل سه‌گانه قرار گرفتند. سه عامل حدود ۷۸ درصد از واریانس و پراکندگی مشاهدات را در بر می‌گیرد که حجم بسیار بالا و مناسبی به حساب می‌آید. بر این اساس متغیرهای مساحت، طول حوضه، طول جریان، نسبت بافت و تراکم زهکشی که همبستگی بالایی با عامل اول دارند، در عامل اول قرار گرفته و حدود ۴۴ درصد از واریانس و پراکندگی مشاهدات را در بر می‌گیرند که می‌توان گفت که مؤثرترین متغیرها در سیل خیزی حوضه می‌باشند که در این بین، متغیرهای مساحت با ۰/۹۵۵، طول حوضه با ۰/۹۳۶ و طول جریان با ۰/۹۰۸ دارای تأثیر بیشتری در سیل خیزی می‌باشند. متغیرهای ضریب کشیدگی، شکل حوضه، ضریب فرم، ضریب گردی و ضریب فشردگی در عامل دوم قرار گرفته و ۲ متغیر فراوانی آبراهه و نسبت انشعاب در عامل سوم قرار می‌گیرند. پس از تعیین شاخص‌های با بیشترین همبستگی که در سه گروه مساحت، شکل و آبراهه نام گذاری شدند اقدام به تحلیل رگرسیون و مدل‌سازی سیل خیزی حوضه‌های آبریز گردید. نتایج نشان داد که تحلیل عاملی با استفاده از روش مؤلفه‌های اصلی می‌تواند روشی مفید برای گروه بندی و تعیین شاخص‌های مؤثر در سیل خیزی حوضه‌های آبخیز باشد.

واژگان کلیدی: سیلاب، تحلیل عاملی، متغیرهای مورفومتری، حوضه‌های آبخیز استان کردستان.

مقدمه

حوضه آبخیز واحدی ایده‌آل برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و خاک است (گاجبیه^۱ و همکاران، ۲۰۱۳، ۵۲). فیزیوگرافی، زهکشی، ژئومورفولوژی، خاک، کاربری اراضی، پوشش اراضی از جمله پارامترهایی هستند که در برنامه‌ریزی حوضه‌های آبخیز نقش بسزایی دارند. آبخیزداری مستلزم بهره‌برداری مناسب از منابع زمین، آب، جنگل و خاک است. بنابراین، ارزیابی واقع بینانه رفتار هیدرولوژیکی یک حوضه آبخیز برای تدوین برنامه مدیریت موثر، مهم است (شارما^۲ و همکاران، ۲۰۱۵، ۸۹). خصوصیات فیزیوگرافی حوضه‌ها، نه تنها بر رژیم هیدرولوژیکی آن‌ها از جمله میزان آبدهی سالانه، حجم سیلاب‌ها، شدت فرسایش خاک و رسوب تولیدی اثر مستقیم دارد، بلکه به طور غیر مستقیم با تاثیر بر ویژگی‌های آب و هوا و وضعیت اکولوژی و پوشش گیاهی، رژیم آبی حوضه آبخیز را به میزان زیادی تحت تاثیر قرار می‌دهد (ضیائی، ۱۳۸۶: ۲۵). تجزیه و تحلیل مورفومتری حوضه‌های زهکشی و شبکه کانال، نقش مهمی در شناخت رفتار جوی و هیدروژئولوژیکی حوضه زهکشی ایفا می‌کند و بیان‌کننده اقلیم غالب، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و ساختار حوضه است (حاجام^۳ و همکاران، ۲۰۱۳). در سال‌های اخیر، تحلیل کمی ویژگی‌های مورفومتریکی حوضه با استفاده از شاخص‌های ریاضی به طور گسترده برای اهداف متعدد به ویژه برای ارزیابی پتانسیل خطر سیلاب حوضه‌های زهکشی انجام شده است (بات^۴، ۲۰۱۹). مطالعات مورفومتری در زمینه هیدرولوژی ابتدا توسط هورتون^۵ و استرالر^۶ در دهه ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ آغاز شد. هدف آن‌ها مطالعه ویژگی‌های مهم جریان رودخانه‌ای و تمایز آنها از سایر ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری جریان رودخانه بود. یکی از اولین ویژگی‌های مورفومتری رودخانه که کمی شد، سلسله مراتب بخش‌های مختلف جریان بود. بعدها محققان در سایر نقاط جهان با توجه به اهمیت این موضوع تحقیقات متعددی در این زمینه انجام دادند. وایت^۷ (۱۹۷۵) به تحلیل عاملی ویژگی‌های حوضه آبخیز در پنسیلوانیا و ایالات اطراف پرداخت. وی برای این منظور از پارامترهایی مانند تراکم زهکشی، شیب کانال، عوامل شکل و عامل هندسی در تجزیه و تحلیل عاملی ۱۱۲ حوضه استفاده کرد. و در نهایت حوضه‌های آبخیز را در سه دسته همگن با سیلاب بسیار بالا تا حوضه‌های با سیلاب ناچیز تقسیم بندی نمود. سینگ^۸ و همکاران (۲۰۰۹) از تحلیل عاملی برای گروه‌بندی پارامترهای ژئومورفیک برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی استفاده نمودند. آنها نتیجه گرفتند که دو مؤلفه اصلی اول همبستگی بالایی با برخی پارامترها همچون شیب متوسط حوضه و نسبت ناهمواری حوضه دارد. و شاخص‌هایی همچون طول جریان و نسبت انشعابات کمترین همبستگی را با مؤلفه‌های اصلی دارد و از گروه‌بندی پارامترها حذف می‌گردند. همچنین سه مؤلفه اول با هم ۸۷/۰۱ درصد از کل واریانس توضیح داده شده را تشکیل می‌دهند. نیکام و همکاران (۲۰۱۴)، از تجزیه و تحلیل عاملی (تحلیل مؤلفه‌های اصلی) برای مدل‌سازی مورفومتریکی در حوضه‌های آبخیز کوچک در هند استفاده نمود. نتایج نشان داد که پارامترهای عامل شکل، ضریب گردی و نسبت کشیدگی در مؤلفه اول قرار گرفته و ۶۸/۵۲ درصد واریانس را به خود اختصاص داده اند. ایتنال^۹ و همکاران (۲۰۱۵)، به تجزیه و تحلیل مورفومتریکی و اولویت‌بندی زیرحوضه‌های حوضه آبخیز دوداهالا واقع در جنوب هند با کمک ابزار سنجش‌ازدور پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که حوضه‌های دارای وسعت کم و مقادیر پایین شاخص‌های مورفومتریکی دارای جریان پیک نسبتاً بالا برای مدت کوتاه است. نتایج نشان داده است که معیشت افراد و جان‌آنها در این مناطق

1 - Gajbhiye

2 - Sharma

3. Hajam

4. Batt

5. Horton

6. Strahler

7- White

8- Singh

9. Itnal

به سبب مستعد بودن در برابر وقوع سیلاب در خطر است و آمادگی در برابر خطرات قریب‌الوقوع، ضروری است. نارندرا^۱ و لامسوگه^۲ (۲۰۱۹) به تحلیل عاملی پارامترهای مورفومتری حوضه بازالتی، ماهاراشترا پرداختند. آنها با استفاده از تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی ۴۴ پارامتر مورفومتری را به چهار مولفه اصلی کاهش دادند و پی بردند که دو مولفه خطی و مساحت مهمترین پارامترها و مولفه‌های برجستگی و عدم تقارن دارای کمترین نقش در رفتار هیدرولوژیکی حوضه می‌باشند. و نتیجه گرفتند که تحلیل عاملی با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های (PCA) اصلی ابزاری مهم در گروه‌بندی پارامترهای ژئومورفولوژیکی بوده که پارامترهایی را که اثر ناچیزی دارند را برای مراحل مدل‌سازی هیدرولوژیکی حذف می‌نماید. همدان^۳ (۲۰۲۰) به تجزیه و تحلیل هیدرومورفیک حوضه‌های آبریز وادی گابگابا و وادی علاقی با استفاده از GIS و سنجش از دور پرداخت. نتایج با استفاده از ۹ پارامتر مورفومتری مؤثر بر رفتار هیدرولوژیک حوضه‌های آبخیز و تجزیه و تحلیل ضریب همبستگی بین متغیرها و درجات خطر ناشی از سیلاب در حوضه‌های مورد مطالعه، نشان داد که با استفاده از تحلیل‌های آماری می‌توان ویژگی‌های حوضه‌آبخیز را ارزیابی نمود و پتانسیل هیدرولوژیکی حوضه را ترسیم و یک طرح جامع برای مدیریت پایدار حوضه‌های آبخیز تهیه کرد. آلام^۴ و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از پارامترهای مورفومتری به ارزیابی حساسیت حوضه‌های آبخیز به سیلاب‌های ناگهانی^۵. وی با انتخاب ۱۸ پارامتر مورفومتری مطالعه خود را انجام داد و بیان کرد که تجزیه و تحلیل پارامترهای مورفومتری بینش مفیدی در مورد پاسخ هیدرولوژیکی حوضه‌های زهکشی به رخداد بارندگی با شدت بالا ارائه می‌دهد و این اطلاعات برای درک پتانسیل سیل ناگهانی حوضه‌های زهکشی و برای اجتناب از تخریب‌های ناشی از خطر سیلاب ارزشمند است. قنواتی و فرج‌زاده (۱۳۷۹) در تحقیقی به بررسی چگونگی استفاده از روش تحلیل عاملی در ناحیه بندی فیزیوگرافیک حوضه‌های آبریز در حوضه رودخانه‌های زهره و خیرآباد پرداختند. آنها با استفاده از تحلیل عاملی تعداد متغیرهای مورد مطالعه را از ۲۹ متغیر به ۴ عامل اصلی کاهش داده و با شناسایی عوامل مهم در هر ایستگاه، کار ناحیه بندی حوضه‌های آبریز منطقه مورد مطالعه، بر اساس متغیرهای فیزیوگرافیک و هیدرولوژیک را انجام دادند. نجفی و نصری (۱۳۸۸) عوامل مؤثر در سیلاب را در حوضه آبخیز اصفهان - سیرجان به روش تحلیل عاملی مورد مطالعه قرار دادند. و نتیجه گرفتند که عوامل زمان تمرکز با وزن ۳۷/۹ درصد، شیب سطحی حوضه با ۲۹ درصد و تراکم زهکشی آبراهه‌های درجه ۱ با وزن ۲۴/۶ درصد دارای بیشترین تأثیر در ایجاد و تشدید دبی‌های سیلابی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. حلبیان و عسگری (۱۳۹۶) به پهنه بندی شدت سیل خیزی در حوضه‌های آبریز مشخص به کمک تحلیل عاملی - خوشه‌ای پرداختند. آنها برای تعیین شدت سیل خیزی زیرحوضه‌ها را با استفاده از روش‌های آماری شامل تحلیل عاملی - خوشه‌ای و داده‌های ۲۸ شاخص ژئومتری، اقلیمی و فیزیوگرافی مورد بررسی قرار دادند. آنها با استفاده از تحلیل عاملی داده‌ها را در قالب ۵ عامل اصلی شامل شکل، آبراهه، شیب، زهکشی و رواناب خلاصه نمودند. در نهایت نتیجه گرفتند که عامل شکل با مقدار ویژه ۷/۶۴ مهمترین عامل در سیل خیزی حوضه می‌باشد. عسگری و صفاری (۱۳۹۷)، توان سیل خیزی در حوضه آبریز جعفرآباد را با استفاده از تحلیل عاملی مورد بررسی قرار دادند. آنها برای تعیین پتانسیل سیل خیزی زیر حوضه‌ها از روش آماری تحلیل عاملی استفاده کردند و ۲۸ متغیر زیرحوضه‌ها را در ۵ عامل خلاصه‌سازی نمودند و نتیجه گرفتند که از بین متغیرهای مورد مطالعه عامل شکل با مقدار ویژه ۱۱/۳ مهمترین عامل در سیل خیزی حوضه مورد مطالعه می‌باشد. نظری‌پویا (۱۳۹۸) به ارزیابی عملکرد روش تحلیل عاملی در اولیوت بندی سیل خیزی زیرحوضه‌های دامنه شمالی الوند همدان پرداخت. در این تحقیق در مرحله اول پس از استخراج ویژگی‌های اقلیمی و فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها، ابتدا با استفاده از روش تحلیل عاملی نقشه

1 - Narendra

2 - Lamsoge

3 - Hamdan

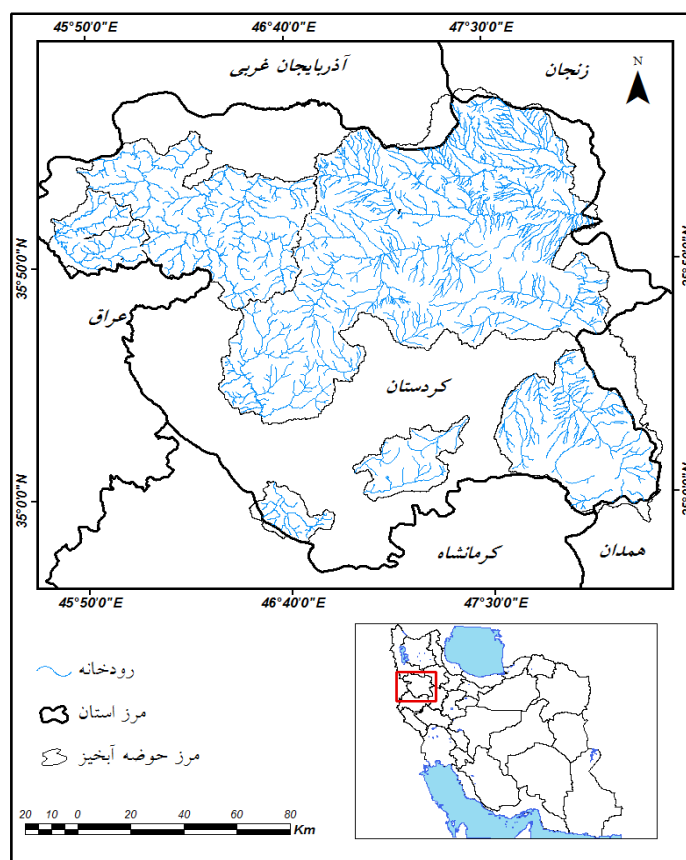
4 - Alam

5 - Flash flood

پتانسیل سیل زیرحوضه‌ها تهیه و ترسیم گردید. سپس با استفاده از روش فرمول استدلالی در تخمین ضریب رواناب، شدت سیل خیزی زیرحوضه‌ها نیز با در نظر گرفتن عوامل مؤثر در ضریب رواناب حوضه از قبیل شیب، کاربری اراضی و وضعیت خاک منطقه تعیین گردید و نقشه پتانسیل و اولویت بندی زیرحوضه‌ها تهیه و ترسیم گردید. با توجه به تغییرپذیری بارش در سطح استان کردستان و کوهستانی بودن این منطقه، میزان سیل خیزی در این منطقه بسیار بالاست. این منطقه همواره خسارت‌های قابل توجهی را به سبب رخداد سیلاب متحمل شده است. از این میان می‌توان به سیل ناشی از بارندگی‌های رگباری ۲۳ تیر ۱۳۷۸ و بارندگی‌های رگباری ۲۱ مرداد ۱۳۸۴ اشاره کرد (حیدری، ۱۳۸۵: ۴۳۹). نبود ایستگاه‌های اندازه‌گیری دبی بر روی رودخانه‌ها برای مطالعه وضعیت سیل خیزی منطقه نیاز به مدل‌های ریاضی را ضروری ساخته است. از این رو مطالعه حاضر با هدف تحلیل پارامترهای مورفومتریک و ارتباط آنها با سیل خیزی منطقه و ارائه مدل‌های ریاضی جهت مطالعه سیل در منطقه صورت گرفته است.

روش تحقیق

محدوده مورد مطالعه شامل ۳۲ حوضه آبریز می‌باشد که بین طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و در محدوده استان‌های کردستان، آذربایجان غربی، همدان، زنجان و کرمانشاه گسترده شده است. وسعت محدوده حدود ۱۹۰۲۸/۶۴ کیلومتر مربع می‌باشد که بخش اعظم آن در استان کردستان قرار دارد (شکل ۱).



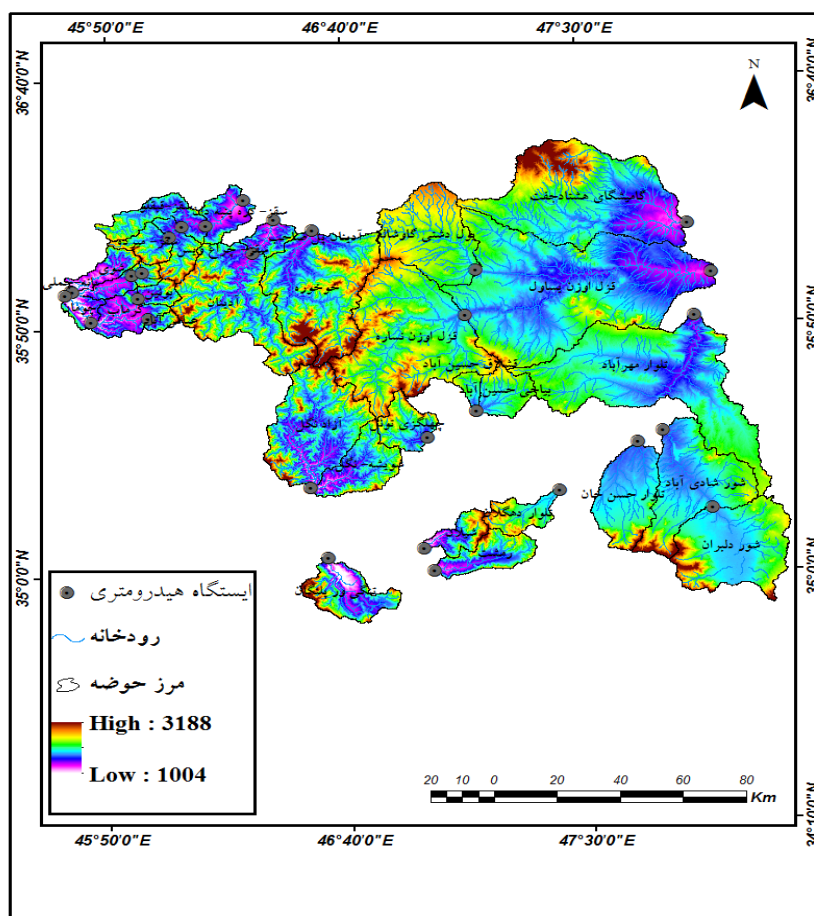
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

مراحل انجام تحقیق

در این پژوهش به منظور مطالعه سیلاب حوضه‌های آبریز استان کردستان و ارتباط آن با شاخص‌های مورفومتری، ابتدا محدوده حوضه‌های منتخب با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰۰) و نرم افزار ARC GIS 10.5 مشخص گردید. شاخص‌های مورفومتری مرتبط با سیلاب استخراج و برای تمامی حوضه‌های مورد مطالعه محاسبه شد (جدول ۱).

جدول ۱: پامترهای مورفومتری یک انتخاب شده

شماره	پارامتر	علامت اختصاری	فرمول ریاضی	مرجع
۱	مساحت حوضه	A	$A = \text{مساحت داخلی حوضه}$	شوم، ۱۹۵۶
۲	طول حوضه	L_b		شوم، ۱۹۵۶
۳	تراکم زهکشی	D_b	$D_d = L_u/A$ $L_u = \text{مجموع طول آبراهه ها}$ $A = \text{مساحت حوضه}$	هورتون، ۱۹۴۵
۴	نسبت انشعاب	R_b	$R_b = N_u/N_{u+1} + 1$ $N_u = \text{تعداد آبراهه ها در رده معین}$ $N_{u+1} = \text{تعداد آبراهه ها در رده بالاتر}$	هورتون، ۱۹۴۵
۵	فراوانی آبراهه ها	F_u	$F_u = N/A$ $N = \text{تعداد آبراهه ها در همه رده ها}$ $A = \text{مساحت حوضه}$	هورتون، ۱۹۶۴
۶	طول جریان	L_o	$L_o = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$	استرالر، ۱۹۶۴
۷	ضریب فرم	R_f	$R_f = A/L_b^2$ $A = \text{مساحت حوضه}$ $L_b = \text{طول حوضه}$	هورتن، ۱۹۳۲
۸	شکل حوضه	B_s	$B_s = L_b^2/A$ $L_b^2 = \text{مربع طول حوضه}$ $A = \text{مساحت حوضه}$	استرالر، ۱۹۶۴
۹	ضریب کشیدگی	R_e	$R_e = \sqrt{A} / \pi / L_b$ $A = \text{مساحت حوضه}$ $L_b = \text{طول حوضه}$	شوم، ۱۹۵۶
۱۰	ضریب گردی	R_c	$R_c = A/A_c = 4\pi P/P^2$ $A = \text{مساحت حوضه}$ $A_c = \text{مساحت دایره که مساحتی برابر با حوضه دارد.}$ $P = \text{محیط حوضه، km}^2$	میلر، ۱۹۵۳
۱۱	ضریب فشردگی	C_c	$C_c = L_{bm}^2/A$ $L_{bm}^2 = \text{بزرگترین طول حوضه}$	میلر، ۱۹۵۳
۱۲	نسبت بافت	T	$T = N_u/P$ $N_u = \text{مجموع تعداد آبراهه ها در یک حوضه معین}$	اسمیت، ۱۹۵۰ هورتون، ۱۹۴۵



شکل ۲: مدل رقومی ارتفاعی و موقعیت ایستگاههای هیدرومتری منطقه مورد مطالعه

در مرحله بعد نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. جهت توزیع نرمال داده‌ها از آزمون کلموگروف-اسمیرونوف تک نمونه‌ای استفاده گردید. این آزمون به دلیل اینکه بر روی بالاترین انحراف‌ها تمرکز دارد، قادر است در تشخیص انحراف از نرمال قوی تر عمل کند (پور کریمی، ۱۳۹۷: ۸۸). در مرحله سوم دوره‌های بازگشت بر اساس داده‌های پیک لحظه‌ای سیلاب با استفاده از توابع توزیع احتمال مشخص گردید. در مرحله چهارم اقدام به تحلیل عاملی متغیرها شد. تحلیل عاملی (یا تجزیه به مؤلفه‌های اصلی) برای کاهش حجم داده‌ها (تلخیص داده‌ها) و تبدیل مؤلفه‌های اصلی به چند مؤلفه محدود به کار می‌رود، بطوری که این چند مؤلفه بیشترین پراکندگی متغیرهای اولیه را توجیه می‌کند (اشرفی، ۱۳۹۶: ۳۸). در این مرحله هدف از انجام تحلیل عاملی این است که مؤلفه‌های دوازده گانه را ترکیب کرده و آن‌ها را در چند عامل اصلی جای دهیم. برای انجام تحلیل عاملی در مرحله نخست کفایت و مناسب بودن داده‌ها برای این فرایند مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت تعیین کفایت و مناسب بودن متغیرها از شاخص اندازه کفایت نمونه گیری کایزر مایر آلکین^۱ با

^۱- Kaiser – Meyer – Olkin Measure of Sampling Adequacy

نماد اختصاری KMO استفاده گردید که مجموع مجذور همبستگی متغیرها به حاصل جمع این کمیت با مجموع مجذور همبستگی جزئی متغیرها می‌باشد (نایی، ۱۳۹۲: ۲۵۰):

$$KMO = \frac{\sum \sum r_{ij}^2}{\sum \sum r_{ij}^2 + \sum a_{ij}^2} \quad (1)$$

که در آن r_{ij}^2 مجذور همبستگی متغیر i ام با متغیر j ام و a_{ij}^2 مجذور همبستگی جزئی متغیر i ام با متغیر.

دامنه شاخص KMO بین صفر و ۱ است. هر چه مقدار KMO بزرگتر (به یک نزدیکتر) باشد بدان معناست که متغیرها برای تحلیل عاملی مناسب هستند و برعکس هر چه مقدار KMO کوچکتر (به صفر نزدیکتر) باشد بدان معناست که متغیرها برای تحلیل عاملی مناسب نیستند. بعد از اینکه مشخص گردید داده‌ها از کفایت لازم برای تحلیل عاملی برخوردار می‌باشند. اشتراکات متغیرها مورد بررسی قرار گرفت. اشتراک، نسبتی از تغییر یک متغیر است که مجموعه‌ای از عامل‌ها تبیین می‌کنند. اشتراک یک متغیر از مجموع مجذور همبستگی هر متغیر با مجموعه‌ای از عامل‌ها به دست می‌آید (نایی، ۱۳۹۲: ۲۳۶):

$$h_i^2 = r_{i1}^2 + r_{i2}^2 + \dots + r_{ij}^2 + \dots + r_{jk}^2 \quad (2)$$

که در آن h_i^2 اشتراک متغیر i ام با k عامل است و r_{i1}^2 هم مجذور همبستگی متغیر i ام با عامل j ام.

در جدول اشتراکات مقدار واریانس استخراج شده هر متغیر مشخص شد. اشتراکات تعیین می‌کند چه مقدار از واریانس هر متغیر به وسیله عامل نهایی (عامل‌هایی که مقدار ویژه بیشتر از ۱ دارند) تبیین می‌شود. هر چقدر میزان واریانس استخراج شده هر متغیر نزدیک‌تر به ۱ باشد، نشان می‌دهد که عامل‌های استخراج شده مناسب‌تر است. سپس جدول واریانس تبیین شده کل^۱ مورد تحلیل قرار گرفت. از این جدول برای تعیین تعداد عامل‌های استخراج شده استفاده می‌شود. علاوه بر این درصد واریانس کل متغیرهای پژوهش که توسط هر عامل تبیین می‌شود در این جدول گزارش می‌شود. همچنین در این جدول مقادیر ویژه محاسبه عامل‌ها قبل از دوران و بعد از دوران نمایش داده می‌شود. در ادامه جدول ماتریس اجزای دوران یافته^۲ مورد تحلیل قرار گرفت. غالباً در ماتریس قبل از دوران، بسیاری از متغیرها بار چند عامل می‌شوند و برخی عامل‌ها هم تقریباً حامل تمام متغیرها هستند. برای تشخیص این که چه متغیرهایی به چه عاملی تعلق دارند و نیز برای تفسیرپذیرتر کردن عامل‌ها وارد مرحله دوران عامل می‌شویم. به طور متناوب نتیجه دوران رسیدن به عامل‌هایی است که فقط بعضی از متغیرها بار آن‌ها می‌شوند و نیز رسیدن به متغیرهایی است که فقط بار یک عامل می‌شوند (دواس، ۱۳۹۰: ۲۵۹). در جدول عناصر دوران یافته همبستگی متغیرها با هر یک از سه عامل نمایش داده می‌شود. البته با توجه به اینکه در هنگام اجرای تحلیل عاملی با نرم افزار، دستور مقادیر بار عاملی کمتر از ۰/۳۰ در خروجی نمایش داده نشود، فعال شده بود، تنها مقادیر بار عاملی بالاتر از ۰/۳۰ و بیشتر در خروجی نمایش داده شده است. در این جدول متغیرهایی که بیشترین همبستگی را با هر یک از سه عامل دارند، به آن عامل تخصیص یافتند. ۵ متغیر به عامل اول، ۵ متغیر به عامل دوم و دو متغیر به عامل سوم تخصیص داده شد. در این پژوهش از روش واریماکس برای دوران عامل‌ها استفاده شده است. در این روش که از متداول‌ترین روش‌های دوران می‌باشد، سعی بر آن است، متغیرهایی که از بارهای عاملی بزرگتری برخوردار

¹ - Total Variance Explained

² - Rotated Component Matrix

هستند، به کمترین تعداد تقلیل یابند. بدین ترتیب بر تبیین پذیری عامل‌ها افزوده گردد. در این روش تأکید بر روی ساده کردن ستون‌های ماتریس عاملی است. یعنی ساده کردن آنجایی که بر روی یک ستون خاص ماتریس، فقط مقادیر (بارهای عاملی) صفر و یک قرار بگیرد، لذا در اینجا مجموع تغییرات ایجاد شده در بارهای عاملی به حداکثر می‌رسد. یعنی در هر ستون برخی از بارهای عاملی، بالا (مثلاً نزدیک به +1 و -1) و برخی دیگر از بارهای عاملی نزدیک به صفر باشد. طبیعی است که در چنین حالتی تفسیر عامل‌ها خیلی ساده‌تر است و تبعاً اگر همبستگی بین متغیر و عامل $r(x_j, f_1 = b_{1j})$ یعنی مقدار بار عاملی) نزدیک به +1 و -1 باشد، نشان دهنده رابطه روشن بین متغیر و عامل است و یا اگر این همبستگی به صفر نزدیک شود، بیانگر فقدان یک ارتباط روشن بین متغیر و عامل است. به همین دلیل این روش از قدرت تفکیک بالاتری برخوردار است و به عنوان یک رهیافت موفق در دوران عاملی متعامد شناخته می‌شود. امتیاز مهم روش واریماکس این است که محورهای عاملی را در زاویه ۹۰ درجه کاملاً حفظ می‌کند (منصورفر، ۱۳۸۸: ۳۱۲). با استفاده از تحلیل عاملی اکتشافی توانستیم عامل‌های پنهان موجود در ۱۲ متغیر مورد مطالعه را استخراج کرده و ۳ عامل که زیربنای ۱۲ متغیر مورد مطالعه هستند را شناسایی کنیم و آنها را به عنوان شاخص‌های جدید مورد ارزیابی قرار دهیم. در مرحله پنجم، برای دستیابی به مدل مناسب پیش‌بینی سیلاب از روشهای رگرسیون چند متغیره استفاده گردید. در مدل رگرسیون چند متغیره رابطه یک متغیر وابسته و مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل به طور همزمان مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. یکی از فرض‌های لازم در تحلیل رگرسیون عدم وجود همخطی میان متغیرهای مستقل می‌باشد. چرا که همبستگی بالای متغیرهای مستقل باعث شده که نتایج تحلیل رگرسیون مخدوش شود (نایی، ۱۳۹۲: ۱۷۸). به همین دلیل قبل از تحلیل رگرسیون همخطی بین متغیرها بررسی گردید و بعد از اطمینان عدم وجود همخطی بین متغیرها تحلیل رگرسیون انجام گردید.

بحث و یافته‌ها

شاخصهای مورفومتری

شاخص‌های مورفومتری مورد نظر در این تحقیق شامل شاخص‌های طول حوضه (L_b)، تراکم زهکشی (D_d)، نسبت انشعاب (R_b)، فراوانی آبراهه (F_u)، طول جریان سطحی (L_o)، ضریب فرم حوضه (R_f)، شکل حوضه (B_s)، ضریب کشیدگی (R_e)، ضریب گردی (R_c)، ضریب فشردگی (C_c)، نسبت بافت (T) و مساحت حوضه (A) می‌باشد. این شاخص‌ها با استفاده از نرم افزار ARC GIS 10.5 و با استفاده از لایه رقومی ارتفاعی منطقه (DEM) برای هر حوضه استخراج شده است (جدول ۲).

جدول ۲: خصوصیات مورفومتری حوضه‌های مورد مطالعه

کد	نام	A	L	D	R_b	F_u	L_o	R_f	B_s	R_e	R_c	C_c	T
۱	عباس‌آباد	۴۹/۶۵	۹/۵	۰/۹۰	۵/۴۵۰	۱/۰۴۷	۱۲/۱	۰/۵۵۰	۲/۹۴۹	۰/۶۵۷	۰/۳۵۸	۱/۶۵۸	۱/۲۴۶
۲	چومان	۱۱۵/۴۲	۱۴/۱۵	۱/۰۹	۲/۲۱۹	۰/۹۵۳	۲۵/۴۷۲	۰/۵۷۶	۵/۶۲۲	۰/۴۷۶	۰/۲۸۸	۱/۸۴۹	۱/۵۵۱
۳	گرماب	۲۴۸/۴۳	۲۵/۹	۱/۰۸	۵/۵۹۹	۱/۴۶۹	۳۱/۵۱۰	۰/۳۷۰	۳/۹۹۶	۰/۵۶۵	۰/۲۷۸	۱/۸۸۲	۳/۴۴۶
۴	بوئین	۹۷/۱۰	۱۳/۱۵	۱/۰۵	۷/۴۵۶	۰/۹۷۹	۱۶/۵۰۳	۰/۵۶۱	۲/۸۰۷	۰/۶۷۴	۰/۳۷۰	۱/۶۳۲	۱/۶۵۵
۵	بانہ-جملی	۱۰۴/۶۴	۲۰/۶۰	۱/۱۸	۴/۹۱۱	۱/۰۸۹	۲۸/۳۷۷	۰/۲۴۷	۷/۶۹۵	۰/۴۰۷	۰/۲۳۱	۲/۰۶۵	۱/۵۱۱
۶	بانہ-کوره‌پزی	۳۸/۴۵	۹/۱۴	۱/۰۱	۵/۰۳۶	۱/۰۹۲	۱۰/۶۰۶	۰/۴۶۰	۲/۹۲۶	۰/۶۶۰	۰/۲۹۱	۱/۸۴۱	۱/۰۳۰
۷	بانہ-بنه‌خوی	۲۹/۴۲	۶/۲	۰/۹۰	۳/۱۶۷	۱/۲۵۸	۵/۸۲۸	۰/۷۶۵	۱/۱۵۵	۱/۰۵۰	۰/۳۵۱	۱/۶۷۶	۱/۱۴۰
۸	شوی	۱۶۴/۵۰	۲۴/۹۰	۱/۱۴	۲/۰۶۰	۱/۵۴۴	۳۴/۱۴۳	۰/۲۶۵	۷/۰۸۷	۰/۴۲۴	۰/۲۲۱	۲/۱۱۳	۲/۶۲۴
۹	آدینان	۱۰۹۰/۹۵	۴۶/۴۴	۱/۰۲	۵/۲۸۵	۱/۲۵۰	۷۰/۲۸۳	۰/۵۰۶	۴/۵۲۸	۰/۵۳۰	۰/۱۹۸	۲/۲۳۲	۵/۱۸۱
۱۰	خوخوره	۱۲۳۷/۵۴	۵۰/۹۰	۱/۰۸	۳/۶۱۳	۱/۲۸۸	۸۴/۲۷۱	۰/۴۷۸	۵/۷۳۹	۰/۴۷۱	۰/۲۵۴	۱/۹۷۱	۶/۴۳۷
۱۱	سقر-میرده	۱۶۸/۳۲	۲۰/۲۰	۰/۹۸	۷/۰۰	۰/۹۴۵	۲۵/۴۴۷	۰/۴۱۲	۳/۸۴۷	۰/۵۷۵	۰/۳۰۳	۱/۸۰۳	۱/۹۰۳

۱/۸۱۳	۱/۶۸۳	۰/۳۴۸	۰/۶۱۴	۳/۳۸۳	۰/۶۹۷	۲۲/۱۰۷	۰/۹۰۷	۲/۸۰۰	۱/۱۷	۱۴/۴۰	۱۴۴/۴۷	آدینان پل صاحب	۱۲
۲/۲۸۰	۲/۰۷۶	۰/۲۲۹	۰/۴۹۵	۵/۲۰۶	۰/۴۳۳	۳۱/۹۹	۱/۲۰۶	۷/۷۸۵	۱/۰۱	۲۱/۳۰	۱۹۶/۵۷	سقر- چراغ ویس	۱۳
۲/۴۳۱	۲/۴۱۱	۰/۱۶۹	۰/۳۴۴	۱۱/۴۳	۰/۲۳۸	۵۸/۹۵۶	۱/۲۰۱	۱/۶۶۷	۱/۰۷	۳۵/۷۰	۳۰۳/۹۶	سقر- قیقلو	۱۴
۲/۵۷۰	۱/۸۵۹	۰/۲۸۵	۰/۶۴۵	۳/۰۶۳	۰/۵۱۶	۲۵/۶۴۱	۱/۱۶۵	۸/۱۰۷	۱/۲۶	۲۰/۴۰	۲۱۴/۶۸	سقر- دره پنه دان	۱۵
۲/۶۶۵	۱/۹۵	۰/۲۶	۰/۴۹۰	۵/۳۱۲	۰/۲۷	۴۰/۷	۱/۰۵۲	۲/۱۲۷	۰/۰۹۴	۳۴	۳۱۱/۸۶	رمشت	۱۶
۱/۵۳۶	۱/۹۸	۰/۲۵	۰/۶۱۷	۳/۳۴۲	۰/۳۷	۲۵/۲	۰/۷۸۹	۱/۴۲۳	۰/۷۷	۲۲/۸۰	۱۹۰	شیلان	۱۷
۵/۰۱۸	۱/۸۲	۰/۳۰	۰/۵۵۹	۴/۰۷۵	۰/۶۴	۶۴/۶	۱/۰۲۰	۱/۲۴۲	۱/۱۴	۴۰	۱۰۲۳/۹۹	شور- دلبران	۱۸
۱/۹۷۹	۲/۰۶	۰/۲۳	۰/۵۳۱	۴/۵۲۰	۰/۳۰	۳۲	۰/۹۶۷	۱/۳۳۸	۰/۹۴۵	۲۷/۶	۲۲۶/۵۲	تلوار- دهکلان	۱۹
۵/۲۹۴	۱/۶۹	۰/۳۴	۰/۵۶۸	۳/۹۵۳	۰/۳۶	۴۸/۵	۱/۳۱۲	۱/۸۱۶	۱/۱۲۹	۴۰/۵	۵۹۵/۱	تلوار- حسنخوان	۲۰
۲/۲۵۶	۱/۸۸	۰/۲۸	۰/۳۲۸	۱۱/۸۰	۰/۴۰	۶۹/۵	۰/۷۴۸	۱/۵۴۹	۰/۸۴۶	۳۲/۱	۴۰۹/۱۳	شوشه- نگل	۲۱
۳/۱	۲/۱۴	۰/۲۱	۰/۵۶۰	۴/۰۶۴	۰/۴۲	۶۲/۷	۰/۷۶۳	۲/۶۸۳	۰/۹۱۸	۴۸	۹۶۷/۲۹	شور شادی آباد	۲۲
۲/۳۱۳	۱/۸۳	۰/۲۹	۰/۷۵۳	۲/۲۵۰	۰/۶۶	۲۴/۶	۰/۹۲۲	۳/۳۴۸	۰/۸۳۶	۲۰/۲	۲۶۹/۰۱	چهل گزی تونل	۲۳
۱/۳۲۲	۱/۷۷	۰/۳۲	۰/۵۸۱	۳/۷۷	۰/۳۴	۱۷	۰/۹۵۲	۲/۲۹۳	۱/۰۰۴	۱۵	۷۶/۶۶	قشلاق حسین آباد	۲۴
۳/۱۶۴	۱/۸۰	۰/۳۰	۰/۸۶۲	۱/۷۱۶	۰/۴۵	۴۱/۵	۰/۶۴۳	۱/۲۱۷	۰/۷۳۱	۴۷	۱۰۰۳/۶۰	آزاد نگل	۲۵
۱/۸۱۷	۱/۶۸	۰/۳۵	۰/۷۱۴	۲/۵۰۲	۰/۵۵	۲۵	۰/۶۸۸	۱/۸۸۴	۰/۸۸۹	۲۱,۳	۲۴۹,۸۵	بیخی حسین آباد	۲۶
۲/۶۳۷	۲/۷۳	۰/۱۳	۰/۵۳۳	۴/۴۸۹	۰/۵۲	۹۴/۷	۰/۵۷۶	۱/۱۹۶	۰/۸۹۴	۶۲	۱۹۹۸	تلوار مهرآباد	۲۷
۳/۸۵۴	۲/۰۷	۰/۲۳	۰/۶۵۳	۲/۹۸۳	۰/۷۴	۷۱/۱	۰/۶۹۱	۱/۴۹۸	۰/۷۹۴	۴۸	۱۶۹۴,۶۵	قرلاوزن نساوه	۲۸
۴/۸۸۸	۲/۱۱	۰/۲۲	۰/۵۳۵	۴/۴۵۷	۰/۳۸	۱۱۱/۵	۰/۶۹۷	۶/۲۸۴	۰/۸۹۹	۸۶	۲۷۸۹,۲۲	قرلاوزن یساول	۲۹
۲/۹۹۹	۱/۷۵	۰/۳۲	۰/۶۴۶	۳/۰۵۶	۰/۵۷	۵۰/۵	۰/۶۴۸	۱/۳۹۰	۰/۸۵۳	۳۸,۳۰	۸۳۴/۵۱	بولکشتی گاوشاله	۳۰
۲/۵۴۲	۲/۰۰	۰/۲۵	۰/۵۷۷	۴/۵۸۳	۰/۳۲	۹۰/۳	۰/۴۲۸	۴/۷۱۹	۰/۷۴۶	۷۴	۱۷۷۹/۱۹	گامیشگای هشتادجفت	۳۱
۲/۶۲۱	۱/۹۳	۰/۲۶	۰/۵۶۹	۳/۹۴۱	۰/۵۹	۴۰	۰/۸۹۷	۱/۳۲۳	۰/۸۰۱	۲۶,۳	۴۰۵/۹۶	تنگی ور پلنگان	۳۲

شاخص سازی با استفاده از تحلیل عاملی

بررسی کفایت داده ها گام اول در تحلیل عاملی می باشد. بنابراین ابتدا کفایت داده ها مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از آزمون KMO و بارتلت استفاده گردید. مقدار معمول این شاخص باید بالای ۰/۶۰ یا ۶۰٪ باشد. با توجه به اینکه ضریب بدست آمده بالاتر از ۰/۶۰ یعنی برابر با ۰/۶۳۴ می باشد کفایت داده ها برای تحلیل عاملی قابل قبول می باشد. اگر شاخص KMO کمتر از ۰/۶۰ باشد، به این معنی می باشد که بین شاخص های ما به اندازه کافی همبستگی وجود ندارد که بتوان آنها را در چند عامل یا فاکتور معرفی کرد. رد فرض صفر آزمون بارتلت نیز از دیگر شرط های ورود به تحلیل عاملی داده ها می باشد. که مقدار آزمون بارتلت در جدول ارائه شده برابر با ۰/۰۰۰ می باشد که نشان دهنده رد فرض صفر در آزمون بارتلت می باشد. فرض بارتلت بر این اصل استوار است که بین داده ها همبستگی لازم وجود ندارد اما رد این فرض نشان دهنده وجود همبستگی بین داده ها می باشد. سطح معنی داری بدست آمده نیز کمتر از ۰/۰۵ ($p < 0.05$) می باشد که نشان میدهد تحلیل عاملی برای شناسایی ساختار مناسب است. در نتیجه با توجه با نتایج آزمون KMO و بارتلت داده های ما کفایت لازم برای انجام تحلیل عاملی را دارا می باشند (جدول ۳).

جدول ۳: نتایج آزمون بارتلت و KMO

آزمون KMO و بارتلت	
۰/۶۳۴	اندازه آزمون KMO
۴۷۵/۵۶۴	آماره آزمون کای - اسکور
۶۶	درجه آزادی
۰/۰۰۰	سطح معناداری

بعد از مشخص شدن کفایت داده‌ها اشتراک داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت و جدول اشتراک داده‌ها استخراج گردید. بر اساس جدول ۴، متغیر مساحت دارای بیشترین اشتراک با سایر متغیرها می‌باشد که حدود ۹۷ درصد می‌باشد و بعد از آن نیز متغیر طول حوضه می‌باشد. در بین متغیرها، متغیر نسبت انشعاب کمترین اشتراک را با سایر متغیرها دارد.

جدول ۴: اشتراک داده‌ها

Extraction	Initial	متغیر
۰/۹۶۸	۱	مساحت
۰/۹۶۳	۱	طول حوضه
۰/۸۳۷	۱	تراکم زهکشی
۰/۳۵۹	۱	نسبت انشعاب
۰/۸۳۸	۱	فراوانی آبراهه
۰/۹۵۸	۱	طول جریان
۰/۵۶۱	۱	ضریب فرم
۰/۷۷۹	۱	شکل حوضه
۰/۸۰۷	۱	ضریب کشیدگی
۰/۷۶۵	۱	ضریب گردی
۰/۷۱۱	۱	ضریب فشردگی
۰/۸۱۳	۱	نسبت بافت

Extraction Method: Principal Component Analysis.

در مرحله بعد اندازه واریانس داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت و جدول آن ترسیم گردید. با توجه به داده‌های بدست آمده، متغیرهای اصلی در سه عامل اصلی و مهم ترکیب و دسته بندی می‌شوند (جدول ۵). این سه عامل حدود ۷۸ درصد از واریانس و پراکندگی مشاهدات را در بر می‌گیرد که حجم بسیار بالا و مناسبی به حساب می‌آید. مقدار ویژه هر عامل که در جدول ۵ آمده است، نسبتی از واریانس کل متغیرها است که توسط آن عامل تبیین می‌شود. مقدار ویژه از طریق مجموع مجذورات بارهای عاملی مربوط به تمام متغیرها در آن عامل قابل محاسبه است، بنابراین مقادیر ویژه، اهمیت اکتشافی عامل‌ها را در ارتباط با متغیرها نشان می‌دهند و پایین بودن این مقدار برای یک عامل به این معنا است که عامل مذکور نقش اندکی در تبیین واریانس متغیرها دارد که بایستی در محاسبات حذف شود.

جدول ۵: اندازه واریانس بیان شده

مجموع واریانس بیان شده									کمیت‌ها
مقادیر ویژه عامل‌های باقیمانده بدون چرخش			مقادیر ویژه عامل‌های باقیمانده بدون چرخش			مقادیر ویژه اولیه			
واریانس	درصد واریانس	مقادیر ویژه	واریانس	درصد واریانس	مقادیر ویژه	واریانس	درصد واریانس	مقادیر ویژه	
تجمعی	بیان شده		تجمعی	بیان شده		تجمعی	بیان شده		
۳۵/۳۶۹	۳۵/۳۶۹	۴/۲۴۴	۴۳/۴۳۸	۴۳/۴۳۸	۵/۲۱۳	۴۳/۴۳۸	۴۳/۴۳۸	۵/۲۱۳	۱
۶۳/۱۹۲	۲۷/۸۲۳	۳/۳۳۹	۶۶/۹۸۶	۲۳/۵۴۸	۲/۸۲۶	۶۶/۹۸۶	۲۳/۵۴۸	۲/۸۲۶	۲
۷۷/۹۱۱	۱۴/۷۱۹	۱/۷۶۶	۷۷/۹۱۱	۱۰/۹۲۵	۱/۳۱۱	۷۷/۹۱۱	۱۰/۹۲۵	۱/۳۱۱	۳
						۸۵/۷۲۵	۷/۸۱۴	-۰/۹۳۸	۴
						۹۲/۶۱۰	۶/۸۸۵	-۰/۸۲۶	۵

					۹۶/۸۴۲	۴/۲۳۲	۰/۵۰۸	۶
					۹۸/۳۳۱	۱/۴۸۹	۰/۱۷۹	۷
					۹۹/۳۳۲	۰/۹۰۱	۰/۱۰۸	۸
					۹۹/۶۵۱	۰/۴۱۹	۰/۰۵۰	۹
					۹۹/۸۴۲	۰/۱۹۰	۰/۰۲۳	۱۰
					۹۹/۹۵۲	۰/۱۱۱	۰/۰۱۳	۱۱
					۱۰۰	۰/۰۴۸	۰/۰۰۶	۱۲
Principal Component Analysis: روش استخراج								

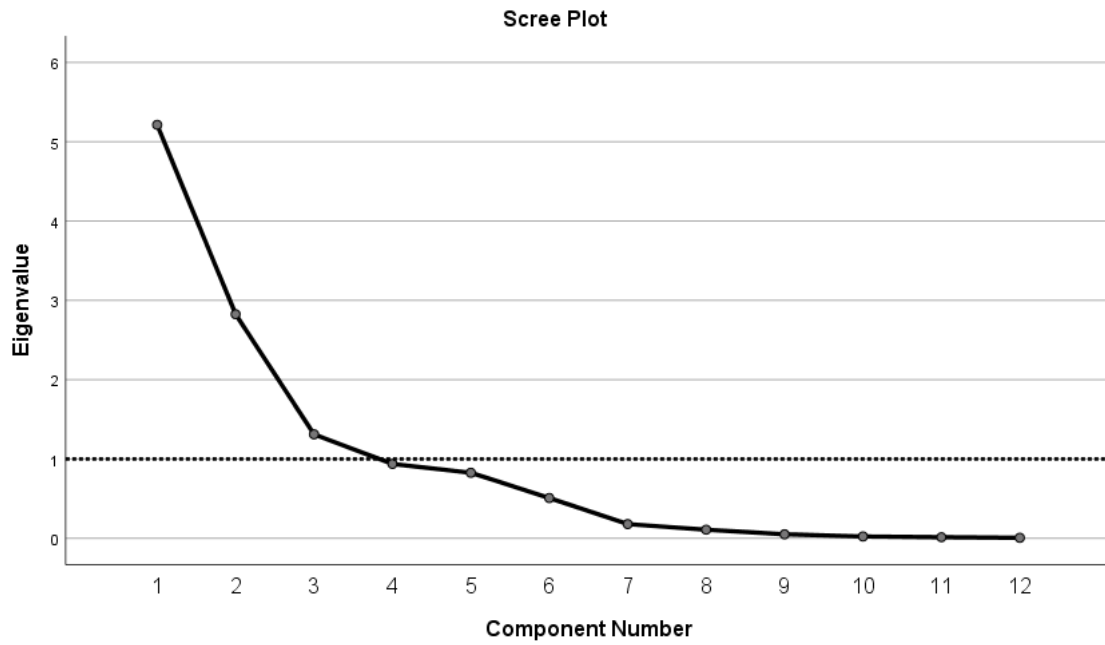
در ادامه به دلیل اینکه عامل‌ها بیشترین میزان از واریانس متغیرها را تبیین کند دوران داده شدند. برای تفسیرپذیرتر کردن و تفکیک بهتر، عامل‌ها با استفاده از چرخش واریماکس دوران داده شدند. همانطور که در جدول (۶) مشخص است متغیرها پس از دوران با قرار گیری در یکی از سه عامل مشخص شده ساختار جدیدی را تشکیل داده اند. با توجه به داده‌های جدول (۶) هر متغیر با توجه به بار عاملی خود در یکی از سه عامل مشخص شده قرار می‌گیرد به این ترتیب که هر متغیر با توجه به بیشترین بار عاملی خود به یکی از سه عامل اصلی اختصاص داده می‌شود، به عنوان مثال متغیر مساحت دارای بیشترین بار عاملی برابر با ۰/۹۵۵ در عامل ۱ بوده در نتیجه در عامل یک قرار می‌گیرد، متغیر ضریب کشیدگی دارای بیشترین بار عاملی برابر با ۰/۸۸۴ بر روی عامل دوم بوده در نتیجه در عامل دوم قرار می‌گیرند.

جدول ۶: ماتریس دوران یافته عامل‌ها

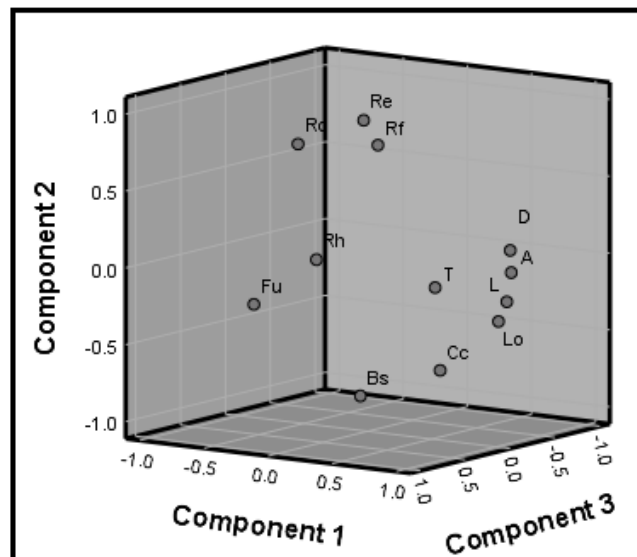
ماتریس دوران یافته عامل‌ها			
کمیتها	عاملها		
	۱	۲	۳
مساحت حوضه	۰/۹۵۵		-۰/۲۳۵
طول حوضه	۰/۹۳۶	-۰/۲۰۴	-۰/۲۱۳
طول جریان	۰/۹۰۸	-۰/۳۲۸	-۰/۱۶۰
نسبت بافت	۰/۸۰۶		-۰/۴۰۱
تراکم زهکشی	۰/۷۰۱		-۰/۵۸۶
ضریب کشیدگی	-۰/۱۱۱	۰/۸۸۴	-۰/۱۱۳
شکل حوضه		-۰/۸۸۱	
ضریب فرم		۰/۷۴۵	
ضریب گردی	-۰/۴۴۵	۰/۷۳۳	-۰/۱۴۳
ضریب فشردگی	۰/۴۳۳	-۰/۶۹۸	-۰/۱۸۸
فراوانی آبراهه	-۰/۲۹۸	-۰/۱۹۴	۰/۸۴۴
نسبت انشعاب			۰/۵۹۲

از دیگر نتایج قابل بررسی در تحلیل عاملی نمودار سنگریزه می‌باشد. در نمودار (۱) مقادیر ویژه بر حسب اهمیت از بزرگترین تا کوچکترین نشان داده می‌شود. بر اساس داده‌های نمودار (۱) به خوبی قابل مشاهده می‌باشد که ۳ عامل اول از بیشترین

و بزرگترین مقادیر ویژه برخوردار هستند. و تحلیل‌ها باید بر اساس این ۳ عامل صورت گیرد. نمودار (۲) عامل‌های دوران یافته را به صورت سه بعدی را نشان می‌دهد.



نمودار ۱: نمودار سنگریز تحلیل عاملی متغیرها



نمودار ۲: نمودار سه بعدی عامل‌های دوران یافته

شاخص سازی

با استفاده از تحلیل عاملی اکتشافی، عامل‌های پنهان موجود در ۱۲ متغیر مورد مطالعه استخراج شد و ۳ عامل که زیربنای ۱۲ متغیر مورد مطالعه هستند شناسایی گردید. بر اساس نتایج حاصل از این تحلیل ۵ متغیر مساحت حوضه، طول حوضه، طول جریان، نسبت بافت و تراکم زهکشی در عامل اول قرار گرفته است. ۵ متغیر ضریب کشیدگی، شکل حوضه، ضریب فرم، ضریب گردی و ضریب فشردگی در عامل دوم قرار گرفته و ۲ متغیر فراوانی آبراهه و نسبت انشعاب در عامل سوم قرار می‌گیرند. بنابراین برای هر یک از عوامل استخراج شده نامی را انتخاب کرده و سایر تحلیل‌های مورد نظر را با استفاده از این سه شاخص جدید انجام می‌گیرد. این سه شاخص را با توجه به متغیرهای هر عامل به سه متغیر مساحت، شکل و آبراهه نام گذاری شد.

جدول ۷: متغیرهای قرار گرفته در هر عامل به همراه اندازه پراکندگی در بر گرفته شده توسط هر عامل

عامل‌ها		
عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳
درصد پراکندگی بیان شده توسط هر عامل		
۳۵/۳۶۹	۲۷/۸۲۳	۱۴/۷۱۹
مساحت حوضه	ضریب کشیدگی	فراوانی آبراهه
طول حوضه	شکل حوضه	نسبت انشعاب
طول جریان	ضریب فرم	
نسبت بافت	ضریب گردی	
تراکم زهکشی	ضریب فشردگی	

تحلیل رگرسیون چند متغیره و مدل سازی

قبل از بررسی رگرسیون خطی داده‌ها برای مدل سازی ابتدا باید همخطی بین متغیرها مورد بررسی قرار گیرد. زیرا وجود هم خطی بالای داده‌ها باعث می‌شود که نتایج ما قابل اعتماد نباشد. بررسی همخطی داده‌ها نشان داد که متغیرها از همخطی مناسبی برای مدل سازی برخوردار می‌باشند (جدول ۸).

جدول (۸) ضرایب رگرسیون خطی متغیرها با دوره برگشت ۵ ساله

ضرایب							
Collinearity Statistics		Sig.	t	Standardized Coefficients Beta	Unstandardized Coefficients		مدل
VIF	Tolerance				Std. Error	B	
		۰/۲۵۵	-۱/۱۶۳		۱۳۵/۰۸	-۱۵۷/۰۷	(Constant) ۱
۱/۳۶۹	۰/۷۳۰	۰/۰۰۷	۲/۹۰۳	۰/۵۴۹	۰/۰۲۶	۰/۰۷۷	مساحت حوضه
۱/۵۲۶	۰/۶۵۵	۰/۰۱۵	۲/۵۸۳	۰/۵۱۶	۷۱/۵۳	۱۸۴/۷۸	فراوانی آبراهه
۱/۱۰۷	۰/۸۶۴	۰/۶۳۸	۰/۴۷۵	۰/۸۳	۱۴۷/۴۶	۷۰/۰۵	ضریب کشیدگی

a. Dependent Variable: T5

بعد از بررسی همخطی متغیرها مبادرت به انجام تحلیل رگرسیون گردید. تحلیل رگرسیون به فرایندی کامل‌تر از بررسی ارتباط بین یک متغیر وابسته و مجموعه‌ای از متغیرهای تبیینی، مستقل اشاره دارد. تحلیل رگرسیون خطی با این فرض

شروع می‌شود که یک رابطه خطی بین متغیر وابسته (Y) و متغیرهای مستقل (X) وجود دارد. یک برآمد مهم تحلیل رگرسیون، معادله ای است که این اجازه را فراهم می‌سازد تا متغیر (Y) را از طریق مقادیر (X) پیش بینی کرد (راجرسون، ۲۰۰۱: ۱۰۴). در این تحقیق شاخص‌های بدست آمده از طریق فرایند تحلیل عاملی به عنوان متغیرهای مستقل و سیلاب به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده است و چون محاسبات برای بیش از یک متغیر انجام شده، از تحلیل رگرسیون چند متغیره استفاده شده است. هر چه قدر همبستگی بین دو متغیر بیشتر باشد امکان پیش بینی یک متغیر با متغیر دیگر بیشتر خواهد شد. بنابراین هر چقدر بین سیلاب به عنوان یک متغیر وابسته و شاخص‌ها به عنوان متغیر مستقل همبستگی بیشتری وجود داشته باشد و این همبستگی به یک نزدیکتر باشد می‌توان متغیر وابسته یعنی سیلاب را با توجه به تغییر شاخص‌ها با دقت بیشتری پیش بینی کرد.

در این پژوهش دبی با دوره‌های بازگشت ۱۰ تا ۲۰۰ ساله به عنوان متغیر وابسته و شاخص‌های عاملی حاصل از تحلیل عاملی به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد و برای هر یک از دوره‌های بازگشت ذکر شده مدل رگرسیونی استخراج گردید. نتایج نشان داد که مدل‌های ارائه شده برای دوره‌های بازگشت بالاتر دارای ضریب تبیین بالاتر بوده و با اطمینان بیشتری می‌تواند سیلاب را پیش بینی نماید. جدول (۹).

جدول ۹: ضریب تبیین و ضریب همبستگی حاصل از مدل رگرسیونی برای دوره‌های بازگشت مورد مطالعه

دوره بازگشت	T5	T10	T25	T50	T100	T200
ضریب تبیین R^2	۰/۴۵۸	۰/۵۰۱	۰/۵۳۲	۰/۵۵۸	۰/۵۱۹	۰/۵۳۵
R	۰/۶۷۷	۰/۷۰۸	۰/۷۳۹	۰/۷۴۷	۰/۷۲۰	۰/۷۳۱

$$Q_{T5} = 108.366 + (39.573 \times A) + (18.261 \times S) + (47.253 \times W)$$

$$Q_{T10} = 148.608 + (64.792 \times A) + (25.761 \times S) + (46.407 \times W)$$

$$Q_{T25} = 214.992 + (113.323 \times A) + (33.436 \times S) + (31.945 \times W)$$

$$Q_{T50} = 275.481 + (150.501 \times A) + (45.559 \times S) + (21.846 \times W)$$

$$Q_{T100} = 327.123 + (175.117 \times A) + (49.992 \times S) + (-7.281 \times W)$$

$$Q_{T200} = 415.754 + (223.123 \times A) + (62.175 \times S) + (-14.451 \times W)$$

در این مدل‌ها A مساحت، S شکل و W آبراهه می‌باشد. بررسی جدول‌های ANOVA و تحلیل واریانس هر دوره نیز معنی دار بودن رگرسیون و رابطه خطی بین متغیرها با سطح معناداری ($\text{Sig} = 0.000$) که معنادار بودن آن را در سطح ۹۹ درصد نشان می‌دهد، تأیید می‌کند (جدول (۱۰) و (۱۱)).

جدول ۱۰: تحلیل واریانس دوره بازگشت ۱۰ ساله

آنووا						
Sig.	F	Mean Square	df	Sum of Squares		
.000 ^b	۹/۳۷۷	۷۲۴۹۱/۱۹۵	۳	۲۱۷۴۷۳/۵۸۶	Regression	۱
		۷۷۳۰/۷۲۹	۲۸	۲۱۶۴۶۰/۴۲۵	Residual	
			۳۱	۴۳۳۹۳۴/۰۱۲	Total	
T10 متغیر وابسته: a .						

جدول ۱۱: تحلیل واریانس دوره بازگشت ۲۰۰ ساله

آنووا						
Sig.	F	Mean Square	df	Sum of Squares		
.000 ^b	۱۰/۷۲۷	۵۵۶۵۳۸/۱۱۷	۳	۱۶۶۹۶۱/۵۳۱	Regression	۱
		۵۱۸۸۳/۰۹۱	۲۸	۱۴۵۲۷۲۶/۵۳۶	Residual	
			۳۱	۳۱۲۲۳۴۰/۸۸۷	Total	
T200 متغیر وابسته: a .						

نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف بررسی اهمیت پارامترهای مورفومتری در مطالعه سیلاب با استفاده از تحلیل عاملی و به روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی انجام شد. ابتدا با استفاده از نرم افزار ARC GIS پارامترهای مورفومتری مورد نظر از لایه رقمی ارتفاعی یا DEM منطقه استخراج گردید که شامل دوازده متغیر می‌باشد. دوره‌های بازگشت بر اساس داده‌های پیک لحظه‌ای سیلاب با استفاده از توابع توزیع احتمال با استفاده از نرم افزار ایزی فیت محاسبه گردید و با استفاده از تحلیل عاملی متغیرها مورد بررسی قرار گرفت و در ۳ عامل دسته بندی گردید. این سه عامل به نام‌های مساحت، شکل و آبراهه نامگذاری گردید و در نهایت با استفاده از این عامل‌ها یا شاخص‌ها به مدل‌سازی سیلاب در حوضه‌های مورد مطالعه پرداخته شد. در نتیجه تحلیل عاملی ۱۲ متغیر در ۳ عامل اصلی قرار گرفت که مقادیر ویژه آنها بیشتر از ۱ می‌باشد. این ۳ عامل ۷۸ درصد واریانس داده‌ها را شامل می‌شود. با این حال بیشترین درصد واریانس کل توضیح داده شده مربوط به مولفه اول می‌باشد که با نام مساحت نام گذاری شده است. این عامل ۳۵/۳۶۹ درصد واریانس کل را شامل می‌شود. در بین متغیرهای مورد بررسی متغیرهای مساحت، طول حوضه و فراوانی آبراهه به ترتیب با ۰/۹۶۸، ۰/۹۶۳ و ۰/۸۳۸ مؤثرترین متغیرها در بروز سیلاب می‌باشند و متغیر نسبت انشعاب با ۰/۳۵۹ دارای کمترین اثر می‌باشد. بعد از استخراج شاخص‌های حاصل از تحلیل عاملی (شاخص‌سازی) با استفاده از تحلیل رگرسیونی چند متغیره همبستگی به شاخص‌ها و دوره بازگشت‌های ۱۰ تا ۲۰۰ ساله انجام گرفت و در نهایت برای هریک از دوره‌های بازگشت مدلی برای پیش بینی سیلاب تهیه گردید. بررسی ضریب تبیین یا R^2 مدل‌ها نشان داد که با افزایش دوره بازگشت مقدار این ضریب افزایش یافته که

نشان می‌دهد مدل‌های ایجاد شده برای دوره‌ها بازگشت بالاتر دارای اطمینان بیشتری بوده و با دقت بیشتری می‌تواند سیلاب را پیش‌بینی کنند. در نهایت باید بیان کرد که با توجه به نتایج تحقیق تجزیه و تحلیل عاملی با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۱ PCA یک ابزار مهم برای گروه بندی پارامترهای مورفومتری حوضه می‌باشد که پارامترهای اندازه‌گیری شده را به چند شاخص برای کارهای بعدی مانند مدل‌سازی هیدرولوژیکی و رواناب در یک حوضه آبخیز کاهش می‌دهد.

منابع

- اشرفی، ژ.، ۱۳۹۶. شناسایی گسل‌های مخاطره‌آمیز با استفاده از آنومالی شبکه زهکشی و آزمون دره (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه تروال در استان کردستان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان.
- پور کریمی، ج.، ۱۳۹۷. آمار کاربردی در پژوهش‌های رفتاری. جلد دوم. انتشارات دانشگاه تهران.
- حلبیان، ا.، عسگری، ش.، ۱۳۹۶. پهنه بندی شدت سیل خیزی در حوضه آبریز میشخاص به کمک تحلیل عاملی - خوشه‌ای. هیدروژئومورفولوژی. شماره ۱۲. صص ۱۷۷-۱۵۳.
- حیدری، م.، ۱۳۸۵. مطالعه موردی ۲ نوع سیل در استان کردستان و پیشنهاد به کارگیری الگوی موفق مدیریت سیل ۹۱ مرداد کردستان برای کاهش خسارات سیل. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری از منابع آب حوضه‌های کارون در شهر زاینده‌رود. صص ۴۳۲-۴۴.
- قنوتی، ع.، فرج‌زاده، م.، ۱۳۷۹. چگونگی استفاده از روش تحلیل عاملی در ناحیه بندی فیزیوگرافیک حوضه‌های آبریز (مطالعه موردی حوضه آبریز رودخانه‌های زهره و خیرآباد. نشریه دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه خوارزمی. تهران. شماره ۳۰. صص ۱۸۲-۱۷۵).
- دواس، دی، ای، ۱۳۹۰. پیمایش در تحقیقات اجتماعی. ترجمه هوشنگ نایی. چاپ چهارم. نشر نی. تهران.
- ضیاعی، ح.، ۱۳۸۶. اصول مهندسی آبخیزداری. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع).
- عسگری، ش.، صفاری، ا.، ۱۳۹۷. بررسی توان سیل خیزی در حوضه آبریز جعفرآباد. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال هجدهم، شماره ۵۰. صص ۹۰-۷۷.
- منصورفر، ک.، ۱۳۸۸. روش‌های پیشرفته آماری همراه با برنامه‌های کامپیوتری. انتشارات دانشگاه تهران.
- نایی، هوشنگ. ۱۳۹۲. آمار پیشرفته کاربردی همراه با SPSS. انتشارات دانشگاه تهران.
- نظری‌پویا، ه.، ۱۳۹۸. ارزیابی عملکرد روش تحلیل عاملی در اولویت‌بندی سیل خیزی زیرحوضه‌های دامنه شمالی الوند همدان. پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز. سال دهم. شماره ۲۰. صص ۶۱-۴۹.
- نجفی و نصری. ۱۳۸۸. عوامل مؤثر در سیلاب حوضه آبخیز اصفهان - سیرجان به روش تحلیل عاملی. مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. شماره پیاپی ۳۶. شماره ۴. صص ۱۱۸-۱۰۲.
- Alam, A., Bayesm, A., & Sammons, P., 2021. Flash flood susceptibility assessment using the parameters of drainage basin morphometry in SE Bangladesh. *Quaternary International*, 575 (576): 295-307.
- Batt, M. S., Alam A., Ahmad S., Farooq H., & Ahmad, B., 2019. Flood hazard assessment of upper 398 Jhelum basin using morphometric parameters. *Environmental Earth Sciences*, 78 (54).
- Gajbhiye S, Mishra SK, Pandey A., 2013. Prioritizing erosion-prone area through morphometric analysis: an RS and GIS perspective. *Appl Water Sci (Springer)*.

¹ - Principal Component Analysis

- Hajam, R. A., Hamid, A., & Bhat, S., 2013. Application of Morphometric Analysis for Geo-Hydrological Studies Using Geo-Spatial Technology –A Case Study of Vishav Drainage Basin. *Hydrology Current Research*, 4 (3), 1-12.
- Hamdan, M. A., 2020. Hydro-Morphometric analysis using Geospatial Technology: a case study of Wadi Gabgabi and Wadi Allaqi watersheds, Southern OUTHERN Egypt-Northern Sudan. *Journal of Asian Scientific Research*. 23.
- Horton, R. E., 1932. Drainage basin characteristics. *Trans Am Geophys Union*, 13, 350–361.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol Soc Am Bull*, 56, 275–370.
- Itnal, M. P., Kumar, Ch., & Ugarkar, A. G., 2015. Morphometric Analysis and Mini Watersheds Prioritization of Doddahalla Watershed, Ghataprabha River Sub-Basin, Karnataka, South India, *International journal of Earth Sciences and Engineering*, 8 (3), 91-98.
- Miller, V. C., 1953. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. *Proj. NR 389-402. Tech Rep 3, Columbia University, Department of Geology, ONR, New York.*
- Narendra, P., Lamsoge, B., 2019. Factor analysis of Morphometric parameters of a Basaltic watershed, Maharashtra. *Journal of applied hydrology*. Vol. XXX No. 1 to 4, Jan. pp. 26 – 38.
- Nikam, S.P., Purohit, R.C., Shinde, M.G., Singh, P.K., Jain, H.K., and Dahiphale Pravin., 2014. Principal component analysis for morphometric modelling for small watersheds of Tapi basin in India, *Research Paper, International Journal of Agricultural Engineering*, Vol. 7, Issue 1, April 2014, 186-189.
- Rogerson, P., 2001. *Statistical Methods for Geography*. SAGA publications. London. Pp429.
- Schumm, S. A., 1956. Evaluation of drainage system and slopes in bad lands at Perth Amboy, New Jersey. *Bull Geol Soc Am*, 67, 597–646.
- Sharma, s, k. Gajbhiye, s. Tignath, s., 2015. Application of principal component analysis in grouping geomorphic parameters of a watershed for hydrological modeling. *Appl Water Sci*, 5, 89–96.
- Singh, P.K., Kumar, V., Purohit, R.C., Kothari, M., and Dashora, P.K., 2009. Application of principal component analysis in grouping geomorphic parameters for hydrologic modeling. *Water Resour Manage* 23,325–339.
- Smith, K.G. (1950). Standards for grading texture of erosional topography. *Am J Sci* 248, 655-668.
- Strahler, A. N., 1964. Quantitative analysis geomorphology of drainage basins and channel Networks. In: Chow VT (ed) *Handbook of applied hydrology*. McGraw Hill Book Company, New York section: 4-11.
- White, E. L., 1975. "Factor Analysis of Drainage Basin Properties: lassification of Flood Behavior in Terms of Basin Geomorphology", *Water Resources Bulletin*, Vol. 11, No.4,P.676-687.