

تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر آبدهی چشمه‌های کارستیک در منطقه البرز میانی

❖ علی اکبر نظری سامانی*؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ محمود صمدی؛ دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ آرش ملکیان؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

چکیده

در توسعه منابع آبی موجود، عوامل متعددی تأثیرگذار می‌باشد که از جمله این عوامل می‌توان به نقش عوامل ساختاری نظیر گسل‌ها، درز و شکاف‌ها و عوامل ژئومورفولوژیک همچون زبری توپوگرافیکی منطقه اشاره کرد. این پژوهش به بررسی تأثیر این عوامل در وضعیت منابع آب کارستی و در نهایت رخداد چشمه‌ها در منطقه البرز میانی می‌پردازد. عوامل مذکور در قالب لایه‌های اطلاعاتی مؤثر بر ذخیره آب زیرزمینی در سامانه‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور تهیه، سپس لایه‌های مذکور با لایه چشمه‌ها مورد تلاقی قرار رفت و از نظر آماری (همبستگی چند متغیره و تحلیل عاملی) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و ارتباط آن‌ها با یکدیگر مشخص شد. نتایج بیانگر ارتباط نزدیک بین فراوانی چشمه‌ها و مقدار آبدهی سالانه آنها با شاخص‌های ژئومرفومتری انحنای دامنه و شاخص موقعیت توپوگرافیک است. با توجه به نتایج به دست آمده از همبستگی پیر سون، متغیرهای ارتفاع، تراکم خطواره و تراکم زهکشی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار می‌باشند. بر همین اساس آبدهی چشمه‌ها با تراکم زهکشی رابطه مستقیم و با ارتفاع و تراکم خطواره رابطه عکس دارد. همچنین با توجه به انجام تحلیل عاملی ۱۷ متغیر مؤثر بر بروز و دبی چشمه‌ها، شش عامل دارای مقدار ویژه بزرگ‌تر از ۱ هستند و در تحلیل باقی ماندند. این شش عامل می‌توانند تقریباً ۷۳/۵ درصد از تغییرپذیری (واریانس) متغیرها را توضیح دهند. این روابط نشانگر نقش بارز عوامل مذکور در استعدادیابی منابع آبی در مناطق کارستی می‌باشد.

کلید واژگان: سنجش از دور، زبری توپوگرافیکی، کارست، چشمه، ژئومرفومتری

۱. مقدمه

مطالعات منابع آب از جمله مواردی است که در دنیا بسیار حائز اهمیت می‌باشد. امروزه با توجه به نیازهای انسان به آب، تلاش برای رسیدن به اهداف منابع آبی را امری ضروری کرده است. با توجه به موقعیت خاص آب‌وهوایی ایران و کمبود بارش و همچنین توزیع نامناسب مکانی و زمانی آن، منابع آب زیرزمینی از اهمیت خاصی برخوردار است. در این میان به علت محدودیت منابع آب آبرفتی، از نظر کیفی و کمی و همچنین گسترش وسیع سازندهای کارستی در سطح کشور، مطالعات و تحقیقات منابع آب کارست به منظور بهره‌برداری آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۸]. منابع آب زیرزمینی کارستی از بزرگ‌ترین منابع آب شیرین جهان هستند به طوری که فورد و ویلیامز^۱ (۱۹۸۹) تخمین زده‌اند که آب شرب حدود ۲۵٪ از جمعیت جهان از منابع آب موجود در سنگ‌های کارستی تأمین می‌شود [۴]. ایران نیز بعد از کشورهای آمریکا، چین و ترکیه، بالاترین درصد کارست را دارد و بیش از ۱۱ درصد سطح کشورمان را سازندهای زمین‌شناسی کارستی پوشانده است و چون این منابع کارستی اصولاً در ارتفاعات وجود دارند، دسترسی انسان‌ها به آن‌ها کمتر است و به همین دلیل تقریباً دور از آلودگی‌های انسانی هستند [۱]. از طرف دیگر هزینه بهره‌برداری از آب‌های ذخیره شده در منابع کارستی نسبت به هزینه‌ی احداث سد‌های مخزنی کمتر است، بنابراین بهره‌برداری ارزان از این منابع یکی دیگر از دلایل لزوم توجه به مطالعات منابع آب کارستی می‌باشد. در برخی از مناطق ایران، اقلیم و ساختار تکتونیک شرایط خوبی را برای تشکیل سفره‌های کارستی فراهم کرده است و از طرفی فشارهای تکتونیک نیز موجب ارتفاع گرفتن و شکسته شدن سازندهای زمین‌شناسی و قرارگیری آن‌ها در موقعیتی شده است که حجم بیشتری از بارش‌ها را دریافت و جذب کند و کمتر تحت تأثیر آلودگی‌های رایج

می‌باشند. از این رو مطالعه این شکستگی‌ها جزئی از تحقیقات منابع آبی به خصوص منابع کارستی است. یکی از مهم‌ترین روش‌های مطالعه این سازندها، بررسی عناصر مرتبط با فرایندهای کارستی شدن (پدیده‌های ساختاری مثل گسل‌ها، درزه‌ها، چین‌خوردگی‌ها و زون‌های خرد شده) از طریق پردازش اطلاعات ماهواره‌ای، بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه است. در مناطق کارستی، عوامل ساختاری و فرایندهای ژئومورفولوژی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در شکل‌گیری و حجم منابع آب زیرزمینی محسوب می‌شوند. مطالعات متعددی توسط محققین مختلف در زمینه منابع آب کارستی و تأثیر عوامل ساختاری و ژئومورفولوژی بر روی این منابع صورت گرفته است که می‌توان به مطالعات [۶، ۷، ۱۰، ۱۱] اشاره کرد. در مطالعه هیدروژئولوژی سازندهای سخت، چشمه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و منبع مناسبی جهت بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیک سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشند؛ در واقع یکی از بارزترین مظاهر کارست در مناطق مستعد و در سطح زمین، چشمه‌ها می‌باشند و عناصر ساختاری می‌توانند فرصت مناسبی برای ظهور آب زیرزمینی را در سطح زمین ایجاد کنند. یکی از بررسی‌های مهم در مطالعه آب زیرزمینی مخصوصاً در اراضی کارستیک، بررسی وضعیت ژئومورفولوژیک منطقه است زیرا گسترش کارست نیازمند وجود شرایط مناسب ژئومورفولوژیک است [۷]. همچنین وجود ناهمواری‌های بیشتر نشان‌دهنده پیشرفت فرایند کارستی شدن است و در نتیجه افزایش میزان تغذیه آب زیرزمینی را به دنبال دارد. با توجه به مطالب ذکر شده هدف از این تحقیق بررسی ارتباط شاخص‌های ژئومورفومتری و عوامل ساختاری با آبدهی و فراوانی چشمه‌های کارستیک در البرز میانی است.

۲. روش شناسی

۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۲۳۲۶ کیلومترمربع از نظر تقسیمات کشوری در استان‌های تهران، البرز و مازندران قرار گرفته و شامل حوضه‌های لار، ولایت رود، لوا سانات، جاجرود آهار، شمشک، گرمابدر، کرج میانی ۲، کرج میانی ۳ و وارنگ رود می‌باشد. ارتفاع متوسط حوزه (۱) موقعیت حوزه مورد مطالعه و راه‌های ارتباطی منطقه را نشان می‌دهد.

۲.۲. زمین شناسی عمومی منطقه

شکل (۲) نقشه زمین شناسی حوزه به همراه جدول راهنمای مربوط به جنس سنگ‌ها را نشان می‌دهد که بر اساس آن منطقه مورد مطالعه از ۳۹ واحد سنگ شناسی تشکیل شده است که بیش‌ترین بخش از محدوده (۴۸ درصد از مساحت کل) را توف‌های سبز، سنگ‌های رسوبی

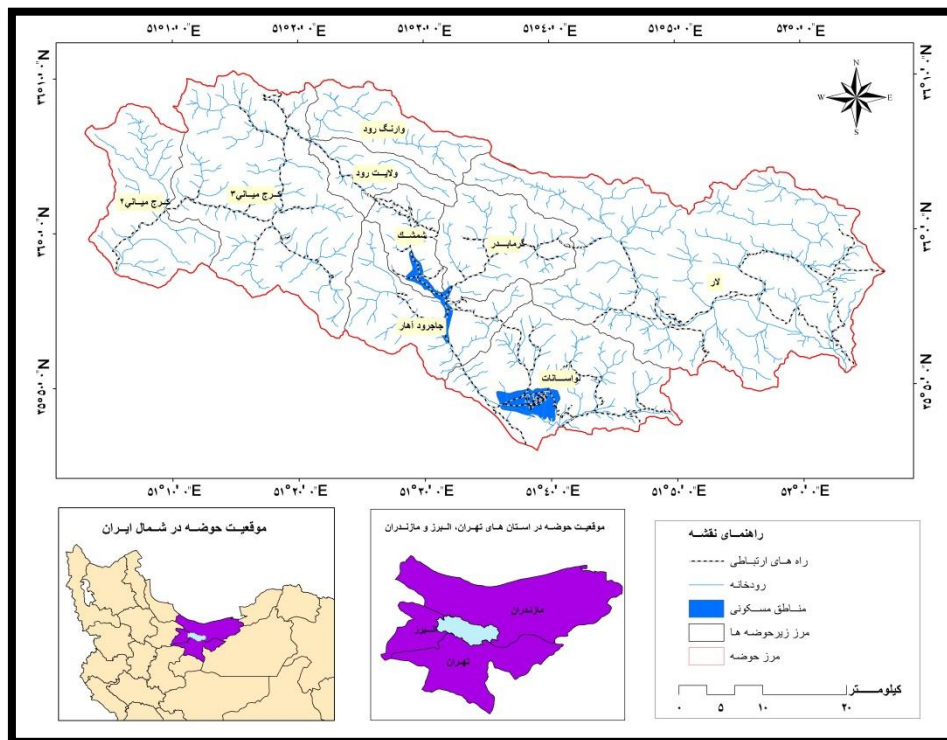
و گدازه‌های آتشفشانی مربوط به سازند کرج تشکیل می‌دهد و سازندهای آهکی نیز در مجموع حدود ۲۰ درصد مساحت حوضه را تشکیل می‌دهند.

۳.۲. روش شناسی

۱.۳.۲. تهیه لایه‌ها و استخراج اطلاعات لایه‌ها

برای هر یک از چشمه‌ها

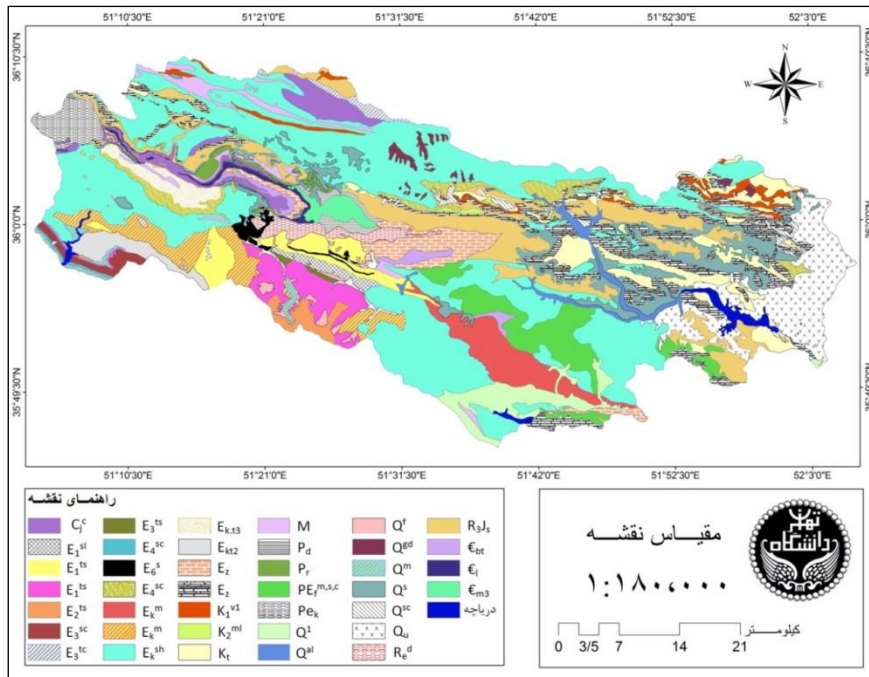
برای انجام پژوهش جاری در ابتدا کلیه اطلاعات پایه موجود جمع‌آوری شدند. سپس بانک اطلاعات مورد نیاز اعم از کلیه داده‌های مربوط به زمین و ژئومرفولوژی، پوشش گیاهی، پراکنش مکانی چشمه‌ها و انحنای دامنه‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای مختلف تهیه شدند. داده‌های مورد استفاده این پژوهش مطابق جدول (۲) می‌باشد. هرکدام از این اطلاعات با استفاده از اطلاعات پایه موجود تهیه شده است. در نهایت با تلاقی نقشه چشمه با هرکدام از لایه‌های مورد نظر بررسی‌های آماری مطابق مرحله بعد انجام پذیرفتند.



شکل ۱. موقعیت حوزه مورد مطالعه در شمال ایران

جدول ۱. ویژگی‌های سنگ‌شناسی و مساحت سازندهای موجود در منطقه

| سن | مساحت (km ²) | | علامت | سازند | ویژگی‌های سنگ‌شناسی | |
|------------------------------|--------------------------|--------------|-----------------|---------------------------------|---|--|
| | دوره | دور | | | | |
| سنوزوئیک | کواترنر | پلنیستوسن | Q ^{al} | آبرفت امروزه | آبرفت‌های سخت نشده عهد حاضر | |
| | | | Q ^f | مخروط افکنه | مخروط افکنه‌های آبرفتی جوان و قدیمی، کنگلومرای مخروط‌افکنه‌ای | |
| | | | Q ^m | آبرفت پادگانه‌ای | مورن‌ها (نهشته‌های یخچالی) | |
| | | | Q ^s | آبرفت امروزه | واریزه، به‌طور محلی همراه با نهشته‌های آبرفتی تفکیک نشده | |
| | | | Q ^l | آبرفت پادگانه‌ای | مخروط افکنه‌ها و پادگانه‌های آبرفتی قدیمی | |
| | | | Q ^{sc} | آبرفت پادگانه‌ای | دامنه‌های واریزه‌ای جوان و قدیمی، نهشته‌های فروریخته | |
| | | | Q ^{bd} | آبرفت پادگانه‌ای | نهشته‌های یخچالی | |
| | | | Q _u | آبرفت امروزه | نهشته‌های آبرفتی تفکیک نشده کواترنری | |
| | ترسیر | میوسن | ائوسن | M | قرمز بالایی | نهشته‌های تفکیک نشده میوسن مشتمل بر مارن ماسه دار، کنگلومرا، گچ، سنگ‌آهک میلیولیندار |
| | | | | E ₆ ^s | کرج | شیل خاکستری-قهوه‌ای، سیلت سنگ و ماسه‌سنگ |
| | | پالئوسن | پالئوسن | E ₄ ^{sc} | کرج | ماسه سنگ، کنگلومرا، توف سبز |
| | | | | E ₃ ^{sc} | کرج | ماسه سنگ توفی، میان لایه‌های توف |
| | | | | E ₃ ^{lc} | کرج | ماسه سنگ توفی همرا با کنگلومرا |
| | | | | E ₃ ^{ls} | کرج | توفیت، شیل |
| | | | | E ₂ ^l | کرج | توف و برش و میان لایه‌های سنگ‌آهک |
| | | | | E ₂ ^{ls} | کرج | تناوب شیل و سیلت سنگ |
| | | | | E ₁ ^{sl} | کرج | کنگلومرای قرمز و ماسه سنگ با لایه‌های میانی دولومیت |
| | | | | E ₁ ^{ls} | کرج | توف سبز، توفیت، سنگ سیلت و سنگ‌آهک |
| | | | | E _k ^{sh} | کرج | شیل آهکی و سیلیسی تیره‌رنگ، توفیت، آذرآواری‌ها |
| | | | | E _k ^a | کرج | آگلومرا، سنگ‌های آندزیتی، توف‌ها، آذرآواری‌ها، توفیت |
| | | | | E _k ^m | کرج | گل‌سنگ آهکی ورقه‌ای سبز-خاکستری، شیل، توف، گچ، توفیت |
| | | | | E _k ^l | کرج | توف سبز ضخیم لایه، شیل، کمی گدازه، آواری‌ها، توف-برش |
| | | | | E _{k,t3} | کرج | توف‌ها، آذرآواری‌ها، شیل آهکی، مادستون، ماسه سنگ، گدازه آندزیتی یا داسیتی |
| | | | | E _{k,t2} | کرج | توف‌های سبز ضخیم لایه، کمی گدازه، شیل، آذرآواری‌ها، کنگلومرا، سنگ‌آهک |
| | | | | E _z | زیارت | سنگ‌آهک ضخیم تا نازک لایه |
| | | | | PE ₄ ^{ms,c} | فجن | مارن، ماسه سنگ، کنگلومرا، گچ |
| | مئوزوئیک | کرتاسه | کرتاسه | K ₂ ^{ml} | چالوس | سنگ‌آهک مارنی، سنگ‌آهک، مارن، شیل |
| | | | | K ₁ | تیز کوه | سنگ‌آهک اربیتولین‌دار، شیل آهکی |
| K ₁ ^{vl} | | | | چالوس | سنگ‌های آتش‌فشانی بازی و متوسط تا بازی تیره‌رنگ، آذرآواری‌ها، توف، کنگلومرا | |
| ژوراسیک | | ژوراسیک | ژوراسیک | J ₁ | لار | سنگ‌آهک؛ به‌طور محلی در بخش بالایی دولومیتی |
| | | | | R _{3,l,s} | شمشک | شیل، ماسه سنگ، سیلت سنگ، شیل کربن دار، رس سنگ، کوارتزیت، کنگلومرا |
| پالئوژوراسیک | | پالئوژوراسیک | - | R _e ^d | الیکا | دولومیت توده‌ای |
| | | | | P _r | روته | سنگ‌آهک فوزولین‌دار، سنگ‌آهک دولومیتی؛ دارای چرت در بخش بالایی |
| | | | | P _d | دورود | شیل، ماسه سنگ، سنگ‌آهک، سیلت سنگ، کوارتزیت |
| | | | | C ₃ ^c | جیرود | سنگ‌آهک دولومیتی توده‌ای شکل خاکستری روشن |
| | | | | € _{m3} | میلا | سنگ‌آهک، مارن، دولومیت و شیل تریلوبیت دار |
| | € ₁ | | | لالون | ماسه سنگ آرکوزی قرمز | |
| | € _{bt} | | | باروت | سیلت سنگ و شیل رنگارنگ میکا دار، درون لایه‌های دولومیت چرت دار | |
| پرکامبرین | - | پرکامبرین | Pe _k | کهر | شیل اسلیتی، ماسه سنگ، سیلت سنگ، دولومیت | |



شکل ۲. نقشه زمین شناسی حوزه مورد مطالعه

جدول ۲. لایه های اطلاعاتی مورد استفاده و طریقه تهیه آن ها

| منبع و روش تهیه لایه رقمی | نام لایه | ردیف |
|--|---|------|
| نقشه زمین شناسی، تصاویر ماهواره ای لندست و فیلترینگ در PCI Geomatica | اجزای تکتونیک و خطواره (گسل) | ۱ |
| اطلاعات تماب، نقشه های توپوگرافی | لایه چشمه ها و مقدار تخلیه | ۲ |
| مدل رقمی ارتفاع (DEM) | طبقات ارتفاعی | ۳ |
| DGN ، تصاویر ماهواره ای و با استفاده از اکستنشن ArcHydro | آبراهه ها | ۴ |
| مدل رقمی ارتفاع در (SAGA & ArcGIS) | پارامترهای ژئومورفومتری شامل: لایه های انحنای دامنه، شیب، جهت، نسبت سطح، شاخص موقعیت توپوگرافیک (TPI)، قدرت بردار (VRM) | ۵ |
| تصاویر ماهواره ای در (Geomatica PCI) | لایه پوشش گیاهی (NDVI) | ۶ |

محاسبه می شود:

$$r = \frac{\sum xy - n\bar{x}\bar{y}}{\sqrt{\sum x^2 - n\bar{x}^2} \sqrt{\sum y^2 - n\bar{y}^2}}$$

رابطه ۱

این ضریب همبستگی، روشی پارامتری است و برای داده هایی با توزیع نرمال یا تعداد داده های زیاد استفاده می شود.

۲،۳،۲. تجزیه و تحلیل داده ها

به منظور بررسی آماری رابطه بین ویژگی های مورد بررسی و رخداد چشمه ها از روش های آماری زیر بهره گیری شد:

۱،۲،۳،۲. ضریب همبستگی پیرسون

ضریب همبستگی پیرسون (r) به کمک رابطه زیر

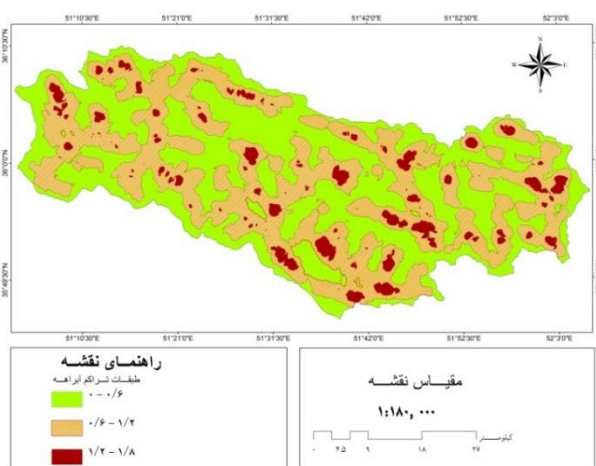
آن بین ۰ تا ۱ متغیر است. چنان که این پارامتر بزرگتر از (۰/۵) باشد، می‌توان از این روش برای تحلیل داده‌ها استفاده کرد [۳، ۱۳].

۳. نتایج

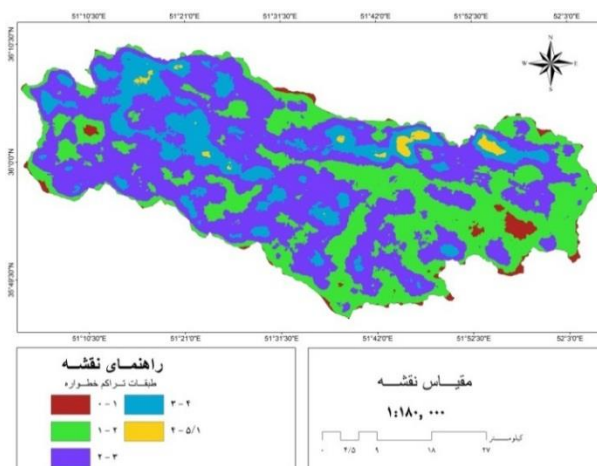
پس از انجام مراحل تولید لایه‌های مورد نیاز نقشه‌های مختلف تهیه شدند که برخی از آن‌ها ارائه شده است (شکل ۳ الی ۱۰).

۲.۲.۳.۲. تحلیل عاملی (PCA)

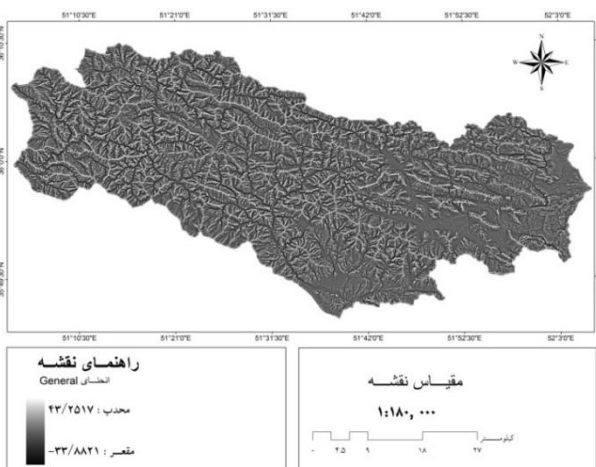
از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) بیشتر در تحلیل داده اکتشافی و همچنین در مدل‌های پیش‌بینی برای کاهش پیچیدگی متغیرهای اولیه استفاده می‌شود [9]. در این روش داده‌ها به مؤلفه‌های جدید و مستقل از هم تبدیل می‌شوند که ترکیب خطی از متغیرهای اولیه هستند. اعتبار استفاده از این روش با پارامتر kmo (Kaiser-Mayer-Olkin) سنجیده می‌شود که مقدار



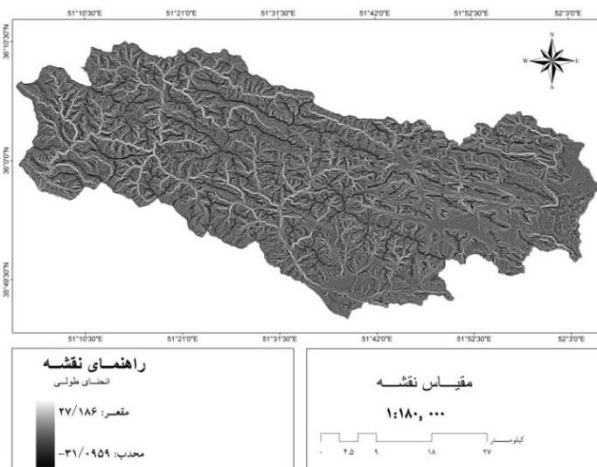
شکل ۴. نقشه تراکم زهکشی



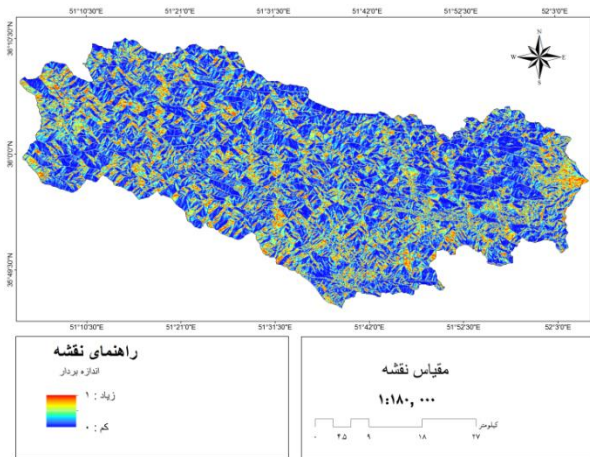
شکل ۳. نقشه تراکم خطواره‌ها



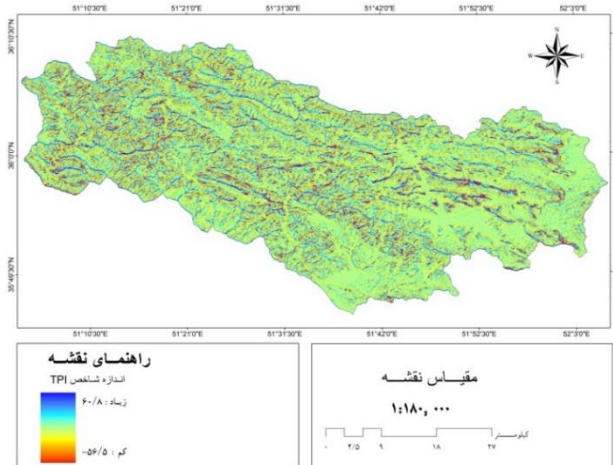
شکل ۶. نقشه انحنای عمومی



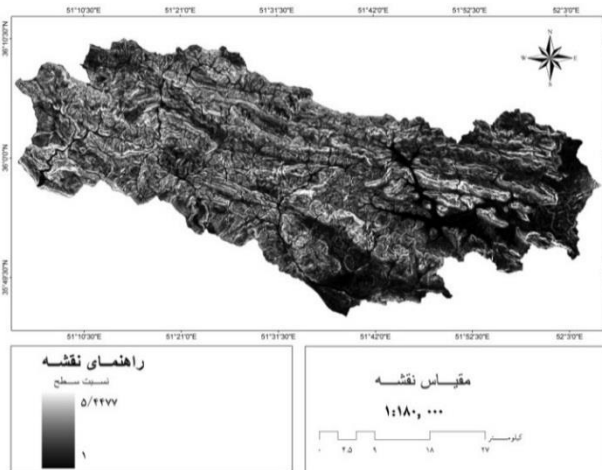
شکل ۵. نقشه انحنای طولی



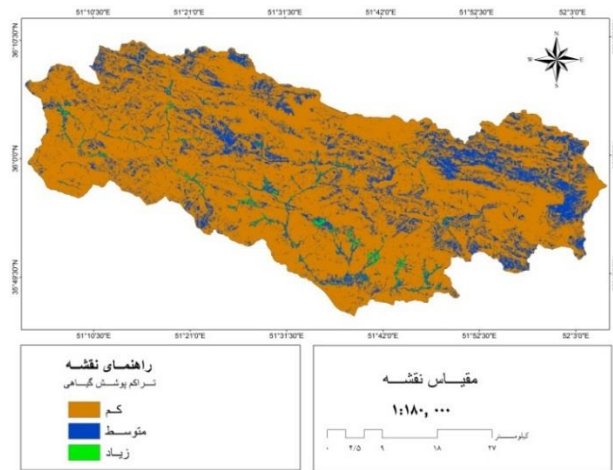
شکل ۸. قدرت بردار (VRM)



شکل ۹. شاخص موقعیت توپوگرافیکی (TPI)



شکل ۱۰. نقشه نسبت سطح



شکل ۹. نقشه شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

مستقیم و با ارتفاع و تراکم خطواره رابطه عکس دارد.

۲.۳. تحلیل عاملی

نتایج این بخش حاوی چند قسمت است. قسمت اول مربوط به مقادیر ویژه به همراه واریانس تبیین شده توسط هر کدام از مؤلفه ها (PCA) می باشد و با توجه به مقدار ویژه بیشتر از یک، عامل هایی است که در تحلیل باقی می ماندن نشان داده شده اند. عوامل خارج شده از تحلیل، عواملی هستند که حضور آنها باعث تبیین بیشتر واریانس نمی شود.

۱.۳. ضریب همبستگی پیرسون

با توجه به انجام آزمون همبستگی پیرسون، ماتریسی به دست می آید که نشان می دهد ۹۷ عامل بر روی یکدیگر تأثیر بیشتری می گذارند. از این رو که هدف ما بررسی مهم ترین عوامل در آبدهی چشمه ها می باشد فقط همبستگی های مربوط به آبدهی مورد تفسیر قرار می گیرد. با توجه به جدول (۳) متغیرهای ارتفاع، تراکم خطواره و تراکم زهکشی در سطح ۹۹٪ معنی دار می باشند. بر طبق نتایج به دست آمده، آبدهی چشمه ها با تراکم زهکشی رابطه

جدول ۳. ضریب همبستگی پیرسون

| قدرت بردار | شاخص موقعیت توپوگرافیک | انحنای مماسی | نسبت سطح | شیب | فاصله از آبراهه | تراکم زهکشی | انحنای مقطعی | پوشش گیاهی |
|--------------------|------------------------|--------------|--------------|--------|-----------------|-------------|--------------|------------|
| متوسط تخلیه سالانه | ۰/۰۱۴ | ۰/۲۷ | ۰/۰۲- | ۰/۰۷- | ۰/۱۷- | ۰/۶۴ | ۰/۰۱۶- | ۰/۰۳- |
| انحنای طولی | فاصله از خطواره | تراکم خطواره | انحنای عمومی | ارتفاع | انحنای متقاطع | بارندگی | جهت | |
| متوسط تخلیه سالانه | ۰/۰۱۹- | ۰/۰۲۷ | ۰/۰۲۴- | ۰/۵۲ | ۰/۰۲۱ | ۰/۴۳ | ۰/۰۰۱- | |

بین متغیرهای فوق در جدول پیرسون، متغیرهایی با علامت (***) نشان می‌دهند که داده‌ها معنی‌داری در سطح ۰/۰۰۱٪ نسبت به یکدیگر دارند.

انحنای متقاطع، انحنای عمومی، انحنای مماسی و شاخص موقعیت توپوگرافیک قرار دارند. در عامل دوم نیز انحنای طولی و انحنای مقطعی دارای بیشترین همبستگی می‌باشند. در عامل سوم، متغیرهای پوشش گیاهی، شیب و نسبت سطح، در عامل چهارم، متوسط تخلیه سالانه، ارتفاع، تراکم زهکشی و فاصله از آبراهه، در عامل پنجم، متغیرهای تراکم خطواره و فاصله از خطواره و در عامل ششم متغیرهای جهت و قدرت بردار قرار دارند. با توجه به متغیرهای موجود در عوامل اول و دوم می‌توان این دو عامل را تحت عامل توپوگرافی نام‌گذاری کرد. به همین ترتیب عامل سوم را عامل توپوگرافی و پوشش گیاهی، عامل چهارم تحت عنوان عامل هیدرولوژیکی، عامل پنجم را به عنوان عامل ساختاری و عامل ششم نیز تحت عنوان زبری توپوگرافیک نام‌گذاری شدند.

قسمت دوم مربوط به مقدار ویژه عوامل استخراجی نشان دهنده مقدار ویژه عوامل استخراجی با چرخش می‌باشد. با توجه به اینکه بارهای عاملی (نمرات عاملی) هر یک از متغیرها در عامل‌های باقی مانده می‌باشد. تفسیر بارهای عاملی بدون چرخش، ساده نیست. بنابراین عامل‌ها چرخانده شدند تا قابلیت تفسیر آن‌ها افزایش یابد. هر چه قدر مقدار قدر مطلق این ضرایب عاملی بیشتر باشد، عامل مربوطه نقش بیشتری در کل تغییرات (واریانس) متغیر مورد نظر دارد (جدول ۴). با توجه به انجام تحلیل عاملی روی ۱۷ متغیر مؤثر در بروز چشمه، شش عامل دارای مقدار ویژه بزرگتر از ۱ هستند و در تحلیل باقی می‌مانند. این شش عامل می‌توانند تقریباً ۷۳/۵٪ در صد از تغییرپذیری (واریانس) متغیرها را توضیح دهند. در هر کدام از شش عامل ذکر شده یکسری از متغیرها دارای ارزش کمی بیشتری نسبت به سایر متغیرها می‌باشند. به عنوان مثال در عامل اول متغیرهای

جدول ۴. نتایج مربوط به تحلیل عاملی و مقادیر ویژه مؤلفه‌های مؤثر

| مؤلفه | مقدار ویژه | واریانس٪ | مؤلفه‌های اصلی | مقدار ویژه | واریانس٪ | چرخش واریماکس |
|-------------|------------|----------|----------------|------------|----------|---------------|
| مؤلفه اول | ۴/۹۹۹ | ۲۹/۴۰۶ | تجمعی٪ | ۲۹/۴۰۶ | ۲۹/۴۰۶ | تجمعی٪ |
| مؤلفه دوم | ۲/۵۶۱ | ۱۵/۰۶۸ | مقدار ویژه | ۴۴/۴۷۳ | ۱۷/۰۹۷ | ۳۵/۴۲۱ |
| مؤلفه سوم | ۱/۴۶۰ | ۸/۵۸۵ | تجمعی٪ | ۵۳/۰۵۹ | ۱۴/۶۴۶ | ۵۰/۰۶۶ |
| مؤلفه چهارم | ۱/۳۵۱ | ۷/۹۴۹ | مقدار ویژه | ۶۱/۰۰۸ | ۹/۱۵۴ | ۵۹/۲۲۰ |
| مؤلفه پنجم | ۱/۰۹۷ | ۶/۴۵۳ | تجمعی٪ | ۶۷/۴۶۱ | ۷/۸۳۸ | ۶۷/۰۵۸ |
| مؤلفه ششم | ۱/۰۱۸ | ۵/۹۸۸ | مقدار ویژه | ۷۳/۴۵۰ | ۱/۰۸۷ | ۷۳/۴۵۰ |
| مؤلفه هفتم | ۰/۹۵۳ | ۵/۶۰۳ | تجمعی٪ | ۷۹/۰۵۳ | ۶/۳۹۲ | |
| مؤلفه هشتم | ۰/۹۱۴ | ۵/۳۷۵ | مقدار ویژه | ۸۴/۴۲۷ | | |

جدول ۵. نتایج حاصل از مقدار بارهای عامل برای هر متغییر و مؤلفه

| متغیرها | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | مؤلفه |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| متوسط تخلیه سالانه | ۰/۱۱۸- | ۰/۱۶۵ | ۰/۱۸۴ | ۰/۴۹۳ | ۰/۳۵۱ | ۰/۲۳۶- | |
| جهت | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۶۸ | ۰/۱۱۰ | ۰/۰۲۲ | ۰/۰۳۵ | ۰/۸۳۸ | |
| انحنای متقاطع | ۰/۹۶۶ | ۰/۱۹۴ | ۰/۰۶۴ | ۰/۰۰۴- | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۴۰- | |
| ارتفاع | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۹۰ | ۰/۰۳۷ | ۰/۷۴۹- | ۰/۰۹۳ | ۰/۰۷۴- | |
| انحنای عمومی | ۰/۷۴۱ | ۰/۶۶۰ | ۰/۰۷۲ | ۰/۰۴۹- | ۰/۰۱۰ | ۰/۰۴۷- | |
| تراکم خطواره | ۰/۰۶۶- | ۰/۰۱۷ | ۰/۱۶۶ | ۰/۰۹۴ | ۰/۷۷۰- | ۰/۰۰۵- | |
| فاصله از خطواره | ۰/۰۳۴ | ۰/۰۵۸- | ۰/۰۹۱- | ۰/۰۲۸ | ۰/۷۴۷ | ۰/۰۹۰ | |
| انحنای طولی | ۰/۲۵۲- | ۰/۹۴۷- | ۰/۰۵۸- | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۳۹ | |
| پوشش گیاهی | ۰/۰۰۹- | ۰/۰۶۰- | ۰/۵۷۷- | ۰/۰۲۶ | ۰/۱۴۸ | ۰/۰۰۱ | |
| انحنای مقطعی | ۰/۱۳۲- | ۰/۹۶۵- | ۰/۰۸۰- | ۰/۰۹۵ | ۰/۰۴۵ | ۰/۰۳۴ | |
| تراکم زهکشی | ۰/۱۰۱ | ۰/۰۹۷- | ۰/۳۲۷- | ۰/۶۸۰ | ۰/۰۱۵- | ۰/۱۱۹ | |
| فاصله از آبراهه | ۰/۱۴۹ | ۰/۲۹۹ | ۰/۴۶۵ | ۰/۴۸۲- | ۰/۰۸۹ | ۰/۱۸۳- | |
| شیب | ۰/۰۹۸ | ۰/۰۳۸ | ۰/۹۳۱ | ۰/۱۱۳- | ۰/۰۸۱- | ۰/۰۱۳- | |
| نسبت سطح | ۰/۰۷۵ | ۰/۰۱۰ | ۰/۹۱۷ | ۰/۰۹۰- | ۰/۰۴۳- | ۰/۰۰۳- | |
| انحنای مماسی | ۰/۹۷۹ | ۰/۰۸۵ | ۰/۰۸۹ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۵۶ | ۰/۰۳۹- | |
| شاخص موقعیت توپوگرافیک | ۰/۷۲۰ | ۰/۶۶۳ | ۰/۰۶۷ | ۰/۰۴۱- | ۰/۰۰۵- | ۰/۰۴۰- | |
| قدرت بردار | ۰/۰۸۶- | ۰/۱۰۰- | ۰/۱۰۵- | ۰/۰۷۶ | ۰/۰۳۶ | ۰/۵۰۸ | |

۴. بحث و نتیجه گیری

جهت ارتباط و همبستگی بین عوامل مؤثر بر فراوانی چشمه‌ها اقدام به تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از روش‌های آماری گردید. طی این مراحل نتایج زیر به دست آمد:

با توجه به آزمون همبستگی پیرسون ماتریسی به دست آمد که نشان می‌دهد ارتفاع با آبدهی چشمه رابطه عکس دارد، زیرا هرچه ارتفاع بیشتر شود، آبخوان چشمه کوچکتر و آبدهی کمتر می‌شود. همچنین رابطه تراکم خطواره‌ها با آبدهی نیز معکوس است، از لحاظ زمین‌شناسی وجود تراکم بالای خطواره‌ها در لایه‌های آهکی شرایط مناسبی را برای ذخیره و حرکت آب فراهم کرده است. بر اساس شکل (۳) در بخش شمالی زیر حوضه لار و اکثر

قسمت‌های زیر حوضه کرج میانی، تراکم خطواره‌ها بیشتر است که می‌توانند بیانگر نفوذ آب بیشتری باشند. زیاد تر بودن تراکم خطواره در این محدوده را می‌توان به زون خرد شده و گسلی مرتبط با گسل‌های موشا- فشم مرتبط دانست. نتایج بررسی خطواره‌ها نشان می‌دهد هرچه میزان گسل و شکستگی در منطقه بیشتر باشد، تغذیه آبخوان‌ها در آن منطقه بیشتر است و در نتیجه می‌تواند فراوانی چشمه و میزان آبدهی آن‌ها بیشتر باشد. البته لازم به ذکر است که در مناطق با تراکم زیاد گسل در محل خطوط گسلی به دلیل فرایندهای میلونیتی شدن سنگ‌ها، وضعیت نفوذپذیری کمتر می‌شود ولی در مجموع با فاصله گرفتن از گسل‌ها به دلیل خردشدگی بیشتر نفوذ و حرکت آب تسریع می‌شود. بنابراین وجود

توجیه می‌شود: با توجه به نتایج حاصله عامل اول و دوم (توپوگرافی)، انواع انحنایها و شاخص موقعیت توپوگرافیک را شامل می‌شوند. این دو عامل می‌توانند تقریباً ۴۵ درصد از تغییرپذیری (واریانس) متغیرها را توضیح دهند پس این متغیرها را می‌توان مهم‌ترین عوامل مؤثر در آبدهی چشمه‌های کارستیک در منطقه البرز میانی به شمار آورد. عامل انحنا تأثیر زیادی روی سرعت جریان و حالت تقعر و تحدب دامنه‌ها دارد و با افزایش آن حالت مقعر شده و سرعت جریان کاهش می‌یابد و سرعت نفوذ بیشتر می‌شود که این موضوع با توجه به تراکم نسبی چشمه‌ها در حالت مقعر (۱۵۲/۴۹) در مقابل حالت محدب (۴۰/۱۸) مورد تأیید قرار گرفت، این موضوع همچنین در سایر انحنایهای محاسبه شده نیز صدق می‌کند، بنابراین در دامنه‌های مقعر و همگرا احتمال نفوذ آب بیشتر هست که منجر به ایجاد منابع آب زیرزمینی می‌شود و شرایط بروز چشمه‌های کارستی بیشتر می‌شود [۱۲، ۱۴]. شاخص موقعیت توپوگرافیک نیز که حالت گودی و برآمدگی را مورد تمایز قرار می‌دهد نیز به‌عنوان یکی دیگر از شاخص‌های ژئومورفومتریک در نظر گرفته شده است. وجود گودی‌ها و چاله‌ها (در مناطق با TPI کم) موجب افزایش زمان تأخیر جریان‌های سطحی شده و نفوذ آب را باعث می‌شود.

رابطه منفی بین مقدار آبدهی و تراکم خطواره مبین این است که در منطقه به دلیل فراوانی گسل‌ها در عمل چشمه‌هایی که نزدیکتر و بر روی گسل‌ها قرار دارند به دلیل ساختارهای سنگی و تورق ناشی از نیروهای گسلی مقدار آبدهی کمتر می‌شود. از سوی دیگر می‌توان آبدهی کمتر را به ایجاد شرایط فرار آب توسط خطوط گسلی مرتبط دانست. آنچه مسلم است در مناطق با تراکم زیاد گسل انتظار می‌رود که حضور چشمه‌ها بیشتر شود و این مورد در این پژوهش نیز اثبات شد که هم‌مانگ با یافته‌های قبلی است [۲، ۷]. آبدهی با تراکم زهکشی رابطه عکس دارد، زیرا در مناطق کارستیک توسعه و تکامل آبراهه‌ها به دلیل فرایندهای کارستی هست، بنابراین چشمه‌ها در بیشتر مواقع به‌عنوان تأمین‌کننده جریان آب در آبراهه‌ها هستند. این مسئله موجب شده است که چشمه‌ها به عنوان منابع اولیه تأمین جریان آب و تشکیل آبراهه‌ها به شمار آیند. بنابراین تخلیه آب چشمه‌ها در ارتباط کانل با فاصله از آبراهه خواهد بود. در نتیجه مشاهده شد چشمه‌های نزدیک به آبراهه‌ها و وجود منابع آبی به مراتب بیشتر بوده و تراکم بالاتری دارند که با نتایج تحقیقات [۵] مطابقت دارد. همچنین با توجه به انجام آزمون‌های متعدد و شش عامل به دست آمده از انجام آزمون تحلیل عاملی ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه در بروز چشمه چنین

References

- [1] Afrasiabian, A. (1998). Studies the Importance of Water Resources in Karst. A proceedings of International Conference on Constructive Karstic. Tehran-Kermanshah .
- [2] Ballukraya, P. N., and R. Kalimuthu. (2010). Quantitative hydrogeological and geomorphological analyses for groundwater potential assessment in hard rock terrains. *Current Science*, 98(2), 253-257.
- [3] Camdevyren, H., Demyr, N., Kanik, A., and Kesky, S. (2005). Use of principal component scores in multiple linear regression models for prediction of Chlorophyll-a in reservoirs. *Ecological Modeling*, 181, 581-589.
- [4] Ford, D., and Williams. P. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, Johan Wiley and Sons.
- [5] Gholami, V., Azodi, M. and Salimi, E.T. (2008). Modeling of karst and alluvial springs discharge in the central Alborz highlands and on the Caspian southern coasts. *Caspian Journal of Environment Science*, 6(1), 41-45.

- [6] Kalantari .N, Keshavarzi. M.R & Charchi A. (2009). Assessment of Factors Influencing Occurrence of Springs in Izeh Watershed. *Journal of Applied Geology*, 5(2), 135- 148.
- [7] kazemi, R., Ghayoumian, j. And Jalali, N. (2006). Investigation the effect of structural elements on the karst water resource abundance in the LAR catchment's using GS and GIS. *Pajouhesh & Sazandegi*, 73, 33-41.
- [8] Lashanizand, M. and Gholamrezaee, S. (2011). Assessment of Relationship between Climatological Variables and Discharge of Karstic Springs in order to Manage Urban Water Resources (Case study: Khorramabad City). *Environment Based territorial planning*, 15, 61-81.
- [9] Ouyang, Y. (2005). Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. *Water Research*, 39 (12), 2621-2635.
- [10] Ozdemir, A., 2011. Using a binary logistic regression method and GIS for evaluating and mapping the groundwater spring potential in the Sultan Mountains (Aksehir, Turkey). *Journal of Hydrology*, 405(1), 123-136.
- [11] Sappington, J.M., Longshore, K.M., Thompson, D.B. (2007). Quantifying landscape ruggedness for animal habitat analysis: a case study using bighorn sheep in the Mojave Desert. *The Journal of Wildlife Management*, 71, 1419–1426.
- [12] Schmidt, J., Evans, I.S. and Brinkmann, J. (2003). Comparison of polynomial models for land surface curvature calculation. *International Journal of Geographical Information Science*, 170(8), 797 – 814.
- [13] Singh, K. P., Malik, A., Mohan, D., and Sinha, S. (2004). Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) a case study: *Water Research*, 38, 3980-3992.
- [14] Wilson, J.P. and Gallant, J.C. 2000. *Terrain Analysis Principles and Applications*, Johan Wiley Press.

