

## نقش پارامترهای ژئومورفیک مخروط افکنه‌ها بر تغییرات آب زیرزمینی (محدوده مطالعاتی: شرق و مرکز استان گیلان)

علی رجیبی اسلامی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی گروه جغرافیای طبیعی دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی.  
منیژه قهرودی تالی\* - استاد ژئومورفولوژی گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی.  
علیرضا صالحی پور میلانی - استادیار ژئومورفولوژی گروه جغرافیای طبیعی دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۰۱      تأیید نهایی: ۱۴۰۲/۰۹/۰۹

### چکیده

سیستم آب‌های زیرزمینی به میزان زیادی تحت تأثیر فرایندهای محیطی به‌خصوص ژئومورفولوژی سطح زمین می‌باشند و استفاده از متغیرهای ژئومورفولوژی رهیافت جدیدی را در زمینه شناسایی پتانسیل آب‌های زیرزمینی در اختیار برنامه ریزان سرزمین قرار می‌دهد. مخروط افکنه‌ها به‌عنوان یکی از تیپ‌های مهم ژئومورفولوژی ایران، با ساختار منحصر به فرد خود، محیط مناسبی را برای ذخیره‌سازی آب زیرزمینی به‌خصوص در فلات ایران فراهم آورده است. در این پژوهش سعی شده است تا نقش پارامترهای ژئومورفیک مخروط افکنه‌ها بر تغییرات آب زیرزمینی در نواحی شرقی و مرکزی استان گیلان مورد بررسی قرار گیرد. از این طریق می‌توان الگویی مناسب و مبتنی بر پارامترهای ژئومورفیک را برای پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی ارائه داد. بر این اساس ابتدا مرز ۲۸ مخروط افکنه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی ترسیم شد و ۱۱ پارامتر شامل مساحت، زاویه جاروب، شیب، تقعر، حجم، ارتفاع رأس و قاعده، طول، طول قاعده، اختلاف ارتفاع و شعاع مخروط افکنه استخراج گردید و ارتباط این پارامترها با عمق سطح ایستابی، دبی چاه و میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در ۲۳۵۵۹ حلقه چاه آب با استفاده از روش‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تغییرات دبی، هدایت الکتریکی و عمق سطح ایستابی به ترتیب با میزان ۸۲٪، ۴۵٪ و ۴۵٪ تحت تأثیر مورفومتری مخروط افکنه‌ها قرار دارد. با افزایش میزان مساحت، طول و حجم مخروط افکنه‌ها میزان دبی و هدایت الکتریکی آب زیرزمینی افزایش پیدا می‌کند و این ارتباط به‌خصوص در خوشه سوم که منطبق بر مخروط افکنه‌های غربی منطقه مورد مطالعه است بیشتر به چشم می‌خورد. یافته‌های این پژوهش نشان داده که شاخص‌های ژئومورفولوژیکی مخروط افکنه‌ها می‌تواند به‌عنوان الگویی در ارزیابی تغییرات ویژگی‌های هیدرولوژیکی آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه و سایر مناطق مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: ژئومورفولوژی، آب زیرزمینی، مورفومتری، مخروط افکنه، استان گیلان.

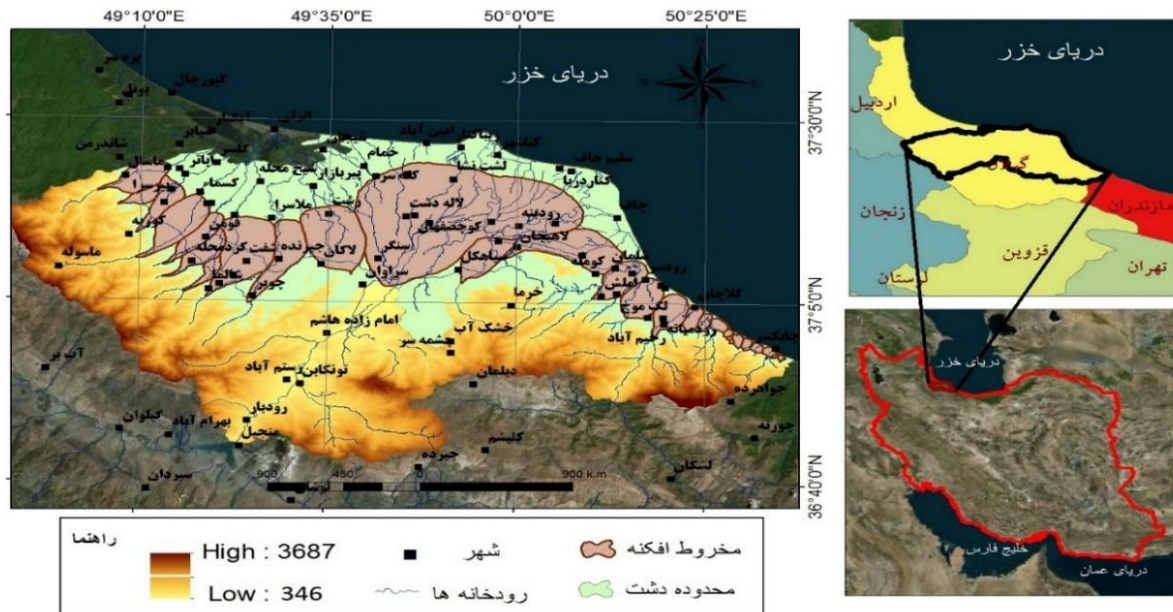
## مقدمه

نظریات سیستمی از زمانی که روش‌های کمی نظیر ریاضیات کاربردی، فیزیک و آمار وارد آن شد توسعه و تحول بیشتری نمود (آدامز، ۲۰۱۲). به‌ویژه از دهه ۱۹۷۰ میلادی به بعد روابط بین فرم و فرایندها در سیستم‌های ژئومورفیک از طریق روش‌های کمی توسعه چشم‌گیری داشت به‌گونه‌ای که مدل‌سازی روابط میان پدیده‌های ژئومورفولوژی در واحدهای ژئومورفیک بسط پیدا کرد (باکر، ۱۹۹۳). در واقع لند فرم‌ها بر اساس ظاهری خود می‌توانند سبب کنترل بر شرایط هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی بشوند (متر و همکاران، ۲۰۱۹). با توجه به اینکه آب زیرزمینی جزو یک منطقه و سیستم تعاملی از سطح زمین و یا نزدیک به سطح زمین می‌باشد، در قلمرو تأثیرپذیر ژئومورفولوژی قرار گرفته و به‌وسیله آن ایجاد و یا کنترل می‌شود (براون، ۱۹۹۵). این کنترل توسط متغیرهای بسیاری صورت گرفته که عبارت‌اند توپوگرافی و فرم، ویژگی مواد سطحی یا مورفوژنز، تغییرات آب و هوایی و هوازدگی‌ها، تغییرات زمانی (زکسا و اورت، ۲۰۰۴). به‌طور کلی اشکال ژئومورفیک مؤثر در تشکیل آبخوان‌ها با توجه به سازندهای زمین‌شناسی، عمدتاً به لند فرم‌های موجود در رسوبات آبرفتی و سنگ‌های آهکی تقسیم می‌شوند. حدود ۹۰ درصد از سفره‌های آب زیرزمینی در رسوبات نرم آبرفتی بخصوص گراول و ماسه تشکیل شده‌اند (تاد و مایز، ۲۰۰۵). علاوه بر فرم‌های ژئومورفیک، عملکرد فرایندهای ژئومورفیک نظیر فرسایش، حمل و رسوب‌گذاری با تأثیرگذاری بر خواص خاک و تغییر لند فرم‌ها، از عوامل مؤثر در مقدار پتانسیل منابع آب زیرزمینی می‌باشد. هر یک از فرایندهای رودخانه‌ای، گرانش، بادی، ساحلی و یخبندان در مناطق تحت تسلط خود ساختار رسوب‌گذاری متمایزی دارد که برحسب مکانیزم تشکیل و نوع مواد تشکیل‌دهنده، رفتار و میزان ذخیره سفره‌های آب زیرزمینی را تحت شعاع قرار می‌دهد (هاگینز و کوتس، ۱۹۹۰). مخروط افکنه‌ها به‌عنوان یکی از تیپ‌های مهم ژئومورفولوژی ایران، با ساختار و ویژگی منحصر به فرد خود، محیط بسیار مناسبی را برای ذخیره‌سازی و نگهداشت قابل توجه آب در اختیار نواحی خشک و کم‌برخوردار از منابع آب سطحی قرار می‌دهد. از آنجایی که اقلیم ایران اساساً خشک و نیمه‌خشک است و جریان‌ها و سیلاب‌های فصلی قابل توجه و عظیمی دارد، بخش وسیعی از بیشتر مخروط افکنه‌های کشور از رسوبات درشت‌دانه تشکیل شده است که توان بالایی در ذخیره و نگهداشت آب زیرزمینی دارند (فرزین و جلیلی آبشورمند، ۱۳۹۸). مخروط افکنه‌ها در نواحی مرطوب از تکامل و توسعه بالایی برخوردارند و بیشتر دشت‌های جلگه‌ای نواحی مرطوب شمال کشور را این لند فرم‌ها پوشش داده‌اند. استان گیلان یکی از مناطق پر جمعیت کشور بوده که با ۲۷۶۰/۲۳۴ نفر جمعیت، دوازدهمین استان پر جمعیت کشور می‌باشد (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۰). این مناطق به دلیل ضخامت زیاد رسوبات حاصل از مخروط افکنه‌های جدید و قدیمی، تغذیه مناسب از بستر رودخانه‌ها و بارندگی بسیار زیاد از نظر کمیت آب زیرزمینی در وضعیت مطلوب قرار دارد (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، ۱۳۹۸) اما به دلیل عواملی نظیر افزایش مهاجرپذیری و عدم شناخت لند فرم‌های مؤثر در کیفیت و کمیت آب زیرزمینی به‌خصوص در نواحی ساحلی ناپایدار گردیده و نیازمند مدیریت و پتانسیل‌یابی مناسب می‌باشد (گزارش شرکت آب و فاضلاب روستایی استان گیلان، ۱۳۹۱). مخروط افکنه‌ها به‌عنوان یک لند فرم مهم در مناطق دشتی بوده که از دهانه‌ی رودخانه‌های خروجی از کوهستان شروع شده و تا نواحی پست دشت ادامه‌دارند (بلیر و پیرسون، ۱۹۹۴). این لند فرم‌ها یکی از مکان‌های مناسب برای حفر چاه بوده که منابع و ذخایر آب‌های زیرزمینی قابل توجهی در آن‌ها تشکیل می‌شوند (صدقی و سامانی، ۱۳۹۴). رسوبات مخروط افکنه‌ای از جریانات سطحی برجای مانده‌اند که به سمت پایین دست مخروط افکنه انرژی خود را از دست داده و رسوبات آن‌ها دانه‌ریز تر می‌شوند (نگهبان و زارع، ۱۴۰۱). این مسئله باعث شده که مقادیر ضرایب هیدرودینامیک آبخوان‌های مخروط افکنه‌ای به سمت پایین دست مخروط افکنه کاهش پیدا کند. شکل گوه‌ای آبخوان‌های مخروط افکنه‌ای و کاهش مقدار پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان به سمت پایین دست باعث به وجود آمدن شکل خاصی از آبخوان‌های گوه‌ای می‌گردد که به آن آبخوان‌های گوه‌ای چند زونه می‌گویند (سامانی، ۲۰۱۵). در زمینه بررسی پتانسیل واقعی یا بالفعل آب زیرزمینی مطالعات پراکنده‌ای صورت گرفته است که بر اساس تغییرات محیطی در طی یک بازه مشخص می‌توان به احتمال وجود آب زیرزمینی

در آن منطقه پی برد. این گونه از مطالعات صرفاً به دلیل بررسی یک مدل خاص نظیر بررسی تغییرات رطوبتی خاک و ... دارای خطا می‌باشد. قهرودی تالی و همکاران نقش شاخص‌های ژئومورفولوژیکی نظیر شاخص شیب طول رودخانه، شاخص شکل حوضه، شاخص عدم تقارن حوزه زهکشی را در شناسایی پتانسیل مخاطرات مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بامطالعه مورفومتری حوضه می‌توان شدت مخاطرات را به ۳ رده فعالیت طبقه‌بندی نمود (قهرودی تالی و همکاران، ۱۳۹۸). نگارش و همکاران میزان همبستگی مخروط افکنه‌ها، مسیل، تپه‌ها و دیگر اشکال ژئومورفولوژی با منابع آب زیرزمینی را مثبت و قوی ارزیابی کردند (نگارش و همکاران، ۱۳۹۵). علایی طالقانی و همکاران در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که به ترتیب دشت سیلابی و مخروط افکنه، رسوبات دامنه‌ای و سپس ارتفاعات در ذخیره منابع آب زیرزمینی بیشترین نقش را داشته و کمترین نقش مربوط به اراضی بد لندی است (علایی طالقانی و همکاران، ۱۳۹۶). اسماعیلی برحسب تحلیل‌های آماری به این نتیجه رسید که چاه‌های حفر شده در مخروط افکنه‌های شرق ساحل خزر دارای کیفیت مناسب‌تری نسبت به دشت ساحلی می‌باشند (اسماعیلی، ۱۳۹۴). همچنین تسوچوها را و همکاران به وسیله پهنه‌بندی آب زیرزمینی در سطح مخروط افکنه‌ها، مناطق مناسب کشت برنج را مشخص نمودند (تسوچوها را و همکاران، ۲۰۲۰). چنگ و همکاران میزان کیفیت آب زیرزمینی در مناطق مخروطی کشور تایوان مورد مطالعه قرار دادند (چنگ و همکاران، ۲۰۲۲). در پژوهشی مشابه الروزق و همکاران به پهنه‌بندی مناطق بالقوه آب زیرزمینی بر اساس معیارهای ژئوهیدرولیکی در شمال امارات متحده عربی پرداختند (الروزق و همکاران، ۲۰۱۹). در تحقیق حاضر پس از شناسایی مرز مخروط افکنه‌های موجود در دشت‌های کم ارتفاع شرقی و مرکزی استان گیلان، مورفومتری هر یک از مخروط افکنه‌ها به صورت مستقل محاسبه گردید و به وسیله آن تحلیل‌های کمی از ویژگی‌های ژئومورفیک مخروط افکنه‌ها ارائه شد. با توجه به اینکه فرایندهای مورفونیک و ژئومولوژی تشکیل دهنده مخروط افکنه‌ها مسئول تکامل طولانی‌مدت و پیچیده آن‌ها می‌باشد، می‌توان گفت تغییرات در تحلیل‌های کمی و مورفومتری هر مخروط افکنه، بیانگر تغییر قلمرو فرایندهای ژئومورفیک و همچنین تغییر در میزان نفوذپذیری و ذخیره آبخوان در آن مخروط افکنه می‌باشد. بنابراین در این مقاله سعی شده است با شناسایی مرز تغییرات مورفومتری مخروط افکنه‌ها برحسب طبقه‌بندی آماری، نسبت تغییرات پارامترهای آب زیرزمینی را مشخص نماییم به طوری که نتایج این تحقیق کمک شایانی به شناسایی منابع آب زیرزمینی برحسب مورفومتری مخروط افکنه‌ها خواهد کرد. همچنین نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مطالعات ژئومورفیک پیش از انجام طرح‌های اجرایی می‌تواند زمینه‌ساز کاهش خطا در تعیین مکان مناسب جهت تغذیه آبخوان یا حفر چاه آب زیرزمینی باشد.

#### محدوده مطالعاتی

مخروط افکنه‌های موجود در شرق و مرکز استان گیلان در محدوده جغرافیایی ۴۰° تا ۵۰° و ۰۰° تا ۴۹° طول شرقی و ۳۰° تا ۳۶° عرض شمالی قرار گرفته‌اند (شکل ۱) این مناطق با وسعت ۳۸۲۰ کیلومتر مربع از غرب شهر ماسال شروع شده و تا شهر چابکسر (ابتدا مرز سیاسی استان مازندران) در شرق ادامه دارد.



شکل ۱: محدوده مطالعاتی و مخروط افکنه های شرق و مرکز استان گیلان

این مناطق شامل لند فرم‌های ساحل، جلگه، پای کوه و تراس فوقانی است (سرور، ۱۳۸۳). فعالیت آبهای جاری و تاثیر گذاری دینامیک آب در منطقه از مهم ترین فرایندهای ژئومورفیک فعال در منطقه است. استان گیلان شامل ۵۴ رودخانه اصلی بوده که از این تعداد ۲۸ رود محدوده مطالعاتی قرار دارند. طول رودخانه ها از شرق منطقه به سمت نواحی غربی افزایش پیدا می کند. طول رودخانه در نواحی منطقه جلگه ساحلی شرقی از حدود ۱/۵ کیلومتر شروع شده و در نواحی غربی به حدود ۴۰ کیلومتر می رسد. البته قابل ذکر است که طول رودخانه سفید رود که از حوضه های آبریز البرز مرکزی سرچشمه می گیرد تا حدود ۶۰ کیلومتر هم می رسد. مهم ترین رودخانه های موجود در منطقه مورد مطالعه عبارتند از: رودخانه ماسوله، پسیخان رود، ماسال، شمرد، کیارو، کلاچای، آچارود، سفید رود، سلمان رود و... (گزارش شرکت آب و فاضلاب روستایی استان گیلان، ۱۳۹۱). در مناطق شرقی و مرکزی استان گیلان بارندگی زیاد، رودخانه‌های فراوان، منابع آب‌های ساکن (آب بندان‌ها) و همچنین رسوبات ریزدانه در دامنه مخروط افکنه ها و سطح دشت، سبب ایجاد آب‌های زیرزمینی متعدد با سطح ایستابی بالا در محدوده حوضه آبخیز مورد مطالعه شده که شرایط سهل‌الحصولی جهت دستیابی و استحصال آب زیرزمینی از طریق حفر چاه به صورت دستی و با عمق کم (در حدود ۱۰-۳ متر) برای ساکنین منطقه فراهم نموده است. از سال ۱۳۴۸ تاکنون مطالعات ژئوالکتریک بسیاری جهت بررسی پتانسیل آب زیرزمینی در این مناطق انجام شده که نشان می‌دهد با حرکت از جنوب منطقه به سمت نواحی شمالی (خروجی رودخانه‌ها) عمق آب زیرزمینی از حدود ۱ متر به بیش از ۱۵ متر می‌رسد. البته علیرغم بالا بودن سطح ایستابی در نواحی شمالی دشت و وجود شرایط سهل و ارزان برای دسترسی به آب زیرزمینی، به دلیل عواملی نظیر افزایش مهاجرپذیری، گستردگی و بافت روستاها، بالا بودن تراکم نسبی جمعیت، عدم وجود سیستم جمع‌آوری و تخلیه بهداشتی فاضلاب خانگی، عدم شناخت لند فرم‌های مؤثر در کیفیت و کمیت آب و نوع کشت غالب کشاورزی و ... آب زیرزمینی به‌خصوص در نواحی ساحلی ناپایدار گردیده و نیازمند مدیریت و پتانسیل‌یابی مناسب می‌باشد. همچنین در نواحی رأس مخروط افکنه ها که وضعیت کیفیت آب از شرایط مطلوب‌تری برخوردار است به دلیل نزدیکی به سنگ کف و وجود لند فرم‌های اثرگذار بر پایداری آب زیرزمینی نیاز به مطالعه دقیق پتانسیل این منابع می‌باشد (گزارش شرکت آب و فاضلاب روستایی استان گیلان، ۱۳۹۱).

## روش تحقیق

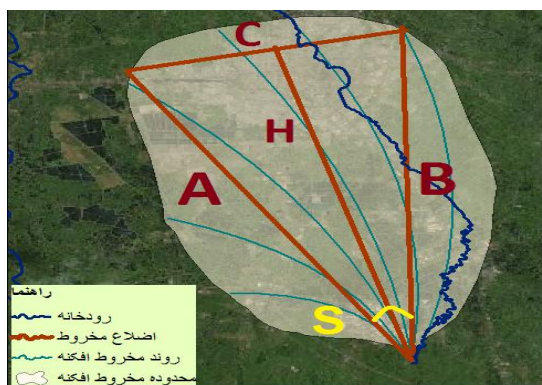
هدف از این مطالعه بررسی مورفومتری مخروط افکنه های نواحی مرکز و شرقی استان گیلان تعیین نقش آن بر پارامترهای آب زیرزمینی است. از این رو به جهت تهیه اطلاعات مورد نیاز عمق سطح ایستابی، انحراف معیار تغییرات زمانی سطح ایستابی، دبی چاه و میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی ۲۳۵۵۹ حلقه چاه شرب، کشاورزی و شهری از سازمان منابع آب کشور دریافت گردید. در واقع عمق و تغییرات سطح ایستابی به همراه میزان دبی چاه‌ها، دو پارامتر مهم در شناسایی میزان آب قابل دسترس و پتانسیل بهره‌برداری می‌باشند. هدایت الکتریکی نیز به عنوان یک شاخص مهم در تعیین میزان غلظت پارامترهای کیفی و املاح محلول آب در تشخیص کلی کیفیت آب زیرزمینی از اهمیت بالایی برخوردار است. بعد از ترسیم محدوده مخروط افکنه ها، میانگین عمق سطح ایستابی، دبی و هدایت الکتریکی در هر محدوده تفکیک و به وسیله پهنه بندی کریجینگ محاسبه گردید. همچنین مرز ۲۸ مخروط افکنه بر حسب تغییرات منحنی های میزان و انطباق آن با شکستگی های نیمرخ ارتفاعی در محدوده رسوبگذاری هر رودخانه با استفاده از تصاویر رقومی Alos Palsar و تصاویر ماهواره‌ای لند ست ۸ و نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی در نرم‌افزار Arc Gis 10.5 ترسیم گردید. به منظور ارزیابی تاثیر مخروط افکنه ها بر آبهای زیرزمینی از پارامترهای مورفومتری ذیل در این مطالعه استفاده شد که شامل پارامترهای: مساحت مخروط افکنه به کیلومتر، شعاع مخروط به متر، زاویه جاروب (فرمول شماره ۱)، ارتفاع رأس مخروط افکنه به متر، ارتفاع قاعده مخروط افکنه به متر، میزان ناهمواری مخروط (اختلاف ارتفاع قاعده از راس مخروط افکنه) طول مخروط به متر، شیب مخروط افکنه به درجه، تقعر مخروط افکنه (شعاع مخروط / ضلع H)، طول قاعده مخروط به متر و حجم مخروط افکنه

فرمول شماره ۱:

$$S = \cos^{-1} \left[ \frac{a^2 + b^2 - C^2}{2 * ab} \right]$$

به منظور استخراج حجم مخروط (v) از فرمول شماره ۲ استفاده شده است که پارامترهای آن عبارتند از  $R^2$ : شعاع مخروط به متر، H: اختلاف ارتفاع رأس و قاعده مخروط به متر، S: زاویه جاروب مخروط افکنه  $\pi$  معادل  $3/14$  فرمول شماره ۲:

$$v = \left[ \frac{\pi * R^2 * H}{3} \right] * \left[ \frac{s}{360} \right]$$



شکل ۲: نمونه ترسیم هندسی مخروط افکنه ها جهت انجام محاسبات آماری

در پژوهش حاضر پس از استخراج داده‌های مورفومتری، نقشه‌های هم‌ارزش داده‌های دبی، سطح ایستابی و هدایت الکتریکی تهیه و برای هر مخروط افکنه ترسیم گردید و ارتباط بین آبهای زیر زمینی و ویژگی‌های مخروط افکنه ارزیابی شد. برای طبقه‌بندی مورفومتری مخروط افکنه‌ها از تحلیل خوشه‌ای سلسه‌مراتبی (HCA) در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ استفاده شد و نمودار درختی آن ترسیم گردید. تحلیل خوشه‌ای از روش‌های کارآمد جهت تخمین شباهت بین عناصر در یک گروه است. با استفاده از خوشه‌بندی مناسب امکان جست‌وجوی ساده‌تر و دسترسی دقیق‌تری برای استفاده از اطلاعات امکان‌پذیر است (پرویز و بنیادی، ۱۳۹۸). در تحلیل خوشه‌ای مشاهدات هر خوشه بیشترین شباهت و مشاهدات خوشه‌های مختلف کمترین شباهت را دارند. در روش یادشده گروه‌بندی مشاهدات بر اساس فاصله بین آن‌ها انجام می‌شود. معادله ۳ نحوه محاسبه فاصله اقلیدسی در خوشه‌بندی سلسه‌مراتبی را نشان می‌دهد.

فرمول ۳:

$$(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (xi - yi)^2}$$

همچنین به منظور تعیین مهم‌ترین عامل مورفومتری یک طبقات از آزمون تحلیل عاملی به روش عاملی تأییدی (CFA) استفاده گردید. با توجه نا پارامتریک و یا پارامتریک بودن داده‌های هر خوشه به وسیله آزمون معناداری واریانس یک طرفه، و آزمون کروسکال-والیس میزان معناداری پارامترهای آب زیرزمینی در هر خوشه مشخص گردید. سپس هر خوشه تفکیک شده به صورت مجزا به وسیله آزمون همبستگی پیرسون مورد ارزیابی قرار گرفت و میزان همبستگی پارامترهای مورفومتری هر خوشه با تغییرات پارامترهای آب زیرزمینی آن خوشه سنجیده شد. در انتها به منظور ترسیم الگوی میزان اثرگذاری پارامترهای ژئومورفیک از نرم‌افزار RFFLOW استفاده شد.



شکل شماره ۳: مراحل روش تحقیق

## بحث و یافته‌ها

### مورفومتری مخروط افکنه‌ها

مخروط افکنه‌های مورد مطالعه در نواحی غربی و مرکزی استان گیلان قرار گرفته‌اند و شامل ۲۸ مخروط افکنه است. اکثر مخروط افکنه‌های موجود در غرب رودخانه سفیدرود (مخروط افکنه شماره ۱۸) به علت تکتونیک و رسوب‌گذاری زیاد رودخانه‌ای، وسعت بزرگی داشته و مخروط افکنه‌های شرق رودخانه سفیدرود با وسعت کمتری به صورت نوار باریکی بین نواحی ساحلی و دریای خزر قرار گرفته‌اند. بزرگ‌ترین مخروط افکنه منطقه مور مطالعه مخروط افکنه رودخانه سفیدرود است که وسعتی برابر با ۸۶۸ کیلومتر مربع دارد و بعد از آن مخروط افکنه شماره ۱۹ (سیاه رود) که مساحتی در حدود ۱۶۳ کیلومتر مربع است (شکل ۴). کوچک‌ترین مخروط افکنه با مساحت ۰/۸۴ کیلومتر مربع مربوط به مخروط شماره ۷ (مخروط افکنه ملکیمان) در شرق رودخانه سفیدرود و نزدیک شهر چابکسر می‌باشد.



شکل ۴: توزیع مساحت مخروط افکنه ها

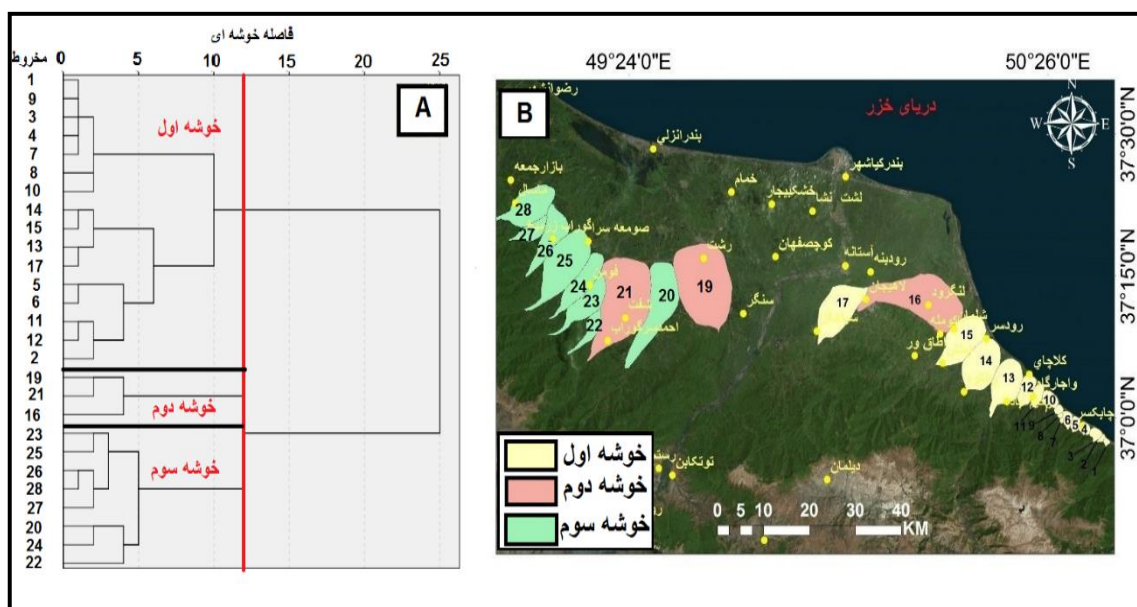
حجم مخروط افکنه به‌عنوان یک پارامتر مؤثر در تعیین ضخامت مخروط از عوامل تأثیرگذار بر آب زیرزمینی است. بیشترین میزان حجم بعد از مخروط افکنه شماره ۱۸ ( سفیدرود) ۱۸ مربوط به مخروط ۲۱ و ۱۹ ( پسیخان رود و سیاه رود) بوده که به ترتیب شامل ۰/۲۶ و ۰/۲۵ کیلومتر مکعب است. همچنین اختلاف ارتفاع رأس مخروط از قاعده مخروط به همراه شیب از جمله پارامترهای مورفومتری مهم در مخروط افکنه ها است که می‌تواند در زمان نفوذپذیری و تشکیل آبخوان بسیار مهم باشد. همچنین شیب مخروط افکنه ها از شرق به سمت غرب در حال کاهش است. شیب مخروط افکنه گوهر سرا در شرقی‌ترین بخش محدوده مطالعاتی ۶/۸ درجه بوده و شیب مخروط افکنه ماسوله در غرب ۳/۴ درجه می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود کمترین میزان اختلاف رأس از قاعده مخروط افکنه مربوط به مخروط افکنه سلمان رود ( شماره ۱۶ ) با ۳۲ متر اختلاف ارتفاع است. در حقیقت این مخروط با حجم و مساحت نسبتاً بزرگ می‌تواند پتانسیل مناسب آب زیرزمینی را دارا باشد. زاویه جاروب نیز از دیگر پارامترهایی است که تا حدودی نشان‌دهنده نقش شبکه‌های انشعاب سیل در ابتدا مخروط افکنه است. بیشترین زاویه جاروب بعد از مخروط افکنه شماره ۱۸ مربوط به مخروط افکنه شماره ۱۰ ( خشک‌رود) است. تقعر مخروط افکنه نیز یکی پارامترهای تعیین‌کننده ضخامت رسوب و شکل مخروط است بیشترین تقعر مربوط به مخروط شماره ۲۴ (مخروط افکنه گاز رودبار) با میزان تقعر ۹/۷ متر است. از پارامترهای مؤثر بر کیفیت و همچنین کمیت آب‌های زیرزمینی، میزان طول قاعده مخروط افکنه می‌باشد که نشان‌دهنده میزان پخش سیلاب در دشت و تکامل مخروط افکنه است که به تبع وضعیت تغذیه آبخوان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بیشترین میزان طول قاعده مخروط افکنه مربوط به مخروط‌های مرکزی دشت نظیر مخروط افکنه سفیدرود و سیاه رود با طول میزان ۶۰ و ۱۳ کیلومتر می‌باشد.

جدول ۱: ویژگی‌های مورفومتری و خوشه بندی مخروط افکنه ها محدوده مطالعاتی گیلان

ردیف	اسم رودخانه	خوشه ها	شیب m	حجم k.m <sup>۳</sup>	تقعر m	شعاع m	زاویه چاروب m	طول قاعده m	اختلاف ارتفاع m	ارتفاع قاعده m	ارتفاع رأس m	طول مخروط m	مساحت k.m <sup>۲</sup>
۱	گوهر سرا	۱	6/8	0/006	1/9	723	56/1	۱۶۵۱	۷۴	-۲۲	۵۲	۱۶۴۳	1/6
۲	کندسر	۱	4	0/001	4/6	429	24/7	۱۰۵۰	۵۸	-۲۸	۳۰	۲۲۷۳	1/5
۳	آچارود	۱	6/2	0/016	2/1	1201	49/9	۲۷۵۶	۷۷	-۱۹	۵۸	۳۰۴۹	5/1
۴	چابکسر	۱	6/4	0/009	1/9	1119	۵۵	۳۰۹۶	۴۷	-۹	۳۸	۲۴۸۳	5
۵	اوشیان	۱	6/7	0/010	3/2	867	34/7	۲۶۰۰	۱۳۶	-۲۴	۱۱۲	۳۰۷۳	4/9
۶	گیشار	۱	6	0/013	2/9	1067	36/5	۳۰۸۵	۱۰۸	-۲۴	۸۴	۳۳۰۶	5/4
۷	ملکمیان	۱	6/5	0/004	1/6	523	61	۱۰۹۹	۷۴	-۶	۶۸	۹۹۷	۰/۸
۸	خانه سر	۱	6/8	0/001	2/8	444	34/4	۹۹۵	۶۲	-۱۶	۴۶	۱۴۹۹	0/9
۹	قاسم آباد	۱	6/4	0/006	2/2	815	48/8	۲۰۳۳	۶۲	-۲۵	۳۷	۱۱۵۳	2/8
۱۰	خشک رود	۱	6/1	0/075	1/6	2015	65/6	۴۷۸۲	۹۷	-۲۱	۷۶	۴۳۳۷	9/2
۱۱	لرزجای	۱	5/9	0/003	5/5	865	20/9	۳۴۷۸	۶۴	-۲۴	۴۰	۵۳۴۱	8/7
۱۲	کلاچای	۱	5/2	0/011	4/8	1346	23/5	۴۶۲۵	۸۸	-۲۵	۶۳	۷۰۶۴	17
۱۳	یل رود	۱	5/4	0/073	3/9	2679	29	۷۱۹۸	۱۲۰	-۲۶	۹۴	۱۲۱۹۰	50/6
۱۴	کیا رود	۱	5/4	0/028	4/4	2314	25/8	۷۲۲۰	۷۰	-۲۷	۴۳	۱۱۴۳۷	62/2
۱۵	کیاکلایه	۱	4/9	0/059	3/7	2956	30	۸۳۳۹	۷۷	-۲۵	۵۲	۱۳۴۱۵	62/7
۱۶	شلمان رود	۲	5/1	0/097	3/1	5912	29/7	۱۳۳۸۴	۳۲	-۲۵	۷	۳۳۶۹	138/3
۱۷	لنگرود	۱	5/5	0/121	3/3	3714	32	۱۰۰۲۵	۹۴	-۱۳	۸۱	۱۳۳۹۹	71/3
۱۸	سفید رود	-	5	6/197	1/4	21176	70/9	۶۰۸۷۵	۶۷	-۲۱	۴۶	۳۹۰۴۷	868/2
۱۹	سیاه رود	۲	4/4	0/25	2/8	5409	40/2	۱۳۶۲۶	۷۵	-۸	۶۷	۱۷۸۷۶	162/9
۲۰	لاکان	۳	3/8	0/024	8	2645	12/8	۶۳۹۲	۹۱	۱	۹۲	۲۲۲۱۷	93/6
۲۱	پسیخان رود	۲	3/5	0/265	4/1	4978	26/4	۱۱۰۰۲	۱۳۹	-۵	۱۳۴	۲۳۰۰۵	161/7
۲۲	نیش رودبار	۳	3/9	0/010	6/7	1369	16/2	۵۶۷۱	۱۱۸	۴۸	۱۶۶	۱۰۹۴۵	18/3
۲۳	گشت رودبار	۳	3/6	0/139	4/1	3533	22/5	۷۴۱۸	۱۷۰	۱۷	۱۸۷	۱۶۳۴۱	45/2
۲۴	گازرودبار	۳	3/7	0/010	9/7	1614	11/6	۴۵۱۳	۱۱۲	۶	۱۱۸	۱۶۸۸۹	44/6
۲۵	مانسوله رود	۲	3/4	0/104	5/9	3032	19/2	۸۵۰۶	۲۰۲	-۱	۲۰۱	۱۹۸۸۰	96/5
۲۶	پلنگ رود	۳	4	0/108	4	3353	26/3	۷۹۷۳	۱۲۶	-۱	۱۲۵	۱۴۵۸۳	45/8
۲۷	متبار رود	۳	4/3	0/034	4/2	1960	22/6	۴۲۶۷	۱۳۵	۱۰	۱۴۵	۹۲۶۳	19/1
۲۸	مانسال رود	۳	4/3	0/044	5/8	2248	19/8	۸۹۹۰	۱۵۲	-۶	۱۴۶	۱۵۲۰۵	60

## طبقه‌بندی ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه ها

محدوده مطالعاتی شرق و مرکز گیلان در اقلیم مرطوب البرز شمالی واقع شده است. ویژگی مورفولوژی مناطق شمالی البرز بیش از هر چیز تحت تأثیر ویژگی‌های اقلیمی منطقه می‌باشد. به‌طور کلی سواحل شمالی بخصوص شرق استان گیلان به دلیل رسوب‌گذاری‌ها و رودخانه‌های فعال متعدد مناطق جلگه‌ای کوچک و بزرگی را ایجاد کرده‌اند که میزان پیشروی این سواحل در درجه اول به حجم رسوب‌گذاری و قدرت فرسایشی رودها و همچنین وسعت حوضه‌ها مرتبط می‌باشد. در واقع ساختار ظاهری این مناطق می‌تواند به حال حاضر و تاریخی مورفولوژی کاوشی و فرسایشی مرتبط باشد. آب‌های زیرزمینی در هر منطقه (در گستره آبخوان‌های مناطق) به‌عنوان یک سیستم، زیرمجموعه و تحت تأثیر سیستم‌های شکل‌زا در آن منطقه می‌باشد.



شکل شماره ۵: طبقه‌بندی خوشه‌ای ویژگی‌های مورفومتری محدوده مطالعاتی شرق و مرکز استان گیلان (شکل A: نمودار درختی خوشه‌بندی مورفومتری مخروط افکنه‌ها، شکل B: نقشه پراکنده‌گی مکانی مخروط افکنه‌ها بر اساس تفکیک خوشه‌ای)

از نظر تقسیم‌بندی ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه‌ها به سه خوشه قابل تقسیم است. ۱۶ مخروط در خوشه اول، ۳ مخروط در خوشه دوم و ۸ مخروط در خوشه سوم واقع شده است. همانطور که مشخص است بیشترین تعداد مخروط افکنه‌ها در خوشه اول می‌باشند. خوشه اول تفکیک شده در محدوده مطالعاتی استان گیلان از شرق چابکسر شروع شده و تا رودخانه سفیدرود ادامه دارد. بر طبق شکل شماره ۵ مشخص شده است که تمامی مخروط افکنه‌های موجود در خوشه اول دارای ساختار مشابهی بوده و در یک منطقه در کنار هم قرار گرفته‌اند. همچنین با توجه به نتایج آزمون عامل (جدول ۲) معلوم گردید که با ۸۹ درصد توجه پذیری خوشه اول از سایر خوشه‌ها جدا شده. عامل اول این خوشه با ۴۲ درصد اثرگذاری نشان می‌دهد که پارامترهای حجم، شعاع، طول قاعده مخروط، مساحت و طول کل بیشترین تأثیر را در تفکیک این خوشه از سایرین داشته‌اند، ارتفاع رأس مخروط، ارتفاع قاعده مخروط و به تبع آن اختلاف ارتفاع رأس از قاعده در مخروط افکنه‌های خوشه اول دارای کمترین میزان بوده که میانگین آن به ترتیب برابر است با ۶۰، ۱۸ و ۸۰ متر است. البته قابل توضیح است که این مخروط‌ها دارای بیشترین میزان شیب با ۵/۸ درجه نسبت به سایر خوشه‌ها هستند. همچنین با توجه به جدول ۲ به دلیل فاصله کم دریا تا خط شکستگی کوهستان، میزان حجم مخروط افکنه‌ها در این طبقه کمترین میزان حجم را نسبت به سه خوشه دیگر دارد. زاویه جاروب نیز با ۴۱ درجه پهنا دارای بیشترین دهانه بین مخروط افکنه‌های خوشه‌های دیگر است.

خوشه دوم با ظاهر فیزیکی بزرگ‌تر و ابعادی تکامل یافته‌تر از دو خوشه دیگر شامل سه مخروط افکنه بزرگ در نواحی مرکزی منطقه مطالعاتی می‌باشد که عبارت‌اند از مخروط افکنه‌های شماره ۲۱، ۱۹ و ۱۶. برحسب جدول ۲ مورفومتری تعیین شده در خوشه دوم با اثرگذاری ۹۴ درصدی باعث تفکیک مخروط‌های این خوشه از دو خوشه دیگر شده است. درصد عاملی در خوشه دوم نسبت به درصد عاملی سایر خوشه‌ها عدد بزرگ‌تری است که نشان از تأثیرگذاری بیشتر پارامترهای مورفومتری در طبقه‌بندی خوشه دوم دارد. مهم‌ترین عامل تفکیک و تمایز مورفومتری یک مخروط افکنه‌های موجود در

خوشه دوم با بیشترین نمره عاملی در مؤلفه اول و توجیه‌پذیری ۵۸ درصد عبارت‌اند از: مساحت مخروط افکنه، طول مخروط، طول قاعده مخروط، زاویه جاروب، شعاع، تقعر، حجم مخروط و شیب سطح مخروط‌ها. با توجه به شکل شماره ۵ میانگین مساحت در مخروط افکنه های خوشه دوم ۱۵۴ کیلومترمربع است که بیشترین میزان مساحت را نسبت به سه خوشه دیگر دارد. طول قاعده و شعاع نیز با میانگین ۲۱۰۱۶ و ۱۲۶۳۷ متر بیشترین میزان را نسبت به دو خوشه دیگر دارند.

جدول ۲: میانگین، پیشینه و کمینه خصوصیات مورفومتری مخروط افکنه ها در هر خوشه

مورفومتری مخروط افکنه	خوشه اول			خوشه دوم			خوشه سوم		
	پیشینه	میانگین	کمینه	پیشینه	میانگین	کمینه	پیشینه	میانگین	کمینه
مساحت مخروط افکنه	۷۱/۳	۱۹/۳	۰/۸	۱۶۲/۳	۱۵۴/۳	۱۳۸/۳	۷۱/۳	۱۹/۳	۱۸/۳
طول مخروط افکنه	۱۳۴۱۵	۵۴۳۰	۹۹۷	۲۳۱۶۹	۲۱۰۱۶	۱۷۸۷۶	۲۲۲۱۷	۱۵۷۱۵	۹۲۶۳
ارتفاع رأس	۱۱۲	۶۰/۸	۳۰	۱۳۴	۶۹/۳	۷	۲۰۱	۱۴۷/۵	۹۲
ارتفاع قاعده	-۶	۲۰/۸	-۲۸	-۵	-۱۲/۶	-۲۵	۴۸	۹/۲	-۶
اختلاف ارتفاع	۱۳۶	۸۱/۷	۴۷	۱۳۹	۸۲	۳۲	۲۰۲	۱۳۸/۲	۹۱
طول قاعده	۱۰۰۲۵	۴۰۰۲	۹۹۵	۱۳۶۲۶	۱۲۶۳۷	۱۱۰۰۲	۸۹۹۰	۶۷۱۶/۲	۴۲۶۷
زاویه جاروب	۶۵/۵	۳۹/۲	۲۰/۸	۴۰/۱	۳۲/۱	۲۶/۴	۲۶/۳	۱۸/۸	۱۱/۶
شعاع مخروط افکنه	۳۷۱۴	۱۴۴۲	۴۲۹	۵۹۱۲	۵۴۳۳	۴۹۸۷	۳۵۳۳	۲۴۶۹	۱۳۶۹
تقعر مخروط افکنه	۵/۴	۳/۱	۱/۵	۴/۱	۳/۳	۲/۸	۹/۶	۶/۰۳	۴/۰۲
حجم مخروط افکنه	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۲۶	۰/۰۵	۰/۰۰۹
شیب مخروط افکنه	۶/۸	۵/۹	۴/۰۴	۵/۱	۴/۳	۳/۵	۴/۳	۳/۹	۳/۴۷

مخروط افکنه های خوشه سوم همگی در بخش غربی محدوده مطالعاتی واقع شده‌اند که در زیر حوضه تالاب بندر انزلی قرار دارند. این مخروط‌ها دارای ابعاد نسبتاً متوسط است که در شکل ۴ نمایش شده است. تمامی مخروط افکنه های موجود در این خوشه تقریباً در کنار هم بوده که نشان می‌دهد مخروط افکنه های غربی (مخروط شماره ۲۱ تا مخروط شماره ۲۸) همگی از مجموعه یکسانی پیروی می‌کنند. برحسب جدول ۳ مشخص شد که ۳ مؤلفه ژئومورفیک تا حدود ۸۶ درصد باعث جدایی خوشه سوم از سایر خوشه‌ها شده است. در این خوشه دو عامل اول تقریباً حدود ۶۵ درصد اثرگذاری در تفکیک داشته‌اند. در این خوشه میانگین زاویه جاروب، تقعر و حجم با بیشترین نمره عاملی (در عامل اول) سبب تفکیک این خوشه شده است. کمترین میزان زاویه جاروب با ۱۸ درجه پهنا در مخروط افکنه ها، مربوط به خوشه سوم است. عموم مخروط افکنه های این طبقه دارای رأس کشیده بوده که تا ابتدای دره‌ها (خروجی حوضه‌ها) ادامه می‌یابند. حجم و تقعر مخروط افکنه های خوشه سوم به ترتیب با میزان ۶/۵ و ۰/۵۹ کیلومترمربع دارای بیشترین میزان نسبت به سایرین بوده و این امر بیانگر سبزی و ضخامت بیشتر خاک در این منطقه است. این موضوع می‌تواند در پتانسیل مناسب آب زیرزمینی نقش بسزایی داشته باشد.

جدول ۳: نتایج آزمون عاملی مخروط افکنه‌ها برحسب تفکیک خوشه‌ای

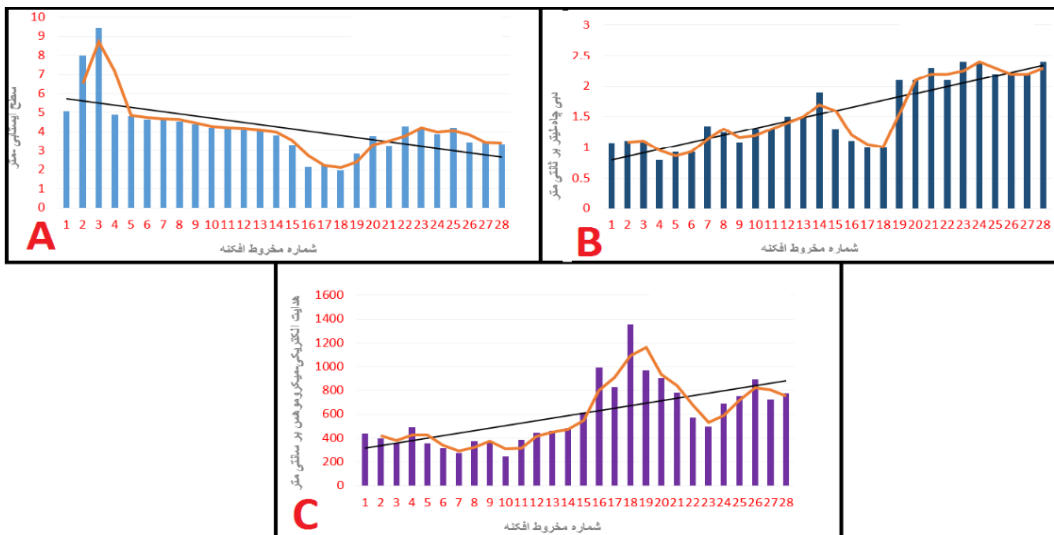
خوشه اول			خوشه دوم		خوشه سوم			پارامترهای مخروط افکنه	
۱	۲	۳	۱	۲	۱	۲	۳		
۰/۹۳	-۰/۲	۰/۰۲	۰/۹۵	۰/۲۷	-۰/۱۰	۰/۹۳	۰/۱۶	بار عاملی	مساحت مخروط افکنه
۰/۹۰	-۰/۳	۰/۰۸	۰/۹۸	۰/۰۸	-۰/۲۷	۰/۹۲	۰/۲	بار عاملی	طول مخروط افکنه
۰/۱۹	۰/۱۱	۰/۹۵	۰/۰۲	۰/۹۹	۰/۳۹	-۰/۲۱	۰/۸	بار عاملی	ارتفاع رأس مخروط افکنه
۰/۰۴	۰/۷۹	-۰/۱	۰/۳۱	۰/۸۹	-۰/۲۷	-۰/۷۶	۰/۳۵	بار عاملی	ارتفاع قاعده مخروط افکنه
۰/۱۷	-۰/۱	۰/۹۷	-۰/۰۴	۰/۹۸	۰/۵۴	۰/۱۵	۰/۷	بار عاملی	اختلاف ارتفاع
۰/۹۶	-۰/۱	۰/۱۲	۰/۹۷	-۰/۰۱	۰/۵۵	۰/۵۷	۰/۲	بار عاملی	طول قاعده مخروط افکنه
-۰/۱۹	۰/۹۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۹	-۰/۲	۰/۹۷	-۰/۱۵	-۰/۰۲	بار عاملی	زاویه جاروب مخروط افکنه
۰/۹۸	-۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۹۹	-۰/۰۱	۰/۶۷	۰/۵۹	۰/۲۲	بار عاملی	شعاع مخروط افکنه
۰/۱۴	-۰/۰۹	-۰/۰۹	۰/۷۴	۰/۵۳	-۰/۹۵	۰/۲	-۰/۰۵	بار عاملی	تقعر مخروط افکنه
۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۲۵	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۷۶	۰/۳	۰/۴۶	بار عاملی	حجم مخروط افکنه
-۰/۳	۰/۶۷	۰/۲۸	-۰/۰۸	-۰/۰۵	۰/۲۵	-۰/۳۹	-۰/۸۱	بار عاملی	شیب مخروط افکنه
۴۲	۲۸	۱۹	۵۸	۳۶	۳۵	۳۰	۳۱	درصد واریانس تاثیر پذیری	
۸۹			۹۴		۸۶			درصد کل تجمعی	

### آب زیرزمینی

نتایج آنالیزهای انجام شده نشان می‌دهد که میانگین دبی قابل برداشت از آب زیرزمینی در مناطق مرکزی و شرقی استان گیلان با توجه به شرایط خاص منطقه نظیر نزدیکی به آب شور دریا و ریزدانه بودن خاک ۱/۵ لیتر بر ثانیه است. درواقع اگرچه دسترسی به ذخایر آبی زیاد است اما امکان برداشت محدود بوده و این محدودیت با نسبت کمی در مناطق مختلف متفاوت می‌باشند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که میزان دبی آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی از شرق به سمت غرب در حال افزایش است (جدول ۴ و شکل ۵). چاه‌های موجود در مخروط افکنه‌های شرقی محدوده مطالعاتی گیلان دارای میانگین دبی ۱/۲ لیتر بر ثانیه بوده و این میزان با اختلاف کمی در مخروط‌های غربی دارای میانگین دبی ۲/۱ لیتر بر ثانیه است. همان‌طور که گفته شد اختلاف دبی در دو منطقه شرق و غرب میزان بسیار زیادی نیست. سطح ایستابی آب زیرزمینی از جمله پارامترهای بسیار مهمی بوده که در کنار میزان دبی قابل برداشت از چاه‌ها، نشان‌دهنده وضعیت پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه است. در حقیقت به دلیل خاصیت پالایندگی خاک و عمق مناسب رسوبات جهت تشکیل آبخوان در مناطقی که سطح ایستابی با توجه به وضعیت ستبرای رسوبی دارای عمق بیشتری بوده و میزان دبی قابل برداشت نیز نسبت به سایر مناطق بیشتر باشد می‌توان گفت وضعیت پتانسیل آب زیرزمینی از نظر کمیت و کیفیت دارای شرایط مطلوبی نسبت به مناطق مقایسه شده است. در محدوده مطالعاتی عمق سطح ایستابی در مخروط افکنه‌های شرقی (مخروط‌های ۱ تا ۳) با میانگین ۷/۴ متر از بیشترین عمق تا سطح زمین برخوردار است. در این مناطق که فاصله خط ساحل از خط شکست کوهستان بسیار کم است. عمق سطح ایستابی بین ۶ تا ۹ متر متغیر است. همچنین از مخروط افکنه شماره ۴ تا رودخانه سفیدرود عمق سطح ایستابی با شیب ملایمی کاهش پیدا می‌کند و کمترین میزان سطح ایستابی تا سطح زمین مربوط به مخروط افکنه‌های ۱۶ تا ۱۹ با میانگین ۲/۳ متر است. از مخروط شماره ۲۰ مجدد با یک شیب بسیار کم و ملایم عمق سطح ایستابی افزایش می‌یابد و عمق ایستابی از ۲ متر تا ۴ متر می‌رسد.

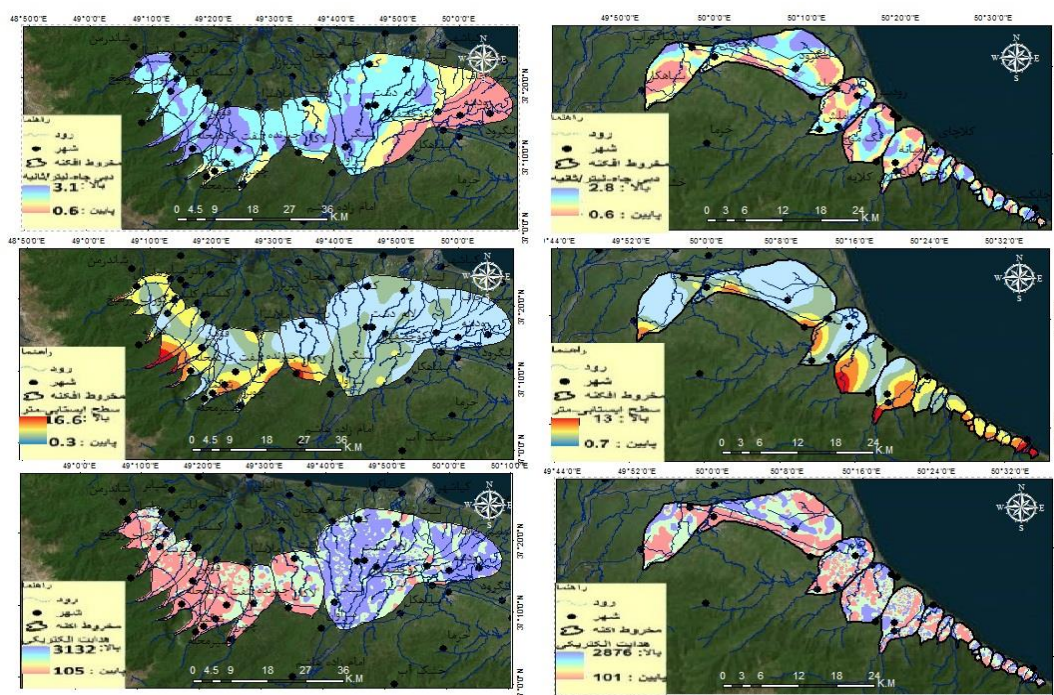
جدول ۴: وضعیت پارامترهای آب زیرزمینی در مخروط افکنه های محدوده مطالعاتی گیلان

شماره مخروط	عمق سطح ایستابی m	دبی l/s	هدایت الکتریکی $\mu$ mho/cm	ردیف	عمق سطح ایستابی m	دبی l/s	هدایت الکتریکی $\mu$ mho/cm
۱	5/08	۰.۷/۱	436	۱۵	3/28	۳/۱	612
۲	8	۱/۱	400	۱۶	2/17	۱/۱	992
۳	9/4	۱/۱	357	۱۷	2/27	۰.۱/۱	826
۴	4/9	۸/۰	490	۱۸	1/97	۱.۰	1354
۵	4/83	۹۳/۰	359	۱۹	2/84	۱/۲	967
۶	4/65	۹۳/۰	314	۲۰	3/74	۱/۲	903
۷	4/7	۳۵/۱	275	۲۱	3/26	۳/۲	783
۸	4/53	۲۵/۱	373	۲۲	4/26	۱/۲	574
۹	4/37	۰.۸/۱	372	۲۳	4/11	۴/۲	494
۱۰	4/19	۳/۱	245	۲۴	3/87	۴/۲	687
۱۱	4/19	۳/۱	387	۲۵	4/21	۲/۲	752
۱۲	4/09	۵/۱	446	۲۶	3/42	۲/۲	891
۱۳	4/11	۵/۱	459	۲۷	3/47	۲/۲	725
۱۴	3/81	۹/۱	486	۲۸	3/32	۴/۲	775



شکل ۶: روند تغییرات پارامترهای آب زیرزمینی در مخروط افکنه های مختلف را نشان می دهد  
 A: روند تغییرات سطح ایستابی آب زیرزمینی، B: روند تغییرات دبی جابجایی، C: روند تغییرات هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی آب زیرزمینی از مخروط های شرقی به سمت مخروط افکنه های غربی افزایش پیدا می کند. میانگین هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در اکثر مخروط افکنه ها در حد استاندارد ملی ۱۰۵۳ ( ۱۰۰۰ میکروموس بر سانتی متر) است و فقط میانگین این پارامتر در مخروط افکنه شماره ۱۸ ( رودخانه سفیدرود) بالاتر از حد استاندارد است (شکل ۶). بالا رفتن هدایت الکتریکی بخصوص در مخروط افکنه های ۱۵ تا ۲۱ بستگی به عوامل مختلفی نظیر تغییرات کاربری، تعدد حوضچه های ذخیره آب، وجود شهرهای وسیع، وجود تالاب های متعدد و... دارد. شکل ۷ پهنه بندی تغییرات پارامترهای آب زیرزمینی در مخروط افکنه های نواحی مرکزی و شرقی استان گیلان را نشان می دهد.



شکل ۷: پهنه‌بندی تغییرات پارامترهای آب زیرزمینی در مخروط افکنه‌های نواحی مرکزی و شرقی استان گیلان  
 A) پهنه‌بندی تغییرات دبی چاه در نواحی مرکزی، B: پهنه‌بندی تغییرات دبی چاه در نواحی شرقی، C: پهنه‌بندی تغییرات سطح ایستابی در نواحی مرکزی، D: پهنه‌بندی تغییرات سطح ایستابی در نواحی شرقی، E: پهنه‌بندی هدایت الکتریکی در نواحی مرکزی، F: پهنه‌بندی هدایت الکتریکی در نواحی شرقی

#### ارتباط بین ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه و آب زیرزمینی

در این بخش پیش از تعیین میزان تأثیرپذیری پارامترهای آب زیرزمینی بر مخروط افکنه‌های موجود در خوشه‌های تفکیکی، ابتدا وضعیت لند فرم‌های مخروط افکنه‌ای به‌عنوان یک لند فرم مجزا از سایر لند فرم‌های موجود در منطقه مورد آنالیز قرار گرفت. بر این اساس به‌منظور تعیین ارتباط بین تغییرات پارامترهای مورفومتری تمامی مخروط افکنه‌ها با تغییرات پتانسیل آب زیرزمینی منطقه، از آزمون همبستگی استفاده شد (جدول ۵).

با توجه به این که میزان دبی چاه‌های موجود در مخروط افکنه‌ها تا حدود بسیار زیادی نشان‌دهنده پتانسیل پایدار یا ناپایدار آب زیرزمینی جهت بهره‌برداری از این منابع می‌باشد. بنابراین نتایج آزمون همبستگی میزان دبی با مورفومتری مخروط افکنه‌ها نشان داد که مساحت، طول و حجم کل مخروط افکنه‌های محدوده مطالعاتی با و دبی آب زیرزمینی منطقه همبستگی مثبت در حد ۹۹٪ دارد. در حقیقت با افزایش میزان مساحت، طول و حجم مخروط افکنه‌ها میزان دبی آب قابل‌برداشت از چاه‌ها افزایش می‌یابد. این پارامتر با ارتفاع رأس و قاعده مخروط‌ها، اختلاف ارتفاع و تقعر دارای همبستگی مثبت و قوی در حد ۹۹٪ است که نشان‌دهنده آن است که در مخروط افکنه‌هایی که پارامترهای مورفومتری مذکور بالاتر از سایرین می‌باشد، میزان دبی آب زیرزمینی نیز در آن مخروط افکنه‌ها بیشتر می‌باشد. شیب مخروط افکنه‌ها نیز به‌عنوان یک عامل مهم در مدت و میزان نفوذپذیری آب در خاک دارای همبستگی منفی و قوی در حد ۹۹٪ با میزان دبی بوده که نشانگر آن است که با کاهش میزان شیب میزان دبی آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. لازم به توضیح است که طول قاعده و تقعر مخروط افکنه دارای همبستگی قوی با میزان دبی قابل‌برداشت نیست.

جدول ۵: آزمون همبستگی میان پارامترهای آب زیرزمینی و پارامترهای مورفومتری مخروط افکنه ها

پارامترهای ژئومتریک مخروط افکنه	میانگین کمینه سطح ایستابی m	میانگین بیشینه سطح ایستابی m	میانگین سطح ایستابی m	دبی چاه l/s	هدایت الکتریکی $\mu$ mho/cm	
مساحت مخروط افکنه کیلومتر	ضریب همبستگی	-۰/۷۶۹	-۰/۰۴۳	-۰/۵۶	۰/۴۷۷	۰/۸۱۵
	میزان معنا دار	۰/۰۰۱>	۰/۸۳۲	۰/۰۰۲	۰/۰۱۲	۰/۰۰۱>
طول مخروط افکنه متر	ضریب همبستگی	-۰/۸۰۵	-۰/۰۱۱	-۰/۶۲۳	۰/۴۱۸	۰/۹۰۴
	میزان معنا دار	۰/۰۰۱>	۰/۹۵۶	۰/۰۰۱>	۰/۰۲۷	۰/۰۰۱>
ارتفاع رأس مخروط افکنه متر	ضریب همبستگی	-۰/۲۲۱	۰/۳۲۲	-۰/۱۴۰	۰/۷۴۰	۰/۱۳۱
	میزان معنا دار	۰/۲۵۹	۰/۰۹۵	۰/۴۷۷	۰/۰۰۱>	۰/۵۰۵
ارتفاع قاعده مخروط افکنه متر	ضریب همبستگی	۰/۰۴۱	۰/۳۷۵	۰/۱۵۱	۰/۵۸۵	۰/۱۳۰
	میزان معنا دار	۰/۸۳۷	۰/۰۴۹	۰/۴۴۲	۰/۰۰۱>	۰/۵۱۰
اختلاف رأس از قاعده مخروط افکنه- متر	ضریب همبستگی	-۰/۲۰۴	۰/۳۱۹	-۰/۱۱۶	۰/۶۵۳	۰/۰۷۶
	میزان معنا دار	۰/۲۹۹	۰/۰۹۸	۰/۵۵۵	۰/۰۰۱>	۰/۷۰۱
طول قاعده مخروط- متر	ضریب همبستگی	-۰/۵۰۷	-۰/۱۸۸	-۰/۴۷۲	-۰/۰۴۴	۰/۷۴۵
	میزان معنا دار	۰/۰۰۶	۰/۳۳۹	۰/۰۱۱	۰/۸۲۴	۰/۰۰۱>
زاویه جاروب مخروط افکنه - درجه	ضریب همبستگی	۰/۳۱۷	-۰/۳۹۴	۰/۱۲۱	-۰/۶۳۱	-۰/۱۲۷
	میزان معنا دار	۰/۱	۰/۰۳۸	۰/۵۳۹	۰/۰۰۱>	۰/۵۲۰
شعاع مخروط افکنه-متر	ضریب همبستگی	-۰/۵۳۳	-۰/۱۸۷	-۰/۴۸۶	-۰/۰۳۰	۰/۷۶۸
	میزان معنا دار	۰/۰۰۳	۰/۳۴۲	۰/۰۰۹	۰/۸۷۸	۰/۰۰۱>
تقعر مخروط افکنه	ضریب همبستگی	-۰/۳۰۱	۰/۴۱۳	-۰/۱۰۶	۰/۶۶۰	۰/۱۸۳
	میزان معنا دار	۰/۱۲۰	۰/۰۲۹	۰/۵۹۱	۰/۰۰۱>	۰/۳۵۰
حجم مخروط افکنه- کیلومتر مکعب	ضریب همبستگی	-۰/۵۸۳	-۰/۰۲۹	-۰/۴۴۹	۰/۴۳۲	۰/۵۸۹
	میزان معنا دار	۰/۰۰۱>	۰/۸۸۶	۰/۰۱۹	۰/۰۲۵	۰/۰۰۱>
شیب مخروط افکنه درجه	ضریب همبستگی	۰/۵۳۱	-۰/۵۲۲	۰/۲۵۷	-۰/۸۰۹	-۰/۵۵۰
	میزان معنا دار	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۱۸۸	۰/۰۰۱>	۰/۰۰۲
تعداد مخروط افکنه ها		۲۸				

بر حسب آنالیز نقش ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه ها بر میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی مشخص شد که حجم کل مخروط افکنه های محدوده مطالعاتی با میزان هدایت الکتریکی منطقه همبستگی مثبت در حد ۹۹٪ دارد. در واقع با افزایش میزان مساحت، طول، شعاع قاعده، شعاع مخروط و حجم مخروط افکنه ها میزان هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. لازم به توضیح است که میانگین کل هدایت الکتریکی به دلیل بیلان بالا آب در استان گیلان در محدوده مطالعاتی در حد مطلوب استاندارد ملی قرار دارد. به‌طور کلی با توجه به تأثیرپذیری عوامل آلوده‌کننده آب نظیر آنتروپوژنیک و طبیعی از میزان کمیت آب و نفوذ آب به آبخوان‌ها می‌توان گفت شکل مورفومتری مخروط افکنه ها تا حدود زیادی در پیش‌بینی وضعیت کیفیت آبخوان منطقه مؤثر می‌باشد. همچنین میانگین عمق سطح ایستابی با حجم، طول و مساحت مخروط افکنه ها رابطه منفی و قوی در حد ۹۹٪ دارد که نشان‌دهنده آن است که با افزایش حجم، طول و مساحت مخروط افکنه ها، عمق سطح ایستابی تا سطح زمین کاهش پیدا می‌کند. زاویه جاروب و شیب مخروط‌ها دارای رابطه منفی قوی در حد ۹۹٪ با عمق سطح ایستابی است. در حقیقت با افزایش شیب و زاویه جاروب ( باز تر شدن دهانه رأس مخروط) عمق سطح ایستابی تا سطح زمین کمتر می‌شود. لازم به توضیح است که میانگین شیب در مخروط افکنه های محدوده مطالعاتی گیلان ۵ درجه است، بنابراین افزایش شیب به معنای افزایش نسبی شیب در منطقه است.

#### نقش ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه بر پارامترهای آب زیرزمینی هر یک از خوشه‌ها

با توجه به تأثیرپذیری آب زیرزمینی منطقه گیلان از خصوصیات مورفومتری مخروط افکنه ها می‌توان برحسب تفکیک خوشه‌ای مخروط افکنه ها وضعیت آب زیرزمینی در این منطقه را نیز پهنه‌بندی نمود. بر این اساس میزان همبستگی هر یک از خوشه‌های ژئومورفیک را با میانگین عمق سطح ایستابی، دبی چاه و میزان هدایت الکتریکی محاسبه شد، نتایج

نشان داد که دبی چاه‌ها بامعنی دارای ۰/۰۰۴ دارای همبستگی مثبت و قوی در حد ۹۹ درصد با تغییرات ویژگی‌های مورفومتری در هر خوشه است. با توجه به جدول ۶ بیشترین میزان دبی چاه در مخروط افکنه های خوشه سوم مشاهده می‌شود و کمترین میزان دبی نیز مربوط به مخروط افکنه هایی است که از نظر مورفومتری در خوشه اول قرار گرفته‌اند. همچنین میزان هدایت الکتریکی نیز دارای همبستگی مثبت و قوی در حد ۹۵ درصد با تغییرات مورفومتری خوشه‌ها است. بیشترین میزان هدایت الکتریکی با میزان ۹۱۴ میکروموهس بر سانتیمتر مربوط به مخروط افکنه های موجود در خوشه دوم می‌باشد. که با توجه به نزدیکی به مرز شاخص استاندارد ملی نشان‌دهنده حساسیت کیفیت آب زیرزمینی در این خوشه است. میانگین سطح ایستابی در هر سه خوشه نزدیک به میانگین کل (۴/۱ متر) بوده و دارای اختلاف معنا دارد نیست.

جدول ۶: آزمون معناداری وضعیت تغییرات آب زیرزمینی برحسب طبقه‌بندی خوشه‌ای مخروط افکنه های گیلان

پارامترهای پتانسیل آب زیرزمینی		F	معنی دارای	میانگین	مینیمم	ماکسیمم
کمینه سطح ایستابی آب زیرزمینی - متر	خوشه اول	6/86	0/004	4	1/72	7/18
	خوشه دوم			1/6	1/30	2/24
	خوشه سوم			2/6	2/12	3/63
بیشینه سطح ایستابی آب زیرزمینی - متر	خوشه اول	1/87	0/17	5/2	2/98	9/90
	خوشه دوم			4/7	3/94	5/38
	خوشه سوم			6/2	4/22	8/21
میانگین سطح ایستابی آب زیرزمینی - متر	خوشه اول	3/38	0/51	4/7	2/27	9/46
	خوشه دوم			2/7	2/17	3/26
	خوشه سوم			3/8	3/32	4/26
انحراف معیار تغییرات سطح ایستابی	خوشه اول	8/68	0/002	۰/2	۰/15	۰/46
	خوشه دوم			۰/22	۰/18	۰/27
	خوشه سوم			۰/3	۰/29	۰/46
دبی چاه - لیتر / ثانیه	خوشه اول	36/9	۰/۰۰۱ >	1/2	۰/8	1/9
	خوشه دوم			1/8	1/1	2/3
	خوشه سوم			2/2	2/1	2/4
هدایت الکتریکی - میکروموهس / سانتی متر	خوشه اول	6/5	0/05	481	245	1354
	خوشه دوم			914	783	1992
	خوشه سوم			725	494	903

به‌منظور سنجش میزان اثرگذاری پارامترهای مورفومتری بر پارامترهای آب زیرزمینی در ابعاد کوچک‌تر و محلی، همبستگی پارامترها به‌صورت مجزا در هر یک از مخروط افکنه‌ها مورد بررسی و آنالیز قرار گرفت (جدول ۸). بر این اساس نتایج حاصله از تحلیل آماری ۱۶ مخروط افکنه موجود در خوشه اول نشان داد که میانگین دبی قابل‌برداشت از چاه‌ها با تغییرات مساحت و تقعر مخروط افکنه دارای همبستگی قوی می‌باشد. در واقع در بین مخروط افکنه های موجود در خوشه اول هرچه قدر مساحت بیشتر باشد و میزان تقعر بیشتر باشد (به دلیل پخش‌شدگی مناسب رسوبات در تمام جهات مخروط) میزان دبی نیز افزایش می‌یابد. همچنین میانگین عمق سطح ایستابی قابل‌برداشت از چاه‌ها با تمامی پارامترها به‌جز ارتفاع قاعده مخروط و اختلاف ارتفاع رأس از قاعده مخروط دارای همبستگی قوی می‌باشد. در مخروط‌های خوشه اول پارامترهای مساحت، طول، طول قاعده، زاویه جاروب، شعاع و حجم مخروط افکنه نیز دارای همبستگی مثبت و قوی با تغییرات هدایت الکتریکی است. شیب مخروط افکنه نیز دارای همبستگی قوی و منفی با میزان هدایت الکتریکی است در واقع هرچه قدر میزان شیب به نسبت مشخص در بین مخروط افکنه های این خوشه بیشتر باشد میزان هدایت الکتریکی کاهش می‌یابد. این عامل می‌تواند کمک‌کننده تعیین مرز تغییرات شوری آب زیرزمینی در منطقه انتهایی دشت باشد و در پتانسیل‌یابی

مناسب آب زیرزمینی در حدفاصل انتهایی مخروط افکنه تا دشت انتهایی حائز اهمیت باشد. لازم به توضیح است که تغییرات سطح ایستابی در طی بازه زمانی مختلف دارای همبستگی قوی با تغییرات آب زیرزمینی نمی باشد.

جدول ۷: الگوی همبستگی مورفومتری با پارامترهای آب زیرزمینی  
( رنگ نارنجی همبستگی مستقیم، رنگ سبز همبستگی معکوس، رنگ سفید همبستگی ضعیف)

خوشه سوم				خوشه دوم				خوشه اول				مورفومتری مخروط افکنه
عمق ایستابی	تغییرات ایستابی	دبی چاه	هدایت الکتریکی	عمق ایستابی	تغییرات ایستابی	دبی چاه	هدایت الکتریکی	عمق ایستابی	تغییرات ایستابی	دبی چاه	هدایت الکتریکی	
معکوس	-	مستقیم	مستقیم	-	-	-	-	-	-	مستقیم	-	مساحت
معکوس	-	-	مستقیم	-	-	-	-	-	-	-	-	طول
-	-	-	-	مستقیم	مستقیم	-	-	مستقیم	-	-	-	ارتفاع رأس
-	-	-	-	مستقیم	-	-	-	مستقیم	-	-	-	ارتفاع قاعده
-	-	-	-	مستقیم	مستقیم	-	-	-	-	-	مستقیم	اختلاف ارتفاع
معکوس	-	-	مستقیم	-	-	-	-	-	-	-	-	طول قاعده
مستقیم	-	-	مستقیم	-	-	-	-	-	معکوس	-	-	زاویه جاروب
معکوس	-	-	مستقیم	معکوس	معکوس	-	-	-	-	مستقیم	-	شعاع
معکوس	-	مستقیم	-	-	-	-	-	-	معکوس	-	-	تقعر
معکوس	-	-	مستقیم	-	-	-	-	-	-	-	-	حجم
مستقیم	-	-	معکوس	معکوس	معکوس	-	-	معکوس	-	-	-	شیب

در خوشه دوم با توجه به جدول ۷ اختلاف ارتفاع رأس از قاعده مخروط افکنه (میزان ناهمواری مخروط افکنه) طول قاعده مخروط دارای رابطه مستقیم با تغییرات عمق سطح ایستابی است. در حقیقت با افزایش ناهمواری و طول قاعده میزان ستبرای رسوبی مخروط افکنه ها افزایش یافته که موجب افزایش عمق سطح ایستابی آب زیرزمینی تا سطح زمین افزایش می شود. شیب و شیب مخروط افکنه نیز دارای همبستگی قوی منفی با عمق سطح ایستابی بوده و با افزایش میزان پارامترهای مذکور عمق سطح ایستابی تا سطح زمین کاهش می یابد همچنین با توجه به اینکه سه مخروط موجود در خوشه دوم دارای ویژگی های ظاهری متمایزی از یکدیگر نبوده و از خصوصیات مورفومتری حوضه آبریز سفیدرود تأثیر می پذیرند میزان تغییرات هدایت الکتریکی و دبی آب قابل برداشت از چاه های موجود در مخروط افکنه های این خوشه نیز دارای همبستگی قوی با یکدیگر نیستند. تغییرات ایستابی نیز در مخروط افکنه هایی که ارتفاع رأس مخروط، اختلاف ارتفاع رأس از قاعده و شعاع بیشتر می باشد نوسان افزایشی بیشتری دارد. جدول شماره ۸ و ۷ الگویی از میزان اثرگذاری پارامترهای ژئومورفیک مخروط افکنه های خوشه سوم در غرب محدوده مطالعاتی گیلان را نشان می دهد. مخروط افکنه های خوشه سوم از نظر همبستگی با تغییرات دبی چاه ها با دو پارامتر مساحت و تقعر مخروط افکنه رابطه مستقیم و قوی دارند. در واقع هرچه قدر میزان مساحت و تقعر مخروط افکنه در خوشه سوم بیشتر باشد میزان دبی قابل برداشت نیز بیشتر خواهد بود. همچنین مساحت، طول، طول قاعده، زاویه جاروب، شعاع حجم و شیب دارای رابطه قوی با میزان هدایت الکتریکی و عمق سطح ایستابی در خوشه سوم است.

جدول ۸: آزمون همبستگی پارامترهای آب زیرزمینی با ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه‌ها برحسب خوشه‌های تفکیک‌شده

نوع پارامتر مورفومتری	خوشه اول				خوشه دوم				خوشه سوم			
	دبی چاه	هدایت الکتریکی	سطح ایستابی	تغییرات سطح ایستابی	دبی چاه	هدایت الکتریکی	سطح ایستابی	تغییرات سطح ایستابی	دبی چاه	هدایت الکتریکی	سطح ایستابی	تغییرات سطح ایستابی
مساحت مخروط افکنه	ضریب همبستگی	-.456	-.784	-.787	-.147	-.063	-.312	-.907	-.824	-.418	-.099	-.091
	میزان معنا داری	-.038	>.001	>.001	-.324	-.547	-.202	-.138	-.192	-.353	-.415	-.469
طول مخروط افکنه	ضریب همبستگی	-.056	-.932	-.770	-.049	-.316	-.435	-.336	-.175	-.461	-.195	-.209
	میزان معنا داری	-.416	>.001	>.001	-.440	-.921	-.928	-.391	-.444	-.162	-.641	-.310
ارتفاع رأس مخروط افکنه	ضریب همبستگی	-.075	-.146	-.200	-.203	-.127	-.122	-.987	۱	-.351	-.043	-.572
	میزان معنا داری	-.387	-.87	-.229	-.264	۱	-.698	-.052	-.001	-.329	-.686	-.069
ارتفاع قاعده مخروط افکنه	ضریب همبستگی	-.342	-.099	-.247	-.248	-.005	-.254	-.968	-.913	-.213	-.030	-.607
	میزان معنا داری	-.090	-.353	-.178	-.218	-.887	-.955	-.080	-.133	-.327	-.323	-.443
اختلاف ارتفاع مخروط افکنه	ضریب همبستگی	-.013	-.151	-.286	-.242	-.153	-.096	-.970	-.997	-.215	-.218	-.438
	میزان معنا داری	-.481	-.282	-.141	-.225	-.531	-.974	-.078	-.025	-.177	-.221	-.242
طول قاعده مخروط افکنه	ضریب همبستگی	-.122	-.917	-.786	-.105	-.322	-.073	-.714	-.820	-.337	-.299	-.091
	میزان معنا داری	-.321	>.001	>.001	-.373	-.136	-.601	-.247	-.194	-.071	-.010	-.415
زاویه جاروب مخروط افکنه	ضریب همبستگی	-.385	-.229	-.452	-.070	-.457	-.295	-.098	-.262	-.434	-.491	-.346
	میزان معنا داری	-.064	-.189	-.039	-.415	-.948	-.897	-.469	-.416	-.122	-.170	-.200
شعاع مخروط افکنه	ضریب همبستگی	-.134	-.916	-.698	-.154	-.103	-.146	-.996	-.997	-.386	-.344	-.037
	میزان معنا داری	-.305	>.001	>.001	-.317	-.442	-.945	-.028	-.025	-.016	-.101	-.465
تقر مخروط افکنه	ضریب همبستگی	-.475	-.145	-.437	-.070	-.354	-.106	-.627	-.748	-.485	-.406	-.243
	میزان معنا داری	-.027	-.289	-.045	-.415	-.994	-.630	-.284	-.231	-.251	-.138	-.035
حجم مخروط افکنه	ضریب همبستگی	-.118	-.621	-.562	-.105	-.035	-.283	-.940	-.870	-.275	-.373	-.123
	میزان معنا داری	-.331	-.005	-.012	-.373	-.893	-.951	-.111	-.164	-.074	-.329	-.386
شیب مخروط افکنه	ضریب همبستگی	-.267	-.411	-.497	-.060	-.149	-.1	-.973	-.998	-.431	-.213	-.814
	میزان معنا داری	-.150	-.051	-.025	-.427	-.063	-.312	-.074	-.020	-.418	-.099	-.007

### نتیجه‌گیری

آب زیرزمینی بخشی از سیستم تعاملی نزدیک به سطح زمین بوده و در قلمرو تأثیرپذیر ژئومورفولوژی قرار داد. مخروط افکنه‌ها به‌عنوان یکی از تیپ‌های مهم ژئومورفولوژی ایران، با ساختار منحصربه‌فرد خود، محیط بسیار مناسبی را برای ذخیره‌سازی آب زیرزمینی در اختیار نواحی خشک و کم‌برخوردار از منابع آب سطحی قرار می‌دهد. به‌طور کلی در زمینه بررسی پتانسیل واقعی یا بالفعل آب زیرزمینی مطالعات پراکنده‌ای صورت گرفته است که بر اساس تغییرات محیطی در طی یک بازه مشخص می‌توان به‌احتمال وجود آب زیرزمینی در آن منطقه پی برد. در این پژوهش ویژگی‌های مورفومتری ۲۸ مخروط افکنه از نواحی شرقی تا مرکزی استان گیلان مورد بررسی قرار گرفت و میزان تأثیرگذاری این ویژگی‌ها بر پارامترهای آب زیرزمینی (دبی قابل‌برداشت از چاه، میزان هدایت الکتریکی، تغییرات و عمق سطح ایستابی) به‌وسیله روش‌های توصیفی-تحلیلی و آماری مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج نشان داد که تغییرات دبی، هدایت الکتریکی و عمق سطح ایستابی از مجموع ۱۱ پارامتر مورفومتری مخروط افکنه به ترتیب با میزان ۸۲٪، ۴۵٪ و ۴۵٪ تحت تأثیر مورفومتری قرار دارند به‌گونه‌ای که با افزایش میزان مساحت، طول، ارتفاع رأس، ارتفاع قاعده، میزان ناهمواری مخروط افکنه (اختلاف ارتفاع رأس از قاعده)، تقعر و حجم مخروط افکنه‌ها میزان دبی افزایش می‌یابد. و با کاهش پارامترهای زاویه جاروب و شیب میزان دبی افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش مساحت، طول، طول قاعده، شعاع و حجم عمق سطح ایستابی تا سطح زمین کاهش پیدا می‌کند و میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. این نکته حائز اهمیت است که ارتباط نزدیک پارامترهای مورفومتری مؤثر بر هدایت الکتریکی و عمق سطح ایستابی نشان‌دهنده تأثیرپذیری وضعیت کیفی آب زیرزمینی از تغییرات سطح ایستابی می‌باشد.

همچنین نتایج بیانگر آن است که ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه‌ها عامل مهمی جهت شناسایی و پهنه‌بندی پتانسیل مناسب آب زیرزمینی در مقیاس بزرگ‌تر و محلی محسوب می‌شوند. بر این اساس بیشترین میزان دبی قابل‌برداشت در مخروط افکنه‌های خوشه سوم قابل‌مشاهده است. علت این موضوع ارتباط مستقیم حجم و مساحت

مخروط با تغییرات دبی آب زیرزمینی است که این دو عامل با نمره عاملی بالا در مؤلفه اول سبب جدا شدن این خوشه از سایرین شده‌اند. همچنین به دلیل پایین بودن میزان شعاع و مساحت کمترین میزان دبی نیز مربوط به مخروط افکنه خوشه اول است. مخروط افکنه های خوشه سوم همگی در بخش غربی محدوده مطالعاتی واقع شده‌اند که در زیر حوضه بندر انزلی قرار دارند. این مناطق از نظر مورفومتری متفاوت از شرق منطقه مورد مطالعه است و از نظر میانگین زاویه جاروب، تقعر و حجم دارای بیشترین نمره عاملی می‌باشد که سبب تفکیک این خوشه گردیده است. عموم مخروط افکنه های این طبقه دارای رأس کشیده بوده که تا خروجی حوضه‌ها ادامه می‌یابند. همچنین حجم و تقعر مخروط افکنه های خوشه سوم با ۶/۵ کیلومتر مربع دارای بیشترین میزان نسبت به سایرین بوده که بیانگر سبب برای وضخامت بیشتر خاک در این منطقه است. با توجه به اینکه در انتها به منظور تعیین نقش پارامترهای مورفومتری در داخل هر خوشه، میزان همبستگی پارامترهای مورفومتری با پارامترهای آب زیرزمینی مخروط افکنه ها آنالیز شدن نتایج نشان داد که در خوشه سوم با افزایش میزان مساحت مخروط از میانگین (۱۹/۳ کیلومتر) به سمت بیشینه مساحت (۷۱/۳)، میزان دبی چاه‌ها نیز افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش میزان قاعده مخروط افکنه های خوشه سوم به دلیل عواملی نظیر میزان پخش سیلاب میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. همچنین بیشترین میزان هدایت الکتریکی با ۹۱۴ میکروموس بر سانتیمتر مربوط به مخروط افکنه های موجود در خوشه دوم می‌باشد. عمق سطح ایستابی نیز به دلیل وجود شرایط یکسان در کل منطقه و نزدیک بودن عمق سطح ایستابی هر سه خوشه به میانگین کل (۴/۱ متر) دارای معناداری قوی نبوده است. به‌طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که لند فرم‌های ژئومورفولوژیکی و تفاوت در ویژگی‌های مورفومتری آن‌ها می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مهم در ارزیابی پتانسیل آب‌های زیرزمین مورد استفاده قرار گیرد و به‌عنوان الگویی در مطالعات آب‌های زیرزمینی در مناطقی با ویژگی‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه بهره‌برداری گردد. همچنین نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مطالعات ژئومورفیک پیش از انجام طرح‌های اجرایی می‌تواند زمینه‌ساز کاهش خطا در تعیین مکان مناسب جهت تغذیه آبخوان یا حفر چاه آب زیرزمینی باشد.

اکثر تحقیقات انجام شده، در رابطه با نقش پارامترهای مورفومتری بر آب‌های زیرزمینی، مخروط افکنه ها را به‌عنوان یک عامل وزنی در کنار سایر عوامل اثرگذار در نظر گرفته و به فرم و شاخص های مورفومتری مخروط افکنه به‌عنوان یک شاهد مجزا نگاه نمی‌کند به‌طور مثال فیویه و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی همبستگی فضایی آب زیرزمینی با عوامل محیطی در مخروط افکنه چوشیو تایوان پرداختند. نتایج نشان داد که تراکم زهکش و شیب منطقه در فصول خشکسالی بر تغییرات آب زیرزمینی موثر بوده و شاخص NDVI در فصول ترسالی بر تغییرات آب زیرزمینی موثر می‌باشد همچنین نگارش و همکاران (۱۳۹۶) تاثیر هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز رودخانه گاوی استان ایلام در تغذیه سفره آب زیرزمینی دشت مهران را مورد بررسی قرار دادند. که مشخص گردید بین مخروط افکنه ها، مسیل، تپه ها و دیگر اشکال ژئومورفولوژی با منابع آب زیرزمینی در سطح ۹۹ درصد رابطه معنادار وجود دارد. بنابر این هر چند تاکنون نقش عوامل ژئومورفیک و به خصوص مخروط افکنه ها بر آب‌های زیرزمینی در مطالعات متعددی اشاره و مورد تأکید قرار گرفته است، ولی مطالعه جامعی در رابطه با نقش شاخص های مورفومتری مخروط افکنه ها بر آب‌های زیرزمینی و طبقه بندی مخروط افکنه ها انجام نگرفته است. تحقیق حاضر توانسته با رویکردی جدید و همچنین مطالعات آماری این ارتباط قوی را مورد بررسی قرار دهد و رهیافتی کارآمد را در راستای شناسایی پتانسیل آب‌های زیرزمینی فراهم آورد.

## منابع

- صدقی، محمد مهدی؛ سامانی، نوذر، ۱۳۹۴، تجزیه و تحلیل رفتار هیدرولیکی آبخوان‌های مخروط افکنه ای، کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، دوره اول.
- نگهبان، سعید؛ زارع، غلامرضا، ۱۴۰۱، ژئومورفولوژی مخروط افکنه ها، انتشارات دانشگاه شیراز

- نگارش، حسین؛ پرک، کبری؛ عسگری، شمس اله، ۱۳۹۶، بررسی نقش هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز گاوی در تغذیه سفره آب زیرزمینی دشت مهران با استفاده از GIS، مجله جغرافیا و آمایش شهری- منطقه ای، شماره ۴، شماره ۲۵، صفحات ۷۵-۹۲.
- فرزین، محسن؛ جلیلی آبشورمند، ۱۳۹۸، مخروط افکنه ها، سدهای زیرزمینی طبیعی ایران، سومین کنفرانس هیدرولوژی.
- نگارش، حسین؛ شفیعی، نجمه؛ درانی نژاد، محمدصادق، (۱۳۹۵)، تأثیر هیدروژئولوژی آبخوان دشت نورآباد ممسنی بر آب زیرزمینی منطقه با استفاده از GIS، نشریه هیدروژئومورفولوژی، شماره ۶، صفحات ۷۳-۵۵.
- قهرودی تالی، منیژه؛ افشاری، امیر؛ صدوق، سید حسن؛ احتشامی معین آبادی، محسن، ۱۳۹۸، کاربرد شاخص های مورفوتکتونیک در تحلیل مخاطرات زمین لغزش در راه آهن ناحیه لرستان، نشریه مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)، دوره ۶، شماره ۱، صفحات ۶۶-۵۱.
- علایی طالقانی، محمود؛ شفیعی، نجمه؛ رجبی، مرضیه، (۱۳۹۶)، تأثیر عوامل مؤثر بر تغذیه آب زیرزمینی دشت میان دره کرمانشاه، مجله هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۳، صفحات ۴۱-۲۱.
- اسماعیلی، رضا، ۱۳۹۴، نقش لند فرم های ژئومورفیک در کیفیت آب های زیرزمینی جلگه شرقی مازندران، سومین همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی (ژئومورفولوژی و آب).
- سرور، جلیل الدین، ۱۳۸۳، تهیه نقشه های ژئومورفولوژی شرق گیلان با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای، شماره سوم، صفحات ۲۲۶-۲۰۵.
- شرکت آب و فاضلاب روستایی استان گیلان، ۱۳۹۱، طرح شبکه توزیع آب روستاهای نواحی شفت و فومن، مرحله اول
- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، ۱۳۹۸، <https://gsi.ir/guilan/fa/page/>
- مرکز آمار ایران، ۱۴۰۰، گزارش جمعیت شهرستان های کشور.
- پرویز، لاله؛ بنیادی، حسین، ۱۳۹۸، مدلسازی عملکرد گندم با استفاده از شاخص های اقلیمی و خوشه بندی، نشریه اکوهیدرولوژی، دوره ۶، شماره ۲، صفحات ۴۹۱-۴۷۹.

- Blair, T.C and Mc pherson, J.G 1994 Alluvial fan processes and Forms. In: A.D. Abrahams and A.J. parsons (eds). *Geomorphology of desert environments*. Chapman and Hall., pp.354- 367
- Fu Yeh, H., Chi Chang, J., Chi Huang, C., Yu Chen, H, 2022, Spatial correlation of groundwater level with natural factors using geographically weighted regression model in the Choushui River Alluvial Fan, Taiwan, *Journal of Frontiers in Earth Science*, Voume 10, pages: 1-20
- Samani, N., & Sedghi, M. M. 2015. Semi-analytical solutions of groundwater flow in multi-zone (patchy) wedge-shaped aquifers. *Advances in Water Resources*. 77, 1-16
- Adams, K. M., 2012, Systems theory: A formal construct for understanding systems, *Journal of System of Systems Engineering*, 4(3/4), 209-224
- Baker, P., 1993, Chaos, Order, and Sociological Theoy, *Journal of Sociological Inquiry*, volume 63, issue 2, pages 123-149.
- Brwon, A.G., 1995, *Geomorphology and Groundwater*, Publishers OF Wiley
- Mather, C.C., Nash, D.J., Dogramaci, S., Grierson, P.F., Skrzypek, G., 2019, *Geomorphical and hydrological controls on groundwater dolocrete formation in the semi-arid Hamersley Basin, northwest Australia*, *Earth Surface Processes and Landforms*, Voume 44, Issue 13, pages: 2752-2770
- Zektser, L.S., Everett, L.G, 2004, *Groundwater resources of the world and their use*, Published in United Nations Educational.
- Todd, D., Mays, L., (2005), *Groundwater Hydrology*. 3rd Edition, Wiley, J., Inc, S., Publisher Hoboken, 652 pages.

- Higgins, C. G., Coates, D. R., (1990), *Groundwater Geomorphology; The Role of Subsurface Water in Earth-Surface Processes and Landforms*. Published by The Geological Society of America, Inc. 381 pages.
- Al-Ruzouq, R., Shanableh, A., Merabtene, T., Siddique, M., (2019), *Potential groundwater zone mapping based on geo-hydrological considerations and multi-criteria spatial analysis: North UAE*. *Journal of Catena*, vo;.173, pp: 511-524.
- Cheng, T., Wang, K., Wang, S., Has, C., Has, C., 2022, *Evaluation of the Groundwater and Irrigation Quality in the Zhuoshui River Alluvial Fan between Wet and Dry Seasons*, Published by MDPI, 14(9), pages 1-16.
- Tsuchihara, T., Shirahata, K., Ishida, S., Yoshimoto, S., 2020, *Application of a Self-Organizing Map of Isotopic and Chemical Data for the Identification of Groundwater Recharge Sources in Nasunogahara Alluvial Fan, Japan*, Published by MDPI, 12(1), Pages 2-21.