

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

علی رجبی 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.

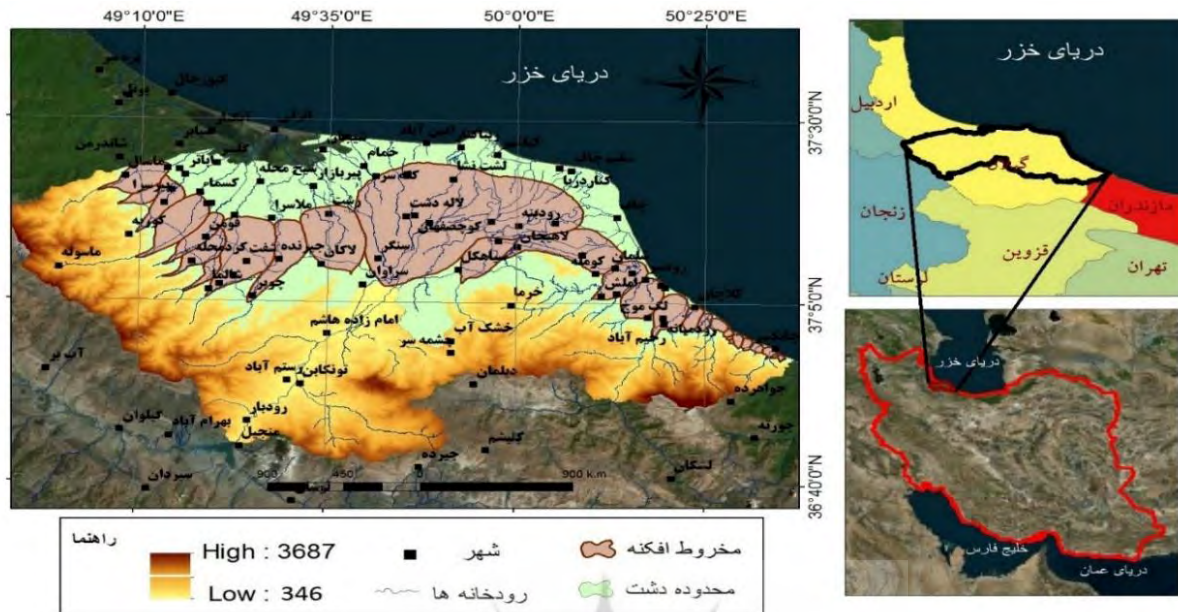
مقدمه

نظریات سیستمی از زمانی که روش های کمی نظیر ریاضیات کاربردی، فیزیک و آمار وارد آن شد توسعه و تحول بیشتری نمود (آدامز، ۲۰۱۲). به ویژه از دهه ۱۹۷۰ میلادی به بعد روابط بین فرم و فرایندها در سیستم های ژئومورفیک از طریق روش های کمی توسعه چشم گیری داشت به گونه ای که مدل سازی روابط میان پدیده های ژئومورفولوژی در واحدهای ژئومورفیک بسط پیدا کرد (باکر، ۱۹۹۳). در واقع لند فرم ها بر اساس ظاهری خود می توانند سبب کنترل بر شرایط هیدرولوژی آب های 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 می باشد، در قلمرو تأثیرپذیر ژئومورفولوژی قرار گرفته و به وسیله آن ایجاد و یا کنترل می شود (براون، ۱۹۹۵). این کنترل توسط متغیرهای بسیاری صورت گرفته که عبارت اند توپوگرافی و فرم، ویژگی مواد سطحی یا مورفونز، تغییرات آب و هوایی و هوازدگی ها، تغییرات زمانی (زکیتسا و اورت، ۲۰۰۴). به طور کلی اشکال ژئومورفیک مؤثر در تشکیل آبخوان ها با توجه به سازندهای زمین شناسی، عمدتاً به لند فرم های موجود در رسوبات آبرفتی و سنگ های آهکی تقسیم می شوند. حدود ۹۰ درصد از سفره های آب زیرزمینی در رسوبات نرم آبرفتی بخصوص گراول و ماسه تشکیل شده اند (تاد و مایز، ۲۰۰۵). علاوه بر فرم های ژئومورفیک، عملکرد فرایندهای ژئومورفیک نظیر فرسایش، حمل و رسوب گذاری با تأثیرگذاری بر خواص خاک و تغییر لند فرم ها، از عوامل مؤثر در مقدار پتانسیل منابع آب زیرزمینی می باشد. هر یک از فرایندهای رودخانه ای، گرانش، بادی، ساحلی و یخبندان در مناطق تحت تسلط خود ساختار رسوب گذاری متمایزی دارد که برحسب مکانیزم تشکیل و نوع مواد تشکیل دهنده، رفتار و میزان ذخیره سفره های آب زیرزمینی را تحت شعاع قرار می دهد (هاگینز و کوتس، ۱۹۹۰). مخروط افکنه ها به عنوان یکی از تیپ های مهم ژئومورفولوژی ایران، با ساختار و ویژگی منحصر به فرد خود، محیط بسیار مناسبی را برای ذخیره سازی و نگهداشت قابل توجه آب در اختیار نواحی خشک و کم برخوردار از منابع آب سطحی قرار می دهد. از آنجایی که اقلیم ایران اساساً خشک و نیمه خشک است و جریان ها و سیلاب های فصلی قابل توجه و عظیمی دارد، بخش وسیعی از بیشتر مخروط افکنه های کشور از رسوبات درشت دانه تشکیل شده است که توان بالایی در ذخیره و نگهداشت آب زیرزمینی دارند (فرزین و جلیلی آبشورمند، ۱۳۹۸). مخروط افکنه ها در نواحی مرطوب از تکامل و توسعه بالایی برخوردارند و بیشتر دشت های جلگه ای نواحی مرطوب شمال کشور را این لند فرم ها پوشش داده اند. استان گیلان یکی از مناطق پر جمعیت کشور بوده که با ۲۷۶۰ ۳۳۴ نفر جمعیت، دوازدهمین استان پر جمعیت کشور می باشد (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۰). این مناطق به دلیل ضخامت زیاد رسوبات حاصل از مخروط افکنه های جدید و قدیمی، تغذیه مناسب از بستر رودخانه ها و بارندگی بسیار زیاد از نظر کمیت آب زیرزمینی در وضعیت مطلوب قرار دارد (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، ۱۳۹۸) اما به دلیل عواملی نظیر افزایش مهاجری و عدم شناخت لند فرم های مؤثر در کیفیت و کمیت آب زیرزمینی به خصوص در نواحی ساحلی ناپایدار گردیده و نیازمند مدیریت و پتانسیل یابی مناسب می باشد (گزارش شرکت آب و فاضلاب روستایی استان گیلان، ۱۳۹۱). مخروط افکنه ها به عنوان یک لند فرم مهم در مناطق دشتی بوده که از دهانه های رودخانه های خروجی از کوهستان شروع شده و تا نواحی پست دشت ادامه دارند (بلیر و پیرسون، ۱۹۹۴). این لند فرم ها یکی از مکان های مناسب برای حفر چاه بوده که منابع و ذخایر آب های زیرزمینی قابل توجهی در آن ها تشکیل می شوند (صدقی و سامانی، ۱۳۹۴). رسوبات مخروط افکنه ای از جریانات سطحی برجای مانده اند که به سمت پایین دست مخروط افکنه انرژی خود را از دست داده و رسوبات آن ها دانه ریز تر می شوند (نگهبان و زارع، ۱۴۰۱). این مسئله باعث شده که مقادیر ضرایب هیدرودینامیک آبخوان های مخروط افکنه ای به سمت پایین دست مخروط افکنه کاهش پیدا کند. شکل گوه ای آبخوان های مخروط افکنه ای و کاهش مقدار پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان به سمت پایین دست باعث به وجود آمدن شکل خاصی از آبخوان های گوه ای می گردد که به آن آبخوان های گوه ای چند زونه می گویند (سامانی، ۲۰۱۵). در زمینه بررسی پتانسیل واقعی یا بالفعل آب زیرزمینی مطالعات پراکنده ای صورت گرفته است که بر اساس تغییرات محیطی در طی یک بازه مشخص می توان 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 به‌وسیله 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 به‌صورت مستقل محاسبه گردید و به‌وسیله آن تحلیل‌های کمی از ویژگی‌های ژئومورفیک مخروط افکنه‌ها ارائه شد. با توجه به اینکه فرایندهای مورفونیک و ژئومولوژی تشکیل‌دهنده 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 به‌طوری‌که نتایج این تحقیق کمک شایانی به شناسایی منابع آب زیرزمینی برحسب مورفومتری مخروط افکنه‌ای 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 ۴۰.۵۰° تا ۴۹.۰۰° طول شرقی و ۳۰.۳۶° تا ۳۷.۲۵° 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 فرم های ساحل، جلگه، پای کوه و تراس فوقانی است (سرور، ۱۳۸۳). فعالیت آب های 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، شمرو، کیارو، کلاچای، آچارود، سفید رود، شلمان رود و... (گزارش شرکت آب و فاضلاب روستایی استان گیلان، ۱۳۹۱). در مناطق شرقی و مرکزی استان گیلان بارندگی زیاد، رودخانه های فراوان، منابع آب های ساکن (آب بندان ها) و همچنین رسوبات ریزدانه در دامنه مخروط افکنه ها و سطح دشت، سبب ایجاد آب های زیرزمینی متعدد با سطح ایستابی بالا در محدوده حوضه آبخیز مورد مطالعه شده که شرایط سهل الحصولی 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 می دهد با حرکت از جنوب منطقه به سمت نواحی شمالی (خروجی رودخانه ها) عمق آب زیرزمینی از حدود ۱ متر به بیش از ۱۵ متر می رسد. 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 جمع آوری و تخلیه بهداشتی فاضلاب خانگی، عدم شناخت لند فرم های مؤثر در کیفیت و کمیت آب و نوع کشت غالب کشاورزی و ... آب زیرزمینی به خصوص در نواحی ساحلی ناپایدار گردیده و نیازمند مدیریت و پتانسیل یابی مناسب می باشد. همچنین در نواحی رأس مخروط افکنه ها که وضعیت کیفیت آب از شرایط مطلوب تری برخوردار است به دلیل نزدیکی به سنگ کف و وجود لند فرم های اثرگذار بر پایداری آب زیرزمینی نیاز به مطالعه دقیق پتانسیل این منابع می باشد (گزارش شرکت آب و فاضلاب روستایی استان گیلان، ۱۳۹۱).

روش تحقیق

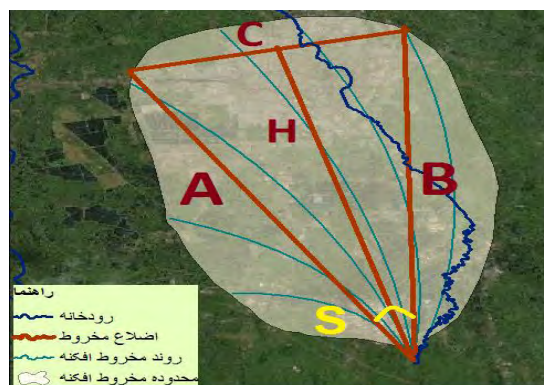
هدف از این مطالعه بررسی مورفومتری مخروط افکنه های نواحی مرکز و شرقی استان گیلان تعیین نقش آن بر پارامترهای آب زیرزمینی است. از این رو به جهت تهیه اطلاعات مورد نیاز عمق سطح ایستابی، انحراف معیار تغییرات زمانی سطح ایستابی، دبی چاه و میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی ۲۳۵۵۹ حلقه چاه شرب، کشاورزی و شهری از 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 ماهواره ای لند ست ۸ و نقشه های ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی در نرم افزار 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 π معادل ۳/۱۴ فرمول شماره ۲:

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



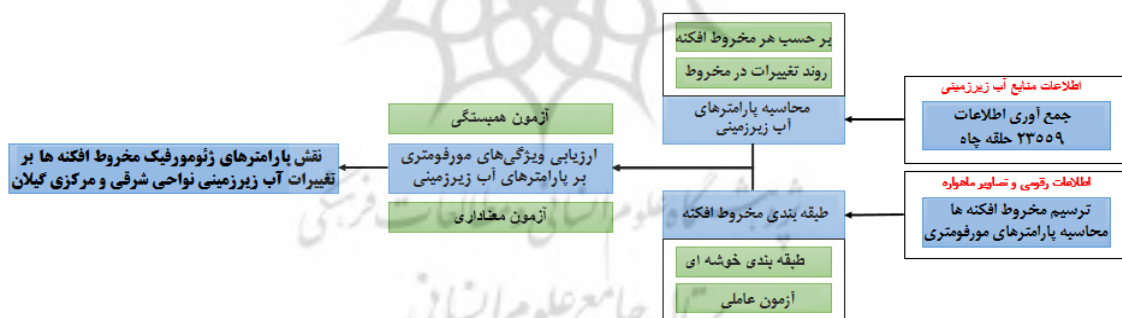
شکل ۲: نمونه ترسیم هندسی مخروط افکنه ها جهت انجام محاسبات آماری

در پژوهش حاضر پس از استخراج داده‌های مورفومتری، نقشه‌های هم ارزش 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 مورفومتریک طبقات از آزمون تحلیل عاملی به روش عاملی تأییدی (CFA) استفاده گردید. با توجه نا پارامتریک بودن داده‌های هر خوشه به وسیله آزمون معناداری واریانس یک‌طرفه، و آزمون کروسکال-والیس میزان معناداری پارامترهای آب زیرزمینی در هر خوشه مشخص گردید. سپس هر خوشه تفکیک‌شده 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.

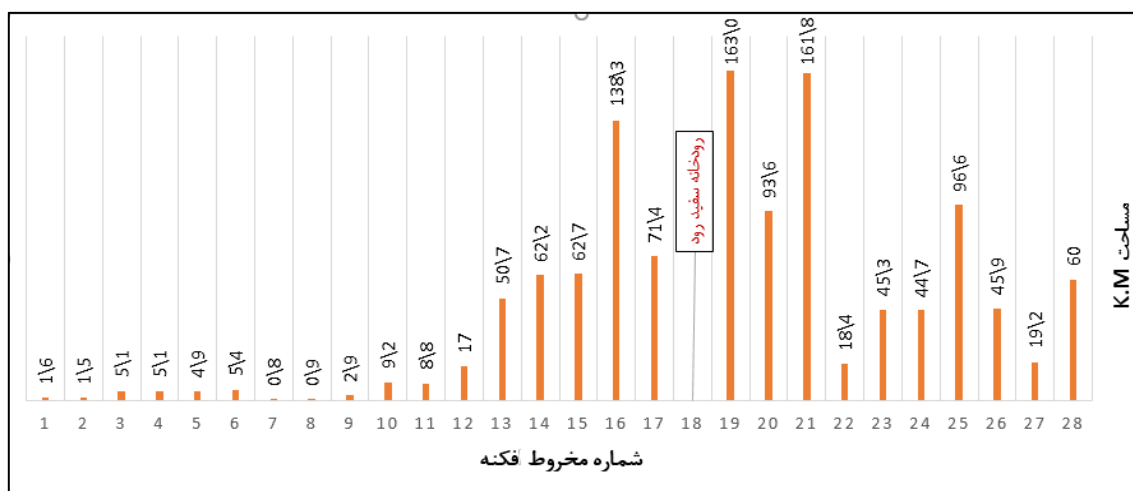


شکل شماره ۳: مراحل روش تحقیق

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 تکتونیکی 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

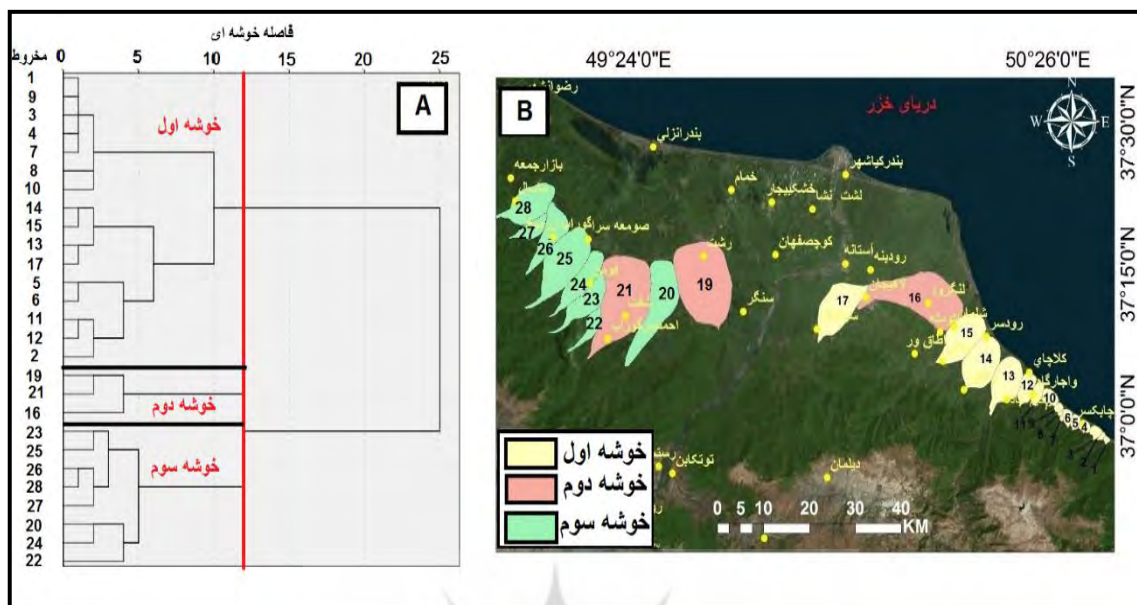
حجم مخروط افکنه به عنوان یک پارامتر مؤثر در تعیین ضخامت مخروط از عوامل تأثیرگذار بر آب زیرزمینی است. بیشترین میزان حجم بعد از مخروط افکنه شماره ۱۸ (سفیدرود) ۱۸ مربوط به مخروط ۲۱ و ۱۹ (پسیخان رود و سیاه رود) بوده که به ترتیب شامل ۰/۲۶ و ۰/۲۵ کیلومتر مکعب است. همچنین اختلاف ارتفاع رأس مخروط از قاعده مخروط به همراه شیب از جمله پارامترهای مورفومتری مهم در مخروط افکنه ها است که می تواند 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 شرقی ترین بخش محدوده مطالعاتی ۶/۸ درجه بوده و شیب مخروط افکنه ماسوله در غرب ۳/۴ درجه می باشد. همان طور که در جدول ۱ مشاهده می شود 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 می تواند پتانسیل مناسب آب زیرزمینی را دارا باشد. زاویه جاروب نیز از دیگر پارامترهایی است که تا حدودی نشان دهنده نقش شبکه های انشعاب سیل در ابتدا مخروط افکنه است. بیشترین زاویه جاروب بعد از مخروط افکنه شماره ۱۸ مربوط به مخروط افکنه شماره ۱۰ (خشک رود) است. تقعر مخروط افکنه نیز یکی پارامترهای تعیین کننده 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 آب های زیرزمینی، میزان طول قاعده مخروط افکنه می باشد که نشان دهنده میزان پخش سیلاب در دشت و تکامل مخروط افکنه است که به تبع وضعیت تغذیه آبخوان را تحت تأثیر قرار می دهد. بیشترین میزان طول قاعده مخروط افکنه مربوط به مخروط های مرکزی دشت نظیر مخروط افکنه سفیدرود و سیاه رود با طول میزان ۶۰ و ۱۳ کیلومتر می باشد.

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

ردیف	اسم رودخانه	خوشه ها	شیب m	حجم k.m ^۳	تقعر m	شعاع m	زاویه جاروب m	طول قاعده m	اختلاف ارتفاع m	ارتفاع قاعده m	ارتفاع رأس m	طول مخروط m	مساحت k.m ^۲
۱	گوهیر سرا	۱	۶/۸	۰/۰۰۶	۱/۹	۷۲۳	۵۶/۱	۱۶۵۱	۷۴	-۲۲	۵۲	۱۶۴۳	۱/۶
۲	کندسر	۱	۴	۰/۰۰۱	۴/۶	۴۲۹	۲۴/۷	۱۰۵۰	۵۸	-۲۸	۳۰	۲۲۷۳	۱/۵
۳	آچارود	۱	۶/۲	۰/۰۱۶	۲/۱	۱۲۰۱	۴۹/۹	۲۷۵۶	۷۷	-۱۹	۵۸	۳۰۴۹	۵/۱
۴	چابکسر	۱	۶/۴	۰/۰۰۹	۱/۹	۱۱۱۹	۵۵	۳۰۹۶	۴۷	-۹	۳۸	۲۴۸۳	۵
۵	اوشیان	۱	۶/۷	۰/۰۱۰	۳/۲	۸۶۷	۳۴/۷	۲۶۰۰	۱۳۶	-۲۴	۱۱۲	۳۰۷۳	۴/۹
۶	گیشار	۱	۶	۰/۰۱۳	۲/۹	۱۰۶۷	۳۶/۵	۳۰۸۵	۱۰۸	-۲۴	۸۴	۳۳۰۶	۵/۴
۷	ملکمیان	۱	۶/۵	۰/۰۰۴	۱/۶	۵۲۳	۶۱	۱۰۹۹	۷۴	-۶	۶۸	۹۹۷	۰/۸
۸	خانه سر	۱	۶/۸	۰/۰۰۱	۲/۸	۴۴۴	۳۴/۴	۹۹۵	۶۲	-۱۶	۴۶	۱۴۹۹	۰/۹
۹	قاسم آباد	۱	۶/۴	۰/۰۰۶	۲/۲	۸۱۵	۴۸/۸	۲۰۳۳	۶۲	-۲۵	۳۷	۲۱۵۳	۲/۸
۱۰	خشک رود	۱	۶/۱	۰/۰۷۵	۱/۶	۲۰۱۵	۶۵/۶	۴۷۸۲	۹۷	-۲۱	۷۶	۴۳۳۷	۹/۲
۱۱	لرزجای	۱	۵/۹	۰/۰۰۳	۵/۵	۸۶۵	۲۰/۹	۳۴۲۸	۶۴	-۲۴	۴۰	۵۳۴۱	۸/۷
۱۲	کلاچای	۱	۵/۲	۰/۰۱۱	۴/۸	۱۳۴۶	۲۳/۵	۴۶۲۵	۸۸	-۲۵	۶۳	۷۰۶۴	۱۷
۱۳	یل رود	۱	۵/۴	۰/۰۷۳	۳/۹	۲۶۷۹	۲۹	۷۱۹۸	۱۲۰	-۲۶	۹۴	۱۲۱۹۰	۵۰/۶
۱۴	کیا رود	۱	۵/۴	۰/۰۲۸	۴/۴	۲۳۱۴	۲۵/۸	۷۲۲۰	۷۰	-۲۷	۴۳	۱۱۴۳۷	۶۲/۲
۱۵	کیاکالایه	۱	۴/۹	۰/۰۵۹	۳/۷	۲۹۵۶	۳۰	۸۳۹۹	۷۷	-۲۵	۵۲	۱۳۴۱۵	۶۲/۷
۱۶	شلمان رود	۲	۵/۱	۰/۰۹۷	۳/۱	۵۹۱۲	۲۹/۷	۱۳۲۸۴	۳۲	-۲۵	۷	۲۳۱۶۹	۱۳۸/۳
۱۷	لنگرود	۱	۵/۵	۰/۱۲۱	۳/۳	۳۷۱۴	۳۲	۱۰۰۲۵	۹۴	-۱۳	۸۱	۱۲۷۲۹	۷۱/۳
۱۸	سفید رود	-	۵	۶/۱۹۷	۱/۴	۲۱۱۷۶	۷۰/۹	۶۰۸۷۵	۶۷	-۳۱	۴۶	۳۹۰۴۷	۸۶۸/۲
۱۹	سیاه رود	۲	۴/۴	۰/۲۵	۲/۸	۵۴۰۹	۴۰/۲	۱۳۶۲۶	۷۵	-۸	۶۷	۱۷۸۷۶	۱۶۲/۹
۲۰	لاکان	۳	۳/۸	۰/۰۲۴	۸	۲۶۴۵	۱۲/۸	۶۳۹۲	۹۱	۱	۹۲	۲۲۲۱۷	۹۳/۶
۲۱	پسپخان رود	۲	۳/۵	۰/۲۶۵	۴/۱	۴۹۷۸	۲۶/۴	۱۱۰۰۲	۱۳۹	-۵	۱۳۴	۲۲۰۰۵	۱۶۱/۷
۲۲	نیش رودبار	۳	۳/۹	۰/۰۱۰	۶/۷	۱۳۶۹	۱۶/۲	۵۶۷۱	۱۱۸	۴۸	۱۶۶	۱۰۹۴۵	۱۸/۳
۲۳	گشت رودبار	۳	۳/۶	۰/۱۳۹	۴/۱	۳۵۳۳	۲۲/۵	۷۴۱۸	۱۷۰	۱۷	۱۸۷	۱۶۳۴۱	۴۵/۲
۲۴	گازرودبار	۳	۳/۷	۰/۰۱۰	۹/۷	۱۶۱۴	۱۱/۶	۴۵۱۳	۱۱۲	۶	۱۱۸	۱۶۸۸۹	۴۴/۶
۲۵	ماسوله رود	۳	۳/۴	۰/۱۰۴	۵/۹	۳۰۳۲	۱۹/۲	۸۵۰۶	۲۰۲	-۱	۲۰۱	۱۹۸۸۰	۹۶/۵
۲۶	پلنگ رود	۳	۴	۰/۱۰۸	۴	۳۳۵۳	۲۶/۳	۷۹۷۳	۱۲۶	-۱	۱۲۵	۱۴۵۸۳	۴۵/۸
۲۷	متبار رود	۳	۴/۳	۰/۰۳۴	۴/۲	۱۹۶۰	۲۲/۶	۴۲۶۷	۱۳۵	۱۰	۱۴۵	۹۲۶۳	۱۹/۱
۲۸	ماسال رود	۳	۴/۳	۰/۰۴۴	۵/۸	۲۲۴۸	۱۹/۸	۸۹۹۰	۱۵۲	-۶	۱۴۶	۱۵۲۰۵	۶۰

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. درواقع 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 پراکندگی 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 تفکیک‌شده 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 تکامل‌یافته‌تر 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 تعیین‌شده 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 مخروط افکنه‌های موجود در

خوشه دوم با بیشترین نمره عاملی در مؤلفه اول و توجیه پذیری 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 افکنه ها برحسب تفکیک خوشه‌ای

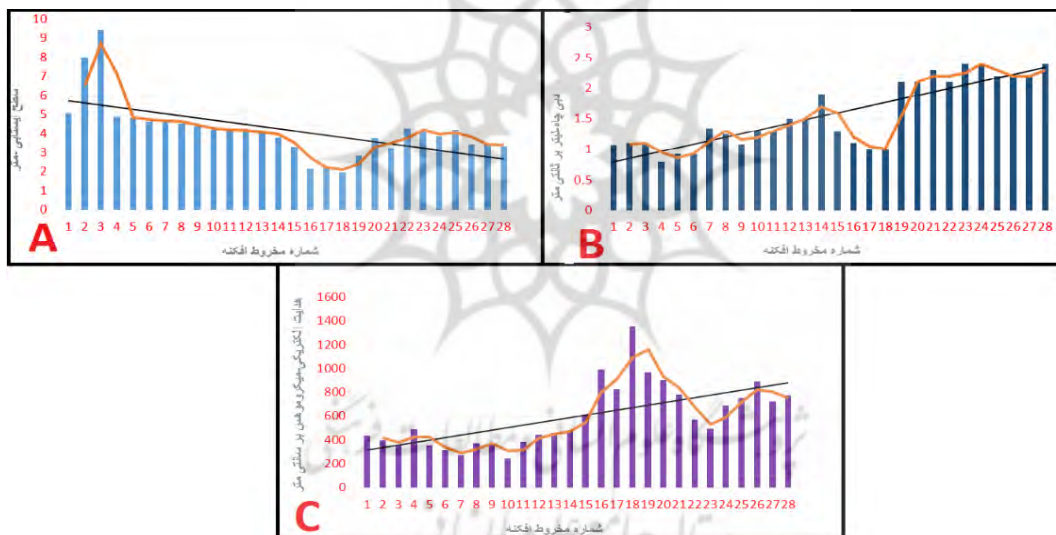
خوشه اول			خوشه دوم		خوشه سوم			پارامترهای مخروط افکنه	
1	2	3	۱	۲	۱	۲	۳		
۰/۹۳	-۰/۲	۰/۰۲	۰/۹۵	۰/۲۷	-۰/۱۰	۰/۹۳	۰/۱۶	بار عاملی	مساحت مخروط افکنه
۰/۹۰	-۰/۳	۰/۰۸	۰/۹۸	۰/۰۸	-۰/۲۷	۰/۹۲	۰/۲	بار عاملی	طول مخروط افکنه
۰/۱۹	۰/۱۱	۰/۹۵	۰/۰۲	۰/۹۹	۰/۳۹	-۰/۲۱	۰/۸	بار عاملی	ارتفاع رأس مخروط افکنه
۰/۰۴	۰/۷۹	-۰/۱	۰/۳۱	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	-۰/۹	-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	-۰/۹	-۰/۰۹	۰/۷۴	۰/۵۳	-۰/۹۵	۰/۲	-۰/۰۵	بار عاملی	تقعر مخروط افکنه
۰/۹	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	-۰/۸	-۰/۵	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 افکنه های 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 افکنه های 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 افکنه های 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.

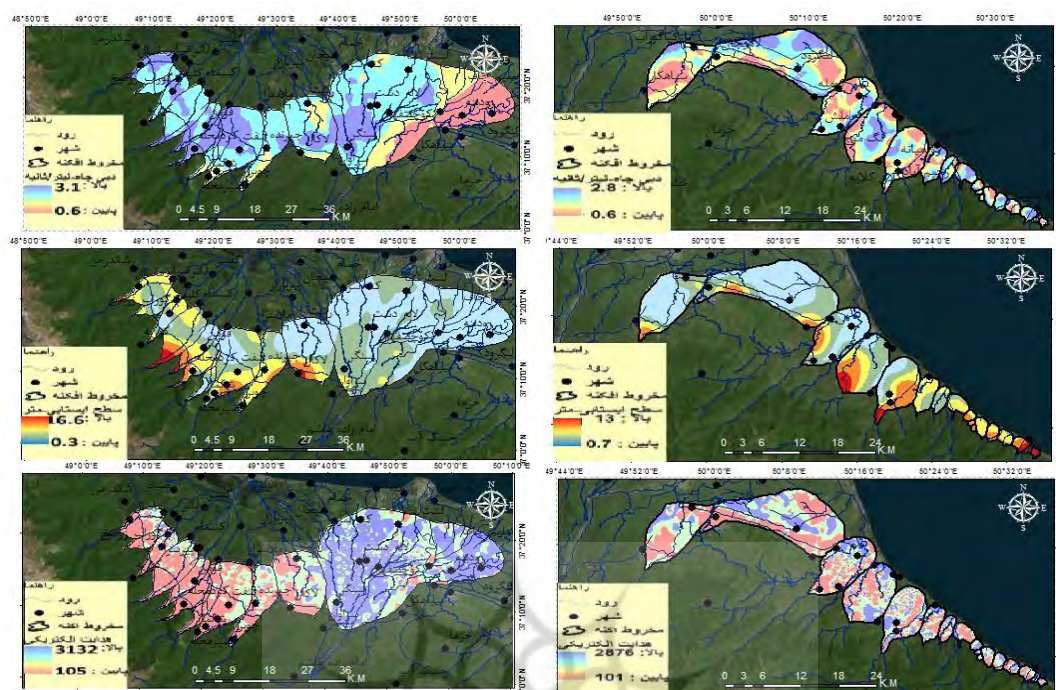
جدول ۴: وضعیت پارامترهای آب زیرزمینی در مخروط افکنه های محدوده مطالعاتی گیلان

شماره مخروط	عمق سطح ایستابی m	دبی l/s	هدایت الکتریکی μ mho/cm	ردیف	عمق سطح ایستابی m	دبی l/s	هدایت الکتریکی μ 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 چاه، 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 μ 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. درواقع با افزایش میزان مساحت، طول، طول 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 $0/004$ دارای همبستگی مثبت و قوی در حد 99% 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 95% با تغییرات مورفومتری خوشه‌ها است. بیشترین میزان هدایت الکتریکی با میزان 914 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 ($4/1$ 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	مینیم	ماکسیم
کمینه سطح ایستابی آب زیرزمینی - متر	6/86	0/004	خوشه اول	4	7/18
			خوشه دوم	1/6	2/24
			خوشه سوم	2/6	3/63
بیشینه سطح ایستابی آب زیرزمینی - متر	1/87	0/17	خوشه اول	5/2	9/90
			خوشه دوم	4/7	5/38
			خوشه سوم	6/2	8/21
میانگین سطح ایستابی آب زیرزمینی - متر	3/38	0/51	خوشه اول	4/7	9/46
			خوشه دوم	2/7	3/26
			خوشه سوم	3/8	4/26
انحراف معیار تغییرات سطح ایستابی	8/68	0/002	خوشه اول	0/2	0/46
			خوشه دوم	0/22	0/27
			خوشه سوم	0/3	0/46
دبی چاه - لیتر / ثانیه	36/9	0/001	خوشه اول	1/2	1/9
			خوشه دوم	1/8	2/3
			خوشه سوم	2/2	2/4
هدایت الکتریکی - میکروموهس / سانتی متر	6/5	0/05	خوشه اول	481	1354
			خوشه دوم	914	1992
			خوشه سوم	725	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 افکنه ها موردبررسی 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. درواقع در بین مخروط افکنه های موجود در خوشه اول هرچقدر 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 درواقع هرچقدر 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 انتهای 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)

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

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 سبزی 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. درواقع 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 میزان معنا داری	۰/۴۵۶ ۰/۰۰۳	۰/۷۸۴ ۰/۰۰۱	-۰/۷۸۷ ۰/۰۰۱	-۰/۱۴۷ ۰/۰۰۱	-۰/۰۶۳ ۰/۰۰۱	-۰/۹۰۷ ۰/۰۰۱	-۰/۸۲۴ ۰/۰۰۱	-۰/۴۱۸ ۰/۰۰۱	-۰/۰۹۹ ۰/۰۰۱	-۰/۰۹۱ ۰/۰۰۱	-۰/۰۳۳ ۰/۰۰۱
طول مخروط افکنه	ضریب همبستگی میزان معنا داری	۰/۰۵۶ ۰/۰۰۱	۰/۹۳۲ ۰/۰۰۱	-۰/۷۷۰ ۰/۰۰۱	-۰/۰۴۹ ۰/۰۰۱	۰/۳۱۶ ۰/۰۰۱	-۰/۳۳۶ ۰/۰۰۱	-۰/۱۷۵ ۰/۰۰۱	۰/۴۶۱ ۰/۰۰۱	۰/۱۹۵ ۰/۰۰۱	۰/۲۰۹ ۰/۰۰۱	۰/۳۹۵ ۰/۰۰۱
ارتفاع رأس مخروط افکنه	ضریب همبستگی میزان معنا داری	-۰/۰۷۵ ۰/۰۰۱	-۰/۱۴۶ ۰/۰۰۱	-۰/۲۰۰ ۰/۰۰۱	-۰/۲۰۳ ۰/۰۰۱	-۰/۱۲۷ ۰/۰۰۱	-۰/۱۲۲ ۰/۰۰۱	-۰/۹۸۷ ۰/۰۰۱	-۰/۳۵۱ ۰/۰۰۱	-۰/۰۴۳ ۰/۰۰۱	-۰/۵۷۲ ۰/۰۰۱	-۰/۳۹۷ ۰/۰۰۱
ارتفاع قاعده مخروط افکنه	ضریب همبستگی میزان معنا داری	-۰/۳۴۲ ۰/۰۰۱	-۰/۰۹۹ ۰/۰۰۱	-۰/۲۴۷ ۰/۰۰۱	-۰/۲۴۸ ۰/۰۰۱	-۰/۰۰۵ ۰/۰۰۱	-۰/۲۵۴ ۰/۰۰۱	-۰/۹۶۸ ۰/۰۰۱	-۰/۲۱۳ ۰/۰۰۱	-۰/۰۳۰ ۰/۰۰۱	-۰/۶۰۷ ۰/۰۰۱	-۰/۰۶۱ ۰/۰۰۱
اختلاف ارتفاع مخروط افکنه	ضریب همبستگی میزان معنا داری	-۰/۰۱۳ ۰/۰۰۱	-۰/۱۵۱ ۰/۰۰۱	-۰/۲۸۶ ۰/۰۰۱	-۰/۲۴۲ ۰/۰۰۱	-۰/۱۵۳ ۰/۰۰۱	-۰/۰۹۶ ۰/۰۰۱	-۰/۹۷۰ ۰/۰۰۱	-۰/۲۱۵ ۰/۰۰۱	-۰/۲۱۸ ۰/۰۰۱	-۰/۲۹۱ ۰/۰۰۱	-۰/۴۳۸ ۰/۰۰۱
طول قاعده مخروط افکنه	ضریب همبستگی میزان معنا داری	-۰/۱۲۲ ۰/۰۰۱	-۰/۹۱۷ ۰/۰۰۱	-۰/۷۸۶ ۰/۰۰۱	-۰/۱۰۵ ۰/۰۰۱	-۰/۳۲۲ ۰/۰۰۱	-۰/۰۷۳ ۰/۰۰۱	-۰/۷۱۴ ۰/۰۰۱	-۰/۳۳۷ ۰/۰۰۱	-۰/۲۹۹ ۰/۰۰۱	-۰/۰۹۱ ۰/۰۰۱	-۰/۲۶۶ ۰/۰۰۱
زاویه جاروب مخروط افکنه	ضریب همبستگی میزان معنا داری	-۰/۳۸۵ ۰/۰۰۱	-۰/۲۲۹ ۰/۰۰۱	-۰/۴۵۲ ۰/۰۰۱	-۰/۰۷۰ ۰/۰۰۱	-۰/۴۵۷ ۰/۰۰۱	-۰/۰۹۸ ۰/۰۰۱	-۰/۴۶۹ ۰/۰۰۱	-۰/۴۳۴ ۰/۰۰۱	-۰/۴۹۱ ۰/۰۰۱	-۰/۳۴۶ ۰/۰۰۱	-۰/۵۹۵ ۰/۰۰۱
شعاع مخروط افکنه	ضریب همبستگی میزان معنا داری	-۰/۱۳۴ ۰/۰۰۱	-۰/۹۱۶ ۰/۰۰۱	-۰/۶۹۸ ۰/۰۰۱	-۰/۱۵۴ ۰/۰۰۱	-۰/۱۰۳ ۰/۰۰۱	-۰/۱۴۶ ۰/۰۰۱	-۰/۹۹۶ ۰/۰۰۱	-۰/۳۸۶ ۰/۰۰۱	-۰/۳۴۴ ۰/۰۰۱	-۰/۰۳۷ ۰/۰۰۱	-۰/۱۱۳ ۰/۰۰۱
تقعر مخروط افکنه	ضریب همبستگی میزان معنا داری	-۰/۴۷۵ ۰/۰۰۱	-۰/۱۴۵ ۰/۰۰۱	-۰/۴۳۷ ۰/۰۰۱	-۰/۰۷۰ ۰/۰۰۱	-۰/۳۵۴ ۰/۰۰۱	-۰/۱۰۶ ۰/۰۰۱	-۰/۶۲۷ ۰/۰۰۱	-۰/۴۸۵ ۰/۰۰۱	-۰/۴۰۶ ۰/۰۰۱	-۰/۲۴۳ ۰/۰۰۱	-۰/۶۶۷ ۰/۰۰۱
حجم مخروط افکنه	ضریب همبستگی میزان معنا داری	-۰/۱۱۸ ۰/۰۰۱	-۰/۶۲۱ ۰/۰۰۱	-۰/۵۶۲ ۰/۰۰۱	-۰/۱۰۵ ۰/۰۰۱	-۰/۰۳۵ ۰/۰۰۱	-۰/۲۸۳ ۰/۰۰۱	-۰/۹۴۰ ۰/۰۰۱	-۰/۲۷۵ ۰/۰۰۱	-۰/۳۷۳ ۰/۰۰۱	-۰/۱۲۳ ۰/۰۰۱	-۰/۱۸۵ ۰/۰۰۱
شیب مخروط افکنه	ضریب همبستگی میزان معنا داری	-۰/۲۶۷ ۰/۰۰۱	-۰/۴۱۱ ۰/۰۰۱	-۰/۴۹۷ ۰/۰۰۱	-۰/۰۶۰ ۰/۰۰۱	-۰/۱۴۹ ۰/۰۰۱	-۰/۹۷۱ ۰/۰۰۱	-۰/۹۷۳ ۰/۰۰۱	-۰/۴۳۱ ۰/۰۰۱	-۰/۲۱۳ ۰/۰۰۱	-۰/۸۱۴ ۰/۰۰۱	-۰/۴۱۶ ۰/۰۰۱

نتیجه‌گیری

آب زیرزمینی بخشی از سیستم تعاملی نزدیک به سطح زمین بوده و در قلمرو تأثیرپذیر ژئومورفولوژی قرار دارد. 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-تحلیل 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 $6/5$ کیلومترمربع دارای بیشترین میزان نسبت به سایرین بوده که بیانگر سبب برای وضاحت 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 ($19/3$ کیلومتر) به سمت بیشینه مساحت ($71/3$)، 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 914 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 ($4/1$ 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 به عنوان یک شاخص مهم در ارزیابی پتانسیل آب‌های زیرزمین مورد استفاده قرار گیرد و به عنوان 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 انجام‌شده، در رابطه با نقش پارامترهای مورفومتری بر آب‌های زیرزمینی، مخروط افکنه ها را به عنوان یک عامل وزنی در کنار سایر عوامل اثرگذار در نظر گرفته و به فرم و شاخص های مورفومتری مخروط افکنه به عنوان یک شاهد مجزا نگاه نمی‌کند به طور مثال فیویه و همکاران (2022) 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 (1396) 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 99 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، 1394 ، تجزیه و تحلیل رفتار هیدرولیکی آبخوان‌های مخروط افکنه ای، کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، دوره اول.
- نگهبان، سعید؛ زارع، غلامرضا، 1401 ، 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 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 ۵۱-۶۶.
- 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, Geomorphic and hydrological controls on groundwater dolomite 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.

