

بررسی کمی و کیفی آبخوان باغملک با استفاده از روش تحلیل آماری، روش‌های هیدروشیمیایی و GIS

نصرااله کلانتری^{۱*}، الهه ایرانی اصل^۲ و هادی محمدی^۳

۱- استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
۲- کارشناسی ارشد، هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز، اهواز، ایران.
۳- کارشناسی ارشد، هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز، اهواز، ایران
* (نویسنده مسئول). nkalantari@hotmail.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۱۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۲۱

چکیده

بسیاری از آبخوان‌ها در نقاط مختلف کشور با کاهش ذخیره مواجه هستند. این کاهش حجم ذخیره به علت افزایش تقاضای آب و افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری است. کاهش بارش و ریزش نامناسب مکانی و زمانی نیز از دیگر عوامل تغییر در حجم آبخوان است. آبخوان آبرفتی باغملک با مساحت ۴۹/۳۴ کیلومترمربع یکی از آبخوان‌های مهم استان خوزستان است که آب موردنیاز برای کشاورزی و دیگر فعالیت‌ها را در منطقه تأمین می‌کند. در این پژوهش وضعیت آبخوان آبرفتی باغملک از لحاظ کمی و کیفی در طول دوره دهساله (۱۳۸۶-۱۳۹۶) با استفاده از روش‌های آماری و زمین‌آمار مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت بررسی تغییرات بارش و تأثیر آن بر آب زیرزمینی در طول دوره آماری از روش SPI استفاده گردید. هیدروگراف معرف دشت، نقشه سطح آب زیرزمینی و نقشه افت‌وخیز برای دوره دهساله ترسیم گردید. نتایج نشان داد که میزان افت آب زیرزمینی در طول دوره مذکور برابر با ۱۳/۷۹ متر است، ولی بیشترین افت در بخش شرقی و مرکزی دشت در حدود ۱۹ متر مشاهده شده است. بررسی PCA و HCA برای داده‌های کیفی در بازه زمانی ۱۳۸۶-۱۳۹۶ نشان داد که چاه‌های موجود در منطقه سه گروه قرار می‌گیرند و هدایت الکتریکی با سولفات و کلسیم بیشترین همبستگی را دارد. همچنین تحلیل مؤلفه اصلی بیان می‌کند دو عامل اصلی در منطقه وجود دارد که عامل اول که ۶۰/۱۲ درصد تغییرات را شامل می‌شود و به ترتیب اهمیت عبارت‌اند از Na، Mg، Cl، K، Ca، SO₄ و EC و عامل دوم که موجب ۱۵/۱۵ درصد تغییرات می‌شود فقط شامل HCO₃ است.

واژه‌های کلیدی: افت سطح آب، هیدروگراف، دشت باغملک، تحلیل آماری، GIS.

مقدمه

متوسط جهان در شرایط بحرانی‌تری قرار داشته و جز مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است، به طوری که سهم ایران از کل منابع آب تجدیدشونده جهان تنها ۳۶ درصد است (خواجه، ۱۳۹۳)، این در صورتی است که کشورهای جهان تنها از ۴۵ درصد ظرفیت منابع مطلوب خود استفاده کرده‌اند و کشور ما ۶۶ درصد از ذخایر آب شیرین خود را مصرف کرده است (خواجه، ۱۳۹۳). برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و توزیع نامناسب بارش از لحاظ مکانی و زمانی به علت رخ داد

آب زیرزمینی به دلیل قابلیت آلودگی کمتر و همچنین ظرفیت ذخیره‌سازی زیاد نسبت به آب‌های سطحی به‌عنوان یک منبع مهم در منابع آب موردتوجه است (قضاوی، ۱۳۹۵). رشد روزافزون جمعیت و گسترش فعالیت‌های انسانی، افزایش تقاضای آب را در پی دارد که موجب روی آوردن انسان‌ها به استفاده از منابع آب زیرزمینی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود. کشور ایران از نظر وضعیت آب نسبت به

آماري چندمتغیره را در ارزیابی هیدروشیمیایی منابع آب سطحی و زیرزمینی نشان داد. ندیری و همکاران (۱۳۹۵) به مطالعه هیدروژئوشیمی و هیدروژئولوژی آبخوان دشت هرزندات با استفاده از روش‌های آماری و گرافیکی پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد طبق نمودار پایپر و استیف به ترتیب دو و شش منشأ متفاوت برای منابع آب زیرزمینی وجود دارد. دیاگرام درو نشان‌دهنده دو فرآیند هیدروژئوشیمیایی اصلی در آبخوان است در صورتی که روش آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی نشان می‌دهد که پنج تیپ آبی در نمونه‌های آب زیرزمینی وجود دارد زیرا تکنیک آنالیز خوشه‌ای مرتبه‌ای در مقایسه با روش‌های گرافیکی توانایی آنالیز شیمیایی و فیزیکی برای داده‌های بیشتری را دارد. همچنین بر اساس تحلیل عاملی چهار عامل اصلی مؤثر بر هیدروشیمی آبخوان دشت هرزندات شناسایی شد. عامل اول، دوم و سوم تأثیر سازندهای زمین‌شناسی و روند تکاملی جریان زیرزمینی را نشان می‌دهد و عامل چهارم متأثر از فعالیت‌های انسانی است. (Zakhem (2016 با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی ذخیره آب و بازیابی حوضه آبخیز دمشق در سوریه را مورد ارزیابی قرار داد نتایج این مطالعات به‌وضوح سودمندی تجزیه و تحلیل چندمتغیره را در تحقیقات فرایند ASR نشان داد. Zhu (2004) وضعیت آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک غرب چین را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که حرکت و وضعیت آبخوان در دوره‌های نوسان سطح آب زیرزمینی از لحاظ مکانی و زمانی بیانگر هم‌زمانی بهره‌برداری بیش‌ازاندازه از منابع آب زیرزمینی همراه وقایع هیدرولوژی در منطقه می‌باشد، به‌طوری‌که این امر در افت کمی و کاهش کیفی آبخوان تأثیر بسزایی دارد. (Dileep et al. (2007 تأثیر خشکسالی بر روی سطح آب زیرزمینی در کشور هند را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که بررسی سطح آب در ۱۰۰۲ ایستگاه قبل و بعد از باران‌های موسمی در دوره آماری ۱۹۴۳-۲۰۰۳ در اراضی پایین‌دست به‌دلیل کمبود بارش در طول سال‌های خشک و افزایش دما و اثرات انسانی، حتی در طول سال‌های مرطوب نیز تغذیه و احیا نشده‌اند. Hsu et al. (2007) عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی دشت پینگتونگ تایوان را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که افت سطح آب زیرزمینی باعث کاهش کیفیت منابع آب در این

گرمایش جهانی، افت سطح آب زیرزمینی و تأثیرگذاری پارامترهای کیفی نامناسب بر کیفیت منابع آب زیرزمینی را به دنبال دارد. از این‌رو شناخت عوامل کیفی تأثیرگذار بر کیفیت منابع آب زیرزمینی و تغییرات حاصل شده در این پارامترها در اثر تغییرات در نظام بارش و برداشت بی‌رویه از مسائل حائز اهمیت است که می‌بایست مورد توجه قرار گیرد. بررسی و مطالعات پارامترهای شیمیایی و مدیریت صحیح برداشت از آبخوان می‌تواند از راه‌حل‌های مناسب جهت کاهش آسیب‌های وارده به آبخوان باشد. افت سطح آب زیرزمینی دشت مهران در استان ایلام را در بازه زمانی (۱۳۷۴-۱۳۹۴) مورد ارزیابی قرار گرفت که طبق این بررسی میزان افت در این دشت در مدت ۱۸ سال ۱۶/۲ متر است، در واقع به‌طور متوسط هر ساله ۹۰ سانتی‌متر سطح آب کاهش یافته است. نتایج حاصله نشان داد که مهم‌ترین عوامل کاهش سطح آب زیرزمینی در این دشت افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری و تأثیر خشک‌سالی‌های متوالی و کاهش تغذیه آبخوان است (زمانی، ۱۳۹۶). نجف‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) تأثیر عوامل اقلیمی و زمین‌شناسی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت مهولات بررسی کردند. نتایج حاصله نشان می‌دهد که افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری و در کنار آن کاهش بارش و خشک‌سالی‌های اخیر، سبب افت سطح آب زیرزمینی در منطقه شده است که با پیشروی جبهه‌های آب شور از کویرهای مجاور در جنوب و غرب منطقه، کیفیت آب کاهش می‌یابد. چیت‌سازان و همکاران (۱۳۹۷) آبخوان دشت کرج را از لحاظ آلودگی نیترات بر اساس روش مؤلفه‌های اصلی و تحلیل عاملی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این بررسی نشان دادند که پارامتر نیترات بیشترین همبستگی با کلر و کمترین همبستگی با سدیم و سولفات دارد همچنین بر اساس چرخش واریماکس عوامل اصلی کیفیت آبخوان به دو عامل ژئوژنیک (زمین‌زاد) و عامل انسان‌زاد خلاصه می‌شوند. کلانتری و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی هیدروشیمیایی منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت بستان با استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره پرداختند. نتایج حاصله از این بررسی نشان داد که دشت بستان شامل سه رخساره هیدروشیمیایی است رخساره با شوری زیاد (Na-Cl)، رخساره با شوری کم (Ca-Na-SO₄-Cl) و رخساره حد واسط (Na-Mg-Cl). همچنین این بررسی فواید تکنیک‌های

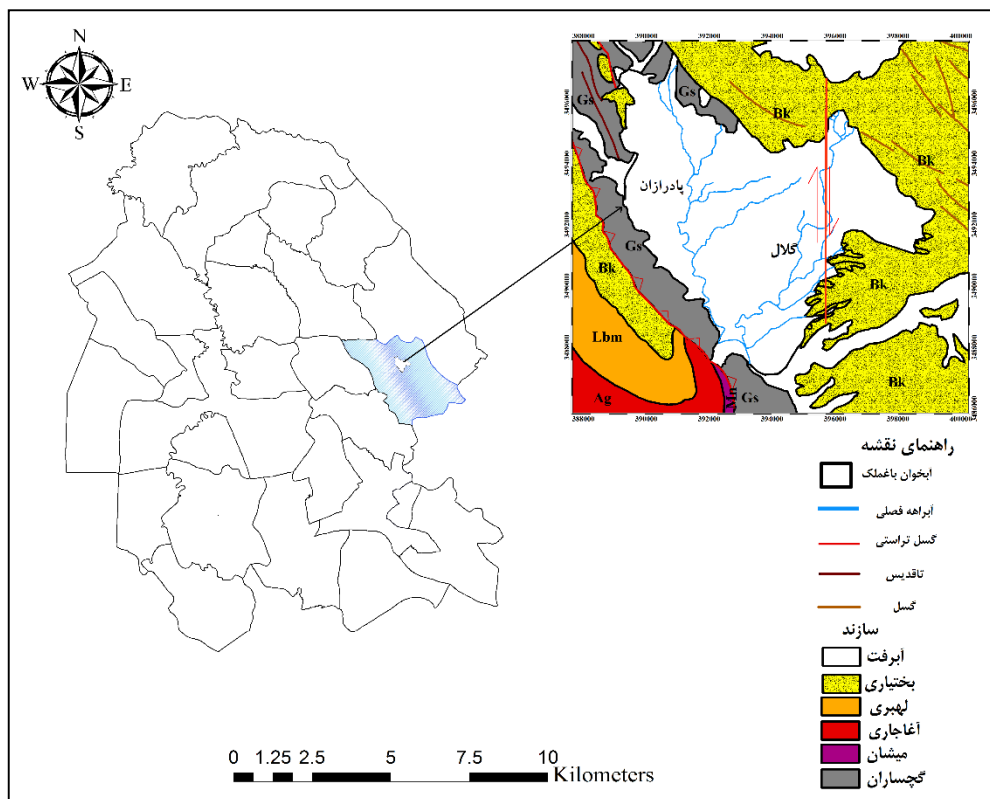
و روش‌های آماری تحلیل مؤلفه‌های اصلی پارامترهای کیفی و تحلیل خوشه‌ای استفاده گردید.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

دشت باغملک (شکل ۱) با موقعیت جغرافیایی ۱۷" ۴۹' ۴۹" تا ۱۱" ۵۶' ۴۹" طول شرقی و ۳۸" ۳۱' ۳۰" تا ۱۹" ۳۱' ۳۸" عرض شمالی در استان خوزستان واقع شده است. منطقه مورد مطالعه در زون زاگرس چین‌خورده واقع شده و از جمله مهم‌ترین سازندهای رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه می‌توان به گچساران، بختیاری، لهبری، میشان و آغاچاری اشاره کرد که عمده تغذیه آبخوان آبرفتی باغملک توسط دو سازند بختیاری و گچساران صورت می‌گیرد. بیشترین گسترش سازند بختیاری در بخش‌های شمال، شمال شرقی و جنوب شرقی و عمده گسترش سازند گچساران در بخش شمال، شمال غرب و جنوب غرب منطقه است. گسل امتدادلغز ایذه - باغملک از نظر وضعیت ساختمانی و زمین‌شناسی تأثیر زیادی بر منطقه دارد این گسل در منطقه موجب خردشدگی سازند بختیاری و اثر آن در تنگ بادن در شمال منطقه به‌خوبی مشاهده می‌شود (کلانتری، ۱۳۸۶). سازند بختیاری در این ناحیه تحت فشار زیاد بوده و ساختارهایی همچون درزه‌ها و شکستگی‌های فراوانی در این سازند به وجود آمده است که موجب تغذیه دشت باغملک می‌شود. گسل امتدادلغز ایذه - باغملک که در تنگ بادن سازند بختیاری را خرد کرده و موجب چرخش یک بخش آن شده است، شیب بخش شمالی دشت به سمت قلعه تل و شیب شرقی به سمت دشت باغملک می‌باشد که تأثیر زیادی روی تغذیه آب زیرزمینی دارد (سازمان آب و برق خوزستان، ۱۳۸۵). بررسی‌های اقلیمی داده‌های هواشناسی این دشت نشان می‌دهد که متوسط بارش در محدوده باغملک در دوره ده‌ساله ۴۱۴/۹۱ میلی‌متر می‌باشد و متوسط دما در دوره ده‌ساله ۲۳/۹۱ درجه سانتی‌گراد است. دشت باغملک طبق ضریب خشکی دومارتن دارای اقلیم نیمه‌خشک است.

منطقه شده است. (Shahid and Hazarik 2009) به بررسی تحلیل سطح آب زیرزمینی و زمان‌های بارندگی در شمال غرب منطقه بنگلادش پرداختند، که افزایش برداشت آب زیرزمینی برای آبیاری در فصل‌های خشک و بازگشت خشکسالی‌ها از عوامل افت سطح آب زیرزمینی در این منطقه بوده است و اگر مداخله بشر در سامانه آب زیرزمینی وجود نداشت یکی از عوامل افت آب زیرزمینی به‌گونه‌ای عمده مربوط به کاهش بارندگی بود. (Jamshidzadeh and Mirbagheri 2011) منابع آب زیرزمینی حوضه کاشان از لحاظ کمی و کیفی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصله از این پژوهش با توجه به بررسی ۵۳ حلقه چاه مشاهده‌ای نشان داد که از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶ آبخوان به میزان ۷/۹۳ متر افت کرده است. همچنین بررسی کیفی منطقه تأثیر دریاچه نمکی را عامل اصلی شوری این آبخوان دانسته است. (Zaiming et al. 2012) تراز آب زیرزمینی و پارامترهای شیمیایی مربوط به ۱۳۰ حلقه چاه از لحاظ مکانی در دشت بهای در شمال چین را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که تراز آب زیرزمینی در منطقه از غرب به سمت شرق دشت دارای افت بوده است. نخعی و همکاران (۱۴۰۰) اثرات ناشی از بهره‌برداری بی‌رویه آبخوان دشت زرنده با استفاده از نرم‌افزار GIS و مربوط به آمار سطح ایستابی ۱۴ حلقه چاه مشاهده‌ای مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این بررسی نشان داد که با ادامه روند برداشت از چاه‌های بهره‌برداری در بعضی از قسمت‌ها آبخوان دچار افت خواهد شد.

آبخوان آبرفتی باغملک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آبخوان‌های استان خوزستان که نقش قابل‌توجهی در اقتصاد کشاورزی منطقه داشته است حائز اهمیت می‌باشد. لذا در این پژوهش جهت مدیریت صحیح آبخوان برای جلوگیری از آسیب‌های وارده به آن در اثر خشکسالی‌های رخ داده تغییرات سطح آب در آبخوان و پارامترهای کیفی تأثیرگذار در منطقه با کاهش بارش مورد ارزیابی قرار گرفت. از این‌رو برای بررسی کمی و کیفی در آبخوان دشت باغملک از هیدروگراف معرف، نقشه سطح آب زیرزمینی، نقشه افت‌وخیز، نقشه تغییرات مکانی EC



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه.

روش مطالعاتی

چاه اکتشافی در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ حفر گردیده است، که در این پژوهش از آمار و اطلاعات ۷ چاه مشاهده‌ای که فعال هستند، استفاده گردید. شکل ۲ موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای و نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. داده‌های سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای در نرم‌افزار اکسل مرتب و با استفاده از شبکه تبیین‌بندی آبخوان منطقه مورد مطالعه، هیدروگراف معرف دشت ترسیم شد. نقشه تراز سطح آب زیرزمینی و جهت جریان دشت باغملک، به روش اردینری کریجینگ (Ordinary Kriging) و نقشه افت‌وخیز منطقه نیز در طول دوره آماری جهت بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی در نرم‌افزار Arc GIS ترسیم شد. به‌منظور بررسی پارامترهای شیمیایی و بیشترین تأثیر آن‌ها برای چاه‌های مختلف و آشنایی با شرایط شیمیایی حاکم بر آبخوان از روش آماری مؤلفه اصلی و تحلیل خوشه‌ای استفاده گردید. روش مؤلفه اصلی^۱ تعداد زیادی از متغیرها شامل پارامترهای فیزیکی، غلظت عناصر اصلی و جزئی در نمونه‌های آب را به تعداد کمی از فاکتورهای که به‌صورت عمود برهم مورد بررسی قرار می‌گیرند و نشانگر ماتریس همبستگی

اطلاعات مورد استفاده در این پژوهش شامل آمار و اطلاعات مربوط به تراز ماهانه سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای است. همچنین نتایج آنالیز شیمیایی (کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی) ۴۰ نمونه آب زیرزمینی از آزمایشگاه آب‌و‌خاک سازمان آب و برق خوزستان در فصول تر و خشک طی سال‌های ۸۶-۸۷ تا ۹۵-۹۶ از ۹ حلقه چاه بهره‌برداری جهت بررسی‌های هیدروشیمیایی اخذ شد. جدول ۱ روش‌های مورد استفاده جهت اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت شیمیایی را نشان می‌دهد. در این پژوهش از اطلاعات هواشناسی ۱۰ ساله ایستگاه هواشناسی باغملک استفاده شده است. برای بررسی تغییرات بارش و خشکسالی در منطقه موردنظر از شاخص SPI به‌صورت نمودار استفاده گردید. در این نمودار شاخص SPI در مقابل سال ترسیم می‌شود که مقدار مثبت این شاخص نشان‌دهنده بارش بیش از بارش ماهیانه و مقدار منفی نشان‌دهنده بارش کمتر از بارش ماهیانه است (Mckee, 1993). در منطقه موردنظر، ۹ حلقه چاه مشاهده‌ای و ۲ حلقه

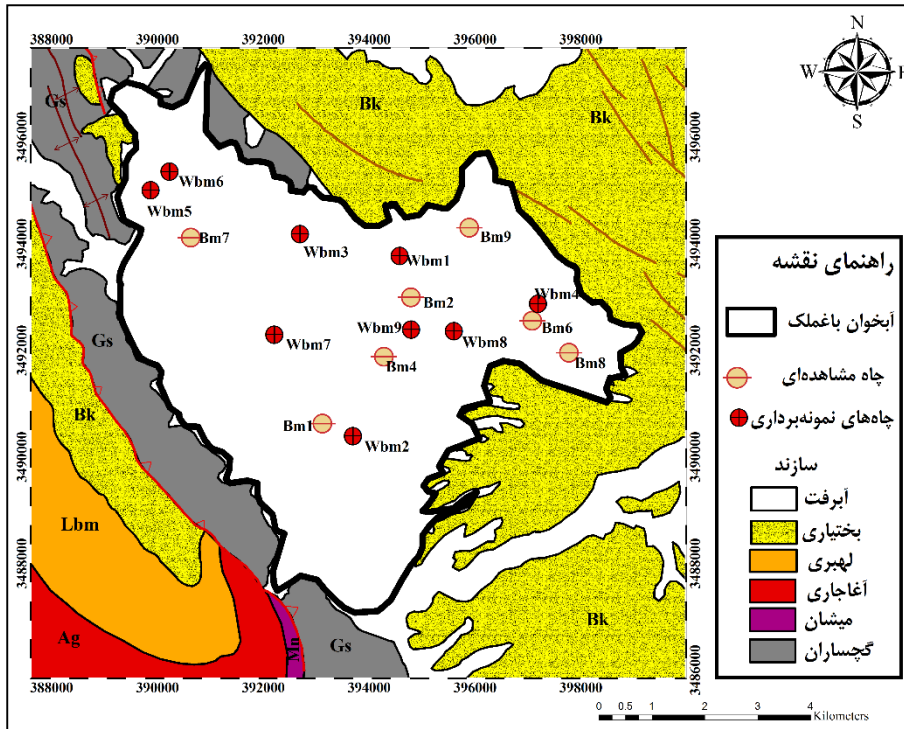
^۱ Principal Components Analysis

می‌گیرد. مقدار KMO قابل قبول ۰/۵ و بالاتر از آن توصیه شده است (میرزایی، ۱۴۰۰). همچنین تحلیل خوشه‌ای برای تعیین شباهت نسبی بکار می‌رود که این شباهت همگنی در ویژگی‌های اندازه‌گیری شده پارامترها را نشان می‌دهد. این روش کاربرد زیادی در بررسی داده‌های چندمتغیره از جمله بررسی ارتباط بین متغیرها، سازمان‌دهی نمونه‌ها در قالب ساختارهای معنی‌دار و نمایش ترکیب کل آب زیرزمینی یک منطقه به تعداد محدودی از خوشه‌ها را دارد (کلانتری، ۱۳۹۷). تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی معروف به Q-mode، مربع فاصله اقلیدسی به‌عنوان معیار تشابه/عدم تشابه در میان پارامترها انتخاب و فاصله‌های اتصال بین خوشه‌های اولیه با استفاده از الگوریتم پیوند را تعیین می‌کند (میرزایی، ۱۳۹۸). اطلاعات مربوط به ۹ حلقه چاه بهره‌برداری برای سال آبی ۸۶-۸۷ تا سال آبی ۹۵-۹۶ با استفاده از تحلیل خوشه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. تغییرات مکانی EC با استفاده از اطلاعات ۹ حلقه چاه مربوط به سال ۹۶ در نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد.

هستند، تبدیل می‌کند (Jakson, 1991; Melegan, 1992; Cloutier, 2008). روش مؤلفه اصلی می‌تواند واریانس داده‌های خام را به کوواریانس مقادیر ویژه یا ماتریس همبستگی تبدیل کند (Hamzaoui-Azaza et al., 2009; Davis, 1986). برداشت بی‌رویه از آبخوان باعث افت سطح آب زیرزمینی شده است و این موضوع بر کیفیت آب زیرزمینی نیز تأثیرگذار است. لذا برداشت بی‌رویه به‌عنوان یک عامل انسانی در کاهش کیفیت آبخوان در نظر گرفته شد. همچنین وجود سازند گچساران در منطقه و تغذیه بخشی از آبخوان توسط سازند گچساران و کاهش بارش به‌عنوان یک عامل زمین‌زاد و طبیعی برای کاهش کیفیت آبخوان می‌باشد. از این رو نتایج آنالیز شیمیایی مربوط به ۹ حلقه چاه انتخابی از سال ۸۶-۸۷ تا سال آبی ۹۵-۹۶ پس از صحت‌سنجی داده‌ها، مرتب شدند و سپس در نرم‌افزار XLSTAT 2016 تحلیل آماری بر روی آن‌ها صورت پذیرفت. اندازه‌گیری Kaiser Meyer Olkin قبل از اجرای روش مؤلفه اصلی به‌منظور ارزیابی کیفیت داده‌ها انجام

جدول ۱- روش‌های مورداستفاده جهت اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت شیمیایی.

حد استاندارد	روش استفاده	واحد	نماد	پارامترهای کیفیت آب
≥ 8 (WHO)	پتانسیومتری	pH Unit	pH	pH
-	EC متر	ms/m	EC	هدایت الکتریکی
500 (Iran)	تیترومتریک	mg/L	TH	سختی کل
250 (Iran)	تیترومتریک	mg/L	Ca	کلسیم
50 (Iran)	تیترومتریک	mg/L	Mg	منیزیم
200 (WHO)	فتومتری	mg/L	Na	سدیم
-	فتومتری	mg/L	K	پتاسیم
250 (WHO)	تیتراسیون	mg/L	Cl	کلراید
-	تیتراسیون	mg/L	CO ₃	کربنات
-	تیتراسیون	mg/L	HCO ₃	بی‌کربنات
250 (WHO)	اسپکتوفتومتر	mg/L	SO ₄	سولفات



شکل ۲- نقشه پراکندگی چاه‌های مشاهده‌ای و چاه‌های نمونه‌برداری.

شاخص SPI منفی بوده است که بیانگر سال‌های خشک در این بازه زمانی است (شکل ۳).

نقشه سطح آب زیرزمینی

نقشه سطح آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه با استفاده از اطلاعات متوسط سطح آب زیرزمینی ۷ چاه مشاهده‌ای ترسیم شد. پس از ترسیم نقشه فوق، با استفاده از خطوط هم‌پتانسیل جهت جریان آب زیرزمینی مشخص گردید (شکل ۴). جهت جریان در منطقه از بخش‌های شمال‌شرق، شرق (سازند بختیاری) و شمال‌غرب (سازند گچساران) به سمت جنوب دشت است.

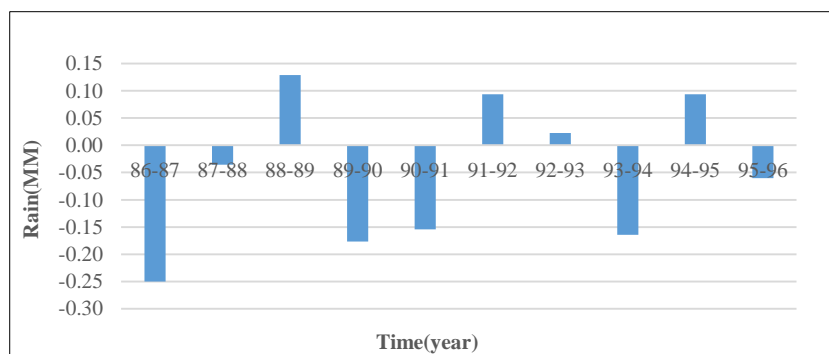
بحث و نتایج

نمودار SPI و میانگین متحرک بارش

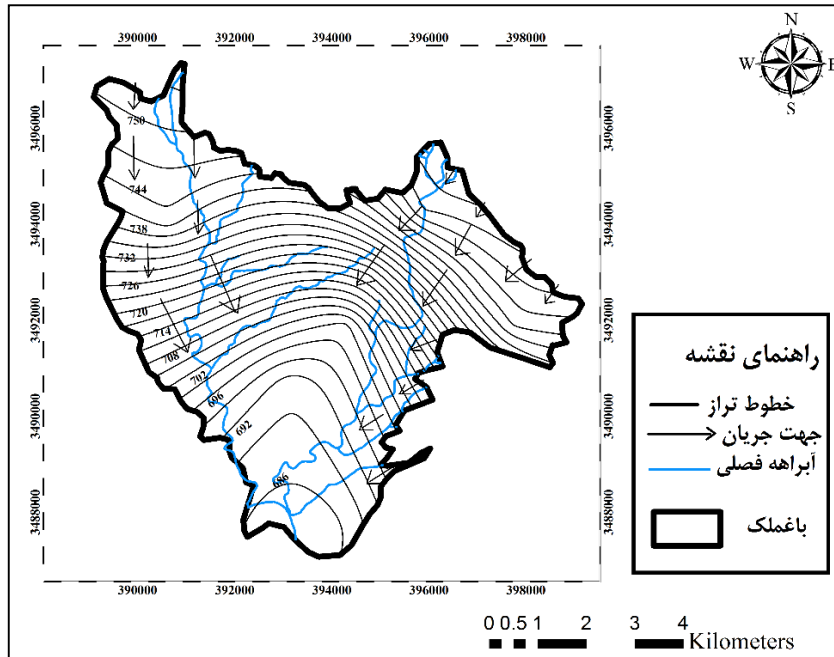
جهت ارزیابی تغییرات بارش در منطقه، با استفاده از اطلاعات ده‌ساله ایستگاه باغملک از روش آماری SPI استفاده گردید. برای محاسبه این شاخص از رابطه زیر استفاده شده است.

$$SPI = \frac{P_i - P}{SD} \quad (1)$$

P بارش بلندمدت در ایستگاه، P_i متوسط بارش، SD انحراف معیار است (اکرامی، ۱۳۹۰). نمودار SPI ترسیم شده بر اساس اطلاعات بارش ایستگاه باغملک نشان می‌دهد که سال‌های ۸۶-۸۷، ۸۸-۸۹، ۹۰-۹۱، ۹۳-۹۴، ۹۵-۹۶ میزان



شکل ۳- نمودار SPI.

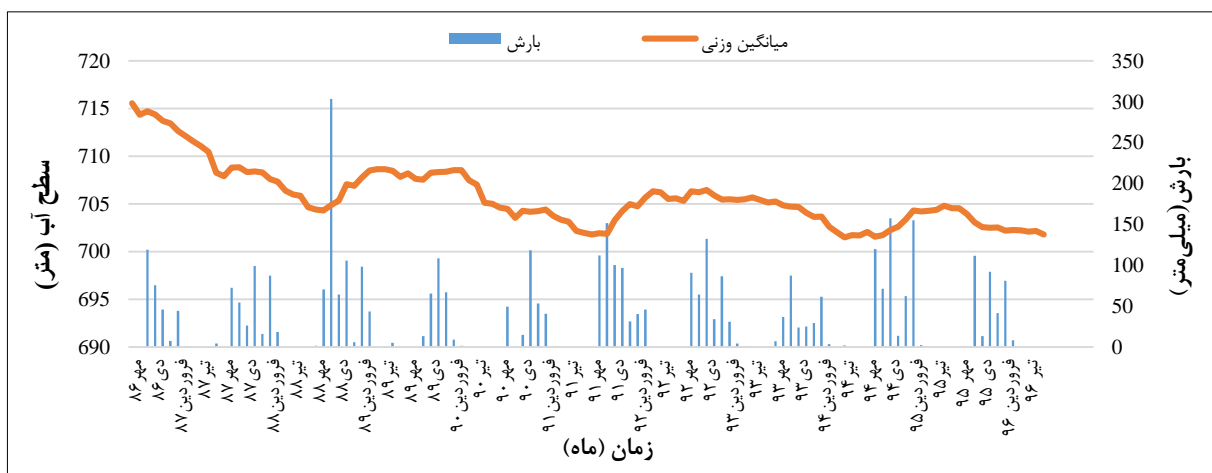


شکل ۴- نقشه سطح آب زیرزمینی و جهت جریان.

ترسیم نقشه تیسن منطقه در نرم افزار Arc GIS تهیه گردید. نمودار هیدروگراف معرف دشت (شکل ۵) از سال ۸۶-۸۷ تا سال آبی ۹۵-۹۶ میزان افتی معادل ۱۳/۷۹ متر را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار ملاحظه می‌گردد که در طی سال‌های ۸۶ الی ۸۸ به دلیل کاهش نزولات جوی افت این آبخوان قابل ملاحظه است. به دلیل تأثیرپذیری این آبخون از بارندگی و با افزایش میزان بارش، سطح آب زیرزمینی دچار نوسان می‌شود.

هیدروگراف معرف دشت

جهت تعیین افت آب زیرزمینی در کل دشت از هیدروگراف معرف دشت استفاده می‌شود. در این روش به دلیل آن که چاه‌های مشاهده‌ای موجود، نمی‌توانند تمامی سطح آبخوان را پوشش دهند، به کمک مدل تیسن، برای هر چاه با توجه به موقعیت و تراکم چاه‌های اطراف، سطحی در نظر گرفته می‌شود (اکبری و همکاران، ۱۳۸۸). هیدروگراف معرف دشت باغملک، با استفاده از اطلاعات ۷ چاه مشاهده‌ای و

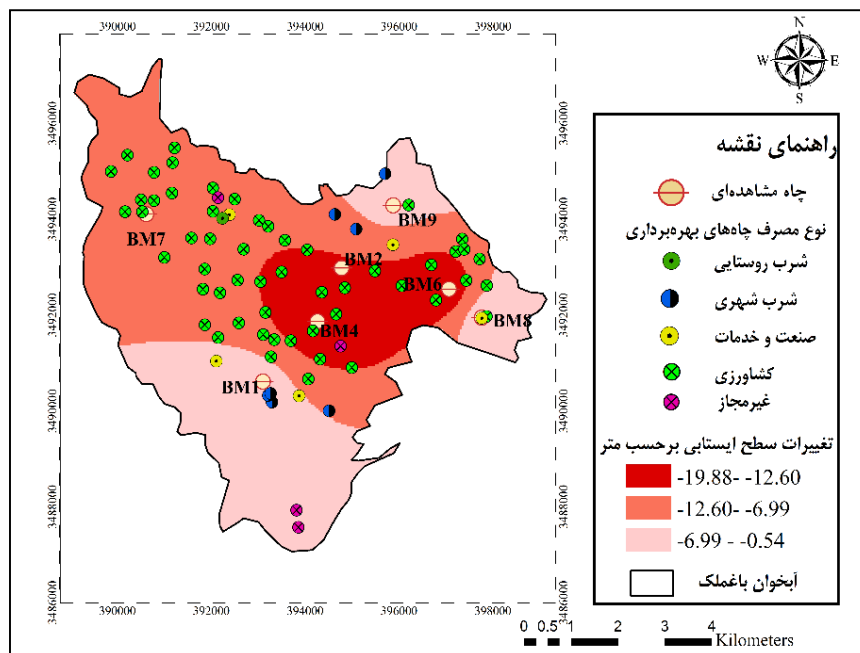


شکل ۵- نمودار هیدروگراف دشت باغملک.

تغییرات سطح آب زیرزمینی

بخشی از شرق منطقه در محدوده چاه مشاهده‌ای Bm8 بخشی از شرق منطقه در محدوده چاه مشاهده‌ای Bm8 مشاهده می‌گردد. افت سطح آب زیرزمینی در طول دوره آماری متأثر از افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری و کاهش میزان بارندگی (شکل‌های ۳ و ۴) در منطقه مورد مطالعه است. مدیریت مناسب منابع آب از قبیل اصلاح و تعدیل پروانه‌های بهره‌برداری کشاورزی، استفاده از منابع آب سطحی، جلوگیری از برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی و پر کردن چاه‌های غیرمجاز می‌تواند باعث بهبود وضعیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه گردد.

جهت بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی از سال آبی (۸۶-۸۷) تا سال آبی (۹۵-۹۶) که در هیدروگراف معرف دشت مشخص شده است از نقشه تغییرات سطح آب زیرزمینی (نقشه افت‌وخیز) ترسیم شده در Arc GIS استفاده شده است. نقشه تغییرات سطح آب زیرزمینی (شکل ۶) نشان می‌دهد که بیشترین افت در بخش شرقی و مرکزی دشت در حدود ۱۹ متر در محدوده چاه‌های مشاهده‌ای Bm6, Bm4, Bm2 مشاهده است. همچنین چاه مشاهده‌ای Bm7 نیز دارای شرایط حساسی می‌باشد. کمترین افت در بخش جنوبی، شمال شرق و



شکل ۶- نقشه افت و پراکندگی چاه‌ها در منطقه مورد مطالعه.

بی‌کربناته کلسیک، چاه Wbm2 دارای تیپ غالب بی‌کربناته‌منیزیک و دو چاه Wbm6, Wbm5 دارای تیپ غالب سولفات کلسیک هستند.

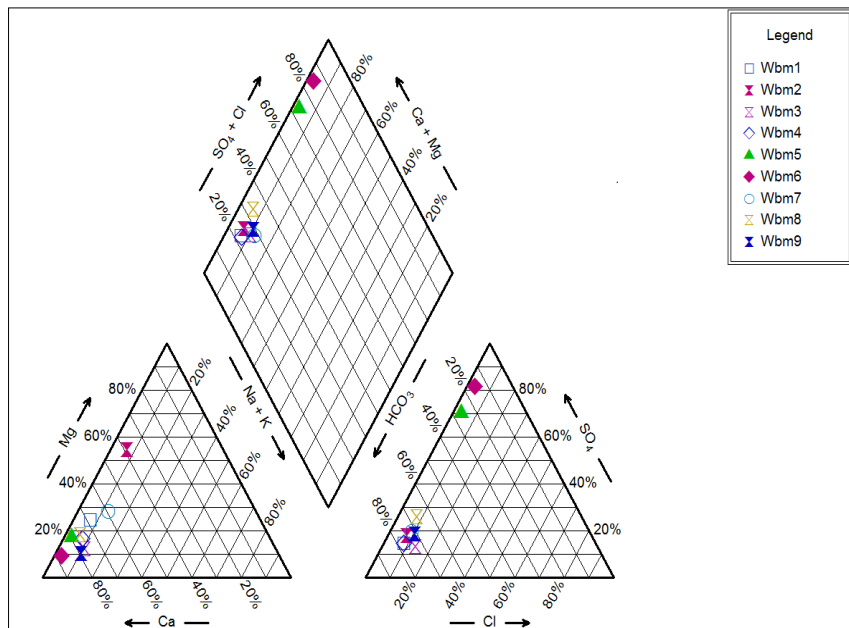
میزان KMO

میزان KMO به دست آمده برای این داده‌ها ۰/۶۷ است که طبق معیار Kaiser Meyer Olkin که معیار قابل قبول ۰/۵ و بالاتر از آن است معیار قابل قبولی برای اجرای PCA می‌باشد (جدول ۲).

بررسی هیدروشیمیایی محدوده مورد مطالعه

تیپ غالب آب

جهت تعیین نوع آب زیرزمینی (تیپ) منطقه مورد مطالعه از نتایج آنالیز شیمیایی ۹ حلقه چاه انتخابی استفاده شد. در فصل خشک تیپ غالب هیدروشیمیایی $\text{HCO}_3\text{-(Ca)}$ می‌باشد و فقط دو نمونه تیپ $\text{SO}_4\text{-(Ca)}$ را نشان می‌دهد. در فصل تر تیپ‌های غالب شیمیایی آب $\text{HCO}_3\text{-(Ca)}$ ، $\text{SO}_4\text{-(Ca)}$ و $\text{HCO}_3\text{-(Mg)}$ است. در دیاگرام پایپر (شکل ۷) تیپ غالب فصل تر (بهار ۹۶) آب زیرزمینی ارائه شده است. چاه‌های Wbm1, Wbm3, Wbm4, Wbm7, Wbm8, Wbm9



شکل ۷- نمودار پایپر فصل تر ۹۶.

جدول ۲- معیار KMO پارامترها.

پارامتر	ضریب KMO
K	0/95
Na	0/76
Mg	0/48
Ca	0/59
SO ₄	0/68
Cl	0/81
HCO ₃	0/25
EC	0/81
KMO	0/67

ماتریس همبستگی پارامترها

تحلیل عاملی

در جدول ۴ نتایج تجزیه تحلیل مؤلفه‌های اصلی که شامل مقدار ویژه، مقدار تغییرپذیری و تغییرپذیری تجمعی می‌باشد ارائه شده است. عامل‌هایی که مقدار ویژه آن‌ها بیشتر از یک باشد به‌عنوان عامل اصلی مؤثر بر کیفیت شیمیایی آب است (چیت‌سازان، ۱۳۹۷). در جدول ۴ نتایج ۸ مؤلفه اصلی نشان داده شده است در این پژوهش بارهای عاملی بیش از یک، به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی در نظر گرفته شد که دو عامل F1 و F2 دارای مقادیر بیش از یک هستند و ۷۵/۲۷٪ درصد تغییرات را شامل می‌شوند. عامل اول با درصد تغییرات ۶۰/۱۲٪

همبستگی یا رگرسیون در میان پارامترهای کیفیت آب می‌تواند برخی از ارتباط‌های هیدروشیمیایی را آشکار کند (Wu et al., 2014). جدول ۳ ماتریس همبستگی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی دشت باغملک را نشان می‌دهد. در جدول ۳ مشاهده می‌شود که بین سدیم و کلر همبستگی بالایی وجود دارد همچنین بین کلسیم و سولفات نیز این همبستگی بالا مشاهده می‌گردد. همبستگی بالای هدایت الکتریکی با عناصر سولفات و کلسیم حاکی از این مطلب است که انحلال سنگ‌های تبخیری در منطقه بیشترین تأثیر را بر شوری و کیفیت منابع آب زیرزمینی در منطقه می‌گذارد.

^۲ Eigenvalue

روی کیفیت آب این چاه‌ها تأثیر می‌گذارد. همچنین چاه‌های موجود بر روی خط F2 تحت تأثیر پارامترهای K, Cl, Na و HCO₃ است که نشان‌دهنده اختلاط منابع آب زیرزمینی در مرکز دشت ناشی از اختلاط آب تغذیه‌شده از جانب سازند گچساران و کنگلومرای بختیاری است. طبق شکل (۳) نمودار SPI میزان بارش در سال‌های ۸۶-۸۷، ۸۷-۸۸، ۸۸-۸۹، ۸۹-۹۰، ۹۰-۹۱، ۹۱-۹۲، ۹۲-۹۳ نسبت به میانگین بارش در این منطقه کاهش داشته است که همان‌طور در شکل ۸ مشاهده می‌شود کاهش بارش در سال‌های ذکر شده موجب شده است که چاه‌های موجود در مرکز دشت از لحاظ کیفیت، اختلاطی از سازند گچساران و بختیاری داشته باشند.

تجزیه و تحلیل خوشه‌بندی سلسله مراتبی (HCA)

در این پژوهش نمودار درختی (HCA) برای داده‌های آب زیرزمینی منطقه از سال ۸۶-۹۶ در نرم‌افزار XLSTAT 2016 ترسیم گردید. مطابق با خوشه‌بندی (شکل ۹) چاه‌های منطقه به سه گروه تقسیم می‌شوند. در گروه اول چاه‌هایی قرار دارند که از سازند کنگلومرای بختیاری تغذیه می‌کنند. چاه‌های موجود در گروه دوم مربوط به چاه‌هایی می‌باشد که در زون اختلاطی واقع شده‌اند همچنین چاه‌های موجود در گروه سوم چاه‌هایی هستند که از سازند گچساران تغذیه می‌کنند.

بیشترین میزان درصد تغییرات را شامل می‌شود. درصد این تغییرات در فاکتور اول مربوط به سولفات، کلسیم، کلر، سدیم، پتاسیم و EC است. همبستگی زیاد این پارامترها، احتمالاً نشان‌دهنده واکنش سنگ و آب و همچنین شباهت ژئوشیمیایی رفتار عمده این عناصر با یکدیگر است (کلانتری و همکاران، ۱۳۹۷). عامل دوم با درصد تغییرات ۱۵/۱۵٪ شامل HCO₃ است که به علت انحلال سیمان آهکی سازند کنگلومرای بختیاری است. در بررسی نمودار دو متغیره مؤلفه‌های اصلی میزان طول هر بردار بیشترین میزان تأثیر بر هر عامل را نشان می‌دهد (شکل ۸). خطوط قرمز رنگ پارامترهای اصلی و نقاط آبی‌رنگ چاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که این چاه‌ها در فاصله زمانی ۱۳۸۶-۱۳۹۶ قرار دارند. همچنین بر روی این نمودار پراکندگی چاه‌ها را می‌توان مشاهده نمود. در شکل ۸ مشاهده می‌شود که چاه‌های موجود در منطقه از لحاظ کیفیت در سه زون قرار می‌گیرند. طبق این نمودار بین Ca، SO₄، Mg و EC همبستگی خوبی برقرار است همچنین طول هر کدام از بردارهای این پارامتر تأثیر بیشتر این پارامتر را بر مؤلفه اصلی نشان می‌دهد. چاه‌ها Wbm5 و Wbm6 ربع پایین سمت چپ قرار دارند که با توجه به همبستگی که با پارامترهای Ca، SO₄، Mg و EC دارند نشان‌دهنده این است که سازند گچساران بر

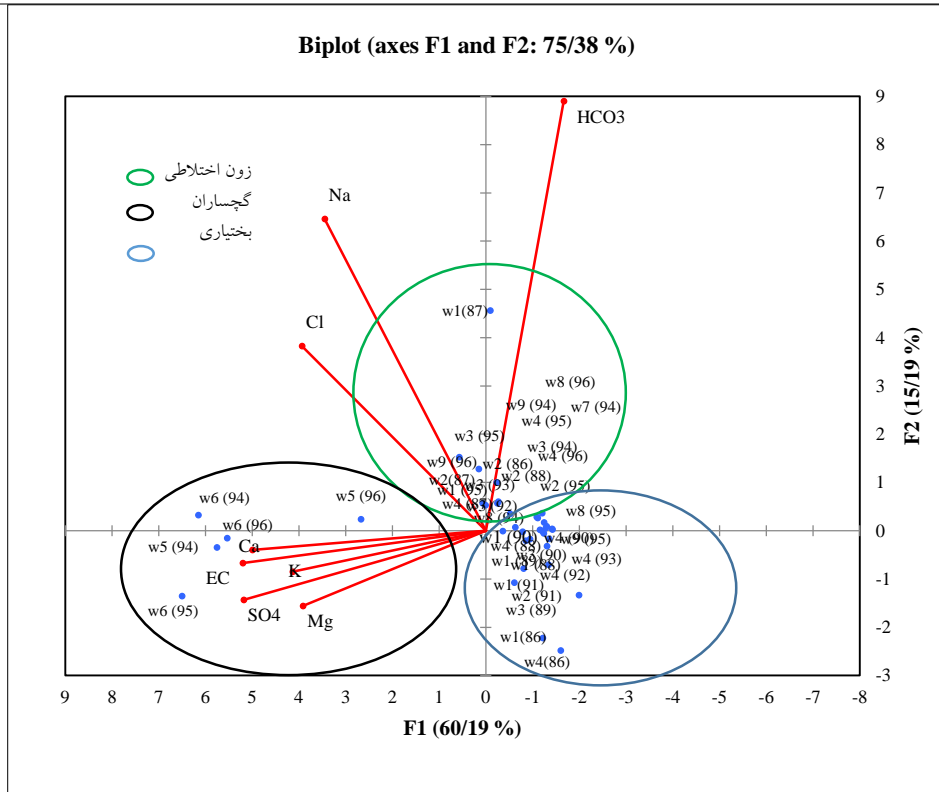
جدول ۳- ضریب همبستگی پارامترهای شیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت باغملک.

Variables	K	Na	Mg	Ca	SO ₄	Cl	HCO ₃	EC
K	1/00							
Na	0/46	1/00						
Mg	0/49	0/36	1/00					
Ca	0/62	0/48	0/53	1/00				
SO ₄	0/65	0/47	0/65	0/98	1/00			
Cl	0/48	0/63	0/46	0/57	0/57	1/00		
HCO ₃	-0/29	0/12	-0/27	-0/22	-0/34	-0/08	1/00	
EC	0/66	0/52	0/66	0/98	0/98	0/60	-0/27	1/00

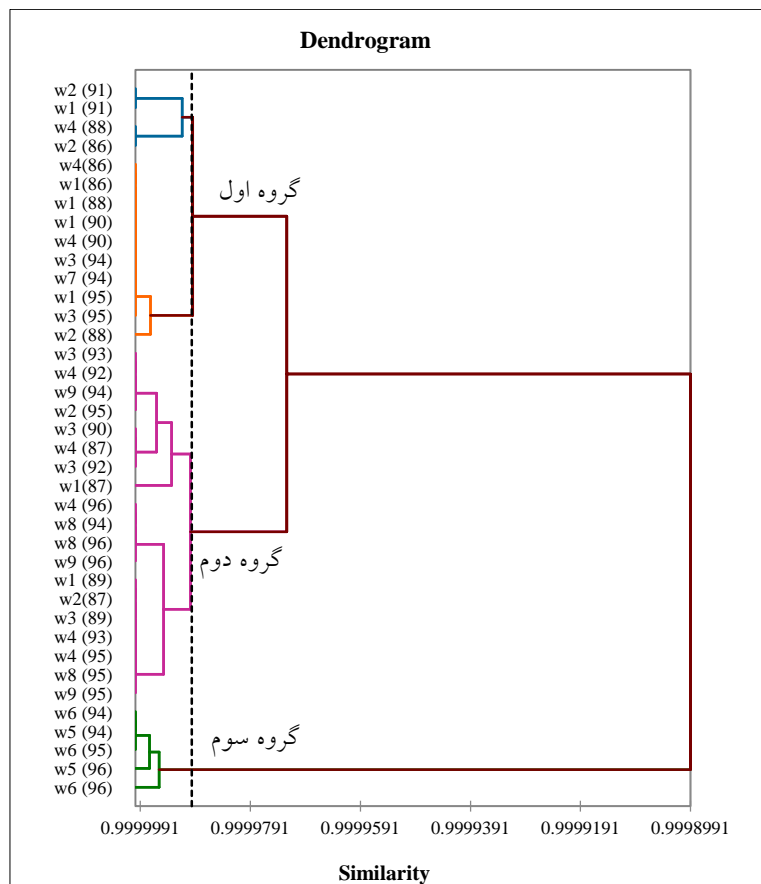
جدول ۴- نتایج تجزیه عوامل.

Variables	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
K	0/764	-0/067	-0/230	-0/207	-0/535	-0/171	-0/002	0/000
Na	0/635	0/598	-0/272	-0/089	-0/010	0/396	-0/003	0/001
Mg	0/722	-0/144	-0/110	0/661	-0/090	0/026	-0/005	0/010
Ca	0/922	-0/037	0/339	-0/154	0/081	0/000	-0/018	0/048
SO ₄	0/951	-0/142	0/252	-0/035	0/063	0/034	-0/066	-0/038
Cl	0/727	0/354	-0/339	-0/022	0/348	-0/332	-0/001	-0/001
HCO ₃	-0/308	0/823	0/383	0/158	-0/185	-0/147	-0/004	-0/004
EC	0/961	-0/061	0/249	-0/024	0/038	0/025	0/090	-0/018
Eigenvalue	4/810	1/212	0/641	0/538	0/462	0/320	0/013	0/004
Variability (%)	60/124	15/151	8/019	6/725	5/772	3/996	0/161	0/053

Cumulative %	60/124	75/275	83/294	90/019	95/791	99/787	99/947	100/000
--------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------



شکل ۸- نمودار دو متغیره مولفه‌های اصلی و پراکندگی چاه‌های دشت باغملک (۱۳۸۶-۱۳۹۶).

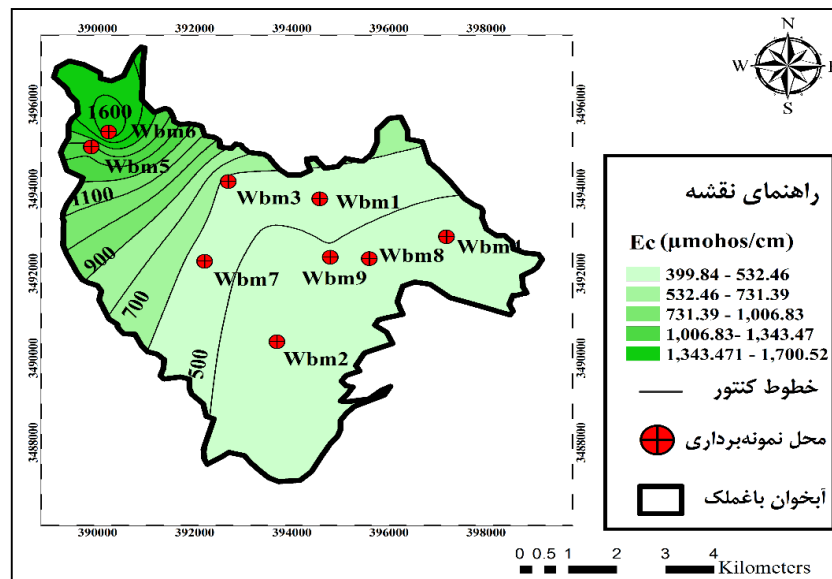


شکل ۹- نمودار خوشه‌ای (HCA).

تغییرات مکانی هدایت الکتریکی

الکتریکی باعث کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی شده است. همچنین چاه‌های بهره‌برداری که در مسیر جریان و در نزدیکی سازند بختیاری واقع شده‌اند به دلیل تغذیه از سازند بختیاری و زون اختلاطی (تغذیه از سازند گچساران و بختیاری) دارای میزان املاح کمتری نسبت به چاه‌های واقع در نزدیکی سازند گچساران هستند.

نقشه تغییرات مکانی EC (شکل ۱۰) نشان می‌دهد که از بخش شمال غرب منطقه به سمت قسمت‌های مرکز و شرق تا جنوب شرق منطقه میزان EC کاهش می‌یابد. افزایش میزان هدایت الکتریکی در مناطق یاد شده به دلیل وجود سازند گچساران در منطقه است که این افزایش میزان هدایت



شکل ۱۰- نمودار تغییرات مکانی.

Bm7 در شرایطی تقریباً حساس است. همچنین پراکندگی چاه‌های بهره‌برداری نشان می‌دهد که عمده برداشت از چاه‌ها مربوط به چاه‌های کشاورزی می‌باشد. بررسی PCA نشان داد که عامل F1 و F2 دارای مقادیر بیش از یک هستند و ۷۵/۲۷٪ درصد تغییرات را شامل می‌شوند. عامل اول با ۶۰/۱۲٪ درصد و عامل دوم ۱۵/۱۵٪ درصد بیشترین تغییرات را دارا می‌باشد. به این ترتیب درصد تغییرات در فاکتور اول به سولفات، کلسیم، کلر، سدیم، پتاسیم و EC که ناشی از انحلال و تأثیر سازند گچساران بر کیفیت آب منطقه می‌باشد و در فاکتور دوم مربوط به HCO_3 است که به علت انحلال سیمان آهکی سازند کنگلومرای بختیاری است. همچنین نمودار دو متغیره نشان داد که بین Ca ، SO_4 ، Mg و EC همبستگی خوبی برقرار است. چاه‌ها Wbm5 و Wbm6 در ربع پایین سمت چپ قرار دارند که با توجه به همبستگی که با پارامترهای Ca ، SO_4 ، Mg و EC دارد نشان‌دهنده این است که سازند گچساران بر روی

نتیجه‌گیری

نتایج حاصله نشان داد که سال‌های ۸۷-۸۶، ۸۷-۸۸، ۸۹-۹۰، ۹۰-۹۱، ۹۳-۹۴، ۹۵-۹۶ با کمترین میزان بارش از سال‌های خشک به شمار می‌روند. کاهش میزان بارش در سال‌های خشک با توجه به تأثیر بارش بر تغذیه آبخوان با گذشت زمان اثرات منفی بر حجم مخزن وارد می‌کند. در نقشه تراز سطح آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه بیشترین تراز در بخش‌های شمال شرق، شرق و شمال غرب و کمترین تراز در بخش جنوبی دشت دارا می‌باشد. نمودار هیدروگراف معرف دشت از سال ۸۶-۸۷ تا سال آبی ۹۵-۹۶ میزان افقی معادل ۱۳/۷۹ متر را نشان می‌دهد. به دلیل تأثیرپذیری این آبخوان از بارندگی و با افزایش میزان بارش، سطح آب زیرزمینی دچار نوسان شده است. بیشترین افت (تقریباً در حدود ۱۲ تا ۱۹ متر) در چاه‌های مشاهده‌ای Bm2، Bm4، Bm6 که در شرق و مرکز دشت واقع شده‌اند را نشان می‌دهند. چاه مشاهده‌ای

دشت یزد-اردکان. فصلنامه علمی پژوهشی دانشکده بهداشت یزد، ۱۰(۳): ۸۲-۹۱.

اکبری، م.، جرگه، م.، ر.، مدنی سادات، ح.، ۱۳۸۸. بررسی افت سطح آب زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی آبخوان دشت مشهد). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۶(۴): ۶۳-۷۸.

چیت‌سازان، م.، ایل‌بیگی، م. و محمدرضا پورطبری، م.، ۱۳۹۷. ارزیابی آلودگی نترات آب زیرزمینی بر اساس روش‌های مؤلفه‌های اصلی و تحلیل عاملی (مطالعه موردی: آبخوان دشت کرج)، اکوهیدرولوژی، ۵(۴): ۱۱۱۹-۱۱۳۳.

خواجه، م.، بذرافشان، ا.، وقار فرد، ح. و اسماعیل پور، ی.، ۱۳۹۳. بررسی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت پریشان. برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۱۸(۴): ۷۱-۹۶.

زمانی، ط.، کریمی، ح.، توکلی، م.، علی‌مرادی، ص.، ۱۳۹۶. عوامل مؤثر بر افت آب زیرزمینی دشت مهران، استان ایلام. نشریه هیدروژئولوژی، ۲(۲): ۱۷-۲۸.

قضاوی، ر.، رضانی‌سربندری، م.، ۱۳۹۵. بررسی تأثیر تغییرات بارش و برداشت از آب‌های زیرزمینی بر تغییرات کمی و کیفی آب آبخوان (مطالعه موردی دشت رفسنجان). هیدروژئومورفولوژی، ۱۲: ۱۱۱-۱۲۹.

کلانتری، ن.، عنبری، ا.، محمدی، ه.، ۱۳۹۷. بررسی هیدروشیمیایی منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت بستان با استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۴(۲): ۲۳۶-۲۴۸.

کلانتری، ن.، فاریابی، م.، رحیمی، م.، ح.، ۱۳۸۶. بررسی پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی دشت باغملک با استفاده از روش GOD و DRASTIC در محیط GIS. نشریه زمین‌شناسی مهندسی، ۲: ۴۳۱-۴۵۰.

ندیری، ع.، ا.، روزرخ، ج.، اصغری‌مقدم، ا.، ۱۳۹۵. مطالعه هیدروژئوشیمی و هیدروژئولوژی آبخوان دشت هرزندات با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره و روش‌های گرافیکی. مجله پژوهشی آب ایران، ۱۰: ۱۱۱-۱۲۲.

کیفیت آب این چاه‌ها تأثیر می‌گذارد. چاه‌های موجود بر روی خط F2 تحت تأثیر پارامترهای Na، Cl، K و HCO_3 است که نشان‌دهنده اختلاط منابع آب زیرزمینی در مرکز دشت ناشی از اختلاط آب تغذیه‌شده از جانب سازند گچساران و کنگلومرای بختیاری است. بررسی نمودار HCA نشان داد که چاه‌های موجود در منطقه به سه گروه تقسیم گردید. در گروه اول چاه‌هایی قرار می‌گیرند که از سازند بختیاری تغذیه می‌کنند گروه دوم شامل چاه‌هایی است که در زون اختلاطی واقع شده‌اند و گروه سوم مربوط به چاه‌هایی است که از سازند گچساران تغذیه می‌کنند. میزان EC طبق نقشه تغییرات مکانی EC از بخش‌های شمال‌غرب به سمت شرق و جنوب‌شرق منطقه روندی کاهش را نشان می‌دهد. در واقع نزدیکی به سازند گچساران باعث افزایش میزان املاح و هدایت الکتریکی در آب زیرزمینی شده است. چاه‌های بهره‌برداری که در بخش شرقی و مرکزی دشت واقع شده‌اند به علت تغذیه از سازند بختیاری و زون اختلاطی (تغذیه از سازند گچساران و بختیاری) نسبت به چاه‌های واقع در بخش غربی و شمال‌غربی دشت که از سازند گچساران تغذیه می‌کنند میزان املاح کمتری دارا می‌باشند. البته کاهش بارندگی در منطقه مورد مطالعه و به دنبال آن خشکسالی‌های رخ داده در طول دوره آماری در کنار برداشت بی‌رویه از چاه‌های بهره‌برداری از عوامل عمده کاهش حجم مخزن آب زیرزمینی در دشت باغملک است و وجود سازند گچساران در قسمت شمال، شمال‌غرب دشت باعث کاهش کیفی منابع آب زیرزمینی به‌ویژه در چاه‌های اختلاطی و چاه‌های غرب دشت می‌شود. همچنین افت سطح آب زیرزمینی بر افزایش میزان نیز EC تأثیرگذاری است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از زحمات و همکاری صمیمانه مدیریت محترم مطالعات پایه منابع آب و برق خوزستان و همچنین از همکاری گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز در این پژوهش کمال قدردانی و تشکر را دارم.

منابع

اکرامی، م.، شریفی، ذ.، ملکی‌نژاد، ح.، اختصاصی، م.، ر.، ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی

- Jamshidzadeh, Z., Mirbagheri, S.A. 2011. Evaluation of groundwater quantity and quality in kashan basin. Central Iran. Desalination, 270 (1-3): 23-30.
- Jackson, J.E. 1991. A user's guide to principal components, Wiley New York.
- Mckee, T.B., Doesken, N.J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eighth Conference on Applied Climatology. Anaheim, CA, America Meteorological Society, 179 p.
- Meglen, R.R. 1992. Examining large databases: a chemo-metric approach using principal component analysis. *Marc chem*, 39: 217-237.
- Shahid, S., Hazarik, M.K. 2009. Groundwater droughts in the northwestern districts of Bangladesh. *Water Resources Management*, 24(10): 1986-2006.
- Wu, J., Li.P., Qian, H., Duan, Z., Zhang, X. 2014. Using correlation and Multivariate statistical to identify hydrogeochemical processes affecting the major ion chemistry of waters: a case study in chemistry of waters: a case study in Laoheba phosphorite mine in Sichuan, China. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(10): 3973-3982.
- Zaiming, Z., Guanghui, Z., Mingjiang, Y., Jinzhe, W. 2012. Spatial variability of the shallow groundwater level and its chemistry characteristics in the low plain around the bohai sea, North china. *Environmental monitoring and assessment*, 184(6): 3710-3697.
- Zakhem, B.A. 2016. Using principal component analysis (PCA) in the investigation of of aquifer storage and recovery (ASR) in Damascus Basin (Syria). *Environmental Earth Sciences*, 75 (15):1123.
- Zhu, Y., Drake, S., 2004. A survey: obstacles and strategies for the development of groundwater resources in arid inland river basins of western china. *Journal of Arid Environments*, 59(2): 351-367.
- نخعی، م.، حسنی، ع.، مقیمی، ه.، عباس نوین پور، ا.، ۱۴۰۰. پیش‌بینی اثرات ناشی از بهره‌برداری بی‌رویه بر آبخوار دشت زرنده (استان مرکزی) با استفاده از نرم‌افزار GMS. *نشریه هیدروژئولوژی*، ۶(۲): ۱۳-۲۹.
- نجف‌زاده، ه.، زهتابیان، غ.، ر.، خسروی، ح.، گلکاریان، ع.، ۱۳۹۴. تأثیر عوامل اقلیمی و زمین‌شناسی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت مه‌ولات. *فصلنامه اکوهیدرولوژی*، ۳: ۳۲۵-۳۳۶.
- میرزایی ارجنکی، س.، ی.، چیت‌سازان، م.، چغازدی، ز.، ۱۳۹۸. برآورد ارتباط هیدرولیکی چشمه‌های تاقدیس کینو در شمال استان خوزستان با استفاده از داده‌های هیدروشیمیایی، روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و خوشه سلسله‌مراتبی (HCA). *مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته*، ۹(۲): ۲۱-۲۹.
- میرزایی ارجنکی، س.، ی.، مزرعه اصل، س.، کریمی وردجانی، ح.، ۱۴۰۰. بررسی تعاملات ژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی پلانز تاقدیس کمردراز با استفاده از روش‌های آماری، جنوب‌غرب شهر ایذه. *نشریه هیدروژئولوژی*، ۶(۲): ۷۹-۹۴.
- Cloutier, V., Lefebvre, R.R., Therrien, M., Savard, M. 2008. Multivariate statistical analysis of geochemical data as indicative of the hydrogeochemical evolution of groundwater in a sedimentary rock aquifer system. *Journal of Hydrol*, 353: 294-313.
- Davis, J.C. 1986 *Statistics and data analysis in geology*. Wiley, New York.
- Dileep, K.P., Mishra, A., Jena, S.K., Kumar, A. 2007. The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in orissa, India. *Journal of Hydrology*, 343(3): 140-153.
- Hsu, K. C., Wang, C. H., Chen, K.C., Chen, T.C. 2007. Climate induced hydrological impacts on the groundwater system of the pingtung plain, Taiwan. *Hydrogeology*, (5): 903-913.
- Hamzaoui-Azaza, F., Bouhlila R., Gueddari M. 2009. Geochemistry of fluoride and major ion in the groundwater samples of triassic aquifer (South Eastern Tunisia), through multivariate and hydrochemical techniques. *J Appl Sci Res*, 5(11): 1941-1951.