

مقایسه شبکه پایش کروم آبخوان دشت بیرجند با استفاده از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تئوری آنتروپی

عباس خاشعی سیوکی، علی شهیدی و سمیرا رهنما

دوره ۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صفحات ۲۲۰ - ۲۳۱

Vol. 7(2), Summer 2021, 220-231

DOI: 10.22034/jewe.2020.254396.1448

**Comparison of Birjand Aquifer Chromium
Monitoring Network Using Principal Component
Analysis (PCA) and Entropy Theory**

KhasheiSiuki, A., Shahidi, A. and Rahnema, S.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

خاشعی سیوکی، ع.، شهیدی، ع. و رهنما، س. (۱۴۰۰). طراحی شبکه پایش کروم آبخوان دشت بیرجند با استفاده از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تئوری آنتروپی. محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۷، شماره ۲، صفحات: ۲۲۰-۲۳۱.

Citing this paper: Khashei Siuki, A., Shahidi, A. and Rahnema, S. (2021). Comparison of Birjand aquifer chromium monitoring network using principal component analysis (PCA) and entropy theory. Environ. Water Eng., 7(2), 220-231. DOI: 10.22034/jewe.2020.254396.1448

مقاله پژوهشی

مقایسه شبکه پایش کروم آبخوان دشت بیرجند با استفاده از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تئوری آنتروپی

عباس خاشعی سیوکی^{۱*}، علی شهیدی^۲ و سمیرا رهنما^۳^۱استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران^۲دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران^۳دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

*نویسنده مسئول: abbaskhashei@birjand.ac.ir

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۸/۰۴]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۹/۰۹/۲۲]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۱۰/۰۳]

چکیده

به منظور مدیریت کارا و مؤثر منابع آب زیرزمینی، تعیین نقاط مهم جهت نمونه برداری به لحاظ کاهش حجم نمونه‌ها و صرفه جویی در هزینه و زمان بسیار مهم است. در این مطالعه با استفاده از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی و تئوری آنتروپی که روشی کاربردی در ارزیابی سامانه‌های پایش کیفی می‌باشد به طراحی شبکه پایش کروم آبخوان دشت بیرجند پرداخته شد. در این پژوهش، ۲۵ چاه بهره‌برداری آبخوان دشت بیرجند با طول آماری ۵ yT (۱۳۹۳-۱۳۹۷) مورد بررسی قرار گرفت. در منطقه مورد مطالعه میانگین سالانه پارامتر کروم (شش ظرفیتی) آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک آنالیز مؤلفه‌های اصلی و تئوری آنتروپی مورد بررسی قرار گرفت تا چاه‌های نمونه برداری مؤثر در آبخوان این دشت مشخص گردد. نتایج نشان داد که از بین ۲۵ چاه موجود در منطقه مورد مطالعه، می‌توان ۱۵ چاه به عنوان چاه شاخص کروم آب زیرزمینی آبخوان دشت بیرجند معرفی نمود که از پراکندگی خوبی در منطقه برخوردار هستند که می‌تواند در کاهش هزینه‌های نمونه برداری نقش مهمی داشته باشد. همچنین جهت در نظر گرفتن عامل زمان در تغییرات این روش در دو دوره زمانی ۲ و ۳ yT ساله انجام شد. نتایج نشان داد که در دوره زمانی ۲ yT (۱۳۹۳-۱۳۹۴) ۱۹ چاه به عنوان چاه مؤثر انتخاب شدند که در دوره زمانی ۳ yT (۱۳۹۵-۱۳۹۷) این تعداد به ۱۷ چاه تقلیل پیدا کرد. تئوری آنتروپی نشان داد که کلیه چاه‌های موجود در منطقه از اهمیت یکسانی در طراحی شبکه پایش برخوردار هستند.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی؛ آنالیز مؤلفه‌های اصلی؛ چاه مؤثر؛ دشت بیرجند



۱- مقدمه

امروزه یکی از مهم‌ترین مسائلی که محیط‌زیست را به شدت تهدید می‌کند، آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌باشد که از طرق مختلف همانند فعالیت‌های انسانی، صنعتی و غیره ایجاد می‌شوند. ارزیابی کیفیت آب و شناسایی عوامل آلاینده و نقاط آلوده در مناطقی که از منابع آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب استفاده می‌شود بسیار با اهمیت است. از آنجایی که ۸۰٪ بیماری‌های جهان از راه آب منتقل می‌شود، کنترل آلاینده‌های آب اهمیت ویژه‌ای دارد (Shahriyari et al. 2010).

با توجه به پیچیدگی‌های سامانه‌های منابع آب، در اغلب موارد تصمیم‌ها بدون اطلاعات کافی گرفته می‌شوند. معمولاً در تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر عدم قطعیت، تمایل به تصمیم‌گیری محافظه‌کارانه وجود دارد. تقریباً در تمامی موارد، اطلاعات کافی برای توصیف رفتار اتفاقی چنین سامانه‌هایی در دسترس نیست. بسیاری از سامانه‌های مهندسی از جمله سامانه‌های محیط‌زیستی و آبی ذاتاً پیچیده بوده و درک محدودی از جزئیات این سامانه‌ها وجود دارد. ارزیابی کارایی سامانه‌های پایش کیفی منابع آب و بهبود مؤلفه‌های مختلف این سامانه‌ها مانند مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های پایش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دلیل اصلی اهمیت این موضوع، هزینه‌های قابل توجه این سامانه‌ها می‌باشد. احداث چاه‌های پیرومتری جهت بررسی کیفیت آب زیرزمینی مناطق مختلف آبخوان هزینه‌های زیادی اعم از ماشین‌آلات حفر چاه، لوله‌گذاری، نگهداری، نمونه‌برداری و غیره داشته و در مواردی حفر چاه‌ها به دلیل عدم ارتباط و انتقال اطلاعات با سایر چاه‌ها و همچنین در مواردی به دلیل عدم احداث چاه در محل مناسب، کارایی مناسبی نداشته و هزینه‌های صورت گرفته بی‌اثر می‌شود. طوری که کاهش اطلاعات مازاد می‌تواند در کاهش هزینه‌های سامانه، بدون کاهش میزان و دقت اطلاعات حاصل، تأثیر قابل توجهی داشته باشد. همچنین از بحث‌های مهم در بخش آب‌های زیرزمینی، آلودگی آب‌ها ناشی از فلزات سنگین می‌باشد. فلزات سنگین با توجه به ثبات شیمیایی، تجزیه‌پذیری ضعیف و داشتن قدرت تجمع زیستی در بدن موجودات زنده، به سرعت به آلاینده‌های سمی تبدیل می‌شوند

(AsghariMoghaddam and Adigozalpuor 2016). فلزات موجود در منابع آب به صورت طبیعی و یا بر اثر آلودگی وارد منابع آب می‌شوند. هوازگی طبیعی سنگ‌ها و خاک‌هایی که با منابع آب در تماس هستند، بزرگ‌ترین منبع آلودگی فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی‌اند (AsghariMoghaddam and Adigozalpuor 2016). فلزات سنگین همیشه در ترکیب طبیعی محیط‌زیست وجود داشتند و در شرایط طبیعی در غلظت‌های پایین یافت می‌شدند، اما در اثر فعالیت‌های انسانی مقادیر قابل توجهی از فلزات سنگین وارد محیط‌زیست شدند (Rajaei et al. 2012).

نتایج استفاده از روش‌های PCA جهت ارزیابی کیفیت آب شبکه پایش رودخانه سنت جانز فلوریدای آمریکا نشان داد کلسیم، منیزیم، قلیات، نیترژن کل، نیترات محلول و نیتریت از جمله پارامترهای مؤثر در ارزیابی کیفیت آب این رودخانه بودند (Ouyang 2005). مطالعه هیدروشیمیایی آب دریاچه سد کارده و منابع آب زیرزمینی منطقه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی نمونه‌های آب نشان داد که کیفیت منابع آب زیرزمینی و سطحی به طور گسترده‌ای وابسته به لیتولوژی است (Mohammadzadeh and Heydarizad 2011). در مطالعه‌ای به منظور بررسی افزایش میزان فلوراید در آب شرب در ۱۱۱ چاه واقع در دو منطقه شانگری و اینر مانگولیا در چین، روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی را به کار بردند. بر اساس نتایج آن‌ها، افزایش میزان فلوراید در منطقه مانگولیا، عمدتاً ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و معدن‌کاوی بود (Hu et al. 2013). همچنین با استفاده از PCA و تحلیل خوشه‌ای^۱ (CA) کیفیت آب دریاچه آنچار کشمیر هند طی ۴ فصل و برای ۱۳ پارامتر کیفی مورد تحلیل قرار داده شد. نتایج نشان داد که روش PCA به استخراج و شناسایی عوامل تغییر کیفیت آب در فصول مختلف دریاچه کمک می‌کند که عمدتاً مربوط به فاضلاب‌های خانگی، رواناب کشاورزی و تنوع فصلی بود (Ishtiyag et al. 2017).

نتایج پژوهشی که توسط Shahryari et al. (2011) با هدف تعیین میزان کروم و مس در آب‌های زیرزمینی و شبکه آب شرب شهر بیرجند در سال ۸۹-۱۳۸۸ انجام شد نشان داد که با وجود

¹Cluster Analysis (CA)

تعیین تعداد و موقعیت بهینه چاه‌های مشاهداتی توسط استفاده نمودند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد تعداد چاه‌های مشاهده‌ای برابر ۲۸ حلقه (۴۲ چاه مشاهده‌ای) می‌باشد که بیان‌کننده کاهش ۵۵٪ تعداد پیژومترها نسبت به حالت اولیه است. شبیه‌سازی عددی روند تغییرات کروم در آبخوان دشت بیرجند در پژوهشی توسط Farpoor et al. (2019) انجام شد. نتایج آن‌ها نشان داد که تغییرات غلظت این آلاینده به نوسانات سطح آب زیرزمینی بستگی دارد و با افزایش سطح تراز آب می‌توان میزان کروم را در آبخوان کاهش داد.

تاکنون پژوهش‌هایی در زمینه طراحی شبکه پایش کیفی منابع آب زیرزمینی یا سطحی انجام‌شده است که هدف عمده آن‌ها انتخاب مکان ایستگاه نمونه‌برداری و کاهش تعداد آن‌ها بدون زیاده‌شدن خطای اندازه‌گیری بود و روش‌های مختلفی نیز بدین منظور ارائه‌شده است نظیر (Khodaverdi et al. (2020), Kavusi et al. (2020), Kavusi et al. (2019), (Rezaei et al. و Jafarzadeh and Khasheisiuki (2018) (2015) که عمده این پژوهش‌ها در تلاش‌اند که شبکه پایش را بهینه‌سازی کنند. از طرفی در زمینه استفاده از روش PCA نیز پژوهش‌هایی نظیر (Alves, Rahnema and Sayari, (2019), (et al. 2018) و Zhao et al. (2012) انجام‌گرفته که در این پژوهش‌ها و سایر پژوهش‌ها اغلب از روش PCA در شناسایی مهم‌ترین عوامل تغییر کیفیت آب استفاده‌شده است؛ بنابراین تاکنون پژوهشی در زمینه پایش پارامتر کیفی و شناسایی چاه‌های مؤثر انجام‌نشده است. همچنین تأثیر زمان‌بر تغییرات شبکه پایش در این پژوهش‌ها بررسی نشده است (نظیر Hooshangi et al. و BabaeiHessar et al. (2016) (2015)). کیفیت آب زیرزمینی نسبت به زمان تغییرات محسوسی داشته که می‌تواند در انتخاب محل برداشت نمونه‌برداری و تعداد آن‌ها تأثیر بگذارد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت بررسی توانایی روش PCA در طراحی شبکه پایش با عنایت به تأثیر گذشت زمان‌بر شناسایی چاه‌های نمونه‌برداری مؤثر در آبخوان دشت می‌تواند نوآوری‌های این پژوهش باشد که در سایر پژوهش‌ها به آن پرداخته نشده است. همچنین در ادامه

طبیعی بودن میزان مس، میزان آلودگی آب آشامیدنی شهر بیرجند با کروم خطرناک است. با در نظر گرفتن شرایط محیطی، احتمالاً این آلودگی منشأ زمین‌شناسی دارد که نیازمند مطالعات بیش‌تر و تلاش در جهت رفع آن می‌باشد. در پژوهشی چاه‌های مؤثر در تعیین تراز آب زیرزمینی دشت قیدار با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی شناسایی شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که با حذف چاه‌هایی که اهمیت نسبی آن‌ها کم‌تر از ۰/۵ می‌باشد، خطای تعیین تراز سطح آب زیرزمینی کم‌تر از ۱۳٪ خواهد بود (Noorigheidari 2013). پژوهشی به‌منظور تعیین تعداد بهینه چاه‌های پیژومتری جهت تخمین سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت تبریز با استفاده از روش PCA توسط Hooshangi et al. (2015) انجام شد. نتایج آن‌ها نشان داد که با حذف ۳۰ چاه از ۷۵ چاه موجود در منطقه، می‌توان با افزایش دقت اندازه‌گیری سطح آب در بقیه چاه‌های پیژومتری باقی‌مانده و صرفه‌جویی در زمان و هزینه، سطح آب زیرزمینی را با دقت خوبی تخمین زد. (BabaeiHessar et al. (2016). چاه‌های مؤثر در تعیین سطح تراز آب زیرزمینی دشت ارومیه را شناسایی کردند. در این پژوهش، چاه‌های کم‌اهمیت با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی تعیین گردید. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که با حذف چاه‌های کم‌اهمیت که تعداد آن‌ها حدوداً نصف کل چاه‌ها است، ضریب تغییرات سطح ایستابی ۵۱٪ کاهش یافت و خطای تعیین سطح ایستابی کم‌تر از ۱۵٪ به‌دست آمد. در پژوهشی (Jafarzadeh and Khasheisiuki (2018) به‌منظور پایش کمی آبخوان دشت بیرجند و تعیین نقاط بهینه پیژومترها یک روش جدید تحت عنوان GNM^1 را پیشنهاد دادند. در روش پیشنهادشده از دو مدل شبکه عصبی و جستجوی گرگ خاکستری به‌عنوان مدل شبیه‌ساز سطح آب زیرزمینی و مکان‌یابی موقعیت پیژومترها استفاده کردند. نتایج نشان داد با توجه به مقادیر شاخص‌های ارزیابی در قسمت شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی مدل GNM که با استفاده از شبکه عصبی انجام شد، مدل پیشنهادشده از کارایی مناسبی در این زمینه برخوردار بود. در نهایت موقعیت ۱۰ پیژومتر جدید در آبخوان بیرجند با استفاده از مدل GNM تعیین شد. در پژوهشی Kavusi et al. (2019) از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات PSO به‌منظور

¹Gray wolf and Neural Network Monitoring



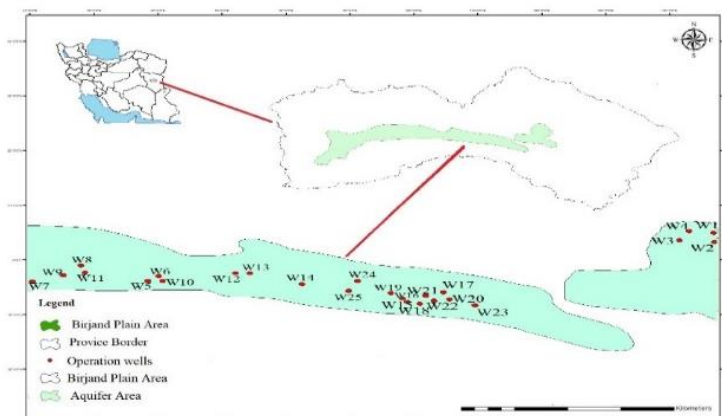
در این پژوهش، از آمار ۲۵ حلقه چاه نظارت شده توسط وزارت نیرو (چاه ۱ مرک (W1)، چاه ۲ مرک (W2)، چاه ۳ مرک (W3)، چاه ۴ مرک (W4)، چاه ۱ رکات (W5)، چاه ۲ رکات (W6)، چاه ۴ رکات (W7)، چاه ۵ رکات (W8)، چاه ۶ رکات (W9)، چاه ۷ رکات (W10)، چاه ۸ رکات (W11)، چاه ۹ رکات (W12)، چاه ۱۰ رکات (W13)، چاه ۱۱ رکات (W14)، چاه ۶ علی آباد (W15)، چاه ۷ علی آباد (W16)، چاه ۸ علی آباد (W17)، چاه ۹ علی آباد (W18)، چاه ۱۰ علی آباد (W19)، چاه ۱۱ علی آباد (W20)، چاه ۱۲ علی آباد (W21)، چاه ۱۳ علی آباد (W22)، چاه ۱۴ علی آباد (W23)، چاه ۳ طهماسبی (W24)، چاه ۴ مدرس (W25)) استفاده شده است. برای آنالیز مؤلفه‌های اصلی از داده‌های سالانه کروم آب زیرزمینی این چاه‌ها که از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ ثبت گردیده، استفاده شده است. در شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و نحوه پراکنش چاه‌های مورد بررسی در این پژوهش ارائه شده است.

به مقایسه روش PCA و آنتروپی در طراحی شبکه پایش کروم در منطقه پرداخته خواهد شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دشت بیرجند بخشی از حوضه آبریز کویر لوت است. این محدوده در طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۰ ثانیه تا ۳۳ درجه شمالی و به مرکزیت تقریبی شهر بیرجند واقع گردیده است. این دشت از شرق به ارتفاعات مؤمن آباد و سیستان، از جنوب به کوه‌های باقران، بنددره و کوه رج، از شمال به ارتفاعات شاه ناصر و اسفدن و از غرب به ارتفاعات چنگدر و گرونک محدود می‌شود. (Asgari 2011). منشا عناصر سنگین در دشت و شهر بیرجند متعلق به کرتاسه می‌باشد که شامل افیولیت‌ها و آمیزه‌های رنگین است. رسوبات آبرفتی که سراسر دشت را می‌پوشانند، محل ذخیره آب‌های زیرزمینی می‌باشند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و چاه‌های مورد بررسی

Fig. 1. Location of the study area and wells

چندمتغیره به مؤلفه‌هایی تجزیه می‌شوند؛ چنان‌که نخستین مؤلفه اصلی (PC_1) تا آنجا که ممکن است، بیش‌ترین واریانس موجود در داده‌ها را توجیه کند. دومین مؤلفه اصلی (PC_2) بیش‌ترین واریانس ممکن بعد از مؤلفه نخست را توجیه کند و تا آخر. مؤلفه‌های استخراج شده دارای دو ویژگی هستند: الف) دو به دو بر هم عمودند (مستقل از یکدیگر هستند)، ب) تعداد کل مؤلفه‌های اصلی با تعداد متغیرهای اولیه برابر است. نکته مهم در

۲-۲- روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)

PCA از روش‌های آماری چند متغیره می‌باشد که می‌توان از آن برای کاهش پیچیدگی تحلیل متغیرهای اولیه مسئله در مواردی که با حجم زیادی از اطلاعات روبرو هستیم و تفسیر بهتر آن‌ها، استفاده نمود (Noori et al. 2009). هدف از تحلیل مؤلفه‌های اصلی کاهش ابعاد داده‌ها (کاهش تعداد متغیرها) از طریق خلاصه‌سازی تعداد زیادی متغیر اولیه به تعداد کم‌تری مؤلفه اصلی است. برای این منظور، واریانس موجود در داده‌های

این نسبت، نشان‌دهنده اهمیت هر چاه نسبت به سایر چاه‌ها می‌باشد که در آن، N تعداد دفعاتی که هر چاه به‌عنوان چاه مؤثر شناخته‌شده و n تعداد دفعاتی که هر چاه در آنالیز شرکت کرده می‌باشد. هراندازه اهمیت نسبی یک چاه بیش‌تر باشد، تأثیر بیش‌تری در پایش خواهد داشت.

به‌منظور بررسی اثر حذف هر چاه از محاسبات از دو معیار ضریب تغییرات و خطای پایش استفاده شد. با استفاده از رابطه (۳) مقدار خطای پایش به ازای حذف چاه‌های غیر مؤثر در یک آستانه مشخص از مقایسه میانگین چاه‌های آن آستانه با میانگین کلیه چاه‌ها قابل‌محاسبه می‌باشد (Gurunathan and Ravichandran 1994).

$$Error = \frac{(m_n - m_0)}{m_0} \times 100 \quad (3)$$

که، m_n متوسط مقادیر به ازای حذف چاه‌ها با توجه به اهمیت نسبی محاسبه‌شده، m_0 متوسط مقادیر کلیه چاه‌های موجود می‌باشد.

جهت در نظر گرفتن تغییرات زمانی در انتخاب چاه‌های مؤثر، آنالیز مؤلفه‌های اصلی در دو دوره زمانی ۲ ساله (۱۳۹۳-۱۳۹۴) و ۳ ساله (۱۳۹۵-۱۳۹۷) انجام شد. طول دوره زمانی با توجه به آمار اخذشده از شرکت آب و فاضلاب خراسان جنوبی در نظر گرفته شد. در این پژوهش برای پیاده‌سازی این روش از نرم‌افزار آماری SPSS.Ver 19 استفاده گردید.

۲-۳- تئوری آنتروپی

آنتروپی در اصل به معنای بی‌نظمی است؛ یعنی هر چقدر میزان بی‌نظمی یک سیستم بیش‌تر باشد، آنتروپی سیستم بیش‌تر می‌باشد. Shannon در سال ۱۹۴۸ نشان داد که وقایع با احتمال وقوع زیاد اطلاعات کم‌تری در اختیار می‌گذارند و برعکس هرچه قدر احتمال وقوع یک رخداد کم‌تر باشد، اطلاعات حاصل از آن بیش‌تر است. با به‌دست آوردن اطلاعات جدید، در واقع عدم قطعیت‌ها را کاهش داده و ارزش اطلاعات جدید برابر با مقداری است که از عدم قطعیت کاسته شده است. در نتیجه عدم قطعیت

مورد مؤلفه‌های اصلی آن است که این مؤلفه‌ها با چرخش^۱ محورهای مختصات در راستای بیش‌ترین واریانس به‌دست می‌آیند؛ چنان‌که زاویه بین محورهای مختصات پس از دوران تغییر نمی‌کند (Bazrafshan and Hejabi 2017).

برای محاسبه اهمیت هر چاه، از ضریب همبستگی بین مؤلفه‌های اصلی و داده‌های مشاهده‌شده استفاده می‌شود. ضریب همبستگی چاه با مؤلفه اصلی از رابطه (۱) به‌دست می‌آید.

$$Cor(z_j, x_i) = a_{i,j+1}^T \lambda_j a_{i,j} \quad (1)$$

که، $a_{i,j}$ عنصر i ام از مؤلفه اصلی j ام می‌باشد. هر چه این ضریب بالا باشد، نشان‌دهنده بالا بودن اهمیت نسبی چاه می‌باشد (Sanchez- Martos et al. 2001).

تعداد چاه‌ها (p) طبق یک قاعده کلی باید کم‌تر یا حداکثر برابر تعداد مشاهدات (n) (که در اینجا همان تعداد سال‌های آماری است) باشد (Petersen 2001). با توجه به اینکه در این پژوهش از آمار سالانه داده کیفی کروم آبخوان دشت بیرجند که از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ ثبت‌شده در دسترس است، تعداد داده‌ها یا مشاهدات هر چاه ۵ مورد می‌باشد و برای پایش هر چاه از ۵ چاه مجاور استفاده‌شده است. به‌طور مثال برای پایش چاه W_{10} از ۵ چاه مجاور یعنی W_5, W_6, W_{11}, W_{12} و W_{13} استفاده شد. بنابراین، برای هر چاه یک ماتریس 5×5 وجود خواهد داشت. لازم به‌ذکر است در پایش از داده‌های خود چاه استفاده نمی‌شود، بلکه تنها از ۵ چاه مجاور استفاده می‌شود. سپس، برای هر کدام از چاه‌ها یک‌بار آنالیز مؤلفه‌های اصلی انجام شد تا ضریب همبستگی هر چاه با مؤلفه اصلی مشخص شود. در انتخاب چاه‌های مؤثر، چاه‌هایی که ضریب همبستگی کم‌تر از 0.75 داشته‌اند، حذف شد (Ouyang 2005). بدین ترتیب برای هر بار آنالیز مؤلفه اصلی، تعدادی چاه به‌عنوان چاه مؤثر شناسایی شدند و در نهایت، تعداد دفعاتی که هر چاه در آنالیز شرکت کرده و همچنین تعداد دفعاتی که به‌عنوان چاه مؤثر شناخته‌شده است، مشخص شد. جهت مشخص کردن اهمیت نسبی هر چاه از رابطه (۲) استفاده گردید.

$$Relative\ importance = \frac{N}{n} \quad (2)$$

¹Rotation



(۶) به کار برد، اطلاعات دریافتی و ارسالی ایستگاه i ام نیز به صورت رابطه (۷) تعریف می شود.

$$R(i) = R(x(i), \hat{x}(i)) \quad (7)$$

$x(i)$ بیان کننده داده های چاه i ام و $\hat{x}(i)$ از رابطه خطی (۸) به دست می آید.

$$\hat{x}(i) = a(i) + \sum_{j=1}^{I-1} y_j(i) \times b_j(i) \quad (8)$$

$y(i)$ ماتریس داده ها از تمام ایستگاه های دیگر و $a(i)$ و $b(i)$ پارامترهای رگرسیون بین ایستگاه i ام و تمام ایستگاه های دیگر است که به صورت خطی برازش داده شده است.

روابط فوق بیانگر آن است که مقادیر بزرگ تر $R(i)$ و $S(i)$ به ترتیب به معنای دریافت و ارسال بیش تر اطلاعات بین ایستگاه i ام و سایر ایستگاه های شبکه و یا برقراری بهتر ارتباط بین این ایستگاه و سایر ایستگاه ها است. بدین ترتیب مقادیر بیش تر $R(i)$ و $S(i)$ برای یک ایستگاه به معنای ارزش بیش تر ایستگاه یاد شده است و حفظ و نگهداری ایستگاه مزبور توصیه می شود؛ اما شاخص $N(i)$ با نام اطلاعات خالص تبادلی به صورت رابطه (۹) تعریف می شود.

$$N(i) = S(i) - R(i) \quad (9)$$

شاخص $N(i)$ بیان کننده اطلاعات کل خالص هر چاه بوده و هر ایستگاهی که کم ترین میزان $N(i)$ را داراست، کم ترین رتبه و اهمیت را در شبکه پایش به خود اختصاص می دهد (Markus et al. 2003).

۳- یافته ها و بحث

جدول (۱) ماتریس ضرایب همبستگی برای پایش چاه شماره ۱۰ را نشان می دهد. مطابق این جدول دو مؤلفه PC_1 و PC_2 دارای واریانس بیش تری نسبت به سایر مؤلفه ها می باشند. همچنین چاه های W_5, W_6, W_{11} و W_{12} را که دارای ضریب همبستگی بالای ۰/۷۵ هستند، به عنوان چاه های مؤثر در پایش چاه W_{10} انتخاب نمود. این آنالیز برای ارزیابی اثر تمامی چاه ها انجام گرفت تا تعداد دفعاتی که هر چاه مؤثر واقع می شود، تعیین گردد. سپس

و اطلاعات پارامترها وابسته به هم هستند. به عبارت دیگر، از تئوری آنتروپی می توان به عنوان شاخصی برای کمی کردن میزان عدم قطعیت و دانش نسبت به مشخصات یک شبکه استفاده نمود.

طبق تعریف ارائه شده توسط Shannon (1948)، برای دو متغیر گسسته x و y که $x_i, i=1,2,3, \dots, n$ و $y_j, j=1,2,3, \dots, m$ همان فضای احتمال باشند، هر کدام دارای یک احتمال گسسته وقوع $p(x_i, y_j)$ احتمال مشترک $p(x_i, y_j)$ و $p(x_i|y_j)$ احتمال رخ دادن x_i به شرط y_j می باشند (Shannon, 1948).

انتقال اطلاعات در این روش با استفاده از شاخص انتقال اطلاعات نرمال که با ITI^1 نشان داده می شود، بیان می گردد؛ که میزان اطلاعات استاندارد که از یک مکان به مکان دیگری منتقل می شود را نشان می دهد (رابطه ۴).

$$ITI = \frac{T(x, y)}{H(x, y)} \quad (4)$$

که در آن $T(x, y)$ آنتروپی انتقال اطلاعات و $H(x, y)$ آنتروپی مشترک داده هاست.

همچنین می توان سه شاخص $R(i)$ ، $S(i)$ و $N(i)$ را با استفاده از رابطه (۵) و به صورت یک تبدیل کسری آنتروپی x با نماد $R(x, y)$ که یک کاهش عدم قطعیت از x اگر y معلوم باشد و در واقع اطلاعات دریافتی توسط x از y نیز است، تعریف نمود.

$$R(x, y) = \frac{T(x, y)}{H(x)} \quad (5)$$

که می تواند به عنوان یک کاهش عدم اطمینان از x در صورتی که y معلوم باشد یا به بیان دیگر میزان اطلاعات دریافتی چاه x از چاه y را نشان می دهد. همانند اطلاعاتی که از x به y فرستاده شده است، به صورت رابطه (۶) تعریف می شود.

$$S(x, y) = \frac{T(x, y)}{H(y)} \quad (6)$$

معادلات بالا روابط بین دو متغیر x و y را بیان می کند. همین استدلال را می توان برای هر یک از چاه ها با استفاده روابط (۵) و

¹Information Transfer Index



جدول (۲) اهمیت نسبی هر چاه در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. هر چاهی که دارای رتبه بالاتری باشد، از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. با توجه به رتبه‌بندی چاه‌ها، در آستانه ۰، کلیه چاه‌ها در آنالیز شرکت داده می‌شوند و در آستانه ۱، چاه‌هایی که دارای رتبه ۱ هستند، مورد قبول واقع می‌شوند. با توجه به جدول (۲) تعداد ۶ چاه با رتبه ۱ وجود دارد. به این معنی که از بین تمامی چاه‌ها، چاه‌های W₃، W₄، W₇، W₁₂، W₂₄ و W₂₅ از بالاترین اهمیت برخوردارند و به همان تعداد که در آنالیز شرکت کرده‌اند، به‌عنوان چاه مؤثر شناخته شده‌اند. تعداد چاه‌های مؤثر برای هر آستانه به‌ترتیب برابر با ۲۵، ۲۳، ۲۰، ۱۵، ۹ و ۶ خواهد بود.

با توجه به مشخص بودن تعداد دفعاتی که یک چاه در آنالیز مؤلفه‌های اصلی شرکت داده‌شده است، اهمیت نسبی هر چاه محاسبه می‌شود.

جدول ۱- ماتریس ضریب همبستگی پایش چاه W₁₀
Table 1 Correlation Coefficient Matrix of W₁₀ Well Monitoring

Principal Component (PCj)		Wells (Wi)
PC ₂	PC ₁	
-0.508	0.842	W ₅
0.198	0.972	W ₆
0.911	0.298	W ₁₁
0.488	0.837	W ₁₂
-0.841	0.524	W ₁₃

جدول ۲- رتبه‌بندی چاه‌ها بر اساس آنالیز مؤلفه‌های اصلی
Table 2 Wells ranking based on principal component analysis

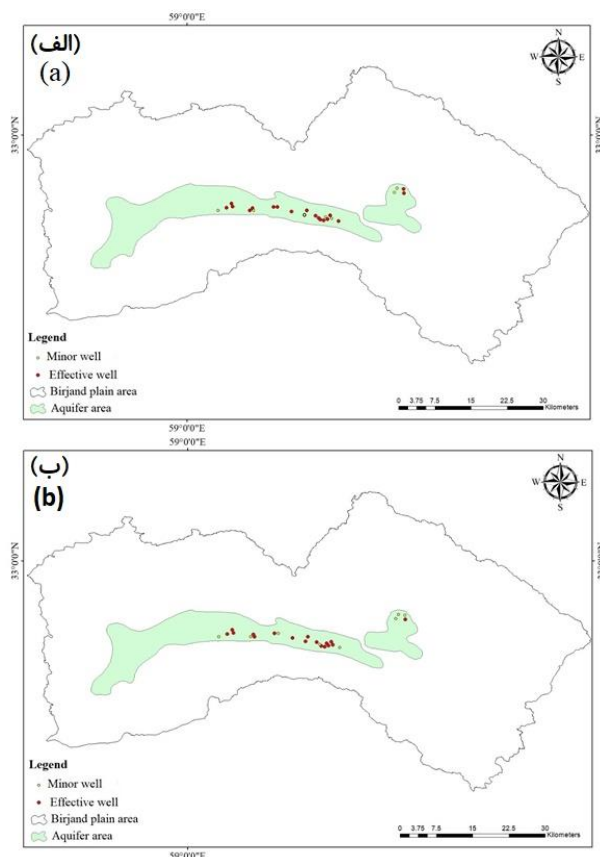
Rank	Number of times they participated in the analysis.	Number of times it has been identified as an effective well.	Well	Rank	Number of times they participated in the analysis.	Number of times it has been identified as an effective well.	Well
0.60	5	3	W ₁₀	1.00	3	3	W ₃
0.60	5	3	W ₁₆	1.00	3	3	W ₄
0.57	7	4	W ₂₁	1.00	3	3	W ₇
0.56	9	5	W ₅	1.00	4	4	W ₁₂
0.50	6	3	W ₁₈	1.00	1	1	W ₂₄
0.43	3	3	W ₁₅	1.00	1	1	W ₂₅
0.40	5	2	W ₁₄	0.89	9	8	W ₆
0.33	6	2	W ₁₁	0.86	7	6	W ₂₀
0.33	6	2	W ₂₃	0.86	7	6	W ₂₂
0.20	5	1	W ₉	0.75	4	3	W ₁₉
0.00	4	0	W ₈	0.67	3	2	W ₁
0.00	2	0	W ₁₃	0.67	3	2	W ₂
				0.67	3	2	W ₁₇

متوسط ضریب تغییرات تغییر چندانی نمی‌کند، یعنی اگر حد آستانه بین ۰ تا ۰/۶ باشد، با حذف چاه‌های کم‌اهمیت خطای چندانی در نمایش مقدار کروم آب زیرزمینی آبخوار رخ نمی‌دهد. ولی اگر حد آستانه از ۰/۶ بالاتر رود یعنی چاه‌های زیادی حذف شوند، ضریب تغییرات زیاد می‌شود؛ بنابراین، حد آستانه مطلوب ۰/۶ بوده که در این آستانه از ۲۵ حلقه چاه، ۱۵ حلقه به‌عنوان چاه مؤثر شناسایی شده و بقیه چاه‌ها به‌عنوان چاه‌های کم‌اهمیت شناخته می‌شوند. بدین ترتیب با ۱۵ حلقه چاه در منطقه می‌توان در وقت و هزینه صرفه‌جویی نمود و دقت زیادی در اندازه‌گیری و قرائت چاه‌های مهم جهت بالا بردن دقت مدل‌سازی به عمل آورد.

پژوهش‌گران برای بررسی مقدار خطا در انتخاب تعداد چاه‌های مؤثر، محاسبه ضریب تغییرات برای چاه‌های باقی‌مانده در هر آستانه و مقایسه آن با ضریب تغییرات مربوط با کلیه چاه‌ها را پیشنهاد نموده‌اند (Noorigheidari 2013). این روش در صورتی قابل قبول است که فرض شود ضریب تغییرات با حذف چاه‌های غیر مؤثر افزایش یابد. به این ترتیب آستانه‌ای که در آن کم‌ترین اختلاف در ضریب تغییرات رخ دهد، انتخاب می‌شود. در شکل (۲) متوسط ضریب تغییرات در مقابل حد آستانه رسم شده است. بدین ترتیب که ضریب تغییرات برای هر سال آماری محاسبه و پس از برآورد مقدار متوسط آن، در مقابل حد آستانه رسم شد. با توجه به شکل (۲) در حد آستانه ۰ تا ۰/۶ مقدار



و مقدار آن کم‌تر از ۱۳٪ خواهد بود. شکل (۴) جانمایی چاه‌های مؤثر را در منطقه مورد مطالعه طی دوره زمانی ۵ Yr (۱۳۹۷-۱۳۹۳) نشان می‌دهد. منشأ این پارامتر در منطقه، لیستونیت‌های کربناته و شیل‌های کربناته مربوط به مجموعه افیولیتی از تشکیلات کرتاسه باشد.

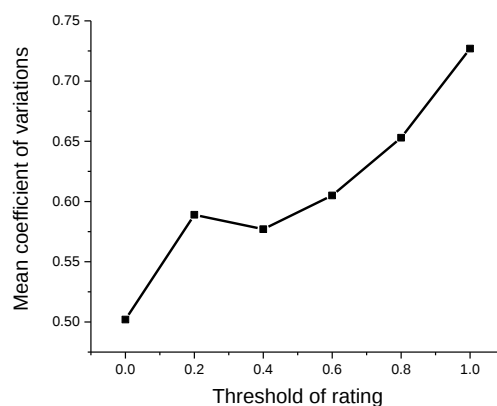


شکل ۴- جانمایی چاه‌های مؤثر در تعیین میزان کروم آب زیرزمینی آبخوان دشت بیرجند طی دوره‌های زمانی مختلف: الف) ۱۳۹۳-۹۴ و ب) ۱۳۹۵-۹۷

Fig 5. Location of effective wells in determination of groundwater chromium content of Birjand aquifer during different time periods: a) 2015-16 and b) 2017-19

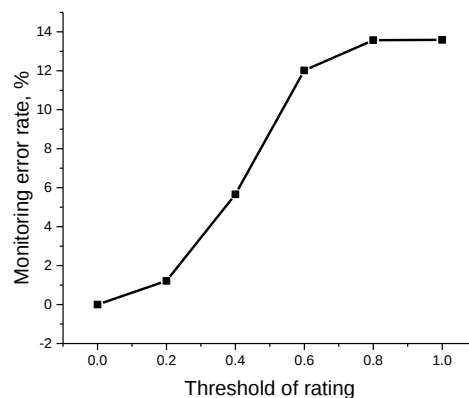
جهت در نظر گرفتن تغییرات طی دوره‌های زمانی مختلف، آنالیز مؤلفه‌های اصلی در انتخاب چاه‌های مؤثر، در دو دوره زمانی ۲ Yr (۱۳۹۴-۱۳۹۳) و ۳ Yr (۱۳۹۷-۱۳۹۵) انجام شد. جدول (۳) تعداد چاه‌های موجود در هر آستانه را طی دوره‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۴) نتایج نشان داد که در دوره ۲ Yr (۱۳۹۴-۱۳۹۳) ساله ۲۵ چاه

همچنین با استفاده از رابطه (۳) خطای پایش نیز محاسبه گردید و میزان این خطا برای حد آستانه‌های مختلف در شکل (۳) ارائه شده است.



شکل ۲- متوسط ضریب تغییرات در مقابل حد آستانه رتبه‌بندی

Fig 2. Average coefficient of variations against the threshold of rating



شکل ۳- میزان خطای پایش در مقابل حد آستانه رتبه‌بندی

Fig 3. Monitoring error rate against the rating threshold

مقدار خطای حد آستانه ۰/۶ برابر ۱۲/۰۲٪ می‌باشد یعنی با حذف ۱۰ چاه کم‌اهمیت میزان خطا ۱۲/۰۲٪ نسبت به حالتی که از تمامی چاه‌ها استفاده گردد، افزایش می‌یابد. همچنین مقدار خطا از حد آستانه ۰/۶ به بالا افزایش می‌یابد؛ بنابراین از روی خطای پایش، حد آستانه مطلوب ۰/۶ می‌باشد؛ بنابراین می‌توان ۱۵ چاهی را که در این حد آستانه باقی‌مانده‌اند، به‌عنوان چاه‌های مؤثر در پایش کروم آب زیرزمینی دشت بیرجند در نظر گرفت. بررسی به‌عمل‌آمده توسط Noorigheidari (2013) نشان داد که با حذف چاه‌هایی که اهمیت نسبی آن‌ها کم‌تر از ۰/۵ می‌باشد خطای تعیین تراز سطح آب زیرزمینی افزایش چندانی نمی‌کند

مورد مطالعه در منطقه ۱۹ چاه (آستانه ۰/۶) و طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۷، ۱۷ چاه (آستانه ۰/۶) به عنوان چاه مؤثر انتخاب گردید.

جدول (۳) تعداد چاه‌های هر آستانه طی دوره‌های زمانی مختلف
Table 3 Number of wells each threshold over different time periods

Period	Threshold	Number of wells
2015-16	1	17
	0.8	17
	0.6	19
	0.4	22
	0.2	22
	0	25
2017-19	1	7
	0.8	7
	0.6	17
	0.4	19
	0.2	20
	0	25

جدول (۴) نتایج رتبه‌بندی چاه‌های موجود در منطقه (Ni) را بر اساس تئوری آنتروپی نشان می‌دهد که همه چاه‌های موجود اهمیت یکسانی دارند و چاه شماره ۲۲ رتبه بالاتر و از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. همچنین کلیه چاه‌های موجود در منطقه رتبه یکسانی را در مورد انتقال اطلاعات (ITI(i)) مقادیر کروم دریافت کرده‌اند که نشان‌دهنده انتقال و دریافت اطلاعات بیش‌تر نسبت به سایر چاه‌ها است. به عبارت دیگر این چاه‌ها ارزش حفظ بیش‌تری نسبت به چاه‌های دیگر دارند و داده‌های این چاه‌ها را می‌توان با اطمینان کامل برداشت و استفاده کرد.

از مقایسه این دو روش می‌توان چنین برداشت کرد که روش PCA به دلیل استفاده از واریانس موجود در بین داده‌ها و چاه‌های موجود در اطراف هر چاه نقش مؤثرتری در شناسایی چاه‌های کم‌اهمیت و صرفه‌جویی در هزینه و زمان برداشت داده در منطقه مورد مطالعه ایفا می‌کند.

جدول ۴- رتبه‌بندی چاه‌های موجود در منطقه بر اساس شاخص‌های Ni و ITI(i)
Table 4 Ranking of wells in the region based on Ni and ITI(i) indices

Rank ITI(i)	Well	Rank ITI(i)	Well	Rank Ni	Well	Rank Ni	Well
1.00	W ₁₄	1.00	W ₁	0.00	W ₁₄	0.00	W ₁
1.00	W ₁₅	1.00	W ₂	0.00	W ₁₅	0.00	W ₂
1.00	W ₁₆	1.00	W ₃	0.00	W ₁₆	0.00	W ₃
1.00	W ₁₇	1.00	W ₄	0.00	W ₁₇	0.00	W ₄
1.00	W ₁₈	1.00	W ₅	0.00	W ₁₈	0.00	W ₅
1.00	W ₁₉	1.00	W ₆	0.00	W ₁₉	0.00	W ₆
1.00	W ₂₀	1.00	W ₇	0.00	W ₂₀	0.00	W ₇
1.00	W ₂₁	1.00	W ₈	0.00	W ₂₁	0.00	W ₈
1.06	W ₂₂	1.00	W ₉	0.06	W ₂₂	0.00	W ₉
1.00	W ₂₃	1.00	W ₁₀	0.00	W ₂₃	0.00	W ₁₀
1.00	W ₂₄	1.00	W ₁₁	0.00	W ₂₄	0.00	W ₁₁
1.00	W ₂₅	1.00	W ₁₂	0.00	W ₂₅	0.00	W ₁₂
		1.00	W ₁₃			0.00	W ₁₃

۴- نتیجه‌گیری

۱- از بین ۲۵ چاه موجود در منطقه مورد مطالعه، ۱۵ حلقه چاه به عنوان چاه مؤثر و بقیه چاه‌ها به عنوان چاه‌های کم‌اهمیت شناخته می‌شوند.

۲- در دوره زمانی ۲ YI (۱۳۹۳-۱۳۹۴) ۱۹ حلقه چاه به عنوان چاه مؤثر انتخاب شدند که در دوره زمانی ۳ YI (۱۳۹۵-۱۳۹۷) این تعداد به ۱۷ حلقه چاه تقلیل پیدا کرد.

در این پژوهش پارامتر کروم آب زیرزمینی چاه‌های مختلف آبخوان دشت بیرجند با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی و تئوری آنتروپی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین جهت در نظر گرفتن عامل زمان در تغییرات این روش در دو دوره زمانی ۲ و ۳ YI انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که :



سپاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی به شماره ابلاغیه ۱۳۹۸/۵/۱۰۹۸۵ مورخ ۱۳۹۸/۰۶/۱۰ با استفاده از اعتبارات پژوهشی شرکت آب و فاضلاب استان خراسان جنوبی انجام شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می گردد.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های این پژوهش از شرکت آب و فاضلاب استان خراسان جنوبی اخذ شده است که بعد از اخذ مجوز از این شرکت قابل ارائه می باشد.

۳- بر اساس تئوری آنتروپی نشان داده شد که کلیه چاه‌های موجود در منطقه از اهمیت یکسانی در طراحی شبکه پایش برخوردار هستند.

البته پیشنهاد می‌شود که تمامی بررسی‌های صورت گرفته در این پژوهش برای شبکه‌های پایش چند دشت دیگر انجام و نتایج با نتایج حاصل از این پژوهش مقایسه گردد. حصول نتایج مشابه می‌تواند اطمینان بیشتر از صحت نتایج به دست آمده و مباحث مطرح شده در این پژوهش باشد. همچنین بررسی‌های صورت گرفته در این پژوهش جهت توسعه شبکه پایش فصلی و شبکه پایش مبتنی بر چند پارامتر کیفی برای محققین آینده استفاده گردد.

References

- Alves, J. P. H. A., Fonseca, L. C., Chielle, R. S. A. and Macedo, L. C. B. (2018). Monitoring water quality of the Sergipe River basin: an evaluation using multivariate data analysis. *Revista Brasileira de Recursos Hidricos Brazilian. J. Water Resour.*, 23, 1-12.
- Asgari, M. S. (2011). Hydrochemical study of Birjand aquifer. M.Sc., Faculty of Engineering, Department of Mining Engineering, Birjand University [In Persian].
- Asgharimoghaddam, A. and Adigozalpour, A. (2016). Investigation of Aluminum, Iron, Manganese, Chromium and Cadmium Concentrations in Groundwater of Oshnavieh Plain. Iran. *J. Ecohydro.*, 3, 167-179 [In Persian].
- Babaeihessar, S., Hamdami, Q. and Ghasemieh, H. (2016). Identify the Effective Wells in Determination of Groundwater Depth in Urmia Plain Using Principle Component Analysis. *J. Water. Soil.*, 31, 10-50 [In Persian].
- Bazrafshan, J. and Hejabi, S. (2017). Drought Monitoring Methods. University of Tehran Press [In Persian].
- Gurunathan, K. and Ravichandran, S. (1994). Analysis of water quality data using a multivariate statistical technique- a case study. *IAHS Pub*, 219pp.
- Farpoor, F., Ramezani, Y. and Akbarpour, A. (2019). Numerical Simulation of Chromium Changes Trend in Aquifer of Birjand plain. Iran. *J. Irrig. Drain.*, 12(5), 1203-1216 [In Persian].
- Hooshangi, N., Aleshaikh, A. A. and Nadiri, A. A. (2015). Optimization of Piezometers Number for Groundwater Level Prediction Using PCA and Geostatistical Methods. *Water. Soil. Sci.*, 25, 53-66.
- Hu, S., Luo, T. and Jing, C. (2013). Principal component analysis of fluoride geochemistry of groundwater in Shanxi and Inner Mongolia, China. *J. Geo. Explor.*, 135, 124-129.
- Ishtiaq, N., Anisa, K. and Abdul, H. (2017). Evaluation of seasonal variability in surface water quality of Shallow Valley Lake, Kashmir, India, using multivariate statistical techniques. *Pollu.*, 3, 349-362.
- Jafarzadeh, A. and Khasheisiuki, A. (2018). Performance examination of optimization model of groundwater monitoring network based on Gray wolf and Neural network (GNM) (Case study: Birjand plain). *J. Irrig. Water. Engin.*, 8, 121-139.
- Kavusi, M., Khasheisiuki, A. and Dastourani, M. (2020). Optimal Design of Groundwater Monitoring Network Using the Combined



- Election-Kriging Method. Springer;European Water. Res. Asso. (EWRA), 34, 2503- 2516.
- Kavusi, M., Khasheisiuki, A., Porrezabilondi, M. and Najafi, M. H. (2019). Application of New LSSVM-PSO Optimization-Simulation Model in Designing Optimal Groundwater Level Network Monitoring. Iran. J. Ecohydro., 5, 1306-1319.
- Khodaverdi, M., Hashemi, S. R., Khasheisiuki, A. and Porrezabilondi, M. (2020). Optimal Design of Groundwater-Quality Sampling Networks with MOPSO-GS (Case Study: Neyshabour Plain). J. Water. Irrig. Manag. (J. Agric.), 9, 199-210 [In Persian].
- Markus, M., Knapp, H. V. and Tasker, G. D. (2003). Entropy and generalized least square methods in assessment of the regional value of stream gages. J. Hydro., 283: 107-121.
- Mohammadzadeh, H. and Heydarizad, M. (2011). Hydrochemical and stable isotopes study (O18 and H2 surface and groundwater resources) Andarkh Karstic region (north of Mashhad). Earth. Sci. Res., 2, 59-69 [In Persian].
- Mogheir, Y. and Singh, V. P. (2003). Specification of information needs for groundwater management planning in developing country. Groundwater Hydrology, Balema Publisher, Tokyo, 2, 3-20.
- Mogheir, Y., De Lima, J. L. M. P. and Singh, V. P. (2004). Characterizing the spatial variability of groundwater quality using the entropy theory: I. Synthetic data. Hydro. Pro., 18(11), 2165-2179.
- Noori, R., Abdoli, M. A., Ameri Ghasrodashti, A. and Jalili Ghazizade, M. (2009). Prediction of municipal solid waste generation with combination of support vector machine and principal component analysis: A case study of Mashhad. Enviro. Pro. Sust. Ener., 28, 249-258 [In Persian].
- Noorighidari, M. H. (2013). Determition of Effective Wells to Monitor the Ground Water Level Using the Principal Components Analysis. J. Sci. Techno. Agri. Nat. Resour., 17, 149-159 [In Persian].
- Ouyang, Y. (2005). Evaluation of river water quality monitoringstations by principal component analysis. Water. Res., 39, 2621-2635.
- Petersen, W. (2001). Process identification by principal component analysis of river water-quality data. Eco. Model., 138.
- Rahnama, S. and Sayari, N. (2019). Survey and Trends of Chemical Water Quality Parameters of Tajan River Water Quality Using Principal Component Analysis and Aqua Chem Software. Human. Enviro., 48, 13-25 [In Persian].
- Rajaei, Q., Hasanpour, M. and Mehdinejad, M. H. (2012). Heavy Metals Concentration (Zinc, Lead, Chrome and Cadmium) in Water and Sediments of Gorgan Gulf and Estuarine Gorganroud River, Iran. Health. Sys. Res., 8, 748-756 [In Persian].
- Rezaei, E., Khasheisuki, A. and Shahidi, A. (2015). Design of Groundwater Level Monitoring Network, Using the Model of Least Squares Support Vector Machine (LS-SVM). Iran. J. Soil. Water. Res., 45, 389-396 [In Persian].
- Sanchez- Martos, F., Jimenez- Espinosa, R. and Pulido- Bosch, A. (2001). Mapping groundwater quality variables using PCA and geostatistics: a case study of Bajo Andarax, southeastern Spain. Hydro. Sci. J., 46, 227- 242.
- Shahriyari, A., Goleirozy, K. and NOSHIN, S. (2010). Muscular concentration of cadmium and lead in carp, mullet and kutum of the Gorgan Bay, Caspian Sea. Iran. Fish. Sci. Rese. Inst., 19, 95-100 [In Persian].
- Shahryari, T., Moashery, B. and Sharifzadeh, G. (2011). Concentrations of chromium and copper in the ground water and drinking water distribution network of Birjand, 2009-2010. J. Birjand Univ Med Sci., 18 (1): 62-67 [In Persian].
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication, Bell. Sys. Tech. J., 27:379-423.
- Zhao, Y., Xia, X. H., Yang, Z. F. and Wang, F. (2012). Assessment of water quality in Baiyangdian Lake using multivariate statistical techniques. Proc. Enviro. Sci., 13, 1213-1226.



Research Paper

Comparison of Birjand Plain Aquifer Chromium Monitoring Network Using Principal Component Analysis (PCA) and Entropy Theory**Abbas KhasheiSiuki^{1*}, Ali Shahidi² and Samira Rahnama³**¹Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran²Assoc. Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran³Ph.D. Scholar, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran***Corresponding author:** abbaskhashei@birjand.ac.ir**Received:** October 25, 2020**Revised:** December 12, 2020**Accepted:** December 23, 2020**Abstract**

In order to efficiently and effectively manage groundwater resources, it is very important to determine the important points for sampling in terms of reducing the sample size and saving cost and time. In this study, the main chrome monitoring network of Birjand plain aquifer was designed using principal component analysis method and entropy theory, which is a practical method in evaluating quality monitoring systems. For this purpose, 25 aquifers of Birjand plain with a statistical length of 5 yr (2015-2019) were surveyed. In the study area, the average annual chromium (hexavalent) of groundwater was studied using principal component analysis technique and entropy theory to determine the effective sampling wells in the aquifer of this plain. The results showed that out of 25 wells in the study area, 15 wells can be introduced as groundwater chromium index wells of Birjand plain aquifer having a good distribution in the area that can play an important role in reducing sampling costs. Moreover, in order to consider the time factor in the changes, this method was performed in two time periods of 2 and 3 yr. The results showed that in the period of 2 yr (2015-2016), 19 wells were selected as effective wells, while the number reduced to 17 wells in the period of 3 yr (2017-2019). Entropy theory showed that all wells in the region are of equal importance in monitoring network design.

Keywords: Birjand Plain; Effective Well; Groundwater; Principal Component Analysis