Archive of SID

# بهینه‌سازی تعداد پیزومترها در پیش‌بینی سطح آب‌های زیرزمینی با روش‌های تحلیل عاملی (مطالعه موردی: دشت میناب)

ام‌البنین بذرافشان*[۱]، زهرا گرکانی نژاد مشیزی[۲]

تاریخ ارسال:۱۳۹۵/۱۱/۲۴
تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۰۵/۰۶

## چکیده

به‌دلیل کمبود بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک و در نتیجه محدود بودن منابع آب‌های سطحی در این مناطق، مصرف آب در بخش کشاورزی، صنعت و شرب به‌شدت به آب زیرزمینی متکی است. در برداشت‌های صحرایی مثل نمونه‌برداری از عمق آب در چاه‌ها، تعیین نقاط مهم جهت نمونه‌برداری به لحاظ کاهش حجم نمونه‌ها و صرفه-جویی در هزینه و زمان بسیار مهم است. در این مقاله، از آنالیز مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای جهت تعیین چاه-های مؤثر برای تعیین تراز سطح ایستابی سفره آب زیرزمینی دشت میناب واقع در استان هرمزگان و حذف چاه‌های کم‌اهمیت استفاده شده است. برای این منظور، ۳۸ چاه پیزومتری در منطقه مورد مطالعه بررسی گردید و با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی، اهمیت نسبی هر چاه بین ۰ تا ۱ محاسبه گردید. بررسی به‌عمل آمده نشان داد با حذف چاه-هایی که اهمیت نسبی آن‌ها کمتر از ۰/۷ است، ضریب تغییرات سطح آب زیرزمینی نسبت به حالتی که از تمامی چاه-ها استفاده می‌گردید؛ افزایش چندانی نمی‌کند. با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، پیزومترها به سه خوشه تقسیم‌بندی شدند که از بین خوشه‌ها، خوشه سه با ۱۲ پیزومتر معرف بهتری از پیزومترها بود و کمترین خطا را داشت. درنهایت تحلیل خوشه‌ای با خطای کمتر نسبت به روش PCA، ملاک نتیجه‌گیری قرار گرفت.

**کلمات کلیدی: تحلیل مؤلفه اصلی، تحلیل خوشه‌ای، کمیت آب زیرزمینی، دشت میناب**

[۱] استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس ،ایران. تلفن تماس: ۳۳۷۱۱۰۴۹-۰۷۶؛ O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir (مسئول مکاتبه)
[۲] دانشجوی مقطع دکتری، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. ۰۷۶-۳۳۷۱۱۰۴۹؛ Z.gerkani@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

## مقدمه

آب‌های زیرزمینی، بزرگ‌ترین ذخیره قابل دسترس آب شیرین در کره زمین هستند. در مناطقی از کره زمین که منابع آب سطحی محدود بوده و یا به راحتی قابل دسترس نیست، نیاز انسان‌ها به آب را می‌توان از طریق آب‌های زیرزمینی که در همه جا به طور وسیع و گسترده پخش شده‌اند؛ برطرف نمود (رجائی و پوراصلان، ۱۳۹۴). براساس شرایط اقلیمی، جغرافیایی و توپوگرافی، بخش وسیعی از کشور جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود و از ویژگی‌های این مناطق، زیاد بودن میزان تبخیروتعرق در مقابل ناچیز بودن مقدار بارندگی سالیانه و در نتیجه عدم وجود جریان‌های آب سطحی است (رضیئی، ۱۳۹۴؛ رهنما و همکاران، ۱۳۸۷). بنابراین آب‌های زیرزمینی به‌عنوان تنها منبع مورد اعتماد مصرف آب در زمینه‌های شرب، کشاورزی و صنعت در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می شوند (هوشنگی و همکاران، ۱۳۹۴؛ قدم‌پور و شقاقیان، ۱۳۹۰). در مناطق کم‌آب، مدیریت صحیح این ذخایر ارزشمند، شناسایی، مدل‌سازی و پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی در دشت‌ها جهت برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و استفاده بهتر و بهینه‌تر از پتانسیل‌های آبی موجود ضرورت بیشتری دارد (رجائی و پوراصلان، ۱۳۹۴؛ محتشم و همکاران، ۱۳۸۹). هدف از طراحی شبکه چاه‌های پیزومتری، پایش کیفیت و سطح آب زیرزمینی جهت مدیریت بهره‌برداری از آبخوان است که در پیش‌بینی نشست زمین نیز مؤثر است (نوری قیداری، ۱۳۹۲). مدیریت صحیح، نیازمند شبکه سنجشی است که قادر به جمع‌آوری متغیرهای هیدرولوژیکی باشد. ارزیابی این شبکه و تعیین تعداد ایستگاه‌های پایش اصلی و فرعی در آن، گامی مهم در بهبود کارآیی و به هنگام‌سازی شبکه پایش است (هوشنگی و همکاران، ۱۳۹۴). از روش‌های بهینه-سازی شبکه پایش سطح آب زیرزمینی می‌توان روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تحلیل خوشه‌ای را نام برد. PCA، یکی از تکنیک‌های کاهش داده بوده و براساس شناسایی مؤلفه‌های توصیف کننده واریانس سامانه بوده و در تعیین چاه‌های مؤثر در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. هدف از تحلیل خوشه‌ای نیز، اولاً پیدا کردن دسته‌های واقعی افراد و ثانیاً کاهش تعداد داده‌هاست (نوری قیداری، ۱۳۹۱). در این بخش، بعضی از تحقیقات انجام شده در این زمینه به‌طور مختصر توضیح داده می‌شود.

Khan و همکاران (۲۰۰۸)، به‌منظور بهینه‌سازی شبکه‌های نظارت آب‌های زیرزمینی در جنوب حوضه موری‌دارلینگ[1] از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده کردند. نتایج نشان داد تفاوت کلی سطح آب زیرزمینی بین شبکه اصلی و شبکه بهینه-سازی شده بعد از فرآیند PCA، کمتر از ۲۰٪ است، در حالی که تعداد کل پیزومترها در شبکه بهینه‌سازی شده، ۶۳٪ کاهش یافته است.

Yakirevich و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از نظریه اطلاعات به پیشنهاد روشی برای افزایش نظارت بر شبکه‌های زیرزمینی (SMN) پرداختند. وی با توجه به نتایج بهینه‌سازی، مدل طراحی شده را مهم-ترین عامل در حداکثرسازی اخذ اطلاعات و کاهش عدم قطعیت در مدل‌سازی جریان زیرسطحی دانسته-اند.

نوری و همکاران (۱۳۸۶)، برای ارزیابی ایستگاه-های کنترل پارامترهای کیفی آب رودخانه کارون، از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل فاکتورهای اصلی استفاده کردند. نتایج نشان داد که از مجموع هشت ایستگاه مورد مطالعه می‌توان یک ایستگاه را به-عنوان ایستگاه فرعی معرفی کرد.

مدرس و همکاران (۱۳۸۹)، با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در ۱۲ حوزه آبخیز در سطح کشور، اقدام به تعیین مؤثرترین عامل‌ها کردند. سپس بر پایه این عامل‌ها سه منطقه همگن با استفاده از تحلیل خوشه‌ای جداسازی شد. نتایج، نشان‌گر تأثیر برتر سه عامل شاخص خشکی دومارتن، شاخصپوشش گیاهی و درصد گستره سازندهای حساس به فرسایش در میزان تولید رسوب بوده است.

[1] Muri Darling

www.SID.ir

Archive of SID

سامانی و همکاران (۱۳۹۰)، جهت ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت اوان از روش آماری تحلیل خوشه-ای استفاده کردند. با توجه به نتایج حاصل، سفره آبدار از لحاظ کیفی به سه منطقه تقسیم‌بندی شد. در نهایت بررسی کیفی انجام شده نشان داد که نمونه‌های واقع در گروه اول، بهترین کیفیت و نمونه‌های واقع در گروه سوم، بدترین کیفیت را دارا هستند. مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی در این منطقه، واکنش بین آب و سازندهای زمین‌شناسی و تبادل یونی معکوس هستند.

رضایی و امیری (۱۳۹۱)، در دشت لنجانات اصفهان با استفاده از تحلیل عاملی به ارزیابی تغییرات کیفی آب زیرزمینی پرداخته‌اند و با استفاده از 41 مشخصه انتخابی که دارای همبستگی قوی تا متوسط بودند، خوشه‌بندی داده‌ها و مشخصه‌ها و همچنین تجزیه و تحلیل‌های چند متغیره را انجام دادند. همبستگی منفی قوی بین وزن عامل و مقدار آنتروپی فلزات سنگین نشان می‌دهد که منشاء ورود و تغییرات مشخصه‌های عامل‌های ۲ ( با ۲۲/۴ درصد تغییرات بار عاملی) و ۳ ( با ۹/۱ درصد تغییرات بار عاملی) عوامل طبیعی بوده و فعالیت‌های انسانی کمترین تاثیر را در این مورد دارد.

نوری قیداری (۱۳۹۲)، از آنالیز مؤلفه‌های اصلی جهت تعیین چاه‌های مؤثر برای تعیین تراز سطح ایستابی سفره آب زیرزمینی در دشت قیدار واقع در استان زنجان استفاده کرد. بررسی به عمل آمده نشان داد با حذف چاه‌هایی که اهمیت نسبی آنها کمتر از ۰/۵ (که تعداد آنها نصف کل چاه‌هاست)، می‌باشد، ضریب تغییرات سطح آب زیرزمینی نسبت به حالتی که از تمامی چاه‌ها استفاده می‌گردید، افزایش چندانی نمی‌کند و خطای تعیین تراز سطح آب زیرزمینی، کمتر از ۱۳٪ خواهد بود.

بابائی حصار و همکاران (۱۳۹۵)، به شناسایی چاه-های مؤثر در تعیین عمق آب زیرزمینی دشت ارومیه با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی پرداختند. نتایج بدست آمده نشان داد که در آستانه ۱، تعداد ۱۲ حلقه چاه باقی مانده می‌ماند که حدود یک چهارم کل چاه-های مورد بررسی است و دارای کمترین ضریب تغییرات در مدل‌سازی تراز آب زیرزمینی است.

محمودی و همکاران (۱۳۹۵)، برای شناسایی عوامل مؤثر بر کیفیت منابع آب منطقه شیرامین، منشأیابی آن‌ها و تحلیل هیدروژئوشیمیایی آن‌ها از روش‌های تحلیل آماری چند متغیره (تحلیل مولفه-های اصلی (PCA) و تحلیل خوشه‌ای سلسله مرتبه‌ای (HCA)، گرافیکی و GIS استفاده کردند. نتایج حاصل نشان داد استفاده از روش‌های تحلیل‌های چندمتغیره آماری در شناخت عوامل مؤثر بر کیفیت آب و خوشه‌بندی آن‌ها خیلی مؤثر است. همچنین استفاده از روش‌های گرافیکی و GIS در درک فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی و مکان‌یابی آن‌ها کمک به‌سزایی می‌کند.

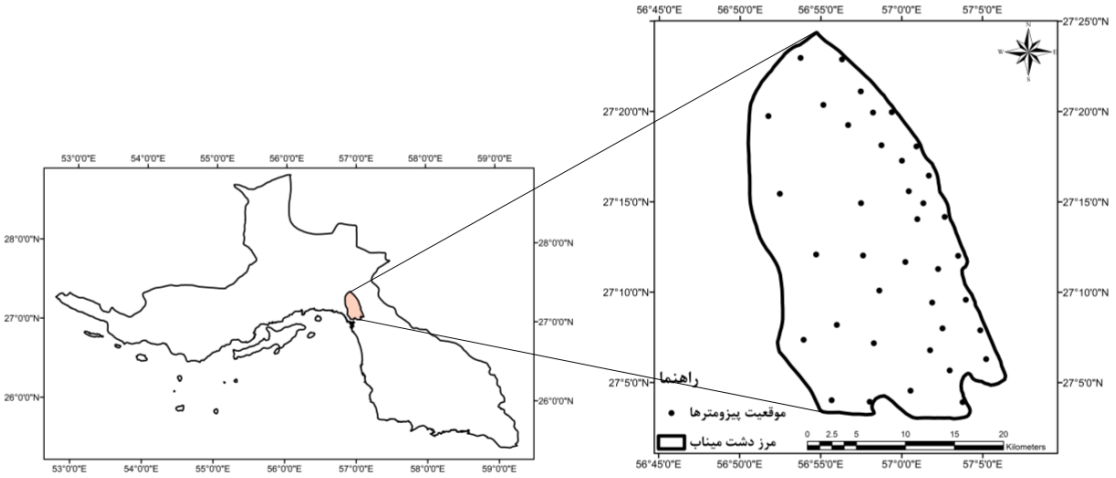
علاوه بر مکان و تعداد ایستگاه‌های پایش که نقش اساسی در تخمین سطح آب‌های زیرزمینی و نمایش کیفیت آن دارند (Sivapragasm et al., 2010)، عوامل زمانی و مکانی دیگری مانند خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان، میزان بارش، وضعیت توپوگرافی، موقعیت مکانی عوامل تغذیه و تخلیه در تغییرات سطح آب زیرزمینی مؤثر هستند که موجب پیچیده و غیرخطی شدن سیستم آب‌های زیرزمینی می‌شوند (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۵). لذا پیش-بینی دقیق سطح آب‌های زیرزمینی، نیازمند افزایش تعداد چاه‌های پیزومتری است. تعیین نقاط مهم در اندازه‌گیری به لحاظ کاهش تعداد، صرفه‌جویی در هزینه، زمان و افزایش دقت نمونه‌برداری بسیار مهم است (نوری قیداری، ۱۳۹۲). بررسی مطالعه محققین در گذشته نشان می‌دهد، از روش‌های آماری مختلف جهت کاهش حجم داده‌ها در مطالعات کمیت و کیفیت اب زیرزمینی استفاده نموده‌اند، اما تحقیقی که به ارزیابی کارایی دو روش PCA و HCA در بهینه‌سازی تعداد پیزومترها در دشت میناب بپردازد، مطالعه‌ای دیده نشده است. براین اساس، هدف از تحقیق حاضر، بهینه‌سازی تعداد پیزومترهای دشت میناب با رویکرد آماری جهت آنالیزهای کمی آب زیرزمینی جهت کاهش وقت و هزینه است.

www.SID.ir

Archive of SID

## منطقه مورد مطالعه

دشت میناب با وسعت ۸۵۶/۹۵ کیلومترمربع در فاصله ۷۰ کیلومتری از شرق بندرعباس واقع گردیده است. این دشت در محدوده جغرافیایی E ′ ۱۵ °۵۷- ′ ۴۸ °۵۶ و N ′ ۲۷ °۲۷- ′ ۱ °۲۶ قرار گرفته است. حداقل ارتفاع دشت برابر صفر در نزدیکی ساحل خلیج‌فارس و حداکثر آن ۹۰ متر در نزدیکی روستای گوربند است. متوسط وزنی ارتفاع برابر ۱۸/۵ متر از سطح دریاست و به طور کلی، ارتفاع دشت از شرق به طرف غرب و جنوب غرب کاهش می‌یابد (آب منطقه‌ای استان هرمزگان، ۱۳۹۲).




**شکل ۱: موقعیت منطقه و پیزومترهای مورد مطالعه**

## روش تحقیق

در راستای بهینه‌سازی شبکه پایش سطح آب زیرزمینی دشت میناب، ابتدا سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های درون‌یابی محاسبه و خطای هر نقطه محاسبه شد. سپس با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی و آزمون تحلیل خوشه‌ای (کلاستر)، تعداد نقاط بهینه به‌دست آمد. در ادامه هر کدام از مراحل شرح داده می‌شود.

## رزیابی روش‌های درون‌یابی در تخمین سطح آب‌های زیرزمینی

به برآورد ارزش‌های کمی برای نقاط فاقد داده، به کمک نقاط مجاور و معلوم درون‌یابی می‌گویند. این فرآیند به‌دلیل محدودیت داده‌های نقطه‌ای و ضرورت تدوین نقشه از کل یک پهنه، به منظور تهیه نقشه‌های هم‌ارزش انجام می‌گیرد (عساکره، ۱۳۸۷). با توجه به نقطه‌ای بودن برداشت اطلاعات در مطالعات جغرافیایی می‌توان به کمک درون‌یابی، داده‌ها را به سطح تعمیم داد (فرجی سبک‌بار و عزیزی، ۱۳۸۵). بعد از جستجو و آماده‌سازی داده‌ها که شامل یافتن خطا با تحلیل‌های ساده آماری، تحلیل روند داده‌های موجود و بررسی نحوه توزیع داده‌هاست، پیاده‌سازی مدل‌های قطعی و یا زمین‌آماری موجود جهت ایجاد سطح و در نهایت آنالیز سطوح و تفسیر نتایج انجام می‌گیرد. با توجه به این که روش‌های درون‌یابی در مناطق مختلف متفاوت‌اند و با تغییر مکان تغییر می‌کنند، نمی‌توان روش منتخب در یک منطقه را به سایر مناطق تعمیم داد (تقی‌زاده مهرجردی و همکاران، ۱۳۸۷). از جمله روش‌های پرکاربرد، روش‌های وزن‌دهی معکوس (IDW)، تابع پایه شعاعی (RBF)، کریجینگ ساده (SK)، کریجینگ عادی (OK) و کریجینگ عمومی (UK) هستند (Sun et al., 2009). یکی از روش‌های مقایسه روش‌های درون‌یابی، ریشه خطای میانگین مربعات (RMSE) است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum\left(Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)\right)^2} \quad (۱)$$

www.SID.ir

Archive of SID

که در آن Z(xi)، مقدار مشاهداتی و $\hat{Z}(x_i)$ مقدار برآورد شده است. در این مرحله، بهترین روش درون‌یابی برای سطح مشخص می‌شود و روشی که کمترین خطا را داشته باشد، به‌عنوان بهترین روش برای میان‌یابی انتخاب می‌شود. با توجه به نرمال نبودن داده‌ها در روش‌های کریجینگ تبدیل‌های لوگ و باکس- کاکس بر روی داده‌ها اعمال شد تا پیش فرض روش‌های کریجینگ که نرمال بودن داده‌هاست، برقرار شود (Salah, 2009). روش‌های IDW، RBF و Kriging بر روی مقدار متوسط سطح آب‌های زیرزمینی اعمال شد

**روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)**

PCA از روش‌های آماری چندمتغیره است که می‌توان از آن برای کاهش پیچیدگی تحلیل متغیرهای اولیه مسأله در مواردی که با حجم زیادی از اطلاعات روبرو هستیم و همچنین برای تفسیر بهتر اطلاعات استفاده نمود (Camdevyren et al., 2005). هدف از تجزیه مؤلفه‌های اصلی آن است که واریانس موجود در داده‌های چند متغیره را به مؤلفه‌هایی تجزیه کند که اولین مؤلفه تا آنجا که ممکن است علت بیشترین واریانس موجود در داده‌ها باشد (فرشادفر، ۱۳۸۴). با اعمال این روش، متغیرهای اولیه به مؤلفه‌های جدید و مستقل از یکدیگر (با ضریب همبستگی صفر برای هر دو مؤلفه) تبدیل می‌شوند. مؤلفه‌های جدید ایجاد شده، ترکیب خطی از متغیرهای اولیه هستند (Lu et al., 2003). با استفاده از تکنیک، ترکیباتی از P متغیر اولیه، X1، X2، . . . ، Xp، برای ایجاد p مؤلفه مستقل (معادل با تعداد متغیرهای اولیه مورد استفاده)، Z1، Z2، . . . ، Zp، ایجاد می‌شود. عدم همبستگی بین این مؤلفه‌ها، یک ویژگی مفید است؛ زیرا عدم همبستگی به این معنی است که مؤلفه‌ها جنبه‌های متفاوتی از متغیرهای اولیه را نمایان می‌سازند ( شیخ‌الاسلامی، ۱۳۹۳؛ Manly, 1986). در این روش به جای استفاده مستقیم از متغیرهای اولیه، ابتدا آن‌ها را به مؤلفه‌هایی تبدیل کرده و سپس از این مؤلفه‌ها به جای متغیرهای اولیه استفاده می‌گردد. اطلاعات متغیرهای اولیه با کمترین تلفات توسط مؤلفه‌های حاصل ارائه می‌شود (Johnson & Wichern, 1982).

در آنالیز مؤلفه‌های اصلی باید تعداد متغیرها (چاه‌ها)، p، بزرگتر مساوی تعداد تعداد سال‌های آماری (n)، باشد (Petersen, 2001). در این تحقیق، آمار سالانه سطح آب زیرزمینی ۳۸ چاه پیزومتری دشت میناب از سال ۱۳۶۵ تا سال ۱۳۹۴ در دسترس است، لذا تعداد داده‌ها و یا مشاهدات هر چاه ۲۶ مورد است و برای پایش هر چاه، از ۲۶ چاه مجاور استفاده شده است. بنابراین ماتریس داده‌ها، X، برای آنالیز مؤلفه‌های اصلی هر چاه یک ماتریس ۲۶×۲۶ است. وقتی ماتریس X برای یک چاه تعریف می‌گردد از داده‌های خود چاه استفاده نمی‌شود، بلکه تنها از ۲۶ چاه مجاور استفاده می‌شود. آنالیز مؤلفه‌های اصلی برای تک تک ماتریس‌های X، انجام می‌شود و ضریب همبستگی هر چاه با مؤلفه‌های اصلی از رابطه ۲ محاسبه می‌شود. $Corr(Z_j, X_i) = \lambda_j^{1/2} a_{i,j}$ (۲) در هر آنالیز مؤلفه اصلی، اگر ضریب هم‌بستگی یک چاه با مؤلفه‌های اصلی بیش از ۰/۹ باشد، آن چاه به‌عنوان چاه اصلی یا چاه مؤثر در پایش شناخته می‌شود (نوری قیداری، ۱۳۹۱؛ Gurunathan & Ravichandran,1994). بعد از مشخص شدن مولفه های اصلی با کمک آزمون PCA باید اهمیت نسبیهر یک از چاه‌ها مشخص گردد. برای محاسبه این کمیت، ابتدا تعداد دفعاتی که هر چاه، ضریب همبستگی بالای ۰/۹ با مولفه‌های PCA داشته باشد (نوری قیداری، ۱۳۹۲) شمارش و بر تعداد دفعاتی که هر چاه در همسایگی چاه‌های دیگر شمارش شده، تقسیم می‌گردد (رابطه ۳). عدد حاصل بین صفر تایک است که اهمیت نسبی چاه‌های پیزومتری را نشان می‌دهد. هر چقدر فراوانی مؤثر شناخته شدن یک چاه بالا باشد، اهمیت نسبی آن چاه بالا می‌رود. اهمیت نسبی هر چاه در پایش سطح آب زیرزمینی، از رابطه ۳ محاسبه می‌شود. این نسبت، اهمیت هر چاه را نسبت به چاه‌های دیگر نشان می‌دهد. پس می‌توان جهت صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ها، چاه‌های کم‌اهمیت را در

www.SID.ir

Archive of SID

پایش سطح آب زیرزمینی آبخوان حذف کرد. حذف چاه‌های کم‌اهمیت تا جایی ادامه پیدا می‌کند که متوسط ضریب تغییرات سطح آبخوان زیاد نباشد. برای این منظور باید به‌ترتیب چاه‌هایی که دارای اهمیت نسبی کمتر از ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و غیره هستند، حذف شوند و خطای ایجاد شده در سطح به‌دست آید (نوری قیداری، ۱۳۹۱). لذا حذف چاه‌های کم اهمیت تا جایی ادامه می‌یابد تا متوسط ضریب تغییرات سطح آبخوان زیاد نباشد.

$$\text{اهمیت نسبی هر چاه} = \frac{\text{مجموع دفعاتی که هر چاه در محاسبات چاه‌های دیگر به عنوان موثر شناخته شده}}{\text{مجموع دفعاتی که هر چاه در همسایگی چاه‌های دیگر ظاهر شده}} \quad (۳)$$

با استفاده از رابطه زیر، مقدار متوسط عدم قطعیت یا خطای پایش به ازای حذف چاه‌های غیرمؤثر قابل محاسبه است (Gurunathan & Ravichandran, 1994).

$$error = \frac{CV_m - CV_{m_0}}{CV_{m_0}} \times 100 \quad (۴)$$

در رابطه فوق، $CV_m$ مقدار متوسط ضریب تغییرات عمق آب زیرزمینی آبخوان بعد از حذف چاه‌های غیرمؤثر بوده و $CV_{m_0}$ مقدار متوسط ضریب تغییرات عمق آب زیرزمینی آبخوان با وجود همه چاه‌ها می‌باشد. ضریب تغییرات بعنوان یک شاخص پراکندگی، نشان‌دهنده تغییرات انحراف معیار نسبت به میانگین است، هرقدر این شاخص کمتر باشد، نشان دهنده کم بودن پراکندگی داده‌ها حول میانگین است.

### تحلیل خوشه‌ای

تحلیل خوشه‌ای، یک روش آماری است که مبتنی بر داده‌های کمی است. با توجه به این که این داده‌ها قابل اندازه‌گیری و محاسبه هستند، بنابراین نتیجه به‌دست آمده از این روش‌ها، دقیق‌تر و از اعتماد بیشتری برخوردار هستند (خسروی و همکاران، ۱۳۹۴). روش‌های تجزیه خوشه‌ای، عمل طبقه‌بندی را با استفاده از فرمول‌های ریاضی انجام می‌دهد (فرشادفر، ۱۳۸۴). طبقه‌بندی کردن به تعدادی دسته‌های معلوم مربوط می‌شود و هدف عملی، تخصیص مشاهدات جدید به یکی از این دسته‌هاست. دسته‌بندی کردن براساس مشابهت‌ها یا فواصل (عدم شباهت‌ها) انجام می‌شود (Johnson & Wichem, 2002). تجزیه خوشه‌ای اغلب به روش‌های HCA، KMC و FKM انجام می‌گیرد (اصغری مقدم و محبی، ۱۳۹۵). در این مطالعه از روش HCA برای گروه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی استفاده شده است. از ویژگی‌های مهم این روش ارائه نمودار گرافیکی دندوگرام است. روش خوشه‌ای حداقل واریانس وارداین روش در سال ۱۹۶۳ توسط وارد (Ward) پیشنهاد شده است (فرشادفر، ۱۳۸۴). در این روش در هر مرحله از تحلیل، ترکیب هر جفت از نمونه‌ها ممکن است مورد توجه قرار گرفته و هر دو دسته‌ای که ادغام آن‌ها سبب افزایش اندازه‌یواریانس به اندازه‌ی کمتری شود، در یک دسته قرار می‌گیرند، و این موضوع در مراحل بعدی گروه‌بندی نیز رعایت می‌گردد (سامانی، ۱۳۹۰).

### نتایج

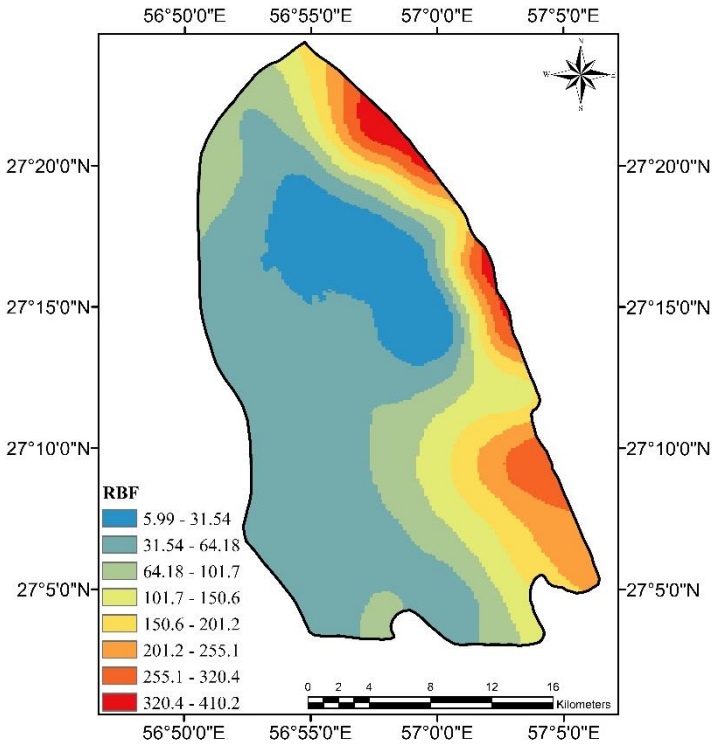
با استفاده از روش‌های درون‌یابی سعی شد در ابتدا حالت بهینه برای هر روش محاسبه و سپس با روش‌های دیگر مورد مقایسه قرار بگیرد. در نهایتروش چندگانه در تابع پایه شعاعی با RMSE برابر با ۰/۵۳۷ به‌عنوان بهترین روش تخمین سطح تعیین شد. بیشترین خطا مربوط به روش وزن‌دهی معکوس(IDW) بود که در آن میزان خطا، ۰/۷۹۷ محاسبه شد. روش اسپیلاین تنشی در تابع پایه شعاعی نیز با میزان خطای ۵۳۹/، دومین روش بهینه بود (جدول۱). مؤلفه اول PCA، بیش‌ترین واریانس را دارد و به‌ترتیب واریانس در مؤلفه‌های بعدی کاهش می‌یابد. جدول ۲، نتایج حاصل از اهمیت نسبی هر چاه را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

**جدول ۱: میزان خطا در هر یک از روش‌های میان‌یابی**

| روش درون یابی | فرمول تابع | نوع توابع | Nugget (C0) | Sill (C) | C0/C0+C | RMSE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| وزن‌دهی معکوس (IDW) | $Z(so) = \sum \lambda i \times Z(Si)$ | - | ۰/۳۴ | ۱/۲۴۳ | ۲/۱ | ۰/۷۹۷ |
| تابع پایه شعاعی (RBF) | $\psi(d) = ln\left(\frac{cd}{2}\right)^2 + E_1(cd)^2 + \gamma$ | اسپیلاین کاملا منظم | ۰/۰۹۸ | ۱/۰۱۲ | ۸/۸ | ۰/۵۴۵ |
| | $\psi(d) = \left(\sqrt{d^2 + c^2}\right)^{-1}$ | اسپیلاین تنشی | ۰/۰۳۴ | ۱/۰۴۵ | ۳/۱ | ۰/۵۳۹ |
| | $\psi(\mathrm{d}) = \sqrt{d^2 + c^2}$ | چندگانه | ۰/۰۰۹ | ۰/۲۴۵ | ۳/۵ | ۰/۵۳۷ |
| | $\psi(d) = ln\left(\frac{cd}{2}\right) + I_0(cd) + \gamma$ | چندگانه معکوس | ۰/۰۷۶ | ۰/۵۴۳ | ۱/۲ | ۰/۵۴۲ |
| | $\psi(d) = c^2 d^2 \ln(cd)$ | اسپیلاین صفحه نازک | ۰/۰۵۷ | ۰/۷۶۸ | ۶/۹ | ۰/۵۵۶ |
| کریجینگ ساده (SK) | $Z(x) = \mu + z(Xi)$ | دایره‌ای | ۰/۰۳۳ | ۱/۴۰۷ | ۲/۲ | ۰/۷۴۱ |
| | $Z(x) = m(x - \bar{x}) + \varepsilon'(X)$ | گوسی | ۰/۱۳۸ | ۱/۲۶۶ | ۹/۸ | ۰/۷۵۴ |
| | $Z(x) = \Delta\omega(x) + \varepsilon'(X)$ | کروی | ۰/۰۳۲ | ۱/۳۹۸ | ۲/۲ | ۰/۷۴۲ |
| | $Z(x) = m(x) + \varepsilon(\bar{z})$ | نمایی | ۰/۰۱۴ | ۱/۴۲۴ | ۰/۹۷ | ۰/۷۶۶ |
| کریجینگ عمومی (UK) | $Z(x) = m(x) + \varepsilon'(X)$ | دایره‌ای | ۰/۰۰۷ | ۰/۳۱۴ | ۲/۱ | ۰/۷۸۳ |
| | | گوسی | ۰/۰۲۵ | ۰/۲۷۲ | ۸/۴ | ۰/۷۹۰ |
| | | کروی | ۰ | ۰/۲۹۳ | ۰ | ۰/۷۸۰ |
| | | نمایی | ۰/۰۰۷ | ۰/۳۲۱ | ۲/۱ | ۰/۷۶۲ |




**شکل ۲: نقشه درون‌یابی پیزومترها با استفاده از روش چندگانه تابع پایه شعاعی**

www.SID.ir

Archive of SID

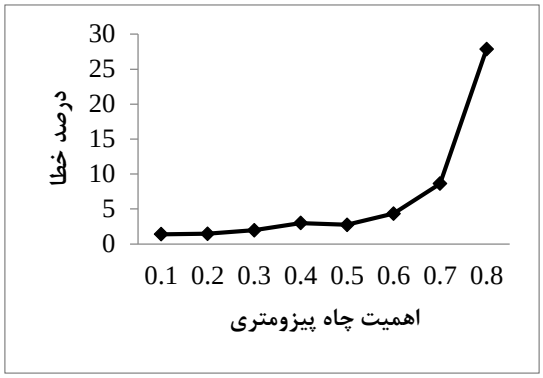
**جدول ۲: اهمیت نسبی محاسبه شده برای هر نقطه براساس دفعات تکرار و دفعات مؤثر بودن هر چاه در روش PCA**

| چاه | تکرار | تأثیر | نسبی | چاه | تکرار | تأثیر | نسبی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **۱** | ۱۵ | ۳ | ۰/۲ | **۲۱** | ۳۶ | ۲۲ | ۰/۶۱ |
| **۲** | ۱۶ | ۱۱ | ۰/۶۸ | **۲۳** | ۳۶ | ۲۳ | ۰/۶۳ |
| **۳** | ۱۹ | ۱۲ | ۰/۶۳ | **۲۴** | ۲۶ | ۱۹ | ۰/۷۳ |
| **۴** | ۲۰ | ۱۲ | ۰/۶ | **۲۵** | ۳۶ | ۲۳ | ۰/۶۳ |
| **۵** | ۲۲ | ۱۴ | ۰/۶۳ | **۲۶** | ۲۵ | ۱۸ | ۰/۷۲ |
| **۶** | ۲۳ | ۱۲ | ۰/۵۲ | **۲۷** | ۱۴ | ۵ | ۰/۳۵ |
| **۷** | ۲۴ | ۱۴ | ۰/۵۸ | **۲۸** | ۱۴ | ۱۱ | ۰/۷۸ |
| **۸** | ۲۳ | ۱۵ | ۰/۶۵ | **۲۹** | ۲۲ | ۱۱ | ۰/۵ |
| **۹** | ۲۸ | ۲۵ | ۰/۸۹ | **۳۰** | ۱۴ | ۱۰ | ۰/۷۱ |
| **۱۰** | ۳۰ | ۱۴ | ۰/۴۶ | **۳۱** | ۲۳ | ۱۶ | ۰/۶۹ |
| **۱۱** | ۳۶ | ۱۴ | ۰/۳۸ | **۳۲** | ۱۷ | ۱۸ | ۱/۰۵ |
| **۱۲** | ۳۷ | ۲۱ | ۰/۵۶ | **۳۳** | ۲۱ | ۱۶ | ۰/۷۶ |
| **۱۳** | ۳۷ | ۲۱ | ۰/۵۶ | **۳۷** | ۲۷ | ۲۱ | ۰/۷۷ |
| **۱۴** | ۳۵ | ۲۵ | ۰/۷۱ | **۳۸** | ۲۳ | ۱۷ | ۰/۷۳ |
| **۱۵** | ۳۸ | ۳۱ | ۰/۸۱ | **۴۱** | ۱۶ | ۱۱ | ۰/۶۸ |
| **۱۶** | ۳۶ | ۰ | ۰ | **۴۲** | ۱۶ | ۲ | ۰/۱۲ |
| **۱۷** | ۳۳ | ۲۲ | ۰/۶۶ | **۴۳** | ۲۲ | ۸ | ۰/۳۶ |
| **۱۸** | ۳۷ | ۲۱ | ۰/۵۶ | **۴۵** | ۲۷ | ۱۶ | ۰/۵۹ |
| **۱۹** | ۳۷ | ۲۵ | ۰/۶۷ | **۴۷** | ۲۷ | ۲۱ | ۰/۷۷ |

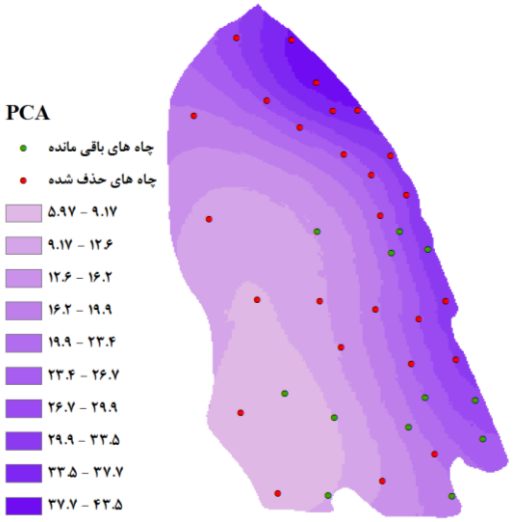
همان‌گونه که از شکل ۳ مشخص است، به ازای حذف چاه‌هایی که دارای اهمیت نسبی کمتر از ۰/۷هستند متوسط ضریب تغییرات ۸/۶۳ درصد تغییر می‌کند. یعنی با حذف ۲۶ چاه، خطای برآورد سطح آب زیرزمینی ۸/۶۳ درصد نسبت به حالتی که از تمامی چاه‌ها استفاده می‌شد، افزایش می‌یابد. در تحقیقی که توسط هوشنگی و همکارانش (۱۳۹۴) صورت پذیرفت، چاه‌هایی که اهمیت نسبی کمتر از ۰/۳ داشتند حذف شدند و میزان ضریب تغییرات ۱۱ درصد تغییر کرد. همچنین در تحقیقی دیگر که توسط نوری قیداری (۱۳۹۱) انجام شد، چاه‌هایی که اهمیت نسبی کمتر از ۰/۵ داشتند حذف شدند و میزان ضریب تغییرات، ۱۳ درصد تغییر کرد. بعد از حذف ۲۶ چاه به‌وسیله روش PCA، درون‌یابی سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش تابع پایه شعاعی چندگانه انجام شد و میزان RMSE برای ۱۲ چاه باقی باقی-مانده، ۰/۵۳۹ محاسبه گردید، که این میزان در مقایسه با RMSE که برای تمام چاه‌ها برآورد شد، تغییر چندانی نکرده است.

www.SID.ir

Archive of SID




**شکل ۳ : نمودار خطای ایجاد شده در برآورد سطح آب‌های زیرزمینی با حذف چاه‌های پیزومتری براساس اهمیت نسبی**




**شکل ۴: چاه‌های حذف شده و باقی‌مانده در روش PCA**

## نتایج تحلیل خوشه‌ای

مرحله‌های خوشه‌بندی و ضریب ادغام برای پیزومترهای منطقه، به‌صورت تراکمی در جدول ۳ نشان داده شده است. در این جدول، ردیف اول مراحل خوشه‌بندی پیزومترها را نشان می‌دهد که در ۳۷ مرحله صورت گرفته است. در هر مرحله از خوشه-بندی، دو پیزومتری که کمترین فاصله یا تفاوت را دارند، با هم ترکیب می‌شوند و در یک دسته قرار می-گیرند. ستون دوم جدول، از ترکیب خوشه اول و خوشه دوم به‌وجود آمده که نزدیکی خاصی به هم دارند. ستون چهارم جدول، مرحله تکرار ترکیب پیزومتر خوشه اول آن ردیف را در مرحله‌های ترکیبی بعدی نشان می‌دهد. براساس این رقم‌ها مشخص می-شود که خوشه‌های عضو این دسته در کدام یک از دیگر مراحل خوشه‌بندی تکرار می‌شوند

.

www.SID.ir

Archive of SID

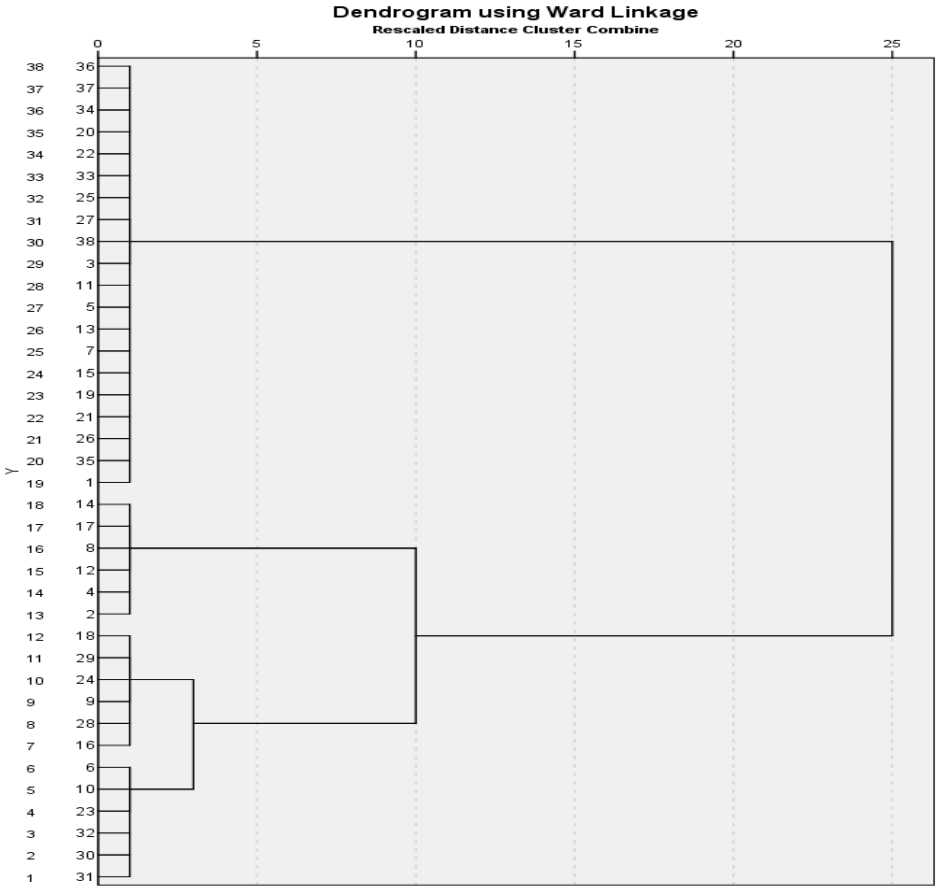
**جدول شماره۳: ترکیب تراکمی و مرحله‌های خوشه‌بندی پیزومترها در دشت میناب**

| تکرار در مرحله‌های بعدی | ضریب ادغام | ترکیب خوشه‌ها | | مرحله‌های خوشه‌بندی |
|---|---|---|---|---|
| | | خوشه دوم | خوشه اول | * |
| ۵ | ۰/۰۰۵ | ۳۷ | ۳۶ | ۱ |
| ۱۰ | ۰/۰۶۰ | ۲۷ | ۲۵ | ۲ |
| ۶ | ۰/۱۳۱ | ۲۲ | ۲۰ | ۳ |
| ۱۷ | ۰/۲۳۵ | ۱۱ | ۳ | ۴ |
| ۱۸ | ۰/۳۵۰ | ۳۶ | ۳۴ | ۵ |
| ۱۸ | ۰/۴۸۵ | ۳۳ | ۲۰ | ۶ |
| ۸ | ۰/۶۳۰ | ۱۳ | ۵ | ۷ |
| ۱۱ | ۰/۸۲۶ | ۷ | ۵ | ۸ |
| ۲۰ | ۱/۱۴۱ | ۳۵ | ۲۶ | ۹ |
| ۲۱ | ۱/۴۷۶ | ۳۸ | ۲۵ | ۱۰ |
| ۱۷ | ۱/۹۸۶ | ۱۵ | ۵ | ۱۱ |
| ۱۹ | ۲/۵۵۲ | ۲۹ | ۱۸ | ۱۲ |
| ۲۵ | ۳/۲۶۱ | ۱۲ | ۸ | ۱۳ |
| ۲۶ | ۳/۹۹۶ | ۲۱ | ۱۹ | ۱۴ |
| ۲۳ | ۴/۷۳۲ | ۲۸ | ۹ | ۱۵ |
| ۲۸ | ۵/۵۴۹ | ۳۲ | ۲۳ | ۱۶ |
| ۲۹ | ۶/۴۳۰ | ۵ | ۳ | ۱۷ |
| ۲۱ | ۷/۳۳۶ | ۳۴ | ۲۰ | ۱۸ |
| ۳۰ | ۸/۳۳۲ | ۲۴ | ۱۸ | ۱۹ |
| ۲۶ | ۹/۳۱۱ | ۲۶ | ۱ | ۲۰ |
| ۳۱ | ۱۰/۶۳۸ | ۲۵ | ۲۰ | ۲۱ |
| ۲۸ | ۱۲/۱۵۵ | ۳۱ | ۳۰ | ۲۲ |
| ۳۰ | ۱۴/۱۶۱ | ۱۶ | ۹ | ۲۳ |
| ۳۴ | ۱۶/۲۳۵ | ۱۷ | ۱۴ | ۲۴ |
| ۳۲ | ۱۸/۶۹۵ | ۸ | ۴ | ۲۵ |
| ۲۹ | ۲۱/۹۰۰ | ۱۹ | ۱ | ۲۶ |
| ۳۳ | ۲۵/۲۹۲ | ۱۰ | ۶ | ۲۷ |
| ۳۳ | ۳۰/۴۹۲ | ۳۰ | ۲۳ | ۲۸ |
| ۳۱ | ۳۶/۱۲۶ | ۳ | ۱ | ۲۹ |
| ۳۵ | ۴۲/۰۳۶ | ۱۸ | ۹ | ۳۰ |
| ۳۷ | ۵۰/۹۴۵ | ۲۰ | ۱ | ۳۱ |
| ۳۴ | ۶۰/۴۷۰ | ۴ | ۲ | ۳۲ |
| ۳۵ | ۷۴/۳۸۵ | ۲۳ | ۶ | ۳۳ |
| ۳۶ | ۹۱/۰۱۷ | ۱۴ | ۲ | ۳۴ |
| ۳۶ | ۱۳۹/۹۰۵ | ۹ | ۶ | ۳۵ |
| ۳۷ | ۳۶۵/۹۹۷ | ۶ | ۲ | ۳۶ |
| ۰ | ۹۶۲/۰۰۰ | ۲ | ۱ | ۳۷ |

www.SID.ir

Archive of SID

در شکل ۵، دندوگرام پیزومترها ارائه شده است، با توجه به شکل دندوگرام و ضریب تشابه، پیزومترها به ۳ خوشه تقسیم شده‌اند. تعیین تعداد خوشه‌ها به صورت قراردادی است و با توجه به مقیاس مطالعات می‌توان با جابه‌جا کردن خط فنون یا خط تقسیم، تعداد خوشه‌ها را کم یا زیاد کرد. خط فنون، یک خط تصوری است که جهت تعیین خوشه‌ها از طول یک دندوگرام کشیده می‌شود. طبق نظر گولر و همکاران (۲۰۰۲) تعداد خوشه‌ها به‌وسیله حرکت دادن خط فنون بر روی دندوگرام به راست یا چپ می‌تواند به‌ترتیب کاهش یا افزایش یابد. در خوشه‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۲۰، ۶ و ۱۲ چاه قرار گرفت. در ادامه هر یک از خوشه‌ها به‌وسیله روش میان‌یابی تابع پایه شعاعی (RBF) مورد بررسی قرار گرفت و میزان RMSE برای هر یک از خوشه‌ها برآورد شد (جدول ۴). نتایج درون‌یابی خوشه سه که ۱۲ چاه در آن قرار دارد، نشان داد که این خوشه نسبت به دو خوشه دیگر، دارای کمترین خطا (RMSE) بو .




**شکل۵: دندوگرام پیزومترهای دشت میناب به روش تحلیل خوشه‌ای**

**جدول شماره۴: میزان خطا برای هریک از خوشه‌ها**

| روش درون‌یابی | شماره خوشه | RMSE |
|---|---|---|
| | ۱ | ۰/۲۷ |
| تابع پایه شعاعی (RBF) | ۲ | ۰/۴۴ |
| | ۳ | ۰/۲۴ |

www.SID.ir

Archive of SID

## نتیجه‌گیری

پرهزینه بودن و زمان‌بر بودن حفر و نگه‌داری چاه-های پیزومتری جهت تخمین سطح آب‌های زیرزمینی، ضرورت بهینه کردن تعداد چاه‌های پایش سطح آب زیرزمینی را می‌رساند. هدف این تحقیق، تعیین تعداد بهینه چاههای پیزومتری جهت تخمین سطح آبهای زیرزمینی در آبخوان دشت میناب است. لذا بعد از اخذ اطلاعات ۳۸ چاه پیزومتری در سطح دشت، ۲۶ چاه پیزومتری کم‌اهمیت در روش PCA و روش تحلیل خوشه‌ای حذف گردید. با حذف چاه‌ها در روش PCA، خطای برآورد سطح آب زیرزمینی ۸/۶۳ درصد نسبت به حالتی که از تمامی چاه‌ها استفاده می‌شد، افزایش یافت. میزان RMSE در روش PCA برابر با ۰/۵۲ و در روش تحلیل خوشه‌ای ۰/۲۴ بود. با توجه به این که میزان خطا در روش تحلیل خوشه‌ای، کمتر از روش PCA بود بنابراین از اعتبار بیشتری برخوردار است. لذا در این بررسی ملاک نتیجه‌گیری قرار گرفت. لذا نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای نشان داد که با تعداد چاه-های کمتر نیز می‌توان تغییرات سطح آب را پیش‌بینی کرد. و با صرف هزینه کمتر در نگهداری و اندازه‌گیری چاه‌های پیزومتری نیز می‌توان تخمین قابل قبولی از کمیت آبخوان داشت. براین اساس، تعداد چاه‌های حذف شده می‌تواند تابع عواملی چون وسعت منطقه، تراکم نقاط و نحوه شکل‌گیری شبکه پایش اولیه، ضخامت آبخوان و نوع کاربری اراضی باشد (Beveridge et al., 2012). نتایج نوری قیداری (۱۳۹۱)، هوشنگی و همکاران (۱۳۹۲) و بابائی حصار و همکاران (۱۳۹۴) نیز در بهینه‌سازی تعداد پیزومترها با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی، حاکی از نتایج قابل قبول روش فوق بوده است. بررسی انجام شده توسط نوری قیداری (۱۳۹۱) در دشت قیدار نشان داد با حذف چاه‌هایی با اهمیت نسبی کمتر از ۰/۵، خطای تراز سطح آب زیرزمینی کمتر از ۱۳ درصد افزایش می-یابد. این رقم در مطالعه هوشنگی و همکارانش (۱۳۹۲) در دشت تبریز ۱۴ درصد و در بررسی بابائی حصار و همکاران (۱۳۹۴) حدود ۱/۵ درصد بود. نتایج حاصل از تحقیق فوق بیانگر این است که با حذف ۲۶ نقطه از شبکه پایش سطح آب زیرزمینی دشت میناب، مقدار خطای حاصله قابل پذیرش بوده و دقت اندازه‌گیری سطح آب در چاه‌های پیزومتری باقی مانده به اندازه همان دقت سطح اولیه است، علاوه بر اینکه در زمان و هزینه صرفه‌جویی می‌شود.

## منابع

بابایی حصار، س.، ق. همدمی و ه. قاسمیه. ۱۳۹۵. شناسایی چاه‌های مؤثر در تعیین عمق آب زیرزمینی دشت ارومیه با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۱(۱): ۵۰ – ۴۰.

تقی‌زاده مهرجردی، ر. ا.، م. زارعیان جهرمی، ش. محمودی، ا. حیدری و ف. سرمدیان. ۱۳۸۷. بررسی روش‌های درون‌یابی مکانی جهت تعیین تغییرات مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۲(۵): ۶۳-۷۰.

خسروی، ح.، ا. مرادی و ح. دارابی. ۱۳۹۴. شناسایی مناطق همگن از نظر کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از تحلیل عاملی و خوشه‌ای؛ مطالعه موردی دشت قیر استان فارس، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۶(۲۱): ۱۳۳- ۱۱۹.

رجائی، ط.، و ف. پوراصلان. ۱۳۹۴. پیش‌بینی زمانی و مکانی تراز آب زیرزمینی دشت داورزن، هیدروژئومورفولوژی، ۴: ۱۹- ۱.

رضایی، م. و و. امیری. ۱۳۹۱. ارزیابی تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت لنجانات با استفاده از تحلیل عاملی ترکیب شده با نظریه آنتروپی اطلاعات. مجله محیط شناسی، ۲: ۴۴- ۳۳.

www.SID.ir

Archive of SID

رضیئی، ط.، ۱۳۹۴. بررسی ویژگی‌های خشکسالی در منطقه خشک و نیمه‌خشک ایران، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۷(۴): ۳۶۳- ۳۷۸.

رهنما، ه.، م. ر. قنبرپور، م. حبیب نژاد روشن و ا. دادرسی سبزوار. ۱۳۸۷. تعیین زمان‌های کمینه و بیشینه بهره-برداری از منابع آب‌های زیرزمینی با استفاده از هیدروگراف واحد سالانه دشت جوین، اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب دانشگاه زابل.

سامانی، س.، ن. کلانتری و م. ح. رحیمی. ۱۳۹۰. استفاده از روش آماری تحلیل خوشه‌ای جهت ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت اوان، مجله مهندسی منابع آب، ۴: ۸۶- ۷۵.

شیخ‌الاسلامی، ن.، ب، قهرمان، ا. مساعدی، ک.، داوری و م. مهاجرپور. ۱۳۹۳. پیش‌بینی تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETo) با استفاده از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) و توسعه مدل رگرسیونی خطی چندگانه (MLR-PCA) (مطالعه موردی: ایستگاه مشهد)، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸(۲): ۴۲۹- ۴۲۰.

عساکره، ح. ۱۳۸۷. کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش (مطالعه موردی: میان‌یابی بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ در ایران زمین)، جغرافیا و توسعه، ۱۲: ۴۲-۲۵.

عطایی، ه. و ه. شیران. ۱۳۹۰. شناسایی زیرحوضه‌های هیدرولوژیکی همگن از نظر عوامل ژئومورفولوژیک مؤثر بر سیلاب با استفاده از تحلیل خوشه‌ای (مطالعه موردی: دشت کرون)، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۴۲(۲): ۹۸-۷۹.

فرجی سبک‌بار، ح. و ق. عزیزی. ۱۳۸۵. ارزیابی میزان دقت روش‌های درون‌یابی فضایی مطالعه موردی: الگوسازی بارندگی حوضه کارده مشهد، پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۸: ۱۵-۱.

فرشادفر، ع. ۱۳۸۴. اصول و روش‌های آماری چند متغیره. چاپ دوم. انتشارات طاق بستان. ۷۵۲ صفحه.

قدم پور، ز. و م. شقاقیان. ۱۳۹۰. مقایسه مدل‌های کلاسیک سری زمانی و هوش مصنوعی در تعیین سطح تراز آب زیرزمینی، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۸-۱.

لشکری‌پور، غ.، ح. رستمی بارانی و ح. ترشیزی. ۱۳۸۵. افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت کاشمر، دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران. ۲۴۳۸- ۲۴۲۸.

محمودی، م. د.، ع. ندیری، ا. اضغری‌مقدم، م. پوراکبر و ع. مرادیان هره‌دشت. ۱۳۹۵. بررسی منابع آب دشت شیرامین با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۳(۳): ۳۰۲- ۲۸۹.

مدرس، ر.، س. فیض‌نیا، م. ناصری و ا. نجفی. ۱۳۸۹. تعیین مناطق همگن بر اساس برخی از عوامل مؤثر بر رسوب. نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۳(۲): ۲۴۹-۲۶۰.

نوری قیداری، م. ح. ۱۳۹۱. تعیین چاه‌های مؤثر در تعیین تراز سطح آب زیرزمینی با آنالیز مؤلفه‌های اصلی، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۷(۶۴):۱۵۸- ۱۴۹.

نوری، ر. ا.، ر. کراچیان، ا. خدادادی دربان، و ا. شکیبایی نیا. ۱۳۸۶. ارزیابی اهمیت ایستگاه‌های پایش کیفی رودخانه‌ها با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی و آنالیز فاکتور (مطالعه موردی: رودخانه کارون)، آب و فاضلاب، ۱۸(۶۳): ۶۰-۶۹.

هوشنگی، ن.، ع. ا. آل شیخ و ع. ندیری. ۱۳۹۴. بهینه‌سازی تعداد پیزومترها در پیش‌بینی سطح آب‌های زیرزمینی با روش‌های PCA و زمین آماری، نشریه دانش آب و خاک، ۲۵(۴۲): ۶۶- ۵۳.

Beveridge, D., A. St-Hilaire, T. B. Ouarda, B. Khalil, F. M. Conly, L. I. Wassenaar and E. Ritson-Bennett. 2012. A geostatistical approach to optimize water quality monitoring networks in large lakes: Application to Lake Winnipeg. Journal of Great Lakes Research 38: 174-182.

Camdevyren, H., N. Demyr, A. Kanik and S.

www.SID.ir

Archive of SID



Keskyn. 2005. "Use of principal component scores in multiple linear regression models for prediction of Chlorophyll-an in reservoirs." Ecol. Model., 181, 581–589.

Cloutier, V., R. Lefebvre, R. Therrien and M. Savard. 2008. Multivarariate statical analysis of geochemical data as indicative of the hydrogeochemical evolution of groundwater in a sedimentary rock aquifer system. J. Hydrol, 353, 294-313.

Emran Khaled Abd El Aziz, M. 2013. A Multiapproach Study of Soil Attributes under Land Use and Cover Change at the Cap de Creus Península, NE Spain

Guler, C., G. D. Thyne, J. E. McCray and A. K. Tumer. 2002. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data, Hydrogeology journal, 10, 455- 474.

Gurunathan, K. and S. Ravichandran. 1994. Analysis of water quality data using a multivariate statistical technique - a case study. IAHS Pub., No. 219.

Johnson, R. A. and D. W. Wichern. 2002. Applied multivariate statistical analysis (Vol. 5, No. 8). Upper Saddle River, NJ: Prentice hall.

Johnson, R. A., and D. W. Wichern. 1982. Applied multivariate statistical analysis, 3rd Ed., Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, SA, 590.

Khan, S., H. F. Gabriel and T. Rana. 2008. Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on water tables in irrigation areas, Irrigation Drainage Systems, 22: 159–177

Lu, W. Z., W. J. Wang, X. K. Wang, Z. B. Xu and A. Y. T. Leung. 2003. "Using improved neural network to analyze RSP, NOX and NO2 levels in urban air in Mong Kok, Hong Kong." Environmental Monitoring and Assessment, 87, 235–254.

Manly, B. F. J. 1986. Multivariate statistical methods: A primer, 2nd Ed., Chapman and Hall, London.

Nicolas, C., G. Masciandaro, T. Hernandez and C. Garcia. 2013. Chemical-Structural Changes of Organic Matter in a Semi-Arid Soil after Organic Amendment", Pedosphere, Vol. 22, No. 3, pp. 283-293.

Petersen, W. 2001. Process identification by principal component analysis of river water-quality data. Ecol. Model.138: 193-213.

Salah, H. 2009. Geostatistical analysis of groundwater levels in the south Al Jabal Al Akhdar area using GIS. GIS Gtrava 25: 1-10.

Sivapragasam C, V. Arun and D. Giridhar. 2010. A simple approach for improving spatial interpolation of rainfall using ANN. Meteorology and Atmospheric Physics 109: 1-7.

Yakirevich A, Y. Pachepsky, T. Gish, A. Guber, M. Kuznetsov, R. Cady and T. Nicholson. 2013. Augmentation of groundwater monitoring networks using information theory and ensemble modeling with pedotransfer functions. Journal of Hydrology 501: 13-24.

www.SID.ir

Archive of SID

# Optimization of Piezometeric wells Number for Groundwater Level Prediction Using Factor Analysis (Case Study: Minab Plain)

**Ommolbanin Bazrafshan[1], Zahra Gerkani NezhadMoshozi[2]**

## Abstract

The lack of rainfall in arid and semi-arid areas result in the limited availability of surface water resources in these areas, hence water consumption in the agricultural, industrial and drinking industries relies heavily on groundwater. In field surveys, such as sampling from deep wells, determining the critical points for sampling is very important in terms of reducing sample size and saving costs and time. In this paper, the principal component analysis (PCA) and the hierarchical clustering have been used to select the effective wells for measuring the static level of groundwater in the Minab plain in Hormozgan province. For this purpose, 38 piezometric wells were considered and the relative importance of each well was computed using the PCA by allocating the values between 0 and 1. The study showed that by removing the wells with the relative importance less than 0.7, the coefficient of variation of groundwater doesn't increases significantly compared to the case of using all wells. Based hierarchical cluster analysis, the piezometers were divided well into three clusters, which the 3rd cluster with 12 piezometers is the best representative with the lowest error. Finally, the cluster analysis with the lower error compared to the PCA was used as the criterion of conclusion

**Key words: Principal Component Analysis, Cluster Analysis, Groundwater, Minab Plain.**

[1] Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Tel: 076-33711049, Email : O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir (Corresponding Author)
[2] Ph. D Candidate, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Tel: 076-33711049, Email : Z.gerkani@gmail.com

www.SID.ir