نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۶، ص. ۵۰-۴۰

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 1, Mar.-Apr. 2017, p. 40-50

شناسایی چاه‌های مؤثر در تعیین عمق آب زیرزمینی دشت ارومیه با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی

سحر بابایی حصار[1*] – قاسم همدمی[2] – هدی قاسمیه[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۱۱

چکیده

در بسیاری از مطالعات به علت وجود حجم بسیار زیادی از اطلاعات، فرآیند تحلیل داده‌ها بسیار زمان‌بر و هزینه‌بر است. آنالیز مؤلفه‌های اصلی، از جمله روش‌هایی است که با شناسایی داده‌های کم اهمیت، داده‌هایی که بیشترین سهم را در توجیه واریانس دارند، حفظ می‌کند. در این تحقیق، میانگین سالانه سطح آب زیرزمینی ۵۱ چاه بهره‌برداری با طول آماری ۱۰ ساله (۱۳۸۱-۱۳۹۰) با استفاده از تکنیک آنالیز مؤلفه‌های اصلی مورد بررسی قرار گرفت تا چاه‌های مؤثر در تعیین سطح تراز آب زیرزمینی این دشت مشخص گردد. با شناسایی چاه‌های با اهمیت، نقاط مهم جهت نمونه‌برداری معلوم می‌شود و پایش تراز آب زیرزمینی صرفاً در این چاه‌ها انجام می‌گردد. به این وسیله می‌توان تا حد زیادی در هزینه و زمان مطالعات صرفه‌جویی کرد. با انجام آنالیز مؤلفه‌های اصلی، اهمیت نسبی هر چاه بین ۰ (برای چاه غیر مؤثر) تا ۱ (برای چاه کاملا مؤثر) محاسبه شد. با حذف چاه‌های کم‌اهمیت که تعداد آن‌ها حدوداً نصف کل چاه‌ها است، ضریب تغییرات سطح ایستابی از ۱/۳۸ به ۰/۷۲ (۵۰ درصد) کاهش یافت و خطای تعیین سطح ایستابی کمتر از ۱۵ درصد به دست آمد که دلیل آن را می‌توان حذف چاه‌هایی عنوان کرد که میانگین تراز آب آن‌ها اختلاف چشمگیری با چاه‌های باقی‌مانده دارد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، پایش، دشت ارومیه، چاه مؤثر، ضریب تغییرات

مقدمه

آب زیرزمینی، مهم‌ترین منبع تأمین آب مصرفی خانگی و شرب در اغلب مناطق جهان به شمار می‌رود (۱۳). به همین دلیل پایش مداوم تراز آب زیرزمینی در مدیریت آن نقش بسزایی خواهد داشت. اما معمولاً به دلیل وجود حجم بالای اطلاعات، ارزیابی سطح ایستابی مستلزم صرف هزینه و زمان زیادی است. لذا در بسیاری از مطالعات باید از نمونه‌هایی که اطلاعات چندانی در اختیار نمی‌گذارند، صرف نظر کرد. به این طریق می‌توان در هزینه و زمان صرفه‌جویی نمود (۱۶). آنالیز مؤلفه های اصلی[4]، یک روش بهینه ریاضی برای کاهش حجم داده‌ها و تبدیل متغیرهای اولیه به چند مؤلفه محدود است (۱۱) در این روش با توجه به ساختار داده‌ها، عوامل ایجاد تغییرات که مؤلفه‌های اصلی یا نهان نامیده می‌شوند، شناسایی می‌شود (۱۷) به این ترتیب می‌توان پس از شناسایی مؤلفه‌هایی که بیشترین تغییرات واریانس را ایجاد می‌کنند، متغیرهایی را که بالاترین ضریب همبستگی[5] را با مؤلفه‌های اصلی دارند، استخراج کرد.

تکنیک آنالیز مؤلفه‌های اصلی، به طور وسیع در آب‌های سطحی و زیرزمینی استفاده می‌شود (۲۳). گرونتان و راویچاندران (۷) برای شناسایی کیفیت آبخوان‌های آزاد ایتالیا از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند و تبخیر، سیکل آبیاری و جنس سنگ بستر را به عنوان متغیرهای اصلی معرفی نمودند. هلنا و همکاران (۸) از تکنیک آنالیز مؤلفه‌های اصلی به منظور ارزیابی تغییرات زمانی کیفیت آب بین ابتدا و انتهای دوره آبیاری بهره بردند. سانچزمارتوس و همکاران (۲۱)، از تکنیک آنالیز مؤلفه‌های اصلی برای تعیین متغیرهای مؤثر در آنالیز کیفیت آب زیرزمینی در تعدادی از چاه‌های واقع در ایالت آلمریا در اسپانیا استفاده کردند. بر اساس نتایج به دست آمده، سه متغیر سولفات، دما و موجودات زنده بیشترین تأثیر را در تغییر کیفیت آب زیرزمینی داشته‌اند. دبلس و همکاران (۴) در بررسی کیفیت آب

۱ و ۳- دانشجوی دوره دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری و استادیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان
(*- نویسنده مسئول: Email: Babaei.sah@gmail.com)
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گرگان
DOI: 10.22067/jsw.v31i1.48750

4- Principal Component Analysis

5- Correlation Coefficient

زیرزمینی، شاخصی را با استفاده از متغیرهای DO، COD و pH به کمک روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی پیشنهاد کردند. ایسن و همکاران (۱۰) برای تعیین عوامل مؤثر در کیفیت دریاچه اوتاب در ترکیه با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی، سه عامل میکروبیولوژی و مواد مغذی و فاکتور فیزیکوشیمیایی را مؤثر دانستند. نتایج تحقیق، حاکی از تأثیر ۷۷ درصدی عوامل مذکور بر کیفیت آب دریاچه بود. تاگوس و همکاران (۲۶) در بررسی رابطه میان دبی روزانه و دبی لحظه‌ای، از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند. وان (۲۸) به منظور سهولت بررسی تغییر اقلیم، یک متغیر جدید (Z) را با استفاده از داده‌های ۳۰ ساله دمای تر و خشک و تابش خورشید و با بهره‌مندی از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی در ۵ منطقه از چین ارائه کرد. هو و همکاران (۹) به منظور بررسی افزایش میزان فلوراید در آب شرب در ۱۱۱ چاه واقع در دو منطقه شانکزی و اینر مانگولیا در چین، روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی را مورد استفاده قرار داد. بر اساس نتایج این تحقیق، افزایش میزان فلوراید در منطقه مانگولیا، عمدتاً ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و معدن‌کاوی است. ون‌برگ و همکاران (۲۷)، عوامل مؤثر در افزایش ماده آترازین را با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی در ۶۰ چاه واقع در آبخوان‌های کم‌عمق آلمان مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج تحقیق، کاربری کشاورزی مهم‌ترین منبع آلاینده آترزین تشخیص داده شد.

محمدزاده و حیدری‌زاد (۱۲) با مطالعه هیدروشیمیایی آب دریاچه سد کارده و منابع آب زیرزمینی منطقه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی نمونه‌های آب، نشان دادند که کیفیت منابع آب زیرزمینی و سطحی به طور گسترده‌ای وابسته به لیتولوژی منطقه است. نوری قیداری (۱۴)، چاه‌های مؤثر[1] در تعیین تراز آب زیرزمینی دشت قیدار را شناسایی کرد. در این تحقیق، چاه‌های کم‌اهمیت با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی تعیین گردید. بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد که با حذف چاه‌هایی که اهمیت نسبی آنها کمتر از ۰/۵ است، ضریب تغییرات آب زیرزمینی نسبت به موقعی که از کل چاه‌ها استفاده می‌شود تغییر چندانی نمی‌یابد. رضئی و عزیزی (۲)، رژیم بارشی غرب ایران را با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌بندی، منطقه‌بندی کردند. در این تحقیق ۱۰ پارامتر مورد استفاده در تحلیل مؤلفه‌های اصلی به چهار مؤلفه کاهش یافت. ایستگاه‌های مورد استفاده در این تجزیه و تحلیل، گروه‌بندی و غرب ایران به پنج زیرمنطقه همگن تقسیم شد. نتیجه نشان داد که روند ناهمواری‌ها و عرض جغرافیایی در مرزبندی و تفاوت‌های مکانی بین مناطق، نقش بسیار مهمی دارند. عساکره و بیات (۱)، مشخصات بارش سالانه شهر زنجان را به کمک آنالیز مؤلفه‌های اصلی بررسی کردند. در این مطالعه، برخی مشخصات آماری بارش سالانه شهر زنجان در معرض آنالیز مؤلفه‌های اصلی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با چهار مؤلفه می‌توان بیش از ۹۵ درصد از تغییرات بارش سالانه را توضیح داد. بارش سالانه، توزیع فراوانی، بارش بیشینه و تعداد روزهای بارانی به‌ترتیب نماینده مؤلفه اول تا چهارم بوده است. پوراصغر و همکاران (۱۹) رژیم بارش‌های نیمه جنوبی ایران را با بهره‌گیری از تکنیک آنالیز مؤلفه‌های اصلی پهنه‌بندی کردند. نتایج آنالیز مؤلفه اصلی بارش سالانه، پنج مؤلفه را نشان داد که مجموعاً ۶۸ درصد کل واریانس بارش را توصیف می کند. مؤلفه های اصلی بارش سالانه در نیمه جنوبی ایران توسط گردش جوی کنترل می‌شوند. تحلیل‌ها نشان داد که بارش سالانه در نیمه جنوبی ایران اساساً به کم‌فشار سودانی و مدیترانه ارتباط داده می‌شود. از دیگر تحقیقات انجام شده در زمینه مطالعات اقلیمی و هیدرولوژیکی با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی می‌توان به مطالعات انجام شده توسط اسنایزر و همکاران (۲۵)، بالافوتیس (۳) و استاتیس و همکاران (۲۴) اشاره کرد.

مطالعه سوابق تحقیق در ایران و جهان، نشان می‌دهد اغلب مطالعاتی که در زمینه پایش آب زیرزمینی با استفاده از روش PCA انجام شده است در رابطه با کیفیت آن بوده و بررسی کمیت آب زیرزمینی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در تحقیق حاضر با بهره‌گیری از آنالیز مؤلفه‌های اصلی، اقدام به شناسایی چاه‌هایی شد که بیشترین تأثیر را در پایش سطح ایستابی دشت ارومیه و در نتیجه، تخمین حجم آبخوان دارند. از آنجا استفاده از اطلاعات آماری تمامی چاه‌ها (مخصوصا در دشت‌های وسیع) سبب پیچیدگی مدل‌سازی‌ها می‌شود؛ لذا با شناسایی چاه‌های موثر، می‌توان بر حسب دقت مورد نیاز، پایش و مدل‌سازی سطح ایستابی را صرفا به این چاه‌ها محدود کرد و در هزینه و زمان تا حد زیادی صرفه‌جویی نمود.

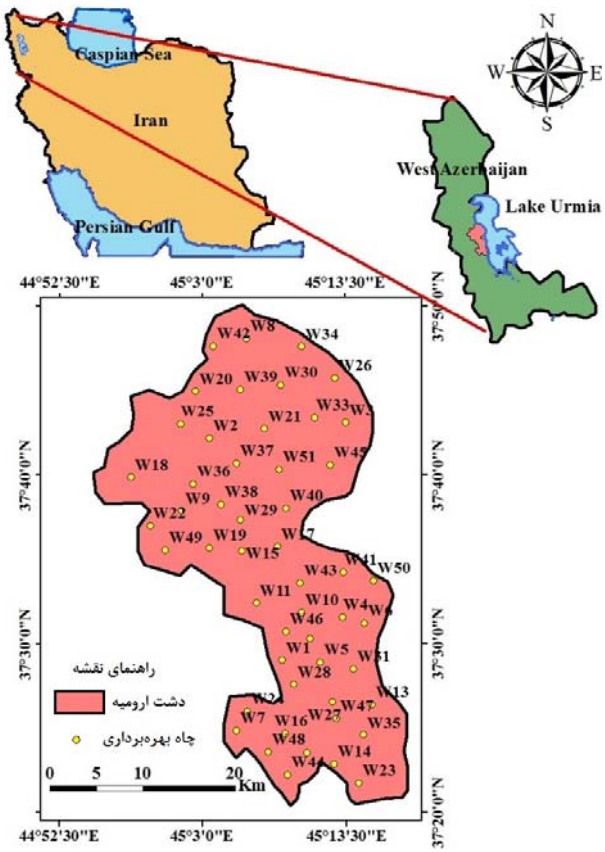
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه واقع در استان آذربایجان غربی دارای مساحتی بیش از ۹۶۲ کیلومتر مربع است. این منطقه در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی ´۲۱ °۳۷ تا ´۴۹ °۳۷ شمالی و طول‌های جغرافیایی ´۵۷ °۴۴ تا ´۱۶ °۴۵ شرقی واقع شده است. میانگین سالانه بارندگی در این منطقه ۳۵۰ تا۴۰۰ میلی‌متر بوده و بر اساس روش کوپن این منطقه دارای اقلیم استپی نیمه‌خشک است. دشت مورد مطالعه در امتداد ناحیه کوهستانی شمال غربی کشور که به منطقه هموار دریاچه ارومیه ختم می‌شود؛ قرار دارد و عمق متوسط آبخوان در حدود ۷/۵ متر و افت متوسط آن در طول دوره آماره تقریبا ۰/۵ متر می‌باشد. منطقه مورد مطالعه دارای منابع آب زیرزمینی وسیعی است که اخیراً در نتیجه توسعه شهرنشینی و نیز افزایش کاربری‌هایی همچون کشاورزی و باغداری، بهره‌برداری بیش از حد

1- Effective Well

مجـاز در آن صـورت گرفتـه و سـطح ایسـتابی آب زیرزمینـی در آن، کاهش چشمگیری پیدا کرده است. کاهش نزولات جوی نیز، موجـب تشدید این فرآیند طی سال‌های اخیر شده است (۶). شکل ۱، گسـتره جغرافیایی محدوده مـورد مطالعـه و نحـوه پـراکنش چـاه‌هـای آب را نمایش می‌دهد. در ایـن تحقیـق از آمـار میـانگین سـالانه سـطح آب زیرزمینی ۵۱ حلقه چاه نظارت شده توسط وزارت نیـرو اسـتفاده شـده است. داده‌های سالانه سطح آب چاه‌ها از سال ۱۳۹۰-۱۳۸۱ در آنـالیز اطلاعات مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۱- نقشه موقعیت دشت ارومیه در استان آذربایجان غربی و چاه‌های مورد بررسی

Figure 1- Location map of Urmia plain in West Azerbaijan province and considered wells

روش تحقیق

در این تحقیق جهت شناسایی چاه‌های مـوثر در تعیـین تـراز آب زیرزمینی دشت ارومیه از تکنیک آنالیز مؤلفه‌های اصلی بهـره گرفتـه شد. به طوریکه ابتدا برای تعیین میزان اثر هر چاه با توجـه بـه تعـداد دفعات شرکت آن در آنالیزها و همچنین دفعات مـؤثر بـودن آن، رتبـه هر چاه تعیین شد. در مرحله بعد با استفاده از دو معیار ضریب تغییـرات و میزان خطای سطح ایستابی، چاه‌هـای غیرمـؤثر شناسـایی و حـذف گردید. در ادامه به تشریح روش کار پرداخته می‌شود.

در آنالیز مؤلفـه‌هـای اصـلی، اطلاعـات ورودی بـه صـورت یـک ماتریس n*p فرض می‌شود که n، تعداد مشاهدات است کـه در ایـن تحقیق، تعداد سال‌های آماری است. p، متغیرهای مورد آنالیز است که در واقـع تعـداد چـاه‌هـایی اسـت کـه سـطح آب زیرزمینـی در آنهـا اندازه‌گیری می‌شود. در روش آنالیز مؤلفه‌های اصـلی، هـر مؤلفـه بـه صورت تابع خطی زیر تعریف می‌گردد (۲۲ و ۲۶):

$$Z_1=Xa_1=a_{1,1}x_1+a_{2,1}x_2+\ldots+a_{p,1}x_p$$
$$Z_2=Xa_2=a_{1,2}x_1+a_{2,2}x_2+\ldots+a_{p,2}x_p \quad (۱)$$
$$Z_p=Xa_p=a_{1,p}x_1+a_{2,p}x_2+\ldots+a_{p,p}x_p$$

که در آن $a_{i,j}$ عنصر i ام از مؤلفـه اصـلی j ام بـوده و a_j ضـریب تبدیل متغیرهای اصلی (X) بـه j امـین مؤلفـه اصـلی (Z_j) اسـت. بـا استفاده از خواص ماتریس‌ها می‌توان ثابت کرد که ضرایب مؤلفه‌هـای اصلی (a_j)، بردارهای ویژه مربوط به ماتریس کوواریـانس، S هسـتند. مقدار و بردار ویژه ماتریس s از روابط زیر محاسبه می‌گردد.

$$|S-\lambda I|=0 \quad (۲)$$

در رابطه فوق، اگر p تعداد چاه‌ها باشد؛ آنگاه I یک ماتریس واحد P*1 بوده و S ماتریس کواریـانس مرتبـه P اسـت کـه از رابطـه (۳) محاسبه می‌گردد:

$$S=X^T.X/n-1 \quad (۳)$$

علامت ترانهاده است. محدودیت‌های حل معادله Tدر رابطه بالا، فوق عبارتند از:

عمود بودن بردارهای ویژه $(a^T_j a_i=a^T_i a_j=0, i\neq j)$

نرمال یا یکه بودن بردارهای ویژه $(a^T_j a_j=1)$ محدودیت‌های ذکر شده باعث می‌شود جواب‌های معادله ۲ یگانه باشد و مؤلفه‌های اصلی، مستقل شوند. اگر $a_1, a_2, \ldots, a_p$ به ترتیب بردارهای ویژه مربوط به مقادیر ویژه $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_p$ باشند، آنگاه معادله ۱ به صورت زیر نمایش داده می‌شود.

$$Z=XA \quad (۴)$$

که در آن $Z=(z_1, z_2, \ldots, z_p)$ و $A=(a_1, a_2, \ldots, a_p)$ است. واریانس مؤلفه‌های اصلی، z_j همان مقادیر ویژه متناظر آنها است. یعنی واریانس اولین مؤلفه اصلی برابر λ_1 است. بنابراین اولین مؤلفه، بیشترین واریانس را ایجاد می‌کند و نشان‌دهنده این است که اولین مؤلفه، قابلیت بیشتری در شناسایی تغییرات دارد. اولین مولفه اصلی، آن خطی است که امتداد آن منطبق با بیشترین پراکندگی قابل مشاهده در داده‌های اصلی است. دومین مولفه اصلی دارای واریانس λ_2 بوده و از لحاظ مقدار واریانس در رتبه دوم قرار می‌گیرد و امتداد آن در راستایی است که پراکندگی قابل مشاهده داده‌ها در رتبه دوم قرار دارد. بقیه مولفه‌های اصلی نیز به همین ترتیب توصیف می‌گردند. مولفه‌های اصلی از مرکز داده‌های اصلی عبور کرده و دو به دو برهم عمود هستند.

برای محاسبه اهمیت نسبی هر چاه، از ضریب همبستگی بین مؤلفه‌های اصلی و داده‌های مشاهده شده استفاده می‌گردد. ضریب همبستگی چاه با مؤلفه اصلی از رابطه (۵) به دست می‌آید:

$$Cor(z_j,x_j)=\lambda_j^{1/2}a_{i,j} \quad (۵)$$

در رابطه فوق، $a_{i,j}$ عنصر i ام از مؤلفه اصلی j ام است. هر چقدر این ضریب بالا باشد، نشان‌دهنده بالا بودن اهمیت نسبی چاه است (۲۲).

در این تحقیق برای محاسبه اهمیت نسبی هر چاه به ازای هر یک از چاه‌های واقع در منطقه، تعداد ۱۰ چاه با نزدیکترین همسایگی با چاه مورد نظر، شناسایی شدند. تعداد چاه‌ها (p) طبق یک قاعده کلی باید کمتر یا حداکثر برابر تعداد مشاهدات (n) که در اینجا همان تعداد سال‌های آماری است، باشد (۱۸). برای مثال برای پایش چاه w_{21}، ۱۰ چاه مجاور یعنی $w_2, w_3, w_{20}, w_{26}, w_{30}, w_{33}, w_{37}, w_{39}, w_{45}, w_{51}$ مورد آنالیز قرار گرفته است. بنابراین به ازای هر چاه یک ماتریس ۱۰*۱۰ وجود خواهد داشت. لازم به ذکر است در پایش چاه‌های مجاور یک چاه مشخص، از داده‌های خود چاه استفاده نمی‌شود.

در ادامه، برای هر کدام از چاه‌ها یک بار آنالیز مؤلفه‌های اصلی انجام شد تا ضریب همبستگی هر چاه با چاه مورد نظر مشخص شود. در انتخاب چاه‌های مؤثر، چاه‌هایی که ضریب همبستگی کمتر از ۰/۹ داشته‌اند، حذف گردید (۷ و ۱۴). به این ترتیب برای هر آنالیز، تعدادی چاه به عنوان چاه مؤثر شناسایی شدند و در نهایت، تعداد دفعاتی که هر چاه در آنالیز شرکت کرده است و همچنین تعداد دفعاتی را که به عنوان چاه مؤثر شناخته شده است، مشخص گردید. اهمیت نسبی هر چاه در واقع، نسبت تعداد دفعات مؤثر بودن چاه به تعداد دفعاتی است که آن چاه در آنالیز شرکت داده شده است. این نسبت، نشان‌دهنده اولویت هر چاه نسبت به سایر چاه‌ها در تعیین تراز آب زیرزمینی است و هر اندازه اهمیت نسبی یک چاه بیشتر باشد، تأثیر بیشتری در پایش سطح ایستابی خواهد داشت. برای رتبه‌بندی چاه‌ها، حدود آستانه برابر با ۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱/۰ در نظر گرفته شده است. در آستانه ۱، صرفاً چاه‌هایی باقی می‌مانند که دارای رتبه ۱ هستند (چاه‌هایی که در کلیه آنالیزها به عنوان چاه مؤثر شناخته شده‌اند) و آستانه ۰، شامل کلیه چاه‌های مؤثر و غیرمؤثر است (۱۴).

به منظور بررسی اثر حذف هر چاه از محاسبات سطح آب زیرزمینی، از دو معیار ضریب تغییرات و خطای سطح ایستابی استفاده شد. با استفاده از رابطه (۶)، مقدار خطای پایش در ازای حذف چاه‌های غیرمؤثر در یک آستانه مشخص از مقایسه میانگین چاه‌های آن آستانه با میانگین کلیه چاه‌ها به دست آمد:

$$Error=(m_n-m_o)/m_o\times 100 \quad (۶)$$

در رابطه فوق، m_n میانگین سطح آب پس از حذف چاه‌های غیرمؤثر در یک آستانه مشخص و m_0 میانگین کلیه چاه‌ها است.

نتایج و بحث

برای تعیین تعداد چاه‌های مؤثر در شبکه پایش آب زیرزمینی دشت ارومیه، آنالیز مؤلفه‌های اصلی برای هر یک از چاه‌ها انجام شد. ماتریس داده‌های ورودی شامل n سطر (تعداد سال‌های آماری) و p ستون (تعداد چاه‌ها) است. در این تحقیق با در اختیار داشتن ۱۰ سال اطلاعات سطح آب، به ازای هر چاه ۱۰ چاه مجاور برای تعیین چاه‌های مؤثر وارد آنالیز گردید. به عنوان مثال در پایش آب چاه w_{21}، ۱۰ چاه مجاور مورد آنالیز قرار گرفته است. در این فرآیند ۱۰ مؤلفه اصلی استخراج شد که اهمیت هر مؤلفه، برابر با واریانس آن (که همان مقدار ویژه متناظر یا λ در معادله ۲ می‌باشد) است. لذا تنها مؤلفه‌هایی انتخاب می‌شوند که دارای واریانس بیشتری باشند. مطابق جدول ۱، دو مؤلفه z_1 و z_2 دارای بیشترین واریانس هستند. همان‌طور که نمایش داده شده است، می‌توان چاه‌های w_{39} و w_{51} را که دارای ضریب همبستگی بالای ۰/۹ هستند، به عنوان چاه‌های مؤثر انتخاب کرد. این آنالیز برای ارزیابی اثر تمامی چاه‌ها انجام می‌شود تا به این وسیله تعداد دفعاتی که هر چاه مؤثر واقع می‌شود، معلوم گردد. سپس

اهمیت نسبی هر چاه از نسبت دفعات مؤثر بودن یک چاه معین به تعداد دفعات شرکت آن چاه در آنالیز محاسبه می‌شود. در جدول ۲، اهمیت نسبی هر چاه ارائه شده است. هر چاهی که دارای رتبه بیشتری باشد، از اهمیت بالاتری برخوردار است.

جدول ۱- ماتریس ضریب همبستگی برای پایش چاه W_{21}

Table 1- Matrix of correlation coefficient to monitor the well 21.

ردیف S.N	چاه Well	مؤلفه‌های اصلی Principal Components	
		Z_1	Z_2
1	W20	0.16	0.81
2	W39	0.91	-0.33
3	W30	0.87	0.15
4	W26	0.74	0.42
5	W2	0.82	-0.38
6	W33	0.89	0.10
7	W3	0.69	0.45
8	W37	0.70	-0.61
9	W51	0.94	-0.19
10	W45	0.75	0.32

* چنانچه ضریب همبستگی مؤلفه اصلی با چاه بیش از ۰/۹ باشد، به عنوان چاه مؤثر در پایش آبزیرزمینی شناخته می‌شود.

*The wells with correlation coefficient greater than 0.9 are considered as effective well in water table monitoring.

با توجه به جدول ۲، تعداد ۱۲ چاه با رتبه ۱ وجود دارد. به این معنی که چاه‌های $W_8, W_{10}, W_{14}, W_{16}, W_{18}, W_{23}, W_{32}, W_{39}, W_{44}, W_{46}, W_{48}, W_{49}$ به همان تعداد دفعه‌ای که در آنالیز شرکت کرده‌اند، به عنوان چاه مؤثر شناسایی شده‌اند و در پایش سطح ایستابی از اهمیت بالاتری نسبت به سایر چاه‌ها برخوردارند. چنانچه برای رتبه‌بندی چاه‌ها، حدود آستانه برابر با ۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱ در نظر گرفته شود، تعداد چاه‌های مؤثر برای هر آستانه به ترتیب برابر با ۵۱، ۲۸، ۲۳، ۲۳، ۱۸ و ۱۲خواهد بود. در آستانه ۰، کلیه چاه‌ها در مدل‌سازی سطح آب شرکت داده می‌شوند و در آستانه ۱، تنها ۱۲ چاه که دارای رتبه ۱ هستند؛ مورد قبول واقع می‌شوند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود حدود ۱۷ چاه دارای رتبه ۰ هستند و می‌توان این چاه‌ها را که عملاً تاثیری در پایش سطح ایستابی ندارند، از محاسبات حذف نمود.

محققان، برای بررسی عدم قطعیت یا مقدار خطا در انتخاب تعداد چاه‌های مؤثر، محاسبه ضریب تغییرات برای چاه‌های باقی‌مانده در هر آستانه و مقایسه آن با ضریب تغییرات مربوط به کلیه چاه‌ها را پیشنهاد نموده‌اند (۱۴). این روش در صورتی قابل قبول خواهد بود که فرض شود ضریب تغییرات با حذف چاه‌های غیرمؤثر افزایش یابد. به این ترتیب آستانه‌ای که در آن کمترین اختلاف در ضریب تغییرات رخ دهد، انتخاب می‌شود. اما ذکر این نکته ضرورت دارد که همیشه با حذف چاه‌های غیر موثر ضریب تغییرات افزایش نمی‌یابد (مانند تحقیق حاضر) و با توجه به ماهیت اطلاعات چاه‌های حذف شده، ضریب تغییرات، می‌تواند افزایش یا کاهش یابد. چنانچه در یک آستانه مشخص چاهی حذف گردد که دارای عمق آب بیشتری است، ضریب تغییرات به دست آمده کوچک‌تر از ضریب تغییرات مربوط به کلیه چاه‌ها خواهد بود. بنابراین نمی‌توان ادعا کرد که همیشه با حذف چاه‌های غیرمؤثر، ضریب تغییرات افزایش پیدا می‌کند. لذا در تحقیق حاضر برای انتخاب یک سطح آستانه قابل قبول علاوه بر محاسبه ضریب تغییرات، میانگین سطح آب چاه‌ها در محاسبه خطا به جای استفاده از ضریب تغییرات استفاده شده است.

در شکل ۲، متوسط ضریب تغییرات برای هر آستانه ترسیم شده است. به این ترتیب که برای هر سال آماری ضریب تغییرات محاسبه و پس از برآورد متوسط ضریب تغییرات، مقدار آن در مقابل حد آستانه رسم گردید.

با توجه به شکل ۲ با حذف چاه‌های غیرمؤثر در هر آستانه، ضریب تغییرات کاهش می‌یابد و دلیل آن حذف چاه‌هایی است که دارای عمق آب بیشتری نسبت به میانگین هستند. در توضیح این مطلب باید ذکر نمود که میانگین سطح آب کلیه چاه‌ها (آستانه ۰) برابر با ۷/۵۵ متر است. در آستانه ۰/۲ با حذف چاه W_{20} که میانگین سطح آب آن ۵۳/۴۹ متر است، ضریب تغییرات به طور ناگهانی کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد.

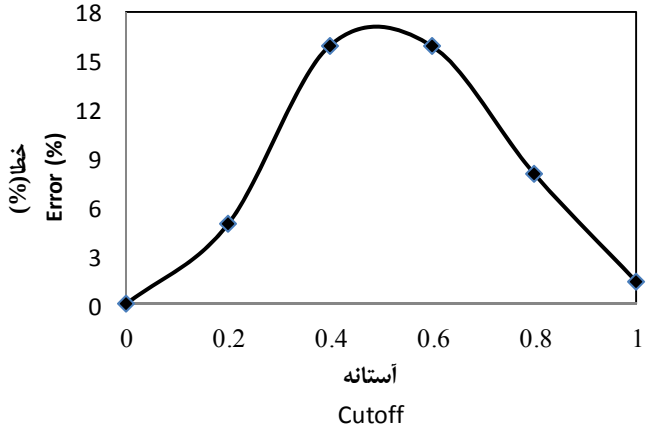
جدول ۲- رتبه‌بندی چاه‌ها بر اساس آنالیز مؤلفه‌های اصلی

Table 2- Ranking the wells based on principal component analysis

چاه Well	تعداد دفعات شرکت در آنالیز Number of participation	تعداد دفعات مؤثر بودن Number of effectiveness	رتبه Rank	چاه Well	تعداد دفعات شرکت در آنالیز Number of participation	تعداد دفعات مؤثر بودن Number of effectiveness	رتبه Rank
W8	7	7	1.00	W29	12	3	0.25
W10	11	11	1.00	W20	10	2	0.20
W14	9	9	1.00	W19	11	2	0.18
W16	9	9	1.00	W36	12	2	0.17
W18	7	7	1.00	W47	12	2	0.17
W23	4	4	1.00	W26	8	1	0.13
W32	14	14	1.00	W9	9	1	0.11
W39	12	12	1.00	W11	9	1	0.11
W44	10	10	1.00	W1	12	0	0.00
W46	12	12	1.00	W3	8	0	0.00
W48	9	9	1.00	W4	14	0	0.00
W49	9	9	1.00	W7	5	0	0.00
W12	12	11	0.92	W13	8	0	0.00
W28	12	11	0.92	W17	8	0	0.00
W15	11	10	0.91	W22	7	0	0.00
W43	11	10	0.91	W24	9	0	0.00
W25	9	8	0.89	W30	10	0	0.00
W51	12	10	0.83	W33	10	0	0.00
W6	9	7	0.78	W34	6	0	0.00
W38	14	11	0.79	W35	8	0	0.00
W27	15	11	0.73	W37	19	0	0.00
W31	13	8	0.62	W40	8	0	0.00
W5	15	9	0.60	W41	8	0	0.00
W42	6	2	0.33	W45	8	0	0.00
W2	14	4	0.29	W50	4	0	0.00
W21	12	3	0.25				

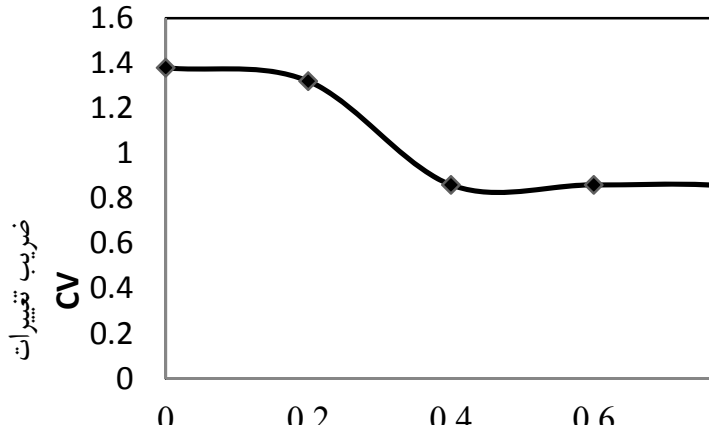
همچنین در آستانه ۰/۸ با حذف چاه w_{25} که دارای عمق آب بیشتری است، ضریب تغییرات کاهش یافته است. در منطقه مورد مطالعه، چاه‌های واقع در قسمت غربی دشت شامل $w_7, w_9, w_{18}, w_{20}, w_{22}, w_{25}, w_{49}$ دارای سطح آب بالاتری نسبت به سایر چاه‌ها هستند و با حذف تعدادی از این چاه‌ها در هر آستانه، ضریب تغییرات کاهش می‌یابد. به این ترتیب می‌توان چاه‌های باقی‌مانده در آستانه ۱ را که کمترین ضریب تغییرات را ایجاد می‌کنند، به عنوان چاه‌های شاخص در ارزیابی وضعیت سفره آب زیرزمینی در نظر گرفت.

برای اطمینان از نتیجه به دست آمده، مقدار خطا نیز برای هر آستانه محاسبه گردید. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، در آستانه ۱ با حذف تعداد زیادی از چاه‌ها خطا تا حد زیادی تعدیل شده است و بسیار نزدیک به وضعیتی است که کلیه چاه‌ها در محاسبات وارد می‌شوند (آستانه ۰). با توجه به نتایج به دست آمده، هر دو معیار ضریب تغییرات و خطای پایش در آستانه ۱ به حداقل می‌رسند. لذا می‌توان ۱۲ چاهی را که در این حد آستانه باقی مانده‌اند، به عنوان چاه‌های با اهمیت در پایش سطح ایستابی دشت ارومیه در نظر گرفت.



شکل ۲- خطای پایش در هر یک از آستانه‌ها

Figure 2- Monitoring error in the each threshold



شکل ۳- ضریب تغییرات متوسط در مقابل هر یک از آستانه‌ها

Figure 3- Average variation coefficient against threshold

نتیجه‌گیری کلی

به دلیل کاهش نزولات جوی و بهره‌برداری‌های بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی، پایش سطح ایستابی در مدیریت بهینه این منابع اهمیت بسزایی پیدا کرده است. اما معمولاً به دلیل وسیع بودن سفره‌های آبی و تعدد چاه‌های نمونه‌برداری، برداشت داده بسیار زمان‌بر و هزینه‌بر است که منجر به عدم وجود توجیه اقتصادی در بسیاری از اقدامات می‌گردد. آنالیز مؤلفه‌های اصلی از روش‌هایی است که می‌تواند برای خلاصه‌سازی داده‌ها و تقلیل نقاط نمونه‌برداری مورد استفاده قرار گیرد. به این ترتیب با شناسایی چاه‌های با اهمیت بیشتر و حذف چاه‌های غیرمؤثر می‌توان تا حد بسیاز زیادی در هزینه و زمان صرفه‌جویی کرد. در این مطالعه، ابتدا به کمک روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی، چاه‌های با ضریب همبستگی بالای ۰/۹ شناسایی شدند. سپس براساس میزان اهمیت نسبی هر چاه، رتبه آن تعیین گردید و با توجه به آستانه‌های تعیین شده، ضریب تغییرات و خطای پایش برآورد شد.

نتایج به دست آمده نشان داد که در آستانه ۱، تعداد ۱۲ حلقه چاه باقی می‌ماند که حدود یک چهارم کل چاه‌های مورد بررسی است و دارای کمترین ضریب تغییرات در مدل‌سازی تراز آب زیرزمینی است. خطای پایش نیز برای این ۱۲ چاه حدود ۱/۵ درصد است که رقم قابل اغماضی است و می‌توان این چاه‌ها را به عنوان چاه‌های شاخص در نمونه‌برداری و برآورد سطح سفره آب زیرزمینی در دشت ارومیه معرفی نمود. بررسی به عمل آمده توسط نوری قیدار (۱۴) نشان داد با حذف چاه‌هایی که اهمیت نسبی آنها کمتر از ۰/۵ می‌باشد، خطای تعیین تراز سطح آب زیرزمینی افزایش چندانی نمی‌یابد و مقدار آن کمتر از ۱۳ درصد خواهد بود.

منابع

1- Asakareh H., and Bayat A. 2013. Principal component analysis of annual rainfall properties of Zanjan city. Journal of Geography and Planning, 45(17): 121-142. (In Persian with English abstract).
2- Azizi T., and azizi G. 2013. Zoning rainfall regime in the West part of Iran using principal component analysis and clustering. Journal of Water Resources Research, 3(2): 62. (In Persian with English abstract).
3- Balafoutis C. 1991 Principal Component Analysis of Albanian Rainfall. Journal of Meteorology, 90(16): 155-164.
4- Debels P., Figueroa R., Urrutia R., Barra R., and Niell X. 2005. Evaluation of water quality in the Chilia River using Physicochemical parameters and a modified water quality index. Environmental Monitoring and Assess, 110:L 301–322.
5- Fournier M., Motelay-Massei A., Massei N., Aubert M., Bakalowicz M., and Dupont J.P. 2009. Investigation of Transport Processes inside karst Aquifer by Means of STATIS. Groundwater,47(3): 391-400.
6- Ghanbarlou1 Z, and Babaei Hessar S. 2013. Investigating Trends of Annual Meteorological Parameters in urmia Synoptic station. Second National conference on climate change and its impact on agriculture and the environment. Urmia. August. (in Persian with English abstract).
7- Gurunathan K., and Ravichandran S. 1994. Analysis of water quality data using a multivariate statistical technique - a case study. IAHS Pub, 219.
8- Helena B., Pardop R., Vega M., Barrado E., Manuel J., and Fernandez L. 2000. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer by principal component analysis. Water Resource, 34(3): 807-816.
9- Hu S., Luo T., and Jing C. 2013. Principal component analysis of fluoride geochemistry of groundwater in Shanxi and Inner Mongolia, China. Journal of Geochemical Exploration, 135: 124–129.
10- Iscen, C., Emiroglu O., Ilhan S., Arslan N., Yilmaz V., and Ahiska S. 2008. Application of multivariate statisticaltechniques in the assessment of surface water quality in Uluabat Lake, Turkey. Environmental Monitoring and Assess, 144(1-3): 269–276.
11- Jolliffe i.t. 2002. Principal Component Analysis. Springer series in statics, ISBN 978-0-387-95442-4.
12- 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 science research, 2(5): 59- 69. (in Persian with English abstract).
13- Nguyan T.T., Nakagawa A.K., Amaaguchi H., and Gilbuena R. 2013. Temporal chenges in the hydrochemical facies of groundwater quality in tow main aquifers in Hanoi. Vietnam, DOI: 10.5675/ICWRER_2013
14- Nouri Gheidari M. H. 2010. Identification of Outliers in regional flood frequency analysis using principal component analysis. Fifth National Congress on Civil Engineering, Ferdosi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
15- Nouri Gheidari M. H. 2013. Determination of effective wells to monitor the ground water level using the principal components analysis. Agriculture and Natural Resources, 17(64): 149-158. (in Persian with English abstract).
16- Oueslati O., Maria A., Girolamo D., Abouabdillah A., and Porto A. 2010. Attempts to flow regime classification and characterization in Mediterranean streams using multivariate. International Workshop in Statistical Hydrol. May 23-25, Taormina, Italy.
17- Pearson K. 1901. On lines and plans of closest fit to systems of points in Space. Philosophical Magazine 2(6): 559-572.
18- Petersen W. 2001. Process identification by principal component analysis of river water-quality data. Ecological Modelling . Model.138: 193-213.
19- Poorasghar F., Jahanbakhsh S., sari sarraf B., Ghaemi H., and Tadaiioni M. 2013. Zoning precipitation regime in the southern part of Iran, Journal of Geography and Planning. 17(44): 27-46, (in Persian with English abstract).
20- Sakizadeh M., Malian A., and Ahmadpour E. 2015. Groundwater Quality Modeling with a Small Data Set. Groundwater DOI: 10.1111/gwat.12317
21- 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. Hydrological sciences journal, *46*(2): 227-242.
22- Sauquet E. 2000. Mapping mean monthly runoff pattern using EOF analysis. Hydrology and Earth System. Sci. 4(1): 79-93.
23- Siyue L. 2009. Water quality in the upper Han River, China: The impacts of land use/land cover in riparian buffer zone. Hazardous Materials, 165(1): 317-324.
24- Stathis D., and Myronidis D. 2009. Principal component analysis of Precipitation in Thessaly Region (Central Greece). Global NEST Journal, 11(4): 467-476.
25- Steiner D. 1965. A Multivariate Statistical Approach to Climatic Regionalization and Classification. Nederlansch Gerootschap Reeks, LxxxII: 4: 329-347.

26- Strang G. 2005. Linear algebra and its applications (4th ed.). Brooks Cole, ISBN 978-0-03-010567-8.
27- Taguas E., Ayuso L., Pena A., Yuan Y., Sanchez M., Giraldez V., and Pérez R. 2008. Testing the relationship between instantaneous peak flow and mean daily flow in a Mediterranean Area Southeast Spain, Catena. 75(2): 129– 137.
28- Vonberg D., Vanderborght J., Cremer N., Pütz T., Herbst M., and Vereecken H. 2014. 20 years of long-term atrazine monitoring in a shallow aquifer in western Germany. Water Research, 50: 294–306.
29- Wan K.L. 2009. A new variable for climate change study and implications for the built environment. Renewable Energy, 34(3): 916-919.

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 1, Mar.-Apr. 2017, p. 40-50

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۱، فروردین –اردیبهشت ۱۳۹۶، ص. ۵۰-۴۰

Identify the Effective Wells in Determination of Groundwater Depth in Urmia Plain Using Principle Component Analysis

S. Babaei*[1]- G. Hamdami[2]- H. Ghasemieh[3]
Received: 07-09-2015
Accepted: 01-08-2016

Introduction: Groundwater is the most important resource of providing sanitary water for potable and household consumption. So continuous monitoring of groundwater level will play an important role in water resource management. But because of the large amount of information, evaluation of water table is a costly and time consuming process. Therefore, in many studies, the data and information aren't suitable and useful and so, must be neglected. The PCA technique is an optimized mathematical method that reserve data with the highest share in affirming variance with recognizing less important data and limits the original variables into to a few components. In this technique, variation factors called principle components are identified with considering data structures. Thus, variables those have the highest correlation coefficient with principal components are extracted as a result of identifying the components that create the greatest variance.

Materials and Methods: The study region has an area of approximately 962 Km^2 and area located between 37º 21´ N to 37º 49´ N and 44º 57´ E to 45º 16´ E in West Azerbaijan province of Iran. This area placed along the mountainous north-west of the country, which ends with the plane Urmia Lake and has vast groundwater resources. However, recently the water table has been reduced considerably because of the exceeded exploitation as a result of urbanization and increased agricultural and horticultural land uses. In the present study, the annual water table datasets in 51wells monitored by Ministry of Energy during statistical periods of 2002-2011 were used to data analysis. In order to identify the effective wells in determination of groundwater level, the PCA technique was used. In this research to compute the relative importance of each well, 10 wells were identified with the nearest neighbor for each one. The number of wells (p) as a general rule must be less or equal to the maximum number of observations (n), here it is the number of years. So, for each well there are a 10 * 10 matrix. It should be noted in monitoring adjacent wells to a specific well, its dataset is not used. To quantify the effect of each well according to the number of its participation in the analysis and frequency of its effectiveness, each well is ranked. In the next step, the ineffective wells were recognized and eliminated using both the variation coefficient and Error criteria. Following, the procedure will be discussed.

Results and Discussion: In this study, at first step using PCA technique wells were identified with a more than 0.9 correlation coefficient. Then each well ranked based on the relative importance and according to the specified thresholds, the variation coefficient and error of monitoring was estimated. The wells remain in threshold 1 led to the lowest variation coefficient, considered as effective wells in the evaluation of aquifer parameters. By eliminating ineffective wells at each threshold, the variation coefficient is reduced because of the elimination of wells with a greater difference in water depth compared to the average of whole wells. To check the certainty of obtained results, the error criteria were calculated for each threshold. According to the results, both variation coefficient and standard error of monitoring in threshold 1 come to be at least. Thus, 12 wells remain in the threshold 1 are considered as the important wells in monitoring the water table of plain Urmia. Monitoring error for these 12 wells is equal to 5.1 % which is negligible and can be introduced as index wells in sampling and estimation of groundwater table in plain Urmia. Using this method, instead measurements of water table in 51 wells it can be performed exclusively in the 12 wells.

Conclusion: Due to reduction of precipitation and unauthorized uses of groundwater resources, water table monitoring is very important in the accurate management of these resources. Because of extensive aquifers and large number of wells, water sampling and data collection is very time consuming and costly process, that leads to no economic justification in the lot of proceedings. Principal component analysis technique is suitable method to reduce sampling points and summarize information. In this study, at first step using PCA technique wells were identified with a more than 0.9 correlation coefficient. Then each well ranked based on the relative importance and according to the specified thresholds, the variation coefficient and error of monitoring was estimated. The

1,3- Ph.D Student of Water Resource Management and Assistance Professor, Faculty of Natural Resources & Earth Sciences, Kashan
(*- Corresponding Author Email: Babaei.sah@gmail.com)
2- M.Sc. Graduated of Water Resource Management, Faculty of Natural Resources, Gorgan University

results showed that the 12 wells remain in threshold 1. In this way, the cost, time and manpower required to measurements and analysis process cut into quarters.

Keywords: Coefficient of variation, Groundwater, Effective wells, Monitoring, Urmia Plain