تعیین چاه‌های مؤثر در تعیین تراز سطح آب زیرزمینی با آنالیز مؤلفه‌های اصلی

محمد حسین نوری قیداری[۱*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۴/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۷/۲)

چکیده

در برداشت‌های صحرائی مثل نمونه‌برداری از عمق آب در چاه‌ها، تعیین نقاط مهم جهت نمونه‌برداری به لحاظ کاهش حجم نمونه‌ها و صرفه‌جویی در هزینه و زمان بسیار مهم است. آنالیز مؤلفه‌های اصلی یکی از تکنیک‌های کاهش داده می‌باشد که اساس آن شناسایی مؤلفه‌های توصیف‌کننده واریانس سیستم می‌باشد. در این مقاله از آنالیز مؤلفه‌های اصلی جهت تعیین چاه‌های مؤثر برای تعیین تراز سطح ایستابی سفره آب زیرزمینی دشت قیدار واقع در استان زنجان و حذف چاه‌های کم اهمیت استفاده شده است. در منطقه مورد مطالعه با وسعت ۹۲۰ کیلومترمربع ۴۸ چاه مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی اهمیت نسبی هر چاه بین ۰ (برای چاه کاملاً غیر مؤثر) تا ۱ (برای چاه کاملاً مؤثر) محاسبه گردید. بررسی به عمل آمده نشان داد با حذف چاه‌هایی که اهمیت نسبی آنها کمتر از ۰/۵ که تعداد آنها نصف کل چاه‌ها 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 درصد خواهد بود.

واژه‌های کلیدی : آنالیز مؤلفه‌های اصلی، سطح ایستابی، آمار چند متغیره

۱. گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زنجان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: noorigheidari@gmail.com

مقدمه

زمانی که مطالعه جامعه به علت دردسترس نبودن و یا نامحدود بودن مقدور نباشد مجبور به نمونه‌گیری و تجزیه و تحلیل آن و در نهایت تعمیم نتایج آن به کل جامعه هستیم. یکی از مزیت‌های نمونه‌گیری کاهش هزینه‌ها و صرفه‌جویی در زمان می‌باشد. اگر نمونه‌گیری از جامعه صحیح باشد، حجم نمونه انتخابی می‌تواند کوچک باشد و یا به عبارت دیگر اگر اهمیت هر نمونه به لحاظ میزان اطلاعاتی که در مورد جامعه ارائه می‌دهد مشخص گردد، می‌توان در نمونه‌گیری‌های بعدی از نمونه‌هایی که اطلاعات چندانی ارائه نمی‌دهد صرف‌نظر کرد که این صرفه‌جویی در زمان و هزینه را بسیار بالا می‌برد(۱۱ و ۱۳).

طراحی شبکه پایش(مونیتورینگ) آب زیرزمینی معمولاً به منظور پایش سطح آب زیرزمینی، کیفیت آب زیرزمینی و یا هر دو انجام می‌گیرد که نقش اساسی در مدیریت بهره‌برداری از آبخوان دارد. در طراحی شبکه پایش آب زیرزمینی، بعد از تعیین هدف، نکته کلیدی مشخص کردن چاه‌های مؤثر بر پایش می‌باشد. در شبکه پایش آب زیرزمینی باید سعی گردد، جهت صرفه‌جویی در وقت و هزینه (هم از لحاظ زمان محاسبات و هم از جنبه نمونه‌برداری)، از چاه‌های اصلی که همان چاه‌های مؤثر بر پایش هستند استفاده گردد. اگر بسته به هدف پایش، اهمیت نسبی هر چاه در مدل کردن آب زیرزمینی مشخص گردد، می‌توان جهت بالا بردن دقت پایش، دقت نمونه‌برداری و کنترل کیفیت را در چاه‌های مهم افزایش داد. روش‌های پایش به دو روش زمین‌شناسی و آماری انجام می‌گیرد(۴). روش زمین‌شناسی بر اساس کمیت و کیفیت اطلاعات زمین‌شناسی و آب زیرزمینی استوار بوده و از روش‌های پیشرفته آماری استفاده نمی‌گردد(۶). ولی در روش آماری، که خود شامل روش شبیه‌سازی، تحلیل واریانس و روش احتمالاتی می‌باشد، از روش‌های پیشرفته آماری مثل زمین آمار و روش‌های نوین مثل شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک استفاده می‌گردد. در این مقاله از آنالیز مؤلفه‌های اصلی، که یک تکنیک آماری چند متغیره است، برای پایش شبکه سطح آب‌زیرزمینی استفاده گردیده است. در روش به‌کار برده شده برحسب هدف پایش، اهمیت نسبی تک‌تک چاه‌ها مشخص شده و جهت صرفه‌جویی در زمان و هزینه، چاه‌های کم مؤثر حذف می‌گردد. آنالیز مؤلفه‌های اصلی با توجه به میزان هم‌بستگی یا کوواریانس بین چاه‌ها یا نقاط اندازه‌گیری، متغیرهای نهان یا مؤلفه‌های اصلی را تعریف می‌کند که این مؤلفه‌های اصلی توانایی تفسیر تغییرات موجود در داده‌های اصلی می‌باشد(۷). از بین این مؤلفه‌های اصلی آنهایی که دارای واریانس بیشتری هستند، دارای اطلاعات بیشتری از ساختار داده‌های اصلی بوده و از اهمیت بالایی برخوردارند و هر چاهی که داده‌های آن دارای هم‌بستگی بالایی با این مؤلفه‌های اصلی می‌باشد به عنوان چاه مؤثر و مهم قلمداد می‌شود.

زمینه‌های کاربردی روش مؤلفه‌های اصلی وسیع بوده و مخصوصاً در آب‌های سطحی و خاک استفاده‌های فراوانی دارد(۱۱). از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی آلودگی آب‌های زیرزمینی استفاده می‌گردد(۲، ۹ و ۱۰). گرونتان و راوهچاندران با استفاده از آنالیزمؤلفه‌های اصلی عوامل مؤثر بر کیفیت سفره‌های غیر محصور ایتالیا را تبخیر، سیکل آبیاری و کیفیت سنگ بستر تشخیص دادند(۳). هلنا و همکارانش برای بررسی تغییرات زمانی کیفیت آب زیرزمینی بین ابتدا و انتهای دوره آبیاری از آنالیز مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند. دبلس و همکارانش برای برررسی کیفیت آب زیرزمینی، یک شاخص براساس پارامترهای اکسیژن محلول(DO)، اکسیژن خواهی شیمیایی(COD)، اسیدیته(PH)، دما و هدایت الکتریکی به کمک آنالیز مؤلفه‌های اصلی ارائه کردند(۱).کوسلاتی و همکارانش برای تعیین رژیم رودخانه و دسته بندی جریان رودخانه از آنالیز مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند(۸). ایسن و همکارانش با آنالیز مؤلفه‌های اصلی سه عامل میکروبیولوژی، مواد مغذی و فاکتور فیزیکوشیمیایی که بیش از ۷۷ درصد از کیفیت آب دریاچه اوتاب ترکیه را شامل می‌شوند را شناسایی کردند(۶). وان از روش مؤلفه‌های اصلی برای بررسی روند تغییر اقلیم استفاد کرد و یک متغیر جدید

برای بررسی روند تغییر اقلیم پیشنهاد کرد که بررسی تغییرات اقلیم را بسیار ساده می‌کرد(۱۴). سوتوک برای بررسی رژیم رودخانه و بررسی روند تغییر آن روش مؤلفه‌های اصلی را به‌کار برند(۱۲). هیسدال و تالاکسن برای ناحیه‌بندی ایستگاه‌های هیدرومتری جهت آنالیز فراوانی منطقه‌ای سیلاب از آنالیز مؤلفه‌های اصلی استفاده کرد و در یک نمودار اولین مؤلفه‌اصلی ایستگاه‌ها را در مقابل دومین مؤلفه اصلی ایستگاه‌ها رسم کرد و به این نتیجه رسید که هرچقدر این نقاط نزدیک هم باشند نشان‌دهنده همگنی ایستگاه‌ها می‌باشند(۵). تاگوس و همکارانش برای بررسی رابطه بین دبی لحظه‌ای و دبی روزانه از آنالیز مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند(۱۵).

در این تحقیق با آنالیز مؤلفه‌های اصلی به عنوان یک روش کاهش داده جهت تعیین اهمیت نسبی چاه‌های دشت قیدار به‌کار گرفته شده است و در ادامه خطای حذف چاه‌های کم اهمت محاسبه شده و در نهایت تعداد چاه‌های بهینه جهت تعیین تراز سطح آب زیرزمینی تعیین خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه در جنوب غرب شهرستان ابهر و جنوب شرق شهرستان قیدار قراردارد و سفره آب زیرزمینی قیدارکه حدود ۹۲۰ کیلومتر مربع می‌باشد. این ناحیه در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۸ دقیقه شرقی قرار گرفته و از طریق جاده آسفالته به شهرستان‌های ابهر، قیدار و آوج متصل می‌شود. منطقه قیدار از جمله نواحی کوهستانی ایران به شمار می‌آید که از منابع غنی آب‌های زیرزمینی برخوردار است که در سال‌های اخیر به علت خشک‌سالی و بهره‌برداری بیش از حد مجاز افت زیادی در سطح آب زیرزمینی منطقه مشاهده گردیده است. در شکل ۱ محدوده مورد مطالعه و موقعیت چاه‌های منطقه نمایش داده شده است. در این تحقیق از ۴۸ چاه نظارت شده توسط وزارت نیرو، برای پایش سطح آب زیرزمینی دشت قیدار استفاده شده است. برای آنالیز مؤلفه‌های اصلی از داده‌های سالانه سطح آب زیرزمینی این چاه‌ها که از سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۵ ثبت گردیده استفاده شده است.

روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی: فرض شود ماتریس X یک ماتریس $n\times p$ باشد که n تعداد مشاهدات برای p متغیر است. در این تحقیق n تعداد سال‌های آماری است که عمق آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده و p تعداد چاه‌ها یا تعداد ایستگاه‌ها می‌باشد. با استفاده از هم‌بستگی تراز سطح آب در p چاه مجاور هم، به کمک روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی اهمیت نسبی هر چاه در نمایش تغییرات عمق آب زیرزمینی آبخوان(یا جامعه) تعیین می‌گردد. در روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی، مؤلفه‌های اصلی به صورت توابع خطی زیر تعریف می‌شوند(۱۰).

$$\begin{aligned} z_1 &= Xa_1 = a_{1,1}x_1 + a_{2,1}x_2 + \ldots + a_{p,1}x_p \\ z_2 &= Xa_2 = a_{1,2}x_1 + a_{2,2}x_2 + \ldots + a_{p,2}x_p \\ &\vdots \\ z_p &= Xa_p = a_{1,p}x_1 + a_{2,p}x_2 + \ldots + a_{p,p}x_p \end{aligned} \qquad [1]$$

که در آن $a_{i,j}$ عنصر i ام از مؤلفه اصلی j ام بوده و a_j ضریب تبدیل متغیرهای اصلی(X) به j امین مؤلفه‌های اصلی(z_j) می‌باشد. با استفاده از خواص ماتریس‌ها می‌توان ثابت کرد که ضرایب مؤلفه‌های اصلی(a_j)، بردارهای ویژهٔ مربوط به ماتریس کوواریانس، S، می‌باشند. مقدار و بردار ویژه ماتریس S از روابط زیر محاسبه می‌گردد.

$$|S-\lambda I| = 0 \qquad [2]$$

در رابطه فوق اگر P تعداد چاه‌ها باشد آنگاه I یک ماتریس واحد $P\times 1$ بوده و S ماتریس کوارایانس مرتبه P است که از رابطه زیر قابل محاسبه است.

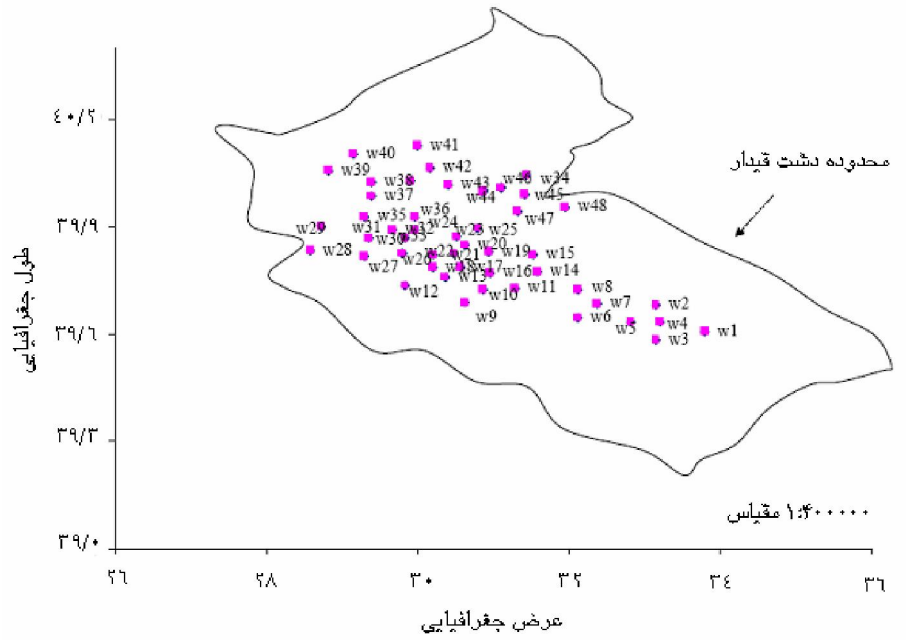
$$S = X^T X/n - 1 \qquad [3]$$

در رابطه فوق T علامت ترانهاده می‌باشد. محدودیت‌های حل معادله ۲ عبارت‌اند از:

عمود بودن بردارهای ویژه

$(a_j^T a_i = a_i^T a_j = 0, i \neq j)$

نرمال یا یکه بودن بردارهای ویژه$(a_j^T a_j = 1)$



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه و موقعیت چاه‌ها در آبخوان دشت قیدار

محدودیت‌های فوق باعث می‌گردد جواب‌های معادله ۲ یگانه بوده و مؤلفه‌های اصلی،z_j، مستقل باشند. اگر $a_1,a_2,...,a_p$ به ترتیب بردارهای ویژه مربوط به مقادیر ویژه $\lambda_1,\lambda_2,...,\lambda_p$ باشند(بخطوری‌که برای $i<j$، $\lambda_i>\lambda_j$ است) آنگاه معادله ۱ به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود.

$$Z = X A \qquad [۴]$$

که در آن $Z=(z_1,z_2,...,z_p)$ و $A=(a_1,a_2,...,a_p)$ است.

واریانس مؤلفه‌های اصلی، z_j، همان مقادیر ویژه متناظر آنها می‌باشد. یعنی واریانس اولین مؤلفه اصلی(z_1) برابر λ_1 است. پس اولین مؤلفه اصلی بیشترین واریانس را داشته که نشان دهنده بالا بودن قابلیت اولین مؤلفه اصلی در شناسایی تغییرات سطح آب زیرزمینی می‌باشد. اولین مؤلفه اصلی، خطی است که امتداد آن منطبق با بیشترین پراکندگی قابل مشاهده در داده‌های اصلی است. دومین مؤلفه اصلی(z_j) دارای واریانس λ_2 بوده که از لحاظ مقدار واریانس در رتبه دوم قرار دارد و امتداد آن در راستایی است که پراکندگی قابل مشاهده داده‌ها در رتبه دوم قرار دارد. بقیه مؤلفه‌های اصلی نیز به همین ترتیب توصیف می‌گردند. مؤلفه‌های 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 i(x_i) با مؤلفه‌های jام(z_j) از رابطه زیر قابل محاسبه است .

$$Cor(z_j,x_i)=\lambda_j^{1/2}a_{i,j} \qquad [۵]$$

در رابطه فوق $a_{i,j}$ عنصر i ام از مؤلفه اصلی j ام می‌باشد. هرچقدر این ضریب بالا باشد نشان‌دهنده بالا بودن اهمیت نسبی چاه است.

به‌طور خلاصه مراحل تعیین اهمیت نسبی چاه‌های دشت قیدار شامل مراحل زیر است:

۱. انتخاب چاه‌ها برای آنالیز مؤلفه‌های اصلی: در آنالیز مؤلفه‌های اصلی باید تعداد متغیرها(چاه‌ها)، p، کمتر ویا حداکثر برابر تعداد داده‌های مشاهده شده(تعداد سال‌های آماری)، n، باشد(۸). با توجه به این‌که در این تحقیق از آمار سالانه سطح آب زیرزمینی چاه‌های دشت قیدار که از سال ۱۳۷۳ تا سال ۱۳۸۵ ثبت شده در دسترس است، تعداد داده‌ها و یا مشاهدات هر چاه ۱۳ مورد می‌باشد و برای پایش هر

چاه از ۱۳ چاه مجاور استفاده شده است. به‌طور مثال با توجه به شکل ۱ برای پایش چاه w_8 از ۱۳ چاه مجاور یعنی w_7، w_6، w_9، w_{10}، w_{11}، w_{14}، w_{15}، w_{16}، w_1، w_5، w_2، w_4 و w_3 استفاده شده است. بنابراین ماتریس داده‌ها، X، برای آنالیز مؤلفه‌های اصلی چاه w_8، یک ماتریس ۱۳×۱۳ است. در این مرحله به ازای هر چاه یک ماتریس X خواهیم داشت. لازم به‌ذکر است وقتی ماتریس X برای یک چاه تعریف می‌گردد از داده‌های خود چاه استفاده نمی‌شود بلکه تنها از ۱۳ چاه مجاور استفاده می‌شود.

۲. انجام آنالیز مؤلفه‌های اصلی برای تک‌تک ماتریس‌های X، که در مرحله ۱ تعریف گردیدند و محاسبه ضریب هم‌بستگی هرچاه با مؤلفه‌های اصلی از رابطه(۵).

۳. انتخاب چاه‌های مؤثر در هر آنالیز مؤلفه‌های اصلی: در این تحقیق در هر آنالیز مؤلفه‌های 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(۳).

۴. محاسبه اهمیت نسبی هر چاه: در مرحله ۲ و ۳ به تعداد چاه‌ها، آنالیز مؤلفه‌های اصلی انجام گرفته و در هر آنالیز مؤثر بودن چاه مشخص می‌گردد. هرچقدر فراوانی مؤثر شناخته شدن یک چاه بالا باشد، اهمیت نسبی آن چاه بالا می‌رود. در پایش سطح آب زیرزمینی اهمیت نسبی هر چاه از نسبت تعداد مواقعی که آن چاه در آنالیز مؤلفه‌های اصلی به‌عنوان چاه مؤثر شناخته شده به تعداد مواقعی که آن چاه در آنالیز مؤلفه‌های اصلی شرکت داده شده است، تعریف می‌گردد. این نسبت اهمیت هرچاه را نسبت به چاه‌های دیگر نشان می‌دهد. پس می‌توان جهت صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ها، چاه‌های کم اهمیت را در پایش سطح آب زیرزمینی آبخوان حذف کرد.

با حذف هر چاه ممکن است بخشی از اطلاعات سفره آب زیرزمینی حذف گردد. برای بررسی عدم قطعیت در انتخاب تعداد چاه‌های مؤثر، از متوسط ضریب تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان استفاده می‌شود. برای این منظور ابتدا با توجه به دقت (یا اهمیت نسبی) مورد نظر چاه‌های مؤثر شناسایی شده و با استفاده از داده‌های این چاه‌های مؤثر، ضریب تغییرات عمق آب زیرزمینی آبخوان برای تک تک سال‌های آماری محاسبه و متوسط آن محاسبه می‌گردد. هر چقدر تعداد حذف چاه‌ها زیاد باشد آنگاه متوسط ضریب تغییرات عمق آب زیرزمینی آب خوان زیاد خواهد شد. باید تا آنجایی چاه‌های غیر مؤثر حذف شوند که متوسط ضریب تغییرات آبخوان تغییر زیادی نکند. با استفاده از رابطه زیر مقدار متوسط عدم قطعیت یا خطای پایش به ازای حذف چاه‌های غیر مؤثر قابل محاسبه است(۳).

$$\text{error} = \frac{(cv_m - cv_{m_0})}{cv_{m_0}} \times ۱۰۰ \qquad [۶]$$

در رابطه فوق cv_m: مقدار متوسط ضریب تغییرات عمق آب زیرزمینی آبخوان بعد از حذف چاه‌های غیر مؤثر بوده و cv_{m0}: مقدار متوسط ضریب تغییرات عمق آب زیرزمینی آبخوان با وجود همه چاه‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

برای انجام پایش سطح آب زیرزمینی دشت قیدار، آنالیز مؤلفه‌های اصلی برای تک تک چاه‌ها انجام می‌گیرد که برای این منظور جهت انجام آنالیز مؤلفه‌های اصلی برای یک چاه، با توجه به ۱۳ سال آماری، ۱۳ چاه مجاور انتخاب شده و داده‌های سطح ایستابی آنها تحت عنوان ماتریس X در رابطه (۱) تعریف شده و سپس آنالیز مؤلفه‌های اصلی روی آنها انجام گرفته تا چاه‌های مؤثر در پایش چاه مورد نظر مشخص شود. در جدول۱ به‌طور نمونه نتیجه این آنالیز که برای پایش چاه w_8 ارائه گردیده است. در پایش چاه w_8 از ۱۳ چاه مجاور استفاده شده که تعداد مؤلفه‌های اصلی یا متغیرهای نهان ۱۳ مورد خواهد بود که اهمیت هر مؤلفه اصلی برابر واریانس آن (که همان مقدار ویژه مربوطه است) می‌باشد. از آنجا که تنها تعداد کمی از این مؤلفه‌های اصلی که بیشترین واریانس می‌باشند قادر به توصیف تغییرات سیستم هستند، می‌توان برای تعیین چاه‌های مؤثر تنها از این مؤلفه‌های اصلی مهم استفاده کرد و

جدول۱. ماتریس ضریب هم‌بستگی برای پایش چاه w_8

چاه‌ها(w_i)	مؤلفه‌های اصلی(z_j)		
	z_1	z_2	z_3
w_{15}	۰/۵۶۴	۰/۹۱۲*	۰/۳۷۹
w_9	۰/۹۷۱	۰/۴۳۲	۰/۱۶۲
w_6	۰/۱۲۳	۰/۷۵۱	۰/۴۶۸
w_{10}	۰/۹۲۵	۰/۲۱۳	۰/۴۷۶
w_7	۰/۶۴۵	۰/۸۴۵	۰/۲۶۳
w_{11}	۰/۸۶۲	۰/۴۸۶	۰/۷۴۵
w_{14}	۰/۹۸۵	۰/۷۱۲	۰/۰۹۵
w_5	۰/۴۳۶	۰/۹۱۸	۰/۴۲۶
w_2	۰/۵۳۲	۰/۶۳۵	۰/۹۶۳
w_4	۰/۷۹۸	۰/۶۹۵	۰/۵۶۴
w_3	۰/۳۴۸	۰/۸۹۶	۰/۸۴۵
w_1	۰/۹۸۶	۰/۳۸۲	۰/۰۶۴
w_{16}	۰/۹۷۳	۰/۴۷۲	۰/۱۷۶

*: در جدول فوق اگر ضریب همبستگی بین مولفه‌های اصلی و چاه بیش از ۰/۹ باشد به عنوان چاه مؤثر شناخته شده و زیر آن خط کشیده شده است.

بقیه را که دارای اطلاعات کمتری هستند حذف کرد. به عبارت دیگر چون هدف محاسبه ضریب هم‌بستگی بین چاه‌ها و مؤلفه‌های اصلی جهت تعیین چاه‌های مؤثر است، تنها از سه مؤلفه اول استفاده می‌شود که در آنها ضریب هم‌بستگی بالا و معنی‌دار است. همان‌طور که از جدول ۱ پیداست چاه‌های w_{15}، w_9، w_{10}، w_{14}، w_5، w_1 و w_{16} دارای ضریب هم‌بستگی بالای ۰/۹ بوده و به‌عنوان چاه‌های مؤثر در پایش چاه w_8 شناخته می‌شوند. این آنالیز برای مونیتوریگ بقیه چاه‌ها انجام می‌گیرد تا تعداد دفعاتی که یک چاه به عنوان چاه مؤثر شناخته می‌شود مشخص گردد. اهمیت نسبی یک چاه برابر نسبت فراوانی مؤثر شناخته شدن آن چاه به تعداد دفعاتی که در آنالیز مؤلفه‌های اصلی شرکت داده شده است می‌باشد. در جدول ۲ اهمیت نسبی هر چاه برای منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. با توجه به این جدول هر چاهی که از رتبه بالایی برخوردار است از اهمیت نسبی بیشتری در مدل کردن سطح آب زیرزمینی آبخوان برخوردار است. از بین تمامی چاه‌ها، چاه w_{19} از بالاترین اهمیت برخوردار است.

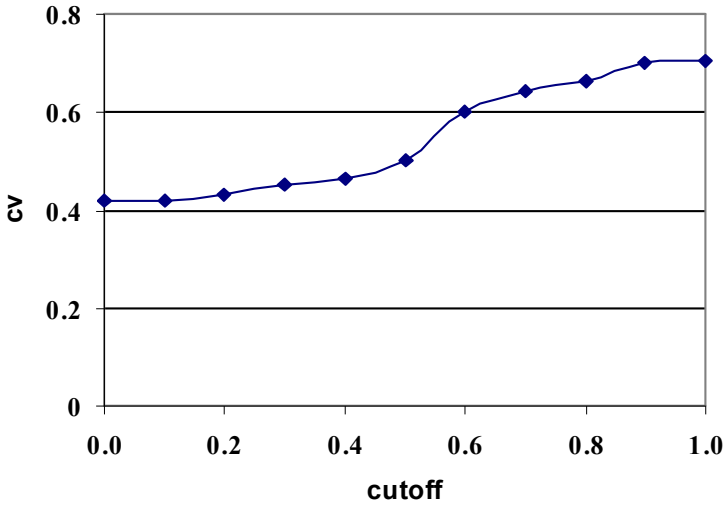
اگر حد آستانه قابل رتبه‌بندی چاه‌ها جهت تعیین چاه‌های اصلی و تاثیرگذار در شبکه پایش سطح آب زیرزمینی آبخوان ۰، ۰/۲، ۰/۴، ... و ۱ در نظر گرفته شود تعداد چاه‌های اصلی بترتیب برابر ۴۸، ۴۳، ۳۲، ۱۴، ۵ و ۱ می‌باشد. برای بررسی عدم قطعیت در انتخاب تعداد چاه‌های مؤثر، برای هر حد آستانه چاه‌های مؤثر یا اصلی شناسایی شده و از روی داده‌های آنها ضریب تغییرات(cv) سطح آب زیرزمینی آبخوان برای تک تک سال‌های آماری محاسبه شده و مقدار متوسط آن(cv_m) برآورد شده است. در شکل ۲ مقدار متوسط ضریب تغییرات در مقابل حدآستانه رسم شده است. با توجه به شکل ۲ در حد آستانه۰ تا ۰/۵(که تعداد چاه‌های مؤثر از ۴۸ تا ۲۴ حلقه کاهش می‌یابد)

جدول ۲. رتبه‌بندی چاه‌ها بر اساس آنالیز مولفه‌های اصلی

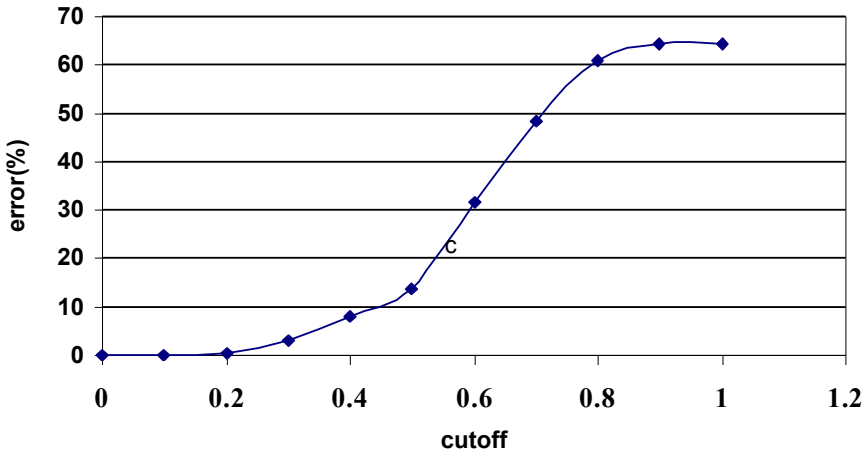
چاه	تعداد دفعاتی که به‌عنوان چاه مؤثر شناخته شده	تعداد دفعاتی که در آنالیز شرکت داده شده	رتبه ستون۳/ستون۲	چاه	تعداد دفعاتی که به‌عنوان چاه مؤثر شناخته شده	تعداد دفعاتی که در آنالیز شرکت داده شده	رتبه ستون۳/ستون۲
W_{19}	۹	۹	۱	W_1	۴	۹	۰/۴۴
W_8	۱۰	۱۱	۰/۹۱	W_{37}	۲	۵	۰/۴۰
W_{10}	۷	۸	۰/۸۷	W_{44}	۲	۵	۰/۴۰
W_5	۵	۶	۰/۸۳	W_2	۲	۵	۰/۴۰
W_{24}	۹	۱۱	۰/۸۱	W_{12}	۲	۶	۰/۳۳
W_{26}	۷	۹	۰/۷۸	W_{45}	۲	۶	۰/۳۳
W_{38}	۶	۸	۰/۷۵	W_3	۳	۹	۰/۳۳
W_{42}	۶	۸	۰/۷۵	W_{31}	۳	۱۰	۰/۳۰
W_{15}	۴	۶	۰/۶۶	W_{46}	۲	۷	۰/۲۸
W_{32}	۶	۹	۰/۶۶	W_{20}	۳	۱۱	۰/۲۷
W_{21}	۴	۶	۰/۶۶	W_{40}	۳	۱۱	۰/۲۷
W_{39}	۴	۶	۰/۶۶	W_{11}	۲	۸	۰/۲۵
W_{28}	۴	۷	۰/۶۲	W_{30}	۲	۸	۰/۲۵
W_{41}	۶	۱۰	۰/۶۰	W_{18}	۲	۹	۰/۲۲
W_6	۵	۸	۰/۵۷	W_7	۲	۹	۰/۲۲
W_{29}	۵	۹	۰/۵۷	W_{22}	۱	۵	۰/۲۰
W_9	۵	۹	۰/۵۵	W_{27}	۱	۶	۰/۱۶
W_{43}	۵	۹	۰/۵۵	W_{13}	۱	۹	۰/۱۱
W_{33}	۳	۵	۰/۵۵	W_{47}	۱	۱۰	۰/۱۰
W_{14}	۶	۱۱	۰/۵۴	W_{34}	۰	۶	۰
W_{23}	۴	۷	۰/۵۴	W_{17}	۰	۶	۰
W_{26}	۶	۱۲	۰/۵۰	W_{48}	۰	۸	۰
W_{16}	۴	۸	۰/۵۰	W_{25}	۰	۹	۰
W_{35}	۴	۸	۰/۵۰	W_4	۰	۷	۰

مقدار متوسط ضریب تغییرات تغییر چندانی نمی‌کند یعنی اگر حدآستانه بین ۰ تا ۰/۵ باشد با حذف چاه‌های کم اهمیت خطای چندانی در نمایش سطح آب زیرزمینی آبخوان رخ نمی‌دهد. ولی اگر حد آستانه از ۰/۵ بالاتر رود یعنی چاه‌های زیادتری حذف گردند ضریب تغییرات در سطح آب‌های زیر زمینی زیاد می‌شود. بنابراین حد آستانه مطلوب ۰/۵ بوده که در این وضیت از ۴۸ حلقه چاه، ۲۴ حلقه به‌عنوان چاه مؤثر و یا چاه اصلی شناسایی شده و بقیه چاه‌ها که تعداد آنها ۲۴ حلقه است به‌عنوان چاه کم اهمیت شناخته می‌شود. بدین‌ترتیب می‌توان نصفی از چاه‌های منطقه را در مدل سازی سطح آب‌های زیرزمینی آبخوان جهت صرفه‌جویی در وقت و هزینه حذف کرد و دقت زیادی در اندازه‌گیری و قرائت بقیه چاه‌های مهم جهت بالا بردن دقت مدل‌سازی به عمل آورد.

با استفاده از رابطه۶ مقدار متوسط عدم قطعیت یا خطای



شکل۲. میزان متوسط ضریب تغییرات برحسب حد آستانه رتبه‌بندی



شکل۳. میزان خطای پایش برحسب حد آستانه رتبه‌بندی

پایش محاسبه گردید و میزان این خطا برای حد آستانه‌های مختلف و یا تعداد چاه‌ها در شکل۳ نمایش داده شده است. مقدار خطای حد آستانه ۰/۵ برابر ۱۳ درصد است یعنی با حذف ۲۴ چاه کم اهمیت خطای برآورد سطح آب زیرزمینی ۱۳ درصد نسبت به حالتی که از تمامی چاه‌ها استفاده می‌شد، افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است مقدار خطا یا عدم‌قطعیت از حد آستانه ۰/۵ به بالا افزایش چشمگیری دارد. بنابراین از روی خطای برآورد آب زیرزمینی، حد آستانه مطلوب همان ۰/۵ است.

نتیجه‌گیری

آنالیز مؤلفه‌های اصلی یک روش آماری چند متغیره است که جهت بررسی ساختار داده و شناسایی عوامل ایجاد تغییرات در داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. عوامل ایجاد تغییرات در داده‌ها، متغیرهای نهان هستند که به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی شناخته می‌شوند. همانطور که مشاهده گردید می‌توان براساس میزان هم‌بستگی مؤلفه‌های اصلی با متغیر اصلی اهمیت نسبی هر متغیر را تعیین کرد. در این مطالعه متغیرها عمق آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده در چاه‌های مختلف بود. با استفاده از

آنالیز مؤلفه‌های اصلی اهمیت نسبی هر چاه در برآورد سطح آب زیرزمینی آبخوان قیدار محاسبه گردید. با استفاده از اهمیت نسبی چاه‌ها می‌توان بر حسب دقت مورد نیاز تنها از چاه‌های مهم جهت پایش سطح آب زیرزمینی آبخوان استفاده کرد که این باعث صرفه جویی در زمان و هزینه‌ها می شود. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد، برای آبخوان دشت قیدار حد آستانه قابل قبول ۰/۵ می‌باشد یعنی از ۴۸ حلقه چاه مورد مطالعه، ۲۴ حلقه به‌عنوان چاه اصلی یا چاه مؤثر و بقیه ۲۴ حلقه به‌عنوان چاه‌های کم اهمیت شناخته می‌شود. این در حالی است که با حذف این ۲۴ حلقه چاه کم اهمیت، خطای برآورد سطح آب زیرزمینی مورد مطالعه تنها ۱۳ درصد نسبت به حالتی که از همه چاه‌ها استفاده می‌گردد، افزایش می‌یابد.

منابع مورد استفاده

1. Debels, P. Figueroa, R. Urrutia, R. Barra, R. and X. Niell. 2005. Evaluation of water quality in the Chilia River using physicochemical parameters and a modified water quality index. Environ. Monitoring and Assess. 110: 301–322.
2. Giussani, B. 2008. Three-way principal component analysis of chemical data from Lake Como watershed. Microchem. J. 88: 160-166.
3. Gurunathan, K. and S. Ravichandran. 1994. Analysis of water quality data using a multivariate statistical technique - a case study. IAHS Pub., No. 219.
4. Helena, B. Pardop, R. Vega, M. Barrado, E. Manuel, J. and L. Fernandez. 2000. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer by principal component analysis. Water Res. 34(3): 807-816.
5. Hisdal, H. and L.M. Tallaksen. 1999. Methods for Regional Classification of Steamflow Drought Series: The EOF Method and L-moments, The EOF Method and L-moments. ARIDE Technical Report No 2, University of Oslo, Oslo, Norway.
6. Lucas, L. and M. Jauzein. 2008. Use of principal component analysis to profile temporal and spatial variations of chlorinated solvent concentration in groundwater. Environ. Pollut.151: 205-212.
7. Ouyang, Y. 2005. Evaluation of river water quality monitoring stationa by principal component analysus. Water Res.39: 2621-2635.
8. Petersen, W. 2001. Process identification by principal component analysis of river water-quality data. Ecol. Model.138: 193-213.
9. Pop, H.F. 2002. Principal components analysis versus fuzzy principal component analysis a case study: the quality of Danube water (1985-1996). Talanta 65: 1215-1220.
10. Sauquet, E. 2000. Mapping mean monthly runoff pattern using EOF analysis. Hydrol. and Earth Sys. Sci. 4(1): 79-93.
11. Siyue, L. 2009. Water quality in the upper Han River, China: Thke impacts of land use/land cover in riparian buffer zone. J. Hazardous Materials 165: 317-324.
12. Wan, K.L. 2009. A new variable for climate change study and implications for the built environment. Renewable Energy 34: 916-919.
13. Oueslati, O., A. Maria, D. Girolamo, A. Abouabdillah and A.Porto. 2010. Attempts to flow regime classification and characterization in Mediterranean streams using multivariate. Intl. Workshop in Statistical Hydrol. May 23-25, Taormina, Italy.
14. Iscen, C., O. Emiroglu, S. Ilhan, N. Arslan, V. Yilmaz and S. Ahiska. 2008. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of surface water quality in Uluabat Lake, Turkey. Environ. Monit Assess. 144: 269–276.
15. Taguas, E., L. Ayuso, A. Pena, Y. Yuan, M. Sanchez, V. Giraldez and R. Pérez 2008. Testing the relationship between instantaneous peak flow and mean daily flow in a Mediterranean Area Southeast Spain. Catena 75: 129–137.

Determintion of Effective Wells to Monitor the Ground Water Level Using the Principal Components Analysis

M. H. Nouri Gheidari[1]*

(Received : June 22-2011 ; Accepted : Sep. 23-2012)

Abstract

In order to monitor the changing water table in the field, determination of the main sampling points is very important to reduce sites and save time and cost. Principal Component Analysis (PCA) is one of the data reduction techniques used to extract the important components that explain the variance of a system. In this paper, the PCA was used to identify the effective wells of Qheidar Aqufer, Zanjan, to determine the groundwater level and remove the less important ones. From the study region which an area of about 920 km^2, 48 wells (sites) were investigated. Using PCA, the relative importance of each well was calculated between 0 (for completely ineffective well) to 1 (for the very effective wells). The study showed the elimination of wells whose relative importance was less than 0.5 (i.e. half the total number of wells), coefficient of variation of groundwater level relative to the use of all wells did not greatly increase, and the error to determine the level of groundwater was less than 13 percent.

Keywords: Principal components analysis, Water table levels, Multivariate statistics.

1. Dept. of Civil Eng., Islamic Azad Univ., Zanjan Branch, Zanjan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: noorigheidari@gmail.com