طراحی شبکه پایش سطح آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک آنالیز مولفه‌های اصلی

عاطفه صیادی شهرکی[۱*]، عبدعلی ناصری[۲]، سعید برومندنسب[۳]، امیر سلطانی محمدی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷-۰۸-۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸-۰۶-۱۸ تاریخ چاپ: ۱۳۹۹-۰۲-۲۲

چکیده

به‌منظور مدیریت کارا و موثر منابع آب زیرزمینی و کاهش حفر چاه‌های نمونه‌برداری که پر هزینه هستند، شبکه‌های پایشی که به‌طور مناسبی طراحی شده باشند، می‌توانند به عنوان یک گزینه در نظر گرفته شوند. آنالیز مولفه‌های اصلی یکی از تکنیک‌های کاهش داده می‌باشد که اساس آن شناسایی مولفه‌های توصیف کننده واریانس سیستم می‌باشد. در این مقاله از آنالیز مولفه‌های اصلی جهت تعیین چاه‌های موثر و حذف چاه‌های کم اهمیت استفاده شده است. به‌این منظور از اطلاعات ۱۶۰ چاهک احداث شده در کشت و صنعت سلمان فارسی که طی ۱۰ ماه به صورت دو بار در ماه اندازه‌گیری شده، استفاده گردید. با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی اهمیت نسبی هر چاه در برآورد عمق سطح آب زیرزمینی محاسبه گردید. در پژوهش حاضر حد آستانه قابل قبول ۰/۸ در نظر گرفته شد که بر اساس آن تعداد چاه‌های موثر در تعیین عمق سطح آب زیرزمینی به ۳۳ چاه تقلیل نمود. با شناسایی چاه‌های با اهمیت، نقاط مهم جهت نمونه برداری معلوم می‌شود و پایش عمق آب زیرزمینی صرفاً در این چاه‌ها انجام می گردد. به این وسیله می‌توان تا حد زیادی در هزینه و زمان مطالعات صرفه‌جویی کرد.

واژه های کلیدی: آب زیرزمینی، آنالیز مولفه‌های اصلی، پایش.

[۱] دانشجوی دکترای آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
[۲] استاد گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
[۳] استاد گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
[۴] دانشیار گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
* نویسنده مسئول: sayadi.atefeh@gmail.com

مقدمه

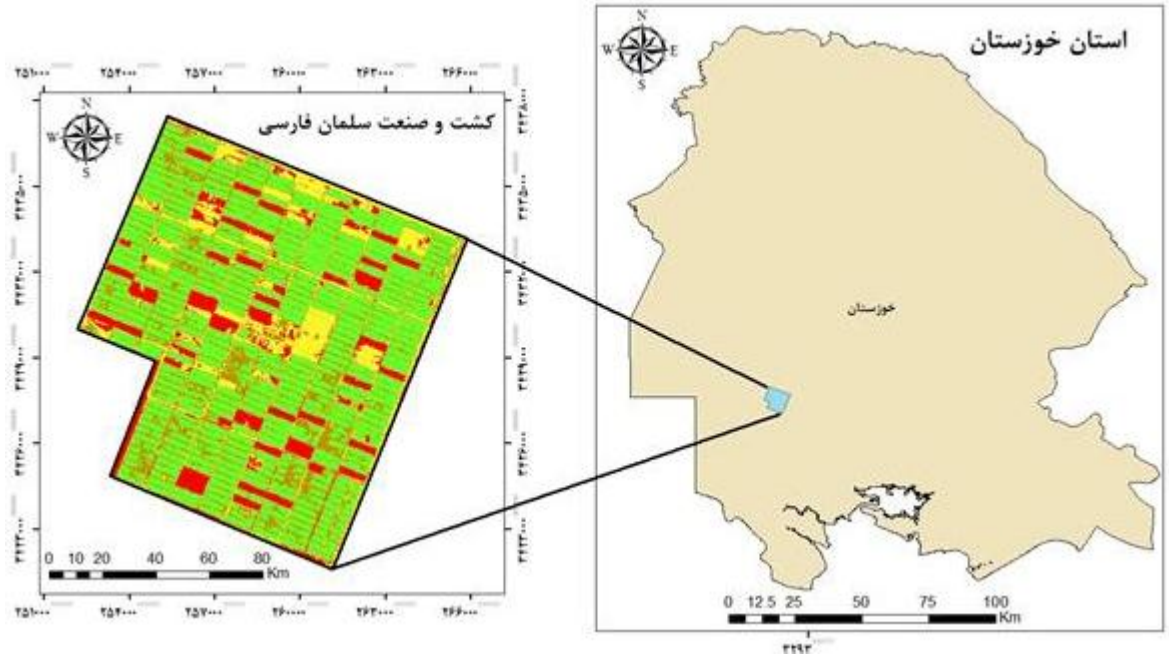
اهمّیت بالای آب در تمام بخش‌های زندگی بشر شامل شرب، صنعت و کشاورزی باعث شده است تمرکز بر محورهای اساسی چون مدیریت تقاضا و حفظ کیفیت منابع آب ضرورت یابد. برای برداشت اطلاعات بدون اثرات جانبی، جمع‌آوری جامع و کافی داده‌ها به کمک شبکه پایش آب زیرزمینی بسیار مهم است. با توجه به پیچیدگی‌های محیط آب زیرزمینی و هزینه‌های قابل توجه روش‌های مرسوم پایش، ابداع فنآوری‌های نو و بهره‌گیری از روش‌های پیشرفته در این امر کمک شایانی در بهبود سامانه‌های آب زیرزمینی خواهد نمود. رویکردهای طراحی شبکه پایش آب زیرزمینی به دو دسته‌بندی اصلی زمین‌شتاسی و آماری تقسیم شده‌اند (هلنا و همکاران، ۲۰۰۰). روش زمین‌شناسی بر اساس کمیت و کیفیت اطلاعات زمین شناسی و آب زیرزمینی استوار بوده و از روش‌های پیشرفته آماری استفاده نمی‌گردد (لوکاس و همکاران، ۲۰۰۸). 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 الگوریتم‌های بهینه‌سازی استفاده می‌گردد. شبکه پایش کمی آب زیرزمینی شامل تعدادی چاه مشاهداتی برای اندازه‌گیری کمی آب زیرزمینی به‌صورت دوره‌ای و منظم می‌باشد. در طراحی این شبکه‌ها عواملی مانند گستره شبکه، وضعیت زمین شناسی و هیدروژئولوژیکی، اهداف ایجاد شبکه و محدودیت‌های مالی موثر هستند. هزینه‌های نصب و نگهداری مربوط به قرائت سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهداتی متناسب با تعداد چاه‌های موجود در شبکه می‌باشند. طراحی شبکه پایش آب زیرزمینی همان تعیین تعداد چاه‌های موجود در شبکه پایش و نحوه توزیع و تراکم آن‌ها در منطقه است. به‌گونه‌ای که شناسایی وضعیت آب زیرزمینی نیز با دقت قابل قبولی انجام شود. طراحی شبکه پایش از مسائل قابل تامل در آب زیرزمینی می‌باشد. یک شبکه پایش آب زیرزمینی زمانی کارآمد است که حاوی اطلاعات مفیدی باشد و این اطلاعات دریافتی زمانی بهترین هستند که چاه‌های مشاهداتی شبکه پایش در موقعیت بهینه قرار گیرند. بهینه‌سازی طراحی یک شبکه پایش آب زیرزمینی را می‌توان به وسیله روش‌های متنوعی انجام داد. انتخاب روش مناسب شامل معیارهای بی‌شماری بوده که مهم‌ترین آن‌ها اهداف ویژه آن منطقه بخصوص و همچنین مقدار و نوع داده‌های در دسترس را شامل می‌شود. به طور معمول بهینه‌سازی شبکه پایش، یک مسأله ترکیبی غیرخطی است و برای حل آن، استفاده از الگوریتمهای بهینه‌سازی مناسب می‌باشد. هدف از مدل طراحی شبکه پایش، پیدا کردن نقشه نمونه‌گیری بهینه از میان حالت‌های بی‌شمار است که حل آن‌ها با استفاده از فرایندهای تکراری بدست می‌آید و در نتیجه این روش‌ها نیازمند تلاش‌های محاسباتی دشواری می‌باشند. آنالیز مولفه‌های اصلی[5] یک روش بهینه ریاضی برای کاهش حجم داده‌ها و تبدیل متغیرهای اولیه به چند مؤلفه محدود است (جولایف، ۲۰۰۲). در این روش با توجه به ساختار داده‌ها، عوامل ایجاد تغییرات که مؤلفه‌های اصلی یا نهان نامیده می‌شوند، شناسایی می‌شود (پیرسون، ۱۹۰۱). به این ترتیب می‌توان پس از شناسایی مؤلفه‌هایی که بیشترین تغییرات واریانس را ایجاد می‌کنند، متغیرهایی را که بالاترین ضریب همبستگی را با مؤلفه‌های اصلی دارند، استخراج کرد. نوری قیداری (۱۳۹۱) چاه های مؤثردر تعیین تراز آب زیرزمینی دشت قیدار را شناسایی کرد. در این تحقیق، چاه‌های کم اهمیت 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 چاه ها استفاده می‌شود تغییر چندانی نمی‌یابد. همچنین بابائی حصار و همکاران (۱۳۹۶)، چاه های مؤثر در تعیین عمق آب زیرزمینی دشت ارومیه را با استفاده از آنالیز مؤلفه های اصلی شناسایی نمودند. در این پژوهش از میانگین سالانه سطح آب زیرزمینی ۵۱ چاه با طول آماری ۱۰ ساله (۱۳۸۱-۱۳۹۰) با استفاده از تکنیک آنالیز مؤلفه‌های اصلی مورد بررسی قرار گرفته تا چاه های مؤثر در تعیین سطح تراز آب زیرزمینی این دشت مشخص گردد. نتایج این پژوهش نشان داد با شناسایی چاه‌های با اهمیت، نقاط مهم جهت نمونه‌برداری معلوم می‌شود و پایش تراز آب زیرزمینی صرفا در این چاه‌ها انجام می‌گردد. در پژوهشی دیگر آدیل و همکاران (۲۰۱۱)، پژوهشی در خصوص بهینه‌سازی شبکه پایش کیفیت آب زیرزمینی در حوضه ماهشوارم هند با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA) و کریجینگ انجام داده‌اند.

[5] Principal Cpmponent Analysis (PCA)

هدف از این پژوهش ارزیابی رابطه بین متغیرها و به‌حداقل رساندن جمع آوری اطلاعات جهت پایش کیفیت آب زیرزمینی بوده است. از روش کریجینگ به‌منظور تخمین خطای استاندارد استفاده گردیده است. نتایج نشان داده که ۱۳ حلقه چاه از ۶۱ حلقه قابلیت حذف دارند و در نمونه-گیری‌های آینده باید نادیده گرفته شوند. از دیگر تحقیقات انجام شده با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی، می‌توان به مطالعات انجام شده توسط نویان و همکاران (۲۰۱۳)، دبلس و همکاران (۲۰۰۵)، هوو و همکاران (۲۰۱۳) و ... اشاره کرد. هدف از پژوهش حاضر شناسایی چاه‌های موثر در تعیین عمق آب زیرزمینی کشت و صنعت نیشکر سلمان فارسی با استفاده از روش آنالیز مولفه‌های اصلی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: کشت و صنعت نیشکر سلمان فارسی که یکی از کشت و صنعتهای هفتگانه شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی است در حدود ۴۰ کیلومتری جنوب اهواز واقع است. مساحت اراضی کشاورزی آن نزدیک به ۱۲۰۰۰ هکتار است که سالانه از ۱۰۰۰۰ هکتار آن برداشت صورت گرفته و ۲۰۰۰ هکتار آن درحال آیش و کشت مجدد است. کشت و صنعت سلمان فارسی از شمال به کشت و صنعت نیشکر دعبل خزاعی و از شرق به جاده اهواز -آبادان محدود می‌شود و پیچانرودهای رودخانه کارون بزرگ از غرب و جنوب آن را در برگرفته اند. موقعیت کشت و صنعت نیشکر سلمان فارسی در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱)- موقعیت جغرافیایی کشت و صنعت نیشکر سلمان فارسی

آنالیز مولفه‌های اصلی (Principal Cpmponent Analysis (PCA)): تبدیلی در فضای برداری است، که بیشتر برای کاهش ابعاد مجموعه داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرض می‌شود ماتریس X یک ماتریس $n*p$ باشد که n تعداد مشاهدات برای p متغیر است. در طرح پیشنهادی n تعداد دوره آماری است که سطح آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده و p تعداد چاه‌ها یا تعداد ایستگاه‌ها خواهد بود. با استفاده از همبستگی تراز سطح آب در p چاه مجاور هم، به کمک روش آنالیز مولفه‌های اصلی اهمیت نسبی هر چاه در نمایش تغییرات عمق آب زیرزمینی تعیین خواهد گردید. در روش آنالیز مولفه‌های اصلی، مولفه‌های اصلی به صورت توابع خطی زیر تعریف می‌شوند (ساکوئت، ۲۰۰۰):

$$\begin{aligned} Z_1 &= Xa_1 = a_{1,1}X_1 + a_{2,1}X_2 + \cdots \\ &\quad + a_{p,1}X_p \\ Z_2 &= Xa_2 = a_{1,2}X_1 + a_{2,2}X_2 + \cdots \\ &\quad + a_{p,2}X_p \\ &\cdots \\ Z_p &= Xa_p = a_{1,p}X_1 + a_{2,p}X_2 + \cdots \\ &\quad + a_{p,p}X_p \end{aligned} \qquad (۱)$$

که در آن $a_{i,j}$ عنصر iام از مولفه اصلی jام بوده و a_j ضریب تبدیل متغیرهای اصلی (X) به jامین مولفه‌های اصلی (Z_j) می‌باشد. با استفاده از خواص ماتریس‌ها می‌توان ثابت کرد که ضرایب مولفه‌های اصلی (a_j)، بردارهای ویژه مربوط به ماتریس کوواریانس، S، می‌باشند. مقدار و بردار ویژه ماتریس S از روابط زیر محاسبه می‌گردد.

$$[S - \partial I] \qquad (۲)$$

در رابطه فوق اگر p تعداد چاه‌ها باشد آنگاه I یک ماتریس واحد $P * I$ بوده و S کواریانس مرتبه P است.

برای محاسبه اهمیت نسبی هر چاه، از ضریب همبستگی بین مولفه‌های اصلی و داده‌های مشاهده شده استفاده می‌گردد. ضریب همبستگی چاه I (X_i) با مولفه‌های jام (Z_j) از رابطه زیر قابل محاسبه است.

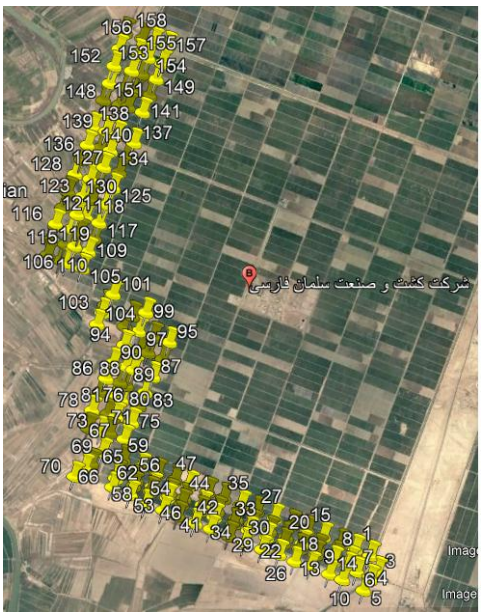
$$Cor\left(Z_j, X_i\right) = \partial_{i,j}^{1/2} a_{i,j} \qquad (۳)$$

در رابطه فوق $a_{i,j}$ عنصر iام از مولفه اصلی jام می‌باشد. هر چقدر این ضریب بالا باشد نشان دهنده بالا بودن اهمین نسبی چاه است.

روش تحقیق: در این تحقیق جهت شناسایی چاه های موثر در تعیین عمق آب زیرزمینی ۱۶۰ چاهک مشاهداتی در منطقه مورد مطالعه احداث و اطلاعات عمق آب زیرزمینی در طی ۱۰ ماه از بهمن ماه سال ۱۳۹۶ به صورت دوبار در ماه برداشت می‌گردد. شکل (۲) موقعیت چاهک‌های مشاهداتی را در منطقه نشان می‌دهد. در آنالیز مولفه‌های اصلی باید تعداد متغیرها (چاه‌ها)، کوچک‌تر یا مساوی داده‌های مشاهده شده (تعداد دوره‌های نمونه-برداری) باشد (پترسون، ۲۰۰۱). در پژوهش حاضر تعداد دوره آماری برای هر چاهک ۲۰ می‌باشد که از تعداد کل چاهک‌های مشاهداتی کمتر است. برای پایش هر چاهک از ۲۰ چاهک مشاهداتی اطراف آن استفاده گردید. در هر آنالیز مولفه‌های اصلی، اگر ضریب همبستگی محاسبه شده (رابطه (۳)) یک چاه با مولفه‌های اصلی بیش از ۰/۹ باشد، آن چاه به‌عنوان چاه اصلی یا موثر در پایش شناخته می‌شود (گورانادان، ۱۹۹۴). در پایش سطح آب زیرزمینی اهمیت نسبی هر چاه از نسبت تعداد مواقعی که آن چاه به‌عنوان چاه موثر شناخته شده به تعداد مواقعی که آن چاه در آنالیز مولفه‌های اصلی شرکت داده شده است، تعریف می‌گردد. این نسبت اهمیت هر چاه را نسبت به چاه‌های دیگر نشان می‌دهد. پس می‌توان جهت صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ها، چاه‌های کم اهمیت را در پایش سطح آب زیرزمینی حذف نمود. در نهایت به‌منظور بررسی اثر حذف هر چاه از محاسبات سطح آب زیرزمینی، از معیار خطای سطح ایستابی استفاده شد. با استفاده از رابطه (۳)، مقدار خطای پایش در ازای حذف چاه‌های غیرموثر در یک آستانه مشخص از مقایسه میانگین چاه‌های آن آستانه با میانگین کلیه چاه‌ها بدست آمد:

$$Error = \frac{(m_n - m_o)}{m_o} * 100 \qquad (۳)$$

در رابطه فوق m_n میانگین سطح آب زیرزمینی پس از حذف چاه‌های غیرموثر در یک آستانه مشخص و m_o میانگین سطح آب زیرزمینی کلیه چاه‌ها است.



شکل (۲)- موقعیت چاهک‌های مشاهداتی

نتایج و بحث

برای انجام پایش سطح آب زیرزمینی، آنالیز مولفه-های اصلی انجام شد. بدین صورت که برای هر چاه، از اطلاعات ۲۰ چاه مجاور آن کمک گرفته شد. در این فرآیند ۲۰ مولفه اصلی استخراج می‌گردد که اهمیت هر مولفه، برابر وقدار واریانس آن می‌باشد. بنابراین تنها مولفه‌هایی استخراج می‌گردند که دارای واریانس بیشتری باشند. ماتریس داده‌های ورودی شامل n سطر (تعداد دوره‌های آماری) و p ستون (تعداد چاه‌ها) است. جدول (۱) به‌طور نمونه نتیجه آنالیز برای پایش چاه شماره ۱۰۵ نشان داده شده است.

جدول (۱)- ماتریس همبستگی پایش چاه ۱۰۵

مولفه های اصلی				مولفه های اصلی			
z_2	z_1	چاه	ردیف	z_2	z_1	چاه	ردیف
	0.58	106	11	0.22	0.45	95	1
0.39	0.67	107	12	0.35	0.27	96	2
0.27	0.95	108	13	0.09	0.89	97	3
0.24	0.62	109	14	0.13	0.31	98	4
0.45	0.41	110	15	0.27	0.57	99	5
0.52	0.74	111	16	0.26	0.22	100	6
0.16	0.3	112	17	0.5	0.36	101	7
0.29	0.37	113	18	0.11	0.9	102	8
0.61	0.25	114	19	0.3	0.77	103	9
0.24	0.21	115	20	0.09	0.71	104	10

با توجه به جدول (۱)، بالاترین ضریب همبستگی به-ترتیب مربوط به چاه‌های ۱۰۸، ۱۰۲ و ۹۷ می‌باشد که می‌توان به‌عنوان موثرترین چاه‌ها در پایش سطح آب زیرزمینی چاه ۱۰۵ تلقی نمود. برای تمامی چاه‌ها، این آنالیز انجام گرفت که در نهایت از نسبت دفعات موثر بودن هر چاه به تعداد دفعات شرکت در آنالیز، اهمیت نسبی هر چاه مشخص گردید که نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است.

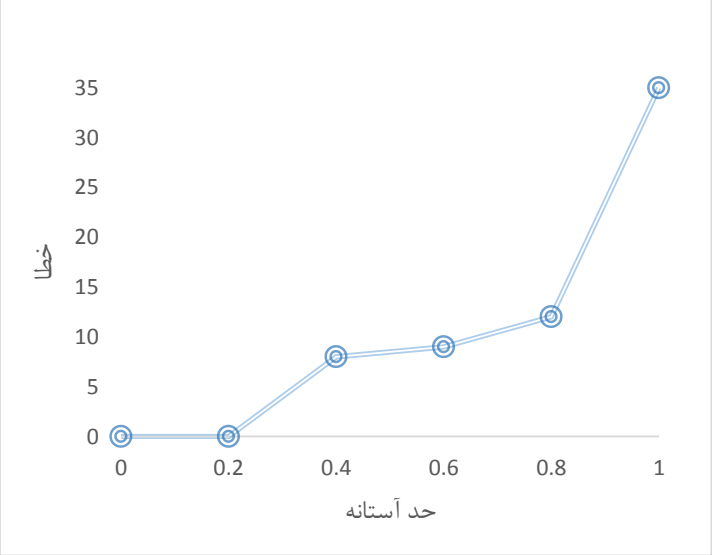
جدول (۲)- اهمیت نسبی چاه‌ها بر اساس آنالیز مولفه‌های اصلی

نسبت اهمیت چاه	چاه	نسبت اهمیت چاه	چاه	نسبت اهمیت چاه	چاه	نسبت اهمیت چاه	چاه
0.23	61	0.15	41	0.11	21	0.27	1
0.55	62	0.24	42	0.11	22	0.45	2
0.46	63	0.27	43	0.11	23	0.79	3
1	64	0.14	44	0.25	24	0.55	4
0.64	65	0.14	45	0.91	25	0.4	5
0.66	66	0.2	46	0.81	26	0.88	6
0.3	67	0.73	47	0.52	27	0.95	7
0.22	68	0.72	48	0.23	28	0.32	8
1	69	0.54	49	0.37	29	0.21	9
0.65	70	1	50	1	30	0.45	10
0.48	71	0.63	51	0.66	31	0.33	11
0.42	72	0.42	52	0.5	32	0.33	12
0.56	73	0.37	53	0.74	33	0.48	13
۰	74	0.35	54	0.15	34	0.67	14
۰	75	0.15	55	0.21	35	0.56	15
۰	76	0.56	56	0.33	36	0.39	16
۰	77	0.67	57	0.37	37	0.78	17
۰	78	0.9	58	.	38	0.22	18
۰	79	0.94	59	0.29	39	0.4	19
0.84	80	0.19	60	.	40	0.15	20

ادامه جدول (۲)- اهمیت نسبی چاه‌ها بر اساس آنالیز مولفه‌های اصلی

چاه	نسبت اهمیت چاه	چاه	نسبت اهمیت چاه	چاه	نسبت اهمیت چاه	چاه	نسبت اهمیت چاه
81	0.25	101	0.65	121	.	141	1
82	0.67	102	0.56	122	.	142	0.94
83	0.64	103	0.58	123	.	143	0.7
84	0.85	104	1	124	.	144	0.52
85	0.75	105	0.25	125	.	145	0.39
86	0.96	106	0.55	126	0.36	146	0.26
87	0.78	107	0.85	127	0.41	147	0.45
88	0.88	108	0.88	128	0.37	148	0.97
89	0.58	109	0.98	129	0.99	149	0.61
90	0.25	110	0.87	130	0.6	150	0.74
91	.	111	1	131	0.25	151	0.96
92	.	112	0.25	132	0.92	152	0.95
93	.	113	0.35	133	0.95	153	0.23
94	.	114	0.41	134	0.36	154	0.26
95	0.75	115	0.3	135	0.33	155	0.56
96	0.96	116	0.11	136	0.34	156	1
97	0.56	117	0.48	137	0.44	157	0.2
98	0.4	118	0.75	138	0.69	158	0.5
99	0.38	119	0.94	139	0.67	159	0.9
100	1	120	0.6	140	0.49	160	0.38

با توجه به جدول (۲) تعداد ۹ چاه با رتبه یک وجود دارد یعنی به همان که در آنالیز شرکت کرده‌اند، به‌عنوان چاه موثر شناسایی شده‌اند. بنابراین این چاه‌ها در پایش سطح آب زیرزمینی اهمیت بالاتری نسبت به دیگر چاه‌ها دارند. اگر حد آستانه قابل قبول برای چاه‌ها را ۰/۹ در نظر بگیریم، تعداد چاه‌ها به ۲۵ عدد تقلیل می‌یابد. برای رتبه-بندی چاه‌ها، حدود آستانه برابر با ۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱ در نظر گرفته شده است (نوری قیداری). در آستانه ۱، صرفا چاه‌هایی باقی می‌مانند که دارای رتبه ۱ هستند (چاه‌هایی که در کلیه آنالیزها به‌عنوان چاه موثر شناخته شده‌اند) و آستانه ۰، شامل کلیه چاه‌ها (موثر و غیر موثر) است. در شکل (۳) مقدار خطای پایش در آستانه‌های تعیین شده نمایش داده شده است.



شکل (۳)- مقدار خطای پایش در آستانه‌های تعیین شده

با توجه به شکل (۳)، روند افزایش خطا در آستانه ۰ تا ۰/۸ به تدریج بوده ولی در آستانه ۰/۹ و ۱ مقدار خطا با شیب بالایی افزایش می‌یابد. به‌طوریکه مقدار خطا در آستانه ۰/۸، ۱۲، در آستانه ۰/۹، ۲۵ و در آستانه ۱، ۳۴ محاسبه گردیده است. بنابراین حد آستانه در پژوهش حاضر ۰/۸ در نظر گرفته شده که با این وجود تعداد چاه-های موثر در پایش سطح آب زیرزمینی از ۱۶۰ به ۳۳ عدد تقلیل می‌یابد (چاه‌های مثر در جدول (۲) مشخص گردیده‌اند). در پژوهش بابایی حصار و همکاران (۱۳۹۶)، که به شناسایی چاه‌های موثر در تعیین عمق آب زیرزمینی در دشت ارومیه پرداختند، با محاسبه خطا، حد آستانه مورد قبول ۱ و تعداد ۱۲ چاه به‌عنوان چاه موثر در نظر گرفتند.

نتیجه‌گیری

شبکه پایش آب‌های زیرزمینی یک گام ضروری در تشریح سیستم آب‌های زیرزمینی است. توزیع نامناسب محل‌های پایش یا تعداد ناکافی اطلاعات برداشت شده از یک طرف و اتلاف هزینه و زمان به‌کاربرده شده برای اندازه-گیری اطلاعات زاید از طرف دیگر، لزوم انجام عملیات پایش را تاکید می‌نماید. هدف از پژوهش حاضر شناسایی چاه‌های موثر در تعیین عمق آب زیرزمینی کشت و صنعت نیشکر سلمان فارسی با استفاده از روش آنالیز مولفه‌های اصلی می‌باشد. بدین منظور ۱۶۰ چاه در نقاط مختلف منطقه احداث و اطلاعات عمق آب زیرزمینی طی ۱۰ ماه به‌صورت دو بار در ماه اندازه‌گیری گردید. با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی اهمیت نسبی هر چاه در برآورد عمق سطح آب زیرزمینی محاسبه گردید. با استفاده از اهمیت نسبی چاه‌ها می‌توان بر حسب حد آستانه مورد قبول، تعدادی از چاه‌ها را به عنوان چاه موثر قلمداد کرد. در پژوهش حاضر حد آستانه قابل قبول ۰/۸ در نظر گرفته شد که بر اساس آن تعداد چاه‌های موثر در تعیین عمق سطح آب زیرزمینی به ۳۳ چاه تقلیل نمود.

منابع

۱) شناسایی چاه های مؤثر در تعیین عمق آب زیرزمینی دشت ارومیه با استفاده از آنالیز مؤلفه های اصلی. نشریه آب و خاک. ۳۰ (۱): ۴۰-۵۰.

۲) نوری قیداری، م.ح. ۱۳۹۲. 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): ۱۴۹-۱۵۸.

3) Aadil, N., Adrian H. and Shakeel, A. 2011. Optimization of a Groundwater Monitoring Network for a Sustainable Development of the Maheshwaram Catchment, India. Sustainability. 3:396-409.

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

6) 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.

7) 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.

8) Jolliffe i.t. 2002. Principal Component Analysis. Springer series in statics, ISBN 978-0-387-95442-4.

9) 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.

10) 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.

11) Pearson K. 1901. On lines and plans of closest fit to systems of points in Space. Philosophical Magazine 2(6): 559-572.

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

13) Sauquet, E. 2000. Mapping mean monthly runoff pattern using EOF analysis. Hydrol. and Earth Sys. Sci. 4(1):79-93.