

بهینه‌سازی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای برای تخمین بیلان با روش نوسان دوگانه سطح آب زیرزمینی

ناصر گنجی خرم دل - کورش محمدی* - محمد جواد منعم^۱

تاریخ دریافت: ۸۶/۱۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۸۷/۵/۱۴

چکیده

در امر مدیریت پایدار منابع آب تجدیدپذیر در سطح یک آبخوان، تخمین بیلان آب زیرزمینی از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. بهره‌برداری‌های بیش از حد از این منابع آبی برای مصارف کشاورزی و خانگی، بیشتر در جوامعی همانند ایران رخ می‌دهد که اقتصادشان به طور عمده بر مبنای تولیدات کشاورزی می‌باشد. استفاده از تغییرات سطح آب زیرزمینی در دو دوره خشک و مرطوب سال^۲ یک روش معتبر برای محاسبه بیلان آب زیرزمینی می‌باشد. در این روش، وجود یک شبکه پیزومتریک که سطح آب زیرزمینی را با دقت خوبی اندازه‌گیری نماید، لازم و ضروری بوده، لذا در این تحقیق، روشی جهت بهینه نمودن شبکه پایش به طوری که بتوان بیلان آب زیرزمینی را با دقت مناسب تخمین زد، ارائه شده است. در این روش با استفاده از زمین‌آمار درجه اهمیت هر چاه مشاهده‌ای بررسی گردیده و تأثیر آن در تعیین بیلان آب زیرزمینی به دست می‌آید. به این ترتیب با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته، می‌توان شبکه بهینه را به دست آورد. به منظور کاربرد و آزمایش روش پیشنهادی، دشت آستانه-کوچصفهان در استان گیلان به مساحت ۱۱۷۳ کیلومتر مربع انتخاب گردید. تعداد ۵۷ چاه موجود بررسی زمین‌آمار شده و نیم‌تغییرنمای از نوع کرووی بهترین نتیجه را نشان داد. نتیجه حاکی از این بود که شبکه بهینه حاصل با استفاده از نقاط اندازه‌گیری کمتر یعنی ۳۳ چاه، می‌تواند مقدار بیلان آب زیرزمینی را بدون تغییر قابل ملاحظه‌ای به دست آورد.

واژه‌های کلیدی: بیلان آب زیرزمینی، گیلان، شبکه پایش سطح ایستابی، بهینه‌سازی، زمین‌آمار

مقدمه

توسعه پایدار، محاسبه بیلان آب زیرزمینی می‌باشد. در آبخوان‌هایی که با بهره‌برداری‌های بیش از حد مواجه می‌باشند، داشتن یک تخمین جامع، دقیق و قابل اطمینان از بیلان آب زیرزمینی به شدت مهم است.

به کمیت درآوردن نرخ تغذیه آب زیرزمینی، یک پیش نیاز اساسی برای مدیریت مؤثر منابع آب زیرزمینی و تخمین بیلان می‌باشد. این موضوع، یک مبحث عمده را در مناطقی که با تقاضای بالا برای مصارف آب زیرزمینی مواجه هستند،

به منظور داشتن یک رویکرد توسعه پایدار برای منابع تجدیدپذیر آب زیرزمینی یک منطقه، کمی نمودن این منابع از اهمیت زیادی برخوردار است. یک گام مهم برای تحقق

۱- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیاران گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

*- نویسنده مسئول Email: kourshm@modares.ac.ir

آب زیرزمینی و پارامتر ذخیره می‌باشد. در آبخوانهای غیرمحصور همانند منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، پارامتر ذخیره، آبدهی ویژه می‌باشد.

به طور کلی دقت و اعتبار هر تخمینی، بستگی به کیفیت و کمیت پارامتر مورد سنجش دارد. پارامتر سطح ایستابی تنها پارامتر قابل اندازه‌گیری (به طور مستقیم) است که اگر به طور دقیق اندازه‌گیری شده باشد، مشکلی با مساله کیفیت داده‌ها ندارد. از طرف دیگر مساله میزان تراکم اندازه‌گیری‌ها می‌تواند بسیار مورد توجه قرار بگیرد. داشتن یک تراکم بسیار زیاد، باعث افزایش وقت و هزینه اندازه‌گیری میدانی خواهد شد و از طرف دیگر، تراکم اندازه‌گیری خیلی کم می‌تواند باعث فقدان اطلاعات کافی گردد. هدف از انجام این تحقیق بسط و توسعه یک روش بهینه‌سازی شبکه پایش با استفاده از روش‌های زمین‌آماری است، تا آنجایی که شبکه حاصل به طور کافی مبین شرایط هیدرولوژیکی در منطقه مورد نظر بوده و باعث خدشه‌دار شدن محاسبات بیلان آب زیرزمینی نگردد. روش استفاده شده در این مطالعه کمک می‌نماید تا به اندازه قابل توجهی میزان وقت و هزینه صرف شده در پیمایش‌های پیرومتریک کاهش یابد.

تاکنون از روش‌های آماری و زمین‌آماري جهت بهینه‌سازی شبکه‌های پایش کمی یا کیفی آب‌زیرزمینی در مطالعات مختلفی استفاده شده است (۱۸ و ۱۲، ۱۰، ۸، ۲). در همه این تحقیقات از پارامترهای آماری خطای سطح ایستابی برای کنترل محاسبات استفاده شده که محاسبه این پارامتر خطا، خود بستگی به شبکه پیرومتری داشته و در صورت کمبود چاه مشاهده‌ای، امکان محاسبه دقیق آن وجود ندارد. در تحقیق حاضر به عنوان پارامتر کنترل، از معادله بیلان استفاده شده است که می‌تواند به افزایش دقت محاسبات کمک کند.

تشکیل می‌دهد. به هر حال تعیین میزان تغذیه آبخوان در حین ارزیابی منابع آب زیرزمینی، یکی از مشکل‌ترین اجزای مورد سنجش می‌باشد (۱۶).

عمده‌ترین روش‌های مورد استفاده برای تخمین میزان تغذیه آب زیرزمینی به دو دسته روش‌های فیزیکی و شیمیایی تقسیم می‌گردند (۶ و ۴). در میان روش‌های فیزیکی، روش نوسان سطح ایستابی، تغییر در ذخیره آب زیرزمینی را که در اثر نوسانات سطح آب زیرزمینی بوجود آمده است را با پارامتر ذخیره که در آبخوانهای غیر محصور آبدهی ویژه می‌باشد، ارتباط می‌دهد. به نظر می‌رسد که این روش یکی از بهترین و قابل اعتمادترین روش‌ها به خاطر دقت، آسانی استفاده و هزینه پایین به کارگیری آن در مناطق نیمه‌خشک باشد (۵). از این روش تاکنون در مطالعات بسیاری در همین زمینه‌ها (۱۱ و ۷) و یا تخمین تغییرات ذخیره آب زیرزمینی (۱۴) استفاده گردیده است. از جمله مهمترین محدودیت‌های روش نوسان سطح ایستابی در وهله اول، نیاز به دانستن آبدهی ویژه آبخوان در یک مقیاس مناسب است و در وهله دوم توجه به این حقیقت است که دقت روش، هم به داده‌ها و اطلاعات موجود و هم به میزان قابلیت اتکا به نقشه نوسانات سطح ایستابی بستگی دارد (۵).

بنابراین به منظور تعیین آبدهی ویژه و همچنین تغذیه که معمولاً در مطالعات بیلان از اجزاء مجهول معادله هستند، تقسیم سال آبی به دو دوره مرطوب و خشک و استفاده ترکیبی از بیلان آب زیرزمینی و نوسان سطح ایستابی یک روش قوی و مناسب برای یک آبخوان می‌باشد (۹). به خاطر دقت، راحتی و همچنین قابلیت کاربرد آن در مناطق نیمه‌خشک که نوسانات سطح ایستابی دارای یک شاخه صعودی و نزولی مجزا و قابل تشخیص می‌باشد، این روش قابل اطمینان و مقرون به صرفه است (۵). براساس این روش، تغییرات ذخیره آب زیرزمینی ناشی از اثر توأم نوسان سطح

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت آستانه-کوچصفهان در استان گیلان و بر روی مخروط افکنه رودخانه سفیدرود تشکیل شده که مساحت آن حدود ۱۱۷۳ کیلومتر مربع ذکر گردیده است. مرزهای سطحی این دشت، دریای خزر و دلتاهای رودخانه سفیدرود در قسمت شمال، بازشدگی مخروط افکنه سفیدرود به جلگه گیلان در جنوب، دشت لاهیجان-چابکسر در شرق و دشت فومنات در غرب می‌باشد. طول جغرافیایی محدوده از ۱۲°۴۰ تا ۱۲°۰۵ و عرض آن از ۷۷°۳۷ تا ۷۷°۲۵، ۳۷° نوسان دارد. شکل (۱) منطقه مورد مطالعه و موقعیت آن را در استان گیلان نشان می‌دهد خورسندی، (۱).

تخمین بیلان آب

تغییرات در ذخیره آب زیرزمینی ناشی از اثرات تغذیه، جریان برگشتی آب آبیاری، جریان‌های افقی آب زیرزمینی در داخل آبخوان منهای جریان پایه، تبخیر از آب زیرزمینی، پمپاژ و جریان‌های افقی آب زیرزمینی خروجی می‌باشد که به صورت معادله (۱) ارایه گردیده است (۱۵).

(۱)

$$(R + RF + Q_{in} + Q_r) - (ET + PG + Q_{out} + Q_{dr}) = \Delta S$$

در این معادله R تغذیه آب زیرزمینی در اثر بارندگی، RF جریان برگشتی آب آبیاری، Q_{in} و Q_{out} جریان‌های ورودی و خروجی افقی به آبخوان و Q_r تغذیه از رودخانه می‌باشند. ET میزان تبخیر و تعرق، PG برداشت از آب زیرزمینی به وسیله پمپاژ و Q_{dr} زهکشی توسط رودخانه و ΔS تغییرات در ذخیره آب زیرزمینی می‌باشند. در ضمن با توجه به وجود رابطه بین عمق سطح ایستابی و تبخیر از طشت (۱۷)، از این رابطه و آمار تبخیر از طشت ایستگاه

آستانه برای محاسبه تبخیر از سطح سفره، هنگامی که عمق آب کمتر از ۵ متر باشد، استفاده گردید. بنابراین معادله (۱) به صورت زیر اصلاح می‌گردد.

(۲)

$$(R + RF + Q_{in} + Q_r) - (E + PG + Q_{out} + Q_{dr}) = \Delta S$$

از روش نوسان دوگانه سطح آب زیرزمینی برای محاسبه تغذیه استفاده می‌گردد (۵). به این صورت که تغییرات در ذخیره آب زیرزمینی (ΔS)، با نوسانات سطح آب زیرزمینی (Δh)، مرتبط می‌گردد.

$$\Delta S = S_y \Delta h \quad (۳)$$

S_y میزان آبدهی ویژه یک آبخوان غیرمحصور می‌باشد. با تقسیم سال آبی به دو دوره خشک و مرطوب، اجزای معادله بیلان آب زیرزمینی محاسبه می‌گردد. همان‌طور که ذکر گردید، آبخوان آستانه-کوچصفهان در منطقه مرکزی استان گیلان قرار گرفته و رودخانه سفیدرود از میان آن می‌گذرد. به دلیل وجود رودخانه سفیدرود در این محدوده و استفاده وسیع از آب سطحی برای کشاورزی، آبخوان آستانه کوچصفهان دارای پتانسیل تغذیه بسیار خوبی می‌باشد. علیرغم استفاده وسیع از آب سطحی، برداشت از منابع آب زیرزمینی در منطقه نیز رواج داشته و طبق آخرین آماربرداری، ۴۴/۲ میلیون مترمکعب در سال از این آبخوان توسط چاه‌ها برداشت می‌گردد خورسندی، (۱). عوامل دیگر خروج آب زیرزمینی که شامل تبخیر، زهکشی توسط رودخانه و آبراهه‌های موجود در منطقه، خروجی زیرزمینی در دریای خزر و ... باعث شده که سفره آب زیرزمینی در حالتی تقریباً متعادل قرار گرفته و نوسانات سطح ایستابی در مقایسه با سایر آبخوانهای کشور، کمتر باشد.

عوامل تغذیه بیلان در دشت آستانه-کوچصفهان با توجه به شرایط طبیعی و غیر طبیعی، شامل جریان‌های آب زیرزمینی ورودی به آبخوان از زیرزمین، نفوذ بارش‌های

از آنالیز نیم‌تغییرنما^۱ استفاده گردید. بعد از اینکه نیم‌تغییرنمای تجربی با در نظر گرفتن بهترین گام و بهترین برازش نسبت به داده‌ها، به دست آمد، از آن برای انجام آزمون ارزیابی متقابل استفاده گردید.

با انجام این آزمون، می‌توان میزان همبستگی و قابلیت پیش‌بینی‌پذیری اندازه‌گیری‌ها از طریق دیگر مشاهده‌های میدانی را برآورد نمود. روش کار به این صورت است که مقدار سطح آب زیرزمینی در هر نقطه مشاهده‌ای، با استفاده از کلیه اندازه‌گیری‌های میدانی (به غیر از خود آن نقطه) محاسبه می‌شود. این کار برای تمام چاه‌های مشاهده‌ای تحت آزمایش، تکرار می‌شود و اختلاف‌های بین اندازه‌گیری‌های میدانی و مقادیر تخمینی ثبت می‌شوند.

بر اساس اختلاف اندازه‌گیری شده بین مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی، هر نقطه (چاه) دارای یک شاخص اولویت گردید. هر چه این اختلاف بزرگتر باشد، حاکی از این است که آن نقطه و یا نقاط دارای اولویت بالاتری هستند تا اینکه در سنجش‌های آتی مد نظر قرار بگیرند (۵). نقطه‌ای که دارای کوچکترین اختلاف باشد از نظر عددی، دارای بالاترین شاخص اولویت خواهد بود و به سادگی مشخص است که مقدار مشاهده شده در آن نقطه، با دقت از روی بقیه نقاط تخمین زده شده است. بنابراین این چاه‌ها در آینده نیازی به اندازه‌گیری نخواهند داشت و دارای اولویت کمتری برای سنجش‌های آتی خواهند بود. بنابراین در این تحقیق، عدد یک دارای بالاترین و عدد ۵۷ دارای پایین‌ترین اولویت هستند.

نتایج و بحث

برای محاسبه شاخص اولویت ابتدا لازم است تا دوره‌ای را انتخاب نمود که دارای حداکثر تعداد چاه‌های مشاهده‌ای اندازه‌گیری شده باشد. بنابراین با بررسی انجام شده طی

جوی به زمین، نفوذ از جریانهای سطحی و سیلابی، نفوذ از آبیاری و سرانجام نفوذ از فاضلاب‌ها و برگشت آب برداشتی از چاه‌ها می‌باشند. عوامل تخلیه آبخوان دشت آستانه-کوچصفهان نیز شامل خروجی زیرزمینی، آب‌های برداشتی توسط منابع آب زیرزمینی، زهکش از آبخوان و تبخیر از سطح آب زیرزمینی است. (جدول ۱) خلاصه بیلان آبخوان را نشان می‌دهد.

سال هیدرولوژیکی ۸۲-۱۳۸۱ به دو دوره مرطوب (آبان ۸۱ تا اردیبهشت ۸۲) و خشک (اردیبهشت ۸۲ تا آبان ۸۲) تقسیم گردید. سپس با ترکیب معادلات (۲) و (۳)، معادله (۴) حاصل گردید.

(۴)

$$R + RF + Q_{in} + Q_r = E + PG + Q_{out} + Q_{dr} + S_Y \Delta h$$

در این معادله، صرفاً دو پارامتر تغذیه طبیعی (R) و آبدهی ویژه (S_Y) نامعلوم در نظر گرفته شدند و فرض گردید که بقیه اجزای معادله هر کدام به طور مستقل و به درستی تخمین زده می‌شوند. نوسانات سطح ایستابی چاه‌های مشاهده‌ای نیز با استفاده از هیدروگراف چاه‌های مذکور اندازه‌گیری می‌گردد. بنابراین برای به دست آوردن دو پارامتر نامعلوم معادله (۴)، این معادله دو بار در سال (یک‌بار برای دوره مرطوب و بار دیگر برای دوره خشک) به کار برده می‌شود (۹).

شرح روش بهینه‌سازی شبکه مشاهده‌ای

اکثر اجزای معادله بیلان آب زیرزمینی از جمله تغذیه و آبدهی ویژه، بر مبنای اختلاف بین سطوح پیزومتریک و یا به عبارت دیگر اختلاف بین سطح آب زیرزمینی بین دوره مرطوب و دوره خشک می‌باشند. بنابراین داشتن تعدادی از چاه‌ها (تعیین یک شبکه بهینه)، برای اندازه‌گیری‌های سطح ایستابی ضروری است. در گام اول محاسبات، به منظور تعیین میزان تغییرات سطح ایستابی کلیه چاه‌های مشاهده‌ای،

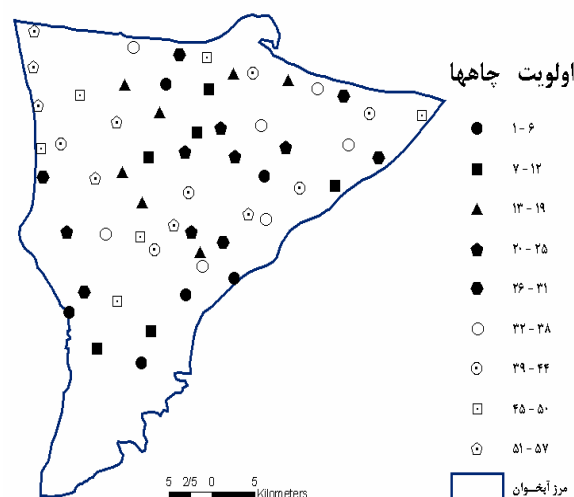
سالهای ۱۳۸۱ و ۱۳۸۲ در ماه‌های اردیبهشت و آبان به طور متوسط تعداد ۵۷ چاه انتخاب گردید که در کل این دوره دارای اندازه‌گیری بودند.

(جدول ۱) - بیلان آب زمینی آبخوان دشت آستانه - کوچصفهان

شرح اجزای بیلان	عوامل تغذیه (میلیون متر مکعب)	عوامل تخلیه (میلیون متر مکعب)
نفوذ بارندگی در دشت	۵۶/۷۲	
نفوذ از بستر رودخانه‌ها	۴/۰۵	
نفوذ آب آبیاری	۱۴۲/۴۵	
برگشت آب برداشتی از چاهها	۸/۸۴	
ورودی آب از زیرزمین	۲۱/۲۱	
خروجی آب از زیرزمین		۱/۴۷
استحصال آب توسط چاهها		۴۴/۲
زهکش آب از آبخوان (رودخانه ها)		۱۵۹/۴۲
تبخیر از سطح آب زیرزمینی		۲۲/۶۸
مجموع	۲۲۳/۲۸	۲۲۷/۷۷

آبان ۸۲ به ترتیب دارای اثر قطعه‌ای ۵۲۸۴/، ۶۵۷۰/ و ۵۹۲۴/، مقدار آستانه ۳۹۶۹/، ۱۳۴۰/ و ۲۴۰۸/ و مقدار شعاع تاثیر ۳۶۲۶۲/۹، ۳۲۳۹۵/۱ و ۳۱۶۴۲/۲ گردید. سپس آزمون ارزیابی متقابل بر روی هر یک از مجموعه داده‌های مورد نظر انجام گردید. بر اساس میزان متوسط باقیمانده (اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و تخمینی) حاصل از هر یک از سه مجموعه داده، شاخص اولویت به تمام چاه‌ها اختصاص پیدا نمود.

بر این اساس چاه دارای بالاترین مقدار باقیمانده، دارای شاخص اولویت شماره یک خواهد شد و به همین صورت، چاهی که پایین‌ترین مقدار باقیمانده را به دست آورد، شاخص شماره ۵۷ به آن اختصاص می‌یابد (جدول ۲). در (جدول ۲)، ستون خطا مبین اختلاف بین سطوح پیرومتریک اندازه‌گیری شده و تخمینی حاصل از آزمون ارزیابی متقابل، ستون متوسط خطا بیانگر میانگین مقادیر خطاها برای سه دوره مورد نظر و اولویت، بیانگر درجه اولویت چاه‌های مشاهده‌ای می‌باشد که بر اساس مقادیر نزولی ستون قدرمطلق خطای متوسط مرتب شده‌اند.



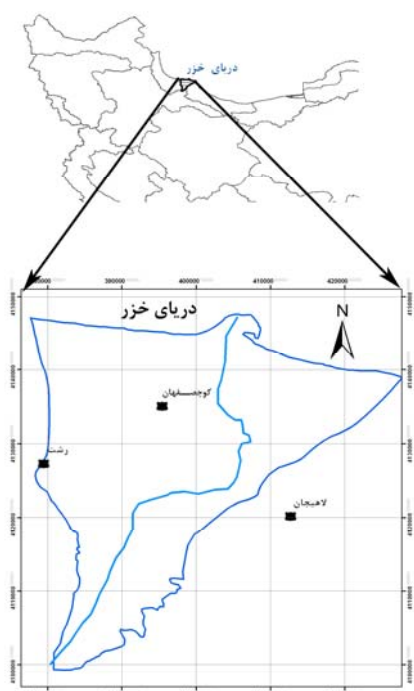
(شکل ۱) - منطقه مورد مطالعه

برای آزمون روش مورد نظر در این تحقیق از داده‌های سه ماه آبان ۸۱، اردیبهشت ۸۲ و آبان ۸۲ استفاده گردید. برای هر یک از سه ماه فوق به طور جداگانه، از روش زمین-آماری استفاده کرده و نیم‌تغییرنمای آن‌ها به دست آمد. برای این کار از نرم افزار Arc Gis 9.2 استفاده شده و بهترین مدل برازش یافته بر روی داده‌های مورد آزمون، مدل کروی بود. این مدل برای داده‌های سه ماه آبان ۸۱، اردیبهشت ۸۲ و

جدول ۲ - سطوح پیزومتریک و رتبه بندی اولویت چاه‌های مشاهده‌ای

شماره چاه	X(m)	Y(m)	ارتفاع مبنا (متر)	عمق اندازه گیری شده- آیان ۸۱ (متر)	عمق اندازه گیری شده- اردیبهشت (متر)	عمق اندازه گیری شده- آیان ۸۲ (متر)	خطا- آیان ۸۱ (متر)	خطا- اردیبهشت (متر)	خطا- آیان ۸۲ (متر)	متوسط خطا (متر)	خطای مطلق اولویت
۲۴	۳۹۵۵۰۰	۴۱۴۰۶۵۰	-۱۳/۹۳	۳/۶۷	۳/۳۲	۳/۸۷	۱/۷۷	۱/۸۱	۲/۰۳	۱/۸۷	۱/۸۷
۴۹	۴۰۶۹۵۰	۴۱۳۱۴۰۰	-۱۳/۹۸	۳/۴۷	۳/۵۹	۳/۴۷	۱/۷۲	۲/۰۷	۱/۶۸	۱/۸۳	۱/۸۳
۶۹	۳۸۴۲۵۰	۴۱۱۷۷۵۰	۱۹/۱۶	۴/۲۶	۴/۰۴	۳/۸۶	۱/۶۵	۲/۲۱	۱/۴۱	۱/۷۵	۱/۷۵
۶۸	۴۰۳۵۰۰	۴۱۲۱۱۵۰	-۵/۶۹	۳/۶۰	۳/۹۱	۳/۶۰	۱/۴۴	۲/۱۹	۱/۴۷	۱/۷۰	۱/۷۰
۷۳	۳۹۷۸۰۰	۴۱۱۹۵۰۰	۲/۲۶	۴/۱۸	۳/۳۶	۳/۹۱	۱/۷۳	۱/۵۵	۱/۵۵	۱/۶۱	۱/۶۱
۷۵	۳۹۲۶۵۰	۴۱۱۲۶۰۰	۳۰/۷۱	۴/۲۶	۳/۶۶	۴/۲۱	۱/۵۰	۱/۵۰	۱/۶۸	۱/۵۶	۱/۵۶
۲۶	۴۰۰۵۰۰	۴۱۴۰۲۰۰	-۲۲/۶۲	۰/۴۸	۰/۴۳	۰/۶۵	-۱/۷۳	-۱/۲۸	-۱/۴۶	-۱/۴۹	۱/۴۹
۵۳	۴۱۵۳۰۰	۴۱۳۰۵۰۰	-۱۷/۱۶	۰/۲۵	۰/۴۷	۰/۲۵	-۱/۵۶	-۱/۱۶	-۱/۶۲	-۱/۴۵	۱/۴۵
۷۲	۳۹۳۸۰۰	۴۱۱۵۸۵۰	۱۸/۰۶	۱/۹۰	۱/۵۶	۱/۴۲	-۱/۲۹	-۱/۷۵	-۱/۵۴	-۱/۱۹	۱/۱۹
۷۴	۳۸۷۵۰۰	۴۱۱۴۱۰۰	۲۷/۹۳	۲/۳۳	۰/۹۳	۲/۳۳	-۱/۰۰	-۱/۵۷	-۰/۸۳	-۱/۱۳	۱/۱۳
۳۵	۳۹۹۱۵۰	۴۱۳۵۸۰۰	-۱۷/۰۳	۳/۲۲	۲/۷۷	۳/۲۷	۱/۲۴	۱/۰۹	۱/۰۱	۱/۱۱	۱/۱۱
۴۶	۳۹۳۵۰۰	۴۱۳۳۳۰۰	-۶/۴۵	۳/۱۵	۲/۷۰	۳/۰۰	۱/۲۱	۱/۰۶	۱/۰۵	۱/۱۱	۱/۱۱
۴۵	۳۹۰۴۰۰	۴۱۳۱۸۵۰	-۷/۹۵	۰/۸۸	۱/۰۷	۱/۰۵	-۱/۳۸	-۱/۸۰	-۱/۰۹	-۱/۰۶	۱/۰۶
۲۹	۴۰۹۷۰۰	۴۱۴۱۰۵۰	-۲۱/۱۷	۳/۲۱	۲/۰۶	۲/۹۳	۱/۳۳	۰/۶۰	۱/۰۷	۱/۰۰	۱/۰۰
۳۴	۳۹۴۸۰۰	۴۱۳۷۹۰۰	-۱۲/۱۴	۲/۶۶	۲/۷۳	۲/۹۱	۰/۵۹	۰/۹۷	۱/۱۵	۰/۹۰	۰/۹۰
۵۷	۳۹۲۷۰۰	۴۱۳۸۸۰۰	-۷/۳۸	۱/۳۷	۱/۱۷	۱/۲۵	-۰/۸۳	-۰/۶۲	-۰/۹۷	-۰/۸۱	۰/۸۱
۶۵	۳۹۹۴۵۰	۴۱۳۳۸۵۰	-۷/۲۱	۱/۶۶	۰/۵۹	۲/۰۴	-۱/۴۰	-۰/۷۵	-۰/۳۷	-۰/۸۰	۰/۸۰
۲۷	۴۰۳۴۰۰	۴۱۴۱۷۵۰	-۲۳/۰۰	۱/۷۵	۰/۸۰	۱/۰۰	-۰/۳۲	-۰/۸۳	-۱/۱۱	-۰/۷۵	۰/۷۵
۲۲	۳۹۰۷۵۰	۴۱۴۰۶۰۰	-۱۸/۰۲	۱/۳۳	۱/۵۰	۰/۹۸	-۰/۸۲	-۰/۲۰	-۱/۱۶	-۰/۷۳	۰/۷۳
۵۰	۴۰۹۵۰۰	۴۱۳۴۳۰۰	-۱۸/۱۱	۱/۰۴	۱/۱۰	۱/۱۱	-۰/۹۲	-۰/۴۶	-۰/۸۰	-۰/۷۲	۰/۷۲
۵۵	۳۸۴۰۰۰	۴۱۲۵۸۰۰	۱/۰۲	۱/۴۷	۱/۲۷	۱/۵۲	-۰/۸۴	-۰/۵۱	-۰/۶۶	-۰/۶۷	۰/۶۷
۴۸	۴۰۳۵۵۰	۴۱۳۳۴۵۰	-۱۶/۱۸	۱/۶۲	۰/۹۳	۱/۰۲	-۰/۳۶	-۰/۶۷	-۰/۹۵	-۰/۶۶	۰/۶۶
۶۱	۳۹۸۵۰۰	۴۱۲۵۸۰۰	-۶/۷۹	۱/۸۶	۱/۲۴	۱/۶۱	-۰/۴۶	-۰/۷۴	-۰/۷۵	-۰/۶۵	۰/۶۵
۳۶	۴۰۱۸۵۰	۴۱۳۶۲۵۰	-۱۷/۰۱	۱/۳۴	۱/۳۹	۱/۴۱	-۰/۸۲	-۰/۳۷	-۰/۶۸	-۰/۶۲	۰/۶۲
۴۷	۳۹۷۷۵۰	۴۱۳۳۹۰۰	-۱۴/۰۵	۱/۸۶	۰/۸۱	۱/۷۱	-۰/۳۴	-۰/۸۰	-۰/۴۰	-۰/۶۱	۰/۶۱
۷۰	۳۸۶۰۰۰	۴۱۱۹۷۰۰	۱۳/۰۴	۳/۴۴	۲/۶۴	۳/۰۹	۰/۶۸	۰/۵۸	۰/۵۰	۰/۵۹	۰/۵۹
۴۳	۳۸۱۲۰۰	۴۱۳۱۳۰۰	-۳/۴۵	۱/۳۵	۱/۰۰	۱/۳۰	-۰/۵۵	-۰/۶۳	-۰/۵۷	-۰/۵۸	۰/۵۸
۳۸	۴۱۳۹۴۵۰	۴۱۶۲۰۰	-۲۲/۲۶	۱/۰۹	۰/۹۹	۱/۶۷	-۰/۹۲	-۰/۵۰	-۰/۲۹	-۰/۵۷	۰/۵۷

شماره چاه	X(m)	Y(m)	ارتفاع مبنا (متر)	عمق اندازه گیری شده- آیان ۸۱ (متر)	عمق اندازه گیری شده- اردیبهشت (متر)	عمق اندازه گیری شده- آیان ۸۲ (متر)	خطا- آیان ۸۱ (متر)	خطا- اردیبهشت (متر)	خطا- آیان ۸۲ (متر)	متوسط خطا (متر)	خطای مطلق اولویت
۵۴	۴۲۰۳۰۰	۴۱۳۳۲۰۰	-۲۱/۶۵	۲/۰۳	۱/۷۷	۲/۰۳	۰/۵۹	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۵۶
۶۷	۴۰۳۲۰۰	۴۱۲۴۷۵۰	-۸/۱۴	۲/۰۱	۰/۹۸	۱/۸۶	-۰/۲۷	-۰/۹۸	-۰/۴۰	-۰/۵۵	۰/۵۵
۳۳	۳۹۷۱۰۰	۴۱۳۴۶۰۰	-۲۱/۵۹	۱/۸۱	۰/۵۶	۱/۹۶	-۰/۳۱	-۱/۲۱	-۰/۰۹	-۰/۵۴	۰/۵۴
۳۷	۴۰۶۴۸۰	۴۱۳۶۵۰۰	-۱۷/۹۴	۲/۱۹	۲/۰۰	۲/۵۳	۰/۲۸	۰/۴۹	۰/۷۲	۰/۵۰	۰/۵۰
۳۰	۴۱۳۱۰۰	۴۱۴۰۲۰۰	-۲۲/۱۲	۲/۵۱	۱/۴۵	۲/۷۳	۰/۶۰	۰/۵۰	۰/۸۷	۰/۴۷	۰/۴۷
۶۳	۴۰۷۱۰۰	۴۱۲۷۰۰۰	-۱۱/۴۳	۱/۳۲	۱/۲۵	۱/۶۲	-۰/۶۸	-۰/۴۳	-۰/۲۹	-۰/۴۷	۰/۴۷
۵۲	۴۱۶۷۰۰	۴۱۳۴۵۰۰	-۱۹/۳۳	۱/۳۷	۰/۴۴	۱/۴۲	-۰/۴۱	-۰/۴۴	-۰/۴۷	-۰/۴۴	۰/۴۴
۶۶	۳۹۹۷۰۰	۴۱۲۲۳۰۰	-۱/۶۴	۲/۰۲	۱/۸۳	۱/۹۰	-۰/۵۳	-۰/۲۰	-۰/۶۰	-۰/۴۴	۰/۴۴
۲۱	۳۹۱۶۰۰	۴۱۴۴۳۵۰	-۲۴/۳۰	۱/۸۱	۰/۹۱	۱/۷۰	-۰/۲۱	-۰/۸۱	-۰/۲۸	-۰/۴۳	۰/۴۳
۵۶	۳۸۸۴۰۰	۴۱۲۵۶۰۰	-۰/۴۴	۲/۴۶	۱/۹۱	۲/۹۱	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۸۲	۰/۴۱	۰/۴۱
۵۹	۳۹۸۲۰۰	۴۱۲۹۷۰۰	-۶/۰۱	۲/۱۹	۲/۳۹	۲/۴۴	۰/۱۳	۰/۶۵	۰/۴۰	۰/۳۹	۰/۳۹
۲۸	۴۰۵۷۰۰	۴۱۴۱۷۵۰	-۲۳/۱۹	۲/۳۹	۱/۷۳	۲/۳۶	۰/۴۱	۰/۲۶	۰/۴۷	۰/۳۸	۰/۳۸
۶۴	۳۹۴۲۵۰	۴۱۳۳۹۵۰	۰/۹۶	۲/۷۱	۲/۱۶	۲/۹۰	۰/۳۰	۰/۱۹	۰/۵۳	۰/۳۴	۰/۳۴
۵۱	۴۱۱۱۰۰	۴۱۳۰۲۰۰	-۱۴/۳۹	۱/۶۴	۱/۴۶	۱/۳۱	-۰/۱۴	-۰/۲۰	-۰/۵۶	-۰/۳۰	۰/۳۰
۴۲	۳۸۳۳۵۰	۴۱۳۶۶۰۰	-۹/۸۶	۱/۴۹	۱/۳۹	۱/۳۴	-۰/۲۷	-۰/۱۵	-۰/۴۱	-۰/۲۸	۰/۲۸
۴۴	۴۱۹۳۰۰	۴۱۳۷۷۰۰	-۲۲/۵۷	۲/۱۸	۱/۶۰	۱/۹۸	۰/۴۹	۰/۱۰	۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۲۵
۲۹	۳۸۹۷۵۰	۴۱۱۸۸۰۰	۱۳/۴۵	۲/۸۵	۱/۶۳	۲/۵۵	-۰/۰۳	-۰/۵۴	-۰/۱۷	-۰/۲۴	۰/۲۴
۳۲	۳۸۵۴۰۰	۴۱۳۹۵۰۰	-۱۷/۱۱	۱/۸۹	۱/۸۴	۲/۰۴	۰/۱۱	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۲۳	۰/۲۳
۴۰	۴۲۵۲۵۰	۴۱۳۷۵۰۰	-۲۲/۲۹	۱/۶۶	۱/۴۵	۱/۷۴	۰/۱۳	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۷
۴۱	۳۸۰۸۸۰	۴۱۳۴۲۰۰	-۱۰/۲۱	۱/۵۹	۱/۴۹	۱/۴۹	-۰/۱۶	-۰/۱۱	-۰/۲۵	-۰/۱۷	۰/۱۷
۵۸	۳۹۲۵۰۰	۴۱۲۵۳۰۰	-۱/۳۳	۲/۵۲	۱/۹۷	۲/۴۲	۰/۲۰	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۱۵
۲۵	۴۰۰۲۰۰	۴۱۴۳۵۰۰	-۲۳/۶۹	۲/۱۱	۱/۸۵	۲/۰۱	۰/۱۰	۰/۲۸	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۱۳
۴۴	۳۸۷۳۰۰	۴۱۳۱۲۰۰	-۳/۵۲	۲/۰۸	۱/۳۳	۱/۷۸	۰/۲۱	۰/۲۱	-۰/۱۷	-۰/۱۳	۰/۱۳
۶۲	۴۰۵۱۵۰	۴۱۳۷۶۰۰	-۱۰/۰۲	۱/۸۳	۱/۷۸	۱/۸۳	-۰/۱۹	-۰/۱۰	-۰/۱۸	-۰/۱۳	۰/۱۳
۳۱	۳۸۰۶۰۰	۴۱۳۸۵۰۰	-۱۷/۴۴	۱/۵۶	۱/۱۱	۱/۶۶	-۰/۱۰	-۰/۳۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰
۱۹	۳۸۰۱۵۰	۴۱۴۶۰۰۰	-۲۳/۶۶	۱/۸۹	۱/۵۴	۱/۶۵	۰/۰۸	۰/۰۸	-۰/۱۷	-۰/۰۷	۰/۰۷
۲۰	۳۸۰۱۰۰	۴۱۴۴۴۰۰	-۲۰/۵۸	۱/۷۳	۱/۴۳	۱/۵۸	۰/۰۰	۰/۰۶	-۰/۰۹	-۰/۰۵	۰/۰۵
۳۳	۳۸۹۸۰۰	۴۱۳۶۸۰۰	-۱۲/۹۸	۱/۹۲	۱/۹۲	۱/۹۵	-۰/۰۹	-۰/۲۰	-۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۲
۶۰	۳۹۶۴۰۰	۴۱۲۶۵۰۰	-۲/۵۷	۲/۱۸	۱/۸۸	۲/۲۳	-۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱



(شکل ۲) - نمایش مکان‌های چاه‌های مشاهده‌ای بر مبنای درجه اولویت

از این مقادیر برای محاسبه بیلان آب زیرزمینی و همچنین بهینه‌سازی شبکه مشاهده‌ای بر اساس میزان حساسیتشان به مقادیر تغذیه، آبدهی ویژه و توازن بیلان سالیانه آب زیرزمینی استفاده می‌گردد.

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد چاه با اولویت ۵۷، مبین وجود حداقل اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی سطح ایستابی می‌باشد که از آزمون ارزیابی متقابل نتیجه گردیده است. از این رو در صورت لزوم، این چاه اولین انتخاب برای حذف از شبکه پایش خواهد بود. زیرا امکان تخمین مقدار سطح ایستابی در این نقطه با استفاده از سایر اندازه‌گیری‌ها بوده است. (شکل ۲) مکان چاه‌های مشاهده‌ای را با توجه به درجه اولویت آن‌ها نشان می‌دهد. بعد از تعیین درجه اولویت چاه‌های مشاهده‌ای، گام دوم در این روش، محاسبه متوسط سطح ایستابی به روش استفاده از پلیگون‌های تیسسن، برای ماه‌های آبان ۸۱، اردیبهشت ۸۲ و آبان ۸۲ می‌باشد. در این مطالعه با کم کردن تعداد چاه‌های مشاهده‌ای از ۵۷ عدد به ۳ عدد، یعنی هربار با کم کردن ۳ چاه (تشکیل ۱۹ مجموعه داده)، متوسط سطح ایستابی برای هر یک از سه ماه فوق بدست آورده می‌شود. لازم به ذکر است که در هر دفعه‌ای که از تعداد چاه‌های مشاهده‌ای کاسته می‌شود (۱۹ تکرار)، چاه‌های با درجه اولویت پایینتر از مجموعه حذف می‌گردند.

(جدول ۳) - نمایش روند حاکم بر سطوح متوسط پیزومتريک با حذف مرحله ای چاه‌های مشاهده ای

تعداد چاه	آبان ۸۱	اردیبهشت ۸۲	آبان ۸۲	تعداد چاه	آبان ۸۱	اردیبهشت ۸۲	آبان ۸۲
۵۷	۲/۱۲	۱/۷۲	۲/۰۷	۲۷	۲/۲۸	۱/۸۹	۲/۱۶
۵۴	۲/۱۳	۱/۷۱	۲/۰۸	۲۴	۲/۲۹	۱/۹۴	۲/۱۸
۵۱	۲/۱۵	۱/۷۳	۲/۱۰	۲۱	۲/۳۹	۲/۰۵	۲/۳۰
۴۸	۲/۱۴	۱/۷۳	۲/۱۰	۱۸	۲/۵۷	۲/۱۸	۲/۴۸
۴۵	۲/۱۷	۱/۷۴	۲/۱۲	۱۵	۲/۷۷	۲/۴۴	۲/۶۹
۴۲	۲/۱۷	۱/۷۵	۲/۱۴	۱۲	۲/۹۰	۲/۵۶	۲/۷۹
۳۹	۲/۱۶	۱/۷۵	۲/۱۳	۹	۲/۹۰	۲/۷۰	۲/۸۱
۳۶	۲/۱۷	۱/۷۵	۲/۱۱	۶	۳/۹۱	۳/۶۵	۳/۸۲
۳۳	۲/۲۲	۱/۷۸	۲/۱۶	۳	۳/۸۰	۳/۶۵	۳/۷۳
۳۰	۲/۲۳	۱/۸۳	۲/۱۳				

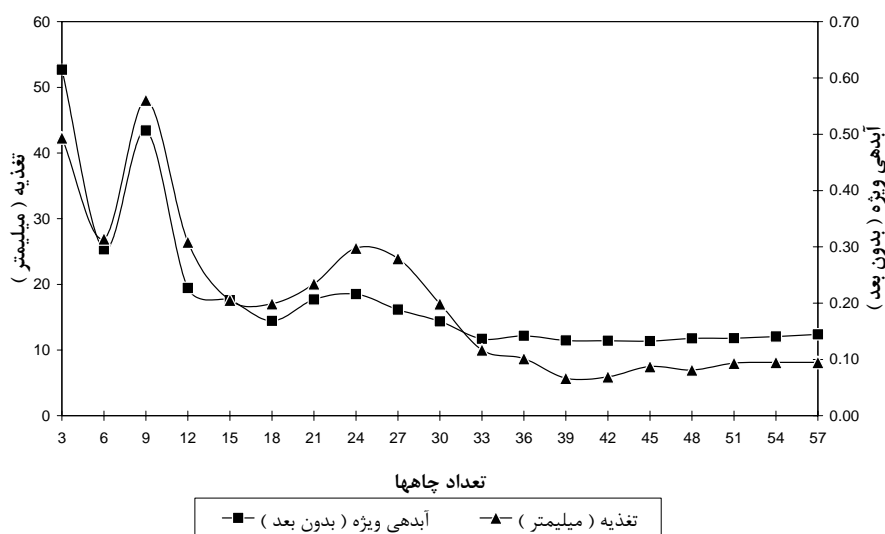
(جدول ۴) - مقادیر آبدهی ویژه، تغذیه و توازن سالانه محاسبه شده برای تعداد مختلف چاه‌های مشاهده‌ای

تعداد چاه	آبدهی ویژه (بدون بعد)	تغذیه (میلی متر)	بیلان سالانه (میلی متر)	تعداد چاه	آبدهی ویژه (بدون بعد)	تغذیه (میلی متر)	بیلان سالانه (میلی متر)
۵۷	۰/۱۴	۸/۱۲	۶/۸۰	۲۷	۰/۱۹	۲۳/۹۴	۲۲/۶۱
۵۴	۰/۱۴	۸/۱۳	۶/۸۰	۲۴	۰/۲۲	۲۵/۵۴	۲۴/۲۲
۵۱	۰/۱۴	۸/۰۰	۶/۶۸	۲۱	۰/۲۱	۲۰/۱۰	۱۸/۷۸
۴۸	۰/۱۴	۶/۹۷	۵/۶۴	۱۸	۰/۱۷	۱۷/۰۶	۱۵/۷۳
۴۵	۰/۱۳	۷/۵۱	۶/۱۸	۱۵	۰/۲۱	۱۷/۶۲	۱۶/۳۰
۴۲	۰/۱۳	۵/۹۲	۴/۶۰	۱۲	۰/۲۳	۲۶/۴۶	۲۵/۱۴
۳۹	۰/۱۳	۵/۷۲	۴/۳۹	۹	۰/۵۱	۴۸/۰۵	۴۶/۷۲
۳۶	۰/۱۴	۸/۷۰	۷/۳۷	۶	۰/۳۰	۲۶/۹۴	۲۵/۶۱
۳۳	۰/۱۴	۱۰/۰۲	۸/۷۰	۳	۰/۶۱	۴۲/۳۰	۴۰/۹۸
۳۰	۰/۱۷	۱۷/۰۴	۱۵/۷۱				

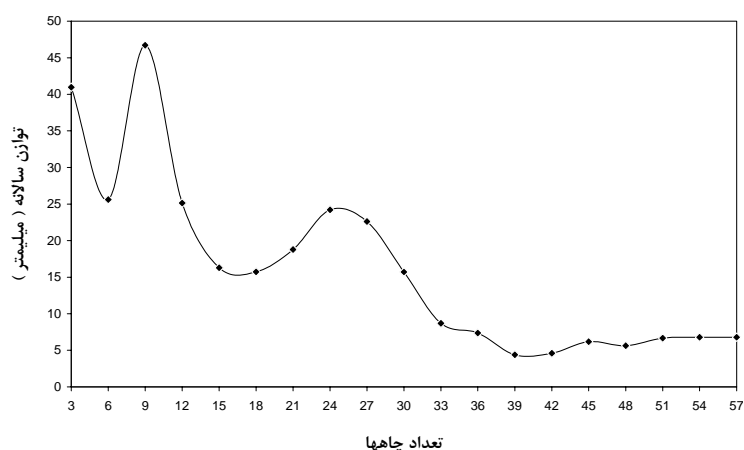
با استفاده از اندازه‌گیری‌های سطح ایستابی چاه‌های مشاهده‌ای، نقشه‌های خطوط پیزومتریک برای ماه‌های آبان ۸۱، اردیبهشت ۸۲ و آبان ۸۲ رسم گردید. لازم به ذکر است که ضمن توجه به اولویت تعلق گرفته به چاه‌های مشاهده‌ای، با هر بار کاستن از تعداد چاه‌ها، این نقشه‌ها برای این مجموعه داده‌ها نیز رسم گردید. روند تغییرات متوسط سطوح ایستابی (برای مجموعه داده‌های مذکور در یک سال هیدرولوژیکی) در (جدول ۳) نشان داده شده است. همان‌طور که بیان گردید در روش به کار رفته، سال هیدرولوژیکی به دو دوره خشک و مرطوب تقسیم می‌گردد. با داشتن این دو معادله، امکان محاسبه ۲ مجهول (مقدار آبدهی ویژه و تغذیه) وجود داشته، خلاصه محاسبات در (جدول ۴) نشان داده شده است.

حذف چاه‌های مشاهده‌ای که دارای اولویت کوچکتری هستند، تا آنجا ادامه می‌یابد که دقت بیلان آب زیرزمینی تامین باشد. با این کار تراکم شبکه پایش به طور قابل

ملاحظه‌ای کاهش خواهد یافت بنابراین باعث صرفه‌جویی در وقت و هزینه پیمایش‌های پیزومتریک خواهد شد. (شکل‌های ۳ و ۴) مقادیر آبدهی ویژه، تغذیه و توازن سالانه محاسبه شده با استفاده از شبکه‌های مختلف پایش را به صورت مقایسه‌ای نشان می‌دهد. (شکل ۳) مقادیر آبدهی ویژه و تغذیه را در مقابل تعداد چاه‌های مشاهده‌ای نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد مقادیر پارامترهای مذکور حتی با کاستن تعداد ۲۴ چاه، نسبتاً ثابت می‌مانند. (شکل ۴) مقدار توازن سالانه محاسبه شده را برای تعداد مختلف چاه‌های مشاهده‌ای نشان می‌دهد. در این شکل نیز دیده می‌شود که می‌توان با کاستن تعداد چاه‌های مشاهده‌ای از تعداد ۵۷ به ۳۳ تقریباً به همان نتایج قبل دست یافت. بنابراین تعداد چاه‌های مشاهده‌ای که در هر دوره مورد پایش قرار می‌گیرند را می‌توان از تعداد ۵۷ به ۳۳ رساند، بدون این که به طور معنی‌داری نتایج تحت تأثیر قرار بگیرند.



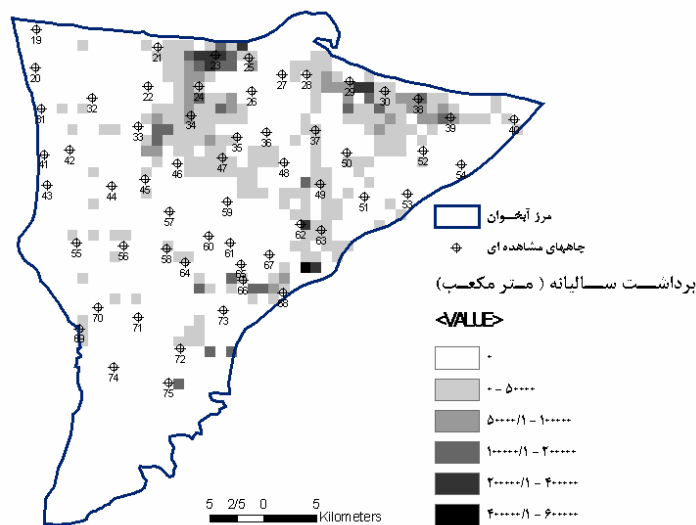
شکل ۳ - نمایش مقادیر تغذیه و آبدهی ویژه در مقابل تعداد مختلف چاههای مشاهدهای



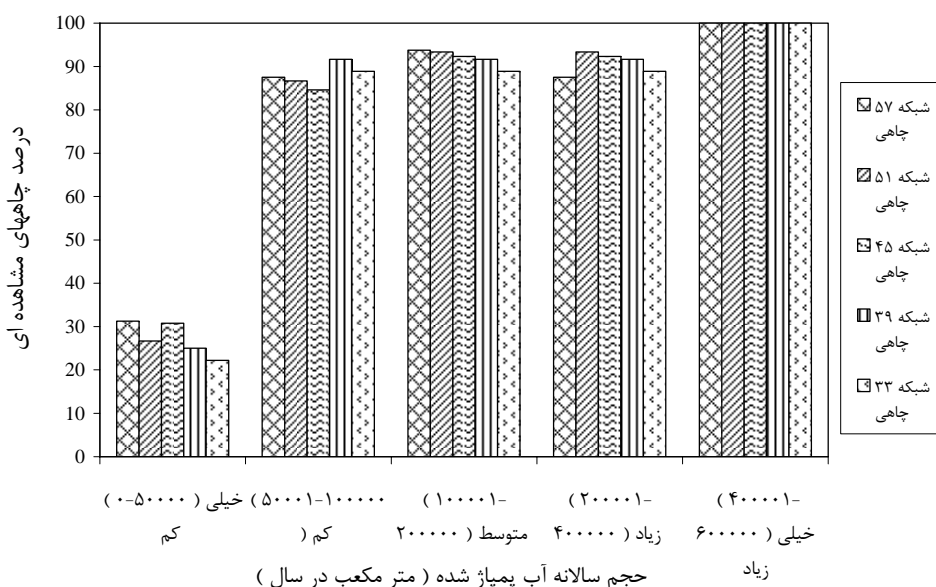
شکل ۴ - نمایش توازن سالانه در مقابل تعداد مختلف چاههای مشاهدهای

میزان حجم برداشتی از هر سلول محاسبه شد (شکل ۵). برای سلول‌هایی که در آن‌ها چاه پمپاژی وجود نداشت، مقداری منظور نگردید. کل حوزه به پنج گروه پمپاژ (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) طبقه بندی شد. با کاستن چاه‌های مشاهدهای از ۵۷ به ۳۳، تعداد چاه مشاهدهای موجود در هر گروه نسبت به کل چاه‌های مشاهدهای در آن تکرار، به صورت درصد محاسبه گردید (شکل ۶).

موضوع مهم دیگر این است که بتوان از موقعیت چاه‌هایی که به وسیله بهینه‌سازی به دست آمده اند، آگاه شد. به طور مثال موقعیت آن‌ها در ارتباط با مناطق پمپاژ و یا زمین‌شناسی منطقه اهمیت دارد. به طور معمول می‌بایست مناطق با پمپاژ بالا، مقدار بیشتری از تغییرات را در میزان نوسانات سطح ایستابی نسبت به مناطق با پمپاژ کم و یا بدون پمپاژ نشان دهند. بر اساس حجم سالیانه پمپاژ آب زیرزمینی، شبکه‌های ۵۰۰×۵۰۰ متر مربع بر روی منطقه اعمال گردید و



شکل ۵ - نمایش توزیع چاه‌های مشاهده‌ای در گروه‌های مختلف پمپاژ



شکل ۶ - درصد قرارگیری چاه‌های مشاهده‌ای در گروه‌های مختلف پمپاژ

پمپاژ کم حذف شده‌اند و حتی با وجود این که تعداد چاه‌ها از تعداد ۵۷ به ۳۳ تقلیل پیدا کرده است، تغییری در تعداد پیزومترهای مناطق با پمپاژ بالا، ایجاد نشده است.

نتیجه

ایده بهینه کردن یک شبکه پیزومتریک و اختصاص

این شکل نشانگر رابطه بین ناحیه‌های پمپاژ و موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای است که لازم است در هر گروه مورد اندازه‌گیری قرار بگیرند. پنج گروه چاه مشاهده‌ای در پنج گروه چاه‌های پمپاژی، شمارش شده تا بتوان درصدهای آنها را مقایسه کرد. یافته‌ها حاکی از این است که با انجام بهینه‌سازی، حداکثر تعداد چاه‌های مشاهده‌ای از مناطق دارای

قرار داده و به همان اندازه نیازمند صرف وقت قابل ملاحظه‌ای نیز خواهد بود. بنابراین به کارگیری روش زمین‌آمار به منظور آنالیز هر پارامتر و همچنین تعیین میزان تغییرپذیری پارامتر و سپس اختصاص شاخص اولویت برای نقاطی که باید مورد اندازه‌گیری قرار گرفته و یا این که حذف گردند، می‌تواند مفید باشد.

در این تحقیق مشخص شد که می‌توان با تقریباً نصف چاه‌های مشاهده‌ای موجود، یعنی ۳۳ عدد چاه، با دقتی مشابه، بیلان را محاسبه کرد. از طرفی توزیع مکانی چاه‌های نهایی نیز پراکنندگی خوبی داشته و مناطق دارای اهمیت بیشتر، تراکم بیشتر چاه مشاهده‌ای را نشان می‌دهند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از شرکت سهامی آب منطقه‌ای گیلان و معاونت مطالعات پایه منابع آب آن شرکت که اطلاعات آمار مورد نیاز این تحقیق را در اختیار قرار دادند، تشکر می‌نمایند.

شاخص اولویت به چاه‌های مشاهده‌ای به کمک روش‌های زمین‌آمار بر این اصل ساده استوار است که اگر بتوان مقدار پارامتر مورد نظر یک چاه به خصوص را با بالاترین دقت و کمترین واریانس خطا، تخمین زد، آن چاه را می‌توان از شبکه حذف نمود. به این ترتیب، می‌توان براساس خطای محاسبه شده، اولویت حذف را تعیین کرد. این حذف نایستی باعث شود که خطا در محاسبه بیلان افزایش یافته و یا مناطقی که دارای تغییرات شدیدتری هستند، از برنامه پایش حذف گردند.

در این مطالعه برای یک سال هیدرولوژیکی، کلیه اجزا به طور کامل شرح داده شده و سپس محاسبه گردید. ملاحظه گردید که روش به کار برده شده هم برای محاسبه اجزا و هم بیان رابطه محاسبات با بحث تراکم داده‌ها و تواتر محاسبات کافی به نظر می‌رسد. واضح است که هر چه تراکم شبکه بالاتر باشد، محاسبات با دقت بیشتری انجام می‌پذیرد. از طرف دیگر انجام این محاسبات در بازه‌های زمانی مکرر، نیاز به حجم انبوهی از داده دارد. نیاز به این مقدار داده، مقرون به صرفه بودن یک پروژه را مورد تهدید

منابع

- ۱- خورسندی، ا. ۱۳۸۵. بررسی و تکمیل مطالعات بیلان هیدروکلیماتولوژی دشت آستانه-کوچصفهان، شرکت سهامی آب منطقه‌ای گیلان.
- ۲- معصومی، ف و کراچیان، ر. ۱۳۸۵. ارزیابی سیستم‌های پایش کیفی منابع آب زیرزمینی با کاربرد تئوری آنتروپی گسسته- مطالعه موردی آبخوان تهران، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، اصفهان، ۳-۴ بهمن.
- 3- Ahmed, S. Bertrand, F. Saxena, V.K. Subrahmanyam, K. and Touchard, F. 2003. A geostatistical method of determining priority of measurement wells in a fluoride monitoring network in an aquifer. *Journal of Application Geochemistry*. 4(2B), 576-585.
- 4- Allison, G.B. 1988. A review of some of the physical chemical and isotopic techniques available for estimating ground water recharge. In: Simmers, I. (Ed.), *Estimation of Natural Ground Water Recharge*. Reidel, Dordrecht, 49-72.
- 5- Beekman ,H.E. and Xu, Y. 2003. Review of ground water recharge estimation in arid and semi arid Southern Africa. Council for Scientific and Industrial Research (South Africa) and University of the Western Cape Report.
- 6- Foster, S.S.D. 1988. Quantification of ground water recharge in Arid regions: a practical view for resource

- development and management. In: Simmers, I. (Ed.), Estimation of Natural Ground Water Recharge. Reidel, Dordrecht, 323-338.
- 7- Leduc, C. Bromley, J. and Schroeter, P. 1997. Water table fluctuation And recharge in semi-arid climate: some results of the HAPEX-Sahel hydrodynamic survey (Niger). *Journal of Hydrology*. 188-189, 123-138.
- 8- Li, L. and Revesz, P. 2004. Interpolation methods for spatio-temporal geographic data, *Computers, Environment and Urban Systems*. **28**, 201-227.
- 9- Marechal, J.C. Dewandel, B. Ahmed, S. Galeazzi, L. and Zaidi, F.K. 2006. Combining the groundwater budget and water table fluctuation methods to estimate specific yield and natural recharge. *Journal of Hydrology*. 329, 281-293.
- 10- Marinoni, O. 2003. Improving geological models using a combined ordinary – indicator kriging approach, *Engineering Geology*. **69**, 37-45.
- 11- Moon, S. K. Woo, N.C . and Leeb, K.S . 2004. Statistical analysis of hydrographs and water-table fluctuation to estimate groundwater recharge. *Journal of Hydrology*. 292, 198-209.
- 12- Olea, R. and Davis, J. 1999a. Optimizing the High Plains aquifer water-level observation network, K.G.S. Open File Report. 1999-15.
- 13- Olea, R. and Davis, J. 1999b. Sampling analysis and mapping of water levels in the High Plains aquifer of Kansas, K.G.S. Open File Report, 1999-11.
- 14- Ruud, N. Harter, T. and Naugle, A. 2004. Estimation of ground water pumping as closure to the water balance of a semi-arid, irrigated agricultural basin. *Journal of Hydrology*. 297(1-4), 51-73.
- 15- Schicht, R.J. and Walton, W.C. 1961. Hydrologic budgets for three small watersheds in Illinois. I11 State Water Surv Rep Invest. 40, 40 p.
- 16- Sophocleous, M.A. 1991. Combining the soil water balance and water-level fluctuation methods to estimate natural ground water recharge: practical aspects. *Journal of Hydrology*. 124, 229-241.
- 17- Todd, D.K. 1980. *Groundwater Hydrology*. John Wiley and Sons, New York.
- 18- Yeh, M.S. Lin, Y.P. and Chang, L.C. 2006. Designing an optimal multivariate geostatistical groundwater quality monitoring network using factorial Kriging and genetic algorithms, *Environmental Geology*. 50, 101-121.

Optimization of observation well network for the estimation of groundwater balance using double water table fluctuation method

N.Ganji Khorramdel – K.Mohammadi* – M.J.Monem¹

Abstract

An estimate of the groundwater budget at the aquifer scale is particularly important for the sustainable management of available water resources. Water resources are generally subjected to over-exploitation for agricultural and domestic purposes in agrarian economies like Iran. Using water table fluctuations in dry and wet seasons of a hydrological year is a reliable method for calculating the water budget. In this method, the existence of a piezometric network with careful monitoring and measurements is essential. The objective of this study was to develop a methodology for optimizing the piezometric network so that the groundwater budget could be estimated accurately. In this method the priority of each well and its effects on estimation of water budget was determined by using geostatistics. Using this analysis an optimal network could be determined. In order to demonstrate the applicability of proposed methodology, the Astane-Koochesfahan aquifer with an area of about 1173 km² in north of Iran was selected. Fifty seven observation wells were analyzed using geostatistical methods and results showed that spherical variogram model had the best performance. It was recognized that such an optimized network provides far fewer measurement points, i.e. 33 wells, without considerably changing the conclusions regarding groundwater budget.

Key words: Groundwater balance, Guilan, water table monitoring network, Optimization, Geostatistics

* - Corresponding author Email: kourshm@modares.ac.ir

1 - Contribution from College of Agriculture , Tarbiat Modares University