



Evaluating the effect of water reservoirs on groundwater level, Case study: Gorganroud watershed of Golestan Province

Hamed Rezaei ^{*1}, Atefe Peshgahi ²

Abstract

By studying changes in the water levels of 359 observation wells before and after the construction of 251 water reservoirs in Gorganroud watershed of Golestan province, water reservoirs effects were evaluated in improving the groundwater level. In this study some water reservoirs were selected that there were observation wells around them. All wells in which the water table levels were lower than the water levels of water reservoirs were evaluated. Among these, 31 Water reservoirs clearly showed there effects on 33 observation wells. Therefore, 12.4 percent of Water reservoirs have a positive effect on the level of groundwater. With providing a distribution map of all water reservoirs and observation wells and adapt them to each other and having observational data before and after the water reservoirs construction the effect of water reservoirs on the aquifer improvement were evaluated. In this study, parameters for evaluating effect of water reservoirs on the improving of aquifer included time of influencing the water level on observation wells levels, annual water rise and annual compensation of the water level. In this study the results show that water reservoirs had a positive effect on the groundwater level at the distance of 3.8 km, increasing the maximum groundwater level by 114 cm. The amount is of the annual compensation of the water level was 184 cm. Based on a rating scale the evaluation criteria were graded and so the performance of the water reservoirs at levels low (31.2%), average (20.4%), good (17.2%), good (21.5%) and excellent (9.7%) was evaluated.

Keywords: Aquifer, Gorganroud, Groundwater, Observation well, Water reservoirs.

Received: 2016/05/21

Accepted: 2016/11/02

1- Assistant Professor, Geology Group, Faculty of Sciences, Golestan University.

E-mail: rezaei.hamed@gmail.com

2- Geology Student, Geology Group, Faculty of Sciences, Golestan University.

*- Corresponding Author

ارزیابی اثر احداث آب‌بندان بر تراز آب زیرزمینی، مطالعه موردی: حوزه آبریز گرگان‌رود استان گلستان

حامد رضایی^{*۱}، عاطفه پشگاهی^۲

چکیده

با بررسی نوسانات تراز آب ۳۵۹ حلقه چاه مشاهده‌ای در قبل و بعد از احداث ۲۵۱ آب‌بندان در حوزه آبریز گرگان‌رود استان گلستان، اثر احداث آب‌بندان‌ها در بهبود تراز آب زیرزمینی مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق آب‌بندان‌هایی انتخاب شدند که چاه‌های مشاهده‌ای پیرامون آن‌ها وجود داشت. کلیه چاه‌های مشاهده‌ای که تراز سطح ایستایی آن پایین‌تر از تراز آب در آب‌بندان بوده مورد ارزیابی قرار گرفت. در این میان تعداد ۳۱ آب‌بندان اثر خود را بر ۳۳ چاه مشاهده‌ای به وضوح نشان دادند؛ در نتیجه ۱۲/۴ درصد آب‌بندان‌های استان دارای اثر مثبت بر تراز آب زیرزمینی هستند. با تهیه نقشه پراکنش کلیه آب‌بندان‌ها و چاه‌های مشاهده‌ای و انطباق آن‌ها بر هم و با داشتن داده‌های نوسانات چاه‌های مشاهده‌ای در قبل و بعد از احداث آب‌بندان نحوه اثرگذاری آب‌بندان بر بهبود آبخوان بررسی شد. در این تحقیق، پارامترهای ارزیابی تأثیر آب‌بندان بر توسعه آبخوان شامل زمان تأثیرگذاری آب بر تراز چاه‌ها، بالادمدگی سالانه آب و جبران سالانه تراز آب است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد، تا فاصله ۸/۳ کیلومتر آب‌بندان‌ها بر تراز آب زیرزمینی اثر مثبت داشتند و حداکثر باعث بالا آمدن ۱۱۴ سانتی‌متر از تراز آب زیرزمینی شد. به میزان حداکثر ۱۸۴ سانتی‌متر جبران سالانه تراز آب رخ داده است. بر پایه یک مقیاس رتبه‌ای معیارهای ارزیابی، درجه‌بندی شده و بر اساس آن‌ها کارایی آب‌بندان‌ها در درجات کم (۳۱/۲٪)، متوسط (۲۰/۴٪)، مناسب (۱۷/۲٪)، خوب (۲۱/۵٪) و عالی (۹/۷٪) قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: آب‌بندان، آبخوان، آب زیرزمینی، چاه مشاهده‌ای، گرگان‌رود.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۰۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۱۲

۱- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان.

۲- دانشجوی زمین‌شناسی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان.

*_نویسنده مسئول

مقدمه

تغییرات چاه‌های پیرامون و مدل‌سازی بسنده شده است و به‌ندرت به صحت‌سنجی و اعتبار مدل‌ها توجه شده است (بیست و پاتر، ۱۹۹۴؛ استرتری و کاتوب، ۱۹۹۸؛ گایمون و هرومادکا، ۱۹۸۵؛ اسپاموداکی و همکاران، ۲۰۰۵).

به کمک مطالعات هیدرولوژیکی، ژئوفیزیکی و مشاهدات ژئومورفولوژیکی می‌توان به اندرکنش بین آب‌های سطحی و زیرسطحی پرداخت (هانت و همکاران، ۲۰۰۶؛ لانگوف و همکاران، ۲۰۰۶). برای تعیین رژیم جریان حاکم بر اندرکنش بین آب‌های سطحی و زیرسطحی از روش‌های ژئوشیمیایی و ایزوتوپ‌های پایدار نیز استفاده می‌شود (تورنر و تونلی، ۲۰۰۶). با اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی در برخی از مناطق شواهد صحرایی و رفتارنگاری چاه‌های تغذیه نشان از کاهش ایجاد پدیده فرونشست در محدوده پیرامون منطقه تغذیه داشته است (فین و ج و همکاران، ۱۹۹۸).

یکی از روش‌های رایج و دقیق بررسی نوسانات سطح آب پیرامون منطقه نفوذ آب به زیرزمین است (هوئیزمن و اولسترن، ۱۹۸۱). منطقه نفوذ که زون غیراشباع را تشکیل می‌دهد، یک محیط متخلخل بین آب‌های سطحی و زیرسطحی است و شرایط هیدروژئولوژیکی آن تعیین‌کننده میزان اثرگذاری آب‌های سطحی بر آب‌های زیرسطحی است. هرچه این زون دارای شرایط طبیعی‌تر و مناسب‌تری برای جریان آب در محیط متخلخل ایجاد کند، پایداری و دوام ارتباط هیدرولیکی یک حوضچه آب سطحی با آبخوان بیشتر می‌شود (دوریس و سیمرس، ۲۰۰۲). بنابراین اگر بتوان به ارتباط مستمر و دائمی از جریان آب در محیط متخلخل با سطح ایستابی مطمئن شد؛ بررسی نوسانات سطح ایستابی چاه‌ها در قبل و بعد از احداث آب‌بندان و دروه‌های آبیگری روش قابل قبولی برای ارزیابی خواهد بود.

در سطح کشور آب‌بندان و سامانه‌های تغذیه مصنوعی زیادی احداث شده است و همواره تلاش شده تا اثرات مثبت و منفی آبیگری این سامانه بر بهبود کیفی و کمی آبخوان بررسی شود؛ ولی تعداد زیادی از آن‌ها بازدهی مناسبی ندارند (کلانتری، ۱۳۸۰). مطالعات مختلف در استفاده از نوسانات تراز آب در چاه‌های مشاهده‌ای در پائین‌دست مناطق تغذیه سطحی در نقاط مختلف کشور اثرگذاری نفوذ آب‌های سطحی بر سطح تراز آب زیرزمینی مورد تایید قرار داده است (قوردویی میلان و

در حال حاضر به سبب برداشت‌های بی‌رویه و نداشتن مدیریت بهره‌برداری بهینه از منابع آب کشور، تعداد ۱۶۳ دشت کشور دچار افت سطح آب زیرزمینی شده است (جلیلی و همکاران، ۱۳۹۳). از حدود ۶۰۹ آبخوان موجود در کشور ۲۴۳ آبخوان (حدود ۴۰ درصد آن) با بحران کاهش حجم آب مواجه است و حجمی معادل ۹/۶ میلیارد مترمکعب از آن‌ها، آب اضافه برداشت می‌شود (فتحی و همکاران، ۱۳۸۸). برای جبران افت سطح آبخوان‌ها طرح‌های گوناگونی در مناطق مختلف اجرا می‌شود؛ اجرای سامانه تغذیه مصنوعی و آب‌بندان‌ها از جمله این طرح‌ها است و راهبردی برای تقویت و توسعه منابع آب است (کیا حیرتی، ۱۳۸۱؛ دوریس و سیمرس، ۲۰۰۲).

تغذیه مصنوعی، عملیات انبارش مصنوعی آبخوان است که به منظور افزایش حجم مخزن آب زیرزمینی انجام می‌شود؛ اما آب‌بندان، ذخیره‌گاه موقت آب در سطح زمین با هدف آبیاری می‌باشد که به دلیل نداشتن پوشش نفوذناپذیر، ممکن است بخشی از آب به زمین نفوذ نماید. بررسی اثر احداث آب‌بندان‌ها در جلوگیری از کاهش سطح ایستابی همواره مطرح است.

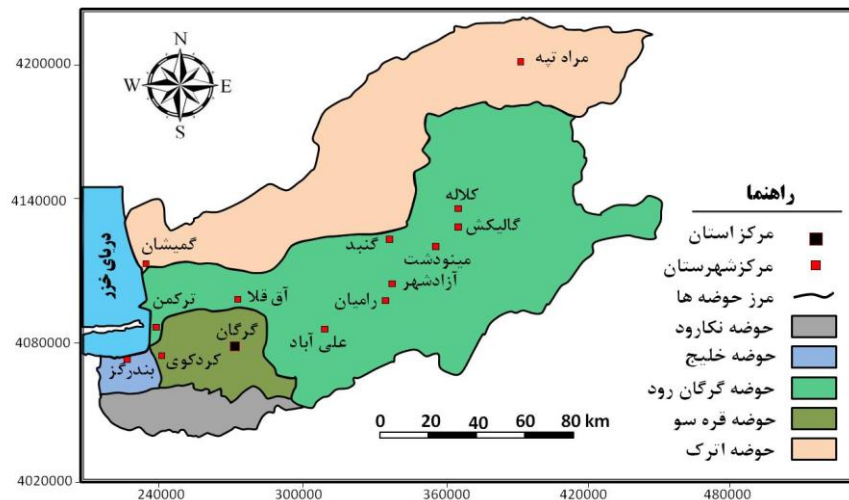
تلاش‌های فراوانی شد تا ارتباط بین آب‌های سطحی و زیرسطحی در دو حالت کمی و کیفی بررسی شود (باوئر، ۲۰۰۲). در بسیاری از موارد روش‌های ارزیابی با عدم قطعیت‌ها مواجه است (دوریس و سیمرس، ۲۰۰۲). روش‌های ارزیابی راندمان عموماً تحلیل داده‌های چاه‌های مشاهده‌ای (حاجی هاشمی جزی و همکاران، ۱۳۸۸) و استفاده از مدل‌سازی ریاضی با استفاده از نرم‌افزار مادفلو (وقارفر و پور جنایی، ۱۳۹۰؛ رستمی و همکاران، ۱۳۸۹؛ رضاپوریان و همکاران، ۱۳۹۴) و استفاده از برنامه‌های کامپیوتری و شبیه‌سازی محیط (رهنما و همکاران، ۱۳۸۴) بوده است. همچنین ارزیابی راندمان از دیدگاه‌های دیگر مثل میزان تحقق اهداف، جلوگیری از سیل، استفاده‌های کشاورزی، توسعه روستایی و مسائل اجتماعی و ارزیابی‌های زیست‌محیطی صورت می‌گیرد. در اکثر سامانه‌ها مطالعات دقیق و مستندسازی همراه با نصب ابزار دقیق و تجهیزات مشاهده نمی‌شود. بنابراین در بررسی میزان اثرگذاری سامانه‌ها بر بهبود سطح ایستابی آبخوان‌ها فقط به

۱۲۰ تا ۹۶۸ میلی‌متر است. تعداد روزهای بارانی ۵۷ روز است. بیشترین بارش ماهانه به مهر و آبان و آذر تعلق دارد و کمترین ماه‌های بارشی خرداد، تیر و مرداد می‌باشند. میزان تبخیر سالانه حدود ۱۴۰۰ میلی‌متر است (رضایی و همکاران، ۱۳۹۵). زمین‌شناسی منطقه شامل سه پهنه البرز، کپه‌داغ و حوضه رسوبی خزر است. ضلع جنوبی منطقه متشکل از سنگ‌های دگرگونی شیست‌های گرگان، سنگ‌های نفوذی آذرین و مجموعه سازندها و واحدهای رسوبی دوران دوم و سوم زمین‌شناسی است. تمامی سرشاخه‌های آبراهه‌ها و رودخانه‌ها از دامنه شمالی البرز سرچشمه گرفته و با روند شمال غرب به منطقه مطالعاتی هدایت می‌شوند. ضلع شرقی و شمال شرق محدود مطالعه مطالعاتی به حوضه رسوبی کپه‌داغ مربوط می‌شود که از سنگ‌های کربناته و تبخیری تشکیل یافته است. قسمت مرکزی منطقه مطالعاتی و شرق آن متشکل از دشت رسی و سیلتی است که پی‌سنگ آن واحدهای لیتولوژیکی حوضه خزر می‌باشد.

کرمی، ۱۳۹۲؛ معظمی و همکاران، ۱۳۸۹؛ غفوری و همکاران، ۱۳۹۰). یکی از راه‌های صحت‌سنجی اعتبار تحقیق بررسی همزمان تغییرات تراز آب چاه‌های مشاهده‌ای در خارج از تأثیر تغذیه سطحی است (رسایی و بری ابرقویی، ۱۳۹۱). هدف از این تحقیق تعیین کارایی آب‌بندان‌ها بر تغذیه آبخوان است در حوزه آبریز گرگان رود است تا در صورت داشتن اثرات مثبت، طول مدت آبیگری آب‌بندان‌ها در طول سال افزایش یابد.

معرفی منطقه مطالعاتی

محدوده مطالعاتی قسمتی از حوزه آبریز گرگان رود واقع در استان گلستان است (شکل ۱). از نظر ژئومورفولوژی در ناحیه جلگه‌ای قرار دارد. ارتفاع این ناحیه بین ۲۶- تا ۱۰۰ متر را شامل می‌شود. نهشته‌های رسوبی آن عمدتاً از جنس سیلت و رس است که در نتیجه کاهش انرژی رودخانه‌ها در مصب دریا رسوب می‌یابند. میزان بارش سالانه در منطقه مطالعاتی بین



شکل ۱- حوزه‌های آبریز استان گلستان (رضایی و همکاران، ۱۳۹۵).

بستر سدها، آب‌بندان‌ها، تالاب‌ها و نفوذ از طریق آبیاری کشاورزی، نفوذ پساب شرب و صنعت می‌باشد. سهم آبیاری کشاورزی بیش از ۴۰ درصد است که قسمت عمده آن آب برگشتی چاه‌های بهره‌برداری است. به تعداد ۲۳۴۸۵ حلقه چاه در پهنه‌های آبرفتی حوزه تلفیق حفر شده که تخلیه سالانه آن‌ها حدود ۱۰۸۷ میلیون مترمکعب می‌باشد. میزان تخلیه از طریق ۱۹۰ رشته قنات و ۱۳۹ دهنه چشمه آبرفتی به ترتیب ۵

بررسی‌های ژئوفیزیکی و نتایج عملیات پمپاژ و نمودارهای زمین‌شناسی در حوزه آبریز گرگان رود نشان می‌دهد که دو آبخوان سطحی و عمیق با ویژگی‌های هیدرودینامیکی و هیدروژئولوژیکی متفاوت وجود دارد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۵). جنس مواد زمین آبخوان سطحی عموماً مخروط افکنه‌ای، پادگانه‌های آبرفتی و دشت سیلابی است. منشاء تغذیه آن شامل نفوذ مستقیم بارش، نفوذ از طریق رواناب، نفوذ از

۴۶ / ۷۷ و ۶ میلیون مترمکعب است. به این ترتیب بیش از ۹۵ درصد از تخلیه پهنه‌های آبرفتی مربوط به چاه‌ها می‌باشد (مهندسین مشاور کنکاش عمران، ۱۳۷۸).
بررسی چاه‌های موجود در حوزه گرگانرود نشان می‌دهد که آبدهی لحظه‌ای ۷۷ درصد چاه‌ها کمتر از ۱۰ لیتر در ثانیه بوده و ۶۲ درصد چاه‌ها دارای عمق کمتر از ۱۰ متر می‌باشند. گروه‌بندی آبدهی لحظه‌ای قنات‌ها نشان می‌دهد که درحوزه مذکور بیش از ۸۲ درصد قنات‌ها دایر دارای آبدهی کمتر از ۱۰ لیتر در ثانیه بوده و آبدهی ۸۳ درصد چشمه‌های آبرفتی کمتر از ۵ لیتر در ثانیه می‌باشد (مهندسین مشاور کنکاش عمران، ۱۳۷۸).

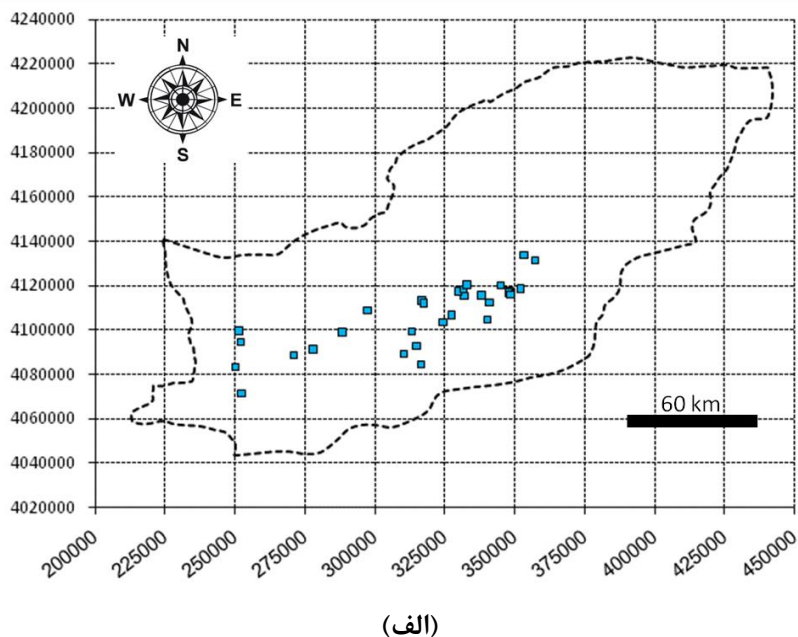
جدول ۱- مشخصات آب‌بندان‌های مورد مطالعه (رضایی و همکاران، ۱۳۹۵).

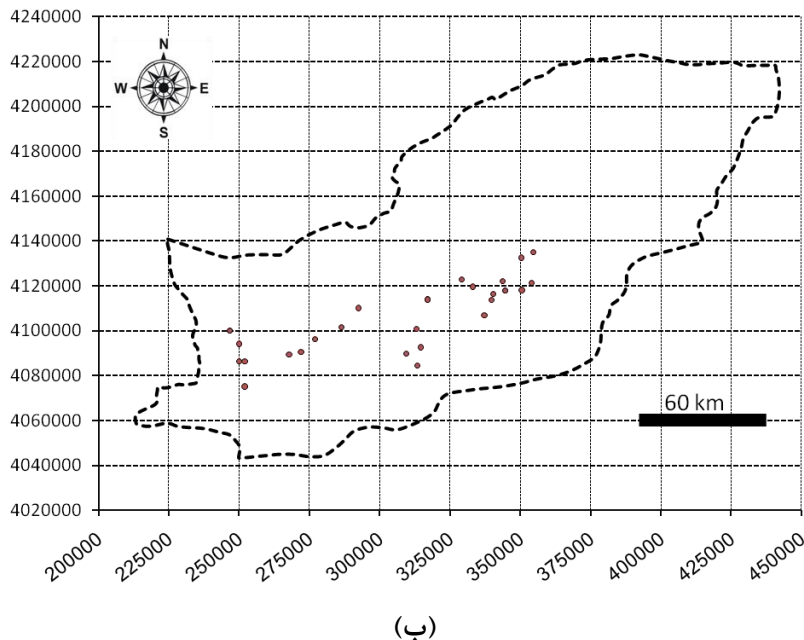
شماره آب‌بندان	تاریخ احداث	حجم مفید	سطح	عمق	تراز کف آب‌بندان
		هزار مترمکعب	مترمربع	متر	متر
۱۲۵	۸۹	۴	۲۰۰۰	۲	۴۳
۱۲۶	۸۶	۲۰	۱۰۰۰۰	۲	۲۰۴
۱۲۷	۸۶	۲۰	۱۰۰۰۰	۲	۱۷۱
۲۷۳	۸۸	۱۸	۶۰۰۰	۳	-۱۲
۱۳۱	۸۶	۱	۲۰۰۰	۰/۵	۵۸
۱۹۷	۸۲	۳/۷۵	۱۵۰۰	۲/۵	۲۳۳
۱۲۲	۸۵	۷/۵	۲۵۰۰	۳	۷۰
۱۴۵	۶۵	۱۸۰۰	۹۰۰۰۰۰	۲	۱۲
۲۷۹	۸۶	۴۵	۱۸۰۰۰	۲/۵	۵
۷۲	۸۴	۴۵۰	۳۰۰۰۰۰	۱/۵	۵۵
۱۹۶	۸۶	۱/۵	۱۰۰۰	۱/۵	۱۰۶
۱۳۴	۸۵	۱۰	۵۰۰۰	۲	۹۴
۲۳۹	۸۶	۳۶۰	۸۰۰۰۰	۴/۵	-۱۹
۱۳۲	۸۷	۳	۳۰۰۰	۱	۸۱
۲۳۱	۸۶	۱۹۲۰	۳۲۰۰۰۰	۶	-۲۱
۲۴۳	۸۱	۲۰۰	۴۰۰۰۰	۵	۲۴۸
۲۰۱	۸۹	۲	۲۰۰۰۰	۱	۴۲
۷۵	۸۸	۳	۳۰۰۰	۱	۶۰
۱۳۶	۸۶	۸۰	۴۰۰۰۰	۲	۱۱۸
۱۲۰	۸۸	۱۵	۵۰۰۰	۳	۶۸
۲۲۶	۸۰		۱۰۰۰۰۰		۲۳
۳۰۹	۸۵	۱۶/۵	۵۵۰۰	۳	-۲۲
۲۲۳	۷۰	؟	۳۰۰۰۰	؟	۴۷
۱۱۶	۷۱	۳۰	۲۰۰۰۰	۱/۵	۴۰
۱۱۸	۶۲	۶۰	۳۰۰۰۰	۲	۳۷
۱۲۳	۸۹	۸	۴۰۰۰۰	۲	۷۷
۲۲۸	۷۰	؟	۲۰۰۰۰	؟	۳۱
۲۳۹	۸۶	۳۶۰	۸۰۰۰۰	۴/۵	-۱۹

مواد و روش‌ها

از میان ۲۵۱ آب‌بندان موجود در حوزه آبریز گرگان‌رود، تعداد ۳۱ آب‌بندان که در پیرامون آن‌ها ۳۳ چاه‌های مشاهده‌ای وجود داشته و متأثر از آب‌بندان بوده، انتخاب گردید (جدول ۱) تا اثر احداث آب‌بندان روی تراز آب زیرزمینی مورد ارزیابی قرار گیرد. در این تحقیق ابتدا نقشه پراکنش آب‌بندان‌ها (شکل ۲-الف) و چاه‌های مشاهده‌ای (شکل ۲-ب) بر اساس مختصات جغرافیایی تهیه گردید و سپس این دو نقشه روی هم پلات شد تا چاه‌های پیرامون هر آب‌بندان مشخص گردد.

ضرایب هیدرودینامیکی مربوط به آزمایش پمپاژ ۱۸۵ حلقه چاه اکتشافی و بهره‌برداری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و بر اساس داده‌های تعداد ۱۶۴ حلقه از آن‌ها مقدار بیشینه ضریب قابلیت انتقال ۲۹۳۰ مترمربع در روز و کمینه آن کمتر از ۲۰ مترمربع در روز می‌باشد. متوسط ضریب ذخیره سفره سطحی ۵ درصد برآورد گردیده است. نقشه تراز آب در محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد که تراز آب از تراز توپوگرافی منطقه تبعیت می‌کند و جریان آب زیرزمینی هم‌روند با امتداد عمومی رودخانه‌های اصلی است و از جنوب شرق به سمت شمال غرب و دارای تمایل به سمت خلیج گرگان و دریای خزر است (مهندسین مشاور کنکاش عمران، ۱۳۷۸).

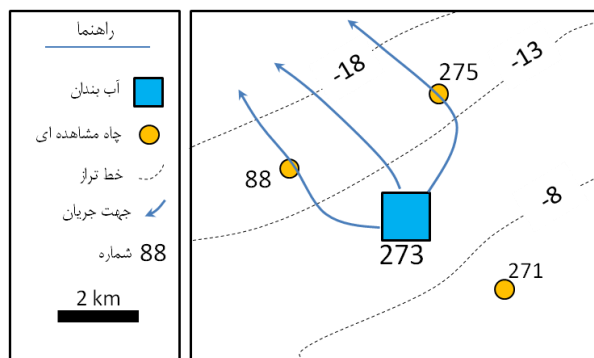




شکل ۲- پراکنش آب‌بندان‌ها (الف) و چاه‌های مشاهده‌ای (ب) مورد مطالعه در حوزه آبریز گرگان‌رود.

می‌باشد. دو عامل اصلی فاصله از آب‌بندان و قرارگیری در جهت جریان آب زیرزمینی در روند تأثیرگذاری آب‌بندان به تراز چاه مؤثر است. آب‌بندان‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شدند تا از پدیده تداخل اثر دو یا چند آب‌بندان بر یک چاه جلوگیری شود. برای این کار از چاه‌هایی که متأثر از دو یا چند آب‌بندان بودند، استفاده نشده است. به عبارت دیگر تنها عامل مؤثر بر تغییرات تراز چاه فقط یک آب‌بندان برای هر چاه مدنظر قرار گرفت.

در تحلیل از چاه‌هایی که تراز آب پایین‌تر از کف آب‌بندان داشته‌اند، استفاده شد به‌طوری‌که جریان آب از آب‌بندان به سمت چاه‌ها بوده است. در محدوده آب‌بندان گنبد تغذیه ایجاد شده و با توجه به وجود جریان زیرزمینی هم‌روند با شیب زمین، قاعدتاً چاه‌های پایین دست آب‌بندان متأثر از آن می‌شوند. برای مثال در شکل ۳ مشاهده می‌گردد چاه شماره ۲۷۱ نمی‌تواند تحت تأثیر آب‌بندان قرار گیرد. لذا تغییرات تراز آب آن متأثر از عوامل دیگر از جمله آب‌بندان‌های بالادست



شکل ۳- پراکنش چاه‌های مشاهده‌ای پیرامون آب‌بندان شماره ۲۷۳ (برای نمونه).

$$X = \frac{504.78 + 853.86}{0.3595 + 0.6193} = 1388.067$$

به همین ترتیب، با قرار دادن مقادیر عددی مربوط به

شکل ۴ - ب داریم:

$$X = \frac{620.97 + 587.45}{0.4443 + 0.426} = 1388.487$$

با تفاضل مقدار به دست آمده از زمان آبیگری آب-

بندان، زمان تأثیرگذاری (t_e) آبندان به چاه مشاهده‌ای به دست می‌آید (شکل ۵). مدت زمان تأثیرگذاری برای چاه شماره ۸۸ برابر ۰/۰۶۷ سال می‌باشد.

$$t_e = 1388.067 - 1388 = 0.067 \approx 0.8$$

همچنین مدت زمان تأثیرگذاری برای چاه شماره

۲۷۵ برابر ۰/۴۸۷ سال می‌باشد.

$$t_e = 188.487 - 1388 = 0.487 \approx 5.8$$

زمان تأثیرگذاری (t_e) آبندان شماره ۲۷۳ بر چاه

مشاهده‌ای شماره ۸۸ با ضرب کردن ۰/۰۶۷ سال در عدد ۱۲ برابر با ۰/۸ ماه و بر چاه مشاهده‌ای شماره ۲۷۵ با ضرب کردن ۰/۴۸۷ سال در عدد ۱۲ برابر با ۵/۸ ماه می‌باشد.

با انتخاب یک دوره یک‌ساله از تغییرات عمق سطح

آب ارتفاع بالآمدگی و افت (h_1, h_2) به دست می‌آید. مقدار h_1 میزان پائین رفتن سطح تراز آب (افت) را نشان می‌دهد و مقدار h_2 به مفهوم بالآمدگی سالانه آب به متر است و مجموع جبری h_1 و h_2 جبران سالانه تراز آب (H_r) به متر را معرفی می‌کند (شکل ۵).

$$H_r = h_1 + h_2$$

هیدروگراف تمامی چاه‌های پیرامون آبندان‌ها در

قبل و بعد از احداث آبندان مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴). به‌طوری که هیدروگراف چاه در قبل و بعد از آبیگری متفاوت بوده و قابل مقایسه و ارزیابی‌اند (شکل ۴). قبل از احداث آبندان به علت برداشت بی‌رویه، سطح ایستابی پایین می‌افتد و عمق تراز آب بیشتر می‌شود. اما پس از احداث آبندان در صورت اثرگذاری، روند تغییرات عمق آب کم می‌شود و یا نزولی می‌گردد. شیب خط روند تغییرات پارامتر کمی مهمی جهت بررسی میزان اثرگذاری آبندان بر تراز چاه‌های پیرامون است (شکل ۵). شیب مثبت (α_1) به معنی افزایش عمق آب یا کاهش سطح ایستابی است. شیب منفی (α_2) به معنی کاهش عمق آب و افزایش سطح ایستابی است (شکل ۵). با این توضیحات، معادله خط بالارونده در قبل از احداث و خط پایین‌رونده در بعد از احداث آبندان به‌صورت زیر بیان می‌شود.

$$Y_1 = \alpha_1 X_1 - \beta_1$$

$$Y_2 = \alpha_2 X_2 + \beta_2$$

که در آن Y_1 معادله خط بالارونده با ثابت‌های α_1 و β_1 و Y_2 معادله خط پایین‌رونده با ثابت‌های α_2 و β_2 می‌باشد.

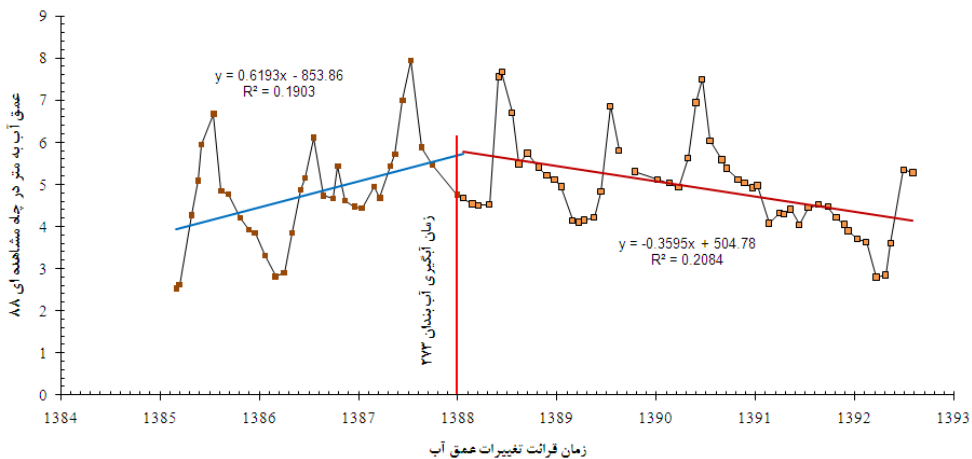
همان‌طور که می‌دانیم، در نقطه تلاقی این دو خط مقادیر $Y_2 = Y_1$ و $X_2 = X_1$ می‌باشد. با برقراری این دو باهم می‌توان نوشت:

$$\alpha_1 X_1 - \beta_1 = \alpha_2 X_2 + \beta_2$$

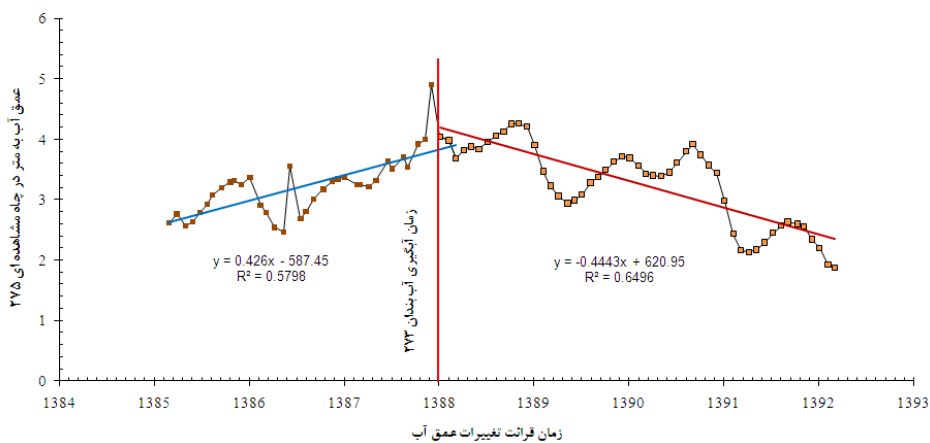
در نتیجه برای یک مقدار X می‌توان نوشت:

$$X = \frac{\beta_2 + \beta_1}{\alpha_2 + \alpha_1}$$

با قرار دادن مقادیر عددی مربوط به چاه شماره ۸۸ در شکل ۴- الف داریم:

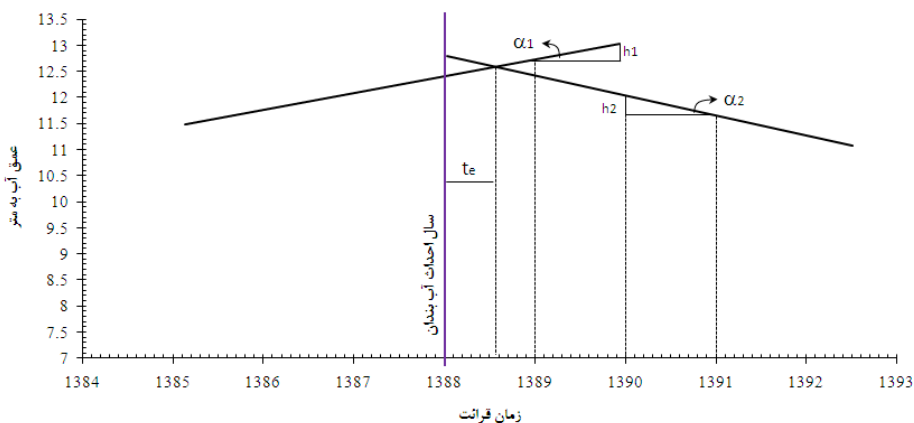


(الف)



(ب)

شکل ۴- هیدروگراف‌های چاه مشاهده‌ای شماره ۸۸ (الف) و چاه شماره ۲۷۵ (ب) پیرامون آب‌بندان شماره ۲۷۳ (برای نمونه).



شکل ۵- نمایش مفهوم زمان تأثیر (t_e)، بالاآمدگی (h_2) و جبران سالانه تراز آب (H_r).

پراکنش آب‌بندان‌ها در قسمت انتهایی حوزه آبریز توپوگرافی می‌باشد. از میان آب‌بندان‌های مطالعه شده در این گرگان‌رود در منطقه جلگه‌ای قرار دارد که بررسی‌های ژئوفیزیکی و نمودار چاه‌های اکتشافی نشان می‌دهد که آبخوان از نوع سطحی، فاقد شرایط مرزی، عموماً از جنس سیلت و ماسه، مرتبط با سطح زمین و جهت جریان به تبعیت از شیب

منطقه، به تعداد ۳۱ آب‌بندان که دارای چاه‌های مشاهده‌ای در نزدیکی خود بوده و متأثر از آبیگری آب‌بندان بوده‌اند، زمان تأثیر (t_e)، میزان بالآمدگی سالانه (h_2) و جبران سالانه تراز آب (H_r) اندازه‌گیری شده است (جدول ۲).

جدول ۲- مقادیر زمان تأثیر (t_e)، بالآمدگی آب (h_2) و جبران سالانه (H_r) در فاصله‌های مختلف از آب‌بندان‌ها.

شماره آب‌بندان	شماره چاه	فاصله چاه تا آب‌بندان به کیلومتر	زمان تأثیر (t_e) به ماه	بالآمدگی سالانه (h_2) آب به متر	جبران سالانه تراز آب (H_r) به متر
۱۲۵	۶۶	۳/۵۶	۳/۸	۰/۵۱	۰/۹
۱۲۶	۵۹	۱/۷۴	۲	۰/۵	۱/۳
۱۲۷	۱	۳/۶۵	۳/۱	۰/۷۴	۱/۳۵
۲۷۳	۸۸	۲/۳۶	۰/۸	۰/۶۲	۰/۹۷۹
	۲۷۵	۳/۴۶	۵/۸	۰/۴۲	۰/۸۷
۱۳۱	۱۶۸	۱/۳۱	۱/۵	۰/۰۸	۰/۸۸
۱۹۷	۳۳۶	۳/۱۵	۲/۵	۰/۰۶۹	۰/۱۲
۱۲۲	۱۷۴	۳/۳۷	۲	۰/۴۳	۰/۹۶
۱۴۵	۲۶۸	۵	۹/۶	۰/۰۵	۰/۱۴۹
۲۷۹	۲۸۰	۳/۰۷	۲	۰/۱۷	۱/۷۶
	۵۵	۴/۷۳	۴/۵	۰/۰۷۶	۱/۸۴
۷۲	۵۸	۲/۴۱	۲/۳	۰/۱۷	۰/۳۶
۱۹۶	۱۸۲	۴/۴۹	۸	۰/۰۰۶	۰/۵
۱۳۴	۲۷۹	۱/۵۷	۱	۰/۶۷	۱/۳
۲۳۹	۲۷۹	۳/۷۲	۵/۴	۰/۳۵	۱/۸۲
۱۳۲	۱۳۲	۳/۰۵	۴	۰/۶۶	۱/۲۳
	۳۲۱	۴/۰۲	۵	۰/۱۳	۰/۷۲
۲۳۱	۱۷۸	۴/۷	۶	۰/۱۷	۰/۲۴۷
۲۴۳	۱۰۸	۸/۳۱	۱۳	۰/۰۰۶	۰/۲۳۱
۲۰۱	۱۲	۱/۵۸	۱/۵	۰/۰۵	۰/۹۵
۷۵	۲۸۳	۲/۳۲	۲/۴	۰/۳۸	۰/۷
۱۳۶	۱۳۹	۰/۹۱	۱	۰/۲۱	۰/۷۲
۱۲۰	۱۷۴	۳/۱۸	۳/۷	۰/۹۵	۱/۵۸
۲۲۶	۲۶۸	۱/۲	۱	۰/۰۳۴	۰/۰۲
۳۰۹	۱۷۸	۷/۵۹	۱۰/۸	۰/۱	۰/۱۹
۲۲۳	۲۹۸	۴/۳۶	۵	۰/۳۳	۰/۴۱
۱۱۶	۲۹۸	۳/۷۶	۲	۰/۳۳	۰/۳۹
۱۱۸	۲۹۸	۱/۹۷	۴	۰/۳۳	۰/۳۸
۱۲۳	۲۸۵	۰/۴	۱	۱/۱۴	۱/۷۴
۲۲۸	۱۱۷	۴/۴۵	۶	۰/۰۵	۰/۱۴
۲۳۹	۲۷۹	۳/۷۲	۵	۰/۳۵	۲/۰۹
۸۶	۵۲	۶	۸	۰/۱۲	۰/۶۱
۱۸۳	۱۳۵	۶/۴	۱۱/۵	۰/۰۵	۰/۵۴

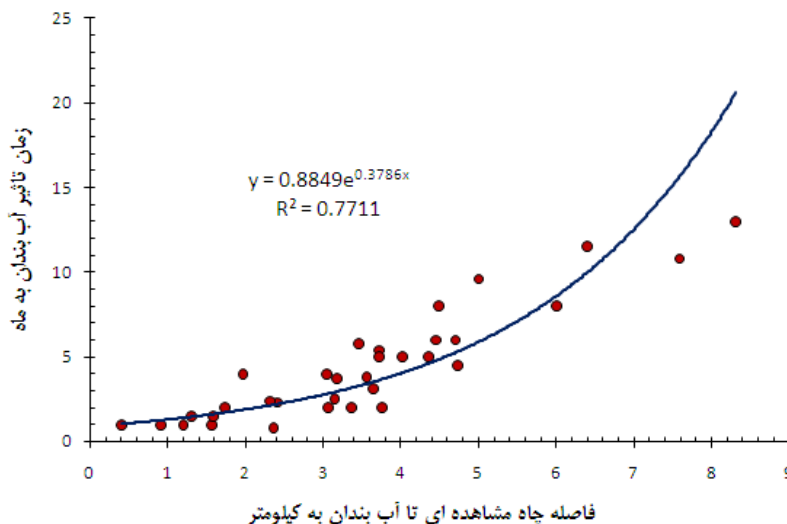
بحث و نتیجه گیری

می‌کند و رابطه زیر بین آن‌ها با همبستگی $r = 0.878$ برقرار است:

$$t_e = 0.8849e^{0.3786(D)}$$

که در آن t_e زمان تأثیر آب‌بندان بر تغییرات تراز سطح آب چاه مشاهده‌ای به ماه و D فاصله چاه مشاهده‌ای تا آب‌بندان به حساب کیلومتر می‌باشد (شکل ۶). همبستگی بالا بین t_e و D خود دلیلی قانع‌کننده مبنی بر تأثیر آب‌بندان بر تراز چاه مشاهده‌ای می‌باشد. ویژگی‌های زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی یکنواخت آبخوان می‌تواند عاملی برای بالا بودن این همبستگی باشد.

انتخاب یک دوره ده ساله از نوسانات تراز آب چاه‌های مشاهده‌ای در مناطقی که فقط تحت تأثیر تغذیه بارش قرار می‌گیرد، افت کلی را نشان می‌دهد و چنانچه یک فاکتور تغذیه دیگر در این مدت باعث تغذیه آبخوان گردد، روند تغییرات تراز آب دچار تغییر می‌شود. برای بررسی چنین تغییری به تعداد ۳۳ چاه مشاهده‌ای که در فاصله بین ۰/۴ تا ۸/۳ کیلومتری از آب‌بندان‌ها قرار داشتند، مورد ارزیابی قرار گرفتند. دو پارامتر زمان تأثیر (t_e) و ارتفاع بالآمدگی (h)، در ارتباط با فاصله آب‌بندان از چاه مشاهده‌ای قرار دارد (شکل ۶ و ۷). به‌طوریکه با دور شدن از آب‌بندان زمان تأثیر (t_e) به‌صورت نمایی تغییر



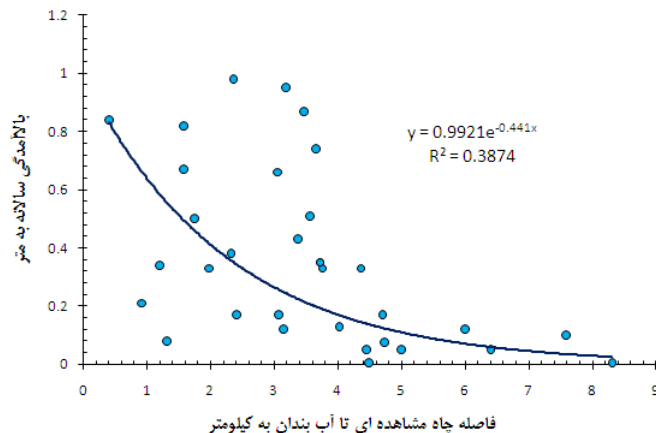
شکل ۶- تغییرات زمان تأثیر (t_e) نسبت به فاصله چاه‌های مشاهده‌ای از آب‌بندان.

خط، در فواصل کم میزان بالآمدگی بیشتر از فواصل دورتر است. به عبارت دیگر تأثیر آب‌بندان بر چاه‌های مشاهده‌ای نزدیک‌تر خیلی واضح‌تر از چاه‌های دور دست است. به‌طوریکه در فاصله ۹ کیلومتر به بعد بالآمدگی به سمت صفر میل می‌کند. یکی از دلایل پراکندگی داده‌ها می‌تواند تنوع در ویژگی‌های زون غیراشباع در نقاط مختلف باشد که در بررسی‌های اکتشافی از وجود عدسی‌های رسی در افق‌های مختلف نام برده است (رضایی و همکاران، ۱۳۹۵).

میزان بالآمدگی سالانه (h_2) آب در چاه‌های مشاهده‌ای که معرف نرخ بالآمدن آب در اثر تغذیه توسط آب‌بندان‌ها است، با فاصله از چاه‌های مشاهده‌ای نسبت عکس دارد و دارای همبستگی $r = 0.622$ است و رابطه زیر بین آن دو برقرار است.

$$h_2 = 0.9921e^{-0.441(D)}$$

که در آن (h_2) میزان بالآمدگی آب در چاه مشاهده‌ای به متر و D فاصله به کیلومتر است. با مشاهده شیب



شکل ۷- تغییرات میزان بالآمدگی سالانه (h_2) آب چاه نسبت به فاصله چاه مشاهده‌ای از آب‌بندان.

به دست می‌آید و در انتها کارایی آب‌بندان‌ها از میانگین‌گیری هر طبقه به دست آمد.

هرچه زمان تأثیرگذاری کمتر باشد، کارایی آب‌بندان بالاتر است. از این لحاظ بیش از ۸۰ درصد آب‌بندان‌ها دارای کارایی مناسب تا عالی هستند. به طوری که در کمتر از ۶ ماه تراز آب زیرزمینی را بهبود می‌بخشند. دامنه تغییرات بالآمدگی سالانه آب در چاه‌های مشاهده‌ای بین صفر تا ۰/۲ متر در درجه کم و بالای ۰/۸ متر در درجه عالی قرار دارد و مقادیر بین این دو در درجات دیگر واقع‌اند. نزدیک به ۷۰ درصد آب‌بندان‌ها دارای بالآمدگی کمتر از ۴۰ سانتی‌متر هستند. از این لحاظ کارایی آب‌بندان‌ها متوسط تا کم می‌باشد. قریب به ۶۵ درصد آب‌بندان‌ها از لحاظ جریان سالانه آب در درجه متوسط تا پایین هستند. به طور میانگین بر اساس سه شاخص مذکور، کارایی بیش از ۵۰ درصد آب‌بندان‌ها در حد متوسط تا کم می‌باشند.

علی‌رغم تأثیرگذاری احداث آب‌بندان‌ها بر بهبود و تقویت آبخوان به دلیل وجود ارتباط هیدروژئولوژیکی بین آب‌های سطحی و زیرسطحی، دلایل پایین بودن کارایی آن‌ها می‌توان به نبود مدیریت بهره‌برداری درست، رسوب‌زایی در بستر آب‌بندان‌ها به علت هدایت آب‌های گل‌آلود و مصارف کشاورزی اشاره نمود.

برای ارزیابی بر اساس شاخص‌های زمان تأثیر (t_e)، بالآمدگی سالانه (h_2) و جبران سالانه (H_r) می‌توان آب‌بندان‌های مورد بررسی را از لحاظ کارایی به رده‌های دارای کارایی عالی، خوب، مناسب، متوسط و کم تقسیم‌بندی نمود. وقتی در یک آبخوان که شاخص‌های ارزیابی متفاوت باشد، با لحاظ نمودن کارایی عالی برای مقادیری که بیشترین تأثیر را بر بهبود آبخوان ایجاد می‌کند؛ می‌توان بقیه مقادیر را در درجات دیگر قرار داده و باهم مقایسه نمود.

این رده‌بندی مبتنی بر معیارهای مقیاس لیکرت (*Likert*) است. این مقیاس که به مقیاس امتیازدهی و یا طیف لیکرت نیز شهرت دارد، یک سیستم رتبه‌ای است که در علم آمار از آن استفاده می‌شود که بر روش‌های آماری و منطقی استوار است. کاربرد آن بیشتر در رشته‌های علوم اجتماعی است که برای ارزیابی پرسشنامه‌ای استفاده می‌گردد. معمولاً مقیاس لیکرت به درجات پنج‌تایی با فواصل مساوی تقسیم می‌شود. هدف از این، ایجاد مقیاس مناسب کمی است تا بتوان بر اساس یک صفت و یا ویژگی مشخص کارایی را برای یک سیستم تعریف کرد.

برای تعیین قرارگیری آب‌بندان‌ها در طبقات مختلف ابتدا هر یک از شاخص‌های ارزیابی کارایی به پنج طبقه مساوی تقسیم می‌شود. سپس تعداد و فراوانی آب‌بندان‌ها در هر طبقه

جدول ۲- طبقات کارایی شاخص‌های ارزیابی راندمان آب‌بندان‌ها.

توصیف کارایی	کم	متوسط	مناسب	خوب	عالی
دامنه به ماه	۸ <	۸-۶	۶-۴	۴-۲	۲-۱
زمان تأثیر	۴	۲	۷	۱۲	۶
درصد فراوانی	۱۲/۹	۶/۵	۲۲/۶	۳۸/۷	۱۹/۴
دامنه به متر	۰/۲-۰	۰/۴-۰/۲	۰/۶-۰/۴	۰/۸-۰/۶	۰/۸ <
بالا آمدگی	۱۴	۸	۴	۳	۲
سالانه آب	۴۵/۲	۲۵/۸	۱۲/۹	۹/۷	۶/۵
دامنه به متر	۰/۵-۰	۱-۰/۵	۱/۵-۱	۲-۱/۵	۲ <
جبران سالانه	۱۱	۹	۵	۵	۱
آب	۳۵/۵	۲۹	۱/۶	۱۶/۱	۳/۲
میانگین کارایی آب‌بندان‌ها	۳۱/۲	۲۰/۴	۱۷/۲	۲۱/۵	۹/۷

تشکر و قدردانی

این مقاله قسمتی از پروژه تحقیقاتی است که با حمایت مالی معاونت امور پژوهشی سازمان مدیریت منابع آب ایران (دفتر پژوهشی و پشتیبانی علمی) با عنوان « بررسی راندمان تغذیه مصنوعی و نقش آن در توسعه منابع آب زیرزمینی، مطالعه موردی استان گلستان» در معاونت پژوهش و فن‌آوری دانشگاه گلستان با شماره قرارداد ۱-۳۱۴۶۱/۳۱۲ تاریخ ۹۲/۱۲/۲۴ با شرکت آب منطقه‌ای گلستان منعقد شده است و در سال ۱۳۹۵ به اتمام رسیده است. جا دارد از زحمات و حسن نظر مدیریت محترم و کارکنان شرکت آب منطقه‌ای گلستان و معاونت پژوهش و فن‌آوری دانشگاه گلستان تقدیر و تشکر گردد.

منابع

حاجی هاشمی جزی، م.، نحوی‌نیا، م.، زهتابیان، غ.، زورمند، س.، ۱۳۸۸. تأثیر پخش سیلاب بر منابع آب زیرزمینی شرق دشت بیرجند. پنجمین همایش ملی علوم مهندسی آب‌بنداری ایران، ۲ اردیبهشت، گرگان.

جلیلی، ج.، جلیلی، خ.، حسادی، ه.، حدیدی، م.، ۱۳۹۳. تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی از طریق کانال-های زهکش سطحی با استفاده از روش AHP. نشریه

علمی-پژوهشی علوم و مهندسی آب‌بنداری ایران، سال هشتم، شماره ۲۴، ۳۶-۲۹.

رستمی، ص.، نخعی، م.، خدایی، ک.، ۱۳۸۹. بررسی تأثیر تغذیه مصنوعی بر پتانسیل آب‌های زیرزمینی دشت قروه-کردستان. نخستین کنفرانس همایش ملی ایران، ۲۱-۲۲ اردیبهشت ماه، کرمانشاه.

رسایی، ر.، بری ابرقویی، ح.، ۱۳۹۱. بررسی تأثیر بندهای تغذیه مصنوعی بر سطح آب پیرومترهای دشت مروست-استان یزد. اولین همایش ملی بیابان، ۲۷-۲۸ خردادماه، تهران.

رضایوریان، س.، احمدی، م.، بختیاری، ب.، ۱۳۹۴. مدل‌سازی بالازدگی موضعی آب زیرزمینی ناشی از تغذیه مصنوعی. فصلنامه بین‌المللی پژوهشی تحلیلی منابع آب و توسعه، سال سوم، شماره ۳، ۱۵۱-۱۴۳.

رضایی، ح.، زنگانه، م.، طبرسا، ع.، امینی، ا.، ۱۳۹۵. بررسی راندمان تغذیه مصنوعی و نقش آن در توسعه آبخوان. مجری: دانشگاه گلستان، کارفرما: شرکت آب منطقه‌ای گلستان، ۲۵۰ص.

رهنما، م.، مجتهدی، ع.، اصطباتاتی، س.، غفوری، ع.، ۱۳۸۴. مطالعه روش‌های افزایش راندمان طرح‌های تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی. دومین کنفرانس سراسری آب‌بنداری و مدیریت، ۳ و ۴ اسفند ماه، کرمان.

- وقارفرد، ح.، پورجنایی، ع.، ۱۳۹۰. بررسی و ارزیابی تأثیرات کمی تغذیه مصنوعی بر سفره آبریزمینی با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW. وزارت نیروی شرکت مدیریت آب ایران، دانشگاه صنعتی کرمانشاه.
- Beest, S., and Puater, K., 1994. Assessment of interaction effects between channel and aquifer in semiarid condition. Golden, Colorado, USA.
- Bouwer, H. 2002. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. *Hydrology Journal*, 10: 121-142.
- De Vries, J.J. and Simmers, I. 2002. Groundwater Recharge: An Overview of Processes and Challenges. *Hydrogeology Journal*, 10:5-17.
- Guymon, G. L., and Hromadka, T.V., 1985. Modeling of groundwater Response to Artificial Recharge of groundwater. Butterworth publishers. Boston, Massachusetts. 129-149.
- Hunt, R.J., Strandb, M., Walkera, J.F., 2006. Measuring groundwater-surface water interaction and its effect on wetland stream benthic productivity, Trout Lake watershed, northern Wisconsin, USA. *Journal of Hydrology*, 320, 370-384.
- Langhoff, J.H., Rasmussen, K.R., Christensen, S., 2006. Quantification and regionalization of groundwater-surface water interaction along an alluvial stream. *Journal of Hydrology*, 320, 342-358.
- Phien-wej, N., Giao, P.H., Nutalaya, P., 1998. Field experiment of artificial recharge through a well with reference to land subsidence control. *Engineering Geology*, 50, 187-201.
- Spanoudaki, k., Nanou, A., Stamou, A.I., Christodoulou, G., Sparks, T., Bockelmann, B., and Falconer, R.A., 2005. Integrate surface water-groundwater modeling. *Global NEST Journal*, 7(3), 281-295.
- Streetly, M. J., and Kotoub, S., 1998. Determination of aquifer properties in northern Qatar for application to artificial recharge. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 3 (3), 199-209.
- Turner, J.V., Townley, L.R., 2006. Determination of groundwater flow-through regimes of shallow lakes and wetlands from numerical analysis of stable isotope and chloride tracer distribution patterns. *Journal of Hydrology*, 320, 451-483.
- کلانتری، ن.، ۱۳۸۰. بررسی مزیت و معایب چهار طرح تغذیه مصنوعی در سه استان کشور. نخستین همایش آبخیزداری در مدیریت استحصال آب در حوضه‌های آبخیز، ۱ بهمن ماه، بوشهر.
- کیاحیرتی، ج.، ۱۳۸۱. بررسی عملکرد شبکه‌های پخش سیلاب موغار اردستان در تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی. مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۵، شماره ۲، ۱۷۱-۱۵۹.
- کنکاش عمران، مهندسین مشاور، ۱۳۷۸. گزارش بهنگام سازی تلفیق مطالعات منابع آب حوزه آبریز رودخانه‌های قهره سوگرگانرود. دفتر مطالعات پایه منابع آب شرکت سهامی آب منطقه‌ای گلستان.
- فتحی، ع.، حسنیلو، م.، شریفی، م.، ۱۳۸۸. بررسی تأثیر تغذیه مصنوعی بر کمیت آب خوان دشت زنجان. اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌ها، ۱ تا ۲ آبان ماه، دانشگاه تهران.
- قوردویی میلان، م.، کرمی، غ.، ۱۳۹۲. ارزیابی اثرات کمی طرح تغذیه مصنوعی خوی. هشتمین انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- غفوری، م.، شرفی، ه.، کاظمی، غ.، ۱۳۹۰. بررسی اثرات سیلاب‌های طبیعی و مصنوعی رهاسازی از سد امیرکبیر بر تغذیه آبخوان دشت شهریار. پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران.
- معظمی، م.، ارشم، ع.، اصغری پوردشت بزرگ، ن.، ۱۳۸۹. بررسی اثرات تغذیه مصنوعی به روش پخش سیلاب بر تغییرات سطح آب زیرزمینی. ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش رسوب، ۸ و ۹ اردیبهشت ماه، دانشگاه تربیت مدرس تهران.