

واژه‌های کلیدی: آزمون تحلیل روند، تراز آب زیرزمینی، کیفیت آب، نقطه جهش.

مقدمه

بهره‌برداری بی‌رویه از آب زیرزمینی و روی آوردن به احداث چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان و گسترش روزافزون آن‌ها موجب تغییرات شدیدی در نظام بهره‌برداری از منابع آب شده است. این موضوع منجر به خسارات گوناگونی مانند پایین رفتن سطح آب زیرزمینی، فرونشست، منفی شدن بیلان آب دشت‌ها و کاهش آبدی چاه‌ها، تهاجم آب شور دریا به سفره‌ها و کاهش کیفیت آب زیرزمینی شده است [۱۶]. از سوی دیگر، تغییرات کاربری اراضی و کاهش نفوذپذیر و تغییر رژیم بارش (با شدت نسبتاً زیاد در مدت‌زمان بسیار کم از دیگر ویژگی‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک) که منجر به وقوع سیلاب‌های شدید می‌شود. از آنجاکه کشور ایران جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود، وقوع جریان‌های سیلابی و افت شدید سطح آب زیرزمینی سبب شده، مدیران بیش‌ازپیش به تغذیه مصنوعی توجه می‌نمایند [۲۳].

تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی عبارت است از افزایش حرکت طبیعی آب‌های سطحی به داخل سازندهای زیرزمینی به‌وسیله روش‌های مختلف ساختمانی، پخش آب و یا به‌وسیله ایجاد تغییرات مصنوعی در شرایط طبیعی [۵]. تغذیه مصنوعی برای اهداف گوناگون استفاده می‌شود که به شرایط جغرافیایی، طبیعی و اقتصادی بستگی دارد. بالک و ژائو [۲] در تحقیقاتی گسترده، پروژه‌های تغذیه مصنوعی که طی صدسال گذشته در آلمان اجرا شده را موردبررسی قرار داده‌اند. نتایج حاصل از این تحقیقات نشان می‌دهد که بیش‌تر طرح‌های تغذیه مصنوعی در کشور آلمان برای اهداف تولید آب آشامیدنی، بهبود کیفیت آب‌های زیرزمینی، ذخیره کردن آب شیرین، نفوذ آب‌های اضافی در سطح زمین و غیره استفاده شده است که در مجموع اثرات این طرح‌ها مثبت گزارش شده است.

در مناطق خشک و نیمه‌خشک بخش عمده‌ای از آب شرب و کشاورزی از طریق آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. اگر میزان برداشت از آبخوان با تغذیه طبیعی آن برابر نباشد منجر به افت مداوم سطح ایستابی و به هم خوردن تعادل آن خواهد شد [۱۸]. ازاین‌رو تغذیه مصنوعی به‌عنوان راه‌حلی برای این مشکل پیشنهاد شده است. ازجمله این مناطق دشت شمیل-آشکارا واقع در شمال شرقی استان

تأثیر تغذیه مصنوعی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت شمیل - آشکارا (استان هرمزگان)

زهره پاکدامن^{۱*} و ام‌البنین بذرافشان^۲

تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۱۰/۰۵ تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۱۱/۲۱

DOR: 20.1001.1.26454777.1401.10.39.1.1

چکیده

یکی از راه‌کارهای موجود برای استفاده بهینه از منابع آب در شرایط بحرانی منابع آب زیرزمینی و سطحی، اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی می‌باشد. این سیستم‌ها باهدف ذخیره آب‌های سطحی مازاد در آبخوان‌های آب زیرزمینی به‌منظور بهبود کمی منابع آب و هم‌چنین بهبود کیفیت آب درگذر از لایه‌های مختلف خاک صورت می‌پذیرد. هدف از تحقیق حاضر، بررسی تأثیر تغذیه مصنوعی بر کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی دشت شمیل-آشکارا است. به این منظور نوسانات تراز سفره و تغییرات هدایت الکتریکی چاه‌های تحت تأثیر طرح تغذیه مصنوعی در یک دوره زمانی به‌صورت مکانی و زمانی با استفاده از آزمون‌های تحلیل روند موردبررسی قرارگرفته‌اند. نتایج نشان داد، چاه‌های مشاهده‌ای مورد مطالعه در دشت دارای روند کاهشی در تراز آب زیرزمینی خود هستند، به‌طوری‌که به‌طور متوسط طی دوره‌ی موردبررسی به ازای هر سال ۰/۴۱ متر و به‌طور کلی تراز آب ۱۱/۷ متر افت داشته است؛ اما اثر تغذیه مصنوعی بر تغییرات چاه‌های اطراف قابل‌مشاهده بوده و در یک مقطع زمانی سبب افزایش و جبران ۹/۶ درصدی افت مخزن شده و هم‌چنین میزان EC از ۴۵۰۰ دسی‌زیمنس بر متر به ۴۰۰۰ رسیده است؛ اما پس از گذشت دو سال حوضچه‌های تغذیه مصنوعی کارایی خود را از دست‌داده است؛ که این مسئله ضرورت پایش و نگهداری مکرر کارایی طرح‌های تغذیه مصنوعی را می‌طلبد.

۱- عضو هیات علمی گروه آمار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران *مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: zpakdaman@hormozgan.ac.ir

۲- عضو هیات علمی گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

هرمزگان و در نزدیکی مرز استان کرمان بوده که به دلیل استحصال بی‌رویه از چاه‌های منطقه در طول سالیان طولانی، سطح آب در منطقه سیر نزولی داشته است. گسل معروف زندان به فاصله نزدیکی از شرق منطقه می‌گذرد. در سال‌های اخیر به دلیل توسعه زیاد کشاورزی و خشک‌سالی درازمدت در این منطقه حجم ذخیره سفره آب زیرزمینی به شدت کاهش یافته است. این منطقه به دلیل وجود خاک مناسب و نیز منابع آب زیرزمینی و احداث سد شمیل و نیان در بالادست جزء دشت‌های مهم کشاورزی استان محسوب شده و در تأمین نیازهای کشاورزی استان نقش مهمی دارد [۵]. در سال‌های اخیر به دلیل استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی منطقه مذکور و هم‌چنین خشک‌سالی‌های چند سال اخیر، سطح آبخوان این منطقه افت محسوسی پیدا کرده است. مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که مدیریت آب‌های سطحی جهت تغذیه مصنوعی به‌عنوان مناسب‌ترین روش برای بهبود وضعیت این آبخوان می‌باشد [۱۰].

با توجه به برداشت زیاد از آبخوان‌ها در طی سالیان اخیر مشکلات کم‌آبی زیادی به وجود آمده است، از این‌رو غالب طرح‌های تغذیه مصنوعی جهت جلوگیری از پایین آمدن سطح آب سفره‌های زیرزمینی اجرا می‌گردد. سامادار و همکاران [۱۷] با ارزیابی نقشه‌های هم‌پتانسیل قبل و بعد از تغذیه مصنوعی در دشت گانگ در کشور هند ملاحظه کردند که سطح آب‌های زیرزمینی این منطقه به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بالا آمده است.

در شمال غربی کشور بلژیک در یکی از شهرهای ساحلی به دلیل افزایش استخراج آب از آبخوان منطقه سطح آب پایین افتاده، علاوه بر پایین افتادن سطح ایستایی باعث هجوم آب‌شور دریا به آبخوان شده است. برای رفع این مشکل طرح تغذیه مصنوعی با روش تغذیه از طریق چاه انجام گرفته و برای این طرح آب موردنیاز از فاضلاب تصفیه‌شده شهر استفاده گردیده است. وندنبوه و همکاران [۲۰] با مطالعاتی که روی این طرح انجام دادند، بیان کردند که این سیستم در بهبود کیفی آب زیرزمینی موفقیت‌آمیز بوده است. در این طرح آب فاضلاب بعد از تصفیه به‌صورت میانگین TDS آن کم‌تر از ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بوده و آب استخراجی از چاه‌ها قبل تغذیه ۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر را نشان می‌داد. تحقیقات انجام‌گرفته برای طرح مذکور بین سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۶ بوده است.

در منطقه بیجینگ در کشور چین جهت تصفیه آب‌های آلوده به مواد آلی و هالوژن‌ها، طرح تغذیه مصنوعی در یک منطقه به مساحت ۲۲۰۰ کیلومتر مربع اجرا گردیده است. این طرح از نوع پیشرفته ثانویه است که با خاک آبخوان برای فیلتر کردن بهتر مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که خاک آبخوان توانسته است آلودگی مواد آلی DOC را به مقدار ۴۰ درصد و آلودگی هالوژن‌ها را به مقدار ۷۰ درصد کاهش دهد [۲۲].

یو و همکاران [۲۱] در یکی از مناطق چین به دلیل پایین بودن کیفیت آبخوان منطقه، طرح تغذیه مصنوعی آب سطحی باکیفیت بالا به‌منظور تزریق در آبخوان مذکور در نظر گرفته شده است. جهت

تزریق آب به این آبخوان از بستر رودخانه‌ی هاتو استفاده شده است. برای بررسی نتایج حاصل از این طرح، آنالیز چهار یون NO_3^- ، F^- ، Cl^- و SO_4^{2-} از نمونه‌های آب زیرزمینی به مدت سه ماه موردبررسی قرار گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که بعد از این طرح مقدار یون‌های F^- ، Cl^- و SO_4^{2-} در آب زیرزمینی منطقه افزایش پیدا کرده و یون NO_3^- در این آبخوان کاهش یافته است. هدف از تحقیق حاضر، بررسی تأثیر تغذیه مصنوعی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت شمیل-آشکارا در استان هرمزگان است. به این منظور نوسانات تراز سفره و پارامترهای کیفی چاه‌های مجاور طرح در یک دوره زمانی موردبررسی قرار گرفته‌اند.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

این مطالعه در دشت شمیل - آشکارا انجام شده است. این دشت با وسعت ۱۱۰۶ کیلومتر مربع در شمال شرقی استان هرمزگان و نزدیکی مرز استان کرمان واقع شده است. میانگین سالانه بارندگی در محدوده این دشت کم‌تر از ۲۰۰ میلی‌متر و میزان بالقوه تبخیر به‌طور میانگین ۲۶۴۰ میلی‌متر در سال است [۵].

طرح تغذیه مصنوعی در جنوب آبخوان شمیل - آشکارا اجرا شده است. این ناحیه در فاصله ۳ کیلومتری جنوب شرقی روستای آشکارا در ساحل غربی یکی از سرشاخه‌های رودخانه شور که از ارتفاعات جنوبی سرچشمه می‌گیرد و به سمت مرکز دشت جریان داشته، قرار دارد. در شکل شماره ۱(ب) موقعیت آبخوان و حوضچه‌های طرح تغذیه مصنوعی فوق ارائه شده است. طرح تغذیه مصنوعی به‌طور مستقیم روی چاه‌های مشاهده‌ای ۵، ۶ و ۲۱ تأثیرگذار است و اولین آبیگری در اسفند ۱۳۹۷ صورت گرفته است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل داده‌های کیفی آب‌های زیرزمینی و کمیت آب زیرزمینی یا تراز آب اندازه‌گیری شده توسط چاه‌های مشاهده‌ای منطقه موردبررسی است.

روش‌های تحلیل روند

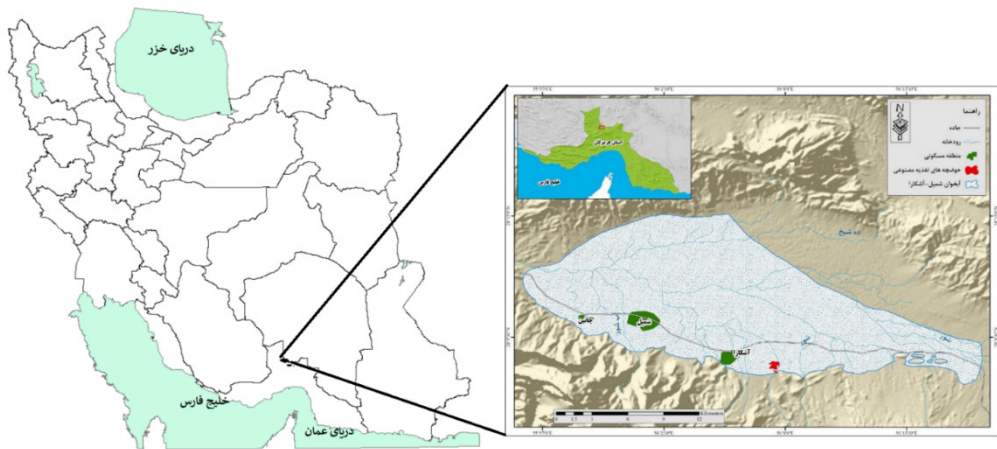
الف- آزمون تحلیل روند من - کندال

این آزمون ابتدا توسط من [۹] ارائه و سپس توسط کندال [۷] توسعه یافت و کاربرد آن توسط سازمان جهانی هواشناسی توصیه شده است. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. مراحل آماره این آزمون به شرح زیر است:

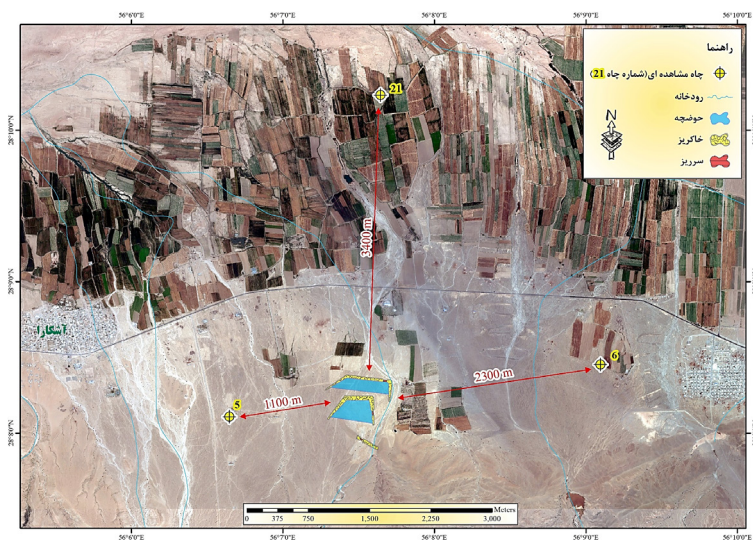
- محاسبه اختلاف بین تک‌تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S به‌صورت رابطه زیر است:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i), \quad (5)$$

که در آن n تعداد مشاهدات سری و x_i و x_j به ترتیب داده‌های j



(الف)



(ب)

شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران (الف)؛ موقعیت بند انحرافی و حوضچه‌های طرح تغذیه مصنوعی (ب)

که در آن n تعداد داده مشاهده‌ای و m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد. استخراج آماره Z به کمک رابطه زیر است:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\text{var}(s)} & s > 0 \\ 0 & s = 0 \\ \frac{s+1}{\text{var}(s)} & s < 0. \end{cases} \quad (A)$$

در یک آزمون دو دامنه جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

ام و امم ام سری می‌باشند. تابع علامت نیز به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & (x_j - x_i) < 0. \end{cases} \quad (6)$$

محاسبه واریانس توسط روابط زیر می‌باشد:

$$\text{var}(\) = \begin{cases} \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum t_i i(i-1)(2t_i+5)}{18} & 10 \\ \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} & \leq 10 \end{cases} \quad (7)$$

$$|Z| < Z_{\frac{\alpha}{2}} \quad (9)$$

که در آن α سطح معنی داری است که برای آزمون در نظر گرفته می شود و Z_{α} آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی داری α می باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از $\frac{\alpha}{2}$ استفاده شده است. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند سری داده ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می شود.

ب- آزمون تحلیل روند من - کندال پیش سفید شده بدون روند
روش من - کندال پیش سفید شده جهت شناسایی روند در یک سری زمانی دارای خودهمبستگی توسط یو و همکاران [۲۱] به صورت زیر ارائه گردید. ابتدا شیب روند (δ) در داده های نمونه با استفاده از روش TSA به صورت زیر برآورد می شود:

$$\delta = \text{Median} \left[\frac{(x_j - x_i)}{(j - i)} \right], \quad \forall i < j. \quad (10)$$

اگر شیب روند تقریباً برابر صفر بود، آنگاه دیگر نیازی به ادامه انجام بررسی روند نیست، اما اگر مقدار آن برابر با صفر نبود، آنگاه روند به صورت خطی فرض شده و داده های نمونه به صورت $X'_i = X_i - \delta i$ نوشته و بدون روند می شوند.

ضریب خودهمبستگی مرتبه اول سری بدون روند X'_i با استفاده از رابطه زیر برآورد می گردد:

$$r_1 = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (X'_i - E(X'_i))(X'_{i+1} - E(X'_{i+1}))}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X'_i - E(X'_i))^2}, \quad E(X'_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X'_i$$

که در آن r_1 ضریب خودهمبستگی مرتبه ۱ داده های نمونه سری بدون روند X'_i و $E(X'_i)$ میانگین داده های نمونه می باشد.

پس از محاسبه ضریب خودهمبستگی با مرتبه اول AR(1) با استفاده از رابطه $Y'_i = X'_i - r_1 X'_{i-1}$ حذف می گردد. این روش پیش سفید کردن پس از حذف روند از سری ها روش پیش سفید بدون روند نامیده می شود (TFPW). سری باقیمانده ها پس از انجام روش پیش سفید بدون روند (TFPW) یک سری مستقل می باشد.

ج- آزمون تحلیل روند پتیت

یکی از مهم ترین روش های آماری در تشخیص یک نوبت ناگهانی در سری زمانی آزمون پتیت می باشد [۱۵]. این آزمون به طور گسترده در تعیین زمان تغییر در سری های زمانی اقلیمی و هیدرولوژیکی در سراسر جهان مورد استفاده شده قرار گرفته است [۵ و ۷ و ۸]. دنباله های از متغیرهای تصادفی هیدروکلیما تولیکی X_i را در نظر بگیرید که $i = 1, \dots, \tau$ باشد. زمانی آزمون پتیت تغییر در نقطه τ را معنی دار می داند که برای X_i برای $i = 1, \dots, \tau$ دارای تابع توزیع

$F_1(x)$ و X_i برای $t = \tau + 1, \tau + 2, \tau + 3, \dots, T$ دارای تابع توزیع $F_2(x)$ بوده و $F_1(x) \neq F_2(x)$ باشد. این آزمون دو فرض $H_0: \tau = T$ برای عدم وجود تغییر و $H_0: \tau \neq T$ برای وجود $(X_1, \dots, X_T)$ را برای آزمون دو نمونه $X_{t+1}, \dots, X_T$ از یک جامعه در نظر می گیرد،

$$K_T = \text{Max} |U_{t,T}|, \quad 1 \leq t \leq T \quad (12)$$

که در آن

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \text{sgn}(X_i - X_j). \quad (13)$$

احتمال اهمیت تقریبی K_T با P_{OA} تعیین می گردد و به صورت زیر محاسبه می شود:

$$P_{OA} = 2 \exp \left\{ \frac{-6(K^+)^2}{(T^3 + T^2)} \right\}; \quad T \rightarrow \infty \quad (14)$$

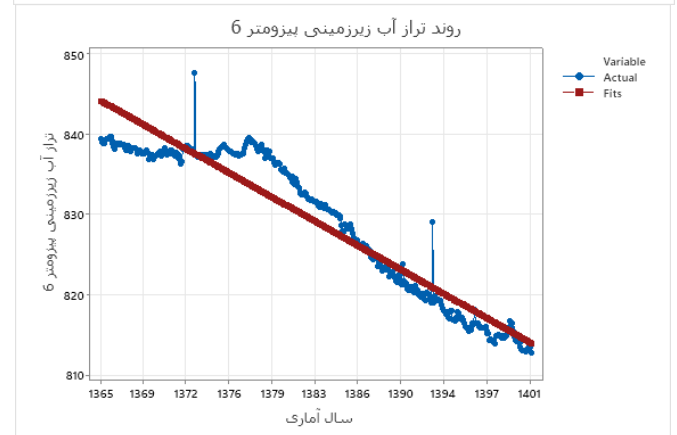
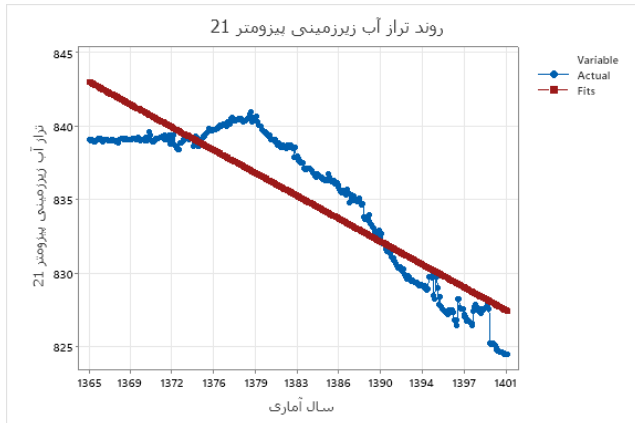
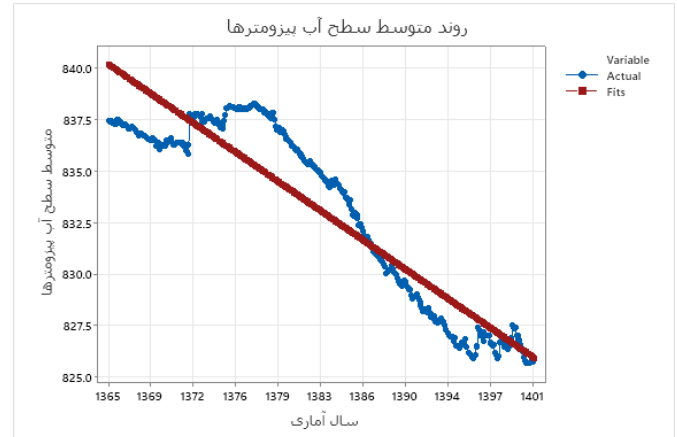
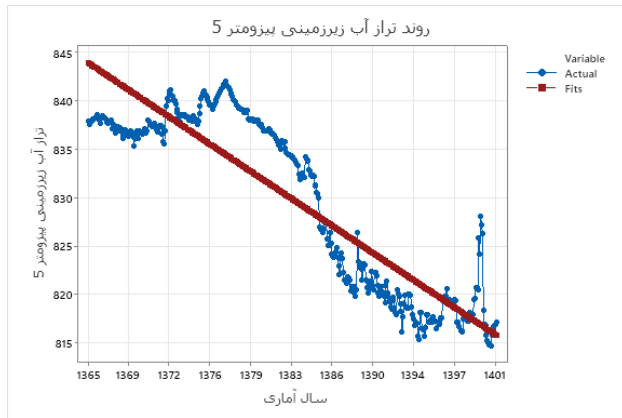
به طوری که P_{OA} احتمالی از تشخیص نقطه تغییر است. اگر ارزش عددی P_{OA} کم تر از ۰/۰۵ باشد مشخص کننده تغییر قابل توجه در سری زمانی با توجه به سطح معنی داری ۵ درصد است.

نتایج و بحث

تحلیل روند سطح آب اندازه گیری شده توسط چاه های مشاهده ای مورد بررسی

شکل ۲ تغییرات سطح آب زیرزمینی در چاه های مشاهده ای ۵، ۶ و ۲۱ و متوسط در دشت شمیل - آشکارا طی دوره ای آماری ۱۳۶۵ تا ۱۴۰۱ را نشان می دهد. از شکل ۲ ملاحظه می شود که متوسط سطح آب اندازه گیری شده توسط چاه های مشاهده ای دارای روند نزولی می باشد. همچنین ملاحظه می شود که تراز آب زیرزمینی در هر سه چاه مشاهده ای دارای روند نزولی است.

نتایج حاصل از آزمون های تحلیل روند در جدول ۱ ارائه شده است. آزمون من - کندال وجود یک روند یکنوازی نزولی معنی دار در متوسط سطح آب اندازه گیری شده در کل آبخوان و تراز آب زیرزمینی پیرومتر ۶ و ۲۱ را تأیید می کند. روند چاه مشاهده ای ۵ نیز منفی است اما از نظر آماری معنی دار نیست. در صورتی که داده ها دارای خودهمبستگی باشند، به جای استفاده از آزمون من - کندال می توان در حضور خودهمبستگی از آزمون من کندال پیش سفید شده با استفاده از روش فون استورچ استفاده کرد. آزمون من - کندال پیش سفید شده نیز نشان می دهد که در متوسط سطح آب اندازه گیری شده کل آبخوان و تراز آب زیرزمینی پیرومتر ۵، ۶ و ۲۱ روند نزولی معنی داری وجود دارد. آزمون پتیت نقطه تغییر را برای متوسط سطح آب اندازه گیری شده آبخوان و تراز آب زیرزمینی



شکل ۲: تغییرات سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای ۵، ۶ و ۲۱ و متوسط در دشت شمیل آشکارا

جدول ۱: آزمون تحلیل روند تراز آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای مورد بررسی در دشت شمیل - آشکارا

سال تغییر	K	P-value	Sen's Slope	Z	P-value	n	Z	متغیر
دی‌ماه ۱۳۷۹	۱۶۶	۰/۰۰۰۱	۰	-۰/۰۰۶	۶-/۱۰۲	۴۳۳	۲-/۷۸	کل آبخوان
اردیبهشت ۱۳۷۶	۱۴۷	۰/۰۵۹	۰	-۰/۰۰۰۷	۴-/۴	۴۳۳	۱-/۴	پیزومتر ۵
مرداد ۱۳۷۶	۱۵۰	۰/۰۰۲	۰	-۰/۰۰۱	۸-/۹	۴۳۳	۲-/۲	چاه مشاهده‌ای ۶
مرداد ۱۳۷۸	۱۷۴	۰/۰۰۰	۰	۰/۰۰۰۴	۸-/۸	۴۳۳	۴-/۲	چاه مشاهده‌ای ۲۱

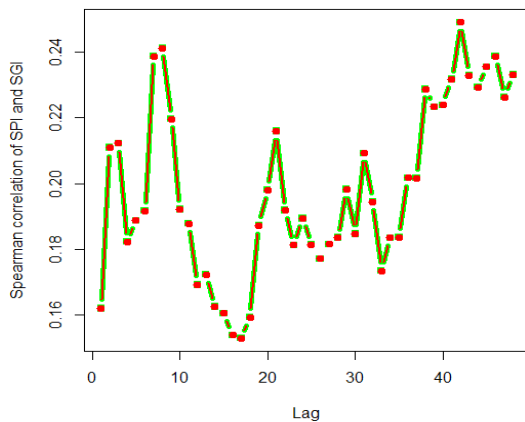
بین دو متغیر مورد بررسی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج (شکل ۳) گام تأخیر ۴۲ ماهه (۳/۵ ساله) بالاترین همبستگی را با تغییرات تراز سفره دارد. به این معنی که بارش ۳/۵ سال گذشته با بیش‌ترین احتمال، بر تغییرات (افزایش و کاهش) تراز سفره مؤثر خواهد بود. در گام‌های زمانی ۱۰ ماهه و کمتر و بین ۲۰ تا ۳۰ ماهه، با توجه به اینکه تغییرات بسیار ناگهانی و مدام در حال افزایش و کاهش است، لذا همبستگی‌ها بیش‌تر تصادفی است و نمی‌توان با اطمینان در خصوص آن تفسیری داشت. دارای با توجه به اثر تغییرات بارش بر تغییرات سفره، روند داده‌های

پیزومتر ۵، ۶ و ۲۱ به ترتیب، دی‌ماه ۱۳۷۹، اردیبهشت ۱۳۷۶، مرداد ۱۳۷۶ و مرداد ۱۳۷۸ نشان می‌دهد.

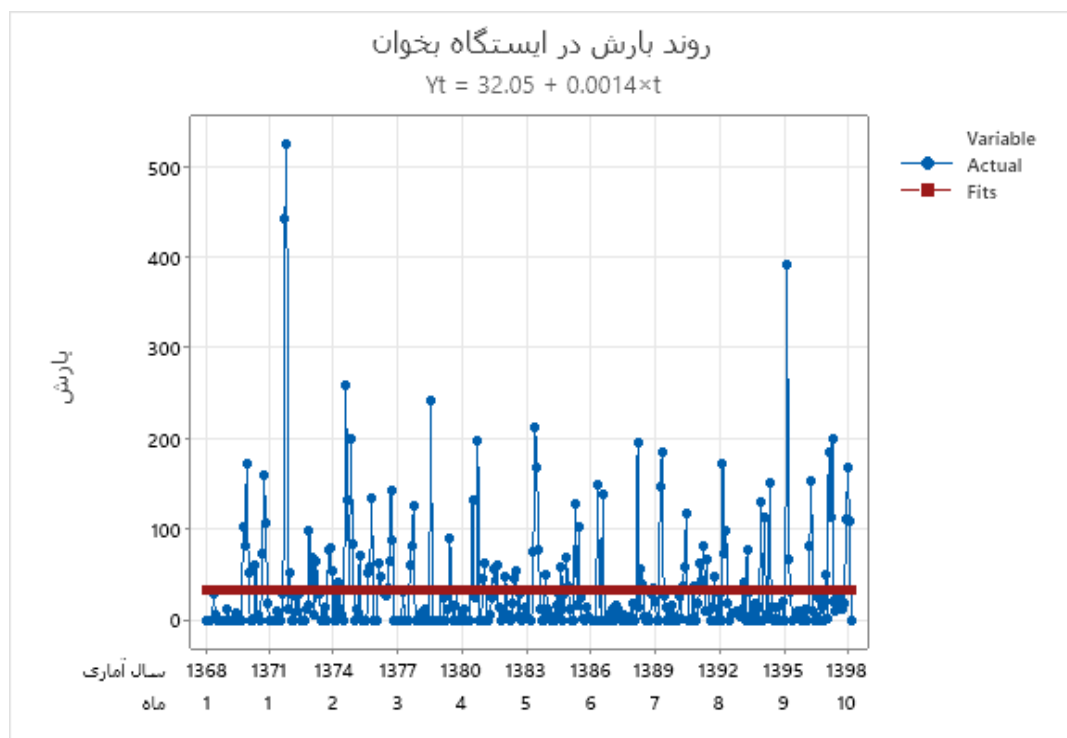
روند بارش در دشت شمیل - آشکارا و ارتباط با نوسانات تراز سفره

جهت بررسی اثر بارش بر تغییرات کمیت آب زیرزمینی و دلیل روند آن‌ها، روند بارش در ایستگاه بالادست دشت مورد بررسی قرار گرفت. در بین شش ایستگاه اطراف دشت، ایستگاه بخوان دارای بالاترین همبستگی با تغییرات تراز سفره است. شکل ۳ همبستگی

بارش در ایستگاه بخوان نیز مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه نمودار سری زمانی و آزمون‌های تحلیل روند متغیر بارش ایستگاه بخوان بررسی گردید. شکل ۴ نشان می‌دهد که روند یکنوایی در داده‌های بارش ایستگاه بخوان وجود ندارد و از طرفی داده‌های بارش مانا می‌باشند. در ادامه صحت عدم وجود روند در بارش ایستگاه بخوان به کمک آزمون‌های تحلیل روند من کندال و پتیت بررسی گردید. جدول ۵ بیان می‌دارد که بنا به آزمون من کندال بارش در ایستگاه بخوان دارای روند یکنوای معنی‌داری نیست. هم‌چنین نقطه تغییری که توسط آزمون پتیت تشخیص داده‌شده، آبان ۱۳۷۱ می‌باشد که از نظر آماری معنی‌دار نیست. با توجه به اینکه در ایستگاه بخوان بارش دارای روند معنی‌دار نیست، می‌توان نتیجه گرفت که روند نزولی آب‌های زیرزمینی از سال ۱۳۷۶ به بعد به علت استخراج بیش‌ازحد سفره بوده و روند کاهشی سفره به تغییرات بارش ارتباطی ندارد. مطالعه‌ی مهنی و بذرافشان [۱۰] و بهرامی و همکاران [۱] در دشت میناب استان هرمزگان نیز تأیید کننده این مطلب است که بین تغییرات باران با نوسانات سفره حداقل ۴۰ ماه تأخیر وجود دارد.



شکل ۳: همبستگی تغییرات تراز سفره با بارش در ایستگاه بخوان



شکل ۴: تغییرات بارش در ایستگاه بخوان

جدول ۵: آزمون‌های تحلیل روند بارش در ایستگاه بخوان

MK-Test	Z	n	P-value	Sen's Slope	TPFW-Test	Z	P-Value	Petit Test	P-value	K	سال تغییر
	-۰/۱۹۴	۳۷۱	۰/۸۴۵۷	۰/۰۰۰۳		۰/۰۹۹۱	۰/۹۲		۰/۳۹	۴۴	آبان ۱۳۷۱

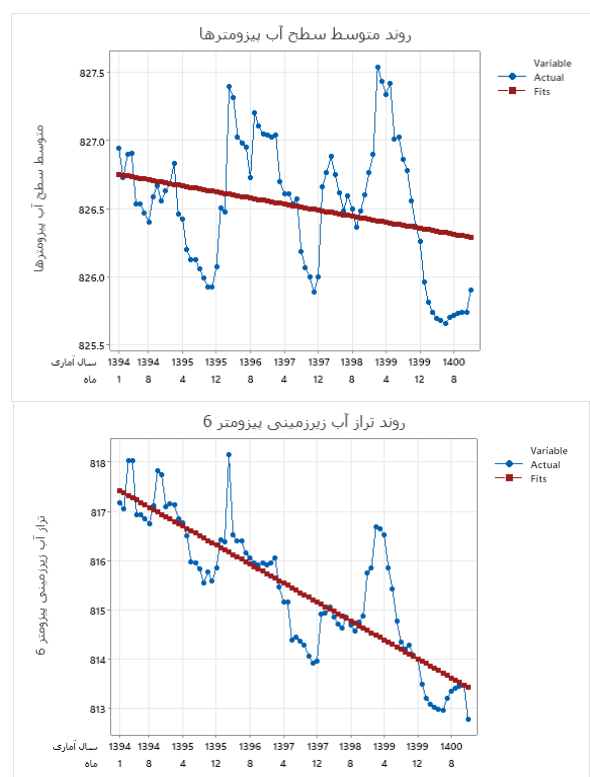
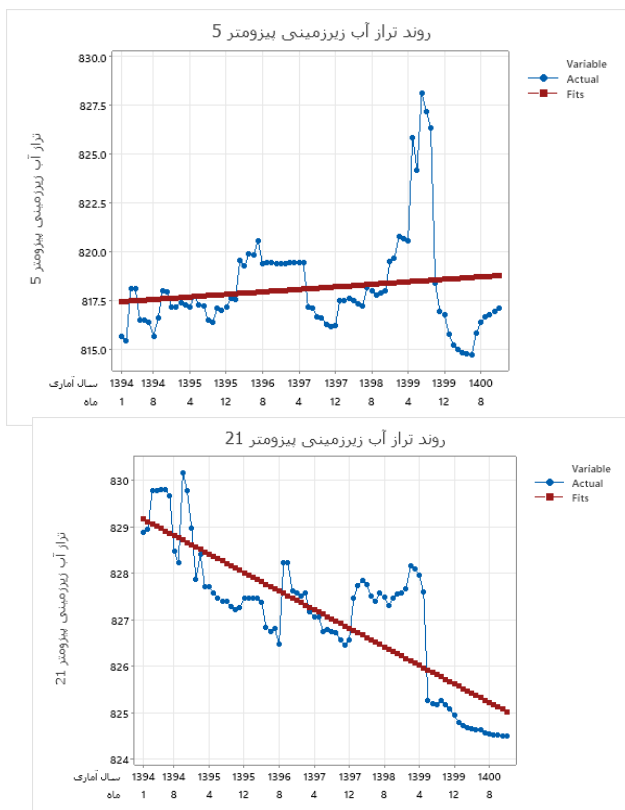
تحلیل روند کمیت و کیفیت آب زیرزمینی بعد از تغذیه مصنوعی

در این بخش ابتدا در هر چاه مشاهده‌ای به بررسی و مطالعه روند سری زمانی داده‌های تراز آب زیرزمینی بعد از تغذیه مصنوعی که در اسفندماه سال ۱۳۹۷ انجام شده است، می‌پردازیم. داده‌های مربوط به سطح آب اندازه‌گیری شده توسط چاه‌های مشاهده‌ای شماره ۵، ۶ و ۲۱ در دشت شمیل-آشکارا از فروردین‌ماه ۱۳۹۴ تا اسفندماه ۱۴۰۰ به‌منظور بررسی اثر تغذیه مصنوعی در نظر گرفته شده است. شکل ۵ تغییرات سطح آب زیرزمینی برای کل آبخوان و چاه‌های مشاهده‌ای ۵، ۶ و ۲۱ را در دشت شمیل - آشکارا قبل و بعد از تغذیه مصنوعی (۱۳۹۴ تا ۱۴۰۱) نشان می‌دهد. تراز آب زیرزمینی در چاه مشاهده‌ای ۵ در بازه‌ی زمانی فوق تقریباً دارای روند صعودی است و دارای یک جهش در شهریور (مهر) ۱۳۹۹ می‌باشد؛ اما در چاه مشاهده‌ای ۶ در بازه‌ی زمانی فوق دارای روند نزولی است ولی دارای یک جهش مشخص در اردیبهشت ۱۳۹۹ و در چاه مشاهده‌ای ۲۱ دارای روند نزولی ولی دارای یک جهش در اردیبهشت ۱۳۹۹ می‌باشد. نتایج تحلیل روند با سه آزمون من - کندال، من - کندال پیش سفید شده و پتیت در جدول ۶ ارائه شده است.

بنا به آزمون من - کندال روند یکنوایی در تراز آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای ۵، ۶ و ۲۱ بعد از تغذیه مصنوعی وجود ندارد. بر اساس نتایج آزمون من - کندال پیش سفید شده، روند یکنوایی در تراز آب زیرزمینی چاه مشاهده‌ای شماره ۵ بعد از تغذیه

مصنوعی وجود ندارد، اما روند یکنوایی نزولی معنی‌داری در چاه‌های مشاهده‌ای ۶ و ۲۱ بعد از تغذیه مصنوعی وجود دارد. آزمون پتیت نقطه تغییر در تراز آب زیرزمینی را برای چاه‌های مشاهده‌ای ۵، ۶ و ۲۱ به ترتیب آبان ۱۳۹۹، اردیبهشت ۱۳۹۹ و اردیبهشت ۱۳۹۹ تشخیص داده است. به این معنی که تغذیه مصنوعی سبب افزایش روند تراز سفره در چاه مشاهده‌ای ۵ در آبان ماه ۱۳۹۹ (۱/۵ سال پس از طرح، پس از ۲ بار آبیگری) شده است اما به دلیل کم بودن آمار موجود بعد از عملیات تغذیه مصنوعی، به لحاظ آماری روند بی‌معنی است؛ اما در چاه‌های مشاهده‌ای ۶ و ۲۱ به دلیل دوری از طرح اگرچه بعد از تغذیه مصنوعی در اردیبهشت ۱۳۹۹ جهشی در تراز آبخوان ایجاد کرده، اما هم‌چنان روند نزولی آبخوان ترمیم نشده است. نتایج بسیاری از محققین مانند مسلمی و همکاران [۱۲] در دشت توکهور هشت‌بندی و مصطفایی و همکاران [۱۳] در دشت بوجیر در هرمزگان نیز عدم تأثیر پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی را بر تراز آب زیرزمینی گزارش دادند. شاید یکی از مهم‌ترین دلایل عدم تأثیر طرح‌های احیا عدم توجه به ظرفیت آبخوان و استخراج بی‌رویه آن است. توسعه‌ی کشاورزی بخصوص در کشت خارج از فصل سبب تشدید این پدیده در جنوب ایران شده است [۳].

مطالعات این‌چنینی مانند بالک و ژائو [۲] و وندنبوه و همکاران [۲۰] نشان داد، طول دوره‌ی آماری بلندمدت می‌تواند اثرات تغذیه مصنوعی را به‌خوبی نشان دهد.



شکل ۵: تغییرات سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای ۵، ۶ و ۲۱ و متوسط بعد از تغذیه مصنوعی در دشت شمیل - آشکارا

جدول ۲: آزمون تحلیل روند تراز آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای بعد از طرح تغذیه مصنوعی

سال تغییر	K	P-value	U	Petit-Test	P-value	Sen's Slop	Z	TPPW-Test	n	P-value	Z	MK-Test	چاه مشاهده‌ای
آبان ۱۳۹۹	۶۹	۰/۰۰	۷۹۰		۰,۹۳	-۰/۰۰۰۳	-۰/۰۸۱		۸۲	۰/۶۹	-۰/۳۸		۵
اردیبهشت ۱۳۹۹	۶۱	۰/۷۹۹۷	۲۹۲		۰,۰۰۱	۰/۰۰۴	-۳/۲۷		۸۲	۰/۹۴	-۰/۶۰		۶
اردیبهشت ۱۳۹۹	۶۴	۰/۰۰۰۰۰۰۴	۱۲۱۶		۰,۰۰۲	۰/۰۰۳	-۳/۰۵		۸۲	۰/۴۴	۰/۷۶		۲۱

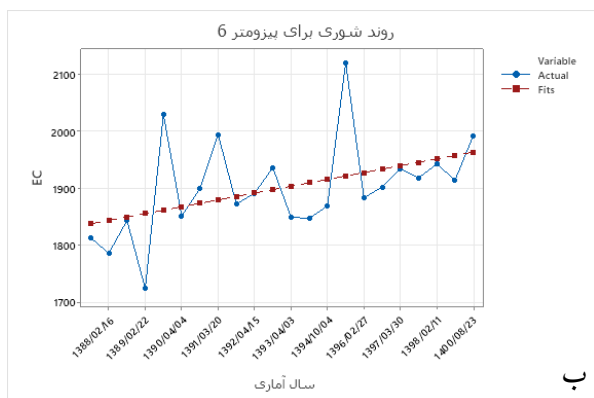
تحلیل اطلاعات کیفی، متغیر کیفی EC

متغیر EC در چاه‌های اطراف طرح تغذیه مصنوعی و متوسط سطح دشت به منظور بررسی کیفیت آب اندازه‌گیری شده است. در ادامه نمودارهای سری زمانی و آزمون‌های تحلیل روند متغیر EC در برخی چاه‌های مورد بررسی اطراف چاه‌های مشاهده‌ای ارائه می‌گردد. از شکل ۶ ملاحظه می‌شود که متغیر EC تقریباً دارای روند صعودی در اکثر چاه‌های بهره‌برداری به جز چاه اطراف چاه مشاهده‌ای ۵ می‌باشد. هم‌چنین در چاه‌های اطراف چاه مشاهده‌ای ۵، ۶ و ۲۱ به ترتیب دارای یک جهش در آبان ۱۳۸۸، آبان ۱۳۹۵ و دی‌ماه ۱۳۹۴ می‌باشند. در ادامه با استفاده از سه آزمون من - کندال، من - کندال پیش سفید شده و پتیت به مطالعه روند و نقطه تغییر متغیر کیفی EC در چاه‌های مورد بررسی پرداخته شده است. بر اساس جدول ۳، نتایج آزمون من کندال نشان می‌دهد که روند یکنوازی معنی‌داری در متغیر EC برای چاه مشاهده‌ای ۵ وجود ندارد، اما متغیر کیفی EC در چاه

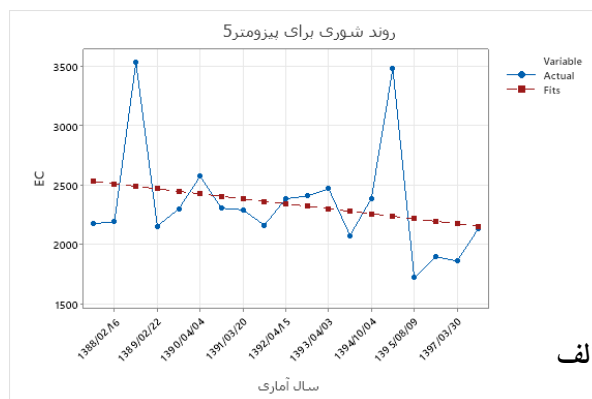
مشاهده‌ای ۶ و ۲۱ دارای یک روند صعودی معنی‌دار است. هم‌چنین آزمون پتیت نقطه تغییر روند متغیر EC را برای چاه مشاهده‌ای ۵، ۶، ۲۱ و میانگین به ترتیب آبان ۱۳۹۸، اسفند ۱۳۹۷، خرداد ۱۳۹۱ و دی‌ماه ۱۳۸۵ تشخیص داده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، در میزان شوری کل آبخوان بعد از طرح تغذیه مصنوعی کاهش قابل‌ملاحظه‌ای دیده می‌شود به‌طوری‌که بعد از پروژه میزان EC از ۴۵۰۰ دسی زیمنس به ۴۰۰۰ می‌رسد، اما بعد از گذشت از طرح مجدد روند افزایشی را طی می‌کند.

بیان آبی دشت شمل آشکار و اثر تغذیه مصنوعی بر تراز سفره

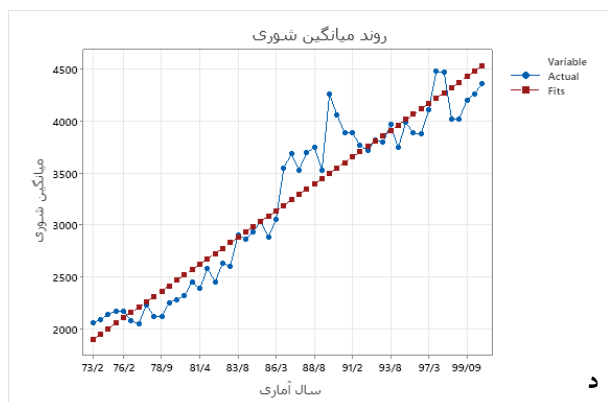
هیدروگراف واحد تراز سطح آب در آبخوان شمل - آشکارا نشان می‌دهد که در دوره آماری ۱۳۶۴ تا ۱۴۰۰ سطح آب زیرزمینی به میزان ۱۱/۶۹ متر افت داشته است. بر این اساس سالانه به‌طور



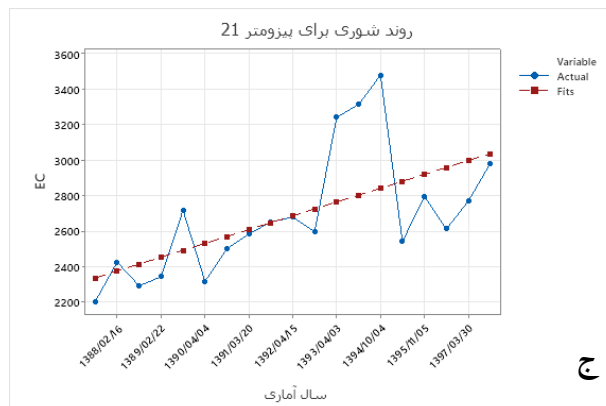
ب



الف



د



ج

شکل ۶: تغییرات متغیر EC در چاه مشاهده‌ای ۵ (الف)، چاه مشاهده‌ای ۶ (ب)، (ج) چاه مشاهده‌ای ۲۱ (ج) و کل آبخوان (د)

جدول ۳: آزمون‌های تحلیل روند متغیر EC در چاه‌های مختلف

موقعیت و چاه	MK-Test	Z	n	Sen's Slop	P-value	Pettit-Test	P-value	K	سال تغییر
چاه مشاهده‌ای ۵		-۱/۰۴	۱۹	-۴/۲۵	۰/۲۹		۰/۱۴	۱۶	۱۳۹۸
چاه مشاهده‌ای ۶		۲/۶۵	۲۲	۶/۴۰۹	۰/۰۰۸		۰/۴۳	۳	اسفند ۱۳۹۷
چاه مشاهده‌ای ۲۱		۳/۳۵	۱۹	۲۰/۴۰۳	۰/۰۰۰۷		۰/۰۱۶	۸	خرداد ۱۳۹۱
کل آبخوان		۷/۷۲۳۸	۵۱	۵/۰۰۰۶	۰/۰۰۰		۰/۰۰۰	۲۴	دی‌ماه ۱۳۸۵

جدول ۴: برآورد حجم آب ذخیره‌شده در آبخوان ناشی از تأثیر حوضچه‌ها [۳]

شماره حوضچه	مساحت - مترمربع	ارتفاع آب - متر	هدایت هیدرولیکی - متر بر روز	حجم آب نفوذیافته طی یک روز	تلفات تبخیر - مترمکعب	حجم آب ذخیره‌شده در آبخوان - مترمکعب
یک	۷۴۱۰۸	۲	۰/۰۸۶۴	۶۶۱۶	۲۳۸۷۳	۲۷۷۸۸۷
دو	۷۳۷۳۶	۲	۰/۰۸۶۴	۶۵۳۸	۲۳۷۵۴	۲۷۶۴۹۲
کل						۶۰۲۰۰۷

سله بسته‌شده شخم زده شود و با توجه به اینکه خاک حاصلخیزی است، در جهت اهداف کشاورزی و باغداری مورد استفاده قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود ارزیابی طرح پس از گذشت ده سال از طرح به شرط نگهداری و پایش مکرر آن صورت پذیرد تا تغییرات مفید آن بر تراز و کیفیت آب‌های زیرزمینی اثبات گردد.

منابع

1. ahrami, S., Bazrafshan, O., and Esmaelpour, Y. 2022. Efficiency of Drought Meteorological Indices in Hydrological and Hydrogeological Drought Warning (Case Study: The Watershed of Esteghlal Dam -Minab). Extension and Development of Watershed Management, 10(36): 27-36. (In Persian)
2. Balke, K.D., and Yan, Zhu. 2008. Natural water purification and water management by artificial groundwater recharge. Journal of Zhejiang University SCIENCE B, 9(3): 221-226.
3. Bazrafshan, O., Parandin, F., and Farokhzadeh, B. 2016. Assessment of hydro-meteorological drought effects on groundwater resources in Hormozgan region-South of Iran. Ecopersia, 4(4): 1569-1584.
4. Du, S. H. 2012. Groundwater quality variation affected by artificial recharge in Hutuo River bed. In Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publications Ltd, 170: 2158-2161.
5. HRRW. 2019. The effects of the artificial recharge plan on changes in the ground water level of the Shamil-Ashkara aquifer. Iran Water Resources Management

متوسط تراز سطح آب به میزان ۰/۴۱ متر افت نموده است. با توجه به ضریب ذخیره آبخوان (۰/۰۹) و مساحت آبخوان (۳۲۱/۹۳ هکتار)؛ متوسط کسری سالانه مخزن حدود ۱۱/۸۷ میلیون مترمکعب تعیین شده است. با توجه به اینکه به ازای بارش‌های ثبت شده و دو بار حجم آبیگری حوضچه‌های تغذیه مصنوعی و تغییرات تراز آب در سه چاه مشاهده‌ای مورد بررسی، به میزان ۰/۶ میلیون مترمکعب آب توسط حوضچه‌ها به سفره نفوذ کرده است و ۹/۶ درصد کسری مخزن را جبران کرده است.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر باهدف ارزیابی طرح تغذیه مصنوعی دست شمیل - آشکارا بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی صورت گرفته است. دشت شمیل یکی از دشت‌های حاصلخیز است که تراز آب زیرزمینی از سال ۱۳۷۹ تاکنون روند کاهشی بسیار شدیدی داشته، به‌طوری‌که سالانه ۰/۴۱ متر افت را تجربه می‌کند. بر این اساس، طرح تغذیه مصنوعی باهدف بازسازی تراز دشت توسط آب منطقه‌ای هرمزگان در سال ۱۳۹۷ کلید خورد و با اولین بارش اسفند ۱۳۹۷ آبیگری شد. تحقیق حاضر نشان داد، با طرح تغذیه مصنوعی تراز سفره‌های نزدیک طرح تغییر قابل‌توجهی نشان داده‌اند و در تراز کل آبخوان نیز تغییری دیده می‌شود، اما به دلیل کوتاه بودن دوره آماری اثر آن معنی‌دار نبوده است. نکته‌ی قابل‌توجه بعدی در این مطالعه افزایش روند شوری و روند کاهشی تراز سفره در دشت پس از گذشت دو سال از اجرای طرح است. نتایج بررسی میدانی در منطقه‌ی اجرای طرح نشان می‌دهد، پس از گذشت ۴ سال از تغذیه مصنوعی؛ کف حوضچه‌های تغذیه، رسوبات بسیار زیادی ته‌نشین شده و عملاً نفوذپذیری و کارایی طرح را به کم‌تر از ۲۰ درصد رسانده است. لذا این ضرورت ایجاد می‌کند که بعد از اجرای چنین طرح‌هایی، بازدیدهای مکرر صورت پذیرد تا پس از هر بار رسوب‌گیری، خاک

15. Pettitt, Anthony N. 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 28(2): 126-135.
16. Ramak, Z., and Zeidalinejad, N. 2021. A Review on the Artificial Recharge of the Aquifers as a Process against Groundwater Stresses. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 9 (2): 35-56.
17. Samadder, R. K., Kumar, S., and Gupta, R. P. 2011. Paleochannels and their potential for artificial groundwater recharge in the western Ganga plains. *Journal of Hydrology*, 400(1-2): 154-164.
18. Shafa, N. S., Babazadeh, H., Aghayari, F., and Saremi, A. 2023. Optimal utilization of groundwater resources and artificial recharge system of Shahriar Plain aquifer, Iran. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*:103358.
19. Du, S. H. 2012. Groundwater quality variation affected by artificial recharge in Hutuo River bed. In *Applied Mechanics and Materials*. Trans Tech Publications Ltd, 170:2158-2161.
20. Vandenbohede, A., Houtte, E., and Lebbe, L. 2008. Groundwater flow in the vicinity of two artificial recharge ponds in the Belgian coastal dunes. *Hydrogeology journal*, 8(16): 1669-1681.
21. Yue, S., and Wang, C. 2004. The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *Water resources management*, 18(3): 201-218.
22. Yun-zheng, P., and Jian-long, W. 2006. A field study of advanced municipal wastewater treatment technology for artificial groundwater recharge. *Journal of Environmental Sciences*, 18(6): 1056-1060.
23. Zhang W., Gao L., Jiao X., Yu J., Su X. and Du, S. 2014. Occurrence assessment of earth fissure based on genetic algorithms and artificial neural networks in Su -Xi -Chang land subsidence area. China. *Geosciences Journal*, 18(4):485-493.
6. Karlsen, R. H., Smits, F. J. C., Stuyfzand, P. J., Olsthoorn, T. N., and Van Breukelen, B. M. 2012. A post audit and inverse modeling in reactive transport: 50 years of artificial recharge in the Amsterdam Water Supply Dunes. *Journal of Hydrology*, 6(12):454: 7-25.
7. Kendall M. G. 1975. *Rank Correlation Methods*. 4th ed. Charless. Griffin: London.
8. Love, D., Uhlenbrook, S., Twomlow, S., & Van der Zaag, P. 2010. Changing hydroclimatic and discharge patterns in the northern Limpopo Basin, Zimbabwe. *Water*, 36(3): 335-350.
9. Mann, B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 13(3): 245-259.
10. Mehni, M., and Bazrafshan, O. 2017. Spatiotemporal of Quality and Quantity of Groundwater Resources in the Minab Plain over the 3past Decades. *Extension and Development of Watershed Management*, 5(18): 51-59. (In Persian)
11. Moraes, J. M., Pellegrino, G. Q., Ballester, M. V., Martinelli, L. A., Victoria, R. L., and Krusche, A. V. 1998. Trends in hydrological parameters of a southern Brazilian watershed and its relation to human induced changes. *Water Resources Management*, 12 (3): 295-311.
12. Moslemi, H., Choopani, S., and Abkar, A. 2018. Impact of Floodwater Spreading on Salinity Groundwater (Case Study: Dhenedar Floodwater Spreading - Hormozgan Province). *Journal of Watershed Science Engineering*, 12 (41):13-22. (In Persian)
13. Mostafaei, A., Moradnia, V., and Godarzi, M. 2017. Evaluation of the role of Sarcahan-Floodwater spreading in the artificial groundwater recharge. *Iranian journal of Ecohydrology*, 4(3):749-761. (In Persian)
14. Mu, X., Zhang, L., McVicar, T. R., Chille, B., and Gau, P. 2007. Analysis of the impact of conservation measures on stream flow regime in catchments of the Loess Plateau, China. *Hydrological Processes: An International Journal*, 21(16): 2124-2134.



Abstract

The Effect of Artificial Recharge on the Quality and Quantity of Ground Water Resources of Shamil-Ashkara Plain (Hormozgan Province)

Z. Pakdaman^{1*} and O. Bazrafshan²

Received: 2022/12/26 Accepted: 2023/02/10

One of the methods for optimal use of water resources in critical conditions of groundwater and surface water resources is the implementation of artificial recharge projects. These systems aim to store excess surface water in groundwater reservoirs in order to improve the quantity and quality of water in different soil layers. The purpose of this research is to investigate the impact of artificial recharge on the quality and quantity of groundwater resources in the Shamil-Ashkara plain. For this purpose, water table fluctuations and electrical conductivity (EC) changes of the wells affected by the artificial recharge project have been investigated spatially and temporally using trend analysis tests. The results showed that the studied observed wells in the plain have a decreasing trend in their ground water level, so that on average, during the studied period, the water level declined by 0.41 m/year, and in general, the water level decreased by 11.7 m. However, the effect of artificial recharge on the changes of the surrounding wells can be seen and at one point in time, it caused an increase and compensation of 9.6% of the tank drop, and also the EC level has reached from 4500 ds/m to 4000. But after two years, artificial recharge ponds have lost their effectiveness. This issue requires frequent monitoring and maintenance of the effectiveness of artificial recharge plans.

Keywords: Trend test analysis, Ground water level, Water quality, Jumping point

1. Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran; *Corresponding Author: zpakdaman@hormozgan.ac.ir

2. Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.