تاثیر برداشت از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق بر روی افت سطح ایستابی و پارامترهای کیفی آب‌زیرزمینی در دشت‌گرگان

مریم پاکدل[۱]، مجتبی قره محمودلو[۲و*]، نادر جندقی[۲]، ابوالحسن فتح‌آبادی[۲] و یعقوب نیک قوجق[۳]

۱. کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس
۲. استادیار گروه مهندسی آب و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس
۳. کارشناس شرکت آب منطقه‌ای گلستان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۵

چکیده

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تاثیر افزایش بی‌رویه حفر چاه‌های آب و در پی آن برداشت بیش از توان تجدیدشوندگی آبخوان دشت گرگان بر روی افت سطح آب زیرزمینی و برخی پارامترهای کیفی آب در یک دوره مشخص ۳۰ ساله انجام شد. بدین منظور روند تغییرات بارندگی، حفر چاه‌ها، نوسانات سطح آب، و همچنین برخی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در دوره مورد مطالعه بررسی شد. برای بررسی وجود اختلاف آماری بین پارامترهای کمی و کیفی از آزمون تجزیه واریانس داده‌ها استفاده شد. تغییرات سالانه حفر چاه‌های مجاز و غیرمجاز استان نشان از یک روند افزایشی در تعداد چاه‌های حفر شده در دشت گرگان و در پی آن افزایش حجم آب برداشت‌شده از اوایل دهه ۶۰ دارد. نتایج بررسی‌های آماری، نمودار میله‌ای تغییرات سالانه سطح آب‌زیرزمینی چاه‌های عمیق و نیمه عمیق و همچنین هیدروگراف‌های معرف آبخوان‌های عمیق و نیمه عمیق مورد مطالعه نشان از افت سطح آب زیرزمینی در هر دو آبخوان نیمه عمیق و عمیق در بازه زمانی مورد مطالعه دارد. با توجه به ثابت بودن میزان متوسط بارندگی سالانه در دوره آماری مورد مطالعه، حفر چاه‌های کم‌عمق و عمیق و در پی آن برداشت بی‌رویه از آبخوان‌های عمیق و نیمه عمیق محتمل‌ترین عامل اصلی در افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت مورد مطالعه می‌باشد. براساس نتایج آماری بین اکثر پارامترهای فیزیکوشیمیایی چاه‌های نیمه‌عمیق و عمیق در دو دوره قدیم و جدید اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. اگرچه این تغییرات در چاه‌های نیمه عمیق بیشتر از چاه‌های عمیق می‌باشد. همچنین دو پارامتر Cl و Na که از عوامل اصلی شوری آب می‌باشند بیشترین تغییرات را دارند. نمودارهای هیدروژئوشیمیایی مربوط به آبخوان‌های دشت نشان از افزایش مواد جامد محلول و همچنین تغییر تیپ و رخساره‌های هیدروشیمیایی آب زیرزمینی در دوره جدید دارد. اگرچه روند تغییرات در آبخوان کم‌عمق شدیدتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب‌زیرزمینی، بارندگی، چاه‌های نیمه‌عمیق و عمیق، دشت‌گرگان، هیدروژئوشیمی.

مقدمه

استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی با حفر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق در اواخر دهه پنجاه و اوایل دهه۶۰ در دشت گرگان روند فزاینده‌ای به خود گرفت. پس از حفر چاه‌های نیمه‌عمیق و پایین رفتن سطح آب آبخوان‌ها، کشاورزان ناچار به حفر چاه‌های عمیق‌تر شدند که این موضوع علاوه بر بالا بردن هزینه اقتصادی کشاورزان و تهدید حیات آبی قنات‌ها، هزینه‌های غیرقابل جبرانی بر محیط‌زیست پهنه

* نویسنده مرتبط: m.g.mahmoodlu@gmail.com

داشته‌است (نیک قوجق، ۱۳۹۵).

بررسی‌ها نشان داد که افت سطح آب در سفره‌های آب زیرزمینی سبب افزایش شوری در آنها می‌شود. زیرا با کم شدن ذخیره آب‌شیرین در این سفره‌ها، آب‌شور از منابع مختلف به داخل آنها و همچنین چاه‌های بهره‌برداری نفوذ می‌کند (Bagheri, et al., 2019; Xiao et al., 2021). در این شرایط اگر برداشت از آب‌های زیرزمینی در دشت گرگان با رویه نامناسب کنونی همچنان ادامه داشته باشد به‌یقین آب چاه‌ها، خود به عاملی برای تسریع در تبدیل بیابانی شدن زمین‌های کشاورزی و مراتع دارد.

تاکنون پژوهش زیادی در مورد عوامل موثر بر کاهش سطح ایستابی و عواقب ناشی از آن در ایران و دیگر نقاط دنیا انجام شده‌است. با توجه به ماهیت پژوهش حاضر، برخی از مرتبط‌ترین پژوهش‌هایی که در مورد برداشت از آب‌های زیرزمینی انجام شده‌اند، به‌صورت مختصر مورد بررسی قرار می‌گیرد. عباس‌نژاد و شاهی‌دشت (۱۳۹۲) در پژوهشی به بررسی آسیب‌پذیری دشت سیرجان با توجه به برداشت بی‌رویه از سفره آب‌زیرزمینی پهنه پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد، برداشت بیش‌ازحد از سفره آب‌زیرزمینی دشت مورد مطالعه موجب کاهش ذخیره آبی سفره و در پی آن کاهش کیفیت آب، افزایش اجباری عمق چاه‌ها، خشک‌شدن منابع آبی، نشست زمین و خشک‌شدن برخی از مزارع و باغات شده‌است. چوپانی و دمی‌زاده (۱۳۹۳) در پژوهشی به‌بررسی پیامدهای ناشی از افت سطح آب‌زیرزمینی در دشت‌میناب استان‌هرمزگان در یک دوره بیلان ۱۰ ساله پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد، برداشت بیش‌ازحد از آب‌زیرزمینی دشت مورد مطالعه علاوه بر کاهش حجم ذخایر آبی موجب پیشروی آب‌شور دریا در بخش جنوبی دشت، نشست زمین و ایجاد درز و شکاف و چاله در سطح‌زمین شده‌است. زارعی و بهرامی (۱۳۹۵) به‌بررسی تغییرات کمی و کیفی آب‌زیرزمینی دشت‌فسا-فارس در یک بازه زمانی ۵ ساله پرداختند. نتایج این پژوهش نشان از وجود روند نزولی در سطح آب‌زیرزمینی و در پی آن کاهش کیفیت آب می‌باشد. برداشت‌بی‌رویه و غیراصولی از سفره آب‌زیرزمینی در دشت‌فسا به همراه خشک‌سالی‌های اخیر، عامل اصلی این تغییر است. در پژوهشی کاردان‌مقدم و بنی‌حبیب (۱۳۹۶) به‌بررسی اثرات زیست‌محیطی هجوم جبهه‌های آب‌شور به آبخوان‌های کویری در یک دوره ۵ ساله پرداختند. برداشت‌بی‌رویه و بیلان منفی آبخوان سبب افزایش بالازدگی آب‌شور از لایه‌های زیرین آبخوان سرایان در استان خراسان‌جنوبی شده‌است. این موضوع سبب افزایش مواد جامد محلول در آبخوان شیرین مورد مطالعه شده‌است.

همچنین در پژوهشی پوفار و همکاران (Pophare et al., 2014) نقش برداشت بیش‌ازحد از آب‌زیرزمینی حوضه‌ای در کشور هند را بر روی کیفیت آب‌زیرزمینی آن بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد، در حدود ۵۶ درصد از چاه‌ها، یک رابطه مثبت بین افت سطح ایستابی و افزایش میزان هدایت‌الکتریکی وجود دارد. النیما (Al-Naim 2014) در تحقیقی تاثیر پمپاژ بیش از حد را بر روی سطح آب‌زیرزمینی و شوری آب در پهنه هایل عربستان‌سعودی را در یک دوره ۱۲ساله مطالعه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد، میزان افت و شورشدگی در آبخوان آزاد به‌مراتب بیشتر از آبخوان محبوس می‌باشد. راینر و همکاران (Rainer et al., 2017) به بررسی تاثیرات طولانی‌مدت مدیریت استخراج آب‌های زیرزمینی عمیق بر سطح ایستابی در شمال آلمان در سال‌های ۱۹۷۷ تا ۲۰۰۶ پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد، برداشت بیش‌ازحد از آب‌زیرزمینی باعث افت شدید سطح آب‌زیرزمینی در سفره‌های سطحی شد. اگرچه به‌دلیل محدودیت در میزان استخراج آب‌های زیرزمینی و تغییر در میزان استفاده از ظرفیت چاه‌های فردی از سال ۲۰۰۶ به بعد سطح آب‌های زیرزمینی دوباره در پهنه افزایش یافته‌است. در تحقیقی تورکامانیتومبرکی و همکاران (Torkamanitombeki et al. 2018) به‌بررسی تغییر شاخص‌های شیمیایی آب‌زیرزمینی به‌دلیل افت سطح‌ایستابی در دشت‌میناب ایران پرداختند. نتایج این پژوهش نیز نشان داد، سطح آب‌زیرزمینی دشت مورد مطالعه افت داشته است و این موضوع بر روی کیفیت آب‌زیرزمینی اثر منفی داشته‌است. شرفی و همکاران (Sherif et al. 2021) در پژوهشی تغییرات مکانی و زمانی ذخیره آب زیرزمینی و شوری را در آبخوان کواترنری امارات متحده عربی را مطالعه

کردند. نتایج این تحقیق نشان داد به دست آمده نشان داد، حجم منابع آب زیرزمینی شیرین در سفره کواترنر بشدت کاهش یافته‌است و بخش عمده‌ای از این منابع آب شیرین زیرزمینی تخلیه شده با آب شور جایگزین شد.

به‌طورکلی اهداف اصلی این پژوهش عبارتند از: ۱) بررسی روند تغییرات بارندگی در دوره آماری مورد مطالعه، ۲) بررسی تغییرات سالانه حفر چاه‌های نیمه‌عمیق و عمیق مجاز به‌همراه حجم آب‌برداشتی، ۳) بررسی نوسانات سطح ایستابی و پیزومتری به همراه تغییرات هیدروگراف معرف دشت برای دو آبخوان نیمه‌عمیق و عمیق، ۴) بررسی تغییرات برخی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در هر دو آبخوان نیمه‌عمیق و عمیق در دوره آماری مورد مطالعه و ۵) استفاده از آزمون تجزیه واریانس داده‌ها برای بررسی وجود اختلاف آماری بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و نوسانات سطح آب

روش مطالعه

هوا و اقلیم پهنه مورد مطالعه

دشت‌گرگان با وسعتی در حدود ۴۷۲۷ کیلومترمربع و گستره جغرافیایی ۵۴° تا ۵۶° طول شرقی و ۳۰′ ۳۶° تا ۱۵′ ۳۸° عرض شمالی در استان گلستان واقع شده‌است (جهانشاهی‌نوکنده، ۱۳۹۴). این دشت دارای آب و هوای نیمه‌خشک است و در شمال‌شرقی ایران واقع شده است (عباسی‌مقدم، ۱۳۹۷). این دشت دارای ۵ حوضه آبریز اصلی شامل حوضه‌های آبریز شرق خلیج‌گرگان، نکارودعلیا، قره‌سو، گرگانرود، اترک‌سفلی می‌باشد (نیک‌قوجق، ۱۳۹۵). گستره مورد مطالعه در این پژوهش بخشی از دشت گرگان شامل حوضه‌های آبخیز گرگانرود، قره‌سو و خلیج می‌باشد (شکل ۱).

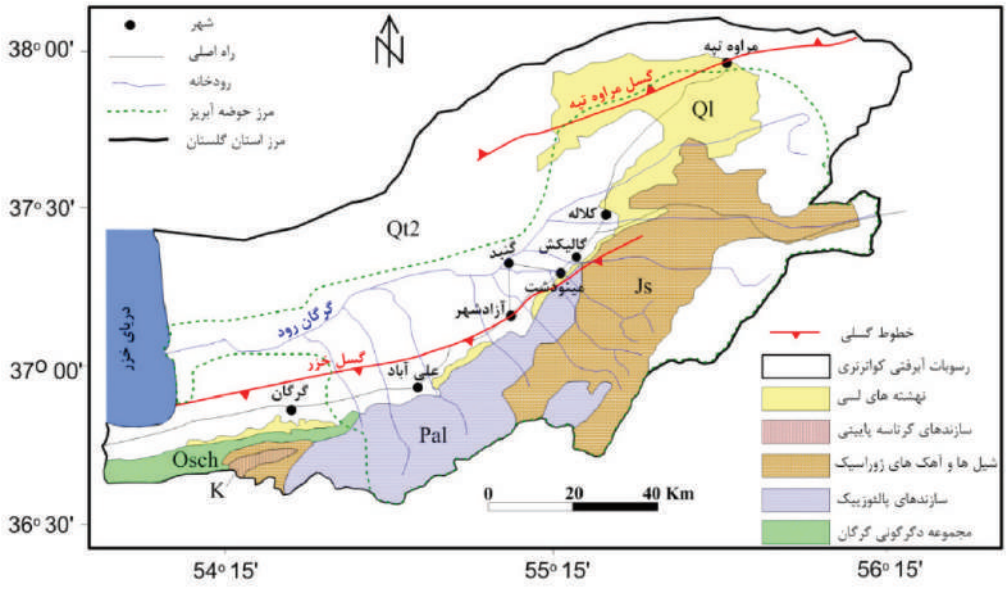
بررسی خطوط هم‌باران در گستره دشت‌گرگان نشان می‌دهد، در بخش‌های جنوبی آن بارندگی متوسط سالانه حدود ۶۰۰ میلی‌متر است و هر چه به‌سمت شمال حرکت کنیم از مقدار بارندگی کاسته شده به‌طوری‌که در نزدیک مرز ترکمنستان به زیر ۴۰۰ میلی‌متر در سال می‌رسد. هم‌چنین در بررسی خطوط هم‌دمای سالانه مشخص شد، در بخش‌های جنوبی دشت گرگان متوسط دمای سالانه حدود ۱۶ درجه‌سانتی‌گراد است و به‌سمت شمال دشت بر مقدار دما افزوده می‌شود به‌طوری‌که در نزدیک مرز ترکمنستان به بالای ۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. اقلیم دشت گرگان براساس روش دومارتن از نیمه‌خشک در شرق تا مرطوب در بخش‌های غربی پهنه مورد مطالعه متغیر می‌باشد.

شکل ۱. نقشه موقعیت گستره مورد مطالعه در دشت‌گرگان و استان‌گلستان

زمین‌شناسی پهنه مورد مطالعه

دشت مورد مطالعه از رسوبات ماسه‌ای و سیلتی غیرمتراکم و سخت‌نشده پوشیده شده است (شکل ۲). این رسوبات بیشتر لسی و مربوط به دوران چهارم زمین‌شناسی، با ضخامت به نسبت زیاد در پهنه دشت و پای ارتفاعات جنوبی و شرقی نهشته شده‌اند. اگرچه درباره منشاء اولیه و طرز رسوب‌گذاری آن‌ها اختلاف‌نظر وجود دارد ولی همه بر این عقیده‌اند که عناصر تشکیل‌دهنده آن‌ها از ارتفاعات البرز سرچشمه می‌گیرد و بارها در جهات مختلف تغییر مکان داده‌اند. ارتفاعات جنوب پهنه مورد مطالعه را تاقدیس‌ها و ناودیس‌هایی از حوضه البرز شرقی با رسوبات مربوط به پالئوزوئیک و مزوزوئیک به‌مقدار کم تشکیل می‌دهند. سازندهای آهکی و ماسه‌سنگی خوش‌ییلاق، مبارک، درود، روته، الیکا، لار و دلیچای و شمشک از اهمیت و رخنمون بیشتری برخوردار هستند (حمیدی و همکاران، ۱۴۰۰).

مهم‌ترین نهشته‌های دشت از قدیم به جدید عبارتند از سازند آقچه‌گیل، نهشته‌های مارنی پلیستوسن پیشین، لس‌ها، نهشته‌های گرگان‌رود، نهشته‌های تبخیری، نهشته‌های برخان‌ها و نهشته‌های آبرفتی دریاچه‌ای هستند. ویژگی‌های رسوب‌شناسی و چینه‌نگاشتی این واحدها نشان می‌دهد فرسایش و نهشته‌گذاری در دشت‌گرگان حاصل اندرکنش فرآیندهای رودخانه‌ای دریایی، دریاچه‌ای و بادی است و با تغییرات اقلیمی، فرایندهای زمین‌ساختی و تغییرات تراز دریای کاسپین کنترل شده است (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۶). در پهنه مورد مطالعه، سامانه گسلی کاسپین را می‌توان به‌عنوان راندگی‌هایی با شیب رو به جنوب در نظر گرفت. عملکرد این سامانه گسل، به‌طور محلی شیست‌های گرگان را در برابر نهشته‌های کواترنری قرار می‌دهد (روستایی و همکاران، ۱۳۹۴؛ آق اتابای و تورانی، ۱۳۹۷).



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه

جنس و نوع آبخوان‌ها در پهنه مورد مطالعه

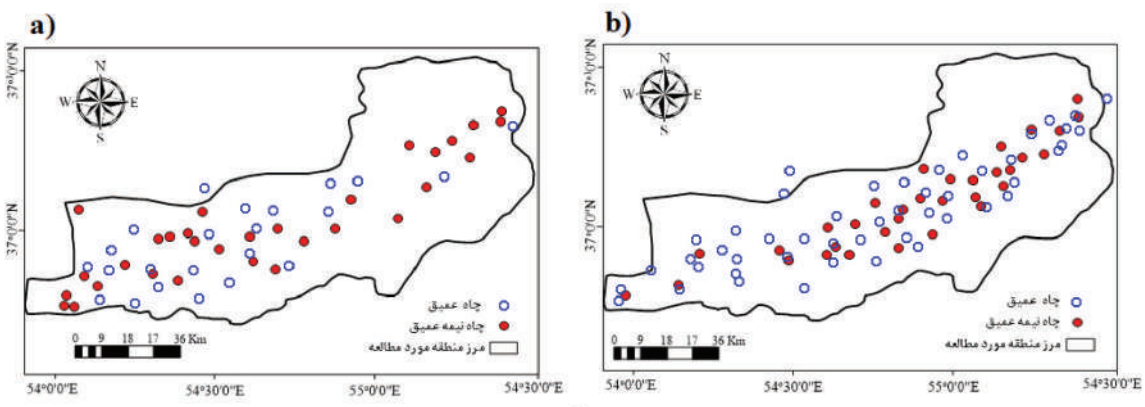
براساس نتایج حاصل از کاوش‌های ژئوفیزیکی، برش زمین‌شناسی چاه‌های اکتشافی و مشاهده‌ای، گسترش مخروط افکنه‌ها و رفتار چاه‌های مشاهده‌ای کم‌عمق و پیزومترهای عمیق، آبخوان‌های آبرفتی گستره مورد مطالعه به آبخوان آزاد (شامل بخش‌های تک سفره حاشیه ارتفاعات و سفره سطحی مناطق چند سفره‌ای) و آبخوان عمقی (تحت فشار) تقسیم می‌شوند. سفره سطحی (آزاد) بیشتر در گستره میانی پهنه مورد مطالعه، از شمال جاده اصلی گرگان-مشهد به سمت بخش مرکزی و نهایتاً مرزهای شمالی استان گسترش دارد. نتایج حاصل از عملیات ژئوفیزیکی و مقاطع

زمین‌شناسی چاه‌ها نشـــان می‌دهد که این سفره همگی از رس، ســـیلت و کمی ماســـه به‌صورت لایه‌های کم نفوذ با جریان تأخیری و یا بین لایه‌هایی از رســـوبات دانه‌درشـــت تشکیل شده است. بخش تک سفره‌ای آبخوان آزاد در محل گسترش رســـوبات مخروط افکنه‌ای و در حاشیه ارتفاعات جنوبی تشکیل شده و شامل رسوبات دانه درشت‌تر نسبت به مناطق شمالی دشت است و از قابلیت نفوذپذیری و انتقال نسبتاً بالایی برخوردار می‌باشد. آبخوان عمقی (تحت فشار) نیز باتوجه به نتایج پژوهـــش ژئوفیزیکی از مقاومت بالاتری برخوردار اســـت و بر اســـاس مقاطع زمین‌شناسی چاه‌ها از رسوبات شن و ماســـه ریز تا دانه درشت و گاهی قلوه‌سنگ تشکیل شده‌اســـت. در بین آنها نیز میان لایه‌هایی از رس، سیلت و ماسه نرم به‌عنوان لایه‌های کم نفوذ و نشتی وجود دارد.

انتخاب و معرفـــی چاه‌های کمی و کیفی و روش آماری

در ایـــن تحقیق با توجه به آمار موجود و نحوه پراکندگی چاه‌ها در دشت مورد مطالعه تعداد ۳۱ حلقه چاه نیمه‌عمیق و ۲۴حلقـــه چاه‌عمیق برای بررســـی تغییرات ســـطح آب زیرزمینی انتخاب شد. اما برای بررسی تغییرات پارامترهای کیفی تعداد ۳۳ حلقه چاه نیمه‌عمیق و ۴۸ حلقه چاه‌عمیق با توجه به آمار موجود و نحوه پراکندگی آن‌ها در دشت مورد مطالعه انتخاب شدند (شکل۳).

ابتدا با توجه بـــه طولانی مدت بودن دوره مورد مطالعه (۳۰ ساله) و همچنین حجم بالای داده‌های مربوط به بارندگی سالانه، ســـطح آب‌زیرزمینی و پارامترهای فیزیکوشیمیایی، این دوره ۳۰ ســـاله برای بررســـی بارندگی سالانه و تغییرات سطح آب‌زیرزمینی به دو دوره ۱۵ سال قدیم و ۱۵سال جدید تقسیم‌بندی شـــد. اما برای پارامترهای فیزیکوشیمیایی به دلیل نبود پیوستگی داده‌ها در برخی از چاه‌ها، دو دوره پنج ســـال اول و پنج سال آخر دوره منظور شد. سپس به‌منظور مقایســـه و تعیین اختلاف معنی‌داری بین تغییرات بارندگی سالانه، سطح آب‌زیرزمینی و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در دوره آماری مورد بررســـی (دوره‌های قدیم و دوره جدید) از آزمون T زوجی در محیط نرم‌افزار مینی‌تب استفاده و تجزیه واریانس داده‌ها انجام شد. قبل از انجام آزمون T زوجی فرض نرمال بودن داده‌ها با اســـتفاده از آزمون اندرسون-دارلینگ[1] بررســـی شـــد. در آزمون T زوجی چنانچه مقدار p-value محاسبه شده توسط نرم‌افزار بزرگ‌تر و یا مساوی ۰/۰۵ شود، بـــا احتمال ۹۵ درصد فرض H۰ یعنـــی نبود وجود اختلاف معنی‌دار بیـــن میانگین تیمارهای مورد بررســـی پذیرفته و فرض H_1 رد می‌شـــود. اما چنانچه مقدار p-value محاسبه شـــده کوچک‌تر از ۰/۰۵ شود، با احتمال ۹۵ درصد فرض H_0 رد و فرض H_1 یعنی وجـــود اختلاف معنی‌دار بین میانگین تیمارهای مورد بررسی پذیرفته می‌شود (شیرازی، ۱۳۹۵).



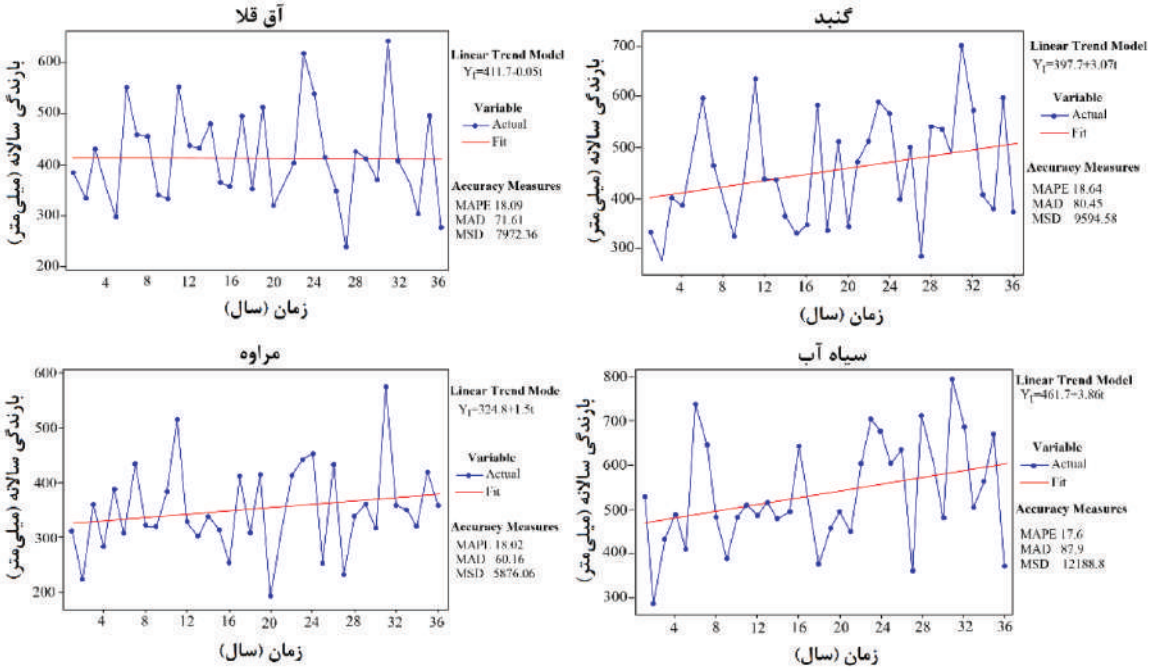
شکل ۳. a) پراکندگی چاه‌های نیمه‌عمیق و b) عمیق کمی و کیفی در گستره مورد مطالعه

1. Anderson-Darling Test

بحث

تغییرات سالانه بارش سالیانه

به‌منظور بررسی روند مقادیر بارندگی سالانه در دشت‌گرگان به‌عنوان یکی از عامل‌های اصلی در نوسانات سطح آب زیرزمینی از آمار هشت ایستگاه هواشناسی مراوه‌تپه، تمر، گنبد، سیاه‌آب، قلعه‌جیق، غفارحاجی، آق‌قلا و هاشم‌آباد در یک دوره‌آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۶-۱۳۶۷) تا (۱۳۹۶-۱۳۹۵) استفاده‌شد. با توجه به شکل۴ مقادیر بارندگی متوسط سالانه در چهار ایستگاه‌های هواشناسی انتخابی در دوره مورد بررسی فاقد روند است و یا دارای روند افزایشی جزئی می‌باشد (به‌جز ایستگاه هواشناسی آق‌قلا). هم‌چنین مقادیر بارندگی ایستگاه‌های منتخب در دو دوره ۱۵ساله قدیم و جدید با استفاده از آزمون T بررسی شد. براساس جدول ۱ مقادیر p-value آزمون T بین مقادیر بارندگی سالانه ۱۵ ساله دوره قدیم و جدید در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب (به‌جز ایستگاه سیاه‌آب) بزرگ‌تر از ۰/۰۵ محاسبه شده است. بنابراین فرض H_0 یا نبود وجود اختلاف معنی‌دار بین دو دوره مورد بررسی پذیرفته و فرض H_1 یا وجود اختلاف معنی‌دار رد می‌شود.



شکل ۴. بررسی روند مقادیر بارندگی سالانه در دشت‌گرگان مربوط به چهار ایستگاه هواشناسی انتخابی مراوه‌تپه، گنبد، سیاه‌آب و آق‌قلا در یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۹۶-۱۳۶۶)

جدول ۱. مقادیر p-value آزمون T بین مقادیر بارندگی ۱۵ساله سالانه دوره قدیم و جدید

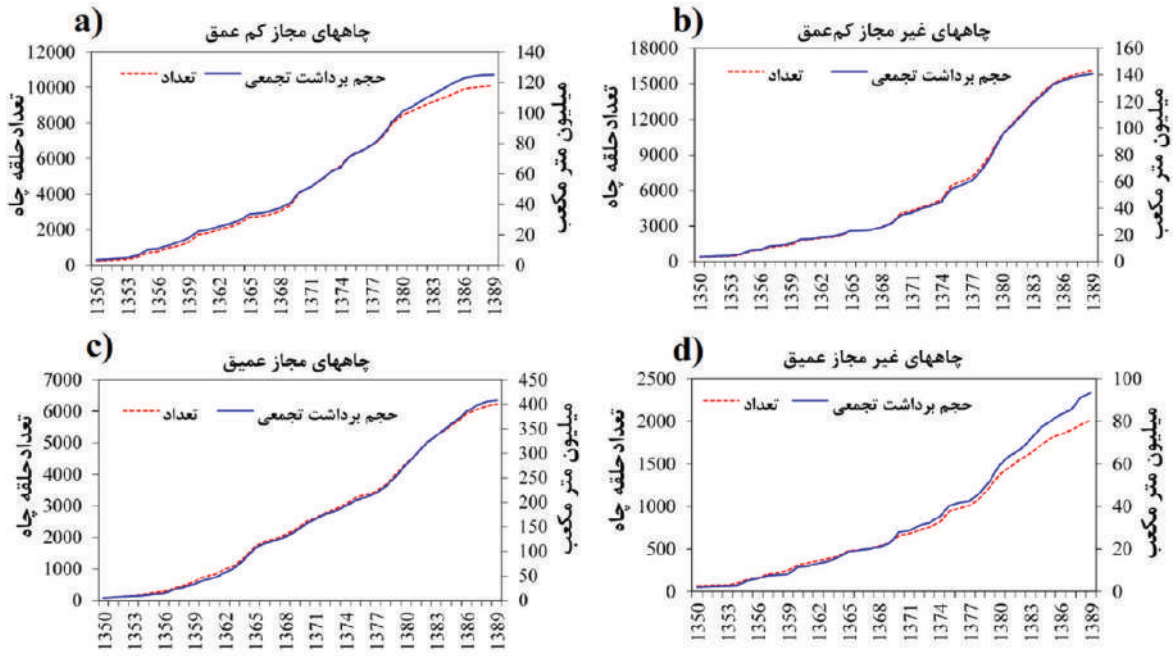
نام ایستگاه	هاشم‌آباد	آق‌قلا	غفارحاجی	قلعه جیق	سیاه‌آب	گنبد	تمر	مراوه‌تپه
مقادیر p-value	۰/۴۳۲	۰/۹۶۴	۰/۵۰۶	۰/۴۴۳	۰/۰۰۸	۰/۰۶۲	۰/۴۵۸	۰/۲۷۴

تغییرات سالانه حفر چاه‌های کم‌عمق و عمیق مجاز و غیرمجاز

در این پژوهش باتوجه به آخرین آمار موجود در شرکت آب پهنه‌ای تغییرات سالانه حفر چاه‌های کم‌عمق و عمیق مجاز و غیرمجاز استان در یک بازه ۴۰ ساله بررسی شد (نیک‌قوجق، ۱۳۹۵). نتایج این بررسی نشان از یک روند افزایشی تعداد چاه‌های حفر شده و در پی آن حجم آب برداشت‌شده در این دوره دارد (شکل ۵). اگر چه تعداد

چاه‌هـــای کم‌عمق غیرمجاز حفر شـــده به همراه حجم آب برداشت‌شـــده توســـط آن‌ها در این دوره ۴۰ ساله به‌مراتب بیشـــتر از چاه‌های کم‌عمق مجاز اســـت (شکل b و a-۵). نتایج هم‌چنین نشان داد، از سال ۱۳۷۲ تا سال ۱۳۸۵ حفر چاه‌های غیرمجاز از شتاب چشم‌گیری برخوردار است. این روند در چاه‌های مجاز کم‌عمق نیز دیده می‌شود. در هر دو نوع چاه، میزان حفر چاه‌های جدید و همچنین برداشت آب از آنها از سال ۱۳۸۵ به بعد در پی سخت‌گیری‌های شرکت آب پهنه‌ای گلســـتان از شـــتاب کمتری برخوردار می‌باشد (شکل b و a-۵).

مشابه چاه‌های کم‌عمق مجاز، یک روند نسبتا ملایم تا ســـال ۱۳۷۸ در میزان حفر این چاه‌های عمیق مجاز وجود دارد. اگرچه این روند از ســـال ۱۳۷۸ تا سال ۱۳۸۶ افزایش چشمگیری داشته‌است و پس از آن روند حفر این‌گونه چاه‌ها از شتاب کمتری برخوردار می‌باشد (شکل c-۵). همچنین بررسی روند تغییرات در حفر سالانه چاه‌های عمیق غیرمجاز در استان نشـــان می‌دهد، یک روند افزایشی تا سال ۱۳۸۰ در میزان حفر این‌گونه چاه‌ها وجود داشته‌اســـت و در بین ســـال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۷۸ تعداد ایـــن چاه‌ها در حدود ۱۰۰۰ حلقه چاه در دشـــت مورد مطالعه می‌باشـــد (نیک‌قوجق، ۱۳۹۵). بعد از این ســـال تا به امروز روند حفر چاه‌ها شتاب بیشتری داشته‌است (شکل d-۵).



شکل ۵. تغییرات سالانه حفر چاه‌های کم‌عمق و عمیق مجاز و غیرمجاز به همراه حجم آب برداشت‌شده در دشت گرگان

تغییرات ســـطح آب‌زیرزمینـــی چاه‌های نیمه‌عمیق و عمیق

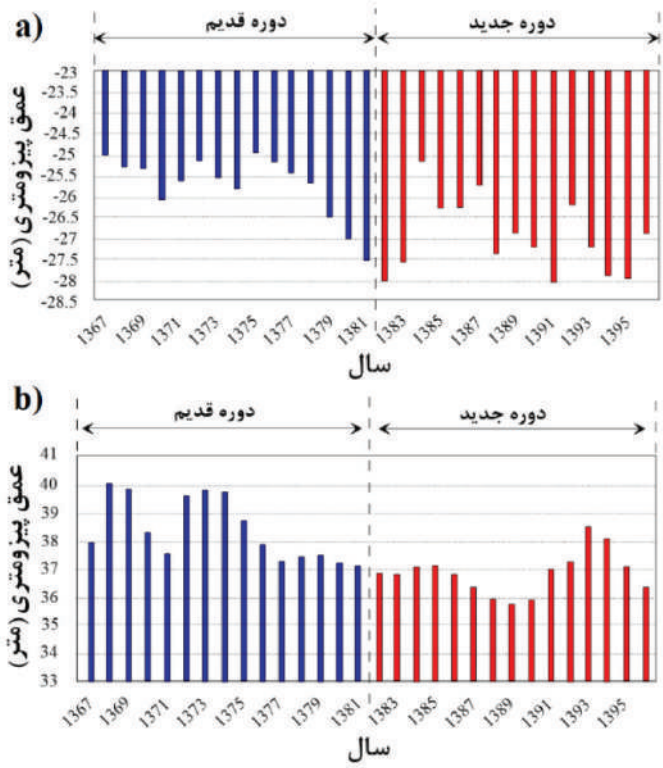
خلاصه نتایـــج آماری آزمون T زوجـــی را بین تغییرات سطح آب‌زیرزمینی چاه‌های نیمه‌عمیق در دو دوره ۱۵ساله قدیم (۱۳۸۱-۱۳۶۷) و جدیـــد (۱۳۹۶-۱۳۸۲) در جدول ۲ ارائه شده‌اســـت. براین اساس، از ۲۷ حلقه چاه نیمه‌عمیق (شـــکل a-۳) مورد بررسی مقادیر p-value آزمون T زوجی برای ۱۹ چاه (معادل ۷۰/۴ درصد) کمتر از ۰/۰۵ محاســـبه شده‌است. این موضوع بیانگر آن است، سطح آب‌زیرزمینی در ۷۰/۴ درصـــد از چاه‌های مورد بررســـی در دوره قبل از ســـال ۱۳۸۱ نســـبت به دوره بعد از آن اختلاف معنی‌داری داشته‌اســـت. در مقابـــل در نه چـــاه (۲۹/۶ درصد) مقادیر p-value آزمون T زوجی بیشـــتر از ۰/۰۵ می‌باشد. از این‌رو در ۲۹/۶ درصد از چاه‌های نیمه‌عمیق گستره مورد مطالعه، تغییرات سطح آب‌زیرزمینی در دوره قبل و بعد از سال ۱۳۸۱

اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. تمامی چاه‌های بیان شده بر روی مخروط‌افکنه (بین جبهه کوهستان و دشت) واقع شده‌اند. این مطلب می‌تواند به‌دلیل تغذیه خوب آبخوان توسط جبهه کوهستان (در بخش جنوبی دشت) باشد که بیشتر متشکل از تشکیلات آهکی مربوط به سازندهای لار و مزدوران هستند.

شکل ۶ نمودار میله‌ای تغییرات سالانه سطح آب‌زیرزمینی را در دو دوره قبل و بعد از سال ۱۳۸۱ در دو چاه نیمه‌عمیق نیازآباد و ایمرمحمدقلی نشان می‌دهد. براساس شکل ۶ در هر دو چاه نیازآباد و ایمرمحمدقلی در دوره بعد از سال ۱۳۸۱ نسبت به دوره قبل آن با کاهش معنی‌دار سطح آب‌زیرزمینی و روند منفی مواجه هستند. دلیل آن با توجه به تغییرات نسبتا ثابت اقلیمی، حفر چاه‌های غیرمجاز، برداشت‌بی‌رویه از منابع آب‌زیرزمینی و تغییر در الگوی کشت (پنبه به شالی و گندم) می‌باشد. این شرایط تقریبا در سایر چاه‌های نیمه‌عمیق مورد بررسی واقع در دشت‌گرگان با اندکی تغییر اتفاق افتاده‌است.

جدول ۲. مقادیر p-value آزمون T زوجی بین تغییرات سطح آب‌زیرزمینی چاه‌های نیمه‌عمیق و عمیق در دو دوره قدیم (۱۳۶۷-۱۳۸۱) و جدید (۱۳۹۶-۱۳۸۲)

نوع چاه	شماره	نام چاه	P-value	شماره	نام چاه	P-value
نیمه‌عمیق	۱	گمیشان	۰/۰۰۳	۱۵	کم‌عمق مارون کلاته	۰/۰۱۷
	۲	نیازآباد	۰/۰۰۰	۱۶	خان‌ببین	۰/۰۹۰
	۳	شمال‌النگ	۰/۲۴۸	۱۷	کوچک‌خرطوم	۰/۶۹۳
	۴	قره‌تپه بزرگ	۰/۰۰۰	۱۸	جنگل‌دلند	۰/۲۵۱
	۵	تخشی‌محله	۰/۵۲۸	۱۹	قراول‌تپه	۰/۰۶۷
	۶	صحنه‌سفلی	۰/۰۰۱	۲۰	نظام‌آباد	۰/۰۱۷
	۷	انجیراب	۰/۶۴۰	۲۱	اداره آب گنبد	۰/۰۰۱
	۸	جنوب دوگونچی	۰/۰۴۴	۲۲	ایمرمحمدقلی	۰/۰۰۰
	۹	روبروی کفایی‌پور	۰/۰۱۰	۲۳	قوینلی	۰/۰۰۷
	۱۰	شمال آق‌قلا	۰/۰۰۶	۲۴	سارجه‌کر	۰/۰۰۰
عمیق	۱۱	اوجاتوپ	۰/۰۰۰	۲۵	امان‌خواجه	۰/۰۰۳
	۱۲	عطاآباد	۰/۰۰۰	۲۶	کنگور	۰/۰۲۹
	۱۳	میان‌آباد	۰/۰۲۵	۲۷	آشوربای	۰/۵۳۴
	۱۴	جنگل‌قرق	۰/۰۰۰	---	---	---
	۱	سیجوال	۰/۰۰۱	۱۳	اوجاتوپ	۰/۰۰۰
	۲	جنوب‌النگ	۰/۰۰۲	۱۴	دودانگه	۰/۰۴۲
	۳	آق‌امام	۰/۰۰۰	۱۵	چین‌سبلی	۰/۰۴۳
	۴	خوجه‌لر	۰/۱۱۲	۱۶	گوزن‌فارس	۰/۳۶۷
	۵	کتوک	۰/۰۰۱	۱۷	شفتالوباغ	۰/۰۲۳
	۶	شموشک	۰/۰۳۵	۱۸	خیوه‌لی	۰/۰۴۱
	۷	للدوین	۰/۰۰۰	۱۹	فاضل‌آباد	۰/۵۳۷
	۸	لمسک	۰/۰۰۰	۲۰	کوچک‌استاجیق	۰/۰۰۰
	۹	کماسی	۰/۰۳۸	۲۱	قوچ‌مراد	۰/۰۰۶
	۱۰	ناهارخوران	۰/۰۱۲	۲۲	سلاخ‌نوری	۰/۶۹۲
	۱۱	شمال دیوار اسکندر	۰/۰۰۱	۲۳	دشت‌حلقه	۰/۰۰۰
	۱۲	قانقرمه	۰/۰۰۰	۲۴	باینال	۰/۰۰۱



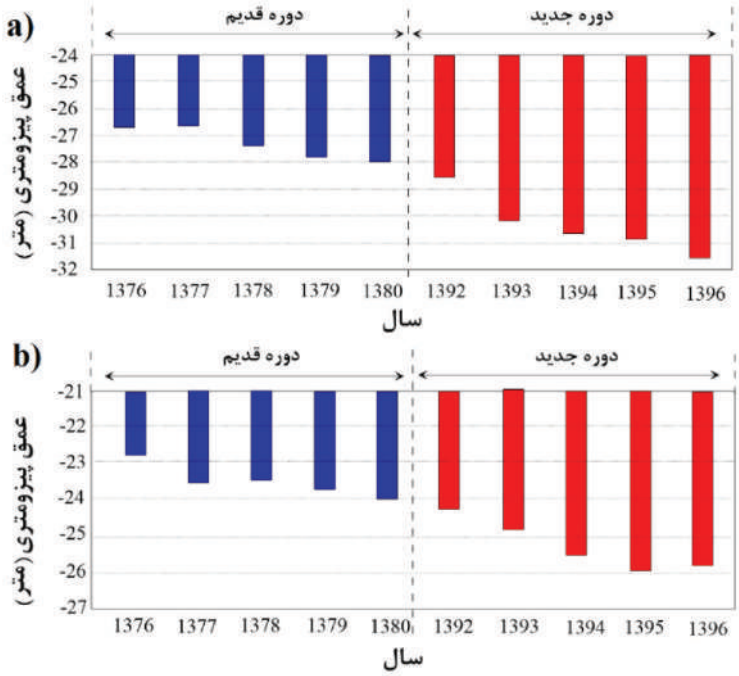
شـــکل ۶. نمودار میله‌ای تغییرات سالانه ســـطح آب‌زیرزمینی در دو دوره قدیم (۱۳۸۱-۱۳۷۶) و جدید (۱۳۹۶-۱۳۸۲) در دو چاه نیمه‌عمیق، a) نیازآباد و b) ایمرمحمدقلی

خلاصه نتایج آماری آزمون T زوجی بین تغییرات سطح آب‌زیرزمینی چاه‌های عمیق در دو دوره ۱۵ ساله قدیم (۱۳۸۱-۱۳۶۷) و جدید (۱۳۹۶-۱۳۸۲) در جدول ۲ ارائه شده‌است. نتایج نشان داد، از ۲۴ حلقه چاه عمیق مورد بررسی مقادیر p-value آزمون T زوجی برای ۲۰ چاه (معادل ۸۳/۳ درصد) کمتر از ۰/۰۵ محاسبه شده‌است. این موضوع بیانگر آن است با احتمال ۹۵ درصد در ۸۳/۳ درصد از چاه‌های عمیق مورد بررسی تغییرات سطح آب‌زیرزمینی در دوره قدیم نسبت به دوره جدید اختلاف معنی‌داری داشته است. در این بررسی هم‌چنین مشخص شد در چهار چاه خوجه‌لر، گوزن‌فارس، فاضل‌آباد و ســـلاخ‌نوری مقادیـــر p-value آزمون T زوجی بیشتر از ۰/۰۵ محاسبه شده‌است. این موضوع نشان می‌دهد با احتمال ۹۵ درصد ســـطح آب‌زیرزمینی در ۱۶/۶ درصد از چاه‌های مورد بررســـی در دوره قدیم نســـبت به دوره جدید اختلاف معنی‌داری وجود داشته‌است.

شکل ۷ نمودار میله‌ای تغییرات سالانه سطح آب‌زیرزمینی را در دو دوره قدیم و جدید برای ۲ چاه عمیق سیجوال و کتوک نشان می‌دهد. مطابق شکل ۷ در هر دو چاه‌عمیق سیجوال و کتوک مانند چاه‌های نیمه‌عمیق در دوره‌جدید نسبت به دوره قدیم با کاهش معنی‌دار سطح آب‌زیرزمینی و روند منفی مواجه هستند و این شرایط تقریبا در سایر چاه‌های عمیق مورد بررسی واقع در دشت‌گرگان با اندکی تغییر اتفاق افتاده‌است.

بررسی وضعیت آبخوان‌های کم‌عمق و عمیق استان

به‌منظور بررسی وضعیت آبخوان کم‌عمق استان، ابتدا نمودار تغییرات بارش اســـتان در دوره مورد نظر تهیه شد. سپس تغییرات تراز آب‌زیرزمینی در آبخوان کم‌عمق استان بر روی نمودار ذکر شده، رســـم شد. برای سهولت نمایش و مقایســـه، تغییرات تراز آب‌زیرزمینی نیز برحسب میلی‌متر نسبت به تراز شـــاخص ۲۵ متری مطرح شد (شکل a-۸). نتایج این بررسی نشان‌داد، به‌جز بخش ابتدایی نمودار بیان شـــده یعنی ســـال آبی ۷۱-۷۰ تا ۷۶-۷۵ که روند تغییرات بارندگـــی و تغییرات آبخوان با یکدیگـــر هم‌خوانی ندارند در بقیه دوره مورد مطالعه همبستگی نسبتا خوبی بین نوسانات



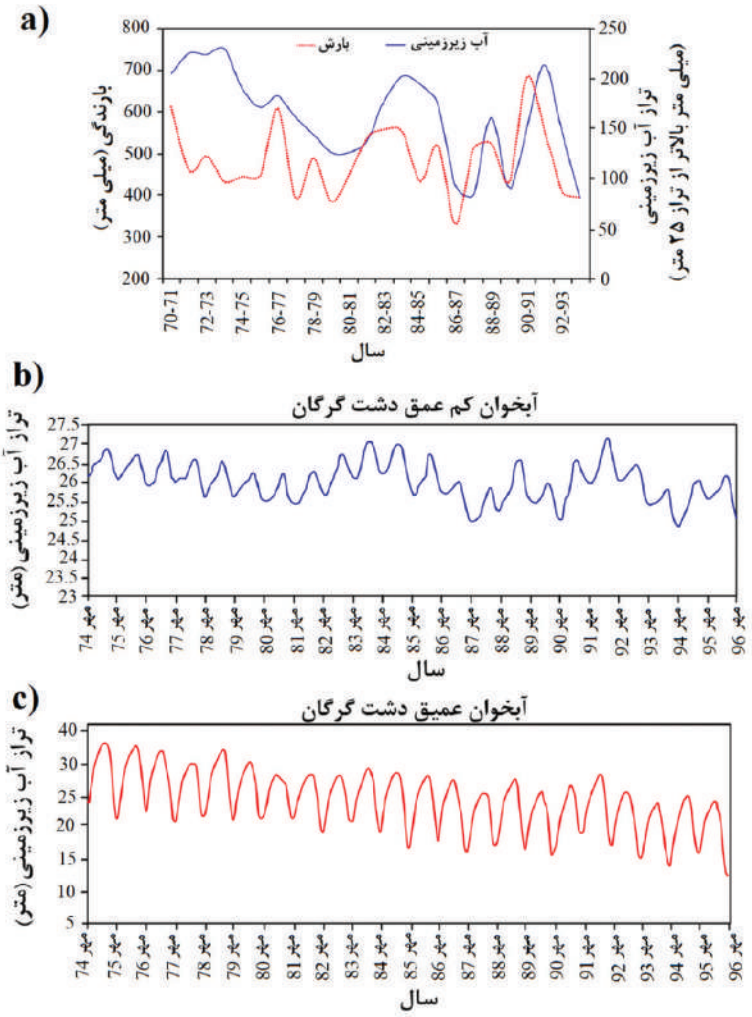
شـــکل ۷. نمودار میله‌ای تغییرات ســـالانه ســـطح آب‌زیرزمینی در دو دوره قدیـــم (۱۳۸۰-۱۳۶۷) و جدیـــد (۱۳۹۶-۱۳۹۲) در دو چاه‌عمیق، a) سیجوال و b) کتوک

بارندگی ســـالانه و تغییرات ســـالانه تراز آب‌زیرزمینی وجود دارد. به‌طوری‌کـــه بـــا افزایش میزان بارندگی ســـالانه تراز آب‌زیرزمینی نیز افزایش یافته اســـت. اگرچه تغییرات سطح تراز آب‌زیرزمینی به لحاظ زمانی کمی متفاوت است و شروع آن با تاخیر همراه می‌باشـــد. این مورد با توجه به‌سرعت کم نفوذ آب‌های سطحی ناشی از بارش‌های سالیانه و در پی آن تغذیه سفره کم‌عمق آب‌زیرزمینی بدیهی به‌نظر می‌رسد.

نمودار تغییرات ســـطح آب در زمـــان. مربوط به بخش آبخوان کم‌عمق (شکل b-۸) نشان‌داد، سطح آب زیرزمینی از سال آبی ۱۳۷۴ تا ســـال ۱۳۹۶ دارای شیب ملایم نزولی اســـت. اگرچه در برخی دوره‌ها مانند سال‌های ۸۲ تا ۸۶ و همچنین ســـال‌های ۸۸ تا ۹۲ روند صعودی داشته است. این مورد ناشی از افزایش میزان بارندگی و درپی آن افزایش میزان نفوذ آب به داخل لایه آبدار نیمه‌عمیق می‌باشد. لازم به توضیح اســـت که در ماه‌های تر سال روند صعودی و در ماه‌های خشـــک سال روند نزولی داشته‌است. در کل شیب نزولی این گراف ناشـــی از برداشـــت از آب زیرزمینی توسط چاه‌های مجاز و غیرمجاز برای مصرف‌های مختلف می‌باشد. همانند هیدروگراف معرف دشت مربوط به بخش آبخوان کم‌عمق، هیدروگراف معرف دشت آبخوان عمیق نیز دارای روند نزولی می‌باشد (شکل c-۸). اگرچه شیب کلی گراف و مقدار افت آب در این آبخوان نســـبت به آبخوان نیمه‌عمیق بیشتر می‌باشد. از آن‌جایی‌که نحوه تغذیه این آبخوان و میزان آن کمتـــر از آبخوان آزاد یا نیمه‌عمیق می‌باشـــد این مورد بدیهی به‌نظر می‌رسد. البته میزان افت واقعی در این آبخوان می‌تواند بیش از مقدار اندازه‌گیری شـــده باشـــد اما به‌دلیل دانه‌ریز بـــودن و تراکم‌پذیری لایه‌های آبدار تشـــکیل‌دهنده آبخوان عمیق محاسبه افت واقعی مشکل می‌باشد.

بررسی پارامترهای کیفی چاه‌های نیمه‌عمیق

جدول ۳ مقادیر p-value آزمون T زوجی را برای مقایسه اختلاف معنی‌داری خصوصیات فیزیکوشـــیمیایی برای ۱۰ حلقه چاه نیمه‌عمیق واقع در دشـــت‌گرگان در دو دوره پنج ساله قدیم و جدید نشان می‌دهد. مطابق جدول ۳ مشخص شـــد که هفت فاکتور کیفی Cl، Na، Ca، Mg، SO_4، EC و TH بیشـــترین تفاوت معنی‌داری را در دوره جدید نسبت به دوره قدیم در چاه‌های نیمه‌عمیق داشته‌اند به‌طوری‌که در ۵۰ درصد چاه‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری ملاحظه شد.



شکل ۸. a) نمودار تغییرات تراز آب‌زیرزمینی در آبخوان کم‌عمق استان و تغییرات بارش استان به همراه، b) هیدروگراف معرف آبخوان کم‌عمق و c) آبخوان عمیق

جدول۳. مقادیر p-value آزمون T زوجی برای مقایسه اختلاف معنی‌داری خصوصیات فیزیکوشیمیایی چاه‌های نیمه‌عمیق و عمیق واقع در دشت‌گرگان در دو دوره قدیم و جدید

نوع چاه	نام چاه	%Na	TH	EC	TDS	pH	Cl	HCO_3	SO_4	K	Na	Mg	Ca
نیمه‌عمیق	کارخانه آرد رضایی	۰/۰۲۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۶۶۸	۰/۰۹۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۲۷۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	۰/۰۷۵
	مریم‌آباد	۰/۵۹۵	۰/۱۱۷	۰/۱۱۷	۰/۱۵۷	۰/۹۷۵	۰/۱۴۰	۰/۴۶۴	۰/۳۷۴	۰/۴۰۶	۰/۳۲۲	۰/۰۹۸	۰/۱۹۸
	بهلکه‌داشلی	۰/۰۲۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۳۵۳	۰/۰۰۳	۰/۷۱۲	۰/۰۰۶	۰/۰۱۳	۰/۰۴۷	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲
	نوده‌کتول	۰/۳۴۶	۰/۴۹۱	۰/۰۱۲	۰/۰۰۵	۰/۴۱۱	۰/۴۷۲	۰/۴۶۶	۰/۴۴۰	۰/۳۵۸	۰/۴۴۷	۰/۴۵۵	/۶۴۰
	کوچک‌خرطوم	۰/۴۶۲	۰/۰۰۷	۰/۰۱۱	۰/۰۹۴	۰/۳۲۹	۰/۲۰۳	۰/۹۲۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۲۳	۰
	غرب خرلر	۰/۳۳۱	۰/۰۲۹	۰/۱۰۸	۰/۱۲۳	۰/۷۳۰	۰/۰۳۵	۰/۳۸۷	۰/۴۲۹	۰/۲۵۲	۰/۵۸۵	۰/۰۲۳	۰/۰۴۸
	کلورامیان	۰/۹۶۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸	۰/۷۱۷	۰/۰۱۴۸	۰/۲۴۴	۰/۰۰۵	۰/۶۷۲	۰/۱۵۸	۰/۹۶۳	۰/۰۲۷
	حاجیلرقلعه	۰/۰۲۶	۰/۶۰۱	۰/۱۱۲	۰/۰۷۸	۰/۱۵۸	۰	۰/۷۴۹	۰/۰۰۲	۰/۰۴۵	۰/۰۴۸	۰/۰۱۴	۰/۰۰۶
	بازگیر	۰/۸۸۶	۰/۱۰۴	۰/۱۷۱	۰/۱۴۶	۰/۰۸۹	۰/۵۶۸	۰/۰۳۸	۰/۷۸۷	۰/۸۴۱	۰/۲۶۹	۰/۰۵۹	۰/۴۷۹
	دهنه	۰/۲۲۹	۰/۸۲۹	۰/۴۰۴	۰/۷۰۴	۰/۸۵۶	۰/۰۱۴	۰/۵۶۹	۰/۷۳۵	۰/۰۲۸	۰/۰۴۷	۰/۴۶۳	۰/۵۷۷

ادامه جدول۳.

نوع چاه	نام چاه	%Na	TH	EC	TDS	pH	Cl	HCO_3	SO_4	K	Na	Mg	Ca
	بندرگز	۰/۰۴۱	۰/۶۵۳	۰/۰۶۳	۰/۰۳۴	۰/۷۱۹	۰/۰۳۲	۰/۱۰۸	۰	۰/۵۹۲	۰/۰۰۹	۰/۲۰۸	۰/۱۰۴
	گامیشلی‌نزار	۰/۰۰۱	۰/۱۰۳	۰/۴۵۷	۰/۴۸۷	۰/۰۴۱	۰/۰۲۶	۰/۳۸۷	۰/۰۳۹۴	۰/۵۳۵	۰	۰/۰۷۹	۰/۱۲۰
	دوست‌محمدیان	۰/۰۳	۰/۰۸۶	۰/۲۴۳	۰/۳۸۹	۰/۹۳۲	۰/۰۴۸	۰/۰۰۷	۰/۰۱۱	۰/۰۰۲	۰/۴۱۶	۰/۰۲۶	۰/۲۹۱
	نومل	۰/۱۹۱	۰/۱۲۸	۰/۰۹۲	۰/۲۶۱	۰/۱۳۶	۰/۰۲۶	۰/۹۸۶	۰/۰۲۱	۰/۰۸۱	۰/۰۴۳	۰/۱۰۹	۰/۵۴۶
	حیدرآباد	۰	۰/۷۲۶	۰	۰	۰/۰۳۶	۰/۰۱۴	۰/۰۲۷	۰/۰۴۹	۰/۲۳۷	۰/۰۰۷	۰/۸۷۹	۰/۴۶۲
	کرد	۰/۱۲۷	۰/۲۵۴	۰/۰۰۱	۰	۰/۱۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۰/۳۸۲	۰/۰۳۲	۰/۰۹۵	۰/۴۱۷	۰/۲۰۸
عمیق	زرین‌گل شرکت‌نفت	۰	۰/۰۰۲	۰/۲۴۰	۰/۵۷۳	۰/۷۳۸	۰/۴۸۶	۰/۰۰۴	۰/۰۸۸	۰/۰۷۷	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۰/۰۱۲
	کوچک‌خرطوم	۰/۳۳۴	۰/۳۱۰	۰/۰۲۰	۰/۰۰۱	۰/۷۴۷	۰/۰۰۱	۰/۲۰۱	۰	۰	۰/۳۰۰	۰/۹۵۶	۰/۰۲۳
	سلاخ‌نوری	۰/۸۷۰	۰/۰۷۴	۰/۰۴۸	۰/۰۹۳	۰/۳۵۲	۰/۰۳۴	۰/۰۳۲	۰/۰۶۸	۰/۱۶۱	۰/۰۴۸	۰/۴۳۲	۰/۰۰۲
	آزادشهر	۰/۰۲۳	۰/۰۸۱	۰/۹۱۲	۰/۸۲۰	۰/۱۱۰	۰/۱۰۴	۰/۰۴۶	۰/۳۲۲	۰/۰۲۱	۰/۰۰۳	۰/۲۶۸	۰/۰۴۹
	ارتق‌مختوم	۰/۰۴۴	۰/۰۰۷	۰/۰۴۰	/۱۸۰	۰/۲۶۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۶	۰/۳۲۵	۰/۴۹۵	۰/۸۴۴	۰/۲۸۲	۰/۰۰۳
	ایمرمحمدقلی	/۴۳۰	۰/۰۲۳	۰/۰۰۳	۰/۰۱۰	۰/۳۵۶	۰/۰۲۸	۰/۱۹۵	۰/۰۰۲	۰/۲۷۱	۰/۰۴۱	۰/۰۸۹	۰/۰۱۵
	کلاله	۰/۱۳۳	۰/۱۷۱	۰/۰۱۲	۰/۰۲۴	۰/۳۵۵	۰/۳۱۷	۰/۰۴۸	۰/۰۰۳	۰/۴۶۲	۰/۰۲۵	۰/۶۱۶	۰/۱۱۷

در چاه‌هـــای عمیق نیز مانند چاه‌هـــای نیمه‌عمیق دو فاکتور Cl و Na بیشترین تغییرات معنی‌داری را داشته‌اند. هم‌چنین مشـــخص شـــد فاکتـــور pH کم‌تریـــن تغییرات معنی‌داری را داشـــته به‌طوری‌که برای هیچ‌کدام از چاه‌های نیمه‌عمیـــق در دو دوره مورد بررســـی تفـــاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در بررسی چاه‌های عمیق نیز مشخص شد، pH کمترین تغییرات آماری را داشته است.

در این بررسی هم‌چنین مشخص شد بیشترین تغییرات در خصوصیات فیزیکوشـــیمیایی چاه‌هـــای نیمه‌عمیق در دشت‌گرگان در چاه بهلکه‌داشلی اتفاق افتاده است. به‌گونه‌ای که از بین ۱۲ فاکتور کیفی مورد بررســـی ۱۰ فاکتور در دوره جدید نســـبت به دوره قدیم تفاوت معنی‌داری داشته‌است. کمترین تغییرات در خصوصیات فیزیکوشـــیمیایی چاه‌های نیمه‌عمیق در دشـــت‌گرگان نیز در دو چاه مریم‌آباد و بازگیر اتفاق افتاده‌اســـت به‌طوری‌که از بین ۱۲ فاکتور کیفی مورد بررســـی در چاه مریم‌آباد هیچ تفاوت آماری مشـــاهده نشد و در چاه بازگیر تنها فاکتور HCO_3 در دوره جدید نســـبت به دوره قدیم تفاوت معنی‌داری مشـــاهده شـــد. دلیل این موضوع می‌تواند به‌طور مستقیم مرتبط با موقعیت این چاه‌ها در دشـــت گرگان باشـــد. لازم به توضیح است که چاه‌های مریم‌آبـــاد و بازگیـــر در نیمه جنوبی دشـــت‌گرگان و در حد فاصل کوهستان و دشت بر روی مخروط‌افکنه واقع شده‌اند درحالی‌که چاه بهلکه‌داشـــلی در بخش‌های میانی دشـــت واقع شده‌اســـت. به‌طورکلی بررسی نتایج آماری نشان داد. تغییرات خصوصیات فیزیکوشیمیایی چاه‌های نیمه‌عمیق در دشت‌گرگان کم و بیش مشابه با چاه‌های عمیق اتفاق افتاده و در دوره جدید نسبت به دوره قدیم تغییرات قابل ملاحظه است. کاهش حجم ذخیره آب شـــیرین آبخوان‌های دشت گرگان، کاهش تغذیه آبخوان‌های دشت توسط رودخانه‌ها و آب‌های ســـطحی و احتمال نفوذ آب‌شور و لب‌شور لایه‌های زیرین به‌داخل ســـفره‌های سطحی به دلیل برداشت بیش از حد از ســـفرهای آزاد و عمیق دشت را می‌توان از مهم‌ترین عوامل در وجود اختلاف در دوره‌های جدید و قدیم دانست.

جـــدول ۳ مقادیـــر p-value آزمون T زوجـــی را برای مقایســـه اختلاف معنی‌داری خصوصیات فیزیکوشیمیایی برای ۱۳ حلقه چاه‌عمیق واقع در دشـــت‌گرگان در دو دوره قدیم و جدید نشان می‌دهد. مطابق جدول ۳ مشخص شد که ســـه فاکتور کیفی Cl، Na و HCO_3 بیشـــترین تفاوت معنی‌داری را در دوره جدید نسبت به دوره قدیم در چاه‌های عمیق داشـــته‌اند به‌طوری‌که از ۱۳ چاه‌عمیق مورد بررسی برای ســـه فاکتور کیفی Cl، Na و HCO_3 به‌ترتیب در ۱۰، ۹ و ۸ چاه تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. این مورد می‌تواند ناشی از اختلاط بین آب این سفره با سفره عمیق شور باشد. بعد از سه فاکتور فوق، بیشـــترین تغییرات معنی‌داری سه

فاکتور کیفی SO_4، EC و Na٪ می‌باشد به‌گونه‌ای‌که برای هر کدام از آن‌ها، در هفت چاه از ۱۳ چاه‌عمیق مورد بررسی تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. هم‌چنین مشخص شد دو فاکتور Mg و pH کمترین تغییرات معنی‌داری را داشته‌اند به‌طوری‌که برای هرکدام از آن‌ها تنها در یک چاه در دو دوره مورد بررسی تفاوت معنی‌داری مشاهده شد.

در این بررسی هم‌چنین مشخص شد بیشترین تغییرات آماری در خصوصیات فیزیکوشیمیایی چاه‌های عمیق در دشت‌گرگان در دو چاه حیدرآباد و ایمرمحمدقلی اتفاق افتاده است. از بین ۱۲ فاکتور کیفی مورد بررسی به‌ترتیب ۸ و ۷ فاکتور در دوره‌جدید نسبت به دوره قدیم تفاوت معنی‌داری مشاهده شده‌است. کمترین تغییرات در خصوصیات فیزیکوشیمیایی چاه‌های عمیق در دشت‌گرگان نیز در دو چاه نومل (سه فاکتور) و گامیشلی‌نزار (چهار فاکتور) اتفاق افتاده‌است. به‌طورکلی بررسی نتایج آماری نشان داد که تغییرات خصوصیات فیزیکوشیمیایی چاه‌های عمیق در دشت‌گرگان در دوره جدید نسبت به دوره قدیم قابل‌ملاحظه است و دلیل آن می‌تواند مرتبط با کاهش تغذیه سفره آب‌زیرزمینی و ارتباط این سفره با سفره‌های بالا و پایین خود باشد.

تغییرات میزان کلر در چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق

در این پژوهش تغییرات غلظت یون کلر به‌عنوان آنیون معرف شوری در آب‌زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۹). بدین‌منظور یکسری چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق در دشت که پراکندگی مناسبی در سطح دشت داشته باشند انتخاب شدند.

تغییرات میزان غلظت یون کلر در برخی از چاه‌های نیمه‌عمیق نشان از افزایش غلظت این یون در بیشتر چاه‌ها در دوره مورد مطالعه دارد. این موضوع با توجه به افت سطح آب‌زیرزمینی در این نوع چاه‌ها بدیهی به‌نظر می‌رسد. اگرچه در چاه‌های مجاور ارتفاعات به‌دلیل تغذیه آبخوان مورد مطالعه توسط جبهه آب‌شیرین زیرزمینی ناشی از ارتفاعات، غلظت یون کلر کمتر در اثر افت آب‌زیرزمینی قرار دارد (شکل ۹).

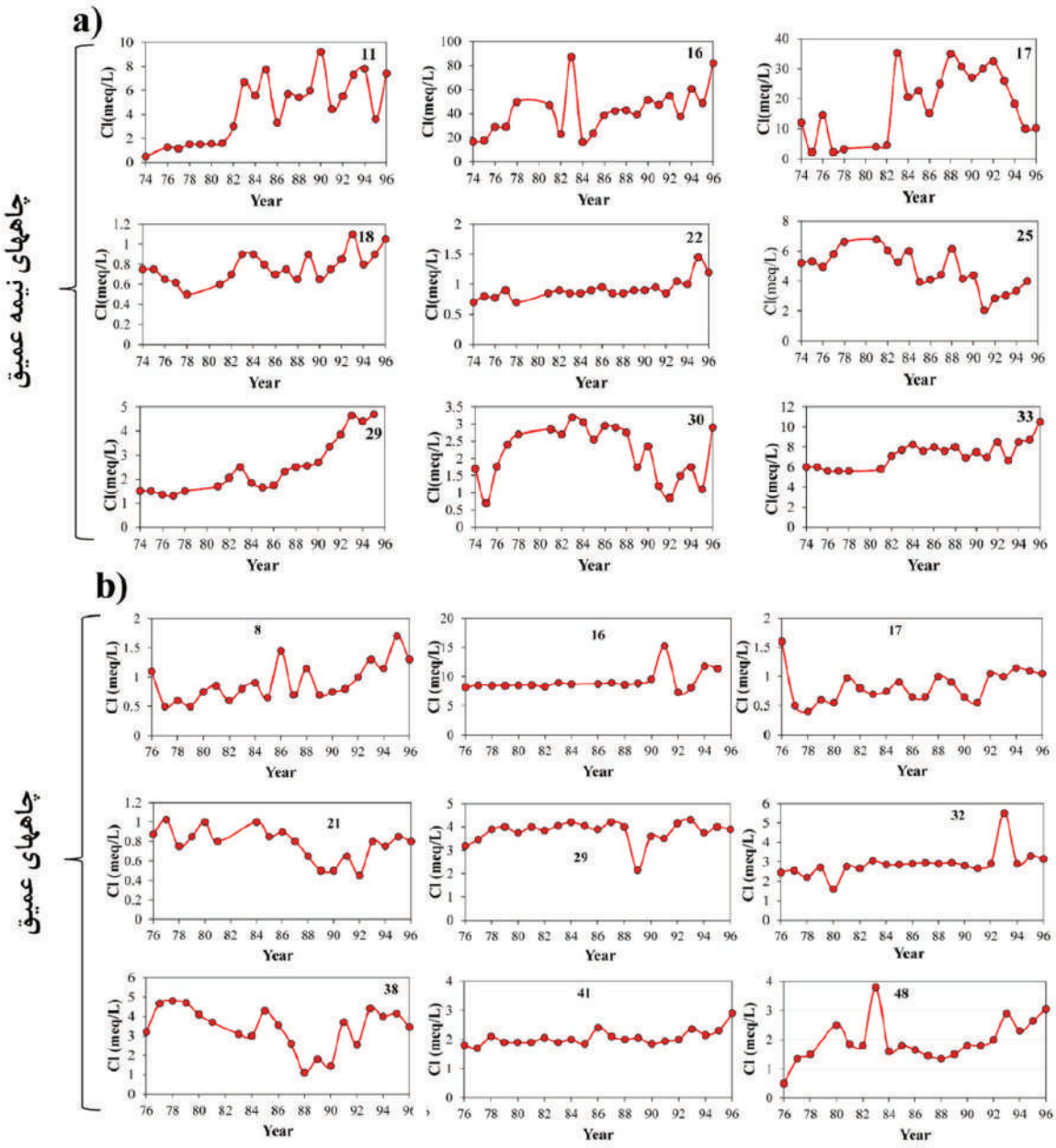
درحالی‌که چاه‌هایی که دور از ارتفاعات و میانه‌های دشت قرار دارد (مانند چاه شماره ۱۱) بیشترین تغییرات را از خود نشان می‌دهند. به‌طورکلی نوسانات چاه‌های عمیق نسبت به یون کلر، برخلاف چاه‌های نیمه‌عمیق، کمتر می‌باشد. اگرچه در برخی از چاه‌ها نظیر چاه شماره ۸ و ۴۸ غلظت یون کلر در دوره مورد مطالعه روند افزایشی داشته‌است. از مهم‌ترین دلایل تغییرات نسبتا کم یون کلر در دشت مورد مطالعه می‌توان محبوس بودن سفره و نبود ارتباط آن سفره کم‌عمق اشاره کرد. هم‌چنین مکان تغذیه این سفره به‌احتمال فراوان در حاشیه ارتفاعات می‌باشد.

ازآنجایی‌که یون کلر یکی از آنیون‌های موثر در تغییر میزان هدایت‌الکتریکی (EC) می‌باشد در این پژوهش ارتباط بین این دو پارامتر بررسی شد (شکل a-۱۰). نتایج این بررسی نشان از ارتباط مستقیم و نسبتا خطی بین این دو پارامتر دارد. اگرچه این رابطه در چاه‌های عمیق خطی‌تر به نظر می‌رسد.

تغییرات میزان هدایت‌الکتریکی در چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق

با توجه به ارتباط مستقیم بین میزان هدایت‌الکتریکی و یون کلراید، نوسانات میزان EC در چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق تا حدودی مشابه میزان غلظت یون کلراید می‌باشد. همان‌طور که انتظار می‌رفت مقدار این پارامتر در اکثر چاه‌های نیمه‌عمیق در حال افزایش می‌باشد. اگرچه این روند افزایشی به‌دلیل تغذیه آبخوان نیمه‌عمیق توسط جبهه آب‌شیرین زیرزمینی ناشی از ارتفاعات کمتر می‌باشد و در برخی از چاه‌ها نظیر چاه شماره ۳۳ خطی به‌نظر می‌رسد (شکل ۱۰).

همانند چاه‌های نیمه عمیق، در چاه‌های عمیق نیز میزان EC در دوره مورد بررسی در حال افزایش می‌باشد. اگرچه در برخی از چاه‌های عمیق مانند چاه شماره ۲۱ این تغییرات خیلی محسوس نیست. روند نزولی هیدروگراف‌های مربوط به سفره‌های کم‌عمق و عمیق و در پی آن کاهش ذخیره آب شیرین در آنها، موجب برهم خوردن تعادل هیدرواستاتیک بین آب شیرین در بالا و آب‌شور و یا لب‌شور ناشی از لایه‌های پایینی در زیر شده‌است و نتیجه آن نفوذ



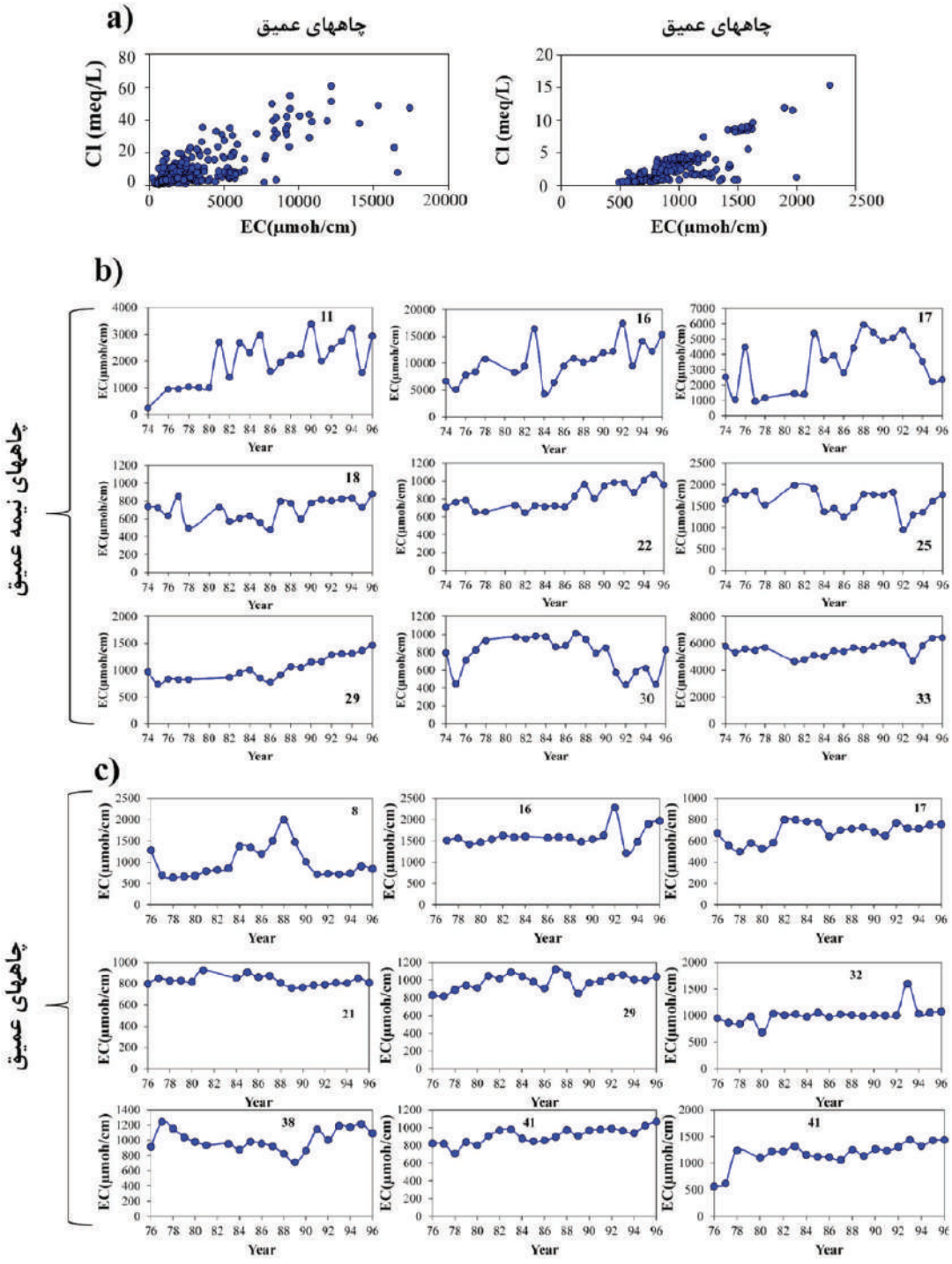
شکل ۹. تغییرات میزان کلر در برخی از چاه‌ها، a) نیمه‌عمیق و b) عمیق

آب‌شور به داخل سفره‌های آب شیرین است. این موضوع می‌تواند بی‌گمان دلیل برای افزایش میزان EC در چاه‌های عمیق و نیمه عمیق باشد.

تیپ و رخساره آب چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق

به‌منظور بررسی کیفیت هیدروژئوشیمی آب چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق از نمودارهای استیف و پایپر استفاده شد. بر اساس نمودارهای استیف چاه‌های کم‌عمق انتخابی (شکل ۱۱)، محدوده وسیعی از تیپ آب‌زیرزمینی در هر دو دوره ۸۰-۷۶ و ۹۶-۹۲ مشاهده می‌شود. تنوع تیپ‌آب در دشت مورد مطالعه با توجه به پراکندگی چاه‌ها و فاصله آن‌ها از حاشیه ارتفاعات بدیهی به‌نظر می‌رسد.

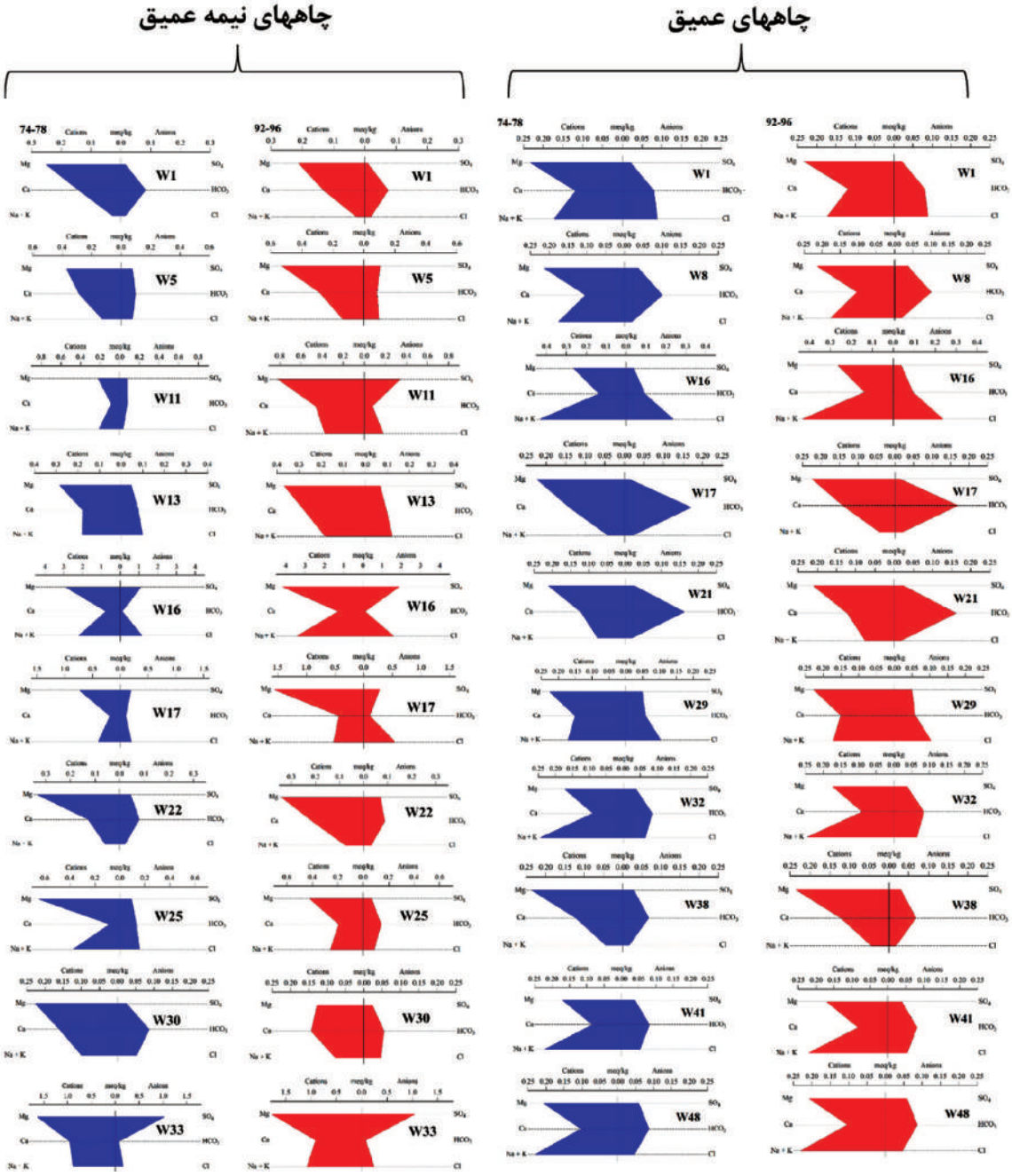
با توجه به نمودار استیف چاه‌ها مورد بررسی، کاتیون منیزیم و آنیون بی‌کربنات یون‌های غالب آب‌زیرزمینی در دشت مورد مطالعه می‌باشد. این موضوع نشان از گستردگی تشکیلات کربناته شاید از نوع دولومیتی در پهنه می‌باشد. علاوه بر این، مقایسه نمودارهای استیف چاه‌های نیمه‌عمیق



شکل ۱۰. ارتباط بین یون کلر و میزان EC و تغییرات میزان EC در برخی از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق

در دو دوره ۸۰-۷۶ و ۹۶-۹۲ نشـــان از افزایـــش مواد جامد محلـــول در دوره جدید دارد (جـــدول ۴). علاوه بر این در برخی از چاه‌ها مانند چاه شـــماره ۱۱ تیپ آب از بی‌کربنات منیزیک به سولفات منیزیک تغییر می‌کند. این مورد نشان از بدتر شدن کیفیت آب در این پهنه از دشت دارد. همچنین در حدود ۶۰ درصد از چاه‌های مورد بررســـی که بیشـــتر در میانه‌های درشـــت واقع شده‌اند میزان کل جامدات محلول افزایش یافته‌اســـت. بیشترین تغییرات در چاه‌های ۱۱، ۱۶ و ۱۷ می‌باشد.

با توجه به نمودار اســـتیف چاه‌های عمیق (شکل ۱۱)،



شکل ۱۱. نمودار استیف چاه‌های نیمه عمیق و عمیق دشت مورد مطالعه

منشا واحدی را برای آب‌زیرزمینی عمیق دشت نمی‌توان در نظر داشت. هم‌چنین برخلاف چاه‌های نیمه‌عمیق، تغییرات چندانی در شکل و اندازه چاه‌های عمیق در هر دو دوره ۸۰-۷۶ و ۹۶-۹۲ دیده نشده‌است. میزان کل جامدات محلول تنها در ۴۰ درصد از چاه‌ها عمیق افزایش داشته است. اگرچه این افزایش در چاه‌های عمیق نسبت به چاه‌های نیمه عمیق ناچیز است.

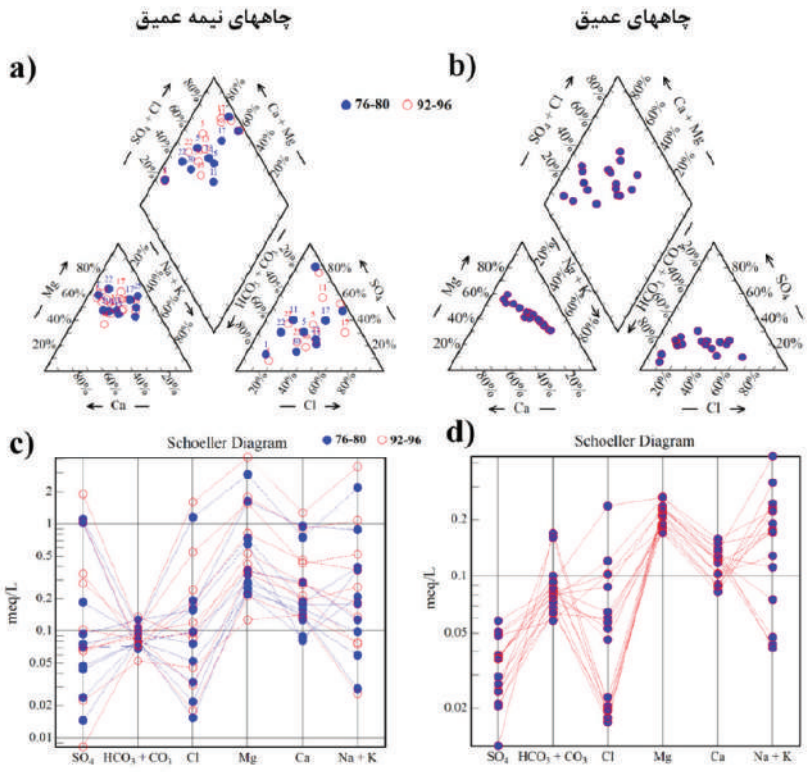
به‌طورکلی رخساره‌های هیدروشیمیائی آب‌زیرزمینی معین‌کننده توده‌های آبی با ماهیت ژئوشیمی متفاوت می‌باشند. اساس طبقه‌بندی رخساره‌ها مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های عمده (برحسب میلی‌اکی‌والان برلیتر) آب‌زیرزمینی می‌باشد (قره‌محمودلو و همکاران، ۱۳۹۹). در این تحقیق برای تعیین رخساره‌های هیدروشیمیائی از نمودار پایپر در دو دوره ۸۰-۷۶ و ۹۶-۹۲ استفاده‌شد (شکل b و a-۱۲).

جدول ۴. تغییرات تیپ آب زیرزمینی به همراه کل جامدات محلول در چاه‌ها انتخابی در دو دوره جدید (۸۰-۷۶) و قدیم (۹۶-۹۲)

چاه‌های نیمه عمیق				چاه‌های عمیق			
شماره چاه	دوره قدیم	دوره جدید	ΔTDS	شماره چاه	دوره قدیم	جدید	ΔTDS
۱	$Mg\text{-}HCO_3$	$Mg\text{-}HCO_3$	-۷۹/۹	۱	Mg-Cl	Mg-Cl	-۱۴۱/۵
۵	$Mg\text{-}HCO_3$	$Mg\text{-}SO_4$	+۶۷/۱	۸	$Mg\text{-}HCO_3$	$Mg\text{-}HCO_3$	-۱۰
۱۱	$Mg\text{-}HCO_3$	$Mg\text{-}SO_4$	+۱۰۸۷/۲	۱۶	Na-Cl	Na-Cl	+۱۴۲/۲
۱۳	Mg-Cl	Mg-Cl	+۱۳۱/۶	۱۷	$Mg\text{-}HCO_3$	$Mg\text{-}HCO_3$	-۹۲/۲
۱۶	Mg-Cl	Mg-Cl	+۱۷۰۶/۲	۲۱	$Mg\text{-}HCO_3$	$Mg\text{-}HCO_3$	-۵۹/۵
۱۷	Mg-Cl	Mg-Cl	+۹۶۶/۶	۲۹	Mg-Cl	Mg-Cl	+۳۹/۵
۲۲	$Mg\text{-}HCO_3$	$Mg\text{-}HCO_3$	+۱۵۶	۳۲	$Na\text{-}HCO_3$	$Na\text{-}HCO_3$	+۱۳/۱
۲۵	$Mg\text{-}HCO_3$	Mg-Cl	-۲۲۹/۸	۳۸	$Mg\text{-}HCO_3$	$Mg\text{-}HCO_3$	-۷۸/۸
۳۰	$Mg\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$	-۱۱۱	۴۱	$Na\text{-}HCO_3$	$Na\text{-}HCO_3$	-۸۲/۸
۳۳	Mg-Cl	Mg-Cl	-۶۹/۶	۴۸	$Na\text{-}HCO_3$	$Na\text{-}HCO_3$	+۱۶۸/۵

ΔTDS: میـــزان تغییرات کل جامدات محلول (TDS) در دو دوره قدیم و جدید، علامت منفی (-) بیانگر کاهش و علامت مثبت (+) بیانگر افزایش میزان TDS در دو دوره می‌باشد.

براساس نمودار پایپر رخساره هیدروشیمیائی در هر دو دوره و برای هر دو چاه نیمه‌عمیق و عمیق از نوع شیرین و ترکیبی می‌باشند. همانند نمودارهای استیف، رخساره‌های مربوط به چاه‌هـــای نیمه‌عمیق در دوره قدیـــم (۸۰-۷۶) و جدید (۹۶-۹۲) تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای از خود نشـــان می‌دهند (شـــکل a-۱۲). این تغییرات به‌سمت رخساره‌های ترکیبی و شـــور مزه می‌باشـــد. اما در چاه‌های عمیق تقریبا تمامی رخســـارهای قدیم در دوره جدید نیز تکرار شـــده‌اند و تغییر خاصی در آن‌ها دیده نمی‌شود. همانند چاه‌های نیمه عمیق این چاه‌ها نیز تمایل به رســـیدن به رخساره‌های شورمزه را دارند. اگرچه مسیری را که چاه‌های عمیق برای رسیدن به رخساره‌های شورمزه دارند مسیر کوتاه‌تری می‌باشد.



شکل ۱۲. نمودارهای پایپر و شولر چاه‌ها، a و c) نیمه‌عمیق، b و d) عمیق دشت مورد مطالعه

نمودار شولر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق

بر اساس نمودار شولر چاه‌های نیمه‌عمیق و عمیق دشت مورد مطالعه (شکل d و c-۱۲) در بخش شرب در رده خوب تا قابل‌قبول می‌باشد. اگرچه برای قضاوت بهتر در مورد قابل شرب بودن آب‌های زیرزمینی دشت مورد مطالعه می‌بایست پارامترهای شیمیایی بیشتری (مانند نیترات، فلورید و ...) به همراه پارامترهای میکروبی بررسی شود. زیرا نمی‌توان تنها با داشتن غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی یک منبع آبی، در مورد قابلیت شرب آن تصمیم‌گیری کرد. همان‌طور که انتظار می‌رفت تغییرات کیفی آب در چاه‌های نیمه‌عمیق نسبت به چاه‌های نیمه عمیق به طور کامل مشهود می‌باشد.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر به‌منظور بررسی تاثیر برداشت از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق بر روی افت سطح‌ایستابی و برخی پارامترهای کیفی آب‌زیرزمینی دشت‌گرگان انجام شد. روند تغییرات بارندگی سالانه ایستگاه‌های هواشناسی منتخب در گستره دشت‌گرگان نشان داد، بارندگی متوسط سالانه در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی در دوره مورد بررسی فاقد روند و یا دارای روند افزایشی جزئی است. نتایج این پژوهش با نتایج عربی‌جوانمرد و جعفری (۱۳۹۵) مطابقت دارد.

بررسی تغییرات سالانه حفر چاه‌های کم‌عمق و عمیق مجاز و غیرمجاز استان نشان از یک روند افزایشی در تعداد چاه‌های حفر شده در دشت‌گرگان و در پی آن افزایش حجم آب برداشت‌شده از اوایل دهه ۶۰ دارد. این موضوع با پژوهش مهری و همکاران (۱۳۹۴)، قائدی و آگاه (۱۳۹۷) و Sherif et al. (2021) همسو می‌باشد. اگرچه تعداد چاه‌های کم‌عمق غیرمجاز حفر شده هم‌چنین حجم آب برداشت‌شده توسط آن‌ها در این دوره ۳۰ ساله به‌مراتب بیشتر از چاه‌های کم‌عمق مجاز است. باتوجه به ثابت بودن میزان متوسط بارندگی سالانه در دشت مورد مطالعه، حفر چاه‌های کم‌عمق و عمیق مجاز و غیرمجاز و در پی آن برداشت بی‌رویه از آبخوان‌های عمیق و نیمه‌عمیق را می‌توان عامل اصلی افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت مورد مطالعه دانست.

براساس مقادیر p-value آزمون T زوجی، بین اکثر پارامترهای فیزیکوشیمیایی چاه‌های نیمه‌عمیق و عمیق در دو دوره قدیم و جدید اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. اگرچه این تغییرات در چاه‌های نیمه‌عمیق بیشتر از چاه‌های عمیق می‌باشد. همچنین دو پارامتر Cl و Na که عامل اصلی شوری می‌باشد بیشترین تغییرات و پارامتر pH کمترین تغییرات آماری را در این دو دوره داشته است.

بررسی روند تغییرات برخی از پارامترهای شیمیایی (نظیر EC و کلر) و همچنین نمودارهای هیدروژئوشیمیایی مربوط به آبخوان‌های دشت نشان از افزایش مواد جامد محلول و همچنین تغییر تیپ و رخساره‌های هیدروشیمیایی آب‌زیرزمینی در دوره جدید دارد. اگرچه روند تغییرات در آبخوان کم‌عمق شدیدتر می‌باشد. نتایج این تحقیق با پژوهش اکرامی و همکاران (۱۳۹۰)، چوبین و همکاران (۱۳۹۱)، صمدی و همکاران (۱۳۹۴)، دانشور و همکاران (۲۰۱۳) و Sherif et al. (2021) مطابقت دارد.

باتوجه به اینکه زنگ خطر نشست‌زمین و همچنین شورشدن آب‌های زیرزمینی در دشت‌گرگان به صدا در آمده‌است مجموعه فعالیت‌هایی مانند نبود صدور مجوز حفر چاه جدید برای اهداف مختلف در دشت مطالعه، اجرای دقیق طرح تعادل‌بخشی توسط شرکت آب منقه‌ای گلستان و اداره جهاد کشاورزی استان و تدوین برنامه‌ای ویژه برای فرهنگ‌سازی استفاده از آب به‌خصوص توسط کشاورزان و آشنایی آن‌ها با خطرات ناشی از افت سطح آب‌زیرزمینی (مانند نشست‌زمین، شور شدن آب‌زیرزمینی و ...) می‌تواند کمک شایانی به حفظ و در صورت امکان بهبود وضعیت کنونی آبخوان‌های دشت گرگان کند.

منابع

- آق اتابا، م. و تورانی، م.، ۱۳۹۷. لرزه‌زمین‌ساخت غرب استان گلستان، شرق ناحیه خزر جنوبی، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۱۲(۴۵)، ۸۵-۷۱.
- اکرامی، م.، شریفی، ذ.، ملکی‌نژاد، ح. و اختصاصی، م.ر.، ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان در دهه ۸۸-۱۳۷۹. نشریه طلوع بهداشت، ۱۰(۳۳)، ۹۱-۸۲.
- جهانشاهی‌نوکنده، ن. و کرمی، غ.، ۱۳۹۴.

شناسایی نقاط بحرانی آب‌زیرزمینی در آبخوان دشت‌گرگان و ارائه راهکارهای رفع این بحران. دومین کنفرانس بین‌المللی محیط‌زیست و منابع طبیعی، شیراز. ۶.

- چوبین، ب. و ملکیان، آ.، ۱۳۹۲. رابطه بین تغییر سطح آب‌زیرزمینی و روند شور شدن آن (بررسی موردی: دشت‌آسپاس-استان فارس). مجله مدیریت بیابان، ۱(۱)، ۱۳-۲۶.

- چوپانی، س. و دمی‌زاده، م.، ۱۳۹۳. بررسی پیامدهای ناشی از افت سطح آب‌زیرزمینی در دشت‌میناب. نخستین همایش منطقه‌ای دریا، توسعه و منابع آب مناطق‌ساحلی خلیج‌فارس.۲۰ اسفند، جهاد دانشگاهی هرمزگان، بندرعباس. ۱۱.

- حمیدی، ر.، صفری، ح. و روستایی، م.، ۱۴۰۰. بررسی عوامل ساختاری و غیرساختاری موثر بر فرونشست دشت گرگان-آق‌قلا-علی‌آباد با تلفیق نتایج روش تداخل‌سنجی تفاضلی راداری و اطلاعات زیرسطحی. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۱۵(۶۰)،۵۷-۴۳.

- روستائی، م.، روستائی، م.، زمانی، ب. و نعمتی، م.، ۱۳۹۴. بررسی وضعیت تنش نو زمین ساختی و ارائه مدل کینماتیکی در دشت‌گرگان، شمال خاوری ایران. نشریه علوم زمینی، ۲۵(۹۸)، ۳۸۴-۳۷۵.

- زارعی، ع. و بهرامی، م.، ۱۳۹۵. بررسی تغییرات کمی و کیفی آب‌زیرزمینی دشت‌فسا-فارس (سال‌های ۱۳۸۷ الی ۱۳۹۲). نشریه مهندسی آبیاری و آب، ۶(۴)، ۱۱۳-۱۰۳.

- شیرازی، ا.، ۱۳۹۵. آموزش جامع نرم‌افزار آماری Minitab 16. انتشارات نوروزی، ۳۰۵.

- صمدی، ر.، رضایی، ح. و بهمنش، ج.، ۱۳۹۴. بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت ارومیه). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۲(۴)، ۸۴-۶۷.

- قاسمی، م.، محمدخانی، ح. و یدالهی، ع.، ۱۳۸۶. چینه‌شناسی و زمین‌شناسی کواترنری دشت‌هیرکان (دشت‌گرگان). بیست و ششمین گردهمایی علوم‌زمین، وزارت صنایع و معادن تهران، ۶.

- قائدی، س. و آگاه، س.، ۱۳۹۷. ارزیابی تاثیر عوامل طبیعی و انسانی بر تراز آب‌های زیرزمینی شهرستان داراب. مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۷(۱۶)، ۱۶۰-۱۴۵.

- قره‌محمودلو، م.، جندقی، ن. و صیادی، م. ۱۳۹۹. تکامل هیدروشیمیایی و کاهش کیفیت آب رودخانه گرگانرود. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۵۵(۴۴)، ۱۴۵-۱۲۹.

- کاردان‌مقدم، ح. و بنی‌حبیب، ا.، ۱۳۹۶. بررسی اثرات زیست‌محیطی هجوم جبهه‌های آب‌شور به آبخوان‌های کویری (مطالعه موردی: استان خراسان‌جنوبی-آبخوان سرایان). نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۱(۳)، ۶۸۸-۶۷۳.

- عباسی‌مقدم، ح.ر.، ۱۳۹۷. اثر فیلتراسیون بستر رودخانه دوغ در کیفیت آب چاه فلمن کلاله. دانشگاه گنبدکاووس، پایان‌نامه ارشد. ۸۹ .

- عباس‌نژاد، ا. و شاهی‌دشت، ع.، ۱۳۹۲. بررسی آسیب‌پذیری دشت‌سیرجان با توجه به برداشت‌بی‌رویه از سفره آب‌زیرزمینی منطقه. فصلنامه جغرافیا و آمایش شهری-منطقه‌ای، ۷، ۹۶-۸۵.

- عربی‌جوانمرد، ز. و جعفری، ه.، ۱۳۹۵. بررسی نوسانات سطح‌ایستابی در آبخوان الشتر، بیستمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۱۶ تا ۱۸ شهریور ماه. دانشکده زمین‌شناسی دانشگاه تهران. تهران.

- مهری س.، آل شیخ، ع. ا. و جوادزاده، ز.ا.، ۱۳۹۴. بررسی روند تغییرات کیفی و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه. نشریه اکوهیدرولوژی، ۲(۴)، ۴۰۴-۳۹۵.

- نیک‌قوجق، ی.، ۱۳۹۵. گزارش بررسی وضعیت آبخوان‌های استان گلستان، شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گلستان. ۱۶.

- Al-Naim, A.A., 2014. Effect of excess pumping on groundwater salinity and water level in Hail region of Saudi Arabia. Research Journal of Environmental Toxicology, 8(3), 124-135.

- Bagheri, R., Nosrati, A., Jafari, H., Eggenkamp, H.G.M. and Mozafari, M., 2019. Overexploitation hazards and salinization risks in crucial declining aquifers, chemo-isotopic approaches. Journal of Hazardous Materials, 369, 150-163.

- Daneshvar Vousoughi, F., Dinpashoh, Y., Aalami, M.T. and Jhajharia, D., 2013. Trend analysisof groundwater using non-parametric

methods. Journal of Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 27(3), 547-559.

- Pophare, A.M., Lamsoge, B.R., Katpatal, Y.B. and Nawale, V.P., 2014. Impact of over-exploitation on groundwater quality: A case study from WR-2 Watershed, India. Journal of Earth System Science, 123(7), 1541-1566.

- Rainer, H., Zimmermann, I. and Fleige, H., 2017. Longtime effects of deep groundwater extraction management on water table levels in surface aquifers, Journal of soils and sediments, 17(1), 133-143.

- Sherif, M., Sefelnasr, A., Ebraheem, A.A., Al Mulla, M., Alzaabi, M. and Alghafli, K., 2021. Spatial and Temporal Changes of Groundwater Storage in the Quaternary Aquifer, UAE. Water, 13(6), 864.

- Torkamanitombeki, H., Rahnamarad, J. and Saadatkhah, N., 2018. Groundwater chemical indices changed due to water-level decline, Minab Plain, Iran. Environmental Earth Sciences, 77(7),1-10.

- Xiao, H., Tang, Y., Li, H., Zhang, L., Ngo-Duc, T., Chen, D. and Tang, Q., 2021. Saltwater intrusion into groundwater systems in the Mekong Delta and links to global change. Advances in Climate Change Research, 12(3), 342-352.