

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۲، پاییز ۱۳۹۶، صص ۱۱۱-۱۲۹

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۲۲ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۱۱

## بررسی تأثیر تغییرات میزان بارش و برداشت از آب‌های زیرزمینی بر تغییرات کمی و کیفی آب آبخوان (مطالعه‌ی موردی: دشت رفسنجان)

رضا قضاوی<sup>۱\*</sup>

مجید رضائی‌سربندی<sup>۲</sup>

### چکیده

افزایش جمعیت و افزایش نیاز آبی در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعتی، شرب و بهداشت باعث برداشت بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی در دشت‌ها شده است. هدف از انجام این مطالعه بررسی روند تغییرات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی و پهنه‌بندی این تغییرات در دشت رفسنجان است. برای انجام این مطالعه ابتدا آمار داده‌های سطح ایستابی در ۸۰ پیژومتر به صورت کمی و در ۵۰ چاه به صورت کیفی به عنوان چاه‌های منتخب تهیه شد. برای بررسی نوسانات سالیانه‌ی سطح آب زیرزمینی، هیدروگراف دشت تهیه شد و تأثیر بارش و میزان برداشت بر تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی در سال‌های مختلف از طریق رابطه‌ی همبستگی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای بررسی تغییرات کیفی، نقشه‌های کیفیت با روش ویلکوکس در ابتدا و انتهای دوره تهیه و مقایسه شد. بر اساس نتایج حاصل شده نقشه‌های کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی به روش میانبایی کریجینگ معمولی و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه شد. نتایج حاصل از این

۱- دانشیار و عضو هیئت علمی گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه کاشان، ایران.

۲- کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران (نویسنده مسئول).

E-mail: majid.ram79@yahoo.com

مطالعه نشان‌دهنده‌ی افت کیفیت و سطح آب‌های زیرزمینی منطقه است به طوری که متوسط افت سالانه سطح آب‌های زیر زمینی دشت حدود ۰/۸ متر در سال بوده است و این افت در طول دوره‌ی مورد مطالعه (۱۳۸۱-۱۳۹۱) روند افزایشی داشته است به طوری که متوسط افت سالانه در سال اول مطالعه از ۸/۹۹ درصد به ۹/۴۸ درصد در سال آخر رسیده است. براساس نتایج حاصل برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در اراضی کشاورزی عامل اصلی کاهش کیفیت و افزایش افت سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** بارندگی، خشکسالی، آب‌های زیرزمینی، سطح ایستابی، تغییرات کمی و کیفی.

#### مقدمه

آب‌های شیرین سطحی و زیرزمینی از منابع اساسی مورد نیاز بشر است ولی در بعضی مناطق، منابع آب‌های سطحی محدود بوده و یا به راحتی در دسترس قرار نیست. در این قبیل مناطق آب‌های زیرزمینی منبع اصلی آب مورد نیاز جوامع بشری است (شمسایی، ۱۳۸۱:۳۲۰). با افزایش جمعیت و رشد اقتصادی جوامع بشری، در بسیاری از مناطق برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی سبب افت شدید سطح و کیفیت آب‌های زیرزمینی شده است به طوری که آمار ارائه شده در منابع جهانی وضع دشوار روند افت سالانه کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی را نشان می‌دهد. کسری حجم مخزن آب زیرزمینی جهان، سالانه بین ۷۰۰-۸۰۰ میلیارد مترمکعب بوده که ۱ درصد آن متعلق به کشور ایران است (خسروشاهی، ۲۰۰۷: ۲۰). با توجه به ادامه این روند، آسیب‌رسانی به منابع آب در سال‌های آتی نیز ادامه خواهد داشت. آب زیرزمینی به دلیل استعداد آلودگی کمتر و همچنین ظرفیت ذخیره‌ی زیاد نسبت به آب‌های سطحی، به عنوان یک منبع مهم در منابع آب مورد

توجه است. رفع آلودگی آب زیرزمینی بسیار پرهزینه و فرآیندی طولانی است و بیش‌تر زمانی آلودگی تشخیص داده می‌شود که رفع آلودگی آب‌خوان تقریباً غیرممکن می‌گردد. بر اساس شرایط اقلیمی، جغرافیایی و توپوگرافی، بخش وسیعی از کشور ایران جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود و از ویژگی‌های این مناطق زیاد بودن میزان تبخیر و تعرق در مقابل ناچیز بودن مقدار بارندگی سالانه و در نتیجه عدم وجود جریان‌ات آب سطحی است، این مسئله موجب شده که منابع آب زیرزمینی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب مورد نیاز برای بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت از اهمیت زیادی برخوردار باشد. بخش کشاورزی با اختصاص سهم ۹۵ درصدی و برداشت بیش از ۸۰ درصد آن از منابع آب زیرزمینی نقش عمده‌ای در تغییرات کمی و کیفی آب‌خوان‌ها دارد (احمدی و صدق‌آمیز، ۲۰۰۷: ۲۷۵). یکی از راه‌کارهایی که امروزه در کشورهای پیشرفته برای حفاظت از سفره‌های آب زیرزمینی به کار می‌رود، جلوگیری و پیش‌گیری از آلوده شدن آب‌خوان‌ها می‌باشد (اکبری و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۲). در بررسی افت سطح آب‌های زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی بر روی دشت مشهد به این نتیجه رسیدند که به طور متوسط هر ساله ۶۰ سانتی‌متر سطح آب کاهش یافته است. از مهم‌ترین عوامل افت آب زیرزمینی در دشت مشهد به پدیده خشک‌سالی، برداشت بی‌رویه، ازدیاد جمعیت، افزایش سطح زیرکشت و تعداد زیاد چاه‌های برداشت اشاره شده است. (اکرامی و همکاران، ۱۳۹۰: ۸۶) در بررسی روند تغییرات کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان در دهه‌ی ۸۸-۱۳۷۹ به این نتیجه رسیدند که افت سطح آب حاکی از برداشت بی‌رویه و غیراصولی از آب‌های زیر زمینی است و همچنین خشک‌سالی‌های پی‌پی باعث تشدید آن می‌شود (رهنما و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۷). در بررسی وضعیت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت جوین استان خراسان رضوی با ترسیم نقشه‌های کیفی و هم افت، کاهش

شدید کیفیت آب این آبخوان را نشان داده‌اند (دولتی و همکاران، ۱۳۹۱). در بررسی اثرات توسعه شهر بر آبخوان زاهدان، نشان دادند افزایش شدید جمعیت شهر و گسترش سریع وسعت آن در طی ۸۰ سال گذشته باعث ایجاد تغییرات هیدروژئولوژیکی (کمی و کیفی) بارزی در آبخوان در محدوده‌ی شهر شده است. اثرات زیست محیطی توسعه شهر بر آبخوان زاهدان به صورت آلودگی آبخوان، بالآمدگی سطح آب و تغییر کیفیت آب زیرزمینی در داخل محدوده‌ی شهر قابل دسته‌بندی است (شیرانی و همکاران، ۱۳۹۲: ۹). در ارزیابی منابع آلودگی آب‌های زیرزمینی در محیط شهری در منطقه‌ی ۱۴ شهرداری تهران، که نتایج آزمون‌های آنیونی افزایش نیترات، سولفات و کلراید را در ایستگاه‌های جنوبی و غربی نشان داد که علت را می‌توان مرتبط با جهت شیب و همچنین بافت شنی منطقه دانست. (پیری و بامری، ۱۳۹۳: ۲۹) با بررسی روند تغییرات کمی سطح ایستابی منابع آب زیرزمینی دشت سرجان با استفاده از زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی نشان دادند که بهترین روش میانبایی کریجینگ معمولی بهترین روش برای برآورد عمق سطح ایستابی آب زیرزمینی می‌باشد و کاهش سطح آب در سفره‌های آب شیرین باعث تغییر جهت آب از سمت سفره‌های شور و کاهش کیفیت این سفره‌ها شده است. (ژو و دراک، ۲۰۰۴: ۲) با بررسی رخدادهای آب زیرزمینی در مناطق خشک غرب چین بیان داشتند که حرکت و وضعیت آب سفره در دوره‌های نوسان سطح آب زیرزمینی با زمان و مکان نشانگر وجود همزمان بهره‌برداری بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی همراه با وقایع هیدرولوژی آب در منطقه است، به طوری که این امر در افت کمی و کاهش پایداری کیفی آبخوان‌ها تأثیر بسزایی خواهد گذاشت (فتوانی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۳۷). در مقاله‌ای به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت آبی تریفا واقع در شمال شرق موریسکو پرداختند. این مقاله که بر روی کیفیت فیزیکی- شیمیایی و باکتریولوژی آب زیرزمینی دشت مذکور متمرکز شده

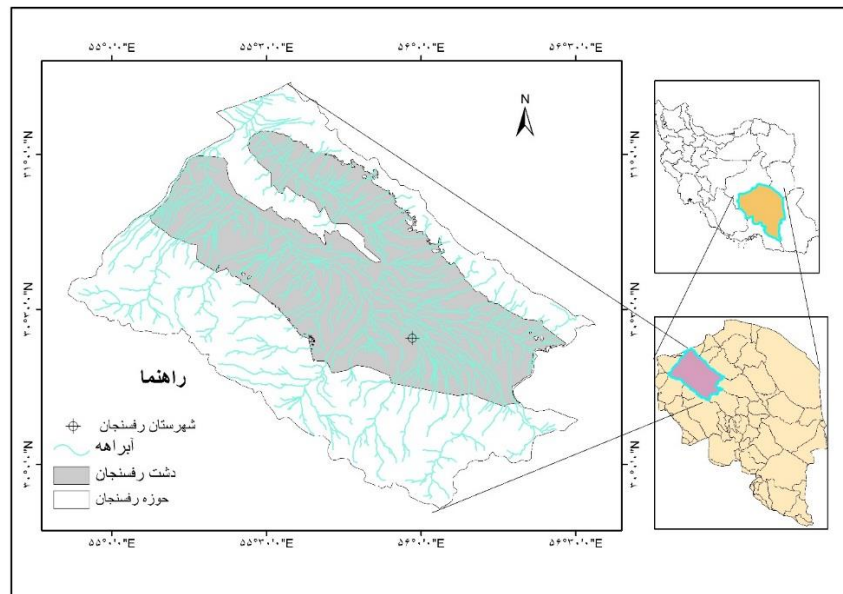
بود همبستگی بین بهره‌برداری از آن و وابستگی مکانی پارامترهای کیفی ثابت کرده بود که کیفیت آب در این نواحی بحرانی می‌باشد (اژدری و کاظمی، ۲۰۱۴: ۴۷۹). در بررسی تغییرات کمی در سطح آب‌های زیرزمینی و شیمایی در شاهرود، شمال شرقی ایران نشان دادند که روند افت سطح آب زیرزمینی با تغییرات بارندگی متوقف نشده و ضرورتاً منجر به تخریب کیفیت آب زیر زمینی نمی‌شود. افت سطح آب در محدوده‌ی تغذیه سفره شدیدتر است در حالی که افزایش شوری آب در انتهای خطوط جریان بیشتر بوده است.

در دشت رفسنجان، ۱۳۸۱ حلقه چاه بهره‌برداری وجود دارد که سالانه رقمی حدود ۶۰۲ میلیون مترمکعب آب از آبخوان آبرفتی این دشت تخلیه می‌گردد. همچنین تعداد قنوات موجود در محدوده‌ی دشت رفسنجان به ۱۵۰ رشته می‌رسد که مقدار تخلیه آن‌ها به ۷۰ میلیون مترمکعب می‌رسد (سازمان آب منطقه‌ای کرمان، ۱۳۹۰، ۵۸). با وجود این حجم تخلیه و عدم تغذیه‌ی آبخوان به علت وقوع خشکسالی‌های اخیر سطح آب در این دشت با افت شدید روبرو شده است همین مساله، لزوم مطالعه‌ی دقیق و علمی بیشتر و بهنگام جهت حفظ و احیای این منبع آب مهم را در این منطقه روشن می‌سازد. هدف از انجام تحقیق حاضر، تهیه نقشه‌های کمی و کیفی و هیدروگراف واحد آبخوان، بررسی روند تغییرات کیفی و کمی آب‌های زیرزمینی، بررسی نقش تغییرات میزان بارش و میزان برداشت بر تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی و شناسایی مناطق بحرانی از لحاظ افت سطح ایستابی و آلودگی آب، می‌باشد.

### منطقه‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی مطالعاتی دشت رفسنجان می‌باشد. این دشت با وسعت ۵۴۵۹/۳۶ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۰

دقیقه و عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۱۵ دقیقه در باند ارتفاعی ۱۲۳۹ متر تا ۳۴۲۱ متر بالاتر از سطح دریایی آزاد گسترده است. این منطقه بخشی از حوضه‌ی آبریز درانجیر- ساغند بوده، که جزء حوضه‌ی آبریز درجه ۱ فلات مرکزی ایران محسوب می‌گردد. اقلیم منطقه بر اساس شاخص دومارتن از نوع خشک و نیمه‌خشک است و میانگین بارندگی و تبخیر به ترتیب ۹۰ میلی‌متر و ۳۳۵۹/۱۲ میلی‌متر است.



شکل (۱) موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

در این پژوهش ابتدا با استفاده از نرم‌افزار GIS10.1، نقشه‌ی محدوده‌ی حوضه، نقشه‌های رقومی و پایه شامل توپوگرافی، شبکه‌ی زهکشی، چاه‌های پیژومتری، و نقشه‌های کیفیت و عمق آب زیرزمینی برای محدوده‌ی مورد مطالعه تهیه گردید. برای تعیین روند تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت رفسنجان ابتدا

داده‌های نوسان سطح ایستابی چاه‌های پیرومتری برای یک دوره‌ی ده ساله (۱۳۸۱-۱۳۹۱) بعد از همگن‌سازی و نرمال‌سازی وارد نرم‌افزار GIS، گردید و مراحل پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌های آب زیرزمینی در نرم‌افزارهای GIS، Excel انجام گردید. برای بررسی نوسانات سالیانه سطح آب زیرزمینی، هیدروگراف دشت تهیه شد و تأثیر بارش و میزان برداشت بر تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی در سال‌های مختلف از طریق رابطه‌ی همبستگی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین برای بررسی تغییرات کیفی، نقشه‌های کیفیت با روش ویلکوکس در ابتدا و انتهای دوره تهیه و مقایسه شد. نقشه‌ی پراکنش بارندگی حوضه‌ی رفسنجان با میانگین بارندگی سالانه ۷ ایستگاه (جدول ۱) در دوره‌ی زمانی ۳۰ ساله (۱۳۷۰-۱۳۹۰) و با استفاده از گرادیان بارندگی مستخرج شد و از رابطه‌ی همبستگی بارش ارتفاع به منظور بررسی تغییرات ارتفاعی بارش استفاده گردید (رابطه‌ی ۱).

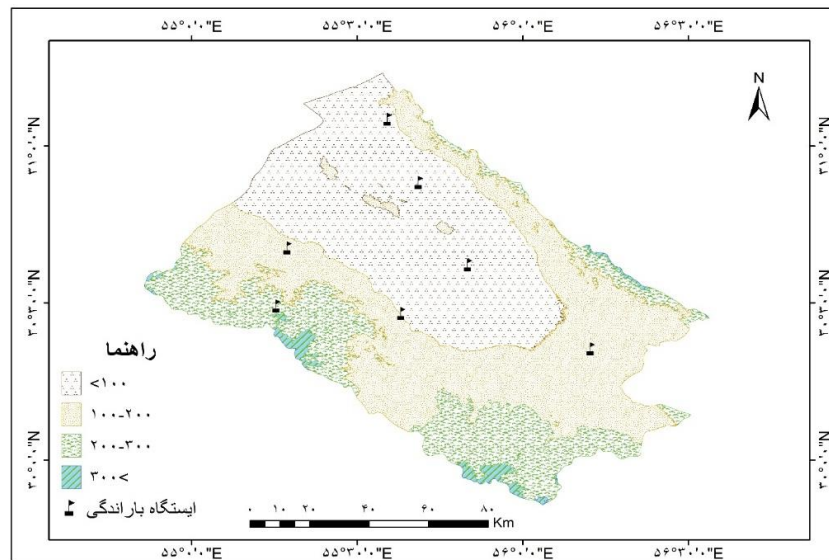
$$y = 0.1698x - 161.54 \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	میانگین بارندگی (میلی‌متر)	نوع ایستگاه
رفسنجان	۳۹۷۵۱۷	۶۶۳۸۲۵۴	۱۵۲۱	۱۰۷	سینوپتیک
راویز	۳۴۷۸۴۶	۶۶۳۹۵۲۰	۲۳۳۵	۲۸۷	بارانسنجی
کبوترخان	۴۳۷۴۸۷	۶۶۴۹۶۳۹	۱۳۲۵	۱۳۶	بارانسنجی
صادق‌آباد نوق	۳۸۹۹۲۵	۶۵۹۷۵۳۹	۱۴۳۵	۱۳۶	بارانسنجی
احمدآباد	۳۶۸۸۰۳	۳۳۷۱۲۹۱	۱۵۰۰	۹۳	بارانسنجی
علی‌آباد روکرد	۴۵۲۰۱۹	۶۶۲۵۷۰۲	۲۰۶۰	۱۹۱	بارانسنجی
بیاض	۳۴۹۹۳۵	۶۶۰۴۴۴۴	۱۴۶۵	۸۲	بارانسنجی

در رابطه‌ی (۱) X نشان‌دهنده‌ی ارتفاع به متر و Y نشان‌دهنده‌ی بارش به میلی‌متر می‌باشد. با توجه به شکل (۲) مشاهده می‌شود که بیشتر دشت رفسنجان از

میزان بارندگی کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر برخوردار است و بارندگی‌های بالاتر از ۲۰۰ میلی‌متر در ارتفاعات، که سطح بسیار کمتری نسبت به دشت دارد اتفاق می‌افتد.

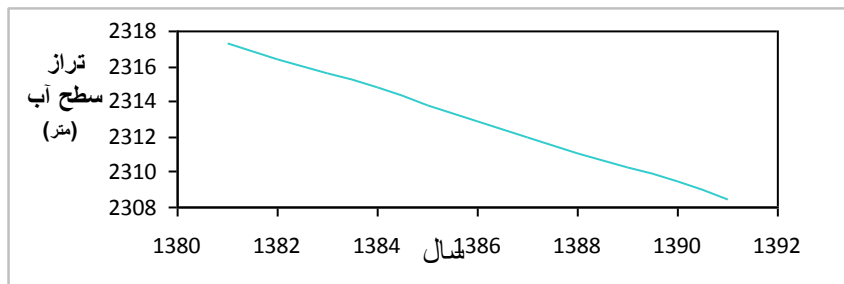


شکل (۲) پراکنش بارندگی حوضه‌ی رفسنجان

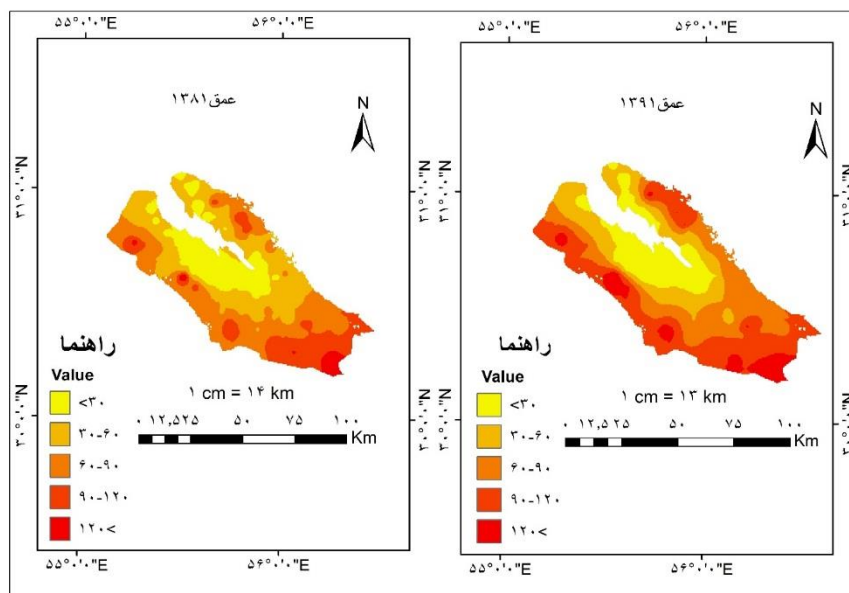
### بررسی تغییرات کمی

برای رسم هیدروگراف واحد دشت رفسنجان مقادیر سالانه‌ی عمق آب در ۸۰ چاه پیژومتر برای دوره‌ی زمانی ۱۰ ساله (۱۳۸۱-۱۳۹۱) محاسبه شد و در محیط ArcGIS10.1 مساحت اثر هر چاه به روش تیسن به دست آمد. از تفاضل متوسط ارتفاع دشت با میانگین وزنی عمق آب زیرزمینی مربوط به هر چاه، تراز سطح آب زیرزمینی دشت به دست آمد. با توجه به شکل (۳) در طی دوره‌ی زمانی ۱۰ ساله ۸ متر افت سطح آب وجود داشته است و این به این معنی است که به طور متوسط سالانه حدود ۰/۸ متر افت سطح آب در دشت وجود داشته است.





شکل (۳) هیدروگراف واحد دشت رفسنجان



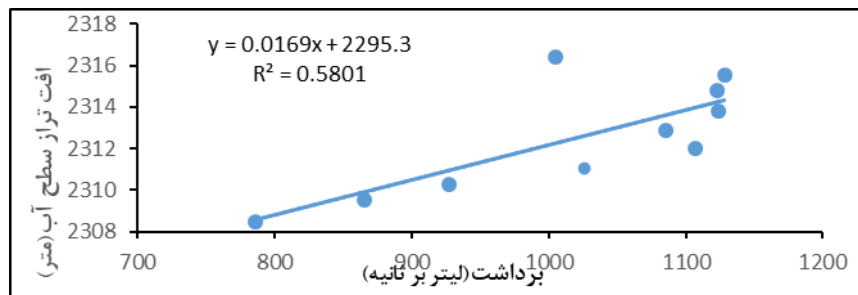
شکل (۴) مقایسه عمق سطح ایستابی در ابتدا و انتهای دوره‌ی مورد مطالعه

در مطالعات جغرافیایی برداشت اطلاعات اغلب به صورت نقطه‌ای انجام می‌شود. معمولاً ضرورت دارد اطلاعات حاصل از نمونه‌برداری نقطه‌ای به سطح تعمیم داده شود و به صورت نقشه‌هایی ارائه گردد که این امر به وسیله روش‌های درون‌یابی

انجام می‌گیرد و به وسیله‌ی سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی به صورت نقشه ارائه می‌شوند (علی‌اکبری و همکاران، ۱۳۸۹: ۴۹). در این پژوهش با توجه به محدودیت اطلاعات و زمان میزان تغییرات عمق در ۸۰ چاه که از نظر پراکنش در منطقه تأیید شده‌اند، مورد بررسی قرار گرفته که در اکثر موارد با افت سطح آب مواجه هستیم.

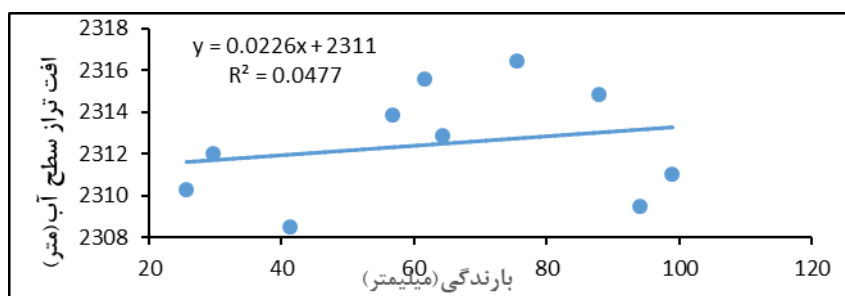
با مقایسه‌ی نقشه‌های عمق آب زیرزمینی در دو سال ۱۳۸۱ و ۱۳۹۱ (شکل ۴) مشاهده می‌شود که افت شدید سطح آب در دشت وجود دارد به طوری که مساحت مناطقی که ارتفاع آب بین ۳۰ تا ۹۰ متر بوده از ۸۱ درصد به ۶۸ درصد کاهش یافته و بیشترین افت مربوط به عمق ۶۰-۳۰ متر بوده است. در مقابل مساحت مربوط به مناطقی که ارتفاع آب بین ۱۲۰-۹۰ متر بوده است از ۶۸۳/۸ به ۹۹۹/۷ کیلومترمربع رسیده و همچنین مساحت مربوط به عمق بیشتر از ۱۲۰ متر ۵/۳ درصد افزایش داشته است.

بر اساس نتایج حاصل از بررسی رابطه‌ی بین میانگین حجم برداشت سالانه از آب‌های زیرزمینی و تغییرات تراز سطح آب در یک دوره‌ی ۱۰ ساله (۱۳۸۱-۱۳۹۱) همبستگی معنی‌داری ( $R^2=0.6$ ) را بین این دو نشان می‌دهد (شکل ۵). این در حالی است که رابطه‌ی معنی‌داری بین میانگین بارندگی و تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی در دوره‌ی ده ساله مشاهده نشد (شکل ۶).



شکل (۵) همبستگی بین میزان برداشت و تراز سطح آب زیرزمینی

برای بررسی اثرگذاری میزان بارندگی بر روی سطح تراز آب زیرزمینی میانگین سالانه این دو پارامتر در دوره‌ی ده ساله محاسبه و بین میزان بارندگی و تراز سطح آب همبستگی گرفته شد (شکل ۶).



شکل (۶) همبستگی بین میزان بارندگی و تراز سطح آبی زیرزمینی

نتایج شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهد که تأثیر میزان برداشت بر روی افت تراز سطح آب زیرزمینی دشت رفسنجان با همبستگی ۰/۵۸ بیشتر از تأثیر میزان بارندگی با همبستگی ۰/۰۴ بوده است.

### بررسی تغییرات کیفی

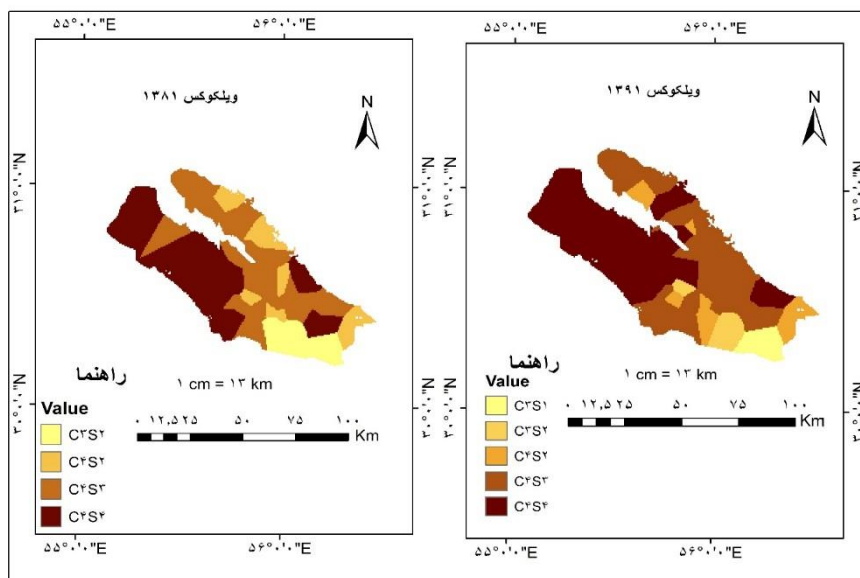
در این مطالعه برای بررسی کیفی آب از طبقه‌بندی ویلکوکس استفاده شد. این طبقه‌بندی در سال ۱۹۴۸ توسط ویلکوکس ارائه گردید و سه سال بعد توسط نورن تکمیل شد و امروزه روشی متداول در طبقه‌بندی آب‌ها از نظر کشاورزی است. در این طبقه‌بندی از دو عامل هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم SAR استفاده می‌شود و هریک از آنها به چهار قسمت تقسیم می‌شوند که در نهایت تشکیل شانزده کلاس کیفیت را می‌دهند (مهدوی، ۱۳۹۰). با توجه به جدول (۲)، در یک دوره‌ی ۱۰ ساله چاه‌های که در کلاس کیفیت C3S2 و C4S2 قرار داشته‌اند به ترتیب با ۲ و ۴ درصد کاهش روبرو بوده‌اند و در مقابل تعداد چاه‌های واقع در کلاس

C4S4 از ۳۳ درصد به ۳۸ درصد افزایش یافته‌اند. این در حالی است که ۳۹/۵ درصد بهره‌برداری مربوط به این کیفیت آب در سال ۱۳۹۱ است. همچنین دبی تجمعی مربوط به همه‌ی کلاس‌ها با کاهش روبرو بوده که خود نشانگر کاهش آب زیرزمینی می‌باشد و بیشترین کاهش مربوط به کلاس C4S2 از ۲۵۷ به ۱۴۲ و C4S3 که از ۶۱۰ به ۴۶۹ لیتر بر ثانیه رسیده است. البته کاهش تعداد چاه‌ها در هر کلاس کیفیت بر این کاهش دبی تأثیرگذار بوده است.

جدول (۲) کلاس کیفیت و میزان دبی چاه‌های بهره‌برداری

کلاس کیفیت	تعداد چاه‌های بهره‌برداری ۱۳۸۱	دبی تجمعی (لیتر بر ثانیه)	تعداد چاه‌های بهره‌برداری ۱۳۹۱	دبی تجمعی (لیتر بر ثانیه)
C3S1	-	-	۱	۹
C3S2	۳	۵۶	۳	۴۳
C4S2	۱۲	۲۵۷	۹	۱۴۲
C4S3	۳۲	۶۱۰	۲۹	۴۶۹
C4S4	۴۸	۸۷۶	۴۸	۷۷۴

برای تهیه‌ی نقشه‌ی طبقه‌بندی کیفی آب زیرزمینی دشت رفسنجان به روش ویلکوکس ابتدا برای تهیه‌ی پایگاه داده، داده‌های کیفی مربوط به ۵۰ چاه از نظر آماری مورد بررسی قرار گرفت و درستی داده‌ها در محیط Excel بررسی شد. سپس با استفاده از نمودار ویلکوکس کیفیت هر چاه از نظر کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت و با نرم‌افزار GIS10.1 نقشه‌های مورد نظر برای دو سال ۱۳۸۱ و ۱۳۹۱ تولید شد (شکل ۷).



شکل (۷) مقایسه کیفیت آب زیرزمینی در ابتدا و انتهای دوره‌ی مورد مطالعه

با توجه به نقشه‌های به دست آمده از کیفیت آب در دو سال ۱۳۸۱ و ۱۳۹۱ و جدول (۳) مشاهده می‌شود که در کلاس‌های C3S2 و C4S2 به ترتیب ۶ و ۱/۴ درصد با کاهش مساحت و در C4S4، ۴/۵ درصد افزایش مساحت مواجه شده است. همچنین در بررسی چاه‌های پیزومتری سطحی (کمتر از ۳۰ متر عمق)، مشاهده شد که از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۱ چیزی حدود ۱۵/۵ درصد از این چاه‌ها به دلیل افت سطح آب در این مناطق خشک شده‌اند. در چاه‌های پیزومتری عمیق (۲۰۰-۳۱۰ m)، در این دوره‌ی ۱۰ ساله کلاس کیفیت C3S2، ۸/۵ درصد کاهش داشته و در مقابل کلاس کیفیت C4S4 از ۳۴ درصد به ۴۴ درصد افزایش رسیده است که این مسئله خود نشان‌دهنده‌ی تأثیر افزایش عمق بر کیفیت آب در برخی نقاط مانند شمال غرب دشت است.

جدول (۳) مساحت طبقات کیفیت آب

کلاس کیفیت	سال ۸۱		سال ۹۱	
	مساحت km2	مساحت %	مساحت km2	مساحت %
C3S1	-	-	۲۰۱/۳۳	۴/۹۱
C3S2	۴۸۹/۲۱	۱۱/۹۳	۲۳۷/۸۷	۵/۸۰
C4S2	۴۰۷/۷۷	۹/۹۴	۳۵۰/۷۷	۸/۵۵
C4S3	۱۶۶۷/۵۸	۴۰/۶۶	۱۵۹۱/۷۷	۳۸/۸۱
C4S4	۱۵۳۷/۰۴	۳۷/۴۷	۱۷۱۹/۸۵	۴۱/۹۳

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه تغییرات سطح و کیفیت آب‌های زیرزمینی در طول دوره‌ی آماری ده ساله (۱۳۸۱-۱۳۹۱) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد مطالعه قرار گرفت. از نظر تغییرات سطح آب‌هایی زیرزمینی، نتایج بررسی‌های انجام شده در این دشت، متوسط افت سالانه سطح آب زیرزمینی ۰/۸ متر در سال بوده است (شکل ۲). نتایج حاصل از بررسی تغییرات مکانی سطح آب‌های زیرزمینی در طول دوره حاکی از افزایش ۱۳ درصدی در مساحت مربوط به عمق‌های بالای ۹۰ متر می‌باشد. همچنین به علت افت سطح آب‌های زیرزمینی تعدادی از چاه‌های سطحی با عمق کمتر از ۳۰ متر خشک شده‌اند و تعداد چاه‌های سطحی (۰-۳۰) از ۲۶ به ۲۱ عدد کاهش داشته و خشک شده‌اند که این میزان افت به جزء تأثیر خشکسالی می‌تواند متأثر از برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی (حدود ۶۷۲ میلیون متر مکعب در سال) باشد (سازمان آب منطقه‌ای کرمان، ۱۳۹۰). همچنین نتایج نشانگر همبستگی معنی‌داری بین افت تراز سطح آب با میانگین برداشت سالانه از منابع آب زیرزمینی می‌باشد (شکل ۵) در حالی که رابطه بین افت تراز سطح آب زیرزمینی با میزان بارندگی از همبستگی کمتری برخوردار می‌باشد (شکل ۶). البته

باید توجه داشت که تأثیر بارش بر تغییرات سطح آب‌های زیر زمینی می‌تواند با یک تاخیر زمانی نمایان شود و برای بررسی رابطه‌ی بین بارش و تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی بایستی این موضوع مورد توجه قرار گیرد ولی نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که برداشت بی‌رویه از آب‌های زیر زمینی در طولانی مدت و به طور میانگین تأثیر معنی‌دارتری بر کمیت و کیفیت آبخوان داشته است و خشک‌سالی‌های پیاپی نیز باعث بحرانی شدن شرایط دشت رفسنجان شده است. نتایج این مطالعه با یافته‌های گزارش ممنوعیت دشت رفسنجان توسط سازمان آب منطقه‌ای استان کرمان (۱۳۹۰)، نتایج اکرامی و همکاران در دشت یزد-اردکان (۱۳۹۰) و بررسی اکبری و همکاران بر روی دشت مشهد (۱۳۸۸) مطابقت دارد.

در بررسی تغییرات کیفی دشت، در کلاس کیفیت C3S2، مساحت از ۴۸۹/۲۱ به ۲۳۷/۸۷ کیلومترمربع کاهش یافته و در مقابل در کلاس C4S4 با افزایش ۴/۵ درصدی مساحت روبرو بوده‌ایم. گسترش کاهش کیفیت آب در سطح دشت به دلیل افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری و افزایش بیلان منفی آب دشت به دلیل خشک‌سالی‌های پی‌درپی بوده است. نتایج این بررسی با یافته‌های رهنما و همکاران در دشت جوین خراسان رضوی (۱۳۹۱)، ژوو و دراک (۲۰۰۴) و فتاوانی و همکاران (۲۰۰۸)؛ بر روی دشت تریفا در شمال شرق موروسکو مطابقت دارد. با توجه به اینکه دشت رفسنجان جزء بحرانی‌ترین دشت‌های کشور قرار دارد و تنها منابع آب دائمی مورد استفاده آب‌های زیرزمینی می‌باشند در صورت ادامه روند برداشت بیش از اندازه و غیراصولی و افزایش سطح زیرکشت با انفاقی فراتر از بحران مواجه خواهد شد. در نتیجه برای کاهش روند نزولی کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی در این دشت باید راه‌کارهای مدیریتی قوی‌تر و متناسب با شرایط اتخاذ شود که از جمله می‌توان به جلوگیری از کاشت زمین‌های جدید، پیگیری و نظارت بر میزان برداشت

چاه‌های بهره‌برداری به اندازه‌ی پروانه بهره‌برداری هر چاه، جلوگیری از چاه‌های غیرمجاز و مهم‌تر از همه تغییر اساسی در روش آبیاری در منطقه و استفاده از روش‌های نوین آبیاری بجای روش‌های سنتی و غرقابی اشاره کرد.



## منابع

- افضل‌ی، اتیکه و کاکا شاهدی (۱۳۹۳)، بررسی روند تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت آمل-بابل، پژوهشنامه‌ی مدیریت حوضه‌ی آبخیز، سال پنجم، شماره ۱۰، ص ۱۴۴-۱۵۴.
- اکبری، مرتضی؛ جرگه، محمدرضا و حمید مدنی سادات (۱۳۸۸) بررسی افت سطح آب-های زیرزمینی، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در آبخوان دشت مشهد، مجله‌ی پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، شماره‌ی ۴، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ص ۶۳-۷۸.
- اکرامی، محمد؛ شریفی، ذبیح‌الله؛ ملکی‌نژاد، حسین و محمدرضا اختصاصی (۱۳۹۰)، بررسی روند تغییرات کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان در دهه‌ی ۸۸-۱۳۷۹، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی، سال دهم، شماره‌ی ۲ و ۳، دانشکده‌ی بهداشت یزد، ص ۸۱-۸۲.
- پیری، حلیمه و ابوالفضل بامری (۱۳۹۳)، بررسی روند تغییرات کمی سطح ایستابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه‌ی موردی دشت سیرجان)، سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال پنجم، شماره‌ی ۱، ص ۲۹.
- جهانشاهی، افشین؛ روحی‌مقدم، عین‌اله و عبدالحمید دهواری (۱۳۹۳)، ارزیابی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از GIS و زمین آمار (مطالعه‌ی موردی: آبخوان دشت شهربابک)، نشریه‌ی دانش آب و خاک، جلد ۲۴ شماره ۲، ص ۱۸۳-۱۹۷.
- خبری، زهرا؛ نژادکورکی، فرهاد و حمید سودائی‌زاده (۱۳۹۴)، ارتباط پارامترهای وکتوری کاربری اراضی و کیفیت آب رودخانه با استفاده از سیستم اطلاعات

- جغرافیایی مطالعه‌ی موردی رودخانه‌ی زاینده رود، سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال ششم، شماره ۱، ص ۷۹.
- دولتی، جواد؛ لشکری پور، و محمد غفوری (۱۳۹۱)، بررسی اثرات توسعه شهر بر آبخوان زاهدان، هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی و مهندسی و محیط زیست ایران.
- دیانتی تیلکی، رضانعلی و زهرا عمرانی (۱۳۹۲)، بررسی روند تغییرات هدایت الکتریکی و سختی در آب‌های زیرزمینی دشت گرگان در سال‌های ۹۰-۱۳۸۰، شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران-مهر ۱۳۹۲، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تبریز.
- رهنما، هادی؛ قنبر پور، محمدرضا؛ حبیب‌نژادروشن، محمود و ابوالقاسم دادرسی سبزواری (۱۳۹۱) بررسی وضعیت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت جویین، مجله جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، سال دوم شماره ۳، ص ۳۱-۴۶.
- سازمان آب منطقه‌ای استان کرمان (۱۳۹۰)، گزارش ممنوعیت دشت رفسنجان، ص ۱۰۳.
- شمسایی، ابوالفضل (۱۳۸۱)، هیدرولیک جریان آب در محیط متخلخل، بخش هیدروگراف واحد سفره‌های آب زیرزمینی، (جلد دوم) مهندسی آب‌های زیرزمینی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ص ۵۶۰.
- شیرانی، زهرا؛ عباس پور، مجید؛ جاوید، امیرحسین و لعبت تقوی (۱۳۹۲)، ارزیابی منابع آلودگی آب‌های زیرزمینی در محیط شهری در منطقه‌ی ۱۴ شهرداری تهران، فصلنامه‌ی انسان و محیط زیست، شماره ۲۴، ص ۱-۱۶.
- طباطبایی فر، سیدمهرداد؛ زهتابیان، غلامرضا؛ رحیمی، محمد؛ خسروی حسن و شیما نیکو (۱۳۹۲)، بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی در دشت گرمسار، مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان، سال سوم، شماره ۴، ص ۹۱-۱۰۲.

- علی‌اکبری، محسن، سعادت‌فر، امیر و حسین شجاعی (۱۳۸۹)، بررسی روش‌های مختلف میان‌یابی برای تولید نقشه‌ی منیزیم خاک در منطقه‌ی خاک بردسیر، سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال اول، شماره‌ی ۱، ص ۴۹.
- محمدی قلعه‌نی، مهدی؛ ابراهیمی، کیومرث و شهاب عراقی‌نژاد (۱۳۹۰)، ارزیابی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی (مطالعه‌ی موردی: آبخوان‌های ساوه و اراک)، مجله‌ی آب و دانش، جلد ۲۱، شماره‌ی ۲، ص ۹۳-۱۰۸.
- Ahmadi, SH., A, Sedghamiz (2007), **Geostatistical analysis of spatial and temporal variations of groundwater level**, Environ Monit Assess, Vol. 129, PP. 277-294.
- Ajdary, k , kazemi, G, (2014), **Quantifying changes in groundwater level and chemistry in Shahrood, northeastern Iran**, Hydrogeology Journal , Vol. 22, Issue 2, PP. 469-480.
- Fetouani, M., M, Sbaa, B., Vanclooster (2008), **Assessing ground water quality in the irrigated plain of Triffa (northeast Morocco)**, Agricultural Water Management, Vol. 95, PP.133-142.
- Kardavani, P. (2001), **The Drought and Contrasting Styles with that in Iran**, Tehran Univ. Press, P.391 (In Persian).
- Khosroshahi, M. (2007), **Important Indices of desertification as sight of water and introduce related research bases, Jangalvamartha seasonal magazine**, Forest, Range and Watershed Organization, Vol. 74, PP.18-22.
- Zhu, Y., Drake, S. (2004), **A Survey: Obstacles and Strategies for the development of Ground- Water Resources in arid inland river basins of western china**, Journal of Arid Environments, Vol. 59, P.2.