

بررسی تغییرات زمانی و مکانی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی در فصول تغذیه و تخلیه (مطالعه موردی: حوزه ازنایلیگودرز)

فاطمه غلامی^۱، آرش ملکیان^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۱۱

چکیده

افزایش جمعیت و نیاز مبرم افراد به مواد غذایی، سبب توسعه زمین‌های زراعی و به تبع آن فشار بر سفره‌های زیرزمینی و در نتیجه تنزل شدید کمیت و کیفیت آب شده است. در پژوهش حاضر، تغییرات سطح آب زیرزمینی در دو فصل تغذیه و تخلیه، تغییرات خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب، تعیین مکانیسم‌های حاکم بر کیفیت آب، تعیین تیپ و رخساره‌های هیدروشیمیایی ارزیابی شد و مهم‌ترین پارامترها برای مصارف کشاورزی توسط طبقه‌بندی ویل کاکس و فائو در حوزه ازنایلیگودرز واقع در استان لرستان تحلیل گردید. یافته‌های به‌دست‌آمده نشان داد سطح آب زیرزمینی در سال‌های آبی (۱۳۸۳-۱۳۹۱) ۱/۳۳ متر تنزل یافته که بیشتر ضلع جنوبی غربی سفره‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار داده و اصلی‌ترین عامل آن برداشت بی‌رویه از آب به‌منظور مصارف مختلف است. همچنین بر اساس نتایج خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب، غلظت اکثر پارامترها در سال‌های (۱۳۸۳-۱۳۹۳)، تغییراتی افزایشی در پیش داشته که در این بین تغییرات پارامتر TDS، بی‌کربنات، کلسیم و منیزیم محسوس‌تر بوده است. بر مبنای دیاگرام‌های هیدروشیمی، به‌ترتیب مشخص شد اصلی‌ترین تیپ آب تیپ بی‌کربنات و رخساره کلسیک، و کیفیت آب از نظر کشاورزی در محدوده SIC2 قرار دارد. نمودار گیبس نیز تعاملات بین سنگ و آب و هوازدگی کانی‌ها را عمده‌ترین عامل تعیین‌کننده مکانیسم کیفیت آب بیان می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تغییرات سطح آب، تیپ بی‌کربنات، دیاگرام هیدروشیمی، طبقه‌بندی کالیفرنیا، نمودار گیبس.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، نویسنده مسئول؛ malekian@ut.ac.ir

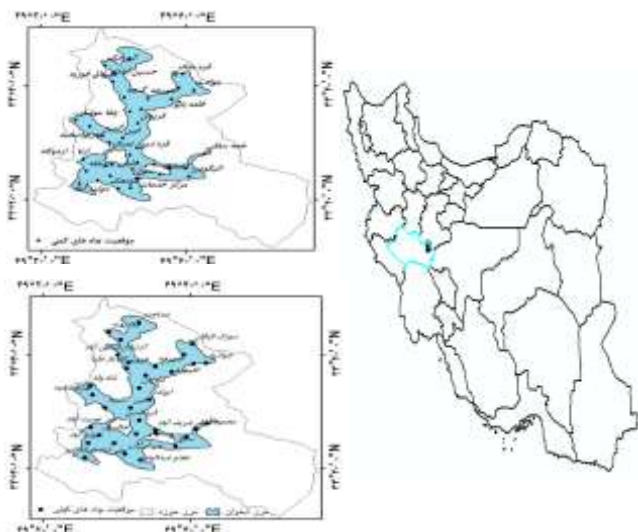
مقدمه

آب اصلی‌ترین عامل حیات بشر و مهم‌ترین فاکتور در امر پیدایش و سکونت و توسعه جوامع است (ناس و هلن، ۲۰۱۳). در بسیاری از کشورها به‌خصوص کشورهای جهان سوم که متوسط بارش سالانه کفایت نیاز آبی را نمی‌دهد، حصول آب مطلوب از سفره‌های زیرزمینی به‌منظور مصارف کشاورزی و شرب و صنعت متداول شده است؛ این در حالی است که در بسیاری از موارد به حفظ کیفی آن توجه چندانی نشده است و سبب شده بحران آب در جهان به‌عنوان یک معضل اساسی مطرح شود (سلگی و شیخزاده، ۲۰۱۶). کیفیت آب زیرزمینی از جمله مهم‌ترین عوامل در حفظ پایداری سفره‌های زیرزمینی است. پایداری منابع زیرزمینی به‌معنای برداشت و استفاده از این آب‌هاست؛ به‌نحوی که آسیب‌پذیری‌های کمی و کیفی و اکوسیستم اطراف را به دنبال نداشته باشد. همچنین یکی از مهم‌ترین روش‌های ارزیابی آن بررسی مشخصه‌های کمی و کیفی آب است (صادقی و همکاران، ۲۰۱۴). از جمله پیامدهای کاهش کیفیت منابع آبی، تأثیر بر جزء زنده و غیرزنده اکوسیستم است که می‌تواند پدیده ناگوار بیابان‌زایی و تخریب سرزمین را به دنبال داشته باشد (صالحی و حق‌زاده، ۲۰۱۵). بنابراین توجه به کمیت و اصلاح کیفیت آب‌ها و کنترل و کاهش آلاینده‌های آن از مسائل ضروری است که باید در دستور کار قرار بگیرد. روش‌های متعددی در زمینه مطالعه تغییرات مکانی و زمانی آب‌های زیرزمینی وجود دارد. استفاده از تکنیک زمین‌آمار به‌لحاظ قادر بودن به نمایش این تغییرات، به‌عنوان بهترین روش ارزیابی مطرح است (یاراحمدی و همکاران، ۲۰۱۵) در دشت ازنا-الیگودرز، (نخعی‌نژادفر و همکاران، ۲۰۱۷) در دشت سرایان استان خراسان جنوبی (صمدی، ۲۰۱۷) در شهر کاشان (تراپی‌پوده و همه‌زاده، ۲۰۱۸) در حوزه آبخیز کشکان از این تکنیک برای ارزیابی تغییرات سطح آب سفره‌های زیرزمینی استفاده کردند. همچنین تحقیقات بسیاری در داخل و خارج از کشور در زمینه آلودگی و تغییر کیفیت آب‌ها انجام شده است (آلا، ۲۰۱۴). نیو^۵ و همکاران (۲۰۱۷) وضعیت کیفی آبخوان

دلتای مصر را برای شناسایی پارامترهای موثر در آلودگی آبخوان مطالعه کردند. نتایج آن‌ها به این صورت بود که مناطق مشرف به دریا به‌سبب نفوذ جبهه آب شور، شوری فراوانی داشته و بیشترین آلاینده‌های صنعتی در نواحی‌ای بود که زهکش‌ها موجود نبوده‌اند. با ارزیابی و تعیین منابع آلوده‌کننده آبخوان دشت جیانگان در کشور چین، به این نتیجه رسیدند که مقادیر pH و یون‌های NO₃-N و Cl در اکثر چاه‌ها روند رو به افزایش داشته است. افزایش پارامتر اسیدیته به‌دلیل خروج گاز دی‌اکسیدکربن در نتیجه برداشت بی‌رویه از ذخایر زیرزمینی و افزایش دو پارامتر دیگر به‌دلیل نفوذ مواد شیمیایی صنعتی در آبخوان بوده است. محمدی و سلاجقه (۲۰۱۷) تغییرات زمانی و مکانی آب زیرزمینی دشت کرمان را از نقطه‌نظر پارامترهای هدایت هیدرولیکی و کلر با بهره‌گیری از بهترین تکنیک زمین‌آمار بررسی کردند؛ یافته‌ها نشان‌دهنده افزایش این دو پارامتر در نواحی شمالی و غربی دشت است. شریف‌آباد و همکاران (۲۰۱۷) به مطالعه تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت یزد اردکان از نظر شرب و کشاورزی مطابق با طبقه‌بندی‌های شولر و ویل‌کاکس پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند به‌جز مناطق شمالی، بقیه مناطق از لحاظ شرب خوب و قابل قبول است و بیشترین میزان آلودگی مربوط به مناطق شمالی و شرقی بوده که علت آن گسترش نواحی شهری و افزایش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی است. برخوردار و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت جیرفت پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد در مکان‌هایی که کشاورزی گسترش یافته، کیفیت آب زیرزمینی نیز تنزل یافته است. در سال ۱۳۸۳ بخش‌های جنوبی آبخوان دشت جیرفت از کیفیت پایینی برخوردار بوده که با مرور زمان و در سال ۱۳۹۳، این کاهش کیفیت قسمت‌هایی از مناطق شمالی را در بر گرفته است. با مطالعه پیشینه پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه ذخایر آب زیرزمینی مشاهده شد که محققان بسیاری ویژگی‌های کمی و کیفی آب را در مقیاس سالانه برای دوره‌های آماری متفاوت مورد ارزیابی قرار داده‌اند و تاکنون به مطالعاتی جامع که کمیت و کیفیت آب را در فصل تغذیه سفره‌های زیرزمینی و فصل برداشت از آن بررسی کند، کمتر پرداخته شده

3. Nath and Helen
4. Alaa
5. Niu

استان به همراه پراکنش چاه‌های مورد مطالعه نمایش داده شده است.



شکل (۱): پراکنش چاه‌های دارای اطلاعات کمی و کیفی در حوزه ازنا-الیگودرز

Figure (1): Location and distribution of wells with quantitative and qualitative data in the Azna-Aligudarz region

زمین‌شناسی حوزه ازنا-الیگودرز

از نظر زمین‌شناسی، منطقه جنوب غربی حوزه ازنا-الیگودرز در ناحیه خردشده زاگرس و منطقه شمال شرقی آن در ناحیه سنگ‌های دگرگون‌شده زون سنندج-سیرجان واقع شده است که دو ناحیه به واسطه دشت‌های ازنا، الیگودرز و دورود از یکدیگر تفکیک شده‌اند. شکل (۲) نقشه زمین‌شناسی حوزه مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.



شکل (۲): نقشه زمین‌شناسی حوزه ازنا-الیگودرز

Figure (2): Geology Map of the Azna-Oligudarz Basin

است. به همین سبب در مقاله حاضر تغییرات زمانی و مکانی سطح ایستایی حوزه ازنا-الیگودرز و نوسانات خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی به تفکیک فصول تغذیه و تخلیه مورد مطالعه قرار گرفت. شایان ذکر است حوزه ازنا-الیگودرز به واسطه وجود بارش‌ها و رودخانه‌های دائمی بسیار، از جمله بهترین منابع آب سطحی و زیرزمینی در استان لرستان است که تأمین‌کننده آب مصرفی بسیاری از روستاها و شهرستان‌های اطراف بوده و نقش حائز اهمیتی در توسعه کشاورزی منطقه محلی دارد. لذا توجه به کمیت و همچنین کیفیت آب‌های این حوزه، به خصوص سفره‌های زیرزمینی، از جمله مسائل مهمی است که لازم است مورد توجه بسیار قرار گیرد. بنابراین با توجه به اهمیت آب زیرزمینی در حوزه ازنا-الیگودرز تلاش شد ویژگی‌های کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی آن مورد تحلیل قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه ازنا-الیگودرز با وسعتی معادل $2116/8$ کیلومتر مربع در ناحیه غرب ایران و در شرق استان لرستان بین عرض جغرافیایی 24 درجه و 33 دقیقه عرض شمالی و طول 42 درجه و 49 دقیقه شرقی واقع است. حوزه با مقدار بارش سالیانه 550 میلی‌متر و با ارتفاعی حدود 2100 متر از سطح دریا جزء نقاط مرتفع ایران به شمار می‌آید و به سبب همجواری با رشته‌کوه مرتفع اشترانکوه، از وزش بادهای سرد و همیشگی و یخبندان بی‌نصیب نیست؛ به نحوی که مقدار درجه‌حرارت مینیمم سردترین ماه سال آن زیر صفر بوده و تا -30 درجه سانتی‌گراد نیز ادامه می‌یابد. ارتفاعات و رشته‌کوه‌ها حاشیه حوزه را در بر گرفته‌اند و بخش اعظم نواحی مرکزی و غربی حوزه، دشت ازنا-الیگودرز را تشکیل داده است و سفره‌های زیرزمینی عمیق بیشتر در این ناحیه گسترش یافته‌اند. نوع سفره‌های موجود در دشت ازنا-الیگودرز به صورت آزاد یا نیمه تحت فشار است که مساحتی بالغ بر $570/2$ کیلومتر مربع از حوزه را شامل شده است. تعداد 58 حلقه چاه در محدوده آبخوان ازنا-الیگودرز حفر شده‌اند که 48 حلقه آن مورد بهره‌برداری و مابقی به صورت رها شده می‌باشند. در شکل (۱) موقعیت منطقه در کشور و

روش پژوهش

در گام نخست با توجه به اهداف و مطالعه پیشینه تحقیق، پس از جمع آوری بانک اطلاعات منابع آب زیرزمینی حوزه ازنای الیگودرز، از داده‌های خام کمی ۳۸ حلقه چاه و آمار کیفی ۳۴ حلقه چاه پیرومتری استفاده شد. در گام دوم، به منظور مطالعه دقیق‌تر، تغییرات زمانی مکانی سطح ایستایی، در دو فصل تغذیه و برداشت از سفره‌های زیرزمینی (اردیبهشت و شهریورماه) در دوره ۸ ساله (۱۳۸۳-۱۳۹۱) مورد پایش قرار گرفت و نمودارهای مرتبط با میزان برداشت از آب در مقیاس سالانه ترسیم شد. در سومین گام با توجه به توصیه‌های موجود برای مصارف کشاورزی، سعی شد مهم‌ترین خصوصیات فیزیکوشیمیایی در روش‌های فائو (پارامترهایی چون هدایت هیدرولیکی EC، نسبت جذب سدیم SAR، اسیدیته آب pH و

کل مواد جامد TDS) و روش ویل کاکس (EC، SAR) در سال‌های آبی (۱۳۸۳-۱۳۹۳) ارزیابی شود؛ که تغییرات آن توسط نرم‌افزار ArcGIS10.3 با بهترین روش‌های درون‌یابی نشان داده شد. در گام آخر، به ارائه نقشه گیس به منظور تعیین مکانیسم حاکم بر آبخوان، و نمودارهای گرافیکی ویل کاکس و پایپر توسط نرم‌افزار Chemistry اقدام گردید.

طبقه‌بندی آزمایشگاه شوری امریکا (ویل کاکس): در

این طبقه‌بندی، کیفیت آب آبیاری، ارتباط نزدیکی با مجموع و نوع یون‌های موجود در آب، مقدار شوری و نسبت بین آن‌ها دارد. طبقه‌بندی به این صورت است که کیفیت آب آبیاری تحت تأثیر دو عامل نسبت جذب سدیم و شوری بررسی شده که بر اساس آن دیاگرام ویل کاکس در ۱۶ رده کیفی (جدول ۱) بیان می‌شود.

جدول (۱): طبقه‌بندی ویل کاکس

Table (1): Wilcox Classification method

C ₄	C ₃	C ₂	C ₁	EC: μmohs/cm	
EC>2250	750<EC<2250	250<EC<750	EC<250	SAR	
نامناسب	متوسط	خوب	خیلی خوب	0<SAR<10	S ₁
نامناسب	متوسط	خوب	خوب	10<SAR<18	S ₂
نامناسب	متوسط	متوسط	متوسط	18<SAR<26	S ₃
نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	SAR>26	S ₄

محصول باکیفیت در منطقه کالیفرنیا ارائه شده است (جدول ۲)؛ که در آن کیفیت آب آبیاری علاوه بر شوری و قلیائیت از جنبه سمی بودن برای گیاهان نیز آنالیز می‌شود.

طبقه‌بندی (فائو): طبقه‌بندی فائو با نظارت سازمان خواروبار جهانی (FAO) در سال ۱۹۷۶ به منظور برطرف کردن مشکلات متفرقه آب آبیاری و کمک به تولید حداکثر

جدول (۲): طبقه‌بندی کیفی آب آبیاری بر اساس روش فائو (فائو، ۱۹۷۶)

Table (2): Irrigation water quality classification based on California method

اجزای تشکیل دهنده	درجه پیامد مشکل آبیاری		
شوری (اثر بر رشد و عملکرد گیاه)	بدون مشکل	کم تا متوسط	شدید
EC _w : ds/m	<0.75	3 - 0.75	>3
TDS: mg/L	>450	2000 - 450	>2000
نفوذپذیری (تأثیرات نرخ نفوذ در خاک)			
EC _w (mmhos/cm)	>0.5	0.5-0.2	<0.2
Montmorillonite (2:1 crystal lattice)	<6	9-6	>9
adj.SAR Illite-Vermiculite (2:1 crystal lattice)	<8	16-8	>16
Kaolinite-sesquioxides (1:1 crystal lattice)	<16	16-2	>22
Ph	دامنه نرمال ۸/۴ - ۶/۵		

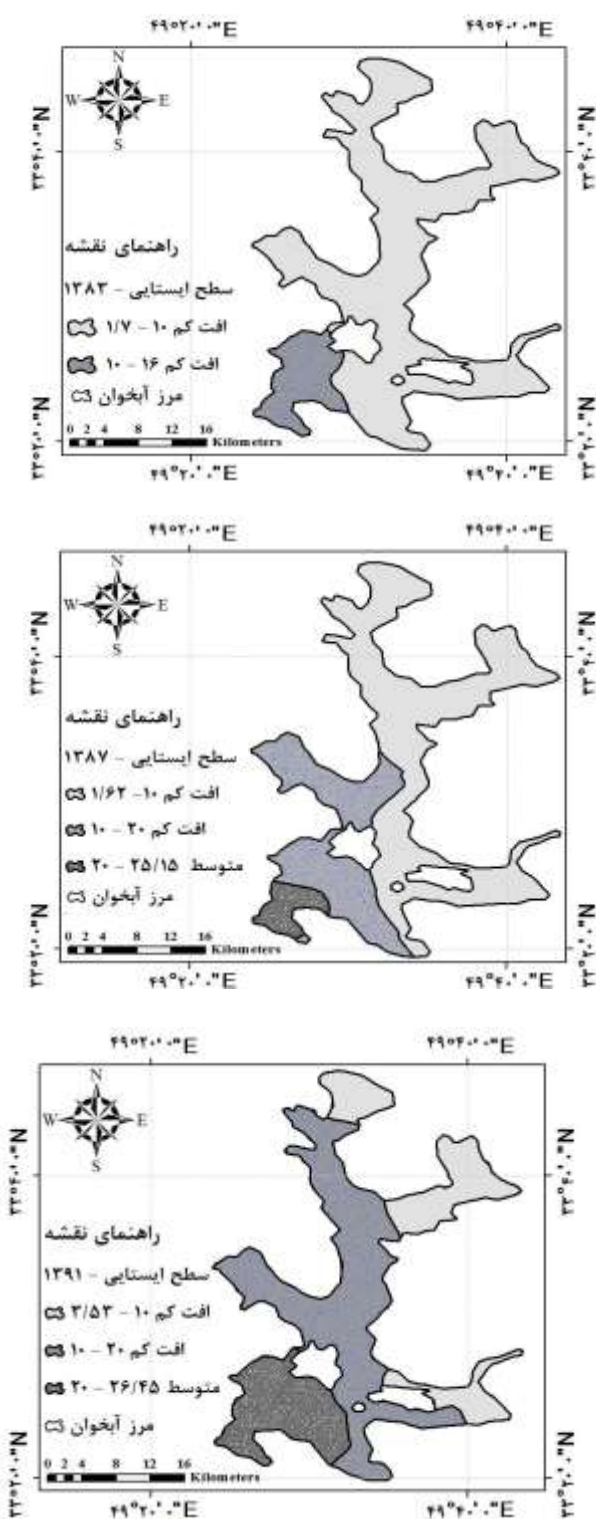
نتایج

نتایج مربوط به افت سطح ایستایی آب زیرزمینی

تغییرات سطح آب زیرزمینی در فصول تغذیه و تخلیه برای مجموعه سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۸۷-۱۳۹۱ بر مبنای جدول (۳) انجام، و در شکل‌های (۳) و (۴) نمایش داده شد. مشاهده می‌شود در فصول تغذیه، سفره‌های زیرزمینی توسط نزولات جوی و آبراهه‌ها و همچنین برداشت اندک از این ذخایر، میزان افت نسبت به فصل برداشت کم بوده است؛ اما در فصول تخلیه افت آب شدت می‌یابد. پهنه‌بندی‌ها نشان می‌دهد که در طول دوره ۸ ساله افت سفره‌های زیرزمینی چشمگیر است؛ به نحوی که میزان نزول سطح آبخوان به تفکیک فصول تغذیه و تخلیه به ترتیب، ۱۰/۴۵ سانتی‌متر افت متوسط سالانه آب در فصل تغذیه که معادل با ۸۳/۶ سانتی‌متر در طول دوره آماری، و ۱۲/۲۷ سانتی‌متر مقدار افت سالانه در فصل برداشت و یا به بیانی ۹۸/۱۶ سانتی‌متر در طول بازه آماری است. در مجموع منابع آب‌های زیرزمینی حوزه ازنایلیگودرز در طول سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۱، با ۱/۳۳ متر کاهش مواجه بوده که متوسط افت سالانه ۱۶/۶۳ سانتی‌متر است. از جمله دلایل اصلی افت آب در آبخوان‌های حوزه، برداشت بی‌رویه آب در فصل تخلیه است که البته نمی‌توان از عامل خشکسالی که سبب کاهش آب دریافتی سفره می‌شود چشم‌پوشی کرد. گفتمنی است برای ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی منابع آب از روش‌های زمین آماری کوکریجینگ، IDW و RBF که دارای کمترین میزان خطا (RMSE) بود، بهره برده شد (جدول ۴).

جدول (۴): مناسب‌ترین روش درون‌یابی تغییرات سطح آب
Table (4): The most suitable method for the interpolation water level changes

فصول	۱۳۸۳	۱۳۸۷	۱۳۹۱
تغذیه	گوسی	دایره‌ای	IDW
تخلیه	گوسی	RBF	IDW



شکل (۳): تغییرات سطح ایستایی در فصول تغذیه

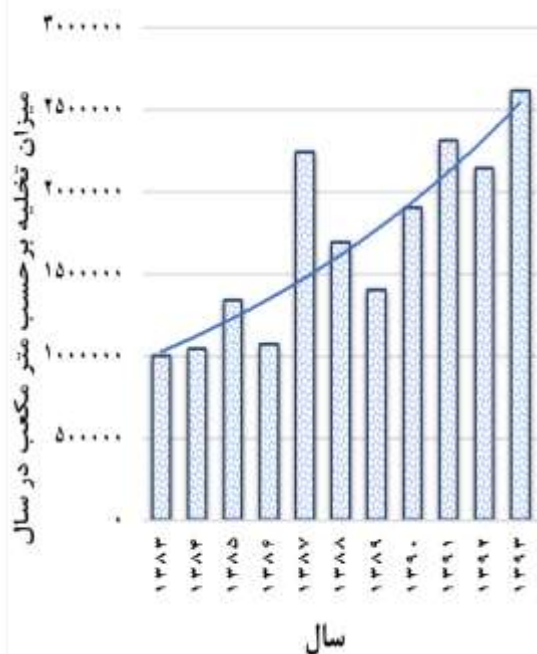
Figure (3): Changes in seasonal water table Recharge season

جدول (۳): طبقه‌بندی افت سطح ایستایی آب زیرزمینی در سال (زهتایان و همکاران، ۲۰۱۴)

Table (3): Classification of the annual groundwater level depletion

وضعیت	افت سطح ایستایی در سال (سانتی‌متر)	کلاس
کم	۲۰ >	۱
متوسط	۲۰-۳۰	۲
شدید	۵۰-۳۰	۳
خیلی شدید	۵۰ <	۴

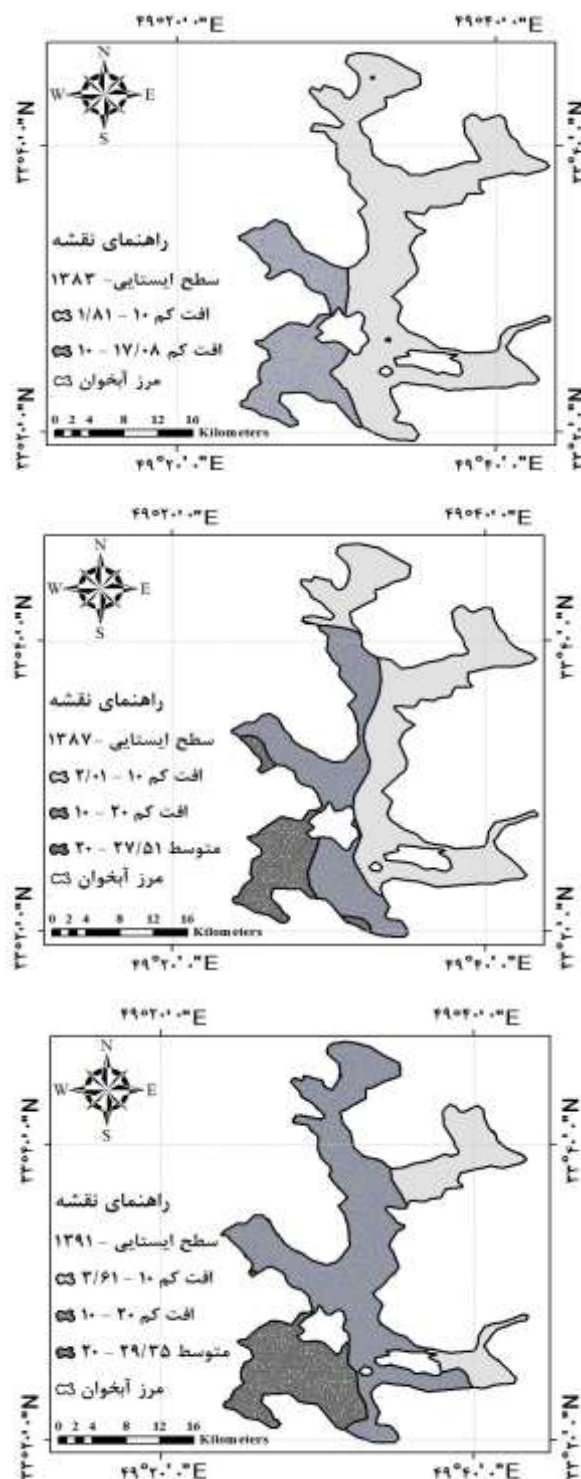
افت سطح ایستایی در حوزه ازنایلیگودرز در ارتباط با برداشت بی رویه آب از ذخایر زیرزمینی است؛ البته ممکن است خشکسالی در افت سطح آب منطقه نیز تأثیر داشته باشد که نیازمند بررسی های دقیق تر است.



شکل (۵): میزان برداشت سالانه از سفره های زیرزمینی حوزه مورد مطالعه
Figure (5): The annual harvest of underground aquifers in the studied area

بررسی ویژگی های فیزیکوشیمیایی آب

جدول (۵) متوسط ۱۱ پارامتر کیفیت آبخوان به تفکیک هر فصل و هر سال، و جدول ۶ کمینه و بیشینه هر پارامتر را در همه فصل ها بیان می کند. با بررسی میانگین های مهم ترین پارامترهای کیفی آب در دو فصل مختلف، این نتیجه حاصل شد که غلظت تمامی پارامترها (به استثنای کلر، سدیم و منیزیم) در فصل برداشت از ذخایر زیرزمینی، بیشتر از فصل تغذیه آبخوان است. بر اساس جدول (۶) نیز مشخص شده است که سه یون بی کربنات و کلسیم و منیزیم در دو فصل تغذیه و تخلیه طی ده سال اخیر، بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده اند. واحد پارامترهای کیفی ذکر شده در دو جدول (۵) و (۶) به این ترتیب است: سدیم، منیزیم، کلسیم، بی کربنات، کلر، سولفات و کل مواد محلول در آب بر مبنای میلی گرم در لیتر، واحد هدایت هیدرولیکی (میلی موس بر سانتی متر) است.



شکل (۴): تغییرات سطح ایستایی در فصول تخلیه
Figure (4): Changes in seasonal water table Discharge season

شکل (۵) میزان برداشت آب از سفره های زیرزمینی طی بازه زمانی مورد مطالعه را نشان می دهد. ملاحظه می شود میزان تخلیه در انتهای دوره آماری، به خصوص در سال های ۱۳۸۷، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ بسیار بیشتر از میزان برداشت از آبخوان در اوایل دوره آماری است. لذا به این ترتیب می توان بیان کرد

جدول (۵): متوسط خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب (A) فصل تغذیه، (B) فصل تخلیه

Table (5): Average physicochemical properties of water (A) Recharge season, (B) Discharge season

(A) Year	Na	Mg	Ca	SO4	Cl	HCO ₃	pH	TDS	EC	TH	SAR
۸۳-۸۴	۰/۱۰	۱/۱۸	۲/۶۷	۰/۳۲	۰/۴۸	۳/۲۴	۷/۴۹	۴۵۹/۷۴	۰/۷۰	۲۲۸/۱۲	۰/۵/۱
۸۴-۸۵	۰/۵۲	۱/۱۶	۳/۳۲	۰/۶۴	۰/۳۹	۴/۰۲	۷/۴۱	۳۳۱/۲۹	۰/۴۵	۳۲۸/۰۳	۰/۳۶
۸۵-۸۶	۰/۲۵	۰/۹۳	۳/۵۴	۰/۱۶	۰/۴	۴/۲۳	۷/۸۴	۳۳۰/۶۸	۰/۴۳	۲۳۰	۰/۱۷
۸۶-۸۷	۰/۶۳	۰/۹۱	۳/۳۶	۰/۵۱	۰/۳۸	۳/۳۳	۷/۶۴	۳۳۰/۱۵	۰/۵	۲۲۵/۶۲	۰/۴۳
۸۷-۸۸	۰/۶۱	۱/۲۹	۳/۱	۰/۷۹	۰/۵	۳/۷۸	۷/۶	۴۳۹/۷	۰/۷۱	۲۱۵/۳۳	۰/۴۷
۸۸-۸۹	۰/۵۸	۱/۳۸	۳/۱۹	۰/۶۴	۰/۳۵	۴/۰۱	۷/۶۱	۳۴۰/۳۳	۰/۵	۲۲۹/۱۶	۰/۳۲
۸۹-۹۰	۰/۴۱	۱/۳۵	۳/۱	۱/۱۲	۰/۴۷	۳/۲۱	۷/۸۴	۴۵۳	۰/۵۹	۲۶۳	۰/۲۷
۹۰-۹۱	۰/۳۳	۲/۶۷	۳/۲۶	۱/۰۹	۰/۵	۴/۲	۷/۷۲	۴۰۱/۵	۰/۵۴	۲۱۵	۰/۱۸
۹۱-۹۲	۰/۲۲	۱/۲۶	۳/۴۹	۰/۳۶	۰/۴۲	۴/۱۹	۷/۳۲	۳۲۹	۰/۴۹	۲۴۲	۰/۱۹
۹۲-۹۳	۰/۸۲	۱/۸۳	۳/۵۸	۰/۸۳	۰/۸۲	۳/۱۴	۷/۴۳	۴۰۵	۰/۶۴	۲۶۸/۰۷	۰/۴۶
(B) Year	Na	Mg	Ca	SO4	Cl	HCO ₃	pH	TDS	EC	TH	SAR
۸۳-۸۴	۰/۱۱	۱/۱۹	۲/۱۶	۰/۴۱	۰/۵	۳/۹۶	۷/۴	۳۱۷/۳	۰/۶۳	۱۶۷/۳	۰/۱۳
۸۴-۸۵	۰/۴۸	۱/۲۱	۳/۴۰	۰/۳۵	۰/۴۵	۳/۹۷	۷/۷	۳۹۲	۰/۶۱	۲۳۲/۴	۰/۳۲
۸۵-۸۶	۰/۴۹	۰/۹۹	۳/۵۹	۰/۵۴	۰/۴۶	۴/۲۰	۷/۹	۴۸۷/۵	۰/۷۸	۲۲۹/۵	۰/۳۳
۸۶-۸۷	۰/۶۸	۰/۹۱	۳/۶۵	۰/۳۷	۰/۴۳	۴/۱۵	۸/۱	۴۸۶	۰/۸۹	۲۳۴/۷	۰/۴
۸۷-۸۸	۰/۵۹	۱/۲۲	۳/۵۱	۰/۸۶	۰/۴۲	۴/۳۳	۷/۸	۳۶۶/۹	۰/۷۸	۲۴۱/۱	۰/۳۲
۸۸-۸۹	۰/۳۶	۱/۵۳	۳/۵۳	۰/۸۳	۰/۴۶	۴/۰۹	۷/۸	۴۹۸/۳	۰/۸۹	۲۵۰/۳	۰/۲۹
۸۹-۹۰	۰/۴۱	۱/۳۷	۳/۲	۰/۲۸	۰/۵	۴/۲۵	۷/۹۵	۳۲۶/۵	۰/۵	۲۲۵/۴	۰/۲۸
۹۰-۹۱	۰/۹۳	۱/۴۶	۲/۹	۰/۶۳	۰/۶۸	۴/۷۵	۷/۸۵	۴۵۰/۷	۰/۷۴	۳۰۳	۰/۵۴
۹۱-۹۲	۰/۳۱	۱/۵۱	۳/۴۵	۰/۹۴	۰/۶۴	۴/۲۶	۷/۶	۳۴۷/۲	۰/۶۸	۲۳۸/۱	۰/۳۹
۹۲-۹۳	۰/۶۹	۰/۹۴	۲/۵۲	۰/۵۱	۰/۸۴	۴/۵۳	۷/۴	۲۲۴/۴	۰/۴۳	۱۷۲/۸	۰/۵۲

جدول (۶): کمینه و بیشینه مهم‌ترین پارامترهای کیفی آب

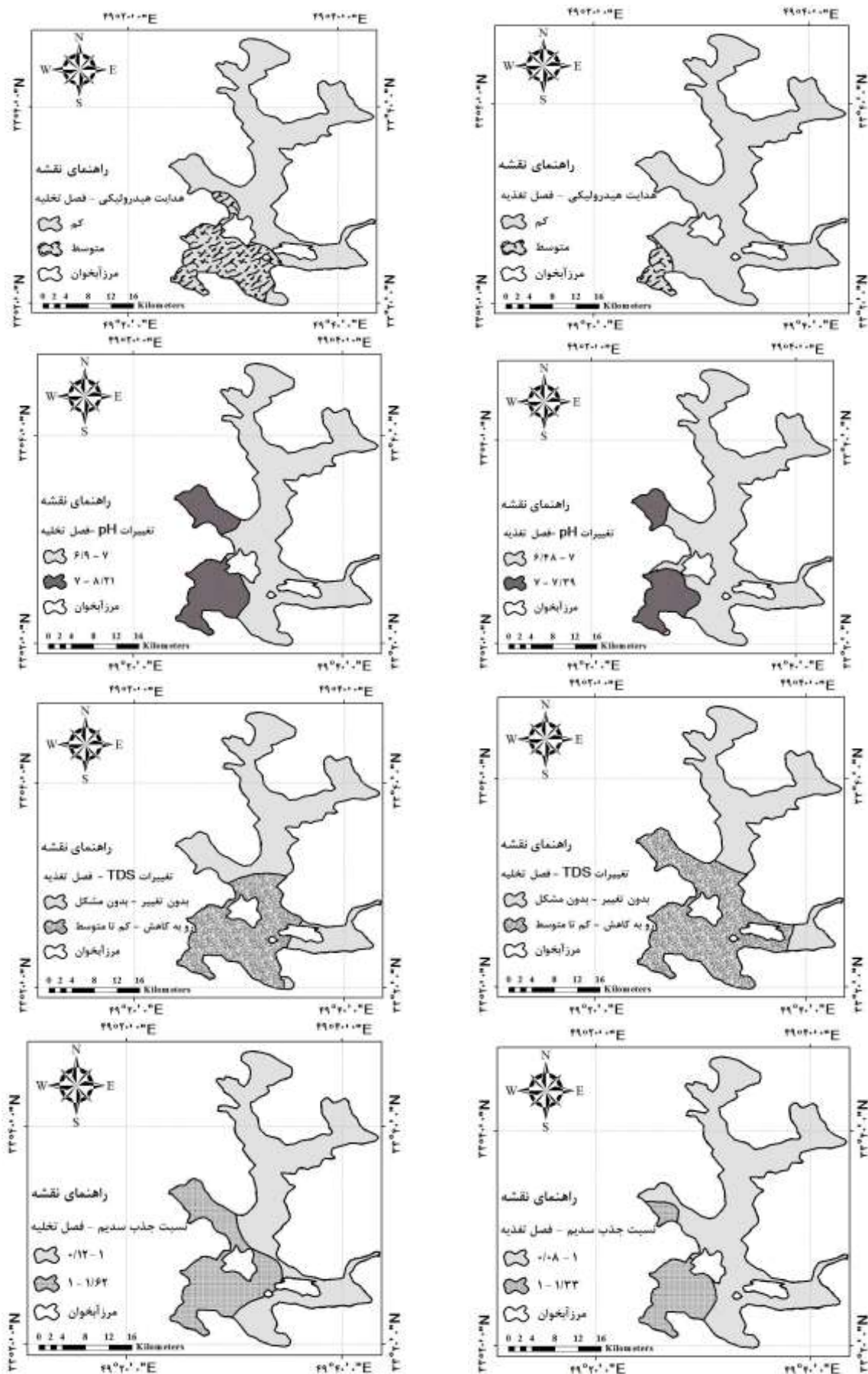
Table (6): Minimum and maximum values of water quality parameters

فصول	مقادیر	Na	Mg	Ca	SO4	Cl	HCO ₃	pH	TDS	EC	TH	SAR
تخلیه	MAX	۲/۱	۳/۶	۵/۳	۲/۳۸	۱/۷۳	۵/۸۲	۸/۳۱	۶۱۵	۰/۹۶	۳۳۴	۱/۶
	MIN	۰/۰۳	۰/۲۱	۱/۵	۰/۰۵	۰/۲	۱/۸	۶/۴	۱۴۹	۰/۴	۱۱۵	۰/۱۲
تغذیه	MAX	۲/۳۷	۳/۷	۵/۲	۲/۲۱	۱/۲۲	۵/۵۱	۷/۴۵	۴۸۶	۰/۸۳	۳۲۹	۱/۳۲
	MIN	۰/۰۲	۰/۳۱	۱/۴	۰/۰۱	۰/۲	۱/۴	۶/۵	۱۵۹	۰/۳۷	۱۳۹	۰/۰۸

نتایج طبقه‌بندی فائو

است و به دلیل عدم وجود برخی داده‌ها از نمایش سمیت آب صرف‌نظر شده است. بررسی نقشه‌های تغییرات مکانی معرف سیر افزایشی پارامترهای ذکرشده با شروع فصل برداشت از سفره‌های زیرزمینی است و حداکثر مقادیر آن‌ها در ناحیه جنوب غربی سفره زیرزمینی مشاهده می‌شود. از لحاظ شوری (EC)، املاح (TDS) و (SAR) بیش از ۵۵ درصد از مساحت سفره‌ها، در وضعیت بدون تغییر- بدون مشکل قرار می‌گیرد همچنین دامنه اسیدیته آب (pH) نیز با رنج ۶/۴۸-۸/۲۱ در مطلوب‌ترین حد (بین ۶/۵ تا ۸/۵) قرار دارد.

پارامترهای کیفی آب زیرزمینی حوزه ازنای-الیگودرز مطابق با طبقه‌بندی پیشنهادی فائو ارزیابی شد و نتایج حاصل از آن در شکل (۶) و خصوصیات توصیفی هر پارامتر در جدول (۸) ارائه گردید. همچنین جدول (۷) نمایانگر بهترین و کم‌خطاترین روش‌های درونیابی انجام‌شده برای هر پارامتر است. پهنه‌بندی‌ها بیانگر نقشه‌های هیدروشمی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، نسبت جذبی سدیم و اسیدیته آب در دو فصل تغذیه و تخلیه طی سال‌های آبی (۱۳۸۳-۱۳۹۳)



شکل (۶): تغییرات مکانی رده‌های کیفی طبقه‌بندی فائو در منطقه مورد مطالعه

Figure (4): Spatial variation of California method classification in the studied area

جدول (۷): مناسب‌ترین روش درون‌یابی پارامترهای کیفی آب

Table (7): The most suitable method for the interpolation water quality parameters

فصول	EC	SAR	pH	TDS
تغذیه	RBF	RBF	IDW	کروی
تخلیه	کروی	RBF	IDW	گوسی

جدول (۸): اطلاعات رده‌های کیفی مربوط به فصول تغذیه و تخلیه

Table (8): Parameter of water quality for the recharge and discharge seasons

فصول	EC (mmohs/cm)	مساحت (ha)	درصد مساحت
فصل تغذیه	۰/۷۵-۰/۳۵	۴۴۶/۷	٪۹۰/۲
فصل تغذیه	۰/۶۸-۰/۷۵	۴۸/۵۲	٪۹/۸
فصل تخلیه	۰/۴۰-۰/۷۵	۳۷۷/۰۴	٪۶۲
فصل تخلیه	۰/۷۵-۰/۹۳	۱۱۸/۱۸	٪۳۸

فصول	TDS (mg/L)	مساحت (ha)	درصد مساحت
فصل تغذیه	۱۶۴-۴۵۰	۲۷۷/۳۲	٪۵۶
فصل تغذیه	۴۵۰-۴۸۸	۲۱۷/۹	٪۴۴
فصل تخلیه	۱۴۱-۴۵۰	۲۳۷/۷۱	٪۴۸
فصل تخلیه	۴۵۰-۶۰۶	۲۵۷/۵۱	٪۵۲

فصول	pH	مساحت (ha)	درصد مساحت
فصل تغذیه	۶/۴۸-۷	۳۵۸/۵۴	٪۷۲/۴
فصل تغذیه	۷-۷/۳۹	۱۳۶/۶۸	٪۲۷/۶
فصل تخلیه	۶/۹-۷	۳۱۴/۴۶	٪۶۳/۵
فصل تخلیه	۷-۸/۲۱	۱۸۰/۷۶	٪۳۶/۵۰

فصول	SAR	مساحت (ha)	درصد مساحت
فصل تغذیه	۰/۰۸-۱	۱۳۹/۶۵	٪۲۸/۲
فصل تغذیه	۱-۱/۳۳	۳۵۵/۵۷	٪۷۱/۸
فصل تخلیه	۰/۱۲-۱	۲۹۲/۶۸	٪۵۹/۱
فصل تخلیه	۱-۱/۶۲	۲۰۲/۵۴	٪۴۰/۹

مکانیسم تعیین وضعیت شیمیایی آب

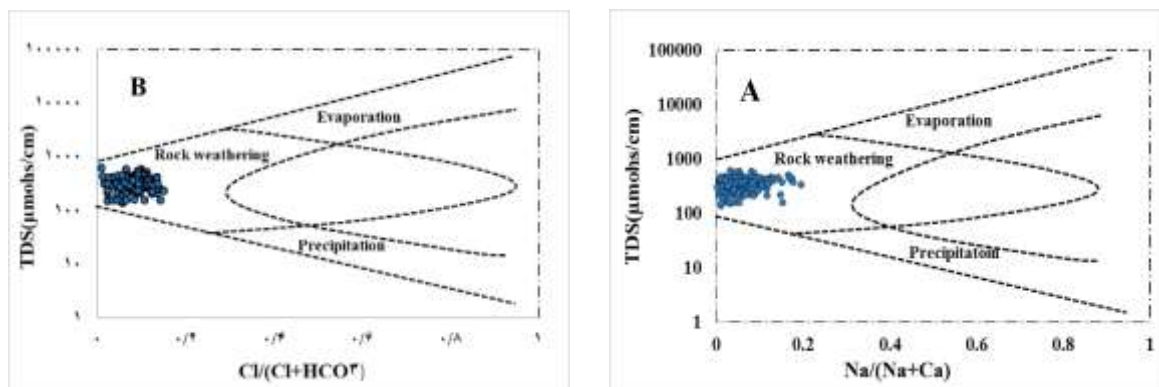
مطابق با نظر (گیس، ۱۹۷۰) عواملی چون اثر تعامل و واکنش میان آب و سنگ‌ها، فرایند تبخیر و خروج آب به شکل بخار و اثر ریزش‌های جوی وارد بر زمین بر وجود مواد محلول در آب‌های زیرزمینی دخالت دارند. بر اساس شکل (۷)، هوازگی سنگ‌ها مهم‌ترین عامل کنترل کیفیت ذخایر آب زیرزمینی در حوزه ازنای-الیگودرز است. تجمع کاتیون و آنیون‌ها در ناحیه هوازگی نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی، بیشتر متأثر از تعاملات و انحلال کانی‌ها بوده و نقش فرایندهای تبلور - تبخیر و بارش بسیار ناچیز است. دامنه متفاوت مقادیر نسبت وزنی و $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ در مقابل دامنه مشخصی از TDS نشان می‌دهد

که تبدلات کاتیونی انجام شده در بین دو یون سدیم و کلسیم می‌باشد؛ زیرا TDS تغییرات چندانی نداشته است.

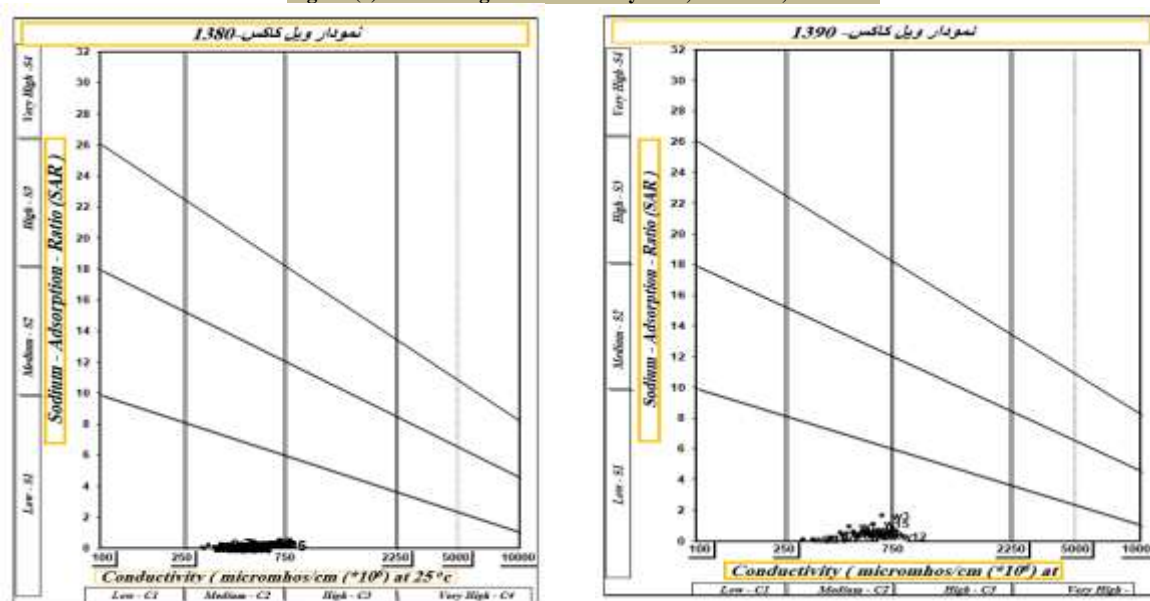
نتایج دیاگرام ویل کاکس و پایپر

مطابق با دیاگرام پایپر (شکل ۸)، اصلی‌ترین تیپ و رخساره حوزه ازنای-الیگودرز، تیپ بی‌کربناته و رخساره کلسیک است. در اغلب دامنه کوهستان‌ها مقدار یون بی‌کربنات در آب‌های زیرزمینی بیش از مقدار دیگر یون‌هاست و این نشان‌دهنده این است که حوزه مذکور در محیطی کوهستانی قرار دارد و آب‌هایی دارای تیپ بی‌کربناته هستند که تغذیه‌کننده آن‌ها سازندهای آهکی است. نتایج دیاگرام ویل کاکس نیز حاکی از این است که در طول این دوره آماری ده‌ساله، ۱۰۰ درصد

نمونه‌ها در طبقه S1 (SAR: 0-10) قرار دارد که به معنای پایین بودن مقدار شوری و ۹۶ درصد از نمونه‌های فصل تغذیه و ۸۷ درصد از نمونه‌های فصل تخلیه در طبقه C₂ ($\mu\text{mohs/cm}$) باکلاس غالب S1C2 در محدوده آب‌های خوب برای آبیاری و کشاورزی قرار گرفته است.



شکل (۷): دیاگرام گیبس در منطقه مورد مطالعه؛ A: آنیون، B: کاتیون
Figure (7): Gibbs diagram in the study area; A: Anion, B: Cation



شکل (۸): دیاگرام‌های ویل کاکس و پایپر در محدوده مورد مطالعه
Figure (8): Wilcox and Pippet Diagrams in the studied area

■ w1 ■ w2 ■ w3 ■ w4 ■ w5 ■ w6 ■ w7 ■ w8 ■ w9 ■ w10 ■ w11 ■ w12 ■ w13
■ w14 ■ w15 ■ w16 ■ w17 ■ w18 ■ w19 ■ w20 ■ w21 ■ w22 ■ w23 ■ w24 ■ w25 ■ w26
■ w27 ■ w28 ■ w29 ■ w30 ■ w31 ■ w32 ■ w33 ■ w34 ■ w35 ■ w36 ■ w37 ■ w38 ■ w39

بحث و نتیجه گیری

که با مطالعات اسریواستاوا^۱ و همکاران (۲۰۱۲)، اسدی فر (۲۰۱۳) در دشت سروستان، مسعودی و همکاران (۲۰۱۵) در دشت کاشان، سلیمانی مطلق و همکاران (۲۰۱۶) در دشت الشتر، ترکمانی تمبکی و همکاران (۲۰۱۶) در دشت میناب استان هرمزگان، سلیمانی ساردو و همکاران (۲۰۱۶) در دشت جیرفت همخوانی دارد. بر اساس مطالعات انجام گرفته مشخص شد فراوانترین یونها در حوزه یونهای بی کربنات و کلسیم و منیزیم است؛ این امر می تواند به دلیل انحلال سنگهای کربناته زاگرس باشد که سبب افزایش درجه سختی آب شده است. بر مبنای دیاگرام گیس، تعاملات و هوازادگی کانی و سنگهای دربرگیرنده آبخوان عمده ترین مکانیسم تعیین کننده کیفیت شیمیایی سفره های زیرزمینی است که با پژوهش انجام شده توسط ابراهیمی محمدی (۲۰۱۷) در محدوده دریاچه زریوار تطابق دارد. نتایج دیاگرام ویل کاکس نیز نشان داد کیفیت آب زیرزمینی حوزه در محدوده آب های خوب برای آبیاری و کشاورزی با کلاس غالب SIC2 قرار داشته که با توجه به آن قلیائیت در فصل تخلیه نسبت به تغذیه بیشتر بوده است. طبق ارزیابی های انجام شده اصلی ترین تیپ و رخساره هیدروشمی، آب های زیرزمینی تیپ بی کربناته با رخساره کلسیک است که این تیپ جزء آب های سنگین به شمار آمده و در صنعت تقریباً حالت خورندگی ایجاد می کند.

با توجه به نتایج مشخص شد برداشت بی رویه آب طی ده سال گذشته باعث شده است که سفره های آب زیرزمینی حوزه ازنایلیگودرز با ۱/۳۳ متر افت روبه رو گردد که بیشتر ضلع جنوبی غربی حوزه را شامل شده و در حال پیشروی به سمت زمین های اطراف می باشد و با پژوهش یاراحمدی و کرمی (۲۰۱۵) در دشت ازنایلیگودرز هم راستاست. این کاهش سطح آب به صورتی است که در فصل تغذیه ۱۰/۴۵ سانتی متر و در فصل تخلیه و برداشت از سفره های زیرزمینی نیز ۱۲/۲۷ سانتی متر در طول دوره مطالعاتی است. نتایج پهنه بندی سطح آب زیرزمینی نشان داد مهم ترین عامل در کاهش سطح ایستابی آبخوان، برداشت بی رویه آب به دلیل عملیات زراعی و آبیاری است که در صورت ادامه این روند، بی شک در آینده ای نه چندان دور، مرگ آبخوان را به دنبال خواهد داشت. صادقی و همکاران (۲۰۱۶) در دشت کاشان، و شریف آباد و همکاران (۲۰۱۷) در دشت یزد-اردکان نیز کاهش کیفیت آب را در اثر برداشت بیش از حد از آبخوان تأیید می کنند. همچنین علاوه بر بهره برداری بی رویه از آبخوان ممکن است خشکسالی نقش چشمگیری در کاهش کمیت و کیفیت آب داشته باشد که نیازمند بررسی دقیق در مطالعات بعدی است. بر اساس نقشه های به دست آمده از روش فائو مشخص شد که بیش از ۵۵ درصد از مساحت حوزه از نظر شوری (EC) و املاح (TDS) و (SAR) در وضعیت بدون تغییر - بدون مشکل قرار گرفته است. این کاهش پارامترها عمدتاً ضلع جنوبی غربی حوزه را فرا گرفته که یکی از علل آن می تواند کاهش سطح آب در آبخوان باشد. با ارزیابی پارامترهای کیفی استنباط گردید مقادیر هدایت هیدرولیکی، اسیدیت، نسبت جذب سدیم و کل املاح محلول در آب، در فصل تغذیه نسبت به فصل تخلیه کمتر است؛ که علت آن افزایش مقدار آب و نفوذ آن به درون خاک و به دنبال آن پیوستن به آب های زیرزمینی در فصول تغذیه است که با پژوهش انجام شده توسط مرادی و همکاران (۲۰۱۶) در دشت کرمان هم راستاست. برداشت از ذخایر زیرزمینی به منظور فرایندهای مختلف از جمله کشاورزی سبب شده است کیفیت آب کاهش چشمگیری یابد

منابع

- Alaa, A., 2014. Groundwater quality assessment of the shallow aquifers and the Nile Delta (Egypt) using multivariate statistical and geostatistical techniques, *Journal of African Earth Sciences*, 95(5), pp 123-137.
- Asadifard, ZH., Musavi, SA., Mohamadnia, M., 2013. Assessing the impact of land use on groundwater (case study : Plain sarvestrn). The first national conference on water crisis (Azad University.khorasgon(Isfahan)
- Barkhori, S., mahdavi, R., Zehtabian, GH., 2018. Gholami H Investigation of temporal and spatial variations of groundwater quality indices in Jiroft plain. *Quarterly Journal of Rangeland and Desert Research of Iran* pp. 365 -355
- Ebrahimi Mohammadi., Sh., 2017. Evaluation of Hydrochemical Characteristics and Water Quality of Wells in the Zarivar Lake Range. *Journal of Ekohydrology* 4,1049-1060
- FAO., Water quality for agriculture. Rome: United Nation; 1976.
- Gibbs, R J. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science* 1090-1088.
- Masoudi, R., Zahtabian, Gh., Ahmadi, H., Malekian, A., 2015. Evaluation of quantitative and qualitative changes in groundwater quality in Kashan plain. *Behmand Management Journal* 5, 78-65.
- Mohammadi, S., Salajegheh, A., 2017. Study of temporal and spatial variations of groundwater with the help of the best estimate of land statistics (Case study of Kerman Plain). *Science and Engineering, Islamic Republic of Iran*, Year 11, No. 39.
- Moradi, E., Soleimani, Al., Zahtabian, Gh., Khosravi, H., 2016. Evaluation of the Sustainability of Kerman Water Resources and Quantitative and Quantitative Quantitative Changes Using Geospatial Geospatial Data. *International Journal of Analytical Research on Water Resources and Development*, 4, 9-22.
- Nakhai Nejad Fard, S., Zahtabian, Gh., Malekian, A., Khosravi, H., 2017 Investigating temporal and spatial variations in the quantity and quality of groundwater in Sarayan plain in southern Khorasan. *Journal of Rangeland Research Institute* 2, 267-278.
- Nath, V., Helen. H., 2013. Evaluation of groundwater quality in Neyyattinkara Taluk, Kerala. *Journal of Chemical and pharmaceutical Research* 5, 4-14.
- Niu, N., Wang, H., Loaiciga, HA., Hong, S., Shao, W., 2017 Temporal variations of groundwater quality in the Western Jiangnan Plain, China. *Science of the Total Environment* .578, 542-550.
- Sadeghi, A., Zahtabian, Gh., Malekian, A., Khosravi, H., 2014. The Effect of Land Use Land Changes on Groundwater Quality in Zariwar Lake Basin. *Watershed Research (Research and Engineering)* 105, 97-90.
- Sadeghi, S. H., Albaali, A., Ghazavi, R., 2016. Investigation of temporal and temporal trends and determination of water quality parameters of Kashan plain using the Land Statistics. *Science and Technology Journal* 20, 83-73.
- Sadeghy, A., 2014. Assessment and monitoring of land degradation and its impact on groundwater quality and quantity in watershed of Zarubar Lake. M.Sc. Thesis in Natural Resources of University of Tehran
- Salehi, H., Hagizadeh, A., 2015. Evaluation and zonation of groundwater quality using the integration of the AqQA model and GIS in the Kamyaran Plain, *Geological Surveying and Spatial Engineering Research Journal* 7, 65-75
- Samadi, J., 2017. Spatial and temporal modeling of groundwater level changes in urban and rural areas of Kashan aquifer using GIS technique, *Environmental science and technology*, Volume 19, Issue 1.
- Sharif Abad, J., Nohegar, A., Zahtabian, Gh., Gholami, H., 2017. Study of time and place variation of groundwater quality for drinking and farming in Yazd plain, Ardakan, 9-109.
- Soleimani Motlagh, M., Ghasmia, H., Talebi, A., 2016. Changing the Coefficient of Reserves and Transfer of Aquifer in Alashtar Plain due to Drought and Increased Utilization of Groundwater Resources. *Journal of Ecosystem of Desert* 5, 104-92
- Soleimani Sardou, F., Boroumand, N., Azar, A., 2016. A Study of the Changes in Spatial and Spatial Characteristics of Groundwater Quality in Daresht Jiroft. *Journal of Pasture and Water Management* 6, 931-922.
- Solgi E, Sheikhzadeh H., 2016. Study of Water Quality of Aras River Using Physico-Chemical Variables. *Iran-Water Resources Research*. 12, 207-213.
- Srivastava, PK., Singh, S., Gupta, M., Thakur, JK., Mukheree, S., 2012. Modeling impact of land use change trajectory on groundwater

- quality using remote sensing and GIS, Environ Eng Manage.
23. Torabipudeh, H., Hamezadah, P., 2018. Investigation of chemical quality of water and changes in quality parameters of Kashkan basin, Ecohydrology, pp. 23-36.
24. Turkmani Tambaki., H, Rahnema Rad., Ja., 2016. Changes in Physical and Chemical Indices of Groundwater in the Plain of Minab Due to Water Loss. the First International Conference on Natural Hazards and Environmental Crises in Iran, and Solutions and Challenges. 1-27.
25. Yar Ahmadi, B., Karami, GH., 2015. Investigation of the fall of the groundwater level of the Azna Eligodarz plains .The 2nd National Conference on Water, Human, Earth
26. Zehtabian, Gh., Khosravi, H., Masoudi., R., 2014. Desertification Assessment Models (Criteria Indicators). Tehran University Press, 257.

Assessment of Spatio-temporal Oscillations and Physico-chemical Properties of Azna-Aligudarz Basin

Fatemeh Gholami¹, Arash Malekian^{*2}

Received: 22/06/2018

Accepted: 02/12/2018

Expanded Abstract

Introduction

The increase in population and need for food has resulted in the development of agricultural lands and pressure on aquifers, which has led to a sharp decline in the quantity and quality of groundwater resources. In many countries, especially in arid and semi-arid regions, in which the average annual precipitation is not adequate to support water requirements, groundwater is commonly used for agriculture, drinking and industry causing water crisis as a major dilemma. Groundwater quality is one of the most important factors in maintaining stability of aquifers and sustainability of groundwater resources means their exploitation and use in such a way that they do not seek quantitative and qualitative vulnerabilities and surrounding ecosystems. The qualitative and quantitative analysis of water resources is one of the most important evaluation approaches needed in this case.

Materials and Methods: Azna- Aligudarz basin with an area of 2116.8 square kilometers is located in the western part of Iran and in the east of Lorestan province .The purpose of this research is to assess the quantitative and qualitative characteristics of groundwater in this area. First, the spatial and temporal fluctuations in groundwater level during the study period were assessed. Then for the seasons of recharge and discharge of aquifer during the study period (2004-2014), changes in physicochemical characteristics, the most important aquifer parameters for agricultural use based on Wilcox and California classification, the governing mechanism of water quality, type and hydrochemical facies of groundwater was analyzed.

Results: The findings showed that the water table of aquifer reduction was 10.45 cm. Average annual loss in the recharge season is equivalent to 83.7 cm during the statistical period, and 12.27 cm the annual drop in the discharge season or 98.16 cm during the study period. In general, groundwater level decreased by 1.33 meters over water years (2004-2014), affecting most of the south-west side of the basin. According to the results of physicochemical properties of water, concentration of most parameters changes has been incremental. Even, the parameter changes for TDS, CO₃, Ca and Mg was more evident. The results of the California classification also showed that more than 55% of the area in terms of EC, TDS and SAR is in the unchanged range. According to the Wilcox diagram, the water quality is mostly in the S1C2 class (low salinity and alkalinity). Based on

1. Master of Science (MSc), Department of Natural Resources, University of Tehran

2. Associate Professor, Department of Natural Resources, Tehran University, Corresponding Author: malekian@ut.ac.ir

DOI: 10.22052/deej.2018.7.20.59

hydrochemical diagrams, it was determined that the main type and hydrochemical facies of water are Bicarbonate type and Calcic facies. The Gibbs graph also expresses the interactions between rock and water and weathering of minerals as the main determinant of water quality mechanism in the region.

Discussion and conclusion: The results indicate that uncontrolled water withdrawal over the last ten years has led to the greatest decline in the quantity and quality of groundwater in the south-western part of the basin and is moving forward to the surrounding lands. Also, one of the factors reducing the water level during the study period is the excessive withdrawal of water during the discharge season. The highest increase in water quality levels has also occurred in the south-western part of the basin, which is more evident in the discharge season than in the aquifer recharge period. The results indicate that HCO_3 , Ca and Mg have the highest frequency in groundwater than other factors. Moreover, the main type of groundwater is bicarbonate with Calcic facies which is considered as heavy water and creates an almost corrosive state in industry.

Keywords: Water level changes, Bicarbonate type, Gibbs chart, Hydrochemical diagram, Mineral weathering.