اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۲، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۴، ص ۴۰۴-۳۹۵

بررسی روند تغییرات کیفی و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه

سعید مهری[۱]، علی‌اصغر آل‌شیخ[۲*]، زهرا جوادزاده[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد GIS، دانشکدهٔ مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲. استاد گروه مهندسی GIS، دانشکدهٔ مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی طبیعت، دانشکدهٔ علوم و فنون نوین دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹٤/۰۸/۱۵ تاریخ تصویب ۱۳۹٤/۱۱/۲۹)

چکیده

کیفیت آب‌های زیرزمینی، تأثیر مستقیم بر زندگی جوامع بشری دارد و پایش کیفیت این منابع از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف این پژوهش بررسی روند تغییرات کیفی و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه است که میزان مناسب‌بودن صرف این منابع برای مصارف کشاورزی و شرب با استفاده از نمودارهای ویلکوکس و شولر، در دو دشت تسوج و شیرامین، بررسی شد. کلاس غالب آب زیرزمینی در دو دشت به‌ترتیب، برای مصارف کشاورزی، با نمودار ویلکوکس، C3S1 و C2S4 و برای مصارف شرب، با نمودار شولر، «خوب» و «نامطبوع» طبقه‌بندی شد. بررسی میانگین پارامترهای EC ، PH، SO4، TH، TDS، Mg، Ca و Cl در بازهٔ زمانی سال‌های ۱۳۸۲_ ۱۳۹۳ نشان داد که کیفیت آب در هر دو دشت، در گذر زمان کاهش یافته است. میانگین همبستگی روند تغییرات مکانی سطح ایستابی و Ec، در دشت، ۰/۳۷- محاسبه شد که نشان‌دهندهٔ افزایش شوری با کاهش سطح آب آبخوان است. سطح ایستابی آبخوان تسوج، به‌طور متوسط، سالانه ۱۸ سانتی‌متر و حجم آن، ۱/۲۷ میلیارد مترمکعب کاهش داشته است؛ اما آبخوان دشت شیرامین سالانه ۱ سانتی‌متر افزایش سطح و ۰/۰۰٦ مترمکعب افزایش حجم داشته است. نتایج نشان داد که با کاهش کیفیت منابع آبی، میزان برداشت سالیانه از آبخوان‌ها، کاهش می‌یابد. این یافته را می‌توان ناشی از نامناسب‌بودن آب‌ها برای مصارف گوناگون مانند کشاورزی دانست. با توجه به نتایج، انجام طرح‌های مختلف برای کنترل شوری و اجرای سیستم‌های مناسب زهکشی در اراضی کشاورزی، برای حفظ میزان تولیدات کشاورزی، پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژگان: آنالیز مکانی، دریاچهٔ ارومیه، کیفیت آب، نمودار ویلکوکس، نمودار شولر.

* نویسندهٔ مسئول

Email: Alesheikh@kntu.ac.ir

مقدمه

در دو دههٔ اخیر کیفیت آب و مدیریت آن که مهم‌ترین عوامل محدودکننده در افزایش میزان تولیدات کشاورزی‌اند، به یک دغدغهٔ ملی تبدیل شده است [۱۰]. داشتن اطلاعات مربوط به کیفیت و کمیت آب زیرزمینی به‌دلیل وابستگی شدید جوامع بشری به آن اهمیت زیادی دارد. این وابستگی در فاصلهٔ زمانی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ افزایش یافته است، به‌طوری‌که تخلیهٔ چاه‌ها به‌طور متوسط ۵ برابر شده است [۲۴]. خشک‌شدن دریاچه‌ها، رودها و کاهش حجم آب آبخوان‌ها، از مشکلات اساسی‌ای است که امروزه کشور با آن روبه‌روست. مدیریت آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران اهمیت فراوان دارد [۱]. آب‌های زیرزمینی یک‌سوم منابع آبی کشور را تشکیل می‌دهند و حدود ۵۰ درصد نیازهای آبی کشور توسط این منابع تأمین می‌شود [۱۱، ۱۶]. اطلاع از چگونگی تغییرات کیفی منابع آبی و تعیین میزان مناسب‌بودن این منابع برای مصارف گوناگون مانند کشاورزی و شرب، برای مدیریت صحیح و یکپارچه، اهمیت زیادی دارد. با توجه به تأثیر مستقیم کیفیت منابع آبی در میزان تولیدات کشاورزی و تهدید اقتصاد کشور با کاهش میزان تولیدات، لازم است با بررسی و پایش کیفیت منابع آبی، خصوصاً آب‌های زیرزمینی، بتوان به مدیریت صحیح این منابع کمک کرد. به‌دلیل شرایط خاص و محدودیت‌های ناشی از خشک‌شدن دریاچهٔ ارومیه، حوضهٔ آبریز این دریاچه با مشکلات جدی در بخش مدیریت و استفاده از منابع آبی مواجه است. از این‌رو شناخت وضعیت موجود، روند تغییرات پارامترهای کیفی و کمی منابع آب‌های زیرزمینی در این حوضه یکی از ضروریات مدیریت صحیح است. بنابراین، تحقیق حاضر با هدف بررسی پارامترهای کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی، چگونگی تغییر و شناسایی عوامل مؤثر در تغییر این پارامترها، در یک بازهٔ زمانی ۱۲ ساله، در این حوضه انجام شد.

همچنین از طبقه‌بندی‌های شولر[1] و ویلکوکس[2] برای سنجش میزان مناسب‌بودن این منابع برای مصارف شرب و کشاورزی استفاده شد. طبقه‌بندی ویلکوکس کاربرد فراوانی برای تعیین میزان مناسب‌بودن منابع آبی برای مصارف کشاورزی دارد [۷]. در این نمودار کیفیت آب براساس درصد سدیم محلول در آب[3] و میزان هدایت الکتریکی[4] آب طبقه‌بندی می‌شود [۲۰]. این پارامترها خود به چهار کلاس تقسیم شده‌اند (جدول‌های ۱ و ۲) و درمجموع شانزده کلاس مختلف برای طبقه‌بندی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی ارائه می‌دهند [۸]. نمودار شولر، یک نمودار شبه‌لگاریتمی[5] برای نمایش نتایج آنالیزهای یون‌های اصلی محلول در آب (مانند SO4، HCO3، Cl، Mg، Ca، Na و K) است. با استفاده از این نمودار می‌توان کلاس‌های مختلف هیدروشیمیایی را در یک نمودار نمایش داد [۱۷]. حد آستانهٔ پارامترهای مختلف برای طبقه‌بندی و تعیین مناسب‌بودن کیفیت منابع آبی برای مصارف شرب، در جدول ۳ بیان شده است.

جدول ۱. طبقه‌بندی آب کشاورزی براساس خطر قلیایی‌شدن [۸]

خطر قلیایی‌شدن	نماد	مقدار SAR
کم	S1	کمتر از ۱۰
متوسط	S2	۱۰-۱۸
زیاد	S3	۱۸-۲۶
خیلی زیاد	S4	بزرگ‌تر از ۲۶

جدول ۲. طبقه‌بندی آب کشاورزی براساس هدایت الکتریکی [۸]

میزان اثر در خاک	نماد	مقدار EC
کم	C1	۱۰۰-۲۵۰
متوسط	C2	۲۵۰-۷۵۰
زیاد	C3	۷۵۰-۲۲۵۰
خیلی زیاد	C4	بیشتر از ۲۲۵۰

پیشینهٔ پژوهش

مطالعات بسیاری در زمینهٔ به‌کارگیری ابزارها و روش‌های نوین برای بررسی و ارزیابی منابع آب استفاده‌شدهٔ بشر صورت گرفته است. آنچه در این حوضه اهمیت دارد، حفظ رویکرد نیاز مبنا در مطالعات است. نتایج تحقیق کمپل و همکارانش [۱۸] نشان داد که خشکسالی سبب افزایش غلظت آلاینده‌های آب‌های زیرزمینی در اطراف دریاچهٔ تکسوما[6] شده است. دانشور وثوقی و دین‌پژوه [۳] از آزمون

1. Schoeller Diagram
2. Wilcox Diagram
3. Soluble sodium percentage (SAR)
4. Electrical Conductivity (EC)
5. Semi-logaritmic
6. Texoma

جدول ۳. مقادیر حد آستانهٔ برخی پارامترها در برای طبقه‌بندی آب از نظر مصارف شرب با استفاده از نمودار شولر [۸]

پارامتر	خوب	قابل‌قبول	متوسط	نامناسب	کاملاً نامطبوع	غیرقابل شرب
PH	۷/۳	۷/۸	۹	۱۰	۱۱	بیشتر از ۱۱
TDS	۰ - ۵۰۰	۵۰۰ - ۱۰۰۰	۱۰۰۰ - ۲۰۰۰	۲۰۰۰ - ۴۰۰۰	۴۰۰۰-۸۱۰۰	بزرگ‌تر از ۸۱۰۰
TH	۰ - ۲۵۰	۲۵۰ - ۵۰۰	۵۰۰ - ۱۰۰۰	۱۰۰۰ - ۲۰۰۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰	بزرگ‌تر از ۴۰۰۰

اسپیرمن برای روند تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت اردبیل در سال‌های ۱۳۷۴ـ ۱۳۸۷ استفاده کردند. نتایج نشان داد غلظت تمام متغیرها افزایش داشته است و بیشترین افزایش را متغیر[1] TDS در ماه‌های کم‌آب داشته است. نتایج تحقیق ملکوتیان و اکرمی [۱۴] در دشت‌های بم و براوات نشان‌دهندهٔ کاهش کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی این دو دشت در بازهٔ زمانی سال‌های ۱۳۷۶ـ ۱۳۸۳ است. در این تحقیق منطقهٔ مطالعاتی به سه بخش تقسیم شد که طبق نمودار شولر برای مصارف شرب، آب منطقهٔ ۱، مناسب، منطقهٔ ۲، مناسب برای حالت اضطراری و منطقهٔ ۳ نامناسب تشخیص داده شدند. براساس نمودار ویلکوکس آب این مناطق برای مصارف کشاورزی به‌ترتیب، مناسب، مناسب در حالت اضطرار و نامناسب تشخیص داده شدند. مقدم و همکارانش [۱۳] برای بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب در دشت مشهد از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی[2] و منطق بولین[3] استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که فعالیت‌های انسانی، نوسانات آب و هوایی، دمای آب و انتقال آلودگی از سایر منابع از جمله عوامل مهم تأثیرگذار در کاهش کیفیت منابع آب است.

نتایج تحقیق گیگلو و همکارانش [۱۱] نشان داد کیفیت آب رودخانهٔ زرین‌گل پایین و فقط برای آبیاری زمین‌هایی با زهکش مناسب و بافت درشت، مناسب است. عوامل متعددی از جمله فعالیت‌های انسانی سبب کاهش کیفیت آب این رودخانه شده است. قمشیون و همکارانش [۹] با استفاده از روش‌های درون‌یابی مکانی عکس فاصله[4]، کریجینگ[5] و کوکریجینگ[6]، روند تغییرات مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت سمنان‌ـ سرخه را بررسی کردند. نتایج نشان داد که غلظت آلاینده‌ها در نزدیکی مرزدشت، در حال افزایش است، اما در قسمت‌های مرکزی دشت تغییرات محسوسی مشاهده نشد. عواملی از جمله برداشت بی‌رویه از چاه‌ها، افزایش تبخیر، کاهش سطح تراز آب زیرزمینی و استفاده از روش‌های نامناسب آبیاری، به‌عنوان عوامل مؤثر در کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی این دشت بیان شد.

نتایج بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقهٔ مریوان توسط صالحی و زینی‌وند [۷]، در بازهٔ زمانی سال‌های ۱۳۶۴ تا سال ۱۳۹۲، نشان داد کیفیت آب زیرزمینی در این منطقه برای مصارف شرب مناسب است. از میان روش‌های مختلف درون‌یابی، روش تخمینگر موضعی[7] برای پارامترهای سولفات، غلظت مواد محلول و شوری؛ روش تابع شعاعی برای پارامترهای سدیم و نسبت جذب سدیم؛ روش تخمینگر عام[8] برای پارامتر کلر؛ و روش کریجینگ ساده برای پارامتر سختی آب، مناسب‌ترین برآورد را دارند. موسویان و همکارانش [۱۵]، تأثیر عوامل محیطی در تغییرات زمانی مؤلفه‌های کیفی آب را در رودخانهٔ زرد استات خوزستان، بررسی کردند. در این تحقیق از روش‌های من‌ـ کندال، لیو و منحنی پایپر استفاده شد. نتایج نشان داد که در بازهٔ زمانی سال‌های ۱۳۴۲ـ ۱۳۹۲، چهار متغیر پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سولفات روند افزایشی و پارامترهای سدیم و کلر روند کاهش داشته‌اند. حسنی و همکارانش [۲] شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی در قنات‌های شهر یزد را با استفاده از منطق فازی بررسی کردند. در این تحقیق ۲۴ پارامتر مختلف بررسی و نتیجه‌گیری شد که کیفیت آب قنات‌ها نامطلوب است و برای آشامیدن مناسب نیست. می و همکارانش [21] روند و تغییرپذیری زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب‌های سطحی را در حد فاصل روستا، حومهٔ شهر و شهر پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت آلاینده‌ها

1. Total Dissolved Solids (TDS)
2. Geographic Information System (GIS)
3. Boolean logic
4. Invers Weighted Distance (IDW)
5. Kriging
6. Cokriging
7. Local Polynomial Interpolation (LPI)
8. Global Polynomial Interpolation (GPI)

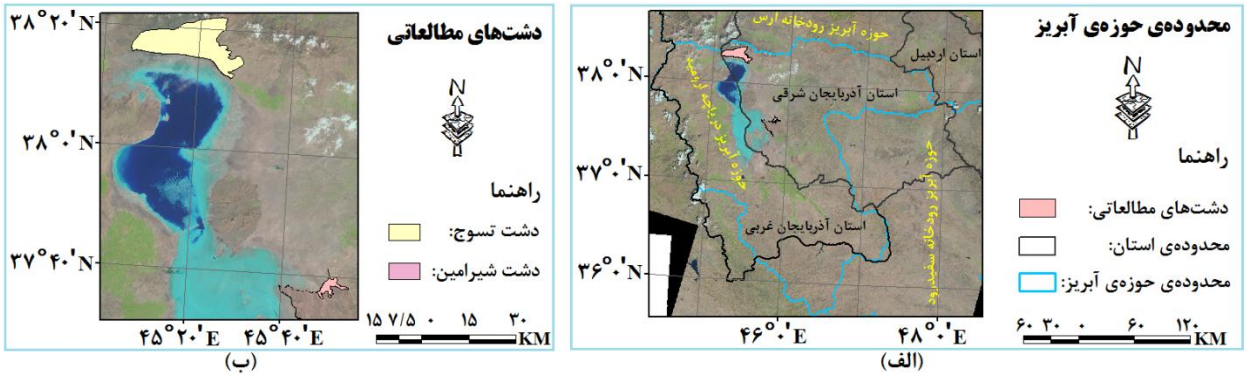
در مناطق شهری، به‌دلیل تراکم زیاد جمعیت، بیشتر است. همچنین نتایج این تحقیق بیانگر کاهش کیفیت آب در بازهٔ زمانی سال‌های ۲۰۰۰ـ ۲۰۱۰ است.

بررسی تحقیقات انجام‌شده در زمینهٔ بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی در ایران مبین کاهش کیفیت این منابع آبی ارزشمند است [۳، ۶، ۹، ۱۱، ۱۳، ۱۴]؛ بنابراین شناخت و بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی، به‌عنوان یکی از منابع آبی آسیب‌پذیر، اهمیت فراوان دارد [۶، ۲۲، ۲۳]. تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی به عوامل مختلفی از جمله جنس سنگ کف، جنس مواد تشکیل‌دهندهٔ آبرفت، متعادل‌نبودن میزان برداشت با تغذیه، مقدار بهره‌برداری از آبخوان، خصوصیات و ابعاد آبخوان و سازندهای موجود در آبراهه‌ها، بستگی دارد [۷]. بررسی مداوم کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی به‌دلیل تأثیر مستقیم در کیفیت خاک و میزان تولید محصولات کشاورزی، لازم و ضروری است [۴، ۵، ۷]. بنابراین، هدف این پژوهش بررسی تغییرات پارامترهای کیفی، حجم سفره‌های زیرزمینی و طبقه‌بندی آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی و شرب در حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه است.

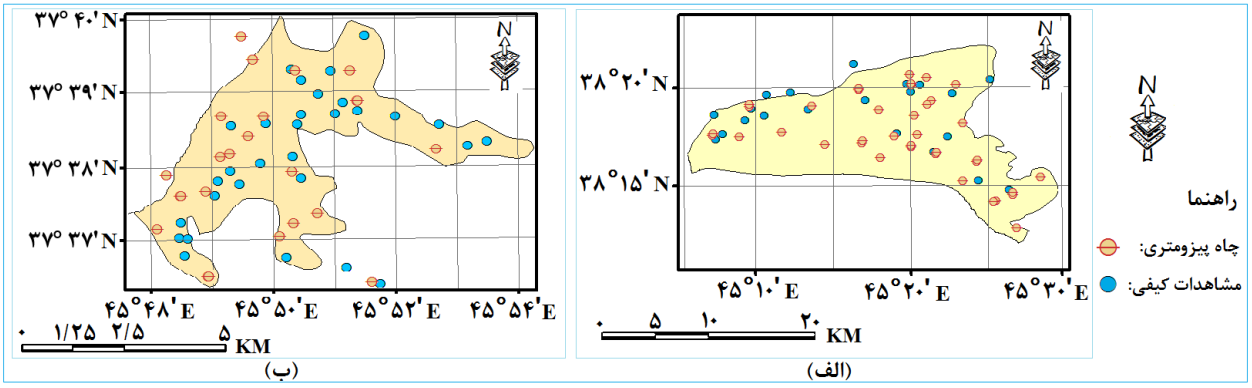
مواد و روش‌ها

منطقه و داده‌های تحقیق

حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه (شکل ۱، الف) با مساحتی بالغ بر ۵۱۸۰۱ کیلومترمربع در شمال غربی ایران و در محدودهٔ جغرافیایی '۳۵°۴۱ تا '۳۸°۳۰ مدار شمالی و '۴۴°۱۳ تا '۴۷°۵۳ نصف‌النهار شرقی واقع شده است. ۶۴/۶ درصد این حوضه را مناطق کوهستانی، ۲۱/۱ درصد دشت‌ها و ۱۴/۳ درصد آن را دریاچهٔ ارومیه تشکیل می‌دهد [۱۲]. برای بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی، دشت تسوج واقع در شمال و شیرامین در شرق دریاچهٔ ارومیه انتخاب شد (شکل ۱، ب) که به‌ترتیب مساحت ۲۴۱ و ۱۸ کیلومترمربع دارند. داده‌های این تحقیق شامل سری زمانی سطح ایستابی چاه‌های پیزومتری نمونه‌برداری‌های کیفی (شکل ۲)، در دشت‌های یادشده است.



شکل ۱. موقعیت حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه (الف) و دشت‌های مطالعاتی (ب)

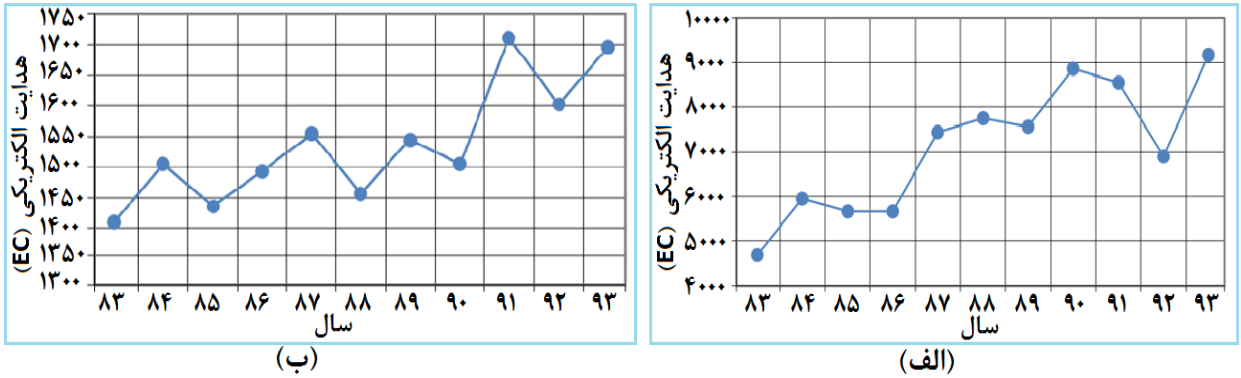


شکل ۲. موقعیت چاه‌های پیزومتری و نمونه‌برداری‌های کیفی در دشت‌های مطالعاتی؛ الف) دشت تسوج و ب) دشت شیرامین

نتایج و یافته‌ها

برای بررسی تغییرات کیفی، پارامترهای EC ، PH، SO4، TH، TDS، Mg، Ca و Cl بررسی شد. نتایج حاصل از تحلیل شیمیایی نمونه‌های برداشت‌شده از سال آبی ۱۳۸۱ـ ۱۳۸۲ تا سال آبی ۱۳۹۲ـ ۱۳۹۳ آنالیز شد. نمونه‌های کیفی در بازه‌های زمانی ۳ ماه برداشت‌شده بودند. میانگین سالانهٔ هر پارامتر محاسبه در جدول‌های ۴ و ۵ و نمودار روند تغییرات هدایت الکتریکی آب در شکل ۳ ارائه شده است.

مقدار عوامل مؤثر در کیفیت آب‌های زیرزمینی، در هر دو دشت روند افزایشی دارند (جدول‌های ۴ و ۵)؛ مقدار افزایش پارامترهای هدایت الکتریکی (Ec) و مجموع املاح محلول (TDS) چشم‌گیرتر است. هدایت الکتریکی آب (شکل ۳) در دشت تسوج ۲۰ درصد افزایش داشته است، اما در دشت شیرامین مقدار این پارامتر ۸۲ درصد افزایش یافته است که نشان‌دهندهٔ افت شدید کیفیت آبخوان شیرامین است. بیشترین مقدار افزایش، مربوط به کلسیم با ۱۷۸/۳ درصد در دشت شیرامین است (جدول ۵).



شکل ۳. نمودار تغییرات EC در دشت شیرامین (الف) و تسوج (ب) از سال آبی ۱۳۸۲ـ ۱۳۸۳ تا سال آبی ۱۳۹۲ـ ۱۳۹۳

جدول ۴. روند تغییرات پارامترهای کیفی آبخوان دشت تسوج از سال آبی ۱۳۸۲ـ ۱۳۸۳ تا سال آبی ۱۳۹۲ـ ۱۳۹۳

سال	EC	PH	TDS	Ca	Mg	SO4	Cl
۱۳۸۲-۸۳	۱۴۰۹/۵	۷/۶	۹۰۴/۴	۳/۹	۴/۱	۳/۱	۵/۸
۱۳۸۴-۸۵	۱۴۳۶/۱	۷/۶	۹۳۵/۵	۴	۳/۸	۳	۵/۱
۱۳۸۶-۸۷	۱۵۵۴	۷/۸	۹۳۲/۴	۴/۴	۴/۳	۳/۲	۵/۱
۱۳۸۸-۸۹	۱۵۴۴/۵	۷/۷	۹۲۶/۷	۴/۵	۴/۶	۳	۵/۴
۱۳۹۰-۹۱	۱۷۱۱/۹	۸/۱	۱۰۲۷/۱	۵/۷	۵/۱	۲/۹	۵/۷
۱۳۹۲-۹۳	۱۶۹۵/۹	۷/۷	۱۰۰۰/۳	۵/۷	۵/۳	۲/۷	۷
روند	افزایش	افزایش	افزایش	افزایش	افزایش	کاهش	افزایش

جدول ۵. روند تغییرات پارامترهای کیفی آبخوان دشت شیرامین از سال آبی ۱۳۸۲ـ ۱۳۸۳ تا سال آبی۱۳۹۲ـ ۱۳۹۳

سال	EC	PH	TDS	Ca	Mg	SO4	Cl
۱۳۸۲-۸۳	۴۶۸۲/۷	۶/۹	۲۸۵۲/۸	۱۶/۸	۱۲/۷	۵/۴	۳۱/۵
۱۳۸۴-۸۵	۵۶۶۰/۷	۶/۷	۳۶۷۰	۲۵/۳	۱۳/۷	۵/۲	۴۴/۱
۱۳۸۶-۸۷	۷۴۳۸/۴	۷/۲	۴۸۳۳/۳	۳۳/۱	۲۰/۱	۶/۴	۶۳/۳
۱۳۸۸-۸۹	۷۵۵۹/۶	۶/۸	۴۷۹۶/۹	۳۳/۴	۲۰/۱	۸/۱	۶۳/۵
۱۳۹۰-۹۱	۸۵۶۲	۷/۴	۵۵۶۵/۳	۳۹/۱	۲۲/۱	۸/۵	۷۵/۱
۱۳۹۲-۹۳	۹۱۷۸/۳	۷	۵۹۶۵/۹	۴۶/۷	۲۳/۷	۹/۲	۸۰/۴
روند	افزایش	افزایش	افزایش	افزایش	افزایش	افزایش	افزایش

برای طبقه‌بندی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت‌های تسوج و شیرامین برای مصارف شرب، از نمودار شولر استفاده شد. در این طبقه‌بندی از شاخص‌های مختلفی استفاده می‌شود که مقادیر حد آستانهٔ برخی از پارامترها، در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج این طبقه‌بندی را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

PH: متوسط این شاخص در دشت تسوج ۷/۷ است که قابل قبول و برای دشت شیرامین برابر ۷ است و در کلاس خوب قرار می‌گیرد.

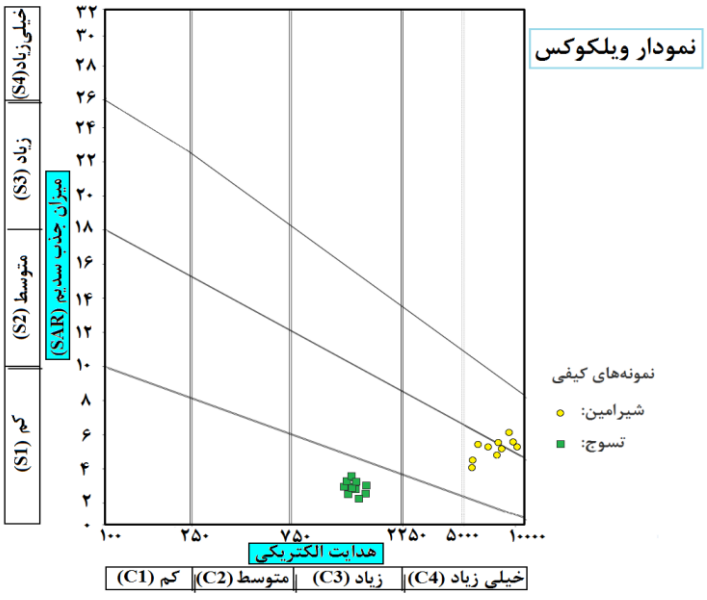
کل مواد جامد محلول (TDS): مقدار متوسط این پارامتر در دشت تسوج ۹۳۶/۴ و در دشت شیرامین ۴۵۸۹/۱ است؛ براساس نمودار شولر کیفیت آبخوان تسوج در حد قابل قبول و آبخوان شیرامین کاملاً نامطبوع است.

سختی کل (TH): سختی کل در آبخوان دشت شیرامین برابر با ۲۵۰۱ و کاملاً نامطبوع است؛ همچنین در آبخوان دشت تسوج مقدار این پارامتر برابر با ۴۵۵/۴ و کیفیت آن قابل قبول است.

برای طبقه‌بندی آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی از نمودار ویلکوکس استفاده شد که کلاس غالب آب کشاورزی برای دشت تسوج C3S1 و برای دشت شیرامین C4S2 طبقه‌بندی شد (شکل ۴). به‌طورکلی، در صورتی که هدایت الکتریکی آب بین ۷۵۰ تا ۲۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر[1] و نسبت جذب سدیم آن‌ها کمتر از ۱۰ باشد، استفاده از این آب‌ها برای آبیاری زمین‌هایی با سیستم زهکشی مناسب است؛ بنابراین استفاده از آب‌های دشت تسوج برای زمین‌های فاقد زهکش، مناسب نیست. آب‌های زیرزمینی دشت شیرامین برای مصارف کشاورزی نامناسب است و استفاده از آن سبب افزایش شوری خاک و درنهایت کاهش میزان تولید محصولات کشاورزی می‌شود. برای مثال، درصورتی‌که میزان شوری آب استفاده‌شده برای آبیاری مزارع گندم، بیشتر از حد آستانهٔ تحمل گیاه باشد، به ازای هر واحد افزایش شوری آب، به‌طور متوسط ۴ تا ۵ درصد میزان عملکرد محصول کم می‌شود [۴].

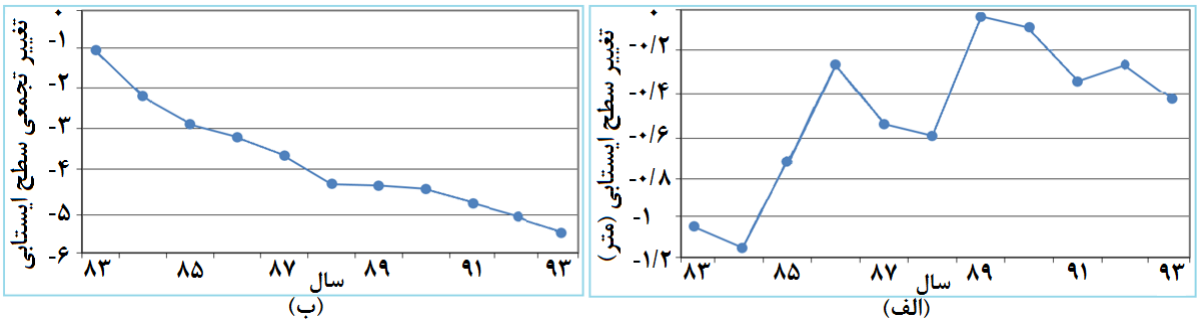
تغییرات سطح ایستابی آبخوان‌ها

در بررسی روند تغییرات سطح ایستابی آبخوان‌ها از داده‌های ۲۱ حلقه چاه پیزومتری در دشت شیرامین و ۲۸ چاه پیزومتری در دشت تسوج که در سال‌های ۱۳۸۲ـ ۱۳۹۳ اندازه‌گیری شده بود، استفاده شد. میانگین تغییرات در هر سال، با توجه به سال قبل از آن، محاسبه و نمودار روند تغییرات سطح ایستابی آبخوان‌ها (شکل‌های ۵ و ۷) ترسیم شد. برای بررسی تغییرات حجم آبخوان‌ها، از ضریب جذب و مساحت آبخوان استفاده شد و نمودار مربوط به روند تغییرات حجمی آبخوان‌ها ترسیم شد (شکل‌های ۶ و ۸).

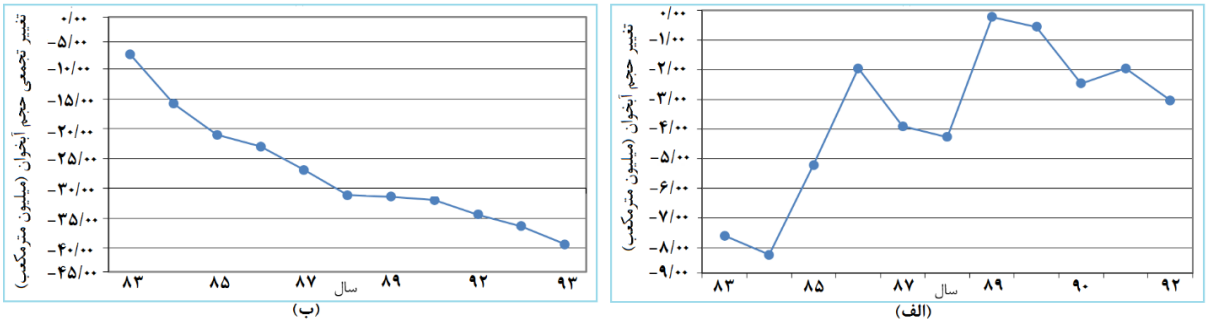


شکل ۴. نمودار ویلکوکس، طبقه‌بندی آب برای مصارف کشاورزی؛ دشت تسوج (نمونه‌های سبز) و شیرامین (نمونه‌های زرد) [1]

1. µ mho/cm



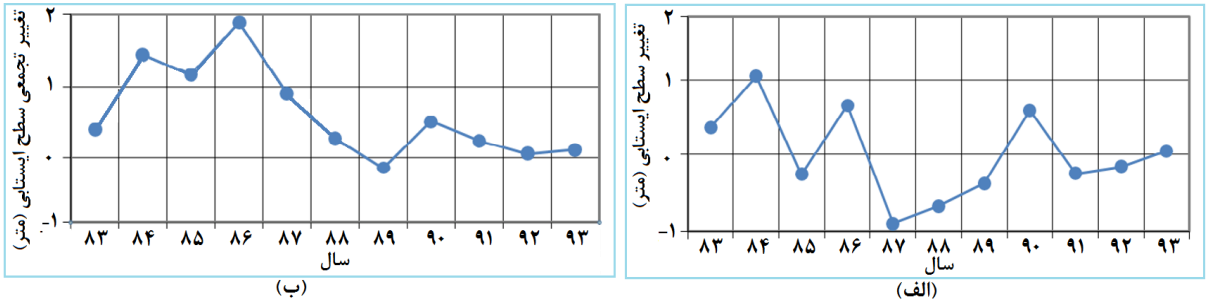
شکل ۵. میزان تغییر سالانه (الف) و تغییر تجمعی (ب) سطح ایستابی آبخوان تسوج در سال‌های آبی ۱۳۸۲ـ ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۲ـ ۱۳۹۳



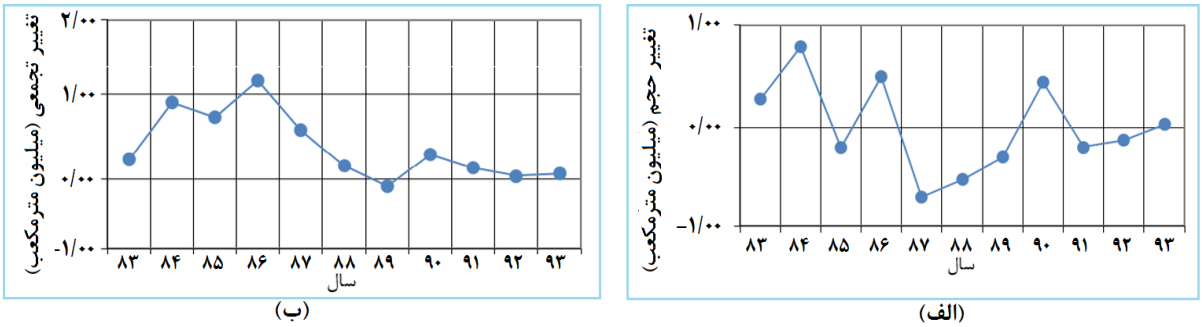
شکل ۶. میانگین تغییر سالانه (الف) و تجمعی (ب) حجم آبخوان تسوج از سال آبی۱۳۸۲ـ ۳۸۳ تا سال آبی۱۳۹۲ـ ۱۳۹۳

روند تغییرات سطح و حجم آبخوان‌ها، در دو دشت رفتار متفاوت است. از سال آبی ۱۳۸۲ـ ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۲ـ ۱۳۹۳ سطح آبخوان تسوج سالانه، به‌طور متوسط، ۱۸ سانتی‌متر و حجم آن، ۱/۲۷ میلیارد مترمکعب کاهش یافته است. کاهش حجم نشان‌دهندهٔ نامتناسب‌بودن میزان تغذیه و برداشت از آبخوان است. همچنین نرخ تغییرات و سرعت تغییرات حجم آبخوان در حال کاهش است؛ به بیان دیگر در سال‌های اخیر میزان برداشت از آبخوان دشت تسوج نسبت به سال‌های قبل، کاهش یافته است.

تغییرات سطح ایستابی آبخوان دشت شیرامین رفتار نامنظم دارد؛ از سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۶ سطح آبخوان افزایش داشته است؛ در این بازه به‌طور متوسط سالانه ۴۵ سانتی‌متر سطح آب افزایش یافته است که این مقدار برابر با افزایش ۰/۲۹ میلیون مترمکعبی حجم آبخوان است. بیشترین افزایش سطح آبخوان سال آبی ۱۳۸۳ـ ۱۳۸۴ و برابر با ۱/۰۵ متر است؛ اما از سال آبی ۱۳۸۶ـ ۱۳۸۷ سطح آبخوان کاهش یافته است که نشانگر کاهش حجم تغذیهٔ آبخوان است. از سال آبی ۱۳۸۹ـ ۱۳۹۰ سطح ایستابی آبخوان افزایش می‌یابد. با توجه به تحقیقات محلی انجام‌شده، علت کاهش برداشت از آبخوان دشت‌های تسوج و شیرامین در سال‌های اخیر، کاهش کیفیت آب و افزایش شوری آب‌های زیرزمینی است که سبب کاهش استفاده از آب‌های زیرزمینی برای مصارف مختلف از جمله کشاورزی شده است.



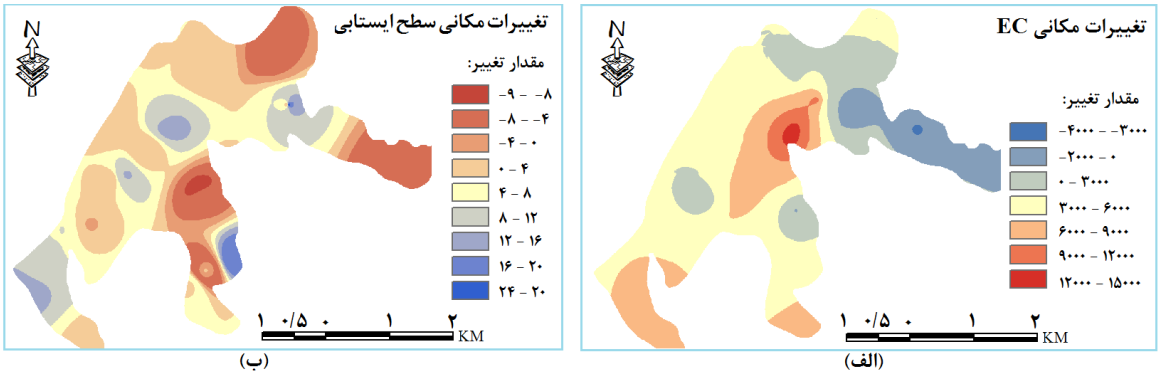
شکل ۷. میزان تغییر سالانه (الف) و تجمعی (ب) سطح آبخوان شیرامین از سال آبی ۱۳۸۲ـ ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۲ـ ۱۳۹۳



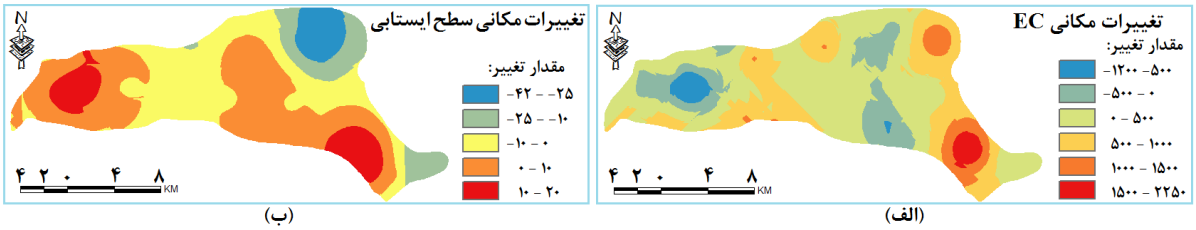
شکل ۸. میزان تغییر سالانه (الف) و تجمعی (ب) حجم آبخوان شیرامین از سال آبی ۱۳۸۲ـ ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۲ـ ۱۳۹۳

تغییرات مکانی پارامترها

برای بررسی تغییرات مکانی پارامترهای سطح ایستابی و EC، در دو دشت، نقشهٔ تغییرات هر پارامتر در طول بازهٔ مطالعاتی در محیط GIS تهیه شد (شکل‌های ۹ و ۱۰). وابستگی میزان تغییرات دو عامل (وابستگی میان میزان تغییرات سطح ایستابی با میزان تغییرات EC)، در دشت‌های تسوج و شیرامین به‌ترتیب ۰/۳۶- و ۰/۳۸- محاسبه شد که نشان‌دهندهٔ وجود وابستگی ضعیفی بین روند تغییرات دو متغیر است. همبستگی منفی به این معناست که با افزایش یک عامل، مقدار عامل دیگر کاهش می‌یابد؛ به بیان دیگر با کاهش سطح ایستابی آبخوان، مقدار EC افزایش می‌یابد؛ بنابراین، با کنترل میزان برداشت از سفره‌های زیرزمینی و ایجاد تعادل میان میزان برداشت و حجم تغذیهٔ آبخوان می‌توان از افزایش EC جلوگیری کرد.



شکل ۹. روند تغییرات مکانی EC (الف) و سطح ایستابی (ب) در دشت شیرامین بین سال آبی ۱۳۸۲ـ ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۲ـ ۱۳۹۳



شکل ۱۰. روند تغییرات مکانی EC (الف) و سطح ایستابی (ب) در دشت تسوج بین سال آبی ۱۳۸۲ـ ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۲ـ ۱۳۹۳

بحث و نتیجه‌گیری

آب‌های زیرزمینی از منابع مهم آبی در کشور محسوب می‌شوند و اطلاع از چگونگی تغییرات کیفی این منابع و تعیین میزان مناسب‌بودن این منابع برای مصارف گوناگون مانند کشاورزی و شرب، به‌منظور مدیریت صحیح این منابع اهمیت زیادی است. حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه، به‌دلیل شرایط اکولوژیکی خاص و محدودیت‌های ناشی از خشک‌شدن دریاچهٔ ارومیه، از جمله مناطقی است که با مشکلات جدی در بخش مدیریت منابع آبی مواجه است. از این‌رو مدیریت و برنامه‌ریزی برای استفادهٔ صحیح از این

منابع نیازمند شناخت وضعیت موجود، روند تغییرات پارامترهای کیفی و کمی این منابع است. بنابراین، تحقیق حاضر با هدف بررسی پارامترهای کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی و شناسایی عوامل مؤثر در تغییر و چگونگی تغییر این پارامترها در یک بازهٔ زمانی ۱۲ ساله، در این حوضه انجام شد. به این منظور دو دشت تسوج و شیرامین، از دشت‌های این حوضه انتخاب شد.

نتایج نشان داد که درگذر زمان کیفیت آب زیرزمینی در دو دشت تسوج و شیرامین، کاهش یافته است (افزایش غلظت آلاینده‌ها). کیفیت آب دشت تسوج، برمبنای طبقه‌بندی شولر، برای مصارف شرب در کلاس خوب طبقه‌بندی می‌شود؛ اما آب زیرزمینی دشت شیرامین براساس این روش، در کلاس کاملاً نامطبوع طبقه‌بندی شد. همچنین با استفاده از طبقه‌بندی ویلکوکس مشخص شد که استفاده از آب‌های زیرزمینی دشت شیرامین برای مصارف کشاورزی نامناسب است و استفاده از آب‌های زیرزمینی در دشت تسوج برای آبیاری زمین‌های فاقد زهکش مناسب، تأثیرات سوء از جمله افزایش شوری خاک و کاهش میزان تولید، خواهد داشت. دشت شیرامین نسبت به دشت تسوج وضعیت بدتری دارد، شاید بتوان علت آن را ناشی از تأثیرات خشک‌شدن دریاچهٔ ارومیه دانست؛ زیرا در نواحی شمالی دریاچه که شرایط بهتری نسبت به مناطق شرقی دارد، کیفیت آبخوان شمالی (آبخوان تسوج)، در مقایسه با آبخوان شرقی (شیرامین)، بهتر است. بررسی روند تغییرات حجم و سطح آبخوان‌ها نشان داد که در گذر زمان، نرخ برداشت از آبخوان‌ها روند نزولی دارد. نتایج آنالیز داده‌ها و مراجعات محلی، نشان‌دهندهٔ رابطه‌ای قوی میان کیفیت منابع و میزان برداشت از منابع زیرزمینی است؛ به بیان دیگر تا زمانی که کیفیت منابع مناسب باشد میزان برداشت از منابع، در گذر زمان، افزایش می‌یابد؛ با افزایش برداشت و درصورتی که میزان تغذیهٔ آبخوان مناسب نباشد (مانند دشت‌های مطالعاتی)، کیفیت آب در آبخوان کاهش می‌یابد و سبب می‌شود میزان برداشت از آبخوان کاهش یابد.

با توجه به نتایج تحقیق حاضر، انجام پروژه‌های مختلف آبخیزداری برای تقویت آبخوان‌ها و همچنین ایجاد سیستم‌های مناسب زهکشی در اراضی کشاورزی، به‌منظور جلوگیری از افزایش شوری خاک و جلوگیری از کاهش میزان تولیدات کشاورزی، امری ضروری است. به‌دلیل ویژگی‌های خاص این حوضه، نیاز است تا تمامی دشت‌های حوضه، به‌صورت یکپارچه، بررسی و علل تغییر هر یک از فاکتورها بررسی شود. پیشنهاد می‌شود تا روند کاهش کیفیت آب آبخوان‌ها با در نظر گرفتن میزان تغییرات حجم آب، تغییرات سطح دریاچهٔ ارومیه و میزان نزولات جوّی، در یک بازهٔ زمانی طولانی بررسی شود.

منابع

[۱]. جهانگیر، محمدحسین؛ سلطانی، کیوان، ۱۳۹۴، «بررسی دلایل و راهکارهای مدیریتی در احیای رودخانه با استفاده از مدل تحلیلی SWOT (مطالعهٔ موردی: رودخانهٔ گاماسیاب)»، فصلنامهٔ علمی- پژوهشی *اکوهیدرولوژی*، دورهٔ ۲، ش ۱، صص. ۱- ۱۰.

[۲]. حسنی، قاسم؛ محوی، امیرحسین؛ ناصری، سیمین؛ عرب‌علی‌بیگ، حسین؛ یونسیان، مسعود؛ قریبی، حامد، ۱۳۹۱، «طراحی شاخص کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از منطق فازی»، مجلهٔ *سلامت و بهداشت اردبیل*، دورهٔ سوم، ش ۱، صص. ۱۸- ۳۱.

[۳]. دانشور وثوقی، فرناز؛ دین‌پژوه، یعقوب، ۱۳۹۱، «بررسی روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت اردبیل با استفاده از روش اسپیرمن»، *محیط‌شناسی*، سال سی و هشتم، ش ۴، صص. ۱۷- ۲۸.

[۴]. رنجبر، غلامحسن؛ بناکار، محمدحسین، ۱۳۸۹، «آستانهٔ تحمل به شوری چهار رقم تجاری گندم»، مجلهٔ *پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)*، ج ۲۴، ش ۳، صص. ۲۳۷-۲۴۲.

[۵]. زهتابیان، غلامرضا؛ رفیعی، امام علی نقی؛ علوی‌پناه، سیدکاظم؛ جعفری، محمد، ۱۳۸۳، «بررسی آب زیرزمینی دشت ورامین جهت استفاده از آبیاری اراضی کشاورزی»، *پژوهش‌های جغرافیایی*، دورهٔ ۳۶، ش ۴۸، صص. ۹۱- ۱۰۲.

[۶]. سلیمانی، سمیه؛ محمودی قرایی، محمدحسین؛ قاسم‌زاده، فرشته؛ سیاره، علیرضا، ۱۳۹۲، «بررسی تغییرات کیفی منابع آب باختر کوه‌سرخ با استفاده از شاخص کیفی GQI در محیط GIS»، *علوم زمین*، سال بیست و سوم، ش ۸۹، صص. ۱۷۵- ۱۸۲.

[۷]. صالحی، حسین؛ زینی‌وند، حسین، ۱۳۹۳، «بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای شرب و کشاورزی و انتخاب مناسب‌ترین روش میان‌یابی مکانی آن (مطالعهٔ موردی: غرب شهرستان مریوان)»، فصلنامهٔ علمی- پژوهشی *اکوهیدرولوژی*، دورهٔ ۱، ش ۳، صص. ۱۵۳- ۱۶۶.

[۸]. عبادتی، ناصر؛ هوشمندزاده، محمد، ۱۳۹۳، «بررسی کیفیت آب رودخانهٔ دز در ایستگاه آب‌سنجی دزفول»، فصلنامهٔ علمی- پژوهشی *اکوهیدرولوژی*، دورهٔ ۱، ش ۲، صص. ۶۹- ۸۱.

[۹]. قمشیون، مرضیه؛ ملکیان، آرش؛ حسینی، خسرو؛ قره‌چلو، سعید؛ خاموشی، محمدرضا، ۱۳۹۱، «بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت سمنان- سرخه با استفاده از روش‌های زمین‌آمار»، فصلنامهٔ علمی- پژوهشی *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ج ۱۹، ش ۳، صص. ۵۳۵-۵۴۵.

[۱۰]. کرباسی، مریم؛ اسماعیلی، محمد؛ طاهری، مهدی؛ بازگان، جلال، ۱۳۹۰، «مطالعه و برآورد نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی با استفاده از روش‌های مختلف به‌منظور ارائهٔ الگوی مناسب کشت در شبکهٔ آبیاری و زهکشی سد قره‌درق»، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

[۱۱]. گیگلو، بهنام فرید؛ نجفی‌نژاد، علی؛ مغانی بیله‌سوار، وحید؛ غیاثی، اصغر، ۱۳۹۲، «بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانهٔ زرین‌گل استان گلستان»، مجلهٔ *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ج بیستم، ش اول، صص. ۷۷- ۹۶.

[۱۲]. *مشخصات کلی حوضه‌های آبریز کشور*، شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۲.

[۱۳]. مقدم، علیرضا؛ قلعه‌بان تکمه‌داش، میلاد؛ اسماعیلی، کاظم، ۱۳۹۲، «بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب دشت مشهد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی»، مجلهٔ *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ج بیستم، ش سوم، صص. ۲۱۱- ۲۲۵.

[۱۴]. ملکوتیان، محمد؛ اکرمی، اکبر، ۱۳۸۳، «بررسی روند تغییرات کیفیت شیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت بم و بروات طی سال‌های ۱۳۷۶- ۱۳۸۳»، مجلهٔ *پزشکی هرمزگان*، سال هشتم، ش دوم، صص. ۱۰۹- ۱۱۶.

[۱۵]. موسویان، مریم؛ حقی‌زاده، علی؛ دهداری، سمیه؛ حزباوی، زینب، ۱۳۹۳، «عوامل محیطی مؤثر بر تغییرات زمانی مؤلفه‌های کیفی آب رودخانهٔ زرد در استان خوزستان»، فصلنامهٔ علمی- پژوهشی *اکوهیدرولوژی*، دورهٔ ۱، ش ۱، صص. ۵۹- ۶۸.

[۱۶]. نجمی، نادر، «دستورالعمل پایش کیفی آب‌های زیرزمینی»، نشریهٔ ش ۶۲۰، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، ۱۳۹۰.

[17]. Baba, A., Bundschuh, J., Chandrasekharam, D., Geothermal Systems and Energy Resources: Turkey and Greece, CRC Press.

[18]. Kampbell, D.H., et al., 2003, Groundwater quality surrounding Lake Texoma during short-term drought conditions, Environmental Pollution, 125(2): pp. 183-191.

[19]. Khazaei, E., et al., 2006, Hydrochemical changes over time in the Zahedan aquifer, Iran, Environmental monitoring and assessment, 114(1-3): pp.123-143.

[20]. Kumar, A., Fundamentals of Limnology, APH, 2005, New Delhi, India.

[21]. Mei, K., et al., 2014, Evaluation of Spatial-Temporal Variations and Trends in Surface Water Quality across a Rural-Suburban-Urban Interface, Environmental Science and Pollution Research, 21: pp. 8036–8051.

[22]. Pourmoghadas, H., 2002, Investigation of groundwater quality in Lenjan city, Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research Quarterly, 4: pp. 31-40.

[23].Rizzo, DM., Mouser, JM., 2000, Evaluation of Geostatistics for Combined Hydrochemistry and Microbial Community Fingerprinting at a Waste Disposal Site, Hydrology, pp. 1-11.

[24]. Samson, M., Swaminathan, G., and Kumar, N.V., 2010, Assessing groundwater quality for potability using a fuzzy logic and GIS–A case study of Tiruchirappalli city–India, Computer Modeling and New Technologies, 14(2): pp. 58-68.