مجله مهندسی بهداشت محیط، بهار۱۴۰۲، سال ۱۰، شماره ۳ : ۲۲۱-۲۴۰

تحلیل زمانی و مکانی تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت فرادنبه و ارزیابی قابلیت استفاده از آن در مصارف کشاورزی طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۷۰

محسن نادری اشکفتکی[۱]، رسول میرعباسی نجف آبادی[۲*]، محمدعلی نصر اصفهانی[۳] ، روح الله فتاحی نافچی[۴]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی ارشد منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
[۲]دکتری تخصصی منابع آب، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
[۳] دکتری تخصصی هواشناسی، استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
[۴]دکتری تخصصی هیدرولیک و منابع آب، استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶ ، تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۰۵/۳

چکیده

زمینه و هدف: امروزه با توجه به محدود بودن منابع آب زیرزمینی و افزایش روزافزون جمعیت و رشد کشاورزی و صنایع، بهره‌برداری بهینه از آبهای زیرزمینی نیازمند توجه بیشتری است. در این پژوهش به بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت فرادنبه واقع در استان چهارمحال و بختیاری و قابلیت آن برای استفاده در مصارف کشاورزی پرداخته شده است.

مواد و روش ها: بدین‌منظور، از سری زمانی متغیرهای کیفی برداشت شده از ۷ ایستگاه نمونه برداری (شامل ۶ چاه و یک چشمه) در سطح دشت فرادنبه در طی دوره آماری ۲۹ ساله (۱۳۹۸-۱۳۷۰) استفاده شد. روند تغییرات متغیرهای کیفی آب زیرزمینی این دشت با استفاده از آزمون ناپارامتری مان-کندال اصلاح شده (پس از حذف کامل اثر خودهمبستگی) مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برای هر سری زمانی، شیب خط روند با استفاده از تخمین‌گر شیب Sen محاسبه شد. به منظور ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی متغیرهای کیفی از روش Kriging در محیط نرم افزار Arc GIS استفاده شد. در نهایت، قابلیت استفاده آب زیرزمینی دشت فرادنبه برای مصارف کشاورزی با استفاده از دیاگرام USSL مورد بررسی قرار گرفت.

یافته ها: مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی متغیرهای کیفی نشان داد که کیفیت آب زیرزمینی این دشت طی سال‌های اخیر به خصوص در بخش‌های مرکزی دشت کاهش یافته است. همچنین نتایج حاصل از دیاگرام USSL حاکی از کاهش کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی می‌باشد.

نتیجه گیری: با توجه به گسترش اراضی کشاورزی در این دشت، استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، کودها و سموم شیمیایی می تواند منابع آبی موجود در منطقه را از نظر کمی و کیفی در معرض تهدیدی جدی قرار دهد. همچنین استفاده از پساب‌های صنعتی و شهری برای آبیاری به دلیل ایجاد تغییرات نامطلوب بر خاک و احتمال نشت این آلاینده‌ها به آب زیرزمینی، بخصوص در مناطق مرکزی دشت، می‌تواند در درازمدت اثرات نامطلوبی را بر چرخه حیات این منطقه داشته باشد.

واژه های کلیدی: کیفیت منابع آب زیرزمینی، روند، مان-کندال، Kriging، دیاگرام USSL.

***دکتری تخصصی منابع آب، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران**
نویسنده مسئول: **mirabbasi_r@yahoo.com** ، شماره تماس: ۰۹۱۳۳۳۳۲۷۵

مقدمه

از مجموع آب‌های آب‌کره فقط حدود یک در صد آن قابل استفاده است که حدود ۹۹ درصد از این مقدار را آب‌های زیرزمینی تشکیل می‌دهند[۱]. ذخایر آب زیرزمینی حدود ۹۷ درصد از آب شیرین مصرفی جهان را تأمین می‌کند[۲]. این ذخایر نه‌تنها به لحاظ کمی قابل اهمیت هستند بلکه هم از لحاظ کیفی و هم در مقایسه با ذخایر آب سطحی دارای مزایایی هستند که اهمیت این منابع را بیش از پیش می‌کند. کشور ایران از لحاظ اقلیمی در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد، به طوری که تقریبا ۷۰ در صد از سطح آن را مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهند[۳]. همچنین با توجه به نقش منابع و ذخایر آب زیرزمینی در تأمین نیازهای بشر اقدام جدی برای مدیریت و بهره‌برداری صحیح جهت جلوگیری از افول کمی و کیفی این منابع ضروری به نظر می‌رسد[۴]. یکی از مهمترین موضوعات زیست‌محیطی در سطح جهان ارزیابی کیفیت آب می‌باشد. کیفیت آب برای مصارف مختلف بستگی به نوع و غلظت مواد محلول در آن دارد. اغلب منابع موردنیاز در بخش کشاورزی توسط آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود و از آنجایی که بخش کشاورزی بزرگترین مصرف‌کننده آب کشور است؛ بنابراین مدیریت و پایش کیفیت آب‌های زیرزمینی بسیار ضروری می باشد[۵].

امروزه نیز بخش مهمی از آب مورد نیاز در بخش‌های کشاورزی و مصارف شهری از منابع زیرزمینی تامین می‌شود. جهت استمرار و یا توسعه بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی برای انواع مصارف و اهداف مختلف، ضرورت دارد که اطلاعات کافی از ویژگی‌های کمی و کیفی آبخوان موردنظر جمع‌آوری، ثبت و تجزیه و تحلیل شود. برای رسیدن به این هدف، انجام عملیات پایش کمی و کیفی آبخوان ضروری می‌باشد. منظور از پایش، سنجش رفتار کمی و کیفی منابع آب تحت تاثیر عوامل طبیعی و فعالیت های انسانی است. با استفاده از پایش آب زیرزمینی می‌توان به اطلاعاتی از قبیل خصوصیات زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی آبخوان، توزیع بار هیدرولیکی در زمان و مکان، جهت جریان آب زیرزمینی، کیفیت آب و غلظت مواد آلوده‌کننده و خصوصیات منبع آلوده‌کننده دست یافت. موضوعات اساسی پایش کمی آب زیرزمینی، شامل اندازه‌گیری عواملی نظیر سطح آب زیرزمینی، آبدهی منابع بهره‌برداری انتخابی و تخلیه منابع آب زیرزمینی است که با تحلیل تغییرات این عوامل نسبت به زمان و تلفیق نتایج حاصله می‌توان به اهداف موردنظر دست یافت. بررسی روند تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی و علل آن، می‌تواند اطلاعات مفیدی در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان جهت بهره‌برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی و تأمین نیاز آبی بخش‌های مختلف قرار دهد. در سال‌های اخیر بررسی روند تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی به روش‌های کلاسیک آماری برای توسعه مدیریت منابع آب بکار گرفته شده است. برای بررسی روند تغییرات متغیرهای هیدروژئولوژیکی آب زیرزمینی روش‌های متعددی وجود دارد ولی در این بین روش‌های ناپارامتری به دلیل استفاده از سری داده های با طول کم و توزیع آماری غیرنرمال و یا احتمالا دارای داده‌های گمشده مناسب‌تر می‌باشند. البته محدودیت استفاده از این روش‌ها عدم وجود خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی داده‌ها است. آزمون‌های ناپارامتری در صورت تصادفی بودن داده‌ها قابل استفاده‌اند و به نرمال بودن داده‌ها حساس نیستند؛ بنابراین روش‌های ناپارامتری بیشتر مورد توجه و استفاده پژوهشگران بوده است[۶].

کیفیت و کمیت آب همواره دو ویژگی اساسی در مدیریت بهره‌برداری و تعیین قابلیت مصرف آب به حساب می‌آیند. هر چقدر این دو ویژگی با دقت بالاتر و بر پایه اصول علمی برآورد شده باشند، نتایج بدست آمده در بهینه کردن مصرف آب با موفقیت بیشتری همراه خواهد بود. کیفیت آب متغیری است که هم در بعد زمان و هم در بعد مکان در حال تغییر است. چاه‌های نمونه‌برداری مقدار متغیرهای کیفی آب را در

نقاط مشخصی از منطقه نشان می‌دهند. بنابراین، اطلاعات ما از میزان کیفیت آب، منحصر به نقاط خاصی از دشت (محل چاه های نمونه‌برداری) می باشد و این میزان اندازه‌گیری نمی‌تواند مبنای تعیین کننده کیفیت مناسب آب جهت مصارف مختلف قرار گیرد. تحلیل منحنی های هم‌مقدار کیفیت آب یکی از ابزارهای اساسی در بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب می‌باشد. در واقع به وسیله این منحنی‌ها می‌توان مقدار کیفیت آب در چند نقطه مشخص را به متوسط کیفیت آب در یک سطح معلوم تبدیل کرد و همچنین به روند تغییرات مکانی کیفیت آب در سطح یک منطقه دست یافت. بدین منظور استفاده از تحلیل‌های زمین آمار به دلیل ارائه ساختار مکانی و فضایی بین داده‌ها می تواند موثر واقع شود. زمین‌آمار فرایندی محاسباتی است که در آن مقدار یک کمیت در نقطه‌ای معلوم، بر اساس وزن اختصاصی به نقاط دارای اطلاعات معلوم مجاور برآورد می‌گردد. کیفیت آب‌های زیرزمینی دارای تغییرات مکانی بوده و تکنیک زمین‌آمار به دلیل در نظر گرفتن همبستگی مکانی داده‌ها و بیان آنها در قالب مدل‌های ریاضی اهمیت زیادی دارد[۷].

معمولا جهت تعیین مناسب بودن کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف مختلف، پس از نمونه‌گیری، آزمایش‌های تجزیه شیمیایی روی نمونه‌ها انجام شده و با مقایسه نتایج آنها با مقادیر استاندارد، کیفیت آب جهت هر نوع مصرف مشخص می‌گردد۷. برای تعیین کیفیت آب از نظر قابلیت استفاده در مصارف کشاورزی از طبقه بندی USSL که یکی از مهمترین طبقه‌بندی‌ها در این زمینه می باشد؛ استفاده خواهد شد [۸و۹]. تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه بررسی تغییرات زمانی و مکانی کمیت و کیفیت آب زیرزمینی انجام شده است که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره می شود:

کامون و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی کیفیت آب های زیرزمینی آبخوان Enfidha واقع در کشور تونس برای مصارف کشاورزی و شرب پرداختند. آنها در این مطالعه از روش‌های آماری و نمایش گرافیکی برای ارزیابی مناسب بودن کیفیت آب زیرزمینی برای اهداف کشاورزی و شرب استفاده کردند. آنها از دیاگرام ویلکاکس (Willcox) برای طبقه‌بندی و بررسی مناسب بودن نمونه‌ها برای مصارف کشاورزی استفاده کردند[۱۰]. الصالح و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای کیفیت آب زیرزمینی شهر نجف در کشور عراق را با استفاده از روش‌های زمین آماری مبتنی بر رویکرد درون‌یابی کریجینگ، برای تخمین مقادیر کیفی در مناطقی که داده‌های واقعی در دسترس نبود، مورد بررسی قرار دادند. همچنین نمونه‌های آب زیرزمینی بر اساس پارامترهای کیفی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. آنها در این مطالعه برای بررسی قابلیت استفاده از آب زیرزمینی این منطقه جهت مصارف کشاورزی، از دیاگرام USSL استفاده کردند. نتایج نشان داد ۸/۹۵ % از آب چاه های موجود در این منطقه به دلیل شوری بسیار بالا برای مصارف کشاورزی نامناسب است و استفاده مداوم از آنها منجر به توسعه خاک‌های شور می‌شود[۱۱]. احمدپور و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی هیدروژئوشیمی در منابع آب زیرزمینی قسمت شرقی آبخوان تهران پرداختند. از نظر کیفی، نمونه‌های برداشت‌شده با استفاده از روش‌های گرافیکی از جمله دیاگرام ویلکاکس مورد بررسی قرار گرفتند. نقشه پهنه‌بندی EC نشان داد که اغلب نمونه های آب در کلاس های C3 و C4 قرار می‌گیرند، اما کیفیت آب زیرزمینی از نظر متغیرهای SAR و %Na مطلوب است. بر اساس دیاگرام ویلکاکس بیشترین درصد نمونه‌ها متعلق به کلاس‌های C3S1، C3S2 و C4S2 بود[۱۲].

یکی از عوامل مهم در پایداری توسعه یک منطقه، فراهم بودن آب کافی و مناسب برای مصارف مختلف می‌باشد که علاوه بر کمیت، وضع کیفی آن نیز از اهمیت زیادی برخوردار است. امروزه ویژگی‌های کیفی آب از مولفه‌هایی است که ضرورت لحاظ آن در برنامه‌ریزی‌های مربوط به مدیریت منابع آب و همچنین ارزیابی سلامت حوضه‌های آبخیز و ایجاد

تغییرات مدیریتی در آن کاملا احساس می‌شود. عوامل طبیعی و انسانی در هر منطقه سبب تغییرات فیزیکی، شیمیایی، میکروبی و بیولوژیکی در کیفیت منابع آب می شود. از این رو، پژوهشگران بسیاری در این نقاط مختلف دنیا کیفیت آب را از نظر خواص فیزیکوشیمیایی مورد بررسی قرار داده اند[۱۳].

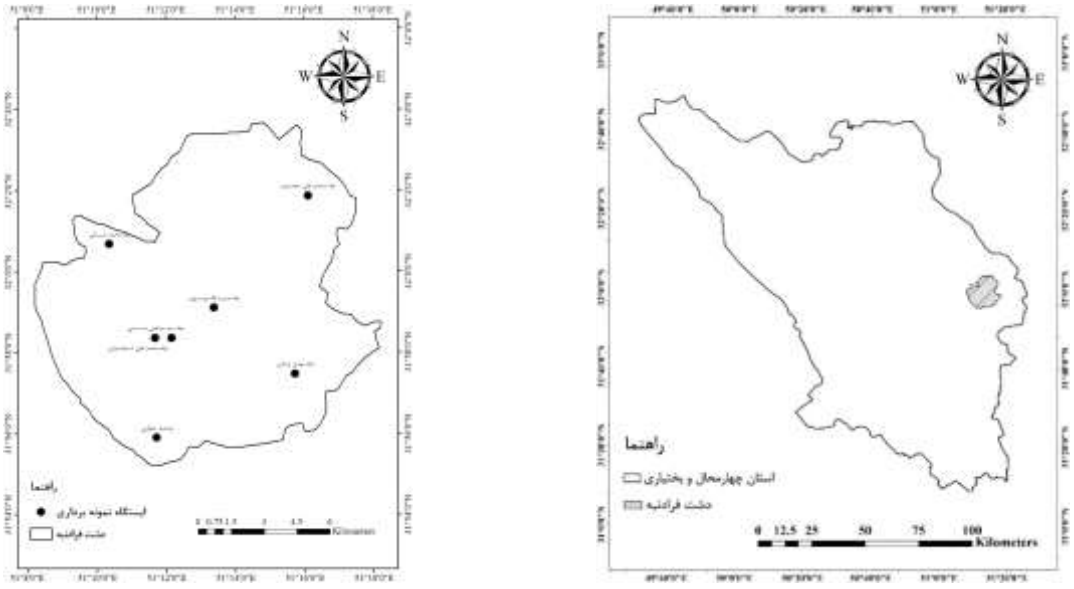
با توجه به این که در استان چهارمحال و بختیاری عمده آب شرب و کشاورزی از منابع زیرزمینی تأمین می شود، بررسی روند کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت فرادنبه، به عنوان یکی از قطب های کشاورزی استان حائز اهمیت دوچندان است. همچنین با توجه به گسترش اراضی کشاورزی در سالهای اخیر در دشت فرادنبه و استفاده بی‌رویه از کودهای شمیایی و همچنین پساب‌های صنعتی و شهری، ارزیابی کیفی آب زیرزمینی این دشت بیش از پیش ضروری می‌نماید. بررسی منابع نشان می دهد که تاکنون مطالعه جامعی در خصوص ارزیابی تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در دشت فرادنبه انجام نشده است. لذا هدف از مطالعه حاضر، تحلیل زمانی و مکانی تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت فرادنبه و همچنین ارزیابی قابلیت استفاده از آن در مصارف کشاورزی می‌باشد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

د شت فرادنبه از لحاظ تق سیمات ک شوری، بخ شی از ا ستان چهارمحال و بختیاری، در حد فاصل شهرهای بروجن و شهرکرد در عرض های ۳۲ درجه تا ۳۲ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۵ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. دشت فرادنبه با مساحت ۱۵۹/۶ کیلومتر مربع، ۰/۹۷ درصد از وسعت استان چهارمحال و بختیاری را به خود اختصاص داده است. با تو جه به تقسیم‌بندی دو مارتن و آمبرژه اقلیم منطقه جزء اقلیم های نیمه‌خشک و سرد و بر اساس طبقه‌بندی کوپن جز اقلیم معتدل سرد با تابستان‌های گرم و خشک است.

در این مطالعه، به منظور بررسی و ارزیابی وضعیت کیفیت آب زیرزمینی دشت فرادنبه از نظر مصارف کشاورزی، از داده‌های کیفی ۷ ایستگاه نمونه‌برداری (شامل ۶ چاه و یک چشمه) در دوره آماری ۲۹ ساله (۱۳۹۸-۱۳۷۰) استفاده شد. شکل ۱ قسمت (الف) موقعیت دشت فرادنبه را در استان چهارمحال و بختیاری و شکل ۱ قسمت (ب) موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری واقع در دشت فرادنبه را نشان می دهد.



شکل ۱- موقعیت دشت فرادنبه در استان چهارمحال و بختیاری (الف) و موقعیت ایستگاه های نمونه برداری در دشت فرادنبه (ب)

روش‌های مورد استفاده

در این مطالعه، روند زمانی تغییرات سری های زمانی متغیرهای کیفی منتخب در منطقه مورد مطالعه با استفاده از آزمون ناپارامتری مان-کندال ((Mann-Kendall (MK) مورد بررسی قرار گرفت. شرط لازم برای استفاده از این آزمون عدم وجود خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی داده‌ها می‌باشد، با این حال ممکن است داده‌ها دارای خودهمبستگی معنی‌دار باشند. بنابراین ابتدا باید اثر خودهمبستگی داده‌ها حذف گردد تا بتوان از آزمون مان-کندال استفاده نمود. آزمون مان-کندال با حذف ساختار کامل خودهمبستگی بصورت MMK (Modified Mann-Kendall) نشان داده می شود. به منظور پهنه‌بندی متغیر های کیفی (TDS، TH، SAR، EC، Total Cations و Total Anions) آب زیرزمینی دشت فرادنبه در دشت فرادنبه، از نرم افزار Arc GIS و روش کریجینگ (Kriging) استفاده شد. روش کریجینگ پس از مقایسه دقت روش های مختلف زمین آماری شامل کریجینگ (Kriging)، کوکریجینگ (Co-Kriging) و وزن دهی معکوس فاصله (IDW) برای این منظور انتخاب شد که برای انتخاب بهترین روش درون‌یابی از ارزیابی متقابل و معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدرمطلق خطا (MAE) استفاده شد؛ بنحوی که پس از مقایسه این روش با سایر روش‌های زمین‌آماری مشخص شد که درصد خطای استاندارد در روش کریجینگ برای دشت فرادنبه کمتر از سایر روش‌ها بوده و بنابراین بهترین روش برای پهنه‌بندی متغیرهای کیفی در این دشت می‌باشد. نقشه‌های پهنه‌بندی متغیر های کیفی آب زیرزمینی برای ابتدا (۱۳۷۰) و انتهای (۱۳۹۸) دوره آماری مورد بررسی در محیط نرم افزار Arc GIS برای متغیر های کیفی فوق‌الذکر رسم و با یکدیگر مقایسه شدند.

آزمون مان-کندال بدون در نظر گرفتن خودهمبستگی داده ها (MK)

آزمون مان-کندال یکی از متداول‌ترین آزمون های آماری تشخیص روند در سری‌های زمانی است. از نقاط قوت این آزمون می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. تأثیرناپذیری این روش از مقادیر پرت که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردد، از دیگر مزایای استفاده از این آزمون است. در این آزمون فرض صفر (H_0) و فرض مقابل (H_1) به ترتیب معادل عدم‌وجود روند و وجود روند معنی‌دار در سری زمانی داده‌های مشاهده‌ای است. روابط مربوطه جهت تعیین مقادیر آماره مان-کندال به صورت زیر است:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sgn(X_j - X_i) \quad (۱)$$

در این رابطه، n تعداد داده‌های موجود در سری، $\boldsymbol{X_j}$ و $\boldsymbol{X_i}$ به ترتیب داده‌های j ام و i ام در سری هستند. $\boldsymbol{sgn(\theta)}$ تابع علامت است که به صورت زیر تعریف شده است:

$$sgn(X_j - X_i) = \begin{cases} 1 & if(X_j - X_i) > 0 \\ 0 & if(X_j - X_i) = 0 \\ -1 & if(X_j - X_i) < 0 \end{cases} \quad (۲)$$

درنهایت آماره Z آزمون مان-کندال با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & if \quad S > 0 \\ 0 & if \quad S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & if \quad S < 0 \end{cases} \quad (۳)$$

که در این رابطه $\boldsymbol{VAR(S)}$ از رابطه زیر تعیین می شود:

$$VAR(S) = \frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{q} t_p(t_p-1)(2t_p+5)\right] \quad (٤)$$

که در آن، q معرف تعداد دنباله‌هایی است که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t_p نیز بیانگر تعداد داده‌ها با ارزش یکسان است. آماره آزمون مان-کندال (Z) تقریبا از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس یک تبعیت می کند. فرض H_0 (فقدان روند در سطح معنی‌داری α) به شرطی پذیرفته می‌شود که قدر مطلق آماره Z از مقدار متغیر استاندارد در سطح معنی‌داری α کوچکتر شود؛ در غیر این صورت، فرض صفر رد و فرض مخالف وجود روند در سطح معنی‌داری αپذیرفته می‌شود؛ به بیان دیگر می‌توان گفت که فرض صفر به شرطی پذیرفته می شود که رابطه برقرار باشد

$$-Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \leq Z \leq Z_{1-\frac{\alpha}{2}}.$$

آزمون مان-کندال با حذف کامل اثر خودهمبستگی داده‌ها (MMK)

آزمون مان-کندال اصلاح شده توسط حامد و رائو (۱۹۹۸) ارائه گردید[۱۴]. در این آزمون همه ساختار خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی بررسی و حذف می‌گردد. در این روش، واریانس اصلاح شده $VAR(S)^*$ در محاسبه Z مان-کندال مورد استفاده قرار می‌گیرد که از معادله‌های زیر بدست می آید:

$$VAR(S)^* = VAR(S).\frac{n}{n^*} \quad (۵)$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)}\sum_{i=1}^{n-1}(n-i)(N-i-1)(n-i-2).r_i \quad (۶)$$

که در آن، r_i ضریب خودهمبستگی با تأخیر i است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k}\sum_{i=1}^{n-k}(x_i-\bar{x})(x_{i+k}-\bar{x})}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} \quad (۷)$$

که در آن، x_i و x_{i+k} به ترتیب مقادیر متغیر یا داده‌های سری زمانی در گام زمانی i و با تاخیر زمانی k و $\bar{x}$ مقدار میانگین متغیر x است.

برای محاسبه Z مان-کندال، در رابطه (۳) مقدار $VAR(S)^*$ جایگزین مقدار $VAR(S)$ می‌گردد. حامد و رائو نشان دادند که تشخیص روند معنی دار در سری با روش MMK دقیق‌تر از روش مان-کندال مرسوم (MK) می باشد. آزمون MMK در مطالعات متعددی از جمله کومار و همکاران (۲۰۰۹) و میرعباسی و همکاران (۲۰۲۰) برای تشخیص روند معنی دار در سری های زمانی هیدرومتئورولوژیک بکار رفته است[۱۵و۱۶].

در این مطالعه سطوح معنی‌داری ۱، ۵ و ۱۰ درصد برای تحلیل روند هر یک از سری‌های متغیر کیفی آب زیرزمینی دشت فرادنبه درنظر گرفته شده است.

یافته‌ها

در این مطالعه، ابتدا روند تغییرات متغیرهای کیفی آب زیرزمینی (TDS، TH، SAR، EC، Total Cations و Total Anions) دشت فرادنبه با استفاده از آزمون ناپارامتری مان-کندال اصلاح شده (MMK) مورد بررسی قرار گرفت. برای هر سری زمانی شیب خط روند با استفاده از روش تخمین‌گر شیب Sen محاسبه شد. نتایج نشان داد که کیفیت آب زیرزمینی طی سال‌های اخیر در برخی نقاط به خصوص بخش‌های مرکزی دشت فرادنبه کاهش یافته است. سپس نقشه‌های

پهنه‌بندی متغیرهای کیفی در ابتدا و انتها دوره آماری مورد بررسی (۱۳۹۸-۱۳۷۰) با استفاده از نرم افزار Arc GIS و روش زمین آمار کریجینگ (Kriging) برای دشت فرادنبه ترسیم شدند. مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی در ابتدا و انتهای دوره مورد مطالعه بیانگر آن است که کیفیت آب زیرزمینی این دشت طی این ۲۹ سال افت کرده است. در نهایت، قابلیت استفاده آب زیرزمینی دشت فرادنبه برای مصارف کشاورزی با استفاده از دیاگرام USSL برای ابتدا و انتهای دوره آماری مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج نشان‌دهنده کاهش کیفیت و کلاس طبقه‌بندی آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی می‌باشد.

نتایج حاصل از بررسی روند متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت فرادنبه

جدول ۱ مقادیر آماره Z مان-کندال اصلاح شده (MMK) متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت فرادنبه را طی دوره آماری ۲۹ ساله (۱۳۹۸-۱۳۷۰) نشان می‌دهد. در اکثر ایستگاه‌های نمونه‌برداری، روند اغلب متغیرهای کیفی افزایشی است و تنها متغیر کیفی SAR در اکثر ایستگاه‌های نمونه‌برداری روند کاهشی معنی‌دار دارد. همچنین تعداد سری‌های با روند مثبت و افزایشی در هر سه سطح معنی‌داری ۱۰، ۵ و ۱ در صد بیشتر از سری‌های با روند معنی دار کاهشی است.

جدول ۱- آماره Z مان-کندال اصلاح شده متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت فرادنبه (۱۳۹۸-۱۳۷۰)

شماره ایستگاه ←	(W1)	(W2)	(W3)	(W4)	(W5)	(W6)	(W7)
متغیر کیفی ↓	چاه محمد شیرانی	چاه سید مرتضی حسینی	چشمه حلوایی	چاه محمد علی اسفندیاری	چاه حبیب الله موسوی	چاه مهدی ایازی	چاه محمد علی محمدی
EC	۱/۴۷	**۱/۹۳**	۱/۲۶	۱/۵۱	**۱/۶۸**	۱/۳۵	**۲/۴۷****
TDS	۱/۴۶	**۱/۶۸**	۱/۴۹	۱/۵۱	**۱/۶۷**	۱/۳۳	**۲/۴۸****
TH	۱/۴۲	**۱/۷۱**	۱/۶۲	**۱/۷۱**	۱/۶۰	۱/۲۳	**۲/۵۵****
SAR	-۰/۴۸	**-۲/۲۸***	**-۲/۲۳***	**-۲/۲۹***	۰/۶۵	-۱/۰۶	۰/۶۵
Cations	۱/۵۶	**۲/۶۶****	**۱/۸۴**	۱/۴۳	**۱/۶۷**	۱/۲۹	**۲/۳۳****
Anions	۱/۶۰	**۲/۶۲****	**۱/۹۸***	۱/۴۵	**۱/۷۸**	۱/۵۰	**۲/۱۶***

*روند معنی دار در سطح معنی داری ۱۰ درصد به صورت بولد بدون ستاره، در سطح معنی داری ۵ درصد به صورت بولد همراه با یک ستاره و در سطح معنی داری ۱ درصد به صورت بولد همراه با دو ستاره مشخص شده است

نتایج حاصل از بررسی روند متغیر کیفی هدایت الکتریکی(EC)

همان طور که از جدول ۱ و شکل ۲ می توان استنباط کرد، متغیر کیفی EC در سطح دشت فرادنبه در اکثر نقاط مورد بررسی بدون روند معنی‌دار است. ایستگاه چاه محمدعلی محمدی دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح معنی‌داری ۱ درصد و ۳ ایستگاه چاه سید مرتضی حسینی، چاه حبیب الله مو سوی و قنات قریه دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح معنی‌داری ۱۰ درصد می باشند. همچنین چاه محمدعلی محمدی و چاه حبیب الله موسوی به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار روند معنی‌دار افزایشی را دارند.

نتایج حاصل از بررسی روند متغیر کیفی نسبت جذبی سدیم (SAR)

همان طور که در جدول ۱ و شکل ۲ مشاهده می‌شود، متغیر کیفی SAR در سطح دشت فرادنبه در اکثر ایستگاه ها بدون روند معنی‌دار است. این متغیر تنها در ۳ ایستگاه چاه سید مرتضی حسینی، چشمه حلوایی و چاه محمد علی اسفندیاری دارای روند معنی‌دار کاهشی در سطح معنی‌داری ۵ درصد می باشد. چاه محمد علی اسفندیاری و چشمه حلوایی به ترتیب بیشترین و کمترین روند معنی‌دار کاهشی را دارا می‌باشند.

نتایج حاصل از بررسی روند متغیر کیفی کل مواد جامد محلول (TDS)

با توجه به نتایج جدول ۱ و شکل ۲ مشاهده می شود که متغیر کیفی TDS در سطح دشت فرادنبه در اکثر ایستگاه ها بدون روند معنی‌دار است و تنها در ۳ ایستگاه دارای روند معنی‌دار افزایشی است که در چاه محمدعلی محمدی دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح معنی‌داری ۱ در صد و در ۲ ایستگاه چاه سید مرتضی حسینی و چاه حبیب الله مو سوی دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح معنی‌داری ۱۰ در صد می‌با شد. چاه محمدعلی محمدی و چاه حبیب الله مو سوی به ترتیب دارای بیشترین و کمترین روند معنی‌دار افزایشی هستند.

نتایج حاصل از بررسی روند متغیر کیفی سختی کل (TH)

همان طور که از جدول ۱ و شکل ۲ می توان استنباط کرد، متغیر کیفی TH در سطح دشت فرادنبه در اکثر ایستگاه ها بدون روند معنی‌دار هستند و تنها در ۳ ایستگاه دارای روند معنی‌دار افزایشی است که در چاه محمدعلی محمدی دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح معنی‌داری ۱ در صد و در ۲ ایستگاه چاه سید مرتضی حسینی و چاه محمدعلی اسفندیاری دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح معنی‌داری ۱۰ در صد می‌باشد. همچنین چاه محمدعلی محمدی دارای بیشترین روند معنی‌دار افزایشی می‌باشد.

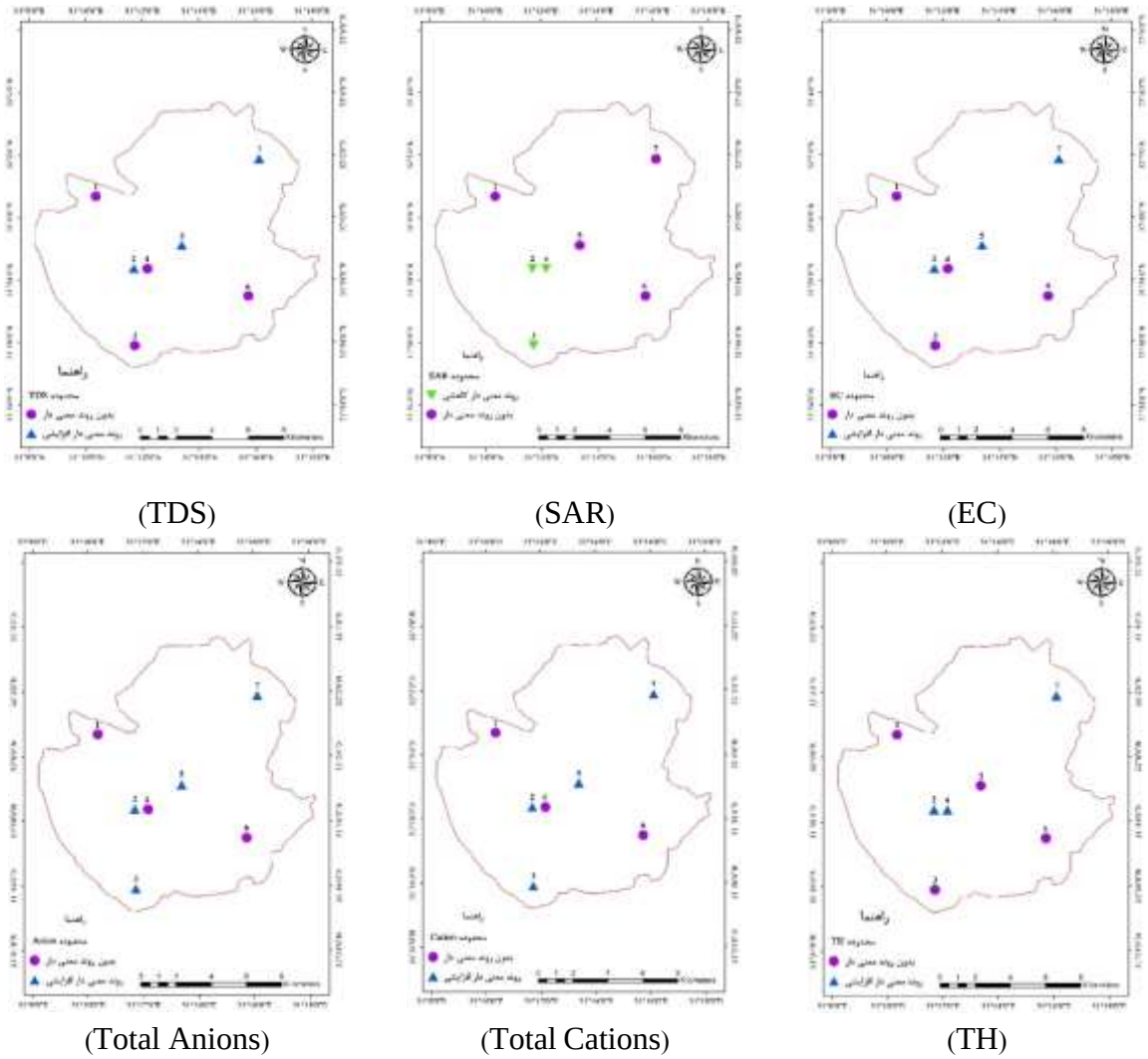
نتایج حاصل از بررسی روند متغیر کیفی کل کاتیون ها (Total Cations)

همان طور که در جدول ۱ و شکل ۲ مشاهده می شود، بررسی کل کاتیون‌ها در سطح دشت فرادنبه بیانگر این است که اکثر ایستگاه‌ها در سطح دشت دارای روند معنی‌دار هستند؛ به طوری که ۲ ایستگاه چاه سید مرتضی حسینی و چاه محمدعلی محمدی دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح معنی‌داری ۱ درصد و ۲ ایستگاه چشمه حلوایی و چاه حبیب الله موسوی دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح معنی‌داری ۱۰ درصد می‌باشند و سایر ایستگاه‌ها روند معنی‌داری ندارند. همچنین چاه سید مرتضی حسینی و چاه حبیب الله موسوی به

ترتیب بیشترین و کمترین روند معنی‌دار افزایشی را در سطح دشت به خود اختصاص داده‌اند.

نتایج حاصل از بررسی روند متغیر کیفی کل آنیون ها (Total Anions)

همان طور که در جدول ۱ و شکل ۲ مشاهده می‌شود، بررسی کل آنیون‌ها در سطح دشت فرادنبه بیانگر این است که اکثر ایستگاه‌ها در سطح د شت دارای روند معنی‌دار افزایشی هستند؛ بطوری که چاه سید مرتضی حسینی دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح معنی‌داری ۱ درصد، ۲ ایستگاه چشمه حلوایی و چاه محمدعلی محمدی دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح معنی‌داری ۵ در صد و ایستگاه چاه حبیب الله موسوی دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح معنی‌داری ۱۰ درصد می‌باشند. همچنین چاه سید مرتضی حسینی و چاه حبیب الله موسوی به ترتیب بیشترین و کمترین روند معنی‌دار افزایشی را در سطح دشت به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۲- روند تغییرات متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت فرادنبه در سطح معنی داری ۱۰ درصد (۱۳۹۸-۱۳۷۰)

نتایج حاصل از بررسی شیب خط روند متغیر های کیفی آب زیرزمینی دشت فرادنبه

جدول ۲ شیب خط روند را برای متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت فرادنبه در طی دوره آماری ۲۹ ساله مورد بررسی (۱۳۹۸-۱۳۷۰) نشان می‌دهد. میانه شیب متغیرهای کیفی مختلف به جز تعداد محدودی که صفر یا منفی است برای همه ایستگاه ها مثبت و افزایشی است. بیشترین روند افزایشی مربوط به ایستگاه های چاه حبیب الله موسوی و چاه محمدعلی محمدی از نظر متغیر کیفی EC و همچنین ایستگاه چاه حبیب الله موسوی از نظر متغیر کیفی TDS است.

نتایج حاصل از پهنه‌بندی متغیر های کیفی آب زیرزمینی دشت فرادنبه

تغییرات مکانی متغیرهای کیفی (TH، TDS، SAR، EC، Total Cations و Total Anions) مربوط به دشت فرادنبه در ابتدای دوره مورد مطالعه (سال ۱۳۷۰) و انتهای دوره (سال ۱۳۹۸) مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از نرم افزار Arc GIS نقشه‌های پهنه‌بندی مربوط به آن ها رسم گردید. در ادامه نتایج مربوط به هر متغیر کیفی و نقشه‌های مربوط به آن به تفکیک ارائه شده است.

جدول ۲- مقادیر β (آماره تخمین گر شیب Sen) شیب خط روند متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت فرادنبه (۱۳۹۸-۱۳۷۰)

متغیر کیفی ←	چاه محمد شیرانی	چاه سید مرتضی حسینی	چشمه حلوایی	چاه محمد علی اسفندیاری	چاه حبیب الله موسوی	چاه مهدی ایازی	چاه محمد علی محمدی
EC	۲/۴۸	۰/۸۳	۰/۴۴	۱/۵۰	۶/۴۳	۰/۹۳	۵/۲۶
TDS	۱/۵۸	۰/۴۶	۰/۳۳	۰/۹۹	۴/۱۸	۰/۶۰	۳/۴۳
TH	۱/۳۳	۰/۶۹	۰/۵۶	۱/۲۰	۲/۷۶	۰/۵۷	۲/۱۰
SAR	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Cations	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۶
Anions	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۷	۱/۵۰	۰/۰۵

نتایج حاصل از پهنه‌بندی متغیر کیفی هدایت الکتریکی (EC)

شکل ۳ نقشه‌های پهنه‌بندی متغیر کیفی EC را در سطح دشت فرادنبه در ابتدا (۱۳۷۰) و انتها (۱۳۹۸) دوره آماری مورد بررسی نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل قابل استنباط است، در سال ۱۳۷۰ پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت فرادنبه از نظر متغیر کیفی EC در کل سطح دشت از $(\mu mhos / cm)$ ۲۵۰ کمتر بوده و با توجه به دیاگرام USSL کیفیت این بخش از دشت در کلاس کیفی C1 و رده عالی قرار می‌گیرد. همچنین همان‌طور که از شکل قابل استنباط است، در سال ۱۳۹۸ بیشترین پهنه از کیفیت آب زیرزمینی دشت فرادنبه در این سال از نظر متغیر کیفی EC بین $(\mu mhos / cm)$ ۲۵۰ تا $(\mu mhos / cm)$ ۷۵۰ قرار دارد که با توجه به دیاگرام USSL، کیفیت این بخش از دشت در کلاس کیفی C2 و رده خوب قرار می‌گیرد. آب زیرزمینی بخش مرکزی دشت با داشتن غلظت EC بین $(\mu mhos / cm)$ ۷۵۰ تا $(\mu mhos / cm)$ ۲۲۵۰، بیشترین غلظت متغیر کیفی هدایت هیدرولیکی را به خود اختصاص داده است که با توجه به دیاگرام USSL می توان بیان کرد که این بخش از دشت در کلاس کیفی C3 و رده کیفی متوسط قرار می‌گیرد. همچنین بخش جنوب‌شرقی و بخش‌های کوچکی از غرب و جنوب دشت غلظت کمتر از $(\mu mhos / cm)$ ۲۵۰ را برای متغیر کیفی EC آب زیرزمینی به خود اختصاص داده‌اند که با توجه به دیاگرام USSL، کیفیت این بخش از دشت در کلاس کیفی C1 و رده عالی قرار می‌گیرد.

نتایج حاصل از پهنه‌بندی متغیر کیفی نسبت جذبی سدیم (SAR)

شکل ۳ نقشه‌های پهنه‌بندی متغیر کیفی SAR را برای سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۹۸ نشان می‌دهد. کیفیت آب زیرزمینی دشت فرادنبه از لحاظ متغیر کیفی SAR از سال ۱۳۷۰ تا سال ۱۳۹۸ با کاهش کیفیت همراه بوده و در طی این دوره آماری مورد برر سی بین ۰ تا ۳ قرار دارد. با توجه به دیاگرام USSL، کیفیت آب زیرزمینی دشت بر اساس این متغیر کیفی در رده عالی و کلاس کیفی S1 قرار می گیرد. با توجه به این متغیر کیفی و همچنین متغیر کیفی EC که در قسمت قبل به طور کامل شرح داده شد، می توان کلاس کیفی هر نقطه از د شت را برای مصارف کشاورزی با توجه به دیاگرام USSL مشخص کرد که در ادامه بیان شده است.

نتایج حا صل از پهنه‌بندی متغیر کیفی کل مواد جامد (TDS)

شکل ۳ نقشه‌های پهنه‌بندی متغیر کیفی TDS را در سطح دشت فرادنبه برای سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۹۸ نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می شود، پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی د شت فرادنبه در سال ۱۳۷۰ از نظر متغیر کیفی TDS در کل سطح دشت کمتر از (mg / lit) ۵۰۰ است. همچنین در سال ۱۳۹۸ بیشترین غلظت کل مواد جامد محلول (TDS) در آب زیرزمینی د شت فرادنبه در ق سمت مرکزی آن قرار دارد که با رنگ قرمز پررنگ در شکل قابل مشاهده است. مقدار TDS بخش مرکزی دشت فرادنبه در سال ۱۳۹۸ بین (mg / lit) ۵۰۰ تا (mg / lit) ۱۰۰۰ قرار دارد؛ همچنین مقدار TDS سایر بخش‌های دشت فرادنبه در سال ۱۳۹۸ کمتر از (mg / lit) ۵۰۰ می‌باشد.

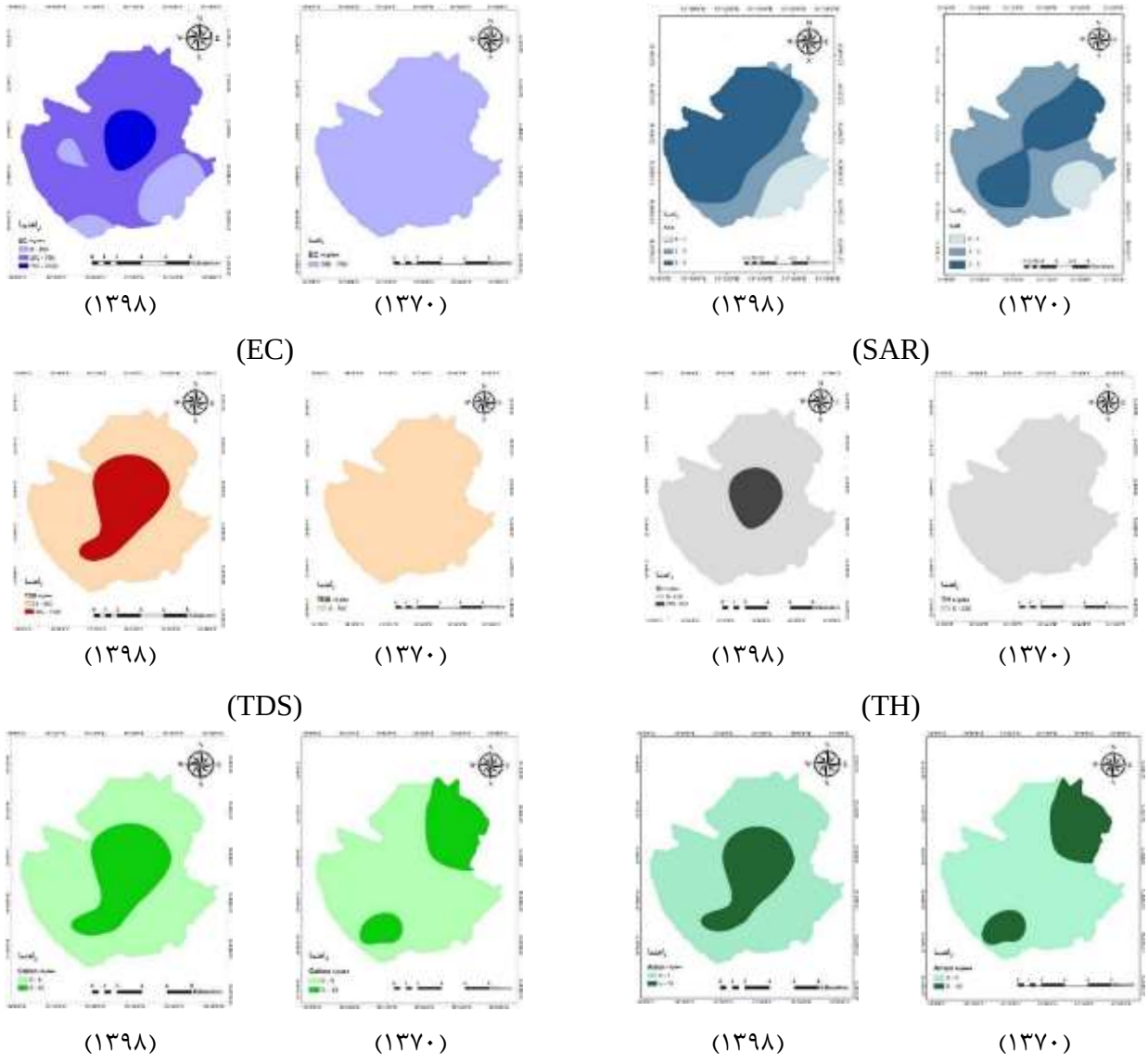
با توجه به شکل ۳ و با مقایسه سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۹۸ می‌توان استنباط کرد که به مرور زمان کیفیت آب زیرزمینی دشت فرادنبه از لحاظ متغیر کیفی کل مواد جامد محلول

(TDS) کاهش پیدا کرده است چون اعدادی که ایستگاه‌های مورد بررسی در رابطه با این متغیر کیفی در سال ۱۳۹۸ به خود اختصاص داده‌اند از مقادیری که برای آنها در ابتدا دوره آماری مورد برر سی (سال ۱۳۷۰) به ثبت ر سیده ا ست، بی شتر بوده ا ست؛ و با گذ شت زمان بر م ساحت بخش‌هایی از د شت که مقدار TDS آنها در رده قابل قبول قرار دارد افزوده شده و از مساحت بخش‌هایی از د شت که کیفیت آن در رده خوب قرار دارد کاسته شده است.

نتایج حاصل از پهنه‌بندی متغیر کیفی سختی کل (TH)

شکل ۳ نقشه‌های پهنه‌بندی متغیر کیفی سختی کل (TH) را در سطح دشت فرادنبه برای سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۹۸ نشان می‌دهد. همان طور که از شکل قابل استنباط است، کیفیت کل آب زیرزمینی دشت فرادنبه در این سال از نظر متغیر کیفی سختی کل (TH) بین ۰ تا $۲۵۰(mg / lit)$ قرار دارد. همان طور که از شکل قابل استنباط است، بیشترین غلظت متغیر کیفی سختی کل (TH) در آب زیرزمینی دشت فرادنبه در قسمت مرکزی آن قرار دارد که با رنگ تیره‌تر در شکل قابل م شاهده ا ست. مقدار TH بخش مرکزی د شت در سال ۱۳۹۸ بین $۲۵۰(mg / lit)$ تا $۵۰۰(mg / lit)$ قرار دارد. همچنین مقدار TH سایر بخش‌های دشت در این سال کمتر از $۲۵۰(mg / lit)$ قرار دارند.

با توجه به شکل ۳ و مقایسه سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۹۸ می‌توان استنباط کرد که به مرور زمان کیفیت آب زیرزمینی دشت فرادنبه از لحاظ متغیر کیفی سختی کل (TH) کاهش کیفیت پیدا کرده است، چون اعدادی که ایستگاه‌های مورد بررسی در رابطه با این متغیر کیفی در سال ۱۳۹۸ به خود اختصاص داده‌اند، از مقادیری که برای آنها در ابتدا دوره آماری مورد بررسی (سال ۱۳۷۰) به ثبت رسیده، بیشتر بوده است. همچنین با گذ شت زمان از مساحت بخش‌هایی از د شت که مقدار TH آنها در رده خوب قرار دارد کاسته شده است و بخش مرکزی دشت از رده کیفی خوب به رده کیفی قابل قبول تغییر رده کیفی داده است.



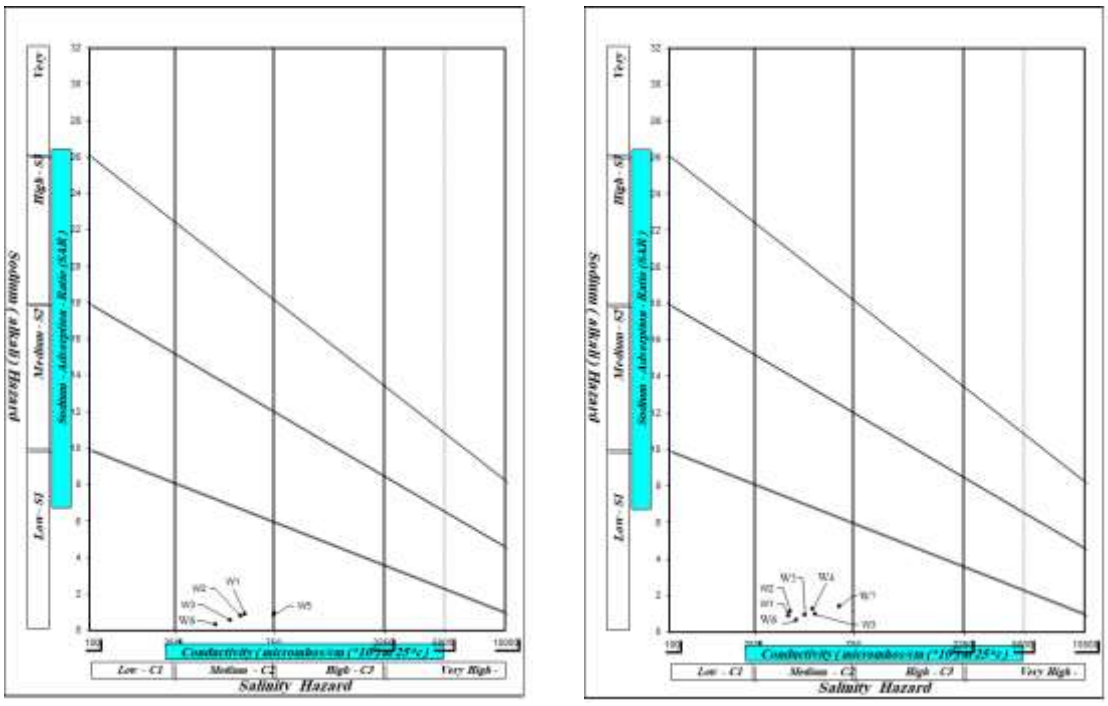
شکل ۳- نقشه‌های پهنه‌بندی متغیرهای کیفی دشت فرادنبه برای دوره آماری مورد مطالعه (۱۳۹۸-۱۳۷۰)

نتایج حاصل از پهنه‌بندی متغیر کیفی کل کاتیون ها (Total Cations) و کل آنیون ها (Total Anions)

شکل ۳ نقشه‌های پهنه‌بندی کل کاتیون‌ها و آنیون‌ها را برای سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۹۸ نشان می‌دهد. همان طور که نقشه‌ها نشان می دهند. مقدار کل کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آب زیرزمینی دشت فرادنبه در طی دوره ۲۹ ساله مورد مطالعه تغییر پیدا کرده‌اند، به طوری که بیشترین غلظت آنها از بخش‌های شمال‌شرقی و جنوب‌غربی دشت به بخش‌های مرکزی دشت انتقال پیدا کرده و مساحت نواحی که غلظت کل کاتیون و آنیون آنها بیشتر از سایر نواحی بوده افزایش یافته است. همچنین بیشترین غلظت کل کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قسمت مرکزی دشت مشاهده شده و افزایش غلظت کل آنها در این قسمت محسوس‌تر است.

نتایج ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت فرادنبه از نظر قابلیت مصارف کشاورزی

کیفیت آب زیرزمینی دشت فرادنبه از لحاظ قابلیت مصارف کشاورزی بر اساس دیاگرام USSL برای سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۹۸ مورد بررسی قرار گرفت که در شکل ۴ و جداول ۳ و ۴ ارائه شده است. قابل ذکر است که نام اختصاری چاه ها در جدول ۳ آورده شده است.



(ب) (الف)

شکل ۴- طبقه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت فرادنبه از نظر قابلیت مصارف کشاورزی بر اساس دیاگرام USSL در (الف) سال ۱۳۷۰ و (ب) سال ۱۳۹۸

جدول ۳- طبقه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت فرادنبه از نظر مصارف کشاورزی بر اساس دیاگرام USSL در سال ۱۳۷۰

ردیف	محل نمونه برداری	علامت اختصاری	کلاس کیفیت آب	رده کیفیت آب برای مصارف کشاورزی
۱	چاه محمد شیرانی	W1	C2-S1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
۲	چاه سید مرتضی حسینی	W2	C2-S1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
۳	چشمه حلوایی	W3	C2-S1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
٤	چاه محمدعلی اسفندیاری	W4	C2-S1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
٥	چاه حبیب الله موسوی	W5	C2-S1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
٦	چاه مهدی ایازی	W6	C2-S1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
۷	چاه محمدعلی محمدی	W7	C2-S1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی

بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت فرادنبه از نظر قابلیت مصارف کشاورزی با استفاده از دیاگرام USSL در ابتدای دوره آماری مورد بررسی (سال ۱۳۷۰) نشان می‌دهد که کیفیت آب زیرزمینی همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری و مورد بررسی در این سال در کلاس کیفیت C2-S1 و در رده کیفیت کمی شور و خوب قرار گرفته‌اند و از نظر کشاورزی مناسب بوده و هیچ‌گونه محدودیتی ندارند

جدول ۴- طبقه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت فرادنبه از نظر مصارف کشاورزی بر اساس دیاگرام USSL در سال ۱۳۹۸

ردیف	محل نمونه برداری	علامت اختصاری	کلاس کیفیت آب	رده کیفیت آب برای مصارف کشاورزی
۱	چاه محمد شیرانی	W1	C2-S1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
۲	چاه سید مرتضی حسینی	W2	C2-S1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
۳	چشمه حلوایی	W3	C2-S1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
٤	چاه حبیب الله موسوی	W5	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
٥	چاه مهدی ایازی	W6	C2-S1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی

بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت فرادنبه از نظر قابلیت مصارف کشاورزی با استفاده از دیاگرام USSL در انتهای دوره آماری مورد بررسی (سال ۱۳۹۸) نشان می‌دهد که کیفیت آب زیرزمینی اکثر ایستگاه‌های نمونه‌برداری و مورد بررسی در این سال در کلاس کیفیت C2-S1 و در رده کیفیت کمی شور و خوب قرار گرفته‌اند و از نظر کشاورزی مناسب بوده و هیچ‌گونه محدودیتی ندارند و تنها چاه حبیب الله موسوی (W5) با قرار گرفتن در کلاس کیفیت آب C3-S1 و رده کیفیت شور و متوسط ضعیف‌ترین کیفیت آب زیرزمینی از نظر قابلیت مصارف کشاورزی را در بین سایر ایستگاه‌های مورد بررسی در این سال به خود اختصاص داده است اما برای مصارف کشاورزی قابل استفاده می‌باشد. همچنین ایستگاه‌های نمونه برداری W4 و W7که به ترتیب نشان دهنده چاه محمدعلی اسفندیاری و چاه محمدعلی محمدی هستند در دیاگرام USSLای که برای مصارف کشاورزی در سال ۱۳۹۸ رسم شده است موجود نمی-باشند و این مسئله به این دلیل است که این ۲ ایستگاه با توجه

به بررسی‌های انجام شده و با توجه به گزارش شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری خشک شده‌اند. به‌طورکلی در طی دوره آماری ۲۹ ساله مورد بررسی ملاحظه می‌شود که علی رغم اینکه کیفیت آب زیرزمینی در دشت فرادنبه کاهش پیدا کرده است، اما کلاس کیفی اکثر ایستگاه ها در دوره مورد مطالعه تفاوتی نکرده است.

بحث

در این مطالعه، روند زمانی تغییرات متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت فرادنبه طی دوره آماری ۲۹ ساله (۱۳۹۸-۱۳۷۰) با استفاده از آزمون ناپارامتری مان-کندال اصلاح شده (MMK) و در سه سطح معنی داری ۱۰، ۵ و ۱ درصد مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد دشت فرادنبه در اکثر متغیرهای کیفی و نقاط نمونه‌برداری مورد بررسی روند معنی‌دار افزایشی داشته است و تعداد سری‌های با روند معنی‌دار مثبت بیشتر از تعداد سری‌های با روند معنی‌دار منفی بوده است. چاه محمد شیرانی و چاه مهدی ایازی در همه متغیرهای کیفی آب زیرزمینی بررسی شده در این مطالعه (TH، TDS، SAR، EC، Total Cations و Total Anions) بدون روند معنی‌دار هستند. همچنین چاه سید مرتضی حسینی در بین سایر ایستگاه های مورد بررسی در همه متغیرهای کیفی مورد بررسی (TH، TDS، SAR، EC، Total Cations و Total Anions) دارای روند معنی‌دار می‌باشد. در ادامه با استفاده از نرم افزار Arc GIS نقشه‌های پهنه‌بندی متغیرهای کیفی برای ابتدا (۱۳۷۰) و انتهای (۱۳۹۸) دوره آماری مورد بررسی ترسیم و با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان داد از سال ۱۳۷۰ تا سال ۱۳۹۸ کیفیت آب زیرزمینی دشت فرادنبه دچار تغییراتی شده است و افزایش غلظت متغیرهای کیفی در بخش‌های مرکزی دشت فرادنبه از سایر قسمت‌های آن بیشتر بوده و کاهش کیفیت آب زیرزمینی دشت در بخش‌های مرکزی آن از سایر بخش‌های آن بیشتر است.

همچنین کیفیت آب زیرزمینی دشت فرادنبه از نظر قابلیت مصارف کشاورزی با استفاده از دیاگرام USSL مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد در ابتدای دوره آماری مورد بررسی (سال ۱۳۷۰)، در دشت فرادنبه کیفیت آب زیرزمینی همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری و مورد بررسی در این سال در کلاس کیفیت C2-S1 و در رده کیفیت کمی شور و خوب قرار گرفته‌اند و از نظر کشاورزی مناسب بوده و هیچ‌گونه محدودیتی ندارد. بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت فرادنبه از نظر قابلیت مصارف کشاورزی با استفاده از دیاگرام USSL در انتهای دوره آماری مورد بررسی (سال ۱۳۹۸) نشان داد که کیفیت آب زیرزمینی اکثر ایستگاه‌های نمونه‌برداری و مورد بررسی در این سال در کلاس کیفیت C2-S1 و در رده کیفیت کمی شور و خوب قرار گرفته‌اند و از نظر کشاورزی مناسب بوده و هیچ‌گونه محدودیتی ندارند و تنها چاه حبیب الله موسوی با قرار گرفتن در کلاس کیفی آب C3-S1 و رده کیفیت شور و متوسط ضعیف-ترین کیفیت آب زیرزمینی از نظر قابلیت مصارف کشاورزی را در بین ایستگاه‌های مورد بررسی در این سال به خود اختصاص داده است و برای مصارف کشاورزی قابل استفاده می‌باشد. بنابراین به‌طورکلی در طی دوره آماری ۲۹ ساله مورد بررسی ملاحظه می‌شود که علی‌رغم اینکه کیفیت آب زیرزمینی دشت فرادنبه کاهش پیدا کرده است، اما کلاس کیفی اکثر ایستگاه ها تغییری نداشته و این مسئله از نظر قابلیت استفاده آب زیرزمینی دشت برای مصارف کشاورزی محدودیتی ایجاد نمی‌کند. احمد زاده و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای به بررسی الگوی توزیع مکانی غلظت برخی از عناصر فیزیکوشیمیایی و تعیین بهترین روش میان‌یابی جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی این عناصر در سطح دشت بروجن-فرادنبه پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه حاکی از آن بود که روش کریجینگ در مقایسه با روش وزن‌دهی معکوس فاصله (توان‌های ۱ تا ۳) از دقت بیشتری برخوردار است[۱۷]. همچنین نتایج حاصل از مطالعه حاضر نیز حاکی از دقیق‌تر بودن روش کریجینگ نسبت به سایر

روش های میان یابی (کوکریجینگ و وزن دهی معکوس فاصله) برای این منطقه است. همچنین خسروی و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی و پیش بینی خشکسالی های آب زیرزمینی دشت فرادنبه با استفاده از شاخص GRI و مدل های زنجیره مارکف مرتبه اول تا سوم پرداختند و نشان دادند که در دوره آماری مورد بررسی (۱۳۹۴-۱۳۶۴)، دوره خشکسالی آب زیرزمینی در سال ۱۳۸۷ شروع شده است. همچنین به طور کلی خشکسالی های شدیدی که در سال های اخیر به دلیل کاهش نزولات جوی رخ داده است، به همراه اضافه برداشت از چاه¬های موجود در دشت، منطقه را با بحران شدید کاهش سطح آب زیرزمینی مواجه کرده که کاهش کیفیت آب و فرونشست زمین را در پی داشته است[۱۸]. با مقایسه نتایج مطالعه خسروی و همکاران (۱۳۹۸) با مطالعه حاضر می-توان اینگونه استنباط کرد که روند معنیدار کاهشی کیفیت منابع آب زیرزمینی در دشت فرادنبه به دلیل اضافه برداشت از چاه های موجود، کاهش نزولات جوی، خشکسالی های پی در پی و گسترش اراضی کشاورزی است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش که با هدف ارزیابی روند زمانی و مکانی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی و همچنین قابلیت کاربرد آب‌های زیرزمینی دشت فرادنبه برای مصارف کشاورزی با استفاده از دیاگرام USSL انجام پذیرفت، بیانگر این است که کشاورزی یکی از عمده ترین بخش‌های مصرف کننده آب در این منطقه محسوب می شود که از پتانسیل بالایی برای آلوده ساختن منابع آب زیرزمینی برخوردار است. با توجه به گسترش اراضی کشاورزی در دشت، استفاده از کودهای شیمیایی و افزایش برداشت از آبخوان می تواند منابع آبی موجود در منطقه را از نظر کمی و کیفی در معرض تهدیدی جدی قرار دهد. نتایج مطالعه حاضر نشان می دهند که بیشترین کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی در بخش های مرکزی جنوبی دشت اتفاق افتاده که کاهش کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در بخش جنوبی دشت به دلیل گسترش اراضی با کاربری کشاورزی است. توسعه کشاورزی در این دشت با ایجاد انواع مختلف آلودگی در اجزا اصلی محیط زیست یعنی خاک، آب و هوا همراه بوده است. مصرف روبه رشد کودهای شیمیایی و استفاده از انواع مختلف سموم کشاورزی در اراضی کشاورزی به عنوان یک خطر جدی در جهت ایجاد آلودگی محسوب می شود. از طرف دیگر پساب‌های صنعتی و شهری به دلیل ایجاد تغییرات محسوس در خاک دارای خطر بالایی بوده که در صورت عدم توجه و نشت و نفوذ این منابع آلاینده به آب زیرزمینی در دراز مدت اثرات نامطلوبی را بر اکوسیستم این منطقه وارد خواهد کرد که کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی در بخش مرکزی دشت ناشی از همین مسئله است. همچنین پیشنهاد می‌گردد با توجه به گسترش اراضی کشاورزی در این دشت، استفاده ناکارآمد از منابع آب و نهاده-های کشاورزی که می تواند از نظر کمی و کیفی منابع آبی موجود در منطقه را در معرض تهدید جدی قرار دهد، محدود شده و با روش‌هایی از جمله تغییر نوع سیستم آبیاری و تغییر الگوی کشت میزان برداشت از منابع زیرزمینی کاهش یابد. ترویج استفاده از کودهای دامی بجای کودهای شیمیایی، استفاده از روش های بیولوژیکی برای مبارزه با آفات بجای استفاده از سموم شیمیایی، جلوگیری از ایجاد واحدهای صنعتی مولد آلودگی در مناطق با کیفیت آب پایین‌تر و کنترل آلودگی صنایع از دیگر راهکارهای مدیریتی برای جلوگیری از افت کیفیت آب زیرزمینی در این دشت می‌باشد.

References

1. Mahdavi, M. Applied Hydrology, Vol. 2, 2nd Ed, University of Tehran Press. 2009.
2. Ehteshami, M., Aghasi, A. and Rezaei, A. Hashtgerd plain evolution of groundwater potential in the last ten years and its causes, Journal of Environmental Technology. 2002; 13(1), 61- 74.
3. United Nations Development Program (UNDP).Iran Second National Communication to UNFCCC, 212pp. 2010.
4. Malekian, A. and Mirdeshtvan, M. Evaluation of groundwater quality for agricultural purposes based on land analysis (Case study: Hashtgerd plain in Alborz province). Rangeland and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources. 2015; 4: 820_809. [in Persian]
5. Vadi'i, M., Asghari Moghadam, A. and Nakhaei, M. Evaluation of groundwater quality for agricultural purposes using fuzzy inference model. Iranian Journal of Watershed Science and Engineering. 2015; 31: 77-69. [in Persian]
6. Chen, H., Guo, S., Xu. C. Y., Singh, VP. Historical temporal trends of hydroclimatic variables and runoff response to climate variability and their relevance in water resource management in the Hanjiang basin, Journal of Hydrogeology. 2007; 344 (2): 171-184.
7. Sun, Y., Shaozhong, K., Li, F., Zhang, L. Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of northwest China. Journal of Environmental Modelling & Software. 2009; 24(10), 1163–1170.
8. Wilcox, DL. V. The Quality of Water Irrigation Use, U. S. Department of Agriculture, Bull. 962. Washington D. C 19P. 1948.
9. Mirabbasi,R.,Mazloumzadeh,S.M., Rahnama, M.B. Evaluation of irrigation water quality using fuzzy logic. Research Journal of Environmental Sciences. 2008; 2(5): 340-352.
10. Kammoun, A. Abidi, M. Zairi, M. Hydrochemical characteristics and groundwater quality assessment for irrigation and drinking purposes: a case of Enfidha aquifer system, Tunisia. Environmental Earth Sciences. 2022; 81. Doi: 10.1007/s12665-021-10163-1
11. Al Saleh, H. Saify, S. Othman, N. Spatial Distribution of Groundwater Quality Parameters in Al_Najaf City Using GIS and Geostatistics Techniques. IOP Conference Sereis: Earth and Environmetal Science, Volume 952, 11th International Conference on Environmet Science and Engineering (ICESE 2021) 9th – 12th September 2021, Vienna, Astria
12. Ahmadpour, A., Fijani, A. and Mozaffari, M. Evaluation of groundwater quality for drinking, agricultural and industrial purposes (Case study: Eastern part of Tehran aquifer). 4th International Conference on Development of Materials Engineering Technology, Mining and Geology. July 21, 2021. Tehran Society of Technology Development Management and Engineering. [in Persian]
13. Joghataei, H., Dabiri, R. Moslempour, M. , Attari, M. and Sharifian Attar, R. Investigating the quality of groundwater using the groundwater quality index (GIS and GQI) in Joghtai Plain, Northeast Iran. Human and Environment Quarterly. 2014; 35: 25-17. [in Persian]
14. Hamed, K.H., Rao, A.R. A modified Mann–Kendall trend test for autocorrelated data. Journal of Hydrology 204. 1998; 182–196.
15. Kumar S., Merwade V., Kam J., and Thurner K. Streamflow trends in Indiana: Effects of longterm persistence, precipitation and subsurface drains. Journal of Hydrology. 2009; 374(1-2): 171-183.
16. Mirabbasi, R., Ahmadi, F., Jhajharia, D. Comparison of parametric and non-parametric methods for trend identification in groundwater levels in Sirjan plain aquifer, Iran. Hydrology Research. 2020; 51(6): 1455- 1477.
17. AhmadZadeh, S., Beigi, H., Iranipour, R., (2015). Distribution of the total concentration of four low-powered plants in the Borujen-Faradonbeh plain and the effect of irrigation with urban wastewater. Soil research (soil and water sciences). 29:105-116. [in Persian]
18. Khosravi Dehkordi, A., Mirabbasi Najafabadi, R., Samadi Borojni, H. and Ghasemi Dastgerdi, A.R. Evaluation and forecasting of groundwater droughts using GRI index and first- to third-order Markov chain models (Case study: Borujen plain). Journal of Water and Soil Conservation Research. 2018; 2: 136-117. [in Persian]

Journal of Environmental Health Engineering, May 2023; Vol.10, No. 3:221- 240

Temporal and Spatial Analysis of the Groundwater Quality Variations in Faradonbeh Plain and Evaluation of Its Usability for Agricultural Uses During 1991-2019

Mohsen Naderi Eshkaftaki[1], Rasoul Mirabbasi Najafabadi[2*], Mohammad Ali Nasr Esfahani[3], Rouhallah Fatahi Nafchi[4]

1 MSc. Student in Water Resources, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

2 Ph.D. in Water Resources, Associate Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

3 Ph.D. in Meteorology, Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

4 Ph.D. in Hydraulics and Water Resources, Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

Email: mirabbasi_r@yahoo.com

Received: 5 February 2023 , Accepted: 25 July 2023

ABSTRACT

Background: Nowadays, due to the limited groundwater resources and increasing population, and growth of agriculture and industries, optimum operation of groundwater needs more attention. In this research, temporal and spatial changes in the quality of groundwater resources in Faradonbeh Plain located in Chaharmahal and Bakhtiari province have been investigated.

Methods: For this purpose, the time series of qualitative variables collected from 7 sampling stations (including 6 wells and one spring) in the Faradonbeh plain during a 29-year period (1991-2019) was used. The trend of changes in groundwater quality variables of this plain was investigated using the modified Mann-Kendall test (after completely removing the autocorrelation effect). Also, for each time series, the trend line slope was calculated using the Sen slope estimator. In order to draw the delineation maps of qualitative variables, Kriging method was used in the Arc GIS software. Finally, the usability of groundwater for agricultural use in Faradonbeh plain was investigated using USSL diagram.

Results: Comparison of delineation maps of qualitative variables showed that the groundwater quality of this plain has decreased in recent years, especially in the central parts of the plain. Also, the results of he USSL diagram indicate a decrease in the quality of groundwater for agricultural uses.

Conclusion: Due to the expansion of agriculture lands in this plain, the overexploitation of groundwater resources and indiscriminate of fertilizers and chemical pesticides can pose a serious threat to the water resources in the region in terms of quantity and quality. Also, the use of industrial and municipal effluents for irrigation in the long-term can have adverse effects on the life cycle of this region due to undesirable changes in soil and the possibility of leakage of these pollutants into groundwater, especially in the central part of this plain.

Keywords: Groundwater Quality, Trend, Mann-Kendall, Kriging, USSL Diagram.