دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"گزارش فنی"
ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی اراضی ساحلی از دیدگاه مصارف مختلف

عبداله درزی نفت‌چالی[۱]، احمد عسگری[۲] و فاطمه کاراندیش[۳]

۱- دانشیار، گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: abdullahdarzi@yahoo.com)
۲- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- دانشیار، گروه مهندسی آب دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۲۲

چکیده

کیفیت منابع آب اراضی ساحلی در پایاب حوضه‌های آبخیز، عمدتا به-دلیل فعالیت‌های مختلف انسانی در حال کاهش است. در این تحقیق، تغییرات زمانی کیفیت آب زیرزمینی منطقه‌ای ساحلی به وسعت ۲۵ هزار هکتار واقع در استان مازندران، بررسی شد. قبل از فصل کشت برنج (زمستان ۱۳۸۸)، در فصل کشت برنج (بهار ۱۳۸۹) و بعد از فصل کشت برنج (تابستان ۱۳۸۹)، از آب زیرزمینی ۳۷ چاه مشاهده‌ای موجود در این منطقه نمونه‌برداری شد. مقادیر هدایت الکتریکی، اسیدیته و غلظت کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، بی‌کربنات، کلر و سولفات آب زیرزمینی نمونه‌های آب زیرزمینی تعیین شد. براساس شاخص‌ها و استانداردهای مختلف، کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ مصارف کشاورزی، صنعت و شرب ارزیابی شد. متوسط هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در فصول زمستان، بهار و تابستان به‌ترتیب ۵۸۰٦، ۳۵۲٤ و ۸٦٥٦ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بود که نشان‌دهنده افزایش خطر شور شدن آب زیرزمینی در انتهای فصل کشت برنج می‌باشد. قلیائیت آب در حدود ٦۰ درصد موارد در کلاس‌های C4-S1، C4-S2، C4-S3 و C4-S4 قرار داشت. غلظت کلر آب زیرزمینی بیشتر از حد مجاز آن برای استفاده در صنعت بود. در فصل تابستان ۱۳۸۹، آب زیرزمینی نامناسب‌ترین وضع را از نظر شرب در مقایسه با فصول زمستان ۱۳۸۸ و بهار ۱۳۸۹ داشت. نتایج نشان داد که کشت برنج تاثیر قابل توجهی بر کیفیت آب زیرزمینی در اراضی ساحلی مورد مطالعه داشت. براین اساس، مدیریت مناسب آب و مواد غذایی در طول فصل کشت برنج می‌تواند در حفاظت کیفیت آب زیرزمینی منطقه مطالعه موثر باشد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان‌های ساحلی، کشاورزی، شرب، صنعت، شالیزار

مقدمه

آب‌های زیرزمینی ذخیره اصلی منابع آب شیرین در بسیاری از کشورها می‌باشند و پتانسیل منابع آب در آینده را نشان می‌دهند. این منابع به دلیل اینکه دارای ثبات نسبتاً مناسبی در کمیت و کیفیت خود هستند همیشه مورد توجه بوده (۱۷) و فواید ارزنده‌ای نسبت به منابع آب سطحی دارند از جمله: کیفیت بالاتری دارند، نسبت به آلودگی‌ها از جمله امراض بهتر محافظت می‌شوند، تغییرات زمانی کیفیت آب کمتر است و با یکنواختی بیشتری در نواحی وسیع نسبت به آب‌های سطحی پراکنده شده‌اند (۲۵). اراضی ساحلی به‌عنوان یکی از ارزشمندترین منابع طبیعی کشور، در بخش پایین دست حوضه‌های آبخیز واقع شده‌اند (۱۲). در دهه‌های اخیر، این موضوع بیشتر مبرهن شده که این اراضی را نمی‌توان به طور مجزا از رودخانه‌ها و حوضه‌های آبخیز مدیریت نمود (۱۹). مدیریت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در مناطق ساحلی، نقش مهمی در حفظ، تداوم حیات و سلامت اکوسیستمی این مناطق و در نتیجه، پایداری تولید آنها دارد. کیفیت آب از جمله مسایلی است که با سلامتی، بهداشت فردی و عمومی جامعه ارتباط مستقیم دارد. اهمیت کنترل آب‌های سطحی و زیرزمینی بر هیچ کس پوشیده نیست و لزوم پایش آب و تامین شرایط بهداشتی و استاندارد برای آشامیدن باعث شده که کنترل کیفیت آب از اهمیت بالایی برخوردار باشد (۸). کیفیت آب‌های زیرزمینی اراضی ساحلی به لحاظ مکانی و زمانی متغیر است. به‌علاوه، سیستم آب زیرزمینی به‌قدری پیچیده است که با عوامل زیادی در یک مکان خاص نیز تغییر می‌کند. بارش، تغییر کاربری، خاک، سنگ‌شناسی، پیشروی آب دریا و فعالیت‌های بشر از جمله عواملی هستند که تعیین‌کننده کیفیت آب زیرزمینی در نواحی ساحلی می‌باشند (۱۴). در این بین، بررسی نقش عوامل مخرب انسانی و کنترل آنها باید در مطالعات جامع آبخیزداری مورد توجه قرار گیرد. فعالیت‌های انسانی مثل پمپاژ از منابع آب زیرزمینی و احیای اراضی تاثیر قابل توجهی بر سیستم جریانات آب‌های زیرزمینی ساحلی از نظر فیزیکی و شیمیایی می‌گذارد (۵).

بررسی نوسانات سفره‌های آب ساحلی دریای مازندران با وجود اکوسیستم‌های طبیعی چون تالاب‌ها یا آب بندان‌ها، جنگل و تنوع محیط زیست از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این نواحی ساحلی، سفره‌های آب سطحی از جمله منابع آبی ارزشمند برای فعالیت‌های مختلف به ویژه بخش کشاورزی محسوب می‌شوند. به‌دلیل شرایط مساعد آب و هوایی استان، انجام فعالیت‌های گسترده کشاورزی موجب تغییر در کیفیت منابع آب و خاک خواهد شد. در کنار اثرات سوء مصرف مواد شیمیایی و تاثیر مخرب آن بر منابع آب، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی برای فعالیت‌های کشاورزی نیز سبب تغییر کیفیت این منابع می‌شود (۷). از آنجا که این منابع آب به‌طور مدام در معرض بهره‌برداری قرار دارد، پژوهش‌های مربوط به آسیب‌پذیری آنها می‌تواند اطلاعات مفیدی در مورد اهمیت آنها در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری زیست محیطی در اختیار قرار دهد (۹). اگرچه میانگین بارندگی سالانه ۹۰۰-۷۰۰ میلی‌متر، وجود سفره آب زیرزمینی کم‌عمق در اراضی مابین سیاهرود و تالارود و نبود تشکیلات زمین‌شناسی محدوده‌کننده قابل توجه در حوضه آبریز طرح

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.3.7]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.284]

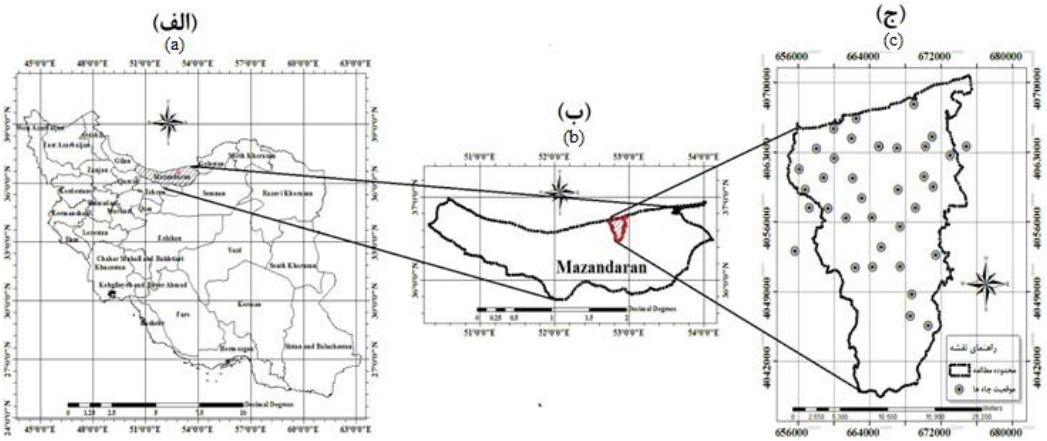
سبب شد که این محدوده توانایی نگه‌داشت آب با کیفیت خوب و درخور توجه در حد مصرف شرب و کشاورزی را داشته باشد، اما عواملی همچون نزدیکی به دریا و برداشت بی‌رویه از منابع آب در نزدیکی خط ساحلی و آب‌های برگشتی از زمین‌های کشاورزی و وجود پساب صنایع، زمینه شور و آلوده شدن منابع آب زیرزمینی در این منطقه را فراهم آورده است. در طول فصل کشت، برداشت بیش از حد از آب زیرزمینی منجر به افت سطح آب زیرزمینی و در فصول غیرکشت، وقوع بارندگی سبب ایجاد شرایط ماندابی و غرقابی می‌شود. از سوی دیگر، ورود کودها و سموم شیمیایی مازاد به منابع آب زیرزمینی سبب تغییر کیفیت آن خواهد شد. از این‌رو، در این تحقیق، با بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی در پایین دست حوضه‌های آبخیز اراضی مابین سیاهرود و تالاررود واقع در نوار ساحلی دریای مازندران، کیفیت آب سفره سطحی براساس شاخص‌ها و استانداردهای موجود، از لحاظ مصارف کشاورزی، صنعت و شرب ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعه در استان مازندران در اراضی پایین دست سد البرز قرار دارد. این منطقه در حد فاصل طول‌های ۶۵۴۶۵۱ تا ۶۷۵۶۲۵ متر و عرض‌های ۴۰۳۸۲۴۱ تا ۴۰۷۰۹۰۳ متر با مساحتی حدود ۲۵ هزار هکتار، از شمال به دریای خزر، از جنوب به ارتفاعات سلسله جبال البرز، از شرق به رودخانه سیاهرود و از غرب به رودخانه تالار محدود می‌شود. آب‌بندان، باغ، شالیزار و خشکه‌زار به‌ترتیب ۵/۲، ۱۳/۲، ۴۳/۳ و ۳۸/۳ درصد مساحت منطقه مطالعه را تشکیل می‌دهند. براساس داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های واقع در اطراف محدوده مطالعه (ساری، قراخیل و بابلسر)، میانگین بلندمدت بارش در این منطقه ۷۰۰ میلی‌متر می‌باشد که حدود ۷۰ درصد از آن در حدفاصل ماه‌های مهر تا اسفند (شش ماه دوم سال) رخ می‌دهد. میانگین بلند مدت دمای حداقل، دمای حداکثر و دمای میانگین در این منطقه به‌ترتیب ۱۲/۵، ۲۱/۵ و ۱۷ درجه‌ی سانتی‌گراد است.

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل داده‌های عمق و برخی خواص کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد که از ۳۷ چاه مشاهده‌ای تهیه شد. عمق این چاهک‌ها از سه تا شش متر متغیر بود. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعه در کشور و استان مازندران و پراکندگی چاه‌های مشاهده‌ای در این منطقه را نشان می‌دهد. کیفیت آب زیرزمینی این چاه‌ها، در سه زمان مختلف شامل قبل از فصل کشت برنج (زمستان ۱۳۸۸)، در فصل کشت برنج (بهار ۱۳۸۹) و بعد از فصل کشت برنج (تابستان ۱۳۸۹) تعیین شد. پارامترهای کیفی مورد نظر شامل مقادیر هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH) و غلظت کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، بی‌کربنات، کلر و سولفات آب زیرزمینی در زمان‌های مذکور تعیین شد. نسبت جذب سدیم نیز محاسبه شد. علاوه بر این، مقایسه میانگین داده‌ها و شاخص‌های کیفی مربوط به زمان‌های مختلف نمونه‌برداری از طریق آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) به‌وسیله نرم‌افزار SAS (۱۷) انجام شد. در شکل ۲ فلوچارت مراحل مختلف ارزیابی داده‌ها ارائه شد.



شکل ۱- موقعیت محدوده‌ی مورد مطالعه در ایران (الف) و استان مازندران (ب) و موقعیت چاه‌ها در محدوده‌ی مطالعه (ج)

Figure 1. Location of the study area in Iran (a), Mazandaran province (b) and location of wells in the study area (c)

استانداردها و معیارهای کیفی آب برای کشاورزی

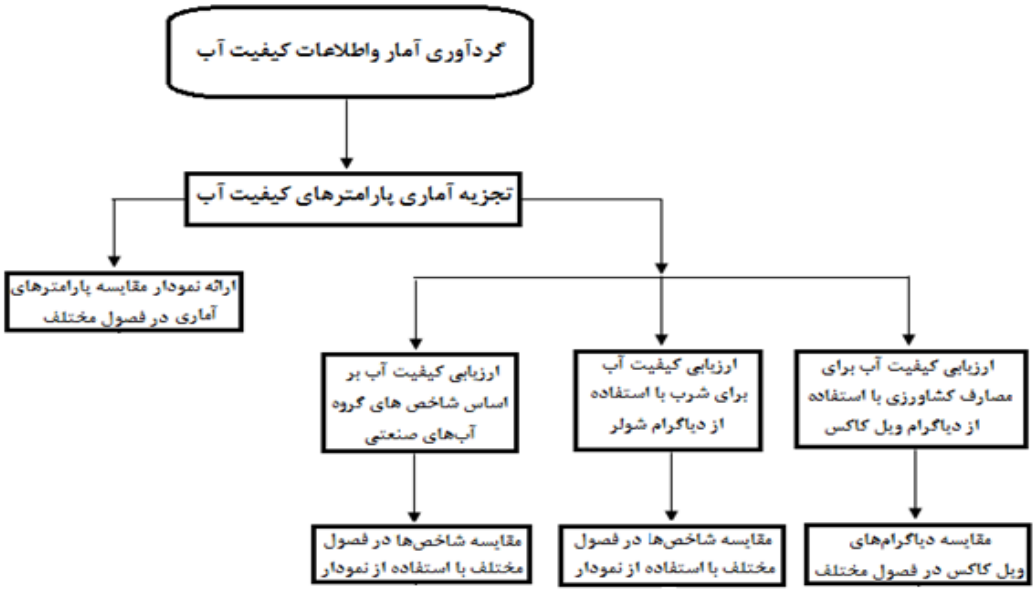
از جمله معیارهای کیفی برای آب کشاورزی، استاندارد سازمان خواروبار جهانی (FAO) برای کاربری کشاورزی (نشریه شماره‌های ۲۹ و ۵۳ فائو) می‌باشد. دیاگرام ویل‌کاکس نیز کاربرد وسیعی برای طبقه‌بندی آب از نظر مصارف کشاورزی دارد. این دیاگرام با توجه به مقدار هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم آب آبیاری (SAR)، طبقه‌بندی کیفی آب را به لحاظ خطر شوری و سدیمی در طبقه‌بندی‌های C-S نشان می‌دهد. برای ارزیابی کیفیت آب با استفاده از دیاگرام ویل-کاکس، از نرم‌افزار هیدروشیمی (۲) استفاده شد.

استانداردها و معیارهای کیفی آب برای صنعت

طبقه‌بندی کیفیت آب برای مصرف در بخش صنعت مطابق با نشریه استاندارد شماره ۴۶۲ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری با عنوان «راهنمای

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.3.7]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.284]

طبقه¬بندی کیفیت آب خام، پساب‌ها و آب‌های برگشتی برای مصارف صنعتی و تفرجی» انجام شد (۳). در این راهنما، آب مورد نیاز صنایع با توجه به نیازهای کیفیت آب صنعت و شاخص‌های مربوطه، به گروه‌های مختلف شامل گروه بسیار حساس، گروه حساس، گروه نسبتا حساس و گروه با کمترین حساسیت تقسیم‌بندی می‌شود. گروه بسیار حساس شامل فرآیندهایی در صنعت می-باشد که آب مصرفی آنها دارای حساسیت بسیار بالایی بوده و تمامی و یا بیش‌تر اجزای آنها دارای این حساسیت می‌باشد. گروه حساس شامل فرآیندهایی می‌شود که دارای حساسیت بالایی هستند ولی این حساسیت شامل تمامی اجزا نمی‌باشد و نسبت به گروه اول از حساسیت کم‌تری برخوردارند. گروه نسبتا حساس دارای حساسیتی تقریبا مشابه با آب آشامیدنی می‌باشد. گروه با کمترین حساسیت، کمترین حساسیت را نسبت به گروه‌های دیگر دارد. جدول ۱ محدوده مطلوب شاخص‌های این چهار گروه را نشان می‌دهد.



شکل ۲- فلوچارت مراحل ارزیابی داده‌ها

Figure 2. Flowchart of data evaluation stages

جدول ۱- محدوده مطلوب شاخص‌های گروه آب‌های صنعتی

Table 1. Suitable range for indices related to industrial water use

شاخص	محدوده مطلوب (میلی‌گرم بر لیتر)			
	گروه اول	گروه دوم	گروه سوم	گروه چهارم
آهن	۰-۰/۰۵	۰-۰/۱	۰-۰/۳	۰-۱
منگنز	۰-۰/۰۱	۰-۰/۰۵	۰-۰/۳	۰-۱
pH	۷-۹	۶-۱۰	۵-۱۰	۵-۱۰
سختی	۰-۱	۰-۱۰۰	۰-۲۵۰	۰-۵۰۰
قلیاییت	۰-۵۰	۰-۷۵	۰-۱۵۰	۰-۵۰۰
سولفات	۰-۲۰	۰-۱۰۰	۰-۲۵۰	۰-۵۰۰
مواد معلق	۰-۱	۰-۵	۰-۱۰	۰-۱۰۰
TDS	۰-۵۰	۰-۱۰۰	۰-۵۰۰	۰-۱۰۰۰
کلراید	۰-۲۰	۰-۱۰۰	۰-۲۰۰	۰-۵۰۰

استانداردها و معیارهای کیفی آب برای شرب

استفاده از دیاگرام شولر برای طبقه‌بندی کیفیت آب شرب بسیار مرسوم است. در این تحقیق، داده‌های کیفیت آب مربوط به زمان‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار هیدروشیمی آنالیز شد. به کمک این نرم‌افزار، وضعیت هیدروشیمیایی منابع آب موجود در محدوده‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب ارائه گردید.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل داده‌ها

از آنجا که اراضی وسیعی از نوار ساحلی دریای مازندران زیر کشت برنج است داده‌های مربوط به سه دوره اندازه‌گیری را می‌توان مرتبط با فصل کشت برنج دانست. به‌طوری‌که داده‌های زمستان مربوط به قبل از کشت، داده‌های اردیبهشت ماه منطبق با زمان آب تخت و انتقال نشاء از خزانه به زمین شالیزار و داده‌های مرداد ماه مربوط به انتهای فصل کشت برنج می‌باشد. آماره‌های مربوط به پارامترهای کیفی نمونه‌های زمستان، بهار و تابستان به‌ترتیب در جداول ۲ تا ۴ و نتایج مقایسه میانگین خواص و برخی شاخص‌های کیفیت آب در زمان‌های مختلف در جدول ۵ ارائه شد. افزایش انحراف معیار و ضریب تغییرات داده‌های کیفیت آب در تابستان نسبت به بهار و زمستان نکته قابل توجه مربوط به آنالیز آماری نمونه‌های دوره‌های مختلف می‌باشد. میانگین اسیدیته آب در زمستان بیشتر از مقدار آن در فصل‌های بهار و

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.3.7]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.284]

تابستان بود. به‌جز برای pH که بیش‌ترین میزان انحراف معیار مربوط به آن در تابستان مشاهده شد، برای سایر متغیرها، بیش‌ترین میزان انحراف معیار در زمستان رخ داد. اگر میزان پراکندگی یک متغیر کم‌تر از ۰/۱۵، بین ۰/۳۵-۰/۱۵ و بیش‌تر از ۰/۳۵ باشد، آن متغیر به‌ترتیب دارای تغییرپذیری کم، متوسط و تغییرپذیری زیاد است (۲۲). به جز pH، باقی متغیرها دارای تغییرپذیری زیادی بودند. دامنه‌ی تغییرات کم pH با یافته‌های برخی تحقیق‌های پیشین مطابقت دارد (۲۴). در سطح وسیع، تغییرپذیری یک متغیر می‌تواند متاثر از کاربری اراضی، الگوی فرسایش و نحوه‌ی کوددهی باشد (۲۴،۱۹). غیریکنواختی کوددهی و آبیاری در سیستم آبیاری سطحی از یک سو و وضعیت توپوگرافی منطقه از سوی دیگر، از جمله عوامل موثر بر تغییرپذیری یک متغیر در منطقه‌ای با وسعت کم می‌باشد. اختلاف معنی‌داری بین هدایت الکتریکی، کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، سولفات و نسبت جذبی سدیم مربوط به زمان‌های مختلف نمونه‌برداری وجود نداشت. بالا بودن ضریب تغییرات برخی شاخص‌های کیفی، نشان‌دهنده غیریکنواختی زیاد آنها در سراسر منطقه مطالعه می‌باشد. میزان پتاسیم و اسیدیته آب زیرزمینی با نزدیک شدن به انتهای دوره کشت، به‌تدریج به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. از سوی دیگر، درصد سدیم قابل تبادل در دوره مطالعه روندی صعودی داشت به‌طوری که مقدار آن در مرداد ماه، به‌طور معنی‌داری بیشتر از میزان آن در دوره زمانی قبل از فصل کشت در منطقه (زمستان) بود. شوری آب زیرزمینی در فصل بهار نسبت به زمستان کاهش یافت که علت آن می‌تواند وقوع آبشویی کافی در اثر بارندگی‌های زمستان و آبیاری‌های ابتدای فصل کشت برنج باشد. متوسط شوری آب زیرزمینی در تابستان به‌ترتیب به‌میزان ۴۹ و ۱۴۵ درصد بیشتر از مقدار آن در فصول زمستان و بهار بود. نسبت جذبی سدیم در ماه اردیبهشت تقریبا مشابه ماه اسفند بود لکن در انتهای دوره کشت، مقدار آن به‌طور قابل توجهی افزایش یافت. این موارد نشان‌دهنده افزایش خطر شوری و سدیمی شدن با نزدیک شدن به انتهای فصل رشد می‌باشد. خطر شوری آب را می‌توان به افزایش غلظت نمک‌ها در طی فصل رشد همراه با کاهش سطح آب سفره زیرزمینی در مراحل پایانی فصل رشد گیاه نسبت داد. تاثیر افت تراز پیزومتریک بر تشدید شوری آب زیرزمینی در برخی تحقیق‌های گذشته گزارش شد (۴).

جدول ۲- مشخصه‌های آماری آنالیز کیفیت آب مربوط به فصل زمستان

Table 2. Statistical parameters related to analysis of water samples of winter

پارامتر	EC (µs/cm)	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	Cl	SO_4
تعداد نمونه‌ها	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷
میانگین حسابی	۵۸۰۷	۷/۵	۱۱/۳	۹/۴	۳۶/۵	۰/۲	۷/۸	۵۵/۰۸	۲/۶
انحراف معیار	۹۵۲۵	۰/۲	۱۱/۷	۱۰/۱	۸۰/۸	۰/۲	۱/۹	۱۱۷/۲	۱/۹
ضریب تغییرات (درصد)	۱۶۴	۳/۲	۱۰۳/۲	۱۰۷/۷	۲۲۱/۷	۱۴۶/۷	۲۵/۵	۲۱۲/۷	۷۵/۱
حداکثر	۵۶۰۵۰	۸/۲	۶۵	۴۵/۲	۴۸۱/۸	۱/۳	۱۱/۳	۶۳۱	۷/۲
حداقل	۸۰۲	۷/۱	۲/۳۵	۲/۰۵	۱/۹	۰/۰۳	۲/۹	۰/۶۵	۰/۲
چولگی	۴/۳۳	۰/۶	۳/۱	۲/۲۶	۴/۹	۴	-۰/۵۶	۳/۹۳	۰/۹

جدول ۳- مشخصه‌های آماری آنالیز کیفیت آب مربوط به فصل بهار

Table 3. Statistical parameters related to analysis of water samples of spring

پارامتر	EC (µs/cm)	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO3	Cl	SO4
تعداد نمونه‌ها	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷
میانگین حسابی	۳۵۲۴	۷/۱	۹/۸	۱۰/۴	۳۳/۹	۰/۱	۸	۷۷/۲	۳/۱
انحراف معیار	۳۴۳۴	۰/۲	۱۱/۶	۹/۸	۶۹/۱	۰/۱	۲/۳	۲۳۱/۸	۱/۹
ضریب تغییرات (درصد)	۹۷/۵	۳/۲	۱۱۷/۴	۹۴/۵	۲۰۳/۵	۱۰۰	۲۸/۳	۳۰۰	۶۱/۵
حداکثر	۱۳۲۴۲	۷/۶	۵۹/۲	۴۵/۵	۴۱۰/۷	۰/۶	۱۲/۶	۱۳۳۲	۷/۹
حداقل	۶۳۵	۶/۷	۲/۴	۱/۴	۱/۹	۰/۰۳	۳	۰/۷	۰/۷
چولگی	۱/۹	-۰/۱۳	۲/۷	۲	۴/۸	۲	۰/۰۳	۴/۹	۰/۸

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.3.7]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.284]

جدول ۴- مشخصه‌های آماری آنالیز کیفیت آب مربوط به فصل تابستان

Table 4. Statistical parameters related to analysis of water samples of summer

پارامتر	EC (µs/cm)	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO3	Cl	SO4
تعداد نمونه‌ها	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
میانگین حسابی	۸۶۵۶	۷/۱	۲۴۴	۱۶۸	۱۱۳۵	۴/۹	۵۳۳/۷	۲۴۱۱	۱۵۲/۹
انحراف معیار	۱۲/۴	۱	۱۹۷	۱۳۹	۱۴۴۷	۴	۱۲۰/۱	۳۰۵۷	۱۳۳/۹
ضریب تغییرات (درصد)	۹۷/۲	۴/۸	۸۱	۸۳	۱۲۷/۵	۸۱/۷	۲۲/۵	۱۲۶/۸	۸۷/۶
حداکثر	۲۷۴۶۷	۷/۶	۵۹۰	۵۳۰	۵۰۲۳	۱۵/۱	۷۷۴/۷	۱۰۵۵۰	۶۱۵
حداقل	۱۰۳۷	۶/۳	۲۰	۴۹	۶۹/۸	۱/۷	۳۵۳/۸	۱۲۷/۸	۲۲
چولگی	۱/۱	-۰/۴	۰/۶۷	۱/۵	۲	۱/۷	۰/۳	۱/۷	۲/۳

جدول ۵- مقایسه میانگین خواص کیفی آب زیرزمینی و برخی شاخص‌های مرتبط

Table 5. Mean comparison of groundwater quality properties and some related indices

زمان نمونه‌برداری	پارامتر									
	EC (µs/cm)	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO3	Cl	SO4	SAR
زمستان ۸۸	۵۸۰۶^{a}	۷/۵۱^{a}	۲۲۹^{a}	۱۱۲^{a}	۸۳۸^{a}	۶/۰^{a}	۴۷۶^{b}	۱۹۵۵^{a}	۱۲۵^{a}	۵۰/۵^{a}
بهار ۸۹	۳۵۲۴^{a}	۷/۱۹^{b}	۱۹۷^{a}	۱۲۴^{a}	۷۸۱^{a}	۵/۴^{ab}	۴۸۷^{ab}	۲۷۴۲^{a}	۱۵۰^{a}	۵۰/۰^{a}
تابستان ۸۹	۸۶۵۶^{a}	۷/۱۴^{b}	۲۱۴^{a}	۱۶۵^{a}	۸۶۱^{a}	۳/۹^{b}	۵۳۵^{a}	۱۸۰۷^{a}	۱۶۱^{a}	۶۲/۸^{a}

در منطقه مورد مطالعه، مهم‌ترین منابع آبیاری مزارع شالیزاری، آب‌های تجمع یافته در سازه‌های سنتی به‌نام آب‌بندان و آب‌های موجود در سفره‌های سطحی (از طریق پمپاژ از چاه‌های سطحی) می‌باشند. با تحلیل رفتن منابع آب سطحی، کشاورزان برای آبیاری تکمیلی بیشتر به پمپاژ از سفره‌های آب زیرزمینی روی می‌آورند. در نتیجه، این امر موجب افت سطح ایستابی همراه با افزایش محسوس شوری آب خواهد شد. خطر شدید سدیمی شدن آب در تابستان را می‌توان تا حدی ناشی از اثرات به‌جا مانده از کودها و مواد شیمیایی در طی فصل رشد و ورود آن به آب زیرزمینی دانست. بدیهی است که روند تغییر در ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی در هر نقطه، تا حد بسیار زیادی تابعی از میزان و نحوه کاربرد مواد شیمیایی توسط بهره‌برداران می‌باشد.

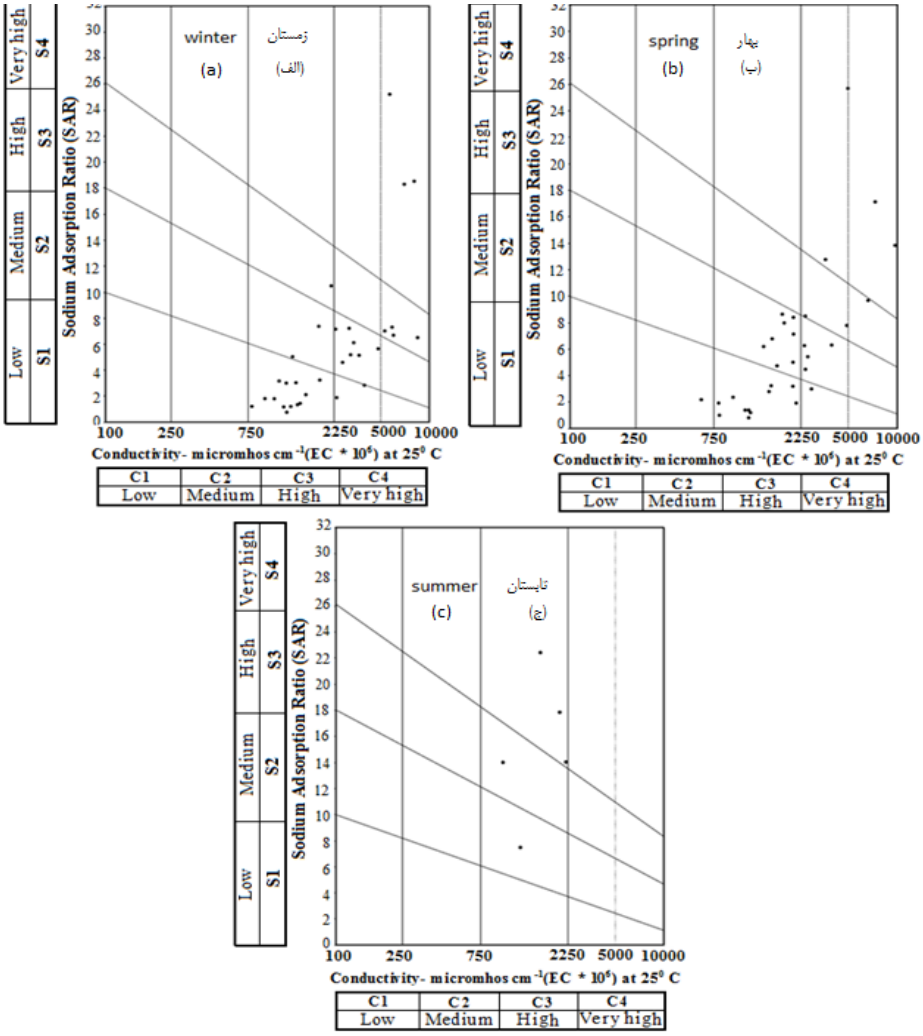
ارزیابی کیفیت آب برای مصارف مختلف

نتایج طبقه‌بندی کیفیت آب نمونه‌های زمستان، بهار و تابستان از نظر مصارف کشاورزی، براساس دیاگرام ویل‌کاکس، در شکل ۳ ارائه شد. در بیشتر موارد، کیفیت آب در کلاس شوری زیاد قرار داشت و قلیاییت آب نیز در فصول زمستان و بهار تغییرات محسوس نداشته و در حدود ۶۰ درصد موارد در کلاس‌های C4-S4, C4-S2, C4-S3, C4-S1 بود. ضمناً در فصل تابستان، میزان قلیائیت کلاس C4-S4 تا ۷۵ درصد افزایش یافت.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.3.7]

[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.284]



شکل ۳- طبقه‌بندی کیفیت آب از نظر کشاورزی برای فصل زمستان (الف)، بهار (ب) و تابستان (ج)

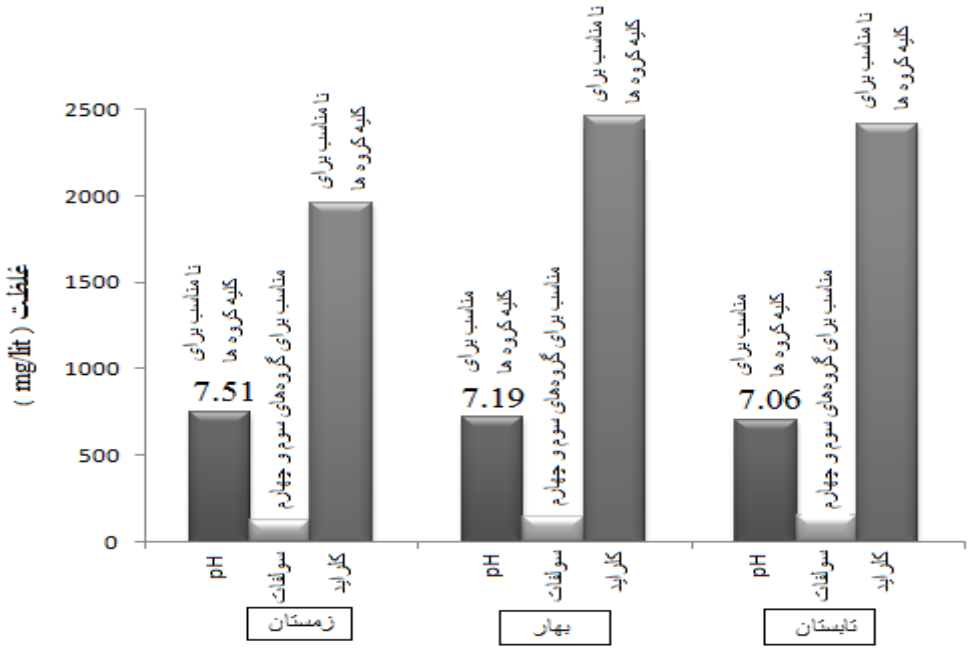
Figure 3. Water quality classification for agriculture in winter (a), spring (b) and summer (c)

بر طبق نتایج مطالعات انجام شده در دشت‌های استان همدان قیمت گذاری آب به عنوان یک روش غیرمستقیم برای استفاده کارا و پایدار از آب در بخش کشاورزی (۲۱) مؤثر بوده و در کنار آن با کمک مدل‌های پویا مانند مدل کنترل بهینه نیز می‌توان با مشخص نمودن مسیر بهینه استخراج آب از منابع زیرزمینی در جهت حداکثر نمودن منافع خالص کشاورزان ضمن رعایت پایداری سفره آب زیرزمینی قدم برداشت (۲۰). بطور مشابه در منطقه مورد مطالعه استفاده از مدل‌های بهینه برای یافتن حد مجاز کاربرد مواد شیمیایی و حد مجاز برداشت از منابع آب زیرزمینی از راهبردهای مهم حفظ پایداری منابع آب زیرزمینی در این منطقه به شمار می‌رود.

ارزیابی کیفیت آب برای مصرف در صنعت

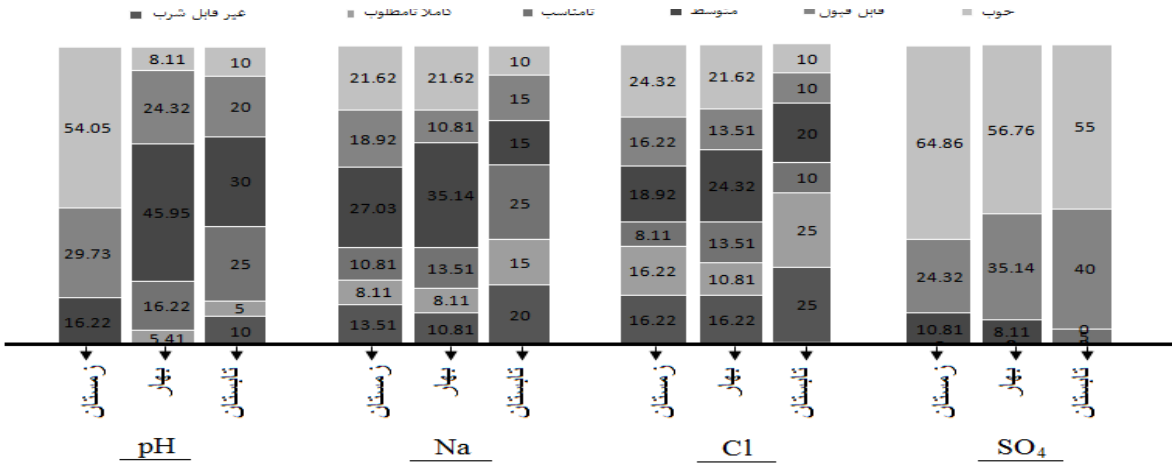
از آنجا که تجزیه آزمایشگاهی کیفیت نمونه‌های آب عمدتاً از نگاه مصرف برای کشاورزی صورت گرفت، بنابراین، تعدادی از پارامترها مانند آهن، منگنز و سیلیسیم که به‌منظور مقایسه با استانداردهای مربوط به صنعت مورد نیاز است موجود نمی‌باشد. از این‌رو، ارزیابی کیفیت آب برای مصارف صنعتی صرفا براساس پارامترهای موجود انجام شده و نتایج حاصله در شکل ۴ ارایه شد. مقدار pH آب برای کلیه گروه‌ها یعنی گروه-های بسیار حساس، حساس، نسبتاً حساس و گروه با کمترین حساسیت مناسب است. میانگین غلظت سولفات نیز نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی سفره کم‌عمق منطقه مطالعه را نمی‌توان برای گروه‌های بسیار حساس و حساس که باید از روش‌های پیشرفته تصفیه برای تامین آب آنها استفاده کرد، بکار برد اما این آب‌ها قابل استفاده برای گروه‌های سوم و چهارم هستند. ضمناً، تنها مقدار کلراید موجود در آبها خارج از محدوده مطلوب برای استفاده در صنعت بوده و برای هیچ یک گروه‌ها مناسب نبود. در صورتی که تصفیه این آب‌ها به میزانی باشد که در محدوده مجاز گروه چهارم قرار گیرد می‌تواند برای مصارف آتش‌نشانی، فرآیند تولید سیمان، انتقال مواد، شستشوی سطوح و صنایع دیگری که کمترین حساسیت نسبت به مصرف این آب‌ها را دارند مورد استفاده قرار گیرد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.3.7]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.284]



شکل ۴- ارزیابی کیفیت آب براساس شاخص‌های گروه‌های مختلف آب‌های صنعتی
Figure 4. Water quality evaluation based on indices of different industrial water uses

نتایج ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی منطقه مطالعه از نظر مصرف شرب در شکل ۵ ارایه شد. درصد پارامترهای انتخاب شده در طبقه‌بندی شولر در فصل تابستان به‌میزان محسوسی تغییر نمود. به‌طوری‌که کیفیت آب از نظر شرب در کلاس‌های پایین‌تر قرار گرفت.



شکل ۵- درصد کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف آب شرب در فصل زمستان
Figure 5. Percent for Schuler classifications for domestic water consumption in winter

با توجه به اینکه اراضی محدوده مطالعه عمدتاً دارای کاربری کشاورزی به ویژه اراضی شالیزاری می‌باشند بنابراین، تغییرات کیفیت آب را می‌توان ناشی از فعالیت‌های کشاورزی از جمله مصرف کودها و مواد شیمیایی دانست که در بسیاری مناطق دنیا به اثبات رسید (۱۶،۶). بررسی آلودگی نیتراتی سفره‌های آب زیرزمینی کم‌عمق استان مازندران نیز نشان داد که مدیریت نامناسب مزارع شالیزاری نقش قابل توجهی در آلودگی آب زیرزمینی منطقه دارد (۱۳). با در نظر گرفتن اینکه نمونه‌برداری از چاه‌های مشاهده‌ای در زمان-های قبل از کشت برنج، زمان آب تخت و انتهای فصل کشت برنج صورت گرفت، ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که برداشت از سفره‌های آب سطحی (که از طریق چاه‌های کم عمق واقع در شالیزارها انجام می‌گیرد) و همچنین تغذیه این سفره‌ها (که در اثر رواناب‌های سطحی و آب‌های مازاد صورت می‌گیرد) نیز بر کیفیت آب تاثیر دارد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.3.7]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.284]

عباسی و همکاران (۱) کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت شوش را از جنبه شرب ارزیابی کردند و نشان دادند پارامتر SO4، در فصل پاییز ۳۰٪ در محدوده خوب، ۵۰٪ در محدوده قابل قبول و ۲۰٪ در محدوده متوسط قرار می‌گیرد، اما در فصل زمستان ۲۰٪ در محدوده خوب، ۷۵٪ در محدوده قابل قبول و ۵٪ در محدوده متوسط قرار می گیرد. از این رو طبقه‌بندی این پارامتر نسبت به تغییر فصول متغیر بود.
در تحقیقی دیگر (۱۱)، کیفیت آب زیرزمینی یک منطقه ساحلی در هندوستان با شاخص W QI بررسی شد. نتایج بدست آمده از ۴۴ نمونه آب که هم در فصل تابستان و هم پس از بارندگی تهیه شد نشان داد که ۶۶ و ۲۹ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی به‌ترتیب در دوره پس از بارندگی و فصل تابستان برای اهداف شرب در منطقه مناسب نبودند. مطالعه کیفیت آب زیرزمینی کم‌عمق نواحی کشاورزی ایالت آلبرتا براساس عوامل مختلف (۱۰) نشان داد که عوامل مورد بررسی، به مقدار کمی فراتر از حد مجاز برای مصرف شرب بودند و ارتباط معنی‌داری بین فعالیت‌های کشاورزی با داده‌های پوشش سطح زمین و غلظت نیتروژن وجود داشت. در پژوهش مهربانی و همکاران (۱۵) برای ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی حوزه آبریز مرویل درجنوب شرقی استان همدان، مانند پژوهش حاضر از نرم‌افزار هیدروشیمی استفاده شد و کیفیت آب برای مصارف شرب و کشاورزی مناسب تشخیص داده شد.

منابع

1. Abbasi, F., H.A. Kashkoli and N. Hosseni Zare. 2014. Evaluation of groundwater quality for Shosh valley from domestic aspect. 2nd national conference on water crisis (Climate Change, Water and Environment), Shahrekord University. Shahrekord, Iran, 9 pp (In Persian).
2. Anonymous. 2005. Manual of Hydrochemistry model. Water Resources Management Company, Department of baseline studies and watershed management, Office of Basic Studies, (In Persian).
3. Anonymous. 2008. Manual of quality classification of raw water, wastewater and return flow for industrial and recreational uses. Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision, (In Persian)
4. Chaudhuri, S. and S. Ale. 2014. Long term (1960-2010) trends in groundwater contamination and salinization in the Ogallala aquifer in Texas. Journal of Hydrology, 513: 376-390.
5. Chen, K.P. and J.J. Jiao. 2007. Seawater intrusion and aquifer freshening near reclaimed coastal area of Shenzhen. Water Science & Technology: Water Supply Vol, 2: 137-145.
6. Dahan, O., A. Babad, N. Lazarovitch, E.E. Russak and D. Kurtzman. 2014. Nitrate leaching from intensive organic farms to groundwater. Hydrol Earth Syst Sci., 18: 333-341.
7. Darzi-Naftchali, A., A. Asgari and F. Karandish. 2014. Influence of agricultural activities on salinization of shallow aquifers in Mazandaran province. 2nd national conference on agricultural water management, Soil and Water Research Institute. Karaj, Iran, 86-91 (In Persian).
8. Delfardi, S. and S. Sanjari. 2014. Study of physical and chemical characteristics of irrigation water of southern Roodbar plain (marginal agricultural lands of Jazmurian). 2nd national conference on agricultural water management, Soil and Water Research Institute. Karaj, Iran, 71-76 (In Persian).
9. Fadel, E., M. Tomaszkiewicz and M. Abou Najm. 2013. Sustainable coastal aquifer management in urban areas: The role of groundwater quality indices. 4th Global forum on urban resilience and adaptation. Bonn, Germany, 19.
10. Forrest, F., R. Joan, S. Reedyk and J. Wuite. 2006. Asurvey of nutrient and major ions in shallow groundwater of Alberta's agricultural areas. Albeta Agriculture, Food and Rural Development, Landwise, Agriculture and Agri-food Canada, 116 pp.
11. Ganeshkumar, B. and C. Jaideep. 2011. Groundwater quality assessment using Water Quality Index (WQI) approach-Case study in a coastal region of Tamil Nadu, India. International Journal of Environmental Sciences and Research, 2: 50-55.
12. Gharibreza, M.R. and F. Vafaei. 2000. Coastal land erosion and its prevention and control strategies. 2nd erosion and sediment national conference. Lorestan, Iran, 2 pp (In Persian).
13. Karandish, F., A. Darzi-Naftchali and A. Asgari. 2016. Application of machine-learning models for diagnosing healthhazard of nitrate toxicity in shallow aquifers. Paddy Water Environment, DOI 10.1007/s10333-016-0542-2.
14. Manikandan, K., K.P. Kannan and M. Sankar. 2012. Evaluation and Management of Groundwater in Coastal Regions. Earth Science India, 5: 1-11.
15. Mehrabani, Sh., B. Mehrabani, B. Rafei and B. Yaghobi-Kikleh. 2011. Assessing groundwater quality of Marvil watershed. 2nd Conference on Earth Sciences, Islamic Azad University of Ashtian, Iran, 9 pp (In Persian).
16. Melo, A., E. Pinto, A. Aguiar, C. Mansilha, O. Pinho and I. Ferreira. 2012. Impact of intensive horticulture practices on groundwater content of nitrates, sodium, potassium and pesticides. Environmental Monitoring Assessment, 184: 4539-4551.
17. Roshun, S.H. and M. Habibnejad Roshan. 2018. Monitoring of temporal and spatial variation of groundwater drought using GRI and SWI indices (Case study: Sari-Neka plain), Journal of Watershed Management Research, 9(17): 269-279 (In Persian).
18. SAS Institute Inc. 2002. The SAS System for Windows, Release 9.0. Statistical Analysis Systems Institute, Cary, NC, USA.
19. Schernewski, G., N. Löser and A. Sekścińska. 2005. Integrated Coastal area and river basin management (ICARM): The Oder/Odra case study. Integrated coastal zone management at the Szczecin Lagoon: Exchange of experiences in the region, Coastline Reports, 6: 43-54.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.3.7]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.284]

20. Seyedan, S.M., M.R. Kohansal and M. Ghorbani. 2017. Achieving optimal path of extracting groundwater resources considering the side effects in Hamadan-Bahar plain. Journal of Watershed Management Research, 8(15): 191-201 (In Persian).
21. Seyedan, S.M. and A.G. Firozabadi. 2018. Pricing of groundwater resources of Hamadan-Bahar plain using spatial econometric approach. Journal of Watershed Management Research, 9(17): 258-268 (In Persian).
22. Sun, B., S. Zhou and Q. Zhao. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. Geoderma, 115: 85-99.
23. Wilding, L.P. and L.R. Dress. 1983. Spatial variability and pedology. In: Wilding, L.P., Smeckand, N.E., Hall, G.F., (Eds.). Pedogenesis and soil taxonomy. I. concepts and interactions. Elsevier Science Pub, 83-116.
24. Yost, R.S., G. Uehara and R.L. Fox. 1982. Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas: I. Semivariograms. Soil Sci. Soc., 46: 1028-1032.
25. Zektser, S. and L.G. Everett. 2004. Ground water resources of the world and their use. IHP-VI, SERIES ON GROUNDWATER NO. 6. Published in by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 342.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.3.7]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.284]

"Technical Report"

Assessing Spatial and Temporal Variations of Coastal Groundwater Quality with Regard to Different uses

Abdullah Darzi-Naftchalli, Ahmad Asgari[2] and Fatemeh Karandish[3]

1- Associate Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, (Corresponding author: abdullahdarzi@yahoo.com)
2- PhD Student, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
3- Associate Professor, Water Engineering Department, University of Zabol
Received: February 15, 2016 Accepted: December 12, 2016

Abstract

The quality of coastal water resources at the downstream of watersheds is decreasing mainly due to different anthropogenic activities. In this research, temporal variations of groundwater quality were investigated in a 25000 ha coastal area in Mazandaran province. Groundwater samples were taken from 37 observation wells in the region before (winter 2009), during (spring 2010) and after (Summer 2010) a rice growing season. The samples were analyzed to determine electrical conductivity, acidity and the concentration of calcium, sodium, magnesium, potassium, bicarbonate, chloride and sulphate. Groundwater quality was assessed for agriculture, industry and drinking uses based on various criteria and standards. The average electrical conductivity of groundwater in winter, spring and summer was 5806, 3524 and 8656 $\mu s\ cm^{-1}$, respectively, indicating increase in salinization risk of groundwater at the end of rice growing season. From alkalinity viewpoint, approximately 60% of the groundwater samples were in C4-S1, C4-S2, C4-S3 and C4-S4. Chloride concentration in groundwater was more than its permitted limit for industrial use. The groundwater quality of the 2010 summer season was the worst from drinking viewpoint compared with the samples collected in the 2009 winter and 2010 spring. Results showed that rice cultivation had considerable effect on groundwater quality of the study coastal area. Therefore, the proper management of water and nutrient during rice growing season can be effective to protect groundwater quality in the study area.

Keywords: Agriculture, Coastal aquifers, Drinking, Industry, Paddy field

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.3.7]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.284]