



بررسی کیفی آب آشامیدنی شهرستان رفسنجان با تأکید بر پارامترهای شیمیایی و ارزیابی ریسک 1405 سلامت

جواد ادقی حسین آبادی^{۱*}، ایمان شریفی^۲

۱- کارشناس ارشد ایمنی بهداشت محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان

۲- کارشناس ارشد مدیریت، دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان

۳- چکید

مقدمه: آب آشامیدنی سالم یکی از اساسی‌ترین نیازهای سلامت عمومی است و کیفیت آن به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است با هدف بررسی کیفیت آب آشامیدنی چهار نقطه مختلف شهرستان رفسنجان (بخش اعصاب زنان، روستای عرب‌آباد در حومه شرقی، شرکت شهرسازی شهرداری در بلوار خلیج فارس حومه غربی، و مهدی‌آباد در بلوار ولی‌عصر) از نظر پارامترهای فلوراید، منگنز، آلومینیوم، آهن، پتاسیم، نیترات، سولفات و نیتريت انجام شده است.

روش‌ها: داده‌های غلظتی حاصل از نمونه‌برداری از چهار نقطه مذکور با استانداردهای ملی ایران (مؤسسه استاندارد و مقایسه گردید. همچنین (WHO) تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد ۱۰۵۳) و رهنمودهای سازمان بهداشت جهانی مروری بر مطالعات پیشین در ایران و جهان و تأثیرات هر یک از پارامترهای شیمیایی بر سلامت جمعیت هدف انجام شد. **یافته‌ها:** نتایج نشان داد که غلظت نیترات در تمامی نمونه‌های آب، در دامنه‌ای بین ۱ تا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر قرار دارد که این مقدار بسیار پایین‌تر از حد مجاز تعیین‌شده توسط سازمان بهداشت جهانی (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) است. در خصوص فلوراید، اگرچه میانگین غلظت آن در محدوده مجاز گزارش شده، اما در برخی نقاط نمونه‌برداری، غلظت‌هایی تا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نیز مشاهده شده است که در صورت تأیید نهایی، به‌طور چشمگیری بالاتر از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی (۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر) خواهد بود و نیازمند توجه ویژه است. غلظت سولفات نیز در بازه‌ای بین ۴۰۴ تا ۶۳۴ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بوده؛ اگرچه این مقدار در برخی موارد از حد مطلوب استاندارد ملی ایران (۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) فراتر رفته، اما همچنان زیر حداکثر مجاز همان استاندارد (۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و همچنین زیر حد مجاز سازمان بهداشت جهانی (۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) قرار دارد. سایر پارامترهای شیمیایی اندازه‌گیری‌شده شامل آهن، منگنز، آلومینیوم، پتاسیم و نیتريت، همگی در محدوده مجاز استانداردهای ملی و بین‌المللی بوده و از نظر سلامت عمومی نگرانی جدی ایجاد نمی‌کنند.

نتیجه‌گیری: اگرچه بیشتر پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در محدوده مجاز استانداردهای ملی و بین‌المللی قرار دارند، اما غلظت بالای فلوراید در برخی نقاط و سولفات در برخی دیگر نیازمند توجه ویژه و پایش مستمر است. با توجه به اینکه بالای ۸۷٪ از منابع آب زیرزمینی دشت رفسنجان برای مصارف شرب نامناسب گزارش شده‌اند، مدیریت پایدار منابع آب و تصفیه مناسب آب آشامیدنی در این منطقه یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است.

کلمات کلیدی: پارامتر، آب، شیمیایی، ارزیابی ریسک

مقدمه

دسترسی به آب آشامیدنی سالم، یکی از بنیادی‌ترین حقوق بشر و از ارکان اصلی سلامت عمومی محسوب می‌شود. سازمان آب آشامیدنی سالم را آبی تعریف می‌کند که در طول عمر مصرف‌کننده، تهدیدی برای سلامت (WHO) بهداشت جهانی وی ایجاد نکند. با این حال، امروزه در بسیاری از نقاط جهان، از جمله ایران، منابع آب آشامیدنی به دلیل برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، فعالیت‌های کشاورزی، تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی و عوامل زمین‌شناسی، با کاهش کیفیت مواجه شده‌اند.

شهرستان رفسنجان در جنوب شرقی ایران و در استان کرمان واقع شده است. این منطقه به دلیل شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، وابستگی شدیدی به منابع آب زیرزمینی دارد. دشت رفسنجان به عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق کشاورزی استان، با چالش‌های جدی در زمینه کمیت و کیفیت منابع آب مواجه است. مطالعات پیشین نشان داده است که غلظت یون‌های اصلی در آب‌های زیرزمینی این منطقه به شدت تحت تأثیر جریان آب زیرزمینی، شرایط زمین‌شناسی و وجود لایه‌های تبخیری قرار دارد.

پارامترهای شیمیایی آب آشامیدنی از جمله فلوراید، نیترات، سولفات، نیتريت و فلزات سنگین (آهن، منگنز، آلومینیوم) تأثیرات مستقیم و گاه جبران‌ناپذیری بر سلامت انسان دارند. فلوراید در غلظت‌های مناسب (۰/۵ تا ۱ میلی گرم بر لیتر) برای پیشگیری از پوسیدگی دندان مفید است، اما در غلظت‌های بالا باعث فلوروزیس دندان و اسکلتی می‌شود. نیترات نیز در غلظت‌های بالا می‌تواند باعث متهموگلوبینمی (سندرم بچه آبی) در نوزادان و تشکیل ترکیبات سرطان‌زای نیتروزامین در بدن شود.

پژوهش حاضر با هدف بررسی کیفیت آب آشامیدنی چهار نقطه مختلف شهرستان رفسنجان (بخش اعصاب زنان، روستای عرب‌آباد، شرکت شهرسازی شهرداری بلوار خلیج فارس، و مهدی‌آباد بلوار ولی عصر) از نظر هشت پارامتر شیمیایی شامل فلوراید، منگنز، آلومینیوم، آهن، پتاسیم، نیترات، سولفات و نیتريت انجام شده است. همچنین این مطالعه به مقایسه نتایج با استانداردهای ملی و بین‌المللی، بررسی تأثیرات هر یک از این مواد بر سلامت جمعیت هدف، و مقایسه با سایر نقاط ایران و جهان پرداخته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان رفسنجان با جمعیتی بالغ بر ۳۰۰ هزار نفر، در شمال غربی استان کرمان و در مختصات جغرافیایی حدود ۳۰ درجه و ۲۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۰۱ دقیقه طول شرقی واقع شده است. این منطقه به دلیل وجود معادن مس



و فعالیتهای کشاورزی گسترده (بهویژه پسته کاری) از اهمیت اقتصادی بالایی برخوردار است. منابع تأمین آب شرب این شهرستان عمدتاً از چاههای آب زیرزمینی تأمین می شود.
نمونه برداری در چهار نقطه متفاوت شهرستان انجام شده است
نقطه ۱: بخش اعصاب زنان (منطقه شهری)
نقطه ۲: روستای عرب آباد (حومه شرقی)
نقطه ۳: شرکت شهرسازی شهرداری، بلوار خلیج فارس (حومه غربی)
نقطه ۴: مهدی آباد، بلوار ولی عصر

پارامترهای اندازه گیری شده

پارامترهای شیمیایی اندازه گیری شده در این مطالعه شامل هشت پارامتر زیر بودند

- فلوراید (F^{-})
- منگنز (Mn)
- آلومینیوم (Al)
- آهن (Fe)
- پتاسیم (K)
- نیتрат (NO_3^{-})
- سولفات (SO_4^{2-})
- نیتريت (NO_2^{-})

داده های غلظتی ثبت شده برای هر یک از این پارامترها در چهار نقطه نمونه برداری، در محدوده های غلظتی متفاوتی قرار دارند که در بخش نتایج به تفصیل ارائه شده است.

استانداردهای مرجع

برای مقایسه داده ها، از استانداردهای زیر استفاده شده است

(الف) استاندارد ملی ایران (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد ۱۰۵۳
حد مطلوب و حداکثر مجاز برای هر پارامتر

(برای کیفیت آب آشامیدنی (ویرایش چهارم (WHO) ب) رهنمودهای سازمان بهداشت جهانی

- فلوراید: ۱٫۵ میلی گرم بر لیتر
- نیترات: ۵۰ میلی گرم بر لیتر
- نیتريت: ۳ میلی گرم بر لیتر
- سولفات: ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر
- آهن: ۲ میلی گرم بر لیتر



منگنز: ۰.۰۴ میلی گرم بر لیتر
آلومینیوم: ۰.۰۲ میلی گرم بر لیتر
پتاسیم: در غلظت‌های موجود در آب آشامیدنی نگران‌کننده نیست

نتایج

تحلیل داده‌های نمونه‌برداری

داده‌های حاصل از نمونه‌برداری چهار نقطه، غلظت‌های متفاوتی را برای پارامترهای مورد بررسی نشان می‌دهد. در ادامه به تحلیل هر یک از پارامترها پرداخته شده است.

نیتрат (NO_3^-)

داده‌های مربوط به نیترات در محدوده‌های غلظتی ۱ تا ۱۰ میلی گرم بر لیتر ثبت شده است. این محدوده در دو گروه غلظتی مشاهده می‌شود:

گروه اول: ۱.۵، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر
گروه دوم: ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر

(WHO ۵۰) حداکثر غلظت نیترات در نمونه‌های مورد بررسی ۱۰ میلی گرم بر لیتر بوده که به مراتب پایین‌تر از حد مجاز (میلی گرم بر لیتر) و استاندارد ملی ایران (۵۰ میلی گرم بر لیتر) است.

فلوراید (F^-)

داده‌های فلوراید در محدوده ۰.۰۰۱ تا ۱۰ میلی گرم بر لیتر ثبت شده است. غلظت‌های ثبت‌شده شامل ۱.۵، ۲.۵، ۵، ۱۰، ۱.۵، ۱، ۰.۵، ۰.۱، ۰.۰۱ و ۰.۰۰۱ میلی گرم بر لیتر می‌باشند. همچنین داده‌های دیگری با غلظت‌های ۱.۵ تا ۱۰ میلی گرم بر لیتر نیز مشاهده می‌شود.

برای فلوراید ۱.۵ میلی گرم بر لیتر است. بر این اساس WHO حد مجاز غلظت‌های بالاتر از ۱.۵ میلی گرم بر لیتر (۲.۵، ۵ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر) در صورت تأیید، بالاتر از حد مجاز هستند غلظت ۱.۵ میلی گرم بر لیتر در حد مجاز قرار دارد - غلظت‌های پایین‌تر از ۱.۵ میلی گرم بر لیتر (۱، ۰.۵، ۰.۱، ۰.۰۱ و ۰.۰۰۱ میلی گرم بر لیتر) در محدوده مجاز هستند

استاندارد ملی ایران، محدوده ۰.۵ تا ۱.۵ میلی گرم بر لیتر را برای فلوراید توصیه کرده است.

سولفات (SO_4^{2-})



داده‌های سولفات به صورت نسبت‌هایی مانند ۰٫۰۸/۱، ۰٫۰۶/۱، ۰٫۰۸/۱، ۰٫۰۴/۱، ۰٫۰۱/۱ و غیره ثبت شده است. با توجه به مطالعات پیشین در دشت رفسنجان، غلظت سولفات در منابع آب زیرزمینی این منطقه بین ۴۰۴ تا ۶۳۴ میلی گرم بر لیتر گزارش شده است

برای سولفات ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر است. استاندارد ملی ایران حد مطلوب را ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر و WHO حد مجاز حداکثر مجاز را ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر تعیین کرده است. بر این اساس، غلظت سولفات در برخی منابع آب رفسنجان از حد مطلوب استاندارد ایران فراتر رفته اما همچنان زیر حداکثر مجاز قرار دارد

سایر پارامترها (آهن، منگنز، آلومینیوم، پتاسیم و نیتريت)

داده‌های مربوط به این پارامترها به صورت غلظت‌های کسری (۹/۱، ۵/۱، ۱۰/۱، ۱۱/۱، ۱۲/۱، ۱۳/۱، ۱۴/۱ و ۱۵/۱ میلی گرم بر لیتر) و همچنین غلظت صفر ثبت شده است. مقدار ۱۵ میلی گرم بر لیتر نیز در ابتدای این داده‌ها ذکر شده که ممکن است نشان‌دهنده غلظت مرجع یا حد بالای اندازه‌گیری باشد

برای این پارامترها عبارتند از WHO حدود مجاز

آهن: ۲ میلی گرم بر لیتر

منگنز: ۰٫۰۴ میلی گرم بر لیتر

آلومینیوم: ۰٫۰۲ میلی گرم بر لیتر

نیتريت: ۳ میلی گرم بر لیتر

پتاسیم: در غلظت‌های موجود در آب آشامیدنی نگران‌کننده نیست

غلظت‌های ثبت‌شده برای این پارامترها (کمتر از ۱ میلی گرم بر لیتر) در محدوده مجاز استانداردها قرار دارند

مقایسه با استانداردهای ملی و بین‌المللی

جدول ۱: مقایسه غلظت‌های اندازه‌گیری‌شده با استانداردهای مرجع



پارامتر	محدوده اندازه‌گیری (mg/L)	استاندارد WHO (mg/L)	استاندارد ایران (mg/L)	وضعیت
نیتрат (NO_3^-)	۱ - ۱۰	۵۰ 10	۵۰ 1	مجاز ✓
فلوراید (F^-)	۰.۰۰۱ - ۱۰	۱.۵ 10	۰.۵ - ۱.۵ 8	برخی نقاط نیازمند بررسی ⚠
سولفات (SO_4^{2-})	۴۰۴ - ۶۴۴*	۵۰۰ 7	۴۰۰ (حداکثر) - (مطلوب) ۲۰۰ 1	برخی نقاط نزدیک به حد مجاز ⚠
آهن (Fe)	< ۱	۲ 7	۰.۳ (مطلوب) - (حداکثر) ۱.۰	مجاز ✓
منگنز (Mn)	< ۱	۰.۴ 7	۰.۵ (حداکثر) - (مطلوب) ۰.۱	مجاز ✓
آلومینیوم (Al)	< ۱	۰.۲ 7	۰.۲	مجاز ✓
نیتريت (NO_2^-)	< ۱	۳ 7	۳	مجاز ✓
پتاسیم (K)	< ۱	7 نگران‌کننده نیست	-	مجاز ✓

بر اساس مطالعات پیشین در دشت رفسنجان

مقایسه با سایر نقاط ایران

بررسی کیفیت آب آشامیدنی در نقاط مختلف ایران نشان می‌دهد که وضعیت پارامترهای شیمیایی در رفسنجان در مقایسه با بسیاری از مناطق کشور در محدوده قابل‌قبولی قرار دارد.

مطالعه زاهدان (۲۰۲۵): غلظت فلوراید در مناطق شهری و روستایی زاهدان بین ۰.۶۳ تا ۲.۰۰ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شد (۱.۵ میلی‌گرم بر لیتر) فراتر رفته‌اند. غلظت نیترات در زاهدان WHO شده که ۳۰.۵۵٪ از نمونه‌ها از حد استاندارد به‌طور متوسط ۳۵.۳ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شده است.

مطالعه زنجان: نیترات در ۱۱٪ از نمونه‌های آب آشامیدنی زنجان بالاتر از حد استاندارد گزارش شده است

مطالعه تهران-کرج: نمونه‌های دارای ریسک غیرسرطان‌زایی نیترات عمدتاً در بخش‌های شرقی منطقه مورد مطالعه قرار داشتند و سلامت کودکان را تهدید می‌کردند.

کمتر بوده WHO مطالعه کرمان: مقدار نیترات تمامی آب‌های مورد بررسی در استان کرمان از بیشینه غلظت قابل‌قبول است. میانگین فلوراید آب آشامیدنی شهر کرمان ۰.۱۷، زرد ۰.۴۷، رفسنجان ۰.۳۹، جیرفت ۰.۳۴، بم ۰.۴۳، سیرجان ۰.۳۹، کهنوج ۰.۴۴ و بافت ۰.۴۱ پی‌پی‌ام گزارش شده است.

مطالعه خوی: میانگین غلظت نیترات در چاه‌های آب شرب شهرستان خوی 9.4 ± 18.9 میلی‌گرم بر لیتر گزارش شده است

نشان داد که WQI مطالعه رفسنجان (اسلامی و همکاران، ۱۳۹۷): ارزیابی کیفیت آب آشامیدنی رفسنجان بر اساس مدل کیفیت آب ۱۴۰۲۸٪ از منابع در محدوده عالی و بسیار خوب و ۸۵،۷۲٪ در محدوده خوب قرار داشته است. میانگین قرار داشته است WHO غلظت تمامی پارامترهای مورد بررسی در محدوده استاندارد.

مطالعه رفسنجان (حسینی نیا و همکاران، ۲۰۲۳): در مطالعه‌ای بر روی ۵۵ نمونه آب زیرزمینی دشت رفسنجان، مشخص فراتر رفته‌اند و بالای ۸۷٪ نمونه‌ها برای ISIRI 1053 و WHO شد که بیشتر نمونه‌ها از حد مجاز استانداردهای آشامیدن نامناسب بوده‌اند. غلظت یون‌های اصلی در آب زیرزمینی به شدت تحت تأثیر جریان آب، شرایط زمین‌شناسی و وجود لایه‌های تبخیری بوده است.

مطالعه رفسنجان (۲۰۲۲): بررسی غلظت فلزات بالقوه سمی در ۲۳ چاه و شبکه توزیع آب آشامیدنی رفسنجان نشان داد که غلظت آرسنیک و سرب به ترتیب در بیش از ۹۹٪ و ۲۳،۴۶٪ منطقه مورد مطالعه بالاتر از حداکثر غلظت مجاز (۱۰) قرار داشته WHO میکروگرم بر لیتر) بوده است. میانگین غلظت سایر فلزات از جمله آهن و منگنز در محدوده استاندارد است

مقایسه با سایر نقاط جهان

کیفیت آب آشامیدنی در سطح جهان نیز با چالش‌های مشابهی مواجه است

پنجاب، پاکستان: مطالعه‌ای بر روی کیفیت آب مدارس ابتدایی نشان داد که ۱۲،۰۴٪ نمونه‌ها از نظر فلوراید، ۱۶،۴۲٪ از فراتر رفته‌اند نظر نیترات، ۷،۳۰٪ از نظر کروم و ۱۰،۹۵٪ از نظر آرسنیک از حد مجاز

هند جنوبی: غلظت فلوراید در آب‌های زیرزمینی بین ۰،۶ تا ۳،۶ میلی گرم بر لیتر گزارش شده که حدود ۲،۴ برابر حداکثر (۱،۵ میلی گرم بر لیتر) است. غلظت نیترات نیز بین ۱۷ تا ۱۲۰ میلی گرم بر لیتر متغیر بوده و ۵۴،۲۹٪ نمونه‌ها از مجاز حد مجاز ۵۰ میلی گرم بر لیتر فراتر رفته‌اند.

عربستان سعودی: غلظت نیترات در ۳۶ چاه مورد بررسی بین ۰،۷۰ تا ۴۷،۰۰ میلی گرم بر لیتر گزارش شده که هیچ کدام (۵۰ میلی گرم بر لیتر) فراتر نرفته است. غلظت فلوراید بین ۰،۶۳ تا ۲،۰۰ میلی گرم بر لیتر بوده و WHO از حد مجاز ۳۰،۵۵٪ نمونه‌ها از حد استاندارد فراتر رفته‌اند.

(مواد شیمیایی دائمی) در آب آشامیدنی PFAS ایالات متحده آمریکا: مطالعات اخیر نشان داده است که ترکیبات بسیاری از مناطق یافت شده و با عوارض سلامتی از جمله اختلالات متابولیک، اختلالات تیروئید و برخی سرطان‌ها مرتبط است.

تأثیرات مواد شیمیایی آب بر سلامت جمعیت هدف

(F⁻) فلوراید



فلوراید یکی از عناصر طبیعی موجود در آب‌های زیرزمینی است که تأثیرات دوگانه‌ای بر سلامت دارد

تأثیرات مفید: فلوراید در غلظت‌های ۰.۵ تا ۱ میلی گرم بر لیتر از پوسیدگی دندان جلوگیری می‌کند. به همین دلیل، در برخی کشورها فلوراید به آب آشامیدنی اضافه می‌شود

تأثیرات مضر در غلظت‌های بالا

فلوئوروزیس دندان: در غلظت‌های بالاتر از ۱.۵ میلی گرم بر لیتر، فلوراید باعث ایجاد لکه‌های سفید تا قهوه‌ای روی مینای دندان می‌شود

فلوئوروزیس اسکلتی: در غلظت‌های ۳ تا ۶ میلی گرم بر لیتر، تغییرات نامطلوب در ساختار استخوان مشاهده می‌شود
 فلوئوروزیس فلج کننده: در غلظت‌های بالاتر از ۱۰ میلی گرم بر لیتر ایجاد می‌شود

بر اساس مطالعه پوراسلامی و همکاران (۲۰۰۸)، میانگین فلوراید آب آشامیدنی رفسنجان ۰.۳۹ پی پی ام (۰.۳۹ میلی گرم بر لیتر) گزارش شده است که در محدوده مجاز قرار دارد. با این حال، داده‌های نمونه‌برداری حاضر نشان‌دهنده وجود غلظت‌های بالاتر (تا ۱۰ میلی گرم بر لیتر) در برخی نقاط است که در صورت تأیید، نیازمند اقدام فوری برای کاهش غلظت فلوراید می‌باشند

نیتрат (NO_3^-)

نیترات یکی از رایج‌ترین آلاینده‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی است که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های کشاورزی (استفاده از کودهای نیتروژنه) و تخلیه فاضلاب‌ها می‌باشد

تأثیرات بر سلامت

متهموگلوبینمی (سندرم بچه آبی): در نوزادان، نیترات باعث کاهش توانایی خون در حمل اکسیژن می‌شود. این عارضه بیشتر با چاه‌های خصوصی مرتبط است.

تشکیل نیتروزامین‌ها: نیترات در بدن می‌تواند به نیتريت تبدیل شده و با آمین‌ها ترکیب شده و ترکیبات نیتروزامین با خاصیت سرطان‌زایی تشکیل دهد.

(۵۰ میلی گرم بر لیتر) در مطالعه حاضر، غلظت نیترات در تمامی نمونه‌ها (۱ تا ۱۰ میلی گرم بر لیتر) پایین‌تر از حد مجاز قرار دارد و ریسک سلامت ناشی از آن پایین ارزیابی می‌شود.

سولفات (SO_4^{2-})

سولفات به طور طبیعی در بسیاری از آب‌های زیرزمینی یافت می‌شود. غلظت‌های بالای سولفات (بیش از ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر) می‌تواند باعث ایجاد طعم ناخوشایند در آب و اثرات ملین (اسهال) در مصرف‌کنندگان شود



در دشت رفسنجان، غلظت سولفات بین ۴۰۴ تا ۶۳۴ میلی گرم بر لیتر گزارش شده است. این مقدار در برخی نقاط از حد WHO مطلوب استاندارد ایران (۲۰۰ میلی گرم بر لیتر) فراتر رفته اما همچنان زیر حداکثر مجاز (۴۰۰ میلی گرم بر لیتر) و (۵۰۰ میلی گرم بر لیتر) قرار دارد

(Mn) منگنز (Fe) آهن

آهن و منگنز از عناصر ضروری برای بدن هستند و در مقادیر کم برای سلامت مفید می باشند. با این حال، غلظت های بالا می توانند مشکلاتی ایجاد کنند

آهن

آهن در آب آشامیدنی به خودی خود تهدیدکننده سلامت نیست، اما می تواند خطر موجودات بیماری زا را افزایش دهد، زیرا بسیاری از این موجودات برای رشد به آهن نیاز دارند
غلظت های بالای آهن باعث تغییر رنگ، طعم و بوی نامطبوع آب می شود

منگنز

مصرف مقادیر زیاد منگنز می تواند باعث سردرد، بی تفاوتی، تحریک پذیری، بی خوابی و ضعف پاها شود
مواجهه طولانی مدت با مقادیر بالا ممکن است به اختلالات سیستم عصبی منجر شود

در مطالعه حاضر، غلظت آهن و منگنز در تمامی نمونه ها کمتر از ۱ میلی گرم بر لیتر و در محدوده مجاز استانداردها قرار دارد

(Al) آلومینیوم

برای آلومینیوم در آب آشامیدنی WHO ۰.۲ آلومینیوم در غلظت های بالا می تواند برای سلامت مضر باشد. حد مجاز میلی گرم بر لیتر است. غلظت های بالاتر از این مقدار ممکن است با بیماری های عصبی از جمله آلزایمر مرتبط باشد، اگرچه این ارتباط هنوز به طور قطعی اثبات نشده است. در نمونه های مورد بررسی، غلظت آلومینیوم کمتر از ۱ میلی گرم بر لیتر بوده که نیازمند بررسی دقیق تر برای تعیین میزان انطباق با استاندارد است

(NO₂⁻) نیتريت

برای نیتريت WHO ۳ نیتريت حد واسط در چرخه نیتروژن است و سمی تر از نیترات محسوب می شود. حد مجاز میلی گرم بر لیتر است. نیتريت می تواند با هموگلوبین ترکیب شده و باعث متهموگلوبینمی شود. همچنین نیتريت در معده با آمین های ثانویه ترکیب شده و نیتروزامین های سرطان زا را تشکیل می دهد. غلظت نیتريت در نمونه های مورد بررسی کمتر از ۱ میلی گرم بر لیتر و در محدوده مجاز قرار دارد

(K) پتاسیم



پتاسیم یک الکترولیت ضروری برای عملکرد صحیح سلول‌ها، عضلات و اعصاب است. غلظت پتاسیم در آب آشامیدنی آن را در غلظت‌های موجود در آب آشامیدنی نگران‌کننده برای سلامت نمی‌داند. غلظت WHO معمولاً پایین است و پتاسیم در نمونه‌های مورد بررسی کمتر از ۱ میلی گرم بر لیتر بوده است

ارزیابی ریسک سلامت جمعیت رفسنجان

بر اساس داده‌های موجود و مقایسه با استانداردهای مرجع، ارزیابی ریسک سلامت برای جمعیت چهار منطقه مورد مطالعه به شرح زیر است

پارامتر	وضعیت در رفسنجان	سطح ریسک
نیترات	(زیر حد مجاز) ۱-۱۰ mg/L	پایین
فلوراید	(برخی نقاط بالاتر از حد مجاز) ۰.۰۱-۱۰ mg/L	متوسط تا بالا (در نقاط با غلظت بالا)
سولفات	(نزدیک به حد مجاز) ۴۰۴-۶۳۴ mg/L	متوسط
آهن	(زیر حد مجاز) < ۱ mg/L	پایین
منگنز	(زیر حد مجاز) < ۱ mg/L	پایین
آلومینیوم	(نیازمند بررسی دقیق‌تر) < ۱ mg/L	متوسط
نیتريت	(زیر حد مجاز) < ۱ mg/L	پایین
پتاسیم	(در محدوده مجاز) < ۱ mg/L	پایین

مطالعه حسینی‌نیا و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد که بالای ۸۷٪ از نمونه‌های آب زیرزمینی دشت رفسنجان برای مصارف شرب نامناسب بوده‌اند. همچنین مطالعه اسلامی و همکاران (۱۳۹۷) نشان داد که کیفیت آب ۱۴.۲۸٪ از منابع در محدوده عالی و بسیار خوب و ۸۵.۷۲٪ در محدوده خوب قرار داشته است. این اختلاف بین دو مطالعه نشان‌دهنده وجود تغییرات مکانی و زمانی در کیفیت آب منطقه و ضرورت پایش مستمر است

برای آرسنیک در گروه (HQ) مطالعه بر روی فلزات بالقوه سمی در رفسنجان (۲۰۲۲) نشان داد که میانگین ضریب خطر سنی کودکان ۹.۲۴۶ و در بزرگسالان ۲.۹۷۲ بوده که نشان‌دهنده ریسک غیرسرطان‌زایی بالای آرسنیک در منطقه است. برای آرسنیک در بزرگسالان 1.36×10^{-3} و در کودکان 1.52×10^{-2} (LTCR) همچنین ریسک سرطان مادام‌العمر برآورد شده است

بحث



تحلیل کیفی آب چهار نقطه رفسنجان

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که کیفیت آب آشامیدنی چهار نقطه مورد بررسی از نظر پارامترهای شیمیایی در وضعیت نسبتاً مطلوبی قرار دارد، اگرچه برخی نگرانی‌ها وجود دارد

عوامل مؤثر بر کیفیت آب در دشت رفسنجان

مطالعات پیشین نشان داده است که کیفیت آب در دشت رفسنجان تحت تأثیر عوامل متعددی قرار دارد

شرایط زمین‌شناسی: وجود لایه‌های تبخیری در منطقه باعث افزایش غلظت یون‌های اصلی از جمله سولفات و کلرید می‌شود

جریان آب زیرزمینی: غلظت یون‌ها در بخش جنوب‌شرقی دشت پایین‌تر و از بخش مرکزی به سمت شمال غربی افزایش می‌یابد

افزایش غلظت CO_3 فعالیت‌های کشاورزی: استفاده از کودهای نیتروژنه در کشاورزی (به‌ویژه پسته‌کاری) می‌تواند منجر نیترات در آب‌های زیرزمینی شود

برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی: کاهش سطح آب زیرزمینی باعث افزایش غلظت املاح در آب باقی‌مانده می‌شود

تخلیه فاضلاب‌ها: ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی به منابع آب زیرزمینی می‌تواند باعث آلودگی نیتراتی و میکروبی شود

مقایسه با استانداردهای جهانی

مقایسه نتایج این مطالعه با استانداردهای جهانی و ایران نشان می‌دهد

نیترات: غلظت نیترات در تمامی نمونه‌ها (۱۰-۱ میلی گرم بر لیتر) به‌طور قابل توجهی پایین‌تر از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی (۵۰ میلی گرم بر لیتر) است. این موضوع نشان‌دهنده عدم آلودگی جدی نیتراتی در منابع آب مورد بررسی است

فلوراید: در حالی که میانگین فلوراید آب رفسنجان ۰٫۳۹ میلی گرم بر لیتر گزارش شده است، داده‌های این مطالعه نشان‌دهنده وجود غلظت‌های بالاتر در برخی نقاط است. در صورت تأیید غلظت‌های ۰٫۵، ۲٫۵ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر، این مناطق نیازمند اقدام فوری برای کاهش فلوراید هستند

سولفات: غلظت سولفات در برخی منابع آب رفسنجان (۶۳۴-۴۰۴ میلی گرم بر لیتر) از حد مطلوب استاندارد ایران (۲۰۰ میلی گرم بر لیتر) قرار WHO (۵۰۰ میلی گرم بر لیتر) فراتر رفته اما همچنان زیر حداکثر مجاز (۴۰۰ میلی گرم بر لیتر) و دارد



سایر پارامترها: آهن، منگنز، آلومینیوم، پتاسیم و نیتريت در محدوده مجاز استانداردها قرار دارند

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتیجه‌گیری

بر اساس داده‌های نمونه‌برداری از چهار نقطه مختلف شهرستان رفسنجان (بخش اعصاب زنان، روستای عرب‌آباد، شرکت شهرسازی شهرداری بلوار خلیج‌فارس، و مهدی‌آباد بلوار ولی‌عصر) و مقایسه با استانداردهای ملی و بین‌المللی

نیتريت: غلظت نیتريت در تمامی نمونه‌ها در محدوده ۱ تا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و پایین‌تر از حد مجاز قرار دارد

فلوراید: در حالی که میانگین فلوراید آب رفسنجان ۰/۳۹ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شده است، داده‌های این مطالعه نشان‌دهنده وجود غلظت‌های بالاتر (تا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر) در برخی نقاط است که در صورت تأیید، نیازمند اقدام فوری می‌باشند

سولفات: غلظت سولفات در محدوده ۴۰۴ تا ۶۳۴ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بوده و در برخی نقاط از حد مطلوب استاندارد ایران فراتر رفته اما همچنان زیر حداکثر مجاز قرار دارد

سایر پارامترها: آهن، منگنز، آلومینیوم، پتاسیم و نیتريت در محدوده مجاز استانداردها قرار دارند

کیفیت کلی: با توجه به مطالعات پیشین، بالای ۸۷٪ از منابع آب زیرزمینی دشت رفسنجان برای مصارف شرب نامناسب گزارش شده است. این موضوع نشان‌دهنده ضرورت پایش مستمر و مدیریت دقیق منابع آب در منطقه است

پیشنهادهای

پایش مستمر کیفیت آب: ایجاد سیستم پایش منظم و جامع برای تمامی پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب آشامیدنی در تمام نقاط شهرستان، با تأکید بر پارامترهای فلوراید، نیتريت و سولفات

مدیریت منابع آب زیرزمینی: جلوگیری از برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی و اجرای اصول صحیح مدیریت منابع آب در دشت رفسنجان

تصفیه آب در مناطق دارای آلودگی: نصب دستگاه‌های تصفیه آب مناسب (به‌ویژه سیستم‌های اسمز معکوس) در مناطقی که غلظت فلوراید یا سایر آلاینده‌ها بالاتر از حد مجاز است

کاهش منابع آلودگی: مدیریت صحیح مصرف کودهای نیتروژنه در کشاورزی، کنترل تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، و اجرای برنامه‌های حفاظت از منابع آب



آموزش و آگاهی‌رسانی: افزایش آگاهی عمومی درباره اهمیت کیفیت آب آشامیدنی، روش‌های پیشگیری از آلودگی، و راه‌های تصفیه آب در منزل

تحقیقات تکمیلی: انجام مطالعات جامع‌تر با نمونه‌برداری در فصول مختلف سال و نقاط بیشتر برای شناسایی دقیق‌تر منابع آلودگی و الگوهای تغییرات کیفیت آب

هماهنگی با استانداردهای بین‌المللی: بازنگری و به‌روزرسانی استانداردهای ملی آب شرب ایران بر اساس آخرین یافته‌های EPA و WHO علمی و رهنمودهای

ارزیابی ریسک سلامت: انجام مطالعات جامع ارزیابی ریسک سلامت برای جمعیت‌های مختلف (به‌ویژه کودکان و زنان باردار) با استفاده از روش‌های پیشرفته مانند شبیه‌سازی مونت‌کارلو

قدردانی

این مطالعه بر اساس داده‌های نمونه‌برداری از چهار نقطه مختلف شهرستان رفسنجان انجام شده است. از تمامی همکاران و مؤسساتی که در جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

1. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first, second and third addenda. WHO, 2024.
2. World Health Organization. Water Quality Maps - WHO drinking water limits. Newcastle University.
3. WHO guideline values for drinking-water quality: chemical contaminants II. NCBI Bookshelf, 2018.
4. Hosseini M, Hassanzadeh R. Groundwater quality assessment for domestic and agricultural purposes using GIS, hydrochemical facies and water quality indices: case study of Rafsanjan plain, Kerman province, Iran. Applied Water Science, 2023; 13: 84.
5. Hosseini M, Hassanzadeh R. Groundwater quality assessment for domestic and agricultural purposes using GIS, hydrochemical facies and water quality indices: case study of Rafsanjan plain, Kerman province, Iran. DOAJ, 2023.
6. Potentially toxic metal concentration, spatial distribution, and health risk assessment in drinking groundwater resources of southeast Iran. Geoscience Frontiers, 2022.



7. Eslami H, Tajik R, Esmaeili M, Esmaeili A, Mobini M. Assessment of the Quality of Rafsanjan Drinking Water Resources using Water Quality Index (WQI) Model in 2018: A Descriptive Study. J Rafsanjan Univ Med Sci, 2020; 18(10): 985-996.
8. Pouraslami HR, et al. میزان یون فلوراید در آب‌های آشامیدنی استان کرمان. SID, 2008.
9. Human health risk assessment for fluoride and nitrate contamination in drinking water of municipal and rural areas of Zahedan, Iran. Applied Water Science, 2025.
10. All physicochemical parameters of water samples in different resources. IWA Publishing.
11. Studying Iranian Drinking Water Quality Guidelines Compared to the Authentic World Standards. AGRI, 2026.
12. Health Effects of Metals and Related Substances in Drinking Water. IWA Publishing, 2013.
13. بررسی میزان فلوراید آب آشامیدنی مناطق روستایی شهرستان رفسنجان. Civilica, 2023.