

# The effect of mineral hot water springs on the quality of the river based on toxicity indicators (case study: the effect of Ghaynarjeh Nir hot spring on the Balkhlichai river)

## ABSTRACT

**Background and purpose:** The Balkhli River, which serves as the primary source of drinking water for Ardabil City, flows into the Yamchi Dam. This research aims to investigate the impact of the Ghaynarjeh Spring on the Balkhli River, focusing on surface water quality indices.

**Materials and Methods:** Over one year, monthly monitoring and analysis were conducted at Ghaynarjeh spa spring (station 1) and the river before and after accepting spring water (stations 2 and 3). Despite the spring's low discharge compared to the river, the concentration of certain cations and anions increased significantly. The article employs the IRWQISC (Iran Water Quality Index for Surface Water) and NSFWQI (an international index) to determine the water quality for all three stations.

**Results:** The findings indicated a degradation in the river's water quality after introducing spring water. In other words, the IRWQISC index decreased the river's water quality from relatively good to average. This research also considered the IRWQIST index, which accounts for approximately 2,000 ppb of arsenic, 7,000 ppb of iron, and 2,500 ppb of manganese in Ghaynarjeh Spring of Nir City. Consequently, after the spring water was introduced into the river, the river's toxicity index deteriorated by two levels, shifting from relatively good to relatively bad conditions.

**Conclusion:** The significant impact of Ghaynarjeh Spring on the quality of the Balkhli Chai River, particularly as indicated by the IRWQISC and IRWQIST indicators, underscores the necessity of purifying the spring water before it enters the Balkhli Chai River, which plays a crucial role in supplying drinking water to Ardabil City.

Document Type: Research article

**Keywords:** Balkhli River, Ghaynarjeh Nir Spring, Water Quality Index, Heavy Metals

► **Citation:** Shaysteh K, khojasteh M, Shayesteh N, Khani MJ, Zahmati F, Vahidfarid V. The effect of mineral hot water springs on the quality of the river based on toxicity indicators (case study: the effect of Ghaynarjeh Nir hot spring on the Balkhlichai river). *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Summer 2023; 9(2): 146-159.

### Keivan Shayesteh

\* Associate Professor, Chemical Engineering Branch, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. k.shayesteh@uma.ac.ir

### Mehran Khojasteh

Master of Environment, Regional Water Company of Ardabil, Ardabil, Iran.

### Niayesh Shayesteh

Medical Student, Faculty of Medical, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

### Mohammadjavad Khani

Master Student, Chemical Engineering Branch, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

### Farzad Zahmati

Master, Chemical Engineering Branch, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

### Vahid Vahidfarid

Master, Chemical Engineering Branch, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Received: 2023/01/05

Accepted: 2023/03/15

**Document Type:** Research article

## اثرگذاری چشمه‌های آب گرم معدنی بر کیفیت رودخانه با تکیه بر شاخص‌های سمیت (مطالعه موردی: اثرگذاری آبگرم قینرجه نیر بر رودخانه بالخلی‌چای)

### کیوان شایسته

\* دانشیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران  
k.shayesteh@uma.ac.ir

### مهران خجسته

کارشناس ارشد محیط‌زیست، گروه محیط زیست، شرکت آب منطقه ای استان اردبیل، اردبیل، ایران

### نیایش شایسته

دانشجوی پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

### محمدجواد خانی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

### فرزاد زحمتی

کارشناسی ارشد، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

### وحید وحیدفرد

کارشناسی ارشد، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۸

نوع مقاله: پژوهشی

## چکیده

**زمینه و هدف:** رودخانه بالخلی‌چای که به سد یامچی می‌ریزد، تأمین‌کننده آب شرب اردبیل می‌باشد. مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرگذاری چشمه قینرجه بر روی رودخانه بالخلی‌چای بر اساس شاخص‌های کیفیت آب‌های سطحی انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** ابتدا اقدام به پایش ماهانه و آنالیز چشمه آبگرم قینرجه (ایستگاه ۱)، رودخانه قبل پذیرش و بعد از پذیرش آب چشمه (ایستگاه‌های ۲ و ۳) به مدت ۱ سال شد. در این مطالعه با تعیین IRWQISC به‌عنوان شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران و NSFQI به‌عنوان شاخصی بین‌المللی، کیفیت آب برای سه ایستگاه تعیین شد.

**یافته‌ها:** علی‌رغم دبی پایین چشمه نسبت به رودخانه، غلظت برخی کاتیون‌ها و آنیون‌ها در رودخانه به‌شدت افزایش یافت. به‌طوری‌که آب رودخانه بعد از ورود آب چشمه از لحاظ کیفیت، تنزل رده پیدا کرد؛ به‌عبارتی دیگر، شاخص IRWQISC کیفیت آب رودخانه از رده نسبتاً خوب به متوسط تنزل یافت. به‌دلیل وجود حدود ۲۰۰۰ ppb آرسنیک، حدود ۷۰۰۰ ppb آهن و حدود ۲۵۰۰ ppb منگنز در چشمه قینرجه، به‌نظر می‌رسد که شاخص‌های متداول جهت مطالعه کیفیت واقعی رودخانه بالخلی‌چای کافی نباشد؛ لذا شاخص IRWQIST نیز در این تحقیق مورد توجه قرار گرفت. در اثر ورود چشمه به رودخانه، شاخص سمیت رودخانه از وضعیت نسبتاً خوب به نسبتاً بد، دو رده تنزل یافت.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به تأثیرگذاری بالای چشمه قینرجه بر روی کیفیت رودخانه بالخلی‌چای از منظر شاخص‌های IRWQISC و خصوصاً IRWQIST و با توجه به اهمیت رودخانه بالخلی‌چای در تأمین آب‌شرب اردبیل، ضرورت تصفیه آب چشمه قبل از ورود به رودخانه بالخلی‌چای کاملاً مشهود است.

**کلید واژه‌ها:** چشمه قینرجه نیر، رودخانه بالخلی‌چای، شاخص کیفیت آب، فلزات سنگین

◀ **استناد:** شایسته ک، خجسته م، شایسته ن، خانی م ج، زحمتی ف، وحیدفرد و اثرگذاری چشمه‌های آب گرم معدنی بر کیفیت رودخانه با تکیه بر شاخص‌های سمیت (مطالعه موردی: اثرگذاری آبگرم قینرجه نیر بر رودخانه بالخلی‌چای). *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. تابستان ۱۴۰۲؛ ۹(۲): ۱۴۶-۱۵۹.

## مقدمه

آب منشأ حیات و سرچشمه زندگی انسان‌ها است. به همین علت، حفظ منابع آبی و حفاظت آن از آلودگی، از درجه اهمیت زیادی در چرخه طبیعی زندگی ما برخوردار است. بعد از یخچال‌های طبیعی، آب‌های زیرزمینی بزرگ‌ترین منابع آب شیرین کره زمین هستند (۱) که از منابع ارزشمند تهیه آب برای شرب، کشاورزی و صنعت می‌باشند. آب آشامیدنی تقریباً ۵۰٪ جمعیت مردم جهان، از منابع زیرزمینی تأمین می‌شود (۲) و در برخی مناطق، منابع زیرزمینی، تنها منبع تأمین آب آشامیدنی مردم به حساب می‌آیند. یکی دیگر از این منابع تأمین آب شرب، چشمه‌ها می‌باشند. چشمه‌ها ممکن است به دلیل عبور و تماس با مواد معدنی متفاوت و به دلیل انحلال پذیری در آب، حاوی مواد معدنی خاصی شوند که وجود بیش از اندازه بسیاری از آن‌ها می‌تواند باعث ایجاد خواص درمانی ویژه‌ای گردد. همچنین ممکن است این دسته از آب‌ها برای شرب مناسب نباشند. با توجه به برخی مزایای مفید آب‌های معدنی، این مسأله ممکن است سبب چشم‌پوشی از ترکیبات احتمالی مضر آن‌ها شود (۳، ۴). آب آشامیدنی می‌تواند حاوی عناصر کمیاب بیوژنیک و ترکیباتی که سودمندی آن برای بدن انسان ضروری است نظیر کبالت، کروم، مس، آهن، منگنز، مولیبدن، سلنیم و روی باشد (۵). از عناصر بالقوه سمی موجود در آب‌های معدنی می‌توان به نقره، آلومینیم، آرسنیک، کادمیم، سرب و نیکل اشاره نمود. لازم به ذکر است که عناصر کمیاب ضروری بدن، مانند کبالت، کروم، آهن، منگنز و سلنیم می‌تواند در غلظت‌های بالاتر از حد مجاز، سمی باشند (۳)؛ لذا باید قبل از شرب، فلزات سنگین، آنیون‌ها و کاتیون‌های منابع آبی، خصوصاً چشمه‌ها مورد مطالعه قرار گیرند. در صورتی که دمای چشمه بالا باشد (چشمه آب گرم)، دوز آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول در چشمه افزایش می‌یابد که لزوم اندازه‌گیری‌ها، ضرورت بیشتری پیدا خواهد کرد. ایراد اصلی فلزات سنگین این است که در بدن متابولیزه نمی‌شوند. در واقع فلزات سنگین پس از ورود به بدن، دیگر از بدن دفع نشده و در بافت‌های بدن انباشته می‌گردند (۶، ۷). همین امر

موجب بروز بیماری‌ها و عوارض متعددی در بدن می‌شود. فلزات سنگین همچنین جایگزین دیگر املاح و مواد معدنی مورد نیاز در بدن می‌گردند (۸). از جمله مهم‌ترین مضرات فلزات سنگین و آرسنیک، اختلالات عصبی (پارکینسون، آلزایمر، افسردگی، اسکیزوفرنی)، فقر مواد مغذی، برهم خوردن تعادل هورمون‌ها، چاقی، سقط جنین، اختلالات تنفسی و قلبی-عروقی، آسیب به کبد، کلیه‌ها و مغز، آلرژی و آسم، اختلالات غدد درون‌ریز، عفونت‌های ویروسی مزمن، کاهش آستانه تحمل بدن، اختلال در عملکرد آنزیم‌ها، تغییر در سوخت‌وساز، نابرابری، کم‌خونی، خستگی، تهوع و استفراغ، سردرد و سرگیجه، تحریک‌پذیری، تضعیف سیستم ایمنی بدن، تخریب ژن‌ها، پیری زودرس، اختلالات پوستی، کاهش حافظه، بی‌اشتهایی، التهاب مفاصل، ریزش مو، پوکی استخوان، بی‌خوابی، انواع سرطان‌ها و مرگ می‌باشد. فلزات سنگینی مانند منگنز، آهن، کبالت، مس، روی، کروم، وانادیوم، سلنیم و مولیبدن برای رشد و نمو بهینه و زاد و ولد ضروری هستند و به‌عنوان کاتالیست، در فعالیت‌های آنزیمی بدن انسان شرکت می‌کنند؛ اما وقتی غلظت آن‌ها زیاد باشد، برای بدن مضرند (۹، ۱۰).

در اکثر مطالعات کیفی منابع آبی معمولاً سعی بر آن است تا با ارائه روشی سریع و کم‌هزینه، بخش اعظمی از مطالعات به‌خوبی انجام شود. استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI)<sup>۱</sup>، روشی ساده و ابزاری محبوب جهت مطالعه کیفیت آب‌های سطحی می‌باشد. این روش کمک می‌کند تا با کاهش تعداد داده‌های آزمایشگاهی، کیفیت جامع و کلی آب مشخص شود. محققین زیادی در کارهای تحقیقاتی خود با استفاده از مدل‌های مختلف WQI جهت ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، سدها و مخازن اقدام کردند (۷). در ادامه نمونه‌هایی از مطالعات انجام شده در مورد کاربرد این شاخص‌ها در طبقه‌بندی کیفیت آب‌های سطحی ارائه می‌شود.

شارما و همکاران با استفاده از شاخص کیفیت آب بنیاد ملی

1. Water Quality Index

کارخانه‌های صنعتی اطراف رودخانه بر کیفیت آب رودخانه تأثیر منفی نداشتند (۱۷). صمدی کیفیت آب تالاب چغاخور چهارمحال بختیاری را با استفاده از شاخص IRWQISC مورد مطالعه قرار داد. نتایج نشان داد که با وجود شرایط کیفی به نسبت خوب آب تالاب، متأسفانه به دلیل ورود فاضلاب‌های مناطق مسکونی بخش جنوب شرقی تالاب و همچنین بارندگی‌ها در فصول پرباران، کیفیت آب تالاب در این مناطق در رده متوسط قرار دارد (۱۸). فیروزی و همکاران با استفاده از شاخص IRWQISC، کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت ارومیه را از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها دریافتند که روند شاخص کیفیت آب رو به وخامت گذاشته است و از کیفیت خوب و نسبتاً خوب به کیفیت‌های نسبتاً بد تنزل پیدا کرده است. همچنین آن‌ها دلیل این تنزل را به برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی نسبت دادند (۱۹). نتایج مطالعه آلفایو و همکاران که با استفاده از شاخص NSFQI کیفیت آب رودخانه تانزانیا را مورد مطالعه قرار دادند، نشان داد که کیفیت رودخانه در رده متوسط قرار دارد. آن‌ها علت اصلی کیفیت پایین رودخانه را بالا بودن اکسیژن خواهی بیولوژیکی ( $BOD^4$ ) و اکسیژن محلول ( $DO^5$ ) ناشی از تخلیه فاضلاب‌های تصفیه نشده اعلام کردند (۲۰). خلیفا و خوش‌نظر کیفیت آب رودخانه زرينه‌رود را به وسیله شاخص IRWQISC مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها به دلیل بالا بودن پارامتر هدایت الکتریکی ( $EC^6$ ) رودخانه، شاخص IRWQISC را جهت مطالعه کیفیت آب زرينه‌رود بهتر از دیگر شاخص‌ها مناسب تشخیص دادند (۲۱). بیاتی و همکاران کیفیت تالاب چغاخور را از نظر فلزات سنگین با استفاده از شاخص‌های پارامترهای سمی کیفیت آب سطحی ایران<sup>۷</sup>، IRWQIST، شاخص فلزی  $MI^8$ ، شاخص آلودگی فلزات سنگین  $HPI^9$ ، شاخص ارزیابی فلزات

بهداشت (NSFWQI)<sup>۱</sup>، به مطالعه کیفیت رودخانه یامونا هند پرداختند. آن‌ها دریافتند که به دلیل ورود فاضلاب‌های خانگی و صنعتی در امتداد رودخانه در دهلی‌نو، به کمک شاخص NSFQI، آب رودخانه بسیار آلوده است (۱۱). شکوهی و همکاران با مطالعه بر روی کیفیت آب سد آیدوغموش به کمک شاخص NSFQI دریافتند که آب سد برای شرب انسان مناسب نمی‌باشد (۱۲). آکوبونلو و همکاران به کمک شاخص NSFQI، کیفیت آب رودخانه‌های حوزه دریاچه ساپانسا را مطالعه کردند. آن‌ها کیفیت آب را بر اساس شاخص NSFQI، در رده خوب ارزیابی کردند (۱۳). مظاهری و همکاران با مطالعه بر روی کیفیت آب رودخانه زرین گلستان توسط شاخص‌های کیفیت آب NSFQI و شاخص پارامترهای متداول کیفیت آب سطحی ایران (IRWQISC)<sup>۲</sup>، دریافتند که پساب‌های پرورش ماهی در فصول بهار و تابستان، یکی از دلایل افت کیفیت آب رودخانه می‌باشد؛ لذا پیشنهاد دادند که جهت حفظ کیفیت آب رودخانه زرین گلستان، عملیات تصفیه پساب استخرهای پرورش ماهی الزامی شود (۱۴). شارداد و همکاران با استفاده از شاخص‌های NSFQI و شاخص کلی آلودگی (OIP)<sup>۳</sup> به ارزیابی کیفیت آب رودخانه سوان در هیمالچال پرداختند. نتایج ارزیابی شاخص‌ها نشان داد که کیفیت آب رودخانه در وضعیت متوسط تا خوب متغیر بود (۱۵). میرزایی و همکاران به ارزیابی کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود به کمک شاخص NSFQI پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که آب رودخانه در کلاس کیفی بد و پرخطر قرار دارد و این آلودگی از ایستگاه‌های بالادستی به سمت ایستگاه‌های پایین‌دستی به علت فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی رو به افزایش است (۱۶). افندی و همکاران به مطالعه کیفیت آب رودخانه هوانگ در استان بانتن به کمک شاخص NSFQI پرداختند. آن‌ها دریافتند که آب رودخانه در رده کیفی خوب قرار دارد. به نظر می‌رسد که جمعیت ساکن و

4. Biochemical oxygen demand

5. Dissolved Oxygen

6. Electrical Conductivity

7. IRan Water Quality Index for Surface Water Resources-Toxic Parameters

8. Metal Index

9. Heavy Metal Pollution Index

1. National Sanitation Foundation Water Quality Index

2. IRan Water Quality Index for Surface Water Resources-Conventional Parameters

3. Overall Index Of Pollution

سنگین<sup>۱</sup> HEI و شاخص درجه آلودگی Cd بررسی کردند و دریافتند که از نظر فلزات سنگین، کیفیت آب تالاب در وضعیت آلودگی کم قرار دارد (۲۲). قلیزاده و حیدری کیفیت آب رودخانه گرگان رود را با استفاده از شاخص NSFQI در منطقه شهری گنبد کاووس مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که کیفیت آب رودخانه به علت تخلیه فاضلاب شهری تصفیه نشده و دفع ناسالم زباله‌ها، در رده کیفی بد قرار دارد (۲۳). آقاجانلو و همکاران کیفیت آب رودخانه کارون را با استفاده از شاخص‌های آب‌های سطحی IRWQISC و شاخص کیفیت آب میانگین حسابی<sup>۲</sup> WAWQI مطالعه کردند. آن‌ها دریافتند که کیفیت آب رودخانه در فصول بهار و پاییز در پایین‌ترین کیفیت قرار دارد. لازم به ذکر است که رده کیفیت شاخص‌های IRWQISC و WAWQI به ترتیب در وضعیت نسبتاً بد و خیلی ضعیف قرار داشت (۲۴).

بررسی منابع نشان می‌دهد که به کمک شاخص‌های متداول نظیر NSFQI می‌توان در اقصی نقاط دنیا، کیفیت آب سدها، مخازن، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و به طور کلی کیفیت آب‌های سطحی را تعیین کرد.

هدف از این پژوهش پاسخ به این سؤال است که آیا شاخص‌های کیفیت آب‌های سطحی در همه موارد قادرند تا با دقت بالا رده کیفیت آب‌های سطحی را درست پیشگویی کنند؟ آیا آب‌های آلوده به فلزات سنگین، تری‌هالومتان‌ها، هالواستیک اسیدها، برومات و ... را می‌توان به کمک شاخص‌های متداول کیفیت آب، پیشگویی کرد؟ قطعاً اکثر این آلاینده‌ها، جایگاهی در شاخص‌های متداول جهت شناسایی کیفیت آب‌های سطحی ندارند؛ به عبارتی دیگر، چون این پارامترها معمولاً به صورت طبیعی در آب‌های سطحی یافت نمی‌شوند؛ لذا در صورت موجود بودن این آلاینده‌ها در آب‌ها، خطای فاحشی به شاخص‌های کیفیت تعیین شده، وارد است. البته به دلیل وجود فلزات سنگین در بسیاری از آب‌های سطحی و چشمه‌ها خصوصاً چشمه‌های زمین گرمایی مناطق آتشفشانی، شاخص‌هایی جهت تعیین سمیت آب‌های

سطحی ارائه شده است. یکی از این شاخص‌ها، شاخص سمیت آب‌های سطحی ایران (IRWQIST) می‌باشد. این شاخص، بر مبنای میزان غلظت تعدادی از فلزات سنگین و آرسنیک در آب‌های سطحی، کیفیت آب را تعیین می‌کند (۲۱).

موضوع اصلی این تحقیق، اهمیت بررسی شاخص‌های سمیت در کنار شاخص‌های متداول برای رده‌بندی دقیق‌تر کیفیت آب‌های سطحی می‌باشد. بنابراین ابتدا خواص فیزیکی و شیمیایی چشمه آب گرم قینرجه نیر، رودخانه بالخلی چای قبل و بعد از ورود آب چشمه به صورت ماهانه و به مدت ۱ سال پایش می‌شوند. سپس به کمک شاخص‌های متداول کیفیت آب‌های سطحی ایران (IRWQISC) و شاخص بین‌المللی (NSFWQI)، کیفیت آب ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. به نظر می‌رسد به دلیل بالا بودن مقادیر آرسنیک و برخی فلزات سنگین در چشمه، بررسی تنها دو شاخص متداول NSFQI و IRWQISC جهت مشخص شدن کیفیت چشمه و رودخانه کافی نباشد. در نتیجه با تعیین شاخص سمیت آب‌های سطحی ایران، IRWQIST، کیفیت آب ایستگاه‌ها با دقت بالاتری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

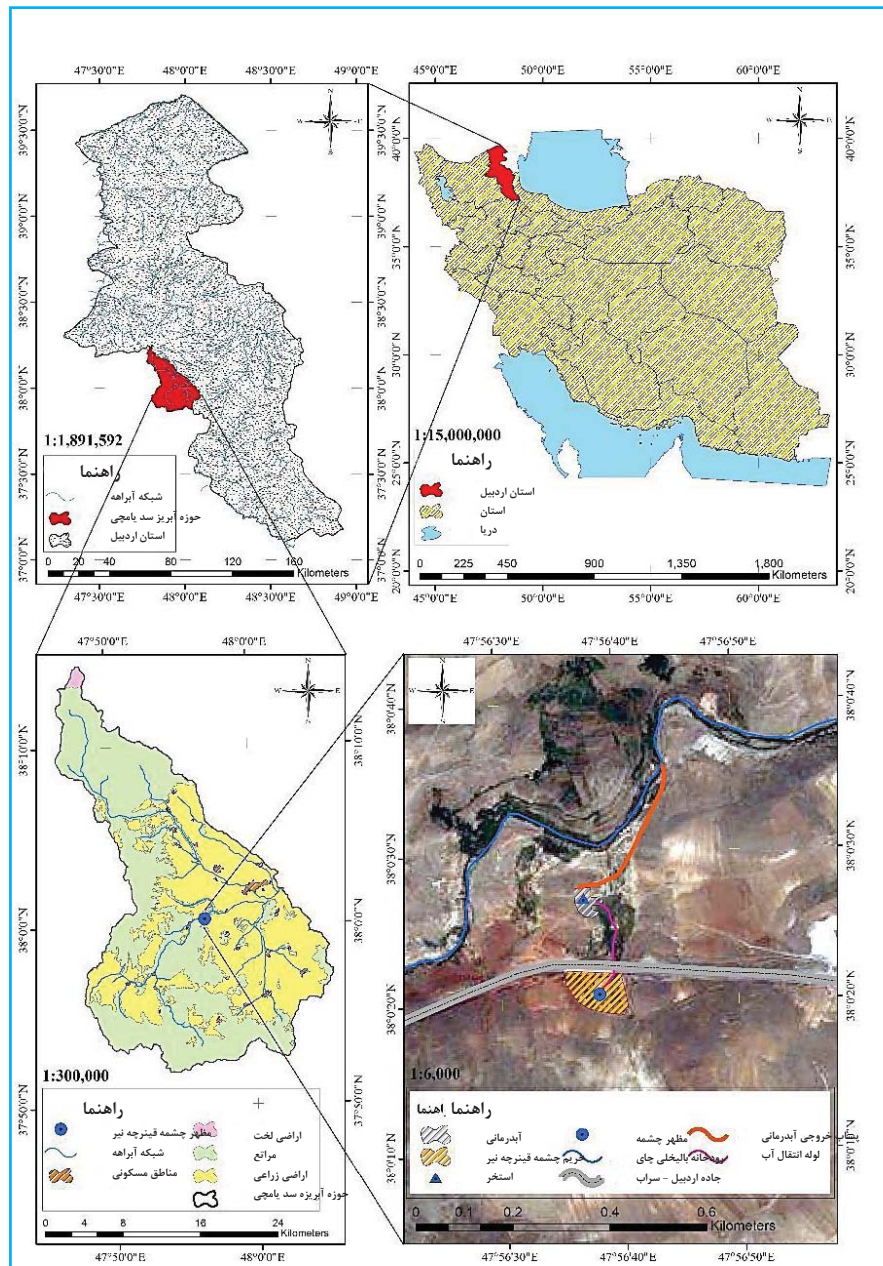
## روش کار

در حوزه یامچی، چشمه‌ای به نام قینرجه وجود دارد که آب چشمه بعد از طی حدود ۵۰۰ متر، وارد رودخانه بالخلی چای می‌شود. این چشمه در حدود ۴ کیلومتری شهرستان نیر در استان اردبیل واقع شده است. رودخانه بالخلی چای، یکی از منابع اصلی تأمین آب سد یامچی است و بخشی اعظم آب شرب اردبیل از سد یامچی تأمین می‌شود. در شکل ۱، موقعیت جغرافیایی چشمه قینرجه و رودخانه بالخلی چای نشان داده شده است.

سه ایستگاه نمونه‌برداری در شکل ۲ نشان داده شده است. در این مقاله، جهت مطالعه اثر چشمه بر روی کیفیت رودخانه، ایستگاه اول با طول جغرافیایی ۲۰-۰۰-۳۰ و عرض جغرافیایی ۳۷-۵۶-۴۷، چشمه در نظر گرفته شد. ایستگاه دوم با طول جغرافیایی ۲۹-۰۰-۳۰ و عرض جغرافیایی ۲۷-۵۶-۴۷، رودخانه،

1. Heavy Metal Evaluation Index

2. Weight Arithmetic Water Quality Index



شکل ۱. موقعیت چشمه قینرجه و رودخانه بالخلی‌چای

اسیدیته، کدورت<sup>۱</sup>، اکسیژن محلول (DO)<sup>۲</sup>، کل جامدات محلول (TDS)<sup>۳</sup> و هدایت الکتریکی (EC)<sup>۴</sup> توسط دستگاه پرتابل مولتی پارامتر Aquaread مدل P-۸۰۰ در محل اندازه‌گیری

قبل از ورود آب چشمه و ایستگاه سوم با طول جغرافیایی ۳۸-۰۰-۳۰ و عرض جغرافیایی ۴۷-۵۶-۴۸ رودخانه، بعد از پذیرش آب چشمه در نظر گرفته شد. در شکل ۲، موقعیت دقیق ایستگاه‌های نمونه‌برداری نشان داده شده است.

1. Turbidity
2. Dissolved oxygen
3. Total dissolved solids
4. Electrical conductivity

نمونه‌های مورد نیاز جهت بررسی شاخص‌های کیفیت آب، ماهانه از ایستگاه‌های سه‌گانه تهیه شد. سپس پارامترهای دما،

شاخص NSFQI یکی از شاخص‌های پرکاربرد با ۹ پارامتر کدورت، دما، فسفات، نیتрат، کلیفرم، BOD، جامد کل، اکسیژن محلول و pH می‌باشد. علاوه بر این، شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران IRWQISC و شاخص سمیت آب‌های سطحی ایران IRWQIST نیز در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفت. در شاخص IRWQISC، ۱۱ پارامتر مورد نیاز شامل pH، کلیفرم مدفوعی، سختی کل، نیترات، فسفات کل، اکسیژن محلول COD، BOD، هدایت الکتریکی، کدورت و غلظت آمونیم می‌باشند (۲۶). در شاخص IRWQIST نیز ۱۱ متغیر مورد نیاز شامل غلظت آرسنیک، جیوه، سرب، کادمیم، فنول، کروم، سیانید، آهن و منگنز، هیدروکربن‌های نفتی (TPH<sup>۳</sup>) و دترجنت می‌باشد (۲۷). لازم به ذکر است که در این تحقیق غلظت‌های مورد نیاز جهت استفاده در شاخص‌ها، میانگین غلظت مواد در طول پایش سالانه می‌باشد.

شد. همچنین بعد از تثبیت نمونه‌ها به کمک اسیدنیتریک، بقیه پارامترهای فیزیکوشیمیایی مورد نیاز جهت مطالعه شاخص‌ها در آزمایشگاه آب دانشگاه محقق اردبیلی اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری BOD<sup>۱</sup>، از اسپکتروفتومتر DR-۲۸۰۰، اندازه‌گیری COD<sup>۲</sup> از راکتور CR-۲۵ و جهت اندازه‌گیری فلزات سنگین از دستگاه جذب اتمی AAS-۲۴۰ ساخت شرکت واریان (استرالیا) استفاده شد. لازم به ذکر است که پایش ایستگاه‌های سه‌گانه، ماهانه و به مدت یک‌سال انجام شد.

شاخص کیفیت آب (WQI) در هر محل، منعکس‌کننده اثر عوامل مختلف مانند زمین‌شناسی، شرایط اقلیمی و منابع آلاینده انسانی می‌باشد و پایش کیفیت منابع آب اغلب موجب تولید داده‌های پیچیده‌ای می‌شود که حاوی اطلاعات غنی درباره رفتار منابع آب هستند و نیاز به روش‌های مناسبی برای تحلیل و تفسیر دارند (۲۵).



شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌ها، (۱) چشمه آبگرم قینرجه (۲) رودخانه بالخلی‌چای قبل از پذیرش چشمه (۳) رودخانه بالخلی‌چای بعد از پذیرش چشمه

### روش نمونه‌برداری و نگهداری نمونه‌ها

با استفاده از اسید نیتریک، مورد شستشو قرار گرفته و در نهایت توسط آب مقطر ۳ بار آب کشی شدند تا هرگونه آلودگی احتمالی از بین برود. همچنین، تثبیت نمونه‌ها به کمک اسیدنیتریک انجام شد.

برای نمونه‌برداری و انجام آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی از ظروف پلاستیکی ۱/۵ لیتری و ۲۵۰ سی‌سی استفاده شد. این ظروف قبل از نمونه‌برداری در آزمایشگاه، ابتدا با آب شهری ۳ بار شسته شده و سپس

3. Total Petroleum Hydrocarbon

1. Biochemical oxygen demand  
2. Chemical Oxygen Demand

## یافته‌ها

غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های ایستگاه‌های مختلف مورد نیاز جهت مطالعه شاخص‌ها، ارائه شده است. لازم به ذکر است که مقادیر ارائه شده در جدول ۱، میانگین پارامترها، غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها موردنظر در طول پایش سالانه می‌باشد.

در این پژوهش، جهت مطالعه کیفیت آب به کمک شاخص‌های متداول کیفیت آب‌های سطحی ایران (IRWQISC) و شاخص بین‌المللی NSFQI، نیاز به داشتن پارامترها و غلظت‌های آنیون‌ها و کاتیون‌های مشخصی بود. مطابق جدول ۱، پارامترها و

جدول ۱. مقادیر متوسط پارامترها و غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های متداول

پارامتر	دیمانسیون	ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۳
pH	-	۶	۷/۵	۷/۶
کدورت	NTU	۴	۴	۴
EC	$\mu\text{s/cm}$	۱۲۱۱۳	۱۴۴۷	۲۴۵۲
TDS	mg/l	۷۱۳۳	۹۴۰	۱۵۸۹
کربنات	Meq/l	۰	۰/۱	۰/۲
بی‌کربنات	Meq/l	۲۱/۸	۲/۶	۵/۱
کلرید	Meq/l	۱۸/۷	۱/۳	۵/۱
سولفات	Meq/l	۶۱	۰/۶	۳/۹
کلسیم	Meq/l	۴/۷	۲/۱	۳/۸
منیزیم	Meq/l	۲/۳	۱/۴	۳
سدیم	Meq/l	۹۲/۳	۰/۹	۶/۹
سختی کل	CaCO <sub>3</sub> , mg/l	۳۴۸	۲۱۰	۲۷۷
نترات	mg/l	۷	۴/۷	۵/۲
فسفات	mg/l	۴	۰/۵	۰/۹
DO	mg/l	-	۷/۷	۷/۶
BOD	mg/l	۹	۲	۴
COD	mg/l	۲۲	۵	۸

یکی از مهم‌ترین عوامل آلاینده‌های آب‌های سطحی، فلزات سنگین می‌باشند (۳۰، ۳۱)؛ اما سؤالی اساسی در مطالعه کیفیت آب‌های سطحی مطرح است و آن نقش فلزات سنگین و آرسنیک از نقطه‌نظر شاخص‌ها بر روی کیفیت آب‌های سطحی است. متأسفانه وجود و یا عدم وجود فلزات سنگین بر اساس شاخص‌های متداول کیفیت آب، تأثیری در رده کیفیت آب ندارد (۳۲). مطابق استاندارد آب شرب بر اساس سازمان جهانی بهداشت (WHO)، مصرف آبی حاوی بیش از ۳ ppb کادمیم یا بیش از ۱۰ ppb آرسنیک و یا بیش از ۲ ppb جیوه حتی اگر شاخص

شاخص کیفیت آب در محدوده صفر تا ۱۰۰ (در شاخص IRWQISC صفر تا ۱۵ خیلی بد، ۱۵-۳۰ بد، ۳۰-۴۵ نسبتاً بد، ۴۵-۵۵ متوسط، ۵۵-۷۰ نسبتاً خوب، ۷۰-۸۵ خوب و ۸۵-۱۰۰ بسیار خوب (۲۸) و در شاخص NSFQI به ترتیب صفر تا ۲۵ خیلی نامناسب، ۲۶-۵۰ نامناسب، ۵۱-۷۰ متوسط، ۷۱-۹۰ خوب و ۹۰-۱۰۰ عالی) قرار داشت (۲۹). سپس شاخص‌های IRWQISC و NSFQI محاسبه شدند. جدول ۲، شاخص IRWQISC سه ایستگاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همچنین شاخص NSFQI سه ایستگاه مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است.



جدول ۲. تعیین مقدار شاخص IRWQISC و طبقه کیفیت آب در ایستگاه‌های سه‌گانه

پارامتر	واحد	ایستگاه ۱			ایستگاه ۲			ایستگاه ۳		
		غلظت متوسط	وزن	شاخص	غلظت متوسط	وزن	شاخص	غلظت متوسط	وزن	شاخص
BOD <sub>5</sub>	mg/l	۹	۰/۱۱۷	۳۷	۲	۰/۱۱۷	۸۵	۴	۰/۱۱۷	۷۰
COD	mg/l	۲۲	۰/۰۹۳	۵۵	۵	۰/۰۹۳	۸۵	۸	۰/۰۹۳	۸۲
هدایت الکتریکی	μs/cm	۱۲۱۱۳	۰/۰۹۶	۸	۱۴۴۷	۰/۰۹۶	۴۰	۲۴۵۲	۰/۰۹۶	۲۰
نیترات	mg/l	۷	۰/۱۰۸	۱۱	۴/۴	۰/۱۰۸	۳۰	۵/۲	۰/۱۰۸	۱۴
فسفات	mg/l	۴	۰/۰۸۷	۵	۰/۵	۰/۰۸۷	۴۵	۰/۹	۰/۰۸۷	۲۳
سختی کل	CaCO <sub>3</sub> , mg/l	۳۴۸	۰/۰۵۹	۵۶	۲۱۰	۰/۰۵۹	۸۱	۲۷۷	۰/۰۵۹	۵۲
کدورت	NTU	۴	۰/۰۶۲	۱۰۰	۴	۰/۰۶۲	۱۰۰	۴	۰/۰۶۲	۱۰۰
DO	mg/l	-	-	-	۷/۷	۰/۰۹۷	۴۰	۷/۷	۰/۰۹۷	۴۰
pH	-	۶	۰/۰۵۱	۳۴	۷/۵	۰/۰۵۱	۶۲	۷/۶	۰/۰۵۱	۶۵
IRWQISC شاخص		۴۶			۶۱			۵۲		
طبقه کیفیت		متوسط			نسبتاً خوب			متوسط		

جدول ۳. تعیین مقدار شاخص NSFQI و طبقه کیفیت آب در ایستگاه‌های سه‌گانه

پارامتر	واحد	ایستگاه ۱			ایستگاه ۲			ایستگاه ۳		
		غلظت متوسط	وزن	شاخص	غلظت متوسط	وزن	شاخص	غلظت متوسط	وزن	شاخص
BOD <sub>5</sub>	mg/l	۹	۰/۱۱	۳۳	۲/۱	۰/۱۱	۷۲	۴	۰/۱۱	۵۷
نیترات	mg/l	۷	۰/۱	۵۳	۴/۴	۰/۱	۷۰	۷/۲	۰/۱	۵۳
فسفات	mg/l	۴	۰/۱	۱۶	۰/۵	۰/۱	۶۲	۰/۹	۰/۱	۴۱
pH	-	۶	۰/۱۱	۵۰	۷/۵	۰/۱۱	۹۲	۷/۶	۰/۱۱	۹۲
DO	mg/l	۷/۷	۰/۱۷	۴۰	۷/۷	۰/۱۷	۴۰	۷/۷	۰/۱۷	۴۰
NSFQI شاخص		۵۴			۷۰			۶۳		
طبقه کیفیت		متوسط			متوسط			متوسط		

کیفیت آب هم در رده عالی باشد، منع شده است (۳۳)؛ دلیل این حساسیت، عوارض اثبات شده و جبران‌ناپذیر ناشی از شرب این دسته از آب‌ها می‌باشد. استفاده درازمدت از آب‌های آلوده به فلزات سنگین و آرسنیک، منجر به انواع و اقسام سرطان‌ها می‌شود (۳۴، ۳۵). قدیری و همکاران در مطالعات کیفیت آب، پیشنهاد بررسی شاخص IRWQIST را علاوه بر شاخص IRWQISC دادند؛ به عبارت دیگر برای تهیه هر گزارش در زمینه کیفیت آب، لازم است تا علاوه بر شاخص IRWQISC، شاخص IRWQIST نیز تهیه شود. در این مطالعه علاوه بر شاخص IRWQISC، شاخص IRWQIST نیز برای ایستگاه‌های موردنظر مطالعه شد (۳۶). شاخص سمیت آب‌های سطحی نیز بر اساس غلظت آرسنیک، جیوه، آهن، منگنز، سرب، کادمیم و کروم قابل تعیین است (۳۷). جدول ۴، شاخص IRWQIST سه ایستگاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

است تا علاوه بر شاخص IRWQISC، شاخص IRWQIST نیز تهیه شود. در این مطالعه علاوه بر شاخص IRWQISC، شاخص IRWQIST نیز برای ایستگاه‌های موردنظر مطالعه شد (۳۶). شاخص سمیت آب‌های سطحی نیز بر اساس غلظت آرسنیک، جیوه، آهن، منگنز، سرب، کادمیم و کروم قابل تعیین است (۳۷). جدول ۴، شاخص IRWQIST سه ایستگاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۴. تعیین مقدار شاخص IRWQIST و طبقه کیفیت آب در ایستگاه‌های سه گانه

پارامتر	واحد	ایستگاه ۱		ایستگاه ۲		ایستگاه ۳	
		غلظت متوسط	وزن	شاخص	غلظت متوسط	وزن	شاخص
As	ppb	۱۸۶۹	۰/۱۲۸	۱	۷	۰/۱۲۸	۸۲
Pb	ppb	ND	۰/۰۹۲	۱۰۰	ND	۰/۰۹۲	۱۰۰
Cd	ppb	۵۲	۰/۰۹۲	۱	۲۱	۰/۰۹۲	۲۴
Cr	ppb	ND	۰/۰۸۴	۱۰۰	۵۲	۰/۰۸۴	۴۶
Fe	ppb	۶۷۹۲	۰/۰۶۳	۱/۵	۱۴۰	۰/۰۶۳	۳۰۰
Mn	ppb	۲۶۴۹	۰/۰۵۶	۹	۱۲۴	۰/۰۵۶	۱۶۲
Hg	ppb	ND	۰/۱۱۷	۱۰۰	ND	۰/۱۱۷	ND
شاخص IRWQIST		۱۰/۷		۵۵/۶		۳۵/۳	
طبقه کیفیت		خیلی بد		نسبتاً خوب		نسبتاً بد	

## بحث

از ویژگی‌های مهم چشمه قینرجه نیر، دمای بالای چشمه می‌باشد. میانگین دمای چشمه حدود ۶۲ درجه سانتی‌گراد است. همچنین EC بالای چشمه که در حدود ۱۲۰۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر می‌باشد نیز از ویژگی‌های بارز آن به‌شمار می‌رود. علت بالا بودن EC چشمه، وجود آنیون‌ها و کاتیون‌های متعدد موجود در چشمه می‌باشد. مطابق جدول ۱، بعد از ورود آب چشمه به رودخانه، EC آب رودخانه از میانگین ۱۴۴۷ به ۲۴۵۲ افزایش می‌یابد. همچنین به دلیل بالا بودن غلظت فسفات، نیترات و سختی کل در چشمه آب گرم، افزایش محسوس در مقدار این پارامترها در رودخانه مشاهده می‌شود. مطابق جدول ۱، تأثیرگذاری چشمه بر روی آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی رودخانه بالخلی‌چای کاملاً محسوس است؛ به‌عنوان مثال افزایش غلظت کاتیون‌هایی نظیر سدیم بیش از ۶۰٪، منیزیم بیش از ۱۰۰٪ و کلسیم بیش از ۸۰٪ در ایستگاه ۳ اتفاق می‌افتد. در آنیون‌های رودخانه نیز افزایش غلظت در ایستگاه ۳ محسوس است؛ به‌عنوان مثال در ایستگاه ۳، میزان یون سولفات ۵۵٪، یون کلراید حدود ۳۰٪ و یون بی‌کربنات در حدود ۱۰۰٪ نسبت به ایستگاه ۲ افزایش غلظت مشاهده می‌شود. مطابق جداول ۲ و ۳، بیشترین تغییرات غلظت کاتیون‌ها مربوط به یون سدیم و بیشترین تغییرات غلظت آنیون‌ها مربوط

به یون‌های کلراید و سولفات می‌باشد. همچنین به‌خاطر ورود آب چشمه به رودخانه، کاتیون قالب از کلسیم به سدیم و آنیون غالب از بی‌کربنات به کلراید تغییر یافته است. در هر حال تأثیرگذاری بالای چشمه بر روی آنیون‌ها و کاتیون‌های رودخانه به شکل افزایش EC، به‌وضوح مشخص است.

با مقایسه جدول ۲، شاخص IRWQISC در ایستگاه سوم نسبت به ایستگاه دوم تنزل رده پیدا کرده و مقدار شاخص از ۶۱ به ۵۲ کاهش داشته است که علت آن ورود آب چشمه آب گرم قینرجه (ایستگاه اول) می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، مقدار شاخص چشمه ۴۶ است که می‌توان به پارامترهای مؤثری همچون غلظت فسفات، هدایت الکتریکی و غلظت نیترات نسبت داد؛ لذا علی‌رغم دبی پایین چشمه نسبت به رودخانه، چشمه موجب تنزل کیفیت آب رودخانه شده است؛ به‌طوری‌که کیفیت آب رودخانه از رده نسبتاً خوب به رده متوسط تنزل پیدا کرد.

با توجه به جدول ۳، شاخص کیفیت NSFQI، مجدداً برای سه ایستگاه تعیین شد. نتایج بیانگر آن است که کیفیت رودخانه در ایستگاه سوم نسبت به ایستگاه دوم تنزل پیدا کرده است و مقدار شاخص از ۷۰ به ۶۳ کاهش داشته است. علت پایین آمدن کیفیت، ورود آب چشمه آب گرم قینرجه به رودخانه می‌باشد.

همان‌طور که مشاهده می‌گردد، مقدار شاخص چشمه ۵۴ است که مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در پایین بودن کیفیت چشمه را می‌توان به BOD و غلظت فسفات مرتبط دانست؛ لذا علی‌رغم دبی پایین چشمه، کیفیت آب رودخانه تنزل پیدا کرده است.

شاخص مهم کیفی که خصوصاً در مورد چشمه‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است، شاخص IRWQIST است؛ در صورتی که معمولاً در مورد چشمه‌ها و اثرگذاری آن باید در اولویت قرار گیرد. در مورد اثرگذاری چشمه قینرجه بر رودخانه، بر اساس شاخص IRWQIST مطابق جدول ۲، رودخانه یک رده افت کیفیت از خود نشان می‌دهد؛ ولی از منظر شاخص NSFQI، علی‌رغم کاهش شاخص، ولی تنزل رده کیفیت اتفاق نمی‌افتد. این موضوع بیانگر آن است که شاخص‌های متداول قادر نیستند تا اثرگذاری کیفی دقیقی از چشمه بر روی رودخانه داشته باشند. جهت اهمیت و حساسیت این تحقیق، لازم است تا جدول ۴ و شاخص IRWQIST مورد توجه قرار گیرد. با توجه به جدول ۴، شاخص کیفیت آب در ایستگاه سوم نسبت به ایستگاه دوم، تنزل پیدا کرده است و مقدار شاخص از  $۵۵/۶$  به  $۳۵/۳$  کاهش یافته است. مطابق جدول ۴، مقدار شاخص IRWQIST برای چشمه قینرجه  $۱۰/۷$  است؛ به عبارتی چشمه در وضعیت خیلی بد قرار دارد. علت کیفیت بسیار بد چشمه، وجود عناصری نظیر آرسنیک، کادمیم، آهن و منگنز می‌باشد؛ بنابراین به‌خاطر ورود چشمه به رودخانه، کیفیت ایستگاه ۳ نسبت به ۲ به شدت کاهش یافت و از وضعیت نسبتاً خوب به وضعیت نسبتاً بد، دو رده تنزل کیفیت حاصل شد.

این نتیجه که با بررسی شاخص کیفی IRWQIST حاصل شده است، دقیقاً اهمیت اضطراری بودن وضعیت آب رودخانه بالخلی‌چای بعد از ورود آب چشمه قینرجه را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که علت اضطراری بودن وضعیت آب رودخانه پس از پذیرش چشمه، به‌خاطر وجود آرسنیک در داخل رودخانه است. مطابق جدول ۴، بعد از ورود چشمه قینرجه، غلظت آرسنیک در رودخانه از  $۷$  ppb به  $۸۲$  ppb رسید؛ به عبارتی ۸ برابر میزان حد مجاز بر اساس WHO آرسنیک در رودخانه وجود دارد که آماری

بسیار خطرناک می‌باشد. وجود چشمه‌های دیگر در این منطقه خصوصاً چشمه برجلو سبب شده است که علی‌رغم خودپالایی در مسیر عبوری تا سد یامچی و رقیق‌سازی رودخانه بالخلی‌چای با رودخانه نیرچای، میزان آرسنیک در سد به حدود  $۱۰۰$  ppb برسد؛ لذا ریسک تأمین آب شرب سالم بالا می‌رود، بنابراین با توجه به تأثیرگذاری بالای چشمه قینرجه بر روی کیفیت رودخانه بالخلی‌چای از منظر شاخص‌های IRWQISC و خصوصاً IRWQIST و با توجه به اهمیت رودخانه بالخلی‌چای در تأمین آب شرب شهرستان اردبیل، ضرورت تصفیه آب چشمه قبل از ورود به رودخانه بالخلی‌چای کاملاً مشهود است.

به‌نظر می‌رسد بسیاری از آب‌های سطحی ایران به‌علت آلودگی‌های زیست‌محیطی دست‌ساز مانند معادن، کارخانه‌ها و فاضلاب‌های صنعتی، آلوده و یا در معرض آلوده شدن به فلزات سنگین هستند؛ لذا شاخص‌های متداول نمی‌توانند حساسیت قابل قبولی در تعیین کیفیت آب‌های سطحی داشته باشند؛ بنابراین باید به شاخص سمیت توجه ویژه‌ای شود. متأسفانه در بسیاری از تحقیقات در اقصی نقاط دنیا نیز به شاخص سمیت توجه کمتری می‌شود. ایران هم از این قاعده مستثنی نیست؛ به‌عنوان مثال میرزایی و سولگی به ارزیابی کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود با استفاده از شاخص NSFQI پرداختند. با توجه به معادن و صنایع زیادی که در اطراف این رودخانه وجود دارد، احتمال آلودگی به فلزات سنگین بسیار بالا می‌باشد، ولی محققین محترم از شاخص سمیت جهت مشخص کردن کیفیت واقعی‌تر رودخانه زاینده‌رود استفاده نکردند (۱۶). در تعدادی از تحقیقات در زمینه منابع زمین‌گرمایی نظیر منطقه غرب آنتولی در کشور ترکیه، روستای سیلوم<sup>۱</sup> واقع در آفریقای جنوبی، دریاچه گورکی<sup>۲</sup> لهستان، منطقه یومگ باجینگ<sup>۳</sup> واقع در چین، حوضه آب‌خیز باسنتر<sup>۴</sup> در جاموی هیمالیا و چشمه‌های آب گرم حوزه یرموک<sup>۵</sup> در شمال اردن، چشمه‌هایی قرار دارند که به آرسنیک و یا

1. Silom
2. Goreckie
3. Yomg bajing
4. Basntar
5. Yarmouk

سمیت آب در وضعیت بسیار بد قرار دارد و به دلیل تأثیرگذاری زیادی که بر روی رودخانه می‌گذارد، تصفیه چشمه قبل از ورود به رودخانه الزامی است. شاید همین نتیجه‌گیری را بتوان از شاخص‌های متداول کیفیت نیز دریافت نمود؛ اما با توجه به وضعیت چشمه از نظر شاخص سمیت که در رده خیلی بد قرار دارد، تصفیه چشمه قبل از ورود به رودخانه الزامی می‌باشد.

#### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

#### تشکر و قدردانی

بدین وسیله از واحد تحقیقات و محیط زیست شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل که در انجام این تحقیق کمال همکاری را داشتند و همچنین از معاونت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی که ما را در انجام این پژوهش با کد پایان‌نامه کارشناسی ارشد به شماره ۲۹۳۴ یاری کردند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

#### References:

- Vincent A, Violette S, Aðalgeirsdóttir G. Groundwater in catchments headed by temperate glaciers: A review. *Earth-Science Reviews*. 2019;188:59-76.
- Rufino F, Busico G, Cuoco E, Darrah TH, Tedesco D. Evaluating the suitability of urban groundwater resources for drinking water and irrigation purposes: an integrated approach in the Agro-Aversano area of Southern Italy. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019;191:1-17.
- Shayesteh K, Salehzadeh J, Kouhi B. Investigation of hot spring mineral water and effluent output effects on the acceptor river quality especially drinking water and present of strategy (Case study: IstiSu hot spring). Research Project approved by Iran Water Resource Management Company. 2018.
- Yazdi M, Hassanvand M, Tamasian O, Navi P. Hydrogeochemical characteristics of Mahallat hot springs, central Iran. *Journal of Tethys*. 2016;4(2):169-79.
- Matta G, Gjyli L. Mercury, lead and arsenic: impact on environment and human health. *J Chem Pharm Sci*. 2016;9(2):718-25.
- Mirzaei M, Solgi E, Salman-Mahiny A. Evaluation of surface water quality by NSFQI index and pollution risk assessment, using WRATIC index in 2015. *Archives of Hygiene Sciences*. 2016;5(4):264-77.
- Mukate S, Wagh V, Panaskar D, Jacobs JA, Sawant A. Development of new integrated water quality index (IWQI) model to evaluate the drinking suitability of water. *Ecological*
- Behbudi G, Shayesteh K. Heavy Metal Removal Methods from Water and Wastewater: A Review Study. 2020.
- Sharafi K, Yunesian M, Nodehi RN, Mahvi AH, Pirsaeheb M. A systematic literature review for some toxic metals in widely consumed rice types (domestic and imported) in Iran: human health risk assessment, uncertainty and sensitivity analysis. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2019;176:64-75.
- Jamshaid M, Khan AA, Ahmed K, Saleem M. Heavy metal in drinking water its effect on human health and its treatment techniques-a review. *Int J Biosci*. 2018;12(4):223-40.

فلزات سنگین آلوده هستند. اکثر این تحقیقات تأیید کردند که این چشمه‌های زمین‌گرمایی، منابع آب‌های سطحی حوزه خود را آلوده می‌کنند و تنها به نمونه‌گیری و گزارش آنالیز نمونه‌ها اشاره کردند. همچنین در گزارش‌های معدودی هم نیاز به تصفیه چشمه قبل از ورود به منابع آب‌های سطحی و به عبارتی کنترل از منبع آلودگی اشاره شده است (۳۸-۴۴).

تمام تلاش محققین این مقاله این است که با استفاده از شاخص سمیت آب‌های سطحی خصوصاً آب‌هایی که آلوده به فلزات سنگین می‌باشند، بتوان در کنار شاخص‌های متداول، کیفیت آب‌های سطحی را دقیق‌تر ارزیابی نمود. مطابق این تحقیق، اهمیت اثرگذاری چشمه قینرجه نیر بر رودخانه بالخلی چای با طرح شاخص سمیت به مراتب دقیق‌تر مشخص شده است.

#### نتیجه‌گیری

چشمه قینرجه نیر با توجه به دبی پایین نسبت به رودخانه بالخلی چای، تأثیر بسیار زیادی در بالا رفتن درصد فلزات سنگین مانند آرسنیک، کادمیم، آهن و منگنز رودخانه دارد؛ به طوری که شاخص IRWQIST رودخانه قبل ورود چشمه ۵۵/۶ و بعد از آن ۳۵/۳ است. همچنین وضعیت چشمه آب گرم از منظر شاخص

11. Sharma M, Singal S, Patra S. Water quality profile of Yamuna river, India. *Hydro Nepal: Journal of Water, Energy and Environment*. 2008;3:19-24.
12. Shokuhi R, Hosinzadeh E, Roshanaei G, Alipour M, Hoseinzadeh S. Evaluation of Aydughmush dam reservoir water quality by National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSF-WQI) and water quality parameter changes. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2012;4(4):439-50.
13. Akkoyunlu A, Akiner ME. Pollution evaluation in streams using water quality indices: A case study from Turkey's Sapanca Lake Basin. *Ecological Indicators*. 2012;18:501-11.
14. Mazaheri Kohanestani Z, Ghorbani R, Hajimoradloo A, Naeimi A. The effect of trout farm effluents on the water quality parameters of Zaringol Stream (Golestan, Iran) based on NSFQI and WQI indexes. *Environmental Resources Research*. 2014;1(2):191-201.
15. Sharda A, Sharma M. Water quality assessment of Swan River in Himachal Pradesh, India. *International Journal of Environmental Sciences*. 2013;4(3):402-14.
16. Mirzaei M, Solgi E. Evaluation of heavy metals concentration (cadmium, copper, manganese, nickel, lead and zinc) in sediments of Zayandehrood River. *Journal of Research in Environmental Health*. 2016;1(4):251-65.
17. Effendi H, Wardiatno Y. Water quality status of Ciambulawang River, Banten Province, based on pollution index and NSF-WQI. *Procedia Environmental Sciences*. 2015;24:228-37.
18. Samadi J. Survey of Spatiotemporal Impact of Land Use on Water Quality in Chaghakhor Wetland Using IRWQI Index and Statistical Methods. *Iran-Water Resources Research*. 2016;11(3):159-71.
19. Firoozi A, Rezaei H, Mohammadi Aghadam K. Evaluation of quality indicators of underground water resources of Urmia Plain based on Iran's water resources quality index IRWQI-GC and its zoning . The 16th Iranian Hydraulic Conference . 2015;12(1):122-32.
20. Alphayo SM, Sharma M. Water quality assessment of Ruvu River in Tanzania using NSFQI. *Journal of Scientific Research and Reports*. 2018;20(3):1-9.
21. Khalife S, Khoshnazar A. Evaluation of Water Quality in Zarrineh-rood River Using the Standard Quality Index of Iran's Surface Water Resources. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*. 2018;3(1):22-34.
22. Bayati S, Zamani Ahmad Mahmoudi R, Mafi Gholami D. Evaluation of the water quality of Chaghakhor lagoon in terms of heavy metals using MI, HPI, HEI, Cd and IRWQIST indices. *Ecohydrology*. 2020;7(4):1021-31.
23. Gholizadeh M, Heydari O. Evaluation of Gorganrood river water quality based on surface water quality indicators in Gonbad Kavous. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2020;13(1):33-48.
24. Aghajanloo K, Hajizadeh E, Ariaeezadeh S. Evaluation of Karun River Water Quality Based on IRWQI and WAWQI Indicators in Molasani and Ahvaz Stations. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 2022;53(2):367-80.
25. Lumb A, Sharma T, Bibeault J-F. A review of genesis and evolution of water quality index (WQI) and some future directions. *Water Quality, Exposure and Health*. 2011;3:11-24.
26. Aazami J, KianiMehr N, Zamani A, Abdolahi Z, Zarein M, Jafari N. Water quality assessment of Ghezeloan river in Zanjan Province using NSFQI, IRWQI and Liou. *Journal of Environmental Health Engineering*. 2019;6(4).
27. Kkhalili R, Parvinnia M, Zali A. Water quality assessment of Garmarood River using the national sanitation foundation water quality index (NSFWQI), river pollution index (RPI) and weighted arithmetic water quality index (WAWQI). *Environment and Water Engineering*. 2020;6(3):274-84.
28. Semiromi FB, Hassani A, Torabian A, Karbassi A, Lotfi FH. Evolution of a new surface water quality index for Karoon catchment in Iran. *Water Science and Technology*. 2011;64(12):2483-91.
29. Darvishi G, Kootenaie FG, Ramezani M, Lotfi E, Asgharnia H. Comparative investigation of river water quality by OWQI, NSFQI and Wilcox indexes (case study: the Talar River-Iran). *Archives of Environmental Protection*. 2016;42(1):41-8.
30. Patel P, Raju NJ, Reddy BSR, Suresh U, Sankar D, Reddy T. Heavy metal contamination in river water and sediments of the Swarnamukhi River Basin, India: risk assessment and environmental implications. *Environmental geochemistry and health*. 2018;40:609-23.
31. Kumar V, Parihar RD, Sharma A, Bakshi P, Sidhu GPS, Bali AS, et al. Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: A meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses. *Chemosphere*. 2019;236:124364.
32. Withanachchi SS, Ghambashidze G, Kunchulia I, Urushadze T, Ploeger A. Water quality in surface water: a preliminary assessment of heavy metal contamination of the Mashavera River, Georgia. *International journal of environmental research and public health*. 2018;15(4):621.
33. Edition F. Guidelines for drinking-water quality. *WHO chronicle*. 2011;38(4):104-8.
34. Fu Z, Xi S. The effects of heavy metals on human metabolism. *Toxicology mechanisms and methods*. 2020;30(3):167-76.
35. Ukah B, Egbueri J, Unigwe C, Ubido O. Extent of heavy metals pollution and health risk assessment of groundwater in a densely populated industrial area, Lagos, Nigeria. *International Journal of Energy and Water Resources*. 2019;3:291-303.

36. Ghadiri A, Hashemi SH, Nasrabadi T. The efficiency of Iran's water resources quality index in comparison with three indices for assessment of Heavy Metal pollution in surface water (Case study: north and east of Tehran's runoff). *Modares Civil Engineering journal*. 2021;21(2):177-88.
37. Proshad R, Islam S, Tusher TR, Zhang D, Khadka S, Gao J, et al. Appraisal of heavy metal toxicity in surface water with human health risk by a novel approach: a study on an urban river in vicinity to industrial areas of Bangladesh. *Toxin reviews*. 2021;40(4):803-19.
38. Batayneh AT. Heavy metals in water springs of the Yarmouk Basin, North Jordan and their potentiality in health risk assessment. *International Journal of the Physical Sciences*. 2010;5(7):997-1003.
39. Taloor AK, Pir RA, Adimalla N, Ali S, Manhas DS, Roy S, et al. Spring water quality and discharge assessment in the Basantar watershed of Jammu Himalaya using geographic information system (GIS) and water quality Index (WQI). *Groundwater for Sustainable Development*. 2020;10:100364.
40. Guo Q, Wang Y. Impact of geothermal wastewater drainage on arsenic species in environmental media: A case study at the Yangbajing geothermal field, Tibet, China. *Procedia Earth and Planetary Science*. 2013;7:317-20.
41. Walna B, Siepak M. Heavy metals: their pathway from the ground, groundwater and springs to Lake Góreckie (Poland). *Environmental monitoring and assessment*. 2012;184:3315-40.
42. Durowoju OS, Odiyo JO, Ekosse G-IE. Variations of heavy metals from geothermal spring to surrounding soil and *Mangifera indica*–Siloam village, Limpopo province. *Sustainability*. 2016;8(1):60.
43. Baysal RT, Gunduz O. The impacts of geothermal fluid discharge on surface water quality with emphasis on arsenic. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2016;227:1-16.
44. Bundschuh J, Maity JP, Nath B, Baba A, Gunduz O, Kulp TR, et al. Naturally occurring arsenic in terrestrial geothermal systems of western Anatolia, Turkey: potential role in contamination of freshwater resources. *Journal of hazardous materials*. 2013;262:951-9.