Research Paper

Evaluation of the Effects of Infiltration of Effluent of Borujen City Treatment Plant on the Quality of Groundwater Resources in Borujen-Faradonbeh Plain

Ali Talebi[1], Majid Karimi[2], Mohammadtaghi Ghaneian[3], Ebrahim Asgari[4]
1. Professor, Department of Watershed Management, Yazd University, Yazd, Iran
2. M.Sc Graduated, Watershed Management, Yazd University, Yazd, Iran
3. Professor, Department of Environmental Health, Yazd Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran
4. Ph.D. Candidate in Watershed Sciences and Engineering Water and Soil Conservation, Yazd University, Yazd, Iran, Iran

Received: 2022/09/18
Revised: 2022/09/25
Accepted: 2022/10/26

Use your device to scan and read the article online

DOI:
10.30495/wej.2023.30973.2367

Keywords:
Chemical components, groundwater resources, effluent, schuler diagram Borujen-Faradonbeh

Abstract

Introduction: Due to the lack of rainfall and the negative balance of groundwater aquifers in recent years, the use of unconventional water sources such as effluents and sewage for artificial feeding is one of the important methods to deal with decline in groundwater aquifers. In the Borujen-Faradonbeh plain, in order to reduce the effects of drought on groundwater resources, the aquifer of this plain has been artificially fed using the effluent of the Borujen treatment plant. The aim of this study was to investigate the effects of the effluent of Borujen water treatment plant on the quality of groundwater resources in this plain.

Methods: To investigate the quality of effluent and its effect on the downstream water of the treatment plant, water wells downstream and upstream were sampled. The samples were immediately transferred to the laboratory and analyzes including the concentrations of Mg, Ca, K Li, Na, S, St, Si, Sc, V, Ba, Cr and V were performed on the samples.

Findings: The results showed that except for calcium, potassium and chromium elements which were not statistically significant differences between the water samples taken from the upstream and downstream of the treatment plant (sig> 0.05) but the number of other elements differed between the upstream and downstream wells of the treatment plant. Were significant (sig <0.05). But the same amount is within the set standards. Also, IDW maps related to these elements showed that the northern and northwestern parts of the plain (downstream of the Borujen city treatment plant) have areas with high concentrations of these elements.

Citation: Talebi A, Karimi M, Ghaneian MT, Asgari E. Evaluation of the Effects of Infiltration of Effluent of Borujen City Treatment Plant on the Quality of Groundwater Resources in Borujen-Faradonbeh Plain. Water Resources Engineering Journal. 2023; 16 (58): 31- 54.

***Corresponding author:** talebisf@yazd.ac.ir
Address: Department of Watershed Management, Yazd University, Yazd, Iran
Tell: +989134137010
Email: talebisf@yazd.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Due to the lack of rainfall and the over-exploitation groundwater aquifers in recent years, the use of unconventional water sources such as effluents and sewage for artificial feeding is one of the important methods to deal with the quantitative and qualitative decline in groundwater aquifers. In the Borujen-Faradonbeh plain, in order to reduce the effects of drought on groundwater resources, the aquifer of this plain has been artificially fed using the effluent of the Borujen treatment plant. The aim of this study was to investigate the effects of the effluent of Borujen water treatment plant on the quality of groundwater resources in this plain.

Materials and Methods

After studying and checking the conditions and features of the Borujen-Faradonbeh area, first of all, from the number of 20 wells in the entire studied area, based on the conditions of access to the wells, the location of the wells, facilities, time and cost; Their water was sampled. To investigate the quality of effluent and its effect on the downstream water of the treatment plant, water wells downstream and upstream were sampled. The samples were immediately transferred to the laboratory and analyzes including the concentrations of Mg, Ca, K Li, Na, S, St, Si, Sc, V, Ba, Cr and V were performed on the samples.

Findings

Evaluation of plain water quality in terms of some chemical components as well as using Schuler and Wilcox diagrams showed good and acceptable quality and in terms of hardness, in hard and very hard water class and in terms of agriculture was salty but suitable for agriculture. The results showed that except for calcium, potassium and chromium elements which were not statistically significant differences between the water samples taken from the upstream and downstream of the treatment plant (sig> 0.05) but the number of other elements differed between the upstream and downstream wells of the treatment plant. Were significant (sig <0.05) so that the treatment plant increased the concentration of Mg, Li, Na, S, St, Si, Sc, Ba and V in the downstream. But the same amount is within the set standards. Also, IDW maps related to these elements showed that the northern and northwestern parts of the plain (downstream of the Borujen city treatment plant) have areas with high concentrations of these elements. Certainly, the presence of some minerals, rocks and formations to move the groundwater flow and some human activities, etc. can also be other factors in increasing the amount of these water quality parameters downstream.

Discussion

The condition of water quality in the northern parts of the plain is lower than the southern and upper parts of the Borujen-Faradonbeh plain. Various factors such as: effluent from Borujen refinery, the presence of constituents such as calcareous formations or the presence of Conglomerate and Sandstone rocks, the presence of minerals such as: Feldspars, Mica, Clay minerals, evaporative minerals (such as Silvite, Halite), Potash fertilizers; it can be one of the reasons why some elements such as magnesium and calcium are more in the northern parts of the plain. Due to these cases, water quality in the northern parts of the plain is lower than the southern parts of the plain and the northern parts of the plain have the necessary potential for pollution and their vulnerability is higher than pollution.

Conclusion

It is necessary to pay attention to wastewater treatment to the extent that it reaches the desired standards and impose more restrictions and protection and control measures to prevent the values from exceeding the standard limits. Therefore, continuous monitoring and control of effluent of Borujen city treatment plant to prevent the occurrence of some environmental problems in the plans of using these effluents in different sectors should be considered.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding to declare.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Ali Talebi, MohammadTaghi Ghaneian.
Methodology and data analysis: Majid Karimi, Ebrahim Asgari.
Final writing: Ebrahim Asgari.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

ارزیابی اثرات نفوذ پساب تصفیه‌خانه شهر بروجن بر کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت بروجن-فرادنبه

علی طالبی[۱*]، مجید کریمی[۲]، محمدتقی قانعیان[۳]، ابراهیم عسگری[۴]
۱ .استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۲ .دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۳ .استاد گروه بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
۴. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۷
تاریخ داوری: ۱۴۰۱/۰۷/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۴

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

DOI:
10.30495/wej.2023.30973.2367

واژه‌های کلیدی:
مؤلفه‌های شیمیایی، منابع آب زیرزمینی، پساب، نمودار شولر، دشت بروجن-فرادنبه.

چکیده

مقدمه: با توجه به کمبود بارندگی و بیلان منفی سفره‌های آب زیرزمینی در سال‌های اخیر استفاده از منابع آب نامتعارف مثل پساب‌ها و فاضلاب‌ها برای تغذیه مصنوعی یکی از روش‌های مهم مقابله با افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد. در دشت بروجن-فرادنبه نیز به‌منظور کاهش اثرات خشکسالی بر روی منابع آب زیرزمینی، اقدام به تغذیه مصنوعی آبخوان این دشت با استفاده از پساب تصفیه‌خانه شهر بروجن شده است. لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیرات نفوذ پساب تصفیه‌خانه شهر بروجن بر کیفیت منابع آب زیرزمینی این دشت، انجام گرفت.

روش: به‌منظور بررسی کیفیت پساب و تأثیر آن بر آب پایین‌دست تصفیه‌خانه، از تعداد ۱۵ چاه‌های آب در پایین‌دست و بالادست نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و آنالیزهایی شامل غلظت عناصر منیزیم، کلسیم، پتاسیم، لیتیم، سدیم، گوگرد، اسکاندیم، سیلسیم، استرانسیم، باریم، کروم و وانادیم بر روی نمونه‌ها انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که به جز عناصر کلسیم، پتاسیم و کروم که بین نمونه‌های آب برداشت شده از بالادست و پایین‌دست تصفیه‌خانه از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($sig>0.05$) اما مقدار سایر عناصر در بین چاه‌های بالادست و پایین‌دست تصفیه‌خانه دارای تفاوت معنی‌داری بودند ($sig<0.05$). ولی همین مقدار نیز در محدوده استانداردهای تعیین‌شده قرار دارد. هم‌چنین نقشه‌های درون‌یابی شده با روش IDW مربوط به این عناصر نیز نشان‌دهنده همین موضوع بود که بخش‌های شمالی و شمال‌غربی دشت (پایین‌دست تصفیه‌خانه شهر بروجن) دارای پهنه‌هایی با غلظت بالای این عناصر هستند.

نتیجه‌گیری: مقدار کیفیت آب در بخش‌های شمالی دشت پایین‌تر از بخش‌های جنوبی و بالادست دشت بروجن-فرادنبه است. عوامل مختلفی مثل: ورود پساب از تصفیه‌خانه بروجن، وجود سازنده‌هایی همانند سازندهای آهکی یا وجود سنگ‌های کنگلومرا و ماسه‌سنگ، وجود کانی‌هایی مثل: فلدسپات‌ها، میکاها، کانی‌های رسی، کانی‌های تبخیری (همانند سیلویت، هالیت)، کودهای پتاسیک؛ می‌تواند از دلایل بیش‌تر بودن برخی از عناصر مثل منیزیم و کلسیم در بخش‌های شمالی دشت باشد. با توجه به این موارد کیفیت آب در بخش‌های شمالی پایین‌تر از بخش‌های جنوبی دشت است و مناطق شمالی دشت پتانسیل لازم برای آلودگی را داشته و آسیب‌پذیری آن‌ها نیز نسبت به آلودگی‌ها بیش‌تر است. لذا پایش مداوم و کنترل پساب خروجی تصفیه‌خانه شهر بروجن برای پیشگیری از وقوع برخی مشکلات محیط زیستی مثل بروز بیماری‌های گیاهی و جانوری ناشی از فاضلاب در برنامه‌های استفاده از این پساب‌ها در بخش‌های مختلف باید مد نظر قرار گیرد.

* **نویسنده مسئول:** علی طالبی
نشانی: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
تلفن: ۰۹۱۳۴۱۳۷۰۱۰
پست الکترونیکی: talebisf@yazd.ac.ir

مقدمه

امروزه با توجه به صنعتی شدن و رشد سریع جمعیت، فشار بر منابع طبیعی نیز افزایش پیدا کرده است لذا حفاظت از آن‌ها یکی از چالش‌های اصلی و اساسی برای جوامع بشری است. رشد جمعیت و توسعه نامتوازن اقتصادی، سبب بروز اختلاف جدی بین عرضه و تقاضای منابع آبی شده است و سبب شده تا برداشت و استفاده از منابع آب زیرزمینی افزایش چشم‌گیری داشته باشد (۱، ۲). بنابراین آب‌های زیرزمینی نقش مهم و اساسی‌ای در تأمین نیازهای آبی جوامع امروزی بشر دارند (۳، ۴). زیرا منبع اصلی تأمین آب برای بخش‌های کشاورزی و شرب در بسیاری از مناطق مختلف دنیا به‌ویژه در ایران منابع آب زیرزمینی می‌باشند و در چرخه آب نیز نقش بسیار مهمی در جهت پایداری جریان‌ها، دریاچه‌ها، جوامع آبزی و هم‌چنین توسعه پایدار ایفا می‌کنند (۵، ۶، ۷، ۸). فعالیت‌های نامناسب انسانی مثل حفر غیرمجاز چاه و برداشت مضاعف از منابع آب زیرزمینی، توسعه نامتوازن کشاورزی و تغییر الگوی کشت، افزایش جمعیت و توسعه نامتوازن صنعت، تغییرات اقلیمی و وقوع خشکسالی‌ها، هم‌چنین رشد استفاده از مواد شیمیایی محلول و در پی آن تولید و گسترش فاضلاب‌های صنعتی و خانگی و در نهایت نشت و ورود آن‌ها به داخل منابع آبی، کیفیت آب زیرزمینی را به شدت کاهش داده و تأثیرات منفی بر کمیت و کیفیت این منابع گذاشته است (۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳). منابع آلاینده انسانی مانند فعالیت‌های کشاورزی، صنعت و فاضلاب‌های خانگی به تدریج باعث کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌شوند به‌طوری که استفاده از این منابع آب ارزشمند را به‌دلیل به خطر افتادن سلامتی انسان‌ها محدود می‌نماید (۱۴). به همین دلیل آلودگی آب‌های زیرزمینی به یکی از چالش‌های انسان در چند دهه اخیر تبدیل شده است و سبب آسیب‌پذیرشدن حوضه‌های آبرفتی نسبت به آلاینده‌ها به‌دلیل جذب و انتقال فاضلاب‌های خانگی، صنعتی و کشاورزی شده است. بنابراین کنترل آلودگی آب و پایش کیفیت آن در این حوضه‌ها دارای اهمیت ویژه‌ای است (۱۵). با توجه به اهمیت و نقش منابع آب زیرزمینی در تأمین نیاز بخش‌های مختلف بر اساس ویژگی اقلیمی کشور که جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد، حفاظت از منابع آب زیرزمینی هم از نظر کمیت و هم از نظر کیفیت بسیار ضروری بوده و اقدام جدی به‌منظور مدیریت و بهره‌برداری صحیح و مناسب از این منابع در راستای جلوگیری از نابودی کمی و کیفی این منابع لازم و ضروری است (۱۶، ۱۷).

در حال حاضر در بسیاری از مناطق دنیا از پساب به‌عنوان منبع تأمین آب و عاملی برای ایجاد تعادل و توازن بین عرضه و تقاضای آب استفاده می‌شود. پساب فاضلاب‌های کشاورزی، صنعتی و شهری می‌تواند به‌عنوان یک منبع بالقوه آب در بخش‌های مختلف و به‌ویژه در بخش کشاورزی مورد توجه قرار گرفته و مصرف شود تا علاوه بر جبران کسری آب در این بخش از تأثیرات سوء و خسارات تخلیه نامناسب فاضلاب‌ها و پساب‌ها به منابع کشاورزی و محیط‌زیست نیز جلوگیری شود (۱۸، ۱۹، ۲۰). به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که یکی از راهکارها و فرصت‌های کلیدی به‌منظور بهبود وضعیت آبی و جلوگیری از آلودگی محیط زیستی و نیز برآورده ساختن نیاز آبی مردم به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده مجدد از پساب‌ها است. تغذیه مصنوعی با استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده یکی از مهم‌ترین روش‌ها در استفاده مجدد از این منبع باارزش است. با توجه به کمبود و محدودیت بارندگی و بیلان منفی سفره‌های آب زیرزمینی در سال‌های اخیر در برخی از مناطق کشور، استفاده از حوضچه‌های تغذیه مصنوعی با استفاده از آب‌های نامتعارف یکی از روش‌های مهم مقابله با افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد (۱۱). با توجه به استفاده از این منابع در بخش‌های مختلف صنعت، کشاورزی بنابراین توجه بر کمیت این منابع، علاوه بر کیفیت آن‌ها بسیار حائز اهمیت می‌باشد و پارامتر مهمی در بخش شرب و هم در بخش کشاورزی است (۲۱، ۲۲). تغذیه مصنوعی با استفاده از فاضلاب یکی از مهم‌ترین روش‌ها در استفاده مجدد از این منبع باارزش می‌باشد. بر این اساس در پژوهش حاضر سعی بر این است تا تأثیرات نفوذ پساب تصفیه‌خانه شهر بروجن از طریق تغذیه مصنوعی در پایین‌دست آن بر منابع آب زیرزمینی این دشت، مطالعه شود. با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی و ضرورت بررسی تأثیرات عوامل مختلف مثل پساب تصفیه‌خانه‌ها بر روی این منابع، مطالعات مختلفی در سراسر دنیا انجام گرفته است که نشان‌دهنده تأثیرگذاری عوامل مختلف طبیعی و انسانی بر سطوح کمی و کیفی این منابع آب زیرزمینی می‌باشد. بنابراین در ادامه به تعدادی از مطالعات انجام شده در این زمینه اشاره شده است.

در پژوهشی که تأثیر رواناب‌ها و پساب تصفیه‌خانه فاضلاب بر پارامترهای کیفی آب رودخانه زاینده‌رود مورد مطالعه قرار گرفت، عنوان شد که مقدار فسفات بر حسب فسفر در تمام ایستگاه‌ها و در تمام طول دوره مطالعه از ۰/۰۴۹ تا ۲/۷ و تغییرات pH در آب رودخانه در چهار ایستگاه بین ۷/۲ تا ۸/۶ متغیر بوده است. هم‌چنین بیان شد که آب رودخانه زاینده‌رود، حتی در شرایطی که بارندگی صورت نمی‌گیرد، از رواناب‌های اصفهان تأثیر می‌پذیرد ولی شدت تأثیر پساب تخلیه شده از تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب اصفهان بسیار بیش‌تر است (۲۳). در بررسی تأثیر سناریوهای تغذیه مصنوعی با فاضلاب تصفیه‌شده بر کمیت و کیفیت آبخوان شهرکرد بیان شد که بخش‌های میانی و جنوبی دشت با دارا بودن محیط متخلخل با بافت درشت‌تر و نزدیک بودن به محل تصفیه‌خانه منطقه مناسبی برای اجرای سناریوها می‌باشند. هم‌چنین عنوان شد که در صورت ادامه تغذیه آبخوان با فاضلاب می‌توان آلودگی را در شعاع حداکثر یک کیلومتری از محل تغذیه کنترل و از مزیت‌های حجم آب افزوده شده به آبخوان استفاده نمود (۲۴). در ارزیابی تأثیرات پساب ذوب آهن اصفهان بر کیفیت خاک و آب‌های زیرزمینی یافته‌ها نشان داد که پساب صنعتی برای تخلیه به آب سطحی یا چاه‌های جاذب از نظر ویژگی‌های $ClSO_4^{2-}$، COD، BOD، $N\text{-}NO_3$ و EC فراتر از حد مجاز بوده و دارای محدودیت می‌باشد. هم‌چنین آب زیرزمینی در اطراف واحد صنعتی ذوب آهن دارای محدودیت‌های Cl، SAR، HCO_3^-، $N\text{-}NO_3$، TDS، SO_4^{2-}، EC و فلز سنگین کبالت می‌باشد. مقادیر اندازه‌گیری شده برای عنصر کبالت برابر ۰/۱۴ تا ۰/۲۰ میلی‌گرم در لیتر در مقایسه با حد مجاز ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر که نشان‌دهنده دو برابر بودن این مقدار نسبت به مقدار استاندارد بود (۲۵). بر اساس پژوهشی در دشت ورامین با عنوان شبیه‌سازی اثرات بلندمدت استفاده

از پساب بر سلامت بهره‌برداران با رویکرد پویایی سیستم، نتایج نشان داد که در صورت استفاده از فاضلاب خام تا سال ۱۴۲۰ غلظت عناصر مس و کادمیوم از حد مجاز عبور نموده و استفاده از فاضلاب اثرات بهداشتی زیان‌باری نیز به همراه خواهد داشت. اما استفاده از پساب (فاضلاب تصفیه‌شده) تا حدود ۱۵۰ سال دیگر ایمن بوده و مشکلات بهداشتی ناشی از فلزات سنگین به بار نخواهد آورد. نتایج شبیه‌سازی غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی نیز نشان داد که در همه سناریوها تا سال ۱۴۲۰ غلظت نیترات از حد مجاز به‌منظور استفاده شرب عبور خواهد کرد (۲۶). در امکان استفاده از پساب در کشاورزی عنوان شد که استفاده از پساب به‌عنوان منبع آب پایدار در آبیاری محصولات کشاورزی با رعایت ملاحظات محیط زیستی بخشی از مدیریت پایدار با توجه به وضعیت بحران آب می‌باشد. هم‌چنین بیان شد که استفاده از این پساب نیازمند سامانه‌ای است که مراحل مختلف تولید، جداسازی، جمع‌آوری، انتقال، تصفیه را همراه با ذی‌نفعان هر بخش دربرگیرد (۲۷). در مطالعه امکان‌سنجی استفاده مجدد از پساب خروجی فرآیند بیولوژیکی SBR پیشرفته را برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در تصفیه‌خانه فاضلاب یزد، مقایسه نتایج به‌دست آمده با استاندارد سازمان محیط زیست ایران، نشان داد که استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب مورد مطالعه در تغذیه آب‌های زیرزمینی در محدوده استانداردها به جز برای پارامتر آمونیوم، قرار دارد و می‌توان از خروجی این تصفیه‌خانه برای تغذیه مصنوعی با کنترل پارامتر آمونیوم استفاده کرد (۲۸). در بررسی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان گتوند، محققان با تأکید بر غلظت نیترات دریافتند که توزیع مکانی یون نیترات، تقریباً از جهت جریان آب زیرزمینی آبخوان گتوند تبعیت می‌نماید و از بخش‌های شمالی و غربی به سمت انتهای جهت جریان در شرق و جنوب‌شرقی روند کاهشی دارد. هم‌چنین یافته‌ها نشان داد که افزایش یون کلرید و سولفات به غیر از عامل طبیعی زمین‌زاد، متأثر از فعالیت‌های انسانی می‌باشد و تغییرات غلظت یون نیترات در آب زیرزمینی آبخوان گتوند متأثر از اندازه ذرات خاک موجود در منطقه، عمق آب زیرزمینی، شبکه آبیاری و زهکشی، نشت فاضلاب خانگی و استفاده از کودهای شیمیایی است (۱۲).

در پژوهشی تحت عنوان تغذیه آب‌های زیرزمینی با پساب فاضلاب شهری، ملاحظات بهداشتی و نظارتی؛ بیان شد که تغذیه آب‌های زیرزمینی با استفاده از این پساب‌ها، چالش‌های فنی و بهداشتی زیادی را ایجاد می‌کند و برخی از ملاحظات مربوط به سلامت جامعه، استفاده گسترده از پساب تصفیه شده فاضلاب شهری را به‌منظور تغذیه آب زیرزمینی به‌ویژه زمانی که بخش‌هایی از این منابع آب در بخش خانگی مصرف شوند، محدود کرده است (۲۹). در پژوهشی در حوزه آبخیز دریاچه بایانگدیان[1] در شمال دشت چین، تأثیر مخزن فاضلاب خطی بر تغذیه آب‌های زیرزمینی و تکامل ژئوشیمیایی مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد که نفوذ فاضلاب منبع مهمی برای تغذیه آب‌های زیرزمینی در مناطق شهری است و عنوان شد که مخازن فاضلاب خطی بزرگ که فاقد اقدامات حفاظتی باشند می‌توانند به‌عنوان کانال‌های رودخانه‌ای عمل کرده و سبب کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی این منطقه شوند (۳۰). خطر منطقه‌ای (حفاظت از آب زیرزمینی در شرایط کم‌آبی) و راه‌حل‌های محلی برای تصفیه فاضلاب در اردن درسفره آبخوان وادی‌العرب در پژوهشی مورد ارزیابی قرار گرفت و یافته‌ها نشان داد که اجرای یک راه‌حل اصلاحی سازگار در یکی از شهرک‌های حومه‌ای بسیار آلوده می‌تواند ۱۲ درصد از آلودگی سفره آب را کاهش دهد، که ۹۳ درصد از کاربران بالقوه سفره‌های آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۳۱). در پژوهشی به بررسی تأثیر پساب‌های صنعتی بر آب‌های زیرزمینی پرداخته شد و عنوان شد که آب‌های زیرزمینی نیازمند حفاظت در برابر تخلیه نامناسب پسماندهای صنعتی بدون تصفیه مناسب در محیط‌زیست می‌باشند. زیرا که با ورود این آلاینده‌ها به آب‌های زیرزمینی، حذف آن‌ها دشوار یا غیرممکن می‌شود. بنابراین به‌منظور رفع این نگرانی‌ها، نیاز به توسعه یک چارچوب نظارتی کارآمد برای نظارت مستمر بر پساب‌های صنعتی و منابع آلاینده می‌باشد. هم‌چنین عنوان شد که نیاز به یافتن راه‌حل‌های نوآورانه برای استفاده مجدد از فاضلاب، به‌منظور جلوگیری از کمبود آب در آینده نزدیک ضروری است (۳۲). با بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی به‌وسیله پساب‌های صنعتی در منطقه پایتخت ملی (NCR)، نتایج نشان داد که بیش از ۹۰ درصد از منابع آب شهری در دشت یامونا از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود و تقاضاهای اضافی ایجاد شده به‌دلیل افزایش جمعیت و کاهش سطح ایستابی منابع آب زیرزمینی سبب افزایش نفوذ آلاینده‌ها از واحدهای صنعتی شده و خطر بیش‌تری برای آلودگی آب‌های زیرزمینی ایجاد کرده است و تأثیر منفی بر سلامت انسان می‌گذارد. بنابراین، به‌منظور جلوگیری از این امر در آینده نزدیک، متوقف کردن این کاهش و کنترل سطح آلودگی‌ها ضروری است (۳۳).

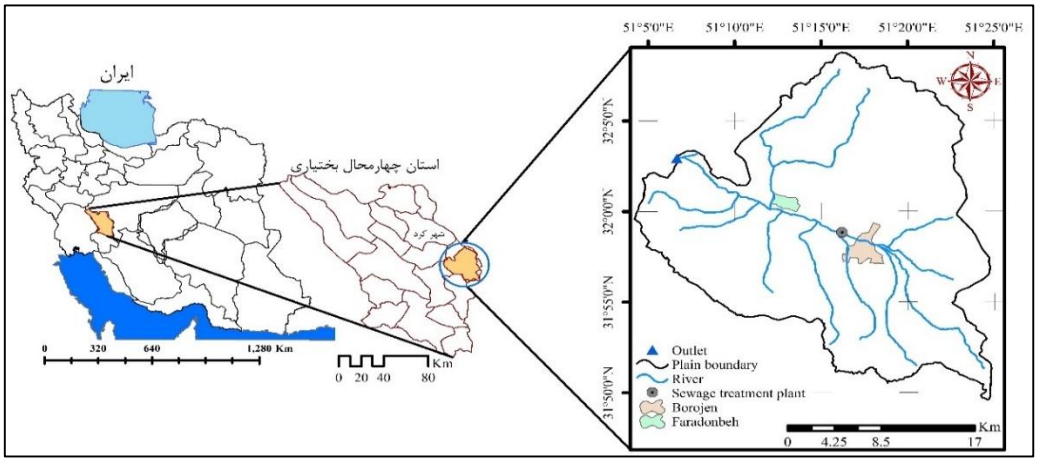
در مجموع بر اساس سوابق پژوهش می‌توان عنوان کرد که بررسی و تحلیل کیفیت منابع آب زیرزمینی از نیازهای مهم و ضروری در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب کشور می‌باشد و مدیریت صحیح منابع آب بر اصول بررسی‌های کیفی و کمی آب استوار است. لذا به‌منظور مدیریت و برنامه‌ریزی برای استفاده از منابع آب زیرزمینی بررسی کیفیت آب این منابع ضروری می‌باشد. هم‌چنین با توجه به این‌که بیش‌تر مطالعات انجام شده در خصوص بررسی کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی با تعداد پارامترهای کم‌تری انجام شده است. علاوه بر این با توجه به این‌که در دشت بروجن–فرادنبه مطالعه‌ای در این خصوص و به این گستردگی انجام نگرفته است، لذا همین عوامل پژوهش حاضر را از سایر مطالعات انجام شده در این زمینه متمایز ساخته و سبب شد تا پژوهش حاضر با هدف بررسی و ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی و اثرات ناشی از نفوذ پساب تصفیه‌خانه شهر بروجن در دشت بروجن–فرادنبه انجام شود.

مواد و روش‌ها

محدوده دشت بروجن–فرادنبه در شرق استان چهارمحال و بختیاری و از نظر موقعیت جغرافیایی، در بین طول‌های "۳۸ ´۰۴ °۵۱ تا "۳۷ ´۲۴ °۵۱ شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۰۷ ´۵۱ °۳۱ تا "۰۰ ´۰۸ °۳۲ شمالی واقع شده است. مساحت تقریبی این دشت ۶۶۳ کیلومترمربع

[1]- Baiyangdian

می‌باشد. حداکثر ارتفاع در این دشت ۲۹۹۷ متر در حاشیه دشت و در بخش‌های جنوبی و غربی و حداقل ارتفاع ۲۱۱۸ متر در بخش‌های مرکزی دشت و هم‌چنین در قسمت خروجی دشت قرار دارد. متوسط مجموع بارش سالانه این منطقه در حدود ۲۴۵ میلی‌متر و میانگین سالانه دمای آن حدود ۱۰ درجه سلسیوس می‌باشد. اقلیم این منطقه به روش آمبرژه خشک سرد می‌باشد (۳۴). هم‌چنین بافت خاک این منطقه نیز لومی تا لومی–رسی است. بررسی نمودار هیدروگراف واحد سفره بروجن–فرادنبه برای دوره آماری ۱۳۹۸–۱۳۶۳ نشان‌دهنده روند نزولی تراز سطح آب در طول این دوره است. به‌طوری‌که سطح آب زیرزمینی حدود ۷/۳۸ متر کاهش یافته است و میزان روند نزولی سالیانه ۰/۲ متر می‌باشد (۳۵). در شکل ۱ موقعیت دشت بروجن–فرادنبه و هم‌چنین تصفیه‌خانه بروجن در ایران و استان چهارمحال بختیاری ارائه شده است. تصفیه‌خانه فاضلاب شهر بروجن در بالادست حوضچه‌های تغذیه مصنوعی این دشت قرار دارد و با ظرفیت بیش از ۷۰ هزار نفر طراحی و با تکنیک تصفیه لجن فعال مورد بهره‌برداری قرارگرفته است. در حال حاضر دبی بهره‌برداری و ورودی به تصفیه‌خانه مذکور در حدود ۵۱۸۴ مترمکعب در روز می‌باشد (۳۶).



شکل ۱- موقعیت دشت بروجن–فرادنبه و تصفیه‌خانه شهر بروجن در ایران و استان چهارمحال و بختیاری

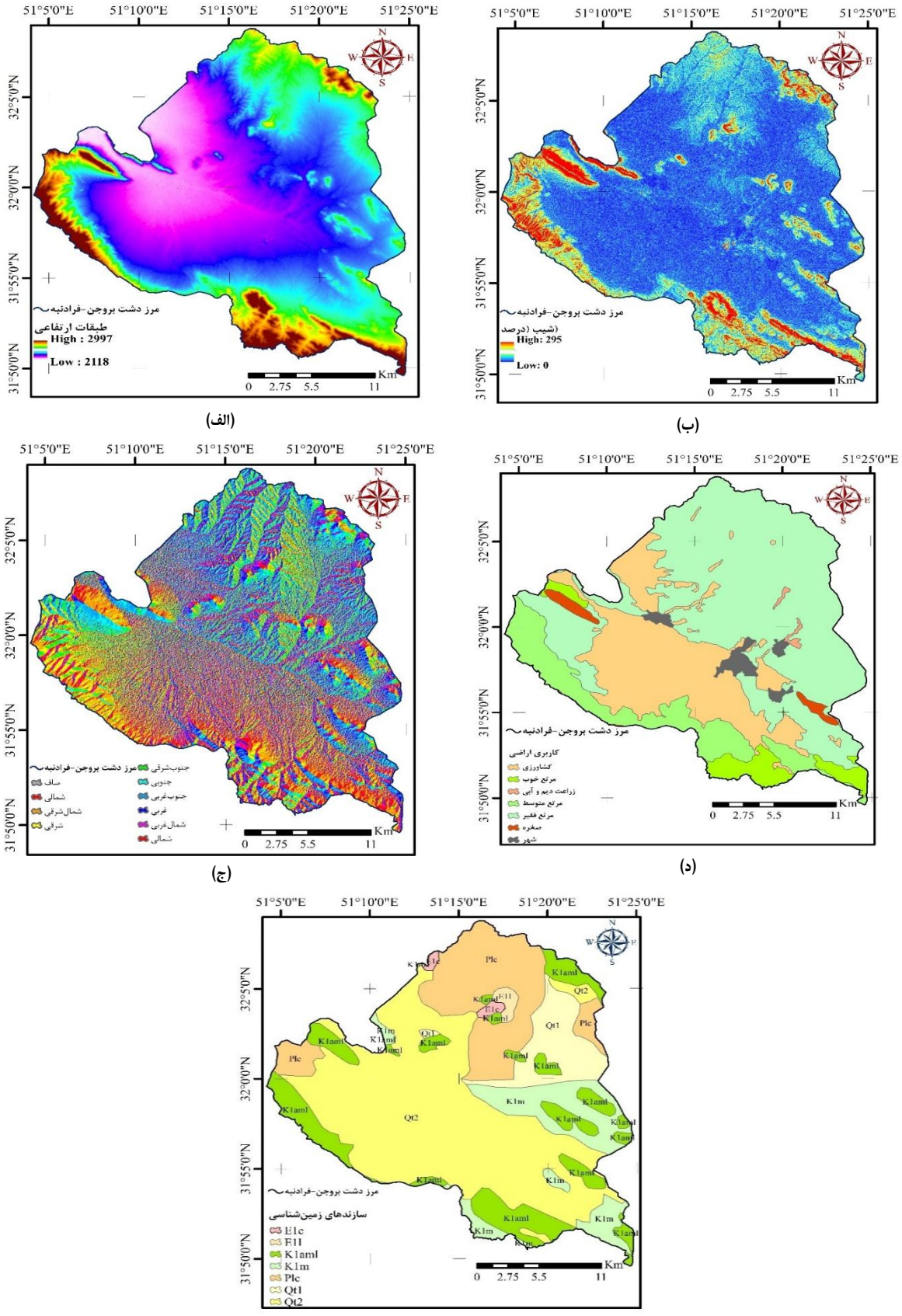
پس از مطالعه و بررسی شرایط و ویژگی‌های منطقه بروجن–فرادنبه ابتدا از تعداد ۲۰ چاه در کل منطقه مورد مطالعه بر اساس شرایط دسترسی به چاه‌ها، موقعیت چاه‌ها، امکانات، زمان و هزینه؛ اقدام به نمونه‌برداری از آب آن‌ها شد. سپس آنالیزهای شیمیایی همانند: EC، TDS، pH، Ca، Mg، Na، K، HCO_3، CO_3، Cl و SO_4 بر روی آن‌ها انجام شد. در نمونه‌ها اندازه‌گیری یون سولفات به روش کدورت‌سنجی[1] (۳۷، ۳۸)، کلراید به‌وسیله تیتراسیون پتانسیومتریک با محلول نیترات‌نقره (۳۹، ۴۰)، کلسیم و منیزیم آب به روش تیتراسیون کمپلکسومتری با EDTA[2] (۴۱ و ۴۲)، نیترات با روش احیای نیترات به نیتریت توسط سولفات‌هیدرازین (۴۳، ۴۴)، انجام شد. در ادامه به‌منظور طبقه‌بندی آب منطقه از نظر شرب از نمودار شولر[3] (۲۶، ۴۵) و برای مصرف کشاورزی از نمودار ویلکاکس[4] (۴۶، ۴۷) استفاده شد. به‌منظور بررسی کیفیت پساب تصفیه‌خانه و آب زیرزمینی متاثر از این پساب در چاه‌های آب در پایین‌دست، از تعداد ۱۵ چاه در منطقه (در بالادست و پایین‌دست تصفیه‌خانه) باتوجه به شرایط دسترسی به چاه‌ها، موقعیت چاه‌ها، امکانات، زمان و هزینه، در یک دوره ۲ ماهه در سال ۱۴۰۰ به‌صورت هفتگی یک نمونه برداشت شد. نمونه‌ها بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و اندازه‌گیری‌های مربوط به غلظت عناصر منیزیم، کلسیم، پتاسیم، سدیم، گوگرد، اسکاندیوم، سیلیسیم، استرانسیم، باریم، کروم و وانادیم بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. داده‌های تهیه شده از نمونه‌های برداشت شده از بالادست و پایین‌دست تصفیه‌خانه بروجن به‌منظور بررسی تأثیر این تصفیه‌خانه بر روی انواع عناصر و پارامترهای در نرم‌افزار Excel مرتب و ثبت شدند و در ادامه از نرم‌افزار SPSS به‌منظور انجام تجزیه‌وتحلیل‌های آماری (آزمون t با دو نمونه مستقل) به‌منظور مقایسه میانگین مقایسه دو گروه از داده‌ها با همدیگر استفاده شد (۴۸).

با توجه به این‌که پهنه‌بندی روش مناسبی برای نمایش داده‌های کیفیت آب یا اطلاعاتی مانند روند تغییرات پارامترها در قالب یک نقشه است (۴۹). در ادامه نقشه‌های پهنه‌بندی کیفیت آب (تحلیل‌های آمار مکانی) مربوط به هر یک از عناصر و نقشه‌های زمین‌آماری پارامترهای مورد مطالعه در محیط نرم‌افزاری ArcMap با استفاده از روش درون‌یابی IDW به دلیل این‌که در این روش ارتباط پدیده پیوسته در نقاط اندازگیری نشده، با افزایش فاصله کاهش می‌یابد و هم‌چنین در این مدل از فاصله به‌عنوان وزن متغیر معلوم در پیش‌بینی نقاط اندازگیری نشده، استفاده می‌شود؛ تهیه و ارائه گردیدند (۵۰، ۵۱).

نتایج

به‌منظور بررسی شرایط و ویژگی‌های دشت بروجن–فرادنبه نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع، شیب، جهت شیب و هم‌چنین نقشه‌های کاربری اراضی و زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه تهیه شدند که این نقشه‌ها در شکل (۲) ارائه شده است.

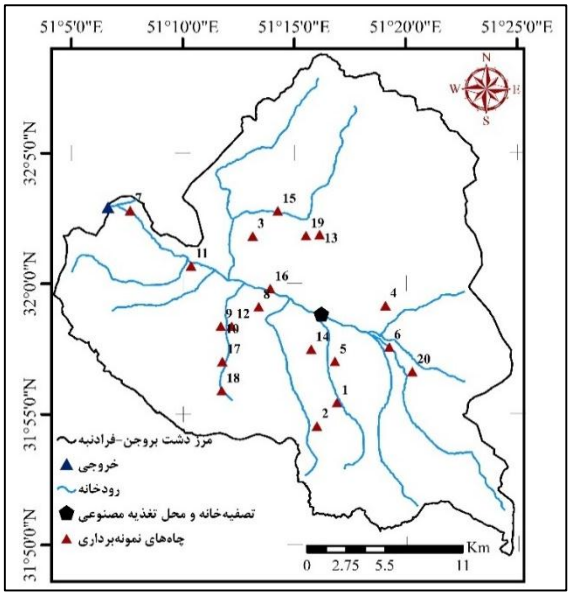
[1]- Nephelometry
[2]- اتیلن‌دی‌آمین‌تترااستیک‌اسید
[3]- Schoeller diagram
[4]- Wilcox diagram



شکل ۲- (الف) نقشه مدل رقومی ارتفاع؛ (ب) نقشه شیب؛ (ج) نقشه جهت شیب؛ (د) نقشه کاربری اراضی و (ه) نقشه زمین‌شناسی دشت بروجن-فرادنبه

با توجه به (شکل ۲-ب) مشخص شد که بیش‌ترین شیب در این محدوده مطالعاتی ۲۹۵ درصد است که در قسمت‌های جنوبی و غربی این دشت واقع می‌باشند. ولی بیش‌تر منطقه دارای شیب کم بوده و هم‌چنین با توجه به نقشه جهت شیب (شکل ۲-ج) در این دشت بیش‌تر شیب‌ها در جهت جنوبی و جنوب‌غربی می‌باشند. بیش‌ترین کاربری اراضی را نیز در این منطقه انواع مرتع (با درجه خوب، متوسط و فقیر) با مساحت ۴۶۱ کیلومترمربع تشکیل می‌دهند (شکل ۳-د). بر اساس نقشه زمین‌شناسی (شکل ۲-ه)، در این منطقه برون‌زد سنگی بیش‌تر سنگ‌های آهکی کرتاسه پیشین و کمی شیل‌های سازند شمشک می‌باشد که به‌صورت برگه‌هایی روی هم رانده شده است (۵۲).

در محدوده مطالعاتی دشت بروجن-فرادنبه از تعداد ۲۰ چاه در کل سطح دشت به‌منظور بررسی کیفیت آب نمونه‌برداری صورت گرفت. در شکل (۳) موقعیت این چاه‌ها در دشت بروجن-فرادنبه و در جدول (۱) مشخصه‌های آماری نتایج آنالیز شیمیایی مؤلفه‌های مختلف آب این چاه‌ها ارائه شده است.



شکل ۳: موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری شده به‌منظور بررسی کیفیت آب دشت بروجن-فرادنبه

جدول ۱- مشخصه‌های آماری نتایج آنالیز شیمیایی مؤلفه‌های مختلف آب چاه‌ها در دشت بروجن-فرادنبه

پارامتر	EC	TDS	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	Cl	SO_4
تعداد نمونه‌ها	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
حداکثر	۷۹۷/۹۳	۵۱۸/۶۴	۸/۲۶	۳/۶۳	۲/۵۳	۲/۴۷	۰/۰۵	۴/۹۳	۰/۰۵	۳/۹۵	۱/۶۱
حداقل	۳۸۸/۷۴	۲۵۲/۶۷	۷/۸۷	۲/۳۲	۰/۶۹	۰/۲۸	۰/۰۲	۲/۵۹	۰	۰/۳۹	۰/۳۷
میانگین	۵۷۶/۹۴	۳۷۵	۸/۰۵	۲/۸۳	۱/۶۷	۱/۲۶	۰/۰۳	۳/۴	۰/۱۳	۱/۳۲	۱/۰۱
انحراف معیار	۱۱۸/۶۳	۷۷/۲۱	۰/۰۸	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۵۶	۰/۰۱	۰/۵۷	۰/۰۲	۰/۸۵	۰/۳۶
ضریب تغییرات	۲۰/۵۶	۲۰/۵۹	۰/۹۹	۱۵/۱۹	۲۵/۷۵	۴۴/۴۴	۳۳/۳۳	۱۶/۷۶	۶۶/۶۷	۶۴/۳۹	۳۵/۶۴
میانه	۵۵۹/۲۵	۳۶۲/۶۳	۸/۰۴	۲/۷	۱/۵۹	۱/۲۸	۰/۰۳	۳/۳۴	۰/۰۴	۱/۲۴	۱
دامنه تغییرات	۴۰۹/۱۹	۲۶۵/۹۷	۰/۳۹	۱/۳۱	۱/۵۷	۲/۱۹	۰/۰۳	۲/۳۴	۰/۰۵	۳/۵۶	۱/۲۴
چولگی	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۷۵	۰/۴۲	۰/۰۹	۱/۴۹	۱/۰۴	-۰/۹۸	۱/۶۵	۰/۱۱
واریانس	۱۴۰۷۴/۲	۵۹۶۱/۹	۰/۰۱	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۳۱	۰	۰/۳۳	۰	۰/۷۲	۰/۱۳
واحد اندازه‌گیری	µmho/cm	mg/l	-	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l

با توجه به جدول (۱) و مشخصه‌های آماری نتایج می‌توان وضعیت حدودی کیفیت آب این مناطق را با مقایسه با استاندارد ذکرشده برای آب آشامیدنی سنجید. در این استاندارد حداکثر مجاز میزان کلسیم (۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، میزان منیزیم (۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، میزان کلر (۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، میزان pH (حداکثر۸/۵-۷)، میزان مجموع جامدات محلول (۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، میزان سختی کل (۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و میزان سولفات (۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) می‌باشد (۵۳).

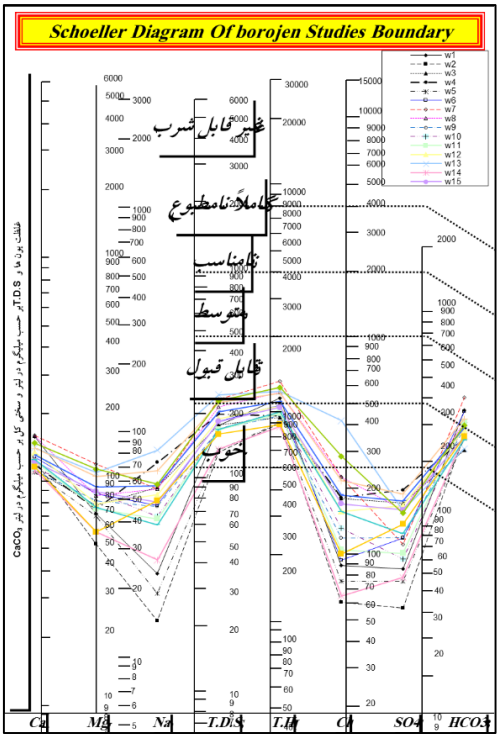
در جدول (۲) مختصات و مشخصات جغرافیایی چاه‌های نمونه‌برداری شده از دشت بروجن-فرادنبه به‌منظور بررسی کیفیت آب این دشت و هم‌چنین نتایج کیفیت آب این چاه‌ها از نظر شرب و کشاورزی ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات جغرافیایی چاه‌های نمونه‌برداری شده به‌منظور بررسی کیفیت آب دشت بروجن-فرادنبه و نتایج کیفیت آب این چاه‌ها از نظر شرب (بر اساس سختی کل) و کشاورزی

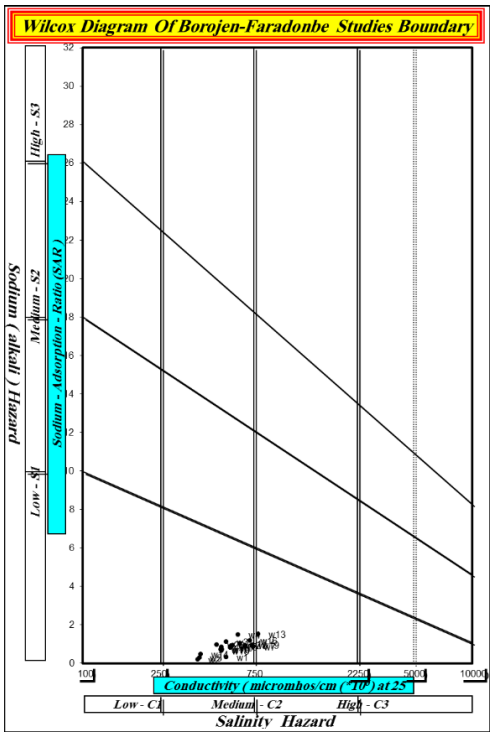
ردیف	نام چاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	طبقه‌بندی کیفیت آب چاه‌های منطقه بر اساس سختی کل		طبقه‌بندی کیفیت آب چاه‌های منطقه برای مصارف کشاورزی			
				سختی کل	کیفیت آب بر اساس سختی کل	SAR	EC	کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی
۱	قنات عطا کله	۵۵´ ۲۶/۱۳۲″ ۳۱°	۵۲/۸۲۳″ ۵۱° ۱۶´	۲۴۸/۲۹	سخت	۰/۳۲	۵۴۴/۰۵	C2-S1	کمی‌شور-مناسب برای کشاورزی
۲	چشمه سیاسرد	۵۴´ ۳۲/۱۰۶″ ۳۱°	۵۸/۸۲۰″ ۵۱° ۱۵´	۱۸۱/۵۲	سخت	۰/۲	۳۸۸/۷۳	C2-S1	کمی‌شور-مناسب برای کشاورزی
۳	چاه قربانعلی محمدخانی	۰۱´ ۴۱/۳۳۵″ ۳۲°	۰۷/۴۵۰″ ۵۱° ۱۳´	۱۹۵/۳۷	سخت	۱/۱	۵۴۶/۴۳	C2-S1	کمی‌شور-مناسب برای کشاورزی
۴	قنات گراب	۵۹´ ۰۸/۷۲۴″ ۳۱°	۰۳/۷۹۰″ ۵۱° ۱۹´	۱۹۹/۱۲	سخت	۱/۴۹	۶۲۶/۰۶	C2-S1	کمی‌شور-مناسب برای کشاورزی
۵	چاه امیرحسین معتمدی	۵۷´ ۰۰/۶۵۷″ ۳۱°	۴۷/۶۲۵″ ۵۱° ۱۶´	۱۸۲/۵۳	سخت	۰/۲۹	۳۹۹/۰۶	C2-S1	کمی‌شور-مناسب برای کشاورزی
۶	قنات حسن‌آباد	۵۷´ ۳۳/۳۴۲″ ۳۱°	۱۳/۷۴۷″ ۵۱° ۱۹´	۲۲۶/۶۴	سخت	۰/۸	۵۷۳/۴۴	C2-S1	کمی‌شور-مناسب برای کشاورزی
۷	چاه بهرام ذوالفقاری	۰۲´ ۴۸/۳۴۳″ ۳۲°	۳۷/۷۴۴″ ۵۱° ۰۷´	۳۰۶/۲۱	کاملاً سخت	۰/۸۵	۷۵۲	C3-S1	شور-قابل استفاده برای کشاورزی
۸	چاه حبیب‌الله موسوی	۵۹´ ۰۶/۵۲۷″ ۳۱°	۲۲/۹۹۲″ ۵۱° ۱۳´	۲۶۶/۱	سخت	۰/۹۱	۶۴۲/۷۲	C2-S1	کمی‌شور-مناسب برای کشاورزی
۹	چاه سیدمرتضی حسینی	۵۸´ ۲۱/۸۰۹″ ۳۱°	۴۱/۱۱۴″ ۵۱° ۱۱´	۱۹۹/۵۵	سخت	۰/۸۴	۵۱۷/۵۵	C2-S1	کمی‌شور-مناسب برای کشاورزی
۱۰	چاه سیدمرتضی حسینی	۵۸´ ۲۱/۹۳۹″ ۳۱°	۴۱/۲۲۶″ ۵۱° ۱۱´	۲۱۰/۴۹	سخت	۰/۷۲	۵۱۹/۵	C2-S1	کمی‌شور-مناسب برای کشاورزی
۱۱	چاه محمد شیرانی	۰۰´ ۴۱/۰۳۰″ ۳۲°	۲۱/۲۸۴″ ۵۱° ۱۰´	۲۰۵	سخت	۰/۷۱	۵۱۳/۲۹	C2-S1	کمی‌شور-مناسب برای کشاورزی
۱۲	چاه محمدعلی اسفندیاری	۵۸´ ۲۱/۷۶۳″ ۳۱°	۱۰/۲۲۴″ ۵۱° ۱۲´	۲۲۵/۱۹	سخت	۰/۹۳	۵۹۰/۹۱	C2-S1	کمی‌شور-مناسب برای کشاورزی
۱۳	چاه محمدعلی ملک‌محمدی	۰۱´ ۵۲/۴۶۵″ ۳۲°	۰۷/۱۴۵″ ۵۱° ۱۶´	۲۶۸/۷۶	سخت	۱/۵	۷۹۷/۹۳	C3-S1	شور-قابل استفاده برای کشاورزی
۱۴	چاه مهدی فیاضی	۵۷´ ۲۸/۸۵۴″ ۳۱°	۴۳/۸۶۳″ ۵۱° ۱۵´	۱۷۴/۰۵	سخت	۰/۴۵	۴۰۴/۱۷	C2-S1	کمی‌شور-مناسب برای کشاورزی
۱۵	قنات ابراهیم‌آباد	۰۲´ ۴۶/۹۲۸″ ۳۲°	۱۴/۶۶۳″ ۵۱° ۱۴´	۲۲۱/۲۶	سخت	۰/۸۵	۵۷۲/۰۸	C2-S1	کمی‌شور-مناسب برای کشاورزی
۱۶	قنات قریه	۵۹´ ۴۸/۴۳۳″ ۳۱°	۵۴/۰۴۰″ ۵۱° ۱۳´	۲۶۳/۵۴	سخت	۱/۱۶	۷۲۳/۸	C2-S1	کمی‌شور-مناسب برای کشاورزی
۱۷	قنات حلوایی	۵۷´ ۰۰/۹۹۶″ ۳۱°	۴۴/۸۲۹″ ۵۱° ۱۱´	۲۳۷/۹۵	سخت	۱/۰۱	۶۴۱/۰۷	C2-S1	کمی‌شور-مناسب برای کشاورزی
۱۸	چشمه حلوایی	۵۵´ ۵۴/۰۹۳″ ۳۱°	۴۳/۱۶۳″ ۵۱° ۱۱´	۲۰۸/۷۷	سخت	۰/۶۵	۵۱۶/۵۹	C2-S1	کمی‌شور-مناسب برای کشاورزی
۱۹	قنات مومن‌آباد	۰۱´ ۵۰/۲۰۳″ ۳۲°	۳۰/۶۹۰″ ۵۱° ۱۵´	۲۸۲/۸	سخت	۰/۹۴	۷۳۹/۸۹	C2-S1	کمی‌شور-مناسب برای کشاورزی
۲۰	چشمه اردوال	۵۶´ ۳۶/۸۰۰″ ۳۱°	۱۵/۳۳۲″ ۵۱° ۲۰´	۱۷۸/۴۴	سخت	۰/۹۶	۴۸۷/۵۷	C2-S1	کمی‌شور-مناسب برای کشاورزی

روش شولر از متداول‌ترین روش‌های تقسیم‌بندی کیفیت آب شرب می‌باشد که بر اساس میزان تغییرات باقی‌مانده خشک، سختی کل، آنیون‌ها و کاتیون‌ها است. بر اساس نتایج دیاگرام شولر برای نمونه آب‌های زیرزمینی دشت بروجن-فرادنبه، ۱۰۰ درصد نمونه‌های آب از نظر SO_4، Cl، Na، pH در کلاس طبقه‌بندی خوب، از نظر TH، ۷۵ درصد نمونه‌ها در کلاس طبقه‌بندی خوب و ۲۵ درصد در طبقه قابل‌قبول و از نظر TDS، ۹۵ درصد در طبقه خوب و ۵ درصد نیز در طبقه قابل قبول از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب در کل محدوده قرار گرفتند. در شکل (۴-الف) دیاگرام شولر آب زیرزمینی دشت بروجن-فرادنبه ارائه شده است. بر این اساس کیفیت نمونه‌های آب از نظر شرب خوب و قابل قبول می‌باشد. با توجه به استاندارد و تقسیم‌بندی آب‌ها از نظر سختی، آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی جزء دو طبقه آب‌های سخت (۱۹چاه) و خیلی‌سخت (۱ چاه) (چاه شماره ۷ دورترین چاه نسبت به تصفیه‌خانه و محل تغذیه مصنوعی) قرار گرفته‌اند.

نمودار ویلکاکس برای تشریح کیفیت آب کشاورزی بر اساس هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم مورد استفاده قرار گرفت و کلاس آب آبیاری برای هر چاه تعیین شد. شکل (۴-ب) دیاگرام ویلکاکس آب زیرزمینی دشت بروجن-فرادنبه را نشان می‌دهد. بر این اساس از تعداد ۲۰ چاه نمونه‌برداری شده، تعداد ۱۸ چاه (۹۰ درصد) کمی‌شور، مناسب برای کشاورزی (c2s1)، تعداد ۲ چاه (۱۰ درصد) کمی‌شور و مناسب برای کشاورزی (c3s1) می‌باشند.



(الف)



(ب)

شکل ٤- (الف) دیاگرام شولر و (ب) دیاگرام ویلکاکس آب زیرزمینی دشت بروجن-فرادنبه

در ادامه به‌منظور ارزیابی کیفیت آب در بالادست و پایین‌دست تصفیه خانه بروجن در پژوهش حاضر و هم‌چنین ارزیابی تأثیر این تصفیه‌خانه در کیفیت آب‌های زیرزمینی این منطقه، تعداد ۱۵ چاه (نمونه) در این دشت و در بالادست و پایین‌دست تصفیه‌خانه بروجن باتوجه به شرایط دسترسی به چاه‌ها، موقعیت چاه‌ها، امکانات، زمان و هزینه؛ انتخاب و نمونه‌های آب از این چاه‌ها برداشت شد. چاه‌های مورد نظر در دو قسمت بالادست تصفیه‌خانه بروجن (چاه‌های شماره ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲) و پایین‌دست تصفیه‌خانه (تعداد ۱۱ چاه) انتخاب و پس از برداشت نمونه اقدام به تجزیه‌وتحلیل‌های آزمایشگاهی نمونه‌های آب برداشت شده و به‌دست آوردن پارامترهای مورد نظر شد. در جدول (۳) موقعیت و مشخصات جغرافیایی این چاه‌ها ارائه شده است.

جدول ۳- موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری شده در دشت بروجن-فرادنبه برای ارزیابی تأثیر پساب تصفیه‌خانه بروجن در آب‌های زیرسطحی

ردیف	نام چاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	موقعیت
۱	چاه کشاورزی عباس‌آباد	″۱۵/۱۳۵ ′۰۱ °۳۲	″۱۱/۳۹۴ ′۱۲ °۵۱	پایین‌دست
۲	چاه آب آشامیدنی فرادنبه	″۵۵/۷۱۰ ′۵۹ °۳۱	″۲۹/۰۱۸ ′۱۲ °۵۱	پایین‌دست
۳	پساب تصفیه‌خانه	″۵۴/۱۹۱ ′۵۸ °۳۱	″۰۶/۰۳۵ ′۱۶ °۵۱	پایین‌دست
۴	تیرچه بلوک علوی (شهرک صنعتی فرادنبه)	″۰۵/۹۲۴ ′۰۰ °۳۲	″۲۴/۹۶۰ ′۱۴ °۵۱	پایین‌دست

۵	چاه کشاورزی نرسیده به دهنو	″۰۲/۹۹۱ ′۰۰ °۳۲	″۴۰/۲۴۳ ′۱۰ °۵۱	پایین‌دست
۶	چاه کشاورزی ترمینال	″۲۴/۵۸۲ ′۰۰ °۳۲	″۰۰/۶۸۵ ′۱۳ °۵۱	پایین‌دست
۷	چاه دامداری طاهری	″۴۹/۳۰۸ ′۵۸ °۳۱	″۵۷/۱۵۴ ′۱۵ °۵۱	پایین‌دست
۸	مزرعه زاعی	″۴۶/۷۰۴ ′۵۹ °۳۱	″۰۸/۸۳۲ ′۱۳ °۵۱	پایین‌دست
۹	مزرعه فیاضی	″۳۰/۷۸۹ ′۵۷ °۳۱	″۱۰/۵۱۹ ′۱۵ °۵۱	بالادست
۱۰	پارک بروجن	″۳۷/۸۰۱ ′۵۷ °۳۱	″۴۸/۰۵۴ ′۱۶ °۵۱	بالادست
۱۱	مرغداری رحیمی	″۵۵/۵۵۷ ′۵۷ °۳۱	″۴۵/۷۱۸ ′۱۵ °۵۱	بالادست
۱۲	چشمه سیاه‌سرد	″۴۶/۴۵۶ ′۵۴ °۳۱	″۱۳/۸۰۲ ′۱۶ °۵۱	بالادست
۱۳	چاه کشاورزی فرادنبه	″۲۸/۹۸۲ ′۰۰ °۳۲	″۵۵/۶۰۸ ′۱۱ °۵۱	پایین‌دست
۱۴	قنات تپه شهدا	″۴۹/۷۲۶ ′۰۰ °۳۲	″۱۴/۱۳۵ ′۱۳ °۵۱	پایین‌دست
۱۵	سردخانه فرادنبه	″۰۵/۸۴۸ ′۰۰ °۳۲	″۳۹/۵۰۲ ′۱۳ °۵۱	پایین‌دست

از نظر عناصر منیزیم، کلسیم، پتاسیم، لیتیم، سدیم، گوگرد، اسکاندیم، سیلسیم، استرانسیم، باریم، کروم و وانادیم چاه‌های مورد مطالعه در دو دسته بالادست تصفیه‌خانه بروجن (۴ چاه، گروه ۲) و پایین‌دست تصفیه‌خانه (۱۱ چاه، گروه ۱) تقسیم‌بندی شدند (شکل ۵ تا ۱۰).

به‌منظور مطالعه وجود اختلاف معنی‌دار بین تمام این عناصر در چاه‌های بالادست و پایین‌دست از آزمون t تست مستقل استفاده شد که در جدول (۴) نتایج این تجزیه‌وتحلیل ارائه شده است.

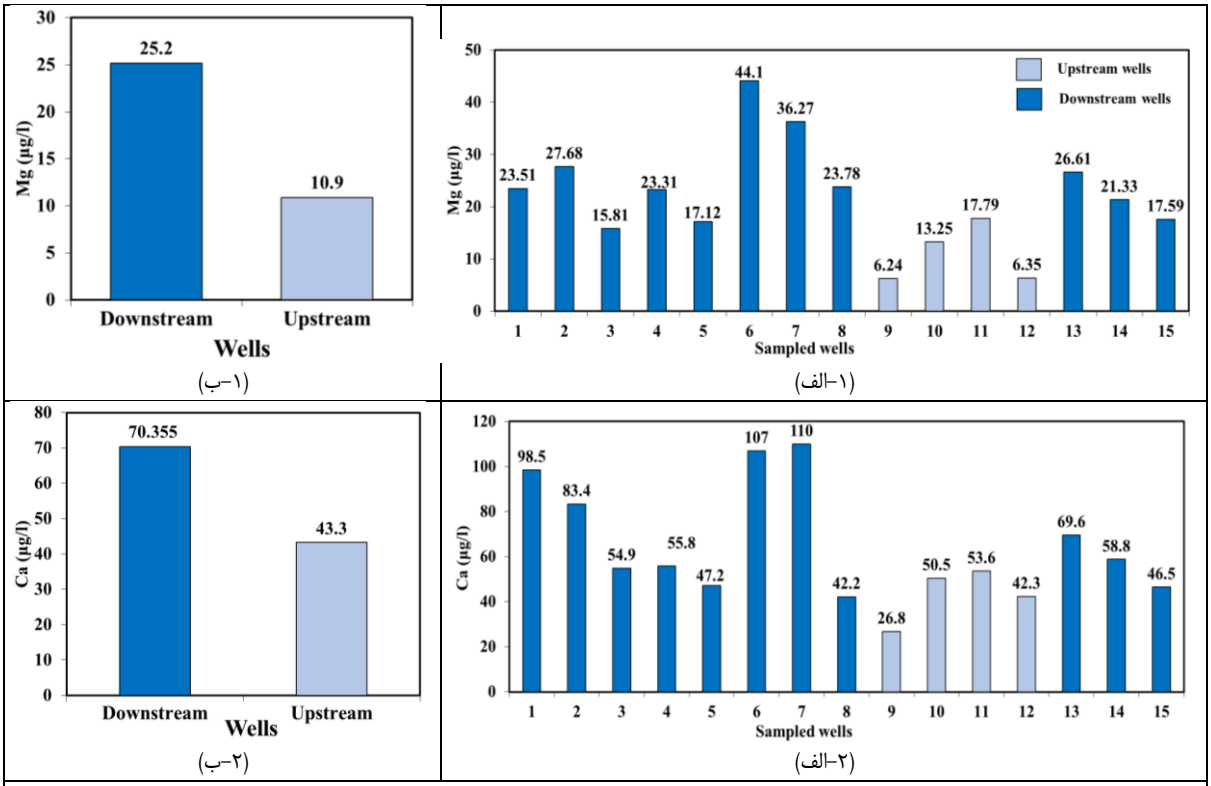
جدول ٤: نتایج تحلیل آزمون t مستقل در چاه‌های بالادست و پایین‌دست تصفیه‌خانه بروجن برای عناصر مورد بررسی

ردیف	متغیر	درجه آزادی	آماره t	P_{Value}
۱	منیزیم	۱۳	۳/۰۸	۰/۰۰۹
۲	کلسیم*	۱۳	۲/۰۳	۰/۰۶
۳	پتاسیم*	۱۳	۱	۰/۳
۴	لیتیم	۱۳	۴/۱	۰/۰
۵	سدیم	۱۳	۴/۱	۰/۰
۶	گوگرد	۱۳	۳/۱	۰/۰
۷	اسکاندیم	۱۳	۲/۹	۰/۰۱
۸	سیلسیم	۱۳	۲/۹۴	۰/۰۱
۹	استرانسیم	۱۳	۲/۸۱	۰/۰۱
۱۰	باریم	۱۰/۶۷۷	۳/۱۵۴	۰/۰۱
۱۱	کروم*	۱۳	۱/۸۴۱	۰/۰۸۹
۱۲	وانادیم	۱۰	۴/۵۳۷	۰/۰۰۱

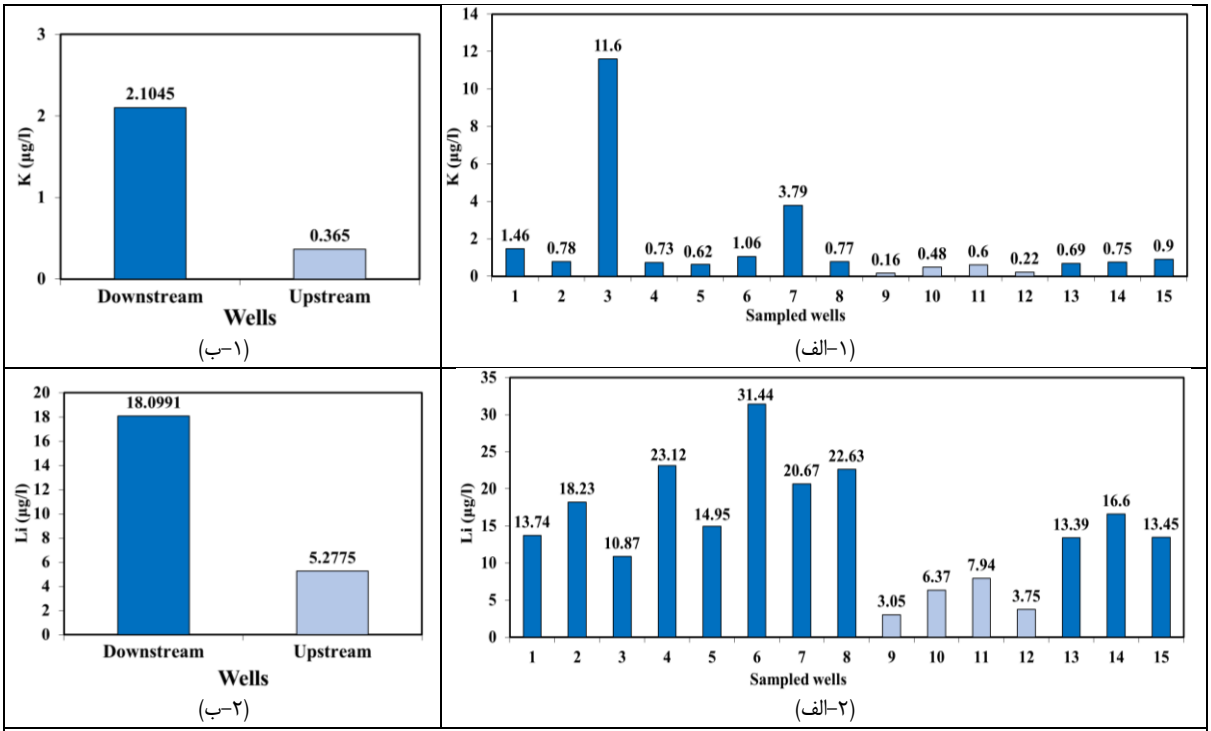
*: عدم وجود معنی‌داری در میانگین‌ها (بین چاه‌های بالادست و پایین‌دست تصفیه‌خانه) از نظر این عنصر اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

با توجه به اطلاعات نتایج این آزمون (جدول ۴)، می‌توان دریافت که بر اساس مقدار sig (۰/۰۵>)، در سطح اطمینان ۹۹ درصد، بین میانگین منیزیم در چاه‌های بالادست (۱۰/۹ میکروگرم در لیتر) و پایین‌دست (۲۵/۲ میکروگرم در لیتر) (شکل ۵ (۱–ب)) تفاوت معنی‌داری وجود دارد.

با توجه به نتایج، میانگین چاه‌های پایین‌دست تصفیه‌خانه بیش‌تر از میانگین چاه‌های بالادست تصفیه‌خانه است. هم‌چنین میزان منیزیم در پساب تصفیه‌خانه ۱۵/۸۱ میکروگرم در لیتر می‌باشد. در چاه‌های بالادست از حداقل ۶/۲۴ (چاه شماره ۹) تا حداکثر ۱۷/۷۹ (چاه شماره ۱۱) میکروگرم در لیتر متغیر است. هم‌چنین اختلاف معنی‌داری در بین چاه‌های بالادست و پایین‌دست تصفیه‌خانه از نظر عنصر کلسیم وجود ندارد (مقدار sig>۰/۰۵). بر اساس یافته‌ها میزان کلسیم در پساب تصفیه‌خانه (چاه شماره ۳) ۵۴/۹ و در پایین‌دست تصفیه‌خانه در چاه (چاه شماره ۷) در بیش‌ترین مقدار خود (۱۱۰/۲۷ میکروگرم در لیتر) است. چاه شماره ۷ از تمام چاه‌های منطقه مقدار بالاتری کلسیم دارد. در چاه‌های بالادست نیز از حداقل ۲۶/۸ (چاه شماره ۹) تا حداکثر ۵۳/۶ میکروگرم در لیتر (چاه شماره ۱۱) متغیر می‌باشد. متوسط کلسیم در چاه‌های پایین‌دست ۷۰/۳۵ میکروگرم در لیتر و در بالادست ۴۳/۳ میکروگرم در لیتر می‌باشد (شکل ۵ (۲–ب)).



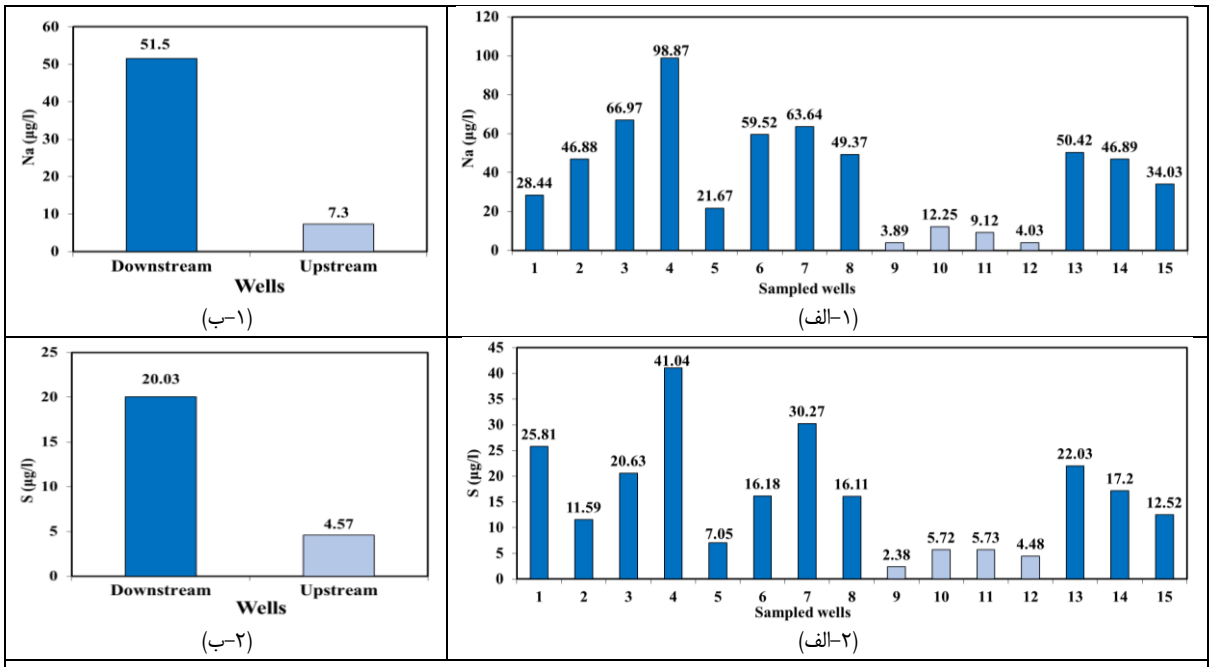
شکل ۵: مقادیر عناصر (۱-الف)، منیزیم؛ (۲-الف)، کلسیم اندازه‌گیری شده (میکروگرم در لیتر) در دو دسته چاه‌های بالادست و پایین‌دست تصفیه‌خانه بروجن در منطقه مورد مطالعه



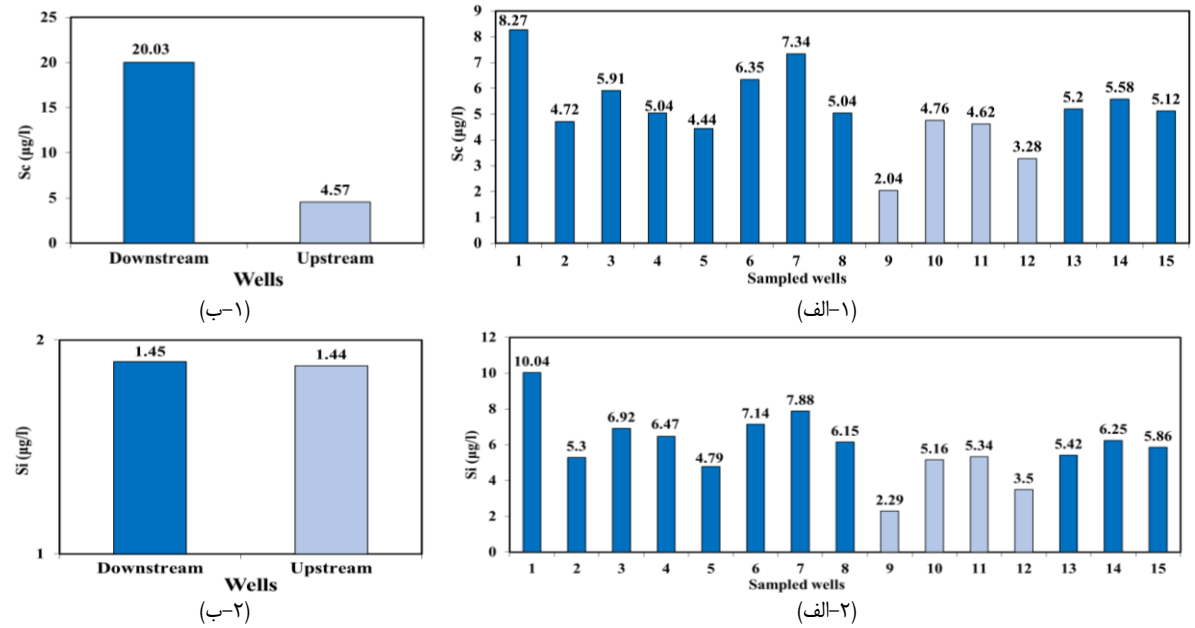
شکل ٦: مقادیر عناصر (۱-الف)، پتاسیم؛ (۲-الف)، لیتیم اندازه‌گیری شده (میکروگرم در لیتر) در دو دسته چاه‌های بالادست و پایین‌دست تصفیه‌خانه بروجن در منطقه مورد مطالعه

در بین چاه‌های بالادست و پایین‌دست از نظر عنصر پتاسیم تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (مقدار sig بالاتر از ۰/۰۵). میزان پتاسیم در پساب تصفیه‌خانه (چاه شماره ۳) ۱۱/۶ و در بین چاه‌های پایین‌دست در چاه شماره ۷ بیش‌ترین مقدار پتاسیم (۳/۷۹ میکروگرم در لیتر) را دارد

که هر دو چاه از تمام چاه‌ها میزان بالاتری عنصر پتاسیم نیز دارند. در چاه‌های بالادست نیز از حداقل ۰/۱۶ (چاه شماره ۹ با کاربری باغ) تا حداکثر ۰/۶ میکروگرم در لیتر (چاه شماره ۱۱، مرغداری) متغیر است. متوسط پتاسیم در چاه‌های پایین‌دست ۱/۲ میکروگرم در لیتر و در بالادست ۰/۳۶ میکروگرم در لیتر می‌باشد (شکل ۶(۱–ب)). بر اساس مقدار sig که کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد میانگین عنصر لیتیم در بین چاه‌های بالادست و پایین‌دست دارای اختلاف معنی‌داری است. میزان لیتیم در پساب تصفیه‌خانه (نمونه شماره ۳) ۱۰/۸ و حداکثر مقدار این عنصر در بین چاه‌های پایین‌دست ۳۱/۴۴ میکروگرم در لیتر (چاه شماره ۶) می‌باشد. در چاه‌های بالادست نیز از مقدار حداقل ۳ (چاه شماره ۹ با کاربری باغ) تا حداکثر ۷/۹۴ میکروگرم در لیتر (چاه شماره ۱۱، مرغداری) متغیر است. متوسط لیتیم در چاه‌های پایین‌دست ۱۸/۱ و در بالادست ۵/۲ میکروگرم در لیتر می‌باشد (شکل ۶ (۲–ب)).



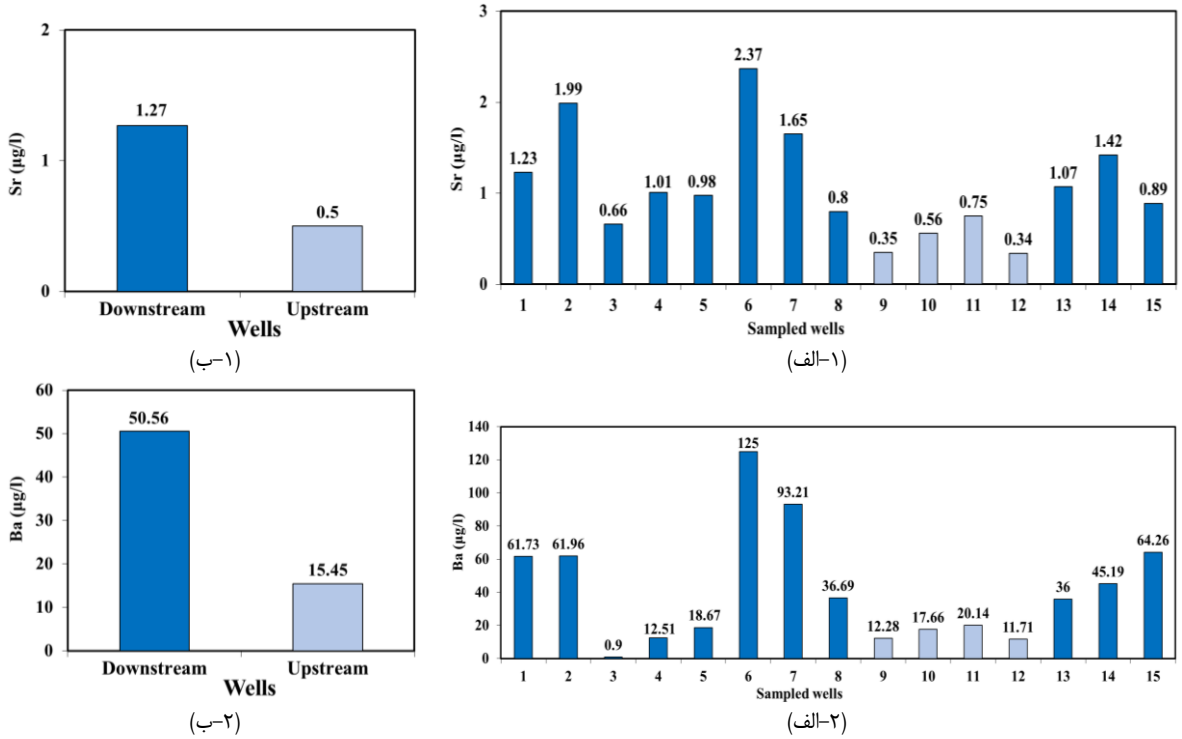
شکل ۷: مقادیر عناصر (۱–الف)، سدیم؛ (۲–الف)، گوگرد اندازه‌گیری شده (میکروگرم در لیتر) در دو دسته چاه‌های بالادست و پایین‌دست تصفیه‌خانه بروجن در منطقه مورد مطالعه



شکل ۸: مقادیر عناصر (۱–الف)، اسکاندیم؛ (۲–الف)، سلسیم اندازه‌گیری شده (میکروگرم در لیتر) در دو دسته چاه‌های بالادست و پایین‌دست تصفیه‌خانه بروجن در منطقه مورد مطالعه

از نظر عنصر سدیم، بر اساس مقدار sig که کم‌تر از ۰/۰۵ می‌باشد، میانگین سدیم در بین چاه‌های بالادست و پایین‌دست تصفیه‌خانه دارای اختلاف معنی‌داری است. میزان سدیم در پساب تصفیه‌خانه (نمونه شماره ۳) ۶۶/۹ و در بیش‌ترین مقدار در بین چاه‌های پایین‌دست تصفیه‌خانه (چاه شماره ۴) ۹۸/۸۷ میکروگرم در لیتر می‌باشد. در چاه‌های بالادست نیز از مقدار حداقل ۳/۸۹ میکروگرم در لیتر (چاه شماره ۹، کاربری باغ) تا مقدار حداکثر ۱۲/۲۵ (چاه شماره ۱۰ با کاربری باغ) متغیر است. متوسط سدیم در چاه‌های پایین‌دست ۵۱/۵ و در بالادست ۷/۳ میکروگرم در لیتر می‌باشد (شکل ۷ (۱-ب)). بر اساس مقدار sig که کم‌تر از ۰/۰۵ می‌باشد (جدول ۴) در سطح اطمینان ۹۹ درصد میانگین عنصر گوگرد در بین چاه‌های بالادست و پایین‌دست دارای تفاوت معنی‌داری است. میزان گوگرد در پساب تصفیه‌خانه (نمونه شماره ۳) ۲۰/۶ و بیش‌ترین مقدار آن در بین چاه‌های پایین‌دست مربوط به چاه شماره ۴ با مقدار ۴۱/۰۴ میکرو گرم در لیتر می‌باشد. در چاه‌های بالادست نیز از حداقل ۲/۳ (چاه شماره ۹ با کاربری باغ) تا حداکثر ۵/۷۳ میکروگرم در لیتر(چاه شماره ۱۱، مرغداری) متغیر است. متوسط پتاسیم در چاه‌های پایین‌دست ۲۰ میکروگرم در لیتر و در بالادست ۵/۴ میکروگرم در لیتر می‌باشد (شکل ۷ (۲-ب)).

با توجه به نتایج آزمون آماری و بر اساس مقدار sig که کم‌تر از ۰/۰۵ می‌باشد در بین چاه‌های بالادست و پایین‌دست تصفیه‌خانه از نظر میانگین عنصر اسکاندیوم تفاوت معنی‌داری وجود دارد. هم‌چنین میزان اسکاندیوم در پساب تصفیه‌خانه (نمونه شماره ۳) ۵/۹ و در بین چاه‌های پایین‌دست بیش‌ترین مقدار آن (چاه شماره ۱) ۸/۲۷ میکروگرم در لیتر می‌باشد. در چاه‌های بالادست نیز از حداقل ۲ (چاه شماره ۹ با کاربری باغ) تا حداکثر ۴/۷ میکروگرم در لیتر (چاه شماره ۱۲ با کاربری باغ) متغیر می‌باشد. متوسط پتاسیم در چاه‌های پایین‌دست ۲۰/۰۳ و در بالادست ۴/۵۷ میکروگرم در لیتر است (شکل ۸ (۱-ب)). از نظر سیلیسیم، میانگین این عنصر در بین چاه‌های بالادست و پایین‌دست تصفیه‌خانه تفاوت معنی‌داری وجود دارد (بر اساس مقدار sig کم‌تر از ۰/۰۵). بر اساس نتایج میزان سیلیسیم در پساب تصفیه‌خانه (نمونه شماره ۳) ۶/۹۲ و در بیش‌ترین مقدار آن در بین چاه‌های پایین‌دست (چاه شماره ۱) ۱۰ میکروگرم در لیتر می‌باشد. در چاه‌های بالادست نیز از حداقل ۲/۳ (چاه شماره ۹ با کاربری باغ) تا حداکثر ۵/۳۴ میکروگرم در لیتر (چاه شماره ۱۱، مرغداری) متغیر است. متوسط سیلیسیم در چاه‌های پایین‌دست ۱/۴۵ و در بالادست ۱/۴۴ میکروگرم در لیتر می‌باشد (شکل ۸ (۲-ب)).



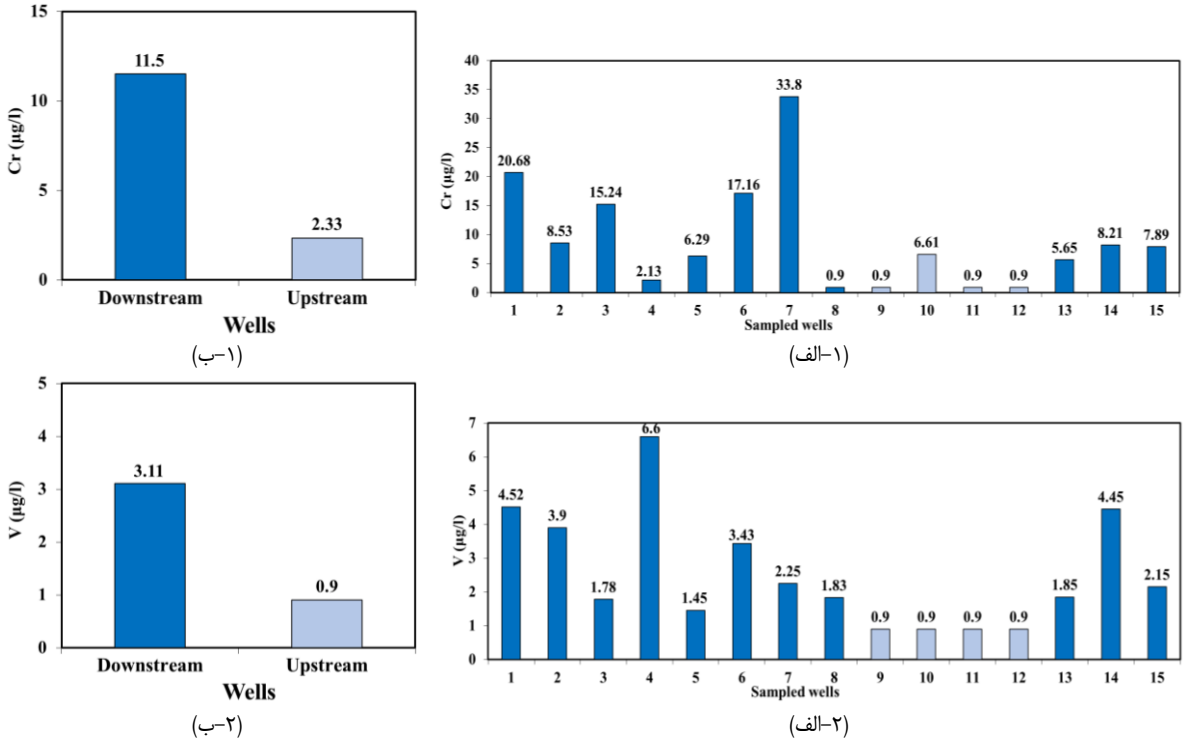
(۱-ب) (۱-الف)

(۲-ب) (۲-الف)

شکل ۹: مقادیر عناصر (۱-الف)، استرانسیم؛ (۲-الف)، باریم اندازه‌گیری شده (میکروگرم در لیتر) در دو دسته چاه‌های بالادست و پایین‌دست تصفیه‌خانه بروجن در منطقه مورد مطالعه

بر اساس مقدار sig که کم‌تر از ۰/۰۵ می‌باشد از نظر عنصر استرانسیم، در بین چاه‌های بالادست و پایین‌دست تفاوت معنی‌داری وجود دارد. میزان استرانسیم در پساب تصفیه‌خانه (نمونه شماره ۳) ۰/۶۶ و در بین چاه‌های پایین‌دست، بیش‌ترین مقدار مربوط به چاه شماره ۶ ۲/۳۷ میکروگرم در لیتر می‌باشد. در چاه‌های بالادست نیز از حداقل ۰/۳۴ (چاه شماره ۱۲ با کاربری باغ) تا حداکثر ۰/۷۵ میکروگرم در لیتر (چاه شماره ۱۱، مرغداری) متغیر است. متوسط مقدار عنصر استرانسیم در چاه‌های پایین‌دست ۱/۲ و در بالادست ۰/۵ میکروگرم در لیتر می‌باشد (شکل۵ (۹-ب)). میانگین عنصر باریم در بین دو گروه چاه‌های بالادست و پایین‌دست تصفیه‌خانه بر اساس نتایج آزمون آماری t مستقل (مقدار sig کم‌تر از ۰/۰۵) دارای تفاوت معنی‌داری بود. هم‌چنین

میزان باریم در پساب تصفیه‌خانه (نمونه شماره ۳) ۰/۹ و بیش‌ترین مقدار خود را در بین چاه‌های پایین‌دست تصفیه‌خانه در چاه شماره ۶ (۱۲۵ میکروگرم در لیتر)، در محدوده زراعت واقع در وسط شهر فرادنبه دارد. در چاه‌های بالادست نیز از حداقل مقدار (۱۱/۷۱ میکروگرم بر لیتر) در چاه شماره ۱۲ با کاربری باغ تا مقدار حداکثر (۲۰/۱۴ میکروگرم در لیتر) در چاه شماره ۱۱، مرغداری) متغیر است. متوسط مقدار عنصر باریم در چاه‌های پایین‌دست تصفیه‌خانه بروجن ۵۰/۵۶ و در بالادست آن ۱۵/۴۵ میکروگرم در لیتر می‌باشد (شکل ۵ (۱۰-ب)).



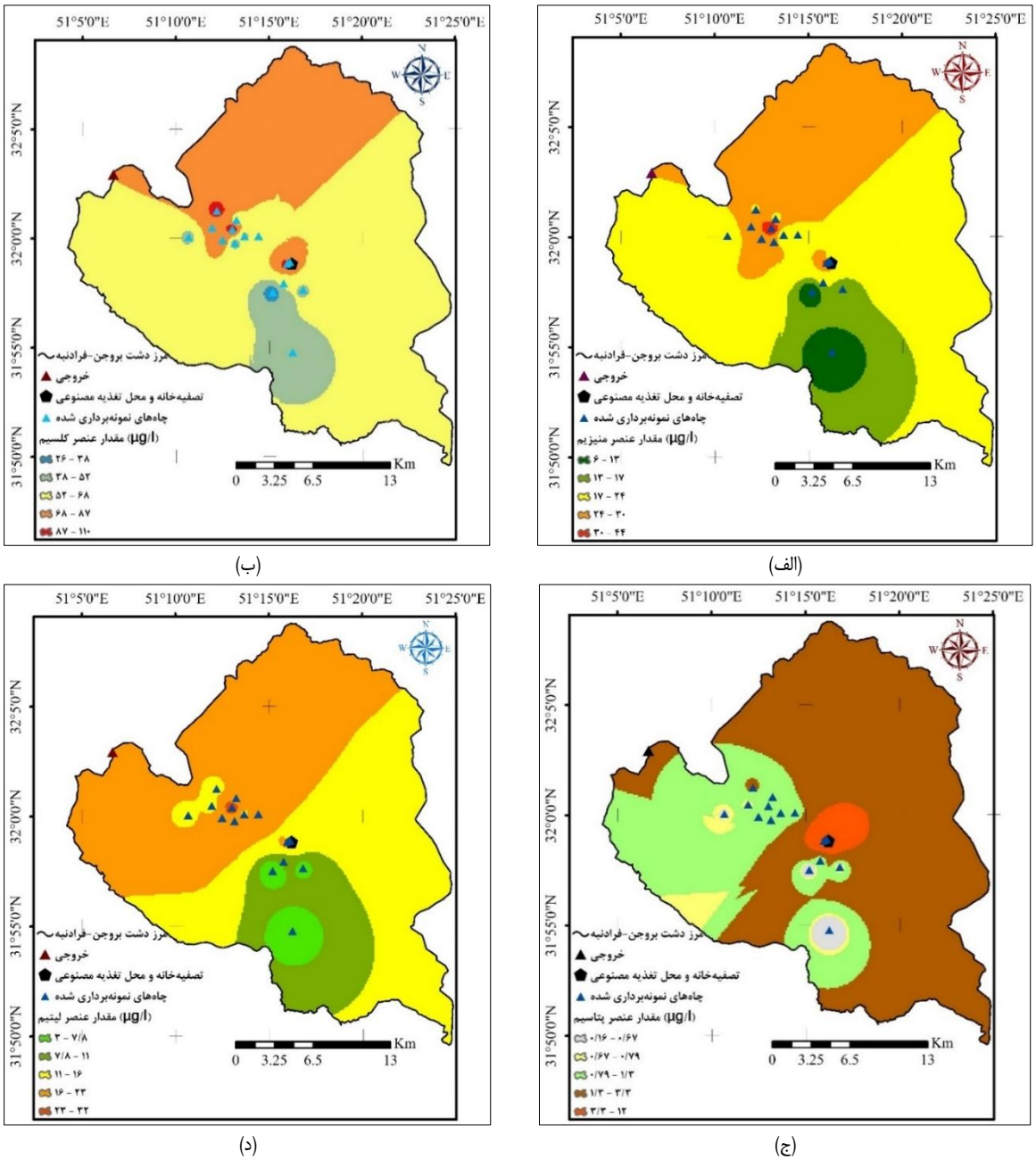
(۱-الف) (۱-ب)

(۲-الف) (۲-ب)

شکل ۱۰: مقادیر عناصر (۱-الف)، کروم؛ (۲-الف)، وانادیم اندازه‌گیری شده (میکروگرم در لیتر) در دو دسته چاه‌های بالادست و پایین‌دست تصفیه‌خانه بروجن در منطقه مورد مطالعه

از نظر عنصر کروم و بر اساس مقدار sig بالاتر از ۰/۰۵، در بین چاه‌های بالادست و پایین‌دست این تصفیه‌خانه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. میزان کروم در پساب تصفیه‌خانه (نمونه شماره ۳) ۱۵/۲۴ و در بین چاه‌های پایین‌دست در چاه شماره ۷ با مقدار ۳۳/۸ میکروگرم در لیتر در حداکثر مقدار خود می‌باشد که هر دو چاه از بیش‌تر چاه‌ها میزان بالاتری نیز دارند. در چاه‌های بالادست نیز مقدار این عنصر از حداقل ۰/۹ (چاه‌های شماره ۹ با کاربری باغ، ۱۱ و ۱۲) تا حداکثر ۶/۶۱ میکروگرم در لیتر (چاه شماره ۱۰، پارک بروجن) متغیر است. متوسط کروم در چاه‌های پایین‌دست ۱۱/۵ میکروگرم در لیتر و در بالادست ۲/۳۳ میکروگرم در لیتر می‌باشد (شکل ۱۰ (۱-ب)). با توجه به نتایج آزمون آماری t مستقل و بر اساس مقدار sig کم‌تر از ۰/۰۵، میانگین عنصر وانادیم بین چاه‌های بالادست و پایین‌دست تصفیه خانه دارای تفاوت معنی‌داری از نظر آماری بود. هم‌چنین میزان وانادیم در پساب تصفیه‌خانه (نمونه شماره ۳) ۱/۷۸ می‌باشد. در تمام چاه‌های بالادست در حداقل مقدار ۰/۹ (چاه‌های شماره ۹، ۱۰، ۱۱ و۱۲) می‌باشد. حداکثر مقدار وانادیم در چاه شماره ۴ با میزان ۶/۶ میکروگرم در لیتر که در محدوده شهرک صنعتی فرادنبه قرار دارد، می‌باشد. متوسط وانادیم در چاه‌های پایین‌دست ۳/۱۱ و در بالادست ۰/۹ میکروگرم در لیتر می‌باشد (شکل ۱۰ (۲-ب)).

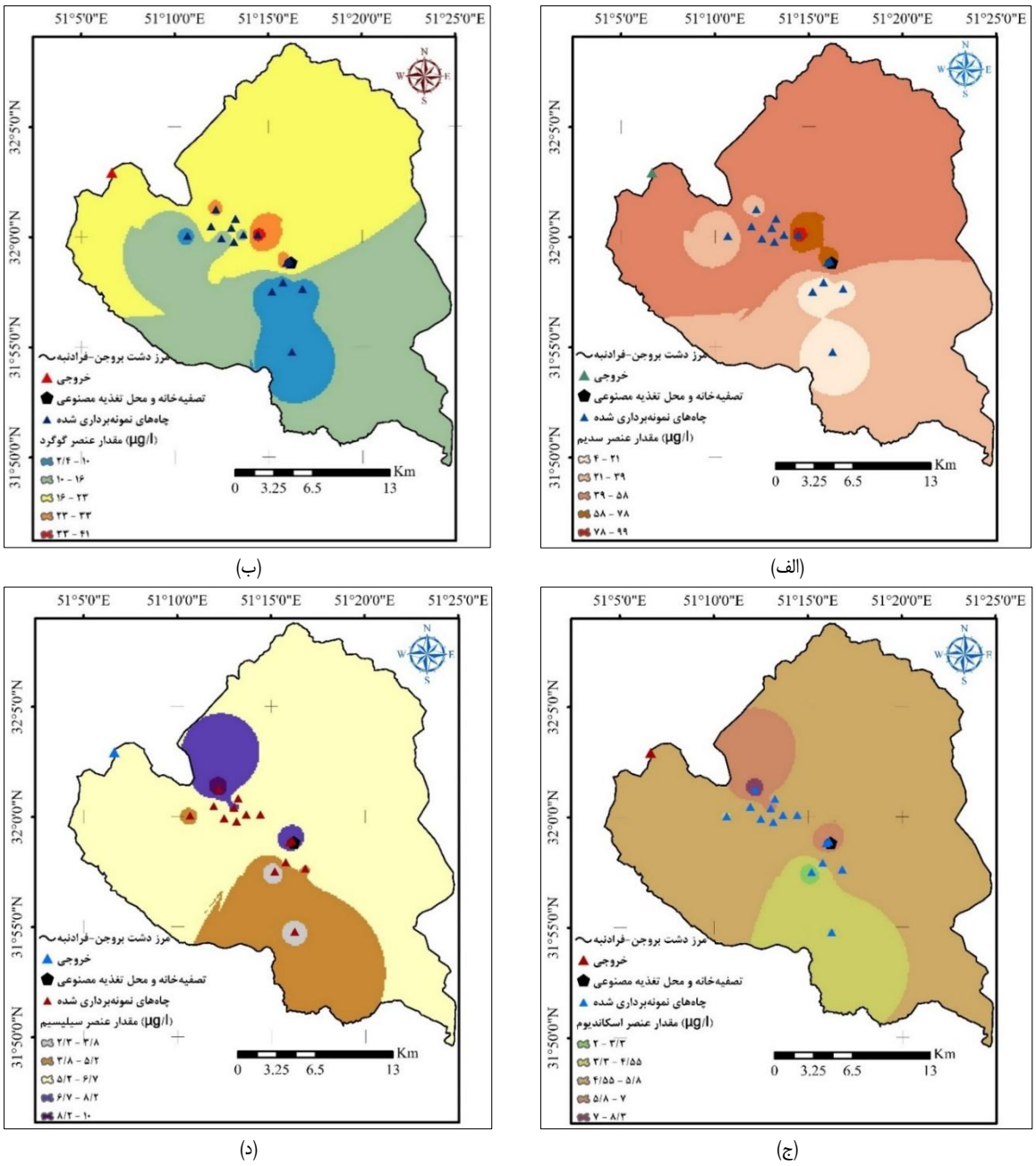
نتایج پهنه‌بندی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی دشت بروجن-فرادنبه بر اساس عناصر منیزیم، کلسیم، پتاسیم، لیتیم، سدیم، گوگرد، اسکاندیم، سیلسیم، استرانسیم، باریم، کروم و وانادیم با استفاده از روش درون‌یابی IDW در مجموعه شکل (۱۱) ارائه شده است.



شکل ۱۱- نقشه پهنه‌بندی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی (عناصر شیمیایی) دشت بروجن-فرادنبه: (الف) منیزیم؛ (ب) کلسیم؛ (ج) پتاسیم؛ (د) لیتیم.

با توجه به شکل (۱۱-الف) در دشت بروجن-فرادنبه، عنصر منیزیم در آب زیرزمینی این منطقه از جنوب به شمال دشت افزایش می‌یابد. بنابراین در شمال دشت آب زیرزمینی از کیفیت نامناسبی برخوردار است اما در جنوب دشت کیفیت آب بهتر می‌باشد. بیش‌ترین مقدار منیزیم نیز در شهر فرادنبه واقع در بخش میانی دشت به میزان ۴۴ میکروگرم در لیتر مشاهده می‌شود. بر اساس شکل (۱۱-ب) مشخص شد که مقدار عنصر کلسیم در بخش‌های جنوبی دشت کم‌تر، در بخش‌های میانی در مقدار متوسط و در بخش‌های شمالی مقدار آن بیش‌تر می‌باشد. بنابراین آب در بخش جنوبی دشت نسبت به بخش بالادست از کیفیت بالاتری برخوردار می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه پتاسیم در قسمت شرقی دشت وضعیت بهتری نسبت به قسمت غربی آن دارد و مقدار این عنصر در قسمت‌های شرقی کم‌تر می‌باشد و حداکثر مقدار آن نیز در پساب خروجی تصفیه فاضلاب و هم‌چنین چاه نزدیک به آن می‌باشد که این مورد در شکل (۱۱-ج) قابل مشاهده می‌باشد. با توجه به شکل (۱۱-د) در دشت لیتیم بروجن-فرادنبه مقدار عنصر در بالادست تصفیه‌خانه و در قسمت‌های جنوبی دشت از کم‌ترین میزان و در نمونه شماره ۶ واقع در شهر فرادنبه دارای حداکثر مقدار خود می‌باشد و از سمت جنوب به سمت شمال دشت بر مقدار آن افزوده می‌شود و روند افزایشی را نشان می‌دهد که علت افزایش لیتیم همانند کلسیم و منیزیم می‌تواند

مربوط به شیب جنوبی- شمالی دشت بروجن-فرادنبه باشد که طی جریاناتی باعث انتقال املاح و تجمع آن در شمال دشت شده است.



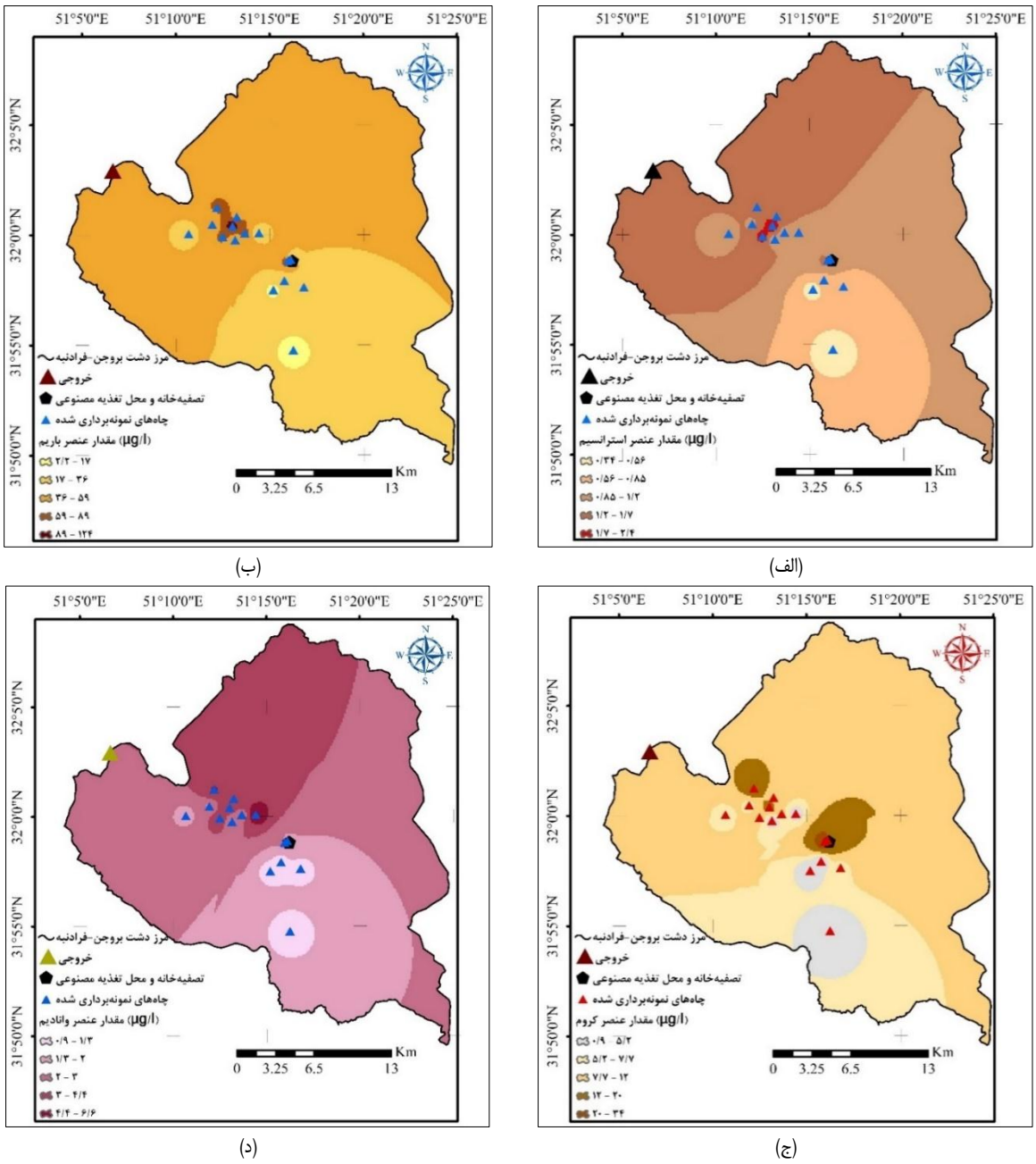
(الف) (ب)

(ج) (د)

شکل ۱۲- نقشه پهنه‌بندی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی (عناصر شیمیایی) دشت بروجن-فرادنبه: (الف) سدیم؛ (ب) گوگرد؛ (ج) اسکاندیوم و (د) سیلیسیم

بر اساس شکل (۱۲-الف) مشخص می‌شود که سدیم در قسمت‌های جنوبی که منطقه کوهستانی و کاربری آن از نوع مرتع می‌باشد، از کم‌ترین میزان و در نمونه شماره ۴ که در شهرک صنعتی فرادنبه قرار دارد در حداکثر خود می‌باشد و در نزدیکی تصفیه‌خانه (مرکز دشت) نیز این مقدار قابل توجه می‌باشد. در شکل (۱۲-ب) که پهنه‌بندی عنصر گوگرد در آب زیرزمینی دشت بروجن-فرادنبه ارائه شده است، گوگرد در قسمت‌های جنوبی که به‌صورت کوهستانی و کاربری مرتع می‌باشد از کم‌ترین مقدار و در محل تصفیه‌خانه (مرکز دشت) و هم‌چنین در محل نمونه شماره ۴ که در شهرک صنعتی می‌باشد در حداکثر خود قرار دارد. نقشه پهنه‌بندی عنصر اسکاندیوم (شکل ۱۲-ج)، نشان می‌دهد که عنصر اسکاندیوم نیز در قسمت‌های جنوبی دشت از کم‌ترین میزان و در قسمت تصفیه‌خانه (بخش مرکزی دشت) و محل نمونه شماره ۱ با کاربری زراعت از بالاترین میزان خود برخوردار می‌باشد. با توجه به شکل (۱۲-د) مشخص می‌گردد که در این دشت عنصر سیلیسیم در بخش مرکزی در محل تصفیه فاضلاب و در نمونه شماره ۱ که کاربری

زراعت دارد در حداکثر مقدار خود و در قسمت‌های کوهستانی جنوبی دشت با کاربری مرتع دارای کم‌ترین مقدار خود است.



(الف) (ب)

(ج) (د)

شکل ۱۳- نقشه پهنه‌بندی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی (عناصر شیمیایی) دشت بروجن–فرادنبه: (الف) استرانسیم؛ (ب) باریم؛ (ه) کروم و (د) واناديم

بر اساس شکل (۶–ن) در این منطقه مقدار عنصر استرانسیم از سمت جنوب به شمال افزایش می‌یابد و در نمونه‌های شماره ۶ (مرکز شهر فرادنبه) و ۲ به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در پایین‌دست تصفیه‌خانه نیز عنصر استرانسیم به مقدار ۱/۶۵ میکروگرم در لیتر می‌رسد. در نمونه‌های شماره ۹ و ۱۲ که کاربری باغ می‌باشد و در بالادست شهر بروجن و جنوب حوضه در ارتفاعات به حداقل مقدار خود می‌رسد. پهنه‌بندی عنصر باریوم آب زیرزمینی دشت بروجن–فرادنبه (شکل ۶–و) نشان داد که، در این دشت مقدار عنصر باریم از سمت جنوب به شمال افزایش یافته و در نمونه‌های شماره ۶ (مرکز شهر فرادنبه) به حداکثر مقدار خود به میزان ۱۲۵ میکروگرم در لیتر می‌رسد و در مناطق بالادست تصفیه‌خانه و شهر بروجن دارای مقدار حداقل می‌باشد. نتایج پهنه‌بندی عنصر کروم در آب زیرزمینی دشت بروجن–فرادنبه با روش دورن‌یابی IDW (شکل ۶–ه) نشان داد که در این دشت عنصر کروم از سمت جنوب به سمت بخش‌های شمال دشت افزایش می‌یابد و در نمونه زیر تصفیه‌خانه در حداکثر خود به میزان ۳۳/۸ میکروگرم در لیتر می‌رسد. در نمونه‌های شماره ۹ و ۱۲ که دارای کاربری باغ است در

حداقل خود می‌باشد و با حرکت به سمت خروجی حوزه، در اراضی دشتی مقدار آن افزایش می‌یابد. با توجه به شکل (۶-ی) مشخص شد که در این منطقه وانادیم از بخش جنوبی دشت به سمت بخش شمالی دشت افزایش می‌یابد و در نمونه‌های شماره ۴ (شهرک صنعتی فرادنبه) به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در پایین‌دست تصفیه‌خانه نیز عنصر وانادیوم به مقدار ۱/۷۸ میکروگرم در لیتر می‌رسد. در نمونه‌های شماره ۹ و ۱۲ که دارای کاربری باغ می‌باشد و هم‌چنین در بالادست شهر بروجن و جنوب حوزه در ارتفاعات دارای حداقل مقدار خود است.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی و استفاده وسیع از این منابع برای بخش‌های مختلف، به‌منظور جلوگیری از آسیب رسیدن به این منابع هم از لحاظ کمی و هم از نظر کیفی نیاز است توجه به منابع آب نامتعارف مثل پساب‌ها و فاضلاب‌ها افزایش یابد. استفاده از پساب‌ها و فاضلاب‌های تصفیه شده برای تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و جلوگیری از تخلیه مستقیم آلاینده‌ها به آب‌های سطحی و زیرزمینی مفید می‌باشد (۵۴). به همین دلیل در بسیاری از کشورها برنامه‌هایی برای جایگزین کردن منابع آبی از دست رفته با استفاده از این منابع آب نامتعارف در حال اجرا می‌باشد. با توجه به حجم قابل توجه این پساب‌ها می‌شود به‌منظور تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی، بخش کشاورزی، صنعت از این منابع استفاده نمود و با مدیریت، کنترل، نظارت و پایش مداوم، مستمر و صحیح از ورود آسیب‌های جدی به محیط زیست جلوگیری کرد (۵۵). بر همین اساس پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر کیفی استفاده از پساب تصفیه خانه بروجن بر منابع آب زیرزمینی دشت بروجن-فرادنبه انجام شد.

بر اساس نتایج آنالیزهای شیمیایی مؤلفه‌های مختلف آب در نمونه‌های برداشت شده از چاه‌های سطح دشت، آب این منطقه از نظر کیفیت دارای کیفیت قابل قبولی می‌باشد و تمام پارامترهای مورد بررسی مقداری کم‌تر از حداکثر مقدار مجاز این پارامترها بر اساس استانداردهای ذکر شده برای مصارف مختلف (۵۳) دارند که این نتیجه با یافته‌های افروزی و محمدزاده (۵۶) مبنی بر آسیب‌پذیری کم دشت بروجن-فرادنبه، هم‌راستا می‌باشد. بر اساس نتایج نمودارهای شولر و ویلکاکس بخش زیادی از آب منطقه دارای کیفیت خوب و قابل قبولی برای مصارف شرب و کشاورزی می باشد اما در عین حال به‌صورت پراکنده در برخی نقاط نیز کیفیت آب از نظر سختی و شوری اندکی نامناسب می‌باشد که این یافته‌ها با نتایج افروزی و محمدزاده (۵۶)، مهدوی (۳)، اسفندیاری و همکاران (۵۷) و کریمی (۳۶) هم راستا بوده و همخوانی دارد.

با توجه به نتایج آزمون آماری t مستقل نمونه‌های بالادست و پایین‌دست تصفیه‌خانه بروجن، یافته‌ها نشان داد که تصفیه‌خانه مذکور سبب افزایش غلظت عناصر منیزیم، کلسیم، پتاسیم، لیتیم، سدیم، گوگرد، اسکاندیوم، سیلیسیم، استرانسیم، باریم، کروم و وانادیم در پایین‌دست تصفیه‌خانه شده است. به‌طوری که این افزایش در محدوده‌های نزدیک به تصفیه‌خانه بیش‌تر از سایر مناطق می‌باشد. اما این افزایش نیز در محدوده مقادیر استاندارد تعیین شده برای مصارف کشاورزی و آبیاری قرار دارد (۵۸، ۵۳). مقدار این عناصر در منطقه مورد مطالعه در محدوده استاندارد قرار داشته و سبب بروز مسائلی از این جهت نشده است اما توجه و پایش مستمر آن به‌دلیل تأثیرات مضر احتمالی آن در درازمدت لازم و ضروری می‌باشد. که این نتیجه با یافته‌های جعفرزاده‌حقیقی (۵۹) و کریمی (۳۶) هم راستا بوده و همخوانی دارد ولی با مطالعات کلباسی و موسوی (۶۰)، کریمی و همکاران (۶۱) و Farjood and Amin (۶۲) همخوانی ندارد. البته باید توجه نمود که فقط عناصر پساب خروجی از تصفیه‌خانه نمی‌تواند دلیل محکمی بر افزایش مقدار یک عنصر یا عناصر در منطقه باشد و آن‌ها را تحت تأثیر خود قرار دهد بلکه در بسیاری از موارد و مناطق افزایش برخی از عناصر می‌تواند ناشی از تغییر کاربری‌های ناصحیح، وجود برخی کانی ها و مواد شیمیایی در آن منطقه فعالیت‌های ناصحیح انسانی و غیره نیز باشد (۶۳ و ۶۴).

بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی شده عناصر مختلف نمونه‌های آب دشت بروجن-فرادنبه مشخص گردید که، مقادیر غلظت عناصر مورد بررسی در بخش‌های بالادست این دشت (قسمت‌های جنوبی دشت) کم‌تر از قسمت‌های پایین‌دست (شمال دشت) است. بنابراین مقدار کیفیت آب نیز در بخش‌های شمالی دشت پایین‌تر از بخش‌های جنوبی و بالادست دشت بروجن-فرادنبه می‌باشد. عوامل مختلفی مثل: ورود پساب از تصفیه‌خانه بروجن (۳۶)، همراه با سایر عوامل طبیعی مثل وجود سازنده‌هایی همانند سازندهای آهکی که همواره دارای مقداری منیزیم بوده و می‌تواند سبب شود تا مقدار این عنصر در این بخش‌ها بیش‌تر از سایر بخش‌های دشت باشد (۶۴، ۳۶) یا وجود سنگ‌های کنگلومرا و ماسه‌سنگ که دارای ترکیبات کلسیمی و دولومیتی هستند نیز می‌تواند از دلایل دیگر بیش‌تر بودن مقدار کلسیم در بخش‌های شمالی دشت باشد (۶۴). وجود کانی‌هایی مثل: فلدسپات‌ها، میکاها، کانی‌های رسی، کانی‌های تبخیری (همانند سیلویت، هالیت)، کودهای پتاسیک (۶۳، ۶۴) نیز می‌تواند از سایر دلایل بیش‌تر بودن مقدار پتاسیم و سدیم در بخش‌های شمالی دشت بروجن-فرادنبه محسوب شوند. علاوه بر موارد بیان شده وجود جهت جریان آب زیرزمینی از بخش‌های جنوبی به سمت بخش‌های شمالی دشت (۶۵) و با توجه به این امر جهت حرکت آلاینده‌ها نیز هم جهت با حرکت آب زیرزمینی بوده و همین امر سبب می‌شود که کیفیت آب در بخش‌های شمالی پایین‌تر از بخش‌های جنوبی دشت باشد و مناطق شمالی دشت پتانسیل لازم برای آلودگی را داشته باشند و آسیب‌پذیری آن‌ها نیز نسبت به آلودگی‌ها بیش‌تر باشد.

در استفاده از پساب برای تغذیه آبخوان توجه به کیفیت آب، به ویژه ترکیبات محلول از جمله نیترات و سموم از اهمیت خاصی برخوردار است. این ترکیبات به واسطه حلالیت در آب قادر به نفوذ به آبخوان و تهدید کیفی آن می‌باشند. از بین منابع اصلی پساب‌ها و فاضلاب‌های تصفیه شده خانگی برای تغذیه مصنوعی به‌ویژه در فصول غیر زراعی مقدور بوده و در این زمینه، توجه به غلظت عناصر مغذی و مواد آلی محلول از ملاحظات و محدودیت‌های مهم می‌باشد. در زمینه زه آب‌های کشاورزی مهم‌ترین عامل محدودیت زا، هدایت الکتریکی بالا، وجود سموم و علف‌کش‌ها و در درجه بعدی عناصر مغذی می‌باشد. به همین دلیل استفاده از این منابع برای تغذیه مصنوعی در اولویت نبوده

و در صورت الزام در استفاده، ملاحظات زیست محیطی شدید و پایش کیفی آبخوان از نظر عناصر مغذی، هدایت الکتریکی و سموم ضروری است. فاضلاب‌های صنعتی با توجه به دارا بودن فلزات سنگین، ترکیبات شیمیایی آلی و معدنی، در صورت استفاده در تغذیه مصنوعی باعث عوارض زیست محیطی از جمله تجمع فلزات در خاک و آلودگی آبخوان خواهند بود. در این زمینه تنها استفاده از فاضلاب صنایع فاقد آلاینده‌های فلزی، مواد شیمیایی آلی و معدنی محلول و غیره امکان‌پذیر است.

پیشنهادها

با توجه به نتایج به دست آمده لزوم توجه به تصفیه پساب‌ها تا حد رسیدن به استانداردهای موردنظر سازمان‌های ذی‌صلاح و اعمال محدودیت‌های بیش‌تر و محافظت و اقدامات کنترلی در زمینه جلوگیری از بالارفتن مقادیر از حدود استاندارد ضرورت دارد. لذا پایش مداوم و کنترل پساب خروجی تصفیه‌خانه شهر بروجن برای پیشگیری از وقوع برخی مشکلات محیط زیستی در برنامه‌های استفاده از این پساب‌ها در بخش‌های مختلف باید مد نظر قرار گیرد. هم‌چنین با توجه به اهمیت تغذیه مصنوعی آبخوان این دشت و لزوم بالا بردن ظرفیت آن استفاده از این پساب به‌منظور تقویت و تغذیه این آبخوان به‌عنوان روشی ساده و قابل اجرا می‌تواند در این منطقه مفید باشد.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: علی طالبی، محمد تقی قانعیان؛
روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: مجید کریمی، ابراهیم عسگری؛
نگارش نهایی: ابراهیم عسگری.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است

References

1. Xia, J., and Zhang, Y. 2008. Water security in north China and countermeasure to climate change and human activity. Physics and Chemistry of the Earth, 33(5): 359-363.
2. Healy, RW., and Scanlon, BR. 2010. Estimating groundwater recharge. Cambridge University Press, 256 p.
3. Mahdavi, M. 2013. Applied hydrology, 2nd., University of Tehran Press, Eighth edition, 437 p. (In Persian).
4. Nadiri, AA., Sadeghfam, S., Gharekhani, M., Khatibi, R., and Akbari, E. 2018. Introducing the risk aggregation problem to aquifers exposed to impacts of anthropogenic and geogenic origins on a modular basis using risk cells. Journal of Environmental Management. 217: 654-667.
5. SolaimaniSardo, M., Vali, A., Ghazavi, R., and SaidiGoraghani, H. 2013. Trend analysis of chemical water quality parameters; Case study Cham Anjir River. Irrigation and Water Engineering. 3(4): 95-105. (In Persian)
6. Rahmati, M., Moradi, H., and Omidipour, R. 2015. Evaluation of spatial and temporal variation ground water level in Kermanshah plain. Irrigation and Water Engineering. 5(2):1-16. (In Persian).
7. JanardhanaRaju, N. 2007. Hydrogeochemical parameters for groundwater quality in the upper Gunjanaeru River basin, Cuddapah District, Andhra paradesh, South India. Environmental Geology, 52: 1067-1074.
8. Komasi, M., and Sharghi, S. 2019. Recognizing factors affecting decline in groundwater level using waveletentropy measure (Case study: Silakhor plain aquifer). Journal of Hydroinformatics, 21(3): 510-522.
9. Chitsazan, M., Eilbeigy, M., and MohammadRezapourTabari, M. 2018. Evaluation of Groundwater Nitrate Pollution Based on Main Components and Factor Analysis (Case Study: Karaj Plain Aquifer). Iranian journal of Ecohydrology, 5(4): 1119-1133. (In Persian).
10. Talebi, A., Elmi, M., RajabiMohammadi, F., and Parvizi, S. 2019. Trend investigation of water quality variations in Zayande-Roud River ruring dry and wet years. Environment and Water Engineering, 4(4): 310-320. (In Persian).
11. Khalaj, M., Kholghi, M., Saghafian, B., Bazrafshan, J. 2019. Investigation about climate change and human activity

effects on groundwater level and groundwater quality in semiarid region. Iran-Water Resources Research. 15(2): 278-290. (In Persian).
12. Kalantari, NO., Sheikhzadeh, A., and Mohammadi, H. 2021. Investigation of groundwater quality in Gotvand Aquifer with emphasis on Nitrate concentration. Iran-Water Resources Research, 17(1): 228-238. (In Persian).
13. Sajil, KPJ., Jegathambal, P., and James, EJ. 2014. Chemometric evaluation of nitrate contamination in the groundwater of a hard rock area in Dharapuram, South India. Applied Water Science, 4: 397-405.
14. Khader, A., and McKee, M. 2014. Use of a relevance vector machine for groundwater quality monitoring network design under uncertainty. Environmental Modelling & Software. 57: 115-126.
15. Simeonov, V., Stratis, JA., Samara, C., Zachariadis, G., Voutsa, D., and Anthemidis, A. 2003. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. Water Research. 37: 4119-4124.
16. Tabatabaeifar, M., Zehtabian, G., Rahimi, M., Khosravi, H., and Nikoo, S. 2014. Investigation of temporal and spatial variation of groundwater quality and quantity in Garmsar Plain. Desert Ecosystem Engineering Journal, 3(4): 91-102. (In Persian)
17. Hassani, A., Setareh, P., Javid, A., and Zinatizadeh, A. 2020. Application Software Aq.QA the Quality of Chemical Characterization of Groundwater Resources (Case study Sonqor, Kermanshah). Journal of Environmental Science and Technology, 22(2): 117-126. (In Persian).
18. Vesali, SA., Rostampour, M., and Behzadi, M. 2009. Importance and application of wastewater in water crisis management, First International Water Crisis Conference, Zabul, 10-12 March 2009, 1-11. (In Persian).
19. HosseinnejadMir, A., Maleki, A., and AlinejadianBidabadi, A. 2018. Effect of different levels of irrigation with treated urban wastewater on soil chemical elements accumulation, Water and Irrigation Management, 8(2): 253-265. (In Persian).
20. Bole, JB., Carefoot, JM., Chang, C., and Oosterveld, M. 1981. Effect of wastewater irrigation and leaching percentage on soil and ground water chemistry, Environmental Quality, 10(2): 177-183.
21. Khanzadeh, S. 2016. Estimation and evaluation of heavy metal pollution (Zinc and Copper) in groundwater of Meshkinshahr plain, M.Sc. Theses, Islamic Azad University of Ardabil. 2016; 121 p. (In Persian).
22. Heidari, A. 2018. Water resources management and sewage recycling, solutions for domestic water supply in arid areas, Case study: Mashhad City, Water and Wastewater Science and Engineering. 3(4): 49-64. (In Persian).
23. HajianNezhad, M., and Rahsepar, AR. 2010. Investigation of the effect of runoff and wastewater of wastewater treatment plant on water quality parameters of Zayandehrood river. Health System Research. 6: 821-828. (In Persian).
24. Lalehzari, R., Tabatabaei, S., Khayat-kholghi, M., Yarali, N., and Saba, A. 2014. Evaluation of scenarios in artificial recharge with treated wastewater on the quantity and quality of the Shahrekord Aquifer. Journal of Environmental Studies. 40(1): 221-236.
25. Rahmani, HR. 2017. Effects of industrial effluents on soil and groundwater quality (A case study of Isfahan Steel Complex). Land Management Journal. 5(2): 152-164. (In Persian).
26. Alizadeh, H., Liaghat, A., and SohrabiMolayouef, T. 2017. Simulating effects of long-term use of wastewater on farmers health using system dynamics modeling (Case study: Varamin Plain). Water and Soil, 31(1): 127-143. (In Persian).
27. Rezaee, H., and Sadat, S. 2019. Wastewater reuse in agriculture: Opportunities, Challenges, and Solutions. Land Management Journal, 6(2): 213-231. (In Persian).
28. ZareiMahmoodabadi, T., SalehiVaziri, A., and Talebi, P. 2018. Feasibility study of reuse of advanced SBR biological

process effluent for artificial groundwater recharge (Case study: Yazd Wastewater Treatment Plant). 7th National Conference on Water Resources Management of Iran, 25-26 April 2018, 1-8. (In Persian).
29. Asano, T., and Cotruvo, JA. 2004. Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations. Water Research. 38(8): 1941-1951.
30. Wang, S., Tang, C., Song, X., Wang, Q., Zhang, Y., and Yuan R. 2014. The impacts of a linear wastewater reservoir on groundwater recharge and geochemical evolution in a semi-arid area of the Lake Baiyangdian watershed, North China Plain. Science of The Total Environment. 482-483: 325-335.
31. Clemens, M., Khurelbaatar, G., Merz, R., Siebert, C., vanAfferden, M., and Rödiger, T. 2019. Groundwater protection under water scarcity; from regional risk assessment to local wastewater treatment solutions in Jordan. Science of The Total Environment, 1-37.
32. Jain, R., Thakur, A., Garg, N., and Devi, P. 2021. Impact of industrial effluents on groundwater. Groundwater Geochemistry. 193-211.
33. Khan, M., ul, H., Shakeel, M., Ahsan, N., Ahmed, S., and Khan, NA. 2021. Groundwater contamination and health risk posed by industrial effluent in NCR region, Materials Today: Proceedings. 124723(1): 1-13.
34. Site of Chaharmahal and Bakhtiari Meteorological Administration. 2022. (http://www.chbmet.ir/br.asp).
35. Site of Chaharmahal and Bakhtiari Regional Water Authority. 2022. (http://www.cbrw.ir/).
36. Karimi M. 2021. Effects of infiltration effluent on Borujen wastewater treatment plant on quantity and quality of groundwater resources in Borujen-Faradonbeh plain, M.Sc. Thesis in Natural Resources Engineering - Watershed Management, Yazd University. 85 p. (In Persian)
37. Iranian National Standardization Organization. 2013a. Water quality-Determination of sulfate ion in water, 1st. Revision, 1-12. (In Persian).
38. ASTM D 516. 2011. Standard Test Method for Sulfate Ion in Water.
39. Iranian National Standardization Organization. 2013b. Water quality-Determination of chloride ion in water, 1st.Revision, 1-23. (In Persian).
40. ASTM D 512. 2012. Standard Test Methods for Chloride Ion in Water, 4p.
41. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 2006. Water quality - Determination of the sum of calcium and mangnesium - EDTA titrimetric method, 1st. Edition. 1-17. (In Persian).
42. ISO 6059. 1984. Water quality-Determination of the sum of Calcium and Magnesium – EDTA titrimetric method.
43. Farshad, AA., and ImanDel, KO. 2002. Nitrate and nitrite content in wells of industrial units in the west of Tehran. School of Health and Institute of Health Research. 1(2): 33-44. (In Persian).
44. AduAgyemang, AB., 2017. Vulnerability assessment of groundwater to NO3 contamination using GIS, DRASTIC model and geostatistical analysis. Electronic Theses and Dissertations, Paper 3264, 99p.
45. Afzali, A., Shahedi, K., Roshan, MHN., Solaimani, K., and Vahabzadeh, G. 2014. Groundwater quality assessment in Haraz Alluvial fan, Iran. International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences, 2: 346.
46. Wilcox, LV. 1948. Classification and use of irrigation waters. U.S. Department of Agriculture, Washington DC, 962p.
47. Rakotondrabe, F., Ngoupayou, J., Mfonka, Z., Rasolomanana, E., NyangonoAbolo, A., Asone, B., AkoAko, A., and Rakotondrabe, M. 2017. Assessment of surface water quality of Bétaré-Oya Gold Mining Area (East-Cameroon). Journal of Water Resource and Protection. 9: 960-984.
48. Habibpour, K., Safari, R. 2015. Comprehensive guide to the use of SPSS in survey research. Looyeh Press. Sixth edition, 866 p. (In Persian).
49. Office of Deputy for Strategic Supervision Department of Technical Affairs. 2013. Instruction for ground

water quality monitoring (No.620). 108 p. (In Persian).
50. Asgari, E., Talebi, A., Tahmasebi, A. 2018. Evaluation of groundwater quality in Tabriz plain in terms of drinking and agriculture. Third National Conference on Semi-Arid Hydrology. 23-24 April, 1-11. (In Persian).
51. Asgari, E., Hosseini, SZ., and Mostafazadeh, R. 2020. Determination of the relationship and spatial variations of discharge and suspended sediment values in watersheds of Ardabil Province. Geography and Development, 18(61): 143-176. (In Persian).
52. Geological Survey of Iran (GSI). 2005. Geological map of Borujen 1:100000 series, (No. 6253), (In Persian).
53. W.H.O. 2006. Guidelines of drinking water quality? First edition to the 3rd pp.
54. Faith, KA., Heather, EG., Kyle, RE., Brittany, A., Tamie, LV., Miller, M., Shannon, J., Hayden, KR., Watson, JE., and Elliott, HA. 2019. Fate of pharmaceuticals in a spray-irrigation system: From wastewater to groundwater. Science of The Total Environment. 654: 197-208.
55. Ahmadi, M., and Behzadi, S. 2016. The Process of Evaluating Magnesium Changes Using Neural Network and Geospatial Information System In the villages of Gonbad city (Golestan province). Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR). 25(99): 29-42. (In Persian).
56. Afroozi, M., and Mohammadzadeh, H. 2013. Evaluation of Brujen-Faradonbeh aquifer vulnerability using DRASTIC method on the basis of nitrate. Iranian Water Researches Journal. 7(1): 219-224. (In Persian).
57. Esfandiari, F., GhorbaniFilabadi, R., NasiriKhiavi, A., and Mostafazadeh, R. 2019. Assessing the accuracy of algebraic and geostatistical techniques to determine the spatial variations of groundwater quality in Boroojen Plain. Journal of Natural Environmental Hazards, 8(20): 115-130. (In Persian).
58. Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision. Environmental Criteria of Treated Waste Water and Return Flow Reuse (No. 535). 2010. 135 p. (In Persian).
59. JafarzadehHaghighi, NO. 1996. The effect of Shiraz wastewater on irrigation of agricultural products on increasing the concentration of heavy metals in soil and some agricultural products. Second National Congress of Water and Soil Issues. 303-310. (In Persian).
60. Kalbasi, M., and Mousavi, SF. 2000. Drainage quality changes of important drains discharged into the Zayandeh River and their effect on this river in a one-year period. Journal of Water and Soil Science. 4(3); 13-27. (In Persian).
61. Karimi, M., Ghatmiri, SH., Sajadi, E., and Ghasempour, M. 2010. Environmental effects of heavy metal elements in the effluent of Shiraz refinery on the soil of the region, Fifth National Conference on Geology and Environment, Islamic Azad University, Islamshahr Branch, 5 October 2010, 1-7. (In Persian).
62. Farjood, MS., and Amin, S. 2001. Ground water contamination by heavy metals in agricultural, Water resources of the Shiraz Area, ICID International Workshop on Wastewater Management, Sep. 19-20, Korea.
63. EshaghiChaleshtori, M. 2014. The effect of effluent on groundwater quality and soil properties (case study: Sefiddasht_ Faradonbeh plain), M.Sc. thesis in Soil Physics and Conservation. Shahrekord University, 125 p. (In Persian).
64. Yazdani, Zh. 2018. Investigation of toxic elements pollution from urban industrial wastewater of Urmia on groundwater. Master Thesis in Geology. Lorestan University, 114 p. (In Persian).
65. ShabanianBorujeni, S., and Nakhaei, M. 2016. Investigation of drought in groundwater resources of Borujen-Faradonbeh plain aquifer, The Second Scientific-Research Congress on the Development and Promotion of Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment of Iran, 5 January 2016, 1-10. (In Persian)