

Research Article

Hydrochemical Study of Surface and Groundwater Resources of Lanjanat Plain

N Makarem¹, M Mozafari^{2*}

Received: January 24, 2023

Accepted: September 17, 2023

Revised: May 30, 2023

Published online: June 21, 2024

1-M.Sc. Student at School of Geology, College of Science, University of Tehran, Iran

2-Assist. Prof., School of Geology, College of Science, University of Tehran, Iran

Abstract

Background and Objectives

Groundwater quality assessment and related hydrochemical characters are critical for water resources management in the arid and semi-arid regions. Water quality is a function of physico-chemical parameters and strongly influenced by geological formations and human activities. The hydrochemical evolution of groundwater mostly depends on the chemistry of the aquifer materials, water and rock interaction and water residence time. Water quality assessment requires knowledge of mineralogy of the surrounding rocks and identification of relevant chemical reactions. Ions in ground water may be of natural source, human origin or a combination of both factors. The Lanjanat is the largest Plain in Isfahan Province and is located in the Gavkhouni Basin where the Zayandehroud River is passing. According to the geological classification of the country, Lanjanat Region is located in the Sanandaj-Sirjan structural zone. The hard rocks exposed in the heights surrounding area include Permian rocks, Jurassic sediments (including dark gray shales with interlayers of sandstone, quartzite, limestone, and volcanic), shale, marl, and Cretaceous limestone, conglomerates, and Paleogene sandstones. The Quaternary sediments exposed in the plain have formed an alluvial aquifer over the impermeable Jurassic shales. The main recharge source of the Lanjanat Aquifer is meteoric water, which decreases from west to east and from south to north of the basin. Lanjanat plain is one of the most fertile agricultural centers in Isfahan Province, which in recent years has faced a quantitative and qualitative crisis of water resources due to the increasing population, development of industries and agriculture and also excessive extraction of groundwater. In this research, an attempt has been made to update the information related to the quality of surface and groundwater and to determine the origin and hydrochemical evolution of the groundwater in the plain.

Methodology

In this research, 13 locations of surface and underground water sources, including rivers, springs, Ghanats, agricultural wells, and fields were selected for sampling. The pH, temperature and electrical conductivity of water were measured in fields. Also, total dissolved solids and major ions concentration were determined in the laboratory. After determining the physicochemical characteristics and concentrations of the main ions of the samples, to understand the relationship between the main hydrochemical variables, a Pearson correlation matrix was provided. Besides, the ion ratio diagrams (including Na^+/Cl^- , $\text{HCO}_3^-/\text{Na}^+$, $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$, $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}/\text{HCO}_3^-+\text{SO}_4^{2-}$, $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$ and $\text{HCO}_3^-/\text{Mg}^{2+}$ ratios) together with the combination charts, and Piper's diagram were used to determine the origin of ions in water sources.



Findings

The results showed that the minimum and maximum concentrations were respectively observed in the river samples and the deep wells located in the central sector of the plain. The range of water electrical conductivity was between 264 5755 μ /cm in the rice field and 5755 μ /cm in the agricultural well. The total dissolved solids were between 271 mg/liter in the river sample and 3889 mg/liter in the agricultural well. The number of dissolved solids was increased by moving from the sides towards the central sector of the plain, as well as by increasing the depth of the wells. The water type of the samples varies from calcium bicarbonate near the carbonate formations to calcium sulfate or sodium chloride in the central sector of the plain. The Pearson correlation matrix showed a very strong positive correlation between the total dissolved solids and electrical conductivity of water and a strong inverse correlation between pH and total dissolved solids and electrical conductivity.

Conclusion

The concentration of the main anions and cations in the surface and underground waters of the region was mostly affected by natural factors, especially the dissolution of carbonate and evaporative minerals. According to the results of the ion ratio diagrams, the origin of the main ions in the water resources of the region was mostly from the dissolution of geological formations, although human activities were effective in some places. Agricultural activity has caused an increase in concentration of some ions by using fertilizers (such as sodium and sulfate). The present research is only based on the results of a sampling period of 13 surface and underground water sources. In order to better understand the hydrochemistry of the plain, it is suggested to carry out monthly sampling during a water year, and at more points. Also, in addition to the main anions and cations, the concentration of nitrate, phosphate and heavy metals should also be measured and analyzed.

Keywords: Correlation matrix, Hydrochemistry, Ion ratios, Lenjanat Plain

مقاله پژوهشی

بررسی هیدروشیمی منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت لنجان

نعیمه مکارم^۱، مرتضی مظفری^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۶

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۵/۰۸

تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران

۲- استادیار دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mmozafari@ut.ac.ir

چکیده

دشت لنجان به علت نزدیکی به رودخانه زاینده‌رود یکی از حاصل‌خیزترین مراکز کشاورزی در استان اصفهان است که در سال‌های اخیر به دلیل رشد روز افزون جمعیت، توسعه صنایع، کشاورزی و در نتیجه برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، با بحران کمی و کیفی منابع آب روبه‌رو شده است. در این پژوهش تلاش شد تا ضمن نمونه‌برداری از منابع آب دشت لنجان، اطلاعات مربوط به کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی به روز گردد و با استفاده از نسبت‌های یونی رایج به تعیین منشا و تکامل هیدروشیمی آب زیرزمینی دشت پرداخته شود. به طور کلی کمینه غلظت‌ها در نمونه‌های رودخانه (R_8 ، R_9 ، R_{12} و R_{13}) و بیشینه آن در چاه‌های عمیق نواحی مرکزی دشت (W_1 ، W_3 و W_4) مشاهده می‌شود. تیپ آب منابع از بی‌کربنات کلسیک در نواحی سازندهای کربناته تا سولفات کلسیک و یا کلراید سدیک در نواحی مرکزی دشت متغیر است. ماتریس همبستگی پیرسون یک همبستگی مثبت بسیار قوی بین کل مواد جامد محلول با یون‌های اصلی و متغیرهای اصلی با یکدیگر آب را نشان می‌داد. بر اساس نتایج نمودارهای نسبت یونی، منشا یون‌های اصلی موجود در منابع آب منطقه بیشتر از انحلال تشکیلات زمین‌شناسی می‌باشد، هرچند فعالیت‌های انسانی نیز در برخی نقاط بی‌تاثیر نبوده است.

واژه‌های کلیدی: دشت لنجان، ماتریس همبستگی، نسبت‌های یونی، هیدروشیمی

مقدمه

شده در مسیر رودخانه زاینده‌رود، به این نتیجه رسیدند که آبخوان آبرفتی، توسط رودخانه زاینده‌رود و دیگر شاخه‌های آن تغذیه می‌شود و میزان این تغذیه از غرب به شرق و از شمال به جنوب حوضه کاهش می‌یابد. با این حال رشد روز افزون جمعیت، گسترش صنایع و کشاورزی، تغییر اقلیم، کاهش ریزش‌های جوی، برداشت‌های بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و حفر چاه‌های غیر مجاز، سبب کاهش منابع آب این دشت شده است. نوری و همکاران (۲۰۱۵) ارتباط سطح زیرکشت با تغییر آبدی قنات‌های شهرستان لنجان را مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان داد کاهش سطح زیرکشت، رابطه مستقیمی با میزان تخلیه آب قنات‌ها داشته است. ناصری و همکاران (۲۰۱۱) با انجام پژوهشی مشخص نمودند که کاهش کیفیت آب این گستره می‌تواند ناشی از انحلال کانی‌های تبخیری موجود در آبرفت‌ها، بالا آمدن شورابه‌های قدیمی، تبخیر و تعرق و عوامل انسانی (آب برگشتی کشاورزی و پساب‌های خانگی و صنعتی) باشد. در پژوهشی دیگر و با برداشت ۱۵۵ نمونه و انجام تحلیل عاملی، رضایی و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که بالاترین تاثیرگذاری در تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت لنجانان به دست انسان اتفاق می‌افتد و عوامل طبیعی نقش چندانی در آن ندارد. با توجه به اینکه زمان زیادی از پژوهش‌های قبلی می‌گذرد، انجام پژوهشی که غلظت یونهای اصلی در آب زیرزمینی منطقه را تعیین نماید و منشأ یون‌های اصلی وارد شده به آب را مشخص کند ضروری است.

هدف از انجام این پژوهش این است که با نمونه‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی دشت لنجانان، اطلاعات مربوط به کیفیت آنها به روز شده و با استفاده از نسبت‌های یونی رایج، منشأ و تکامل هیدروشمی یونها تعیین شود. نتایج این پژوهش می‌تواند به مدیریت صحیح کمی و کیفی آبخوان لنجانان کمک کند.

آب منبع محدود و حیاتی برای انسان و طبیعت است و بررسی کیفیت آن دارای اهمیت می‌باشد. آب‌های زیرزمینی اغلب تنها منبع پایدار آب شیرین به‌ویژه در محیط‌های با اقلیم خشک و نیمه‌خشک هستند (وی ۲۰۲۰؛ آدیمالا ۲۰۲۰). تکامل هیدروشمیایی آب‌های زیرزمینی بیشتر به شیمی مواد سازنده آبخوان، چگونگی برهم‌کنش آب و سنگ و زمان ماندگاری آب بستگی دارد. ارزیابی کیفی آب نیازمند آگاهی از کانی‌شناسی سنگ‌های اطراف و شناسایی واکنش‌های شیمیایی مربوطه است. به طور کلی سه فرآیند تبخیر، انحلال کانی‌ها و تبادلات پایه، به تولید املاح در آب‌های زیرزمینی کمک می‌کند (دینکا و همکاران ۲۰۱۵). پدیده‌های طبیعی (مانند تماس با سنگ‌های انحلال‌پذیر مثل گچ و نمک و فعالیت‌های آتشفشانی) و فعالیت‌های انسانی (ورود فاضلاب شهری و صنعتی، معدن‌کاری، آلودگی‌های نفتی و یا استفاده از سم و کودهای شیمیایی در کشاورزی) می‌تواند سبب افزایش غیرطبیعی یون‌ها و آلودگی آب شود (اصغری‌مقدم و همکاران ۲۰۰۸). بنابراین شناسایی منابع و عوامل آلاینده آب‌های زیرزمینی و سطحی بسیار مهم است.

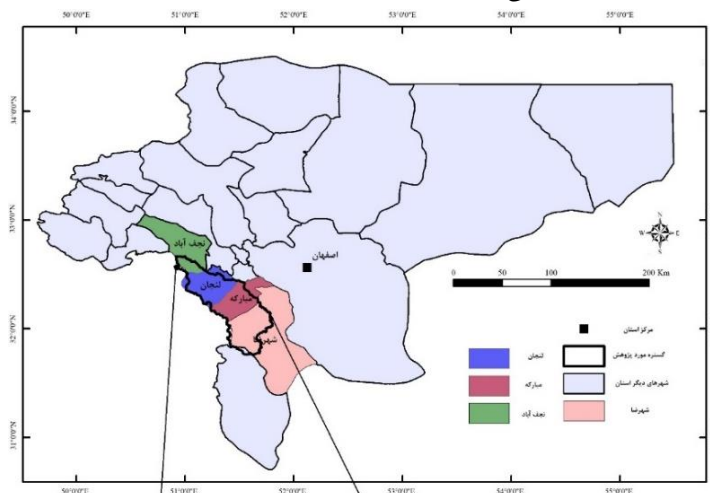
دشت لنجانان بزرگترین بلوک اصفهان و از زیر حوضه‌های باتلاق گاوخونی است که رودخانه زاینده‌رود از میان آن می‌گذرد. قنات، چاه و چشمه از جمله منابع آب زیرزمینی این ناحیه است. رودخانه زاینده‌رود و منابع آب زیرزمینی، می‌تواند آب لازم برای همه فعالیت‌های اقتصادی ناحیه از جمله فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی را فراهم کند (ریاحی و همکاران ۲۰۱۹). همچنین قرارگیری صنایع بزرگ همچون کارخانه‌های نوب آهن، فولاد مبارکه، منگنز، پلی‌اکریل، سیمان سپاهان، کاغذسازی و شهرک‌های صنعتی اهمیت بررسی آبخوان منطقه را نشان می‌دهد. در ارتباط با ویژگی‌های کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت لنجانان تعدادی پژوهش انجام شده است. گل کرمی و همکاران (۲۰۱۸) با مقایسه سطح آب پیزومترهای نصب

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

قسمت‌های شمال‌غرب و کمینه ارتفاع گستره در شمال شرق قرار دارد. ناحیه مورد پژوهش دارای آب و هوا خشک - نیمه‌خشک با نوسانات شدید دمایی است (امیدوار و همکاران ۲۰۲۲) همچنین تیر گرم‌ترین و دی سردترین ماه سال در گستره می‌باشد. متوسط بارش سالانه در ارتفاعات ۲۸۰ و دشت ۱۷۶ میلی‌متر در سال است. بعلاوه بیش‌ترین بارش در حدود ۴۰۰ میلی‌متر در شمال‌غرب و کم‌ترین بارش در جنوب شرق به میزان ۱۵۰ میلی‌متر است. متوسط دما سالانه در دشت و بلندی‌ها به ترتیب ۱۱/۹ و ۱۴/۲ درجه سانتی‌گراد است. همچنین متوسط تبخیر از تشت در دشت ۲۳۴۱/۵ میلی‌متر و در بلندی‌ها ۲۱۶۹/۴ میلی‌متر می‌باشد (بی‌نام ۲۰۱۱).

دشت لنجان با وسعت ۳۳۶۵/۲ کیلومتر مربع در جنوب غرب استان اصفهان در حدود طول جغرافیایی ۳۲°۵۱' تا ۳۲°۱۱' و عرض جغرافیایی ۵۱°۳۸' شرقی و ۳۲°۳۲' قرار دارد (شکل ۱). براساس آخرین تقسیمات کشوری و سرشماری مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۵، این گستره با ۶۶۳۱۶۷ نفر جمعیت دارای ۳ بخش مرکزی، فولادشهر و باغ بهادران، ۹ شهر و پنج دهستان است (بی‌نام ۲۰۱۸). ارتفاع نسبی دشت لنجان ۲۲۷۰ متر از سطح دریا است و کوه‌های پنجی در شمال و کوه‌های بیدکان در غرب آن بلندی‌های گستره را می‌سازد. بیشینه ارتفاع گستره در

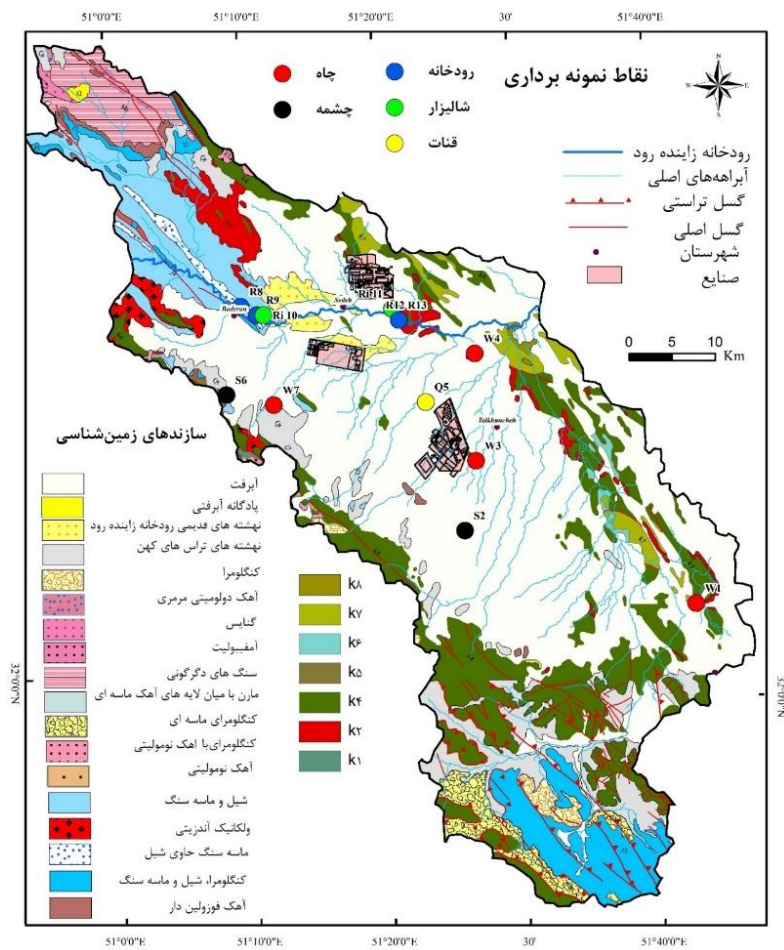


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی گستره و محل صنایع اصلی در آن.

چینه‌شناسی و زمین‌ساخت

بر اساس تقسیم‌های زمین‌شناسی کشور، منطقه لنجانان در پهنه ساختاری سنندج - سیرجان قرار دارد. نقشه زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه در شکل ۲ ارائه شده است. سازندهای زمین‌شناسی زیر حوضه لنجانان مربوط به دوره‌های پرمین تا عهد حاضر هستند (بی‌نام ۱۹۹۸). در حدود ۱۶۱۸/۷ کیلومتر مربع از گستره لنجانان دشت است و باقیمانده، بلندی‌های ناحیه است. سازندهای سخت رخنمون یافته در بلندی‌های پیرامون دشت لنجانان شامل سنگ‌های پرمین، رسوبات ژوراسیک (شامل شیل‌های خاکستری تیره با میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ، کوارتزیت، آهک و ولکانیک)، شیل، مارن و آهک‌های کرتاسه، کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌های پالئوژن می‌باشد.

رسوبات کواترنری رخنمون یافته در دشت شامل تراس‌های آبرفتی، رسوبات رودخانه‌ای زاینده‌رود، آبرفت و رسوبات مخروط افکنه‌ای و کنگلومراهای نیمه گرد شده می‌باشد. این رسوبات در دشت لنجانان یک آبخوان آبرفتی ایجاد کرده که شیل‌های ژوراسیک و در برخی مناطق سنگ آهک‌های کرتاسه سنگ کف آن را می‌سازد. آبرفت نهشته شده بر روی سنگ بستر از رس، ماسه و شن تشکیل شده که نسبت رس آن در مناطق مختلف متغیر است. این لایه غیر قابل نفوذ و فشرده، سنگ کف لایه‌های آبرفتی در بالا به حساب می‌آید. مابین نهشته‌های آبرفتی، رسوبات تبخیری (شامل لایه‌های گچی و نمکی) گسترش دارند. با افزایش میزان نمک و رس در لایه‌های زیرین، درصد تراوایی کاهش می‌یابد (بی‌نام ۱۹۸۶؛ بی‌نام ۲۰۱۱).



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی گستره (با اقتباس از سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۹۹۸).

آزمایشگاه‌های هیدروشیمی ارسال شد تا مراحل آماده‌سازی و آنالیز آن‌ها با روش‌های استاندارد موجود صورت گیرد. پس از دریافت نتایج درصد خطا آنالیز در هر نمونه آب از طریق رابطه زیر بدست آمد و مشخص شد که دقت تمامی نمونه‌ها در محدوده قابل قبول (±۱۰٪) است.

$$\text{درصد خطا} = \frac{|\sum \text{آنیون} - \sum \text{کاتیون}|}{\sum \text{آنیون} + \sum \text{کاتیون}} \times 100$$

پس از تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و غلظت عناصر اصلی نمونه‌های آب، برای درک ارتباط بین متغیرهای هیدروشیمیایی اصلی، یک ماتریس همبستگی پیرسون ایجاد شد. در ادامه از نمودارهای نسبت یونی سدیم در مقابل کلر، بی‌کربنات در مقابل سدیم، کلسیم در مقابل سولفات، کلسیم و منیزیم در مقابل بی‌کربنات و سولفات، کلسیم در مقابل بی‌کربنات و بی‌کربنات در مقابل

نمونه‌برداری

در این پژوهش به منظور تعیین ویژگی‌های هیدروشیمی و تکامل آبخوان لنجانان، تعداد ۱۳ محل از منابع آب سطحی و زیرزمینی شامل رودخانه، چشمه، قنات، چاه‌های کشاورزی و شالیزارهای گستره برای نمونه‌گیری انتخاب گردید که موقعیت محل‌های نمونه برداری در شکل ۲ آورده شده است. نمونه‌برداری در اواخر خرداد ماه سال ۱۴۰۱ صورت گرفت و پارامترهای اسیدیته، کل مواد جامد محلول، هدایت الکتریکی آب و درجه حرارت در محل برداشت نمونه توسط دستگاه تی‌ای‌اس-۱۳۸۱ اندازه‌گیری شد. در هر ایستگاه بطری نمونه‌برداری نیم‌لیتری به طور کامل از آب پر شد و جهت تعیین غلظت یون‌های اصلی به

منیزیم و به کمک نمودارهای ترکیبی و پایپر برای تعیین منشایون‌های موجود در منابع آب گستره استفاده شد و محل قرارگیری هر نمونه در این نمودارها تجزیه و تحلیل شد.

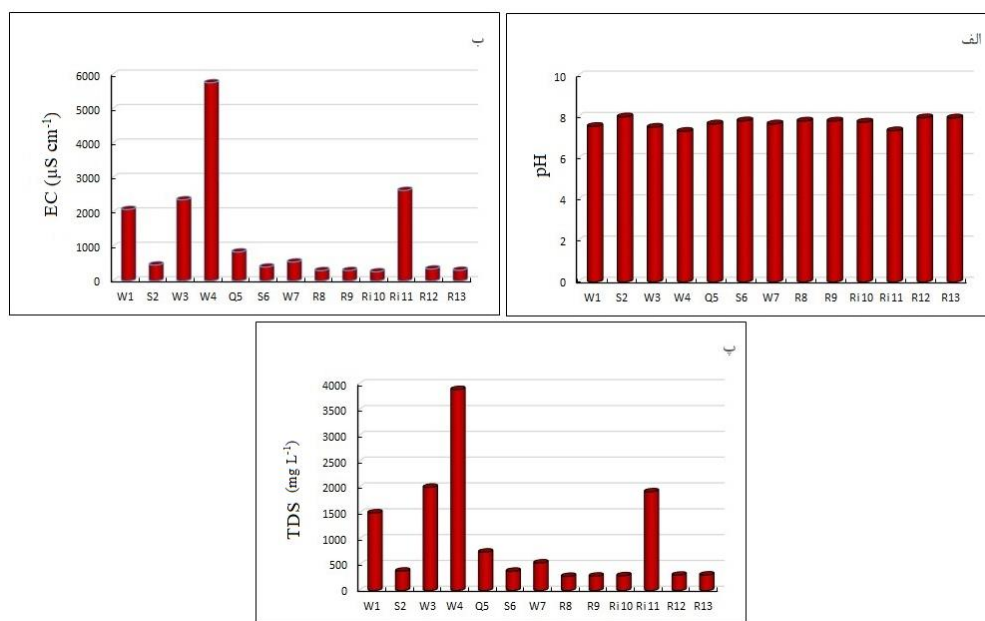
جدول ۱- محل برداشت نقاط نمونه‌برداری در گستره.

شماره نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
محل برداشت	چاه	چاه	چاه	چاه	روبخانه	چاه	چاه	روبخانه	روبخانه	شالیزار	شالیزار	روبخانه	روبخانه
نماد	W1	S2	W3	W4	Q5	S6	W7	R8	R9	Ri10	Ri11	R12	R13

نتایج و بحث

مجموع مواد جامد محلول از ۲۷۱ میلی‌گرم بر لیتر در نواحی ورودی به ۲۹۸ میلی‌گرم بر لیتر در محل خروجی می‌رسد، به عبارتی مجموع مواد جامد محلول آب رودخانه طی مسیر جریان افزایش می‌یابد. مجموع مواد جامد محلول نمونه آب شالیزارها (Ri10 و Ri11) بین ۲۸۴ تا ۱۹۰۹ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است که دلیل آن می‌تواند تاثیر فرآیند تبخیر و همچنین تاثیر کودهای کشاورزی باشد. هرچه زمان ماندگاری آب در شالیزار بیشتر باشد و مقدار کوددهی نیز بیشتر باشد، بر مقدار مجموع مواد جامد محلول آب افزوده خواهد شد. در ارتباط با چاه‌های آب زیرزمینی (W1، W3، W4 و W7) مجموع مواد جامد محلول بین ۵۳۱ تا ۳۸۸۹ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. نمونه برداشت شده از آبخوان کارستی واقع در کناره غربی دشت (S6) دارای ۳۷۰ میلی‌گرم بر لیتر مواد جامد محلول است. با حرکت از سمت کناره‌ها به سو نواحی مرکزی دشت و همچنین افزایش عمق چاه‌ها، بر میزان مجموع مواد جامد محلول آب زیرزمینی دشت افزوده می‌شود. به طوری که این مقدار در چاه عمیق W4 (با بیش از ۲۰۰ متر عمق) به ۳۸۸۹ میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد.

اسیدیته و هدایت الکتریکی مهمترین پارامترهای اندازه‌گیری شده در صحرا می‌باشد. مقدار اسیدیته در نمونه‌های برداشت شده تغییرات زیادی نشان نمی‌دهد و در بازه ۷/۳ تا ۸ می‌باشد. دلیل این امر می‌تواند منشایکسان نمونه‌های آب از نظر تغذیه، یکسان بودن جنس خاک در منطقه، مسافت کوتاه مسیر حرکت آب و عدم وقوع واکنش‌های هیدروشمیمی متنوع و پیچیده در آبخوان باشد (شکل ۳-الف). کمینه پی‌اچ مربوط به چاه کشاورزی (W4) در قسمت شرقی دشت و بیشینه آن برای چشمه حوض ماهی (S2) است. گستره هدایت الکتریکی در نمونه‌های مورد پژوهش بین ۲۶۴/۵ در نمونه شالیزار (Ri10) تا ۵۷۵۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در نمونه چاه کشاورزی (W4) می‌باشد (شکل ۳-ب). هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها با غلظت کل مواد جامد محلول آن‌ها ارتباط مستقیم دارد. در گستره مورد مطالعه، مجموع مواد جامد محلول بین ۲۷۱ میلی‌گرم بر لیتر در نمونه رودخانه (R8) تا ۳۸۸۹ میلی‌گرم بر لیتر در نمونه چاه کشاورزی (W4) می‌باشد (شکل ۳-پ). با حرکت از ابتدا به انتها رودخانه، مقدار



شکل ۳- تغییرات الف) اسیدیته ب) هدایت الکتریکی پ) کل مواد جامد محلول در نمونه‌های برداشت شده در گستره.

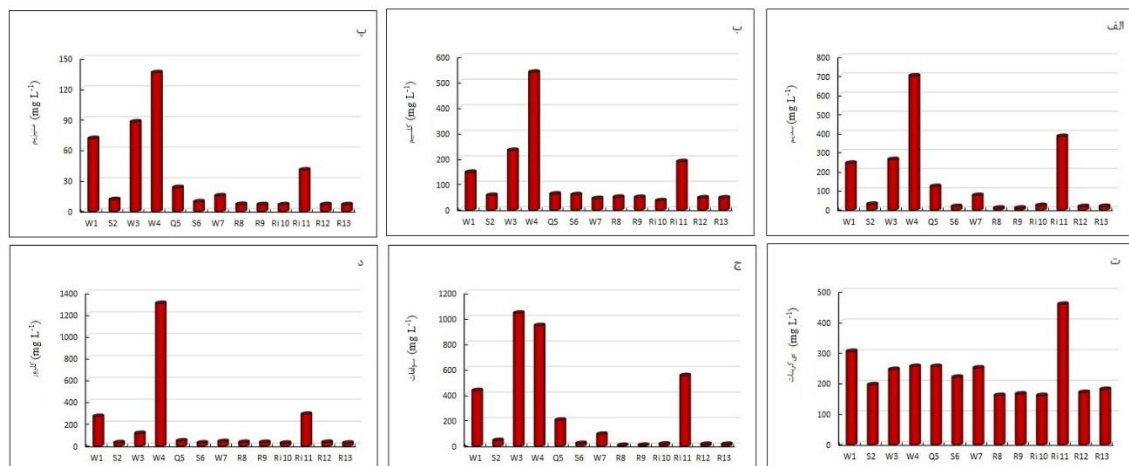
لیتر و غلظت بی‌کربنات بین ۱۶۰ تا ۴۵۸ میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری شده است.

برای بررسی دقیق‌تر کیفیت منابع آب دشت لنجان، تیپ آب با استفاده از نمودار پایپر تعیین شد (شکل ۵). بر اساس این نمودار، نمونه‌های آب زیرزمینی W1، W3 و W4 در قسمت کلسیم منیزیم سولفات قرار می‌گیرند. همچنین نمونه‌های قنات حسن آباد (Q5) و شالیزار (Ri11) در ناحیه سدیم کلرید جا می‌گیرند. دیگر نمونه‌ها در قسمت منیزیم کلسیم - بی‌کربنات می‌افتند. بعبارتی تیپ غالب رودخانه کلسیم - بی‌کربنات (R8، R9، R12 و R13) و چشمه‌های برداشت شده (S2 و S6) کلسیم منیزیم بی‌کربنات است (جدول ۲).

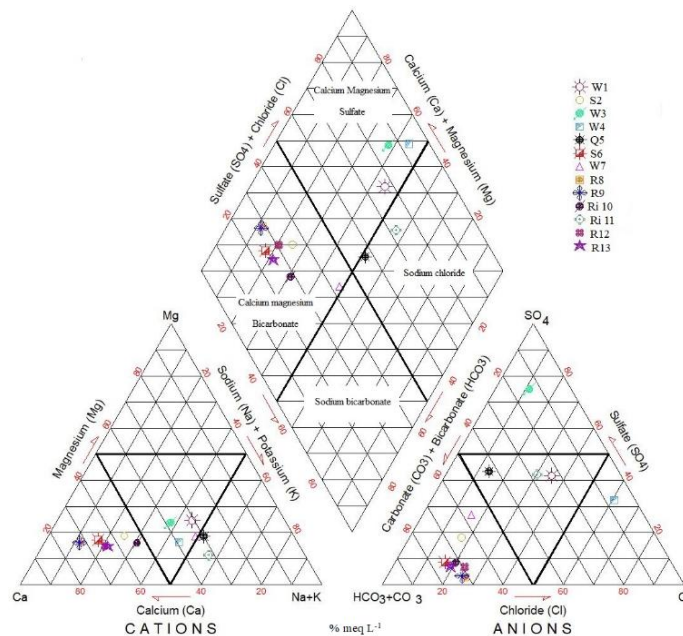
پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم مهمترین کاتیون‌ها و کلر، سولفات و بی‌کربنات مهمترین آنیون‌های موجود در آب زیرزمینی گستره لنجان می‌باشد. شکل ۴ مقادیر اندازه‌گیری شده هر یک از این یون‌ها در محل‌های نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. در نمونه‌های برداشت شده، غلظت پتاسیم بین ۰/۱۸ تا ۴/۲۳ میلی‌گرم بر لیتر، غلظت سدیم بین ۸/۸۴ تا ۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، غلظت کلسیم بین ۳۵/۶۲ تا ۵۴۰ میلی‌گرم بر لیتر، غلظت منیزیم بین ۶/۴۶ تا ۱۳۶ میلی‌گرم بر لیتر، غلظت سولفات بین ۵ تا ۱۰۴۲ میلی‌گرم بر لیتر، غلظت کلر بین ۲۶ تا ۱۳۰۴ میلی‌گرم بر

جدول ۲- تیپ غالب در نقاط نمونه‌برداری شده در گستره با توجه به نمودار پایپر دشت.

نمونه	W1	S2	W3	W4	Q5	S6	W7	R8	R9	Ri10	Ri11	R12	R13
تیپ آب	سدیم کلرید	کلسیم منیزیم بی‌کربنات	کلسیم منیزیم سولفات	کلسیم منیزیم سولفات	سدیم کلرید	کلسیم منیزیم بی‌کربنات	کلسیم منیزیم بی‌کربنات	کلسیم منیزیم بی‌کربنات	کلسیم منیزیم بی‌کربنات	کلسیم منیزیم بی‌کربنات	سدیم کلرید	کلسیم منیزیم بی‌کربنات	کلسیم منیزیم بی‌کربنات



شکل ۴- هیستوگرام الف) سدیم، ب) کلسیم، پ) منیزیم، ت) بی کربنات، ج) سولفات و د) کلرور منابع آب گستره.



شکل ۵- نمودار پایپر نمونه‌های برداشت شده در گستره مورد پژوهش (لونرگان و همکاران ۱۹۹۴).

می‌آید و می‌تواند مثبت، منفی یا صفر باشد. این شاخص نخست توسط کارل پیرسون، آماردان انگلیسی در سال ۱۹۰۰ در یک مقاله معرفی شد (پورتر ۲۰۰۴). ضریب همبستگی مثبت، رابطه مستقیم بین دو متغیر، ضریب همبستگی منفی، رابطه معکوس بین دو متغیر و صفر نبود همبستگی را نشان می‌دهد. در این پژوهش برای درک ارتباط بین متغیرهای هیدروشیمیایی اصلی، یک ماتریس همبستگی پیرسون بین متغیرها ایجاد شد (جدول ۳) که نشانگر همبستگی مثبت کل مواد جامد محلول با یون‌های

ماتریس همبستگی پیرسون

به منظور تعیین همبستگی بین دو متغیر کمی، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده می‌شود که از تقسیم کوواریانس بر انحراف معیار دو متغیر تصادفی، بدست

اصلی و متغیرهای اصلی با یکدیگر است که نشان می‌دهد یون‌ها ممکن است از یک منبع مشتق شده باشند.

جدول ۳- ماتریس همبستگی پیرسون.

منغیر (mg L ⁻¹)	TDS	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
TDS								
Na ⁺	۰/۹۹۰							
K ⁺	۰/۹۳۵	۰/۹۵۵						
Ca ²⁺	۰/۹۸۰	۰/۹۶۲	۰/۹۱۸					
Mg ²⁺	۰/۹۶۴	۰/۹۲۵	۰/۸۳۳	۰/۹۴۶				
Cl ⁻	۰/۹۱۰	۰/۹۱۹	۰/۸۷۸	۰/۹۵۳	۰/۸۵۲			
SO ₄ ²⁻	۰/۹۱۲	۰/۸۶۴	۰/۷۹۸	۰/۸۵۷	۰/۹۳۱	۰/۶۷۴		
HCO ₃ ⁻	۰/۵۳۵	۰/۶۰۱	۰/۶۰۹	۰/۳۸۳	۰/۴۱۵	۰/۳۰۹	۰/۵۲۸	

نسبت های یونی

کرده‌اند. حضور نمونه‌ها نزدیک خط ۷:۲ نشانگر ورود بی‌کربنات و کلسیم از انحلال سنگ‌های الترامافیک پیروکسن و آمفیبول است (ژانگ و همکاران ۲۰۲۰). تمام نمونه‌های آب برداشت شده در زیر خط ۷:۲ قرار دارند که نشان می‌دهد منبع اصلی بی‌کربنات و کلسیم از انحلال پیروکسن و آمفیبول نبوده است. نمونه‌های Q5، S2، W1، R13، R12، Ri10، R9، R8، S6، گرفته‌اند و احتمالاً هوازدهی و انحلال دولومیت و سنگ‌های کربناته سبب ورود کلسیم و بی‌کربنات به آن‌ها شده است (شکل ۶-ب). نمونه‌های W3، W4، W7 و Ri11 زیر خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند که نشانگر ورود کلسیم از انحلال ژپیس و یا استفاده از کودهای آهکی در زمین‌های کشاورزی می‌باشد. بی‌کربنات به عنوان مهم‌ترین آنیون موجود در منابع آب، در گستره مقادیر متغیری دارد. کمینه و بیشینه غلظت بی‌کربنات به ترتیب برای نمونه آب رودخانه (R8) و نمونه شالیزار (Ri11) به ترتیب با مقادیر ۱۶۰ و ۴۵۸ میلی‌گرم بر

برای تعیین منشأ هر یک از این یون‌ها، از نمودارهای نسبت یونی استفاده شده است که در ادامه به آن پرداخته می‌شود. از نسبت بی‌کربنات به منیزیم برای تعیین منشأ منیزیم و بی‌کربنات در آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود. در صورتیکه منیزیم و بی‌کربنات فقط از انحلال کربنات حاصل شوند، نسبت منیزیم به بی‌کربنات ۲:۱ خواهد بود (ژانگ و همکاران ۲۰۲۰). در گستره مورد پژوهش، نمونه‌های Q5، S2، W1، R13، R12، Ri11، Ri10، R9، R8، S6، Q5، S2، W1 در امتداد خط ۲:۱ قرار دارند که نشانگر تاثیر انحلال سنگ‌های کربناته بر شیمی آب است. افزایش یون منیزیم در آب چاه‌های کشاورزی W3، W4 و W7 می‌تواند به دلیل استفاده از کودهای منیزیمی باشد (شکل ۶ - الف). اگر نسبت بی‌کربنات به کلسیم به خط ۱:۱ نزدیک باشد، بی‌کربنات و کلسیم از هوازدهی و انحلال کلسیت حاصل شده‌اند. در صورتیکه این نسبت به خط ۲:۱ نزدیک باشد، بی‌کربنات و کلسیم از انحلال دولومیت به آب راه پیدا

تا ۱۰۴۲ میلی‌گرم بر لیتر هستند. غلظت سولفات در نمونه آب شالیزار قبل و بعد از صنایع ذوب‌آهن به ترتیب ۱۵ و ۵۵۲ میلی‌گرم بر لیتر است. نسبت کلسیم به سولفات زیر خط ۱:۱ نشان می‌دهد که این دو یون از هوازدگی ژئوپس به دست آمده‌اند. نمونه‌های بالاتر از خط ۱:۱ هوازدگی سنگ‌های کربناته را بیان می‌کند (ما و همکاران ۲۰۱۱). با توجه به شکل ۶-ج مشاهده می‌شود که تمام نمونه آب‌های گستره در امتداد خط ۱:۱ هستند که نشان از هوازدگی کلسیت، دولومیت و به میزان کمتر ژئوپس در دشت است. میزان یون کلسیم در قسمت جنوب و شمال شرق دشت به دلیل حضور سازندهای آهکی و متعلق به کرتاسه روند افزایشی دارد. همچنین غلظت زیاد این یون در نمونه‌های برداشت شده از زمین‌های زراعی و کشاورزی می‌تواند ناشی از کاربرد کودهای کلسیمی باشد. مقدار زیاد سولفات در چاه نزدیک به مجتمع فولاد می‌تواند ناشی از استفاده از سولفوریک اسید در صنایع فولاد و آهن باشد. همچنین استفاده از سولفات منگنز در صنعت فولاد و زمین‌های کشاورزی ممکن است سبب افزایش غلظت این یون در نمونه‌های نزدیک صنایع و مزارع شده باشد.

غلظت یون سدیم در گستره مطالعه بین ۸/۸۴ تا ۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. کمینه غلظت این یون در نمونه‌های آب رودخانه (R9) و بیشینه غلظت آن برای چاه کشاورزی در شرق گستره (W4) مشاهده شده است (شکل ۴-الف). با حرکت در مسیر رودخانه، غلظت سدیم از ۹/۱۳ در قسمت غربی دشت به ۱۸ میلی‌گرم بر لیتر در محل خروجی تغییر می‌کند. نمونه برداشتی از آبخوان کارستی (S6) دارای سدیم ۱۷/۴۲ میلی‌گرم بر لیتر است. غلظت سدیم در نمونه آب شالیزارها (Ri10 و Ri11) بین ۲۲/۹ تا ۳۸۴ میلی‌گرم بر لیتر و در چاه‌های آب (W1, W3, W4 و W7) بین ۷۵/۶ تا ۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد. غلظت یون کلر در چاه‌های کشاورزی و شالیزار نسبت به دیگر نقاط گستره روند افزایشی نشان می‌دهد. بیشینه و کمینه کلر در بازه ۲۶ تا ۱۳۰۴ میلی‌گرم در لیتر متغیر است. در بالا دست رودخانه غلظت کلرور ۳۴ و در پایین دست ۲۷

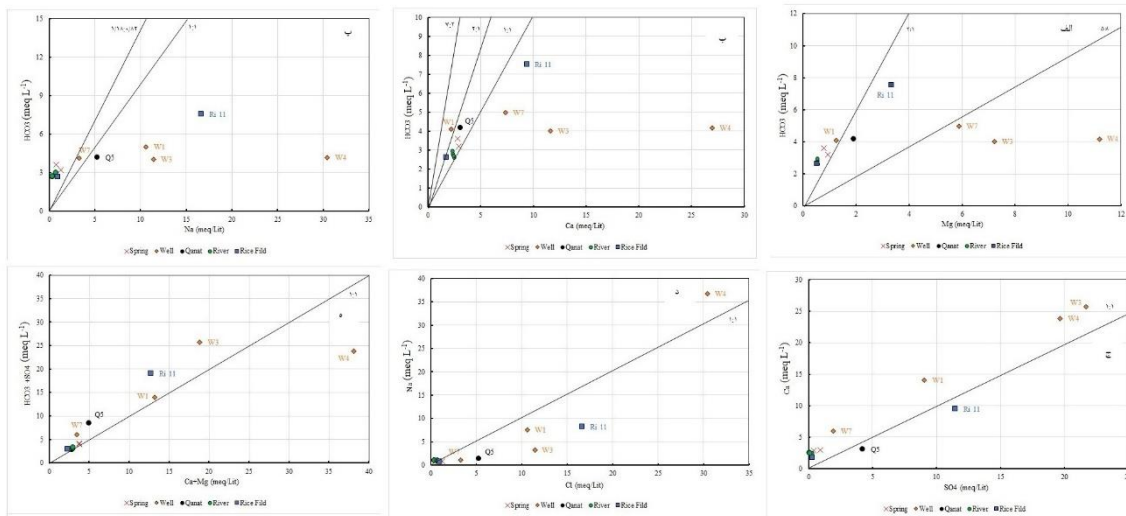
لیتر است. با حرکت در مسیر رودخانه به سمت خروجی، غلظت بی‌کربنات از ۱۶۰ در غرب دشت به ۱۸۰ میلی‌گرم بر لیتر در خروجی می‌رسد. غلظت بی‌کربنات در نمونه آب شالیزارها بین ۱۶۰ تا ۴۵۸ میلی‌گرم بر لیتر است. منابع آب زیرزمینی در گستره دارای غلظت بی‌کربنات بین ۲۴۵ تا ۳۰۴ میلی‌گرم بر لیتر هستند. نمونه آبخوان کارستی بی‌کربنات ۲۲۰ میلی‌گرم بر لیتر دارد (شکل ۴-ت). نسبت سدیم به بی‌کربنات بزرگتر از ۱ نشانگر افزایش سدیم به دلیل انحلال هالیت و تبادل کاتیونی است. در صورتیکه مقدار بی‌کربنات از سدیم بیشتر باشد، می‌تواند شیمی آب از انحلال کانی‌های دولومیت و کلسیم اثر گرفته باشد (فیشر و همکاران ۱۹۹۷). همانطور که در شکل ۶-پ نشان داده شده است، نمونه‌های W1, W3, W4 و Ri11 دارای نسبت سدیم به بی‌کربنات بیش از یک هستند که می‌تواند ناشی از فرایند تبادل کاتیونی ناشی از فعالیت‌های انسانی (از جمله افزایش کودهای کشاورزی) باشد. شیمی آب نمونه‌های S2, Q5, S6, W7, R8, R9, Ri10, R12 و R13 از انحلال کانی‌های کربناته اثر می‌گیرد. به عبارتی وجود سازندهای آهکی در دشت لنجانان و تغذیه آبخوان از طریق این سازندها، سبب افزایش غلظت بی‌کربنات شده است.

یون کلسیم در گستره مورد پژوهش بین ۳۵/۶۲ تا ۵۴۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. نمونه موجود از آبخوان کارستی دارای غلظت کلسیم ۵۹/۲۹ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (شکل ۴-ب). غلظت کلسیم در نمونه آب شالیزارها بین ۳۵/۶۲ تا ۱۸۹ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. در جریان رودخانه از محل ورودی تا محل خروجی، غلظت کلسیم از ۴۹/۵۲ به ۶۶/۸۱ میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد. کلسیم در چاه‌های آب زیرزمینی بین ۴۴/۱۱ تا ۵۴۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. سولفات در گستره مورد پژوهش بین ۵ تا ۱۰۴۲ میلی‌گرم در لیتر متغیر است. در مسیر رودخانه از ورودی به سمت خروجی، غلظت سولفات از ۵ در غرب دشت به ۱۳ میلی‌گرم بر لیتر در شرق می‌رسد. نمونه آبخوان کارستی سولفات ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر دارد (شکل ۴-ج). چاه‌های آب زیرزمینی دارای غلظت سولفات بین ۹۲

نمونه‌های برداشت شده تغییرات یون منیزیم در بازه ۶/۴۶ تا ۱۳۶ میلی‌گرم بر لیتر قرار گرفته است. بیشینه غلظت یون منیزیم در قسمت‌های شرقی، جنوب شرقی و جنوب دشت لنجان‌ات مشاهده می‌شود. واحدهای آهکی - دولومیتی (متعلق به کرتاسه) واقع در این نقاط می‌تواند سبب افزایش غلظت یون منیزیم شده باشد. در دیگر نقاط گستره غلظت منیزیم تقریباً یکسان است. غلظت منیزیم در چاه آب زیرزمینی بین ۱۵/۳ تا ۱۳۶ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. در شالیزارها منیزیم بین ۶/۴۶ تا ۴۰/۶ میلی‌گرم بر لیتر است. افزایش منیزیم در محل شالیزارها و زمین‌های کشاورزی ممکن است به علت استفاده از کودهای سولفات منیزیم باشد که برای اکسیژن رسانی به گیاهان باغی و زراعی به زمین داده می‌شود. در آبخوان کارستی غلظت منیزیم ۹/۴۳ میلی‌گرم بر لیتر است (شکل ۴- پ). نمودار کلسیم به علاوه منیزیم در مقابل سولفات به علاوه بی‌کربنات در شکل ۶- ۵ نشان داده شده است. اگر هوازدگی کانی‌های کربناته و سولفات‌ها و اکنش اولیه در آب‌های زیرزمینی باشد، نمونه‌های آب در امتداد خط ۱:۱ خواهند بود (داتا ۱۹۹۶؛ ساراسوات ۲۰۱۹). در گستره پژوهش، نمونه‌های W1، S2، W3، W4، Q5، S6، W7، R8، R9، Ri10، Ri11، R12 و R13 روی خط ۱:۱ هستند که نشانگر تاثیر هوازدگی کانی‌های کربناته و سولفات‌ها بر روی شیمی آن‌ها است. تبادل کاتیونی مستقیم و معکوس به ترتیب سبب قرارگیری نمونه‌ها در بالا و یا زیر خط یک به یک می‌شود. در گستره مورد پژوهش، نمونه‌های آب زیرزمینی در بالای خط ۱:۱ قرار دارند، که نشانگر تاثیر تبادل کاتیونی مستقیم بر روی شیمی آن‌ها است. تنها نمونه شماره W4 در زیر خط یک به یک قرار می‌گیرد که نشانگر تاثیر تبادل کاتیونی معکوس بر شیمی آن است.

میلی‌گرم بر لیتر است. غلظت کلرور در نمونه آب شالیزارها بین ۲۶ تا ۲۹۱ میلی‌گرم بر لیتر (در نزدیکی ذوب‌آهن) است. منابع آب زیرزمینی در گستره دارای غلظت کلرور بین ۴۱ تا ۱۳۰۴ میلی‌گرم بر لیتر هستند. در نمونه برداشتی از آبخوان کارستی، کلرور غلظت ۲۸ میلی‌گرم بر لیتر دارد. اگر نسبت سدیم به کلر به طور تقریبی به ۱ نزدیک باشد، نشان می‌دهد که انحلال هالیت بیشتر به افزایش غلظت سدیم در آب‌های زیرزمینی کمک می‌کند. اگر این نسبت بزرگتر از ۱ باشد، به این معنی که هوازدگی سیلیکات یا تبادل کاتیونی وجود دارد و اگر این نسبت کمتر از ۱ باشد، نشان دهنده یک تغییر توسط انسان است (هانگ و همکاران ۲۰۱۷؛ ژانگ و همکاران ۲۰۲۰). همانطور که در شکل ۶- ۷ نشان داده شده است، نمونه‌های S2، S6، R8، R9، Ri10، Ri12 و R13 روی خط ۱:۱ قرار دارند که نشان می‌دهد تشکیلات زمین‌شناسی و عوامل انسانی تاثیر اندکی بر منابع آب داشته است. استفاده از کودهای شیمیایی سدیمی می‌تواند از عوامل غیر طبیعی افزایش سدیم در این نمونه‌ها باشد. نمونه‌های W1، W3، Q5، W7 و Ri11 در زیر خط ۱:۱ قرار می‌گیرند که می‌تواند ناشی از فعالیت انسانی مانند کاربرد کودهای حاوی کلرید (مثل کلرید آمونیوم، کلرید کلسیم، کلرید منیزیم، کلرید پتاسیم و کلرید سدیم) می‌تواند سبب تغییر غیر طبیعی این آنیون در محل‌ها باشد. نمونه W4 که دارای بیشترین غلظت کلراید سدیم در بین نمونه‌هاست، در نزدیکی خط ۱:۱ و در بخش بالا آن قرار می‌گیرد. به نظر می‌رسد با توجه به عمق زیاد این چاه، انحلال رسوبات تبخیری که بصورت میان‌لایه در بین نهشته‌های آبرفتی قرار گرفته‌اند، می‌تواند عامل شوری آب این چاه باشد.

در ارتباط با غلظت یون‌های کلسیم، سولفات و بی‌کربنات در سطرهای پیشین شرحی آورده شد. در

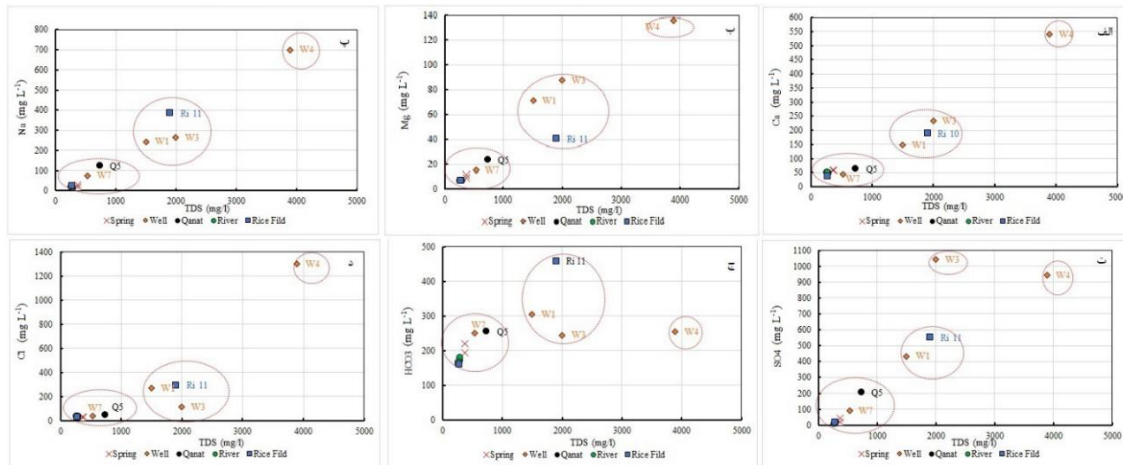


شکل ۶- نمودار نسبت یونی الف) بی‌کربنات به منیزیم ب) بی‌کربنات به کلسیم پ) بی‌کربنات به سدیم ج) کلسیم به سولفات د) سدیم به کلر ه) بی‌کربنات و سولفات به کلسیم و منیزیم.

نمودارهای ترکیبی

دارای منشا یکسانی هستند یا از یک فرایند تاثیر می‌پذیرند. با توجه به نمودارهای ترسیم شده (شکل ۷)، یون‌های کلسیم، سدیم، منیزیم و سولفات رابطه خطی با مقدار مواد جامد محلول را نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد که سازندهای کربناته و تبخیری بیشترین تاثیر بر شیمی آب منطقه داشته است.

از این نمودارها برای تعیین منشا و تعداد محل‌های تغذیه منابع آب استفاده می‌گردد (مازور ۱۹۹۱). محور افقی نمودار مربوط به کل یون‌های موجود^۱ و محور عمودی آن مربوط به هر یک از یون‌های اصلی است. محل قرارگیری نمونه‌ها بر روی نمودار مشخص می‌کند کدام منابع آب



شکل ۷- نمودارهای ترکیبی کل یون‌های موجود به الف) کلسیم ب) منیزیم پ) سدیم ت) سولفات ج) بی‌کربنات د) کلرور در گستره.

نتیجه گیری کلی

کیفیت آب در یک گستره تابعی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی است و به شدت تحت تاثیر سازندهای

^۱ TDI

زیاد منابع آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق نیز بر کیفیت آن تاثیر گذار نیست. بر اساس نتایج این پژوهش، برهمکنش منابع آب با تشکیلات زمین‌شناسی، فعالیت کشاورزی و تا حدودی نیز گسترش صنایع، بیشترین تاثیر را بر روی کیفیت منابع آب منطقه دارد. رودخانه زاینده‌رود و چاه‌های عمیق گستره به ترتیب کمترین و بیشترین میزان آنیون و کاتیون‌های اصلی را به خود اختصاص داده‌اند. در اثر برهم کنش با تشکیلات زمین‌شناسی، تیپ آب از نوع بی‌کربناته در نواحی کناری دشت به سولفات و کلروره در بخش‌های مرکزی تغییر می‌یابد. پس از آن، فعالیت کشاورزی نیز در افزایش غلظت برخی از یون‌های موجود در سموم و کودها (مانند سدیم و سولفات) بی‌تاثیر نبوده است. پژوهش پیش رو تنها بر اساس نتایج یک دوره نمونه‌برداری از ۱۳ منبع آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد. به منظور شناخت هرچه بهتر هیدرو شیمی دشت، پیشنهاد می‌شود نمونه‌برداری در یک سال آبی، بصورت ماهیانه و در تعداد نقاط بیشتری انجام شود. همچنین علاوه بر آنیون و کاتیون‌های اصلی، غلظت نترات، فسفات و فلزات سنگین نیز اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل شود.

زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسانی می‌باشد. با بررسی هیدرو شیمی آب می‌توان به ارتباط بین آبخوان و سازندهای زمین‌شناسی، تکامل آب در طول جریان با گذشت زمان و منشأ آن دست یافت. دشت لنجانات به علت در برگرفتن رودخانه زاینده‌رود یکی از حاصل‌خیزترین مراکز کشاورزی استان اصفهان می‌باشد. در مطالعات قبلی انجام شده در دشت لنجانات از انحلال کانی‌های تبخیری موجود در آبرفت، بالا آمدن شورابه‌های قدیمی، تبخیر و تعرق و عوامل انسانی به عنوان مهمترین علل کاهش کیفیت منابع آب این دشت یاد شده است. برخی پژوهش‌ها نیز نشان می‌دهد که بیشترین تاثیرگذاری در تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت لنجانات به دست انسان اتفاق می‌افتد و به دلیل عوامل طبیعی نیست. نتایج پژوهش پیش رو نشان می‌دهد که غلظت آنیون و کاتیون‌های اصلی موجود در آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه بیشتر متأثر از عوامل طبیعی و به ویژه انحلال کانی‌های کربناته و تبخیری می‌باشد. پارامترهای هیدرو شیمی اندازه‌گیری شده در این پژوهش اثری از شورابه‌های قدیمی به منابع آب زیرزمینی منطقه را نشان نمی‌دهد. همچنین به دلیل عمق

منابع مورد استفاده

- Adimalla N, Qian H and Nandan MJ, 2020. Groundwater chemistry integrating the pollution index of groundwater and evaluation of potential human health risk: a case study from hard rock terrain of south India. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 206: 111217.
- Anonymous, 1986. Geophysical studies report of Mubarekeh region (Isfahan) by electric method, Water Resources Office Isfaha, Iran. (In Persian)
- Anonymous, 1998. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran. Geological Quadrangle Map of Lenjanat, Scale: 1:250,000, 1 sheet with explanatory text. (In Persian)
- Anonymous, 2011. Isfahan Regional Water Authority, Water resource balance report of Lanjanat study area (Code 4209). (In Persian)
- Anonymous, 2018. Management and Planning Organization of Isfahan Province, Statistical Yearbook of Isfahan Province. (In Persian)
- Asghari Moghadam A and Mahmoudi N, 2008. The effect of Maragheh industrial town effluents on Maragheh-Banab plain groundwater pollution. *Environmental Journal* 45: 15-22.
- Datta PS and Tyagi SK, 1996. Major ion chemistry of groundwater in Delhi area: Chemical weathering processes and groundwater flow regime. *Journal of the Geological Society of India* 47: 179-188.
- Dinka MO, Loiskandl W and Ndambuki JM, 2015. Hydrochemical characterization of various surface water and groundwater resources available in Matahara areas, Fantalle Woreda of Oromiya region. *Journal of Hydrology* 3: 444-456.

- Fisher SR and Mullican WF, 1997. Hydrogeochemical evolution of sodium-sulfate and sodium-chloride groundwater beneath the northern Chihuahua desert, Trans-Pecos, Texas, U.S.A. *Hydrogeology Journal* 5: 4-16.
- Golkarmi A and Kavyanirad M, 2018. The effect of water resource limitation on hydropolitical tensions (central watershed with emphasis on Zayandeh Rood watershed). *Geography and Environmental Planning* 28: 113-133.
- Huang T, Pang Z, Liu J, Ma J and Gates J, 2017. Groundwater recharge mechanism in an integrated tableland of the Loess Plateau, northern China: insights from environmental tracers. *Hydrogeology Journal* 25: 2049-2065.
- Lonergan AJ and Cange JB, 1994. Cation and Anion Analysis: Applications to Enhance and Expedite Site-Level Hydrogeological Investigations: PP.619-630. Proceedings of the 1994 Focus Conference on Eastern Regional Ground Water Issues. The National Ground Water Association. 27-29 September, Burlington, Vermont, USA.
- Ma R, Wang Y, Sun Z, Zheng C, Ma T and Prommer H, 2011. Geochemical evolution of groundwater in carbonate aquifers in Taiyuan, northern China. *Applied Geochemistry* 26: 884-897.
- Mazor E, 1991. *Applied Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology*, Third Edition, New York, USA.
- Naseri H, Ki Homayun Z and Nakhai M, 2011. The impact of natural and human factors on the quality of water resources in the Lanjanat plain of Isfahan. *Earth Sciences* 22(85): 173-186.
- Nouri H, Fathi E and Masoudian A, 2015. Analyzing the quantitative changes of Qanat water and its effect on the area under cultivation of irrigated agriculture in Lanjan city during the wet years (1990-2011). *Geography and Planning* 20: 291-309.
- Omaidvar K and Rajabi Morkani P, 2022. Investigation and analysis of rice farming climate in Lanjan city. *Geographical explorations of Desert Areas* 14: 67-85.
- Porter TM, 2004. *Karl Pearson: The Scientific Life in a Statistical Age*.
- Rezaei M and Amiri V, 2012. Evaluation of changes in the quality of underground water in Lanjanat plain using factor analysis combined with information entropy theory. *Journal of Environmental Studies* 39: 33-44.
- Riahi V, Ziayan Firouzabadi P, Azizpour F and Daroui P, 2019. Determining and investigating the area under cultivation of crops in Lanjanat area using satellite images. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences* 19:147-169.
- Saraswat C, Kumar P, Dasgupta R, Avtar R and Bhalani P, 2019. Sustainability assessment of the groundwater quality in the Western India to achieve urban water security. *Applied Water Science* 9:72-89.
- Wu J, Zhang Y and Zhou H, 2020. Groundwater chemistry and groundwater quality index incorporating health risk weighting in Dingbian County Ordos Basin of Northwest China. *Geochemistry* 80:1-10.
- Zhang B, Zhao D, Zhou P, Qu S, Liao F and Wang G, 2020. Hydrochemical characteristics of groundwater and dominant water-rock interactions in the Delingha area, Qaidam Basin, Northwest China. *Water* 12: 836:852