



Hydrogeochemical Assessment of Water Quality in Terms of Drinking and Agriculture (Case study-Sabzevar Plain, Northeast of Iran)

Salimeh Eshaghi Ilbeygi¹, Zahra Ganji Norouzi^{2*}, Vajiheh Dorostkar³, Mohamad Hadi Movahednejad⁴, Majid Otari⁵

¹ MS. Graduated Student, Soil and Water Department, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

^{2, 3, 4} Assistant Professor, Soil and Water Department, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

⁵ MS of Environmental Geology, Young and Elite Researchers Club, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

* Corresponding Author's Email: z_ganji@shahroodut.ac.ir

(Received: October. 13, 2025 – Accepted: December. 19, 2025)

ABSTRACT

Objective: Groundwater quality assessment provides a clear perspective for managers and experts to assess the quality and risk of water resources pollution. Therefore, the purpose of this research is to study the quality of groundwater in the Sabzevar Plain in terms of agriculture and drinking.

Material and Method: In this study, in order to investigate the quality of drinking water, in 2019, basic studies and surveys of 38 wells in the Sabzevar Plain region were conducted. The physical and chemical properties of the water were investigated. Using the concentration of water anions and cations (calcium, magnesium, sodium, potassium, chlorine, sulfate, bicarbonate), the type and facies of the water were determined by the Piper diagram. The sodium absorption ratio index (SAR) was used to assess the quality of water for agriculture, and the GQI and WQI indices were used to determine the quality of drinking water.

Results: Physical and chemical characteristics showed that the standard pH level in the water resources of the study area is within the standard range. Dissolved solids and electrical conductivity are several times the World Health Organization standard. The high TDS is mainly attributed to the dominant geochemical processes. Dissolved solids in water and electrical conductivity are directly related to each other. The dominant type in the water resources of the study area is the sodium chloride type. This indicates ion exchange between water and alkaline rock units. The water type and facies of the area is chloride type.

Conclusion: Water quality assessment for agriculture using SAR index showed that only in the northwest the quality level is excellent. In the southwest and east, the water quality range is from good to moderate; but in the central and northern regions, the water quality for agriculture is poor. Based on the WQI index classification and zoning map, the eastern areas towards the center of the study area have inadequate water quality and in the rest of the areas the water quality is good. The GQI quality index also showed that the eastern areas towards the center of the study area have acceptable water quality and in the rest of the areas the water quality is suitable for drinking.

Keywords: Sabzevar Plain, GQI Index, WQI Index, SAR Index, Combined Chart

Cite this article: Eshaghi Ilbeygi, S., Ganji Norouzi, Z., Dorostkar, V., Movahednejad, M. H., Otari, M. 2025. Hydrogeochemical Assessment of Water Quality in Terms of Drinking and Agriculture (Case study-Sabzevar Plain, Northeast of Iran). *Journal of Sustainable Agricultural Science Research*, 5 (3), 1-16.

DOI: <https://doi.org/10.71667/sarj.2025.1224329>



© The Author(s).

<https://doi.org/10.71667/sarj.2025.1224329>

Publisher: Islamic Azad University of Kerman Branch Press.

ارزیابی هیدروژئوشیمیایی کیفیت آب از لحاظ شرب و کشاورزی (مطالعه موردی-دشت سبزوار، شمال شرق ایران)

سلیمه اسحاقی ایل بیگی^۱، زهرا گنجی نوروزی^{۲*}، وجیهه درستکار^۳، محمدهادی موحدنژاد^۴، مجید اطاری^۵

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲ و ۳- استادیار گروه آب و خاک، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود

۵- کارشناس ارشد زمین شناسی زیست محیطی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: z_ganji@shahroodut.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۱- تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۸- تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۹/۳۰)

چکیده

هدف: ارزیابی کیفیت آب های زیرزمینی چشم انداز روشنی به مدیران و متخصصان برای ارزیابی روند کیفیت و خطر آلودگی منابع آب می دهد. لذا هدف از این تحقیق مطالعه کیفیت آب های زیرزمینی دشت سبزوار از لحاظ کشاورزی و آشامیدن می باشد. **مواد و روش ها:** در این پژوهش جهت بررسی کیفیت آب شرب، در سال ۱۳۹۹ به مطالعات پایه و بررسی ۳۸ حلق چاه در منطقه دشت سبزوار پرداخته شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از غلظت آنیون و کاتیون های آب (کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلر، سولفات، بیکربنات) تیپ و رخساره آب توسط نمودار پایپر تعیین گردید. برای ارزیابی کیفیت آب جهت کشاورزی از شاخص نسبت جذب سدیم (SAR) و برای تعیین کیفیت آب آشامیدنی از شاخص های GQI و WQI استفاده گردید.

یافته ها: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نشان داد، میزان استاندارد pH در منابع آب محدوده مورد مطالعه در محدوده استاندارد قرار دارد. مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی چندین برابر استاندارد سازمان بهداشت جهانی قرار دارد. بالا بودن TDS عمدتاً به فرآیندهای ژئوشیمیایی غالب نسبت داده می شود. مواد جامد محلول در آب و هدایت الکتریکی ارتباط مستقیمی باهم دارند. تیپ غالب در منابع آب منطقه مورد مطالعه تیپ کلروسدیم می باشند. این امر نشان تبادل یونی بین آب و واحدهای سنگی آल्کالی می باشد. تیپ و رخساره آب منطقه از نوع کلرور است.

نتیجه گیری: بررسی کیفیت آب برای کشاورزی با استفاده از شاخص SAR نشان داد، تنها در شمال غربی میزان کیفیت عالی باشد. در ناحیه جنوب غربی و شرق محدوده کیفیت آب از خوب تا متوسط قرار گرفته است؛ اما در ناحیه مرکزی و شمالی کیفیت آب برای کشاورزی بد می باشد. بر اساس طبقه بندی شاخص WQI و ترسیم نقشه پهنه بندی نواحی شرقی به سمت مرکز منطقه مورد مطالعه کیفیت آب نامناسب و در باقی نواحی کیفیت آب خوب است. شاخص کیفی GQI نیز نشان داد، نواحی شرقی به سمت مرکز منطقه مورد مطالعه کیفیت آب قابل قبول می باشد و در باقی نواحی کیفیت آب برای شرب مناسب می باشد.

واژه های کلیدی: دشت سبزوار، شاخص GQI، شاخص WQI، شاخص SAR، نمودار ترکیبی.

استناد:

Eshaghi Ilbeygi, S., Ganji Norouzi, Z., Dorostkar, V., Movahednejad, M. H., Otari, M. 2025. Hydrogeochemical Assessment of Water Quality in Terms of Drinking and Agriculture (Case study-Sabzevar Plain, Northeast of Iran). Journal of Sustainable Agricultural Science Research, 5 (3), 1-16.

DOI: <https://doi.org/10.71667/sarj.2025.1224329>



© The Author(s).

ناشر: انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

<https://doi.org/10.71667/sarj.2025.1224329>

مقدمه

دارد و منابع آب در منطقه مورد مطالعه برای شرب مناسب نمی باشند (Mahaqi & Otari, 2018). در پژوهش دیگری تأثیرات فعالیت های آنتروپوژنیک بر روی کیفیت منابع آب دشت فرومد (شمال شرقی ایران) پرداخته است. مطالعات نشان داد، منابع آب در منطقه فرومد آلوده به فلزات سنگین بوده که نشان از تأثیر فعالیت معدنکاری در منطقه است (Otari & Dabiri, 2015). در بررسی کیفیت آب آبخوان دشت چوناکام سریالنگا برای کاربری کشاورزی با استفاده از دیاگرام شوری پرداختند که ۱۶ درصد نمونه ها با شوری متوسط و خطر قلیایی شدن کم جهت کشاورزی مناسب شناخته شد (Sutharsiny et al., 2012). از مطالعات دیگر می توان به (Sundaray et al., 2009)، (Demir et al., 2009)، (Taany et al., 2009)، (Chitsazan & Akhtari, 2007)، (Sasamoto et al., 2004)، (Van der Weijden et al., 2003) و (Montoroi et al., 2002) اشاره کرد. با توجه به مطالعات گسترده ای که در بحث کیفیت آب انجام شده است می توان به اهمیت این بحث پی برد. در این پژوهش به مطالعه کیفیت آب های زیرزمینی دشت سبزوار از لحاظ کشاورزی و آشامیدنی پرداخته شده است.

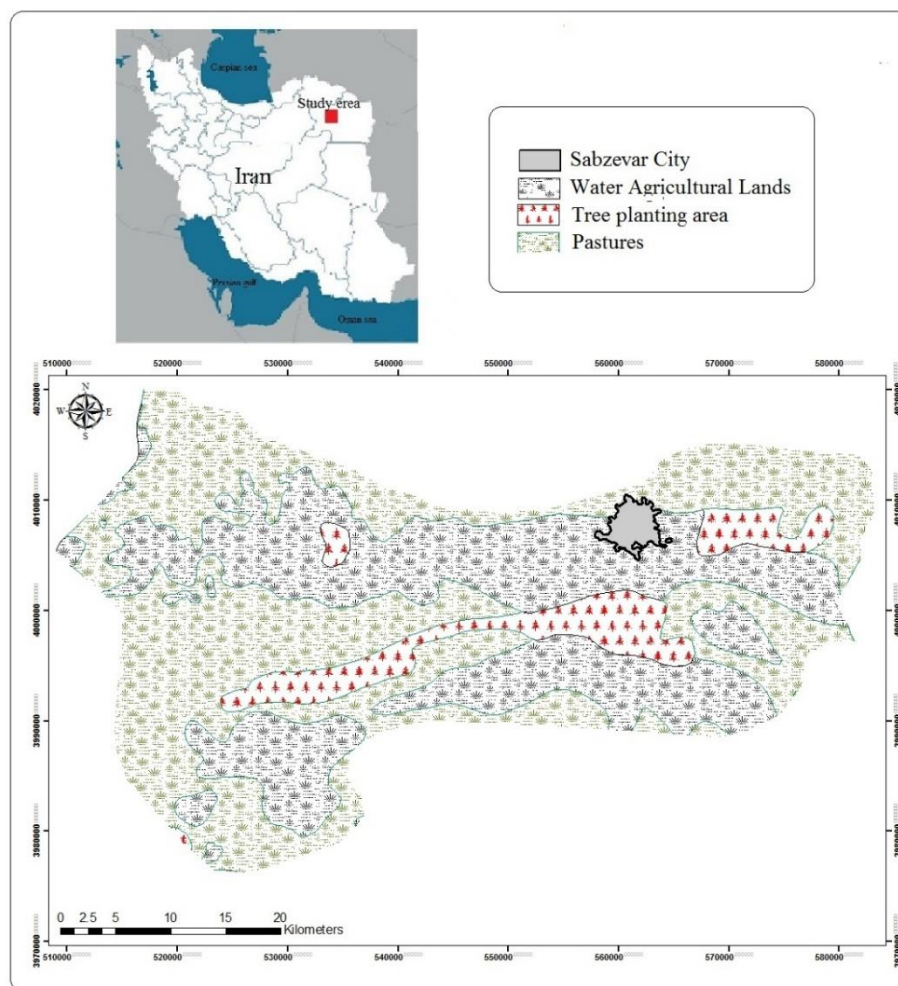
کمبود آب یکی از مشکلات کشورها با آب و هوای گرم خشک است. این مشکل با کمبود بارندگی به دلیل گرم شدن کره زمین و همچنین استفاده از چاه آب به اختلاف جدی تر تبدیل شده است (Kato et al., 2016). لذا می توان نیاز انسان ها به آب را از طریق آب زیرزمینی برطرف نمود (Dehghani et al., 2009). آلودگی های ناشی از سازندهای زمین شناسی، چشمه های معدنی، منابع آب های شور می تواند باعث پایین آمدن سطح کیفی آب و آلودگی آن گردد (Misra & Dinesh, 2009). یکی از عوامل مؤثر بر ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی جنس خاکی است که آب از آن عبور می کند (Mokrik & Baublyte, 2005). ارزیابی کیفیت آب های زیرزمینی چشم انداز روشنی به مدیران و متخصصان برای ارزیابی روند کیفیت و خطر آلودگی منابع آب می دهد (Nakhaei et al., 2009). مطالعاتی مختلفی در زمینه کیفیت آب در جهان انجام شده است که در ادامه به بعضی از آن ها پرداخته می شود. در مطالعه ای و بررسی کیفیت آب شهر مزار شریف افغانستان از لحاظ شرب و آبیاری پرداخته اند. بررسی های آن ها نشان داد، تیپ و رخساره آب در منطقه از نوع کلروسدیم و کلروپتاسیم می باشد. بر اساس نتایج تحلیلی، آب های زیرزمینی در منطقه به طور کلی بسیار سخت و با درجه شوری بالا می باشد (Mahaqi et al., 2018). در تحقیق دیگری، کیفیت آب شهر کابل افغانستان پرداخته اند. مطالعات آن ها نشان داد، تیپ و رخساره آب در منطقه از نوع سولفات سدیم و سولفات کلر می باشد که نشان از تأثیر واحدهای آلكالی در منطقه است. بررسی هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیمی نشان داد منابع آب منطقه با خطر شوری و سدیم بالا قرار

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی حوضه آبریز سبزوار

دشت سبزوار با طول جغرافیایی از ۵۷ درجه و ۵ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی از ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی واقع در شمال شرق ایران در استان خراسان رضوی قرار دارد. ارتفاعات نظرگاه در شمال و کوه گرو در ناحیه شمال غرب تأثیر زیادی به جهت ریزش‌های جوی در منطقه به وجود آورده است. عبور رودخانه‌ها و پخش سیلاب آن‌ها

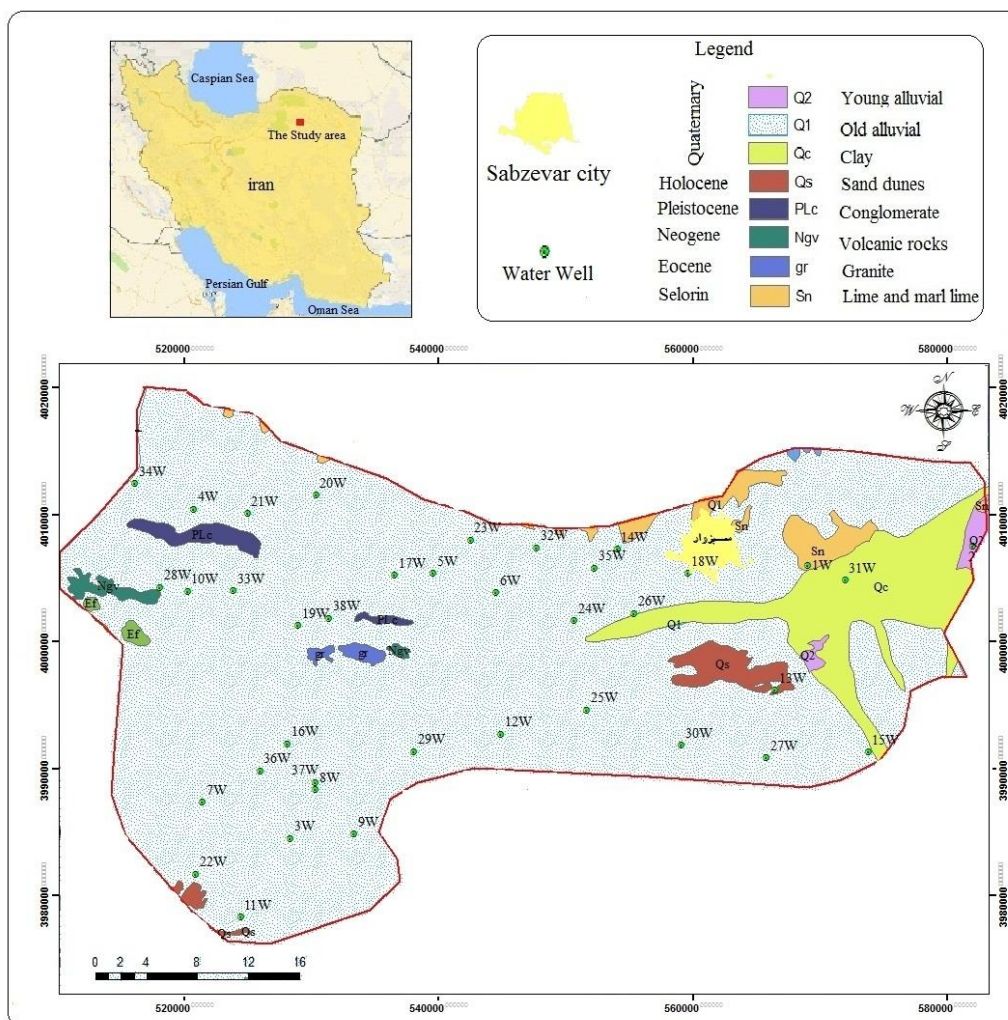
بر روی سطح دشت باعث تغذیه سفره آب زیرزمینی می‌گردد. سطح زیر کشت آبی این شهرستان ۸۰ هزار هکتار می‌باشد که از این مقدار ۶۵ هزار هکتار زراعی و ۱۵ هزار هکتار نیز باغی است. در این حوضه ۶۲ نوع محصول زراعی و باغی تولید می‌شود. با توجه به تراکم جمعیت و فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی که نقش به سزایی در آلودگی منابع در حوضه آبریز فوق را دارد، بررسی کیفیت آب در این منطقه حائز اهمیت می‌باشد. شبکه‌های غالب بهره‌برداری در دشت سبزوار، استفاده از آب‌های زیرزمینی است (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه موقعیت کاربری اراضی دشت سبزوار

وجود آورده‌اند. در دوره اتوسن یکسری گدازه‌های آندزینی - بازالتی در ارتفاعات شمالی و توده‌های گرانیتی در ارتفاعات جنوبی و همچنین رسوبات فلیشی و سنگ‌های تخریبی و تبخیری به‌طور وسیعی در نواحی جنوب شرقی حوضه توسعه یافته‌اند. در زمان نئوژن نیز مارن‌ها و مارن‌های گچ دار و کنگلومرا با درون لایه‌های مارنی در جنوب شرقی حوضه به وجود آمده است (شکل ۲) (Tayebi, 2003).

از دیدگاه زمین‌شناسی ارتفاعات شمال منطقه در زون بینالود و ارتفاعات جنوب در زون ایران مرکزی واقع شده است. واحدهای سنگی آذرین اولترامافیکی تا مافیک و نیمه اسیدی کرتاسه فوقانی در ارتفاعات شمال سبزوار شامل هارزبورژیت، دونیت و در ارتفاعات جنوب منطقه شامل آندزیت، توف، دیابازو گرانیت، تشکیل شده است، سنگ‌های آذرین فوق همراه با رسوبات آهکی و رادیولاریتی پلاژیک در زمان‌های بعدی تحت تأثیر نیروهای تکتونیکی به هم ریخته و افیولیت ملانژها را به



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی دشت سبزوار، برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سبزوار و موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری شده (Majidi, 1999)

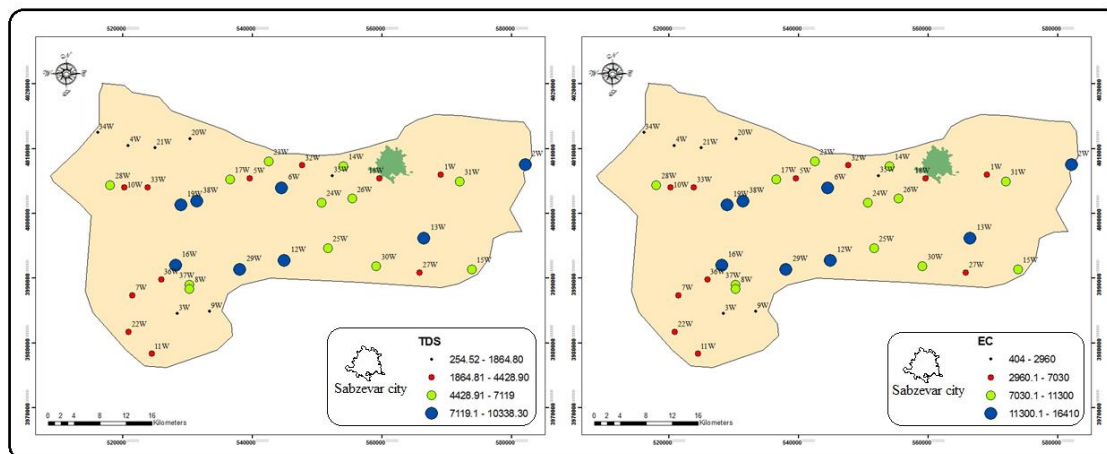
الکتریکی (Ec) به ترتیب ۲۵۴ تا ۱۰۳۳۸ ppm و ۴۰۴ تا ۱۶۴۱۰ $\mu\text{S}/\text{cm}$ می‌باشد. TDS و Ec بالاتر از استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) قرار گرفته‌اند (WHO, 2011). بالا بودن TDS عمدتاً به فرایندهای ژئوشیمیایی غالب نسبت داده می‌شود. مواد جامد محلول در آب و هدایت الکتریکی ارتباط مستقیمی باهم دارند. افزایش TDS افزایش EC را در بردارد. غلظت Ec و TDS در مرکز دشت بالا می‌باشد (شکل ۳). با توجه به اینکه هدایت الکتریکی از سمت ارتفاعات به طرف مرکز آبخوان می‌باشد، نشان از تغذیه دشت توسط ارتفاعات اطراف دارد.

در این پژوهش جهت بررسی کیفیت آب شرب، به مطالعات پایه و بررسی منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است. برای این منظور ۳۸ حلقه چاه در منطقه انتخاب و اطلاعات فیزیکوشیمیایی آن از طریق سازمان آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی در سال ۲۰۲۰ تهیه گردید (شکل ۲). ابتدا خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب از قبیل هدایت الکتریکی (Ec)، مواد جامد محلول در آب (TDS) و پتانسیل هیدروژنی (pH) مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از غلظت آنیون و کاتیون‌های آب (کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلر، سولفات، بیکربنات) تیپ و رخساره آب توسط نمودار پایپر تعیین گردید. برای ارزیابی کیفیت آب از لحاظ کشاورزی از شاخص نسبت جذب سدیم (SAR) استفاده شد. همچنین برای تعیین کیفیت آب آشامیدن از شاخص‌های WQI و GQI استفاده گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار ArcGis10.5 و استفاده از روش درونیابی IDW نقشه پهنه‌بندی کیفیت برای منطقه مورد مطالعه ترسیم شد. برای ترسیم نمودارهای پایپر و دیاگرام pie از نرم‌افزار Geo Chemistry استفاده شد.

نتایج و بحث

شیمی آب زیرزمینی

برای ارزیابی کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه، پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. میزان pH در منابع آب محدوده مورد مطالعه در رنج ۷/۰۵ تا ۸/۰۵ قرار گرفته است و تنها چند نمونه بین ۸/۰۵ تا ۸/۷۰ قرار گرفته است. با توجه به واحدهای الترامافیک در منطقه این امر طبیعی و مشهود می‌باشد. میزان مواد جامد محلول در آب (TDS) و هدایت

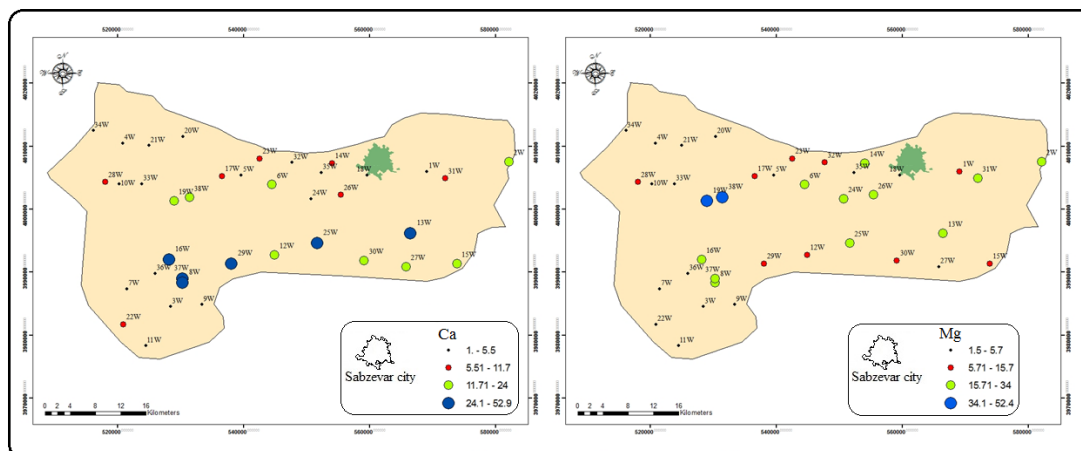


شکل ۳- نقشه غلظت مواد جامد محلول در آب و هدایت الکتریکی در منطقه مورد مطالعه

است. غلظت کلسیم در جنوب منطقه و منیزیم در شرق و مرکز منطقه بالاتر می‌باشد (شکل ۴). میزان غلظت سدیم در نمونه‌های آب منطقه از ۱/۴ تا ۹۷ ppm و میزان غلظت پتاسیم در منطقه ۰/۱ تا ۰/۴۰ ppm متغیر می‌باشد. مقاومت بالای فلدسپات‌های پتاسیک نسبت به فلدسپات‌های سدیک و کلسیت در فرایند هوازدگی منجر به کاهش غلظت پتاسیک در منابع آب می‌گردد. میزان غلظت سدیم و پتاسیم در منابع آب منطقه کمتر از استاندارد سازمان بهداشت جهانی می‌باشد.

غلظت‌ها و نسبت‌های کاتیونی می‌توانند فرآیندهای برهمکنش آب و سنگ، مانند هوازدگی معدنی و تبادل کاتیونی را ردیابی کنند (Han et al., 2009).

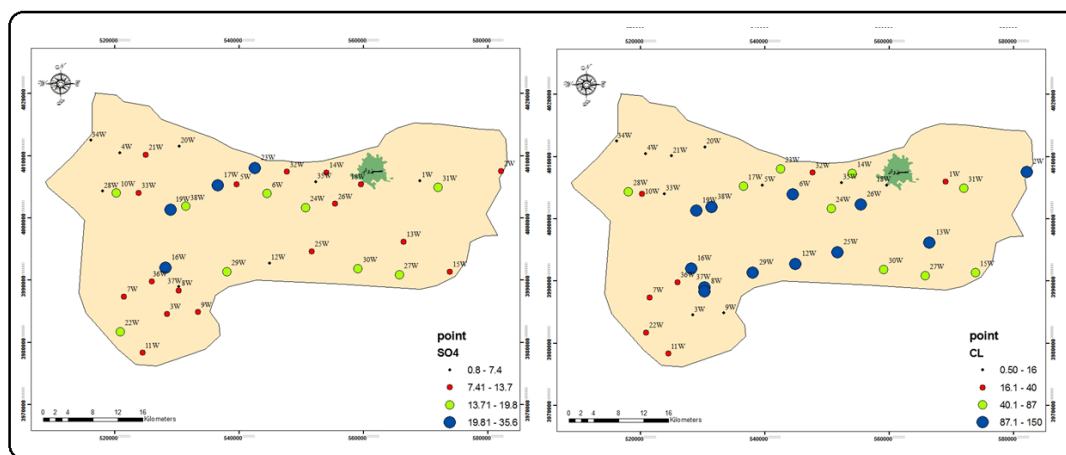
میزان غلظت کلسیم ۱/۲ تا ۵۲/۹ ppm و منیزیم ۱/۵ تا ۳۴ ppm می‌باشد. غلظت کلسیم و منیزیم در نمونه‌های آب منطقه پایین‌تر از استاندارد سازمان بهداشت جهانی می‌باشد. حضور کلسیم نشأت گرفته از رخنمون واحدهای سنگی غنی از کلسیم از قبیل سنگ آهک و دولومیت و حضور منیزیم مربوط به تبادل یونی آب با سنگ‌های دولومیتی و احتمالاً واحدهای الترامافیکی



شکل ۴- نقشه غلظت عناصر کلسیم و منیزیم در نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه

به اینکه منطقه از محیط‌های دریایی دور می‌باشد لذا منشأ کلر تنها انحلال هالیت است. یون سولفات می‌تواند به دلیل استفاده از کودهای شیمیایی و کانی‌های سولفات از قبیل ژپس و انیدریت در منابع آب وجود داشته باشد (Mahaqi et al., 2018). میزان غلظت سولفات در منطقه بین ۰/۸ تا ۳۵/۶ ppm و پایین‌تر از استاندارد بهداشت جهانی است. غلظت سولفات و کلر در شمال غرب و مرکز دشت نسبت به نقاط دیگر منطقه بالاتر است (شکل ۵).

غلظت بیکربنات، در آب‌های زیرزمینی از هوازدگی واحدهای سنگی کربناته (کلسیت و دولومیت) و یا هوازدگی سیلیکات‌ها می‌باشد (Jalali, 2007; Kumar & Dua, 2009). میزان غلظت بیکربنات در منابع آب منطقه از ۰/۷ تا ۴/۶ متغیر است و مقدار آن کمتر از استاندارد سازمان بهداشت جهانی است. میزان غلظت کلر از ۰/۵ تا ۱۵۰ ppm متغیر است و پایین‌تر از استاندارد سازمان بهداشت جهانی قرار گرفته است. منشأ یون کلر به‌طور کلی در آب‌های زیرزمینی به سه حالت انحلال هالیت، آب دریا و نمک‌های افسری است. لذا با توجه

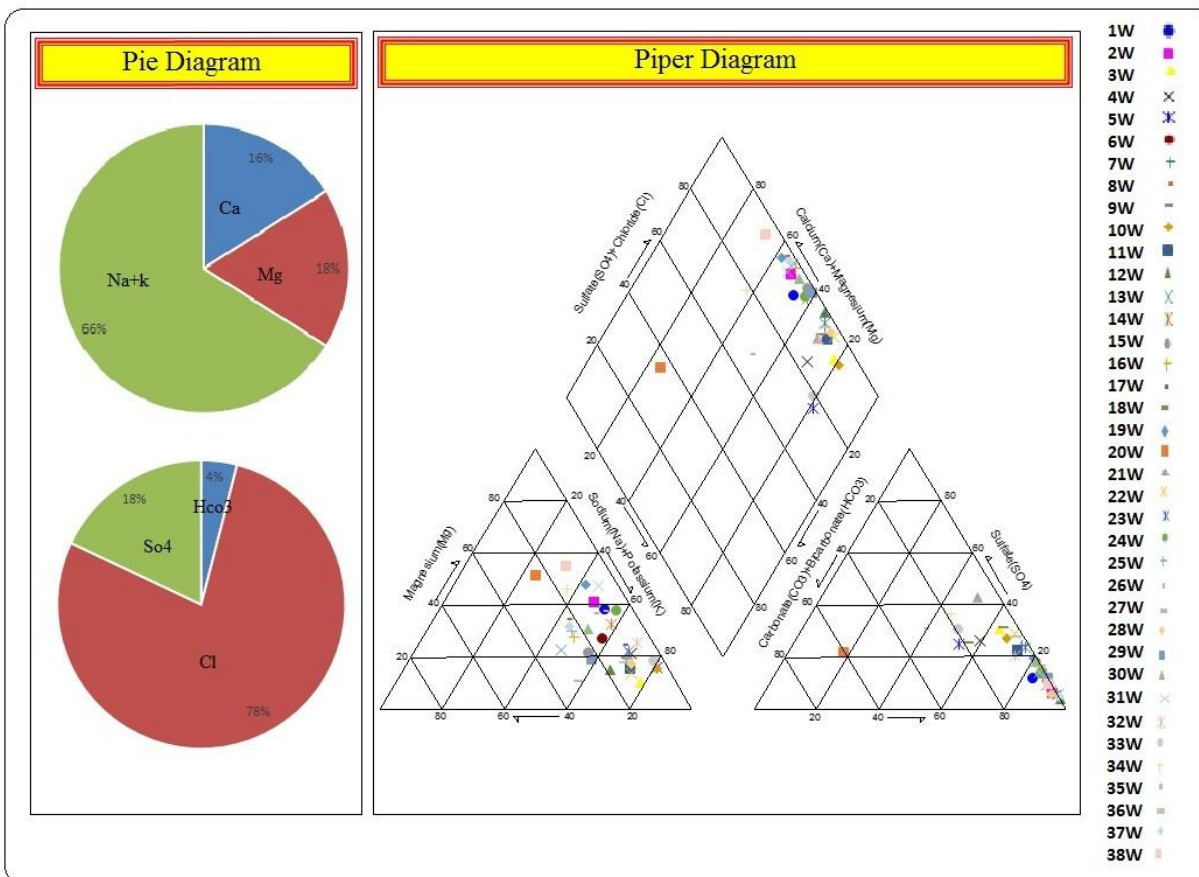


شکل ۵- نقشه غلظت عناصر سولفات و کلر در نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه

خطوطی بر روی نمودار لوزی شکل ترسیم می‌گردد. دو ضلع از نمودار کاتیون‌ها و دو ضلع دیگر آنیون‌ها را نشان می‌دهد (Eby, 2004). نمودار pie نشان داد، بیشترین یون غالب در کاتیون‌ها مجموع سدیم و پتاسیم و در یون‌ها کلر می‌باشد. بر اساس نمودار پایپر تیپ غالب در منابع آب منطقه مورد مطالعه تیپ کلروسدیم است. این الگو نشان‌دهنده سرعت کم آب‌های زیرزمینی و واکنش تبادل یونی به علت تأثیر و انحلال کانی‌های تبخیری از قبیل هالیت می‌باشد (شکل ۶).

ارزیابی هیدروشیمیایی

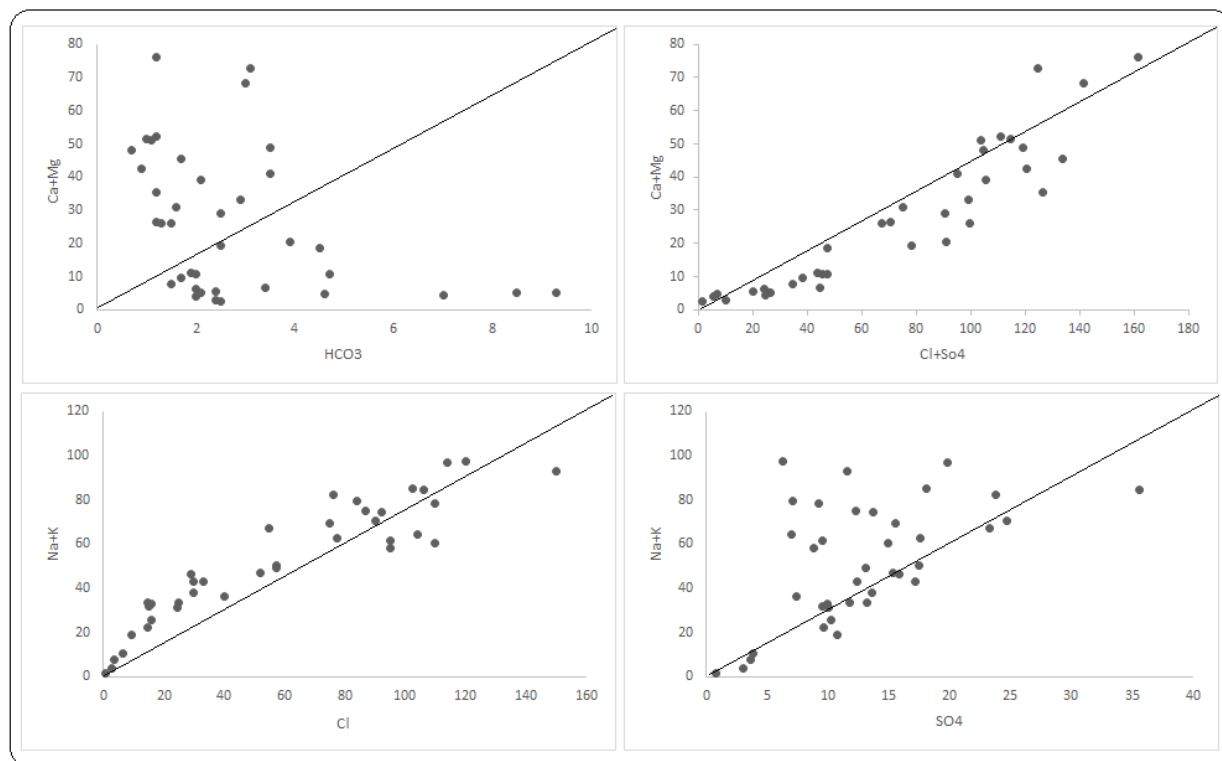
رخساره‌های هیدروشیمیایی بخش متمایزی هستند که دارای غلظت‌های آنیونی و کاتیونی قابل توصیف در گروه ترکیبی معین هستند (Freeze & Cherry, 1979). به‌منظور تعیین یون‌های غالب در منطقه و تعیین تیپ و رخساره آب منطقه از نمودار pie، piper استفاده گردید. نمودار پایپر که نمودار سه تایی معروف می‌باشد توسط پایپر در سال ۱۹۴۴ ارائه شد (Piper, 1944). در نمودار پایپر داده‌های مربوط به آنیون و کاتیون‌ها بر روی نمودارهای مثلی رسم گردیده و در نهایت با استفاده از



شکل ۶- نمودار پایپر جهت تعیین تیپ و رخساره آب منطقه مورد مطالعه

هوازدگی کانی‌های سیلیکاته است. نمونه‌های که در پایین خط تعادلی قرار می‌گیرند نشان‌دهنده تعادل Cl^- SO_4^{2-} با آلکالی‌ها هستند. ترسیم $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ در برابر SO_4^{2-} نشان داد که نمونه‌ها در دو طرف خط تعادلی قرار گرفته‌اند نشان از منبع مشترک در توزیع عناصر فوق می‌باشد. ترسیم $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ در برابر Cl^- نشان از تمرکز نمونه‌ها در بالای خط تعادلی است و نشان از افزایش یون‌های $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ به نسبت از Cl^- است. لذا منبع $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ غیر از منبع یون کلر می‌باشد (شکل ۷).

نمودار ترکیبی برای تعیین آمیختگی و منشأ آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود (Mazor, 1991). نمودار $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ به HCO_3^- نشان داد نمونه‌ها در دو قسمت خط تعادلی قرار گرفته‌اند و این امر نشان از یک منشأ در توزیع کلسیم و منیزیم در آب دارد. این امر را می‌توان به رخنمون سنگ آهک و دولومیت منسوب دانست. پلات شدن نمونه‌ها در نمودار $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ به $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ نشان داد برخی از نمونه‌ها با $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ پایین، بالای خط تعادلی قرار می‌گیرند که این امر بیان کننده



شکل ۷- نمودارهای ترکیبی یون‌ها موجود در منابع آب منطقه مورد مطالعه

بررسی کیفیت آب از لحاظ کشاورزی

بیش از ۹۰ درصد از منابع آب زیرزمینی در بخش کشاورزی مصرف می‌گردد که در صورت مدیریت آن می‌توان از آلودگی آب‌های زیرزمینی و بحران کم‌آبی کاست. به منظور بررسی کیفیت آب از لحاظ کشاورزی از نسبت جذب سدیم (SAR) شاخص نسبت جذب سدیم (SAR) از طریق رابطه ۱ به دست می‌آید (Richard, 1954).

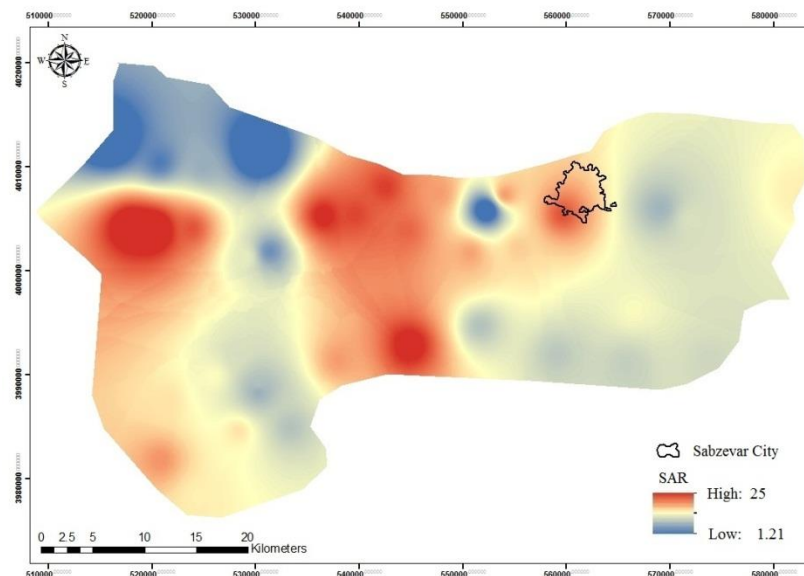
$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad \text{رابطه ۱}$$

در مصارف کشاورزی آب با SAR کم توصیه می‌شود، زیرا به ازای مقدار معینی از کاتیون سدیم، افزایش

کاتیون‌های کلسیم و منیزیم آب منجر به قابلیت جذب سدیم به وسیله خاک شده و در نتیجه زیان آن برای گیاه کمتر می‌شود. بررسی SAR نشان داد، جذب سطحی سدیم از ۱/۲۰ تا ۲۵ متغیر می‌باشد. ترسیم نقشه پهنه‌بندی نشان داد، تنها در دو نمونه شمال غربی که میزان رسوبات نئوژن کم است باعث شده از لحاظ SAR میزان کیفیت عالی باشد. در ناحیه جنوب غربی و شرق محدوده کیفیت آب از خوب تا متوسط قرار گرفته است؛ اما در ناحیه مرکزی و شمالی کیفیت آب برای کشاورزی بد می‌باشد (شکل ۸). انحلال کانی‌های تبخیری در کاهش کیفیت آب برای کشاورزی مؤثر بوده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی بر اساس SAR (FAO, 1994)

SAR	کوچک‌تر از ۱۰	۱۰-۱۸	۱۸-۲۶	بزرگ‌تر از ۲۶
خطر	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
کیفیت آب	آب‌های خیلی خوب	آب‌های خوب	آب‌های متوسط	آب‌های نامناسب برای زراعت



شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی SAR در منطقه مورد مطالعه

طبقه‌بندی کیفیت آب از لحاظ شرب با استفاده از شاخص GQI

برای بررسی مکانی و پهنه‌بندی کیفیت آب شرب از شاخص GQI استفاده می‌گردد (Babiker et al., 2007). برای این کار از عناصر کلسیم، منیزیم، سدیم، سولفات، کلر و مواد محلول در آب (TDS) استفاده می‌گردد. جهت محاسبه شاخص GQI، ابتدا در محیط ArcGIS 10 با استفاده از داده‌های ۳۸ حلقه چاه، پارامتر شیمیایی مذکور به روش IDW (Inverse Distance Weighted) درون‌یابی گردیده و به این ترتیب داده‌های نقطه‌ای به نقشه رستری غلظت تبدیل گردید (ArcGIS, 2008). در انتهای این مرحله برای هر یک از پارامترهای مذکور یک نقشه رستری درون‌یابی شده ایجاد گردید. سپس برای

اینکه داده‌های متفاوت دارای یک مقیاس و معیار مشترک شوند نقشه رستری هر پارامتر به یک نقشه رستری جدید که ارزش پیکسل‌های آن بین ۱- و ۱ می‌باشد، تبدیل گردید. جهت این تبدیل از رابطه ۲ استفاده شد.

$$C = \frac{Ci - C_{WHO}}{Ci + C_{WHO}} \quad \text{رابطه ۲}$$

در رابطه فوق C_i نقشه رستری هر یک از پارامترها که در مرحله قبل ایجاد شده بود و C_{WHO} استاندارد سازمان بهداشت جهانی هر یک از پارامترهای شیمیایی مذکور می‌باشد. سپس نقشه رتبه‌بندی شده تعیین می‌گردد. در این نقشه غلظت‌ها بین ۱ تا ۱۰ درجه‌بندی می‌گردد. برای

این کار از رابطه ۳ استفاده می‌گردد (Babiker *et al.*, 2007).

$$r = (0.5 \times (C * C) + 4.5 \times C + 5) \quad \text{رابطه ۳}$$

در نقشه رتبه‌بندی شده فوق، رتبه ۱ نشان از کیفیت خوب آب زیرزمینی و رتبه ۱۰ نشان از پایین بودن کیفیت آب می‌باشد. همچنین برای آنکه وضعیت کلی کیفیت آب زیرزمینی منطقه با توجه به استاندارد WHO نشان داده شود از شاخص کیفیت آب GQI استفاده می‌گردد. برای تهیه نقشه GQI از همپوشانی شش پارامتر ذکر شده توسط رابطه ۴ استفاده می‌گردد.

$$GQI = 100 - \left[\frac{r_1w_1 + \dots + r_6w_6}{6} \right] \quad \text{رابطه ۴}$$

که در این رابطه r رتبه هر پیکسل نامیده می‌شود و w وزن نسبی هر یک از پارامترها می‌باشد. برای محاسبه

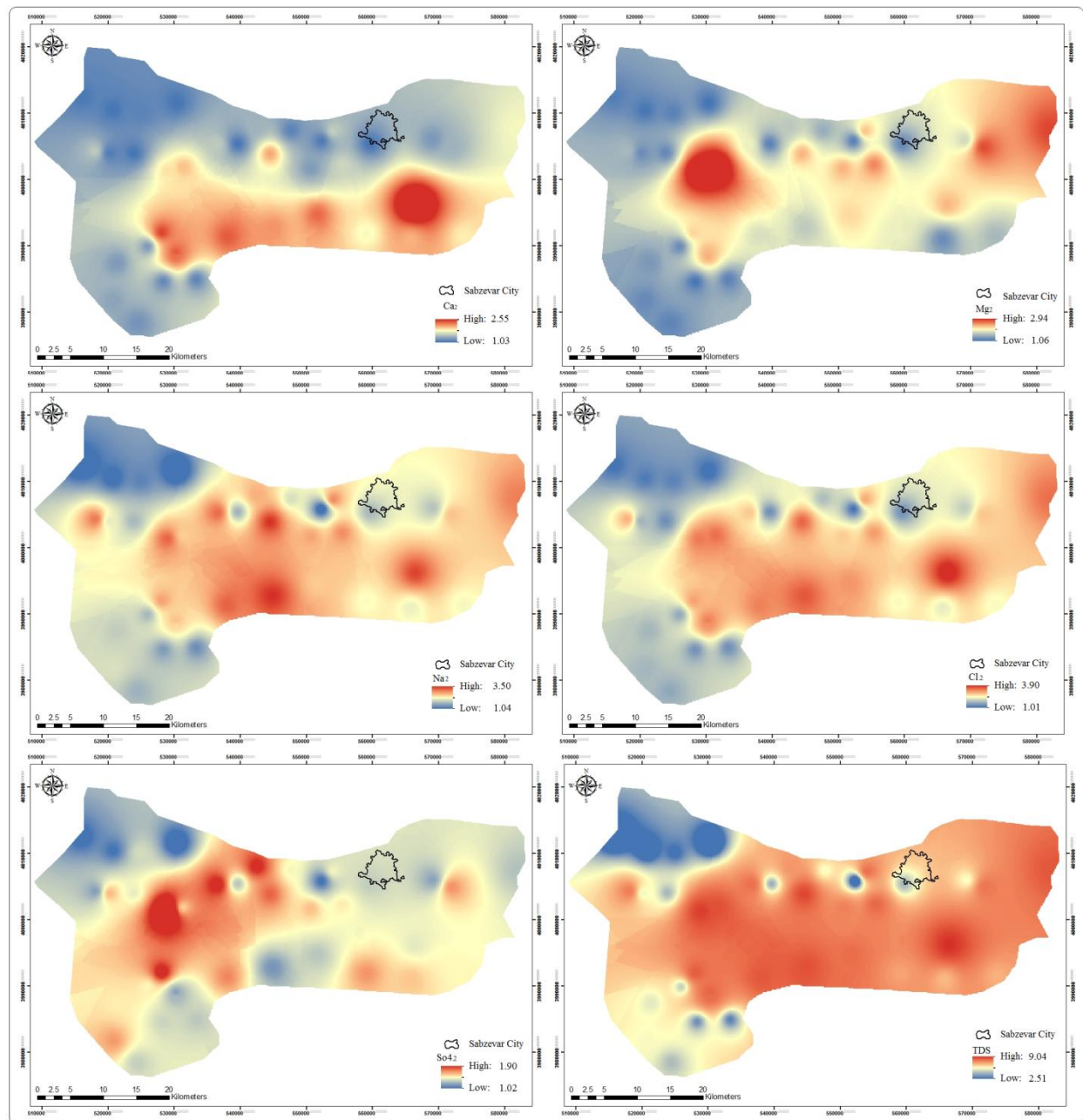
جدول ۲- میزان کیفیت آب بر اساس GQI (۲۹)

کیفیت آب	پایین	ضعیف	متوسط	قابل قبول	مناسب
GQI	۰-۲۵	۲۶-۵۰	۵۱-۷۰	۷۱-۹۰	۹۱-۱۰۰

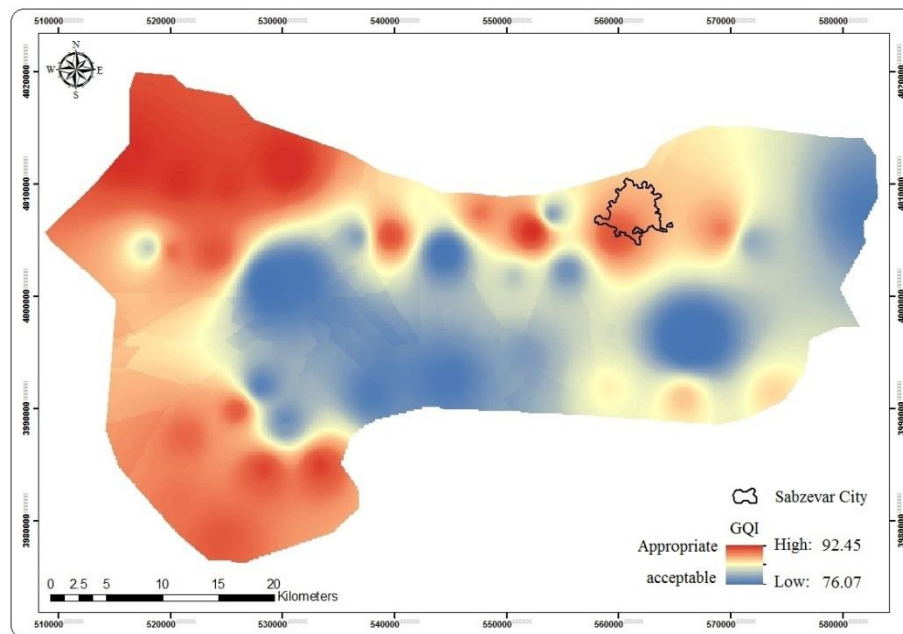
GQI از پارامترهای مختلف میانگین وزنی گرفته می‌شود که پارامترهای با مقدار بیشتر (تفاوت بیشتر با مقدار استاندارد) دارای وزن نسبی و در نتیجه تأثیرگذاری بیشتری می‌باشند (Hiyama, 2010). وزن نسبی هر پارامتر، به مقدار میانگین رتبه‌بندی آن‌ها (r) (بستگی دارد. وزن نسبی از رابطه ۵ به دست می‌آید.

$$w = \text{mean } r + 2 \quad \text{رابطه ۵}$$

ترسیم نمودار رتبه‌بندی نشان داد کلسیم، کلر، منیزیم، سدیم و مواد جامد محلول در آب از قسمت شرقی تا مرکز دشت از غلظت بالاتری برخوردار هستند که این امر موجب پایین رفتن سطح کیفی آب می‌گردد (شکل ۹). بر این اساس کیفیت آب بر اساس شاخص GQI نشان داد، نواحی شرقی به سمت مرکز منطقه مورد مطالعه کیفیت آب قابل قبول می‌باشد و در باقی نواحی کیفیت آب برای شرب مناسب می‌باشد (شکل ۱۰).



شکل ۹- نقشه پهنه‌بندی عناصر کلسیم، منیزیم، سدیم، سولفات، کلر و مواد محلول در آب در منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص GQI



شکل ۱۰- نقشه پهنه‌بندی شاخص کیفی منابع آب منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص GQI

طبقه‌بندی کیفیت آب با استفاده از شاخص WQI

به منظور تعیین کیفیت آب برای آشامیدن از شاخص WQI و نمودار شولر استفاده می‌گردد. شاخص WQI اولین بار توسط Miller در سال ۱۹۸۶ به کار برده شد (Han & Liu, 2004). با این شاخص می‌توان کیفیت آب زیرزمینی برای مصرف شرب را ارزیابی

کرد (Kumar et al., 2009). برای این کار از نیترات، سختی، کلر، سدیم، کلسیم، منیزیم، سولفات و میزان مواد جامد محلول در آب استفاده می‌گردد. ابتدا وزن نسبی W_i آن پارامتر از رابطه ۶ به دست می‌آید.

$$W_i = \frac{Wi}{\sum wi} \quad \text{رابطه ۶}$$

جدول ۳- وزن نسبی مؤلفه‌های شیمیایی منابع آب

No ₃	SO ₄	Cl ⁻	Na	Mg ³⁺	Ca ²⁺	TH	TDS	مؤلفه شیمیایی
۰/۰۷۶	۰/۱۹۲	۰/۰۷۶	۰/۱۱۵	۰/۱۱۵	۰/۱۱۵	۰/۱۱۵	۰/۱۹۲	وزن نسبی W_i
۴۵	۴۵۰	۲۵۰	۲۰۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۶۰۰	استاندارد WHO

$$q_i = \frac{Ci}{Si} \times 100$$

$$WQI = \sum_{i=1}^8 (W_i * q_i)$$

رابطه ۷

رابطه ۸

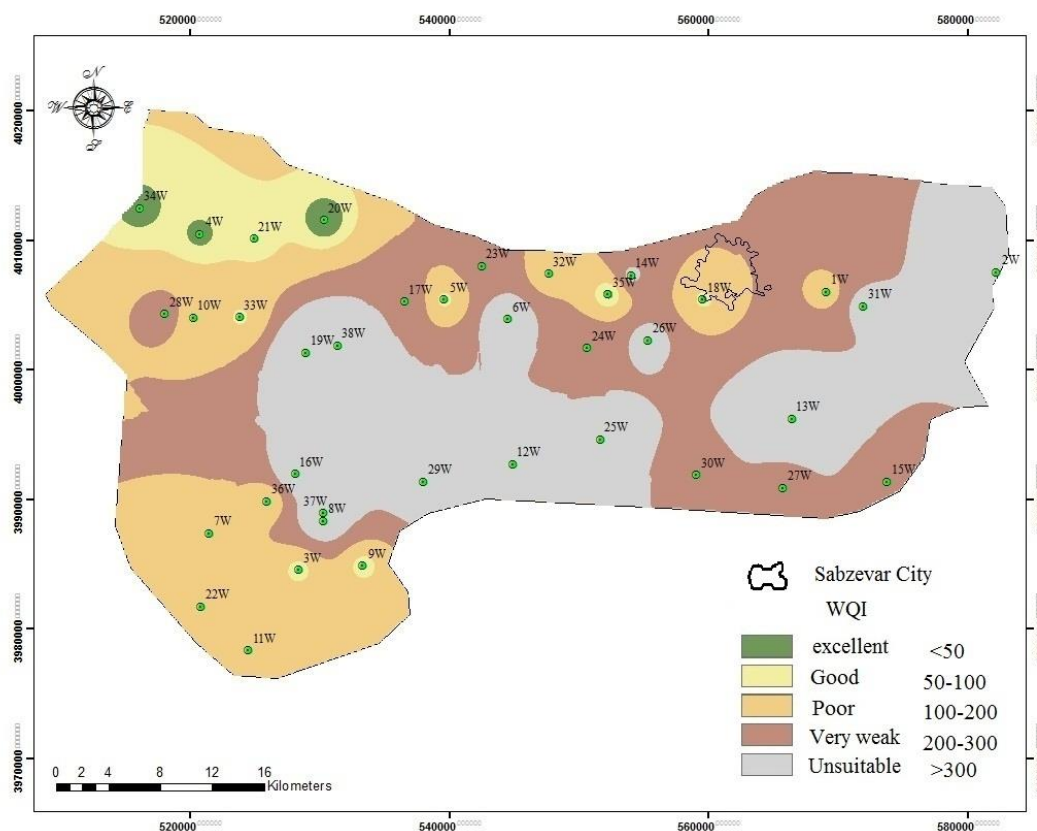
برای اندازه‌گیری شاخص کیفیت (q_i) برای هر مؤلفه، از رابطه ۷ استفاده می‌گردد. در رابطه فوق، C_i غلظت آن مؤلفه دره نمونه آب، S_i غلظت استاندارد WHO می‌باشد. بر این اساس مقدار شاخص WQI هر نمونه آب بر اساس رابطه ۸ محاسبه شده است.

جدول ۴- طبقه‌بندی کیفیت آب منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص WQI

کیفیت آب	بسیار عالی	خوب	ضعیف	خیلی ضعیف	نامناسب
WQI	۵۰ <	۱۰۰ تا ۵۰	۲۰۰ تا ۱۰۰	۳۰۰ تا ۲۰۰	۳۰۰ >

WQI و ترسیم نقشه پهنه‌بندی نواحی شرقی به سمت مرکز منطقه مورد مطالعه کیفیت آب نامناسب و در باقی نواحی کیفیت آب خوب است (شکل ۱۱).

بر اساس روابط فوق و بر اساس غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در آب منطقه شاخص کیفی WQI جهت شرب تعیین گردید. بر اساس طبقه‌بندی شاخص



شکل ۱۱- نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نشان داد، میزان استاندارد pH در منابع آب محدوده مورد مطالعه در محدوده استاندارد قرار دارد. مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی چندین برابر استاندارد سازمان بهداشت جهانی قرار دارد. بالا بودن TDS عمدتاً به فرایندهای ژئوشیمیایی غالب نسبت داده می‌شود. مواد جامد محلول در آب و هدایت الکتریکی ارتباط مستقیمی باهم دارند. افزایش TDS افزایش EC را در بردارد. غلظت کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم، سولفات، کلر در نمونه‌های آب منطقه پایین‌تر از استاندارد سازمان بهداشت جهانی قرار گرفته است. حضور کلسیم نشأت گرفته از رخنمون واحدهای سنگی غنی از کلسیم از قبیل سنگ‌آهک و دولومیت و حضور منیزیم مربوط به تبادل یونی آب با سنگ‌های دولومیتی و احتمالاً واحدهای ترامافیکی است. میزان غلظت سدیم و پتاسیم در منابع آب منطقه کمتر از استاندارد سازمان بهداشت جهانی می‌باشد. مقاومت بالای فلدسپات‌های پتاسیک نسبت به فلدسپات‌های سدیک و کلسیت در فرایند هوازدگی منجر به کاهش غلظت پتاسیک در منابع آب می‌گردد. غلظت بیکربنات، سولفات و کلر در منابع آب منطقه پایین‌تر از مقدار سازمان بهداشت

جهانی می‌باشد. نمودار ترکیبی $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ به HCO_3^- نشان از یک منشأ در توزیع کلسیم و منیزیم در آب (واحدهای آهکی و الترامافیکی) دارد. پلات شدن نمونه‌ها در نمودار $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ به $Cl^-+SO_4^{2-}$ نشان از هوازدگی کانی‌های سیلیکاته می‌باشد. تیپ غالب در منابع آب منطقه مورد مطالعه تیپ کلروسدیم می‌باشند. این امر نشان تبادل یونی بین آب و واحدهای سنگی آلكالی می‌باشد. تیپ و رخساره آب منطقه از نوع کلرور است. بررسی کیفیت آب برای کشاورزی با استفاده از شاخص SAR نشان داد، تنها در شمال غربی میزان کیفیت عالی باشد. در ناحیه جنوب غربی و شرق محدوده کیفیت آب از خوب تا متوسط قرار گرفته است؛ اما در ناحیه مرکزی و شمالی کیفیت آب برای کشاورزی بد می‌باشد. بر اساس طبقه‌بندی شاخص WQI و ترسیم نقشه پهنه‌بندی نواحی شرقی به سمت مرکز منطقه مورد مطالعه کیفیت آب نامناسب و در باقی نواحی کیفیت آب خوب است. شاخص کیفی GQI نیز نشان داد، نواحی شرقی به سمت مرکز منطقه مورد مطالعه کیفیت آب قابل قبول می‌باشد و در باقی نواحی کیفیت آب برای شرب مناسب می‌باشد.

REFERENCES

- ArcGIS. 2008. Spatial Analyst Tutorial. ESRI, *United States of America*.
- Babiker, I. S., Mohamed, M., Hiyama, T., 2007. Assessing groundwater quality using GIS. *Water Resources Management*, 21: 699-715.
- Chitsazan, M. and Akhtari, Y. 2006. Evaluating the Potential of Groundwater Pollution in Kherran and Zoweircherry Plains through GIS-based DRASTIC Model. *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab*, 17(3), 39-51 (In Farsi).

- Dehghani, Amir Ahmad, Asgari, Masoumeh, and Mosaedi, Abolfazl. 2009. Comparison of three methods: artificial neural network, fuzzy inference system, adaptive neural network and geostatistics in groundwater level estimation (case study of Qazvin plain). *Agricultural Sciences and Natural Resources*, 16(1): 517-528 (In Farsi).
- Demir, Y., Erşahin, S., Güler, M., Cemek, B., Günal, H., Arslan, H., 2009. Spatial variability of depth and salinity of groundwater under irrigated ustifluents in the Middle Black Sea Region of Turkey, *Environ. Monit. Assess.* 158 (1-4): 279-94.
- Eby, G. N. 2004. Principles of environmental geochemistry, University of Massachusetts, Lowell, Thomson: 511 p.
- FAO. 1994. Water Quality for Agriculture, Food and Agriculture Organization of United Nations.
- Freeze, R.A., Cherry, J.A. 1979. Groundwater. Prentice-Hall, 604 p.
- Han, D., Liang, X., Jin, M., Currell, M.J., Han, Y., Song, X. 2009. Hydrogeochemical indicators of groundwater flow systems in the Yangwu River Alluvial Fan, Xinzhou Basin, Shanxi, China. *Environ Manag.*
- Han, G., Liu, C. Q. 2004. Water geochemistry controlled by carbonate dissolution, a study of the river waters draining karst-dominated terrain, Guizhou Province, China, *Chemical Geology*, 204, 1 – 21.
- Hiyama, T. 2010. Evaluation of groundwater vulnerability (and sustainability). 20th UNESCO. IHP training course: 11269.
- Jalali, M. 2007. Stalinization of groundwater in arid and semi-arid zones: an example Tajarak, western Iran, *Environ Geo.*, 52:1133-1149.
- Kato, H., Nakagami, K., Cooper, M. 2016. Participatory approaches to environmental management: future design for water resources management. In: Nakagami K, Kubota J, Setiawan B (eds) Sustainable water management. Springer, Singapore
- Kumar, A., Dua, A. 2009. Water quality index for assessment of water quality of river Ravi at Madhopur (India), *Journal of Environmental Science*, 8(1), 49-57.
- Kumar, S.K., Rammohan, V., Sahayam, J.D., Jeevanandam, M. 2009. Assessment of groundwater quality a hydrogeochemistry of Manimuktha River basin, Tamil Nadu, India. *Environ Monit Assess.*
- Majidi, A. 1999. Sabzevar geological map. Ministry of industries and mines, Geology and meditation.
- Mazor, E. 1991. Applied chemical and isotopic groundwater hydrology: New York. Halsted Press: 274 p..
- Mahaqi, A., Moheghi, M., Mehiqi, M., Moheghi, M. 2018. Hydrogeochemical characteristics and groundwater quality assessment for drinking and irrigation purposes in the Mazar-i-Sharif city, North Afghanistan. *Applied Water Science*. 8:113
- Mahaqi, A., Otari, M. 2018. Hydrogeochemistry and evaluation of groundwater suitability for drinking and irrigation purposes in the Kabul city, Afghanistan. *Goldshmit*.
- Misra, S. G. Dinesh, M. 2009. Soil Pollution, Published by S.B. Nangia, New Delhi.

- Mokrik, R., Baublyte, A. 2005. Water geochemistry in the Sventojy-Arukula aquifer system Lithuania. *J. of Geologija*. 52: 55-64.
- Montoroi, J. P. O., Grunberger, O., Nasri, S. 2002. Groundwater geochemistry of a small reservoir catchment in Central Tunisia. *Applied Geochemistry*. Vol.17:1047-1060.
- Nakhaei, M., Vadiati, M., Saberi, N. 2009. Hydro geochemistry Evolution of Torbate Heydariye plain. Fifteenth Meeting of Geological Society of Iran.
- Otari, M., Dabiri, R. 2015. Examining the effects of anthropogenic activities on the water resource quality of Froumad plain based on the qualitative indicators. *Iranian Journal of Earth Science*.
- Piper, A.m. 1944. A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analysis. *Transaction of the American Geophysical Union*, 25, 6, 914-923.
- Richard, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Department of Agriculture, Washington.
- Taany, R. A., Tahboub, A. B., Saffarini, G. A. 2009. Geostatistical analysis of spatiotemporal variability of groundwater level fluctuations in Amman–Zarqa basin Jordan: a case study, *Environ. Geol.*, 57: 525–535.
- Tayebi, R. 2003. The process of groundwater aquifer's water flow is limited to long-term supply of greenish water. University of Sabzevar.
- Sasamoto, H., Yui, M., Arthur, R. C. 2004. Hydrochemical characteristics and groundwater evolution modeling in sedimentary rocks of the Tono mine, Japan. *Physics and Chemistry of the Earth*. Vol.29:43-54.
- Sundaray, S. K., Nayak, B. B., Bhatta, D. 2009. Environmental studies on river water quality with reference to suitability for agricultural purposes: Mahanadi river estuarine system, India– a case study, *Environ. Monit. Assess.* 155 (1-4): 227-243.
- Sutharsiny, A., Pathmarajah, S., Thushyanthy, M., Meththinka, V. 2012. Characterization of Irrigation water quality of Chunnakam aquifer in Jaffna Peninsula", *Tropical Agricultural Research*, 23 (3): 237-248.
- Van der Weijden, A., Fernando, A. L., Pacheco, B. 2003. Hydrochemistry, weathering and weathering rates on Madeira Island. *Journal of Hydrology*. 283: 122-145.
- WHO. 2011. Guidelines for drinking-water quality. World Health Organization, Geneva