

ارزیابی مخاطرات زیست محیطی استفاده از مواد یخزدا در عملیات زمستانی

(مطالعه کیفیت هیدروشیمیایی آبخوان دشت همدان-بهار)

امیر جمشیدی^۱

امیررضا گودرزی^{۲*}

Amir_r_goodarzi@yahoo.co.uk

پریسا رزم آرا^۳

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۷/۵/۶

چکیده

زمینه و هدف: با وجود کاربرد گسترده مواد یخزدا در معابر، پساب حاصل از آن می تواند به اکوسیستم آسیب وارد نماید. لذا هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی تاثیر نمک پاشی در عملیات زمستانی محدوده شهری همدان بر کیفیت آب های زیرزمینی منطقه است. همدان از مراکز مهم گردشگری و جزء قطب های کشاورزی ایران بوده و آلودگی منابع آب آن سلامت کل کشور را به خطر می اندازد. روش بررسی: مدل سازی جریان های زیرسطحی محدوده مورد مطالعه نشان می دهد حرکت پساب های حاصل از بارش در سطح شهر عمدتاً به سمت آبخوان دشت همدان-بهار (به عنوان یکی از منابع اصلی تأمین آب شرب و کشاورزی منطقه) است. لذا با انتخاب ۲۴ ایستگاه در نواحی مختلف این آبخوان و انجام نمونه گیری طی ده سال گذشته (۱۳۸۶، ۱۳۹۵)، مشخصات هیدروشیمیایی آنها اندازه گیری و روند تغییرات تجزیه و تحلیل شد.

یافته ها: نتایج بیانگر افزایش تدریجی املاح و مواد جامد محلول در آب زیرزمینی دشت بوده که با توجه به همبستگی معنادار $R^2 = 0.89$ بین شوری و غلظت سدیم و کلر، علت آن ناشی از مجاورت با مواد یخزدا ارزیابی شد. میزان مواد آلاینده در تعدادی از چاه ها فراتر از حد مجاز استاندارد ملی و رهنمودهای بین المللی بوده و بعضاً تا ۱۰ برابر مقدار مطلوب برای شرب است. بر پایه معیار ویلکوکس، آب اغلب ایستگاه ها در محدوده $C3S1$ (باعث کاهش توان حاصل خیزی خاک و اختلال اکوفیزیولوژیکی در محصولات زراعی) و حتی برخی از موارد در رده $C4S1$ (کاملاً مضر برای آبیاری) می باشد. همچنین توزیع مشابهی از پراکندگی ترکیبات یخزدا و میزان آرسنیک در جریان های زیرسطحی دشت مشاهده شد.

۱- دانشجوی دوره دکتری مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، همدان، ایران.

۲- دانشیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، همدان، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۳- استادیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، همدان، ایران.

بحث و نتیجه گیری: روند انباشت آلودگی و افت شاخص‌های هیدروشیمیایی در آبخوان مورد مطالعه بر اثر تماس با مواد یخ‌زدا، علاوه بر آثار مستقیم مخرب بر سلامتی افراد و زمین‌های کشاورزی، تهدیدی خطرناک برای افزایش تحرک فلزات سنگین در پیکره‌های خاکی-آبی منطقه به شمار می‌رود. لذا بایستی با اتخاذ شیوه‌های نوین، مانند: برنامه پیشگیرانه مقابله با یخ‌زدگی، مواد یخ‌زدای دوست‌دار طبیعت، آسفالت حاوی ترکیبات ضدیخ و روسازی با سیستم گرمایشی، عملیات زمستانی شهر همدان با حداقل تأثیرات منفی زیست‌محیطی صورت پذیرد.

واژه‌های کلیدی: عملیات زمستانی، مواد یخ‌زدا، همدان، آلودگی منابع آب زیرزمینی، مخاطرات اکولوژیکی.

Assessing the Environmental Risks of De-icing Materials Used in Winter Operations

(A case of Study of the Hydrochemical Quality of Hamedan-Bahar Basin)

Amir Jamshidi¹

Amir reza Goodarzi^{2*}

Amir_r_goodarzi@yahoo.co.uk

Parisa Razmara³

Admission Date: May 9, 2018

Date Received: March 13, 2018

Abstract

Background and Objective: Despite the wide application of de-icing substances to the roadways, the sewage produced can have negative impacts on local ecosystems. Hence, the present study was conducted for assessing the effects of road salt use throughout the winter in Hamedan on the hydro-chemical quality of Hamedan-Bahar basin. Hamedan is one of the major tourist destinations and one of the main agricultural poles in Iran, and thus, its water resources contamination may pose serious risk to the health of the whole country.

Method: The modeling of under-ground water flow paths in the study area revealed that the flow of rain and snow water in the city is mainly towards Hamedan-Bahar basin (as one of the main drinking water and agricultural water supplies in the region). Therefore, the 24 wells in the study area were sampled and the hydro-chemical characteristics of the obtained water samples as well as their changing trends over the past 10 years were determined and analyzed.

Findings: The results indicated a gradual increase in the minerals and solid materials in the water of the basin. This, considering the meaningful correlation values obtained ($R^2 \geq 0.89$) between the salt contents and Cl^- and Na^+ concentrations, could be attributed to the use of de-icing materials. The rate of pollutants in some of the samples was found to be 10 times as much as the permissible national standard and international values. Moreover, based on the Wilcox diagram, the water in most stations could be classified as C3S1 (decreasing the soil fertility and resulting in ecophysiological abnormalities in crops) and even as C4S1 (completely harmful for irrigation). A similar distribution of de-icing compounds and arsenic were observed in the under-ground water of the basin.

Discussion and Conclusion: The increase in the pollution and the decline in hydro-chemical properties of the basin due to the accumulation of de-icing materials, not only pose direct hazardous effects to human health and agricultural lands but can also intensify the mobility of the heavy metals in soil-water profiles of the region. Therefore, it is suggested that winter operations in the city be planned and carried out using modern methods and facilities (such as anti-icing program, eco-friendly deicers, asphalt mixture with anti-icing additives, hydronic heating pavement), so that the negative environmental impacts can be controlled as much as possible.

Keywords: Winter Operation, De-Icing Substances, Groundwater Pollution, Ecological Risks.

1- Ph.D. Student, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

2- Associated Professor, Faculty of Engineering, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

*(Corresponding Author)

3- Assistant Professor, Faculty of Engineering, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

مقدمه

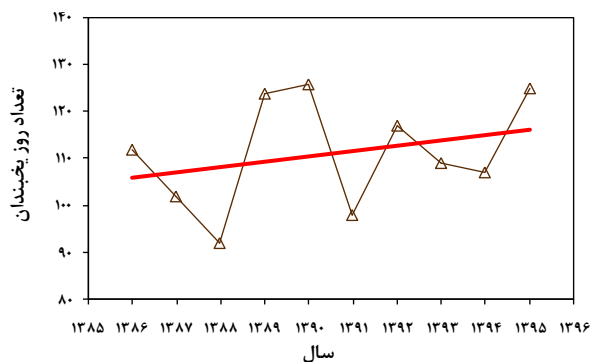
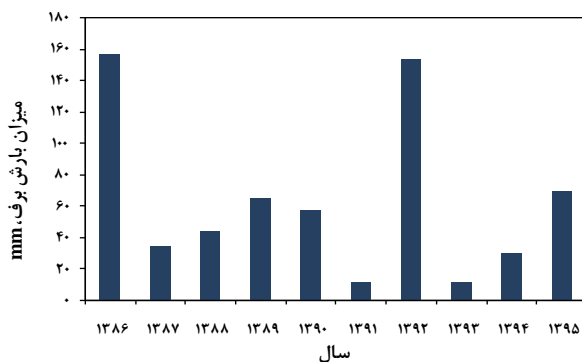
یخ‌زدگی و لغزندگی معابر شهری و جاده‌ها در حین و یا پس از بارش طی فصول سرد، از جمله چالش‌های مهم مدیریتی بوده که در صورت عدم کنترل بهنگام، سبب بروز سوانح ناگوار و زیان‌های هنگفتی می‌شود (۱). به عنوان مثال خسارات تصادفات ناشی از یخبندان جاده‌ها در جنوب و مرکز کشور چین در سال ۲۰۰۸ بیش از ۲۰ میلیارد دلار و برای کشور آلمان در ماه نوامبر سال ۲۰۰۵ حدود ۲۰۰۰ مورد تصادف با هزینه بیش از صد میلیون یورو بوده است (۲). در حال حاضر به دلیل سهولت اجرا و هزینه اقتصادی اندک، شیوه رایج برای انجام عملیات زمستانی، برف‌روبی و پخش مواد یخ‌زدا به ویژه کلرید سدیم (NaCl) به منظور کاهش نقطه انجماد آب و جلوگیری از یخبندان است (۵-۳). از طرفی با وجود حل اولیه مشکل، به دلیل حجم زیاد ترکیبات شیمیایی به کار رفته در این فرآیند و تکرار مداوم دفعات آن، بخشی از این مواد روی سطح باقی مانده و با گذشت زمان وارد طبیعت خواهند شد (۶)، در این راستا نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته در کانادا، ایالات متحده و بسیاری از کشورهای اروپایی نشان‌دهنده افزایش چشمگیر دسترسی زیستی غلظت یون‌های کلر و سدیم در مناطق مجاور جاده‌ها به دلیل کاربرد گسترده NaCl در عملیات زمستانی (به عنوان مثال مصرف سالانه حدود ۲۴ میلیون تن نمک در آمریکا) است (۴، ۸، ۹). به طوری که طبق مطالعه انجام یافته توسط نوتنی و همکاران (۱۰)، سالانه به طور متوسط میزان غلظت کلر در منابع آب ایالت مینه‌سوتا حدود ۱/۸٪ افزایش نشان می‌دهد. بررسی صورت گرفته در سوئد نیز مؤید ورود سالانه بیش از ۳۰۰۰ تن نمک در رودخانه‌های مجاور جاده‌های این کشور ناشی از انجام عملیات زمستانی است (۱۱). پراکنده شدن مواد یخ‌زدا در طبیعت می‌تواند موجب خسارات زیست‌محیطی و فنی گسترده‌ای از جمله امکان آلودگی هوا، آسیب به خاک، اختلال در فعالیت متابولیکی اکوسیستم‌های گیاهی و جانوری و مسمومیت آب-های سطحی شود (۲، ۳، ۱۲، ۱۳، ۱۴). به نحوی که علی‌رغم گستردگی تحقیقات انجام یافته در مناطق مختلف دنیا با هدف

شناسایی آثار نامطلوب مواد یخ‌زدا و ارائه راه‌کارهایی برای کاهش آن، بررسی‌های صورت گرفته در کشور ما بسیار محدود است. در این رهگذر به دلیل شرایط آب و هوای سرد اغلب استان‌های واقع در غرب ایران و به دلیل استفاده از الگوی سنتی مقابله با یخبندان و مصرف زیاد مواد یخ‌زدا (به عنوان مثال حدود ۷۵ هزار تن ترکیب ماسه-نمک در زمستان ۹۶ صرفاً برای جاده‌های برون شهری استان همدان)، مطالعه آثار زیست‌محیطی نمک‌پاشی در این مناطق ضروری به نظر می‌رسد. لذا هدف اصلی پژوهش حاضر، ارزیابی مخاطرات اکولوژیکی استفاده از مواد یخ‌زدا در عملیات زمستانی شهر همدان با تأکید بر مطالعه تغییرات مشخصات هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه می‌باشد. شایان ذکر است در سال‌های اخیر علی‌رغم حساسیت فراوان در مورد کمیت آب این منطقه، به تغییرات کیفی خصوصیات آن کمتر توجه شده؛ به نحوی که بر اساس بازدیدهای مستقیم میدانی صورت گرفته در پژوهش حاضر، مصرف زیاد مواد یخ‌زدا در فصل زمستان برای شهر همدان علاوه بر ضایعات مستقیم زیست‌محیطی مانند آلودگی هوا و صدمه به تأسیسات شهری (شکل ۱)، می‌تواند سبب آلودگی آب‌های سطحی و حتی انتشار ترکیبات شیمیایی به جریان‌های زیرسطحی شود. زیرا با توجه به شرایط خاص مورفولوژی شهر همدان و نتایج مدل‌سازی عددی انجام گرفته در مطالعات گذشته (۱۵)، بخش زیادی از رواناب‌های سطح شهر در نهایت به سفره آب‌های زیرزمینی دشت همدان-بهار متصل می‌گردند. از طرفی، آبخوان مورد نظر یکی از منابع اصلی تأمین آب شرب همدان و کشاورزی گسترده موجود در منطقه بوده (۱۶) که ورود هر گونه آلودگی به آن تهدیدی جدی برای سلامت عمومی جامعه محسوب می‌شود. بنابراین با توجه به امکان اثرپذیری مستقیم سفره آب‌های زیرزمینی دشت بهار از فرآیند نمک‌پاشی زمستانی در محدوده شهر همدان، تغییرات مشخصات هیدروشیمیایی این آبخوان طی ده سال اخیر (سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵) در پژوهش حاضر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.



شکل ۱- نمونه‌هایی از خسارات محیطی پاشش مخلوط ماسه-نمک در فصل زمستان شهر همدان
Figure 1. Some cases of environmental damages caused by winter maintenance in Hamedan

شکل ۲، در همدان حدود ۱۱۰ روز از سال شرایط یخبندان به همراه بارش نسبتاً قابل ملاحظه برف حکفرماست. بنابراین مدیریت شهری با هدف تأمین ایمنی عبور و مرور شهروندان و تسهیل جریان ترافیک، ضمن برف‌روبی اقدام به پخش مقادیر زیادی مخلوط ماسه-نمک (متوسط سالانه حدود ۱۰ هزار تن در سطح شهر و حدود ۷۵ هزار تن در جاده‌های استان) می‌نماید.



شکل ۲- تعداد روزهای یخبندان و میزان بارش برف در شهر همدان طی دوره آماری ده سال اخیر
Figure 2. Number of frosty days and amount of snowfall in Hamedan during the last ten years

گرفته که تا حد امکان کل سطح دشت را در نواحی غرب (شامل ۸ چاه)، مرکز (شامل ۸ چاه) و شرق (شامل ۸ چاه) پوشش دهد. نمونه‌برداری از این ایستگاه‌ها طی دو نوبت در هر سال آبی (دوره اول، پایان اردیبهشت به عنوان فصل تر و دوره دوم، پایان شهریور به عنوان فصل خشک) و طبق روش ویلد و همکاران (۱۷) با دقت کامل صورت پذیرفت.

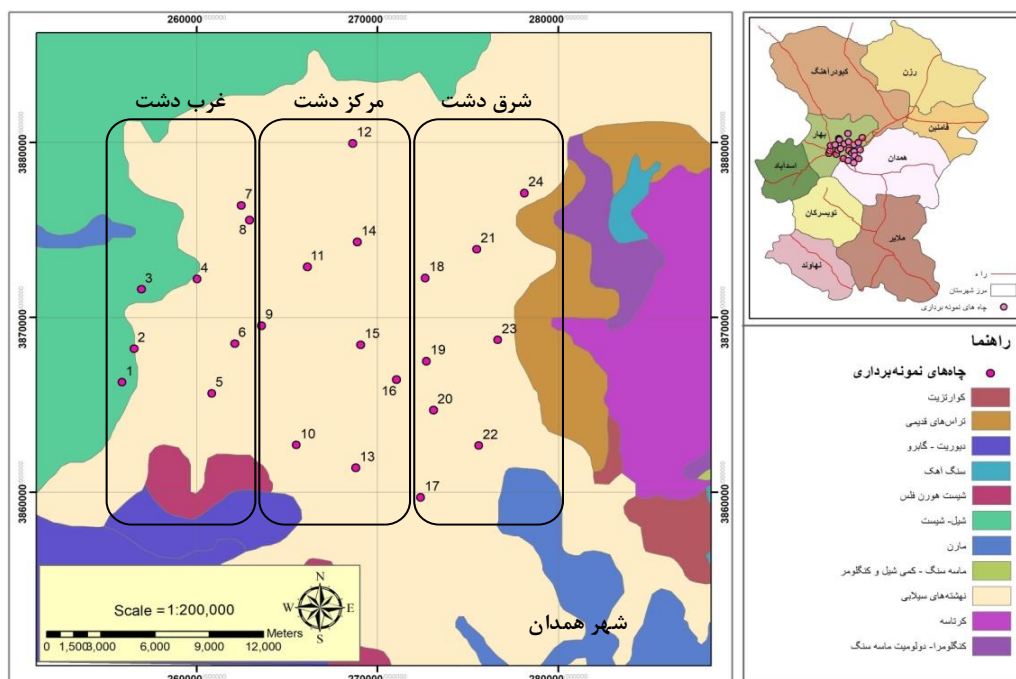
۲- روش انجام پژوهش

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر همدان در یک ناحیه سرد کوهستانی با ارتفاع متوسط ۱۸۷۰ متر از سطح دریا، در غرب ایران قرار دارد. بر اساس آمار اخذ شده از ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان، میانگین حداقل دمای این شهر طی ده سال اخیر در فصول سرد، ۱۶- درجه سلسیوس و به صورت موردی تا 31°C - درجه رسیده که مؤید سرمای شدید منطقه می‌باشد. به‌نحوی که طبق نتایج

۲-۲- نحوه نمونه‌گیری و انجام آزمایش‌ها

پس از بررسی اولیه میدانی و با در نظر گرفتن پراکندگی یکنواخت برای ایستگاه‌ها، ۲۴ چاه عمیق متصل به آبخوان دشت بهار واقع در شرق، مرکز و غرب منطقه مورد مطالعه انتخاب شد (شکل ۳). چاه‌های انتخاب شده جزء ایستگاه‌های اصلی مورد استفاده برای تأمین آب شرب (شهر همدان) و کشاورزی منطقه است. توزیع آنها نیز به نحوی مدنظر قرار



شکل ۳- نقشه پراکندگی ایستگاه‌های نمونه‌برداری از آبخوان دشت همدان-بهار

Figure 3. The map of sampling stations in Hamedan-Bahar basin

(انحراف معیار آزمایش‌ها برای تعیین غلظت یون‌ها و هدایت الکتریکی به ترتیب ۰/۱ تا ۰/۵ و ۰/۱ تا ۰/۴) مشاهده شد. در نهایت نتایج اخذ شده مربوط به پارامترهای مورد مطالعه به تفکیک هر ایستگاه طی بازه زمانی ده سال اخیر (سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵) در یک سری نمودار ارائه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج

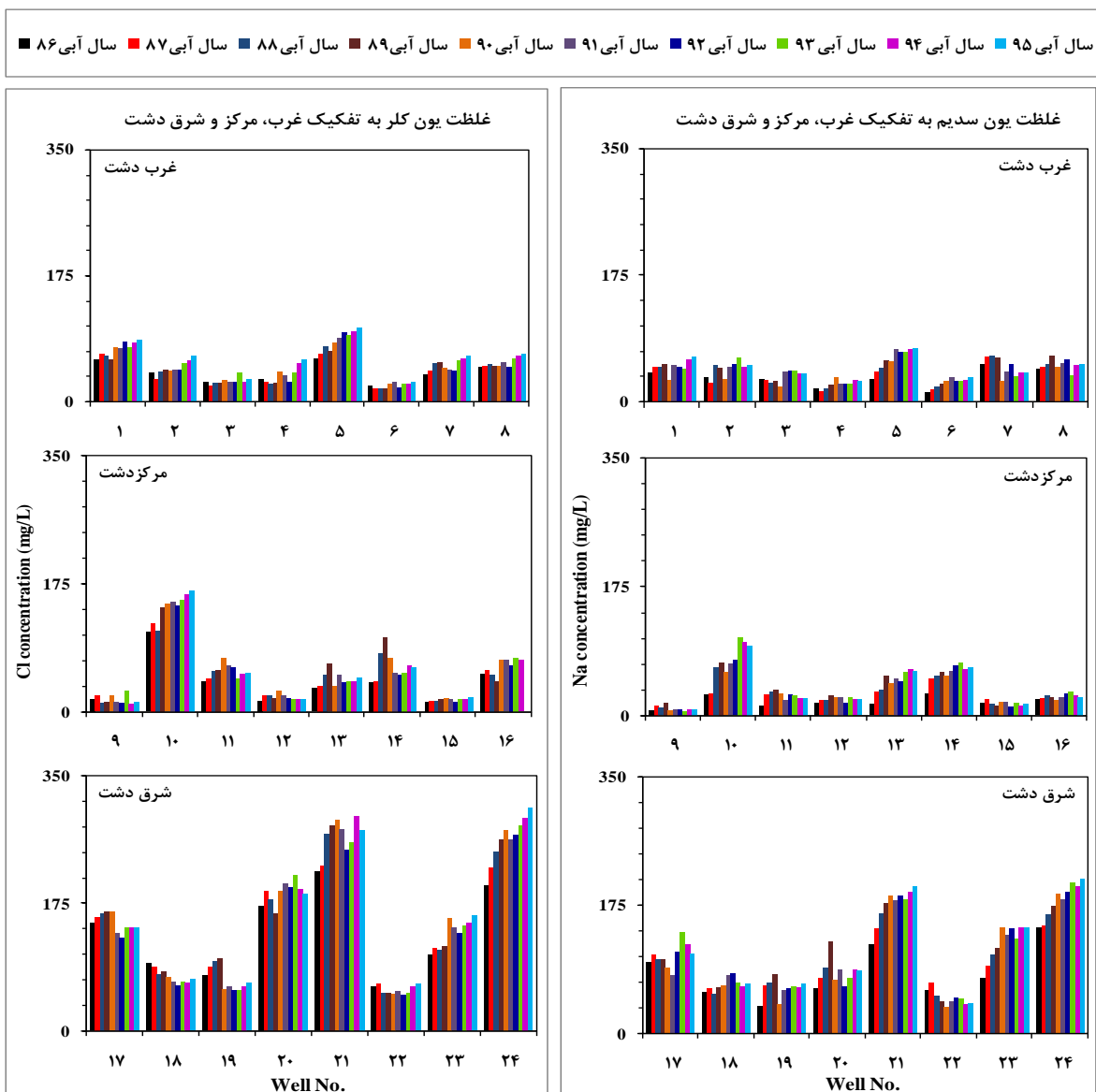
با توجه به امکان نفوذ بخش زیادی از رواناب‌های حاصل از عملیات زمستانی محدوده شهری همدان به دشت بهار، میزان غلظت یون‌های Na^+ و Cl^- در غرب، مرکز و شرق آبخوان این دشت اندازه‌گیری و به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۴ آورده شده است. نتایج شکل ۴ بیانگر آن است که متأثر از امکان نفوذ بخش زیادی از رواناب‌های حاصل از عملیات زمستانی محدوده شهری همدان به دشت بهار، غلظت سدیم و کلر در اغلب نمونه‌های اخذ شده از چاه‌های زیرزمینی این منطقه نسبت به مقادیر گزارش شده برای این دو پارامتر در آب‌های زیرزمینی غیرآلوده [معمولاً کمتر از ۲۰ میلی‌گرم در لیتر (۹، ۱۲)] بطور قابل ملاحظه‌ای بیشتر است. مشاهده می-

با توجه به هدف اصلی تحقیق حاضر مبنی بر تاثیر استفاده از نمک کلرید سدیم در عملیات زمستانی بر مشخصات آب زیرزمینی منطقه، متغیرهای هیدروشیمیایی آب ایستگاه‌های مورد مطالعه شامل غلظت یون‌های کلر (Cl^-) و سدیم (Na^+)، مقدار هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیمی و میزان کل مواد جامد برای هر نمونه آب اخذ شده از ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس استاندارد ASTM اندازه‌گیری (۱۸) و مقدار متوسط (مربوط به دو نوبت بهار و تابستان) پارامترهای مورد نظر برای هر سال به تفکیک محاسبه شد. دستگاه جذب اتمی مدل GBC-XplorAA برای قرائت غلظت کاتیون‌ها، دستگاه WTW-Cond720 برای تعیین هدایت الکتریکی و روش تیتراسیون با نیترات نقره، برای تعیین میزان کلر به کار گرفته شدند. لازم به ذکر است هر نمونه‌گیری به صورت سه بار تکرار و نتایج مربوط به میانگین آنها بوده^۱، اگرچه به دلیل دقت در نمونه‌گیری و انجام آزمایش‌ها تغییر بسیار محدودی بین نتایج

۱- نمونه‌ها از ۲۴ ایستگاه مورد مطالعه و برای هر ایستگاه دو بار در سال طی بازه زمانی ۱۰ سال اخیر اخذ شده‌اند. هر نمونه‌گیری نیز به صورت سه بار تکرار بوده که در مجموع تعداد نمونه‌ها ۱۴۴۰ مورد می‌باشد.

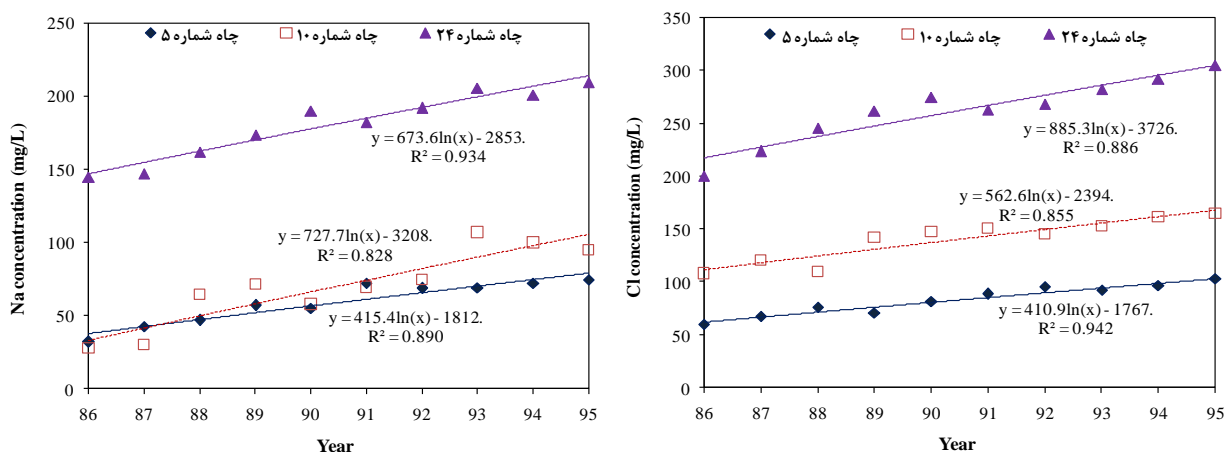
های شماره ۵، ۱۰ و ۲۴ (به عنوان نماینده از سه بخش غرب، مرکز و شرق دشت به دلیل میزان زیاد املاح آنها در مقایسه با سایر ایستگاه‌های مجاور)، روند تغییرات غلظت سدیم و کلر آنها به تفکیک در شکل ۵ ارائه و معادله نرخ رشد املاح در آنها تعیین شد. در این شکل مشاهده می‌شود با گذشت زمان مقادیر یون‌های سدیم و کلر در تمامی مناطق مختلف دشت در حال افزایش است. نکته قابل تأمل در مقایسه نتایج شکل‌های ۴ و ۵ آن است که اگرچه سطح غلظت آلودگی کلر و سدیم در نقاط شرق دشت به مراتب بیشتر از نواحی غرب و مرکز دشت می‌باشد، ولی میزان حضور مواد آلاینده در نواحی غرب و مرکز دشت نیز با سرعت فزاینده‌ای در حال افزایش می‌باشد. به عبارت دیگر بر پایه روند تغییرات مشاهده شده در شکل ۵ و با ادامه مصرف نمک، آب‌یرزمینی کل دشت در آینده آلوده خواهد شد.

شود میزان آلودگی در ایستگاه‌های سمت شرق دشت (به ویژه چاه‌های شماره ۲۱ و ۲۴) بسیار زیاد بوده و غلظت املاح این مناطق بعضاً تا چند برابر نواحی غرب و مرکز آبخوان می‌باشد. به عنوان مثال در چاه‌های شماره ۲، ۳، ۴، ۶، ۹، ۱۲، ۱۳ و ۱۵ غرب و مرکز دشت غلظت یون کلر در حدود ۳۰ میلی‌گرم در لیتر بوده، در حالی که برای برخی نواحی شرق، این غلظت تا حدود ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. این سطح از غلظت یون کلر بیش از ۱۵ برابر مقادیر گزارش شده در آب‌های زیرزمینی غیرآلوده می‌باشد. مشاهده شد در اغلب چاه‌های غرب و مرکز دشت غلظت Na^+ نیز در محدوده ۳۰ میلی‌گرم در لیتر بوده در حالی که برای برخی از ایستگاه‌های واقع در نواحی شرق، غلظت سدیم تا حدود ۱۷۵ میلی‌گرم در لیتر رسیده که تقریباً ۱۰ برابر مقادیر گزارش شده در آب‌های زیرزمینی غیرآلوده می‌باشد. از طرفی، علاوه بر تاثیر استفاده از نمک در افزایش قابل ملاحظه آلاینده‌های کلر و سدیم در منابع آب زیرسطحی منطقه مورد مطالعه، بررسی دقیق‌تر نتایج ارائه شده در شکل ۴ مؤید آن است که با گذشت زمان در اغلب ایستگاه‌ها، میزان آلودگی در سال‌های اخیر افزایش یافته است. به عنوان مثال با انتخاب چاه-



شکل ۴- غلظت یون های سدیم و کلر در مناطق مختلف آبخوان مورد مطالعه طی بازه زمانی سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵

Figure 4. Na and Cl content in different regions of Hamedan-Bahar basin over the past 10 years (2007 to 2017)

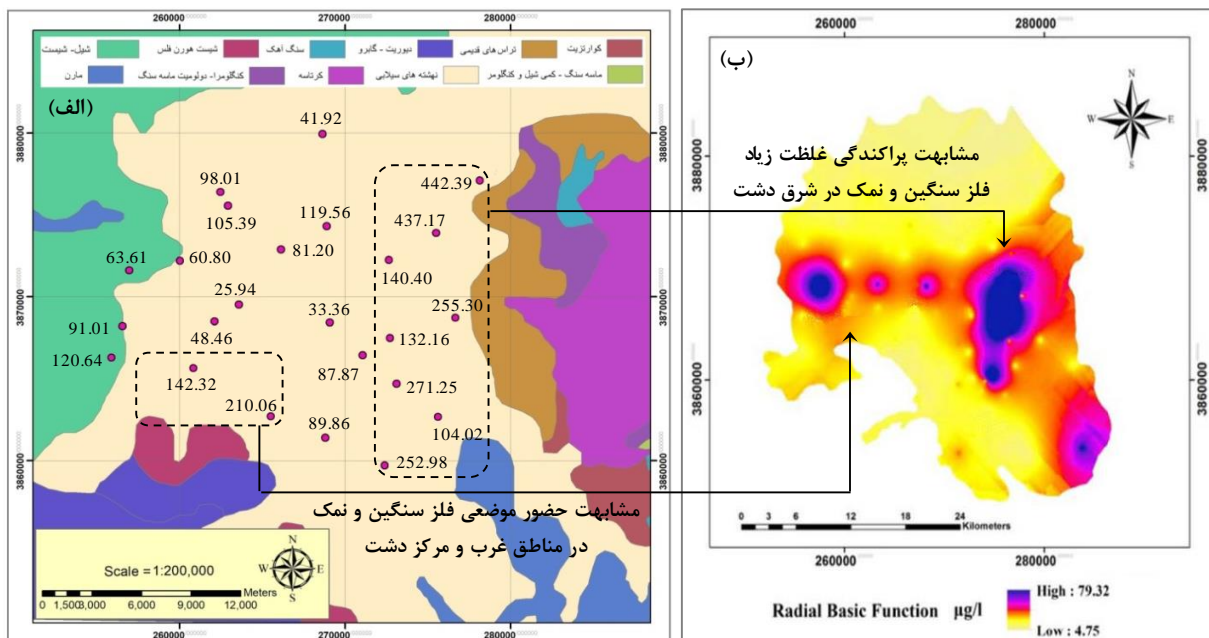


شکل ۵- روند تغییرات غلظت یون های سدیم و کلر طی ده سال اخیر در منابع آب زیرزمینی دشت همدان-بهار

Figure 5. Trend of Na and Cl concentration in Hamedan-Bahar basin over the past 10 years

مربوط به مناطق شرق دشت و بطور محدود در برخی از نواحی مرکز و غرب آن بوده که با الگوی توزیع غلظت Na^+ و Cl^- در شکل ۶-الف مبنی بر حضور بیشتر این یون‌ها در سمت شرق آبخوان همپوشانی کامل دارد. به عبارت دیگر بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۶، وجود پراکندگی مشابهی از روند انباشت ترکیبات املاح ناشی از کاربرد مواد یخ‌زدا در ایستگاه‌های مورد مطالعه با میزان غلظت آرسنیک در جریان‌های زیرسطحی، بیانگر تاثیر خطرناک استفاده از نمک در عملیات زمستانی شهر همدان بر امکان افزایش تحرک فلزات سنگین در پیکره‌های خاکی-آبی منطقه می‌باشد.

از سوی دیگر، با توجه به نتایج یاد شده بالا مبنی بر افزایش غلظت املاح سدیم و کلر بر اثر پخش مواد یخ‌زدا و با استناد به مطالعات گذشته (۲۴-۲۱)، یکی از نگرانی‌های مهم در این رابطه امکان تاثیر نمک بر افزایش پتانسیل آبشویی و تحرک فلزات سنگین در پیکره‌های خاکی-آبی آبخوان دشت بهار است. بنابراین با توجه به نتایج شکل ۴، مقادیر میانگین ده ساله غلظت سدیم و کلر به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه تعیین (شکل ۶-الف) و با میزان غلظت فلز آرسنیک گزارش شده در منابع آب زیرزمینی منطقه [شکل ۶-ب، بر اساس مطالعه توزنده جانی و همکاران (۲۵)] مقایسه شد. همان‌طور که در شکل ۶-ب مشاهده می‌شود، بیشترین حضور غلظت آرسنیک



شکل ۶- مقایسه پراکندگی آلودگی حاصل از پساب عملیات زمستانی و فلزات سنگین در آبخوان دشت همدان-بهار

Figure 6. Comparison of pollution from winter maintenance and heavy metals in Hamedan-Bahar basin

روش‌های متداول برای تعیین کیفیت آب از نظر کشاورزی (۲۷) آب خیلی خوب دارای EC کمتر از $250 \mu\text{S/cm}$ و در گروه C1، آب‌های خوب دارای EC کمتر از $750 \mu\text{S/cm}$ و در گروه C2، آب‌های متوسط دارای EC کمتر از $1500 \mu\text{S/cm}$ و در گروه C3، و آب‌های نامناسب دارای EC بیش از $2250 \mu\text{S/cm}$ و در گروه C4 می‌باشند. طبق روش ویلکوکس، نسبت جذب سدیمی (SAR) نیز در ارزیابی کیفیت آب پارامتر حائز اهمیتی محسوب شده و بر حسب این

علاوه بر مسأله افت مشخصات هیدروشیمیایی آبخوان مورد مطالعه بر اثر افزایش غلظت یون‌های سدیم و کلر ناشی از کاربرد مواد یخ‌زدا در عملیات زمستانی، شاخص شوری و به عبارتی مقدار هدایت الکتریکی (EC) پارامتر مهم دیگری در ارزیابی کیفیت آب به ویژه برای کشاورزی است. به‌نحوی که با استناد به نشریه ۵۳۵ وزارت نیرو (۲۶)، استفاده از پساب‌های با EC بیش از $700 \mu\text{S/cm}$ سبب آسیب و خسارت به گیاهان خواهد شد. همچنین، بر پایه طبقه‌بندی ویلکوکس [از جمله

و محاسبه SAR، وضعیت کیفی آب چاه‌های منطقه بر اساس طبقه‌بندی ویلکوکس بررسی و نتایج آن در جدول ۱ ارائه شد.

مشخصه، گروه S1 ($SAR < 10$) عالی، گروه S2 ($10 \leq SAR \leq 18$) خوب، گروه S3 ($18 < SAR \leq 26$) مشکوک و گروه S4 ($SAR > 26$) نامناسب برای آبیاری تلقی می‌شوند. بنابراین در مطالعه حاضر نیز پس از اندازه‌گیری EC

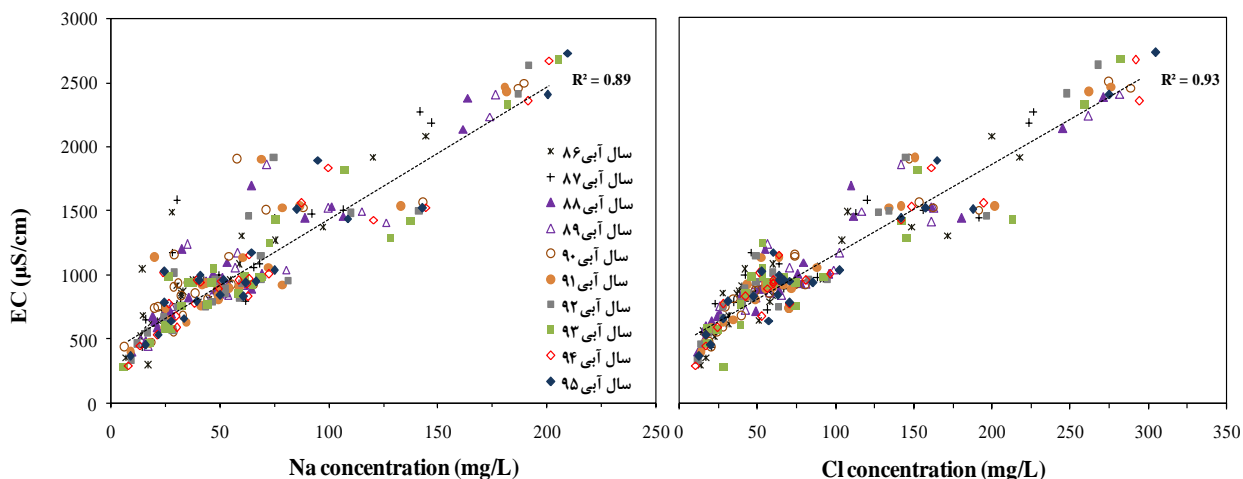
جدول ۱- ارزیابی کیفیت آب چاه‌های مورد مطالعه برای کشاورزی بر اساس طبقه‌بندی ویلکوکس

Table 1. Evaluation of water quality of studied wells for agriculture based on Wilcox classification

موقعیت چاه	شماره چاه	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	SAR	نام گروه	کیفیت آب برای کشاورزی
غرب دشت	۶ و ۴	$EC < 750$	$SAR < 1$	C2S1	کمی شور، تقریباً مناسب آبیاری
	۸، ۷، ۵، ۳، ۲، ۱	$750 < EC < 2250$	$SAR \leq 1.5$	C3S1	شور، نیاز به تمهیدات آبیاری
مرکز دشت	۱۵، ۱۲، ۹	$EC < 750$	$SAR < 1$	C2S1	کمی شور، تقریباً مناسب آبیاری
	۱۶، ۱۴، ۱۳، ۱۱، ۱۰	$750 < EC < 2250$	$SAR \leq 1.5$	C3S1	شور، نیاز به تمهیدات آبیاری
شرق دشت	۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۲ و ۲۳	$750 < EC < 2250$	$1 < SAR \leq 2.5$	C3S1	شور، نیاز به تمهیدات آبیاری
	۲۴ و ۲۱	$2250 < EC$	$2 < SAR < 4$	C4S1	خیلی شور، مضر برای آبیاری

۱۲، ۲۸)، وجود همبستگی معنادار بین EC و میزان املاح سدیم و کلر، نشان دهنده تاثیر مستقیم نمک‌پاشی در عملیات زمستانی بر شور شدن منابع آب زیرزمینی می‌باشد. بر این اساس در مطالعه حاضر نیز با هدف بررسی علت افزایش شوری منابع آب زیرزمینی منطقه و ارتباط آن با پاشیدن نمک در فصل زمستان، میزان EC هر ۲۴ ایستگاه در سال‌های مختلف بر حسب مقادیر غلظت سدیم و کلر به تفکیک در شکل ۷ ارائه شد. طبق برازش انجام یافته، ضریب R^2 بین مقادیر هدایت الکتریکی و غلظت یون‌های کلر و یون سدیم آب چاه‌های مورد مطالعه در بازه زمانی ده سال گذشته به ترتیب برابر ۰/۸۹ و ۰/۹۳ است. این نتیجه به طور چشمگیری همبستگی بین هدایت الکتریکی و غلظت یون‌های Na^+ و Cl^- را تایید می‌نماید.

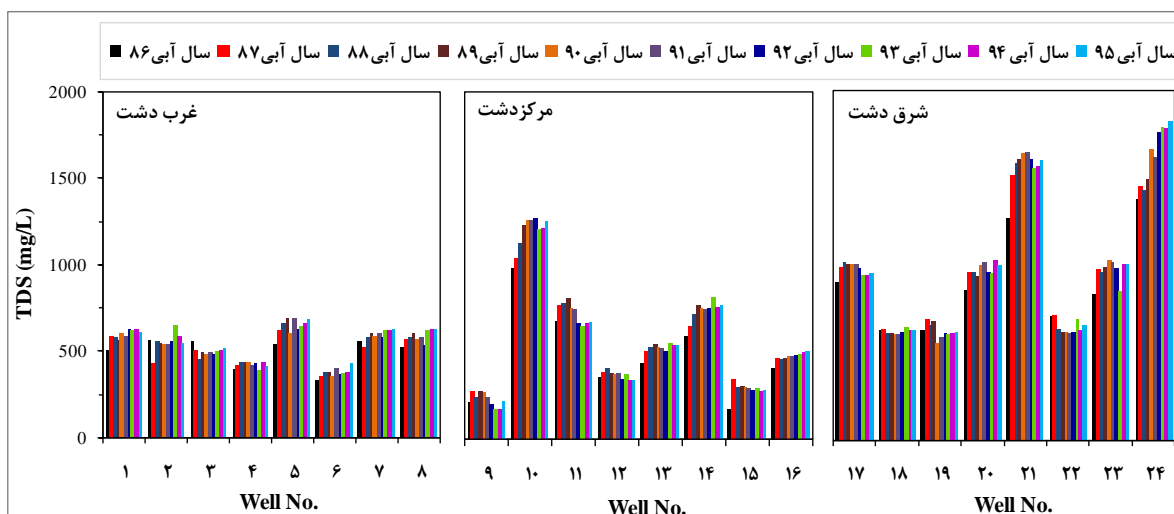
بر اساس مقادیر EC و SAR به دست آمده و تفکیک مشخصات ایستگاه‌ها بر حسب این دو پارامتر در جدول ۱، ملاحظه می‌شود مقدار EC آب در اغلب چاه‌ها بیش از $750 \mu\text{S}/\text{cm}$ (محدوده احتمال اختلال اکوفیزیولوژیکی برای پوشش‌های زراعی) است. همچنین میزان شوری تعداد زیادی از ایستگاه‌ها در گروه C3 ($750 \mu\text{S}/\text{cm} < EC < 2250 \mu\text{S}/\text{cm}$) یعنی عدم امکان کاربرد مستقیم برای مصارف متداول آبیاری می‌باشد. مقدار EC برخی از نقاط شرق دشت نیز در محدوده مضر ($EC > 2250 \mu\text{S}/\text{cm}$) قرار دارد. شایان ذکر است طبق جدول ۱، وضعیت آب تمام چاه‌ها به لحاظ مشخصه نسبت جذب سدیمی در محدوده S1 ($SAR < 10$) و مناسب می‌باشد. از سوی دیگر، یکی از نکات حائز توجه در ارزیابی مقدار هدایت الکتریکی آب آن است که این پارامتر تابعی از مجموع کل کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در محیط می‌باشد. به طوری که بر اساس نتایج ارائه شده در مطالعات گذشته (۴)،



شکل ۷- ارتباط بین میزان هدایت الکتریکی با غلظت یون‌های سدیم و کلر در آبخوان دشت همدان-بهار
 Figure 7. The relationship between EC and Na and Cl ions content in the Hamedan-Bahar basin

می‌باشد. این یافته انطباق مناسبی با میزان بیشتر غلظت املاح سدیم و کلر در شرق دشت نسبت به نواحی مرکز و غرب آبخوان نشان می‌دهد.

در این مطالعه مقدار مواد جامد محلول (TDS) آب نیز به تفکیک ایستگاه‌ها تعیین و در شکل ۸ ارائه شد. نتایج ارائه شده در این شکل مؤید آن است که توزیع مکانی میزان مواد جامد محلول در نواحی شرق دشت تا هفت برابر غرب و مرکز دشت



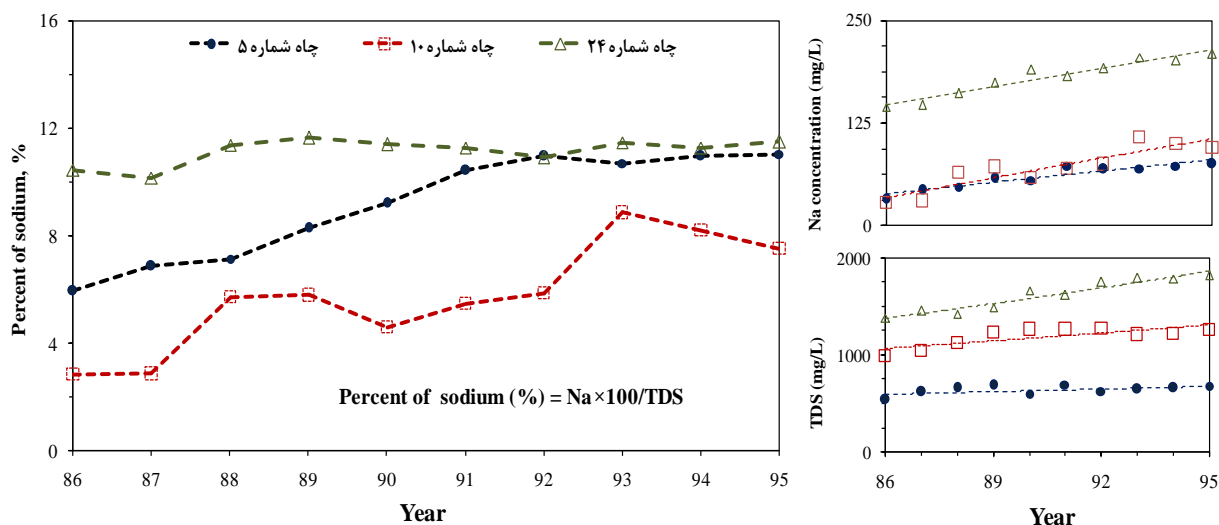
شکل ۸- میزان TDS به تفکیک هر ایستگاه در نقاط مختلف آبخوان دشت همدان-بهار طی بازه زمانی سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵
 Figure 8. TDS content in different regions of Hamedan-Bahar basin over the past 10 years (2007 to 2017)

عنوان ایستگاه نماینده بخش غرب، مرکز و شرق دشت به دلیل میزان زیاد املاح) محاسبه و به تفکیک هر ایستگاه در شکل ۹ ارائه شد. نتایج این شکل نشان می‌دهد اگرچه در غرب و مرکز دشت میزان TDS به مراتب کمتر است، ولی میزان درصد سدیم آنها به‌طور قابل توجهی با گذشت زمان در حال رشد است. به‌نحوی که برای چاه شماره پنج، مقدار PS از حدود

در کنار مقادیر کل مواد جامد محلول و البته بر حسب غلظت یون سدیم، یکی از پارامترهای مهم دیگر در ارزیابی تاثیر کیفیت آب بر مشخصات رفتاری به ویژه پتانسیل آبشستگی خاک‌های ریزدانه (که بخش زیادی از سطح دشت مورد مطالعه را پوشانده‌اند)، میزان درصد سدیم (PS) است. بر این اساس، پارامتر PS برای چاه‌های شماره ۵، ۱۰ و ۲۴ (انتخاب شده به

بیانگر افزایش ۱۸۵ درصدی پارامتر PS در غرب دشت می‌باشد.

۲/۸٪ در سال ۱۳۸۶ به حدود ۸٪ در سال ۱۳۹۵ رسیده که



شکل ۹- روند تغییرات درصد سدیم در منابع آب زیرزمینی دشت همدان-بهار طی ده سال اخیر

Figure 9. Trend of sodium percent variations in Hamedan-Bahar basin over the past 10 years

بحث و نتیجه‌گیری

می‌شود غلظت کلر در غرب و مرکز آبخوان در محدوده مجاز قرار داشته اگرچه طی سال‌های اخیر در نواحی مجاور جاده (مانند چاه‌های شماره ۵ و ۱۰ در مسیر بزرگراه همدان-کرمانشاه) این بخش از دشت میزان کلر به اثر نمک‌پاشی سطح راه در حال رشد است (به شکل ۵ نگاه کنید). در سمت شرق دشت (به علت بیشترین تاثیرپذیری از روان‌آب‌های شهر همدان) غلظت کلر در بسیاری از ایستگاه‌ها بیش از حد مطلوب طبقه‌بندی شولر و حتی فراتر از حد مجاز معیارهای بین‌المللی و استاندارد ۱۰۵۲ است.

در کنار آثار مخرب یون کلر، نتایج بررسی‌های صورت گرفته مؤید آن است که افزایش سدیم در آب آشامیدنی نیز بر سلامتی انسان (به ویژه در افراد دارای ناراحتی قلبی-عروقی، فشار خون بالا و زنان باردار) تاثیرات ناخوشایندی دارد (۳، ۵، ۱۰). بر اساس توصیه سازمان بهداشت جهانی و استاندارد ۱۰۵۲، غلظت مجاز سدیم 200 mg/L بوده اگرچه بر مبنای ضوابط بسیاری از کشورها (مانند USEPA) حد مطلوب سدیم 20 mg/L می‌باشد (۳۶). طبق نتایج ارائه شده در شکل ۴ ملاحظه می‌شود غلظت سدیم در غرب و مرکز دشت، در

کلرید سدیم خالص، حاوی $39/34\%$ سدیم و $60/66\%$ کلر بوده که نظر به توضیحات بخش مقدمه پژوهش حاضر مبنی بر کاربرد گسترده این نمک برای یخ‌زدایی، انتظار می‌رود پس‌آب حاصل سبب پراکنش سدیم و کلر، ابتدا در جریان‌های سطحی و در نهایت آلودگی اکوسیستم از طریق چرخه آب‌های زیرزمینی شود (۳، ۵، ۱۳). غلظت زیاد کلر، طعم آب را نامطبوع و موجب نارضایتی مصرف‌کنندگان، کاهش سطح سلامت و پوسیدگی تأسیسات فلزی می‌شود (۸). لذا سازمان بهداشت جهانی (WHO) و آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده (USEPA)، حداکثر غلظت مجاز کلر را در محدوده ۲۲۰ تا 250 mg/L اعلام کرده‌اند (۳۲، ۳۳) که با حد مطلوب استاندارد ۱۰۵۲ ایران مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی (۳۴) انطباق دارد. طبقه‌بندی شولر [از جمله روش‌های معتبر ارزیابی کیفی آب آشامیدنی (۳۵)] نیز مقدار مطلوب کلر را کمتر از 175 mg/L پیشنهاد می‌دهد. علاوه بر این طبق استاندارد کشور کانادا، غلظت کلر بیش از 208 mg/L برای موجودات زنده خطرناک است (۱۹). بر این اساس با توجه به نتایج شکل ۴ و معیارهای مورد اشاره، مشاهده

چک، هلند، آلمان، اتریش، سوئد، کانادا و آمریکا (۲، ۸، ۱۴، ۱۹، ۲۰) مبنی بر امکان افزایش میزان نمک در پیکره‌های آبی - خاکی اطراف جاده‌ها و معابر شهری بر اثر مصرف مواد یخ‌زدا، انطباق مناسبی دارد. به طوری که در ایالت شیکاگو آمریکا میزان یون کلر منابع آب زیرزمینی در فاصله زمانی ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۵ میلادی از 6 mg/L به حدود 20 mg/L و برای ناحیه نیوانگلند این کشور طی بازه زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۷ از 2 mg/L به حدود 29 mg/L افزایش یافته که با وجود محدود بودن سطح آلودگی نسبت به میزان مجاز، ولی باعث نگرانی‌های گسترده زیست‌محیطی در این مناطق شده است (۶). در برخی از نواحی کشور کانادا نیز با توجه به حجم زیاد بارش برف و یخبندان‌های گسترده و در نتیجه مصرف قابل ملاحظه مواد یخ‌زدا، پیش‌بینی شده میزان غلظت کلر تا سال ۲۱۵۰ به حدود 500 mg/L برسد که در مقایسه با سال ۲۰۰۰ بیش از ۲/۵ برابر افزایش خواهد یافت (۱۹). موضوع بسیار حائز اهمیت در خصوص تاثیرپذیری آبخوان دشت بهار از عملیات زمستانی در مقایسه با آمار بین‌المللی مورد اشاره در سایر مناطق دنیا آن است که در آینده علاوه بر رشد قابل ملاحظه میزان املاح در این منطقه، مقدار آلودگی حاصل از نمک‌پاشی چندین برابر کشورهای یخبندان‌های گسترده‌تر از ایران خواهد بود^۱. شایان ذکر است نتایج ارائه شده در شکل ۷ بیانگر همبستگی قابل ملاحظه ($R^2 > 0.89$) بین EC و غلظت یون‌های Na^+ و Cl^- در آبخوان مورد مطالعه بوده که مؤید تاثیر نمک‌پاشی در عملیات زمستانی بر شور شدن منابع آب زیرزمینی منطقه می‌باشد. زیرا بر اساس نتایج تحقیقات وایمن و کوریتاسکای (۴)، هینتز و رلیا (۱۲) و کوریتاسکای و همکاران (۲۸) در صورت وجود همبستگی بین EC و میزان املاح سدیم و کلر، علت افزایش شوری و کاهش کیفیت هیدروشیمیایی منابع آب زیرزمینی را می‌توان به دلیل استفاده از مواد یخ‌زدا در عملیات زمستانی و نفوذ پساب حاصل از آن به درون لایه‌های

محدوده مجاز معیارهای WHO و استاندارد ۱۰۵۲ بوده ولی مقدار آن بعضاً بیش از ۵ برابر حد مطلوب USEPA است. نکته قابل ملاحظه در این بخش از دشت، افزایش قابل ملاحظه غلظت سدیم در ایستگاه‌های مجاور جاده است که علت آن ناشی از نمک‌پاشی در فصول زمستان و متاثر از قابلیت بسیار فراوان انتقال یون Na^+ در محیط ارزیابی می‌شود (۳۱). همان‌طور که انتظار می‌رفت در شرق دشت با توجه به مورفولوژی منطقه و تغذیه بیشتر از پساب‌های حاصل از عملیات زمستانی سطح شهر، نتایج بیانگر حضور حدوداً دو برابری یون سدیم نسبت به سایر نواحی دشت بوده و در بسیاری از نقاط آن، غلظت سدیم بیش از ده برابر حد مطلوب USEPA می‌باشد. از سوی دیگر، همانطور که مطرح شد میزان آلودگی ناشی از عملیات زمستانی در ایستگاه‌های سمت شرق دشت (به ویژه چاه‌های شماره ۲۱ و ۲۴) بسیار بیشتر بوده و غلظت املاح به ویژه مقدار کلر این مناطق تا چند برابر نواحی غرب و مرکز آبخوان می‌باشد (طبق نتایج شکل ۴، غلظت یون کلر در برخی از ایستگاه‌های شرق دشت تا ۱۰ برابر غرب و مرکز دشت است). علت این رفتار با توجه به نکات مطرح شده در مورد مورفولوژی منطقه و موقعیت جغرافیایی قرارگیری ایستگاه‌های نمونه‌برداری نسبت به شهر همدان (شکل ۳)، ناشی از مجاورت بیشتر چاه‌های شرق دشت با مسیر پساب عملیات زمستانی و در نتیجه امکان ورود بیشتر املاح به این مناطق ارزیابی می‌شود. همچنین بر اساس مطالعات زمین‌شناسی صورت گرفته در منطقه (۱۵)، ضخامت آبرفت در حاشیه شرق دشت همدان - بهار به ویژه حوالی ایستگاه‌های شماره ۲۱ و ۲۴ بسیار کمتر از سایر نواحی آبخوان بوده و لذا با حضور آلودگی در رواناب‌های سطحی، امکان نفوذ و گسترش آن به لایه‌های زیرین این بخش از دشت بیشتر می‌باشد.

علاوه بر مسأله حضور بیش از حد یون‌های سدیم و کلر در منابع آبخوان دشت همدان - بهار بر اثر کاربرد مواد یخ‌زدا، در شکل ۵ ملاحظه می‌شود با گذشت زمان میزان آلودگی نیز در حال رشد است. این یافته با نتایج مطالعات میدانی صورت گرفته در بسیاری از کشورهای دیگر مانند ایتالیا، جمهوری

^۱ بر پایه معادلات ارائه شده در شکل ۵ طی ۱۵۰ سال آبی میزان افزایش غلظت نمک در این منطقه بعضاً بیش از ۷ برابر خواهد بود. بطوریکه در همین بازه زمانی، میزان افزایش نمک برای کشور کانادا با وجود حجم بسیار بیشتر یخبندان نسبت به ایران، حدود ۲/۵ برابر تخمین زده شده است (۱۹).

زیرسطحی ارزیابی کرد. از سوی دیگر، افزایش غلظت یون‌های سدیم و کلر علاوه بر تأثیر مستقیم بر کاهش کیفیت آب، نقش بسزایی در افزایش تحرک فلزات سنگین دارد (۲۱، ۲۲). به-نحوی که نتایج مطالعه وو و کیم (۲۳) و سان و همکاران (۲۴) مؤید آن است که حضور نمک، پتانسیل آبشویی فلزات سنگین به ویژه سرب، جیوه و آرسنیک را افزایش می‌دهد. در این راستا شکل ۶ بیانگر همپوشانی زیاد بین پراکندگی غلظت فلز سنگین آرسنیک در آبخوان دشت بهار با توزیع مکانی ترکیبات نمک است. مطالعه فرخ نشاط و همکاران (۳۷) نیز مؤید حضور بیشتر فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی همدان نسبت به جریان-های سطحی بوده که علت آن با استناد به مطالعات گذشته (۲۴-۲۱)، آزادسازی و متعاقب آن آبشویی این مواد از درون خاک به چرخه آب‌های زیرزمینی بر اثر نمک‌پاشی معابر طی فصول سرد قابل ارزیابی است. بنابراین می‌توان گفت استفاده از مواد یخ‌زدا در عملیات زمستانی محدوده شهری همدان نه تنها به‌طور مستقیم سبب آلودگی و کاهش کیفیت مشخصات هیدوروشیمیایی آبخوان دشت بهار شده بلکه تهدیدی خطرناک برای افزایش ترکیبات مضر از جمله فلزات سنگین در اکوسیستم منطقه محسوب می‌شود.

نتایج ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد مقدار EC آب در اغلب چاه‌های مورد مطالعه بیش از $750 \mu\text{S/cm}$ بوده که با استناد به نشریه ۵۳۵، در محدوده احتمال بروز اختلال اکوفیزیولوژیکی برای پوشش‌های زراعی قرار دارد. علاوه بر این طبق معیار ویلکوکس، کیفیت آب در اغلب ایستگاه‌های دشت همدان-بهار (حدود ۸۰٪ آنها) در محدوده نامطلوب C3S1 قرار داشته و در نتیجه استفاده مستقیم (بدون انجام اقدامات اصلاحی) از این منابع امکان‌پذیر نیست (۱۳، ۲۶، ۲۷). کیفیت آب تعدادی از ایستگاه‌های واقع در شرق دشت (چاه شماره ۲۱ و ۲۴) نیز در محدوده مضر C4S1 قرار داشته که استفاده از آنها برای آبیاری به تدریج سبب لم‌پرز شدن زمین‌ها خواهد شد. به عبارت دیگر وضعیت آب اغلب نقاط دشت برای مصارف زراعی مناسب نبوده و نیاز به مراقبت‌های خاص دارد. اگرچه در حال حاضر توجه به کیفیت آب مصرفی به‌طور دقیق رعایت نمی‌شود که در آینده می‌تواند کشاورزی منطقه را با مشکل

جدی روبرو نماید. از طرفی، با وجود آن که به لحاظ مشخصه نسبت جذب سدیمی، وضعیت آب تمام چاه‌ها در محدوده مناسب قرار دارد، ولی متأثر از انباشتگی تدریجی نمک به ویژه در شرق دشت، نتایج ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد مقدار SAR این مناطق بیش از دو برابر نواحی دیگر بوده که تهدیدی برای واگرایی مصالح رسی (که بخش زیادی از سطح دشت بهار را پوشانده‌اند) به‌شمار می‌رود. زیرا در صورت $EC > 250 \mu\text{S/cm}$ و افزایش SAR، خاک دچار واگرایی خواهد شد (۳۰). واگرایی، علاوه بر خسارت به سازه‌های مهندسی و آبشستگی زمین‌های کشاورزی، به شدت نفوذپذیری خاک را کم کرده و سبب کاهش تغذیه آبخوان از طریق جریان-های سطحی می‌شود. تحقق چنین فرآیندی با نتایج ارائه شده در تحقیقات قبل (۳۸) مبنی بر افت سطح آب زیرزمینی منطقه در سال‌های اخیر، انطباق دارد.

همانطور که در بخش مقدمه پژوهش حاضر مطرح شد علاوه بر مصارف کشاورزی، آبخوان دشت بهار جزء منابع اصلی و قابل اطمینان تأمین آب شرب همدان بوده و بنابراین از این دیدگاه نیز کیفیت آن حائز اهمیت است. به‌طور کلی، آب آشامیدنی باید فاقد رنگ، بو و طعم بوده و به لحاظ ترکیبات شیمیایی بایستی در محدوده مجاز استاندارد قرار گیرد. در این راستا حضور برخی از عناصر مانند نیترات و فلزات سنگین فوق العاده مهم است، اگرچه سایر مشخصه‌ها مانند TDS نیز مورد توجه می‌باشند (۲۶، ۲۷). زیرا غلظت زیاد TDS می‌تواند زمینه‌ساز اختلال در نمک‌های محلول بدن انسان شده و ضمن کاهش دلپذیری آب، سبب سنگ کلیه و سوزش دستگاه گوارش شود (۲۹). سازمان بهداشت جهانی حد مطلوب TDS را mg/L ۶۰۰ تعیین کرده، به‌نحوی که $\text{TDS} > 1000 \text{ mg/L}$ سبب عدم رضایت از مزه آب و بروز مشکل برای خطوط انتقال و تأسیسات می‌شود (۳۲). بر مبنای طبقه‌بندی شولر نیز حد مطلوب TDS برابر mg/L ۵۰۰ و حد قابل قبول آن کمتر از mg/L ۱۰۰۰ است. طبق استاندارد ملی ۱۰۵۲ نیز حد مطلوب TDS برابر mg/L ۱۰۰۰ و حداکثر مجاز آن برابر mg/L ۱۵۰۰ می‌باشد (۳۴). از طرفی، گذشته از افزایش غلظت سدیم و کلر، استفاده از ترکیبات یخ‌زدا می‌تواند سبب رشد TDS در

در کف جاده به منظور ذوب برف و یخ مورد توجه قرار گرفته که منابع مختلفی برای تأمین آب گرم از جمله گرمای اعماق زمین و انرژی خورشیدی، پیشنهاد شده است (۴۳).

Reference

1. Zítková J, Hegrová J, Anděl P. (2018). Bioindication of road salting impact on Norway spruce (*Picea abies*). *Transportation Research Part D*, 59, 58-67.
2. Chen J, Ma X, Wang H, Xie P, Huang W. (2018). Experimental study on anti-icing and deicing performance of polyurethane concrete as road surface layer. *Construction and Building Materials*, 161, 598-605.
3. Kolesar KR, Mattson CN, Peterson PK, May NW, Prendergast RK, Pratt KA (2018). Increases in wintertime PM2.5 sodium and chloride linked to snowfall and road salt application. *Atmospheric Environment*, 177, 195-202.
4. Wyman DA, Koretsky CM. (2018). Effects of road salt deicers on an urban groundwater-fed kettle lake. *Applied Geochemistry*, 89, 265-272.
5. Lee BD, Choi YS, Kim YG, Kim IS, Yang EI. (2017). A comparison study of performance and environmental impacts of chloride-based deicers and eco-label certified deicers in South Korea. *Cold Regions Science and Technology*, 143, 43-51.
6. Robinson HK, Hasenmueller EA. (2017). Transport of road salt contamination in karst aquifers and soils over multiple timescales. *Science of The Total Environment*, 603, 94-108.
7. Oh SJ, Choi GG, Kim JS. (2017). Production of acetic acid-rich bio-oils

جریان‌های زیرسطحی شود (۴، ۱۲). در این راستا، نتایج شکل ۸ مؤید آن است که میزان TDS اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه بیش از حد مطلوب WHO و طبقه‌بندی شولر بوده و حتی در برخی از نقاط شرق دشت (با توجه به مورفولوژی منطقه و تغذیه بیشتر از پساب عملیات زمستانی) کیفیت آب در محدوده غیر مجاز ($TDS > 1500 \text{ mg/L}$) بر اساس استاندارد ۱۰۵۲، قرار دارد. مشخص شد اگرچه در مناطق غرب و مرکز دشت به دلیل مجاورت کمتر با رواناب‌های آلوده و همچنین ضخامت بیشتر آبرفت در این مناطق، مقدار TDS و سهم افزایش آن به مراتب کمتر می‌باشد، ولی بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۹ میزان درصد سدیم در این نواحی رشد چشمگیری داشته که با استناد به مطالعات گذشته (۳۰، ۳۱، ۳۶، ۳۹) این شرایط سبب افزایش فرسایش، امکان آبتویی مصالح ریزدانه و کاهش توان حاصل‌خیزی خاک خواهد شد. بنابراین با توجه به افت شاخص‌های هیدروشیمیایی آبخوان دشت بهار ناشی از نم‌پاشی و آثار سوء آن بر سلامت افراد و کشاورزی منطقه، ضرورت دارد با اتخاذ شیوه‌های نوین، عملیات زمستانی شهر همدان با حداقل تاثیرات منفی زیست‌محیطی صورت پذیرد. در این راستا، انجام برنامه پیشگیرانه مقابله با یخ‌زدگی (آنتی-آیسینگ) از طریق پاشش بهنگام (قبل و حین بارش) و کافی مواد یخ‌زدا به منظور جلوگیری از تشکیل پیوند بین یخ و روسازی و در نتیجه کاهش مصرف مواد شیمیایی یخ‌زدا، استفاده از آسفالت‌های حاوی مواد افزودنی و فیلرهای خاص با قابلیت جلوگیری از یخ‌زدگی و همچنین گسترش کاربرد مواد یخ‌زدای دوست‌دار طبیعت (مانند ترکیبات حاوی اکسیدهای کلسیم) توصیه می‌شود (۵، ۷، ۴۱). شایان ذکر است انجام برنامه آنتی-آیسینگ به کمک سیستم‌های تعیین وضعیت جوی جاده در مقایسه با روش متداول دی-آیسینگ (مبتنی بر انجام عملیات زمستانی بعد از بارش و یخ‌زدگی معابر) تا چندین برابر سبب کاهش مصرف مواد شیمیایی یخ‌زدا خواهد شد (۴۲). علاوه بر موارد فوق، امروزه با هدف جلوگیری از آثار مضر زیست‌محیطی کاربرد مواد یخ‌زدا، اجرای روسازی با سیستم گرمایشی از طریق نصب کابل‌های حرارتی و یا لوله‌های آب گرم

- Canadian province of Ontario. *Environmental Pollution*, 230, 589-597.
15. Nasri HR, Nadafiyan H. (2008). Modeling of nitrate pollutant transfer of groundwater in the range of drinking water wells of Hamadan. *Iranian Journal of Geology*, 2(6), 87-98. (In Persian)
16. Zare Abyaneh H, Bayat Varkeshi M, Akhavan S, Mohammadi M. (2011). Estimation of Nitrate in Hamedan-Bahar Plain Groundwater Using Artificial Neural Network and the Effect of Data Resolution on prediction Accuracy. *Journal of Environmental study*, 37, 129-140. (In Persian)
17. Wilde FD, Radtke DB, Gibs J, Iwatsubo RT. (1998). National field manual for the collection of water-quality data. US Geological Survey Techniques in Water-Resources Investigations, Book 9.
18. American Society for Testing and Materials (2014). Book of standards volume: 11.01.
19. Perera N, Gharabaghi B, Howard K. (2013). Groundwater chloride response in the Highland Creek watershed due to road salt application: A re-assessment after 20 years. *Journal of Hydrology*, 479, 159-168.
20. Müller, B. and Gächter, R., (2012). Increasing chloride concentrations in Lake Constance: characterization of sources and estimation of loads. *Aquatic sciences*, 74, 101-112.
21. Bäckström, M., Karlsson, S., Bäckman, L., Folkesson, L. and Lind, B., (2004). Mobilisation of heavy metals by deicing salts in a roadside environment. *Water research*, 38, 720-732.
- from the fast pyrolysis of biomass and synthesis of calcium magnesium acetate deicer. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 124, 122-129.
8. Stets EG, Lee CJ, Lytle DA, Schock MR. (2018). Increasing chloride in rivers of the conterminous US and linkages to potential corrosivity and lead action level exceedances in drinking water. *Science of The Total Environment*, 613, 1498-1509.
9. Coldsnow KD, Mattes BM, Hintz WD, Relyea RA. (2017). Rapid evolution of tolerance to road salt in zooplankton. *Environmental pollution*, 222, 367-373.
10. Novotny, EV, Murphy, D, Stefan, HG. (2008). Increase of urban lake salinity by road deicing salt. *Science of the Total Environment*, 406(1-2), 131-144.
11. Thunqvist, EL. (2004). Regional increase of mean chloride concentration in water due to the application of deicing salt. *Science of the total environment*, 325, 29-37.
12. Hintz WD, Relyea RA. (2017). Impacts of road deicing salts on the early-life growth and development of a stream salmonid: Salt type matters. *Environmental pollution*, 223, 409-415.
13. Mohammadi S, Panahi F. (2017). Evaluation of the effect of de-icing salt along snowy road on vegetation composition and diversity (Case Study: mountain road of Godar Kafanooh of Baft as the roof of Iranian desert). *Iranian J. of Ecohydrology*, 4, 509-521. (In Persian)
14. Prosser RS, Rochfort Q, McInnis R, Exall K, Gillis PL. (2017). Assessing the toxicity and risk of salt-impacted winter road runoff to the early life stages of freshwater mussels in the

- hydrochemistry. *Environmental Geology*, 58(6): 1329-1340.
30. Goodarzi AR, Salimi M. (2015). Stabilization treatment of a dispersive clayey soil using granulated blast furnace slag and basic oxygen furnace slag. *Applied Clay Science*, 108, 61-69.
 31. Cunningham MA, Snyder E, Yonkin D, Ross M, Elsen T. (2008). Accumulation of deicing salts in soils in an urban environment. *Urban Ecosystems*, 11, 17-31.
 32. World Health Organization (2017). *Guideline for drinking-water quality: 4th edition*, ISBN 978-92-4-154995-0.
 33. Baek MJ, Yoon TJ, Kim DG, Lee CY, Cho K, Bae YJ. (2014). Effects of Road Deicer Runoff on Benthic Macroinvertebrate Communities in Korean Freshwaters with Toxicity Tests of Calcium Chloride (CaCl₂). *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(6), 1961.
 34. ISIRI 1053. *Drinking water-Physical and chemical specifications*,. 5th Revision: ICS:13.060.020 (Persian).
 35. Iqbal J, Nazzal Y, Howari F, Xavier C, Yousef A. (2018). Hydrochemical processes determining the groundwater quality for irrigation use in an arid environment: The case of Liwa Aquifer, Abu Dhabi, United Arab Emirates. *Groundwater for Sustainable Development*, 7, 212-219.
 36. Fay L, Shi X. (2012). Environmental impacts of chemicals for snow and ice control: state of the knowledge. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223, 2751-2770.
 37. Farokhneshat F, Rahmani AR, Samadi MT, Soltanian AR. (2016). Non-Carcinogenic Risk Assessment of Heavy Metal of Lead, Chromium and
 22. Schuler M., Relyea R.A. (2017). A Review of the Combined Threats of Road Salts and Heavy Metals to Freshwater Systems. *BioScience*, 68, 327-335.
 23. Wu J, Kim H. (2017). Impacts of road salts on leaching behavior of lead contaminated soil. *J. of hazardous materials*, 324: 291-297.
 24. Sun H, Alexander J, Gove B, Koch M. (2015). Mobilization of arsenic, lead, and mercury under conditions of sea water intrusion and road deicing salt application. *Contaminant Hydrology*, 180, 12-24.
 25. Touzandejani M, Soffianian A, Mirghaffari N, Soleimani M. (2017). Assessment of Arsenic Contamination Probability of Groundwater in Hamedan-Bahar Basin Using Geostatistical Methods. *Journal of Water and Soil*, 31, 874-885 (Persian).
 26. Ministry of Energy of Iran (2010). *Environmental Criteria of Treated Waste Water and Return Flow Reuse* No. 535.
 27. Acharya S, Sharma SK, Khandegar V. (2018). Assessment of groundwater quality by water quality indices for irrigation and drinking in South West Delhi, India. *Data in Brief*, 18, 2019-2028.
 28. Koretsky, C. M., MacLeod, A., Sibert, R. J., & Snyder, C. (2012). Redox stratification and salinization of three kettle lakes in southwest Michigan, USA. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(3), 1415-1427.
 29. Garg VK, Suthar S, Singh S, Sheoran A, Jain S. (2009). Drinking water quality in villages of southwestern Haryana, India: assessing human health risks associated with

40. Swedish Environmental Protection Agency (2000). Environmental Quality Criteria for Groundwater Report 5051.
41. Sun, W., Lu, G., Ye, C., Chen, S., Hou, Y., Wang, D., ... Oeser M. (2018). The State of the Art: Application of Green Technology in Sustainable Pavement. *Advances in Materials Science and Engineering*, Article ID 9760464, 1-19.
42. Comité technique 2.4 (2015). *Snow and Ice databook 2014*. ISBN : 978-2-84060-355-9.
43. Mirzanimadi R, Hagentoft CE, Johansson P, Johnsson J. (2018). Anti-icing of road surfaces using hydronic heating pavement with low temperature. *Cold regions science and technology*, 145, 106-118.
- Zinc in Drinking Water Supplies of Hamadan in Winter 2015. *Sci. J. of Hamadan University of Medical Sci.*, 23, 25-33.
38. Rahmani AR, Sedehi M. (2005). Predication of groundwater level changes in the plain of Hamedan-Bahar using time series model. *Journal of Water and Wastewater*, 15, 42-49. (InPersian)
39. Munck IA, Bennett CM, Camilli KS, Nowak RS. (2010). Long-term impact of de-icing salts on tree health in the Lake Tahoe Basin: Environmental influences and interactions with insects and diseases. *Forest ecology and management*, 260, 1218-1229.