



Comparisonal investigation of the risk of chemical water damages on concrete structures of Golestan and Kausar-Nomal irrigation networks, Iran

Mohammad Sadegh Anbarsouz¹ | Kumars Ebrahimi^{2✉} | Ebrahim Amiri-Tokaldany³

1. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. Email:

Anbarsouz@ut.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of Renewable Energies and Environment Engineering, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran., Email: EbrahimiK@ut.ac.ir

3. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. Email:

Amiri@ut.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: July. 18, 2023

Revised: Sep. 30, 2023

Accepted: Oct. 25, 2023

Published online: Dec. 23, 2023

Keywords:

Chemical Damages of Concrete, Golestan and Kausar-Nomal Irrigation Networks, Sustainable Operation, Water Security.

ABSTRACT

Irrigation networks are the main infrastructures for water conveyance and distribution in agricultural sector. Chemical damage of concrete is one of the main limiting factors for service life of irrigation networks. The main target of this research was to investigate and compare the risk of chemical detriments on concrete structures of Golestan and Kausar-Nomal irrigation networks. In this regard, in June 2022, water samples were collected from different points of the studied networks and the laboratory tests were performed. Then, the results of the water-quality parameters in tandem with the previously available monthly water quality data of the studied networks, were analyzed based on credible international criteria and using water corrosiveness indices. The Ryznar index values, for both Golestan and Kausar-Nomal networks, during October 2021-June 2022, were beyond the threshold of water corrosiveness (6.8). The average values of Ryznar index for the water samples of Golestan and Kausar-Nomal networks were 7.45 and 8.15, respectively, which means the corrosiveness intensity of Kausar-Nomal network's water is significantly higher. Also, the concentration of dissolved-CO₂ in the water of Kausar-Nomal network, in June 2022, was equal to 31.7 mg/l, which means that there has been a risk of cement decomposition. On the other hand, during the nine studied months, the sulfate-ion concentration values in the Golestan network's water were recorded more than 150 mg/l, which is more than the minimum required for reaction with concrete. In four months out of the nine studied months, the magnesium-ion concentration values in the Golestan network's water were more than 100 mg/l which are the beyond of threshold risk in concrete chemical damages.

Cite this article: Anbarsouz, M.S., Ebrahimi, K. & Amiri-Tokaldani, E., (2023) Comparisonal investigation of the risk of chemical water damages on concrete structures of Golestan and Kausar-Nomal irrigation networks, Iran, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (10), 1485-1502. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.362465.669536>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.362465.669536>



بررسی مقایسه‌ای خطر آسیب‌های شیمیایی آب بر سازه‌های بتنی شبکه‌های آبیاری گلستان و کوثر نومل

محمدصادق عنبرسوز^۱ | کیومرث ابراهیمی^۲ | ابراهیم امیری تکلدانی^۳۱. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، رایانامه: Anbarsouz@ut.ac.ir۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی انرژی‌های نو و محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران، رایانامه: EbrahimiK@ut.ac.ir۳. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، رایانامه: Amiri@ut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۷/۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۱

واژه‌های کلیدی:

امنیت آبی،

آسیب‌های شیمیایی بتن،

بهره‌برداری پایدار،

شبکه‌های آبیاری گلستان و کوثر

نومل.

شبکه‌های آبیاری زیرساخت‌های اصلی انتقال و توزیع آب در بخش کشاورزی محسوب می‌شوند. یکی از عوامل محدودکننده عمر مفید شبکه‌های آبیاری، آسیب‌های شیمیایی بتن است. هدف پژوهش حاضر بررسی و مقایسه خطر بروز آسیب‌های شیمیایی در سازه‌های بتنی شبکه‌های آبیاری گلستان و کوثر نومل بوده است. در این راستا در خرداد ماه ۱۴۰۱ از بخش‌های مختلف شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه نمونه‌برداری آب انجام شد. سپس نتایج آزمایش‌های کیفیت آب به همراه داده‌های موجود کیفیت آب ماهیانه شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه، بر اساس معیارهای معتبر بین‌المللی و با استفاده از شاخص‌های خوردگی آب تحلیل شد. شاخص رایزنر برای شبکه‌های گلستان و کوثر نومل از مهر ماه ۱۴۰۰ تا خرداد ماه ۱۴۰۱ همواره بیش از آستانه خوردگی آب (۶/۸) بوده است. مقدار متوسط شاخص رایزنر برای آب شبکه‌های گلستان و کوثر نومل به ترتیب برابر ۷/۴۵ و ۸/۱۵ بوده و آب شبکه کوثر نومل شدت خوردگی به مراتب بیش‌تری داشته است. همچنین غلظت کربن‌دی‌اکسید محلول در آب شبکه کوثر نومل در خرداد ماه ۱۴۰۱ برابر ۳۱/۷ میلی‌گرم‌درلیتر بوده و خطر تجزیه سیمان بتن وجود داشته است. از طرفی غلظت یون سولفات در آب شبکه گلستان طی نه ماه بررسی شده بیش از ۱۵۰ میلی‌گرم‌درلیتر و از حداقل لازم برای واکنش با بتن بیش‌تر بوده است. در چهار ماه از نه ماه بررسی شده نیز غلظت یون منیزیم در آب شبکه گلستان بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم‌درلیتر بوده که از حد آستانه خطر آسیب‌های شیمیایی بتن فراتر است.

استناد: عنبرسوز؛ محمدصادق، ابراهیمی؛ کیومرث، امیری تکلدانی؛ ابراهیم، (۱۴۰۲) بررسی مقایسه‌ای خطر آسیب‌های شیمیایی آب بر سازه‌های بتنی شبکه‌های آبیاری

گلستان و کوثر نومل، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۴ (۱۰)، ۱۴۸۵-۱۵۰۲. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.362465.669536>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.362465.669536>

مقدمه

شبکه‌های آبیاری نقش مهمی در تأمین آب کشاورزی دارند و چنانچه به‌درستی مدیریت و نگهداری شوند، انتقال و توزیع آب در بخش کشاورزی در بلند مدت و با بازدهی بالا انجام خواهد شد. از طرفی با توجه به شرایط کنونی محدودیت منابع آب، بهبود بهره‌وری آب کشاورزی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است (پرچی عراقی و همکاران، ۱۴۰۱). از این رو بایستی با مدیریت و نگهداری صحیح از شبکه‌های آبیاری، راندمان انتقال و توزیع آب و بهره‌وری آب کشاورزی را حفظ کرده و ارتقاء داد. از جمله مشکلاتی که طی بهره‌برداری از سازه‌های بتنی انتقال و توزیع آب می‌تواند به وجود آید، آسیب‌های شیمیایی ناشی از کیفیت آب به این سازه‌ها است. آسیب‌های شیمیایی بتن می‌تواند در پی واکنش مواد شیمیایی محلول در آب با سیمان بتن و یا به دلیل خاصیت خوردگی آب‌ها ایجاد شود که بسته به موقعیت جغرافیایی و نوع سازه بتنی متفاوت خواهد بود (Mason, 1990).

چنانچه غلظت یون کلسیم محلول در آب شبکه‌های آبیاری کمتر از حد اشباع کلسیم‌کربنات باشد، آب خاصیت خورنده خواهد داشت و به دلیل اختلاف غلظت یون کلسیم در آب خورنده و آب درون منافذ بتن، ترکیبات سیمان بتن نظیر کلسیم هیدروکسید، ترکیب کلسیم-سیلیکات-هیدرات (C-S-H gel) و سایر منابع کلسیم جامد در بتن، در آب خورنده حل شده و به خارج از بتن منتقل می‌شوند (Pathak et al., 2012; Perko et al., 2020). استمرار آبشویی مواد سیمانی^۱ از بتن توسط آب خورنده به صورت تدریجی منجر به افزایش تخلخل و نرخ جذب آب توسط بتن^۲ می‌شود و بدین طریق از مقاومت سازه‌های بتنی و عمر مفید بهره‌برداری آن‌ها کاسته خواهد شد (Choi et al., 2012; Yang et al., 2018). از طرفی در صورت خورنده بودن آب جاری در کانال‌های آبیاری، آبشویی ترکیبات سیمان از پوشش بتنی کانال‌ها منجر به ظاهر شدن سنگ‌دانه‌های پوشش بتنی و در نتیجه تغییر زبری سطح کانال‌ها که یکی از پارامترهای مهم طراحی شبکه‌های آبیاری است می‌شود و بدین ترتیب عملکرد نهایی شبکه آبیاری را با اختلال مواجه خواهد کرد. همچنین آبشویی پوشش بتنی سازه‌های انتقال آب در نهایت می‌تواند باعث افزایش تخلخل و نفوذپذیری بتن شود که از جمله آثار آن کاهش راندمان‌های انتقال و توزیع آب در شبکه‌های آبیاری و عدم تحویل آب کافی به کشاورزان خواهد بود. این امر می‌تواند نارضایتی کشاورزان از نحوه مدیریت و بهره‌برداری از شبکه آبیاری را به دنبال داشته باشد که یکی از مسائل بسیار مهم در بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری است (شریف‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۳). بنابراین در صورت عدم شناسایی خطر بروز آسیب‌های شیمیایی در سازه‌های انتقال آب و عدم تهیه برنامه مناسب تعمیر و نگهداری از سازه‌ها، آسیب‌های وارده به زیر ساخت‌های تأمین آب بخش کشاورزی، خسارات اقتصادی و اجتماعی قابل توجه‌ای به دنبال خواهد داشت. از این رو جهت بررسی خاصیت خوردگی آب‌ها و ارزیابی خطر آبشویی سازه‌های آبی بتنی، شاخص‌های لانژلیر و رایزرنر که بر اساس پارامترهای کیفیت آب محاسبه می‌شوند، معرفی و استفاده از آن‌ها توصیه شده است (ICOLD, 1989).

دسته دیگر آسیب‌های شیمیایی سازه‌های آبی بتنی ناشی از واکنش ترکیبات محلول در آب با بتن است. واکنش کربن‌دی‌اکسید محلول در آب با کلسیم هیدروکسید موجود در بتن منجر به آبشویی ترکیبات کلسیم از بتن و افزایش آسیب‌پذیری سازه‌های بتنی در برابر سایر آسیب‌های شیمیایی می‌شود (Behera, 2019). همچنین چنانچه غلظت یون سولفات محلول در آب از حد مشخصی بیش‌تر باشد، سازه‌های بتنی در معرض آسیب‌های شیمیایی ناشی از واکنش یون سولفات با ترکیبات سیمان بتن قرار خواهند گرفت. این واکنش‌ها می‌تواند به صورت تبدیل کلسیم هیدروکسید در سیمان سخت شده به کلسیم سولفات هیدراته و یا تبدیل کلسیم آلومینات و آهن هیدراته به کلسیم سولفو آلومینات و آهن هیدراته باشد (ICOLD, 1989). فرآورده‌های هر دو واکنش ترکیبات منبسط‌شونده هستند که موجب ایجاد فشار درونی در بتن و در نهایت ترک برداشتن و تخریب پیش‌رونده آن می‌شوند (ICOLD, 1989; Ayers and Westcot, 1985). علاوه بر این واکنش یون سولفات با سیمان می‌تواند باعث تولید ترکیبات کاهنده مقدار pH محلول منفذی بتن^۳ شده و منجر به تجزیه و آبشویی مواد سیمانی و همچنین افزایش خطر خوردگی^{۱۱} میلگردهای فولادی داخل بتن شود (ICOLD, 1989). از این رو تحلیل خصوصیات کیفیت آب با استفاده از معیارهای معتبر و شناخته‌شده بین‌المللی نظیر French National Code p-018 (1985) و USBR (1981)، روش موثری برای شناسایی خطر بروز آسیب‌های شیمیایی در سازه‌های آبی بتنی است (Anand et al., 2015; Mohd-Asharuddin et al., 2015).

1 Cementitious materials

2 Water absorption rate of concrete

3 Concrete pore-solution

پیشینه پژوهش

نظر به اینکه آسیب‌های شیمیایی سازه‌های بتنی می‌تواند بهره‌برداری پایدار از آن‌ها را با مشکل مواجه نماید، این موضوع در تحقیقات زیادی با استفاده از شاخص‌های خوردگی آب و تحلیل کیفیت آب نشت یافته از بتن‌های سازه‌ای بررسی شده است.

Nie et al. (2021) در بررسی شدت آسیب‌های شیمیایی وارده به سازه‌های آبی بتنی در چین، مشاهده کردند که متوسط غلظت کلسیم در آب نشت یافته از بتن‌های سازه‌ای ۲۰ میلی‌گرم در لیتر از مقدار متوسط کلسیم در آب رودخانه بیشتر است که دلالت بر آشوبی ترکیبات کلسیم از بتن دارد. Neumann et al. (2021) طی مطالعه‌ای به بررسی مکانیسم‌های آشوبی داخلی بتن طی ۴۰ سال بهره‌برداری از سد ایتایو در برزیل پرداختند. آن‌ها با تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای کیفیت آب نشت یافته از داخل بتن‌های سازه‌ای با کیفیت آب رودخانه پارانا، دریافتند که بتن سد در معرض آشوبی قرار داشته و شسته شدن ترکیبات کلسیم به خارج از بتن، موجب افزایش تخلخل و نرخ جذب آب توسط بتن و کاهش خواص مکانیکی آن شده است.

Prabhakar et al. (2016) به منظور پیشگیری از بروز آسیب‌های شیمیایی در سازه‌های بتنی، کیفیت آب رودخانه‌ای در هند را با بهره‌گیری از معیارهای French National Code p-018 (1985) و USBR (1981) و با استفاده از شاخص لائزلیر تحلیل کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که از میان ۱۸ نمونه‌ی آب ۹ نمونه خاصیت خوردگی داشته و همچنین مقدار سولفات در همه نمونه‌های آب کم‌تر از ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر و از آستانه خطر آسیب‌های شیمیایی بتن کم‌تر بوده است. آن‌ها همچنین در بررسی سایر عوامل ایجادکننده آسیب‌های شیمیایی در بتن نظیر پارامتر pH آب و غلظت یون‌های منیزیم، سولفات و آمونیوم موجود در آب، دریافتند که pH نمونه‌های آب کم‌تر از ۶/۵ است و بدین ترتیب بتن‌های سازه‌ای در معرض آسیب‌های شیمیایی و آشوبی مواد سیمانی قرار خواهند داشت.

Prabhakar et al. (2017) با استفاده از معیارهای تعیین شدت آسیب‌های شیمیایی بتن و شاخص لائزلیر، کیفیت آب رود کپلی^۱ در هند را در سه فصل با هدف شناسایی عوامل آسیب‌های شیمیایی بتن بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که آب رودخانه بسیار خورنده است و بر اساس استانداردها، طرح اختلاط مناسب بتن و حداقل ضخامت پوشش بتنی را برای محافظت در برابر آسیب‌های شیمیایی پیشنهاد کردند. Anand et al. (2015) به منظور ارزیابی خطر آسیب‌های شیمیایی بتن، از آب مخزن سد تهری^۲ در هند و آب نشت یافته از داخل سازه بتنی گالری بهره‌برداری این سد نمونه‌برداری کرده و با تحلیل شیمیایی نمونه‌های آب دریافتند که آشوبی مواد سیمانی از سازه بتنی گالری سد تهری در حال انجام بوده است. Vyas et al. (2019) با نمونه‌برداری از آب مخزن سه سد در هند، خوردگی نمونه‌های آب را با استفاده از شاخص لائزلیر بررسی کرده و نتیجه گرفتند که آب سدها خورنده بوده و آشوبی مواد سیمانی از بتن‌های سازه‌ای شدید است. آن‌ها همچنین انجام اقدامات حفاظتی را به منظور جلوگیری از خسارات ناشی از آسیب‌های شیمیایی بتن ضروری دانستند. به منظور محافظت از سازه‌های انتقال آب بتنی در برابر آسیب‌های شیمیایی، راهکارهای متنوعی نظیر استفاده از بتن با مقاومت بالا در محیط‌های خورنده و یا بهره‌گیری از روش‌های حفاظت سطحی بتن وجود دارد. عابدی کوپایی و همکاران (۱۳۸۹) خصوصیات مکانیکی کانال‌های انتقال آب ساخته شده از بتن حاوی نانوپوزولان خاکستر غلاف گندم را بررسی و مشاهده کردند که جایگزینی ۲۰ درصد از سیمان بتن با خاکستر غلاف گندم، سبب کاهش تخلخل و افزایش مقاومت بتن شده و دوام پوشش بتنی کانال‌ها را در محیط‌های سولفاته افزایش می‌دهد.

شبکه‌های آبیاری گلستان و کوثر نومل نقش مهمی در انتقال و توزیع آب کشاورزی در بخش وسیعی از استان گلستان را دارند. تا کنون شناسایی عوامل آسیب‌های شیمیایی بتن و تعیین شدت آسیب‌زایی آن‌ها در این شبکه‌های آبیاری انجام نشده است. این مهم موجبات تدوین برنامه‌های مناسب حفاظت و نگهداری از شبکه‌های آبیاری را فراهم و امکان بهره‌برداری پایدار از آن‌ها را تضمین خواهد کرد. هدف مقاله حاضر بررسی خطر بروز آسیب‌های شیمیایی در سازه‌های بتنی و پوشش کانال‌ها در شبکه‌های آبیاری گلستان و کوثر نومل بوده است.

مواد و روش‌ها

شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه

شبکه آبیاری گلستان در شمال شرق شهرستان گنبد کاووس و در استان گلستان واقع شده است. وسعت اراضی کشاورزی تحت پوشش این شبکه ۳۶۲۵ هکتار است و انتقال و توزیع آب مورد نیاز این مزارع توسط ۵ کیلومتر کانال اصلی و ۳۰ کیلومتر کانال فرعی انجام می‌شود.

1 Kopili River

2 Tehri dam

سد کوثر نومل در حدود ۱۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر گرگان و در روستای نومل واقع شده است. شبکه آبیاری سد کوثر نومل آب موردنیاز ۴۵۰ هکتار اراضی کشاورزی پایین‌دست سد را تامین می‌کند. با توجه به اهمیت شبکه‌های آبیاری گلستان و کوثر نومل به‌عنوان زیرساخت‌های مهم انتقال و توزیع آب کشاورزی در استان گلستان، به‌منظور ارزیابی پتانسیل ایجاد آسیب‌های شیمیایی در سازه‌های بتنی انتقال آب، مطابق شکل‌های (۱ تا ۳) در خرداد ماه ۱۴۰۱ از بخش‌های مختلف این شبکه‌ها بازدید میدانی به عمل آمد و نمونه‌برداری آب انجام شد.



شکل ۱. خروجی ایستگاه پمپاژ سد گلستان و ابتدای شبکه آبیاری گلستان، خرداد ماه ۱۴۰۱



شکل ۲. ابتدای کانال فرعی B01 از شبکه آبیاری گلستان، خرداد ماه ۱۴۰۱



شکل ۳. کانال آب‌رسان شبکه آبیاری کوثر نومل، خرداد ماه ۱۴۰۱

نتایج بررسی نمونه‌های آزمایشگاهی

نمونه‌های آب جمع‌آوری شده در خرداد ماه ۱۴۰۱ به آزمایشگاه کیفیت آب گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران منتقل و پارامترهای کیفیت آب مربوطه با استفاده از روش‌های استاندارد ارائه شده در (APHA (2017) اندازه‌گیری شد. در جدول (۱) نتایج آزمایش‌های کیفیت آب انجام شده ارائه شده است. لازم به ذکر است که به دلیل اهمیت بررسی غلظت کربن‌دی‌اکسید محلول در آب به‌عنوان یکی از عوامل آسیب‌های شیمیایی بتن، این پارامتر نیز برای نمونه‌های آب اندازه‌گیری شد.



جدول ۱. نتایج آزمایش‌های کیفیت آب برای نمونه‌های آب جمع‌آوری شده خرداد ماه ۱۴۰۱

TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	CO ₂	HCO ₃ ⁻	pH	EC (microS/cm)	عرض			طول			محل نمونه‌برداری
								جغرافیایی			جغرافیایی			
								D°	M'	S''	D°	M'	S''	
۸۹۹/۲	۱۶/۰	۸۹/۹	۲۳۴/۷	۱۰/۶	۲۴۱/۰	۷/۷۴	۱۴۰۵	۳۷	۲۱	۳۱	۵۵	۱۷	۴۲	ابتدای شبکه آبیاری گلستان
۹۴۴/۰	۱۳۲/۰	۲۱/۹	۱۰۷/۹	۲۴/۶	۲۸۰/۷	۷/۳۴	۱۴۷۵	۳۷	۲۱	۲۴	۵۵	۱۷	۳۷	ابتدای کانال فرعی B01 از شبکه آبیاری گلستان
۳۶۱/۰	۸/۰	۷۴/۱	۱۵۹/۱	۳۱/۷	۲۳۱/۹	۷/۲۰	۵۶۴	۳۶	۴۸	۳۷	۵۴	۳۲	۴۷	ابتدای شبکه آبیاری کوثر نومل
۳۱۰/۴	۱۶/۰	۵۵/۹	*	۱۷/۶	۱۶۴/۸	۷/۱۲	۴۸۵	۳۶	۴۸	۳۱	۵۴	۳۲	۴۹	مخزن سد کوثر نومل
۷۱۰/۳	۳۲/۰	۵۱/۰	*	*	۴۳۹/۳	۷/۱۰	۱۱۳۶	۳۶	۴۸	۳۳	۵۴	۳۲	۴۸	آب نشت یافته از سازه بتنی گالری بهره‌برداری سد کوثر نومل

* پارامتر مربوطه اندازه‌گیری نشده است.

سایر داده‌های مورد استفاده

علاوه بر تحلیل شیمیایی نمونه‌های آب جمع‌آوری شده، به منظور بررسی تغییرات زمانی عوامل آسیب‌های شیمیایی بتن، داده‌های ماهیانه کیفیت آب مربوط به مهر ماه ۱۴۰۰ تا اردیبهشت ماه ۱۴۰۱ از شرکت آب منطقه‌ای گلستان دریافت شد. مشخصات آماری داده‌های دریافت شده در جدول‌های (۲ و ۳) ارائه شده است.

جدول ۲. مشخصات آماری داده‌های ماهیانه کیفیت آب ابتدای شبکه آبیاری گلستان مربوط به مهر ماه ۱۴۰۰ تا اردیبهشت ماه ۱۴۰۱

HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	TDS	pH	EC (microS/cm)	پارامتر
۳۱۱/۱	۱۵۲/۳	۱۲۴/۰	۳/۰	۵۹۰/۰	۱۷۷۶/۰	۸/۱	۲۸۲۰/۰	بیشینه
۱۹۵/۲	۵۶/۱	۴۹/۸	۰/۱	۲۰۰/۰	۷۳۵/۰	۷/۴	۱۱۶۸/۰	کمینه
۳۳/۴	۳۳/۳	۲۷/۶	۰/۹	۱۳۶/۰	۳۵۶/۵	۰/۳	۵۸۷/۲	انحراف معیار
۲۵۷/۷	۱۱۷/۵	۹۳/۱	۱/۲	۴۱۵/۰	۱۳۸۸/۳	۷/۹	۲۲۷۶/۱	میانگین

جدول ۳. مشخصات آماری داده‌های ماهیانه کیفیت آب ابتدای شبکه آبیاری کوثر نومل مربوط به مهر ماه ۱۴۰۰ تا اردیبهشت ماه ۱۴۰۱

HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	TDS	pH	EC (microS/cm)	پارامتر
۲۵۰/۱	۶۸/۱	۴۶/۲	۱/۳	۱۵۴/۰	۴۹۳/۰	۸/۰	۷۸۴/۰	بیشینه
۱۵۸/۶	۴۸/۱	۳۴/۰	۰/۲	۵۱/۰	۳۷۴/۰	۷/۰	۵۹۴/۰	کمینه
۲۷/۳	۷/۱	۳/۶	۰/۴	۴۲/۵	۴۱/۸	۰/۴	۶۵/۵	انحراف معیار
۲۰۹/۷	۵۴/۴	۳۸/۷	۰/۸	۱۰۹/۸	۴۱۳/۵	۷/۶	۶۵۵/۹	میانگین

معیارهای تعیین شدت آسیب‌های شیمیایی بتن

خصوصیات کیفیت آب شامل pH، کربن‌دی‌اکسید محلول در آب و یون‌های سولفات، منیزیم و آمونیوم عامل ایجاد آسیب‌های شیمیایی در سازه‌های آبی بتنی هستند. به‌عنوان مثال چنانچه pH آب از یک حد آستانه کم‌تر باشد، محیط اسیدی آب باعث تجزیه و انحلال ترکیبات سیمان بتن در آب می‌شود. به همین ترتیب واکنش کربن‌دی‌اکسید محلول در آب با کلسیم‌هیدروکسید در سیمان بتن منجر به آسبویی ترکیبات کلسیم که استحکام دهنده بتن هستند می‌شود. در صورتی که غلظت یون‌های سولفات، منیزیم و آمونیوم محلول در آب از حد آستانه خود بیش‌تر باشد، واکنش این یون‌ها با سیمان بتن، فرسایش و تخریب بتن را به دنبال خواهد داشت. از این رو به‌منظور بررسی خصوصیات کیفیت آب شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه از معیارهای معتبر نظیر Biczok (1972) که توسط FAO (2011) جهت ارزیابی خطر فرسایش پوشش بتنی کانال‌های آبیاری پیشنهاد شده است استفاده شد (Ayers and Westcot, 1985). در جدول (۴) بر اساس معیار Biczok (1972) حد آستانه خطر آسیب‌های شیمیایی بتن برای مقادیر خصوصیات کیفیت آب ارائه شده است. همانطور که در جدول (۴) مشاهده می‌شود شدت آسیب‌های شیمیایی بتن متناسب با مقادیر خصوصیات کیفیت آب تغییر می‌کند.

جدول ۴. دسته‌بندی شدت آسیب‌های شیمیایی بتن بر اساس مقادیر خصوصیات کیفیت آب (Biczok, 1972)

شدت آسیب‌های شیمیایی بتن				عوامل آسیب‌های شیمیایی بتن
خیلی شدید	شدید	متوسط	کم تا ناچیز	
<۴/۵	۴/۵ - ۵/۵	۵/۵ - ۶/۵	>۶/۵	pH
>۶۰	۳۰-۶۰	۱۵-۳۰	<۱۵	کربن‌دی‌اکسید محلول (mg/l)
>۶۰	۳۰-۶۰	۱۵-۳۰	<۱۵	NH ₄ ⁺ (mg/l)
>۱۵۰۰	۳۰۰-۱۵۰۰	۱۰۰-۳۰۰	<۱۰۰	Mg ²⁺ (mg/l)
>۳۰۰۰	۶۰۰-۳۰۰۰	۲۰۰-۶۰۰	<۲۰۰	SO ₄ ²⁻ (mg/l)

در جدول (۵) نیز معیارهای ارائه شده توسط French Standard P18-011 (1985) برای آب ساکن یا آبی که با سرعت کم در جریان است، ارائه شده است.

جدول ۵. طبقه‌بندی شدت آسیب‌های شیمیایی بتن بر اساس مقادیر خصوصیات کیفیت آب (French Standard P18-011, 1985)

شدت آسیب‌های شیمیایی				عوامل آسیب‌های شیمیایی بتن
بسیار زیاد	زیاد	نسبتاً زیاد	کم	
>۱۰۰	۶۰-۱۰۰	۳۰-۶۰	۱۵-۳۰	CO ₂ (mg/l)
>۶۰۰۰	۱۵۰۰-۶۰۰۰	۶۰۰-۱۵۰۰	۲۵۰-۶۰۰	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
>۳۰۰۰	۱۵۰۰-۳۰۰۰	۳۰۰-۱۵۰۰	۱۰۰-۳۰۰	Mg ²⁺ (mg/l)
>۱۰۰	۶۰-۱۰۰	۳۰-۶۰	۱۵-۳۰	NH ₄ ⁺ (mg/l)
<۴	۴-۴/۵	۴/۵-۵/۵	۵/۵-۶/۵	pH

نظر به اینکه واکنش یون‌های سولفات محلول در آب با سیمان بتن منجر به تولید فرآورده‌های منبسط‌شونده در داخل بتن و یا انحلال ترکیبات بتن می‌شود، بررسی دقیق غلظت یون سولفات محلول در آب از اهمیت بالایی برخوردار است. از این رو از معیار انجمن استاندارد کانادا (2019) CSA Standard A23.1 و معیار (1981) USBR که برای طبقه‌بندی شدت آسیب‌های شیمیایی ناشی از واکنش بتن با یون سولفات ارائه شده است استفاده شد. مطابق جدول‌های (۶) و (۷) هر دو معیار غلظت یون سولفات برابر با ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر را به‌عنوان حد آستانه خطر بروز واکنش‌های آسیب‌رسان به بتن اعلام کرده‌اند.

جدول ۶. طبقه‌بندی شدت آسیب‌های شیمیایی ناشی از واکنش یون سولفات موجود در آب با بتن (Canadian Standard Association Standard A23.1, 2019)

شدت آسیب‌های شیمیایی بتن	غلظت یون سولفات محلول در آب (mg/l)
ناچیز	<۱۵۰
متوسط	۱۵۰-۱۰۰۰
زیاد	۱۰۰۰-۲۰۰۰
بسیار زیاد	>۲۰۰۰

همانطور که در جدول (۷) مشاهده می‌شود در معیار (1981) USBR علاوه بر طبقه‌بندی شدت آسیب‌های شیمیایی ناشی از واکنش یون سولفات با بتن، راهکارهای مناسب برای محافظت از بتن در برابر هر شدتی از آسیب‌های شیمیایی نیز ارائه شده است. بر اساس این معیار چنانچه غلظت یون سولفات بین ۱۵۰ تا ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد، استفاده از سیمان نوع دو توصیه شده است. در صورتیکه غلظت یون سولفات بیش از ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد، بر حسب مقدار غلظت سولفات، استفاده از سیمان نوع پنج و جایگزینی بخشی از سیمان بتن با مواد افزودنی مناسب پیشنهاد شده است.

جدول ۷. طبقه‌بندی شدت آسیب‌های ناشی از واکنش سولفات با بتن و نوع سیمان مناسب (USB, 1981)

شدت آسیب‌های شیمیایی بتن	غلظت یون سولفات محلول در آب (mg/l)
--------------------------	------------------------------------



۱۵۰ - ۰	ناچیز
۱۵۰۰ - ۱۵۰	کم تا متوسط* (۱)
۱۰۰۰۰ - ۱۵۰۰	شدید* (۲)
>۱۰۰۰۰	خیلی شدید* (۳)

* راهکارهای حفاظتی: (۱) استفاده از سیمان پرتلند نوع دو (۲) استفاده از سیمان پرتلند نوع پنج (۳) استفاده از بتن تهیه شده از ترکیب سیمان پرتلند نوع پنج و مواد افزودنی ارتقا دهنده مقاومت بتن در برابر آسیب‌های شیمیایی سولفات

شاخص‌های تعیین شدت خوردگی آب‌ها

شاخص لانژیر

جهت ارزیابی خطر آبهویی بتن در سازه‌های آبی، استفاده از شاخص لانژیر که از رابطه ۱ بدست می‌آید توصیه شده است (ICOLD, 1989; Morton, 1977). اساس این روش مقایسه pH واقعی آب با مقدار pH آب در حالتی است که با حفظ سایر خواص، اشباع از کلسیم کربنات باشد. مقدار pH آب در حالت اشباع از کلسیم کربنات (pH_s) از رابطه ۲ بدست می‌آید که در این رابطه پارامترهای T , A , C و S به ترتیب معادل غلظت یون‌های کلسیم و بی‌کربنات برحسب میلی‌گرم کلسیم کربنات در لیتر، دما بر حسب درجه سانتی‌گراد و جامدات محلول در آب بر حسب میلی‌گرم در لیتر هستند.

$$LI = pH - pH_s \quad (۱)$$

$$pH_s = 12.3 - \log(C) - \log(A) - 0.025 * T + 0.011 * \sqrt{S} \quad (۲)$$

چنانچه pH آب کمتر از pH_s باشد، شاخص لانژیر منفی و نشان دهنده کمبود ترکیبات کلسیم محلول در آب است. بنابراین آب خاصیت خورنده داشته و تمایل به آبهویی بتن و انحلال ترکیبات کلسیم از سازه‌های آبی بتنی را دارد. در چنین شرایطی، کمبود غلظت یون کلسیم بایستی جبران شود. هر چه اختلاف مقادیر pH و pH_s بیشتر و شاخص لانژیر منفی‌تر باشد، شدت خوردگی آب بیشتر خواهد بود. تا آنجا که شاخص لانژیر کمتر از $-1/5$ نشان دهنده خوردگی زیاد آب است و در این شرایط سازه‌های بتنی در تماس با این آب در معرض آبهویی شدید قرار خواهند داشت (ICOLD, 1989).

شاخص لانژیر برابر با صفر نیز بیانگر این است که آب اشباع از کلسیم کربنات است و غلظت یون کلسیم در حالت تعادل قرار دارد. از سوی دیگر شاخص لانژیر مثبت نشان دهنده این است که کربنات کلسیم محلول در آب بیش از حد اشباع است و در نتیجه آب تمایل به رسوب‌گذاری بخش اضافی ترکیبات محلول خواهد داشت.

شاخص رایزنر

رایزنر نشان داد که وقتی شاخص لانژیر مثبت بدست می‌آید، تعیین خورنده یا رسوب‌گذار بودن آب با عدم قطعیت روبه‌رو است. در واقع مقدار pH آب در حالت اشباع از کلسیم کربنات (pH_s) اطلاعات بیشتری درباره خاصیت خوردگی یا رسوب‌گذاری آب بدست می‌دهد و در بررسی خاصیت خوردگی آب‌ها اهمیت زیادی دارد (Ryznar, 1944). از این‌رو رایزنر جهت غلبه بر محدودیت کاربرد شاخص لانژیر، رابطه ۳ را ارائه کرد که در آن وزن تاثیر پارامتر مهم pH_s دو برابر مقدار آن در معادله شاخص لانژیر در نظر گرفته شده است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود بر اساس مقدار شاخص رایزنر شدت خوردگی آب‌ها از بسیار خورنده تا رسوب‌گذار شدید در دسته‌های مختلف طبقه‌بندی شده است. بنابراین با استفاده از شاخص رایزنر خاصیت آب‌ها با دقت بیشتری تعیین می‌شود و در شرایطی که شاخص لانژیر مثبت است، می‌توان شدت خوردگی آب را با استفاده از شاخص رایزنر تعیین کرد.

$$RSI = 2 * pH_s - pH \quad (۳)$$

جدول ۸. دسته‌بندی شدت خوردگی آب بر اساس شاخص رایزنر (Ryznar and Langelier 1944)

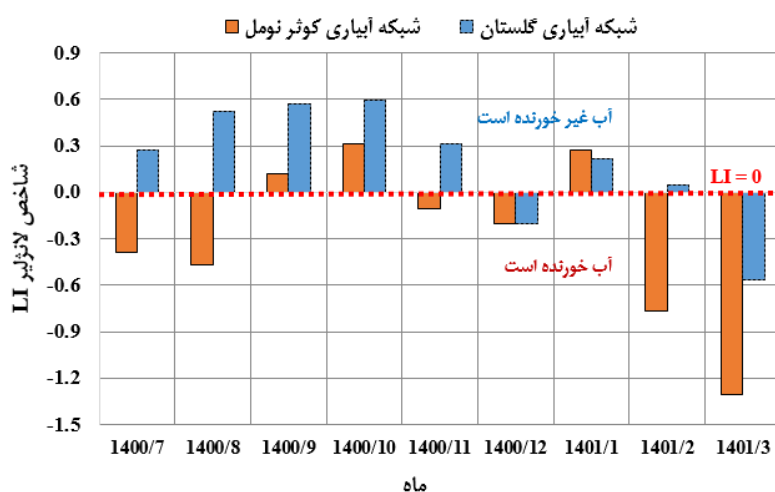
شاخص رایزنر	خاصیت آب
<۵/۵	شدیداً رسوب‌گذار

۵/۵-۶/۲	رسوب‌گذار
۶/۲-۶/۸	حالت پایدار
۶/۸-۸/۵	خورنده
>۸/۵	بسیار خورنده

نتایج و بحث

بررسی خطر آبتشویی بتن در شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه

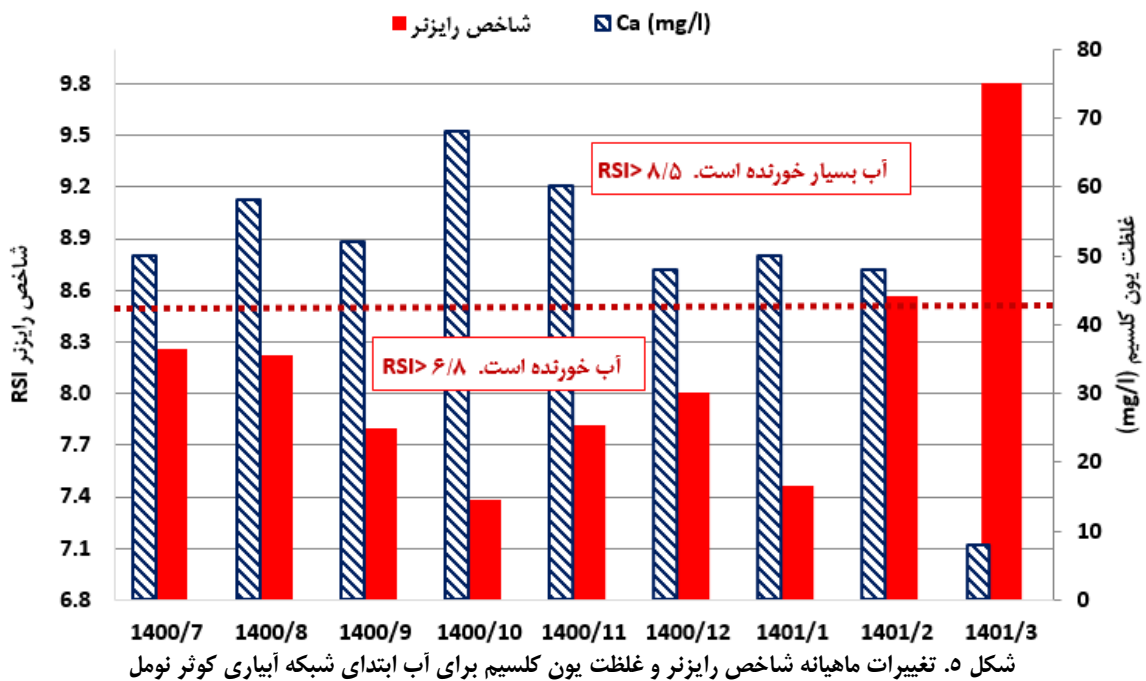
به منظور بررسی خطر آبتشویی بتن، شاخص لانژیر با استفاده از داده‌های ماهیانه کیفیت آب ابتدای شبکه‌های آبیاری گلستان و کوثر نومل مربوط به مهر ماه ۱۴۰۰ تا خرداد ماه ۱۴۰۱ محاسبه شد. شکل (۴) نشان دهنده تغییرات شاخص لانژیر برای آب ابتدای شبکه‌های آبیاری گلستان و کوثر نومل است و خطچین افقی در این شکل معادل شاخص لانژیر برابر با صفر و مرز میان آب خورنده و رسوب‌گذار است. همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود شاخص لانژیر برای ابتدای شبکه کوثر نومل در طی نه ماه (از مهر ماه ۱۴۰۰ تا خرداد ماه ۱۴۰۱) به غیر از فروردین ماه ۱۴۰۱، از مقدار این شاخص برای آب ابتدای شبکه گلستان کمتر بوده است. از طرفی شاخص لانژیر برای آب ابتدای شبکه کوثر نومل در شش ماه از نه ماه مورد بررسی منفی بوده و آب این شبکه خاصیت خورنده داشته است. مقادیر متوسط پارامترهای کلسیم، کل جامدات محلول و هدایت الکتریکی برای آب شبکه کوثر نومل طی ماه‌هایی که شاخص لانژیر منفی بوده است، به ترتیب برابر با ۴۵/۴ و ۴۱۱/۸ میلی‌گرم در لیتر و ۶۵۱/۲ میکروزیمنس در سانتی‌متر بوده که نشان از کیفیت بالای آب شبکه کوثر نومل در این شش ماه دارد. نظر به اینکه شدت خوردگی آب با خلوص آب رابطه مستقیم و با غلظت املاح محلول در آب نسبت معکوس دارد، کیفیت مناسب آب شبکه کوثر نومل دلیلی بر خورنده بودن آب این شبکه بوده است. این یافته با نتایج (Prabhakar et al (2017 همخوانی دارد.



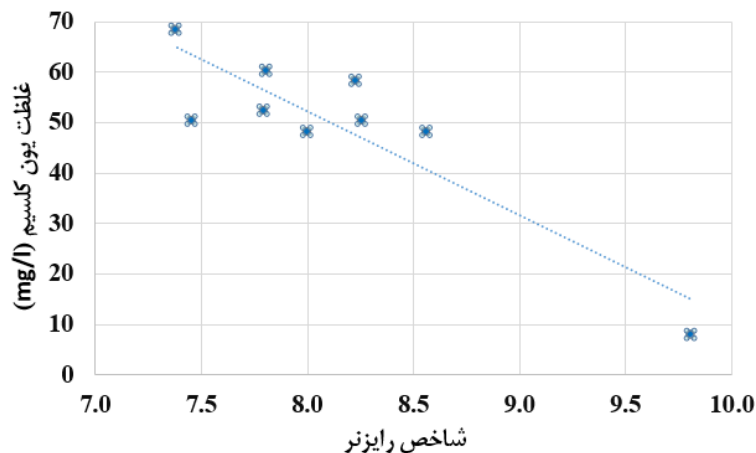
شکل ۴. تغییرات ماهیانه شاخص لانژیر برای آب ابتدای شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه

از طرفی شاخص لانژیر برای آب ابتدای شبکه کوثر نومل در ماه‌های اردیبهشت و خرداد ۱۴۰۱ کم‌تر از ۰/۷- بوده و باتوجه به اینکه هرچه شاخص لانژیر کوچک‌تر و منفی‌تر باشد، خاصیت خوردگی آب بیش‌تر است، آب شبکه کوثر نومل در این دو ماه بسیار خورنده بوده است. علاوه بر این مطابق جدول (۱) در خرداد ماه ۱۴۰۱ غلظت کربن‌دی‌اکسید محلول در آب ابتدای شبکه کوثر نومل برابر ۳۱/۷ میلی‌گرم در لیتر بوده و بر اساس معیارهای ارائه شده در جدول‌های (۴ و ۵)، سازه‌های بتنی و پوشش کانال‌های آبیاری شبکه کوثر نومل در معرض آسیب‌های شیمیایی از جمله تجزیه و شسته‌شدن مواد سیمانی بتن قرار داشته‌اند. در مقابل شاخص لانژیر برای آب شبکه کوثر نومل در دی ماه ۱۴۰۰ و فروردین ماه ۱۴۰۱ بیش از ۰/۲۵ بوده و در این دو ماه آب شبکه کوثر نومل خاصیت خوردگی نداشته است. شاخص لانژیر برای آب ابتدای شبکه گلستان در اسفند ماه ۱۴۰۰ و خرداد ماه ۱۴۰۱ کم‌تر از ۰/۲- و خاصیت خوردگی آب شبکه گلستان در این دو ماه قابل ملاحظه بوده است. نظر به وجود عدم قطعیت در تعیین خورنده و یا رسوب‌گذار بودن آب‌ها با شاخص لانژیر مثبت (Ryznar, 1944) و با توجه به اینکه شاخص لانژیر برای آب ابتدای شبکه‌های گلستان و کوثر نومل به ترتیب در هفت و سه ماه مقداری

مثبت داشته است، شاخص رایزنر محاسبه شد. در شکل (۵) تغییرات ماهیانه شاخص رایزنر و غلظت یون کلسیم برای آب ابتدای شبکه کوثر نومل مربوط به بازه زمانی مهر ماه ۱۴۰۰ تا خرداد ماه ۱۴۰۱ نشان داده شده است. دو خط چین افقی $RSI = 6/8$ و $RSI = 8/5$ در شکل (۵) به ترتیب معرف مرز آب خورنده و بسیار خورنده هستند. همانطور که در شکل (۵) مشاهده می شود با وجود اینکه شاخص رایزنر برای آب ابتدای شبکه کوثر نومل طی ماه های مورد بررسی نوسان داشته است، لیکن همواره بیش از مقدار آستانه خوردگی آب ($6/8$) بوده است. علاوه بر این در ماه های اردیبهشت و خرداد ۱۴۰۱ مقدار شاخص رایزنر به ترتیب برابر $8/56$ و $9/81$ بوده و همانند نتایج حاصل از بررسی شاخص لائزلیبر، خاصیت خوردگی آب شبکه کوثر نومل در این دو ماه شدید بوده است. نکته قابل توجه این است که در دی ماه ۱۴۰۰ و خرداد ماه ۱۴۰۱ که غلظت یون کلسیم برای آب شبکه کوثر نومل به ترتیب بیشترین و کمترین (به ترتیب ۶۸ و ۸ میلی گرم در لیتر) مقدار بوده است، شاخص رایزنر به ترتیب کمترین ($7/39$) و بیشترین ($9/81$) مقادیر را داشته است. همچنین ضریب همبستگی میان غلظت یون کلسیم و شاخص رایزنر برای آب ابتدای شبکه کوثر نومل برابر $-0/89$ است و همانطور که در شکل (۶) مشاهده می شود روند تغییرات آن ها به صورت معکوس یکدیگر است.



شکل ۵. تغییرات ماهیانه شاخص رایزنر و غلظت یون کلسیم برای آب ابتدای شبکه آبیاری کوثر نومل

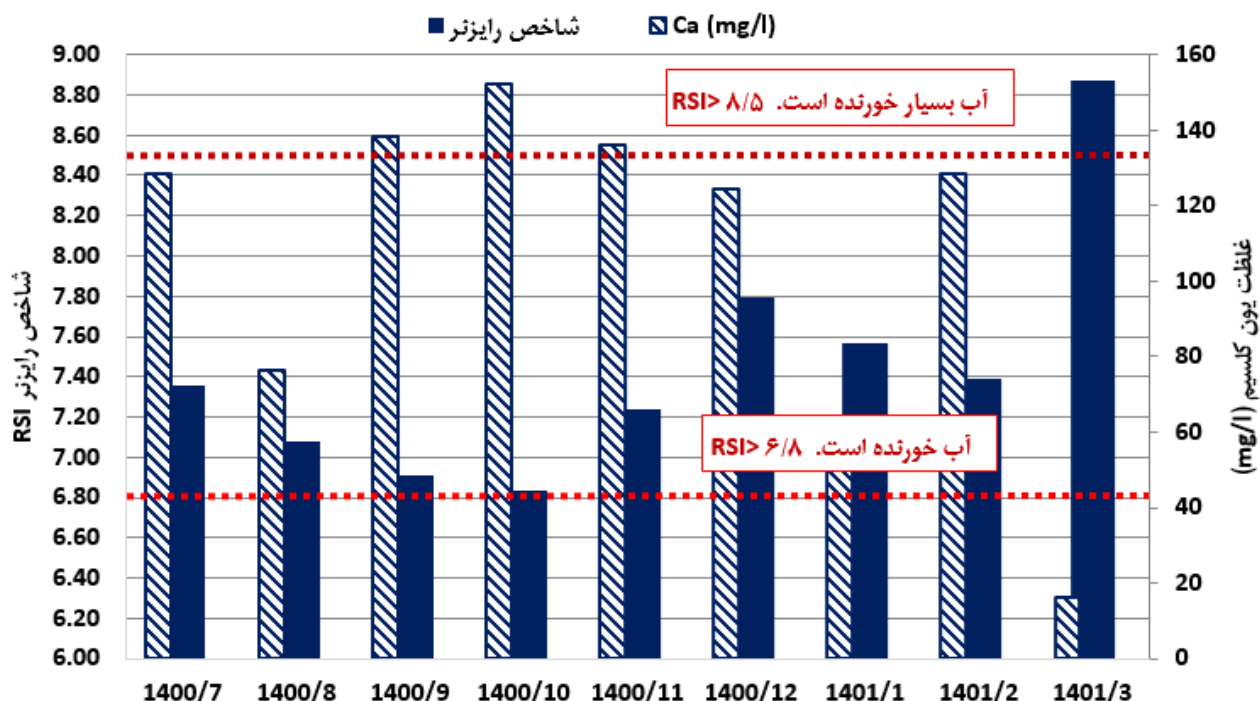


شکل ۶. نمودار غلظت یون کلسیم در آب شبکه کوثر نومل در مقابل شاخص رایزنر

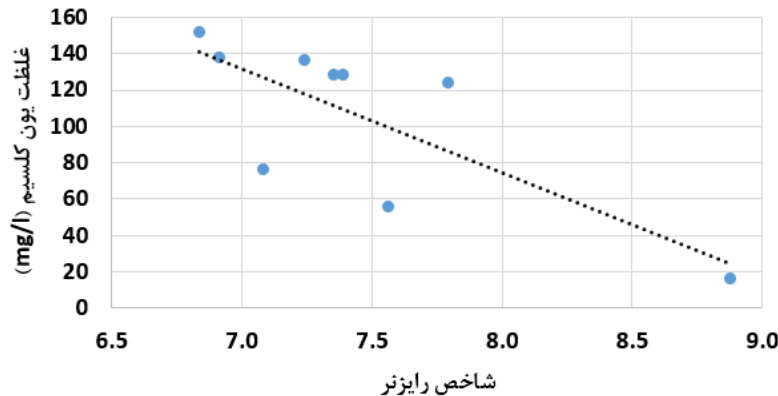
بطوریکه در بازه های زمانی دی ماه تا اسفند ماه ۱۴۰۰ و فروردین ماه تا خرداد ماه ۱۴۰۱ که غلظت یون کلسیم در آب تغییرات کاهشی داشته است، شاخص رایزنر افزایش پیدا کرده است (شکل ۵). علت افزایش شدت خوردگی آب شبکه کوثر نومل در بازه های زمانی

ذکر شده این است که در پی کاهش غلظت یون کلسیم در آب، اختلاف غلظت یون کلسیم در آب و محلول منفذی بتن افزایش یافته و آب شبکه کوثر نومل در این بازه‌های زمانی (ماه‌ها نوشته شود) در مقایسه با سایر ماه‌ها، ظرفیت بیشتری را برای انحلال ترکیبات کلسیم از سیمان بتن در خود داشته است. از طرفی با توجه به اینکه شاخص رایزنر برای ابتدای آب شبکه کوثر نومل همواره بیش از مقدار آستانه خوردگی آب (۶/۸) بوده است (شکل ۵)، در همه‌ی نه ماه مورد بررسی وضعیت خورنده بودن آب شبکه کوثر نومل استمرار داشته و در نتیجه سازه‌های انتقال آب بتنی و پوشش کانال‌های آبیاری در شبکه کوثر نومل طی بازه زمانی مورد مطالعه در معرض شسته‌شدن سیمان بتن توسط آب خورنده قرار داشته‌اند. آبشویی بتن به صورت مداوم منجر به افزایش نرخ جذب آب بتن و تسهیل نفوذ آب به داخل منافذ بتن می‌شود و به این ترتیب سازه‌های بتنی و پوشش کانال‌ها در معرض خطر آسیب‌های شیمیایی قرار می‌گیرند. از جمله این آسیب‌ها می‌توان به خوردگی آرماتورهای داخل سازه‌های بتنی در اثر کاهش pH محلول منفذی بتن و یا آسیب دیدن بتن در اثر واکنش‌های مخرب یون سولفات موجود در آب و ترکیبات سیمان بتن اشاره کرد.

در شکل (۷) تغییرات ماهیانه شاخص رایزنر و غلظت یون کلسیم برای آب ابتدای شبکه آبیاری گلستان مربوط به بازه زمانی مهر ماه ۱۴۰۰ تا خرداد ماه ۱۴۰۱ نشان داده شده است. ضریب همبستگی غلظت یون کلسیم و شاخص رایزنر برای آب ابتدای شبکه آبیاری گلستان برابر ۰/۷۶- است که نشان از همبستگی معکوس این دو پارامتر دارد (شکل ۸). همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، در دو بازه زمانی آبان ماه تا دی ماه ۱۴۰۰ و دی ماه تا اسفند ماه ۱۴۰۰ که شاخص رایزنر برای آب شبکه گلستان به ترتیب روند افزایشی و کاهشی داشته است، تغییرات غلظت یون کلسیم در این دو بازه زمانی به صورت معکوس و به ترتیب ابتدا کاهشی و سپس افزایشی بوده است. از طرفی کم‌ترین مقدار شاخص رایزنر برای آب ابتدای شبکه گلستان در خرداد ماه ۱۴۰۱ و برابر با ۶/۸۳ ثبت شده است که بیش از حد آستانه خوردگی آب (RSI = ۶/۸) است. بنابراین در بازه زمانی مورد مطالعه آب شبکه گلستان همواره خورنده بوده است. بیش‌ترین شدت خوردگی آب شبکه گلستان نیز در خرداد ماه ۱۴۰۱ با شاخص رایزنر ۸/۸۷ ثبت شده است که آب شبکه آبیاری گلستان در این ماه بسیار خورنده بوده است.



شکل ۷. تغییرات ماهیانه شاخص رایزنر و غلظت یون کلسیم برای آب ابتدای شبکه آبیاری گلستان



شکل ۸. نمودار غلظت یون کلسیم در آب شبکه گلستان در مقابل شاخص رایزنر

ارزیابی کمی و کیفی شدت خوردگی آب سد کوثر نومل، خرداد ۱۴۰۱

به منظور ارزیابی خاصیت خوردگی آب سد و شبکه آبیاری کوثر نومل در خرداد ماه ۱۴۰۱، از آب مخزن سد و آب نشت یافته از داخل سازه بتنی گالری سد کوثر نومل نمونه برداری شد که نتایج آزمایش‌های کیفیت آب مربوطه در جدول (۹) ارائه شده است. غلظت یون‌های بی‌کربنات و کلسیم در آب مخزن سد به ترتیب از مقادیر ۱۶۴/۸ و ۱۶ میلی‌گرم در لیتر به مقادیر ۴۳۹/۳ و ۳۲ میلی‌گرم در لیتر در آب نشت یافته از سازه بتنی گالری سد افزایش پیدا کرده است (جدول ۹). همچنین غلظت جامدات محلول در آب نشت یافته از سازه بتنی گالری سد کوثر نومل برابر ۷۱۰/۴ میلی‌گرم در لیتر است که بیش از دو برابر مقدار آن در آب مخزن سد (۳۱۰/۴ میلی‌گرم در لیتر) است. پارامتر هدایت الکتریکی آب نیز که نشان دهنده میزان یون‌های محلول در آب است، برای آب مخزن سد و آب نشت یافته از سازه بتنی گالری سد به ترتیب برابر با ۴۸۵ و ۱۱۳۶ میکروزیمنس در سانتی‌متر بوده است.

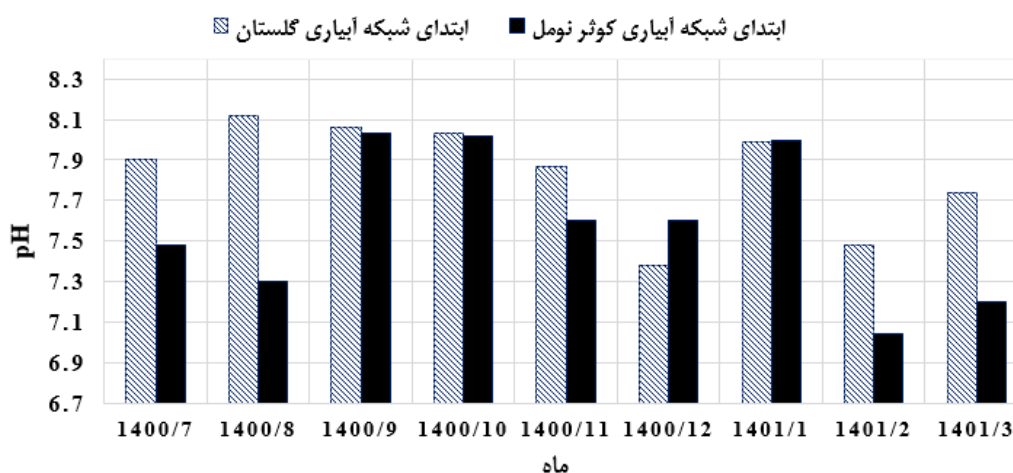
جدول ۹. مقایسه شاخص لائزلیبر و خصوصیات کیفیت آب مخزن سد کوثر نومل و آب نشت یافته از سازه بتنی گالری سد، خرداد ماه ۱۴۰۱

HCO ₃	Ca ²⁺	TDS	EC (microS/cm)	شاخص لائزلیبر	محل نمونه برداری
(mg/l)					
۱۶۴/۸	۱۶	۳۱۰/۴	۴۸۵	-۱/۲۲	سد کوثر نومل
۴۳۹/۳	۳۲	۷۱۰/۳	۱۱۳۶	-۰/۶۱	آب نشت یافته از سازه بتنی گالری سد کوثر نومل

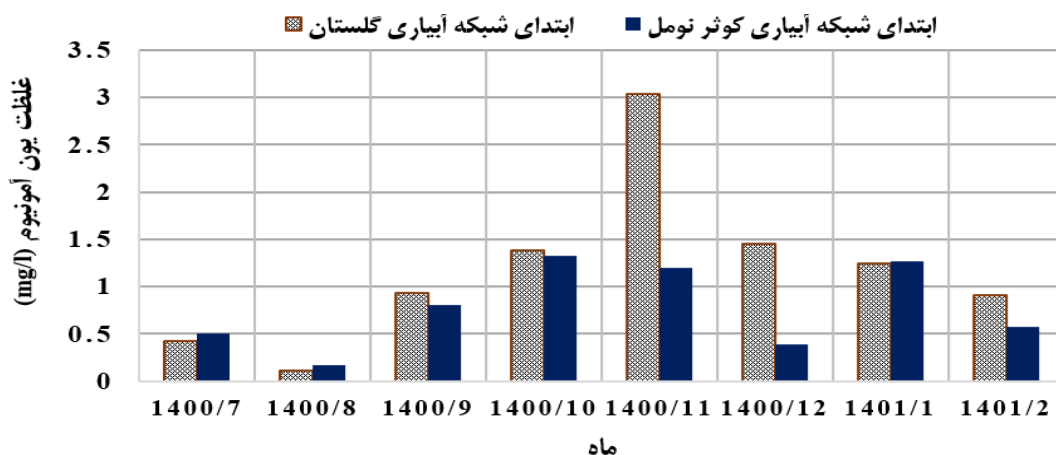
از طرفی مطابق جدول (۱) غلظت کربن دی‌اکسید محلول در آب مخزن سد کوثر نومل برابر ۱۷/۶ میلی‌گرم در لیتر و بیش از آستانه خطر آسیب شیمیایی تجزیه سیمان بتن (۱۵ میلی‌گرم در لیتر) بوده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در پی آبشویی مواد سیمانی از داخل سازه بتنی گالری سد کوثر نومل، غلظت جامدات محلول و در نتیجه هدایت الکتریکی آب نشت یافته از داخل سازه بتنی گالری سد نسبت به مقادیر این پارامترها برای آب مخزن سد به طور قابل ملاحظه افزایش پیدا کرده است. این یافته با نتایج مطالعات Vyas et al. (2019) و Neumann et al. (2021) تطابق دارد. Nie et al. (2021) با بررسی کیفیت آب مخزن یک سد در چین و آب نشت یافته از داخل سازه بتنی گالری سد، نتیجه گرفتند که غلظت کلسیم در آب نشت یافته از داخل بدنه بتنی گالری سد ۲۰ میلی‌گرم در لیتر از غلظت کلسیم در آب مخزن سد بیشتر است و سازه‌های بتنی در معرض آسیب شسته شدن سیمان توسط آب خورنده قرار دارند. از طرفی شاخص لائزلیبر برای آب مخزن سد کوثر نومل برابر ۱/۲۲- بوده و نسبت به آب نشت یافته از داخل سازه بتنی گالری سد (با شاخص لائزلیبر ۰/۶۱-)، خوردگی بسیار بیشتری داشته است (جدول ۹). علت افزایش شاخص لائزلیبر این است که آب مخزن سد با خوردگی بسیار زیاد، ظرفیت بالایی برای انحلال مواد سیمانی در خود داشته و با آبشویی مواد سیمانی از داخل سازه بتنی گالری سد، منجر به افزایش غلظت کل جامدات محلول از مقدار ۳۱۰/۴ میلی‌گرم در لیتر در آب مخزن سد به مقدار ۷۱۰/۳ میلی‌گرم در لیتر در آب نشت یافته از داخل سازه بتنی گالری سد شده است. به همین دلیل با جبران بخشی از کمبود جامدات محلول در آب مخزن سد، شدت خوردگی آب نشت یافته از داخل سازه‌های بتنی نسبت به آب مخزن سد کاهش پیدا کرده است. در مطالعه‌ای مشابه Anand et al. (2015) نتیجه گرفتند که افزایش شاخص لائزلیبر برای آب نشت یافته از داخل سازه بتنی گالری سد تهری در هند نسبت به آب مخزن این سد، نشان دهنده آبشویی مواد سیمانی از سازه‌های بتن است.

بررسی سایر عوامل آسیب‌های شیمیایی بتن

علاوه بر آشوبی بتن توسط آب خورنده، در صورتی که مقدار برخی از پارامترهای کیفیت آب در محدوده مشخصی قرار داشته باشد، سازه‌های بتنی در معرض آسیب‌های شیمیایی قرار خواهند داشت. بر اساس معیارهای (1972) Biczok و French Standard P18- (1985) 0.11، $pH = 6/5$ حد آستانه خطر آسیب‌های شیمیایی برای بتن محسوب می‌شود و هرچه مقدار pH آب کمتر از $6/5$ باشد، محیط اسیدی آب باعث تشدید آشوبی بتن و تسهیل انحلال ترکیبات سیمان در آب خواهد شد. در شکل (۹) تغییرات ماهیانه مقدار pH آب برای ابتدای شبکه‌های آبیاری گلستان و کوثر نومل مربوط به مهر ماه ۱۴۰۰ تا خرداد ماه ۱۴۰۱ نشان داده شده است. pH آب شبکه گلستان در ماه‌های آبان و اسفند ۱۴۰۰ به ترتیب بیش‌ترین ($8/12$) و کم‌ترین ($7/38$) مقادیر را داشته است. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار pH برای آب شبکه کوثر نومل نیز به ترتیب در آذر ماه ۱۴۰۰ و اردیبهشت ماه ۱۴۰۱ با مقادیر به ترتیب $8/03$ و $7/04$ ثبت شده است. همانطور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود به غیر از اسفند ماه ۱۴۰۰، مقدار pH آب شبکه کوثر نومل همواره کمتر و یا مساوی مقدار این پارامتر برای آب شبکه گلستان بوده است. با این وجود در تمام ماه‌های مورد بررسی مقدار pH آب هر دو شبکه بیش از $6/5$ بوده و در نتیجه عامل pH آب نقشی در ایجاد آسیب‌های شیمیایی در بتن در شبکه‌های گلستان و کوثر نومل نداشته است. این یافته با نتایج تحقیق Prabhakar et al. (2016) همسو نیست که دلیل آن کم‌تر بودن pH نمونه‌های آب رودخانه مطالعه شده توسط Prabhakar et al. (2016) از مقدار $6/5$ است.



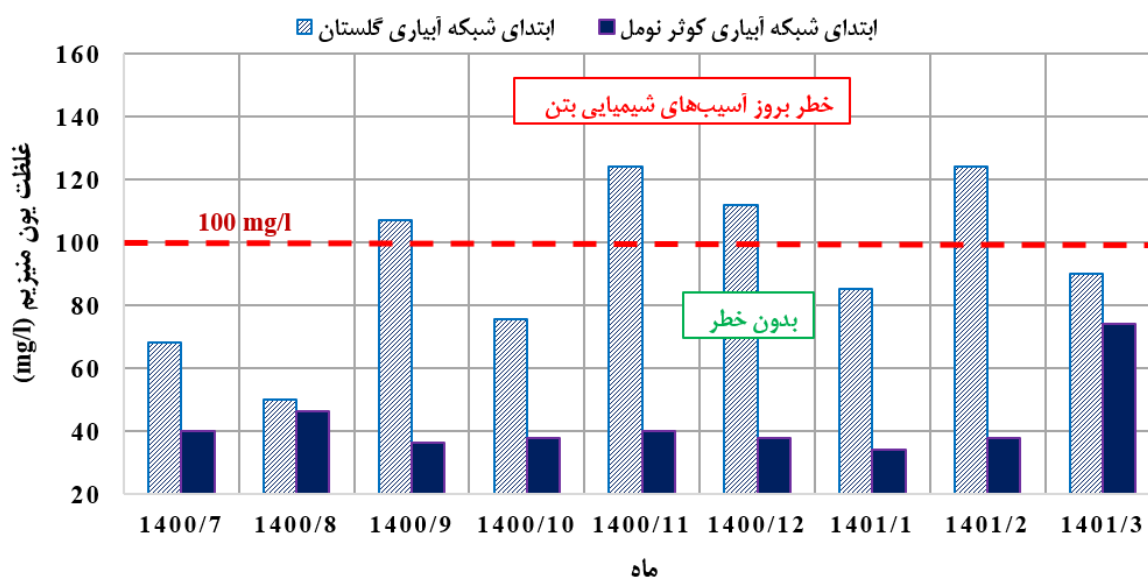
شکل ۹. تغییرات ماهیانه پارامتر pH برای آب ابتدای شبکه‌های آبیاری گلستان و کوثر نومل



شکل ۱۰. تغییرات ماهیانه غلظت یون آمونیوم برای آب ابتدای شبکه‌های آبیاری گلستان و کوثر نومل

از سوی دیگر چنانچه غلظت یون آمونیوم در آب در تماس با بتن بیش‌تر از 15 میلی‌گرم در لیتر باشد، آمونیوم با کلسیم‌هیدروکسید موجود در بتن واکنش می‌دهد که در طول زمان منجر به کاهش مقاومت بتن و ترک برداشتن آن می‌شود. خوردگی آرماتورهای فولادی

داخل بتن نیز از دیگر آسیب‌ها خواهد بود. هرچه غلظت آمونیوم در آب بیش‌تر از ۱۵ میلی‌گرم در لیتر باشد، شدت آسیب‌های شیمیایی بتن بیش‌تر خواهد بود. در شکل (۱۰) تغییرات ماهیانه غلظت یون آمونیوم برای آب ابتدای شبکه‌های آبیاری گلستان و کوثر نومل مربوط به مهر ماه ۱۴۰۰ تا اردیبهشت ماه ۱۴۰۱ ارائه شده است (برای نمونه‌های آب جمع‌آوری شده در خرداد ماه ۱۴۰۱ غلظت یون آمونیوم اندازه‌گیری نشده است). همانطور که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود حداکثر غلظت یون آمونیوم برای آب ابتدای شبکه‌های آبیاری گلستان و کوثر نومل به ترتیب ۳ و ۱/۳ میلی‌گرم در لیتر بوده است. بنابراین در هیچ یک از ماه‌های مورد بررسی غلظت یون آمونیوم در آب شبکه‌های مورد مطالعه بیش‌تر از حداقل لازم برای واکنش آمونیوم با سیمان بتن و ایجاد آسیب‌های شیمیایی نبوده است.



شکل ۱۱. تغییرات ماهیانه غلظت یون منیزیم برای آب ابتدای شبکه‌های آبیاری گلستان و کوثر نومل

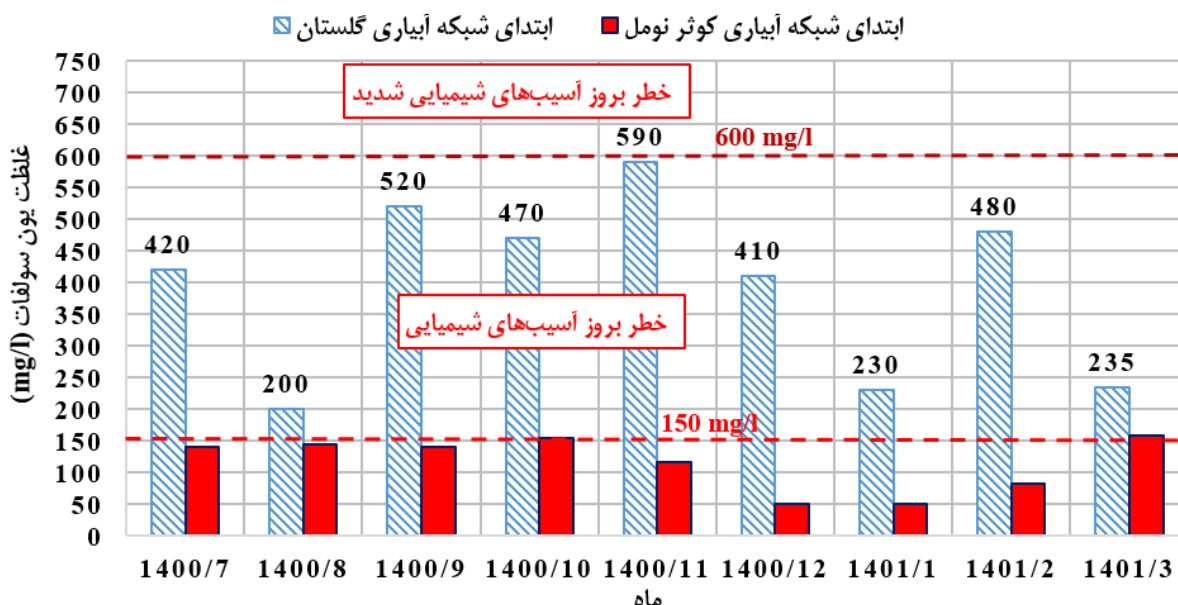
در صورتیکه غلظت یون منیزیم در آب بیش‌تر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد، واکنش یون منیزیم با کلسیم‌هیدروکسید موجود در بتن باعث تولید منیزیم‌هیدروکسید و کلسیم‌کربنات می‌شود (Biczok, 1972). این واکنش می‌تواند منجر به کاهش استحکام بتن و آسیب‌پذیر شدن آن در برابر سایر آسیب‌های شیمیایی شود. هرچه غلظت یون منیزیم در آب از مقدار آستانه خطر ایجاد آسیب‌های شیمیایی در بتن (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بیش‌تر باشد، شدت آسیب‌ها نیز بیش‌تر خواهد بود. به طوریکه می‌تواند منجر به ترک برداشتن بتن و پوسته شدن^۱ آن شده و در نهایت کاهش دوام بتن^۲ را در پی داشته باشد. در شکل (۱۱) تغییرات ماهیانه غلظت یون منیزیم برای آب ابتدای شبکه‌های آبیاری گلستان و کوثر نومل مربوط به مهر ماه ۱۴۰۰ تا خرداد ماه ۱۴۰۱ ارائه شده است. غلظت یون منیزیم برای آب ابتدای شبکه گلستان در آبان ماه ۱۴۰۰ کم‌ترین مقدار (۴۹/۸ میلی‌گرم در لیتر) و در دو ماه بهمن ۱۴۰۰ و اردیبهشت ۱۴۰۱ بیش‌ترین مقدار را (۱۲۴ میلی‌گرم در لیتر) داشته است. همانطور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود غلظت یون منیزیم برای آب شبکه گلستان در چهار ماه از نه ماه مورد بررسی بیش‌تر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بوده و بر اساس معیارهای ارائه شده در جدول‌های (۳ و ۴)، این آب منجر به آسیب‌های شیمیایی شده است. غلظت یون منیزیم برای آب ابتدای شبکه کوثر نومل در هشت ماه اول مورد بررسی تغییرات کمی داشته و همواره کم‌تر از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بوده و بیش‌ترین مقدار غلظت یون منیزیم در خرداد ماه ۱۴۰۱ برابر با ۷۴/۱ میلی‌گرم در لیتر ثبت شده است. از آنجاییکه غلظت یون منیزیم در آب شبکه کوثر نومل همواره کم‌تر از حد آستانه خطر ایجاد آسیب‌های شیمیایی در بتن بوده است، طی بازه زمانی بررسی شده سازه‌های بتنی و پوشش کانال‌های آبیاری شبکه کوثر نومل در معرض آسیب‌های شیمیایی ناشی از واکنش یون منیزیم با سیمان بتن قرار نداشته‌اند.

از دیگر عوامل مهم آسیب‌های شیمیایی بتن، آثار مخرب ناشی از واکنش یون سولفات محلول در آب با ترکیبات بتن است. بر اساس معیارهای ارائه شده توسط CSA (2019) و USBR (1981) چنانچه غلظت یون سولفات در آب بیش‌تر از ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر باشد، بتن در معرض آسیب‌های شیمیایی خواهد بود (جدول‌های ۶ و ۷). همچنین شدت آسیب‌دیدگی بتن با غلظت یون سولفات در آب و مدت

1 Spalling

2 Concrete durability

زمان قرارگیری بتن در معرض سولفات رابطه مستقیم دارد. در شکل (۱۲) تغییرات ماهیانه غلظت یون سولفات در آب ابتدای شبکه‌های آبیاری گلستان و کوثر نومل مربوط به مهر ماه ۱۴۰۰ تا خرداد ماه ۱۴۰۱ ارائه شده است. خطچین‌های افقی ترسیم شده در شکل (۱۲) مربوط به غلظت یون سولفات برابر با ۱۵۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر است که به ترتیب نشان دهنده مرز شدت متوسط و قابل ملاحظه آسیب‌های شیمیایی بتن هستند. مطابق شکل (۱۲) بیش‌ترین مقدار غلظت یون سولفات در آب ابتدای شبکه کوثر نومل در دی ماه ۱۴۰۰ و خرداد ماه ۱۴۰۱ با مقادیر به ترتیب ۱۵۴ و ۱۵۹ میلی‌گرم در لیتر ثبت شده است که فقط اندکی از آستانه خطر آسیب‌های شیمیایی بتن (۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) بیش‌تر است.



شکل ۱۲. تغییرات ماهیانه غلظت یون سولفات برای آب ابتدای شبکه‌های آبیاری گلستان و کوثر نومل

در بازه زمانی مهر ماه تا آذر ماه ۱۴۰۰ غلظت سولفات موجود در آب شبکه کوثر نومل حدود ۱۴۰ میلی‌گرم در لیتر و کم‌تر از آستانه خطر آسیب‌های شیمیایی بتن بوده است. همانطور که در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود غلظت سولفات در آب شبکه کوثر نومل در اکثر ماه‌های مورد بررسی کم‌تر از حد آستانه خطر ایجاد آسیب‌های شیمیایی در سازه‌های بتنی بوده و تنها در دو ماه اندکی بیش‌تر از آن بوده است. بنابراین بر اساس معیارهای ارائه شده در جدول‌های (۶ و ۷) طی بازه زمانی مورد بررسی عامل واکنش یون سولفات محلول در آب با سیمان بتن به‌عنوان آسیب شیمیایی بتن در شبکه کوثر نومل مطرح نبوده است. Prabhakar et al. (2016) با تحلیل کیفیت آب یک رودخانه در هند با استفاده از معیارهای French National Code p-018 (1985) و USBR (1981) دریافتند که سازه‌های بتنی در تماس با آب رودخانه در معرض خطر آسیب‌های ناشی از واکنش یون سولفات با سیمان بتن قرار ندارند.

بررسی تغییرات غلظت یون سولفات در آب ابتدای شبکه آبیاری گلستان از شکل (۱۲) نشان می‌دهد که حداقل و حداکثر غلظت یون سولفات در آب شبکه گلستان به ترتیب برابر با ۲۰۰ و ۵۹۰ میلی‌گرم در لیتر بوده که به ترتیب در ماه‌های آبان و بهمن ۱۴۰۰ ثبت شده است. با وجود نوسان غلظت سولفات در آب شبکه گلستان، در شش ماه از نه ماه مورد بررسی غلظت سولفات بیش از ۴۱۰ میلی‌گرم در لیتر و بسیار بیش‌تر از حد آستانه خطر بروز آسیب‌های شیمیایی در بتن (۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) بوده است (شکل ۱۲). علاوه بر این در بهمن ماه ۱۴۰۰ غلظت یون سولفات در آب شبکه گلستان بسیار نزدیک به مرز شدت قابل ملاحظه آسیب‌های شیمیایی بتن (۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بوده است. بنابراین با توجه به اینکه در تمام ماه‌های مورد بررسی غلظت سولفات در آب شبکه گلستان بیش از حداقل لازم برای انجام واکنش یون سولفات با سیمان بتن بوده است، طی بازه زمانی مورد مطالعه سازه‌های بتنی و پوشش کانال‌های آبیاری شبکه گلستان به طور مستمر در معرض خطر آسیب‌های شیمیایی ناشی از واکنش یون سولفات با بتن قرار داشته‌اند. به این ترتیب که به دلیل غلظت زیاد سولفات در آب شبکه گلستان، یون سولفات محلول در آب با کلسیم‌هیدروکسید و کلسیم‌آلومینات موجود در بتن واکنش می‌دهد. فرآورده‌های این واکنش‌ها ترکیب‌های منبسط‌شونده‌ای نظیر بلورهای سولفات کلسیم هستند که باعث انبساط و ترک برداشتن بتن می‌شوند. از طرفی واکنش سولفات با بتن می‌تواند منجر به تجزیه سیمان و افزایش نرخ جذب آب بتن شود. همچنین آب شبکه گلستان در بازه زمانی مهر ماه ۱۴۰۰



تا خرداد ماه ۱۴۰۱ همواره خورنده بوده است و پوشش بتنی کانال‌های آبیاری در معرض آبشویی توسط آب خورنده قرار داشته‌اند. آبشویی مواد سیمانی از بتن باعث افزایش تخلخل بتن و در نتیجه افزایش نرخ جذب آب بتن می‌شود. از این رو نفوذ یون سولفات به داخل منافذ بتن تسهیل و باعث تشدید آسیب‌های شیمیایی ناشی از واکنش سولفات با بتن خواهد شد.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی خطر بروز آسیب‌های شیمیایی در سازه‌های بتنی و پوشش کانال‌های شبکه‌های آبیاری گلستان و کوثر نومل انجام شد. در این راستا طی بازدیدهای میدانی کارشناسی در خرداد ماه ۱۴۰۱، از آب شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه نمونه‌برداری شد و نتایج آزمایش‌های کیفیت آب مربوطه با استفاده از شاخص‌های خورندگی آب و معیارهای تعیین شدت آسیب‌های شیمیایی بتن تحلیل شد. بررسی و مقایسه تغییرات ماهیانه شاخص رایزنر برای آب شبکه‌های گلستان و کوثر نومل نشان داد که شاخص رایزنر برای آب هر دو شبکه در بازه زمانی مهر ماه ۱۴۰۰ تا خرداد ماه ۱۴۰۱ همواره بیش از $6/8$ و آب شبکه‌ها خورنده بوده است. با این تفاوت که مقدار متوسط شاخص رایزنر برای آب شبکه‌های گلستان و کوثر نومل به ترتیب برابر $7/45$ و $8/15$ بوده و شدت خورندگی آب شبکه کوثر نومل بیش‌تر بوده است. بنابراین در بازه زمانی مورد مطالعه سازه‌های انتقال آب بتنی شبکه‌های مورد مطالعه در معرض آبشویی مواد سیمانی توسط آب خورنده قرار داشته‌اند. آبشویی مواد سیمانی از پوشش بتنی کانال‌های آبیاری می‌تواند به طور تدریجی منجر به افزایش تخلخل و نرخ جذب آب توسط بتن شود و در نهایت افزایش نفوذپذیری پوشش کانال‌های آبیاری را در پی داشته باشد. علاوه بر این سازه‌های بتنی شبکه آبیاری گلستان در بازه زمانی مورد مطالعه در معرض آسیب‌های شیمیایی ناشی از واکنش یون‌های سولفات و منیزیم موجود در آب با سیمان بتن بوده است. به منظور حفاظت از سازه‌های بتنی و پوشش کانال‌های آبیاری در شبکه‌های گلستان و کوثر نومل، پیشنهاد می‌شود که با نمونه‌برداری از بخش‌های ترمیم نشده بتن در این شبکه‌ها و تجزیه و تحلیل ساختار شیمیایی نمونه‌های بتن از طریق روش‌هایی مانند استفاده از میکروسکوپ الکترونی، مواد تشکیل‌دهنده نمونه‌ها بررسی و میزان آسیب‌های شیمیایی که در سطح مولکولی بتن رخ داده است مشخص شود تا مبنای اقدامات حفاظتی قرار گیرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه تهران و شرکت سهامی آب منطقه‌ای گلستان به دلیل فراهم کردن امکانات و داده‌های مورد نیاز برای انجام این تحقیق و تهیه مقالات مربوطه تشکر و قدردانی می‌شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

پرچی عراقی، فرزین؛ عباسی، فریبرز و اخوان، کرامت (۱۴۰۱). ارزیابی راندمان کاربرد و نمایه‌های بهره‌وری آب در سویا تابستانه (مطالعه موردی: پایین‌دست شبکه آبیاری و زهکشی مغان، استان اردبیل). *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*. ۵۳ (۶)، ۱۲۵۷-۱۲۴۳.

شریف‌نژاد، اعظم؛ پرورش ریزی، عاطفه و پورزند، احمد (۱۳۹۳). QFD (کاربرد عملکرد کیفیت)، ابزاری در بهبود مدیریت و ارائه خدمات در شبکه‌های آبیاری و زهکشی (مطالعه موردی: شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین). *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*. ۱۲ (۱)، ۴۵-۵۶.

عابدی کوپایی، جهانگیر؛ اسلامیان، سید سعید؛ گوهری، سید علیرضا و خدادادی، رضا (۱۳۸۹). ارزیابی خصوصیات مکانیکی کانال‌های انتقال آب ساخته شده از بتن حاوی نانوپوزولان خاکستر غلاف گندم. *نشریه علوم آب و خاک*. ۱۴ (۴).

REFERENCES

- Abedi-Koupai, J., Eslamian, S. S., Gohari, S. A. & Khodadadi, R., (2011). Evaluation of Mechanical Properties of Water Conveyance Concrete Canals Incorporating Nano Pozzolan of Wheat Ash Sheath. *Journal of Water and Soil Science*; 14 (54): 39-52. (In Persian)
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association & Water Environment Federation, USA, (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water.
- Anand, B., Sharma, S. N., Pathak, R. P., Kachhal, P. I., & Sharma, P. (2015). Impact of soft water attack on dam concrete, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 5(03), 357-363.

- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). Water quality for agriculture (Vol. 29, p. 174). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Behera, J. (2019). *Assessment of water quality parameters of seepage water from crack areas of Hirakud Dam*. In: International dam safety conference, 13th–14th Feb, Bhubaneswar, India, 351–358.
- Biczok, I. (1972). Concrete corrosion - Concrete protection. *Hungarian Academy of Sciences*, Budapest. 500 p.
- Canadian Standard Association (CSA) Standard A23.1. (2019). Concrete materials and methods of concrete construction/Test methods and standard practices for concrete.
- Choi, Y. S., Choi, S. Y., Kim, I. S., & Yang, E. I. (2018). Experimental study on the structural behaviour of calcium-leaching damaged concrete members. *Magazine of Concrete Research*, 70(21), 1102-1117.
- FAO, (2011). The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture- Managing Systems at Risk, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London.
- French National Standard p18-011. (1985). assessing aggressivity due to pH, Ammonium, Magnesium and Sulphate ions.
- International Commission on Large Dams, ICOLD Bulletin No. 71, (1989). Exposure of Dam Concrete to Special Aggressive Waters – Guidelines and Recommendations, for assessing aggressivity of soft water.
- Mason, P. J. (1990). The effects of aggressive water on dam concrete. *Constr Build Mater*, 4(3), 115–118.
- Mohd-Asharuddin, S., Zayadi, N., Rasit, W., & Othman, N. (2015). *Water Quality Characteristics of Sembrong Dam Reservoir, Johor, Malaysia*, In: proceedings of International Conference of Soft Soil Engineering (SEIC2015), IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, pp.1-6.
- Morton, T. H. (1977). An algorithm for the langelier index of process waters. *Journal of the Institution of water Engineers and Scientists*, 31(1)
- Neumann, C., Faria, E. F., & dos Santos, A. C. P. (2021). Concrete leaching of a hydroelectric powerhouse due to 40 years of exposure to river water. *Construction and Building Materials*, 302, 124253.
- Nie, D., Wang, H., Li, P., Han, X., Zhang, J., & Wang, C. (2021). A Methodology to Evaluate Long Term Durability of Dam Concrete Due to Calcium Leaching through Microscopic Tests and Numerical Analysis. *Materials*, 14(24), 7819.
- Parchami-Araghi, F., Abbasi, F., & Akhavan, K. (2022) Assessment of Soybean Applied Water and Water Productivity (a case study: Tail End Region of Moghan Irrigation and Drainage Network, Ardabil Province, Iran). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (6), 1243-1257.(In Persian)
- Pathak, R. P., Pankaj, S., & Ratnam, M. (2012). Characterisation of leachate material from dam concrete by X-ray diffractometer and FTIR. *International Journal of Research in Chemistry and Environment*, 2(4), 58-63.
- Perko, J., Ukrainczyk, N., Šavija, B., Phung, Q. T., & Koenders, E. A. (2020). Influence of Micro-Pore Connectivity and Micro-Fractures on Calcium Leaching of Cement Pastes—A Coupled Simulation Approach. *Materials*, 13(12), 2697.
- Prabhakar, K., Pathak, RP. & Sivakumar, N. (2016). Water quality impact on the dam concrete for upcoming pumped storage scheme in west Bengal, *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 5(2).
- Prabhakar, K., Pathak, RP. & Sivakumar, N. (2017). Durability considerations for dam concrete in acidic hydro environment – a case study, *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 6(4), 391-398
- Ryznar, J. W. & Langelier, W. F. (1944). A new index for determining amount of calcium carbonate scale formed by a water, *Journal of American Water Works Association.*, 36(4), 472–486.
- Ryznar, J.W. (1944). A new index for determining amount of calcium carbonate scale formed by a water. *Journal of American water works association*, Vol. 36, 472-0483.
- Sharif Nejad, A., Parvaresh Rizi, A., & Porzand, A. (2013). QFD, an implement for improving management and service provision in irrigation and drainage networks (Case study: Ghazvin irrigation district). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 44(1), 45-56.(In Persian)
- United States. Bureau of Reclamation (USBR), United States. Department of the Interior. Water, & Power Resources Service. (1981). Concrete Manual. US Bureau of Reclamation
- Vyas, S., Sharma, S.N., & Anand, B. (2019, February). *Influence of Aggressivity of water on the Long Term Sustainability of Hydro Power Structures – A Case Study Paper* presented at the International Dam Safety Conference, Bhubaneswar.
- Yang, H., Jiang, L., Zhang, Y., Pu, Q., & Xu, Y. (2012). Predicting the calcium leaching behavior of cement pastes in aggressive environments. *Construction and Building Materials*, 29(2), 88-96.



Comparisonal investigation of the risk of chemical water damages on concrete structures of Golestan and Kausar-Nomal irrigation networks, Iran

EXTENDED ABSTRACT

Introduction:

Irrigation networks are main infrastructures for water transfer and distribution in agricultural sector. One of the limiting factors for service life of irrigation networks is chemical damages of concrete. Among the chemical damages of concrete, one can mention cracking and spalling of concrete and corrosion of steel reinforcements embedded in concrete. On the other hand, in the situation of deficiency of calcium ion concentration in the water, hydraulic concrete structures will be exposed to the damage of leaching of cement materials from the concrete by corrosive water.

Objective:

The purpose of the present study was to investigate and compare the risk of chemical damages on concrete structures in Golestan and Kausar-Normal irrigation networks.

Materials and methods:

In this study, water samples were collected from different parts of Golestan and Kausar-Nomal irrigation networks during field surveys in June 2022, and then the relevant water quality parameters were measured using standard laboratory methods. In order to investigate the corrosive properties of water in the studied irrigation networks, water corrosiveness indices were calculated by using the water quality parameters of the studied irrigation networks' water. Also, in order to identify other factors of chemical damages on concrete and to determine the severity of chemical damages of concrete in the studied irrigation networks, international credible criteria were used. In order to investigate the temporal changes of the intensity of chemical damages of concrete and their potential on damages of concrete structures in the Golestan and Kausar-Nomal irrigation networks, the available monthly water quality data of these irrigation networks were received from the Regional Water Company of Golestan Province.

Results and discussion:

Ryznar index for Golestan and Kausar-Nomal networks during October-2021-June-2022 has always exceeded the threshold value of water corrosiveness (6.8). However the average Ryznar index for the water of Golestan and Kausar-Nomal networks are equal to 7.45 and 8.15, respectively, and intensity of corrosiveness for the water of Kausar-Nomal network has significantly been higher. Moreover, the concentration of dissolved- CO_2 in the water of Kausar-Nomal network in June 2022 was equal to 31.7 mg/liter, and there was a risk of cement decomposition. On the other hand, the analysis of the water quality of Golestan network based on the criteria for determining the severity of concrete chemical damage showed that during the studied period, the concentration of sulfate and magnesium ions in the water of Golestan irrigation network has been beyond the threshold risk of concrete chemical damages.

Conclusion:

In all the nine studied months, the water of the Kausar-Nomal network has been corrosiveness, and in June 2022, the water of the Kausar-Nomal network has been very corrosive. During the studied period, in addition to the corrosiveness of the water in Golestan network, there has been also the risk of other chemical damages to the concrete in the Golestan network. In order to protect the concrete structures against chemical damages, appropriate measures for improving the strength of concrete in corrosive environments must be taken.

Keywords: Chemical Damages of Concrete, Golestan and Kausar-Nomal Irrigation Networks, Sustainable Operation, Water Security.