نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال دهم، شماره ۳، صفحات ۱۱-۱۸، پاییز ۱۴۰۴

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 10, No. 3, PP. 11-18, Autumn 2025
DOI: 10.22112/jwwse.2025.499846.1433

مقاله پژوهشی

مطالعه کمی و کیفی استفاده مجدد از زهاب زهکش‌های نواحی غربی منتهی به دریای خزر و مرکزی در استان گلستان

منیره فغانی[1*] و محمد نوری[2]
۱- دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آب-آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۲- استادیار گروه سازه و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
*نویسنده مسئول، ایمیل: Monir.faghani@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۴/۰۱/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۵
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

ایران یکی از کشورهایی است که به‌واسطه تغییرات اقلیمی و بروز پدیده خشکسالی با مشکلات کم‌آبی مواجه شده است. یکی از راه‌کارهایی که می‌تواند در تعدیل مشکلات کم‌آبی راه‌گشا باشد، استفاده مجدد از زهاب کشاورزی است. در این تحقیق، به‌منظور بررسی استفاده مجدد از زهاب زهکش‌ها در مصارف کشاورزی و صنعتی از ۱۱ زهکش اصلی در استان گلستان در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ نمونه‌برداری انجام شد. پارامترهای مورد نیاز برای طبقه‌بندی رده آب در مصارف کشاورزی (طبقه‌بندی ویلکوکس) و مصارف صنعتی (شاخص لانژلیه و رایزنر) اندازه‌گیری و محاسبه شد. نتایج نشان‌داد که کیفیت آب به‌لحاظ شوری و مصرف در اراضی کشاورزی با توجه به طبقه‌بندی ویلکوکس در رده خیلی شور قرارداشته و از نظر شاخص لانژلیه و رایزنر برای مصارف صنعتی به‌ترتیب فوق‌اشباع (تمایل به رسوب $CaCO_3$)، نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده بوده است. با توجه به نتایج، برای استفاده از این آب‌ها در مصارف کشاورزی نیاز به تمهیدات مدیریتی و پایش سالانه شوری از جمله آب‌شویی و برای استفاده در مصارف صنعتی نیاز به کنترل فرآیند خورندگی در شبکه است.

کلمات کلیدی: زهاب، کیفیت آب، طبقه‌بندی ویلکوکس، شاخص لانژلیه، شاخص رایزنر.

Research Paper

Quantitative and Qualitative Study of the Reuse of Drainage Effluents in the Western Areas Leading to the Caspian and Central Seas in Golestan Province

Monireh Faghani[1*] and Mohammad Nouri[2]
1- PhD Graduate in Water Science and Engineering-Irrigation and Drainage, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Water Structures and Water Resources Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
*Corresponding Author, Email: monir.faghani@yahoo.com

Received: 20/01/2025
Revised: 20/04/2025
Accepted: 26/05/2025
© IWWA

Abstract

Iran is among the countries grappling with water scarcity due to climate change and drought. One potential solution to mitigate water shortage issues is the reuse of agricultural drainage water. In this study, samples were collected from 11 main drainage systems in Golestan province during the 2024-2025 agricultural year to investigate the potential for reusing drainage effluents for agricultural and industrial purposes. The necessary parameters for classifying water quality for agricultural use (based on the Wilcox classification) and industrial use (based on the Langelier and Ryznar indices) were measured and calculated. The results indicated that, in terms of salinity for agricultural land use according to the Wilcox classification, the water quality fell into the "very saline" category. Based on the Langelier and Ryznar indices, the water was supersaturated (indicating a tendency for $CaCO_3$ deposition) and was found to be slightly scale-forming and moderately corrosive. Consequently, utilizing these water sources for agriculture requires management practices such as leaching and annual salinity monitoring. For industrial applications, controlling the scaling and corrosive processes within the network is necessary.

Keywords: Drainage, Water Quality, Wilcox Classification, Langelier Index, Ryznar Index.

۱- مقدمه

ریزش‌های جوی ناشی از گردش آب در طبیعت به سطح زمین باعث به‌وجود آمدن سیلاب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی می‌شود. جریان‌های سطحی به‌نوبه خود به یکدیگر پیوسته و رودخانه‌ها را تشکیل می‌دهند که بیش‌ترین مصرف صنعت، کشاورزی و شرب را دربردارند. عواملی چون رشد جمعیت و افزایش روزافزون نیازهای گوناگون آبی، سهم برخورداری بشر از این نعمت الهی را مستمراً کاهش می‌دهد. کیفیت آب به‌دلایل فعالیت‌های انسان و ورود آلاینده‌های مختلف به آب تغییر نموده که نهایتاً بر سلامتی انسان تأثیر سوء داشته و کاربری آن را در بخش‌های گوناگون توسعه اعم از کشاورزی، صنعت و غیره به‌شدت محدود می‌کند. از این‌رو کنترل کیفیت منابع آبی برای ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب در ارتباط با شرایط محیطی و کاربری آن می‌تواند کمک مؤثری در ارتقای سطح سلامت انسانی و نیز افزایش کارایی آن در بخش‌های کشاورزی و صنعتی نماید. حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) کیفیت ساروق تکاب بر اساس شاخص ویلکوکس[1] را بررسی و پهنه‌بندی کردند که پراکنش نقاط در این دیاگرام نشان‌دهنده کلاس خیلی خوب و خوب برای انواع خاک‌ها و محصولات کشاورزی بود.

Sundaray et al. (2009) در تحقیقی بر روی کیفیت رودخانه ماهانادی در هند برای مصارف کشاورزی، از روابط ریاضی و نمودار ویلکوکس استفاده نمودند که بر این اساس تمامی نمونه‌های نواحی مختلف در دسته‌بندی عالی تا خوب قرار داشت که برای تمام خاک‌ها و نیز محصولات حساس به شوری مناسب بود.

داودی و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی که درخصوص بررسی پتانسیل خورندگی و رسوب‌گذاری آب شرب روستایی شهرستان تایباد انجام دادند، نشان‌دادند که از نظر اکثر شاخص‌ها، آب منطقه در وضعیت مطلوب قرار نداشت. مطالعات مختلفی در کشور به‌منظور تعیین پتانسیل خورندگی و رسوب‌گذاری آب در منابع آب شرب و شبکه توزیع انجام شده است که می‌توان به مطالعات حسینی (۱۳۸۸)، در مورد بررسی شاخص‌های خورندگی و رسوب‌گذاری آب شرب شهرستان جوانرود و ملکوتیان و همکاران (۱۳۹۱)، در ارتباط با رسوب‌گذار بودن و یا خورنده بودن با توجه به موارد آب شرب شهر کرمان اشاره نمود.

نتایج حاصل از مطالعه رضایی کلانتری و همکاران (۱۳۹۲)، با عنوان بررسی کیفیت و تعیین اندیس‌های پایداری منابع آب شرب روستاهای استان قم نشان داد که وضعیت آب در بخش‌های مورد مطالعه در محدوده خورنده است. در پژوهش فرزاد کیا و همکاران (۱۳۹۵)، نشان داده شد که آب شرب در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهرستان ملک‌شاهی نیز خورنده است. Agatemor and Okolo (2008) نشان‌دادند که آب مورد بررسی با توجه به شاخص‌های لانژلیه[2] و رایزنر[3] خاصیت خورندگی داشته است. هم‌چنین با توجه به مطالعات Shyam and Kalwania (2010) در کشور هند، آب‌های زیرزمینی مورد بررسی دارای کیفیت خورندگی بوده‌اند.

در مطالعه‌ای که توسط شاه‌محمدی و همکاران (۱۳۹۵)، در ۴۷ روستای سروآباد صورت‌گرفت پارامترهای شیمی فیزیک و برخی اندیس‌های مربوط به رسوب‌گذاری از جمله شاخص لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس محاسبه شدند. طبق شاخص لانژلیه در برخی نواحی آب تمایل به خورندگی (انحلال کربنات کلسیم) از خود نشان‌داد درحالی‌که برخی نقاط تمایل به رسوب‌دهی کربنات-کلسیم داشت. در پژوهشی با استناد به نتایج پژوهش‌های کاربردی، استفاده پایدار از منابع آب شور زهکش‌ها بررسی‌شد (کیانی، ۱۴۰۲). بدین منظور دو گیاه زراعی زمستانه (گندم) و تابستانه (ذرت) انتخاب و کاربرد آب شور از نظر تأثیر در عملکرد، بهره‌وری آب و هم‌چنین توزیع شوری در نیمرخ خاک مورد بررسی قرارگرفت. نتایج نشان‌داد برای گیاهان زمستانه که باران بخشی از نیاز آبی گیاهان را مرتفع می‌کند، استفاده از آب شور زهکش‌ها اگرچه منجربه اندکی کاهش عملکرد می‌شود، اما با صرفه‌جویی در آب شیرین، تأثیر مثبتی در افزایش تولید نهایی و درآمد کشاورزان دارد؛ هم‌چنین برای گیاه تابستانه مانند ذرت نشان داده است که با تمهیدات و روش‌های خاص مدیریتی، امکان استفاده از منابع شور زهکش‌ها وجود دارد.

دخیلی و همکاران (۱۴۰۳) میزان فسفات زهاب خروجی چند زهکش در ملاثانی (یکی از شهرستان‌های استان خوزستان) را اندازه‌گیری نمودند. نتایج نشان‌داد میزان فسفات در زهاب زهکش‌های اندازه‌گیری‌شده خیلی کم‌تر از استاندارد ملی (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) است.

پاپن و همکاران (۱۴۰۰) اثرات سطوح مختلف کود اوره در شرایط آبیاری با زهاب مزارع نیشکر بر خصوصیات شیمیایی خاک و کیفیت دانه گیاه کینوا را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در کلیه سطوح شوری، افزایش کود اوره باعث کاهش میزان سدیم دانه کینوا می‌شود و تأمین نیتروژن کافی می‌تواند یک راه‌کار فیزیولوژیکی مناسب برای افزایش تحمل گیاه کینوا به تنش شوری باشد. هم‌چنین با توجه به ماهیت شورزیست گیاه کینوا، در مدیریت آبیاری یک در میان، افزایش شوری خاک تا حد متوسط باعث بهبود شرایط رشد و کیفیت دانه کینوا می‌شود.

برونی و همکاران (۱۳۹۹)، کیفیت زهاب‌های کشاورزی کشت و صنعت غرب کارون را بررسی کردند. تمامی این زهکش‌ها به‌لحاظ شوری، دارای کیفیت بد و در گروه C4 قرار گرفتند که راه‌کار عملی پیشنهادی برای استفاده از زهاب اراضی غرب کارون، استفاده از روش تلفیق آن‌ها با آب با کیفیت بهتر، نظیر آب رودخانه کارون و یا آب سایر رودخانه‌های استان بود.

کرمان‌نژاد و همکاران (۱۴۰۳) در استفاده مجدد از زهاب مزارع نیشکر در منطقه جنوب غربی ایران، به این نتیجه رسیدند که نانو زغال زیستی فعال مغناطیسی باگاس نیشکر می‌تواند به‌عنوان جاذبی با راندمان بالا و ارزان‌قیمت برای حذف سدیم از محیط‌های آبی استفاده شود. از آن‌جایی که در فصول زراعی، بخشی از پساب جاری در کانال‌های انتقال، توسط کشاورزان منطقه، از طریق موتور پمپ به مزارع پمپاژ می‌شوند.

رحیمیان و خوش‌نواز کومله (۱۴۰۱) کیفیت زهاب دشت دهستان عقیلی از توابع شهرستان گتوند را مورد بررسی قراردادند. براساس نتایج به‌دست‌آمده، کیفیت زهاب دشت مذکور مطلوب بوده و می‌توان از آن در چرخه آبیاری به‌صورت مختلط با آب کانال برای آبیاری محصولات زراعی مقاوم به شوری مانند گندم و جو پائیزه و پنبه تابستانه استفاده نمود. هدف از این تحقیق، بررسی و پایش کمی و کیفی زهاب ۱۱ زهکش برای آبیاری اراضی زراعی و کاربرد آن در صنعت در استان گلستان است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی ایستگاه‌های پایش منتخب

نمونه‌برداری از ۱۱ زهکش اصلی در نواحی غربی منتهی به دریای خزر و مرکزی به‌عنوان ایستگاه‌های پایش منتخب آب‌های نامتعارف در استان گلستان انجام شد که موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مذکور به‌شرح جدول ۱ است.

جدول ۱- مشخصات کلی ایستگاه

کد ایستگاه	موقعیت مکان نمونه‌برداری	X	Y
P_1	زهکش سقرتپه صفایشان	۲۳۹۲۲۰	۴۱۱۰۱۹۰
P_2	زهکش آلاگل	۲۳۸۲۴۵	۴۱۱۷۸۴۶
P_3	زهکش کانال قارقی	۲۳۸۲۹۵	۴۱۰۱۵۱۵
P_4	زهکش کانال قره‌کیله	۲۳۷۹۴۳	۴۱۰۰۲۱۹
P_5	رودخانه گرگانرود	۲۳۷۳۴۱	۴۰۹۷۵۲۰
P_6	زهکش سیدآباد	۲۴۰۹۷۴	۴۰۹۵۶۵۰
P_7	زهکش اورکت حاجی	۲۴۲۸۳۴	۴۰۸۸۷۲۱
P_8	زهکش حاشیه جاده آق‌قلا به اینچه‌برون	۲۷۵۴۲۵	۴۱۰۷۷۵۸
P_9	زهکش مزرعه نمونه ارتش	۲۷۶۲۰۶	۴۱۱۱۰۳۱
P_{10}	زهاب سد گلستان و فاضلاب کارخانه صباح	۳۲۷۹۵۶	۴۱۳۱۷۲۴
P_{11}	زهکش قزلن قرق	۳۲۴۳۲۲	۴۱۳۱۶۹۴

در این پژوهش پس از نمونه‌برداری و محاسبه پارامترهای مورد نیاز، به‌منظور بررسی این زهاب در مصارف کشاورزی از طبقه‌بندی ویلکوکس و هم‌چنین برای مصارف صنعتی از دو شاخص لانژلیه و رایزنر استفاده شد.

۲-۲- طبقه‌بندی ویلکوکس

در طبقه‌بندی آب برای مصارف کشاورزی، علاوه‌بر تعیین خواص شیمیایی آب، عوامل مختلفی از قبیل جنس خاک، وضعیت آبکشی زمین، مقدار آب آبیاری، درجه حرارت محیط، عناصر شیمیایی موجود در خاک و همچنین نوع گیاه مورد کشت، باید مورد مطالعه قرارگیرد. این طبقه‌بندی براساس دیاگرام ویلکوکس است که توسط وزارت کشاورزی آمریکا ارائه شد. در این طبقه‌بندی دو عامل هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) درنظر گرفته می‌شود (جدول ۲). درواقع به‌علت این‌که سدیم بر روی ریشه گیاهان تجمع می‌یابد و باعث جلوگیری از جذب و تنفس ریشه می‌شود، در این طبقه‌بندی اثر جذب سدیم (SAR) لحاظ می‌شود که می‌توان آن‌را از رابطه (۱) به‌دست آورد (Wilcox, 1955).

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (۱)$$

با توجه به جدول ۳، در طبقه‌بندی ویلکوکس رده‌های آب به چهار گروه با کیفیت عالی، خوب، متوسط و نامناسب تقسیم می‌شود و در مجموع باعث به‌وجود آمدن ۱۶ رده مختلف آبی می‌شوند (Wilcox, 1955).

جدول ۲- معیارهای طبقه‌بندی آب از لحاظ کشاورزی (Wilcox, 1955)

ردیف	کیفیت آب	EC (ds/m)	رده	SAR (mgr/li)	رده
۱	عالی	<۲۵۰	C1	<۱۰	S1
۲	خوب	۷۵۰-۲۵۰	C2	۱۸-۱۰	S2
۳	متوسط	۲۲۵۰-۷۵۰	C3	۲۶-۱۸	S3
۴	نامناسب	>۲۲۵۰	C4	>۲۶	S4

جدول ۳- رده‌های مختلف آب و نوع کیفیت بر اساس طبقه‌بندی ویلکوکس(Wilcox, 1955)

ردیف	نوع کیفیت آب برای کشاورزی	رده آب
۱	شیرین- برای کشاورزی کاملاً بی‌ضرر	C1S1
۲	کمی‌شور- برای کشاورزی تقریباً مناسب	C2S1 ،C2S2 ،C1S2
۳	شور- برای کشاورزی با اعمال تمهیدات	C3S3 ،C3S2 ،C3S1 ،C2S3 ،C1S3
۴	خیلی‌شور- مضر برای کشاورزی	C4S1 ،C4S2 ،C4S3 ،C4S4 ،C3S4 ،C2S4 ،C1S4

۲-۳- شاخص لانژلیه (LSI)

شاخص لانژلیه درواقع یک شاخص برای ارزیابی کیفی پتانسیل آب در تشکیل رسوب کربنات‌کلسیم است. کربنات-کلسیم یکی از عمده‌ترین مواد معدنی موجود در آب بوده که به‌عنوان مهم‌ترین عنصر مسئول تشکیل رسوبات شناخته شده است (Antony et all, 2011). این شاخص تأثیر پارامترهایی نظیر کلسیم، قلیائیت کل، جامدات محلول و دما را در محاسبه مقادیر pH اشباع (pHs) نشان می‌دهد. وضعیت آب برای مقادیر مختلف شاخص لانژلیه در جدول ۴ مشخص شده است. pH آب در شرایط اشباع کربنات‌کلسیم با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

جدول ۴- تقسیم‌بندی وضعیت آب بر اساس شاخص لانژلیه (LSI)

مقدار اندیس	شرح حالت
>۰	آب فوق‌اشباع بوده و تمایل به رسوب $CaCO_3$ دارد
۰	آب از $CaCO_3$ اشباع بوده و تمایل به ایجاد یا تجزیه $CaCO_3$ ندارد
<۰	آب زیر اشباع بوده و تجزیه $CaCO_3$ جامد انتظار می‌رود

$$pH_S = [(9.3 + logA + logB) - (logC - logD)] \quad (۲)$$

که pHs: pH آب اشباع از کربنات‌کلسیم، A: مقادیر TDS آب (میلی‌گرم بر لیتر)، B: دمای آب (درجه سلسیوس)، C: سختی کلسیم (میلی‌گرم بر لیتر کربنات‌کلسیم) و D: قلیائیت آب (میلی-گرم بر لیتر کربنات‌کلسیم) است. پس از تعیین pHs، مقادیر شاخص لانژلیه از طریق رابطه (۳) محاسبه می‌شود (پیری‌علم و همکاران، ۱۳۸۷).

$$LSI = pH - pH_s \quad (۳)$$

۲-۴- شاخص رایزنر (RSI)

این شاخص نوع اصلاح‌شده شاخص لانژلیه است که برخلاف نوع لانژلیه مقادیر آن مثبت است. وضعیت آب برای مقادیر مختلف شاخص رایزنر در جدول ۵ مشخص شده است. شاخص رایزنر با استفاده از رابطه (۴) تعیین می‌شود (Marangou and Savvides, 2001).

$$RSI = 2pH_S - pH \quad (۴)$$

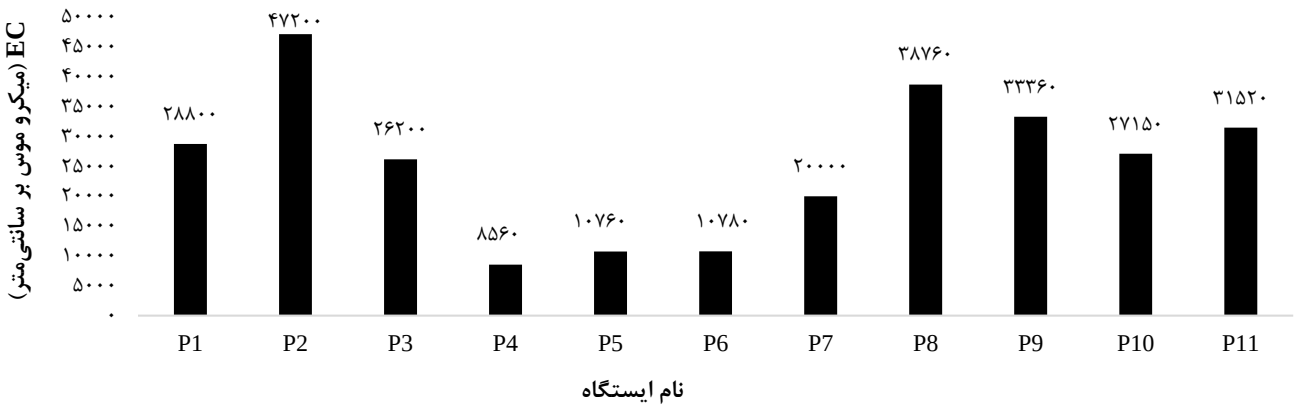
جدول ۵- تقسیم‌بندی وضعیت آب بر اساس شاخص رایزنر (RSI)

مقدار اندیس	شرح حالت
<۴	آب رسوبدهی زیادی دارد
۶-۵	آب نسبتاً رسوبده و کمی خورنده است
۶/۵-۶	آب خاصیت خورندگی و رسوبدهی ندارد
۷-۶/۵	آب خاصیت خورندگی داشته و رسوب‌دهی کم است
>۸	آب خاصیت خورندگی شدید دارد

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج براساس طبقه‌بندی ویلکوکس برای مصارف کشاورزی

مطابق شکل ۱، حداقل EC در نمونه‌های اندازه‌گیری‌شده، برابر ۸۵۶۰ میکروموس بر سانتی‌متر و مربوط به ایستگاه P_4 (خروجی قره‌کیله) و حداکثر EC برابر ۴۷۲۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر و مربوط به ایستگاه P_2 (خروجی آلاگل) و میانگین EC در ایستگاه‌های اندازه‌گیری‌شده برابر ۲۱۴۱۱ میکروموس بر سانتی‌متر بوده است.



شکل ۱- مقادیر EC در ایستگاه‌های نمونه‌برداری‌شده در سال ۱۴۰۲

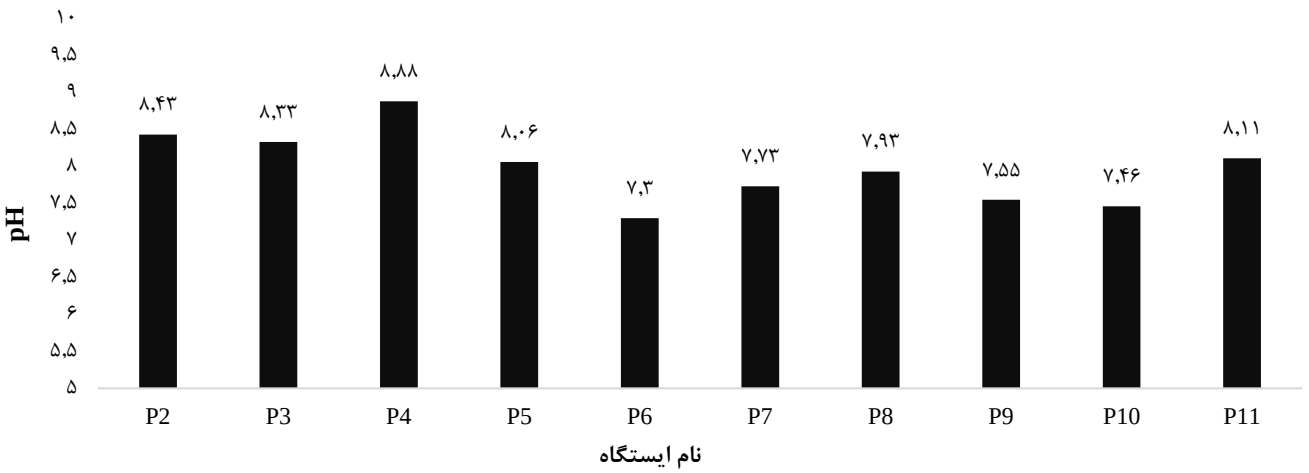
همچنین با توجه به نسبت جذب سدیم (SAR) در جدول ۶، ایستگاه P_8 (حاشیه جاده آق‌قلا به اینچه برون) دارای بیش‌ترین نسبت جذب سدیم (SAR) و به غیر از ایستگاه P_6، کلاس همه ایستگاه‌ها C4-S4 بوده است. درنهایت با توجه به جدول طبقه‌بندی ویلکوکس (جدول ۲)، تمامی ۱۱ ایستگاه (P_1 الی P_{11}) در رده آبی خیلی‌شور- مضر برای کشاورزی قرار گرفتند. درواقع این رده آبی و تفاوت در مقدار EC، به‌دلیل استفاده زارعین از کود و سموم‌های مختلف با دوز متفاوت در فصل کشت و زرع است.

جدول ۶- طبقه‌بندی کیفیت آب از نظر SAR و EC برای مصارف کشاورزی

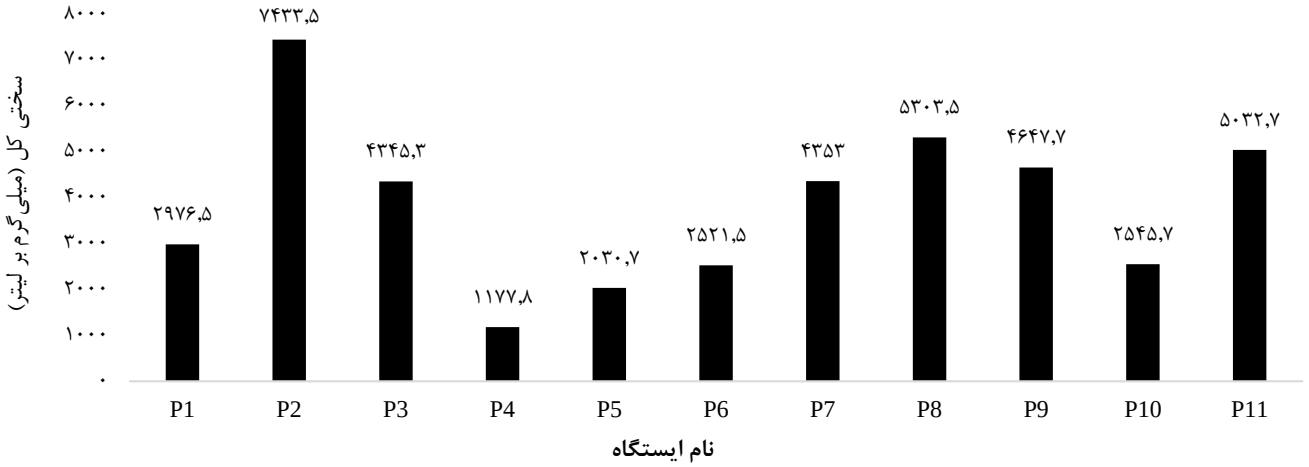
کانال‌های زهکش				
کد ایستگاه	SAR	EC (µ mho/cm)	کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی
P_1	29.31	28800	C4-S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی
P_2	38.3	47200	C4-S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی
P_3	34.9	26200	C4-S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی
P_4	10.62	8560	C4-S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی
P_5	13.71	10760	C4-S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی
P_6	7.93	10780	C4-S3	خیلی شور- مضر برای کشاورزی
P_7	44.4	36000	C4-S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی
P_8	51.74	38760	C4-S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی
P_9	45.94	33360	C4-S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی
P_{10}	30.06	27150	C4-S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی
P_{11}	25.7	31520	C4-S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی

۳-۲- نتایج براساس شاخص لانژلیه و رایزنر برای مصارف صنعتی

با توجه به مقدار pH در تمامی ۱۱ ایستگاه (شکل ۲)، حداقل pHآب در ایستگاه‌های اندازه‌گیری‌شده، مربوط به ایستگاه P_6 (زهکش چپاقلی) با مقدار ۷/۳ و حداکثر آن مربوط به ایستگاه P_4 (خروجی قره‌کیله) با مقدار ۸/۸ و میانگین pH کل ایستگاه‌ها برابر با ۸ است. به‌لحاظ بررسی میزان سختی آب، تمامی ایستگاه‌های (P_1 الی P_{11}) کاملاً سخت بوده و ایستگاه P_2 (آلاگل) بیش‌ترین سختی را به خود اختصاص داده است (شکل ۳).



شکل ۲- مقادیر pH در ایستگاه‌های نمونه‌برداری‌شده در سال ۱۴۰۲



شکل ۳- مقادیر سختی کل در ایستگاه‌های نمونه‌برداری‌شده در سال ۱۴۰۲

همچنین با توجه به جدول ۷ و با درنظرگرفتن ضریب لانژلیه، کیفیت آب به‌دلیل مصارف صنعتی در تمامی ایستگاه‌های هدف، فوق‌اشباع بوده و تمایل به رسوب $CaCO_3$ دارد و براساس ضریب رایزنر نیز وضعیت نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده است.

جدول ۷- بررسی کیفیت آب در ایستگاه‌های نمونه برداری شده به‌لحاظ مصارف صنعتی

ایستگاه‌های منتخب							
ردیف	کد محل	pHs	pH	LSI	RSI	کیفیت آب بر اساس LSI	کیفیت آب براساس RSI
۱	P_1	6.8	8.22	1.42	5.38	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب $CaCO_3$	نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده
۲	P_2	6.8	8.43	1.63	5.17	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب $CaCO_3$	نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده
۳	P_3	6.8	7.88	1.08	5.72	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب $CaCO_3$	نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده
۴	P_4	6/7	7.73	1.03	5.67	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب $CaCO_3$	نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده
۵	P_5	6.9	8.06	1.16	5.74	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب $CaCO_3$	نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده
۶	P_6	6.5	7.3	0.8	5.70	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب $CaCO_3$	نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده
۷	P_7	6/7	8/24	1/54	5.16	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب $CaCO_3$	نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده
۸	P_8	6.5	7.93	1.43	5.07	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب $CaCO_3$	نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده
۹	P_9	6.6	7.55	0.95	5.65	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب $CaCO_3$	نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده
۱۰	P_{10}	6.4	7.46	1.06	5.34	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب $CaCO_3$	نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده
۱۱	P_{11}	6.8	8.11	1.31	5.49	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب $CaCO_3$	نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده

۴- نتیجه‌گیری

آب‌های شور زهکش‌ها برای مناطقی که با کمبود منابع آب شیرین مواجه هستند، فرصتی برای افزایش تولید، ایجاد کسب و کار با رعایت حفظ مسائل زیست‌محیطی و پایداری منابع است. نوع مدیریت بسته به منطقه، فصل رشد، حد شوری، نوع گیاه و روش آبیاری متفاوت خواهد بود. در مناطقی که دوره رشد گیاهان در آن‌ها منطبق با بارش‌های جوی باشد، از منابع آب شور با اطمینان بیش‌تری می‌توان استفاده نمود. در این پژوهش با توجه به طبقه‌بندی ویلکوکس، در همه ایستگاه‌ها شوری آب زیاد بوده و به‌منظور استفاده در مزارع کشاورزی نیازمند رعایت موارد و تمهیدات خاص از جمله پایش سالانه شوری خاک مانند آب‌شویی و زهکشی خاک، کاربرد آب شور-کم‌شور به‌صورت یک در میان در شیارهای مجاور در گیاهان تابستانه، کاربرد متناوب آب شور-شیرین در طی فصل و کشت گیاهان با درجه تحمل مختلف در تناوب یکدیگر است (کیانی، ۱۴۰۲). درواقع هرچند که بهره‌وری از آب کاربردی در شرایط استفاده از آب زهکش نسبت به کشت دیم و آبیاری با آب شیرین کاهش می‌یابد، اما با درنظرگرفتن هزینه‌های تأمین آب شور و غیرشور و تفاوت در ارزش این دو نوع آب، طبیعتاً بهره‌وری آب در استفاده از آب شور زهکش افزایش خواهد یافت. هم‌چنین با توجه به عدد شاخص لانژلیه و رایزنر در ایستگاه‌های هدف، کیفیت آب در تمامی ۱۱ ایستگاه کمی خورنده بوده است. فرآیند خورندگی علاوه‌بر آسیب به تأسیسات آبی و مسائل اقتصادی، ممکن است باعث ورود فلزات سنگین مانند سرب، کادمیم، مس و روی از دیواره لوله به آب شود که می‌تواند اثرات بهداشتی خاصی ایجاد کند. بنابراین کنترل فرآیند خورندگی در شبکه امری ضروری است (آذری و همکاران، ۱۳۹۴). بدین منظور برای کنترل فرآیند خورندگی می‌توان از روش‌هایی نظیر رنگ‌آمیزی لوله‌ها، به‌کارگیری لوله‌های مقاوم پلی‌اتیلنی به‌جای لوله‌های فلزی و آزبست-سیمانی، پوشش دادن لوله‌ها، نگهداری مناسب، اجرای حفاظت کاتدی برای لوله‌های فلزی، تنظیم pH و تزریق مواد بازدارنده به شبکه توزیع استفاده نمود.

۵- پی‌نوشت‌ها

1- Wilcox
2- Langelier Saturation Index
3- Ryznar Stability Index

۶- مراجع

آذری، ع.، ناظمی، س.، کاکاوندی، ب.، و رستگار، ا.، (۱۳۹۴)، "بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری منابع آب شرب شهر شاهرود با استفاده از شاخص‌های پایداری"، *مجله دانشگاه علوم پزشکی سبزوار*، ۲۲(۶)، ۹۴۴-۹۵۴.

برونی، ل.، کشکولی، ح.ع.، و خدادادی دهکردی، د.، (۱۳۹۹)، "بررسی کیفیت زهاب‌های غرب کارون بر اساس استاندارد ویلکاکس و ارزیابی امکان استفاده از آن‌ها درکشاورزی"، *نشریه علمی علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز*، ۸(۲۲)، ۲۹-۴۵.

پیری‌علم، ر.، شمس خرم‌آبادی، ق.ا.، شاه‌منصوری م.ر.، و فرزادکیا، م.، (۱۳۸۷)، "تعیین پتانسیل خورندگی یا رسوب‌گذاری آب آشامیدنی شبکه‌های توزیع شهر خرم‌آباد با استفاده از اندیس‌های خوردگی"، *فصلنامه علمی-پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی لرستان*، ۱۰(۳)، ۷۹-۸۶.

حسین‌زاده، ا.، رحیمی، ن.، رحمانی، ع.ر.، و عزتی، ل.، (۱۳۹۰)، "بررسی کیفیت شاخه راست رودخانه ساروق تکاب بر اساس شاخص ویلکوکس و پهنه‌بندی آن توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)"، *مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران*، ۲۳(۱۰۳)، ۷۷-۸۷.

حسینی، ه.، شیرمحمدی، م.، امینی، ح.، و شفیعی، ش.، (۱۳۸۸)، "بررسی شاخص‌های خورندگی و رسوب‌گذاری آب شرب مناطق غرب کشور (مطالعه موردی شهرستان جوانرود)"، *دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی*، تهران، ایران.

کیانی، ع.ر.، (۱۴۰۲)، "استفاده پایدار از منابع آب شور زهکش‌ها برای تولید برخی گیاهان زراعی"، *مجله علمی شورورزی*، ۱، ۳-۱۰.

کرمان‌نژاد، جلیل.، ترابی‌پوده، ح.، قنبری‌عدیوی، ا.، و شاهی‌نژاد، ب.، (۱۴۰۳)، "حذف سدیم از زهاب کشاورزی با استفاده از زغال زیستی"، *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۳)، ۲۸۵-۳۰۴.

ساقی، م.ح.، صمدی، م.ت.، رحمانی، ع.، و میرزایی، س.، (۱۳۸۹)، "بررسی کیفیت آب رودخانه سیلوار براساس شاخص OWQI با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS"، *شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تبریز*.

دخیلی، م.، ظهیری، ج.، چراغی، م.، و مرادی، ش.، (۱۴۰۳)،

"بررسی میزان فسفات زهاب اراضی کشاورزی برای استفاده مجدد در آبیاری"، *چهارمین همایش ملی صنعت و تجاری‌سازی کشاورزی برای استفاده مجدد در آبیاری*، ۱-۵.

پاپن، پ.، معزی، ع.ا.، چرم، م.، و رهنما، ا.، (۱۴۰۰)، "بررسی تأثیر کاربرد کود اوره و زهاب مزرعه نیشکر بر برخی خصوصیات خاک، عملکرد دانه و غلظت عناصر غذایی در بذر گیاه کینوا"، *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۱(۲)، ۷۱-۹۰.

رحیمیان، ف.، و خوش‌نواز کومله، ص.، (۱۴۰۱)، "ارزیابی استفاده از سیستم مدیریت جامع زهکشی در مزرعه (IFDM) به‌منظور حفاظت از منابع آب در دشت عقیلی (شمال شهرستان شوشتر)"، *فصلنامه علمی و تخصصی مهندسی آب*، (۱۰)۴، ۱-۱۵.

رضایی کلانتری، ر.، آذری، ع.، احمدی، ا.، و احمدی جبلی، م.، (۱۳۹۲)، "بررسی کیفیت و تعیین اندیس‌های پایداری منابع آب شرب روستاهای استان قم"، *فصلنامه علمی پژوهشی بهداشت در عرصه*، ۱(۳)، ۹-۱۶.

شاه‌محمدی، س.، نوری، ا.، طاهرنسب، س.، و شاهمرادی، ب.، (۱۳۹۵)، "بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری منابع تأمین‌کننده آب شرب روستاهای شهرستان سروآباد و پهنه‌بندی با GIS"، *ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران*، سنندج، کردستان.

فرزادکیا، م.، و عسکری، ا.، (۱۳۹۵)، "بررسی وضعیت خورندگی و رسوب‌گذاری در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهرستان ملکشاهی"، *مجله ره‌آورد سلامت*، ۲(۱)، ۲۱-۲۸.

ملکوتیان، م.، فاتحی‌زاده، ع.، و میدانی، ا.، (۱۳۹۱)، "بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب شرب شبکه توزیع شهر کرمان"، *طلوع بهداشت*، ۱۱(۳)، ۱-۱۰.

Antony, A., Low, J.H., Gray, S., Childress, A.E., Le-Clech, P., and Leslie, G, (2011), "Scale formation and control in high pressure membrane water treatment systems: A review", *Journal of Membrane Science*, 383(1), 1-16, https://doi.org/10.1016/j.memsci.2011.08.054.

Agatemor, C., and Okolo, P.O., (2008), "Studies of corrosion tendency of drinking water in the distribution system at the University of Benin", *Journal of Environmentalist*, 28(3), 379-84, https://doi.org/10.1007/s10669-007-9152-2.

Marangou, V.S., and Savvides, K., (2001), "First desalination plant in Cyprus-product water aggresivity and corrosion control", *Desalination*, 138(1-3), 251-258, https://doi.org/10.1016/S0011-9164(01)00271-5.

Sundaray, S.K., Nayak, B.B., and Bhatta, D., (2009), "Environmental studies on river water quality with reference to suitability for agricultural purposes: Mahanadi river estuarine system, India: A case study", *Environmental Monitoring and Assessment*, 155(1), 227-243, https://doi.org/10.1007/s10661-008-0431-2.

Shyam, R., and Kalwania, G.S., (2010), "Corrosivness and scaling potentioal of ground water from Sikar city, Rajasthan (India)", *Journal of ENatura Conscientia*, 1(3), 223-239.

Wilcox, L.V., (1955), "Classification and use of irrigation waters", US DA, Circular 969, Washington DC, 367.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.