

Research Paper

مقاله پژوهشی

Investigation of Contamination in Irrigation Network of Agricultural Lands North of Khuzestan Plain

Linda Pour salim¹, Davood Kahforoushan^{2*},
Amanallah Ebadi³ and Milad Mohammadi⁴

1- MSc. in Chemical Engineering, Faculty of Chemical
Engineering, Sahand University of Technology,
Tabriz, Iran.

2- Associate Professor. Faculty of Chemical
Engineering, Sahand University of Technology,
Tabriz, Iran.

3- MSc. in Energy Systems Engineering, Faculty of
Mechanical Engineering, Sahand University of
Technology, Tabriz, Iran.

* Corresponding author, Email:
kahforoushan@sut.ac.ir

Received: 20/10/2018

Revised: 17/12/2019

Accepted: 05/01/2020

Abstract

Dez River as the main source of water for agriculture, industry and drinking have particular importance in the north of Khuzestan plain. Dez River passes from different areas such as village and industrial cities, it is possible to enter many contaminants. So, water quality studies can be very useful. In this study, samples from 14 stations in the north of Khuzestan plain in three periods (low rainfall, medium and high) and analysis of anions and cations, heavy metals and the pH of water and measuring hardness, conductivity electric and total dissolved solids, calculating the evaluation index of water such as saturation index, permeability index, the percentage of soluble sodium, sodium adsorption rate and using charts Wilcox, Piper and stellar and compared to irrigation water standards; regional water situation was evaluated. Finally were determined characteristics of water at each station and the restrictions on its use for irrigation. According to the results, all the stations are in the category of S1C2 and S1C3 and no limit to irrigation. Water of region containing a high percentage of nitrate, one of the most important factor is the high level of cultivation and unnecessary use of nitrate fertilizers. Among the heavy metal, cadmium in only a few cases were exceeded.

Keywords: Water quality, Dez River, Chemical characteristics, Heavy metals.

بررسی میزان املاح و برخی آلاینده‌ها در شبکه آبیاری و زهکشی اراضی کشاورزی دشت شمال خوزستان

لیندا پورسلیم^۱، داود کاهفروشان^{۲*}، امن‌اله عبادی^۳ و میلاد
محمدی^۴

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی
شیمی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران.

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز،
ایران.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکده
مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: kahforoushan@sut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۸

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۸/۰۹/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۵

چکیده

رودخانه دز به‌عنوان منبع اصلی تأمین آب کشاورزی، صنعت و آب آشامیدنی در شمال دشت خوزستان بوده است. امروزه این رودخانه به‌دلیل عبور از مناطق مختلف روستایی و شهرک‌های صنعتی در طول مسیر و ورود آلاینده‌ها در معرض خطر قرار گرفته است. بنابراین مطالعات کیفیت آب برای پایش وضعیت این رودخانه بسیار اهمیت دارد. در این پژوهش، برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه دز از نظر مطابقت با شاخص‌های آبیاری کشاورزی، طی سه نوبت بدون بارش، کم بارش و پر بارش؛ و از ۱۴ نقطه مختلف نمونه‌برداری شد. تجزیه و تحلیل ویژگی‌ها و شاخص‌های مختلف آب مانند: شاخص اشباعیت، نفوذپذیری، درصد سدیم محلول، میزان جذب سدیم و ... با استفاده از نمودارهای پایپر و ویلکاکس انجام شد. نتایج نهایی براساس اطلاعات تمام ایستگاه‌ها نشان داد که کیفیت آب رودخانه دز در دسته S1C2 و S1C3 بوده و محدودیت خاصی برای آبیاری ندارد. در میان فلزات سنگین تحلیل شده، فلز سمی کادمیم در چند نمونه از حد استاندارد فراتر رفته بود. همچنین شاخص SSP، برای تمام نمونه‌ها بالاتر از ۱۵٪ به‌دست آمد. از آنجایی که بالاتر رفتن از این حد به کاهش نفوذپذیری در خاک می‌انجامد، لذا در هیچ کدام از نمونه‌ها حد ایده‌آل نفوذپذیری وجود ندارد.

کلمات کلیدی: کیفیت آب، رودخانه دز، پارامترهای شیمیایی، فلزات سنگین.

بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری ناحیه شمال خوزستان، ۱۳۹۶). آن‌چه پژوهش حاضر را از سایر تحقیقات متمایز می‌سازد، بررسی رودخانه در گذر از روستاها و مزارع و شهرک‌های صنعتی است که به‌طور کلی اثر انواع فاضلاب‌های صنعتی، خانگی و کشاورزی را مورد توجه قرار می‌دهد. لذا در این تحقیق به‌صورت میدانی از شبکه آبیاری رودخانه دز در نقاط مختلف در بازه زمانی پاییز ۹۵ تا پاییز ۹۶ نمونه‌برداری شده و آزمایشات مربوط به آن در سه نوبت برای اندازه‌گیری پارامترهای هدایت الکتریکی، pH، کل املاح محلول، قلیائیت، سختی کل و موقت، کاتیون‌ها، فلزات سنگین، آهن، منگنز، کادمیم، آنیون‌های کربنات، بی‌کربنات، سولفات، کلرید و پتاسیم مورد بررسی قرار گرفت. از این طریق کیفیت آب و دلایل آلودگی آن در طول شبکه آبیاری مشخص شده و امکان بهینه‌سازی کیفیت در آینده فراهم می‌آید.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق به‌منظور ارزیابی کیفیت آب و وضعیت عناصر آلاینده و آگاهی از مشکلات احتمالی در رودخانه دز و زهکش‌های اطراف رودخانه، در سه نوبت بدون بارش (اواخر بهار و تابستان)، کم بارش (اوایل بهار و پاییز) و پر بارش (زمستان)؛ و ۱۴ ایستگاه (شامل ۳ ایستگاه در رودخانه دز، ۵ ایستگاه شرقی و ۶ ایستگاه غربی) نمونه‌برداری انجام شد. در شکل ۱، شمای کلی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری با نماد ستاره مشاهده شده‌است. هم‌چنین در جدول ۱ مشخصات کلی ایستگاه‌های نمونه‌برداری آورده شده‌است.

نمونه‌های آب و زه‌آب پس از انتقال به آزمایشگاه به‌سرعت با کاغذ صافی فیلتر شدند. هر نمونه به دو قسمت تقسیم شد و pH یک قسمت از آن به کمک اسید سولفوریک به کمتر از ۲ رسانده و تا زمان آزمایشات در یخچال نگهداری شد. شایان‌ذکر است که آزمایشات انجام شده بر روی نمونه‌ها در آزمایشگاه آب و فاضلاب استان خوزستان انجام گرفته است.

بر روی تمامی نمونه‌ها براساس روش‌های استاندارد آب و فاضلاب، اندازه‌گیری‌های ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب شامل: اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC)^۱، pH، کل املاح محلول (TDS)^۲، قلیائیت (Alkalinity)، سختی کل و موقت (TH)^۳ و CH، کاتیون‌ها (کلسیم (Ca²⁺)، منیزیم (Mg²⁺)، سدیم (Na⁺))، فلزات سنگین (Fe²⁺، آهن، منگنز (Mn²⁺)، کادمیم (Cd²⁺))، آنیون‌های کربنات (CO₃²⁻)، بی‌کربنات (HCO₃⁻)، سولفات (SO₄)، کلرید (Cl⁻) و پتاسیم (K⁺) صورت پذیرفت (شرکت مهندسی آبرام، ۱۳۹۵؛ پورم، ۱۳۹۵؛ Ayers and Westcot, 1994).

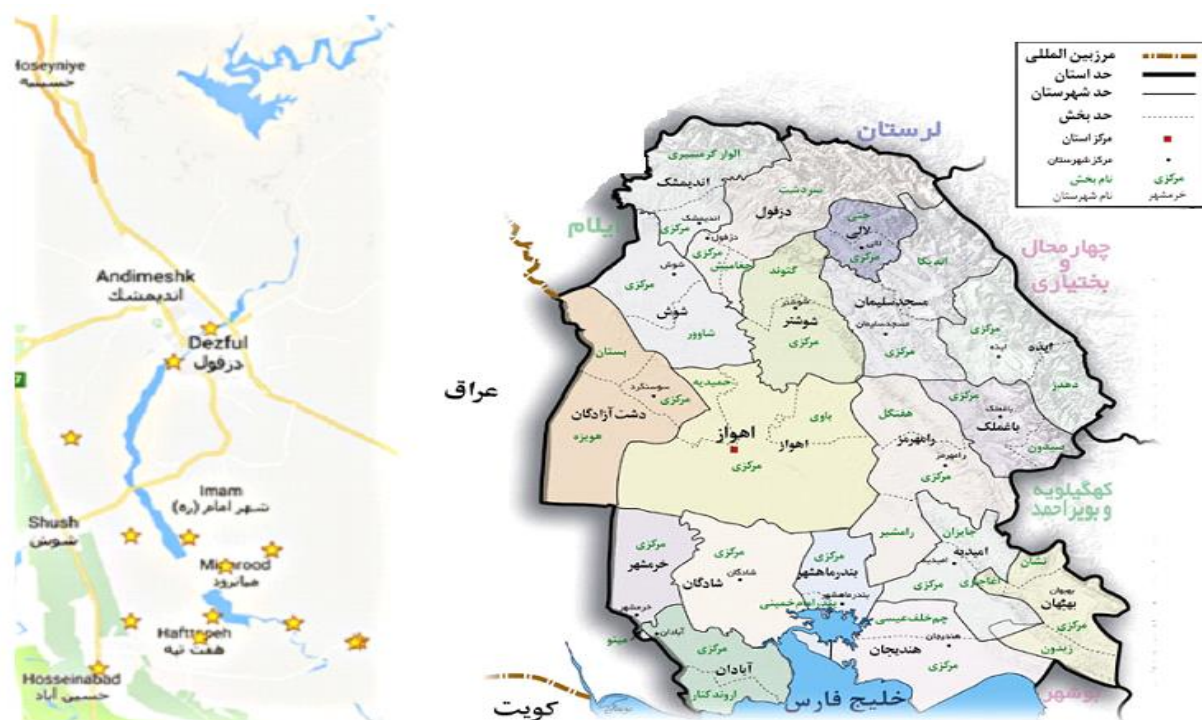
با توجه به این‌که بررسی کیفیت آب رودخانه دز برای آبیاری

رودخانه دز به‌عنوان یکی از رودخانه‌های شمال استان خوزستان در بحث آبیاری اراضی کشاورزی اهمیت فراوانی دارد. هم‌اکنون در محدوده شبکه دز، قریب به ۴۰ نوع کشت مختلف در فصول تابستان و زمستان به‌بار می‌نشیند که از این میان می‌توان به ۴۰ هزار هکتار گندم آبی، ۲۰ هزار هکتار ذرت دانه‌ای، ۱۵ هزار هکتار نیشکر در شرکت‌های هفت‌تپه و کارون، ۴ هزار هکتار باغات، مرکبات، ده‌ها هکتار سبزیجات، انواع گل و صدها هکتار صیفی‌جات که به‌صورت روباز و یا گلخانه‌ای کشت می‌شوند، اشاره کرد. تأثیر فراوان شبکه بر اقتصاد منطقه علاوه بر اشتغال مستقیم در بخش کشاورزی موجب رونق مشاغلی چون ساخت جعبه‌های حمل محصولات، مرتب‌سازی میوه، تهیه لوازم یدکی و تعمیر ماشین آلات کشاورزی، مؤسسات حمل و نقل و هم‌چنین صنعت بانکداری نیز شده است. متأسفانه این رودخانه مانند سایر رودخانه‌های کشور از آلودگی‌های محیط‌زیستی که موجب تغییر کیفیت آب و اثرات ناگوار بر گونه‌های گیاهی و آبزیان می‌شود، مصون نیست. لذا لزوم بررسی تغییرات کیفیت آب و چاره‌اندیشی برای کاهش آلودگی آن بسیار مهم است (کارگروه حفاظت کیفی رودخانه، ۱۳۹۵؛ کمیسیون فنی تدوین استاندارد، ۱۳۸۶).

آن‌چه در مورد پایش آلودگی آب‌ها اهمیت دارد این است که تحقیقات در این زمینه باید به‌صورت موردی انجام گیرد، چرا که منابع آلاینده و ویژگی‌های محیطی هر رودخانه منحصر به‌فرد است. در مورد پایش آلودگی رودخانه دز نیز تحقیقاتی انجام گرفته است. به‌عنوان نمونه می‌توان به تحقیق پاک‌نژاد و همکاران (۱۳۹۰) اشاره کرد که پیامدهای محیط‌زیستی ناشی از مصرف نهاده‌های کشاورزی بر کیفیت آب زهکش‌های شبکه آبیاری رودخانه دز را در ۸ ایستگاه آب‌سنجی در نقاط مختلف رودخانه و انشعابات آن مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات ایشان نشان داد که بیشترین تغییرات کیفیت نسبت به ابتدای مسیر در زهکش‌های لوره شوره و عتیج و کمترین تغییرات در زهکش‌های سلیمه و سخیری دیده شده، از نظر طبقه‌بندی ویلکوکس کلاس آب رودخانه از نظر شوری و خطر سدیمی استفاده از کلیه زهکش‌ها مشکلی برای مصارف کشاورزی ندارد. دامنه تغییرات میزان نیترات ۲-۷۵ میلی‌گرم در لیتر و میزان فسفات ۰/۲ تا ۲/۱ میلی‌گرم در لیتر بود، که نشان‌دهنده تأثیر مثبت این فاکتورها به‌عنوان منبع کودی هستند. هم‌چنین نتایج ایشان نشان داد که مقدار آهن در ابتدای شبکه با ۰/۴۰ میلی‌گرم در لیتر و انتهای شبکه با ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری ندارد و می‌توان حجم بالای دبی آب رودخانه را عامل یکسانی نسبی آن‌ها دانست. کمترین تغییرات در فاکتور pH دیده می‌شود که می‌توان دلیل آن را مقدار بی‌کربنات موجود در آب رودخانه دانست (شرکت

کلسیم و منیزیم (شاخص ^{4}KR)، محتوای منیزیم کمتر از ۵۰ (شاخص ^{1}MAR) و سدیم کربنات باقی مانده (شاخص ^{1}RSC). این شاخص‌ها براساس معادلات ارائه شده در مراجع محاسبه شدند (Todd, 1980; Provin and Pitt, 2002; Arnold and Greenberg, 2013; International Standard, 1996). در نهایت برای بررسی کیفیت نهایی آب رودخانه از نمودارهای کیفیت سنجی آب شامل نمودارهای پایپر و ویلکاکس استفاده شد.

مدنظر بود، لازم بود که ویژگی‌های اندازه‌گیری شده آب به شاخص‌های ارزیابی آبیاری تبدیل شوند. لذا در ادامه شاخص‌های مهم آب آبیاری با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفتند. این شاخص‌ها عبارتند از: درصد سدیم محلول (شاخص ^{4}SSP)، نسبت جذب سدیم (شاخص ^{5}SAR)، برآورد اولیه ته‌نشینی کلسیم (شاخص اشباع ^{6}SI)، معیار نفوذپذیری آب در خاک (شاخص ^{7}PI)، نسبت سدیم در برابر



شکل ۱- شمای کلی منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری.

جدول ۱- مشخصات کلی ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رودخانه دز (شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری ناحیه شمال خوزستان، ۱۳۹۶).

ردیف	نام ایستگاه	موقعیت	ملاحظات
۱	سد تنظیمی	۴/۵ کیلومتری شمال پل قدیم	ابتدای شبکه آبیاری
۲	سد انحرافی	۶ کیلومتری پایین دست سد تنظیمی	ورود آلودگی به دلیل قرار گرفتن در منطقه گردشگری و تفریحی و وجود بیمارستان
۳	بنه عایش	شهرک کشت و صنعت کارون	تمامی آلاینده‌ها و خروجی زهکش‌های کشاورزی که وارد شبکه آبیاری شده‌اند، در نهایت به این نقطه می‌رسند.
۴	انتهای دز	-	-
۵	ایستگاه تاپ درین	شهرک کشت و صنعت	نقاط انتهایی شبکه آبیاری است. بدیهی است که منابع آلاینده بسیاری بر آن تأثیرگذار است.
۶	کارون (لوره شوره)	شرق رودخانه دز	نقاط انتهایی شبکه آبیاری است. بدیهی است که منابع آلاینده بسیاری بر آن تأثیرگذار است.
۷	سد و کانال عجیروب	شرق رودخانه دز	مورد استفاده برای آبیاری محصولات کشاورزی و روستاهای اطراف
۸	سخری	شرق رودخانه دز	تجمع زباله‌ها، کدورت بالایی در این قسمت ایجاد کرده است.
۹	شاهور	غرب دز - شهرستان شوش	ورود فاضلاب‌های شهری و زهکش‌های کشاورزی
۱۰	عتیج	غرب دز	کدورت بالا
۱۱	سبزآب	غرب دز	-
۱۲	هفت‌تپه شماره ۶	غرب دز	در معرض آلودگی‌های صنعتی و زباله‌های ساکنین منازل است.
۱۳	هفت‌تپه شماره ۹	غرب دز	فاضلاب صنایع به‌طور مستقیم به آن وارد می‌شود.
۱۴	بنه حسن	غرب دز	تجمع زباله‌ها

۳- نتایج و بحث

شاخص SI، برآورد اولیه تهنشینی کلسیم بوده است. بنابراین اگرچه یون کلسیم باعث کاهش ضرر سدیم به گیاهان می‌شود، اما مقدار بیش از حد آن تشکیل رسوب داده، که برای تجهیزات آبیاری مشکل ایجاد می‌کند. با توجه به جدول ۲، در ایستگاه‌های عتیج و هفت‌تپه شماره ۶ که یون کلسیم کاتیون غالب بوده، این میزان بیشتر شده است. در حالی که در ایستگاه سبزآب که کلسیم نسبت به سدیم و منیزیم کمتر است، شاهد حل شدن کلسیم کربنات در آب بوده و رسوبی باقی نمی‌ماند، به همین دلیل اعداد در ایستگاه سبزآب منفی شده‌اند. تمامی اعداد RSC، که در جدول ۲ موجود است، منفی بوده و علت آن این است که مقدار بی‌کربنات و کربنات در مقایسه با مقادیر کاتیون‌های کلسیم و منیزیم در آب، کمتر بوده و این عامل منجر به منفی شدن اعداد شده است. البته این حالت بیانگر مناسب بودن آب منطقه برای آبیاری است.

در جدول‌های ۲ و ۳ به ترتیب شاخص‌های کیفیت آب رودخانه دز شامل: SSP، RSC، SI، KR، MAR و PI براساس نتایج به‌دست آمده از تحلیل نمونه‌ها، در سه نوبت و در ۱۴ ایستگاه به تفکیک ارائه شده است. لازم به ذکر است که شاخص SAR به دلیل استفاده در رسم نمودار ویلکاکس جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که از نتایج مشخص است، شاخص SSP، که بیانگر درصد سدیم محلول بوده برای تمام ایستگاه‌ها در محدوده ۲۰ تا ۴۰ درصد بوده است. به دلیل آن که مقادیر بالاتر از ۱۵٪، باعث کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود، این موضوع موجب افول خواص فیزیکی خاک نمی‌شود. شاخص RSC، میزان سدیم کربنات باقی‌مانده را نشان می‌دهد. در نتایج فوق در تمام ایستگاه‌ها نتایج مناسب و کمتر از ۱/۲۵ مشاهده شده، که باعث می‌شود تا pH آب زیاد قلیائی نشود. قلیائیت زیاد باعث نابرابری گیاهان می‌شود.

جدول ۲- برآورد شاخص‌های SSP، RSC و SI برای ۱۴ ایستگاه رودخانه دز

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	SSP			RSC			SI		
		نوبت ۱ (بدون بارش)	نوبت ۲ (کم بارش)	نوبت ۳ (پر بارش)	نوبت ۱ (بدون بارش)	نوبت ۲ (کم بارش)	نوبت ۳ (پر بارش)	نوبت ۱ (بدون بارش)	نوبت ۲ (کم بارش)	نوبت ۳ (پر بارش)
۱	سد تنظیمی	۳۱/۱۷	۳۷/۳۹	۳۲/۸۶	-۱/۷۵	-۱	-۱	۰/۳۲	-۰/۳۱	۰/۱۳
۲	سد انحرافی	۳۲/۵۴	۳۵/۰۴	۴۳/۳۶	-۱	-۱/۲	-۰/۲	۰/۰۵	-۰/۱۲	۰/۳۸
۳	انتهای دز	۲۷/۶۱	۳۷/۹۷	۳۸/۶۰	-۱/۸	-۱	-۰/۹	۰/۱۶	-۰/۳	-۰/۲۸
۴	تاپ درین	۴۰/۰۰	۴۳/۹۷	۴۰/۷۲	-۱/۶	-۱/۲	-۲/۱	۰/۴۷	۰/۱۴	۰/۳۳
۵	لوره شوره	۳۶/۴۲	۴۲/۶۶	۴۸/۸۸	-۵/۲	-۳/۸	-۲/۲	۰/۷	۰/۴۵	۰/۰۹
۶	عجیروب	۳۸/۷۳	۳۹/۴۷	۴۰/۱۲	-۱/۴	-۱/۲	-۱/۲	۰/۲۲	-۰/۱۵	۰/۰۷
۷	سخیری	۲۷/۰۱	۳۱/۰۳	۳۱/۹۱	-۱/۲	-۱/۲	-۱/۲	-۰/۱۵	۰/۴۷	۰/۰۳
۸	سلیمه	۲۸/۸۹	۳۵/۲۶	۳۲/۵۲	-۱/۳	-۱/۱	-۱/۲	۰/۷۲	۰	-۰/۱۲
۹	شاهور	۳۲/۴۸	۴۰/۰۹	۳۸/۷۱	-۱/۹	-۱/۶۰	-۱/۲	۰/۱	-۰/۰۸	۰/۰۹
۱۰	عتیج	۲۵/۶۹	۳۰/۹۱	۳۵/۰۱	-۴/۵	-۶	-۴/۴	۰/۵۱	۰/۷۴	۰/۱۹
۱۱	سبزآب	۳۰/۵۹	۳۲/۸۲	۳۸/۶۰	-۱/۳	-۲/۳۰	-۱/۵	-۰/۲۸	-۰/۲۲	-۰/۴۳
۱۲	هفت‌تپه ۶	۱۹/۶۴	۲۲/۴۷	۲۵/۵۶	-۷	-۷/۳۰	-۴/۸	۰/۵	۰/۶۳	۰/۴۷
۱۳	هفت‌تپه ۹	۲۶/۳۸	۳۴/۴۵	۲۵/۳۲	-۲/۸	-۰/۹	-۰/۷	۰/۳۹	-۰/۳۹	۴/۹
۱۴	بنه حسن	۳۲/۹۳	۴۱/۹۴	۴۰/۱۶	-۰/۸	-۱/۶	-۱/۱	۰/۰۷	۰/۱۷	-۰/۰۷

جدول ۳- شاخص‌های KR، MAR و PI برای ۱۴ ایستگاه رودخانه دز

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	KR			MAR			PI		
		نوبت ۱ (بدون بارش)	نوبت ۲ (کم بارش)	نوبت ۳ (پر بارش)	نوبت ۱ (بدون بارش)	نوبت ۲ (کم بارش)	نوبت ۳ (پر بارش)	نوبت ۱ (بدون بارش)	نوبت ۲ (کم بارش)	نوبت ۳ (پر بارش)
۱	سد تنظیمی	۰/۴۴	۰/۵۸	۰/۴۷	۴۱/۱۸	۵۰	۵۲/۶۳	۳۴/۴۱	۳۰/۳۹	۳۰/۵۹
۲	سد انحرافی	۰/۴۷	۰/۵۳	۰/۷۵	۴۷/۰۶	۵۲/۶۳	۴۳/۷۵	۳۲/۵۸	۲۹/۸۰	۳۳/۳۳
۳	انتهای دز	۰/۳۷	۰/۶	۰/۶۱	۴۴/۴۴	۵۲	۴۶/۹۴	۲۷/۶۴	۲۸	۲۸/۳۲
۴	تاپ درین	۰/۶۵	۰/۷۷	۰/۶۷	۴۳/۳۳	۵۰	۵۲/۴۶	۲۵/۰۹	۲۵/۷۴	۲۳/۷۱
۵	لوره شوره	۰/۵۶	۰/۷۳	۰/۹۲	۴۳/۷۵	۴۸/۷۸	۵۰	۱۹/۳۸	۲۰/۷۷	۲۲/۵۶
۶	عجیروب	۰/۶۲	۰/۶۴	۰/۶۶	۴۲	۴۸	۴۸	۲۶/۵۲	۲۷	۲۶/۷۹
۷	سخیری	۰/۳۶	۰/۴۴	۰/۴۶	۴۴	۵۲	۴۵/۸۳	۳۰/۴۷	۲۹/۲۷	۲۹/۳۱
۸	سلیمه	۰/۴	۰/۵۳	۰/۴۶	۴۳/۷۵	۴۹	۴۸	۲۹/۴۲	۲۸/۸۵	۲۹
۹	شاهور	۰/۴۷	۰/۶۵	۰/۶۱	۴۷/۱۷	۵۰	۴۸/۱۵	۲۶/۱۴	۲۵/۴۶	۲۶/۸۶
۱۰	عتیج	۰/۳۴	۰/۴۴	۰/۵۳	۴۵/۷۸	۴۶/۴۳	۴۵	۲۰/۳۶	۱۹/۰۶	۱۹/۷۵
۱۱	سبزآب	۰/۴۳	۰/۴۸	۰/۶۱	۴۰/۸۲	۴۴/۲۶	۴۶/۹۴	۲۹/۲۱	۲۴/۵۶	۲۶/۳۴
۱۲	هفت‌تپه ۶	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۳۳	۴۵/۲۸	۴۳/۵۹	۶۸/۸۹	۱۷	۱۷/۲۸	۲۰/۰۸
۱۳	هفت‌تپه ۹	۰/۳۵	۰/۵۱	۰/۳۲	۴۳/۳۳	۴۴/۱۹	۶۸/۲۹	۲۴/۱۸	۳۰/۵۷	۲۱/۱۲
۱۴	بنه حسن	۰/۴۸	۰/۷۱	۰/۶۴	۴۳/۱۸	۴۸/۲۸	۴۶/۶۷	۳۱/۲۹	۲۴/۸	۲۷/۸۲

شاخص KR، مربوط به نسبت سدیم در برابر کلسیم و منیزیم است. این مقدار باید کمتر از یک بوده تا ضرر سدیم برای گیاهان کم باشد و در مورد ۱۴ ایستگاه این چنین است. شاخص MAR، یا همان محتوای منیزیم کمتر از ۵۰ مناسب است. مقدار بیش از حد مجاز فقط در چند مورد دیده شده است. در ایستگاه‌های هفت‌تپه شماره ۶ و ۹، سد تنظیمی، انتهای دز و سخیری، چون این افزایش در فصل بارندگی رخ داده احتمالاً به علت حل شدن املاح خاک‌ها در بالادست سد، در سرچشمه‌ی آن یعنی کوه‌ها بوده است.

شاخص PI، معیار نفوذپذیری آب در خاک بوده که نباید کمتر از ۲۵٪ باشد. البته حد مطلوب آن بالای ۷۵٪ است. از آنجایی که این شاخص تحت تأثیر TDS، سدیم و بی‌کربنات است و در

بیشتر ایستگاه‌ها مقادیر بالای بی‌کربنات و TDS مشاهده و میزان سدیم در اغلب موارد کاتیون غالب بود، لذا هیچ‌یک از ایستگاه‌ها نفوذپذیری مطلوب را ندارد. ولی به‌جز ایستگاه‌های عتیج، لوره شوره و هفت‌تپه شماره ۶ که در تمام نوبت‌ها زیر حد استاندارد بودند، بقیه ایستگاه‌ها برای کشاورزی مناسب هستند. نکته قابل‌توجه این است که آن‌چه در تمام ایستگاه‌ها مشترک بوده سختی آب منطقه است که از ابتدای شبکه تا انتهای آن مشاهده می‌شود. نتایج تحلیل فلزات سنگین در ایستگاه‌های منتخب در جدول ۴ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد تمام فلزات سنگین در محدوده مجاز قرار دارند و محدودیتی برای آبیاری ایجاد نمی‌کنند. در شکل‌های ۲-الف و ۲-ب به‌ترتیب مقادیر هدایت الکتریکی و SAR در ایستگاه‌های مختلف را نمایش می‌دهد.

جدول ۴- نتایج آنالیز فلزات سنگین در ایستگاه‌های منتخب

فلزات سنگین	As (µg/L)	Pb (µg/L)	Cd (µg/L)	Hg (µg/L)	Cr (mg/L)	Ni (mg/L)	Cu (mg/L)	B (mg/L)	Zn (mg/L)
حد مجاز*	۱۰۰	۵	۱۰	۱	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۲-۱۰	۲
ایستگاه	مقادیر غلظت اندازه‌گیری شده								
سخیری	۵۶	۳	<۱	<۰/۵	۰/۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۲/۲	۰/۸
هفت‌تپه شماره ۹	۵۱	۳	<۱	<۰/۵	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۲/۳	۰/۳۵
هفت‌تپه شماره ۶	۳۹	۲	<۱	<۰/۵	۰/۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۴	۰/۵
لوره شوره	۴۳	۲	<۱	<۰/۵	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۴	۲/۱	۰/۷

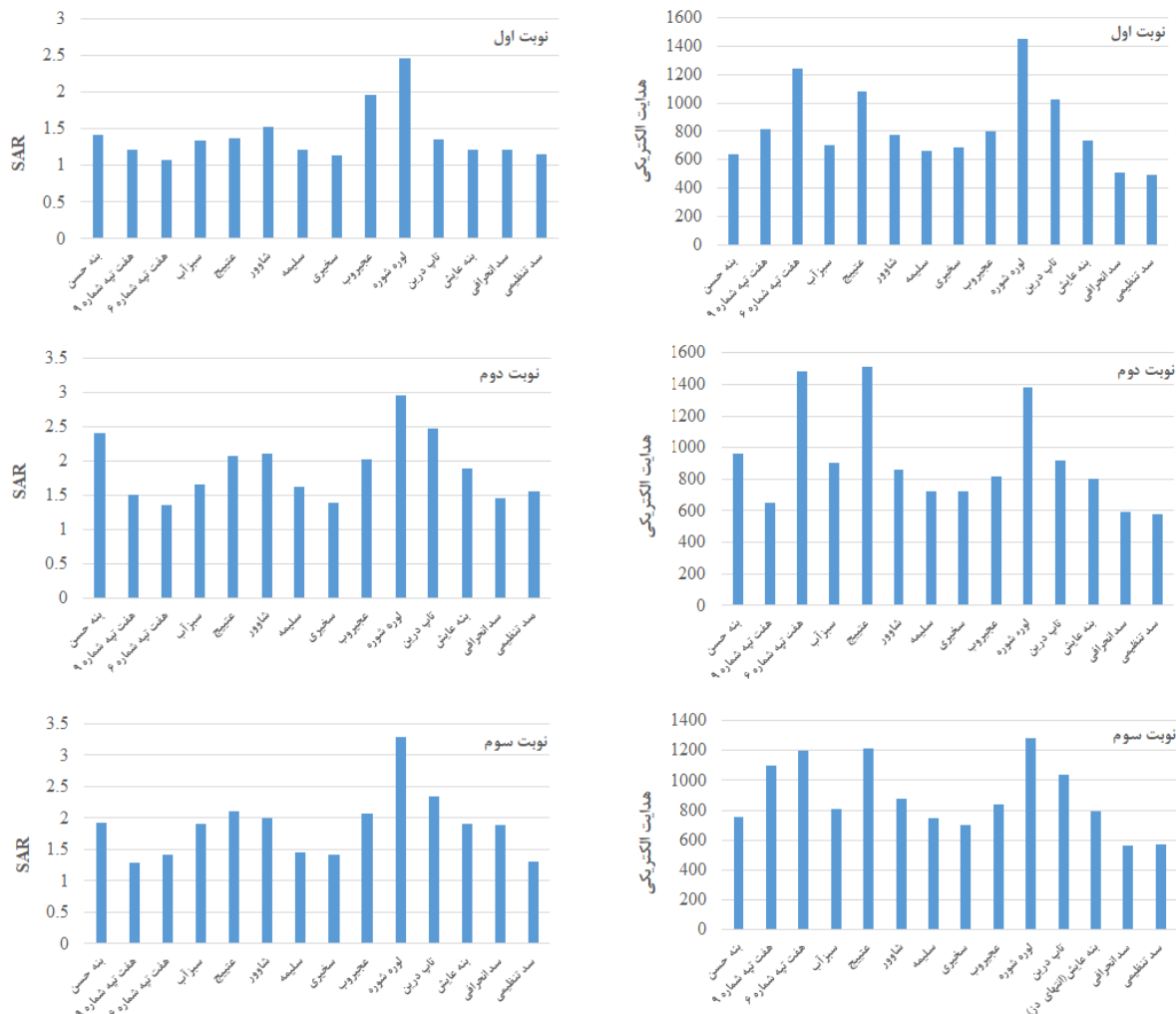
* برای فلزات سنگین حد مجاز براساس استاندارد بین‌المللی سازمان فائو بررسی شده است (Ayers and Westcot, 1994).

با توجه به نتایج شکل ۲، هدایت الکتریکی در ایستگاه لوره شوره با تغییر فصل و افزایش بارندگی به‌تدریج کم شده است، ولی میزان SAR در این ایستگاه و ایستگاه‌های سبزآب و سد انحرافی با افزایش بارندگی بیشتر شده، اما در بقیه ایستگاه‌ها تقریباً بدون تغییر مانده است.

ایستگاه‌های عتیج، هفت‌تپه شماره ۶ و لوره شوره جزء بدترین نقاط و سد تنظیمی و انحرافی بهترین نقاط هستند. این نتیجه دور از انتظار نیست، چون همان‌طور که قبلاً مطرح شد، ایستگاه هفت‌تپه شماره ۶ به واسطه قرار گرفتن در یک شهرک صنعتی و همجواری با منازل سازمانی شرکت، قطعاً دستخوش آلودگی‌های بسیار بوده است. لوره شوره در یک منطقه با زمین نمکی قرار دارد که همین عامل باعث شوری بیش از حد این آب شده است. برای بررسی کیفیت نهایی آب رودخانه دز برای مصارف آبیاری، نتایج بر روی نمودارهای پایپر (شکل‌های ۳ و ۴) و ویلکاکس (شکل ۵) ارائه شده‌اند. برای اختصار، این نمودارها تنها برای دو نوبت اندازه‌گیری ارائه شده‌اند.

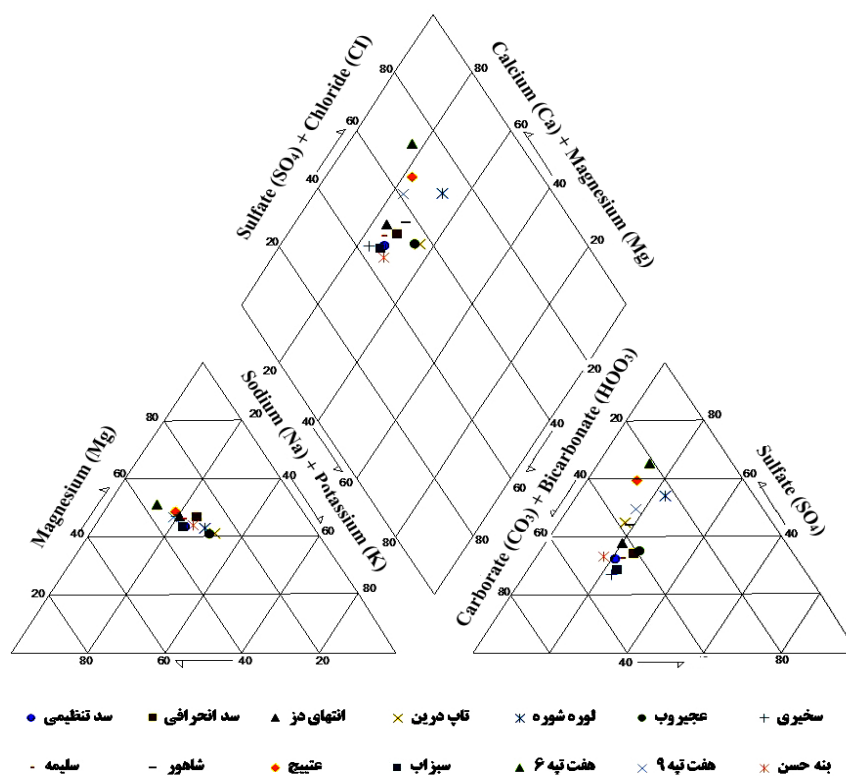
دیگرام ویلکاکس براساس مقادیر هدایت الکتریکی املاح محلول در آب و نسبت سدیم قابل جذب آب، قادر به طبقه‌بندی آب در کلاس‌های متفاوت است. از نمودار پایپر برای دسته‌بندی

نمونه‌ها و تعیین تیپ شیمیایی آب استفاده می‌شود. مقدار کل آنیون‌ها و کاتیون‌ها، ۱۰۰ درنظر گرفته می‌شود، درصد یون‌ها روی مثلث‌های کناری علامت‌گذاری شده و نقاط متناظر روی مثلث‌های کناری بر روی لوزی میانی تصویر می‌شوند. در نهایت قضاوت در مورد تیپ کیفی آب توسط نمودار پایپر با توجه به منطقه تمرکز نقاط انجام می‌شود (سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۲). با توجه به نمودارها مشاهده می‌شود که تمام نقاط در دسته S1C2 و S1C3 واقع شده‌اند که از نظر میزان سدیم کم‌خطر ولی از نظر هدایت الکتریکی در محدوده‌ی خطر متوسط و زیاد قرار می‌گیرند. از نظر EC و با توجه به نمودار ویلکاکس شوری آب‌ها در بدترین حالت در دسته‌ی C3 قرار می‌گیرد که با محدودیت‌های جزئی برای کلیه کشت‌ها قابل استفاده هستند. از نظر SAR به‌دلیل آهکی بودن اراضی منطقه و دبی بالای زهکش‌ها، آب از ابتدای شبکه تا انتهای شبکه در دسته S1 باقی می‌ماند و بدون هیچ محدودیتی می‌توان آن‌را برای تمامی کشت‌ها مورد استفاده قرار داد. از نمودار پایپر در خصوص کیفیت شیمیایی آب به این نکته پی‌برده می‌شود که در کل منطقه، عناصر قلیائی خاکی بر عناصر قلیائی غالب است.



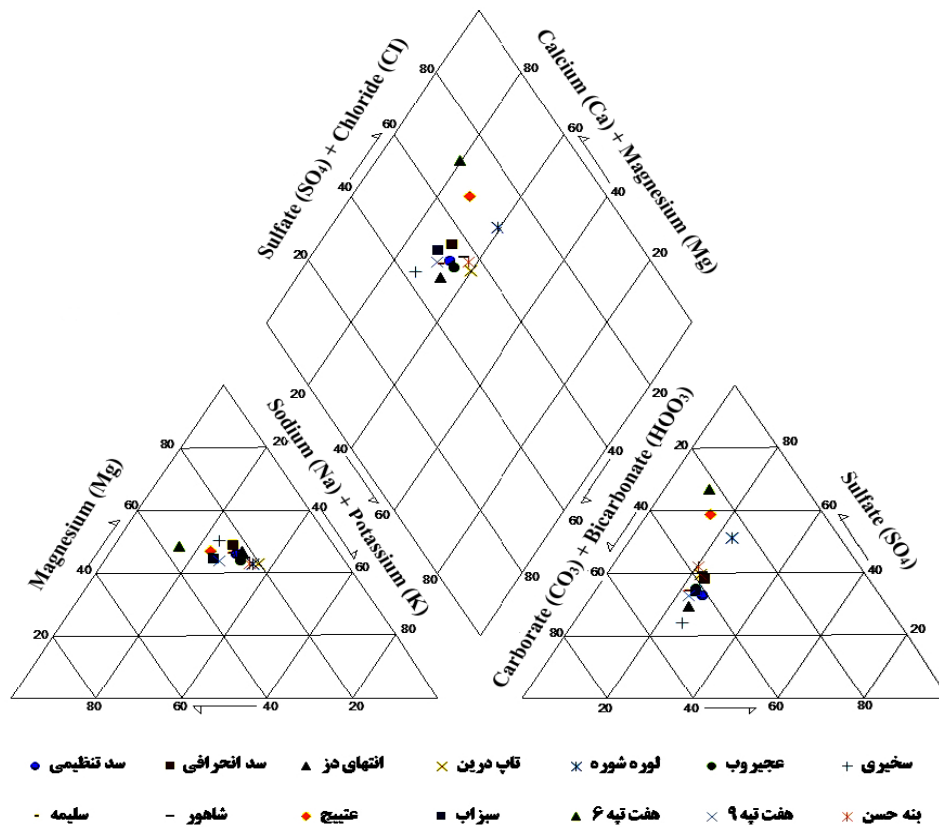
شکل ۲- مقایسه روند تغییرات پارامترهای هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتی متر) و SAR (بدون بعد) در تمام ایستگاه‌ها در سه نوبت

نوبت اول



شکل ۳- نمودار پایپر مربوط به رودخانه دز براساس اطلاعات نوبت اول اندازه‌گیری

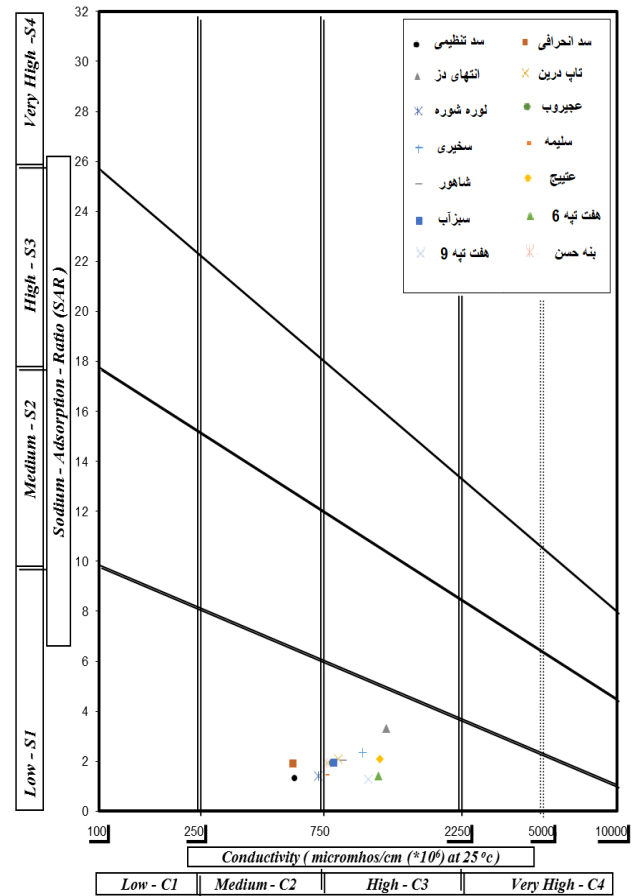
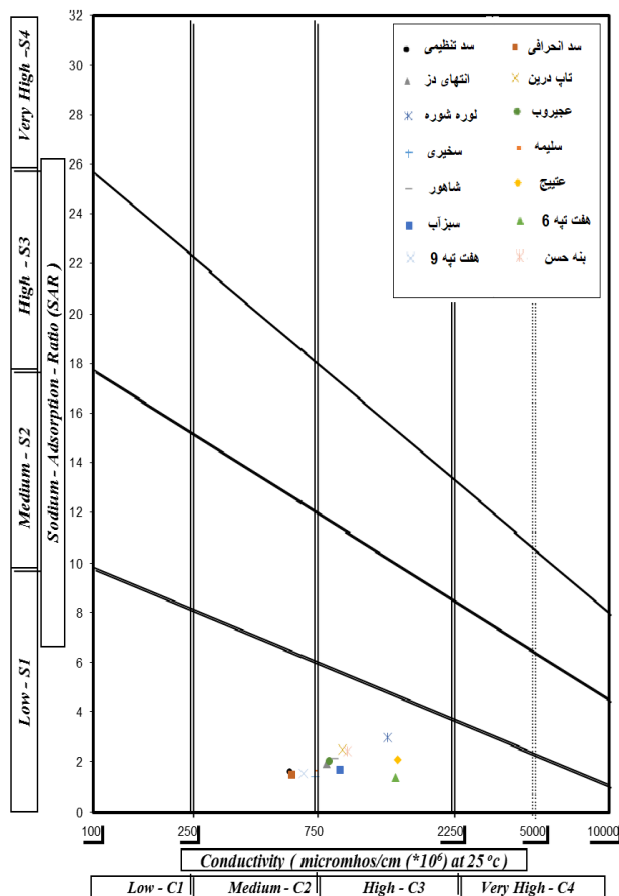
نوبت دوم



شکل ۴- نمودار پایپر مربوط به رودخانه دز براساس اطلاعات نوبت دوم اندازه‌گیری

نوبت دوم

نوبت اول



شکل ۵- نمودار ویلکاکس مربوط به رودخانه دز براساس اطلاعات دو نوبت اندازه‌گیری

در بیشتر ایستگاه‌ها یون بی‌کربنات و در برخی ایستگاه‌ها مثل لوره شوره و عتیج و هفت‌تپه شماره ۶ یون سولفات و منیزیم در ترکیب کل جامدات محلول نقش تأثیرگذارتری دارند. در انتهای دز میزان کادمیم 0.03 mg/L بوده است. با توجه به میزان کادمیم در ایستگاه عجیروب (0.02 mg/L) و ختم شدن انتهای این مسیر به انتهای دز می‌توان پیش‌بینی کرد که بیشترین سهم کادمیم از این مسیر بوده، که ممکن است به‌علت حضور شهرک صنعتی یا استفاده از کودهای فسفاته در منطقه مجاور عجیروب باشد. البته یک راه دیگر افزایش کادمیم زباله است که در بازدیدهای میدانی در این ایستگاه مشاهده شده است. مقدار کادمیم ممکن است به‌علت حضور زباله‌های مشاهده شده در آنجا و دبی کم نیز باشد. از میان فلزات سنگین فقط چند مورد دارای کادمیم بیش از حد مجاز بوده است. این فلز سنگین به روش آمونیوم مولیبدات / آمونیوم وانادات و تولید کمپلکس زرد رنگ (30 دقیقه بعد از افزودن محلول) به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج 470 نانومتر اندازه‌گیری شد. به‌علت استفاده از کودهای فسفاته و یا وجود شهرک صنعتی در انتهای رودخانه دز، افزایش میزان کادمیم در این منطقه مشاهده می‌شود. با حضور کادمیم در این منطقه در فصل خشک سال باید از کشت‌های حساس به کادمیم مانند کاهو و سبزیجات خودداری کرد و دانه‌هایی مانند ذرت، جو و گندم را مدنظر قرار داد که تجمع کادمیم در آن‌ها بسیار کم است.

۴- نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر، کیفیت آب منطقه دز که جزء شریان‌های اصلی آبیاری و تولید محصولات کشاورزی کشور بوده، مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این مطالعه ابتدا در سه نوبت (بدون بارش، کم بارش و پر بارش) و در 14 ایستگاه (شامل 3 ایستگاه در رودخانه دز، 5 ایستگاه شرقی و 6 ایستگاه غربی) نمونه‌برداری انجام شد. سپس شاخص‌های مهم آب آبیاری با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفت. این شاخص‌ها عبارتند از: SSP, SAR, SI, PI, KR, MAR و RSC. در نهایت برای بررسی کیفیت نهایی آب رودخانه از نمودارهای کیفیت سنجی آب شامل نمودارهای پایپر و ویلکاکس استفاده شد. همان‌طور که از نتایج مشخص است، شاخص SSP، که بیانگر درصد سدیم محلول بوده برای تمام ایستگاه‌ها در محدوده 20 تا 40 درصد بوده است. این شاخص برای تمام نمونه‌ها بالای 15% به‌دست آمد. از آنجایی که بالاتر رفتن از این حد به کاهش نفوذپذیری در خاک می‌انجامد، لذا در هیچ‌کدام از نمونه‌ها حد ایده‌آل نفوذپذیری وجود ندارد. نتایج نشان داد که شاخص RSC در تمام ایستگاه‌ها مناسب

و کمتر از $1/25$ بوده است، که باعث می‌شود تا pH آب زیاد قلیائی نشود. اعداد محاسبه شده برای RSC، منفی به‌دست آمده و علت آن این است که مقدار بی‌کربنات و کربنات در مقایسه با مقادیر کاتیون‌های کلسیم و منیزیم در آب، کمتر بوده است. شاخص SI، در ایستگاه‌های عتیج و هفت‌تپه شماره ۶ که یون کلسیم کاتیون غالب بوده، بیشتر شده است. شاخص KR، مربوط به نسبت سدیم در برابر کلسیم و منیزیم است. این مقدار در مورد 14 ایستگاه کمتر از یک بوده است. شاخص MAR، یا همان محتوای منیزیم در چند مورد بیشتر از حد مجاز (حد مجاز 50) دیده شده است. شاخص PI، که معیار نفوذپذیری آب در خاک بوده که نباید کمتر از 25% باشد. از آنجایی که این شاخص تحت تأثیر TDS، سدیم و بی‌کربنات است و در بیشتر ایستگاه‌ها مقادیر بالای بی‌کربنات و TDS مشاهده و میزان سدیم در اغلب موارد کاتیون غالب بود، لذا هیچ یک از ایستگاه‌ها نفوذپذیری مطلوب ندارد. ولی به‌جز ایستگاه‌های عتیج، لوره شوره و هفت‌تپه شماره ۶ که در تمام نوبت‌ها زیر حد استاندارد بودند، بقیه ایستگاه‌ها برای کشاورزی مناسب هستند. شایان‌ذکر است که هدایت الکتریکی در ایستگاه لوره شوره با تغییر فصل و افزایش بارندگی به‌تدریج کم شده است. ولی میزان SAR در این ایستگاه و ایستگاه‌های سبزاب و سد انحرافی با افزایش بارندگی بیشتر شده، اما در بقیه ایستگاه‌ها تقریباً بدون تغییر مانده است. ایستگاه‌های عتیج، هفت‌تپه شماره ۶ و لوره شوره جزء بدترین نقاط و سد تنظیمی و انحرافی بهترین نقاط شناخته شده‌اند.

نتایج نمودارهای پایپر و ویلکاکس نشان می‌دهد که تمام نقاط در دسته S1C2 و S1C3 واقع شده‌اند که از نظر میزان سدیم کم‌خطر ولی از نظر هدایت الکتریکی در محدوده خطر متوسط و زیاد قرار می‌گیرند. هم‌چنین برای کنترل میزان فلزات سنگین از جمله کادمیم که در برخی موارد بیشتر از حد مجاز است، راه‌کارهای لازم مورد نظر قرار گرفت. از جمله این راه‌کارها، روش‌های بررسی و عملکرد تثبیت فلزات سنگین توسط خاک رس در خاک‌های آلوده هستند. خاک رس به‌دلیل خاصیت هیدراته شدن می‌تواند مواد آلی و غیر آلی را در ساختمان خود جذب نماید. راه‌کار دیگر استفاده از روش حذف آلودگی محیطی با استفاده از گیاهان بوده که امروزه بسیار مورد توجه اکولوژیست‌ها قرار دارد. به‌دلیل وجود زباله در آن مناطق، میزان کادمیم افزایش پیدا کرده، که یکی از راه‌کارهای کاهش میزان کادمیم، جمع‌آوری زباله‌های موجود در آن مناطق بوده است. هم‌چنین با توجه به شاخص SI و رسوب کلسیم کربنات ممکن است در استفاده از آب‌پاش‌ها روی سطوح گیاهان یک لایه سفید رنگ ایجاد شود. این امر در دراز مدت می‌تواند در سیستم آبیاری نیز مشکل ایجاد کند.

Rome, 1985 © FAO.
 International Standard (IS), (1996), *Water quality-determination of arsenic-atomic absorption-spectrometric method (hydride technique)*, ISO 11969, Wiley, USA.
 Provin, T.L., and Pitt, J.L., (2002), "Description of water analysis parameters", Texas A&M Agrilife Extension.
 Todd, D.K., (1980), *Groundwater hydrology*, 2nd Ed., John Wiley and Sons, New York, p. 535.

- 1- EC: Electric Conductivity
- 2- TDS: Total Dissolved Solids
- 3- TH: Total Hardness
- 4- SSP: Soluble Sodium Percentage
- 5- SAR: Sodium Adsorption Ratio
- 6- SI: Saturation Index
- 7- PI: Permeability Index
- 8- KR: Kelly's Ratio
- 9- MAR: Magnesium Adsorption Ratio
- 10- RSC: Residual Sodium Carbonate

۶- مراجع

- پاک‌نژاد، ع.، میرزا شاهی، ک.، و سلیم‌پور، س.، (۱۳۹۰)، "بررسی پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از مصرف آلاینده‌های کشاورزی بر کیفیت آب زهکش‌های شبکه آبیاری دز"، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، وزارت جهاد کشاورزی.
- پورم، ج.، (۱۳۹۵)، "اندازه‌گیری یون پتاسیم"، سایت بهداشت محیط ایران، مشاهده شده در environmentalhealth.ir.
- پورم، ج.، (۱۳۹۵)، "اندازه‌گیری یون سدیم"، سایت بهداشت محیط ایران، مشاهده شده در environmentalhealth.ir.
- سلیمانی ساردو، م.، ولی، ع.، قضاوی، ر.، و سعیدی گراغانی، ح.، (۱۳۹۲)، "آنالیز و روندیابی پارامترهای کیفیت شیمیایی آب؛ مطالعه موردی رودخانه چمن‌انجیر خرم آباد"، فصلنامه علمی و پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۳(۱۲)، ۹۵-۱۰۶.
- شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری ناحیه شمال خوزستان، (۱۳۹۶)، "شبکه آبیاری دز"، مشاهده شده در dezco.ir.
- شرکت مهندسی آبرام، آزمایشگاه آب و فاضلاب، (۱۳۹۵)، "آزمایش اندازه‌گیری پتاسیم آب"، مشاهده شده در abram-lab.ir.
- شرکت مهندسی آبرام، آزمایشگاه آب و فاضلاب، (۱۳۹۵)، "آزمایش کلسیم و منیزیم آب با EDTA"، مشاهده شده در abram-lab.ir.
- کارگروه حفاظت کیفی رودخانه دز، (۱۳۹۵)، "معرفی حوضه آبریز رودخانه دز"، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، مشاهده شده در jsu.ac.ir.
- کمیسیون فنی تدوین استاندارد، (۱۳۸۶)، "فولاد و آهن-اندازه‌گیری مقدار آرسنیک روش اسپکتروفتومتری"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، چاپ اول.
- Arnold, E., and Greenberg, E., (2013), *Standard methods for the examination of water and wastewater*, Vol. 4. SMWW. 3111B, 3112B, 3113B, 3114, American Public Health Association, New York.
- Ayers, R.S., and Westcot, D.W., (1994), *Water quality for agriculture, miscellaneous problems*, Food and Agriculture Organization of the United Nations,