

ارزیابی کارایی مخازن سفالی در استفاده از آب‌های شور و آلوده با غلظت‌های مختلف در آبیاری زیرسطحی به منظور مدیریت مناسب آب‌های غیرمتعارف

زهرا جعفری^۱، سید حمید متین‌خواه^{۲*}

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۴

چکیده

در تحقیق حاضر، توانایی مخازن سفالی در روش آبیاری زیرسطحی به منظور استفاده از آب‌های نامتعارف مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، مخازن سفالی به ابعاد ۴/۷ لیتر ساخته و محلول‌هایی با غلظت‌های مختلف شوری، ۴، ۸ و ۳۲ دسی‌زیمنس/متر و غلظت‌های مختلف نیترات و فسفات، به ترتیب ۵، ۵۰ و ۱۰۰ و ۵، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم/لیتر تهیه شدند. سیستم آزمایشی به صورت کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. مقدار نیترات و فسفات خروجی به روش اسپکتروفتومتری جذب فرابنفش و هدایت الکتریکی خروجی با استفاده از هدایت الکتریکی سنخ اندازه‌گیری شد. درصد تخلیه آب متعارف، آب با غلظت‌های مختلف سدیم کلرید، نیترات و فسفات در طول زمان اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که اختلاف غلظت نیترات و فسفات آب خروجی قبل و بعد از آبیاری معادل ۱/۱، ۰/۸ و ۲ میلی‌گرم/لیتر و ۱، ۰/۸ و ۱/۱ میلی‌گرم/لیتر به ترتیب در غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم/لیتر بود. همچنین، اختلاف غلظت سدیم کلرید آب خروجی قبل و بعد از آبیاری در غلظت‌های ۴، ۸ و ۳۲ دسی‌زیمنس/متر به ترتیب برابر ۰/۷، ۰/۷ و ۱/۴ دسی‌زیمنس/متر بود که از نظر آماری این اختلاف معنی‌دار نبود ($P>0.05$). درصد تخلیه مخزن شاهد نسبت به مخازن دارای آب شور و نیترات و فسفات بیشتر بود.

کلیدواژه‌ها: آبدهی، آب‌های نامتعارف، فسفات و نیترات، آلودگی آب، مخازن سفالی، مناطق خشک.

۱. دانشجوی دکتری علوم مرتع، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، نویسنده مسئول: matinkhah@cc.iut.ir

این مقاله مستخرج از مقاله مستخرج از رساله دکتری دانشگاه صنعتی اصفهان است.

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان مانند ایران، استفاده مجدد از آب می‌تواند سهم بسزایی در جبران کمبود آب ایفا کند. با توجه به خشکسالی‌های اخیر در کشور، رشد روزافزون جمعیت و توسعه شهرنشینی و صنعت، استفاده از آب‌های نامتعارف حائز اهمیت است (خاصی و کوچک‌زاده، ۲۰۱۰). کاربرد زنجیره‌ای آب متناسب با تغییر کیفیت آن در بخش‌های متنوع مصرف، یکی از راهکارهای اصلی برای مقابله با مسئله بحران آب است. راه‌حل دیگر، استفاده بهینه از آب‌های متعارف و نامتعارف موجود و کاربرد سیستم‌های آبیاری کارا با بازدهی بالا است (بخردی‌پور و قاسمی، ۲۰۱۲). منابع آبی نامتعارف به آن دسته از آب‌هایی اطلاق می‌شود که از آن‌ها به صورت معمول نمی‌توان استفاده کرد و برای به‌کارگیری آن‌ها نیاز به اعمال سیاست‌های مدیریتی و حفاظتی ویژه است. به‌طور کلی، آب‌های نامتعارف شامل آب‌های شور، آب‌های اتمسفری، آب‌های فسیل، زهاب‌ها و پساب یا فاضلاب هستند (فولادمنند، ۲۰۱۰). شاید مهم‌ترین راه‌حل منطقی برای جلوگیری از کاهش منابع آب، احیا و استفاده مجدد پساب و آب‌های آلوده باشد. این آب‌ها حدود ۶۵-۸۰٪ آب استفاده‌شده توسط جامعه را تشکیل می‌دهند و با توجه به هزینه سرسام‌آور انتقال آب، خطرات زیست‌محیطی حاصل از رهائش پساب‌ها در طبیعت و کاهش سریع منابع آبی مناسب در دسترس، تصفیه و استفاده مجدد از آن‌ها از نظر اقتصادی هم قابل توجیه است (اسکندری، ۲۰۱۲). هر ساله در ایران، شش میلیارد مترمکعب از آب‌های شور و لب‌شور در رودخانه‌ها جریان می‌یابد که با اعمال مدیریت‌های صحیح می‌توان از این آب‌ها برای مصارف مختلف استفاده کرد (نوروزی و همکاران، ۱۹۹۹). در بیشتر کشورها، آب متعارف به‌طور نسبی کمیاب است، اما منابع قابل توجهی از آب‌های شور وجود دارد که در صورت مدیریت صحیح آب، خاک و گیاهان می‌توان در آبیاری از آن‌ها استفاده کرد. آبیاری زیرسطحی جزء انواع آبیاری است که امروزه از اهمیت و گسترش روزافزونی برخوردار است. در این سیستم آب در حجم و فشار کمتری استفاده می‌شود؛ به‌علاوه در صورت کاربرد روش آبیاری

زیرسطحی آلودگی خاک سطحی و آلودگی محصول حداقل می‌شود که در این حالت، بخشی از نگرانی‌های کاربرد پساب فاضلاب در آبیاری گیاهان خاص کاهش می‌یابد. به‌تازگی روش آبیاری زیرسطحی سفالی به‌دلیل وجود خشکی و بروز خشکسالی‌های متعدد مورد توجه قرار گرفته است (قربانی واقعی و همکاران، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۰؛ مجیدی و همکاران، ۲۰۰۹).

آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، قابلیت استفاده از آب‌های شور را افزایش می‌دهد؛ زیرا این سامانه دارای پتانسیل ماتریک بالایی است و باعث می‌شود در نواحی مرطوب خاک میزان نمک کمتری تجمع پیدا کند (نوشادی و شهرکی مجاهد، ۲۰۱۵). در نتیجه، روش آبیاری سفالی، روش بسیار مناسب به‌منظور بهره‌برداری از آب‌های شور است. روش آبیاری سفالی سبب می‌شود که از حداقل آب و یا حتی آب‌های شور بتوان بیشترین مقدار محصول میوه و سبزیجات را به دست آورد (کلر، ۲۰۰۲). دورتا-ستتوس^۱ و همکاران (۲۰۱۵) به ارزیابی کارایی آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با استفاده از فاضلاب بازیافتی برای یک محصول بیولوژیکی در اراضی خشک و متروکه پرداختند و بیان کردند استفاده از فاضلاب بازیافتی منجر به افزایش شوری خاک شد. در تحقیقی به بررسی تأثیر پساب و روش‌های آبیاری جویچه‌ای با هیدروفولوم، قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی بر شوری خاک در منطقه نیمه‌خشک دشت کربال پرداختند و نتیجه گرفتند که بیشترین مقدار شوری در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری در آبیاری زیرسطحی و کمترین مقدار شوری در عمق ۲۰-۴۰ سانتی‌متری در روش جویچه‌ای رخ می‌دهد (صالح و حسنی، ۲۰۱۴). در تحقیق دیگر، ویژگی‌های هیدرولیکی کپسول‌های سفالی سامانه آبیاری زیرسطحی و رابطه آبدهی با زمان و آبدهی با فشار کپسول‌های سفالی مورد بررسی قرار گرفت (زارعی و شهری، ۲۰۱۴). سفال‌های مورد استفاده در آبیاری زیرسطحی بسته به ترکیب مواد آن حداقل ۱۵ سال قابل استفاده‌اند و بعد از آن با شست‌وشوی کامل و تخلیه مجدد مورد استفاده قرار می‌گیرند و در صورت کاهش آبدهی با

1. Keller
2. Dorta-Santos

به ترتیب تیرماه با ۲۹/۵ درجه سانتی‌گراد و دی ماه با ۳ درجه سانتی‌گراد ثبت شد. میانگین سالانه حداکثر دمای هوا، ۲۳/۵ و حداقل آن ۹/۲ درجه سانتی‌گراد است (بی‌نام، ۲۰۱۵). خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است.

ساخت مخازن سفالی

در تحقیق حاضر برای ساخت مخازن سفالی از خاک با بافت رسی از محوطه دانشگاه صنعتی اصفهان استفاده شد. مخازن سفالی به ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر و قطر خارجی ۹ سانتی‌متر به گنجایش تقریبی ۲/۹ لیتر ساخته و در دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد پخته شدند (جدول ۲ و شکل ۱).

اجرای آزمایش در عرصه

گودال‌هایی با عمق ۵۰، قطر ۵۰ سانتی‌متر و با فاصله ردیف‌های ۲ متری حفر شد. سپس، مخازن سفالی داخل گودال‌ها قرار گرفتند؛ به طوری که ۵ سانتی‌متر از لبه آن‌ها از خاک بیرون ماند. به منظور جلوگیری از تبخیر آب داخل مخازن روی مخازن سفالی درپوش سرامیکی قرار داده شد. سیستم آزمایشی به صورت کاملاً تصادفی با سه تکرار طراحی و اجرا شد.

آماده‌سازی محلول‌ها

از آنجا که نترات و فسفات دو آلاینده مهم هستند که منشأ اصلی آن‌ها فاضلاب‌های شهری و فعالیت‌های کشاورزی است و سبب آلودگی محیط از جمله منابع آب می‌شوند (داتا^۱ و همکاران، ۱۹۹۷)، در تحقیق حاضر از دو آلاینده مذکور استفاده شد. با توجه به اینکه استاندارد کیفی پیشنهادی برای کاربرد پساب‌ها و آب‌های برگشتی در آبیاری فضای سبز برای کاربرد فسفات ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر است (عابدی و همکاران، ۲۰۰۲)، از سه غلظت ۵، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم/لیتر با استفاده از مونوسدیم فسفات (NaH_2PO_4) استفاده شد. با استفاده از جرم مولکولی مونوسدیم فسفات، ۱۱۹/۹۸ گرم/مول و جرم مولکولی فسفات، ۹۴/۹۷۱۴ گرم/مول مقدار مونوسدیم فسفات مورد نیاز برای غلظت‌های مختلف آلاینده فسفات به دست آمد. حداکثر غلظت

دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد مجدداً پخته و تمامی املاح تبخیر و تا ده‌ها و صدها سال به همین ترتیب قابل بهره‌برداری مجدد هستند (حجازی، ۲۰۱۴).

آب شور، بازیافت آب زهاب و استفاده مجدد از فاضلاب شیوه‌های مهمی در تأمین نیازهای روزافزون به آب آبیاری هستند. این آرزو به‌عنوان نمونه، خود را در تحقیقات بیش از پنج دهه توسط محققان برای استفاده از آب شور نشان می‌دهد؛ به طوری که امروزه مقدار قابل توجهی از آب مصرفی در بسیاری از کشورهای آسیایی و قاره‌های آفریقا، استرالیا، آمریکای شمالی و جنوبی و مناطق خشک اراضی اروپا از آب با کیفیت پایین تأمین می‌شود. شواهد بسیاری نشان می‌دهد که کمبود فیزیکی آب در بسیاری از کشورها انگیزه استفاده از روش‌های مبتکرانه برای تدارک منابع جدیدی از آب را تشویق کرده است. کاهش شوری آب توسط عبور از سفالی نمونه‌ای ایدئال از این گونه راهکارهاست. از آنجا که در سیستم آبیاری زیرسطحی، چگونگی عملکرد مخازن سفالی یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده کارایی سیستم است و با توجه به اینکه تحقیقات کمی در زمینه درصد تخلیه در سیستم آبیاری زیرسطحی با آب شور و آلوده انجام شده، هدف از تحقیق حاضر ارزیابی کارایی مخازن سفالی ساخته‌شده در استفاده از آب‌های شور و آلوده با غلظت‌های مختلف در آبیاری زیرسطحی به منظور مدیریت مناسب آب‌های غیرمتعارف است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

اراضی پیرامون دانشگاه صنعتی اصفهان با پوشش گیاهی طبیعی خود، نمونه‌ای از مراتع خشک مناطق مرکزی کشور با تیپ رویشی ایران و توران دشتی است. منطقه مورد مطالعه در عرض جغرافیایی ۳۳° ۴۳' شمالی، طول جغرافیایی ۳۳° ۵۱' شرقی و در ارتفاع ۱۶۰۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است. طبق بررسی‌های بلندمدت آماری از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۴، میانگین درجه‌حرارت سالانه ۱۶/۰۴ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارندگی سالانه ۱۲۷ میلی‌متر و متوسط رطوبت نسبی هوا ۳۸/۷٪ بود. گرم‌ترین و سردترین ماه‌های سال نیز

اندازه‌گیری آلاینده‌های خروجی

به‌منظور اندازه‌گیری مقدار نیترات و فسفات خروجی، بطری‌های پلاستیکی حاوی زهاب، یک روز بعد از هر بار آبیاری با آب آلوده به آزمایشگاه منتقل و به روش اسپکتروفتومتری جذب فرابنفش اندازه‌گیری شد (رضوانی‌پور و رضوی دینانی، ۲۰۱۵). هدایت الکتریکی محلول خروجی نیز با استفاده از هدایت الکتریکی سنج اندازه‌گیری شد.

تعیین درصد تخلیه آب از مخازن سفالی

هدرفت آب برحسب درصد تخلیه از طریق دیواره سفال‌ها با استفاده از پر کردن مخازن با آب شور با غلظت‌های مختلف، آب‌های آلوده و آب غیرشور مورد بررسی قرار گرفت. درصد آب تخلیه‌شده در واحد زمان از طریق رابطه (۲) محاسبه شد (نایک و همکاران، ۲۰۰۸).

$$P = \frac{100v}{Vt} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، P درصد آب ازدست‌رفته در واحد زمان از طریق مخازن برحسب درصد، V حجم مخازن برحسب سانتی‌متر مکعب، v حجم آب مورد نیاز برای پر کردن مجدد مخزن بین دو پر کردن متوالی برحسب سانتی‌متر مکعب و t زمان بین پر کردن متوالی مخازن برحسب روز است، که در مطالعه حاضر، ۲۴ ساعت برای تمام مخازن سفالی در نظر گرفته شد. محاسبه درصد تخلیه مخازن سفالی نشان داد که مخازن سفالی پس از یک هفته به‌طور کامل تخلیه می‌شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22.0 به روش آزمون تی تست وابسته انجام شد.

مجاز نیترات در آب شرب ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر است. به‌منظور تهیه محلول‌های آلوده به نیترات در سه غلظت ۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم/لیتر از ماده شیمیایی نیترات پتاسیم (KNO₃) و استفاده شد. با در نظر گرفتن جرم مولکولی نیترات پتاسیم، ۱۰۱/۱۰۳۲ گرم/مول و نیترات، ۶۲/۰۰۴۹ گرم/مول، مقدار پتاسیم مورد نیاز برای غلظت‌های مختلف نیترات به دست آمد (جدول ۳).

مقادیر مختلف شوری با توجه به درجه‌بندی شوری خاک (شوری ۴ بدون محدودیت یا دارای محدودیت کم، ۸ محدودیت نسبتاً زیاد و ۳۲ محدودیت خیلی زیاد) (مؤمنی، ۲۰۱۰) و با توجه به درجات مختلف واکنش گیاهان به شوری تعیین شدند. به‌منظور تهیه محلول‌های سدیم کلرید (NaCl) با هدایت الکتریکی، ۴، ۸ و ۳۲ دسی‌زیمنس/متر، مقادیر مناسب سدیم کلرید بر اساس رابطه (۱) تهیه شدند (نایک^۱ و همکاران، ۲۰۰۸).

$$\text{NaCl} = 640 * \text{EC} \text{ (dS/m)} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، NaCl، غلظت سدیم کلرید برحسب گرم/لیتر و EC، هدایت الکتریکی محلول برحسب دسی‌زیمنس/متر است. سپس برای تهیه محلول‌هایی با هدایت الکتریکی ۴، ۸ و ۳۲ دسی‌زیمنس/متر، به ترتیب مقادیر ۲/۵۶، ۵/۱۲ و ۲۰/۴۸ گرم سدیم کلرید در یک لیتر آب حل شد. برای دقت کار هدایت الکتریکی محلول‌های تهیه‌شده با هدایت الکتریکی سنج اندازه‌گیری شدند (نایک و همکاران، ۲۰۰۸). بدین ترتیب، چهار تیمار یعنی محلول‌هایی با غلظت‌های مختلف نیترات، فسفات و سدیم کلرید و تیمار شاهد با آب متعارف در نظر گرفته شد. خصوصیات آب شاهد در جدول (۴) خلاصه شده است. در نهایت، میزان شوری، نیترات و فسفات خروجی به مدت یک سال اندازه‌گیری و ثبت شد.

جدول (۱): مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

Table (1): Soil physical and chemical properties of study area

عمق (سانتی‌متر)	pH (-)	EC (دسی‌زیمنس/متر)	FC (کیلوگرم/۱۰۰)	PWP (کیلوگرم/۱۰۰)	جرم مخصوص ظاهری (میلی‌گرم/مترمکعب)	جرم مخصوص حقیقی (گرم/سانتی‌متر مکعب)	تخلخل (حجم خلل فرج (به حجم کل
۵۰-۰	۸/۸۱	۲	۱۳/۴۸	۸/۳۸	۱/۳۶	۲/۶۵	۵۱

EC= Electrical conductivity, FC= water content at field capacity, PWP= water content at permanent wilting point

1. Nike



شکل (۱): مخازن سفالی ساخته شده
Figure (1): Made clay reservoirs

جدول (۲): ابعاد مخازن سفالی ساخته شده

Table (2): Made clay reservoirs dominations

ابعاد مخزن	پارامترها
۱	ضخامت مخزن (سانتی‌متر)
۵۰	ارتفاع مخزن (سانتی‌متر)
۱۰	قطر داخلی مخزن (سانتی‌متر)
۱۱	قطر خارجی مخزن (سانتی‌متر)
۴۷۴۹/۲۵	حجم مخزن (سانتی‌متر مکعب)
۱۹۱۶/۹۷	مساحت خارجی مخزن (سانتی‌متر مربع)

جدول (۳): مقدار نیترات پتاسیم، مونوسدیم فسفات و سدیم کلرید مورد نیاز برای تهیه محلول با غلظت‌های مختلف

Table (3): Amount of KNO₃, NaH₂PO₄, NaCl Required for preparing a solution with different concentrations

مقدار مورد نیاز (mg/L)	محلول با غلظت‌های مختلف	ماده مورد نیاز	آلاینده
۸/۱۵	۵ میلی‌گرم / لیتر		
۸۱/۵۲	۵۰ میلی‌گرم / لیتر	نیترات پتاسیم	نیترات
۱۶۳/۵	۱۰۰ میلی‌گرم / لیتر		
۶/۳	۵ میلی‌گرم / لیتر		
۳۷/۸۹	۳۰ میلی‌گرم / لیتر	مونوسدیم فسفات	فسفات
۷۵/۷۹	۶۰ میلی‌گرم / لیتر		
۲/۵۶	۴ دسی‌زیمنس / متر		
۵/۱۲	۸ دسی‌زیمنس / متر	سدیم کلرید	سدیم
۲۰/۴۸	۳۲ دسی‌زیمنس / متر		

نتایج

لیتر بود. همچنین، اختلاف غلظت سدیم کلرید خروجی قبل و بعد از آبیاری از به ترتیب در غلظت‌های ۴، ۸ و ۳۲ دسی‌زیمنس / متر معادل ۰/۷، ۰/۷ و ۱/۴ دسی‌زیمنس / متر بود.

درصد تخلیه آب از طریق مخازن سفالی با غلظت‌های شوری، نیترات و فسفات متفاوت در طول زمان و در مقایسه با شاهد در شکل‌های (۲-۴) ارائه شده است. درصد تخلیه آب شاهد (بدون شوری و نیترات و فسفات) بیشتر از آب شور و آب آلوده به نیترات و فسفات است. با افزایش غلظت نیترات، فسفات و سدیم کلرید میزان آبدهی مخزن سفالی کاهش می‌یابد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این کاهش به سرعت رخ نمی‌دهد و محسوس نیست.

نتایج آزمون تی تست و مقایسه میانگین سدیم کلرید، نیترات و فسفات ورودی و خروجی قبل و بعد از آبیاری بعد از یک سال در جدول (۵) و (۶) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، غلظت‌های مختلف نیترات، فسفات و سدیم کلرید بعد از اعمال تیمار تا حدی کاهش یافته است، ولی این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نیست ($P > 0.05$). اختلاف غلظت نیترات خروجی مخزن سفالی قبل و بعد از آبیاری به میزان ۱/۱، ۰/۸ و ۲ میلی‌گرم / لیتر به ترتیب در غلظت‌های ۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم / لیتر بود. اختلاف غلظت فسفات خروجی قبل و بعد از آبیاری به ترتیب در غلظت‌های ۵، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم / لیتر معادل ۱، ۰/۸ و ۱/۱ میلی‌گرم /

جدول (۵): نتایج آزمون تی تست وابسته غلظت‌های مختلف نیترات، فسفات و شوری قبل و بعد از آبیاری

Table (5): Results of T-Test dependent of different concentrations of Nitrate, Phosphate and NaCl before and after irrigation

sig.	df	t	انحراف معیار میانگین	غلظت	منبع تغییر	آلاینده
۰/۲ ^{ns}	۲	۱/۶۳	۰/۸۵±۱/۰۴	۵ میلی گرم / لیتر	قبل و بعد از آبیاری	نیترات
۰/۱ ^{ns}	۲	۲/۸۳	۰/۸۹±۲/۶	۱۰ میلی گرم / لیتر	قبل و بعد از آبیاری	نیترات
۰/۱ ^{ns}	۲	۱/۹۹	۱۱/۵±۵	۵۰ میلی گرم / لیتر	قبل و بعد از آبیاری	نیترات
۰/۱ ^{ns}	۲	۱/۹۹	۱/۶۶±۲/۳	۵ میلی گرم / لیتر	قبل و بعد از آبیاری	فسفات
۰/۲ ^{ns}	۲	۱/۸۸	۲/۳±۶/۲	۱۰ میلی گرم / لیتر	قبل و بعد از آبیاری	فسفات
۰/۱ ^{ns}	۲	۱/۸۹	۲/۶±۱/۶	۵۰ میلی گرم / لیتر	قبل و بعد از آبیاری	فسفات
۰/۱ ^{ns}	۲	۲/۹۲	۰/۱۷±۱/۱	۴ دسی زیمنس / متر	قبل و بعد از آبیاری	سدیم کلرید
۰/۱ ^{ns}	۲	۲/۳۶	۰/۵۲±۳/۱	۸ دسی زیمنس / متر	قبل و بعد از آبیاری	سدیم کلرید
۰/۱ ^{ns}	۲	۲/۸۸	۰/۷۸±۲/۳	۳۲ دسی زیمنس / متر	قبل و بعد از آبیاری	سدیم کلرید

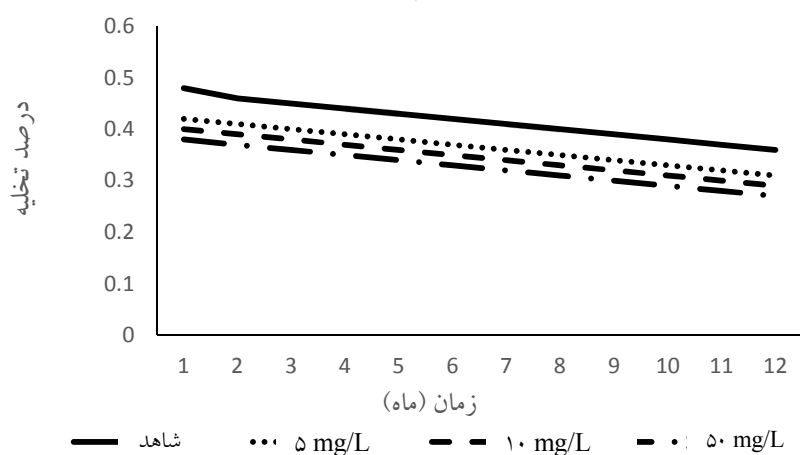
^{ns} عدم معنی داری در سطح ۵٪

جدول (۶): میانگین نیترات، فسفات و شوری با غلظت‌های مختلف قبل و بعد از آبیاری

Table (6): Mean of Nitrate, Phosphate and Salinity with different concentrations before and after irrigation

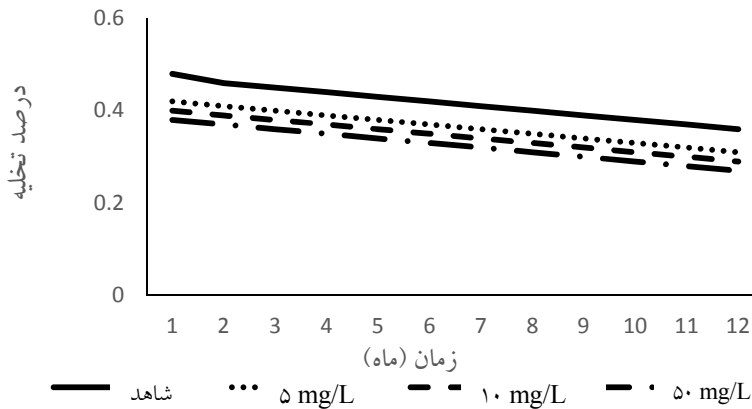
تیمار (انحراف معیار میانگین)	واحد	آلاینده
بعد از آبیاری	قبل از آبیاری	
۴/۱±۱۶/۱ ^a	۵±۱/۸ ^a	میلی گرم / لیتر
۲۹/۲±۹/۵ ^a	۳۰±۲/۶ ^a	میلی گرم / لیتر
۵۸±۰/۸ ^a	۶۰±۵ ^a	میلی گرم / لیتر
۴±۴/۵ ^a	۵±۳ ^a	میلی گرم / لیتر
۴۹/۲±۲/۵ ^a	۵۰±۶/۹ ^a	میلی گرم / لیتر
۹۸/۹±۳/۵ ^a	۱۰۰±۲/۵ ^a	میلی گرم / لیتر
۳/۳±۳/۱ ^a	۴±۵/۱ ^a	دسی زیمنس / متر
۷/۳±۳/۵ ^a	۸±۲/۱ ^a	دسی زیمنس / متر
۳۰/۶۰±۶/۹ ^a	۳۲±۴/۱ ^a	دسی زیمنس / متر

حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار است.



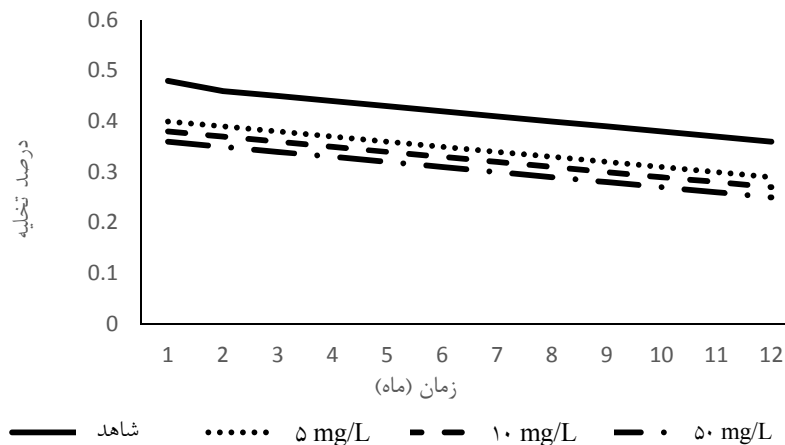
شکل (۳): روند تغییرات درصد تخلیه مخازن شاهد و غلظت‌های مختلف شوری آب در طول سال

Figure (3): Trends in changes in depletion percentages of control clay reservoirs and different salinity concentrations throughout the year



شکل (۳): روند تغییرات درصد تخلیه مخازن شاهد و غلظت‌های مختلف نیترات آب در طول سال

Figure (3): Trends in changes in depletion percentages of control clay reservoirs and different nitrate concentrations throughout the year



شکل (۴): روند تغییرات درصد تخلیه مخازن شاهد و غلظت‌های مختلف فسفات آب در طول سال

Figure (3): Trends in changes in depletion percentages of control clay reservoirs and different phosphate concentrations throughout the year

در شرایط استفاده از آب شور نشان داده شده است که با افزایش شوری آب آبیاری، شدت تراوش آب از کوزه‌ها و پیشروی جبهه رطوبتی خاک در آبیاری زیرسطحی کاهش می‌یابد (نایک و همکاران، ۲۰۰۸)؛ که با نتایج حاصل از این تحقیق همخوانی دارد. درصد تخلیه با افزایش شوری و میزان نیترات و فسفات آب آبیاری کاهش می‌یابد که ممکن است به ویسکوزیته بالاتر آب با شوری و املاح بالاتر نسبت داده شود. با توجه به رابطه (۳)، ویسکوزیته محلول‌های آبی ممکن است مربوط به غلظت نمک باشد (وسوداون و همکاران، ۲۰۱۱).

$$\eta/\eta_w = 1 + Ac^{1/2} + Bc \quad (3)$$

در رابطه (۳)، η_w ، ویسکوزیته آب خالص و η محلول نمک آبی است، c غلظت حل‌شونده و A و B ویژگی‌های ثابت حل‌شونده هستند. از آنجایی که A ویژگی الکترواستاتیکی است، می‌تواند در غلظت‌های متوسط نادیده

بحث و نتیجه‌گیری

از آنجا که محدودیت منابع آب شیرین در دنیا معضل جدی شده است، رشد اقتصادی بسیاری از کشورها را تحت‌تأثیر قرار داده و در آینده نیز بیشتر خود را نشان خواهد داد. منطقه خاورمیانه به‌شدت با مشکل محدودیت منابع آب شیرین مواجه بوده است و بسیاری از کارشناسان پیش‌بینی می‌کنند که در آینده درگیری‌های فراوانی بر سر تصاحب منابع آب شیرین صورت خواهد گرفت (بلایلوک^۱، ۱۹۹۴). آبیاری با آب شور در آبیاری زیرسطحی در مقایسه با آبیاری سطحی راندمان کاربرد آب را افزایش می‌دهد (سیفرت^۲ و همکاران، ۱۹۷۵). همچنین، روش آبیاری زیرسطحی مشکلات خاص ناشی از کاربرد پساب را تا حدودی مرتفع می‌کند (پسکود^۳، ۱۹۹۲).

1. Blaylok
2. Siefert
3. Pescod

روند تغییرات درصد تخلیه در تحقیق ما نیز نشان داد که نرخ تراوش آب شاهد (بدون شوری و نیترات و فسفات) بیشتر از آب شور یا آب آلوده به نیترات و فسفات است و با افزایش شوری یا نیترات و فسفات از نرخ تراوش کاسته می‌شود. در تحقیقی دو سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و سطحی با دو عمق نصب ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر با سه تیمار آبیاری به میزان ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی درختان پسته در روش آبیاری سطحی بررسی شد. هدایت الکتریکی آب آبیاری ۴/۷ دسی‌زیمنس/متر بود. سامانه آبیاری زیرسطحی با عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر و میزان ۶۰٪ نیاز آبی در روش آبیاری سطحی با کارایی مصرف آب ۰/۲۹ کیلوگرم محصول خشک در هر مترمکعب آب مصرفی بهترین تیمار شناخته شد. همچنین عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر، بهترین الگوی توزیع شوری از لحاظ میزان شوری کمتر در منطقه توزیع نمک را داشت (صدادقتی و همکاران، ۲۰۱۲). با به کار بردن پساب در مزارع آزمایشی به این نتیجه رسیدند که در مواقعی که از سیستم آبیاری زیرسطحی استفاده می‌شود، آلودگی سطح خاک و گیاه حداقل و زمانی که از سیستم آبیاری بارانی استفاده می‌شود، مقدار آلودگی حداکثر خواهد بود. همچنین نتایج حاصل از آزمایش ایشان نشان داد که در سیستم آبیاری زیرسطحی مقدار نیتروژن در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک نسبت به آبیاری سطحی کمتر بوده و در نتیجه نیتروژن و فسفر هنگامی که از منبع آب نزدیک ریشه گیاه فراهم شود، بهتر جذب خواهند شد (اورون^۳ و همکاران، ۱۹۹۲). در آبیاری قطره‌ای سطحی نمک‌هایی که در نزدیکی سطح خاک جمع می‌شوند، می‌توانند رو به پایین حرکت نموده و به ناحیه ریشه برسند و این فرایند ممکن است از مصرف آب و مواد غذایی جلوگیری کند و بر رشد محصول تأثیر بگذارد، اما می‌توان با به‌کارگیری آب شور از طریق یک سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر این مشکل غلبه کرد (اورون و همکاران، ۱۹۹۰).

چنانچه برنامه‌ریزان کشور در زمینه توسعه منابع آب، درصدد راهکارهای استفاده درست و منطقی از سایر منابع

گرفته شود؛ که رابطه (۳) را می‌توان به $\eta/\eta_w = 1 + Bc$ کاهش داد. B اندازه‌گیری تعامل آب یونی است و برای محلول سدیم کلرید مقدار مثبت دارد. به شرط فیلتراسیون مناسب و استفاده از کیفیت آب آبیاری قابل قبول، آبدهی سفال‌ها برای تأمین نیاز آبی گیاهان مناسب است و تغییرات آبدهی با گذشت زمان به شکلی سریع کاهش نمی‌یابد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد (زارعی و شهپری، ۲۰۱۴).

روش آبیاری با کوزه‌های سفالی، روش بسیار مناسب به‌منظور بهره‌برداری از آب‌های شور است؛ به‌طوری که برای آب‌هایی با شوری بیش از ۱۵ دسی‌زیمنس/متر هم می‌توان از این روش استفاده کرد (گوپتا^۱، ۲۰۰۲). در تحقیق حاضر نیز، این تکنیک تکنولوژی بومی معرفی می‌شود که برای نگهداشت آب و در اختیار قرار دادن آن برای گیاه بسیار مناسب است. نجفی و همکاران (۲۰۰۷) با اعمال تیمارهای مختلف آبیاری جوی و پشته با آب چاه، آبیاری قطره‌ای سطحی با پساب فاضلاب، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۱۵ سانتی‌متر زیر سطح خاک با پساب فاضلاب، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متر زیر سطح خاک با پساب فاضلاب و آبیاری جوی و پشته با پساب فاضلاب به این نتیجه رسیدند که روش آبیاری زیرسطحی در عمق ۱۵ سانتی‌متر در شرایط طراحی و کاربرد مدل ET-HS در تعیین نیاز آبی گیاه، بهترین شرایط را هنگام کاربرد پساب فاضلاب شهری در آبیاری محصول گوجه‌فرنگی داشت. در تحقیقی از آب‌هایی با EC ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس/متر برای پر کردن کوزه‌ها در روش آبیاری کوزه‌ای استفاده شد. هدف بررسی نقش کوزه در استفاده از آب‌های شور بود. نتایج نشان داد که نرخ تراوش از کوزه آب‌های بدون شوری ۵۳٪ بود و با افزایش میزان شوری آب، نرخ تراوش از کوزه کاهش یافت؛ به‌طوری که با افزایش EC آب از ۱۰ به ۲۰ دسی‌زیمنس/متر، نرخ تراوش از ۳۱٪ به ۱۷٪ کاسته می‌یابد. همچنین با افزایش فاصله افقی از مرکز کوزه، تمرکز نمک در خاک شدت می‌گیرد (وسوداون^۲ و همکاران، ۲۰۱۱). در این راستا،

1. Gupta
2. Vasudaven

3. Oron

استفاده از روش آبیاری سفالی زیرسطحی در بخش‌هایی از کشور انجام شده است. به کارگیری این روش در استفاده از آب شور و پساب‌ها افق تازه‌ای در استفاده از آب‌های غیرمتعارف خواهد گشود. در نتیجه به شرط فیلتراسیون مناسب و استفاده از کیفیت آب آبیاری قابل قبول، آبدهی سفال‌ها برای تأمین نیاز آبی گیاهان مناسب است و تغییرات آبدهی با گذشت زمان به شکلی سریع کاهش نمی‌یابد.

آبی نظیر استفاده از آب‌های با کیفیت پایین، چاره‌اندیشی، برنامه‌ریزی و حمایت‌های لازم را نکنند، کشور دچار مشکلات جدی خواهد شد. استفاده از آب‌های نامتعارف با توجه به محدودیت منابع آبی کشور در مدیریت خشکسالی بسیار مؤثر و کارآمد است. لذا به نظر می‌رسد با تغییرات و تمهیداتی در مکانیسم این روش آبیاری، می‌توان کاربردهای مناسبی برای آن در کشور توصیه کرد. در دو دهه اخیر

منابع

1. Abedi, M.J., Neyrizi, S., Ebrahimi Birang, N., Maherani, M., Mehrdadi, N. and Khaledi, H., 2002. Use of saline waters in sustainable agriculture. Irrigation System Working Group on the Farm of the National Irrigation and Drainage Committee of Iran, Publication Number 69.
2. Anonymous, 2015. Meteorological statistics of Isfahan province in the years 1951-2010.
3. Bekhradi Pour, K. and Ghasemieh, H., 2012. Use of unconventional waters in water crisis management (Case study: Kashan plain), Water crisis conference in Kashan plain, Kashan University, Iran. (In Persian).
4. Blaylok, A.D., 1994. Soil salinity, Salt tolerance and growth potential of horticultural and landscape plants. Department of plant, Soil and Sciences College of Agriculture, University of Wyoming.
5. Datta, P.S., Deb, D.L. and Tyagi, S.K., 1997. Assessment of groundwater contamination from fertilizers in Delhi area based on $18O$, NO_3^- and K^+ composition. Journal of Contaminant Hydrology, 27(3-4): 249-62.
6. Dorta-Santos, M., Tejedor, M., Jiménez, C. Hernández-Moreno, J.M., Palacios-Díaz, M.P. and Díaz, F.J., 2015. Evaluating the sustainability of subsurface drip irrigation using recycled wastewater for a bioenergy crop on abandoned arid agricultural land. Ecological engineering, 79, 60-68.
7. Eskandari, M., 2012. Feasibility on the use of unconventional waters (waste water) in irrigation using nanotechnology. Jahad Daneshgahi, Tarbiat Modares University. 117 pages, (In Persian).
8. Fooladmand, H.R., 2010. Principles of irrigation. Navid Publications, Shiraz. 224 pages. (In Persian).
9. Ghorbani-Vaghei, H., Bahrami, H.A., Alizadeh, P. and Nasiri, F., 2011. Hydraulic characteristics of porous clay capsules and its effect on soil moisture distribution. Journal of Water Research in Agriculture, 9 (5), 131-140, (In Persian).
10. Ghorbani-Vaghei, H., Bahrami, H.A., Alizadeh, P., Nasiri, F. and Mahallati, Z., 2010. Improving physical and hydraulic properties of porous clay capsules from a subsurface point source. Twin International Conference on Geotechnical and Geo-Environmental Engineering CUM (7th) Ground Improvement Techniques. June 23-25. Seoul. Korea.
11. Gupta, S.K., 2002. Meeting Challenge of the Water Shortage: Rainwater Conservation in Land Reclamation Programs. ISCO Conference, 2 (17), 446-451.
12. Hejazi, S.M., 2014. subsoilirrigation.ir/fa/articles-fa/66-subsoilirrigation-fa1.
13. Keller, J., 2002. New Irrigation Technologies for Smallholders. Journal of Agriculture and Veterinary Sciences, 1 (26), 1-5.
14. Khasi, M. and Kochakzadeh, M., 2010. Impact of irrigation with refined wastewater on cotton plant characteristics. Iranian Journal of Soil and Water Research, 41(2):229-235. (In Persian).
15. Majidi, E., Zarei, GH., Keshavarz, A. and Hejazi, S.M., 2009. Assessment of possibility of subsurface clay pipe irrigation method for agricultural and horticultural crops. Research Report. No. 88/281. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), (In Persian).
16. Momeni, A., 2010. Geographical distribution and salinity levels of soil resources of Iran. Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences), 24(3), 204-215. (In Persian).

17. Naik, B.S., Panda, R.K., Nayak, S.C. and Sharm, S.D., 2008. Hydraulics and salinity profile of pitcher irrigation in saline water condition. *Journal of Agriculture Water Management*, 95 (10), 1129- 1134.
18. Effect of using subsurface drip in irrigation of Tomato and Eggplant with Treated Municipal Wastewater. *Journal of Soil and Water Science*, 20 (1), 156-163, (In Persian).
19. Norozi, M., Meschi, M. and Maherani, M., 1999. Use of saline and brackish waters for irrigation. 76 pages, (In Persian).
20. Noshadi, M. and Shahraki Mojahed, R., 2015. Impact of saline water management on soil and yield of tomato in subsurface drip irrigation. *Journal of Water Research in Agriculture*, 28 (2), 376-384.
21. Oron, G., DeMalach, Y., Hoffman, Z., Keren, Y., Hartmann, H. and Plazner, N., 1990. Wastewater disposal by subsurface trickle irrigation. *Proceedings Fifteenth Biennial Conference, IAWPRC, Kyoto, Japan, Jul 29-Aug. 3*, 2149-2158.
22. Oron, G., Demalach, Y., Hoffman, Z. and Manor, Y., 1992. Effect of effluent quality and application method on agricultural productivity and environmental control. *Water Science and Technology*, 26 (7-8), 1593-1601.
23. Pescod M.B., 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. 113 pages.
24. Rezvani Pour, H. and Razavi Deynani, Z., 2015. Water and soil chemical analysis (health and environmental view) Isfahan: Isfahan University of Jihad, Iran. (In Persian).
25. Saleh, I. and Hassanli, A.M., 2014. Evaluating the effect of water quality and irrigation methods on the distribution of soil salinity in the semi-arid region of Corbal plain. *Journal of Water and Sustainable Development*, 1(2): 47-54.
26. Sedaghati, N., Hosseinifard, S.J. and Mohammadi Mohammadabadi, A., 2012. Comparing Effects of Surface and Subsurface Drip Irrigation Systems on Growth and Yield on Mature Pistachio Trees. *Journal of Water and Soil*, 26 (3), 585- 575. (In Persian).
27. Siefert, W. J.J.r., Hiler, E.A. and Howell, T.A., 1975. Trickle irrigation with water of different salinity levels. *Transactions of the ASAE*, 18, 89-94.
28. Vasudaven, P., Kaphaliya, B., Sirvastava, R. K., Tandon, M., Singh, S.N. and Sen, K., 2011. Buried clay pot irrigation using saline water. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 70, 653-655.
29. Zarei, GH. and Shahpari, S.A., 2014. Hydraulic Characteristics of Porous Clay Capsules in a Subsurface Irrigation System at Three Soil Textures. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 14(4): 57-72. (In Persian).

Evaluating the Efficiency of Clay Reservoirs for the use of Unconventional Waters in Subsurface Irrigation

Zahra Jafari^{1*}, Sayed Hamid Matinkhah²

Received: 25/12/2019

Accepted: 30/09/2020

Expanded abstract

Introduction As Iran faces limited water resources, it should take the use of unconventional waters into account in its drought management. In many countries, including Iran, conventional water is relatively scarce. However, should water, soil, and plants be appropriately managed, there would be significant saline water sources for irrigation purposes. Together with reducing salinity and refining polluted waters, subsurface irrigation is now considered as an increasingly important tool in improving the quality of unconventional waters. In this system, besides the application of subsurface irrigation, water is used at lower volumes and pressures, and soil and plant contamination are minimized, and thus, concerns regarding the use of wastewater in specific plant irrigation are reduced to some extent. This study, therefore, sought to investigate the efficiency of clay reservoirs in subsurface irrigation as a way to manage unconventional waters properly. It should be noted that such reservoirs are formed when saline and polluted waters with different concentrations are used

Material and Method: having been conducted at the lands of Isfahan University of Technology, Iran, this study investigated the possibility of making use of unconventional waters for subsurface irrigation through clay reservoirs. To this end, an experiment was performed with three replications, using random sampling. Some 50 cm×50 cm (width and depth) planting pits were drilled with a 2 m distance from each other. The clay reservoirs were made in 4.7-liter size, and solutions were prepared with their salinity concentrations being 4, 8, and 32 ds/m, and nitrate and phosphate concentrations being 5, 50, and 100 mg/L and 5, 30, 60 mg/L, respectively. The output of nitrate and phosphate was measured by UV spectrophotometry, and the electrical conductivity output was measured by an electrical conductivity meter. The depletion percentage of conventional water, saline water with different concentrations, and water with varying nitrate and phosphate concentrations were also measured over time. Moreover, the data analysis was performed in SPSS 22.0 Software.

Result: The results of the study showed that the difference between nitrate and phosphate concentration of clay reservoirs before and after the irrigation was 1.1, 0.8, and 2 mg/l and 1, 0.8, and 1.1 mg/l at concentrations of 5, 10, and 50 mg/l, respectively. The difference in sodium chloride concentration before and after the irrigation was 0.7, 0.7, and 1.4 ds/m at concentrations of 4, 8, and 32 ds/m, respectively, so the difference was not significant statistically ($P>0.05$). The depletion percentage in the control reservoir was higher than water polluted with nitrate and phosphate and the reservoirs filled with saline water.

Discussion and conclusion: The advancement of the wetting front increased with decreasing salinity levels of the pitchers' water. Salt concentration in the soil with pitcher irrigated by saline water was found to be minimum near the pitcher and maximum at the periphery of the wetted zone around the pitcher. One reason for a decrease in the flow rate with an increase in salt concentration could be the increase in the aqueous viscosity with concentration. It could, thus, be concluded that the rate of depletion partly decreases with increasing salinity and the amount of nitrate and phosphate in irrigation water over time, which was not noticeable and was attributed to the higher viscosity of saline water and the water contaminated with nitrate and phosphate. Should those responsible for developing water resources in Iran do not seek logical solutions for using other water resources,

1. Ph.D. candidate, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology

2. Associate Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Corresponding Author; matinkhah@cc.iut.ir

DOI: 10.22052/deej.2020.9.28.1

such as using low-quality water, the country would face serious problems. As water resources are limited, using unconventional waters would be very useful in drought management. Therefore, it seems that changing the policies regarding water management and arranging for the application of this irrigation method could help relevant Iranian officials manage the country's water crisis efficiently. In the last two decades, subsurface clay irrigation has been implemented in parts of the country. The use of saltwater and wastewater in this method would open new windows for the use of unconventional waters. As a result, potterly depletion is a suitable way to meet the plants' water needs, provided that proper filtration and acceptable irrigation water quality are used.

Keywords: Depletion percentage, Unconventional waters, Nitrate and Phosphate, Water pollution, Clay reservoirs, Arid areas.