

بررسی تأثیرات دراز مدت مصرف پساب بر روی اعماق مختلف خاک

ایمان همایون نژاد^{۱*}

homayoonnezhad@pnu.ac.ir

سعید شجاعی^۲

پریا امیریان^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۲/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۱۷

چکیده

زمینه و هدف: امروزه کمبود ذخایر آبی در زمین بویژه اقلیمهای خشک از جمله کشور ما باعث شده تا استفاده مجدد و هدفمند از پساب جهت تامین منابع آبی جدید بعنوان یک راه حل مناسب مطرح گردد. در حال حاضر کشورهایی که با مشکل کمبود منابع آبی روبرو هستند امکان‌سنجی استفاده از فاضلاب تحت عنوان آبهای نامتعارف را بررسی میکنند. اما متأسفانه در این خصوص تحقیق بسیار کمی صورت گرفته است.

روش بررسی: بمنظور بررسی میزان تغییرات برخی عناصر و مشخصات خاکی که بوسیله پساب در مدت زمان ۳ سال آبیاری شده است، آزمایشی بصورت طرح بلوک کامل تصادفی با سه بار تکرار انجام گرفت. نمونه برداری از دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی متری خاک صورت گرفت و پارامترهای سدیم، مجموع کلسیم و منیزیم، هدایت الکتریکی و pH خاک در سه منطقه متفاوت مطالعاتی (بدون آبیاری، آبیاری با پساب تصفیه شده، آبیاری با آب رودخانه) اندازه گیری و مورد بررسی قرار گرفت.

یافته ها: پساب خروجی از تصفیه خانه زاهدان سبب افزایش قابل قبول میزان سدیم، مجموع کلسیم و منیزیم و اسیدیته خاک نسبت به منطقه شاهد گردیده است. اما درمورد هدایت الکتریکی، آبیاری با پساب سبب کاهش این مقدار گردید.

بحث و نتیجه گیری: پساب (تصفیه شده) سبب افزایش موثر و قابل قبول برخی عناصر خاک می‌گردد. بنابراین می‌تواند در امر احیاء خاک کمک موثری باشد و بعنوان یکی از منابع آب بخصوص در مناطق خشک که با کمبود آب مواجه هستند، مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آب نامتعارف، پساب، خاک، زاهدان.

۱- استادیار، گروه کشاورزی، دانشکده فنی-مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. * (مسوول مکاتبات)

۲- دکتری بیابان‌زدایی، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳- دکتری بهداشت محیط، سازمان مدیریت پسماند شهرداری شیراز

Investigating the long-term effects of wastewater consumption on different soil depths

Iman Homayoonnezhad^{1*}

homayoonnezhad@pnu.ac.ir

Saeid Shojaee²

Paria Amirian³

Admission Date: May 3, 2023

Date Received: April 6, 2023

Abstract

Background and Objective: Today, the lack of water reserves on the ground, especially in dry climates including our country, has caused the purposeful reuse of wastewater to provide new water sources as a new solution. Currently, countries that are facing the problem of lack of water resources are investigating the feasibility of using wastewater under the title of unconventional waters. But unfortunately, very little research has been done in this regard.

Materials and Methodology: In order to investigate the amount of changes in some elements and characteristics of the soil under irrigation with wastewater, for 3 years, an experiment was conducted as a randomized complete block design with three repetitions. Sampling was done from two depths of soil 0-30 and 30-60 cm, and the parameters of sodium, total calcium and magnesium, acidity and electrical conductivity of the soil in three study locations (without irrigation, irrigation with treated wastewater, and irrigation with water of river) was measured and analyzed.

Findings: The effluent from Zahedan treatment plant has caused an acceptable increase in the amount of sodium, total calcium and magnesium, and soil acidity compared to the control area. But regarding the electrical conductivity, irrigation with sewage decreased this amount.

Discussion and Conclusion: Effluent causes an effective and acceptable increase of some soil elements, which can be an effective help in soil regeneration and to be used as one of the water sources especially in dry areas that are facing a shortage of water resources.

Keywords: Unusual water, Wastewater, Soil, Zahedan.

1- Assistant Professor, Department of Agriculture, Technical-Engineering Faculty, Payam Noor University(PNU), Tehran, Iran. **(Corresponding Author)*

2- PhD in Desertification, Department of Arid and Mountainous Areas Revitalization, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj.

3- PhD in Environmental Health, Waste Management Organization of Shiraz Municipality.

مقدمه

رشد جمعیت، تغییرات آب و هوایی، کشاورزی، شهرنشینی، افزایش گردشگری و محدودیت های جغرافیایی به کاهش هرچه بیشتر منابع آب کمک می کند (۱ و ۲). آمار و ارقام بخوبی نشان می دهد که مصرف آب در بخش کشاورزی در ایران جز بالاترین مصارف محسوب می شود و با توجه به اینکه کشور ما جز اقلیمهای خشک و نیمه خشک با میانگین بارش کم و شدت تبخیر بالا است، مصرف زیاد آب در حوزه کشاورزی تبدیل به بحران شده است. بنابراین امکان سنجی بهره برداری از منابع آبهای نامتعارف از جمله پسابهای تصفیه شده می تواند در ایران یکی از راهکارهای تامین آب مورد نیاز باشد. در سالهای اخیر افزایش جمعیت و توسعه نیازهای انسان و بالارفتن سطح بهداشت مردم و گسترش صنایع آب بر سبب شده است تا منابع آب شیرین اعم از سطحی و زیرزمینی بیش از حد مورد استفاده قرار گیرد و به وضعیت بحرانی برسد. این مساله برای کشور ایران بعثت خشکسالیهای طولانی مدت بدتر است و نیازمند دقت و حساسیت بالاتری می باشد. برای حل این مشکل بایستی به منابع آب نامتعارف (فاضلابها) برای کشاورزی روی آورد تا باعث آزاد سازی منابع آب برای سایر مصارف گردید (۳). در چنین شرایطی استفاده مناسب و کنترل شده از پساب تصفیه خانه ها تحت عنوان آبهای نامتعارف می تواند باعث کاهش برداشت از مخازن آب شیرین گردد (۴). در واقع در اغلب کشورهایی که با کمبود آب مواجه هستند، پساب ضمن غنی بودن از نظر مواد غذایی، قابل دسترس ترین منبع تأمین آب جهت آبیاری است (۵). پساب با توجه به غنی بودن از عناصر غذایی مهم، می تواند به عنوان منبع کود مورد استفاده قرار بگیرد. همچنین از آنجاییکه خاک نه تنها در تولید غذا، بلکه در حفظ و نگهداری کیفیت محیط نیز نقش بسزایی دارد. بنابراین، حفظ کیفیت و سلامت آن ضروری به نظر می رسد. کیفیت خاک، در واقع ظرفیت آن برای انجام وظایفی در اکوسیستم به منظور افزایش حاصلخیزی همراه با حفظ کیفیت محیط و سلامت انسان و حیوان می باشد (۶ و ۷). در سالهای اخیر با توسعه زندگی صنعتی و ماشین آلات و افزایش انواع آلودگیهای

زیست محیطی بویژه آلودگی خاک، کیفیت و سلامت محیط زیست و به تبع آن حیات موجودات زنده از جمله انسان در معرض خطر جدی قرار گرفته است (۸). بنابراین لازم و ضروریست، که در مورد تاثیرات درازمدتی که آبیاری با پساب بر خاک دارد بررسی هایی صورت گیرد. استفاده از پساب در زمینهای زراعی می تواند در حفظ حاصلخیزی خاک با کمک بهبود نسبی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک موثر باشد (۹ و ۱۰). به طور کلی انواع آبهای غیرمتعارف تاثیرات متفاوت فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی زیادی روی خاک دارند. این اثرات عمدتاً ناشی از کیفیت نامطلوب فیزیکوشیمیایی آنها است که به شکل تاثیرات نامطلوب در ویژگیهای فیزیکی خاک زمینهای زیر کشت (بافت، نفوذپذیری، ساختمان) و مقدار جذب عناصر (ماکرو، میکرو و نادر) بروز می کند. از مطالعات انجام شده در این زمینه می توان به تحقیقات صالحی و همکاران، اشاره کرد که به منظور بررسی اثر فاضلاب شهری بر خاک صورت گرفته است، نتایج پژوهش گویای بالا بودن تراکم عناصر مغذی شامل فسفر، نیتروژن، کلسیم، پتاسیم و منیزیم در خاک آبیاری شده با پساب شهری در مقایسه با خاک آبیاری شده با آب چاه بود (۱۱). عابدی کوپایی و همکاران در پژوهشی تأثیر استفاده از پساب تصفیه خانه شاهین شهر را در آبیاری محصولاتی شامل ذرت، آفتابگردان و چغندر قند مطالعه نمودند. نتایج تحقیق آنها مشخص کرد که که آبیاری با فاضلاب باعث کم شدن هدایت الکتریکی اشباع و بالا رفتن وزن مخصوص ظاهری خاک می گردد (۱۲). همچنین امام قلی در بررسی اثرات پساب شهری بر خصوصیات شیمیایی خاک به این نتیجه رسید که آبیاری با فاضلاب باعث کم شدن سدیم محلول، هدایت الکتریکی، مجموع کلسیم و منیزیم محلول و پتاسیم و بالا رفتن نیتروژن و فسفر خاک نسبت به مکان شاهد گردید (۱۳). در این تحقیق هدف اصلی مطالعه اثرات کاربرد فاضلاب خروجی تصفیه خانه زاهدان بر تجمع برخی عناصر در عمق های مختلف خاک است تا از این طریق تغییرات عناصر در پروفیل خاک مشخص

شود و با آگاهی از این اطلاعات بتوان از این منبع آبی بهتر استفاده نمود.

روش بررسی

در این پژوهش که به مدت ۳ سال انجام گردید، محیط تصفیه-خانه زاهدان به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شد. جهت مطالعه و بررسی، سه منطقه (منطقه بدون آبیاری، آبیاری با پساب تصفیه شده، آبیاری با آب رودخانه لار) انتخاب گردید. مرتع اطراف تصفیه خانه بعنوان منطقه بدون آبیاری (شاهد) در نظر گرفته شد. همچنین آب رودخانه لار (رودخانه فصلی در شمال شرقی شهر زاهدان) هر ساله به مدت ۶ ماه بر روی مزارع کشاورزان به صورت غرقاب استفاده می‌شد. قسمتی از زمین-های اطراف تصفیه خانه نیز بوسیله فاضلاب تصفیه شده آبیاری گردیده است. بنابراین سه منطقه با وضعیت آبیاری متفاوت مشخص گردید. جهت بررسی هر سال بعد از خاتمه کشت (تقریباً اواخر تیرماه)، نمونه‌ها برداشت شده و به آزمایشگاه منتقل گردید. این طرح در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با حفر پروفیل با ۳ بار تکرار صورت گرفت. از هر پروفیل دو نمونه یکی از عمق سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متر) و دیگری از عمق تحت‌العرض (۶۰-۳۰ سانتی‌متر) برداشت شد. نمونه‌های خاک قبل از آزمایشگاه در معرض هوا خشک شد و از الک دو میلی‌متری گذرانده و پس از آن به آزمایشگاه منتقل شد. برای تعیین اسیدیته خاک نخست نمونه‌های خاک با استفاده از آب مقطر اشباع گردید و پس از یک شبانه روز با کمک دستگاه pH متر اسیدیته عصاره اشباع خاک ثبت شد (۱۴ و ۱۵). بعد از مهیا کردن گل اشباع و تهیه عصاره اشباع خاک‌ها، هدایت الکتریکی

آن‌ها با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی بر حسب $\text{dsm}^{-1} \text{cm}^{-1}$ ۲۵ قرائت شدند (۱۴ و ۱۵). جهت تعیین سدیم نمونه خاک بخشی از عصاره اشباع خاک‌ها را برداشته و تا جائیکه غلظت سدیم به زیر ۲۰ میلی‌گرم در لیتر برسد رقیق کرده و پس از تهیه استانداردهای صفر، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سدیم در آب مقطر، توسط دستگاه فلم‌فوتومتر قرائت شدند. در پایان با استفاده از منحنی کالیبراسیون و بهره‌گرفتن از نرم‌افزار میکروسافت اکسل و اعداد قرائت شده برای استانداردهای معادله خط رگرسیونی بین مقادیر سدیم به عنوان متغیر وابسته و اعداد قرائت شده به عنوان متغیر مستقل بدست آمد. در نهایت با استفاده از معادله بدست آمده و اعداد قرائت‌شده برای نمونه‌ها، غلظت سدیم در عصاره رقیق‌شده بدست آمده و با در نظر گرفتن درجه‌رقت، میزان سدیم در عصاره اشباع محاسبه گردید (۱۴ و ۱۵). همچنین میزان مجموع کلسیم و منیزیم محلول خاک با روش کمپلکسومتری اندازه‌گیری شد. برای آنالیز داده‌های اولیه از نرم افزار SPSS 11.5 استفاده شد و نرمال بودن داده‌های بدست آمده با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov بررسی شد. برای همگنی واریانس از آزمون Levene استفاده شد و با توجه به نرمال و همگن بودن داده‌ها از آزمون‌های پارامتریک استفاده شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه Duncan در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد استفاده شد.

یافته‌ها

نتایج تجزیه آب، پساب و خاک منطقه مورد مطالعه نیز در جداول ۱ و ۲ آمده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی خاک محل آزمایش

Table1. Physical characteristics of the soil of the test site

درصد رس	درصد شن	درصد سیلت	بافت خاک	هدایت الکتریکی (ds/m)	اسیدیته گل اشباع
۱۸	۱۴	۶۸	لومی سیلتی	۲/۸۹	۷/۴۲

جدول ۲- میانگین کیفیت پساب تصفیه شده و آب

Table2. Average quality of treated wastewater and water

آب	پساب تصفیه	حد مجاز برای کشاورزی (۱۶)	واحد	معیار کیفی آب
۷/۶۰۳	۸	۶/۸-۵/۵	-	PH
-	۵/۵	-	dS/m	هدایت الکتریکی
۲/۸	۱۱	-	SAR	سدیم
۶	۲۶/۱	-	me/l	کلرید
-	۳/۱	۱	me/l	بر
-	۱۲/۲	-	me/l	نیترژن
-	۴۲	-	me/l	کلسیم و منیزیم

نتایج آنالیز نمونه فاضلاب حاصل از تصفیه

خانه زاهدان نشان داد مقدار بر (B) موجود در پساب از حد مجاز برای کشاورزی خارج است اما اسیدیته پساب خروجی در محدوده مجاز بود (جدول ۲).

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس تأثیر تیمارهای اعمال شده در عمق‌های مختلف (سال اول)

Table3. The results of variance analysis of the effect of treatments applied at different depths (first year)

پارامتر	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F آماری	Sig.
کلر	۲/۷۸۲	۰/۶۹۶	۴۸/۱۵۶*	۰/۰۰
اسیدیته	۰/۸۴۲	۰/۲۱۰	۲۲/۲۸۶ ^{ns}	۰/۱
هدایت الکتریکی	۶۸/۳۴۲	۱۷/۰۸۵	۶۶/۶۱۶*	۰/۰۰
سدیم	۲۳۷۰۸۶۷/۱۱۱	۵۹۲۷۱۶/۷۷۸	۹۱۷۹/۰۸۶**	۰/۰۰

نتایج حاصل تجزیه واریانس یک‌طرفه در عمق‌های مختلف برای سال اول، از نظر میزان کلر و هدایت الکتریکی خاک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری را نشان داد. همچنین نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه آزمون دانکن نشان داد میزان سدیم خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار و برای اسیدیته خاک معنی‌دار نشد مقدار F آماری به ترتیب ۹۱۷۹/۰۸۶ و ۲۲/۲۸۶ بدست آمد (جدول ۳).

نتایج حاصل تجزیه واریانس یک‌طرفه در عمق‌های مختلف برای سال اول، از نظر میزان کلر و هدایت الکتریکی خاک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری را نشان داد. همچنین نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه آزمون دانکن نشان داد میزان سدیم خاک در

جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس تأثیر تیمارهای اعمال شده در عمق‌های مختلف (سال دوم)

Table 4. The results of variance analysis of the effect of treatments applied at different depths (second year)

پارامتر	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F آماری	Sig.
کلر	۳/۳۵۶	۰/۸۳۹	۴۴/۴۱۸*	۰/۰۰
اسیدیته	۰/۸۷۵	۰/۲۱۹	۳۹۳/۷۱۴*	۰/۰۰
هدایت الکتریکی	۶۷/۱۸۷	۱۶/۷۹۷	۱۳۷۹/۲۹*	۰/۰۰
سدیم	۲۴۷۳۹۳۶/۸۳۴	۶۱۸۴۸۴/۲۰۸	۴۶۳۴۱/۰۷۵**	۰/۰۰

داد کلیه پارامترها (کلر، اسیدیته و هدایت الکتریکی) در سطح ۵ درصد و مقدار سدیم خاک در سطح ۱ درصد معنی دار شد.

جدول ۴ نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارها اعمال شده در عمق‌های مختلف برای سال دوم را نشان می‌دهد نتایج نشان

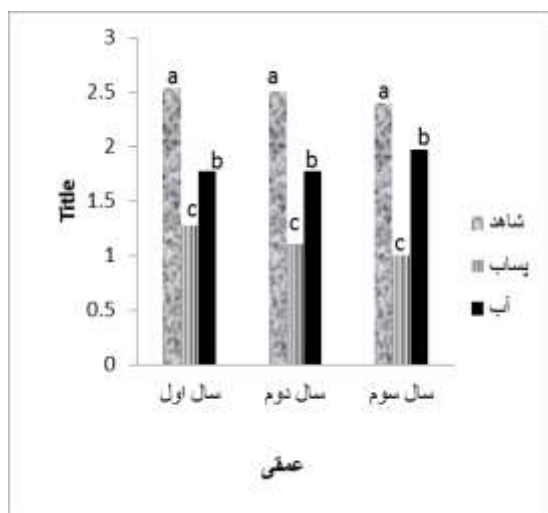
جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای اعمال شده در عمق‌های مختلف (سال سوم)

Table 5. The results of variance analysis of the effect of treatments applied at different depths (third year)

پارامتر	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F آماری	Sig.
کلر	۴/۰۱۵	۱/۰۰۴	۱۸۰/۶۸*	۰/۰۰
اسیدیته	۱/۴۷۱	۰/۳۶۸	۱۱۵/۱۱۴ ^{ns}	۰/۰۲
هدایت الکتریکی	۷۲/۱۲۹	۱۸/۰۳۲	۴۰۵۷/۲۷۹*	۰/۰۰
سدیم	۲۵۴۱۹۹۱/۰۹۲	۶۳۵۴۹۷/۷۷۳	۲۷۶۹۷/۲۴۰**	۰/۰۰

تجزیه واریانس برای مقدار سدیم خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار و برای اسیدیته خاک این اختلاف معنی دار نبود (جدول ۵).

مقدار کلر خاک



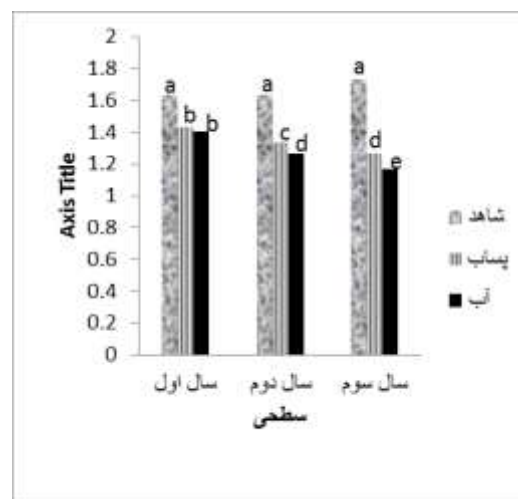
شکل ۲- کلر محلول خاک در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر

Figure 2. Chlorine dissolved in the soil at a depth of 30-60 cm

در سال‌های آبی با این تیمارها میزان کلر در عمق سطحی کاهش پیدا نموده یکی از دلایل این کاهش نفوذ کلر به خاک در اثر آبیاری بود.

آزمون مقایسه میانگین تغییرات کلر در عمق ۳۰-۶۰ سانتی-متری نشان داد در سال اول مقدار نفوذ کلر در عمق تحتانی در اثر آبیاری با پساب بیشتر از آبیاری با آب بود و بین این تیمارها در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار بود. براساس نتایج بدست

بررسی نتایج بدست آمده تجزیه واریانس تأثیر تیمارها اعمال شده در عمق‌های مختلف برای سال سوم آزمایش نشان داد مقدار کلر و هدایت الکتریکی به ترتیب با F آماری ۱۸۰/۶۸ و ۴۰۵۷/۲۷۹ در سطح ۵ درصد معنی دار شد. همچنین نتایج



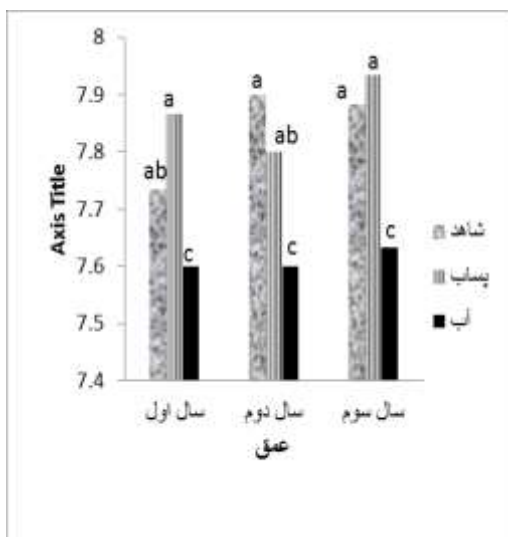
شکل ۱- کلر محلول خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر

Figure 1. Chlorine dissolved in the soil at a depth of 0-30 cm

شکل ۱ آزمون مقایسه میانگین دانکن تغییرات کلر خاک را در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل ۱ دیده می‌شود در سال اول بین آبیاری با آب و پساب اختلاف معنی‌داری وجود ندارد اما از سال دوم به بعد بین آبیاری با آب و پساب اختلاف معنی‌دار بود. اما بین تیمار شاهد در تمام سال‌های مورد آزمایش اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. کمترین میزان کلر در تیمار آبیاری با آب و پساب بود و با ادامه آبیاری

اندازه کلر در تیمار شاهد (بدون آبیاری) ثبت شد و در تمام سالها تغییرات محصوصی نداشته بین این تیمار در سطح ۵ درصد اختلافی دیده نمی‌شود (شکل ۲).

مقدار اسیدیته خاک



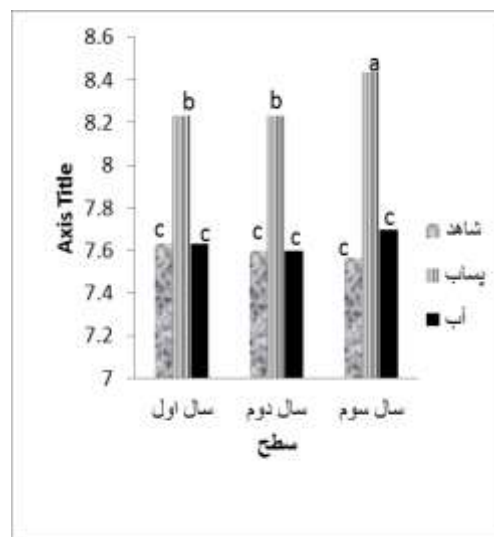
شکل ۴- اسیدیته خاک در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر

Figure4. Soil acidity at a depth of 30-60 cm

شاهد اختلاف معنی‌دار نبود. بین تیمار پساب و آب در سالهای دوم و سوم اختلاف معنی‌داری دیده نشد. همچنین بین تمام تیمارها در کلیه سالهای مورد بررسی کمترین مقدار اسیدیته در زمین‌هایی بود که تحت آبیاری آب معمولی قرار داشت و تغییرات این تیمار در کلیه سالها معنی‌دار نشده است. براساس نتایج بدست آمده از دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر مشخص شد کاربرد فاضلاب باعث بالا رفتن مقدار اسیدیته در لایه سطحی (۰-۳۰) نسبت به لایه عمقی می‌گردد. یکی از دلایل افزایش اسیدیته خاک در دو عمق در کلیه سالهای مورد آزمایش بالا بودن مقدار اسیدیته پساب نسبت به آب معمولی است (جدول ۲).

مقدار هدایت الکتریکی خاک

آمده در تمام سالهایی که منطقه با تیمار پساب و آب تحت آبیاری قرار داشت سبب اختلاف معنی‌دار بین این دو تیمار شده است. تغییرات کلر در پروفیل سطحی نسبت به پروفیل عمقی نشان داد که مقدار کلر از سطح به عمق در تیمارهای تحت آبیاری (پساب و آب) افزایش پیدا نموده است. بالاترین

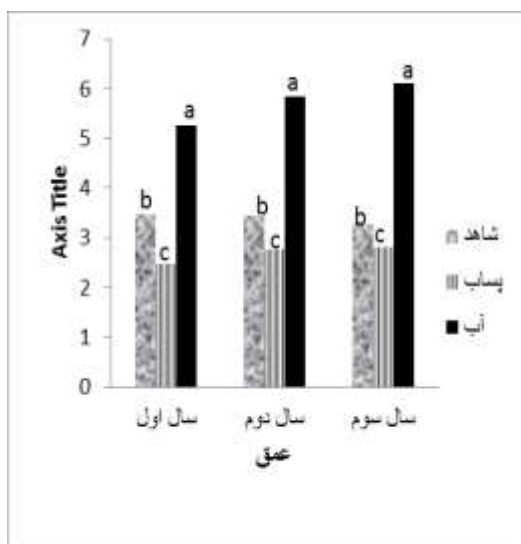


شکل ۳- اسیدیته خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر

Figure3. Soil acidity at a depth of 0-30 cm

شکل ۳ آزمون مقایسه میانگین اسیدیته خاک را در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر نشان می‌دهد. نتایج نشان داد در سال اول آبیاری با پساب سبب افزایش مقدار اسیدیته نسبت به منطقه شاهد شد بطوری که این اختلاف معنی‌دار بوده است. اما آبیاری با آب معمولی نتوانست مقدار اسیدیته را افزایش دهد و بین این تیمار و تیمار شاهد اختلافی دیده نشد. براساس نمودار بدست آمده با ادامه آبیاری با پساب در سال دوم و سوم نسبت به سال اول افزایش اسیدیته خاک را شاهد بودیم بین تیمار پساب در سال اول و دوم اختلاف وجود نداشت. همچنین آبیاری با آب معمولی نیز در بین سالهای تحت آبیاری سبب افزایش معنی‌داری در مقدار اسیدیته خاک نشد (شکل ۳).

شکل ۴ آزمون مقایسه میانگین اسیدیته خاک را در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر نشان می‌دهد. در سال اول آبیاری نیز همانند عمق سطحی کاربرد پساب سبب افزایش اسیدیته خاک نسبت به دیگر تیمارها شد اما با این تفاوت که بین این تیمار و تیمار

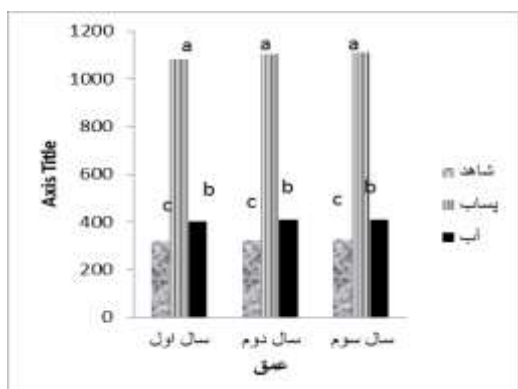


شکل ۶- هدایت الکتریکی خاک در عمق ۳۰-۶۰ سانتی متر

Figure 6. Electrical conductivity at a depth of 30-60 cm

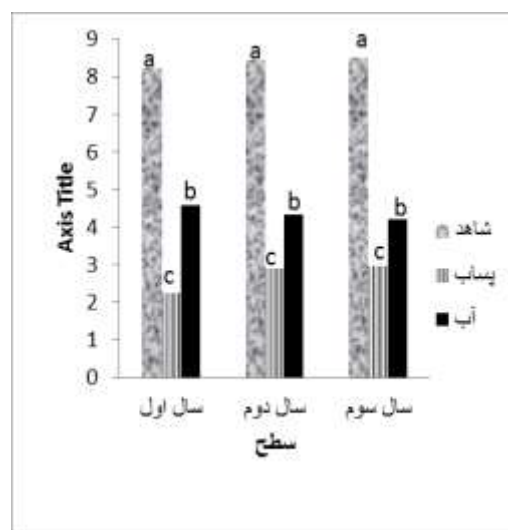
معمولی سبب افزایش هدایت الکتریکی لایه عمقی نسبت به لایه سطحی شده است که از دلایل این افزایش شسته شدن املاح و انتقال آن به عمق خاک است. این درحالیست که آبیاری با پساب در دو عمق مورد بررسی در کلیه سال‌های مورد مطالعه تغییرات چندانی را نشان نداد. براساس نتایج بدست آمده از شکل ۵ و ۶ می‌توان نتیجه گرفت عدم وجود آیشویی و انتقال عناصر خاک در منطقه شاهد از دلایل عدم تغییر در میزان هدایت الکتریکی خاک است.

مقدار سدیم محلول خاک



شکل ۸- سدیم محلول خاک در عمق ۳۰-۶۰ سانتی متر

Figure 8. Soil soluble sodium at a depth of 30-60 cm

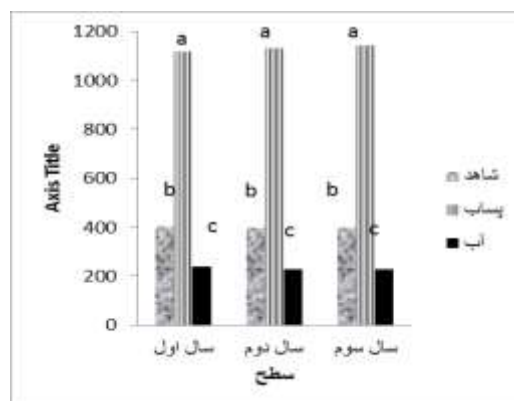


شکل ۵- هدایت الکتریکی خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی متر

Figure 5. Electrical conductivity at a depth of 0-30 cm

بر اساس شکل ۵ که آزمون مقایسه میانگین هدایت الکتریکی خاک را در عمق ۰-۳۰ سانتی متر نشان می‌دهد. در سال اول آبیاری با پساب و آب معمولی نسبت به شاهد سبب کاهش مقدار اسیدیته شده است و این کاهش معنی‌دار بود. همچنین بین تیمار پساب و آب معمولی نیز اختلاف معنی‌دار بوده است. براساس نتایج بدست آمده از سال دوم به بعد زمین تحت آبیاری با تیمار آب معمولی در عمق سطحی سبب کاهش مقدار هدایت الکتریکی آن شد ولی بین این تیمار در سال‌های مختلف اختلاف معنی‌دار نشد.

شکل ۶ آزمون مقایسه میانگین هدایت الکتریکی خاک در عمق ۳۰-۶۰ سانتی متر را نشان می‌دهد و طبق آن بیشترین مقدار هدایت الکتریکی در تیمار آبیاری با آب بوده است. آبیاری با آب



شکل ۷- سدیم محلول خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی متر

Figure 7. Soil soluble sodium at a depth of 0-30 cm

نتایج حاصل از مقایسه میانگین در عمق ۰-۳۰ سانتی متر در مناطق مورد بررسی از نظر میزان سدیم خاک اختلاف معنی-داری را نشان داد (شکل ۷). همچنین نتایج مقایسه میانگین در سال اول آزمایش نشان داد میزان سدیم خاک در تیمار آبیاری با فاضلاب باعث افزایش این مقدار شده است و بین تمام تیمارها این اختلاف معنی دار است. نتایج نشان داد در سال دوم و سوم نیز بیشترین مقدار سدیم در تیمار پساب بود و بین تمام این تیمارها در این سالها اختلاف معنی دار بود. براساس نتایج آنالیز پساب می توان نتیجه گرفت افزایش مقدار سدیم خاک تحت این تیمار به دلیل وجود مقدار زیاد سدیم نسبت به آب معمولی بوده است (جدول ۲).

شکل ۸ آزمون مقایسه میانگین سدیم خاک را در عمق ۳۰-۶۰ سانتی متر مشخص کرده است. نتایج نشان داد در سال اول آبیاری در این عمق نیز پساب سبب افزایش سدیم شد. همچنین در سالهای بعد نیز مقدار سدیم تحت آبیاری با این تیمار افزایش داشت اما این افزایش معنی دار نبود. کمترین مقدار سدیم در منطقه شاهد دیده شد.

بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه مشخص گردید که پساب خروجی از تصفیه خانه مقادیر زیادی از عناصر مغذی که می تواند مورد استفاده گیاه قرار بگیرد را داراست و کاربرد آن هم بعنوان منبع آب جایگزین برای گیاه مناسب است هم بعنوان تامین کننده منبع غذایی برای گیاهان مفید است همچنین باعث بهبود حاصلخیزی خاک می گردد. یکی از مهمترین خصوصیات شیمیایی خاک اسیدیته آن است که حضور بسیاری از پارامترهای شیمیایی دیگر خاک و مقدار و سرعت رشد گیاه همچنین حیات موجودات زنده خاک و میزان دستیابی به مواد مغذی خاک بوسیله گیاه وابسته به آن است (۱۷ و ۱۸). در این پژوهش براساس نتایج حاصل از آنالیز واریانس یکطرفه میزان pH در لایه های عمقی خاک اختلاف معنی داری ندارد. علت آن لجن فاضلاب و اسیدهای آلی و سایر ترکیبات اسیدزا موجود آن می تواند باشد. در یک آزمایش دیگر اثر لجن پساب کارخانه پلی اکریل روی

خصوصیات خاک مطالعه شد. در آنجا با بکارگیری ۴۵ تن در هکتار از لجن پساب این مجتمع، توانستند اسیدیته خاک را ۱/۸ واحد در مقایسه با نمونه شاهد کم کنند اما در نهایت مقدار تفاوت حاصله معنی دار نبود (۱۹ و ۲۰). هدایت الکتریکی خاک در این تحقیق طی مدت سه سال مطالعه شد. نتایج مشخص کرد هدایت الکتریکی خاکی که با فاضلاب آبیاری شده است در مقایسه با نمونه های شاهد کاهش محسوسی یافته و از نظر آماری اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد در نمونه های آبیاری شده با فاضلاب در هدایت الکتریکی خاک دیده می شود. این نتیجه شبیه با مطالعه زمانی و همکاران (۲۰) بود. بگونه ای که در بررسی بکارگیری لجن پساب مجتمع پلی اکریل بر روی خصوصیات خاک، این نتیجه بدست آمد که مقدار هدایت الکتریکی اشباع بعلت اضافه شدن لجن فاضلاب به خاک کاهش پیدا کرده است. در آزمایش دیگری که با هدف بررسی اثر ۹ سال آبیاری با پساب بر خصوصیات خاک در منطقه شمال اصفهان انجام شد به این نتیجه رسیدند که فاضلاب سبب کاهش مقدار هدایت الکتریکی نسبت به آب چاه شده است (۲۱). نتایج آزمایش مشخص کرد که آبیاری با فاضلاب باعث افزایش میزان سدیم محلول خاک گردیده است بطوری که آبیاری با پساب در مقایسه با نمونه شاهد مقدار سدیم محلول خاک را در عمق ۰-۳۰ سانتی متر به میزان ۰/۶۳ در واحد خودش افزایش داد و بین تمام تیمارها در دو عمقی که مورد بررسی قرار گرفت، اختلاف معنی دار بود. حسین پور نیز در آزمایش خود نشان داد که در طول زمان با کاربرد بیشتر فاضلاب میزان درصد انتقال آن ها در زه آب های خروجی خاک افزایش یافته است به طوری که روند تغییر مقدار آن ها در طول زمان همواره افزایشی است (۲۲ و ۲۳). اما امام قلی در ارزیابی اثر پساب شهری بر خصوصیات شیمیایی خاک مشخص کرد که آبیاری با فاضلاب سبب کاهش سدیم محلول نسبت به مکان شاهد شده است (۱۳). در این تحقیق آبیاری با پساب منجر به انتقال مجموع کلسیم و منیزیم محلول به خاک شده است و در عمق ۰-۶۰ سانتی متر مقدار آن افزایش پیدا کرده است. نتایج نشان داد در عمق های مورد بررسی بین تیمارها اختلاف

- and long term treated municipal wastewater application: a case study of gabes perimeter, Tunisia. *Applied Soil Ecology*, vol. 182.
2. Belaid, N., Feki, S., Chekneane, B., Frank-Neel, C., Baudu, M., 2019. Impact of irrigation systems on vertical and lateral metals distribution in soils irrigated with treated wastewater: case study of elhajeb-sfax. *Agricultural Water Management*, vol. 225.
 3. HoosseinOghli, A., 2002. The use of domestic sewage and wastewater treatment plants in irrigation of agricultural products and artificial feeding of underground water tables, phd thesis, Tehran university. (In Persian)
 4. Moazed, V., Hanifeloo, A., 2002. Evaluation of the quality of the incoming and outgoing wastewater of the wastewater treatment plant west of Ahvaz city for reuse in agriculture. Proceedings of the first national conference on management of irrigation and drainage networks. (In Persian)
 5. Fatta, D., Kythreotou, N., 2005. Wastewater as Valuable Water Resource Concerns, Constraints and Requirements Related to Reclamation, Recycling and Reuse. IWA International Conference on Water Economics, Statistics and Finance, Greece.
 6. Zaman, M., Matsushima, M., Chang, SX., Inubushi, K., Nguyen, L., Goto, S., Kaneko, F., Yoneyama, T., 2004. Nitrogen mineralization, N₂O production and soil microbiological properties as affected by longterm applications of sewage sludge

معنی دار است بجز تیمار آب آبیاری و شاهد در عمق سطحی، که این اختلاف معنی دار نبود علت آن تا حد زیادی با جنس خاک منطقه مورد مطالعه و نفوذپذیری آن که سبب عدم نگهداشت پساب در لایه‌های سطحی می‌گردد مرتبط است. در مجموع آبیاری با پساب سبب افزایش میزان مجموع کلسیم و منیزیم محلول خاک نسبت به منطقه شاهد شده است. تحقیقات صالحی و همکاران نیز نشان داد که آبیاری با فاضلاب شهری سبب افزایش غلظت کلسیم و منیزیم خاک نسبت به ناحیه آبیاری شده با آب چاه گردیده است که با نتایج این بررسی مطابقت دارد (۱۱). خصوصیات کلی منطقه مورد مطالعه، آب و هوای خشک با میانگین بارندگی کم و شدت تبخیر سطحی بالا از خاک است. بنابراین کاربرد پساب تصفیه شده همراه با پایش هدفمند برای آبیاری مزارع راه حل مناسبی جهت مقابله با کمبود منابع آبی بنظر می‌رسد. خاک منطقه مورد مطالعه نفوذپذیری سطحی بالایی دارد و بخش زیادی از پساب تصفیه شده بیشتر در قسمت‌های عمقی می‌ماند همچنین با افزایش تکرار آبیاری میزان تجمع مواد مغذی حاصل از فاضلاب نیز افزایش می‌یابد. با توجه به شوری ذاتی خاک منطقه، آبیاری با پساب نشان داد که اسیدیته خاک در نتیجه فاضلاب تصفیه شده ورودی به خاک با گذشت زمان اندکی افزایش یافته است ولی کیفیت خاک از این نظر تغییر نامناسبی نمی‌کند. اما در کنار استفاده از منابع آبهای نامتعارف جهت آبیاری، عواملی همچون تغییر الگوی کشت، استفاده از روشهای آبیاری جدید و اولویت بندی در نوع استفاده از منابع آب در دسترس، می‌توانند تا حد زیادی مشکل محدودیت و کمبود آب را در ناحیه مورد مطالعه و اقلیم خشک رفع کنند و در حفظ کیفیت و احیای خاک در اعماق مختلف در طول زمان نیز موثر باشند.

References

1. Ammeri, RW., Hidri, Y., Souid, F., Simeone, GD., Hajjaji, F., Moussa, M., Hassen, A., Eturki, S., 2023. Improvement of degraded agricultural soil in an arid zone following short-

- reclamation of desert lands on some chemical characteristics of soil and vegetation (case study: Isfahan's Segzai plain), MSc thesis, Tehran university. (In Persian)
14. Sparks, DL., 1996. Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Madison.
 15. APHA, 2012, Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater.
 16. Wastewater output standard, 1994, Environmental Organization research assistant. (In Persian)
 17. Guidi, G., Pagliai, M., Giachetti, M., 1983. Modifications of some physical and chemical soil properties following sludge and compost application. Dordrecht, Netherlands.
 18. Ghollarata, M., Raiesi, F., 2007. The adverse effects of soil salinization on the growth of *Trifolium alexandrinum* L. and associated microbial and biochemical properties in a soil from Iran. *Soil Biol. Biochem*, vol, 39, pp.1699–1702.
 19. Bahremand, M., Efyoni, M., Hajabasi, A., Rezainejad, y., 2002. Effect of sewage sludge on soil physical properties. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. pp. 1-8. (In Persian)
 20. Zamani, J., Efyoni, M., Khoshgoftarmanesh, A., Eshghizadeh, H., 2010. Effect of sewage sludge plant Pliyakril, municipal solid waste compost and cow manure on soil properties and yield of corn. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences*, pp.154-163. (In Persian)
 - composts. *Biology and Fertility of Soils*, vol,40, pp.101-109.
 7. Xiuli, Li., XU, Wu., 2021. Study on the Effects of Sewage Irrigation on Soil. *Nature Environment and Pollution Technology*, vol. 20, No.1, pp, 335-340.
 8. Selivanovskaya, SYu., Latypova, VZ., Kiyamova, SN., Alimova, FK., 2001. Use of microbial parameters to assess treatment methods of municipal sewage sludge applied to grey forest soils of Tatarstan, agriculture. *Ecosystems and Environment*, vol. 86, pp.145-153.
 9. Nadi, Z., Raeesi, F., Hosseinpour, A., 2002. The effect of raw and treated industrial effluents on the enzymatic activity of a silty clay in laboratory conditions. *Journal of water and sewage*, vol. 1, pp. 93-100. (In Persian)
 10. Sheshma, B., Ankita, S., Sharma, S., Kholvar, K., Mandawat, B., Agarwal, V., Bargoutya, Y., 2022. Effect of Sewage on Soil Properties. *International journal of Management, Technology and Engeeniring*, vol. 4.
 11. Salehi, A., Tabari, M., Mohammadi, J., Aliarab, A., 2004. The effect of irrigation with municipal wastewater on the soil and growth of pine trees in Tehran. *Iranian Forest and Spruce Research Quarterly*, vol.2, pp. 186-196. (In Persian)
 12. Abedi-koupai, j., 2001. Influence of treated wastewater and irrigation systems on soil physical properties in Isfahan province. ICID International workshop on wastewater reusemanagement. Sep. 19-20. Seoul, Korea. 165-173.
 13. Emamgholi, M., 2012. Evaluating the effect of urban wastewater in

- and Drainage Journal of Iran, vol. 2, pp. 73-85. (In Persian)*
23. Yazdani, V., Ghahraman, B., Davari, K., Fazeli, E., 2014. The effect of wastewater on physical and chemical properties of soil. *Environmental Science and Technology Quarterly, vol. 16, pp. 543-558. (In Persian)*
21. Shahraki, F., Mahdavi, R., 2001. The effect of irrigation with wastewater on some physical and chemical properties of soil. *Journal of water and sewage, vol. 53, pp. 23-29. (In Persian)*
22. Hosseinpoor, A., Haghnia, GH., Alizadeh, A., Fottovat, A., 2004. The effect of irrigation with sewage and urban effluent on some chemical properties of soil at different depths in two conditions of continuous and intermittent waterlogging. *Irrigation*