

تأثیر کاربرد پساب صنعتی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و رشد و عملکرد گیاه تربچه (*Raphanus sativus*)

The Effect of Applied Wastewater on Soil Chemical Characteristics and Productivity of Radish (*Raphanus sativus*) Plant

قاسم رحیمی^{۱*}، لیلی امرایی^۲، صفر معروفی^۳ و علیرضا کیمیایی^۴ طلب

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۱۹

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۷/۲۱

چکیده

با وجود محدودیت منابع آب در بخش کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، استفاده از پساب‌ها ممکن است راهکاری مناسب برای جبران بخشی از این معضل عمومی باشد. کاربرد پساب به‌ویژه در طولانی‌مدت ممکن است بر ویژگی‌های شیمیایی خاک تأثیرگذار باشد. هدف این تحقیق بررسی اثر پساب حاصل از تصفیه خانه شهرک صنعتی بوعلی بر تعدادی از ویژگی‌های شیمیایی خاک و عملکرد گیاه تربچه (*Raphanus Sativus*) بود. آزمایش گلدانی در چهارچوب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و آبیاری با درصدهای مختلف پساب (۰، ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪، ۱۰۰٪) انجام گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از تیمارهای آبیاری سبب افزایش معنی‌دار اسیدیت، هدایت الکتریکی، سدیم محلول و تبادل، نسبت جذب سدیم، کلسیم و منیزیم محلول، فسفر قابل جذب و آنیون‌های کلر، سولفات و بی‌کربنات خاک شد، با وجودیکه غلظت فراهم عناصر سنگین در خاک آبیاری شده با پساب بیشتر از غلظت این عناصر در خاک آبیاری شده با آب شرب بود، ولی مقدار آنها از حدود بحرانی عناصر سنگین در خاک کمتر بود. حداکثر و حداقل عملکرد تربچه، به ترتیب در تیمار ۵۰ و ۱۰۰ درصد مشاهده شد. آبیاری با پساب بر غلظت عناصر سنگین در گیاه تربچه (غده و اندام هوایی) مؤثر نبود ولی بر غلظت سدیم، فسفر و پتاسیم تأثیر معنی‌داری داشت. غلظت سدیم در غده و اندام هوایی تربچه در کلیه تیمارهای آزمایشی روند افزایشی نشان داد درحالی‌که غلظت پتاسیم روند کاهشی نشان داد، همچنین غلظت فسفر در تیمارهای آزمایشی روند منظمی نداشت و حداکثر غلظت آن در تیمار ۵۰ درصد و حداقل آن در تیمار ۱۰۰ درصد بود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، تربچه، پساب صنعتی، عناصر سنگین

۱. استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۳. استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۴. کارشناس ارشد محیط زیست، شرکت شهرک‌های صنعتی استان، همدان

Email: ghasemr@gmail.com

* نویسنده مسئول

مقدمه

رشد روزافزون جمعیت جهان، همگام با فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی از یک سو و خشکسالی‌های پی‌درپی در اکثر کشورهای واقع در کمربند خشک جهان از سوی دیگر، موجب شده است در سال‌های اخیر تقاضا برای مصرف آب افزایش یابد و در نتیجه فشار بیش از اندازه به منابع آب گردد (شوال^۱ و همکاران، 1986)، از این‌رو استفاده از منابع جدید آب به‌طوری‌که هم از جنبه‌ی اقتصادی و هم در توسعه‌ی کشاورزی مؤثر باشد در سالیان اخیر مورد توجه قرار گرفته است (هیسسم^۲ و همکاران، 2011). روش‌های جایگزین رایج برای منابع آب کشاورزی شامل نم‌زدایی از آب‌های شور و همچنین استفاده‌ی مجدد از فاضلاب‌های شهری و صنعتی می‌باشد (برنر^۳ و همکاران، 2000).

بسته به نیاز جامعه و چگونگی اقلیم هر منطقه، راه‌های به-کارگیری پساب تصفیه شده متفاوت می‌باشد. از پساب می‌توان در کشاورزی، صنعت، افزایش توان آبدهی سفره‌های زیرزمینی و رودخانه‌ها سود جست (صفری‌سنجانی، ۱۳۷۴، جیان شو^۴ و همکاران، 2010). بررسی‌ها نشان داده است که مؤثرترین و بهترین گزینه‌ی استفاده از فاضلاب پس از انجام مراحل قراردادی تصفیه، کاربرد آن در کشاورزی است (ناصری، ۱۳۷۸).

فاضلاب به ضایعات حاصل از مصرف آب در زندگی روزمره انسان (مصارف صنعتی، کشاورزی و خانگی) گفته می‌شود که دارای بیش از ۹۹ درصد آب و کمتر از ۱ درصد آن مواد جامد می‌باشد، که بخشی از آن مواد آلی و بخش دیگر مواد معدنی به حالت محلول یا معلق در آب است (حسینیان^۵، 1996؛ متکالف و ادی^۶، 2003). بخش عمده‌ای از این مواد جامد به روش‌های مختلف از فاضلاب جدا شده و بخش جامد فاضلاب یا لجن فاضلاب را تشکیل می‌دهد. آب حاصل از تصفیه فاضلاب نیز پساب نامیده می‌شود که ارزان‌ترین منبع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا محسوب می‌شود. بهره‌برداری از این آب می‌تواند تا حدودی کمبود آب را در این مناطق جبران کند و به‌علت وجود عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف موجود در آن، کاربرد آن در کشاورزی می‌تواند هزینه‌های کوددهی را کاهش داده و سبب افزایش عملکرد محصول نیز

شود (متکالف و ادی، 2003)، و در عین حال می‌تواند به‌عنوان یک روش دفع امن محیطی برای پساب‌های تصفیه شده به‌کار رود (جیان‌شو و همکاران، 2010).

از مشکلات احتمالی کاربرد فاضلاب تصفیه شده در آبیاری، تأثیر احتمالی آن بر ویژگی‌های شیمیایی خاک می‌باشد. چنانچه غلظت برخی از عناصر موجود در فاضلاب تصفیه شده از مرز استاندارد بیشتر باشد، غلظت این عناصر نیز به تدریج در خاک افزایش یافته و از حد آستانه تحمل گیاه فراتر خواهد رفت. در عین حال ممکن است موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی و بروز مشکلات زیست‌محیطی شوند. تجمع املاح و نمک‌ها موجب شور شدن خاک‌ها و کاهش حاصلخیزی آن می‌شود. تجمع بیش از حد برخی عناصر نیز می‌تواند برای گیاهان ایجاد مسمومیت کند. دانستن واکنش متفاوت گیاهان به تغییراتی که در نتیجه استفاده از پساب‌ها به‌ویژه پساب صنعتی در خواص فیزیکی و شیمیایی خاک بوجود می‌آید، امری حائز اهمیت است (مارتینز^۷، 1999).

عناصر معدنی و آلی موجود در پساب‌های بازیافتی با ذرات خاک، فعل و انفعالات بسیار پیچیده‌ای انجام می‌دهند که در صورت عدم‌رعایت مدیریت‌های لازم ممکن است به تخریب خاک منتهی گردد. استفاده از پساب کاهش اسیدیته، افزایش شوری، افزایش عناصری چون سدیم، کلسیم، منیزیم و کلر در محلول خاک و افزایش نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و عناصر سنگین را به‌دنبال داشته است (پروان، ۱۳۸۳). کلی^۸ و همکاران (2010) با بررسی اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده روی خصوصیات شیمیایی خاک‌های ایزوهیومیک (خاک‌های با اسیدهیومیک یکسان) نشان دادند که آبیاری با فاضلاب تصفیه شده می‌تواند شوری و فلزات سنگین خاک را افزایش دهد. کالاوروزیوتیس^۹ و همکاران (2008) در تحقیقی گلخانه‌ای در کشور یونان نتیجه گرفتند که استفاده از فاضلاب تصفیه شده شهری برای آبیاری دو گیاه کلم گل و کلم بروکسل به‌طور معنی‌دار محتوی فسفر، روی، کادمیوم و اسیدیته خاک را افزایش داده است. لویز^{۱۰} و همکاران (2006) نشان دادند، استفاده از پساب برای آبیاری درختان زیتون با توجه به حجم آب مصرفی به‌خصوص در تابستان باعث افزایش سدیم، کلسیم، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در خاک گردید. چن^{۱۱} و همکاران (1994) نشان دادند در اثر کاربرد پساب صنعتی در

7. Martinez

8. Klay

9. Kalavrouziotis

10. Lopez

11. Chen

1. Shuval

2. Hayssam

3. Brenner

4. Jian xu

5. Hoseynian

6. Metcalf and Eddy

شایان ذکر است که به منظور کاهش اثرات سوء پساب بر جوانه‌زنی، آبیاری گلدان‌ها تا قبل این مرحله با آب معمولی صورت گرفت. گیاه تربچه در انتهای فصل رشد برداشت شده پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا به دو بخش غده و اندام هوایی تقسیم شد. هر یک از نمونه‌ها به خوبی با آب معمولی و اسیدکلریدریک ۰/۱ مول و سپس دوبار با آب معمولی و آب مقطر شستشو داده شدند (عرفانی‌آگاه، ۱۳۷۸). سپس نمونه‌های هوا خشک شده و به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و نهایتاً توسط آسیاب پودر شده و غلظت عناصر مختلف در آن اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت برخی از فلزهای سنگین و عناصر سدیم، فسفر و پتاسیم در نمونه‌های گیاهی از روش فیگور^۱ و همکاران (۲۰۰۸) استفاده شد. غلظت عناصر سنگین در گیاه، به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی، فسفر آن به وسیله روش رنگ‌سنجی و با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر و پتاسیم و سدیم توسط دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری گردید (پیترسون و نیدنز^۲، ۱۹۹۰).

برای تعیین ویژگی‌های شیمیایی خاک، بعد از پایان رشد و نمو گیاه (بعد از برداشت) از خاک گلدان‌ها نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه هوا خشک گردیده و جهت انجام آزمایش‌های مربوطه از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند در نهایت اسیدیت به کمک دستگاه اسیدیت‌سنج، شوری با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی، درصد ماده آلی خاک به روش اکسیداسیون تر، فسفر قابل جذب به روش اولسن و همکاران، کلر به وسیله تیتراسیون با نیترات نقره (پیچ^۳ و همکاران، ۱۹۸۲)، کربنات و بی‌کربنات به روش تیتراسیون، سولفات به روش کدورت‌سنجی (پیچ و همکاران، ۱۹۸۲)، کاتیون‌های محلول و تبادل کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم به روش راول^۴ و همکاران (۱۹۹۴) و غلظت قابل دسترس فلزهای سنگین به روش DTPA (لیندزی و نورول^۵، ۱۹۷۸) اندازه‌گیری شد. داده‌های به دست آمده براساس طرح کاملاً تصادفی توسط نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل آماری شدند و میانگین‌ها توسط آزمون چنددامنه دانکن مقایسه گردید.

تایوان بسیاری از اراضی کشاورزی به فلزات سنگین آلوده و غیرقابل استفاده شده است.

فیضی (۱۳۸۰) در مقایسه تأثیر پساب فاضلاب و آب چاه بر خاک منطقه شمال اصفهان نشان داد که هدایت الکتریکی، اسیدیتیه و نسبت جذب سدیم با شوری آب مصرفی ارتباط نزدیکی دارد. او غلظت عناصری از قبیل سرب، روی، منگنز، مس و آهن در خاک (عمق ۰ تا ۴۰ سانتی‌متری) آبیاری شده با پساب فاضلاب را بیشتر از خاک‌های آبیاری شده با آب چاه گزارش کرده است. اگرچه تفاوت معنی‌داری بین تیمارها گزارش نشده است. با توجه به مطالب ذکر شده و با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران و کاهش ذخایر سفره‌های آب زیرزمینی استان همدان، ضرورت استفاده بهینه از همه منابع آب از جمله پساب صنعتی ضروری به نظر می‌رسد. لذا امکان استفاده از پساب شهرک صنعتی بوعلی برای آبیاری زمین‌های کشاورزی و همچنین تأثیر کاربرد آن روی برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک و رشد محصول تربچه از اهم اهداف این تحقیق بوده است.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، پساب تصفیه شده از شهرک صنعتی بوعلی همدان تأمین گردید. این تصفیه‌خانه واقع در ۱۲ کیلومتری شمال شرقی استان همدان می‌باشد که فرایند تصفیه شامل دو لاگون هوادهی از نوع اختلاط کامل به صورت سری و به دنبال آن لاگون ته‌نشینی و فرایند کلرزنی می‌باشد. همچنین به‌عنوان تیمار شاهد از آب شرب استفاده گردید. ویژگی‌های شیمیایی آب و پساب در فصل رشد و به‌طور ماهیانه اندازه‌گیری شد (جدول ۱). خاک مورد استفاده (بافت شنی لومی) برای انجام این پژوهش نیز از مزارع کشاورزی اطراف شهرک صنعتی بوعلی تأمین شد، که برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد استفاده (قبل از کشت) در جدول ۲ نشان داده شده است. این پژوهش به‌صورت گلدانی و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار شامل تیمار شاهد (T₁)، ۲۵٪ پساب + ۷۵٪ آب آبیاری (T₂)، ۵۰٪ پساب + ۵۰٪ آب آبیاری (T₃)، ۷۵٪ پساب + ۲۵٪ آب آبیاری (T₄) و ۱۰۰٪ پساب (T₅) در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا انجام شد. خاک مذکور در گلدان‌های ۱۰ کیلوگرمی برای کشت تربچه (*Raphanus sativus*) مورد استفاده قرار گرفت. جهت انجام کشت، بذور تربچه، در عمق ۵/۰ سانتی‌متری گلدان‌ها کاشته شد و آبیاری تربچه با پساب حاصل از تصفیه براساس نیاز آبی گیاه در طول دوره‌ی رشد انجام شد،

1. Figueroa
2. Peterson and Knudsen
3. Page
4. Rowell
5. Lindsay and Noryell

نتایج و بحث

کیفیت پساب

به منظور بررسی کیفیت پساب صنعتی حاصل از تصفیه جهت استفاده در آبیاری، برخی از ویژگی‌های شیمیایی مانند ویژگی‌های مربوط به شوری و قلیائیت، برخی عناصر غذایی پرمغذی و ریزمغذی و همچنین فلزات سنگین آن در طول دوره‌ی رشد گیاه تربچه اندازه‌گیری شد که میانگین نتایج آن در جدول (۱) نشان داده شده است. با مقایسه میانگین ترکیب شیمیایی پساب با استاندارد خروجی فاضلاب‌ها (سازمان حفاظت محیط‌زیست، ۱۳۷۳)، حدود توصیه شده سازمان خوار و بار جهانی^۱ (۱۹۸۵) و جدول رهنمودهای آیرز و وستکات^۲ (۱۹۸۵) مشخص شد که اسیدیتیه پساب در محدوده‌ی مجاز است و محدودیتی جهت بهره‌برداری از پساب ایجاد نمی‌کند. هدایت‌اکتریکی پساب طبق حدود توصیه‌ای سازمان خوار و بار جهانی (۱۹۸۵) و جدول رهنمودهای آیرز و وستکات (۱۹۸۵) در مقایسه با حدود توصیه‌ای فراتر از حداکثر مقدار مجاز برای آبیاری بوده و دارای محدودیت شدید برای آبیاری می‌باشد، بنابراین پساب از جهت غلظت کل املاح محلول (TDS) نیز دارای محدودیت زیاد می‌باشد و در استفاده از آن در آبیاری باید به مشکلات تجمع املاح در خاک توجه داشت.

از نظر پارامتر اکسیژن‌خواهی شیمیایی^۳ (COD) و اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی^۴ (BOD) برای کلیه مصارف پساب (تخلیه به آب سطحی، چاه جاذب یا استفاده به‌عنوان آبیاری در امور مربوط به کشاورزی) دارای محدودیت شدید می‌باشد. بی‌کربنات پساب بر طبق نظر آیرز و وستکات (۱۹۸۵) در آبیاری بارانی دارای پیامد متوسطی برای گیاهان حساس می‌باشد. غلظت کلر پساب بر طبق استاندارد خروجی فاضلاب‌ها (سازمان محیط زیست، ۱۳۷۳) برای کلیه مصارف پساب دارای محدودیت شدید بود، همچنین براساس نظریه آیرز و وستکات (۱۹۸۵) استفاده از پساب برای آبیاری بارانی و سطحی دارای محدودیت شدید می‌باشد. ضمن اینکه غلظت کلر پساب می‌تواند علائم مسمومیت را حتی در گیاهان مقاوم ظاهر سازد. غلظت سولفات پساب بر طبق استاندارد خروجی فاضلاب‌ها (سازمان محیط زیست، ۱۳۷۳)، در محدوده‌ی مجاز است و محدودیتی جهت بهره‌برداری از پساب ایجاد نمی‌کند. غلظت عناصر غذایی اندازه‌گیری شده مانند فسفر، کلسیم، منیزیم و

پتاسیم در پساب مورد مطالعه قابل توجه بود. ضمن این که طبق استاندارد سازمان محیط زیست ایران غلظت کلسیم برای تخلیه به آب سطحی و چاه جاذب دارای محدودیت می‌باشد. از جنبه‌ی سمیت یون‌های خاص، بر طبق نظر آیرز و وستکات (۱۹۸۵) سدیم در آبیاری سطحی با این پساب می‌تواند پیامد بسیار شدیدی بر گیاهان حساس و آسیب‌پذیر داشته باشد، همچنین در آبیاری بارانی می‌تواند به گیاهان حساس آسیب برساند. برای تأثیر میزان یون سدیم موجود در پساب روی نفوذپذیری و ساختمان خاک نسبت جذب سدیم (SAR) محاسبه شد، که بر این اساس پساب مورد مطالعه با دارا بودن نسبت جذب سدیم ۱۳/۰۴ و هدایت الکتریکی (۵/۵) دسی-زیمنس بر متر، طبق رهنمودهای آیرز و وستکات (۱۹۸۵) از جنبه‌ی نفوذپذیری پیامد بدی بر خاک نخواهد داشت. غلظت عناصر سنگین پساب بر طبق استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست (۱۳۷۳) و سازمان خوار و بار جهانی (۱۹۸۵) در حد مطلوب بودند و بنابراین برای استفاده در کشاورزی مشکل‌زا نمی‌باشند.

تجزیه شیمیایی خاک

نتایج تجزیه شیمیایی خاک نشان داد (جدول ۳) که آبیاری با پساب حاصل از تصفیه سبب افزایش معنی‌دار نسبت جذب سدیم (SAR) محلول خاک و میزان شوری خاک (EC_e) شد، به طوری که آبیاری با پساب حاصل از تصفیه در تیمار T₅ میزان SAR محلول خاک را از ۱۱/۱۴ به ۱۴/۹۹ و میزان شوری خاک را از ۰/۲ به ۲/۱۶ دسی‌زیمنس بر متر افزایش داد. می‌توان علت افزایش شوری خاک (EC_e) را در خاک‌های آبیاری-شده با پساب وجود املاح فراوان در پساب و اضافه شدن آنها در طول دوره‌ی رشد دانست (مارتتر^۵، ۲۰۰۱؛ عرفانی‌آگاه، ۱۳۷۸)، همچنین افزایش میزان SAR محلول خاک نیز احتمالاً به دلیل بالا بودن غلظت سدیم موجود در پساب به‌کار رفته می‌باشد. کاربرد تیمارهای (درصدهای) مختلف پساب در مقایسه با تیمار شاهد، به‌طور معنی‌داری (P ≤ ۰/۰۱) سبب کاهش اسیدیتیه خاک شد (جدول ۳) به طوری که محدوده‌ی اسیدیتیه، از ۸/۳۲ در تیمار شاهد (T₁) به ۷/۴۲ در تیماری که بیشترین مقدار پساب فاضلاب (T₅) را دریافت کرده بود تغییر یافت. این امر احتمالاً به دلیل فرایندهای پوسیدگی و تجزیه مواد آلی و همچنین اکسیداسیون مواد معدنی خاک می‌باشد، همچنین پیش‌بینی می‌شود که در دو خاک یکسان آن که

1. FAO
2. Ayers and Vescot
3. Chemical oxygen demand
4. Biological oxygen demand

5. Munther

جدول ۱: میانگین برخی از ویژگی‌های شیمیایی آب و پساب مورد آزمایش
Table 1: Mean of some chemical characteristics of water and wastewater

*مرز استاندارد پساب برای Wastewater standard limitation for		استاندارد Standard (FAO)	پساب Waste water	آب شاهد Control	واحد Units	پارامتر Parameters
تخلیه به آب‌های سطحی Conducted to surface waters	بهره‌گیری در کشاوزی و آبیاری Used for Agriculture and Irrigation					
5-9	6-8.5	6.5-8	7.02	7.45	-	pH
-	-	0.70	5.42	0.53	dS/m	EC
b	-	450	3468	339.20	mgL ⁻¹	TSS
50a	100a	-	952	-	"	BOD**
100a	100a	-	1522	-	"	COD**
-	-	-	15.23	1.33	(/.)	ESP
-	-	-	13.41	1.50	(mmol/L) ^{1,2}	ESP
75	-	-	240	140	mgL ⁻¹	SAR
100	100	-	72	12	"	Ca
-	-	-	39.13	3.54	meqL ⁻¹	Mg
-	-	-	1	0.07	"	Na
-	-	-	7	6	"	K
-	-	-	12.50	2.50	"	HCO ₃ ⁻
600b	600	4	1686	62.13	mgL ⁻¹	Co ₃ ⁻²
400b	500	-	88.50	20	"	Cl
6	-	-	116	8	"	So ₄
2	2	2	0	0	"	P
1	1	5	0.26	0.19	"	Zn
2	2	0.21	0.02	0	"	Pb
1	0.20	0.21	0	0	"	Ni
0.11	0.05	0.01	0	0	"	Cu
3	3	5	0.22	0.03	"	Cd
1	1	0.20	0.12	0.04	"	Fe

*: استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست (۱۳۷۳)

** : گرفته شده از آزمایشگاه تصفیه‌خانه شهرک صنعتی بوعلی

a: کاهش BOD پساب در مقایسه با نمونه مرکب ۲۴ ساعته ورودی نباید از ۹۰ درصد کمتر باشد

b: تخلیه با غلظت بیش از میزان مشخص شده در جدول در صورتی مجاز خواهد بود که پساب خروجی، غلظت کلراید، سولفات و مواد محلول منبع پذیرنده را در شعاع ۲۰۰ متری بیش از ده درصد افزایش ندهد

*: Standard Environmental Protection Agency (1994)

** : Taken from the laboratory Tsfyh-Khanh industrial town of Bu-Ali

a: Reduce effluent BOD compared with 24-hour composite sample inlet should be less than 90%

b: Discharge at a concentration greater than the amount specified in the table shall be permitted if the effluent concentrations of chloride, sulfate and soluble receptor locus in the 200 meter radius does not increase by more than ten percent

شورتر است، به دلیل اثر غلظت تعادلی نمک اسیدپتته کمتری داشته باشد (بوهن^۱ و همکاران، 1985). نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج پژوهش‌های آلهندز^۲ و همکاران (1995) مطابقت دارد.

براساس نتایج به دست آمد در جدول ۳، مشاهده می‌شود میزان ماده‌ی آلی در تیمارها افزایش ناچیزی یافته است ولی این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. نتایج پژوهش‌های مهید^۳ (1981)، صابر^۴ (1986) و کیزیل‌غلو و همکاران^۵ (2008) نشان‌دهنده افزایش مواد آلی خاک به دنبال کاربرد پساب می‌باشد. در حالی که در این پژوهش تیمارهای آزمایشی در مقایسه با تیمار شاهد از لحاظ ماده‌ی آلی تفاوت اندکی دارند، که شاید وابسته به بهره‌گیری کوتاه مدت از پساب باشد. روند تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) مشابه روند تغییرات ماده آلی در تیمارها بود و تحت تأثیر درصدهای متفاوت آبیاری با پساب قرار نگرفت (جدول ۳).

مقدار سدیم محلول و تبدالی خاک‌های آبیاری شده با پساب بیش از دیگر تیمارها بود که این امر خود می‌تواند توجیه‌کننده افزایش میزان شوری خاک در این تیمار باشد (جدول ۳). همچنین مقدار کلسیم و منیزیم تبدالی و محلول خاک‌های آبیاری شده با پساب در مقایسه با تیمار شاهد روند افزایشی نشان داد که این افزایش تنها در مورد کلسیم و منیزیم محلول به لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۳). تغییرات ناچیز در غلظت کلسیم و منیزیم محلول و تبدالی در تیمارهای آزمایشی احتمالاً به دلیل غلظت کم این کاتیون‌ها در پساب کاربردی می‌باشد. آبیاری با پساب سبب افزایش میزان پتاسیم تبدالی و محلول در تیمارها شد به طوری که حداکثر میزان آن در تیمار T₅ مشاهده شد هر چند بین این تیمار و تیمارهای T₃ و T₄ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

از آن جا که پتاسیم توان یونی دارد، می‌تواند به آسانی همراه با آنیون‌های محلول در خاک‌هایی با بافت سبک مانند بافت خاک آزمایش (شنی-لومی) جابه‌جا شود. ولی در خاک‌های رسی توان جابه‌جایی آن کم است و در لایه تجمع نمک‌های محلول در کانی‌های رسی خاک تثبیت می‌شود. که این نتایج با یافته‌های علیزاده (۱۳۷۸) و بوهن و همکاران (1985) نیز همخوانی دارد. شایان ذکر است که در این پژوهش پتاسیم

محلول در خاک‌های آبیاری شده با پساب که شوری بیشتری داشته‌اند، در سنجش با خاک شاهد که شوری کمتری داشت، بیشتر بود. به دلیل تعادل بین اشکال مختلف پتاسیم در خاک، ممکن است کاربرد پساب با غلظت بالای پتاسیم، سبب افزایش غلظت پتاسیم محلول خاک شود، اما افزایش موضعی غلظت پتاسیم خاک، سبب تثبیت دوباره آن در بین لایه‌های میکای هیدراته، ورمیکولیت و ایلیت شود (آرینزو^۶ و همکاران، 2009).

نتایج این پژوهش نشان داد که آبیاری با پساب تصفیه شده توانسته است میزان تجمع فسفر در خاک را افزایش دهد (جدول ۳)، که این امر می‌تواند به دلیل غلظت بالای فسفر در پساب کاربردی باشد. سوزوکی^۷ و همکاران (1992) بیان کرده‌اند که خاک کشتزارها توان زیادی در تصفیه و نگهداری فسفر حاصل از کاربرد پساب‌ها را دارند. همچنین به رقم توان تحرک و پخشیدگی کم فسفر در خاک، انباشته شدن فسفر در استفاده‌های دراز مدت از پساب برای آبیاری اراضی کشاورزی را باید در نظر داشت (کریمیان، ۱۳۷۱). نتایج حاصل از این مطالعه با پژوهش‌های تاسادیلایس و واکالیس^۸ (2003) و کیزیل‌غلو و همکاران (2008) همخوانی دارد.

کلر آنیون غالب در تیمارهای آزمایشی بود که احتمالاً به دلیل غلظت بالای کلر در پساب فاضلاب تصفیه شده کاربردی بود (جدول ۳). دانش و علیزاده (۱۳۸۷) بیان کرده‌اند که آبیاری با پساب به علت فرایند کلر زنی در تصفیه خانه‌ها، می‌تواند غلظت این عنصر را در خاک افزایش داده و به حد سمیت برای گیاهان برساند. نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج پژوهش پروان (۱۳۸۳) همخوانی دارد. همچنین روند تغییرات بی‌کربنات و سولفات در تیمارهای آزمایشی ناچیز بود و حداکثر غلظت آن‌ها در تیمار T₅ به دست آمد، هر چند بین این تیمار و تیمار T₄ اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

1. Bohn
2. Allands
3. Mahida
4. Saber
5. Kiziloglu

6. Arienzo
7. Suzuki
8. Tasadilas and Wakalis

جدول ۲: ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد آزمایش (قبل از انجام کشت)

Table 2: The chemical characteristics of investigated soil (before cultivation)

مقدار اندازه‌گیری شده	Parameters	پارامتر
7.78		اسیدیته pH
0.24		هدایت الکتریکی EC (ds/m)
0.58		مواد آلی OC (%)
16.58		ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (cmol/kg)
11.14		نسبت جذب سدیم SAR
116.5		فسفر قابل جذب (mgKg ⁻¹) Available P
2.4	Ca ²⁺	کاتیون‌های محلول (meq/l) Soluble Cations
1.4	Mg ²⁺	
2.30	Na ⁺	
0.26	K ⁺	
12.8	Ca ²⁺	
4.3	Mg ²⁺	کاتیون‌های تبادلی (cmol/kg) Exchangeable Cations
2.02	Na ⁺	
0.96	K ⁺	
0.4	SO ₄ ²⁻	آنیون‌های محلول (meq/l) Soluble anions
4.12	Cl ⁻	
5	HCO ₃ ⁻	
0	CO ₃ ²⁻	

نتایج با کاربرد درصدهای مختلف پساب عملکرد ماده تر و خشک تربچه تا تیمار T₃ افزایش و پس از آن کاهش یافت، هرچند روند منظمی در مورد برخی از تیمارها مشاهده نشد. بر همین مبنا می‌توان گفت که پساب حاصل از تصفیه برای آبیاری، عمدتاً به‌علت دارا بودن عناصر غذایی مختلف مورد نیاز تربچه، سبب افزایش عملکرد ماده تر و خشک گیاهی در تیمارهای T₂ و T₃ در مقایسه با تیمار T₁ شده است. پژوهش‌های انجام شده توسط باتیستا^۴ و همکاران (2010) با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. کاهش عملکرد دو تیمار T₄ و T₅ نیز احتمالاً به‌دلیل افزایش شوری خاک بوده است. شایان ذکر است که تربچه به‌علت اینکه محصول نیمه مقاومی به شوری می‌باشد تا تیمار T₃ تحت تأثیر شوری و املاح محلول خاک قرار نگرفته است، اما در دو تیمار T₄ و T₅ به‌علت افزایش هدایت الکتریکی تا ۲ دسی‌زیمنس بر متر مقدار جزیی کاهش عملکرد داشته است.

نتایج تجزیه شیمیایی خاک نشان داد که آبیاری با پساب موجب افزایش غلظت روی، سرب، کادمیوم و منگنز قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک شده است (جدول ۴). آگاروال^۱ (2002) بیان کرده است که غلظت بالای سدیم موجود در پساب و جانشینی آن در محل جذب سطحی ذرات جامد خاک می‌تواند سبب افزایش غلظت عناصر سنگین در محلول خاک شود. همچنین احتمالاً کاهش اسیدیته و کلر در تیمارهای آزمایشی در مقایسه با تیمار شاهد نیز می‌تواند دلیل دیگری برای این پدیده باشد (بینگهام^۲ و همکاران، 1984؛ لیندسی^۳، 1979). شایان ذکر است که از بین فلزات سنگین مورد بررسی غلظت مس، آهن و نیکل قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک تحت تأثیر تیمار آبیاری با پساب قرار نگرفت، هرچند تمایل مختصری به افزایش در آن‌ها دیده شد (جدول ۴).

تجزیه گیاه

نتایج مربوط به تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری روی عملکرد وزنی تربچه در جدول ۵ نشان داده شده است. براساس این

4. Batista

1. Agarval
2. Bingham
3. Lindsay

جدول ۳: میانگین ویژگی‌های شیمیایی خاک قبل و بعد از کشت

Table 3: Mean of chemical characteristics of soil, before and after cultivation

T ₅	T ₄	T ₃	T ₂	T ₁	خاک پیش از کشت Soil before cultivation	تیمار Treatment معیارهای اندازه‌گیری شده Analysed parameters
2.16 ^a	1.78 ^b	1.16 ^c	0.70 ^d	0.21 ^e	0.24	هدایت الکتریکی EC (ds/m)
7.43 ^e	7.52 ^d	7.71 ^c	8.02 ^b	8.32 ^a	7.78	اسیدیته pH
0.60 ^a	0.59 ^a	0.59 ^a	0.59 ^a	0.58 ^a	0.58	کربن آلی OC (%)
14 ^a	13.80 ^a	13.80 ^a	13.31 ^a	13.31 ^a	16.58	ظرفیت تبادل الکتریکی CEC
14.99 ^a	14.42 ^a	12.38 ^b	11.35 ^b	9.20 ^c	11.14	نسبت جذب سدیم SAR
122.36 ^a	120.67 ^b	115.46 ^c	112.27 ^d	111.41 ^d	116.50	فسفر قابل جذب Available P (mgKg ⁻¹)
19.29 ^a	14.87 ^b	8.33 ^c	5.41 ^d	3.62 ^e	4.12	Cl
0	0	0	0	0	0	HCO ₃ ⁻ آنیون‌های محلول Soluble
3.83 ^a	3.66 ^a	3.16 ^b	2.66 ^c	2.66 ^c	5	CO ₃ ⁻² (meq/l) anions
0.73 ^a	0.71 ^a	0.56 ^b	0.47 ^c	0.46 ^c	0.40	SO ₄ ⁻²
0.43 ^a	0.43 ^a	0.41 ^a	0.30 ^b	0.28 ^b	0.26	K ⁺
16.08 ^a	10.87 ^b	7.48 ^c	4.81 ^d	1.45 ^e	2.30	Na ⁺ کاتیون‌های محلول Soluble Cations
2.60 ^a	2.40 ^{ab}	2.06 ^{ab}	1.80 ^{ab}	1.66 ^b	2.41	Ca ²⁺ (meq/l)
2 ^a	2 ^a	1.86 ^{ab}	1.46 ^b	1.46 ^b	1.41	Mg ²⁺
0.94 ^a	0.94 ^a	0.93 ^a	0.83 ^b	0.83 ^b	0.96	K ⁺
1.70 ^a	1.63 ^a	1.39 ^b	1.31 ^b	1.04 ^c	2.02	Na ⁺ کاتیون‌های قابل تبادل Exchangeable Cations
12.43 ^a	12.43 ^a	12.31 ^a	12.26 ^a	12.23 ^a	12.80	Ca ²⁺ (cmol/kg)
3.96 ^a	3.91 ^a	3.83 ^a	3.82 ^a	3.80 ^a	4.30	Mg ²⁺

مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون دانکن انجام شد. در هر ستون حروف هم نام نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪ می‌باشد
Mean values followed by the same letter within a column are not significantly different at the 0.01 level, according to Duncan test

جدول ۴: میانگین غلظت برخی عناصر سنگین (استخراج با DTPA) قبل و بعد از آزمایش (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

Table 4: Mean concentration of some heavy metals (extracted by DTPA) before and after cultivation (mgKg⁻¹)

Fe	Cu	Mn	Cd	Ni	Pb	Zn	تیمارها Treatments
8.69 ^a	0.61 ^a	7.97 ^c	0.03 ^d	0.31 ^a	1.74 ^b	5.42 ^c	T ₁
9.48 ^a	0.63 ^a	8.59 ^{bc}	0.03 ^{dc}	0.31 ^a	1.82 ^{ab}	6.83 ^{bc}	T ₂
9.57 ^a	0.64 ^a	9.92 ^{ab}	0.04 ^{cb}	0.33 ^a	1.88 ^{ab}	8.10 ^{ab}	T ₃
9.80 ^a	0.69 ^a	10.18 ^a	0.04 ^a	0.42 ^a	1.98 ^a	9.54 ^a	T ₄
9.49 ^a	0.07 ^a	10.92 ^a	0.04 ^a	0.42 ^a	2.01 ^a	10.18 ^a	T ₅
10.61	0.73	12.20	0.04	0.36	2.15	8.45	قبل از کشت Soil before cultivation

مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون دانکن انجام شد. در هر ستون حروف هم نام نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪ می‌باشد
Mean values followed by the same letter within a column are not significantly different at the 0.01 level, according to Duncan test

جدول ۵. میانگین بیومس تولید شده در تیمارهای مورد مطالعه (میلی گرم بر کیلوگرم)

Table 5: Mean biomass in studied treatments (mgKg⁻¹)

وزن خشک Dry weight		وزن تر Wet weight		تیمار Treatment
غده Root	اندام هوایی Aerial part	غده Root	اندام هوایی Aerial part	
2.15 ^{ab}	2.62 ^{ab}	26.27 ^b	27.30 ^{ab}	T ₁
2.84 ^a	3.73 ^{ab}	48.34 ^a	44.41 ^a	T ₂
2.91 ^a	4.04 ^a	41.04 ^{ab}	43.33 ^a	T ₃
1.73 ^b	2.29 ^b	27.46 ^{ab}	26.89 ^{ab}	T ₄
1.81 ^b	2.10 ^b	22.91 ^b	17.80 ^b	T ₅

مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون دانکن انجام شد. در هر ستون حروف هم نام نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪ می‌باشد

Mean values followed by the same letter within a column are not significantly different at the 0.01 level, according to Duncan test

تریچه در تیمار T₃ مشاهده شد، اگرچه بین این تیمار و تیمارهای T₁ و T₂ اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد و حداقل میزان آن نیز در تیمار T₅ اندازه‌گیری شد هرچند بین این تیمار و تیمار T₄ نیز اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد، همچنین حداکثر و حداقل غلظت فسفر غده تریچه نیز در تیمارهای T₃ و T₅ به دست آمد، اما بین تیمارهای آزمایش بدین لحاظ اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱ و ۲). ژوان^۴ و همکاران (2005) بیان کردند که گیاهان رشد یافته در شرایط شوری مقدار زیادی سدیم انباشته می‌کنند که منجر به عدم تعادل یونی، اثرات ویژه یونی و نشانه‌های کمبود عناصر غذایی در گیاهان می‌شود. همبستگی مثبت و معنی‌دار میان سدیم خاک و سدیم جذب شده به وسیله گیاه نیز حاکی از این امر می‌باشد (جدول ۶).

نتایج همبستگی نیز نشان داد که بین پتاسیم خاک و پتاسیم جذب شده به وسیله تریچه همبستگی منفی و معنی‌داری دیده شد (جدول ۶). همچنین براساس شکل ۱ و ۲ مشاهده می‌شود که با افزایش جذب سدیم در تریچه، جذب پتاسیم کاهش یافت. این روند ناشی از رقابت سدیم و پتاسیم در جذب به داخل سلول می‌باشد، به ویژه زمانی که غلظت خارجی سدیم به پتاسیم زیادتر باشد. همچنین تحت شرایط شوری نه تنها رقابت یون سدیم با یون پتاسیم، بلکه تغییر در نفوذپذیری غشاء یاخته‌های ریشه نیز ممکن است باعث کاهش جذب یون پتاسیم شود.

پژوهش‌های کایا و همکاران^۱ (2007) روی کاهش عملکرد خربزه و اراسلان^۲ و همکاران (2007) روی کاهو با نتایج حاصل از این تحقیق هم‌سو می‌باشند. با افزایش شوری خاک، گیاه برای جذب مقدار معینی از آب باید انرژی حیاتی بیشتری مصرف کند. همان انرژی که گیاه برای فعالیت‌های متابولیکی خود و فرایندهایی نظیر توسعه سلولی نیازمند آن است، بدیهی است در چنین شرایطی به جهت صرف بخشی از انرژی حیاتی در جای دیگر (برای جذب آب از محلول خاک شور) رشد و نمو گیاه محدود شده و نهایتاً از میزان محصول کاسته می‌شود (همایی، ۱۳۸۱)، همچنین بر پایه نظر سیسک و کاکیرلار^۳ (2002) با شدت یافتن اثر پتانسیل اسمزی ناشی از نمک در محیط ریشه، سلول‌های ریشه قادر به جذب آب مورد نیاز نبوده و در گیاهان جذب عناصر غذایی معدنی محلول در آب محدود می‌شود. بنابراین رشدونمو گیاهان به دلیل نقص در سوخت‌وساز محدود می‌شود.

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش درصد پساب کاربردی غلظت سدیم در تیمارها افزایش چشمگیری نشان داد، به طوری که حداکثر غلظت سدیم در غده و اندام هوایی تریچه در تیمار T₅ و حداقل آن در تیمار T₁ اندازه‌گیری شد (نمودار ۱ و ۲). غلظت پتاسیم در غده و اندام هوایی تریچه روند کاهشی نشان داد، به طوری که تیمار T₁ دارای بیشترین و تیمار T₅ دارای کمترین میزان غلظت پتاسیم غده و اندام هوایی تریچه بودند (شکل ۱ و ۲)، حداکثر غلظت فسفر اندام هوایی

1. Kaya
2. Eraslan
3. Cicek and Cakilar

4. Juan

جدول ۶: ضریب همبستگی عناصر سدیم، پتاسیم و فسفر فراهم در خاک و جذب شده به وسیله گیاه

Table 6: correlation coefficient of Na, K and available P in soil and uptaken by plant

پتاسیم K		سدیم Na		فسفر P		خاک Soil
ریشه Root	اندام هوایی Aerial part	ریشه Root	اندام هوایی Aerial part	ریشه Root	اندام هوایی Aerial part	
-	-	-	-	-0.35 ^{ns}	-0.56 ^{**}	فسفر P
-	-	0.91 ^{**}	0.88 ^{**}	-	-	سدیم Na
-0.61 ^{**}	-0.75 ^{**}	-	-	-	-	پتاسیم K

** و ns به ترتیب نشان دهنده ضریب همبستگی معنی دار در سطح ۱ درصد و عدم وجود همبستگی چشمگیر از دید آماری

**Correlation coefficient is significant at the 1 % level; ns Correlation coefficient is not significant

محیط بستگی دارد. بیشتر مطالعات نشان می‌دهد که شوری، سبب کاهش غلظت فسفر در بافت می‌شود (گراتان و گریو، ۱۹۹۹؛ ناوارو^۷ و همکاران، ۲۰۰۱)، لیکن در برخی آزمایش‌ها، غلظت فسفر در بافت گیاه یا افزایش یافته و یا تحت تأثیر شوری قرار نگرفته است. نوع گیاه، شرایط محیطی و غلظت‌های متفاوت فسفر در این رابطه نقش بازی کرده و باعث به‌دست آمدن نتایج متفاوت و گاه متضاد گردیده است.

نتایج آنالیز آماری نشان داد که غلظت عناصر سنگین در اندام هوایی و غده تربچه تحت تأثیر تیمار آبیاری با پساب قرار نگرفت (جدول ۷ و ۸) و با وجود افزایش غلظت عناصر سنگین در خاک آبیاری شده با پساب این روند بر روی افزایش غلظت این عناصر در گیاه تربچه مؤثر نبود که می‌توان علت آن را دوره کوتاه کشت دانست. نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج پژوهش‌های علیزاده^۸ و همکاران (۲۰۰۱)، جاراش^۹ و همکاران (۲۰۰۰) و هنینگ^{۱۰} و همکاران (۲۰۰۱) مطابقت دارد، اما مغایر با نتایج پژوهش کلاوروزیوتیس و همکاران (۲۰۰۸) می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که از بین خصوصیات شیمیایی مورد بررسی پساب حاصل از تصفیه صنعتی شهرک بوعلی، شاخص‌های هدایت الکتریکی، غلظت کل املاح محلول، غلظت آنیون‌های کلر و بی‌کربنات، غلظت کاتیون سدیم، اکسیژن‌خواهی شیمیایی و اکسیژن‌خواهی

بررسی‌های سایر محققین افزایش یون سدیم ناشی از شوری و یا افزایش نسبت سدیم به پتاسیم در گیاهان را منجر به کاهش غلظت یون پتاسیم دانسته‌اند (بتلا^۱ و همکاران، ۲۰۰۵؛ گراتان و گریو^۲، ۱۹۹۹؛ بلوموالد^۳ و همکاران، ۲۰۰۰؛ مارسنر^۴، ۱۹۹۵؛ گرینفبرگ و همکاران^۵، ۱۹۹۵).

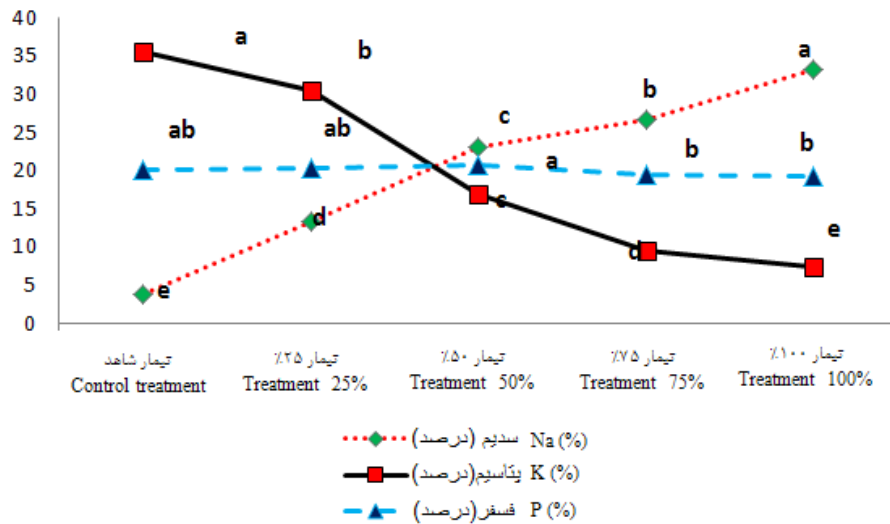
با توجه به اینکه فسفر قابل‌دسترس در خاک در کلیه تیمارها روند افزایشی داشت اما در گیاه چنین روندی دیده نشد و فقط تا تیمار ۵۰ درصد با افزایش فسفر قابل‌دسترس، جذب فسفر افزایش داشته است (شکل ۱ و ۲)، و میان فسفر قابل‌دسترس و فسفر جذب شده به‌وسیله گیاه نیز همبستگی منفی و معنی‌داری دیده شد (جدول ۶) که احتمالاً به دلیل افزایش شوری و درصد سدیم تبدلی در خاک می‌باشد. این یافته‌ها نیز با تحقیقات سایر محققین همخوانی دارد (ژوان و همکاران، ۲۰۰۵؛ آلمان^۶ و همکاران، ۲۰۰۹). شوری ممکن است باعث کاهش جریان فسفر در آوند چوبی شود، بدین‌علت که سطوح بالای نمک پویایی فسفر معدنی ذخیره شده در واکنش را کاهش می‌دهد و از این طریق سبب کاهش فسفر در گیاه می‌شود. فسفر از جمله عناصر غذایی ضروری برای رشد گیاه است که ممکن است به دلایل متعدد، دسترسی گیاه به آن در خاک‌های شور تحت تأثیر قرار گیرد. به‌طور کلی بر همکنش بین فسفر و شوری پیچیده و به میزان زیادی به گونه (یا رقم گیاه)، سن گیاه، ترکیب و سطح شوری و غلظت فسفر در

1. Botella
2. Grattan and Grieve
3. Blumwald
4. Marschner
5. Graifenberg
6. Aleman

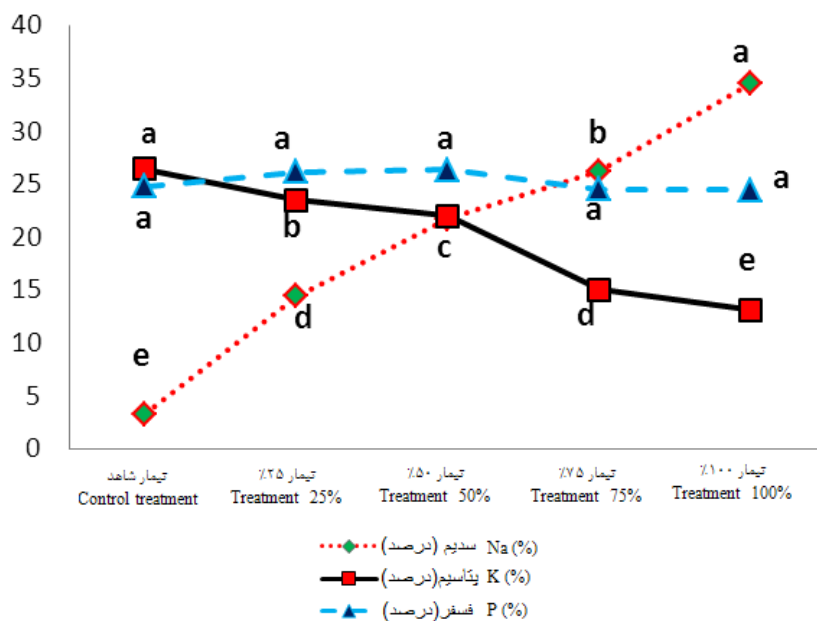
7. Navarro
8. Alizadeh
9. Jaraush
10. Henning

های گیاه پالایشی و کاشت گیاهان جاذب نمک به صورت متناوب بعد از هر کشت، استفاده از آب معمولی پس از چند مدت آبیاری با پساب و رقیق نمودن پساب اثر آن را کاهش داد.

بیولوژیکی جهت استفاده برای آبیاری محدودکننده بودند. از طرفی با وجود این که پساب مورد استفاده جزء آبهای نامناسب با سدیم بالا و شوری زیاد بود، خاکهای تحت کشت این پژوهش هم روی به شورشدن گذاشت. بنابراین بایستی با اعمال شیوههای مختلف و صحیح مدیریتی از قبیل کاربرد کوتاه مدت، کاشت گیاهان مقاوم به شوری، استفاده از روش-



شکل ۱: مقایسه میانگین غلظت عناصر سدیم، پتاسیم و فسفر در اندام هوایی تربچه در تیمارهای مورد مطالعه
 Fig. 1: Comparison of mean concentration of Na, K and P in aerial part of Radish for studied treatments



شکل ۲: مقایسه میانگین غلظت عناصر سدیم، پتاسیم و فسفر در غده تربچه در تیمارهای مورد مطالعه
 Fig. 2: Comparison of mean concentration of Na, K and P in root of Radish for studied treatments

جدول ۷: آنالیز آماری غلظت فلزات سنگین در اندام هوایی تربچه برای تیمارهای مورد مطالعه

Table 7: Statistical concentration of heavy metal in aerial part of Radish for studied treatments

منگنز Mn	آهن Fe	کادمیوم Cd	سرب Pb	نیکل Ni	روی Zn	مس Cu	درجه آزادی df	منبع تغییرات Source of variation
Ms	Ms	Ms	Ms	Ms	Ms	Ms	4	تیمار
1.87 ^{ns}	104.70 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.013 ^{ns}	0.11 ^{ns}	5.40 ^{ns}	0.04 ^{ns}	4	تیمار
1.82	93.77	0.003	0.008	0.05	1.64	0.013	10	خطای آزمایشی Experimental error
2.05	105.98	0.0039	0.008	0.04	4.14	0.03	15	خطای نمونه‌برداری Sampling error

ns: Non significant difference

ns: عدم وجود تفاوت معنی‌دار

جدول ۸: آنالیز آماری غلظت فلزات سنگین در غده تربچه برای تیمارهای مورد مطالعه

Table 8: Statistical concentration of heavy metal in root of Radish for studied treatments

منگنز Mn	آهن Fe	کادمیوم Cd	سرب Pb	نیکل Ni	روی Zn	مس Cu	درجه آزادی df	منبع تغییرات Source of variation
Ms	Ms	Ms	Ms	Ms	Ms	Ms	4	تیمار
0.59 ^{ns}	486.59 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.40 ^{ns}	27.21 ^{ns}	0.17 ^{ns}	4	تیمار
0.84	175.02	0.011	0.26	0.17	7.57	0.08	10	خطای آزمایشی Experimental error
1/86	88.77	0.012	0.65	0.09	3.85	0.07	15	خطای نمونه‌برداری Sampling error

ns: Non significant difference

ns: عدم وجود تفاوت معنی‌دار

به‌همان نسبت به گیاه تربچه منتقل نشد و نتایج نشان داد که آبیاری با پساب بر افزایش غلظت عناصر سنگین در گیاه تربچه (غده و اندام هوایی) مؤثر نبود. بدین لحاظ کاربرد آن دست کم در یک دوره کوتاه مدت تأثیر سوئی بر خاک ایجاد نمود. حتی شاید بتوان پیشنهاد داد که کاربرد توأم آب آبیاری و پساب حاصل از تصفیه (تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد) نه‌تنها از طریق تغذیه گیاه باعث افزایش عملکرد تربچه شد، بلکه از شور و سدیمی شدن خاک در درازمدت نیز ممکن است جلوگیری کند.

بهره‌گیری از پساب حاصل از تصفیه به‌عنوان یک منبع آب آبیاری، پتانسیل تأمین عناصر مغذی مورد نیاز گیاه را دارد و سبب افزایش میزان عناصر غذایی (فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) خاک شد. اگرچه کاربرد پساب صنعتی باعث افزایش معنی‌دار غلظت قابل جذب برخی از فلزات سنگین در تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش گردید، ولی غلظت قابل جذب فلزات سنگین از حدود بحرانی آنها در خاک کمتر بود. همچنین با وجود اینکه بهره‌گیری از پساب سبب افزایش غلظت فلزات سنگین موجود در خاک شد، اما این تغییر

منابع

- پروان، م. (۱۳۸۳)، اثرات آبیاری با فاضلاب تصفیه شده بر روی خصوصیات خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه فردوسی مشهد. دانشکده کشاورزی. صفحه ۸۴.
- دانش، ش. و علیزاده، ا. (۱۳۸۷)، کاربرد پساب در کشاورزی، فرصت‌ها و چالش‌ها، سمینار ملی جایگاه آب‌های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب. صفحه ۳.
- عرفانی آگاه، ع. (۱۳۷۸)، بررسی کارایی فاضلاب تصفیه شده خانگی در آبیاری زراعت کاهو و گوجه‌فرنگی، همایش جنبه‌های زیست محیطی استفاده از پساب در آبیاری، وزارت نیرو، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. صفحات ۶۱-۷۹.
- علیزاده، ا. (۱۳۷۸)، رابطه آب خاک و گیاه. مشهد. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع). ۳۵۳ صفحه.
- فیضی، م. (۱۳۸۰)، مقایسه تأثیر مصرف پساب فاضلاب و آب چاه بر روی خاک و گیاه در شمال اصفهان، گزارش نهایی طرح، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان.
- کریمیان، ن. ع. (۱۳۷۱)، شیمی خاک، تالیف بروکنورت و همکاران، مرکز نشر دانشگاهی. ۱۱۹ صفحه.
- معاونت تحقیقاتی سازمان محیط زیست. (۱۳۷۳)، استاندارد خروجی فاضلاب‌ها، انتشارات دفتر آموزش زیست‌محیطی. ۳-۵.
- ناصری، س. (۱۳۷۸)، روش‌ها و معیارهای بهداشتی مدیریت طرح‌های استفاده مجدد از فاضلاب، شماره ۳۴، ص ۲۶-۳۲.
- همایی، م. (۱۳۸۱)، واکنش گیاهان به شوری، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۹۷ صفحه.
- Agarwal, S. K. 2002. Pollution management: water pollution. A. P. H. publ New Delhi. Pp: 384.
- Aleman, F., Nieves-Cordones, M., Martinez, V. and Rubio, F. 2009. Potassium/Sodium steady-state homeostasis in *Thellungiella halophila* and *Arabidopsis thaliana* under long-term salinity condition. *Plant Sciences*. 176: 768-774.
- Alizadeh, A., Bazari, M. E., Velayati, S., Hasheminia, M. and Yaghmaie, A. .2001. Irrigation of corn with wastewater. pp. 147-154. In: Ragab, R., Pearce, G., Changkim, J., Nairizi, S. and Hamdy, A. (Eds.), ICID International Workshop on Wastewater Reuse and Management. Seoul, South Korea.
- Allhands, M. N., Allick, S. A., Overman, A. R., Leseman, W. G. and Vidak, W. 1995. Monicipal water reuse at Tallassee, Florida. *Transations. American Society of Association Executives,(ASAE)*, 38(2): 411-418.
- Arienzo, M., Christen, E. W., Quayle, W. and Kumar, A. 2009. A review of the fate of potassium in the soil-plant system after land application of wastewaters". *Journal. Hazardous Materials*. 164: 415-422.
- Ayers, R. S. and Westcot, D. E. W. 1985. *Water Quality for Agriculture*. 29 Review. 1, Food and Agriculture Organization, Rome.
- Batista, A. P., Monterio, V. H., Coelho, S. R. M. and Sampaio, S. C. 2010. The effect of fertigation with swine wastewater on yield and seed quality of dry beans. Use of manures and organic wastes to improve soil quality and nutrient balances". *Brasil. unioeste/ Western Parana State University*. 165-173.
- Bingham, F. T., Sposito, G. and Strong, J. E. 1984. The effect of chloride on the availability of cadmium. *Journal of Environmental Quality*, 13: 71-74.
- Blumwald, E., Aharon, G. S. and Apse, M. P. 2000. Sodium transport in plant cells. *Biochemica et Biophysica Acta*. 1465: 140-151.
- Bohn, H. L., Mcneal, R. J. and Oconner, G. A. 1985. *Soil chemistry*. 2nd. Ed. John Wiley and sons, New York. PP:118
- Botella, M. A., Rosado, A., Bressan, R. A. and Hasegawa, P. M. 2005. Plant adaptive responses to salinity stress In Jenks, M. A. and Hasegawa, P. M. *Plant Abiotic Stress*. Blackwell Publishing, 37-70.
- Brenner, A., Shandalov, S., Messalem, R., Yakirevich, A., Oron, G. and Rebhun, M. 2000. Wastewater reclamation for agricultural reuse in Israel: trends and experimental results. *Water air soil pollution*, 123: 167-182.
- Cachorro, P., Oritiz, A. and Cerda, A. 1993. Growth, Water relations, and solute composition of *phaseolus vulgaris* L. under saline conditions. *Plant Sciences*, 95: 23-29.
- Chen, Z. S., Lo, S. L. and Wu, H. C. 1994. Summary analysis and assessment of rural soils contamination with Cd in Toayuan. project of Scientific Technology Advisor Group(STAG), executive Yuan, Taiwan, Pp:214
- Cicek, N. and Cakirlar, H. 2002. The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. *Blug. Journal. Plant Physioly*, 28: 66-74.
- Eraslan, F., Inal, A., Savasturk, O. and Gunes, A. 2007. Changes in antioxidative system and membrane damage of lettuce in response to salinity and boron toxicity, *Scientia Horticultural*, 114: 5-10.
- FAO. 1985. *Water Quality of Agriculture*. Ayers, R. S. and Westcott, D. W. Irrigation. and Drainage. paper 29, Review, Food and Agriculture Organization, Rome, 174.
- Figuroa, J. A. L., Wrobel, K., Afton, S., Caruso, J. F. G. and Wrobel, K. 2008. Effect of some heavy metals and soil humic substance on the phytochelation production in wild plants from silver mine areas of Guanajuato, Mexico. *Chemosphere*, 70: 2084-2091.
- Graifenberg, A., Giustiniani, L., Temperini, O. and Lipucci Di Paola, M. 1995. Allocation of Na, Cl, K and Ca within plant tissue in globe artichoke under saline-sodic conditions, *Horticultural Sciences*, 63: 1-10.

- Grattan, S. R. and Grieve, C. M. 1999. Mineral nutrition acquisition and response by plants grown in saline environments. PP. 203-229. In: M. Passarakli (ed.) Handbook of plant and crop stress. Marcek Dekker, Inc. New York.
- Hayssam, M. A., Sayed, M. M., Fatma, A. H. and Mohamed, A. T. 2011. Usage of sewage effluent in irrigation of some woody tree seedlings. part3: *Swietenia mahagoni* (L.) Saudi Journal of Biological Sciences, 18: 201-207.
- Henning, B., Snyman, H. G. and Aveling, T. A. S. .2001. Plant-soil interactions of sludge-borne heavy metals and the effects on maize (*Zea mays* L.) seedling growth. Water South Africaan journal of Science. 27: 71-78.
- Hoseynian, M. 1996. Principle of liquidators of municipal sewage. Shahr-e Ab Pub, Tehran. (In Persian).
- Jaraush-wehrheim, B., Mocqut, B. and Mench, M. 2000. Distribution of sludge-borne manganese in field – grown maize. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 31: 305-319.
- Jian, Xu., Laosheng, Wu., Andrew, C. C. and Yuan, Z. 2010. Impact of long term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: A preliminary Assessment. Journal of Hazardous Materials. 183: 780-786.
- Juan, M., Rivero, M., Romero, L. and Ruiz, J. M. 2005. Evaluation of some nutritional and biochemical indicators in selecting salt-resistant tomato cultivates. Environmental and Experimental Botany, 54: 193-201.
- Kabata-pendia, A. and Pendia, H. 2001. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton London, New York, Washington, D. C.413 Pp.
- Kalavrouziotis, I. K., Robolas, P., Koukoulakis, P. H. and Papadopoulous, A. H. 2008. Effects of municipal reclaimed wastewater on the macro- and micro- elements status of soil and of *Brassica oleracea* var. Italica, and *B. oleracea* var. Gemmifera Agriculture water management, 95: 419- 426.
- Kaya, C., Tuna, A. L., Ashraf, M. and Altunlu, H. 2007. Improved salt tolerance of melon (*Cucumis melo* L.) by the addition of proline and potassium nitrate. Environmental and Experimental Botany, 60: 397-403.
- Kiziloglu, F. M., Turan, M., Sahin, U., Kuslu, Y. and Dursun, A. 2008. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *rubra*) grown on calcareous soil in Turkey. Agriculture water management. 95: 716– 724.
- Klay, S., Charef, A., Ayed, A., Houman, B. and Rezgu, F. 2010. Effect of irrigation with treated wastewater on geochemical properties (saltness, C, N and heavy metals) of isohumic soils (Zaouit Sousse perimeter, Oriental Tunisia). Desalination, 253: 180-187.
- Knudsen, D. and Peterson, G. A. 1990. Lithium, sodium and potassium. In: Page, A. L. (Ed.), Method of soil analysis. 2nd ed., American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. 40: 211-219.
- Lindsay, W. L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley and Sons Publishing., New York. p:313
- Lindsay, W. L. and Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. Environmental Pollution. 152: 686-692.
- Lopez, A., Pollice, A., Lonigro, A., Masi, S., Palesed, A. M., Cirelli, G. L., Toscano, A. and Passin, R. 2006. Agricultural wastewater reuse in southern Italy . Desalination. 187: 323-334.
- Mahida, N. U. 1981. Water pollution and disposal of wastewater on land. Tata McGraw- Hill Pupliching Company Limited New Delhi. 120: 316-322
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic press, London, England. 889 Pp.
- Martinez, J. 1999. Irrigation with saline water. Agriculture Water Management. 40: 213-225.
- Metcalf and Eddy. 2003. Wastewater Engineering, Treatment and Reuse 4th ed. McGraw-Hill International Editions, New York, 19: 99-102.
- Munther, K. 2001. Use of Treated Wastewater for Irrigation in Madaba. Environmental Health, 201: 299-302.
- Navarro, J. M., Botella, M. A., Ceda, A. and Martineze, V. 2001. Phosphorus uptake and translocation in salt-stressed melon plants. Journal of Plant Physioly, 158: 175-181.
- Page, A. L., Miller, R. H. and Keeney, D. R. .1982. The Methods of Soil Analysis part 2: Chemical and Microbiological Properties. Second Edition. Soil Science Society of American, Madison, P:175.
- Rowell, D. L. 1994. soil science methods and Application. part7. mesurement of the composition of soil solution. 146 Pp.
- Saber, M. S. M. 1986. Prolonged effect land disposal of human waste on soil condition. Water Science and Technology, 18: 371-374.
- Shuval, H. I., Adin, A., Fattal, B., Rawitz, E. and Yekutie, P. .1986. Wastewater irrigation in developing countries. The World Bank, Washington, D. C.32: 345-362
- Suzuki, T., Katsuno, K. and Yamaura, G. 1992. Land application of wastewater using three types of trenches set in lysimeters and its mass balance of nitrogen. Journal of Water Resources, 26: 1433-1444.
- Tasadilas, C. D. and Wakalis, P. S. 2003. Economic benefit from irrigation of cotton and corn with treated wastewater. Water Science and Technology, 4: 223-229.

The Effect of Applied Wastewater on Soil Chemical Characteristics and Productivity of Radish (*Raphanus Sativus*) Plant

Rahimi^{1*}, G., Amraei², L. Marofi, S.³ and Kimiyaei Talab⁴, A. R.

Abstract

Major problem in arid and semi-arid regions of the world is limited water sources in the agricultural sector. Wastewater may be used for long time in order to provide plant water with some consideration of side effects on soil chemical characteristics. The aim of this research was to investigate the effect of applied Bu-Ali industrial wastewater on some chemical properties of soil and the growth of Radish (*Raphanus Sativus*) plant. The green house experiment was conducted in a completely randomized design with three replicates for growing Radish and was irrigated with wastewater (0%, 25%, 50%, 75% and 100%). The results revealed that the applied treatments increased significantly PH, EC, soluble and exchangeable sodium, sodium absorption ratio, soluble calcium and magnesium, available phosphorous and soil anions of chloride, sulfate and bicarbonate. The total and available concentrations of heavy metals in irrigated soils were higher in comparison with tap water, however it was much less than background in which was not adverse effect on soil. The results also showed that radish yield (dry and wet) was irregular trend in which the maximum was in 50% and the minimum observed for 100% treatment. Wastewater was not affected on heavy metal concentrations of radish plant; it was affected on the concentration of sodium, phosphorus and potassium significantly. Sodium concentration in the roots and aerial parts of Radish increased in all treatments, while the potassium concentration decreased. Moreover, the concentration of phosphorus was irregular trend and it had maximum and minimum concentrations for 50% and 100% treatments respectively.

Keywords: Industrial wastewater, Heavy metals, Pollution, Radish plant

1. Assistant Professor, Department of Soil Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan

2. Graduated Student, Department of Soil Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan

3. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan

4. Environment instructor, Industrial Cites Company, Hamedan Province, Hamedan

*: Corresponding author Email: ghasemr@gmail.com