اثر آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری روی عملکرد و کیفیت گندم و برخی ویژگی‌های خاک در منطقه سیستان

احمد قنبری[۱]، جهانگیر عابدی کوپایی[۲] و جواد طایی سمیرمی[۱]

چکیده

تحقیق حاضر به منظور بررسی تأثیر آبیاری با فاضلاب روی عملکرد، کیفیت گندم و برخی ویژگی‌های خاک انجام گرفته است، هم‌چنین با توجه به SAR و شوری فاضلاب(EC>۳)، سعی شده تا تأثیرآبیاری با فاضلاب و آب چاه به صورت نوبتی در مراحل مختلف رشد گیاه بررسی شود و در نهایت روشی ارایه شود تا علاوه بر حصول عملکرد مطلوب، از شور و سدیمی شدن خاک جلوگیری شود. این آزمایش در سال زراعی ۸۳-۱۳۸۲ در مرکز تحقیقات کشاورزی زابل در خاکی با بافت لوم شنی اجرا گردید،که محدودیتی از نظر زه‌کشی نداشت. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در چهار تکرار اجرا گردید. تیمارها عبارت بودند از: آبیاری با آب چاه در تمام مراحل (T_1)، آبیاری با آب چاه تا مرحلهٔ گل‌دهی و آبیاری با فاضلاب از زمان گل‌دهی تا آخر دوره رشد (T_2)، آبیاری با آب چاه تا مرحلهٔ ظهور ساقه و آبیاری با فاضلاب از زمان ظهور ساقه تا آخر دوره رشد(T_3)، آبیاری با آب چاه تا مرحلهٔ پنجه زنی و بقیه مراحل آبیاری با فاضلاب (T_4)، آبیاری با فاضلاب در تمام مراحل رشد گیاه(T_5). نتایج تجزیه شیمیایی آب چاه نشان داد آب چاه محدودیت خاصی برای آبیاری ندارد، اما شوری و SAR (نسبت جذبی سدیم) فاضلاب بیش از حد مجاز تعیین شده توسط FAO برای آبیاری می‌باشد. بر اساس نتایج آزمایش عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب در تیمارهای T_3، T_4 و T_5 افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. هم‌چنین درصد پروتئین دانه در تیمار T_5 افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. بین تیمارهای مختلف از نظر تجمع عناصر سنگین در دانه گندم و در خاک تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج حاصل از تجزیه خاک سطحی(۳۰-۰) نشان داد درصد مواد آلی خاک، درصد نیتروژن کل خاک، میزان شوری و SAR محلول خاک در تیمارهای T_4 و T_5 نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. به طور کلی به منظور استفاده پایدار از پساب فاضلاب شهر زابل، باید مراحل رویشی رشد گندم را با پساب فاضلاب آبیاری کرد و سایر مراحل رشد، گندم را با آب غیر شور (آب چاه) آبیاری کرد تا علاوه بر حصول عملکرد مطلوب از شور و سدیمی شدن خاک نیز جلوگیری گردد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، تجمع عناصر سنگین، خصوصیات شیمیایی خاک، عملکرد، کیفیت دانه گندم، فاضلاب

۱. به ترتیب استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

۲. استادیار آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.5.1]

مقدمه

یکی از عوامل مهم که حفظ و توسعه کشاورزی اراضی فاریاب را در نواحی خشک محدود می‌سازد، کمبود آب است. در این راستا می‌توان از مصرف آب‌های با کیفیت پایین یا غیر متعارف بهره گرفت(۵، ۱۳، ۱۶، ۱۷، ۲۳، ۲۵ و۴۲). استفاده مجدد از پساب فاضلاب شهری به عنوان یکی از منابع غیر متعارف آب، مورد توجه بیش از پیش قرار گرفته است. تحقیقات مختلف نشان می‌دهد استفاده از فاضلاب شهری در کشاورزی باعث افزایش درصد مواد آلی و بهبود حاصلخیزی خاک می گردد(۶، ۲۱، ۳۴ و ۴۵).

علیزاده و همکاران(۱۹) گزارش کردند تیمار آبیاری با فاضلاب در تمام مراحل رشد گیاه منجر به حصول بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی گیاه ذرت شد. در این آزمایش ترکیب شیمیایی گیاه نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد غلظت نیتروژن در تیمار آبیاری با فاضلاب در تمام مراحل رشد گیاه بیشتر از سایر تیمارها می‌باشد. این محققین گزارش کردند میزان پروتئین دانه در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری نشان نداده است. تجزیه شیمیایی دانه نشان داد از نظر غلظت عناصر سنگین بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

یون و کوان (۴۶) نشان دادند آبیاری با فاضلاب باعث افزایش قدرت پنجه‌زنی، طول ساقه، طول پانیکول‌ها و تعداد سنبله در برنج شده است. وی گزارش کرد عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی در تیمار آبیاری با فاضلاب نسبت به سایر تیمارها افزایش معنی‌داری داشته و هیچ گونه اثر سوء ناشی از آبیاری با فاضلاب درگیاه مشاهده نشد.

دای و همکاران(۲۸) در پژوهشی در زمینه تأثیرآبیاری با فاضلاب روی کیفیت دانه گندم نشان دادند آبیاری با فاضلاب باعث شده عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه افزایش یابد، اما تأثیری روی درصد فیبر دانه نداشته است. در پژوهشی دیگر دای و تکر(۲۷) روی گیاه سورگوم نشان دادند آبیاری با فاضلاب باعث افزایش عرض برگ شده و زمان رسیدگی را به تعویق انداخته است. هم‌چنین میزان عملکرد دانه را افزایش داده اما تأثیری در میزان پروتئین دانه نداشته است، البته باعث کاهش مقدار برخی آمینواسیدها شده است.

پارامسواران (۴۱)گزارش کرد آبیاری با فاضلاب نیاز بالای کنگرفرنگی(*Helianthus tuberusus*) به کود را تأمین می‌کند، به طوری‌که هیچ کدام از علائم ناشی از کمبود عناصر غذایی و هم‌چنین علایم مسمومیت ناشی از غلظت بالای برخی عناصر غذایی در گیاه مشاهده نشد. در این آزمایش مشخص شد غلظت عناصر غذایی در اندام‌های هوایی بیشتر از غده و عملکرد نیز در تیمار آبیاری با فاضلاب بیشتر از سایر تیمارها بوده است.

عرفانی و همکاران(۱۱) در پژوهش خود روی گیاه کاهو گزارش کردند وزن اندام هوایی، اندام زیرزمینی، کل ماده تر و خشک گیاهی تحت تأثیر تیمار آبیاری با فاضلاب تصفیه شدهٔ شهری افزایش معنی داری داشته است. هم‌چنین در این تحقیق مشخص گردید، غلظت عناصر پرمصرف درگیاه در تیمارهای مختلف (آبیاری با فاضلاب، کود دامی و کود شیمیایی) نسبت به شاهد افزایش داشته است. این محققان نشان دادند گیاهانی که تحت تأثیر آبیاری با فاضلاب و مصرف کود دامی قرار گرفته بودند، زودتر از سایر تیمارها به مرحلهٔ گل‌دهی رسیدند.

فیضی (۳۱) در پژوهشی در زمینهٔ تأثیر آبیاری با فاضلاب روی تجمع برخی عناصر در خاک و گیاه در مدت ۸ سال گزارش داد، مقدار آهن و منیزیم در گیاه ذرت در مزارعی که با فاضلاب آبیاری شده بودند، بیشتر بود. هم‌چنین میزان منگنز و روی در کاه و دانهٔ گندم بیشتر بود، در حالی در مورد شاخ و برگ یونجه افزایش غلظت هیچ کدام از عناصر در مزارع آبیاری شده با فاضلاب اختلاف معنی‌داری نشان نداد. غلظت منگنز، روی و مس در برگ و ساقهٔ گوجه‌فرنگی و غلظت آهن، روی و مس در میوهٔ گوجه‌فرنگی کاشته شده در این مزارع نسبت به مزارع آبیاری شده با آب معمولی افزایش معنی‌داری نشان داد.

برخی از پژوهش‌ها (۱۳، ۱۴ و ۲۱) حاکی از کاهش شوری خاک‌های شور در اثر آبیاری با فاضلاب می‌باشد. عابدی کوپایی و همکاران (۱۲) در پژوهش خود نشان دادند که آبیاری با

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.5.1]

فاضلاب(EC<۱/۸) باعث کاهش شوری خاک گردیده است، به طوری‌که خاک‌های شور سدیمی منطقه مورد آزمایش به یک خاک با شوری ۱/۲۵تا ۲/۴۵ دسی زیمنس بر متر تغییر یافته است. صابر(۴۳) با انجام آزمایشی روی خاک‌های آبیاری شده با فاضلاب به این نتیجه رسید که در یک دوره ۶۰ ساله هر یک از فلزات سنگین می‌توانند به اندازه قابل توجه در خاک انباشته شوند. صفری سنجانی(۷) در بررسی خود روی زمین‌هایی که در منطقه برخوار اصفهان به مدت ۷ سال با فاضلاب آبیاری شده‌اند، نشان داد آبیاری با فاضلاب نه تنها هیچ مسأله‌ای از لحاظ شور سدیمی شدن در خاک منطقه ایجاد نکرده، بلکه از میزان شوری خاک این اراضی کاسته است. هم‌چنین تجمع میزان عناصر سنگین در خاک افزایش معنی‌داری نداشته است. در بعضی تحقیقات (۳۳، ۳۶ و ۳۹) مشخص شده تجمع عناصر سنگین و فسفر در لایه سطحی خاک، تنوع و فعالیت میکروارگانیسم های خاک مانند ریزوبیوم‌ها و مایکوریزاها را کاهش داده است.

به منظور استفاده پایدار از فاضلاب تصفیه شده شهری باید روش‌های مدیریتی صحیح در مورد آبیاری با فاضلاب اعمال گردد. درحال حاضر در شهرستان زابل سطح وسیعی از مزارع گندم، جو، یونجه و سورگوم با پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری آبیاری می‌گردد. شوری بالای پساب این تصفیه‌خانه (EC>۳ dS/m)، زه‌کشی ضعیف خاک‌های منطقه، بارش سالانه بسیار کم(کمتر از ۵۰ میلی‌متردر سال) و تبخیر سالانهٔ بسیار زیاد (بیشتر از ۴۶۰۰ میلی‌متر در سال) از عواملی است که باعث بروز نگرانی‌هایی در زمینه شور و سدیمی شدن و تخریب خاک‌های منطقه شده است(۱۴). بنابراین مطالعه تأثیر فاضلاب بر رشد، عملکرد و کیفیت گندم و هم‌چنین تأثیر آن بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و پیامدهای زیست محیطی آن ضروری به نظر می‌رسد.

در این پژوهش علاوه بر بررسی اثرات آبیاری با فاضلاب روی عملکرد و کیفیت گندم و برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک، سعی شده تا روشی برای استفاده توأم از فاضلاب و آب غیر شور ارزیابی و ارایه شود تا علاوه بر دست‌یابی به عملکرد مطلوب، تجمع آلودگی‌های ناشی از کاربرد فاضلاب در خاک را نیز به حداقل رسانده و منجر به استفاده پایدار از این منبع آبی در کشاورزی گردد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زهک اجرا گردید. این ایستگاه با طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی، در ارتفاع ۴۸۳ متری از سطح دریا قرار دارد. این منطقه با بارش سالیانه کمتر از ۷۰ میلی‌متر و تبخیر سالیانه بیش از ۴۶۷۰ میلی‌متر جز مناطق خشک کشور محسوب می‌شود، حداکثر درجه حرارت مطلق آن°C ۴۴، حداقل دمای مطلق آن°C ۴ و متوسط°C ۲۱/۴ است. آب و هوای این منطقه بر اساس روش آمبرژه، بیابانی معتدل است. خاک محل آزمایش با داشتن ۶۲ در صد شن و ۲۶ در صد سیلت و ۱۲ در صد رس در کلاس بافتی لوم شنی جای داشته و سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش قبل از انجام آزمایش در جداول ۱ و ۲ ارایه شده است. زمین در سال قبل از اجرای طرح در حال آیش بوده است.

پس از تسطیح و آماده سازی زمین مورد نظر عملیات کاشت گندم به وسیله خطی‌کار تحقیقاتی غلات در کرت‌هایی به ابعاد ۱/۲ × ۳ مترمربع و با فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر صورت گرفت. به منظور بررسی تأثیر مواد غذایی موجود در فاضلاب، کود شیمیایی مصرف نشد. گیاه زراعی مورد آزمایش، گندم رقم هامون و زمان کاشت، ۲۰ آذر ۱۳۸۲ بود.

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار و پنج تیمار اجرا گردید. تیمارها شامل: T_1 (آبیاری با آب چاه در تمام مراحل)، T_2 (آبیاری با آب‌چاه تا مرحلهٔ گل‌دهی و آبیاری با فاضلاب از زمان گل‌دهی تا آخر دوره رشد)، T_3 (آبیاری با آب چاه تا مرحله ظهور ساقه و آبیاری با فاضلاب از زمان ظهور ساقه تا آخر دوره رشد)، T_4 (آبیاری با آب چاه تا مرحلهٔ پنجه زنی و بقیه مراحل آبیاری با فاضلاب)، T_5 (آبیاری

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.5.1]

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی خاک محل آزمایش

نام شاخص	مقدار شاخص
چگالی ظاهری خاک(gr/cm^3)	۱/۴۱
درصد تخلخل	۴۶/۱۵
درصد رطوبت ظرفیت مزرعه (FC)	۱۷/۲۷
نفوذپذیری نهایی خاک (mm/h)	۲۰/۶۳
هدایت هیدرولیکی(mm/h)	۲۵/۵۸
درصد رس	۱۶
درصد سیلت	۲۳
درصد شن	۶۱
بافت خاک	لوم – شنی

با فاضلاب در تمام مراحل رشد گیاه)بودند.

آب مورد نیاز گیاه زراعی از چاه موجود در مرکز تحقیقات تأمین شد و آب فاضلاب مورد نیاز نیز در همان روز آبیاری از تصفیه‌خانه زابل به محل آزمایش حمل و در یک مخزن موقتی در بالای مزرعه ذخیره شده و به مقدار محاسبه شده برای هر کدام از پلات‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

میزان آب آبیاری مورد نیاز، با اندازه‌گیری درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری محاسبه گردید(۱۰). دور آبیاری نیز بر اساس مراحل فنولوژیکی رشد و نمو گندم در مراحل کاشت، آغاز پنجه‌زنی، ساقه‌دهی، ظهور سنبله، گل‌دهی و پرشدن دانه تعیین و روش آبیاری مطابق با عرف منطقه به روش غرقابی انجام گردید.

روش تصفیه در تصفیه‌خانه زابل از نوع برکه‌های تثبیت بوده و فاضلاب مورد استفاده برای آزمایش از آخرین مرحله تصفیه برداشت شد. ویژگی‌های شیمیایی آب و پساب در طی فصل رشد و به‌صورت ماهانه اندازه‌گیری شدند(جداول ۳ و۴).

برای آگاهی از وضعیت بهداشتی (میانگین کلیفرم های میکروبی کل) پساب در هر نوبت از آبیاری آزمایش‌های میکروبی انجام گردید. نمونه‌های دانه گندم در اسیدکلریدریک ۰/۱ نرمال و آب‌مقطر شسته و پس از خشک شدن با آسیاب پودر شده و غلظت عناصر مختلف در آن اندازه‌گیری شد. برای

جدول ۲. ویژگی‌های شیمیایی خاک محل آزمایش

ویژگی‌های شیمیایی خاک	
نام شاخص	مقدار شاخص
pH	۸/۲
EC_e (dS/m)	۴/۶
N %	۰/۰۳
P (mg/kg)	۲/۶
K^+(mg/kg)	۱۷۵
O.C%	۰/۳
$HCO3^{-2}$ (mg/kg)	۷/۴۴
Cl^- (mg/kg)	۲۸/۸
$So4^{-2}$(mg/kg)	۱۱/۲
Cu^{+2}(mg/lit)	۰/۷۳
Zn^{+2}(mg/kg)	۰/۳۱
Mn^{+2} (mg/lit)	۹/۶
Fe^{+2}(mg/lit)	۶/۱۲
Ca+2 (meq/lit)	۱۱/۵
Mg+2(meq/lit)	۹/۵
SAR	۸/۷
CEC(cmol/kg)	۳/۸

اندازه‌گیری برخی فلزات سنگین در نمونه‌های گیاهی، از روش گنجی و پیچ استفاده شد (۳۲). درصد پروتئین دانه از طریق روش تعدیل یافته کلدال و طبق الگوی AACC ۱۲-۴۶ انجام شد(۲۰). از صفات کمی مربوط به گیاه شامل عملکرد و اجزای عملکرد شامل تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله، وزن هزار دانه، تعداد پنجه کل و بارور در هر بوته و همچنین تعدادسنبله در واحد سطح، متوسط میانگره‌ها، طول و عرض برگ پرچم طول سنبله اندازه‌گیری شد. کارآیی مصرف آب($WUE=Y(kg)/WU(m^3)$) نیز محاسبه گردید (۱۰). در این رابطه WUE میزان کارایی مصرف آب(Kg/m^3)، Y عملکرد (kg))و WU میزان مصرف آب (m^3) می‌باشد.

برای تعیین ویژگی‌های شیمیایی خاک نمونه‌برداری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری با اوگر فولادی انجام گرفت، pH به‌وسیله

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.5.1]

جدول۳. میانگین کیفیت آب چاه و پساب فاضلاب تصفیه شده زابل برای آبیاری (۱۳۸۳-۱۳۸۲) و مقایسه با استانداردهای توصیه شده سازمان خوار و بار جهانی (۳۰)

معیارهای کیفی آب	واحدها	آب چاه	پساب مورد آزمایش	درجه بهره برداری برای آبیاری		
				خوب	متوسط	بد
الف) هدایت الکتریکی(dS/m)	dS/m	۲/۶	۴/۵-۵/۵	<۰/۷	۰/۷-۳	>۳
ب) نفوذ پذیری						
درحالتی که SAR = ۰-۳ و مقدار EC_W	dS/m	۲/۸	_	>۰/۷	۰/۷-۰/۲	<۰/۲
درحالتی که SAR = ۱۲-۲۰ و مقدارEC_W	dS/m	_	۱۰-۱۳	>۲/۹	۲/۹-۱/۳	۱/۳
ج) سمیت یون‌های ویژه						
سدیم(Na) در آبیاری سطحی	SAR	۲/۸	۱۰-۱۳	<۳	۳-۹	>۹
کلرید (Cl) در آبیاری سطحی	me/l	۶/۴	۲۸/۱	<۴	۴-۱۰	>۱۰
بر(B)	mg/l	۰/۶	۳/۳	۰/۷	۰/۷-۳	>۳
آهن (Fe)	mg/l	_	۰/۲	_	_	۵
مس (Cu)	mg/l	_	۰/۰۰۶	_	_	۰/۲
منگنز(Mn)	mg/l	_	۰/۰۳۹	_	_	۰/۲
روی(Zn)	mg/l	_	۰/۰۱۷	_	_	۲
د)اثرات متفرقه						
نیتروژن(NO_3-N)	mg/l	_	۱۳/۲	<۵	۵-۳۰	>۳۰
pH	_			محدوده نرمال بین ۶/۵-۸/۴		

دستگاه pH متر، شوری با دستگاه هدایت سنج الکتریکی، ازت کل خاک به روش کجلدال، درصد مواد آلی به روش اکسیداسیون تر، فسفر قابل جذب گیاه در نمونه‌های خاک به روش اولسن، کلر به وسیله تیتراسیون با نیترات نقره، بُر به وسیله رنگ سنجی با کارکومین- اسید اگزالیک، پتاسیم و سدیم به روش شعله سنجی اندازه‌گیری گردید (۲ و ۴۱). عناصر کم مصرف و سنگین با استفاده از DTPA، ۰/۰۰۵ مولار و نیترات کلسیم ۰/۰۰۱ مولار و غلظت عناصر در عصاره‌های حاصل توسط دستگاه پرکین المر ۳۰۳۰ تعین شد(۴۴).

نتایج و بحث

الف)کیفیت آب چاه و فاضلاب

به منظور ارزیابی کیفیت آب چاه پساب فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری از استانداردهای پیشنهادی سازمان خوار و بار جهانی (۳۰) استفاده گردید. بر اساس این استانداردها آب چاه محدودیتی برای آبیاری ندارد، اما کیفیت پساب تصفیه شده نشان می‌دهد هدایت الکتریکی (EC) اندکی بیش از حد مجاز می‌باشد که می‌تواند بروز تنش شوری و مسمومیت گیاهان حساس به شوری را در پی داشته باشد. در مورد گندم حد آستانه شوری مجاز برای حصول حداکثر پتانسیل عملکرد

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.5.1]

جدول ۴. میانگین کیفیت آب چاه و پساب فاضلاب تصفیه شده زابل (۱۳۸۳-۱۳۸۲) و ارزیابی آلودگی آنها در مقایسه با استانداردهای توصیه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایران(۸)، واحدها بر حسب میلی گرم در لیتر (mg/l) می‌باشد.

معیار اندازه‌گیری‌شده	آب چاه	پساب مورد آزمایش	مرز استاندارد آلوده کننده ها در پساب برای	
			مصارف کشاورزی	تخلیه در آب‌های سطحی
pH	۷/۸	۸/۲	۶-۸/۵	۶-۸/۵
کلسیم	۱۴۰	۹۰	-	۷۵
منیزیم	۱۰۰	۸۵/۲	۱۰۰	۱۰۰
کلراید	۲۲۷	۹۹۹/۷	۶۰۰	۶۰۰
سولفات	۳۷۴/۴	۷۳۹/۲	۵۰۰	۴۰۰
نیتروژن نیتراتی	-	۱۳/۲	-	۵۰
فسفر فسفاتی	-	۱۳/۵	-	۶
بُر	-	۳/۳	-	۲
پتاسیم	-	۲۲/۶۲	-	-
مس	-	۰/۰۰۶	۰/۲	۱
منگنز	-	۰/۰۳۹	۱	۱
روی	-	۰/۰۱۷	۲	۲
آهن	-	۰/۲	۳	۳
دترجنت(ABS)	-	۰/۶۲	۰/۵	۱/۵
کلیفرم کل (MPN/100ml)	-	۸۵	۱۰۰۰	۱۰۰۰
BOD	-	۳۰	۱۰۰	۳۰
COD	-	۸۵	۲۰۰	۶۰

۴/۵ dS/m می‌باشد(۱). با توجه به این‌که شوری پساب فاضلاب تقریباً در محدوده آستانه شوری مجاز برای گندم(۴/۵dS/m) قرار دارد و با در نظر گرفتن بافت خاک(لوم شنی)، می توان با اعمال مدیریت صحیح در آبیاری از بروز تنش شوری روی این گیاه، کاهش عملکرد و شور شدن خاک جلوگیری کرد(۴).

غلظت یون کلرید (۶/۴ meq/l) نیز بیش از مرز استاندارد تعیین شده می‌باشد. در مورد محصولاتی نظیر چغندر قند، نیشکر و انگور غلظت بالای یون کلر به علت تداخلی که در مسیر متابولیسم و انتقال برخی هیدرات‌های کربن در گیاه ایجاد می‌کند باعث کاهش عملکرد می‌گردد، در حالی که غلاتی مانند گندم، جو و سورگم به غلظت‌های بالای این یون در شرایط آبیاری سطحی مقاومت خوبی نشان داده‌اند(۴).

حد آستانه مجاز گندم برای حصول حداکثر عملکرد برای یون بُر (B) ۱- ۰/۷۵میلی گرم در لیتر می باشد(۱). با توجه به غلظت بُر در پساب تصفیه شده فاضلاب (در حدود ۳ میلی گرم در لیتر) انتظار می رود آبیاری با پساب فاضلاب باعث بروز مسمومیت در گندم شود، در حالی که هیچ گونه علامتی که ناشی از بروز مسمومیت در گیاه گندم باشد در حین

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.5.1]

آزمایش دیده نشد. غلظت یون سدیم موجود در فاضلاب(۳۹/۷ meq/l) نیز ممکن است در مورد محصولات حساس، باعث بروز مسمومیت گردد. در حالی که غلاتی مانند گندم، جو و سورگم به غلظت‌های بالای این یون در شرایط آبیاری سطحی مقاومت خوبی نشان داده‌اند(۴). در ارزیابی کیفی آب آبیاری ابتدا از روی SAR آب ESP که در محلول خاک در اثر تعادل با این آب به وجود خواهد آمد محاسبه می‌گردد و سپس از روی ESP درجه مقاومت گیاهان به سدیم تخمین زده می‌شود(۱۰). گیاهانی نظیر گندم، جو، یونجه، پنبه جزء گیاهان مقاوم به مقادیر بالای ESP می باشند که می‌توانند مقادیر ESP بین ۲۰ تا ۴۰ را به خوبی تحمل کنند(۱). نظر به این که میزان ESP در این آزمایش ۱۴/۱ می باشد، کاشت محصولات مقاوم و نیمه مقاوم بدون هیچ گونه مشکلی امکان پذیر می‌باشد.

برای تعیین میزان تأثیر یون سدیم موجود در فاضلاب روی نفوذپذیری و ساختمان خاک، نسبت جذبی سدیم فاضلاب (SAR=۱۳) محاسبه گردید. بر اساس استانداردهای سازمان خوار و بار جهانی (FAO) در شرایطی که EC آب آبیاری یا عصاره اشباع خاک بیش از ۲/۹ dS/m و نسبت جذبی سدیم در آب آبیاری یا آب خاک در محدوده ۲۰-۱۲/۱ باشد، احتمال تخریب ساختمان خاک و بروز دشواری نفوذ آب در خاک وجود ندارد (۳۰).

درجدول۴ میزان آلودگی آب چاه و پساب فاضلاب با توجه به استانداردهای پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست ایران(۸) ارزیابی شده است. بر اساس این استانداردها آب چاه، محدودیتی برای آبیاری نداشت و ارزیابی میزان آلودگی فاضلاب نشان داد میزان COD، BOD، کدورت، سورفاکتانت‌ها، نیتروژن نیتراتی، فسفات، کلسیم و منیزیم کمتر از مرز بحرانی(۸) بود، غلظت عناصر سنگین موجود در فاضلاب نیز ناچیز وکمتر از مرز بحرانی تعیین شده بود. برای ارزیابی آلودگی میکروبی فاضلاب از شاخص کلیفرم‌های میکروبی استفاده گردید که بر اساس جدول ۴ میانگین کلیفرم های میکروبی کل(مدفوعی و غیر مدفوعی) از مرز بحرانی تعیین شده کمتر بود.

ب) عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج مربوط به تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری روی عملکرد و اجزای عملکرد در جدول۵ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج متوسط طول نهایی میانگره‌ها در تیمارهای T_3 ، T_4 و T_5 افزایش معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) نسبت به شاهد داشته است. طول میانگره‌ها نشان‌دهنده میزان رشد گیاه می‌باشد که تحت تأثیر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه افزایش می‌یابد. یون و کوان (۴۶) نیز در پژوهشی روی گیاه برنج به نتایج مشابهی دست یافتند. متوسط طول و عرض نهایی برگ پرچم و طول سنبله نیز در تیمارهایT_3، T_4 و T_5 نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) نشان داده بود. طول و عرض برگ پرچم و طول سنبله نمایانگر سطح فعال فتوسنتزی گیاه در مرحله پرشدن دانه می‌باشد. در این مرحله میزان تولید خالص برگ پرچم و سنبله، تأثیر قابل توجهی در سرعت پرشدن دانه و وزن هزار دانه دارد(۲۲). نتایج این آزمایش نشان می‌دهد وزن هزار دانه گندم در تیمارهای T_3، T_4 و T_5 به ترتیب ۱۹، ۳۶ و ۳۷/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش یافته است.

هم‌چنین تعداد دانه در سنبله(جدول۵) نیز در تیمارهایT_4 و T_5 افزایش معنی‌داری (در سطح۵ درصد) نسبت به شاهد نشان داده است. احتمالاً تغذیهٔ مناسب گیاه توسط آبیاری با فاضلاب قبل از مرحلهٔ گل‌دهی و مرحلهٔ گل‌دهی در تیمارهای T_4 و T_5 باعث افزایش تعداد دانه در سنبله شده و افزایش سطح فعال فتوسنتزی گیاه در دورهٔ پر شدن دانه در تیمارهای T_3، T_4 و T_5 عامل افزایش وزن هزاردانه گندم بوده است. سطح فتوسنتزی گیاه، دوام سطح برگ و محتوای کلروفیل برگ‌ها تحت تأثیر عناصر غذایی موجود در فاضلاب افزایش می‌یابد(۱۹ و۳۸). نتایج تحقیق شبانیان (۹) نشان می‌دهد غلظت کلروفیل در گیاهان چمن و قرنفل که تحت تأثیر آبیاری با پساب کارخانه

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.5.1]

جدول۵. اثر تیمارهای فاضلاب بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد گندم

صفت / تیمار	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	CV
متوسط طول میانگره‌ها (سانتی‌متر)	۱۰/۹ c	۱۲/۶ c	۱۵/۸ b	۱۶/۸ ab	۱۹/۱ a	۱۱/۴۸
طول برگ پرچم(سانتی‌متر)	۹/۲ c	۹/۵ c	۲۱/۱ b	۱۳/۴ a	۱۳/۶ a	۵/۵
عرض برگ‌پرچم(سانتی‌متر)	۰/۸۶ c	۰/۸۷ c	۱/۱۱ b	۱/۲۷ a	۱/۲۷۵ a	۷/۴
طول سبله (سانتی‌متر)	۵/۱ b	۵/۸ b	۸/۱ a	۸/۳ a	۹/۰۲ a	۷/۱
تعداد دانه در سنبله	۱۴/۱ c	۱۴/۶ c	۲۵/۱ b	۳۰/۹۵ a	۳۵/۵۲ a	۳۳
وزن هزار دانه(گرم)	۲۶/۲ c	۲۶/۵ c	۳۱/۲ b	۳۵/۷ a	۳۶/۰ a	۲۱/۱۶
تعدادپنجه بارور در هر بوته	۱/۳۷ c	۱/۶۵ c	۱/۹۵ bc	۲/۸۵ a	۳ a	۶/۷
عملکرد دانه(کیلوگرم درهکتار)	۱۵۰۳/۵ c	۱۷۲۶/۸ c	۲۰۳۸/۵ b	۲۸۷۸ a	۳۰۹۷ a	۸/۴۹
وزن خشک کل (کیلوگرم در هکتار)	۵۷۵۰ c	۷۰۰۰ bc	۸۲۵۰ b	۱۰۷۵۰ a	۱۱۵۰۰ a	۷/۵
شاخص برداشت	۲۶/۱ a	۲۴/۷ a	۲۴/۷ a	۲۶/ ۷ a	۲۶/۹ a	۸/۳
کارایی مصرف آب	۲۱/۵ b	۲۱/۵۷ b	۲۲/۷a b	۲۶/۹۵ a	۲۸/۰۲ a	۱۱/۲

مقایسه میانگین‌ها در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن انجام گرفته است.

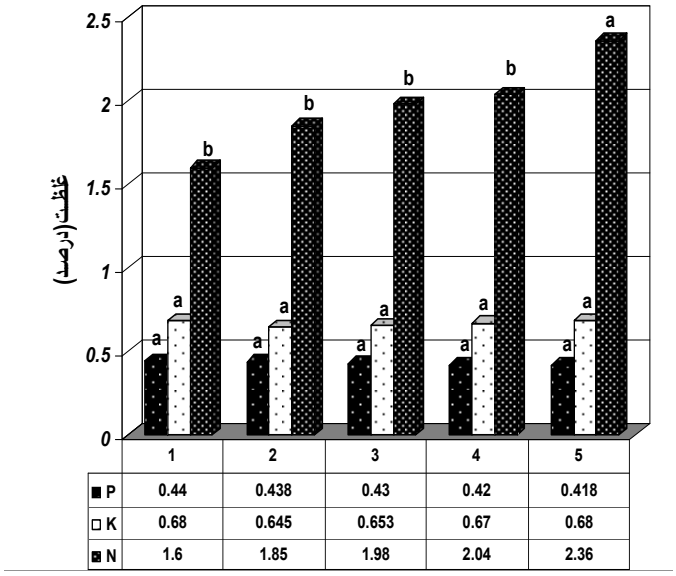
پلی اکریل قرار داشته‌اند، به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافته است. علیزاده و همکاران(۱۹) نیز گزارش کردند آبیاری با فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار طول گیاه و عرض برگ در گیاه ذرت شده است.

هم‌چنین نتایج نشان داد تعداد پنجه‌های بارور در تیمارهای T_3، T_4 و T_5 به طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) نسبت به شاهد افزایش داشته است. به نظر می‌رسد مواد غذایی موجود در فاضلاب در تیمارهایی که در اوایل دورهٔ رشد رویشی تحت تأثیر آبیاری با فاضلاب بودند منجر به افزایش پنجه‌زنی در گیاه شده است. دای و همکاران به نتایج مشابهی در مورد گندم دست یافتند(۲۸). یون و کوان (۴۶) نیز گزارش کردند آبیاری با فاضلاب باعث افزایش پنجه‌زنی و طول پانیکول‌ها در برنج می‌گردد.

بر اساس نتایج این آزمایش عملکرد دانه در تیمارهای T_3، T_4 و T_5 در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) نشان داده است(جدول۳). به طوری که میانگین عملکرد در تیمارهای T_3، T_4 و T_5 به ترتیب برابر ۳۶/۶، ۹۱/۴ و ۱۰۰/۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داشته است. نتایج پژوهش علیزاده و همکاران نیز نشان می‌دهد عملکردگیاه ذرت در تیماری که در تمام مراحل رشد با فاضلاب آبیاری شده بود نسبت به تیماری که درتمام مراحل با آب چاه آبیاری شده بود به طور معنی‌داری افزایش یافته است. احتمالاً مقادیر زیاد نیتروژن نیتراتی موجود در فاضلاب تصفیه شده خانگی است که باعث افزایش عملکرد گیاهان می‌شود(۱۹ و ۳۸). نتایج پژوهش‌های پاپادوپلوس و استیلیانون(۴۰)کارایی بهتر فاضلاب تصفیه شده را نسبت به کود شیمیایی دربارهٔ جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه نشان می‌دهد. کلاپ و همکاران(۲۶) در مطالعه خود در مورد اثر فاضلاب روی عملکرد ذرت و چند گیاه علوفه‌ای دیگر به این نتیجه رسیدند که تأثیر پساب با کاربرد کود شیمیایی به صورت نیترات آمونیم از نظر تأمین نیاز

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.5.1]



شکل۱. اثر تیمارهای آبیاری برغلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دانه گندم. ستون‌هایی که با یک حرف مشخص شده‌اند طبق آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.(CV=14.4: نیتروژن دانه، CV=5.6: فسفردانه و CV=11: پتاسیم) .

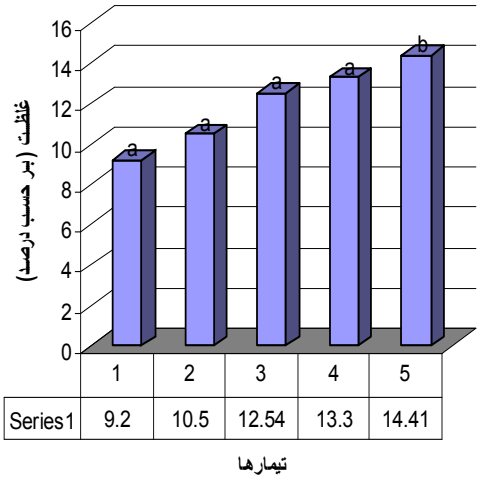
گیاه کاملاً قابل مقایسه است. با توجه به این‌که تیمارT_2 یعنی تیماری که بعد از گل‌دهی تحت تأثیر آبیاری با فاضلاب بوده، نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نشان نداده، می‌توان گفت آبیاری با فاضلاب در مراحل رشد زایشی تأثیر قابل توجهی روی عملکرد نداشته است. آبیاری با فاضلاب در مراحل رشد رویشی گیاه منجر به افزایش تعداد پنجه‌ها سطح برگ پرچم و ارتفاع گیاه و از مرحلهٔ گل‌دهی به بعد تأثیری روی تعداد پنجه‌ها، سطح برگ پرچم و ارتفاع گیاه نداشته است. به نظر می‌رسد تأمین عناصر غذای مورد نیاز گیاه در اوایل مراحل رشد، در تیمارهایی که در این مراحل تحت تأثیر آبیاری با فاضلاب بوده‌اند، باعث افزایش رشد گیاه و در نتیجه عملکرد گیاه شده است. شاخص برداشت در هیچ کدام از تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان نداده است (جدول۵)،که علت آن می‌تواند افزایش عملکرد بیولوژیک به نسبت افزایش عملکرد دانه در تیمارهای مختلف باشد. براساس جدول۵ ، میانگین کارایی مصرف آب(WUE) در تیمارهای T_3، T_4 و T_5 نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری (در سطح پنج درصد) افزایش یافته (به ترتیب به میزان ۳۰/۳، ۲۵/۳ و ۵/۵ درصد)است. بر اساس این نتایج تیمارهای T_4 و T_5 که به مقدار بیشتری تحت تأثیر آبیاری با فاضلاب بوده‌اند نسبت به تیمار T_3 اختلاف معنی‌داری دارند. مقادیر زیاد نیتروژن نیتراتی موجود در فاضلاب تصفیه شده شهری منجر به افزایش کارایی مصرف آب گردیده است. به طوری‌که نتایج تحقیقات دیگر نشان داده است مصرف کودهای نیتروژنه باعث افزایش کارایی مصرف آب می‌شود (۱۸). یون و کوان نیز گزارش کرده‌اند آبیاری با فاضلاب شهری منجر به افزایش کارایی مصرف آب در گیاه برنج شده است (۴۶).

تأثیر آبیاری با فاضلاب بر کیفیت دانه گندم

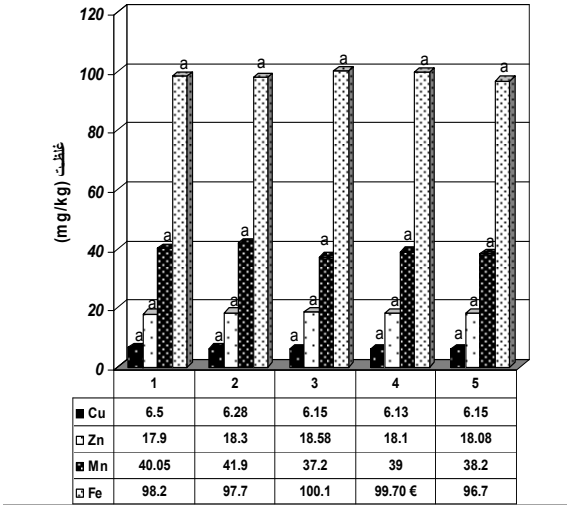
مقایسه میانگین تجزیه شیمیایی دانه گندم(شکل۱) نشان داد که غلظت فسفر و پتاسیم در دانه گندم در تیماری که در تمام مراحل با فاضلاب آبیاری شده (T_5) نسبت به سایر تیمارها افزایش یافته، اما این تفاوت معنی‌دار نبود، در حالی که تیمار(T_5) با مقدار ۲/۴۳ درصد نیتروژن، نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری (در سطح پنج درصد) نشان داد. مقدار نیتروژن در این تیمار نسبت به شاهد ۵۱/۸ درصد افزایش یافته است. نکته

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.5.1]



شکل ۲. اثر تیمارهای آبیاری بر غلظت پروتئین دانه گندم. ستون‌هایی که با یک حرف مشخص شده‌اند طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند(CV=۱۵).



شکل ۳. اثر تیمارهای آبیاری بر غلظت عناصر سنگین در دانه گندم. مقایسه میانگین بر اساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ انجام گرفته است. و CV=9: مس، CV=6.7: روی،CV=12 : منگنز و CV=11.8: آهن) ،

قابل توجه این‌که در حالی‌که تیمارهای T_3، T_4و T_5 دارای برگ‌های تیره‌تر و رشد و عملکرد نسبتاً مطلوب‌تر و دوام بیشتر برگ پرچم بودند، علایم کمبود نیتروژن در تیمارهای T_1 و T_2 نمایان شده بود. برخی محققان(۱۹ و۲۷) گزارش کرده‌اند غلظت عناصر پرمصرف درگیاهانی که توسط فاضلاب خانگی آبیاری شده‌اند، نسبت به گیاهانی که با آب معمولی آبیاری شده‌اند، بیشتر بوده است. با افزایش مقدار نیتروژن دانه، درصد پروتئین دانه نیز افزایش می‌یابد که در نتیجه آن کیفیت نانوایی آرد بهبود می‌یابد. افزایش درصد پروتئین دانه نیز فقط در تیمار T_5 نسبت به شاهد تفاوت معنی داری نشان داد (در سطح پنج درصد) (شکل۲). پروتئین دانه در تیماری که در تمام مراحل با فاضلاب آبیاری شده بود نسبت به تیمار شاهد ۵۶ درصد افزایش نشان داده است. دای وهمکاران(۲۸) در آزمایشی در مورد تأثیر آبیاری با فاضلاب روی کیفیت دانه گندم و در آزمایشی دای و تکر (۲۷) در مورد تأثیر آبیاری با فاضلاب روی کیفیت دانه سورگوم به نتایج مشابهی دست یافتند. علیزاده و همکاران گزارش کردند درصد پروتئین دانه ذرت در تیماری که با فاضلاب آبیاری شده بود نسبت به سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان نداد(۱۹).

عدم وجود تفاوت معنی‌دار برای عناصر سنگین بین تیمارهای مختلف(شکل۳) می‌تواند به علت ناچیز بودن غلظت این عناصر در فاضلاب باشد (جدول ۶). البته عوامل مؤثر در قابلیت جذب این عناصر توسط گیاه از جمله pH خاک، رطوبت در دسترس خاک، CEC خاک، درصد آهک، مواد آلی و نوع گیاه نیز می‌تواند در انباشتگی این عناصر در گیاه موثر می‌باشد (۱۵، ۲۶ و ۳۳).

عرفانی و همکاران(۱۱) نیز نشان دادند غلظت عناصر سرب،کبالت و مولیبدن در اندام‌های کاهو که تحت تأثیر تیمار آبیاری با فاضلاب بودند، ناچیزاست. هم‌چنین غلظت عناصر کمیاب در اندام‌های کاهو کمتر از آستانهٔ سمیت بوده و استفاده از فاضلاب تصفیه شدهٔ خانگی دست کم در یک دورهٔ کوتاه آزمایش، اثر سوئی بر گیاه مورد آزمایش نداشته است. فیضی (۳۱) در پژوهشی در زمینه بررسی تجمع عناصر سنگین در خاک و گیاه در مزارعی که به مدت ۸ سال تحت تأثیر آبیاری با

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.5.1]

جدول۶. میانگین غلظت برخی عناصر سنگین (استخراج باDTPA) در خاک(۳۰-۰سانتی‌متر)، پیش از آزمایش و پس از آزمایش

شاخص اندازه‌گیری شده	مس(mg/kg)	آهن(mg/kg)	منگنز(mg/kg)	روی(mg/kg)
خاک پیش ار کاشت	۰/۷۲۸	۶/۱۲	۹/۶۶	۰/۳۱۴
T_1	۰/۷۱ a	۵/۹ a	۱۰/۴ a	۰/۳۴۰ a
T_2	۰/۷۵ a	۵/۸ a	۹/۷ a	۰/۳۴ a
T_3	۰/۷۳ a	۵/۷ a	۱۰/۹ a	۰/۳۴ a
T_4	۰/۷۳ a	۶/۱ a	۱۱/۰ a	۰/۳۳ a
T_5	۰/۷۷ a	۶/۱ a	۱۱/۵ a	۰/۳۳ a
%CV	۹/۵	۸	۱۳/۴	۱۷/۸

۱- مقایسه میانگین‌ها در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن انجام گرفته است.

فاضلاب بودند نشان داد غلظت عناصر آهن و منیزیم در دانه ذرت کاشته شده در این مزارع به طورمعنی‌داری افزایش یافته است.

تجزیه شیمیایی خاک

نتایج (جدول۷) نشان می‌دهد که درصد ماده آلی خاک در تیمارهای T_4 و T_5 به میزان ۲۷/۴ و۳۵/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش یافته است. حدود نیمی از مواد موجود در فاضلاب، مواد آلی می‌باشد. عمده این مواد آلی از نوع ناپایدار بوده و دارای منشأ انسانی، حیوانی و گیاهی است که در صورت آبیاری با فاضلاب به خاک اضافه می‌گردد. در این حالت خاک به عنوان یک صافی یا فیلتر عمل می‌کند که قادر است بخش اعظم مواد آلی قابل تجزیه را که به صورت محلول و معلق در فاضلاب و پساب وجود دارند را از آن جدا کند(۲۱ و ۴۲). حسن اقلی و همکاران (۶) نیزگزارش کردند که میزان مواد آلی خاک در نتیجه آبیاری با فاضلاب خانگی به طور معنی داری افزایش یافته و باعث بهبود ساختمان خاک گردیده است.

نتایج نشان داد (جدول۷) که درصد نیتروژن کل خاک نیز در تیمارهای T_4 و T_5 نسبت به شاهد به ترتیب به میزان ۲۶/۷ و ۴۰ درصد افزایش یافته است (در سطح پنج درصد). بنابراین میزان نیتروژن نیتراتی فاضلاب (۱۳/۲ میلی‌گرم در لیتر) توانسته است میزان نیتروژن از دست رفته خاک را به خوبی جبران کند. میزان نیتروژن نیتراتی فاضلاب ۱۳/۲ میلی‌گرم در لیتر) توانسته است میزان نیتروژن از دست رفته را به خوبی جبران کند. سایر محققین نیز گزارش کرده‌اند که آبیاری با فاضلاب شهری منجر به افزایش در نیتروژن کل خاک گردیده است (۱۱، ۱۹ و ۳۷).

بر اساس نتایج به دست آمده از این آزمایش(جدول۷) پتاسیم قابل جذب خاک های آبیاری شده با پساب فاضلاب در مقایسه با خاک‌های آبیاری شده با آب چاه افزایش یافته است، اما این افزایش از لحاظ آماری معنی دار نمی‌باشد. با توجه به قابلیت تحرک پتاسیم در خاک، این عنصر به راحتی می‌تواند همراه با آنیون‌های محلول در خاک‌های با بافت سبک مانند بافت خاک محل آزمایش (لوم شنی) جا به جا شود. اما در خاک‌های رسی این یون در بین لایه‌های رس خاک تثبیت می‌گردد(۴ و ۱۰).

نتایج حاصل از این آزمایش(جدول۷) نشان می‌دهد پساب تصفیه شده توانسته میزان تجمع فسفر در خاک را افزایش دهد. روند تغییرات میزان فسفر قابل جذب تجمع یافته در خاک در اثر افزایش مصرف پساب تصفیه شده در تیمارهای T_4 و T_5 افزایشی بوده، اما اختلاف بین تیمارها از لحاظ آماری معنی دار نبوده است. با توجه به تحرک بسیار کم فسفر در خاک، تجمع فسفر در لایه‌های سطحی خاک در اثر استفاده طولانی مدت فاضلاب باید مورد توجه قرار گیرد. عرفانی و همکاران (۱۱) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند، به طوری‌که در این آزمایش

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.5.1]

جدول ۷. میانگین ویژگی‌های شیمیایی خاک(۳۰-۰سانتی‌متر) پیش و پس از آزمایش

شاخص اندازه‌گیری شده	قبل از آزمایش	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	%CV
EC(dS/m)	۴/۶	۴/۳۲ c	۴/۳۷ c	۵/۲۲ bc	۵/۶۷ ab	۶/۲۷ a	۱۲
کلراید(meq/lit)	۴۸/۸	۳۶/۲۵ b	۳۸/۵ b	۴۵/۵ a	۴۷/۵ a	۴۸/۲۵ a	۱۲/۲۵
بی‌کربنات(meq/lit)	۷/۴۴	۸/۷ a	۹/۶۲ a	۸/۱۵ a	۹/۳۸ a	۹/۶۵ a	۲۳/۴۵
سولفات(meq/lit)	۱۱/۲	۱۰/۷۷ a	۱۱/۱۷ a	۱۲/۵۷ a	۱۲/۶۸ a	۱۳/۰۲ a	۱۹/۹
نیتروژن‌کل (درصد)	۰/۰۴	۰/۰۳ c	۰/۰۳۱ c	۰/۰۳۴۲ bc	۰/۰۳۸ ab	۰/۰۴۲ a	۸
فسفر(ppm)	۲/۶	۲/۸ a	۲/۸۷ a	۳/۰ a	۳/۱ a	۳/۱۲ a	۱۵/۲۲
پتاسیم(ppm)	۱۷۵	۱۷۳/۳ a	۱۶۹ a	۱۷۲/۲ a	۱۷۷ a	۱۷۸/۵ a	۷
کربن آلی (درصد)	۰/۲۴	۰/۲۹ c	۰/۲۹ c	۰/۳۳ b	۰/۳۶ a	۰/۳۸ a	۷
کلیسم (meq/lit)	۱۱/۵	۱۳/۲ a	۱۲/۸ a	۱۳/۵ a	۱۴/۸ a	۱۵/۰ a	۱۵/۲
منیزیم(meq/lit)	۸/۵	۱۰/۵ a	۱۱/۴ a	۱۲/۷ a	۱۲/۹ a	۱۳/۱ a	۱۴/۳ a
سدیم (ppm)	۸/۷	۲۹/۵ b	۳۱ b	۳۵ a	۴۰/۹ a	۴۰/۸ a	۱۰/۵
SAR	۱۰/۲	۹/۳ b	۹/۱۸ b	۱۰/۶۵ b	۱۲/۰۸ a	۱۲/۸۳ a	۶/۱
CEC (cmol/kg)	۴/۸	۳/۵ b	۴/۱۷ a	۴/۱۸ a	۳/۹ a	۴/۳۳ a	۱۰/۹

- مقایسه میانگین‌ها در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن انجام گرفته است.

میزان فسفر ۱۳/۵ میلی گرم در لیتر موجود در پساب فاضلاب شهری منجر به افزایش فسفر در عمق ۳۰-۰ سانتی متری خاک شده است.

نتایج تجزیه شیمیایی خاک نشان داد آبیاری با فاضلاب تأثیری بر افزایش یا تجمع عناصر سنگین در خاک(استخراج با DTPA) نداشته است(جدول۶). باید توجه کرد که در مورد تجمع عناصر سنگین در خاک نباید انتظار داشت که در یک سال زراعی میزان غلظت عناصر سنگین در خاک افزایش معنی دار نشان دهد زیرا غلظت این عناصر در پساب فاضلاب تصفیه شده بسیار ناچیز است. تجمع عناصر سنگین در خاک طی آبیاری با فاضلاب به عوامل مختلفی از جمله غلظت این عناصر در فاضلاب، مدت آبیاری با فاضلاب، بافت خاک، اسیدیته و درصد مواد آلی خاک بستگی دارد (۲۹، ۳۳ و۳۵).

نتایج نشان می‌دهد(جدول۷) آبیاری با فاضلاب زابل باعث افزایش معنی‌دار(در سطح پنج درصد) نسبت جذبی سدیم (SAR) محلول خاک و میزان شوری خاک(EC_e) شده است، به طوری که آبیاری با فاضلاب در تیمار T_5 میزان SAR محلول خاک را از ۱۰/۲ به ۱۲/۸ و میزان شوری خاک را از ۴/۶ به ۶/۲ دسی‌زیمنس بر متر افزایش داده است.

در حالی که آبیاری با پساب تصفیه شده تأثیر معنی‌داری روی تغییرات SAR و EC_e بین تیمارهای T_3 ، T_2 و T_1 ایجاد نکرده است. از آنجا که هم شوری آب آبیاری(EC_w) و هم SAR آب آبیاری بر پایداری خاکدانه تأثیر دارند. هنگامی که تأثیر احتمالی کیفیت آب بر کاهش نفوذ آب در خاک بررسی می‌شود، هر دو معیار باید در نظر گرفته شود(۴ و۱۰).

تحمل گیاهان بیش از آن‌که تحت تأثیر مقدار مطلق سدیم تبادلی باشد به درصد سدیم تبادلی (ESP) بستگی دارد، از

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.5.1]

طرف دیگر در مقدار مشخصی از pH و ESP معضلات خاک‌های رسی برای گیاهان غیر متحمل به شرایط سدیمی بیشتر است (۴). میزان ESP خاک محل آزمایش ۱۴/۱ می‌باشد و گندم جز گیاهانی است که آستانه کاهش عملکرد آن نسبت به ESP، ۴۰ است(۱)، بنابراین افزایش SAR محلول خاک در این آزمایش کمتر از آستانه کاهش عملکرد برای گندم می‌باشد و از طرف دیگر با توجه به بافت خاک محل آزمایش و این‌که شوری پساب فاضلاب و عصاره اشباع خاک بیشتر از ۲/۹ dS/m می باشد تخریب ساختمان خاک و مشکل نفوذپذیری را به دنبال نخواهد داشت(۴). لازم به ذکر است در تیمار T_5 هر چند آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده در تمام مراحل رشد باعث افزایش شوری خاک شده است(جدول۷) اما این تیمار بیشترین عملکرد را نیز داشته است(جدول۵). با توجه به شوری پساب فاضلاب که تقریباً زیر مرز آستانه کاهش عملکرد برای گندم(۴/۵ دسی زیمنس بر متر) قرار دارد، شوری پساب، دست کم در طول یک سال زراعی تأثیر سوئی روی عملکرد نداشته و از طرف دیگر نقش تغذیه‌ای پساب فاضلاب برای گیاه باعث افزایش عملکرد گندم شده است. باید توجه داشت که با اعمال مدیریت صحیح در آبیاری با پساب این تصفیه خانه و جلوگیری از شور شدن خاک می‌توان افزایش عملکرد محصولاتی مانند گندم را در سال‌های بعد نیز انتظار داشت.

علت افزایش شوری خاک را می‌توان علاوه بر شوری فاضلاب به تبخیر بسیار بالا در منطقه(میزان تبخیر سالیانه منطقه بیش از ۴۶۷۰ میلی متر در سال می باشد) نسبت داد. در حالت معمول درصد آبشویی(LR) ۲۵٪ محاسبه می‌گردد(۳)، اما باید با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی منطقه و بافت خاک، این نسبت را افزایش داد(۳ و۱۰)، به این ترتیب مشکل شور شدن خاک نیز حل می‌گردد. به طوری که نتایج پژوهش بوول و همکاران (۲۴) در مورد بررسی اثر آبیاری با فاضلاب بر شوری خاک در مدت شش سال نشان داد که در دو سال اول به علت بالا بودن درصد آبشویی، شوری خاک کاهش و در چهار سال بعد در نتیجه کاهش درصد آبشویی، شوری افزایش یافته است. نتایج این آزمایش نیز نشان می‌دهد با توجه به این‌که تیمار T_3 در مراحل رویشی رشد (سبز شدن، پنجه زنی، ظهور ساقه و خوشه) تحت تأثیر آبیاری با آب چاه و فقط در مراحل زایشی رشد گندم (گل‌دهی، گرده افشانی و پرشدن دانه) تحت تأثیر آبیاری با فاضلاب بوده است، میزان SAR و ECe افزایش معنی‌دار نشان نداده است. بنابراین با در نظر گرفتن ضریب آبشویی مناسب و اعمال این نوع آبیاری نوبتی علاوه بر حصول عملکرد مطلوب از شور و سدیمی شدن خاک نیز جلوگیری می‌گردد. در پژوهش دیگر در منطقه شمال اصفهان مشخص شد آبیاری با فاضلاب نه تنها هیچ مسأله ای از لحاظ شور سدیمی شدن در منطقه ایجاد نکرده بلکه شور سدیمی بودن خاک‌های این منطقه را اصلاح کرده است(۷)، البته نوع بافت خاک این منطقه با بافت خاک محل آزمایش این تحقیق متفاوت بوده به طوری که نوع رس از ویژگی‌هایی است که در مورد این مسأله بسیار مؤثر است.

نتیجه‌گیری

۱. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش، آبیاری با پساب تصفیه شده شهر زابل از لحاظ کمّی باعث افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک و از لحاظ کیفی باعث افزایش درصد نیتروژن و پروتئین دانه شده است. هم‌چنین غلظت عناصر پر مصرف (پتاسیم و فسفر) و عناصر کم مصرف(کلسیم، منیزیم، آهن، مس و روی) در دانه گندم هیچ گونه افزایش معنی‌داری نشان نداده است.

۲.آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده در مراحل رشد رویشی گیاه باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد می‌گردد اما در مراحل رشد زایشی تأثیری بر افزایش عملکرد ندارد.

۳. آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده باعث افزایش معنی دار درصد نیتروژن و مواد آلی ،ECe و SAR خاک شده است. هم‌چنین با توجه به روند افزایشی فسفر خاک، تجمع فسفر در لایه سطحی خاک در اثر استفاده دراز مدت از پساب فاضلاب

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.5.1]

پیش‌بینی می‌گردد.

۴. اعمال آبیاری نوبتی(آبیاری با پساب فاضلاب در مراحل رشد رویشی گیاه و آبیاری با آب چاه و یا سایر منابع آب غیر شور در مراحل رشد زایشی) نه تنها از طریق تغذیه مناسب گیاه باعث افزایش عملکرد گندم می‌گردد بلکه از شور سدیمی شدن خاک در دراز مدت نیز جلوگیری می‌کند.

سپاسگزاری

این تحقیق با همکاری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زابل و مرکز تحققات محیط زیست زابل اجرا گردید، هم چنین از تلاش‌های آقایان عباس وهابی، احمد احمدیان و فرامرز سهرابی دانشجویان کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. افیونی، م.، ر. مجتبی پور و ف. نور بخش. (۱۳۷۶). *خاک‌های شور سدیمی و اصلاح آنها*. انتشارات ارکان، اصفهان.

۲. باقری، م. ۱۳۸۰ . تأثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری و سیستم‌های آبیاری روی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و آلودگی خاک در چند محصول زراعی. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳. بایبوردی، م. ۱۳۷۸. *زه کشی و به سازی خاک*. انتشارات دانشگاه تهران.

۴. برزگر، ع. ۱۳۷۹. *خاک‌های شور سدیمی، شناخت و بهره‌وری*. انتشارات دانشگاه شهید چمران، اهواز

۵. بهره‌مند، م. ر.، م. افیونی، م.ع. حاج‌عباسی و ی. رضایی‌نژاد.۱۳۸۱. اثرلجن فاضلاب بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۶ (۴): ۱-۱۰.

۶. حسن‌اقلی، ع.، ر.، ع. لیاقت و م. میراب زاده. ۱۳۸۱. تغییرات میزان مواد آلی خاک در نتیجه آبیاری با فاضلاب خانگی و خودپالایی آن. آب و فاضلاب ۴۲: ۲-۱۱.

۷. صفری سنجانی،ع. ۱۳۷۴. پیامد آبیاری با پساب بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک ناحیه برخوار اصفهان و انباشتگی برخی عناصر در گیاه یونجه. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۸. سازمان حفاظت محیط زیست ایران. ۱۳۷۸. *ضوابط و استانداردهای زیست‌محیطی*. انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست ایران. تهران.

۹. شبانیان بروجنی، ح. ۱۳۸۳. بررسی تأثیر پساب و لجن فاضلاب کارخانه پلی اکریل بر رشد و غلظت عناصر سنگین در چند نمونه از گیاهان فضای سبز و گندم. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۱۰. علیزاده، ا. ۱۳۷۸. *رابطه آب خاک و گیاه*. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع).

۱۱. عرفانی، ع.، غ.حق‌نیا، ا. علیزاده. ۱۳۸۱. تأثیر آبیاری با فاضلاب بر عملکرد وکیفیت کاهو و برخی ویژگی‌های خاک. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۶ (۱):۷۱-۹۰.

۱۲. عابدی کوپایی، ج.، م. افیونی، ب. مصطفی‌زاده، س.ف. موسوی و م.ر. باقری. ۱۳۸۲. تأثیر آبیاری بارانی و سطحی با پساب تصفیه شده بر شوری خاک. آب و فاضلاب ۴۵: ۲-۱۱.

۱۳. عابدی، م. ج و پ. نجفی. (مترجمان). ۱۳۸۰. *استفاده از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی*. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زه‌کشی ایران، تهران.

۱۴. طایی سمیرمی، ج. ۱۳۸۴. بررسی اثر آبیاری با فاضلاب شهری زابل بر عملکرد کمّی و کیفی خاک و ویژگی‌های شیمیایی خاک.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.5.1]

دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل.

۱۵. واثقی، س.، ح. شریعتمداری، م. افیونی و م. مبلی.۱۳۸۰. اثر لجن فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین در گیاهان کاهو و اسفناج در خاک‌های با اسیدیته متفاوت. علوم وفنون باغبانی ایران ۲(۳ و ۴): ۱۲۵-۱۴۲.

۱۶. یاریان کوپایی، م. ۱۳۷۹. تأثیر پساب و سیستم‌های آبیاری بر عملکرد چند محصول زراعی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زه‌کشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

17. Abedi-Koupai, J., B. Mostafazadeh-fard, M. Afyuni and M.R. Bagheri. Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region. J. of Plant. Soil and Environ. 52(82): 335-344.
18. AL-Jaloud, H. 1995. Effect of irrigation and nitrogen on water use efficiency of wheat in Saudi Arabia. Agric. Water Manage. 27: 143-153.
19. Alizadeh, A., M. E. Bazari, S. Velayati, M. Hasheminia and A. Yaghmaie. 2001. Irrigation of corn with wastewater. PP. 147-154. *In:* R. Ragab, G. Pearce, J. Changkim, S. Nairizi and A. Hamdy (Eds.), ICID International Workshop on Wastewater Reuse and Management. Seoul, Korea.
20. American Association of Cereal Chemist (AACC). 1983. Comiled and published by the approved methods committee. USA.
21. Asano, T. and A. D. Levine. 1996. Wastewater reclamation and reuse: Post, present and future. J. Water. Sci. Technol. 33(10-11): 1-14.
22. Asano, R. D., A. D. Sain and D. Ray. 1985. Studies in physiological analysis photosynthetic surface and soil moisture. Physiol. Plant 2: 655-665.
23. Bahri, A. 1999. Agricultural Reuse of wastewater and Global water Management. Water Science and Technology. 40(4-5): 339-346.
24. Bole, J. B., J. M. Carefoot, C. Change and M. Osterveled. 1981. Effect of wastewater irrigation and leaching percentage of salt and ground water chemistry. J. Environ. 40 (2): 177-183.
25. Chenini, F., D. Xanthoulis, S. Rejeb, B. Molle and K. Zayani. 2001. Impact of using reclaimed wastewater on trickle and furrow irrigated potatoes, PP. 174-186. *In:* R. Ragab, G. Pearce, J. Changkim, S. Nairiz and A. Hamdy. (Eds.), ICID International Workshop On Wastewater Reuse and Management, Seoul, Korea.
26. Clapp, C. E., A. J. Palazzo, W. E. Larson, G. C. Marten and D.R. Lindem. 1987. Uptake of nutrients by plants irrigated with municipal wastewater effluent. PP. 395-404. *In:* State of Knowledge in Land Treatment of Wastewater. Army Crops of Engineers, Hanover, N. H.
27. Day. A. D., T.C. Tucker. 1977. Effects of treated wastewater on growth, fiber, protein and amino acid content of sorghum grain. J. Environ. Qual. 6 (3): 325-327.
28. Day, A. D. and F. A. Taher and F. R. H. Katterman. 1975. Influence of treated municipal wastewater on growth fiber, acid soluble nucleotide, protein and amino acid content in wheat grain. J. Environ. Qual. 4 (2): 167-169.
29. EPA. 1992. Guidelines for wastewater reuse. EPA 625/R-92/004. Washington, D.C: US. Environmental Protection Agency. 247.
30. FAO. 1985. Water Quality of Agriculture. R. S. Ayers and D.W. Westcott. Irrig. and Drain. paper 29, Rev. FAO, Rome, 174.
31. Feizi, M. 2001. Effect of treated wastewater on accumulation of heavy metals in plant and soil. PP. 137-146, *In:* R. Ragab, G. Pearce, J. Changkim, S. Nairizi and A. Hamdy (Eds.), ICID International Workshop on Wastewater Reuse and Management. Seoul, Korea.
32. Ganje, T. J. and A. L. Page. 1974. Rapid acide dissolution of plant tissue for cadmium determination by atomic absorption spectrophotometery. Atomic Absorp. Newsletter 13: 131-134.
33. Ibewe, A. M., J. S. R. Luchanej and P. Van Burkum. 1995. Sewage sludge and heavy metal effects on nodulation and nitrogen fixation of legumes. J. Environ. Qual. 24: 1199 -1204.
34. Jenkins, C. R., I. Papadopoulos and Y. Stylianou. 1994. Pathogens and wastewater use of irrigation in Cyprus. *In*: Proceeding of Int. Conf. on Land and Water. Valenzano, Bari, Italy, 4-8Sep.1994.
35. Kabata – Pendias, A. and H. Pendia. 1992. Trace Element in Soils and Plants. CRC press. Boca Raton Ann Arbor. London.
36. Koomen, I., S.P. McGrath and K.E Giller 1990. Mycorhizal infection of clover is delayed in soils contaminated with heavy metals from past sewage sludge applications. Soil. Biol. Biochem. 22: 871-873.
37. Mojtahid, A., M. Lamiri, R.Choukr-Allah, A. Hamdy and H. Elomary. 2001. Best management practices for reducing nitrogen pollution under irrigated sweet pepper with treated wastewater, PP. 55-62. *In:* R. Ragab, G. Pearce, J. Changkim, S. Nairiz and A. Hamdy (Eds.), ICID International Workshop On Wastewater Reuse and Management, Seoul, Korea.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.5.1]

38. Monte, H. M. and M. S. Esousa. 1992. Effects on crops of irrigation with effluent water. Sci. Technol. 26 (7-8): 1603-1613.
39. Ortega-Loracea, M.P. 2001. Arbuscular Mycorrhial Fungi (AMF) spore abundance is affected by wastewater pollution in soils of Mezqital Valley in Centural Mexico. Sustaining the Global Farm. PP. 676-681. *In:* D.E. Stott, R.H. Mohtar , G.C. Steinhardt (Eds.), Selected Papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting held at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, IN.
40. Papadopoulos, I. and Y. Stylianon. 1991. Trickle irrigation of sunflower with municipal wastewater. Agric. Water Manag. 19: 67-75.
41. Parameswaran, M. 1999. Urban wastewater use in plant biomass production. Resour. Conserv. and Recycling. 27 (1-2): 39-56.
42. Pescot, M.B. 1992. Wastewater Treatment and Use in Agriculture. Food and Agriculture Organization (FAO), Rome.
43. Saber, M. S. M. 1986. Prolonged effect land disposal of human waste on soil condition. Water Sci. Technol. (18): 371-374.
44. Sterch, T. and J. Richter. 1997. Heavy metal displacement in a sandy soil at the field scale. *In:* Measurements and parameterization of sorption. J. Environ. Qual. 26: 49-56.
45. Stevenson, F. J. 1982. Nitrogen in Agricultural Soils. American Society of Agronomy, Madison, WI.
46. Yoon, C. G. and S. K. Kwun. 2001. Feasibility study of reclimed wastewater irrigation to paddy rice culture in Korea. PP. 127-136. *In*: R. Ragab, G. Pearce, J. Changkim, S. Nairizi and A. Hamdy (Eds.), ICID International Workshop on Wastewater Reuse and Management. Seoul, Korea.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.5.1]