

بررسی اثر آبیاری آفتابگردان روغنی با پساب تصفیه‌شده شهری بر رشد و عملکرد گیاه و کیفیت خاک

گاگیک بدلیانس قلی‌کندی^۱، شروین جمشیدی^۲، علی ابریشمی^۳*

۱. تهران، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست

۲. تهران، مؤسسه تحقیقات آب وزارت نیرو، مرکز تحقیقات آب و فاضلاب

۳. تهران، دانشگاه شهید بهشتی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران - آب و فاضلاب

(تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۲۵ - تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۳/۲۵)

چکیده

در این پژوهش، رشد و عملکرد آفتابگردان روغنی و تغییرات مشخصات کیفی خاک تحت شرایط تیمار کامل از پساب، آب چاه و مخلوط یکسان این دو بررسی و مقایسه شد. به این منظور، این تحقیق به صورت گلدانی (۱۰ لیتر) و در قالب طرح کاملاً تصادفی چندمشاهده‌ای و در سه تکرار انجام گرفت. نتایج نشان داد میزان رشد و وزن خشک اندام‌های مختلف گیاه، به عنوان تابعی از شرایط تیمار در مرحله زایش تا برداشت نهایی دارای تفاوت معنی‌داری است؛ به عبارت دقیق‌تر، مقدار متوسط وزن دانه، ارتفاع بوته، قطر طبق و بازده محصول در هر گلدان تحت شرایط آبیاری با پساب به ترتیب تا ۲۱، ۱۴، ۲۷ و ۴۰ درصد نسبت به تیمار آب چاه بالاتر است. همچنین، میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم جذب‌شده در گیاه مطابق با شرایط آبیاری به ترتیب در اندام‌های برگ، دانه و ساقه تفاوت معنی‌داری داشت. نتایج آزمایش‌های خاک نشان داد کاهش کیفیت شایان توجه نبود و آبیاری با پساب موجب مغذی‌شدن و افزایش باروری خاک شد؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت استفاده ایمن از پساب تصفیه‌شده خروجی از واحد لجن فعال تصفیه‌خانه شهرک محلاتی میسر است، هر چند مخلوط آن با آب چاه برای آبیاری پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، استفاده مجدد از پساب، پساب شهری، خاک، عملکرد محصول.

۱. مقدمه و هدف

۱۴۰۰ به دلیل رشد جمعیت، توسعه شهری و تأسیسات آبرسانی در مجموع با ۲۵ درصد افزایش به بیش از ۵ میلیارد متر مکعب برسد [۲]. این در حالی است که ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و در حال حاضر علاوه بر مشکلات کمی با مسائلی مانند آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی و شوری خاک نیز مواجه است. این مسئله ممکن است بر شیوه و بازده تخصیص آب بین بخش‌های مختلف کشاورزی و شرب اثرگذار باشد [۳]. مدیریت صحیح استفاده مجدد از پساب براساس عوامل اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی علاوه بر مطالعات امکان‌سنجی و آنالیز هزینه حائز اهمیت است [۴]. همچنین، بر

در حال حاضر، حدود ۹۳ درصد از کل آب مصرفی کشور صرف آبیاری اراضی زراعی با وسعتی در حدود ۸/۵ میلیون هکتار می‌شود و سهم شرب و صنعت به ترتیب ۵/۸ و ۱/۲ درصد است [۱]. در عین حال، در ایالات متحده آمریکا به‌طور متوسط میزان تخصیص کل منابع آب به بخش کشاورزی حدود ۴۰ درصد است که در ایالت‌های غربی نظیر کالیفرنیا و کلرادو به ۸۰ درصد افزایش می‌یابد [۲]. پتانسیل فاضلاب خانگی تولیدی در سطح کشور براساس آمار سرشماری رسمی سال ۱۳۸۵ در مجموع به ۴۴۰۰ میلیون متر مکعب می‌رسد و پیش‌بینی می‌شود تا سال

می‌تواند موجب افزایش بازده آن شود [۱۸]. همچنین، این روش می‌تواند با آب‌شویی و کاهش میزان شوری خاک، به توسعه پایدار کشاورزی حتی در مناطق خشک منتهی شود [۱۹].

ساختار شیمیایی خاک نیز تأثیر بسزایی بر رشد گیاهان دارد و ممکن است از شرایط آبیاری تأثیر بگیرد؛ بنابراین، بررسی تغییرات احتمالی خصوصیات خاک ناشی از آبیاری با پساب موجب شناخت محیط رشد گیاهان در راستای ارتقای بهره‌وری خاک می‌شود [۲۰، ۲۱]. به‌این‌منظور، بررسی موردی تأثیر آبیاری با پساب خروجی از حوض ته‌نشینی ثانویه تصفیه‌خانه فاضلاب شهری در مقایسه با منبع آب متعارف بر تغییر مشخصات شیمیایی خاک و عملکرد آفتابگردان انجام گرفت؛ برای مثال، مطابق تحقیقات فریدمن و همکاران (۲۰۰۷)، مقادیر املاح، به‌ویژه غلظت سدیم موجود در خاک، تا عمق ۴۰ سانتی‌متری تغییر کرد و جذب بیشتری در مقایسه با کلسیم و منیزیم داشت. همچنین، تحت چنین شرایطی، مقادیر بیشتری از فسفر جذب برگ گیاه شد [۲۲]. به‌کارگیری دو منبع آب متفاوت یعنی پساب و مخلوط آب چاه و پساب برای آبیاری مرکبات هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری در ترکیب گیاه و مشخصات کیفی خاک ایجاد نکرد [۲۳]. درحالی‌که آبیاری درختان سیب با استفاده از پساب موجب افزایش هدایت الکتریکی، اسیدیته خاک و کربن آلی موجود می‌شود و به‌عنوان عامل افزایش میزان نیتروژن خاک گزارش شد [۲۴]. همچنین، محققان در محیط گلدان، آثار درازمدت آبیاری با پساب خروجی از حوض ته‌نشینی ثانویه را بر رشد و عملکرد گونه‌های گیاهی آفتابگردان و کرچک برای دو سال بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد تغییرات شایان توجهی در pH و درصد مواد آلی خاک مشاهده نشد، ولی فسفر قابل جذب به میزان معنی‌داری در لایه‌های فوقانی خاک افزایش یافت [۲۵]. شایان ذکر است نتایج تحقیقات به‌ویژه در زمینه مشخصات کیفی خاک بیانگر آن است که نوع گونه‌های گیاهی در زمینه تغییرات احتمالی در مشخصات خاک و در نتیجه به‌کارگیری پساب حائز اهمیت است [۲۶].

در این تحقیق، آثار استفاده مجدد از پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک شهید محلاتی تهران به‌صورت موردی بر رشد و عملکرد آفتابگردان و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تحت شرایط اعمال تیمارهای متفاوت آبیاری بررسی شد. هدف از این پژوهش، امکان‌سنجی و ارزیابی شرایط کیفی پساب این تصفیه‌خانه برای کشت محصولات در محل تصفیه‌خانه بود. همچنین، این پژوهش با بهره‌گیری از تجارب مطالعات پیشین و در مقیاس آزمایشگاهی، به مقایسه

یکپارچگی مدیریت و تخصیص پساب تصفیه‌شده بنا بر نیازهای ذی‌نفعان و ارائه دستورالعمل طراحی و بهره‌برداری بر این اساس تأکید شد [۵، ۶]. در همین راستا و براساس سامانه‌های پویا، که قادر به بررسی مسائل اجتماعی و اقتصادی نیز هستند چنین برآورد می‌شود که با گذشت زمان یکی از عوامل مؤثر و پایدار که می‌تواند مستقل از رشد جمعیت و نیاز تأمین مواد غذایی، همواره در دسترس و موجب کاهش فشار وارد بر کمیت منابع آبی شود، استفاده مجدد از پساب است [۷، ۸].

تحقیقات سال‌های اخیر نشان می‌دهد بهره‌گیری از پساب خروجی از واحدهای تصفیه ثانویه فاضلاب مانند لجن فعال، در بخش کشاورزی توانست قسمتی از مشکلات کم‌آبی و معضلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی را کاهش دهد [۹، ۱۰]؛ برای نمونه در تحقیقات مشابه از طریق آبیاری زمین‌های زراعی و باغات در کشور یونان و در مدت شش ماه تابستان مشاهده شد استفاده مجدد از پساب تصفیه‌شده تأثیر بسزایی بر رشد سبزیجات و درختان انگور و زیتون داشت. درضمن، برداشت آب خام برای آبیاری زمین‌های تحت کشت حدود ۴ درصد معادل ۱۹ میلیون متر مکعب کاهش یافت [۱۱]. در جزیره سسیل در حوزه مدیریتانه با شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک نیز نتایج ارزیابی تأثیر آبیاری گوجه‌فرنگی و بادنجان با فاضلاب تصفیه‌شده نشان داد افزایش ۲۰ درصدی در عملکرد محصول قابل دسترسی است [۱۲]. در ایران نیز میزان تأثیر استفاده مجدد از پساب تصفیه‌شده شهری در افزایش عملکرد گوجه‌فرنگی حدود ۴۸ درصد در مقایسه با آبیاری متعارف این محصول با آب چاه گزارش شد [۱۳]؛ بنابراین، با در نظر گرفتن سهم شایان توجه بخش کشاورزی از مصرف آب، در تحقیقات مختلف پیشنهاد شد آبیاری فضای سبز شهری، زمین‌های زراعی و باغات با استفاده از پساب تصفیه‌شده شهری به‌عنوان منبعی دائمی، مطمئن و البته غنی از مواد مغذی صورت پذیرد، زیرا می‌تواند در مواقع بحرانی، آب و بخشی از کود مورد نیاز گیاه را تأمین کند [۱۴-۱۶].

علاوه بر کاهش مصرف آب و وجود مواد مغذی در پساب، به‌کارگیری پساب و اختلاط آن با سایر منابع آب موجود مانند آب زیرزمینی، زمینه‌ساز ارتقای کیفی زراعی و بازده محصولات می‌شود [۱۷]؛ برای نمونه، در مناطقی که سفره‌های آب زیرزمینی شور دارند، ممکن است میزان املاح پساب پایین‌تر از میزان املاح آب‌های زیرزمینی استفاده‌شده در بخش کشاورزی باشد؛ بنابراین، از آنجاکه بازده محصولات تابع غلظت املاح و آستانه تحمل گیاه است، در کنار سایر مزایا، استفاده از پساب

چندمشاهده‌ای و در سه تکرار با کشت آفتابگردان روغنی انجام گرفت. بذرهاى آفتابگردان روغنی از ارقام آزادگرده افشان (مستر) حدود دوازده ساعت پیش از کاشت، در محیطی مرطوب و اشباع نگهداری شد و سرانجام در هر گلدان، چهار بذر کاشته شد [۳۱]. بوته‌های اضافی پس از استقرار کامل در مرحله چهاربرگی حذف شد و در نهایت دو گیاهچه در هر گلدان برای بررسی نگهداری شد. به این منظور، از گلدان‌های پلاستیکی شماره ۱۰ با قطر دهانه ۲۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر (حجم تقریبی ۱۰ لیتر) استفاده شد.

پس از استقرار کامل و تشکیل تراکم مناسب و بدون افزودن کود شیمیایی، تیمارهای آبیاری به تفکیک اعمال شدند. اولین آبیاری با هدف رساندن رطوبت خاک به ۱۰۰ درصد نیاز آبی انجام گرفت (۱۰ لیتر) و در ادامه، رطوبت به روش وزنی و به صورت ۷۰ تا ۸۰ درصد ظرفیت زراعی تأمین شد. تیمارهای اصلی نوع آبیاری به ترتیب شامل سه ترکیب ۱. آبیاری کامل با آب چاه (T₁)، ۲. آبیاری با مخلوط آب چاه و فاضلاب تصفیه‌شده- هر کدام به میزان ۵۰ درصد (T₂) و ۳. آبیاری کامل با فاضلاب تصفیه‌شده (T₃) هستند [۳۲-۳۴] که به مدت چهار ماه (بازه زمانی خرداد تا مهرماه) انجام گرفت. همچنین، خاک استفاده‌شده در کشت گلخانه‌ای دارای بافت لوم رسی، با pH حدود ۷/۸، هدایت الکتریکی ۱/۹ دسی‌زیمنس بر متر و وزن مخصوص ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. سایر مشخصات فیزیکی خاک پیش از اعمال تیمارهای آبیاری به همراه میزان حداکثر مجاز پیشنهادی [۳۵] در جدول ۲ می‌آید.

۳.۲. نمونه‌گیری و انجام‌دادن آزمایش‌ها

در زمینه آفتابگردان بررسی‌شده، مشخصات مربوط به ارتفاع ساقه گیاه، تعداد برگ، اندازه و قطر ساقه و طبق، وزن مخصوص خشک برگ، ساقه و طبق در طول انجام‌دادن تحقیق اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی روند رشد، اندام‌های گیاه، برگ، ساقه و طبق از یکدیگر تفکیک و درون کیسه‌های نخی در آون و در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شد و وزن آن‌ها با ترازو به دقت یک هزارم گرم توزین شدند. مراحل نمو آفتابگردان مطابق روش طبقه‌بندی اشنایتر و میلر [۳۶] و براساس جدول ۳ از طریق بررسی‌های مستمر تعیین شد.

جامع تأثیر استفاده مجدد از پساب تصفیه‌شده شهری بر رشد اندام‌های مختلف گیاه به تفکیک پارامترهای پساب می‌پردازد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. مشخصات آب و پساب

تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک شهید محلاتی، در شمال شرقی تهران و در ارتفاع ۱۷۰۰ متری از سطح دریا واقع شد. این تصفیه‌خانه برای ظرفیتی در حدود ۳۰ هزار نفر طراحی شد و در سال ۱۳۷۸ به بهره‌برداری رسید. در حال حاضر، دبی متوسط ورودی به تصفیه‌خانه ۲۰۰ متر مکعب در ساعت و میزان حداکثر آن به ۳۵۰ متر مکعب در ساعت می‌رسد. تصفیه فاضلاب در این واحد، پس از آشغالگیری و دانه‌گیری، به روش لجن فعال از نوع هوادهی گسترده صورت پذیرفت و در انتها با استفاده از کلر گندزدایی می‌شود [۲۷-۲۸]. همچنین، منبع آب متعارف نیز از چاه آبیاری فضای سبز و گلخانه واقع در محله شمس‌آباد تهران برداشت شد. مشخصات کیفی پساب و آب چاه در طول مدت تحقیق به‌طور مستمر آنالیز شد و مقادیر میانگین آن‌ها در مقایسه با ضوابط استاندارد سازمان محیط زیست ایران در جدول ۱ ارائه می‌شود. این پارامترها شامل pH، هدایت الکتریکی (EC)^۱، بی‌کربنات، میزان اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (BOD)^۲، اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD)^۳ و کل مواد جامد معلق (TSS)^۴، آمیون‌ها و کاتیون‌ها از جمله نیترات، فسفات، سولفات، کلراید، منیزیم، سدیم، کلسیم و پتاسیم طی نه ماه اندازه‌گیری شد. تمام آزمایش‌ها در آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات آب مطابق با روش استاندارد ذکرشده در مرجع معتبر [۲۹] صورت گرفت و با نتایج آزمایشگاه تصفیه‌خانه اکباتان صحت‌سنجی شد. پیشتر در مطالعاتی به منظور بررسی عملکرد این تصفیه‌خانه، درصد حذف این آلاینده‌ها در مدت‌زمان مطالعه تعیین شد و پارامترهای مورد سنجش در پساب خروجی با معیارها و استانداردهای زیست محیطی سازمان حفاظت محیط زیست ایران [۳۰] برای استفاده مجدد در فضای سبز ارزیابی شد [۲۸].

۲.۲. روش تحقیق

این تحقیق به صورت گلدانی (درمجموع دوازده گلدان) در فضای باز و در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD)^۵

1. Electro-Conductivity
2. Biochemical Oxidation Demand
3. Chemical Oxidation Demand
4. Total Suspended Solids
5. Completely Randomized Design

جدول ۱. میانگین مشخصات کیفی آب چاه و پساب تصفیه شده و مقایسه آن با حداکثر مجاز یا بازه پیشنهادی استاندارد [۳۰]

پارامتر	واحد	آب چاه	پساب	مقدار مجاز آبیاری	مقدار مجاز تخلیه به آب های سطحی
pH	-	۷/۸	۷/۵	۶/۵-۸/۵	۶/۵-۸/۵
هدایت الکتریکی (EC)	ds/m	۰/۹۸	۰/۷۹	۲/۵-۷/۵	-
(BOD ₅)	mg/L	*ND	۱۳/۱	۱۰۰	۳۰
COD	mg/L	ND	۲۷/۷	۲۰۰	۶۰
TSS	mg/L	ND	۱۸/۷	۱۰۰	-
نیترات	mg/L	۴۷/۸	۱۴۳/۲	-	۵۰
فسفات	mg/L	۰/۲	۷/۸	۵۰	۶
سولفات	meq/L	۳/۱۳	۱/۴۶	۵/۲	۴/۲
کلراید	meq/L	۲/۰۶	۴/۱۸	۶	۱۶/۹
بی کربنات	meq/L	۳/۵۷	۱/۳۱	-	-
منیزیم	meq/L	۴/۴۱	۲/۱۴	۸/۲	۸/۲
سدیم	meq/L	۲/۱۵	۴/۷۳	-	-
کلسیم	meq/L	۳۳/۳	۳/۷۹	-	-
پتاسیم	meq/L	۰/۰۴	۰/۴۱	-	-
نسبت جذب سدیم (SAR) ^۱	-	۱/۰۸	۲/۷۵	۱۰	-

* ND مشاهده نشد.

جدول ۲. مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک استفاده شده قبل از اعمال تیمارهای آبیاری

بافت خاک	درصد ماسه	درصد لای	درصد رس	پتاسیم قابل جذب (ppm)	فسفر قابل جذب (ppm)	نیترژن کل (%)	مواد خنثی شونده (%)	pH	مواد آلی (%)
لوم رسی	۲۸	۴۰	۳۲	۱۸۵	۱۱/۵	۰/۰۸۶	۱۷/۴	۷/۸	۰/۹۸
حد مجاز	-	-	-	۳۵۰	۱۵	۰/۱۵	۱۰	۶-۸	-

خشک استفاده شد [۳۹]. سپس یک گرم از هر نمونه دانه و اندام هوایی آسیاب شد و با دقت یک هزارم گرم توزین شد و به درون بوته های چینی انتقال داده شد. نمونه ها در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد و به مدت دو ساعت خاکستر شدند. سپس ۵ میلی لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به نمونه ها اضافه شد و محلول حاصل روی اجاق برقی حرارت داده شد. در ادامه، به کمک آب مقطر گرم و با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ درون بالن ژوژه های ۱۰۰ میلی لیتر صاف سازی شدند. میزان جذب نیترژن به روش کج لال [۴۰]، فسفر به روش رنگ سنجی (اسپکتروفتومتری) و پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر و با استفاده از منحنی استاندارد کالیبراسیون انجام گرفت. همچنین، پس از کوبیدن مخلوط خاک و عبور از الک ۲ میلی متری، عصاره خاک تهیه و برای محاسبه املاح و خواص آن به آزمایشگاه مرجع منتقل شد

پس از برداشت محصول نیز عملکرد کمی شامل وزن هزاردانه، ارتفاع بوته و قطر طبق تعیین شد. ارتفاع گیاه با یک متر پارچه ای و با احتساب قسمت خمیده ساقه گیاه انجام گرفت. سپس تمام مشخصات اندازه گیری شده شامل وزن خشک برگ، ارتفاع بوته و عملکرد دانه تجزیه و تحلیل آنالیز واریانس شد و میانگین آن ها با آزمون چنددامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شد. در نهایت، ضرایب همبستگی بین صفات بررسی شده محاسبه شدند [۳۷]. برای آنالیز آماری داده ها از نرم افزار آماری SPSS و برای ترسیم نمودارها از نرم افزار اکسل استفاده شد. با توجه به اینکه آفتابگردان روغنی مصرف خام ندارد و پس از فرآوری استفاده می شود، شمارش و تعیین کلیفرم ها انجام نگرفت [۳۸].

در نهایت، عملکرد کیفی محصول شامل درصد عناصر غذایی ماکرو تعیین شد. برای اندازه گیری عناصر غذایی در نمونه های گیاهی، از روش عصاره گیری به روش خاکستر

[۴۱]. از نمونه‌های خاک گل اشباع تهیه شد و میزان هدایت الکتریکی و pH توسط دستگاه هدایت‌سنج رقومی قرائت شد [۴۲]. و میزان مواد آلی خاک نیز با روش سوزاندن تر مشخص شد

جدول ۳. مراحل نمو آفتابگردان براساس طبقه‌بندی اشنایتر و میلر [۳۶]

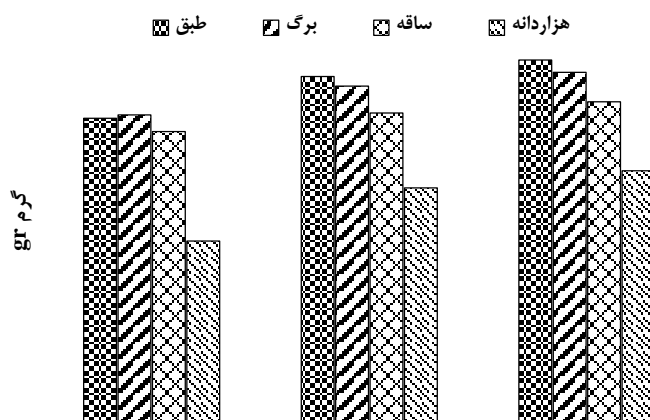
مرحله نمو	نماد اختصاری
آغاز مرحله رویشی با جوانه‌زنی بذر (سبز شدن)	VE
تکمیل مرحله رویشی با پیدایش پانزده برگ حقیقی	V15
آغاز مرحله زایشی تا ظهور گل‌های شعاعی	R1-R4
آغاز مرحله گرده‌افشانی، ریزش گل‌های شعاعی و درنهایت تغییر رنگ تدریجی پشت طبق	R5-R8
مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه	R9

۳. نتایج و بحث

۱.۳. مقایسه میزان رشد و عملکرد گیاه

در این پژوهش، به‌منظور بررسی مقایسه‌ای تأثیر شرایط مختلف تیمار و میزان رشد و عملکرد آفتابگردان، مقدار وزن خشک اندام‌های هوایی و عملکردی مانند برگ، ساقه، طبق و دانه (به‌صورت هزاردانه) بررسی شد. مطابق شکل ۱، میزان متوسط رشد نهایی تمام اندام‌های گیاه در دوره برداشت در شرایط آبیاری کامل با پساب خروجی تصفیه‌خانه، بیشتر از

آب چاه بود؛ به‌عبارت دیگر، نه تنها آبیاری با پساب مانع از رشد گیاه نشد بلکه به افزایش آن و باروری بیشتر گیاه منتهی شد. این موضوع در تأیید نتایج مطالعات پیشین احتمالاً می‌تواند ناشی از مقادیر تقریباً بالاتر ترکیبات نیتروژن و فسفر موجود در پساب خروجی تصفیه‌خانه باشد [۳۲]، زیرا میزان رشد اندام‌های مختلف و افزایش وزن خشک آن‌ها به عنوان تابعی از غلظت مواد مغذی در آب شناخته می‌شود [۴۳-۴۴].



شکل ۱. متوسط میزان وزن خشک اندام‌های گیاه به تفکیک شرایط آبیاری در دوره برداشت

اطمینان ۵ درصد دارد؛ یعنی میزان رشد گیاه و اندام‌های مختلف آن کاملاً وابسته به کیفیت آب برای آبیاری و احتمالاً حضور مواد مغذی و آلی در پساب است. نتایج مجموع مربعات و تحلیل آماری در جدول ۴ نشان داده می‌شود.

شایان ذکر است نتایج مطالعات آماری و تجزیه واریانس صورت‌گرفته بیانگر این است که متوسط وزن خشک تمامی اندام‌های گیاه و در شرایط آبیاری مختلف، تفاوت معنی‌داری به‌ویژه بین آب چاه با نمونه‌های آبیاری‌شده با پساب، با بازه

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس وزن خشک اندام‌های مختلف گیاه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه
تیمار اصلی	۲	۰/۵۳*	۰/۳۹*
اثر متقابل تیمار و تکرار	۶	۰/۱۲	۰/۰۶
خطای نمونه برداری	۹	۰/۱۳	۰/۱۳
مجموع	۱۷		

* معنی دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد

بوته و وزن محصول نهایی آفتابگردان حدود ۲۷، ۱۴ و ۲۱ درصد نسبت به شرایط تیمار با آب چاه بیشتر است (جدول ۵). نتایج به دلیل مشابهت در روند جذب و اندام‌های اساسی، تأییدی بر نتایج مطالعات پیشین است [۳۳].

بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل آماری، در مدت زمان آزمایش تفاوت موجود پیرامون قطر طبق در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار است و تیمارهای آبیاری با پساب و آب چاه در گروه‌های کاملاً جداگانه قرار می‌گیرند (جدول ۶)؛ بنابراین، نتایج نشان می‌دهد تیمار با پساب موجب افزایش عملکرد آفتابگردان در تولید محصول می‌شود. به طور متوسط در انتهای دوره مطالعه، میزان عملکرد محصول به تفکیک تیمارهای آبیاری با آب چاه، مخلوط و پساب به ترتیب به میزان ۴۶/۲، ۶۲/۹ و ۶۴/۳ گرم در گلدان است.

توجه به این نکته حائز اهمیت است که معمولاً جذب بیشتر آب (پس از گرده‌افشانی) و مواد غذایی ممکن است موجب افزایش فعالیت فتوسنتز و در نهایت تولید ماده خشک بیشتر شود. همچنین، در مرحله پرشدن دانه، مواد غذایی بیشتری به دانه‌ها منتقل و موجب افزایش وزن هزاردانه می‌شود [۴۵]. مطابق نتایج، مشاهده شد شرایط تیمار با پساب، بیشترین وزن خشک برگ و ساقه را نسبت به سایر موارد دارد؛ بنابراین، دور از انتظار نیست که در مرحله رشد زایشی، به دلیل تراکم بافت بیشتر برگ‌ها برای انجام دادن عمل فتوسنتز و حضور مواد اساسی در ساقه و انتقال مجدد آن‌ها به دانه، وزن خشک طبق و هزاردانه در شرایط آبیاری با پساب، نسبت به سایر تیمارها بیشتر باشد. به طور کلی، در انتهای دوره برداشت مشاهده شد متوسط قطر طبق، ارتفاع

جدول ۵. متوسط مقادیر عملکرد آفتابگردان به تفکیک شرایط آبیاری

شرایط تیمار	وزن هزاردانه (gr)	ارتفاع بوته (cm)	قطر طبق (cm)	بازده محصول (gr/pot)
آب چاه	۵۶/۱	۱۶۸/۶	۱۰/۳	۴۶/۲
مخلوط آب چاه و پساب	۶۶/۶	۱۸۶/۹	۱۲/۳	۶۲/۹
پساب تصفیه شده	۷۰	۱۹۶/۸	۱۳/۸	۶۴/۳

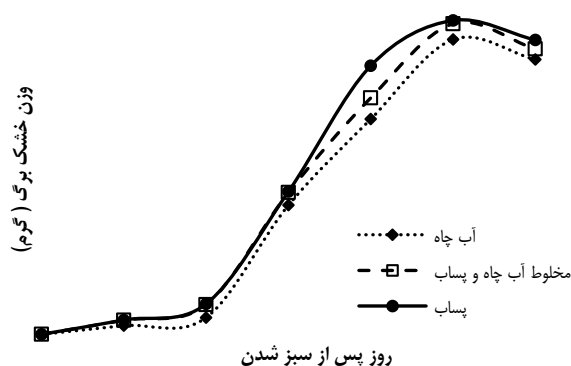
جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس عملکرد گیاه در مدت زمان اجرای طرح

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		وزن هزاردانه (gr)	ارتفاع بوته (cm)
تیمار اصلی	۲	۳۱۷/۳۳**	۱۴۱۸/۴۷*
اثر متقابل تیمار و تکرار	۶	۶/۷۸	۱۴۸/۷۸
خطای نمونه برداری	۹	۱۴/۹۹	۱۷۵/۴۵
مجموع	۱۷		

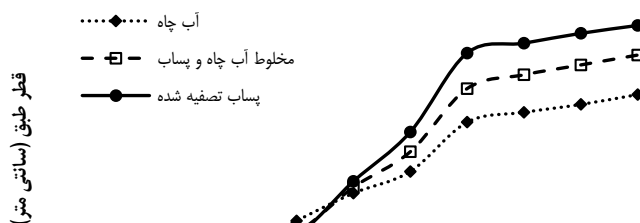
* معنی دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد ** معنی دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد

ولی پس از گذشت یک ماه، تجمع ماده خشک برگ با سرعت بیشتری انجام می‌گیرد، به طوری که در ۷۵ روز، به حداکثر میزان خود می‌رسد. پس از آن، تا دوره برداشت، نرخ رشد وزن خشک برگ در نتیجه ریزش برگ‌ها و انتقال مواد مغذی به دانه‌ها کاهش می‌یابد. در تمام دوره رشد، تیمار آبیاری با پساب نسبت به سایر موارد، وزن خشک بیشتری دارد (بین ۱۷ تا ۴۳ درصد) که بیانگر بهره‌مندی مفید گیاه از منبع آبیاری و جذب بهتر مواد مغذی توسط ریشه است.

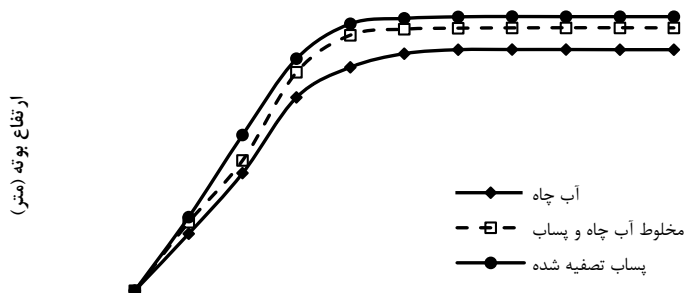
همچنین، میزان رشد گیاه و اندام‌های مختلف آن طی انجام دادن مطالعات آزمایشگاهی با یکدیگر مقایسه شد. مطابق شکل‌های ۲، ۳ و ۴، به ترتیب در دوره‌های مختلف رشد مطابق جدول ۳، میزان وزن خشک برگ، قطر طبق و ارتفاع بوته با گذر زمان افزایش می‌یابد و تقریباً به ترتیب از آغاز مرحله زایشی (R1) برای هر کدام و وابسته به کیفیت آبیاری از یکدیگر متمایز می‌شود. در این زمینه، روند تغییرات وزن خشک برگ در مدت مطالعه (شکل ۲) نشان می‌دهد در تمام تیمارها (آب چاه و پساب)، در ابتدا نرخ رشد کند است،



شکل ۲. روند تغییرات وزن خشک برگ در دوره مطالعه به تفکیک شرایط آبیاری



شکل ۳. روند تغییرات قطر طبق در دوره مطالعه به تفکیک شرایط آبیاری



شکل ۴. روند تغییرات ارتفاع بوته در دوره مطالعه به تفکیک شرایط آبیاری

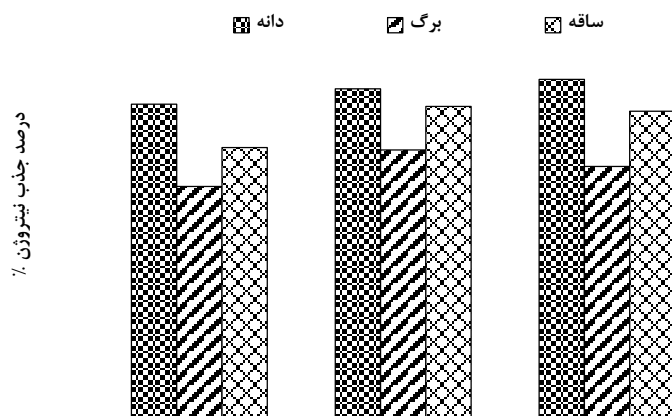
۲.۳. مقایسه میزان جذب مواد مغذی

معمولاً گیاهان به شکل طبیعی، آب و مواد غذایی خود را از محیط خاک و توسط ریشه‌هایشان جذب می‌کنند. سپس با انتقال آن‌ها از طریق آوندهای موجود، مواد غذایی را برای رشد بیشتر خود و تولید محصول، در اندام‌های مختلف به‌ویژه برگ ذخیره‌سازی می‌کنند. این سازوکار در زمره شش مرحله متعارف گیاه‌پالایی تحت عنوان استخراج گیاهی شناخته می‌شود که یکی از روش‌های طبیعی برای حذف آلودگی از محیط آب و خاک به‌شمار می‌رود [۴۶-۴۷]. به این ترتیب، بسیاری از گیاهان با جذب مواد مغذی (مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، به‌عنوان مهم‌ترین عناصر غذایی موجود در پساب به تدریج رشد می‌کنند و میزان وزن خشک اندام‌های مختلف آن‌ها افزایش می‌یابد [۴۸]؛ بنابراین، انتظار می‌رود مطابق نتایج پژوهش‌های موجود، رشد اندام مختلف به جذب ترکیبات مغذی مرتبط باشد و از کیفیت آب تأثیر پذیرد.

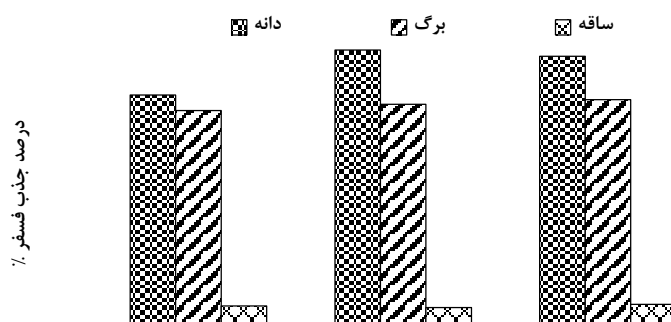
به این منظور، در دوره برداشت، میزان وزن ترکیبات مغذی در اندام‌های مختلف، به تفکیک شرایط آبیاری ارزیابی شد. شکل‌های ۵، ۶ و ۷ به ترتیب درصد جذب ترکیبات نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در اندام‌های آفتابگردان و به تفکیک شرایط آبیاری نشان می‌دهد. همان‌طور که قابل مشاهده است، شرایط آبیاری با پساب در مقایسه با آب چاه، به دلیل حضور مواد مغذی بیشتر، میزان جذب بالاتری در

اندام‌های مختلف دارد. این نکته توسط مطالعات مشابه پیرامون گیاهان ذرت و آفتابگردان تأیید شد [۳۳، ۴۹، ۵۰]. نتایج تحلیل آماری نشان می‌دهد تفاوت موجود در میزان جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم بین شرایط آبیاری با پساب و آب چاه، به ترتیب تنها در اندام‌های ساقه و برگ، دانه و ساقه معنی‌دار است. سایر مقادیر موجود تفاوت چشمگیری با یکدیگر ندارند؛ به عبارت دیگر، کیفیت آب موجب شد جذب نیتروژن در برگ‌ها، جذب فسفر در دانه‌ها و جذب پتاسیم در ساقه‌ها تفاوت شایان توجهی داشته باشد.

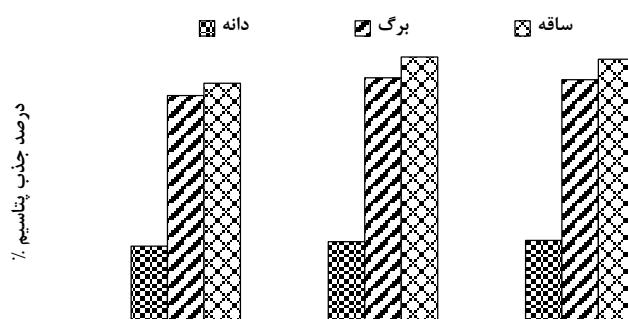
همچنین، شایان ذکر است هرچند غلظت فسفر در آب چاه و پساب تفاوت چشمگیری داشت، اما مطابق نتایج تحلیل واریانس، مقدار فسفر جذب‌شده در اندام گیاه، به جز دانه، تفاوت معنی‌داری تحت شرایط آبیاری ندارد. این موضوع ممکن است ناشی از قابلیت خاک و محیط اطراف ریشه در جذب و تثبیت فسفر باشد. این سازوکار با عنوان پالایش ریشه‌ای، توسط مطالعات پیشین در آبیاری مزرعه ذرت و گونه علف وتیور با پساب تأیید شد [۵۰-۵۱]؛ بنابراین، هرچند میزان جذب آلاینده‌ها و رشد گیاهان از غلظت مواد مغذی ناشی می‌شود، اما به‌ویژه در زمینه فسفر ممکن است به دلیل شرایط و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و بافت خاک تأثیر پذیرد.



شکل ۵. درصد جذب نیتروژن در اندام‌های گیاه به تفکیک شرایط آبیاری



شکل ۶. درصد جذب فسفر در اندام‌های گیاه به تفکیک شرایط آبیاری



شکل ۷. درصد جذب پتاسیم در اندام‌های گیاه به تفکیک شرایط آبیاری

نمک‌های احتمالی موجود در لایه‌های بالایی خاک به لایه‌های پایین‌تر شود، اما مشاهده می‌شود این افزایش موجب ایجاد تغییرات معنی‌داری در مشخصات کیفی خاک نشد که می‌تواند ناشی از وجود مقادیر هدایت الکتریکی و pH پساب در محدوده مجاز باشد. این وضعیت برای سایر مؤلفه‌های خاک، به جز درصد نیتروژن کل و فسفر قابل جذب و مواد آلی، قابل تعمیم است (جدول ۷).

در زمینه پارامترهای نیتروژن، فسفر و کربن آلی که بیشتر از شیوه آبیاری تأثیر پذیرفته‌اند، باید ذکر شود که مقادیر درصد نیتروژن تقریباً معادل نتایج تحقیقات راهیل و آنتوپولوس (۲۰۰۷) است [۵۴]. در عین حال، میزان مواد آلی و فسفر خاک حاصل به میزان اندکی کمتر از نتایج پژوهش بلندمدت دوساله چاتزاکیس و همکاران است [۲۵]. با افزایش میزان ماده آلی موجود در خاک، جذب فسفر توسط گیاه افزایش می‌یابد، زیرا در نتیجه تجزیه ماده آلی خاک، به‌ویژه تحت شرایط آنوکسیک و بی‌هوازی، اسیدهای آلی آزاد موجب افزایش غلظت فسفات محلول در آب می‌شود و میزان فسفر موجود برای جذب توسط گیاه افزایش می‌یابد [۵۵].

۳.۳. مشخصات خاک

با توجه به مقادیر هدایت الکتریکی و سایر مشخصات پساب استفاده‌شده و براساس استانداردهای سازمان خواربار جهانی، به نظر می‌رسد احتمال تخریب بافت خاک و تأثیر منفی بر نفوذپذیری آن کم باشد [۵۲]؛ بنابراین، در این تحقیق در کنار بررسی‌های مربوط به رشد و عملکرد گیاه، ارزیابی مشخصات کیفی خاک نیز انجام گرفت. این مشخصات پیش از انجام دادن مطالعات و پس از اتمام، به تفکیک انواع تیمار به‌همراه حدود مجاز در جدول ۷ ارائه می‌شود. میزان هدایت الکتریکی و SAR خاک در نتیجه آبیاری با پساب، مشابه تحقیق پدررو و آلکارون (۲۰۰۹) افزایش یافت [۲۳]، اما همچنان در گروه خاک‌های معمولی قابل رده‌بندی است [۳۵]. این نتیجه برخلاف نتیجه خاک‌شناسی زرجوع و همکاران [۵۳] است، زیرا با فرض مشخصات کیفی یکسان فاضلاب شهری، به‌نظر می‌رسد مشخصات اولیه خاک در یزد با تهران متفاوت باشد و این عامل در تعیین روند افزایش یا کاهش هدایت الکتریکی و شاخص جذب سدیم مؤثر است. به‌طور کلی، فاضلاب تصفیه‌شده با توجه به میزان هدایت الکتریکی آن می‌تواند موجب آبشویی

استفاده شود. شایان توضیح است نتایج این پژوهش می‌تواند به سایر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری تهران با توجه به ارزیابی‌های کیفی فاضلاب خام آن‌ها تعمیم داده شود که از فرایند لجن فعال استفاده می‌کنند، اما شهرهای دیگر نظیر شهرهای صنعتی (مانند اراک) و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صنعتی [۵۶] نیازمند مطالعات موردی مشابه این پژوهش هستند تا نتایج قابل بررسی و مقایسه باشد.

با توجه به اینکه عملکرد گیاه تحت شرایط آبیاری با پساب بیشتر از آب چاه بود و در مجموع محصول بیشتری حاصل شد و در ضمن تفاوت بارزی بین شرایط تیمار مخلوط آب چاه و پساب و آبیاری با پساب وجود نداشت، پیشنهاد می‌شود برای حفظ مشخصات مجاز کیفی خاک و کاهش احتمال آلودگی آن، پساب خروجی تصفیه‌خانه شهرک شهید محلاتی به صورت مخلوط با آب چاه برای آبیاری گیاهان

جدول ۷. میانگین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک قبل و بعد از آزمایش

پارامتر	واحد	پیش از کشت	T ₁	T ₂	T ₃	مقدار مجاز [۵۲]
pH	-	۷/۸	۸/۱	۷/۷	۷/۵	۶-۸
هدایت الکتریکی	ds/m	۱/۹	۱/۹	۲/۰۵	۲/۲	۴
نیترژن کل	درصد	۰/۰۸۶	۰/۰۸۲	۰/۱۱	۰/۱۴	-
فسفر قابل جذب	ppm	۱۱/۴۶	۷/۳۳	۱۰/۷۱	۱۲/۷۸	۱۵
پتاسیم قابل جذب	ppm	۱۸۷	۱۸۸/۴	۱۹۳/۳	۱۹۵/۸	۳۵۰
مواد آلی کربنی	درصد	۰/۹۸	۱/۱۷	۱/۴۴	۱/۵۴	۱/۵
سولفات	meq/L	۱۲/۲۶	۱۲/۱۱	۱۳/۰۸	۱۳/۲۷	-
کلراید	meq/L	۱/۷۳	۲/۶۷	۲/۹۲	۳/۲۳	۹
بی‌کربنات	meq/L	۲/۱۸	۲/۳۶	۲/۱۳	۲/۰۶	۲
منیزیم	meq/L	۵/۳۲	۴/۸۳	۴/۸۷	۴/۷۴	۶
سدیم	meq/L	۵/۱۵	۶/۵۷	۶/۸۹	۷/۶۶	۸
کلسیم	meq/L	۶/۴۸	۷/۴۶	۷/۴۸	۷/۳۹	۸
SAR	-	۲/۱۲	۲/۶۵	۲/۷۷	۳/۱۱	۱۳

۴. جمع‌بندی

هدف از این تحقیق ارزیابی میزان رشد و عملکرد آفتابگردان روغنی در صورت آبیاری با پساب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شهرک شهید محلاتی تهران در مقایسه با شرایط تیمار با آب چاه بود. نتایج نشان داد آبیاری با پساب تصفیه‌خانه در مدت چهارماه بدون ایجاد آثار منفی بر کیفیت خاک موجب افزایش رشد و بهبود مشخصه‌های عملکردی گیاه نسبت به شرایط تیمار با آب چاه می‌شود. همچنین، نتایج بررسی‌های مقایسه‌ای آماری نشان داد این برتری تقریباً معنی‌دار است و میزان رشد هر بخش از گیاه وابسته به پارامتر کیفی معینی است؛ بنابراین، می‌توان پیشنهاد کرد

تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری که روش‌های تصفیه تکمیلی برای حذف ازت و فسفر ندارند، می‌توانند در صورت وجود زمین کافی، از پساب خود برای کشت محصولات زودبازده نظیر آفتابگردان استفاده کنند و ضمن توسعه فضای سبز و استفاده بهینه از پساب، به تولید محصولات و کاهش هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری مبادرت ورزند. در این پژوهش، تأکید می‌شود برای حفظ مشخصات خاک در درازمدت بهتر است برای آبیاری گیاهان از مخلوط پساب و آب چاه برای دستیابی به اثربخشی مطلوب استفاده کرد که می‌تواند پس از عملیاتی‌شدن در درازمدت بررسی مجدد شود؛ بنابراین، مطابق نتایج حاضر، انتظار می‌رود محصول خروجی پس از یک دوره کشت تا ۴۰ درصد بیشتر از شرایط

تحقیقات آب و فاضلاب، جناب آقای دکتر اکبرزاده، برای همکاری در انجام‌دادن آزمایش‌ها و پرسنل بهره‌برداری تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک شهید محلاتی، آقایان مهندس امیدی و فریور، مدیر محترم تصفیه‌خانه شهرک اکباتان و شهرداری منطقه ۴ ناحیه ۳ تهران سپاسگزاریم. همچنین، لازم است از راهنمایی‌های جناب آقای مهندس شویدی نیز در انجام‌دادن این پژوهش و اصلاح متون قدردانی شود.

تیمار با آب چاه باشد. همچنین، نتایج به این نکته اساسی اشاره دارد که توجه به نحوه استفاده از پساب باید به‌عنوان شاخصی اصلی در انتخاب واحدهای فرایندی، طراحی و ارتقای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مد نظر قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

از آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات آب و مدیر محترم مرکز

مراجع

- [۱]. (۱۳۸۹). "ضوابط زیست‌محیطی استفاده مجدد از آب‌های برگشتی و پساب‌ها"، نشریه معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، وزارت نیرو، ۵۳۵.
- [2]. USEPA. (2004). "Guidelines for Water Reuse", EPA/625/R-04/108.
- [3]. Lee, C.S. (2012). "Multi-objective game-theory models for conflict analysis in reservoir watershed management", *Chemosphere*, 87, 608–613.
- [۴]. ترابیان، ع.، مطلبی، م. (۱۳۸۲). "طرح مدیریتی استفاده مجدد از پساب تصفیه‌شده (مطالعه موردی: شهرک اکباتان)"، *مجله محیط‌شناسی*، ۳۲، ۶۲-۵۷.
- [5]. Jamshidi, S., Niksokhan, M.H., Ardestani, M. (2014). "Surface Water Quality Management Using an Integrated Discharge Permit and the Reclaimed Water Market", *Water Science & Technology*, 70 (5), 917-924.
- [6]. Jamshidi, S., Ardestani, M., Niksokhan, M.H. (2015). "Upgrading Wastewater Treatment Plants Based on Reuse Demand, Technical and Environmental Policies (A Case Study)", *Environmental Energy and Economics International Research*, 1 (2), 101-110.
- [7]. Tsoutsos, T., Chatzakis, M., Sarantopoulos, I., Nikologiannis, A., Pasadakis, N. (2013). "Effect of wastewater irrigation on biodiesel quality and productivity from castor and sunflower oil seeds", *Renewable Energy*, 57, 211-215.
- [8]. Davies, E.G.R., Simonovic, S.P. (2011). "Global water resources modeling with an integrated model of the social-economic-environmental system", *Advances in Water Resources*, 34, 684-700.
- [9]. Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., Alarcón, J.J., Koukoulakis, P., Asano T. (2010). "Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture: review of some practices in Spain and Greece", *Agricultural Water Management*, 97, 1233-1241.
- [10]. Duncan, R.R., Carrow, R.N., Huck, M.T. (2009). "Turfgrass and Landscape Irrigation Water Quality: Assessment and Management", CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- [11]. Agrafioti, E., Diamadopoulos, E. (2012). "A strategic plan for reuse of treated municipal wastewater for crop irrigation on the Island of Crete", *Agricultural Water Management*, 105, 57-64.
- [12]. Cirelli, G.L., Consoli, S., Licciardello, F., Aiello, R., Giuffrida, F., Leonardi, C. (2012). "Treated municipal wastewater reuse in vegetable production", *Agricultural Water Management*, 104, 163-170.
- [۱۳]. عرفانی، ع.، حق‌نیا، غ.، علیزاده، ا. (۱۳۸۰). "تاثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده خانگی بر عملکرد و کیفیت گوجه فرنگی"، *مجله علوم و صنایع کشاورزی*، ۱۱۵(۱)، ۷۶-۶۵.
- [14]. Asano T., Burton F., Leverenz, H., Tsuchihashi, R., Tchobanoglous, G. (2007). "Water reuse, Issues, Technologies, and Applications", 1st edition, Metcalf & Eddy Inc., McGraw Hill, New York, USA.
- [15]. Chen, W., Lu, S., Jiao, W., Wang, M., Chang, A.C. (2013). "Reclaimed water: A safe irrigation water source?", *Environmental Development*, 8, 74-83.

- [16]. Mizyed, N.R. (2013). "Challenges to treated wastewater reuse in arid and semi arid areas", *Environmental science and policy*, 25, 186-195.
- [17]. Al-Khamisi, S., Prathapar S.A., Ahmed, M. (2013). "Conjunctive use of reclaimed water and groundwater in crop rotations", *Agricultural Water Management*, 116, 228-234.
- [18]. Palacios-Díaz, M.P., Mendoza-Grimon, Fernandez-Vera, J.R., Rodriquez-Rodriquez, F., Tejedor-Junco, M.T., Hernandez-Moreno, J.M., (2009). "Subsurface drip irrigation and reclaimed water quality effects on phosphorous and salinity distribution and forage production, agricultural water management", 96 (11), 1659-1666.
- [19]. Badalians Gholikandi, G., Khosravi, M. (2010). "Evaluation of agriculture soil quality by treated wastewater reuse in arid regions: case study in Sistan and Baluchestan province, Iran", *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 5 (4), 392-406.
- [20]. Alshammary, S.F., Qian, Y.L. (2008). "Long Term Effects of Effluent Water Irrigation on Soil Nitrate and Phosphorus Profiles under Turfgrass", *Journal of Applied Science*, 8, 3662-3668.
- [21]. Qian, Y.L., Mecham, B. (2005). "Long-term effects of recycled wastewater irrigation on soil chemical properties on golf course fairways", *Agronomy Journal*, 97, 717-721.
- [22]. Friedman, H., Bernstein, N., Burner, M., Rot, I., Ben-Noon, Z., Zuriel, A., Zuriel, R., Finkelstein, S., Umiel, N., Hagiladi, A. (2007). "Application of secondary treated effluents for cultivation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and celosia (*Celosia argentea* L.) as cut flowers", *Scientia Horticulturae*, 115, 62-69.
- [23]. Pedrero, F., Alarcon, J.J. (2009). "Effects of treated wastewater irrigation on lemon trees", *Desalination*, 246, 631-639.
- [24]. Tabari, M., Salehi, A. (2009). "Long term impact of municipal sewage irrigation on treated soil and black locust trees in a semi-arid suburban area of Iran", *Journal of Environmental Sciences*, 21 (10), 1438-1445.
- [25]. Chatzakis, M.K., Tzanakakis, V.A., Mara, D.D., Angelakis, A.N. (2011). "Irrigation of Castor Bean (*Ricinus communis* L.) and Sunflower (*Helianthus annuus* L.) plant species with municipal wastewater effluent: Impacts on soil properties and seed yield", *Water*, 3 (4), 1112-1127.
- [26]. Tzanakakis, V.A., Paranychianakis, N.V., Londra, P.A., Angelakis, A.N. (2011). "Effluent application to the land: changes in soil properties", *Ecological Engineering*, 37, 1757-1764.
- [27]. Gholikandi, G.B., Jamshidi, S., Hazrati, H. (2014). "Optimization of Anaerobic Baffled Reactor (ABR) Using Artificial Neural Network in Municipal Wastewater Treatment", *Environmental Engineering and Management Journal*, 13 (1), 95-104.
- [۲۸]. بدلیانس قلی‌کندی، گ.، ابریشمی، ع.، شویدی، ع.، جمشیدی، ش. (۱۳۹۲). "امکان‌سنجی استفاده مجدد از پساب تصفیه‌شده برای آبیاری فضای سبز (مطالعه موردی پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهید محلاتی)"، نخستین همایش ملی بازیافت آب، دانشگاه تهران.
- [29]. APHA (2005). "Standard Methods for the Examination of water and wastewater", 24th edition, American Public Health Association, Washington D.C.
- [۳۰]. سازمان حفاظت محیط زیست ایران. (۱۳۷۸). "ضوابط و استانداردهای زیست‌محیطی"، انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست ایران، تهران.
- [۳۱]. متشرع زاده، ب.، ثواقبی، غ.ر. (۱۳۹۰). "بررسی پاسخ‌های آفتابگردان به سمیت کادمیوم و سرب با کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه در یک خاک آهکی"، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۵)، ۱۰۶۹-۱۰۷۹.
- [۳۲]. رضوانی مقدم، پ.، میرزائی نجم‌آبادی، م. (۱۳۸۸). "تاثیر نسبت‌های مختلف آب چاه و فاضلاب تصفیه‌شده بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت، سورگوم و ارزن علوفه‌ای"، مجموعه پژوهش‌های زراعی ایران، ۷(۱)، ۶۳-۷۵.
- [33]. Khan, M.A., ShahidShaukat, S., Altaf Khan. M. (2009). "Growth yield and nutrient content of sunflower (*Helianthus annuus* L.) using treated wastewater from waste stabilization ponds", *Pakistan journal of botany*, 41 (3), 1391-1399.

- [34]. Ahmed, T.A., Al-Hajri, H.H. (2009). "Effects of treated municipal wastewater and sea water irrigation on soil and plant characteristics", *International Journal of Environmental Research*, 3 (4), 503-510.
- [35]. Miller, R.W, Donahue, R.L. (1990). "Soils, An introduction to soils and plant growth", 6th edition, Prentice-Hall International Inc., London.
- [36]. Schneiter, A.A., Miller, J.F. (1981). "Description of sunflower growth stages", *Crops science*, 21, 901-903.
- [37]. Mojiri, A., Abdul Aziz, H., Qarani Aziz, S., Gholami, A., Aboutorab, M. (2013). "Impact of urban wastewater on soil properties and *Lepidium sativum* in an arid region", *International Journal of Scientific Research in Environmental Science (IJSRES)*, 1(1), 1-9.
- [۳۸]. نیکان‌فر، ر.، رضایی، ح.ط. (۱۳۸۷). "تاثیر فاضلاب شهری تصفیه شده بر عملکرد کمی و کیفی آفتابگردان"، سومین کنگره ملی بازیافت و استفاده از منابع آلی تجدید شونده در کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان.
- [39]. Westerman, R.L. (1990). "Soil testing and plant analysis", SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- [۴۰]. امامی، ع. (۱۳۷۵). "روشهای تجزیه گیاه (جلد اول). نشریه شماره ۹۸۲"، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت کشاورزی، تهران.
- [41]. Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, V.R. (1982). "Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and microbiological properties", 2nd Ed., American society of agronomy, soil science society of America, Inc., Madison, WI, USA.
- [42]. Vetterlein, D., Huttel, R.F. (1999). "Can applied organic matter fulfil similar functions as soil organic matter Risk – benefit analysis for organic matter application as a potential strategy for rehabilitation of disturbed ecosystems", *Plant Soil*, 213, 1-10.
- [43]. Tsadilas, D.C., Vakalis, P.S. (2003). "Economic benefit from irrigation of cotton and corn with treated wastewater", *Water Science & Technology*, 3, 223-229.
- [44]. Paolo, E.D., Rinaldi, M. (2006). "Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment". *Field Crops Research*, 125, 18-25.
- [۴۵]. عسگری، ک.، سلیمانی، ع.، نجفی، پ. (۱۳۸۷). "اثر فاضلاب تصفیه‌شده شهری بر شاخص عملکرد دانه و اجزای آن در گیاه آفتابگردان تحت تیمارهای مختلف آبیاری"، مجله پژوهش آب ایران، ۲، ۴۵-۵۲.
- [46]. Landmeyer, J.E. (2012). "Introduction to phytoremediation of contaminated groundwater", Springer, New York.
- [47]. Jamshidi, S., Akbarzadeh, A., Woo, K.S., Valipour, A. (2014). "Wastewater Treatment Using Integrated Anaerobic Baffled Reactor and Bio-rack Wetland Planted with *Phragmites* sp. and *Typha* sp.", *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12 (1), 131.
- [48]. Lubello, C., Gori, R., Nicese, F.P., Ferrini, F. (2004). "Municipal-treated wastewater reuse for plant nurseries irrigation", *Water Research*, 38, 2939-2947.
- [49]. Da Fonesca, A.F., Melfi, A.J., Monteiro, F.A., Montes, C.R., de Almeida, V.V., Herpin, U. (2007). "Treated sewage effluent as a source of water and nitrogen for Tifton 85 bermudagrass", *Agricultural Water Management*, 87, 328-336.
- [50]. Akbarzadeh, A., Jamshidi, S., Vakhshouri, M. (2015), "Nutrients Uptake Rate and Removal Efficiency of *Vetiveria zizanioides* in Contaminated Waters", *Pollution*, 1(1), 1-8.
- [51]. Vazquez-Montiel, O., Horan, N.J., Mara, D.D. (1996). "Management of domestic wastewater for reuse in irrigation", *Water Science & Technology*, 33, 355-362.
- [52]. Ayers, R.S., Westcot, D.W. (1989). "Water quality for agriculture". FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29. FAO, Rome.

- [۵۳]. زرجوع، ا.ا، زهتابیان، غ.، مشهدی، ن.، خسروی، ح.، سلطانی گردفرامری، م. (۱۳۹۳). "ارزیابی آثار آبیاری با فاضلاب تصفیه شده بر برخی خصوصیات خاک"، مجله بازیافت آب، (۱)۱، ۱۷-۲۴.
- [54]. Rahil, M.H., Antonopoulos, V.Z. (2007). "Simulating soil water flow and nitrogen dynamics in a sunflower field irrigated with reclaimed wastewater", *Agricultural Water Management*, 92, 142-150.
- [۵۵]. قنبری، ا.، عابدی کوپایی، ج.، طائی سمیرمی، ج. (۱۳۸۵). "اثر آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری روی عملکرد و کیفیت گندم و برخی ویژگی های خاک در منطقه سیستان"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۰(۴)، ۷۴-۵۹.
- [۵۶]. کاهفروشان، د.، عادل، س. (۱۳۹۳). "آثار استفاده از فاضلاب صنعتی تصفیه نشده در آبیاری کلزا (مطاله موردی: فاضلاب خام کارخانه خمیر مایه)"، مجله بازیافت آب، (۱)۱، ۳۷-۴۶.