

آثار استفاده از فاضلاب صنعتی تصفیه نشده در آبیاری کلزا (مطالعه موردی: فاضلاب خام کارخانه خمیرمایه)

داود کاهفروشان^{۱*}، سونیا عادل^۲

۱. تبریز، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، دانشکده مهندسی شیمی، مرکز تحقیقات مهندسی محیط زیست

۲. تبریز، سردرود، کلینیک گیاهپزشکی سردرود

(تاریخ تحویل: ۹۳/۰۴/۲۲ - تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۹/۰۵)

چکیده

تحقیق حاضر به منظور ارزیابی اثر استفاده از فاضلاب تصفیه نشده صنعتی (فاضلاب کارخانه خمیرمایه) بر رشد گیاه کلزا- در کنار دو گونه غالب از علف‌های هرز این زراعت به نام‌های خردل وحشی و گارس- صورت گرفت. تحقیق در دو بخش آزمایشگاهی و گلخانه‌ای و بر پایه آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل غلظت‌های فاضلاب در شش سطح: شاهد و غلظت‌های ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد از فاضلاب و آبیاری یک در میان فاضلاب با آب معمولی به عنوان عامل اول و تیمارهای گیاهی نیز در سه سطح شامل: کلزا، کلزا به همراه گارس و کلزا به همراه خردل وحشی به عنوان عامل دوم بودند. نتایج نشان داد که اثر استفاده از فاضلاب بر تمام صفات رشدی کلزا معنی‌دار است. در شرایط استفاده از فاضلاب خالص، بوته‌میری ۱۰۰ همه تیمارهای گیاهی مشاهده شد و در غلظت فاضلاب ۵۰ به بالا درصد‌های مختلف بوته‌میری صورت گرفت. علف هرز خردل وحشی با درصد بوته‌میری بیشتر، حتی در غلظت‌های کم فاضلاب، در مقایسه با گارس آستانه تحمل کمتری به فاضلاب نشان داد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، استفاده مجدد، خاک، فاضلاب صنعتی، محصولات کشاورزی.

۱. مقدمه

کیفیت آن می‌تواند مفید یا مضر باشد و باید آثار آن بر خاک، گیاه، دام و انسان ارزیابی شود. به‌کارگیری مناسب فاضلاب در بخش کشاورزی به دلایل متعددی از جمله: صرفه‌جویی و دوام منابع آبی موجود، جلوگیری از تخلیه فاضلاب‌ها به محیط زیست به‌ویژه رودخانه‌ها، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و آلی به دلیل وجود عناصر غذایی در برخی فاضلاب‌ها و در نتیجه جلوگیری از آثار تخریبی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی به محیط زیست و ... با فواید زیادی توأم است. اگر این امر بدون برنامه‌ریزی دقیق و اعمال مدیریت و نظارت صحیح انجام گیرد ممکن است آثار مخربی را در پی داشته باشد [۲، ۳].

به دلیل امکان آلاینده‌بودن پساب‌های شهری یا صنعتی، علاوه بر نگرانی‌های مبنی بر احتمال ورود آلاینده‌های آلی و

نیاز مبرم به آب در بخش کشاورزی، رشد روزافزون جمعیت و قرارگرفتن ایران در ناحیه خشک و نیمه‌خشک دنیا، بحران آب را در کشور تشدید کرده است.

بحران کم‌آبی و نیاز ضروری به آب از یک طرف به دلیل عامل اصلی تولید کشاورزی و رشد روزافزون جمعیت و از طرف دیگر به دلیل قرارگرفتن کشورمان در ناحیه خشک و نیمه‌خشک دنیا تشدید شده است. با توجه به محدودیت منابع آبی و افزایش تقاضا برای مصرف آب، بهره‌گیری مطلوب و بهینه از آب‌های غیر متعارف از جمله فاضلاب و پساب‌ها امری غیر قابل اجتناب بوده و به عنوان مهم‌ترین راه حل منطقی برای توسعه منابع آبی مطرح می‌شود [۱]. استفاده از فاضلاب به عنوان منبع آبیاری در کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک که با محدودیت منابع آب مواجه‌اند، با توجه به

(a₁)، فاضلاب ۲۵ درصد (a₂)، فاضلاب ۵۰ درصد (a₃)، فاضلاب ۷۵ درصد (a₄) و فاضلاب ۱۰۰ درصد (a₅) به عنوان عامل اول و گونه‌های گیاهی کلزا، خردل وحشی و گارس (دو گونه از علف‌های هرز غالب زراعت کلزا) به عنوان عامل دوم. نتایج تست جوانه‌زنی نشان داد که فاضلاب مذکور در تمامی غلظت‌ها اثر ممانعت‌کنندگی جوانه‌زنی بذور را دارد، به همین دلیل اعمال آبیاری با فاضلاب در بخش گلخانه‌ای در مراحل بعد از جوانه‌زنی آغاز شد.

تحقیق در بخش گلخانه‌ای نیز بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از: آب استفاده‌شده در ۶ سطح شامل: آب معمولی به عنوان شاهد (a₁)، فاضلاب ۲۵ درصد (a₂)، فاضلاب ۵۰ درصد (a₃)، فاضلاب ۷۵ درصد (a₄)، فاضلاب ۱۰۰ درصد (a₅) و آبیاری یک در میان فاضلاب خالص و آب معمولی (a₆) به عنوان عامل اول و تیمارهای گیاهی نیز در پنج سطح شامل: کلزا (b₁)، کلزا به همراه گارس (b₂)، کلزا به همراه خردل وحشی (b₃) به عنوان عامل دوم. تعداد ترکیب‌های تیماری بخش گلخانه‌ای شامل پنج ترکیب گیاهی و شش سطح آبی در سه تکرار، در مجموع ۹۰ گلدان را تشکیل دادند. خاک مورد نظر از ایستگاه تحقیقات دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز انتخاب شده و بدون افزودن هیچ کودی با نسبت دو به یک، خاک با ماسه مخلوط و سپس الک شده است و چندین بار با هم مخلوط شد تا کاملاً یکنواخت شود. افزودن ماسه برای تسهیل جمع‌آوری سیستم ریشه‌ای گیاه و جداسازی راحت‌تر آن‌ها از خاک صورت گرفت. خاک آماده‌شده بعد از تهیه نمونه‌ای برای آنالیز، در گلدان‌هایی به ارتفاع ۳۲ سانتی‌متر، قطر دهانه و کف ۲۰ سانتی‌متر و گنجایش هشت کیلوگرم خاک ریخته شد. برای آنالیز خاک مورد نظر، ابتدا آماده‌سازی خاک با خشک‌کردن آن در هوای آزاد، دور از دسترس مستقیم آفتاب صورت گرفت. ذرات درشت‌تر خاک خرد شد و در نهایت از الک دو میلی‌متر برای غربال کردن استفاده شد. خاک غربال‌شده برای تعیین pH، هدایت الکتریکی با روش تهیه ۱:۵ عصاره خاک، مواد آلی با روش والکی-بلک و نیترات ازته با روش کجدال آزمایش شد [۱۲]. فاضلاب کارخانه خمیرمایه نیز در گالن‌های ۲۰ لیتری از محل خروجی کارخانه به اراضی همجوار و رودخانه تهیه شده و نمونه‌برداری از آن برای آنالیز صورت گرفت. تهیه فاضلاب به صورت هفتگی انجام شد تا حدالامکان فاضلاب مشابه شرایط

معدنی (آلودگی‌های میکروبی، عناصر شورکننده خاک، فلزات سنگین ...) به خاک و در نتیجه تغییر کیفیت آن، امکان تأثیرگذاری بر پارامترهای کشاورزی از جمله شرایط رشد گیاهان زراعی و همچنین امکان تأثیر بر کیفیت رشد گیاهان وجود دارد. بنابراین بررسی ابعاد کشاورزی (خاک و گیاه زراعی) متأثر از استفاده پساب، برای به‌حداقل‌رساندن آلودگی‌ها، جلوگیری از تخریب کیفیت خاک و ایجاد شرایط بهینه برای رشد گیاهان زراعی امری ضروری است [۴، ۵]. در سال‌های اخیر، تحقیقات زیادی درباره آثار نامطلوب استفاده از فاضلاب‌ها بر خاک و گیاه صورت گرفته است، اما در اکثر این تحقیقات به آثار فاضلاب‌های شهری توجه شده است و فاضلاب‌های صنعتی کمتر ارزیابی شده‌اند. این در حالی است که ۲۰ درصد آب تولیدی جهان در بخش صنعت استفاده می‌شود و در مقایسه با ۷ درصد استفاده‌شده در مصارف شهری، رقمی قابل مقایسه است [۶]. همچنین، از نظر گیاهی نیز تمرکز تحقیقات و مقاله‌های علمی فقط در زمینه اثر استفاده از فاضلاب‌ها روی گیاهان زراعی و باغی مفید بوده و به آثار ناشی از فاضلاب‌ها بر نحوه رشد علف‌های هرز این مزارع کمتر پرداخته شده است [۷-۱۱].

بنابراین، در این تحقیق هدف ارزیابی دقیق قابلیت استفاده از فاضلاب صنعتی برای آبیاری محصولات کشاورزی (گیاه کلزا^۱ و علف‌های هرز آن، خردل وحشی^۲ به عنوان نماینده‌ای از پهن‌برگ‌ها و گارس^۳ به عنوان نمونه باریک‌برگ‌ها) و بررسی آثار آن بر رشد آن‌هاست. برای این منظور به صورت موردی، فاضلاب کارخانه ایران‌مایه به عنوان نمونه فاضلاب صنعتی انتخاب شد. فاضلاب این واحد بدون تصفیه وارد رودخانه و آب‌های سطحی مناطق همجوار شده و به عنوان منبع آبیاری زراعت‌های اراضی مجاور استفاده می‌شود که گندم، کلزا، یونجه، جو، باقلا و ... است.

۲. روش تحقیق

این تحقیق در دو بخش آزمایشگاهی و گلخانه‌ای و بر پایه آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. در بخش آزمایشگاهی، برای ارزیابی اثر فاضلاب مذکور بر جوانه‌زنی بذور، تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از: آب استفاده‌شده در ۵ سطح شامل: آب معمولی به عنوان شاهد

1. Brassica napus L.
2. Sinapis arvensis
3. Eremopyrum bonaepartis

پس از تکمیل مراحل رشدی گیاهان، عملیات برداشت بعد از رسیدگی کامل آخرین بوته گیاه میزبان یعنی کلز انجام شد. قبل از برداشت بوته‌ها صفات ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد سنبله یا خورجین در بوته و تعداد شاخه یا پنجه برای کلیه بوته‌ها ثبت شده و برای برداشت اندام‌های هوایی بوته‌ها و جداسازی ریشه‌های آن‌ها به صورت کامل از خاک اقدام شد. در این مرحله، نمونه‌برداری از باقی‌مانده خاک گلدان‌های هر تیمار آبیاری برای تجزیه و مقایسه آن با نتایج آنالیز قبل از کاشت خاک و همچنین ارزیابی اثر استفاده از فاضلاب بر عناصر موجود در خاک صورت گرفت.

پس از خشکاندن بوته‌ها، سایر صفات از جمله: وزن خشک برگ، ساقه، گل آذین، اندام‌های هوایی، ریشه، طول خورجین، تعداد دانه در خورجین، تعداد دانه در بوته و وزن دانه در بوته اندازه‌گیری شد. انتخاب صفات برای ارزیابی اثر استفاده از فاضلاب بر مؤلفه‌های رشدی گیاهان مطالعه‌شده با توجه به نوع آن‌ها و همچنین بر اساس کارهای تحقیقاتی مشابه صورت گرفت [۱۱، ۱]. در مرحله اندازه‌گیری، از هر گلدان سه بوته به شیوه تصادفی انتخاب شد. در گلدان‌هایی که کلز با همراه علف هرز کشت شده بود، سه بوته از هر کدام بررسی می‌شد. اعداد حاصل شده برای آنالیز آماری و تجزیه داده‌ها با دو نرم‌افزار SAS و SPSS استفاده شد و مقایسه میانگین صفات بررسی شده با استفاده از آزمون دانکن، در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. همچنین تجزیه واریانس این تحقیق به صورت سه آزمایش جداگانه فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، برای گیاه میزبان و دو نوع علف هرز صورت گرفت. مشخصات آنالیز فاضلاب استفاده‌شده در

واقعی آن در اختیار گیاهان قرار گیرد. برای آنالیز مشخصات فاضلاب استفاده‌شده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری ویژگی‌های آب و فاضلاب استفاده شد [۱۳]. همچنین برای اندازه‌گیری فلزهای سنگین از دستگاه جذب اتمی، مدل NOVA300 ساخت آلمان استفاده شد.

در مرحله کاشت، ده عدد بذر از هر گیاه بر اساس تیمارهای آزمایشی در هر گلدان کاشته شد. بعد از جوانه‌زنی با اعمال دو نوبت تنک‌کاری تعداد بوته در هر گلدان به سه عدد رسید. پس از کاشت بذر تا مرحله استقرار کامل گیاهچه و رسیدن به ارتفاع ثابتی در هر سه نوع گیاه، (هفت سانتی‌متری کلز، مرحله چهاربرگی خردل وحشی و مرحله دوبرگی گارس)، آبیاری با آب معمولی صورت گرفت. سپس سطوح آبیاری با غلظت‌های مختلف فاضلاب اعمال شد. آبیاری با توجه به نیازهای آبی تیمارهای گیاهی، با فواصل متفاوت و در مجموع دوره رشدی در ۲۳ نوبت صورت گرفت که در هر نوبت مقدار فاضلاب مصرفی برای گلدان‌های هر بلوک با استفاده از پیمان‌های مدرج و به میزان ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵ یا ۱۰۰ سی‌سی استفاده می‌شد.

یک نوبت سم‌پاشی علیه آفت شته مومی کلز با حشره‌کش دلتامترین (دسیس) با دوز مصرفی یک در هزار انجام گرفته و یک نوبت محلول‌پاشی کود اوره (برای تأمین نیترات) با غلظت پنج درصد در طول دوره برای تمام گلدان‌ها صورت گرفت. بعد از گذشت دو و نیم ماه از شروع کشت، علائم بوته‌میری در گلدان‌های خردل وحشی تیمار آبیاری با فاضلاب ۱۰۰ درصد آغاز شده و در نهایت درصد بوته‌میری برای آن‌ها محاسبه شد.

جدول ۱. مشخصات فاضلاب تصفیه‌نشده کارخانه ایران‌مایه تبریز

حد مجاز مصارف کشاورزی	نتیجه آزمایش	واحد	عامل‌های آزمایش	
۶ - ۸/۵	۵/۸	-	pH	pH
۱۰۰	۵۰۰۰	mg/l	BOD	اکسیژن مورد نیاز واکنش‌های بیوشیمیایی
۲۰۰	۳۸۸۰۰	mg/l	COD	اکسیژن مورد نیاز واکنش‌های شیمیایی
-	۲۰۰	mg/l	NH ₃ -N	آمونیاک
-	۱۵	mg/l	NO ₃ -N	نیترات
-	۱۲	mg/l	NO ₂ -N	نیتريت
-	۴۰۰۰	mg/l	Ca	کلسیم
-	۲۰۰۰	mg/l	TDS	کل مواد جامد محلول
-	۲۴۳۰۰	μs/cm	EC	هدایت الکتریکی
-	۴۷۰	mg/l	PO ₄ -P	کل فسفات
۵۰۰	۱۵۲۰	mg/l	SO ₄	سولفات

در جدول ۲، نتایج آنالیز مقدار فلزات سنگین موجود در فاضلاب استفاده شده آورده شده است. با آنالیز مقدار فلزهای سنگین فاضلاب، تنها منگنز، مس، روی و آهن مشاهده شدند که جزء ریزمغذی‌های لازم برای گیاهان‌اند.

جدول ۱ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود BOD فاضلاب خام کارخانه خمیرمایه ۵۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده و در مقایسه با حد مجاز مصرف در کشاورزی قابلیت مصرف در این بخش را ندارد.

جدول ۲. فلزات سنگین فاضلاب کارخانه خمیرمایه

فلزات سنگین	سرب Pb	نقره Ag	منگنز Mn	آهن Fe	روی Zn	کبالت Co	کادمیوم Cd	مولیبدن Mo	کروم Cr	مس Cu
مقدار (ppm)	ناچیز	ناچیز	۰/۱۲	۳/۷۵	۰/۰۴	ناچیز	ناچیز	ناچیز	ناچیز	۰/۱۵
حد مجاز مصارف کشاورزی (ppm)*	۱	۰/۱	۱	۳	۲	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۱	۲	۰/۲

* حد مجاز مصارف کشاورزی بر اساس استاندارد خروجی فاضلاب سازمان محیط زیست ایران (جدول ۱) است.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. تأثیر فاضلاب بر کیفیت خاک

نیترات گیاه بیشتر شود. بر اساس نتایج آنالیز خاک روند افزایشی مقدار نیترات، از خاک بکر تا خاک آبیاری شده با فاضلاب ۵۰ درصد سیری منطقی داشته، ولی در غلظت‌های ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد مقدار آن کاهش یافته است. در تغییرات نیترات از ته در خاک آبیاری شده با فاضلاب خمیرمایه ممکن است سه عامل مقدار نیترات فاضلاب، تغییرات pH خاک (در pH پایین، آمونیوم موجود در خاک به نیترات تبدیل می‌شود) و فعالیت باکتری‌های جذب‌کننده ازت هوا به‌ویژه در خاک‌های اسیدی، مؤثر باشند. بنابراین توجیه دقیق تغییرات مشاهده شده در نیترات خاک باید با مطالعه و بررسی تأثیرات همزمان این سه عامل یادشده صورت گیرد. شایان ذکر است که نیترات، آنیون متحرکی در خاک است و در نیمرخ خاک ممکن است به سهولت آب‌شویی شده و وارد آب‌های زه‌کشی شود [۱۴].

تغییرات ایجاد شده در پارامترهای منتخب خاک، در اثر کاشت گیاهان و مصرف غلظت‌های مختلف فاضلاب در جدول ۳ ارائه شده است. میزان هدایت الکتریکی در عصاره خاک نیز با افزایش غلظت فاضلاب، به تدریج افزایش یافت و به شورتر شدن خاک منجر شد. تشکیل نقاط سفیدرنگ بر خاک نیز بیانگر شور شدن آن بود که در تحقیق حاضر یکی از دلیل‌های عمده بوته‌میری‌های به‌وجود آمده در غلظت‌های بیشتر فاضلاب است. به دلیل کم بودن pH فاضلاب، pH خاک گلدان‌ها نیز با افزایش غلظت فاضلاب کاهش یافت و از مقدار اولیه ۹ به ۸/۰۱ در غلظت فاضلاب ۱۰۰ درصد رسید. همچنین به علت بیشتر بودن مقدار نیترات فاضلاب مصرف شده انتظار می‌رفت که با افزایش غلظت فاضلاب مصرفی، مقدار نیترات خاک و به تبع آن مقدار

جدول ۳. تغییرات ایجاد شده در پارامترهای منتخب خاک در اثر مصرف غلظت‌های فاضلاب پارامترهای اندازه گیری شده در خاک

pH	هدایت الکتریکی ds/m	نیترات - نیتروژن ppm
۹	۱	۸/۸۹
۸/۹	۰/۵۵	۱۴/۴۲
۸/۰۳	۴/۵	۱۳/۷۶
۸/۸	۳/۸	۲۵/۰۹
۸/۵	۴/۱	۳۵/۷۶
۸/۲	۴/۳	۲۲/۸۴
۸/۰۱	۵	۹/۹۲

۲.۳. اثر غلظت‌های فاضلاب بر رشد گیاه زراعی کلزا

علف‌های هرز) فقط بر صفاتی همچون وزن خشک ریشه و گل آذین، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین و همچنین تعداد و وزن دانه در بوته معنی‌دار شده و در بقیه صفات غیر معنی‌دار شد (جدول ۴).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر غلظت‌های فاضلاب بر کلیه صفات اندازه‌گیری شده در کلزا معنی‌دار شدند، این در صورتی است که اثر متقابل غلظت‌های فاضلاب در تیمارهای گیاهی (سه نوع کشت متفاوت کلزا با حضور و بدون حضور

جدول ۴. تجزیه واریانس تأثیر غلظت‌های فاضلاب بر مؤلفه‌های رشدی کلزا

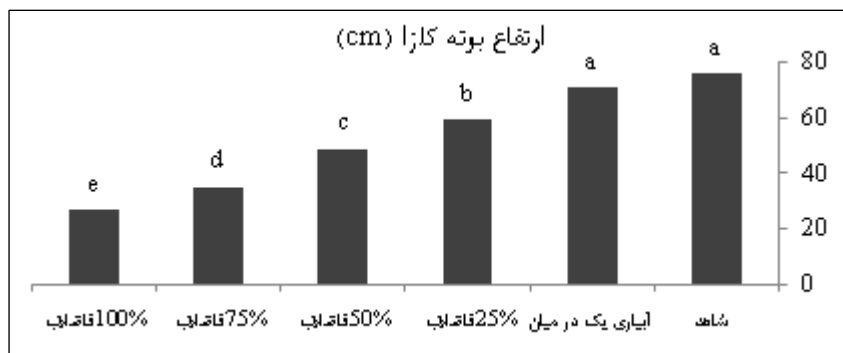
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		وزن خشک اندام هوایی	وزن دانه در بوته
غلظت‌های فاضلاب (A)	۵	۲۰/۹۶۸***	۰/۲۸۲*
تیمار گیاهی (B)	۲	۶/۶۱۲ ^{ns}	۰/۱۲۵ ^{ns}
اثر متقابل (A*B)	۱۰	۳/۶۴۶ ^{ns}	۰/۱۹۸*
خطا	۳۶	۲/۱۱۵	۰/۰۹۴
ضریب تغییرات (%)		۲۶/۷۳	۱۶۸/۷۵ ^۱

***، ** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و ۰/۱ درصد، ^{ns} غیر معنی‌دار است. ۱. درصد بالای ضریب تغییرات به علت وجود داده‌های صفر به وجود آمده است که با تبدیل داده‌ها نیز کاهش نیافت.

ارتفاع بوته کلزا

شرایط استفاده از آب معمولی و کمترین ارتفاع بوته معادل ۲۶/۸ سانتی‌متر در شرایط استفاده از فاضلاب ۱۰۰ درصد به دست آمد. استفاده از فاضلاب ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ارتفاع بوته را نسبت به شرایط استفاده از آب معمولی به ترتیب ۲۱، ۳۵، ۵۳ و ۶۴ درصد کاهش داد (شکل ۱).

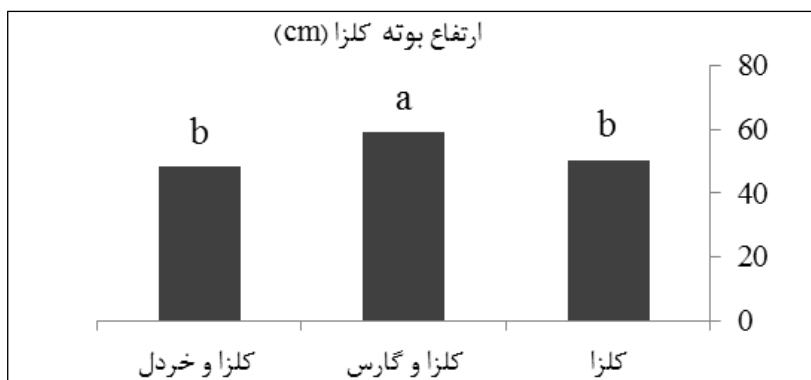
اعمال تمام تیمارهای استفاده از فاضلاب نسبت به شاهد (آب) به کاهش ارتفاع بوته کلزا منجر شد. این کاهش در استفاده از آبیاری یک در میان فاضلاب و آب معمولی غیر معنی‌دار و در بقیه تیمارهای استفاده از فاضلاب معنی‌دار بود. به این ترتیب، بالاترین ارتفاع بوته معادل ۷۵/۷ سانتی‌متر در



شکل ۱. اثر غلظت‌های مختلف فاضلاب بر ارتفاع بوته کلزا

۲. به نظر می‌رسد دلیل آن مربوط به نوع باریک‌برگ بودن علف هرز گارس است که نه تنها رقابتی در این صفت با گیاه میزبان نداشته و موجب کاهش رشد آن نشده، بلکه شرایط را برای بهبود رشد ارتفاع میزبان فراهم کرده است.

کشت کلزا در حضور علف هرز گارس (b₂)، اختلاف منطقی در ارتفاع بوته کلزا ایجاد کرد و افزایش ارتفاع بوته‌های کلزا را نسبت به کشت عاری از علف هرز کلزا (b₁) و همچنین کشت کلزا با خردل وحشی (b₃) منجر شد (شکل



شکل ۲. اثر تیمارهای گیاهی بر ارتفاع بوته کلزا

استفاده از سایر سطوح آبیاری (غلظت‌های ۵۰، ۷۵، و ۱۰۰ درصد فاضلاب) اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد داشته و بر خلاف داشتن مواد آلی و مغذی بیشتر، به دلیل عوارض سوء ناشی از غلظت بیشتر فاضلاب، وزن خشک اندام هوایی کلزا را به طور متوسط ۳۲ درصد کاهش دادند (شکل ۳).

وزن خشک اندام هوایی کلزا

آبیاری یک در میان در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌داری از نظر وزن خشک اندام هوایی کلزا داشت، به طوری که وزن خشک اندام هوایی کلزا را نسبت به شاهد، ۲۶ درصد افزایش داد. اثر غلظت ۲۵ درصد فاضلاب در مقایسه با شاهد غیر معنی‌دار شد، اما وزن خشک اندام هوایی کلزا در وضعیت

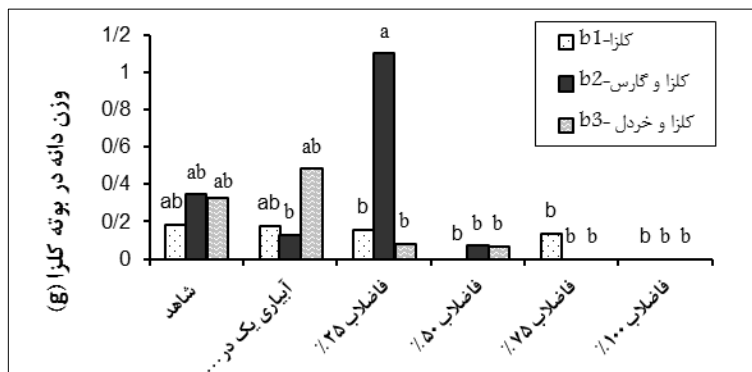


شکل ۳. اثر غلظت‌های مختلف فاضلاب بر وزن خشک اندام هوایی کلزا

وحشی در آبیاری یک در میان مشاهده نشد، اما اختلاف آن با غلظت‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد فاضلاب در همه تیمارهای گیاهی و همچنین کشت‌های کلزای خالص و کلزا با خردل وحشی در فاضلاب ۲۵ درصد و کلزا با گارس در آبیاری یک در میان، بر وزن دانه در بوته کلزا معنی‌دار شد. غلظت‌های بیشتر فاضلاب همانند اغلب صفات دیگر موجب کاهش معنی‌دار این صفت نیز شد. اعمال تیمارهای گیاهی به جز آبیاری با فاضلاب ۲۵ درصد اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در بوته کلزا نداشت (شکل ۴).

وزن دانه در بوته کلزا

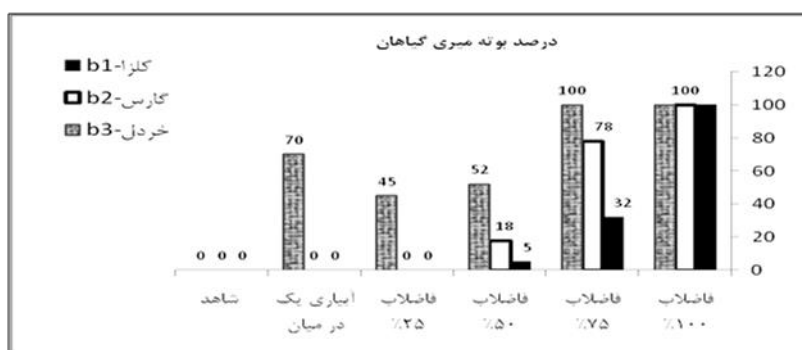
بیشترین وزن دانه تولیدی به مقدار ۱/۱ گرم در تیمار گیاهی کلزا در حضور علف هرز گارس با غلظت فاضلاب ۲۵ درصد مشاهده شد که این نتیجه اثر مثبت حضور علف هرز باریک برگ گارس را در زراعت کلزا بر بهبود عملکرد برخی صفات نشان می‌دهد. در نتایج، اختلاف معنی‌داری بین کشت کلزا با گارس در غلظت فاضلاب ۲۵ درصد (با وزن دانه حداکثری) نسبت به شرایط استفاده از آب معمولی (شاهد) در تمام تیمارهای گیاهی و کشت‌های کلزای خالص و کلزا با خردل



شکل ۴. تأثیر غلظت‌های مختلف فاضلاب و تیمارهای گیاهی بر وزن دانه در بوته کلز

۳.۳. درصد بوته‌میری گیاهان آبیاری شده با فاضلاب همان‌طور که از نتایج آنالیز خاک انتظار می‌رفت، در سطوح آبیاری شده با غلظت فاضلاب ۱۰۰ درصد و ۷۵ درصد به ترتیب بیشترین بوته‌میری مشاهده شد. از نظر تغییرات به‌وجودآمده در خواص خاک مانند شورشیدن خاک با افزایش غلظت فاضلاب و میزان pH، گیاهان این سطوح از آبیاری را تحمل نکرده و در مراحل پایانی رشد دچار بوته‌میری شدند. در میان تیمارهای گیاهی نیز خردل وحشی با بیشترین درصد‌های بوته‌میری حساس‌ترین گیاه نسبت به غلظت‌های بیشتر فاضلاب شناخته شد. در شکل ۵، درصد بوته‌میری گیاهان آبیاری شده با غلظت‌های مختلف فاضلاب نشان داده شده است.

در تحقیق قنبری و همکاران [۶] بر روند رشد گندم، استعمال فاضلاب موجب کاهش ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ، تعداد دانه و وزن هزار دانه دیده شد و نتایج تحقیق حاضر نیز با کاهش اغلب صفات رشدی گیاهان در شرایط استفاده از فاضلاب خالص، آن‌ها را تأیید کرد. همچنین در پژوهش دیگری که به بررسی اثر استفاده از پساب صنعتی در آبیاری دو گونه گیاهی مربوط به فضای سبز پرداخته است، نتایج نشان داد که استفاده از تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ درصد پساب، سبب از بین رفتن گونه‌های گیاهی شده در حالی که استفاده از تیمارهای ۱۰ درصد پساب جذب عناصر کلر، منیزیم، سدیم و سولفات را در گیاه افزایش داده است [۱۵]. در تحقیق حاضر، غلظت‌های بالای فاضلاب موجب از بین رفتن گونه‌های گیاهی شد.



شکل ۵. درصد بوته‌میری گیاهان آبیاری شده با غلظت‌های مختلف فاضلاب کارخانه خمیرمایه

از غلظت‌های بیشتر مانند شوری، اسیدی‌تر شدن و تجمع برخی عناصر تا حد مسمومیت در خاک کم بود، گیاهان از رشد بهتری برخوردار شدند. نتایج نشان داد که این مورد در زمینه علف هرز خردل وحشی در اکثر صفات از جمله ارتفاع بوته و همچنین وزن خشک اندام هوایی صادق بود به طوری

۴. جمع‌بندی

با توجه به اینکه فاضلاب کارخانه خمیرمایه غنی از مواد آلی بوده و منبعی از نیتروژن و برخی عناصر ریز مغذی مانند آهن برای گیاهان است، انتظار می‌رفت در غلظت‌های کم از جمله ۲۵ درصد و همچنین آبیاری یک در میان که آثار سوء ناشی

نشان داد. استفاده از فاضلاب با غلظت‌های کم یا آبیاری به صورت یک در میان، در شرایط کشت کلزا در حضور علف‌های هرز گارس و خردل وحشی، افزایش غیر معنی‌داری بر میزان تولید دانه کلزا داشت. با توجه به نتایج بالا و همچنین میزان بوته‌میری‌های بیشتر خردل وحشی در اثر استفاده از غلظت‌های مختلف فاضلاب می‌توان نتیجه گرفت که در اثر مصرف فاضلاب، علف هرز پهن‌برگ خردل وحشی واکنش‌های متفاوت‌تری نسبت به علف هرز باریک‌برگ گارس نشان داد. به این ترتیب که کاربرد فاضلاب تأثیر مؤثرتری در برخی صفات خردل وحشی داشت و به افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد منجر شد و این گیاه آستانه تحمل کمتری به غلظت‌های بیشتر فاضلاب نشان داد و درصد بوته‌میری بیشتری در مقایسه با گارس داشت.

که بوته‌های خردل وحشی آبیاری شده با غلظت فاضلاب ۲۵ درصد در اغلب صفات، رشد حداکثری را نشان دادند. ترکیبات نیتروژن‌دار فاضلاب استفاده شده با کمک به سوخت‌وساز گیاهی و تحریک جوانه‌های برگ و...، رشد رویشی علف هرز خردل وحشی را نسبت به شاهد افزایش داد، اما تأثیر کمتری بر اندام‌های زایشی این گیاه داشت. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که در صورت استفاده از فاضلاب صنعتی کارخانه خمیرمایه بوته‌میری ۱۰۰ درصد همه تیمارهای گیاهی مشاهده می‌شود و در غلظت فاضلاب ۵۰ درصد به بالا درصد‌های مختلف بوته‌میری باز قابل مشاهده است. علف هرز خردل وحشی با درصد بوته‌میری بیشتر (حتی در غلظت‌های کم فاضلاب)، در مقایسه با گارس و حتی گیاه میزبان (کلزا)، آستانه تحمل کمتری به فاضلاب

منابع

- [۱]. کاراندیش، ف.، ع. شاه نظری و ک. ابراهیمی. (۱۳۸۹). "استفاده مجدد از پساب به عنوان منبعی مطمئن و قابل ملاحظه در کشاورزی" اولین همایش مدیریت منابع آب اراضی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۲۱۱-۲۱۸.
- [۲]. دانش، ش. و ا. علیزاده. (۱۳۸۷). "کاربرد پساب در کشاورزی، فرصت‌ها و چالش‌ها. اولین سمینار جایگاه آب‌های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب"، مشهد، ۱۱۶-۱۲۴.
- [3]. Carr, G., R. B. Potter, and S. Nortcliff. (2011). "Water reuse for irrigation in Jordan: Perceptions of water quality among farmers." *Agricultural Water Management.*, 98, 847-854.
- [4]. Choukr-Allah, R. (2010). *Wastewater Treatment and Reuse*. Arab Forum for Environment and Development Resource, Beirut.
- [5]. Adrover, M., E. Farrús, G. Moyà, and J. Vadell. (2012). "Chemical properties and biological activity in soils of Mallorca following twenty years of treated wastewater irrigation." *Journal of Environmental Management.*, 95, 188-192.
- [6]. Ganbari, A., J. Abedi Koupai, and J. Taie Semiromi. (2007). "Effect of municipal wastewater irrigation on yield and quality of wheat and some soil properties in Sistsan Zone." *J. Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour.*, 1(4), 99-107.
- [7]. Agrafioti, E. and E. Diamadopoulou. (2012). "A strategic plan for reuse of treated municipal wastewater for crop irrigation on the Island of Crete." *Agricultural Water Management.*, 105, 57-64.
- [8]. Akponikpe, P.B., K. Wima, H. Yacouba and A. Mermoud. (2011). "Reuse of domestic wastewater treated in macrophyte ponds to irrigate tomato and eggplant in semi- arid West- Africa: Benefits and risks." *Agricultural Water Management.* 98, 834- 840.
- [9]. Imanudin M. S. and E. Armanto. (2012). "Effect of Water Management Improvement on Soil Nutrient Content, Iron and Aluminum Solubility at Tidal Low Land Area." *APCBEE Procedia.*, 4, 253-258.
- [10]. Rojas-Valencia, M. N., M. T. O. d. Velásquez, and V. Franco. (2011). "Urban agriculture, using sustainable practices that involve the reuse of wastewater and solid waste." *Agricultural Water Management.*, 98, 1388-1394.
- [11]. da Fonseca, A. F., A. J. Melfi, F. A. Monteiro, C. R. Montes, V. V. d. Almeida, and U. Herpin.

(2007). "Treated sewage effluent as a source of water and nitrogen for Tifton 85 bermudagrass." *Agricultural Water Management*, 87, 328-336.

- [12] E.A. Klute. (1986). "Methods of soil analysis. part 2- chemical and biochemical methods", American society of agronomy: USA.
- [13]. APHA, AWWA, WPCF (1999). "Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater", 20th ed., American Public Health Association, Washington, DC.
- [14]. Levy, G., P. Fine and A. Bar-Tal. (2011). "Treated Wastewater in Agriculture Use and Impacts on the Soil Environment and Crops.", Blackwell Publishing Ltd. Co, Oxford.
- [15]. Liu, G.M. , J.S. Yang, and R.J. Yao. (2006). "Electrical Conductivity in Soil Extracts: Chemical Factors and Their Intensity." *Pedosphere*, 16,100-107.