نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال دهم. شماره چهل و شش . زمستان۱۴۰۰

بررسی استفاده از آب آلوده به فلزات سنگین با آبیاری زیرزمینی در کشت کلزا

عبدالمجید لیاقت[1*]، محمد صالح [2]، مسعود پورغلام آمیجی[3]، علیرضا حسن‌اقلی[4]، مهدی پورسعیدی[5]

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۳/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۱

مقاله پژوهشی

چکیده

یکی از رهیافت‌های خروج از بحران آب، استفاده از آب‌های نامتعارف و آلوده به فلزات سنگین است. در همین راستا، پژوهشی در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در قالب طرح فاکتوریل کاملا تصادفی با چهار تیمار، سه تکرار و مجموعا ۱۲ پلات آزمایشی در محیط لایسیمتری انجام شد. تیمارها شامل آبیاری سطحی با آب آلوده به فلزات سنگین (SRC)، آبیاری سطحی با آب معمولی یا تیمار شاهد (SRF)، آبیاری زیرزمینی با آب آلوده به فلزات سنگین (SBC) و آبیاری زیرزمینی با آب معمولی (SBF) بودند. بافت خاک داخل لایسیمترها لوم شنی، pH آن ۷/۴ و فلزات سنگین به کار رفته مس، روی و سرب بودند. نتایج نشان داد که بیشترین غلظت مس در تیمار SBC در عمق ۷۵ سانتی‌متری مشاهده شد که در مقایسه با بیشترین مقدار آن در تیمار SRC و عمق ۲۵ سانتی‌متری، ۴۳ درصد کمتر بوده که این تفاوت در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. همچنین بین بیشترین مقدار روی خاک در تیمار SRC و SBC بیش از ۴/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم اختلاف وجود داشت و در آبیاری زیرزمینی ۳۲ درصد روی کمتری جذب خاک شد که این اختلاف در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. متوسط مقدار جذب مس توسط گیاه در تیمار SRC برابر با ۴/۹۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که در مقایسه با تیمار شاهد و SBC به ترتیب ۸۰ و ۷۰ درصد افزایش جذب مس رخ داد و این تفاوت در سطح یک درصد معنی‌دار شد. به طورکلی می‌توان بیان کرد که حرکت از بالا به پایین (SRC) نسبت به حرکت از پایین به بالای فلزات سنگین (SBC)، بیشتر بوده و این موضوع قابلیت استفاده از آب آلوده به فلزات سنگین در آبیاری زیرزمینی را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، لایسیمتر، آب نامتعارف، عناصر کمیاب، سطح ایستابی.

۱- استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. (نویسنده مسئول)، ۰۹۱۲۲۱۵۹۷۴۸، Aliaghat@ut.ac.ir
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. ۰۹۱۹۹۵۹۹۵۰۲Mohammadsaleh@ut.ac.ir،
۳- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. ۰۹۳۹۰۲۳۶۴۲۳، Mpourgholam6@ut.ac.ir
۴- دانشیار، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. ۰۹۱۲۲۰۵۳۴۴۱، Arho49@yahoo.com
۵- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. ۰۹۹۰۱۱۲۷۴۱۲، Mehdi.poursaeedi@yahoo.com

مقدمه

بررسی‌ها بیانگر آن است که در سال ۱۴۰۰، فاضلاب تولیدی کشور به رقمی برابر با ۵۱ درصد آب مصرفی می‌رسد. بنابراین با توجه به نیاز روز افزون به آب به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، استفاده مجدد فاضلاب در کشاورزی می‌تواند تا حدودی کمبود منابع آب سالم را جبران کرده و ضمن استفاده در کشاورزی، به عنوان یک روش دفع ایمن محیط‌زیستی به کار رود (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۶). آبیاری با فاضلاب عناصری را به خاک اضافه می‌کند که می‌تواند برای خاک و همچنین رشد گیاه مفید باشد اما استفاده بیش از اندازه آن موجب افزایش تجمع فلزات سنگین در خاک شده که برای گیاهان خطرناک است (Sahay et al., 2019؛ شاکرمی و معروفی، ۱۳۹۸؛ یزدان‌دوست و نوروزی، ۱۳۹۹).

استفاده از فاضلاب حاوی فلزات سنگین در کشاورزی می‌تواند جایگزین مناسب برای آب‌های با کیفیت خوب در حال استفاده باشد و مواد غذایی موجود در فاضلاب، نیاز گیاهان به کود را کاهش دهد، در حالی که وجود برخی آلاینده‌ها (عناصر سنگین) و پیامدهای بسیار مضر آن، استفاده از این پساب‌ها را در کشاورزی با تردید رو به رو می‌کند اما محققین دریافته‌اند که در خاک‌های قلیایی (pH>۷) و یا در حضور مواد آلی بسیار زیاد که با رس ترکیب شده‌اند، فلزات سنگین بیشتر تثبیت شده و در نتیجه شستشوی آن‌ها از خاک و در دسترس بودنشان کاهش پیدا می‌کند. (Jahany & Rezapour, 2020). به طور کلی، در خاک‌های اسیدی نسبت به خاک‌های خنثی و یا قلیائی، میزان جابه‌جایی و در دسترس قرار داشتن فلزات بیشتر است. از آنجایی که مواد آلی می‌توانند با یون فلزات اتصال برقرار کنند، باعث کاهش حلالیت فلزات و کاهش در دسترس قرار گرفتن آن‌ها می‌شوند (Zhang et al., 2019).

نصر آزادانی و هودجی (۱۳۹۳)، ارزیابی تاثیر یک نمونه پساب صنعتی بر آلودگی خاک با فلزات سنگین را در اصفهان مورد بررسی قرار دادند. نمونه‌های برداشت‌شده شامل چهار عمق از صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متری در زهکش‌های خاکی بود. نتایج نشان داد که همبستگی منفی بین عمق خاک و غلظت فلزات سنگین وجود داشته که این موضوع با حرکت کند فلزات سنگین در خاک‌های با درصد آهک و pH بالا و تجمع بیشتر این فلزات در لایه‌های سطحی خاک قابل توجیه است. صیادمنش شیاده و همکاران (۱۳۹۴) نیز میزان برخی عناصر سنگین در خاک و گیاه کلزا در مزارع تحت آبیاری با پساب شهرک صنعتی آمل را بررسی کردند. سپس از آب آبیاری، خاک و همچنین از ریشه، ساقه، برگ و دانه کلزا نمونه‌برداری و مقدار کروم، کادمیوم، نیکل و سرب تعیین شد. نتایج نشان داد که تجمع عناصر سنگین مورد مطالعه در خاک سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متر) بیشتر از خاک زیرین (۴۰-۲۰ سانتی‌متر) بود.

ارفعی نیا و همکاران (۱۳۹۵) غلظت و ارزیابی خطر فلزات سنگین ناشی از مصرف محصولات کشاورزی در مزارع مختلف بوشهر را بررسی کردند. فلزات سنگین مورد بررسی در این پژوهش شامل روی، منگنز، مس، کروم، کادمیوم و سرب بودند. نتایج نشان داد که میزان آلودگی به فلزات سنگین در خاک و محصولات کشاورزی آبیاری شده با آب آلوده به پساب شهری و صنعتی بالاتر از مقداری بود که با آب زیرزمینی آبیاری می‌شدند. آتش‌پز و همکاران (۱۳۹۷) نیز اثرات آبیاری سطحی با فاضلاب تصفیه‌شده بر غلظت، توزیع و آلودگی بعضی عناصر سنگین خاک در ارومیه را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس یافته‌های این پژوهش، تجمع معنی‌داری از شکل‌های قابل استفاده و کل عناصر کادمیوم، مس، سرب، روی و نیکل در اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده در خاک‌های مختلف این منطقه اتفاق افتاده است و چنانچه این

روند آبیاری ادامه داشته باشد قطعا در آینده صدمات جبران‌ناپذیری به اکوسیستم این اراضی وارد می‌شود.

Bahmanyar (2008) در تحقیقی در مورد آبیاری طولانی‌مدت با آب آلوده به فلزات سنگین، بیان کرد که غلظت فلزات سنگین در عمق‌های زیرین خاک، بیشتر از افق‌های نزدیک به سطح بود. همچنین با افزایش کلسیم کربنات خاک، میزان سرب و کادمیوم در دسترس افزایش پیدا کرد؛ درحالی‌که میزان نیکل و کروم کاهش پیدا کرد. Mani et al. (2013) نیز در مطالعه‌ای در مورد چگونگی توزیع و حرکت روی و کادمیوم در خاک، تحت آبیاری سطحی با فاضلاب در هند اظهار داشتند که تجمع کادمیوم و روی در پروفیل خاک، به‌شدت تحت تأثیر میزان مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک است.

Wei et al. (2015) در پژوهشی که در چین انجام شد گزارش کردند که اگر دو رژیم آبیاری یکی با مصرف آب کم و دیگری با مصرف آب زیاد استفاده شود، در رژیم مصرف آب کم، کادمیوم و مس حرکت کمی داشته و دیگر فلزات به‌طور افقی حرکت کرده (همانند آبیاری زیرزمینی) و در فاصله‌ای دور از قطره‌چکان تجمع می‌یابند؛ ولی در رژیم آبیاری با مصرف آب زیاد، حرکت تمامی فلزات به‌صورت عمودی بوده و در عمق‌های بیشتر تجمع پیدا می‌کنند. Sahay et al. (2019) نیز از پساب فاضلاب جهت آبیاری کشت دوساله گیاه کلزا در هند استفاده کردند. نتایج نشان داد آبیاری با پساب موجب تقویت وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک گردید اما تجمع فلزات سنگین در تمامی رقوم گیاه کلزا مورد استفاده بیش از حد مجاز شد.

بنابراین یکی از عمده‌ترین راه‌های ورود عناصر سنگین به اراضی کشاورزی آبیاری با پساب صنعتی می‌باشد. آبیاری با پساب صنعتی موجب افزایش مقدار سرب، نیکل، کادمیوم و کروم در خاک می‌شود که توسط پژوهشگران مختلفی گزارش شده است (Ahmad et al., 2011; Jahany & Rezapour, 2020). با توجه به اینکه اکثر خاک‌ها در کشور ایران از نوع قلیایی می‌باشند، لذا تحرک و شستشوی فلزات سنگین بسیار کم بوده و باعث انباشت فلزات در لایه-های سطحی خاک می‌شود. از طرفی، جذب آب و املاح در لایه‌های سطحی که تراکم بیشتری از ریشه-های گیاه وجود دارد، نسبت به لایه‌های زیرین بیشتر می‌باشد. این دو مسئله (انباشت و جذب فلزات) سبب تنش آلودگی گیاه هنگام آبیاری سطحی با فاضلاب صنعتی می‌شود. حال اگر به‌جای آبیاری سطحی، از آبیاری زیرزمینی (از طریق لوله‌های زهکشی و کنترل سطح ایستابی) با پساب استفاده شود، انتظار می‌رود که انباشت فلزات در لایه‌های زیرین خاک صورت گرفته و پساب با کیفیت بهتری در محیط ریشه قرار گیرد. همچنین تأمین آب مورد نیاز گیاه از طریق کنترل سطح ایستابی و جریانات رو به بالا، نیاز آبیاری را کاهش می‌دهد زیرا تبخیر از سطح به‌شدت کاهش می‌یابد. از دیگر مزایا و انتخاب آبیاری زیرزمینی این است که یکنواختی سطح ایستابی در زیر منطقهٔ ریشه‌ها باعث افزایش یکنواختی توزیع آب شده و در نتیجه تلفات آب آبیاری کاهش می‌یابد که علاوه بر افزایش راندمان مصرف آب، دلیلی بر کاهش ورود آلاینده‌ها به خاک محسوب می‌شود. بنابراین اهداف این پژوهش شامل: (۱) بررسی امکان استفاده بی‌خطر از آب آلوده به فلزات سنگین (فاضلاب صنعتی) برای آبیاری، (۲) بررسی انتقال فلزات سنگین (مس، روی و سرب) در خاک در دو روش آبیاری سطحی و زیرزمینی و (۳) بررسی جذب فلزات سنگین توسط گیاه کلزا در دو روش آبیاری سطحی و زیرزمینی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

محل انجام آزمایش

پژوهش حاضر در سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در مرکز تحقیقات آب و هواشناسی دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران با مختصات ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض جغرافیایی (°N) و ۵۰ درجه و ۵۷

دقیقه طول جغرافیایی (°E) در ارتفاع ۱۲۹۳ متر از سطح دریا انجام شد. طبق داده‌های درازمدت، منطقه دارای آب و هوای مدیترانه‌ای با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های نسبتاً سرد و مرطوب است. مطابق آمار درازمدت ۳۰ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۸)، متوسط بارندگی سالانه منطقه ۲۴۷/۸ میلی‌متر و میانگین سالانه دمای هوا ۱۵/۹۳ درجه سانتی‌گراد است. حداکثر و حداقل دمای منطقه مورد بررسی به ترتیب ۴۲ و ۱۷- درجه سانتی‌گراد به ثبت رسید. حدود ۴۳ درصد از باران سالانه در فصل زمستان، ۲۸ درصد در فصل پاییز، ۲۸ درصد در فصل بهار و تنها یک درصد در فصل تابستان می‌بارد (پورغلام آمیجی و همکاران، ۱۳۹۸). اطلاعات هواشناسی در جدول (۱)، ارائه شده است. لایسیمترها در فضای باز قرار داشته و نزدیک‌ترین ساختمان، در فاصله ۵۰ متری شمال شرقی لایسیمترها بود.

جدول (۱): اطلاعات هواشناسی دوره کشت در منطقه مورد آزمایش (از مهر ۱۳۹۶ تا خرداد ۱۳۹۷)

شرح	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
حداکثر دما (°C)	۲۴/۴	۲۱/۷	۱۰/۹	۱۲/۳	۸/۹	۱۶/۴	۲۱/۳	۲۳/۱	۳۱/۵
حداقل دما (°C)	۱۰/۴	۱۰/۲	۰/۶	۲/۲	-۰/۲	۵/۳	۸/۳	۱۰/۹	۱۵/۴
متوسط دما (°C)	۱۷/۴	۱۵/۹	۵/۸	۷/۲	۴/۴	۱۰/۹	۱۴/۸	۱۷	۲۳/۴
بارندگی (mm)	۶	۰/۸	۵/۴	۲	۳۸/۱	۲۷	۳۷/۲	۳۸/۱	۴۱/۹
سرعت باد (m/s)	۲/۷	۲	۲/۲	۲/۵	۲/۷	۳/۱	۲/۹	۳/۲	۳/۳
تبخیر (mm/month)	۱۵۸/۸	۱۳۱/۱	۵/۶	۰	۰	۰	۱۲۵/۵	۱۹۶/۹	۲۵۸/۱
رطوبت نسبی (٪)	۴۴	۳۷/۳	۵۰/۳	۴۷/۶	۶۳/۵	۵۱/۴	۴۳/۳	۵۴	۴۴/۲

خصوصیات خاک مورد آزمایش

پس از تهیه خاک زراعی مورد نظر (خاک باغچه‌ای، منطقه مهرشهر کرج)، پر کردن لایسیمترها با خاک طی چند مرحله انجام شد. خاک به صورت لایه‌هایی به ارتفاع تقریبی ۲۰ سانتی‌متر در لایسیمترها ریخته و پس از تسطیح نسبی، لایه بعدی اضافه گردید. با رسیدن ارتفاع خاک به میانه لایسیمترها، جهت ایجاد نشست و تحکیم طبیعی، مقداری آب به خاک اضافه شد و سپس اضافه نمودن خاک تا پر شدن لایسیمتر ادامه یافت. در این مرحله مجددا با افزودن آب و پس از نشست، فضای خالی باقی‌مانده تا ارتفاع پنج سانتی‌متر پایین‌تر از لبه فوقانی لایسیمترها از خاک پر شد. در نهایت پس از پر کردن لایسیمترها و در چندین مرحله، مقداری آب به آن‌ها اضافه تا شرایط خاک مساعد و آماده کشت شود.به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از شروع آزمایش و اعمال تیمارها، نمونه‌برداری از خاک لایسیمترها انجام شد. بافت خاک از طریق مثلث بافت خاک USDA[1] تعیین شد. مشخصات فیزیکی خاک مزرعه شامل فراوانی نسبی ذرات، جرم مخصوص ظاهری، رطوبت ظرفیت زراعی (FC[2]) و رطوبت نقطه پژمردگی (PWP[3]) و رطوبت اشباع به ترتیب با روش‌های هیدرومتری، سیلندر، دستگاه صفحات فشاری[4] در مکش ۰/۳ و ۱۵ بار و روش وزنی اندازه‌گیری شد (Pourgholam-Amiji et al., 2021). pH خاک نیز به وسیله دستگاه pH متر اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

[1] United States Department of Agriculture
[2] Field Capacity
[3] Permanent Wilting Point
[4] Pressure Plate

ساخت لایسیمترها

لایسیمترها از جنس PVC با ابعاد ۶۰ سانتی‌متر قطر و ۱۰۰ سانتی‌متر ارتفاع انتخاب شدند. با توجه به تعداد تیمارها و تعداد تکرار، در مجموع ۱۲ لایسیمتر استفاده شد. برای خارج کردن آب اضافی از لایسیمترها، لوله‌هایی از جنس PVC به قطر ۵ سانتی‌متر و طول ۷۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. روی لوله‌ها سوراخ‌هایی به قطر دو میلی‌متر و به فاصله ۲/۵ سانتی‌متر در ۴ ردیف در ۵۰ سانتی‌متر از طول لوله تعبیه گردید تا به عنوان زهکش عمل کند. به منظور جلوگیری از ورود ذرات خاک به درون لوله‌های زهکش، استفاده از صافی یا فیلتر مناسب در اطراف لوله زهکش امری ضروری است. به همین جهت در پژوهش حاضر از نوعی صافی ژئوتکستایل استفاده گردید. این صافی پس از دوخت به صورت پوششی هم‌قطر با لوله، به دور آن کشیده شد. لوله‌های زهکشی به‌طور افقی در پنج سانتی‌متری کف لوله قرار گرفتند. به طوری که سر مسدود آن‌ها در داخل لایسیمتر و سر باز آن‌ها، خارج از لایسیمتر قرار می‌گرفت. محل اتصال لوله با بدنه لایسیمتر از داخل و بیرون آب‌بندی شد.

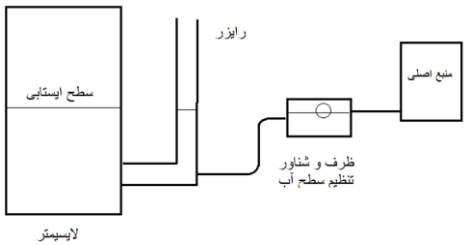
چون لایسیمترها روی زمین قرار می‌گیرند، بنابراین در معرض مستقیم تابش خورشید و جریان هوا قرار خواهند داشت. این عوامل بر روی دمای خاک داخل لایسیمترها و تغییرات آن در طول روز تاثیر گذاشته و آن را از شرایط واقعی خاک مزرعه دور می‌کند زیرا دمای خاک تاثیر اساسی در رشد و رویش گیاه داشته و همچنین بر فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک اثرگذار است. بنابراین در لایسیمترهایی که بر روی زمین قرار می‌گیرند، انتقال افقی حرارت از جداره لایسیمتر به سمت مرکز آن، قابل توجه می‌باشد. برای مقابله با این مسائل بهتر بود که برای لایسیمترها پوششی در نظر گرفته شود. بهترین پوشش برای این لایسیمترها، پشم شیشه با روکش آلومینیوم می‌باشد اما رنگ سفید نیز می‌تواند تا حد زیادی، دمای خاک داخل لایسیمتر را تعدیل کند و نسبت به شرایط بدون پوشش تفاوت زیادی دارد. در نتیجه با توجه به هزینه‌های پشم شیشه و سخت بودن نمونه‌گیری از بدنه لایسیمتر، در نهایت به لایسیمترها رنگ سفید زده شد.

کنترل سطح ایستابی در لایسیمترها

برای کنترل سطح ایستابی و تثبیت آن در آبیاری زیرزمینی از دو مخزن آب به حجم ۲۲۰ لیتر استفاده شد (یک مورد برای آبیاری زیرزمینی با آب آلوده و دیگری آبیاری زیرزمینی با آب معمولی). این مخازن توسط شلنگ‌های باریک، هر یک به ظرف کوچک‌تری متصل می‌شد. داخل هر یک از این دو ظرف یک شناور کوچک قرار داشت که شلنگ‌ها به آن متصل می‌شدند. خروجی این ظرف‌ها توسط شبکه‌ای از شلنگ‌ها به انتهای لوله‌های زهکشی در تیمارهای آبیاری زیرزمینی متصل شد. این ظرف‌ها در ارتفاع متناسب با لایسیمترها نصب شدند و شناور درون آن برای تثبیت عمق آب در ارتفاع معین داخل لایسیمترها تنظیم شد (شکل ۱).

جدول (۲): خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک لایسیمترها (کلزا)

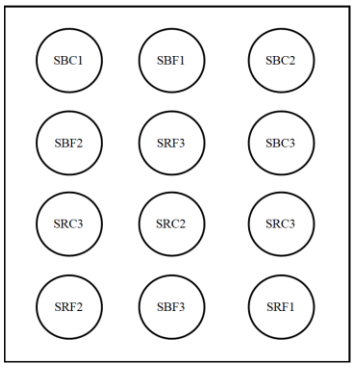
عمق (cm)	ذرات تشکیل‌دهنده خاک (٪) رس	سیلت	شن	بافت خاک	pH	P_b (g/cm^3)	θ_{Fc} (%)	θ_{PWP} (%)
۷۰-۰	۱۸/۵	۲۵/۷	۵۵/۸	لوم شنی	۷/۴	۱/۵۱	۲۱/۷	۹/۹



شکل (۱): شماتیک نحوه آبیاری لایسیمترهای آبیاری زیرزمینی

تیمارهای آزمایشی

این پژوهش به‌صورت طرح فاکتوریل کاملا تصادفی با ۴ تیمار در ۳ تکرار که مجموعا ۱۲ کرت آزمایشی بود، انجام شد. در این تیمارها گیاه کلزا کشت شد که شکل (۲) شماتیکی از تیمارهای مورد آزمایش و جانمایی لایسیمترها را نشان می‌دهد. تیمارهای آزمایش به شرح: آبیاری سطحی با آب آلوده به فلزات سنگین (SRC)، آبیاری سطحی با آب معمولی (تیمار شاهد) (SRF)، آبیاری زیرزمینی با آب آلوده به فلزات سنگین (SBC) و آبیاری زیرزمینی با آب معمولی (SBF) بود. آبیاری لایسیمترها به دو بخش مجزا تقسیم‌بندی شد. بخش اول از تاریخ کشت بود تا زمانی که ریشه گیاه برای استحصال آب از اعماق پایین‌تر پروفیل خاک، به حد کافی رشد کرده باشد (مهر ۱۳۹۶ تا فروردین ۱۳۹۷). بخش دوم، از انتهای بخش اول تا روز برداشت بود (فروردین تا خرداد ۱۳۹۷). در ابتدای بخش دوم، سیستم آبیاری زیرزمینی، بر روی تیمارهای مربوطه اعمال شد .



شکل (۲): جانمایی لایسیمترها به صورت شماتیک

نحوه آبیاری تیمارهای مختلف در بخش اول

آبیاری تمامی تیمارها، در بخش اول اعم از سطحی و زیرزمینی، از روی سطح خاک انجام شد. در این مرحله به دلایل زیر، بیش‌آبیاری انجام شد تا از تنش احتمالی جلوگیری به عمل آید اما این نکته لازم به ذکر است که میزان آب مصرفی برای تمامی تیمارها به یک میزان و برابر بود. دلایل بیش‌آبیاری لایسیمترها بدین منظور بود که (۱) لایسیمترها روی سطح خاک بودند و هرچند که بدنه لایسیمترها با رنگ سفید پوشیده شده بود تا نور را بازتاب کند و از

افزایش دمای لایسیمتر جلوگیری به عمل آید اما افزایش دما در بدنه لایسیمترها تا اندازه‌ای محسوس بود. (۲) لایسیمترها با خاک دستی پر شده بودند، لذا جریانات ترجیحی و غیرقابل‌کنترل آب و همچنین شسته شدن خاک کناره‌های بدنه لایسیمتر رخ داد. (۳) به دلیل پر شدن لایسیمترها با خاک دستی، در هر لایسیمتر حدود ۱۵ سانتی‌متر نشست خاک اتفاق افتاد که برای آماده شدن لایسیمترها برای اعمال آبیاری زیرزمینی، به سطح لایسیمتر به‌صورت دستی خاک اضافه شد تا هم فضای خالی ناشی از خاک نشست کرده را پر کند و همچنین عمق سطح ایستابیبه میزان مورد انتظار برسد. (۴) در ابتدای کاشت بذر به دلیل جریانات ترجیحی، آب از منطقه دسترس بذر خارج گشته و به لایه‌های زیرین نفوذ می‌کرد. قبل از جوانه‌زنی بذر نیز گاها شسته شدن بذر مشاهده شد. (۵) به دلیل اینکه لایسیمترها بر روی سطح خاک بودند و ارتفاعی حدود یک متر را داشتند، سطح صفر خاک و اندام هوایی گیاه، نسبت به سطح زمین در ارتفاع قرار داشتند. (۶) تراکم دو برابری تعداد گیاهان، نسبت به حالت استاندارد مزرعه، درون لایسیمترها.

نحوه آبیاری تیمارهای مختلف در بخش دوم

مقدار آبیاری بر اساس محاسبهٔ تبخیر و تعرق متوسط برای دوره و نیاز خاک محاسبه گردید. ضمن اینکه در این مرحله، نیاز آبیاری گیاه در شرایط نرمال، با استفاده از آخرین نسخه نرم‌افزار CROPWAT (ورژن 8.0) نیز محاسبه شد تا اطمینان لازم حاصل شود. قبل از آغاز آزمایش اصلی و اعمال تیمارهای آبیاری زیرزمینی (از ابتدای مهر سال ۱۳۹۶)، آبیاری در همهٔ لایسیمترها به یک اندازه و از سطح خاک انجام شد. آبیاری تا زمان سرما و آغاز خواب زمستانه کلزا صورت گرفت. مقدار آب اضافه‌شده به هر لایسیمتر در این دوره در هر نوبت در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۳): مقادیر آبیاری در کلیه تیمارها قبل از فصل سرما (میلی‌متر)

دوره آبیاری	رخداد آبیاری							
	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	مجموع
از ابتدای مهر ۱۳۹۶ تا ۱۵ فروردین ۱۳۹۷	۲۹/۱	۲۴/۱	۱۹/۲	۱۵/۶	۱۲/۶	۹/۹	۸	۱۱۸/۶

انجام عملیات آبیاری پیوسته تیمارها تا ۱۵ فروردین سال ۱۳۹۷ و همزمان با آغاز تیمارهای آبیاری زیرزمینی متوقف شد. با آغاز فصل گرما و شروع مجدد رشد گیاه کلزا، همزمان کلیه تیمارها آبیاری شدند. تیمارهای آبیاری سطحی و زیرزمینی هر کدام به شیوه خود آبیاری شدند. از این مرحله تا پایان برداشت، تیمارهای سطحی در هشت نوبت آبیاری شدند اما در تیمارهای آبیاری زیرزمینی آبیاری از سطح خاک صورت نگرفت. هر کدام از تیمارهای آبیاری زیرزمینی (SBC و SBF) به یک منبع آب متصل بودند و با توجه به نیاز تبخیر و تعرق خود، از منبع مورد نظر آب مورد نیاز را دریافت می‌کردند. به عبارتی یک منبع به لایسیمترهای تیمار آبیاری زیرزمینی با آب آلوده و منبع دیگر به لایسیمترهای تیمار آبیاری زیرزمینی با آب معمولی متصل بود. کم شدن آب در هر منبع مقدار مصرف آب در لایسیمترهای مربوط به هر تیمار را نشان می‌داد. مصرف آب نیز از روی پیزومتر متصل به منبع قرائت می‌شد. مقدار آب معادل مصرف‌شده در طول هر دور آبیاری در تیمار آبیاری زیرزمینی در جدول (۴) و (۵) ارائه شده است.

جدول (۴): مقادیر آبیاری در تیمارهای آبیاری سطحی (SBC و SBF) در دوره کشت (میلی‌متر)

دوره آبیاری	رخداد آبیاری								
	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم	مجموع
از ۱۵ فروردین ۱۳۹۷ تا اواخر خرداد ۱۳۹۷	۸۴/۷	۹۶/۲	۱۱۵/۲	۱۱۸/۷	۱۱۴/۹	۱۰۰/۲	۷۵/۱	۵۳/۲	۷۵۸/۴

جدول (۵): مقادیر آبیاری در تیمارهای آبیاری زیرزمینی (SBF و SBC) در دوره کشت (میلی‌متر)

دوره آبیاری	رخداد آبیاری								
	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم	مجموع
از ۱۵ فروردین ۱۳۹۷ تا اواخر خرداد ۱۳۹۷	۵۱/۹	۴۳/۶	۳۸/۲	۳۶/۹	۴۳/۶	۳۶/۱	۳۰	۲۵/۴	۳۰۵/۹

انتخاب غلظت مجاز فلزات سنگین

مقدار غلظت فلزات مورد استفاده (سرب، کادمیوم، روی و کروم) در مصارف کشاورزی و آبیاری، بر اساس مقادیر دستورالعمل سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، FAO[1] و WHO[2] تعیین شد. لازم به ذکر است که به هرکدام از مقادیر استاندارد ۱۰ درصد افزوده شد. این افزایش به منظور حصول اطمینان از وجود حداکثر غلظت مجاز فلزات در آب مورد استفاده، صورت گرفت. لذا آب مورد استفاده به عنوان پساب به صورت مصنوعی تهیه شد. در جدول (۶) مقادیر غلظت هر یک از فلزات به‌کاررفته، درج شده است

.

.جدول (۶): غلظت فلزات مورد استفاده در پساب مصنوعی

نوع فلز	مس (Cu)	روی (Zn)	سرب (Pb)
غلظت فلز (میلی‌گرم در لیتر)	۰/۲۲	۲/۲	۵/۵

کیفیت آب مصرفی برای تیمارهای مختلف

در تیمار آبیاری سطحی با آب معمولی و آلوده به فلزات سنگین (SRC و SRF)، آبیاری از سطح خاک انجام می‌شد و خروجی زهکش‌ها آزاد بود. مقدار آب آبیاری بر اساس نیاز رطوبتی خاک محاسبه و از سطح خاک در اختیار گیاه قرار می‌گرفت. تیمار آبیاری سطحی با آب معمولی، به نحوی به‌عنوان تیمار شاهد برای سایر گزینه‌ها بود. در تیمار آبیاری زیرزمینی با آب آلوده به فلزات سنگین (SBC)، آب آبیاری از سطح خاک برای آبیاری اضافه نمی‌شد، بلکه خروجی زهکش‌ها از طریق یک تنظیم‌کننده به یک منبع آب متصل بود. گیاه آب مورد نیاز را از سطح ایستابی جذب می‌کرد و آب درون منبع‌ها نیز با همان غلظت معینی که پیش‌تر (جدول فوق) ذکر شد، به فلزات آلوده شدند. در این تیمار سطح ایستابی در عمق ۷۵ سانتی‌متری از سطح خاک تنظیم شد. تنها تفاوت تیمار آبیاری زیرزمینی با آب معمولی (SBF) با تیمار پیشین (SBC)، در کیفیت آب است که در این تیمار از آب معمولی استفاده شد. این تیمار را می‌توان تیمار شاهد برای گزینه آبیاری زیرزمینی با آب آلوده به فلزات در نظر گرفت.

[1] Food and Agriculture Organization
[2] World Health Organization

اندازه‌گیری مقدار فلز در گیاه

برای اندازه‌گیری مقدار فلزات در نمونه‌های مورد نظر، از روش طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS[1]) استفاده شد. تکنیک AAS برای تعیین مقادیر بسیار ناچیز غلظت فلزات (در حد ppm)، در نمونه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این خصوص دو نکته مهم وجود دارد: (۱) هرچه غلظت عنصری در محلول بالاتر باشد، نور بیشتری از خود منتشر می‌کند و (۲) هر عنصری که انرژی جذب می‌کند، رنگ متفاوتی را به صورت نور از خود منتشر می‌کند. با استفاده از این ویژگی عناصر، طیف‌سنجی جذب اتمی، می‌تواند یون‌های خاص را در نمونه، شناسایی و اندازه‌گیری کند.

در انتهای دوره کشت، برداشت کلزا صورت گرفت. برای تعیین غلظت فلزات سنگین، قسمت‌های هوایی و ریشه‌های کلزا به طور جداگانه آسیاب شدند و جهت تعیین میزان فلزات جذب‌شده به آزمایشگاه برده شدند. نحوه تهیه نمونه گیاه برای قرائت توسط دستگاه جذب اتمی نیز بدین صورت بود که کلزای برداشت‌شده، به طور کامل هوا خشک شد. نمونه‌های خشک گیاه توسط دستگاه خردکن، پودر شده و سپس درون کوره سوزانده شد. خاکستر گیاه با اسیدکلریدریک سه نرمال هضم و عصاره‌گیری انجام شد. در آخر میزان فلزات سنگین درون نمونه‌های آزمایشی، اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری مقدار فلزات در خاک

بدین منظور، از سوراخ‌هایی که در اعماق مختلف لایسیمتر ایجاد شده بود به کمک یک لوله فلزی تو خالی نمونه‌های خاک تهیه شد. این نمونه‌ها از اعماق ۲۵، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متری از سطح خاک تهیه و در ظروف در بسته‌ای قرار داده شد. در هر عمق تقریباً مقدار ۳۰ گرم خاک نمونه‌گیری شد. در مجموع تعداد نمونه خاک‌های تهیه‌شده از تیمارهای مربوط به استفاده از آب آلوده در هر بار نمونه‌گیری، ۱۸ عدد بودند. ۹ عدد مربوط به سه تکرار تیمار آبیاری زیرزمینی با آب آلوده (SBC) و ۹ عدد مربوط به سه تکرار تیمار آبیاری سطحی با آب آلوده (SRC). از هر نمونه ۲۵ گرم جدا شد. نحوه تهیه نمونه خاک برای قرائت توسط دستگاه جذب اتمی بدین صورت بود که به دو گرم از نمونه خاک، ۱۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک چهار نرمال اضافه و در حمام آب گرم، در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از گذشت ۱۲ ساعت، نمونه صاف گردید. اندازه‌گیری غلظت عناصر سنگین در عصاره به‌دست آمده توسط دستگاه جذب اتمی قرائت شد.

علت انتخاب گیاه کلزا به دلیل اهمیت بالای آن در سبد غذایی و کاربرد گسترده آن در تهیه روغن خوراکی می‌باشد. لازم به ذکر است که کشت کلزا از ابتدای پاییز ۱۳۹۶ شروع شده و بعد از پایان دوره رشد، محصول نهایی در خرداد ۱۳۹۷ برداشت شد. در نهایت برای تحلیل آماری داده‌ها، از آخرین نسخه نرم‌افزار SAS (نسخه 9.4) استفاده شد. لازم به ذکر است که میانگین‌ها، به روش دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

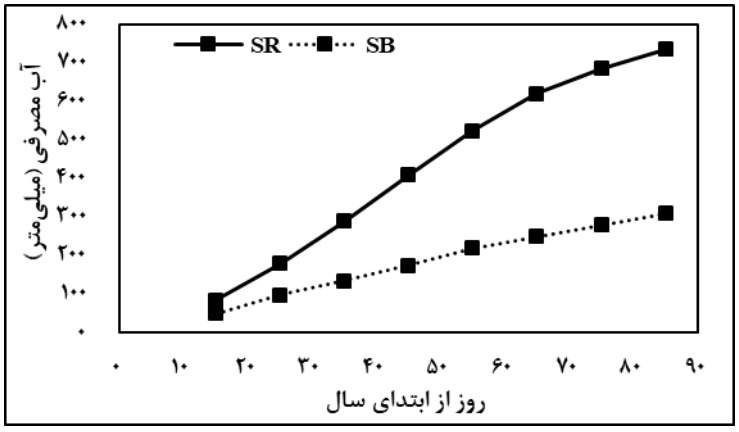
قبل از اینکه به تشریح نتایج پرداخته شود، ذکر این نکته ضروری است که تقریباً در کلیه خاک‌ها به طور ذاتی مقادیری از انواع فلزات وجود دارد. خاکی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت، پس از انجام آزمایش طیف‌سنج جذب اتمی مشخص شد که به طور متوسط دارای ۱/۸۲ میلی‌گرم در کیلوگرم مس و ۶/۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم روی است. مقادیر موجود بسیار کمتر از مقادیر متوسط ذکرشده در فوق بود. می‌توان دلیل این کمبود را در سنگ‌های مادری تولیدکننده این خاک‌ها دانست و لزوماً نباید مقادیر موجود در خاک حاضر از مقدار متوسطی که پیش‌تر ذکر شد، تبعیت کند (Jahany & Rezapour,

[1] Atomic Absorption Spectroscopy

2020). در مورد فلز سرب باید گفت که آزمایش نشان داد که، خاک حاضر فاقد سرب است. نمونه‌های برداشت‌شده از خاک در تیمارهای مربوط به استفاده از آب آلوده مورد بررسی قرار گرفتند. همان‌طور که گفته شد این نمونه‌ها از اعماق ۲۵، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متری عمق خاک تهیه شدند. در مورد تجزیه نمونه‌ها باید گفت که در هیچ‌یک از آن‌ها (هر دو تیمار آبیاری زیرزمینی و سطحی) فلز سرب مشاهده نشد و می‌توان گفت تحرک و جابجایی از بالا به پایین (SRC) و یا از پایین به بالا (SBC) بسیار ناچیز و اندک بوده است زیرا سرب کم‌تحرک‌ترین فلز سنگین در خاک است و بنابراین عدم تحرک آن در لایه‌های خاک نیز قابل توجیه است. قابلیت استفاده از این عنصر، با افزایش pH خاک کاهش می‌یابد (Zhang et al., 2019؛ یزدانی و همکاران، ۱۳۹۶). مدت زمان استفاده از آب آلوده در تیمارهای مربوطه، از نیمه فروردین سال ۱۳۹۷ تا آخر خرداد سال ۱۳۹۷ بوده است.

مقدار آب مصرفی تیمارها

در شکل (۳) مقادیر تجمعی آب مصرفی در تیمارهای آبیاری سطحی و آبیاری زیرزمینی با هم مقایسه شده است. تفاوت قابل ملاحظه میان مصرف آب در بین تیمار آبیاری سطحی و آبیاری زیرزمینی در این شکل به وضوح قابل ملاحظه است. اما در تیمار SB، آبیاری از سطح خاک صورت نگرفت. تنها منبع تأمین نیاز آبی در این تیمار، منبع آبی بود که به زهکش‌ها متصل بود و از طریق ایجاد سطح ایستابی در اختیار ریشه‌های گیاه قرار می‌گرفت. لازم به ذکر است که مصرف آب در تیمار SBC و SBF برابر بود، همین‌طور در مورد تیمارهای SRC و SRF. در مورد اختلاف این دو نمودار می‌توان چنین عنوان کرد که در تیمار آبیاری زیرزمینی مقدار تبخیر از سطح خاک بسیار ناچیز بوده و آب مصرف‌شده تنها صرف تعرق گیاه شده است، بنابراین دور از انتظار نیست که آب مصرف‌شده در تیمار آبیاری زیرزمینی، به طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به آب مصرفی در تیمار آبیاری سطحی کمتر باشد. مقدار کمتر مصرف آب در روش آبیاری زیرزمینی کاملا بدیهی بوده و توسط محققین مختلف به آن شاره شده است (Wei et al., 2015؛ نصر آزادانی و هودجی، ۱۳۹۳)

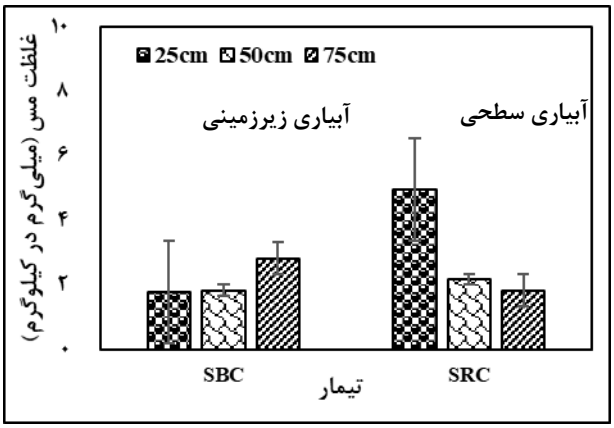


شکل (۳): مقایسه مصرف آب در تیمارهای آبیاری سطحی و آبیاری زیرزمینی

بررسی حرکت فلز مس در خاک

حرکت فلز مس در خاک در دو تیمار SRC و SBC مورد بررسی قرار گرفت که در شکل (۴) نشان داده شده است. با توجه به شکل، در هر سه تکرار از تیمار SBC، در عمق ۷۵ سانتی‌متری شاهد مقادیری

از فلز مس بوده و در اعماق ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متری مقدار فلز مس در خاک تقریباً برابر مقدار اولیه موجود در خاک است. علت قابل توجه بودن غلظت فلز مس در عمق ۷۵ سانتی‌متری این است که به محل ورود آب آلوده به خاک نزدیک است. لیکن در اعماق کمتر و با فاصله گرفتن از محل ورود آلاینده‌ها از خاک، از تحرک و جابجایی فلز مس در خاک کاسته شده است، لذا این اختلاف به وجود آمده است. به طور کلی مقدار فلز مس در تیمار آبیاری زیرزمینی به ویژه عمق ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر تقریبا برابر با مقدار اولیه فلز مس در خاک بوده (۱/۸۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) و تغییرات چندانی رخ نداده و این قابلیت استفاده از آبیاری زیرزمینی در صورت کاربرد آب آلوده به فلزات سنگین را نشان می‌دهد. در پژوهش صیادمنش شیاده و همکاران (۱۳۹۴) و ارفعی نیا و همکاران (۱۳۹۵) نیز به چنین نتایجی اشاره شده است. بنابراین بدیهی است که به دلیل ورود آب آلوده از سطح خاک، مقدار فلزات در لایه سطحی نسبت به اعماق خاک بیشتر است، لذا در مقایسه با بیشینه مقادیر مشاهده‌شده در تیمار SBC (صرف نظر از عمق رؤیت مقدار بیشینه در هر دو تیمار) این مقادیر بسیار زیاد است. به عبارتی به ازای طول تقریباً یکسان، فلز مس حرکت بیشتری در خاک داشته است. مقدار فلز مس در عمق ۵۰ سانتی‌متری را می‌توان به حرکت ترجیحی نسبت داد. چرا که ممکن است در قسمت‌هایی از خاک لایسیمتر، درز و ترک‌هایی وجود داشته باشند و آب با عبور از شکاف‌ها، فلز مس را با خود به اعماق پایین‌تر ببرد (نصر آزادانی و هودجی، ۱۳۹۳).



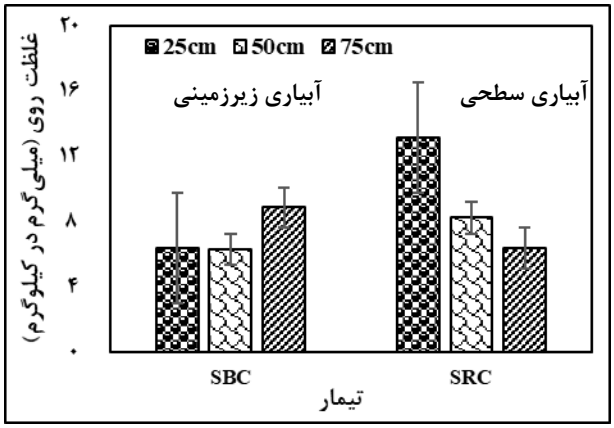
شکل (۴): متوسط غلظت فلز مس در اعماق مختلف خاک در دو تیمار آبیاری سطحی و زیرزمینی

به عنوان جمع‌بندی، عمق‌های حساس مربوط به عمق ۲۵ سانتی‌متر در تیمار SRC (آبیاری سطحی با آب آلوده به فلزات سنگین) و ۷۵ سانتی‌متری در تیمار SBC (آبیاری زیرزمینی با آب آلوده به فلزات سنگین) است و بین دیگر اعماق در دو تیمار، تفاوت معنی‌داری وجود ندارد زیرا در تیمار SBC بیشینه غلظت در عمق ۷۵ سانتی‌متری خاک مشاهده شد (البته می‌توان انتظار داشت که در اعماق پایین‌تر تا رسیدن محل ورود آب غلظت بیشتر باشد) و در تیمار SRC این بیشینه در ۲۵ سانتی‌متری خاک رؤیت شد که انتظار بر این است که با حرکت به سمت بالاتر و سطح خاک، این مقدار بیشتر شود. با توجه به مطالب ذکر شده و دقت در شکل (۴)، به سادگی می‌توان نتیجه گرفت که در مورد فلز مس، حرکت از بالا به پایین (SRC) نسبت به حرکت از پایین به بالا (SBC) بیشتر صورت می‌گیرد است و نیز بر اساس آزمون T-Student این تفاوت کاملاً معنی‌دار است (در سطح پنج درصد). بیشترین غلظت مس در تیمار SBC (۲/۸۳ میلی گرم در کیلوگرم) در مقایسه با بیشترین مقدار آن در تیمار SRC (۴/۹۷ میلی گرم

در کیلوگرم)، حدود ۴۳ درصد کمتر می‌باشد که این اهمیت آبیاری زیرزمینی در کاهش غلظت فلزات سنگین و عدم ورود آن به لایه‌های خاک را نشان می‌دهد. بررسی مقدار سرب کل و قابل جذب در مطالعات مختلف نشان داده که مقدار هر دو شکل سرب کل و قابل جذب، با افزایش عمق کاهش می‌یابند (Sahay et al., 2019; Bahmanyar, 2008).

بررسی حرکت فلز روی در خاک

حرکت فلز روی نیز در خاک در دو تیمار SRC و SBC مورد بررسی قرار گرفت و شکل (۵)، تفاوت میان حرکت روی در عمق خاک در دو تیمار مورد نظر را نشان می‌دهد. آنچه در مورد فلز روی رخ داده، همانند فلز مس است زیرا مقدار فلز روی نیز در اعماق ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متری تیمار SBC در حد مقدار اولیه موجود در خاک می‌باشد اما در عمق ۷۵ سانتی‌متری به دلیل نزدیکی به محل ورود آب آلوده، مقادیری از فلز روی در حدود غلظت ۸/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد (شکل ۵). در تیمار SBC و در عمق ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر، مقدار غلظت روی اندازه‌گیری شده کمتر از مقدار اولیه و ذاتی خاک بوده (۶/۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) و عمق ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر تیمار SRC نیز چنین وضعی داشته است. نتیجه مشابهی توسط آتش‌پز و همکاران (۱۳۹۷) و Ahmad et al. (2011) گزارش شد. قسمت دوم شکل (۵) مربوط به مقدار روی اندازه‌گیری شده در اعماق مختلف تیمار SRC می‌باشد. مشابه موارد مربوط به حرکت مس در تیمار SRC، در مورد روی نیز همین شرایط وجود دارد و در لایه‌های سطحی به ویژه ۲۵ سانتی‌متری غلظت فلز روی در آبیاری سطحی بالا بوده و در عمق ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متری حداقل مقدار خود را دارد (صیادمنش شیاده و همکاران، ۱۳۹۴؛ Sahay et al., 2019; Bahmanyar, 2008).



شکل (۵): متوسط غلظت فلز روی در اعماق مختلف خاک در دو تیمار آبیاری سطحی و زیرزمینی

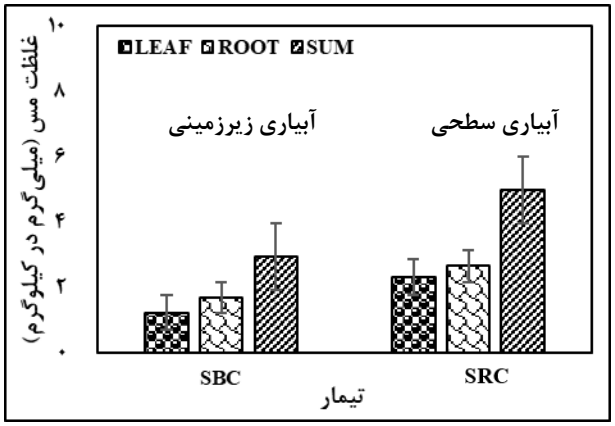
در تیمار SBC بیشینه غلظت در عمق ۷۵ سانتی‌متری خاک (۸/۸۷ میلی گرم در کیلوگرم) و در تیمار SRC این بیشینه در ۲۵ سانتی‌متری خاک (۱۳/۱۵ میلی گرم در کیلوگرم) رؤیت شد که هرچه به سمت لایه‌های بالاتر رفته شود، غلظت فلز در خاک بیشتر خواهد بود. با توجه به مطالب ذکرشده و دقت در شکل (۵)، می‌توان نتیجه گرفت که در مورد فلزی روی، حرکت از بالا به پایین (SRC) نسبت به حرکت از پایین به بالا (SBC) بیشتر صورت می‌گیرد. در این قسمت نیز، طبق آزمون T-Student این نتیجه

به‌دست‌آمده که اختلاف میان بیشینه حرکت فلز روی در دو تیمار آبیاری زیرزمینی و سطحی در سطح پنج درصد کاملاً معنی‌دار بود. بین بیشترین مقدار روی در تیمار SRC و SBC بیش از ۴/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم اختلاف وجود دارد و این آبیاری زیرزمینی است که ۳۲ درصد غلظت کمتری در مقابل آبیاری سطحی دارد. در مورد فلز روی باید اشاره کرد که این عناصر عمدتا در لایه‌های سطحی خاک‌ها تجمع می‌یابد و همبستگی منفی غلظت این عنصر با عمق خاک، مربوط به pH خاک و تحرک کم این عنصر در شرایط قلیایی می‌باشد (Ahmad et al., 2011; Zhang et al., 2019).

غلظت فلز مس موجود در گیاه

در شکل (۶)، مقدار فلز مس در اندام هوایی و ریشه در تیمارهای SRC و SBC نشان داده شده است. ستون اول نشانگر غلظت فلز مس در اندام هوایی (LEAF)، ستون دوم مربوط به غلظت فلز مس در ریشه (ROOT) و در ستون سوم از هر گروه (SUM)، مجموع جذب غلظت مس توسط گیاه در هر تکرار است. مشاهده می‌شود که غلظت فلز مس در ریشه بیشتر از اندام هوایی است. این حالت در تیمار شاهد نیز مشاهده شد که مقادیر مربوط به غلظت مس در تیمار شاهد برابر با ۱/۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم مربوط به اندام هوایی و ۱/۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، مربوط به ریشه بود. در مورد کلزا باید عنوان کرد که فلزات مس و روی به عنوان دو ریز مغذی به کار می‌روند، به ویژه از زمان رشد ساقه تا برداشت محصول که بیشترین میزان جذب این دو فلز در این مدت صورت می‌گیرد (Bahmanyar, 2008). لذا طبیعی است که در تجزیه‌ها مقادیری از این دو فلز در اندام‌ها دیده می‌شود.

متوسط مقدار جذب مس در تیمار SBC، در اندام هوایی و ریشه گیاه به ترتیب برابر با ۱/۲۳ و ۱/۶۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده که در مقایسه با تیمار شاهد تنها ۶ و ۵ درصد بیشتر است که مقدار بسیار ناچیزی می‌باشد. بنابراین در این تیمار (SBC)، تفاوت معنی‌داری در جذب مس نسبت به تیمار شاهد وجود ندارد. متوسط مقدار جذب مس تیمار SRC و در اندام هوایی و ریشه گیاه به ترتیب برابر با ۲/۳۱ و ۲/۶۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده که نسبت به تیمار شاهد و SBC بیشتر بوده و این افزایش مقدار جذب مس در تیمار SRC نسبت به تیمار شاهد به ترتیب برابر با ۹۹ و ۶۵ درصد برای اندام هوایی و ریشه و در مقایسه با تیمار SBC به ترتیب ۸۸ و ۵۸ درصد بوده است. بنابراین تفاوت بین عملکرد آبیاری زیرزمینی و استفاده از آب آلوده با فلزات سنگین نسبت به آبیاری سطحی کاملا مشهود بوده و نتایج نیز همین امر را نشان می‌دهد. ضمن اینکه به طور کلی و میانگین سه تکرار، ۲/۹۲ میلی‌گرم در کیلوگرم مس جذب اندام‌های گیاهی در تیمار SBC شده در حالی که در تیمار SRC این مقدار برابر با ۴/۹۷ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که در آبیاری سطحی ۷۰ درصد مس بیشتری جذب گیاه شده است؛ به طوری که این تفاوت با کمک آزمون T-Student در سطح یک درصد کاملا معنی‌دار ارزیابی شد. در مورد تیمار آبیاری زیرزمینی نیز تفاوتی ملاحظه می‌شود که این تفاوت بسیار ناچیز و اندک است و حتی می‌توان گفت که مقادیر مربوط به تیمار شاهد (۲/۷۶ میلی گرم در لیتر)، برابر تیمار آبیاری زیرزمینی (SBC) است. جذب بیشتر فلزات سنگین نظیر مس در آبیاری سطحی نسبت به آبیاری زیرزمینی و شاهد در مطالعات مختلفی نظیر Wei et al. (2015)، Jahany & Rezapour (2020) و دیگر محققین گزارش شده است.



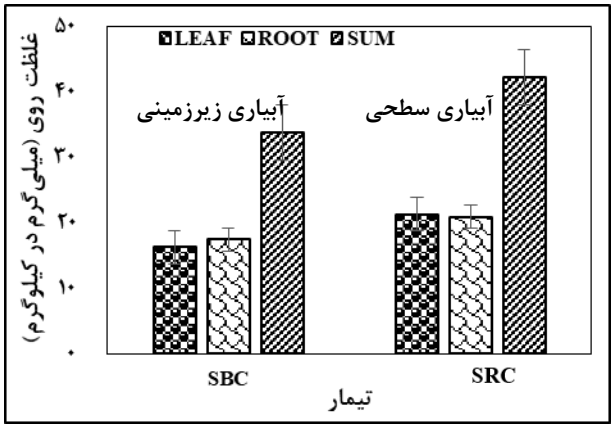
شکل (۶): مقدار فلز مس در اندام هوایی و ریشه کلزا در دو تیمار آبیاری سطحی و زیرزمینی

علت اصلی غلظت بالای مس موجود در گیاه در تیمار SRC این است که علاوه بر اینکه خاک خود حاوی مقادیری از مس است، لیکن آب آلوده به مس از سطح خاک وارد آن شده است (شکل ۶). از طرفی ۸۰ درصد مقدار ریشه در ۲۵ سانتی‌متر ابتدایی عمق خاک توزیع شده است (صیادمنش شیاده و همکاران، ۱۳۹۴)، لذا مس بیشتری برای جذب در اختیار گیاه قرار داشته است. در حالی که در تیمار SBC غلظت مس موجود در گیاه تقریباً برابر تیمار شاهد است. به عبارتی علی‌رغم اینکه در این تیمار نیز آب آلوده به مس وارد خاک شده است اما از دسترس گیاه خارج بوده و گیاه آن را جذب نکرده و تنها توانایی جذب در حد تیمار شاهد داشته است. با توجه به مطالب ذکرشده و نتیجه آزمون T-Student می‌توان این نکته را عنوان کرد که اگر آب آلوده به فلز مس از طریق آبیاری وارد خاک شود، می‌توان اطمینان داشت که مس واردشده به خاک جذب گیاه نمی‌شود و در صورت جذب، مقدار آن بسیار ناچیز و در حد تیمار شاهد یا غلظت اولیه خاک باشد (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ شاکرمی و معروفی، ۱۳۹۸).

غلظت فلز روی موجود در گیاه

در این قسمت نیز با ارائه شکل (۷)، به مقایسه میزان غلظت روی موجود در اندام هوایی و ریشه و نیز اختلاف آن‌ها پرداخته شد. با بررسی این شکل به‌وضوح تفاوت میان مجموع روی جذب‌شده در دو تیمار SRC و SBC قابل مشاهده است. نکته ای که از این بخش قابل استنتاج است، این می باشد که اگر مقدار رویی که در اختیار گیاه قرار می‌گیرد بیش از نیاز گیاه کلزا باشد، گیاه آن را جذب کرده و در اندام هوایی خود ذخیره می‌کند زیرا چه در تیمار SBC و چه در تیمار شاهد، این پدیده رخ نداده و مقدار فلز روی در ریشه بیش از اندام هوایی بود (صیادمنش شیاده و همکاران، ۱۳۹۴؛ Sahay et al., 2019). علاوه بر تفاوت مقدار عددی جذب فلز روی نسبت به فلز مس، الگوی جذب روی نیز کمی متفاوت است. با این توضیح که در هر دو تیمار SRC و SBC مقدار تقریبا برابر جذب گیاه (اندام هوایی و ریشه) شده که در مورد فلز مس جذب ریشه بیشتر از اندام هوایی بود. این موضوع قدرت جذب برابر ریشه و اندام هوایی کلزا در مورد فلز روی را نشان می‌دهد. متوسط جذب روی در تیمار SBC برای اندام هوایی و ریشه به ترتیب برابر ۱۶/۲۷ و ۱۷/۴۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده که در تیمار SRC همین مقادیر برابر ۲۱/۲۹ و ۲۰/۹۱ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. به عبارتی در جذب روی توسط اندام هوایی در تیمار SRC نسبت به SBC مقدار ۳۰/۸ درصد و در مورد ریشه ۱۹/۷ درصد روی بیشتری جذب گیاه شده است. به طور کلی می‌توان گفت که چه در جذب روی توسط اندام هوایی و ریشه و چه متوسط کل جذب، اختلافات

تیمار SRC و SBC نسبت به جذب متناظر در مورد فلز مس کمتر بوده است. غلظت اولیه بیشتر فلز روی نیز در این امر مؤثر بوده و از آنجایی که روی عمدتا در لایه‌های سطحی خاک تجمع می‌یابد، لذا در آبیاری سطحی مقدار بیشتری جذب خاک شده است (Ahmad et al., 2011; Sahay et al., 2019).



شکل (۷): مقدار فلز روی در اندام هوایی و ریشه کلز در دو تیمار آبیاری سطحی و زیرزمینی

به عنوان جمع بندی در این قسمت باید گفت که متوسط مقدار روی جذب‌شده در تیمار SRC، بسیار بیشتر از مقدار روی جذب‌شده در تیمار شاهد است (شکل ۷). این تفاوت بر اساس آزمون T-Student در سطح یک درصد کاملا معنی‌دار شد. می‌توان غلظت روی در تیمار شاهد را برابر تیمار SBC در نظر گرفت، چرا که مقادیر مربوط به این دو تیمار بسیار به هم نزدیک است زیرا متوسط مقدار روی جذب‌شده توسط گیاه در تیمار شاهد برابر ۳۳/۸۵ میلی‌گرم در بر کیلوگرم و در تیمار SBC مقدار آن ۳۳/۷۳ میلی‌گرم در لیتر بود. بنابراین هیچ‌گونه تفاوتی در جذب روی توسط اندام هوایی و ریشه در تیمار SBC و شاهد وجود نداشته و عملا برابر می‌باشند و این توانایی آبیاری زیرزمینی در حذف و کاهش جذب فلزات سنگین در آب‌های آلوده را نشان می‌دهد (Jahany & Rezapour, 2020; Wei et al., 2015). در توضیح تفاوت میان غلظت روی در تیمار آبیاری SRC و SBC می‌توان گفت که در تیمار SRC، فلز روی از سطح خاک وارد شده و از آنجایی که قسمت عمده ریشه گیاه در اعماق ابتدایی خاک است، بنابراین سطح تماس بیشتری با روی دارد و سپس مقدار بیشتر روی جذب می‌کند. پس اگر بتوان به‌نحوی منبع آلودگی را از قسمتی که سطح جذب بیشتری دارد، دور کرد؛ می‌توان انتظار داشت که مواد آلاینده از جمله روی، جذب گیاه نشود. چنین حالتی در تیمار SBC اتفاق افتاده است. یعنی همزمان عملیات آبیاری صورت گرفته است و به نحوی آلاینده‌ها از دسترس گیاه خارج بوده است. لازم به یادآوری است که همان مقدار اندکی از روی که در تیمار SBC و شاهد مشاهده شد، مربوط به مقدار اولیه روی بوده که به طور ذاتی مقادیری از آن در خاک‌ها وجود دارد. بیشترین مقدار روی جذب‌شده در تیمار SRC، اختلاف تقریبا ۱۰ واحدی با مقدار روی در تیمار شاهد و SBC دارد. مقدار جذب بیشتر روی در آبیاری سطحی و ذخیره آن در گیاه در مطالعات نصر آزادانی و هودجی (۱۳۹۴) و صیادمنش شیاده و همکاران (۱۳۹۴) و آتش‌پز و همکاران (۱۳۹۷) و شاکرمی و معروفی (۱۳۹۸) به آن اشاره شد.

به عنوان نتیجه کلی در این بخش باید گفت که متوسط مقدار جذب روی توسط گیاه در تیمار SRC برابر با ۴۲/۲ میلی‌گرم در لیتر بوده که در مقایسه با تیمار شاهد به میزان ۲۴/۷ درصد و تیمار SBC به

میزان ۲۵/۱ درصد، بیشتر می‌باشد. علت آن همان تراکم ریشه در لایه‌های سطحی و ورود آب آلوده به فلزات سنگین از سطح خاک می‌باشد که با توجه به تراکم و جذب بالای ریشه در آن ناحیه، فلزات سنگین نظیر روی و مس جذب گیاه شده است. با توجه به نتیجه آزمون آماری T-Student و مطالب ذکرشده، می‌توان گفت که اگر آب آلوده به فلز روی از طریق آبیاری زیرزمینی وارد خاک شود، می‌توان اطمینان داشت که روی واردشده به خاک، بسیار دورتر از محوطه جذب توسط ریشه بوده و جذب ریشه گیاه و سپس اندام هوایی کلزا نمی‌شود. Ahmad et al. (2011) در پژوهشی که در آن گیاه کلزا با پساب شهری در پاکستان آبیاری شد، یافتند که افزایش درصد پساب در آب آبیاری موجب افزایش مقدار عناصر کروم، کادمیوم و سرب در اندام هوایی کلزا می‌شود. سرب در کلزا بین ۱/۵۲-۰/۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم تجمع یافت، که در حد مجاز بود. همچنین اندازه‌گیری ضریب انتقال عناصر سنگین از ریشه به بخش هوایی نشان داد که روند این ضریب برای فلزات مختلف به صورت Cd>Cr>Pb است. در این پژوهش نیز چنین روندی بین روی، مس و سرب مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

با افزایش جمعیت شهرنشین و توسعه صنایع مختلف، تقاضای آب و تولیدآلاینده‌ها خصوصاً فلزات سنگین رو به افزایش و سهم آب کشاورزی رو به کاهش است. فلزات سنگین موجود در آب آبیاری که به خاک و گیاه منتقل می‌شود، می‌تواند اثرات مخربی بر سلامتی انسان داشته باشد. بنابراین استفاده از آب آلوده به فلزات سنگین ملزوماتی داشته که کاربرد آن در شرایط معمول را محدود می‌کند. لذا در تأمین آب مورد نیاز گیاه می‌توان با اعمال مدیریت صحیح از پساب‌های صنعتی و آلوده به فلزات سنگین، از آن برای آبیاری بعضی از گیاهان استفاده کرد. این پژوهش که با هدف استفاده از آب آلوده به فلزات سنگین در دو روش آبیاری سطحی و زیرزمینی برای گیاه کلزا انجام شد، نتایج آن نشان داد که با ترکیب روش آبیاری زیرزمینی و استفاده از آب‌های آلوده به فلزات سنگین و لحاظ‌کردن چگونگی حرکت و تجمع آن در خاک، این فلزات در لایه‌های تحتانی خاک تجمع کرده و به ریشه‌ی گیاهان نمی‌رسند. همچنین نتایج نشان داد که در زهابی که از زهکش‌های مربوط به تیمار آبیاری زیرزمینی با آب آلوده به دست آمد، هیچ اثری از فلزات مس، روی و سرب دیده نشد. در مورد خاک چنین می‌توان اظهار کرد که حرکت فلزات مس و روی به نحوی است که در تیمار آبیاری زیرزمینی، خارج از دسترس ریشه بوده و توسط گیاه جذب نمی‌شود. لذا هدف مطلوب که همان استفاده سالم و بی‌خطر از آلوده به فلزات سنگین بوده، در آبیاری زیرزمینی به آن دست‌یافته شد.

منابع

آتش‌پز، ب.، رضاپور، س. و قائمیان، ن. ۱۳۹۷. اثرات آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده بر غلظت، توزیع و آلودگی بعضی عناصر سنگین خاک. آب و خاک، دوره ۳۲، شماره ۳، ص ۵۸۵-۵۷۳.

ارفعی نیا، ح.، رنجبر وکیل‌آبادی، د.، سیفی، م.، اسدگل، ز. و هاشمی، س. ع. ۱۳۹۵. بررسی غلظت و ارزیابی خطر (Risk Assessment) فلزات سنگین ناشی از مصرف محصولات کشاورزی در مزارع مختلف شهرستان دیر، بوشهر. طب جنوب، دوره ۱۹، شماره ۵، ص ۸۵۴-۸۳۹.

پورغلام آمیجی، م.، لیاقت، ع.، ولی، م. ح. و پارسامهر، ح. ر. ۱۳۹۸. ساخت حسگر رطوبتی به‌منظور آبیاری هوشمند و تعیین محل مناسب نصب آن برای دستور توقف آبیاری با هدف جلوگیری از تلفات آب. مدیریت آب در کشاورزی، دوره ۶، شماره ۲، ص ۳۶-۲۱.

شاکرمی، م. و معروفی، ص. ۱۳۹۸. اثر فاضلاب و لجن فاضلاب بر جذب برخی فلزات سنگین در خاک و گیاه نعناع (*Mentha spicata L.*). محیط‌شناسی، دوره ۴۵، شماره ۱، ص ۱۵-۱.

صیادمنش شیاده، س. م.، قاجارسپانلو، م. و بهمنیار، م. ع. ۱۳۹۴. بررسی میزان برخی عناصر سنگین در خاک و گیاه کلزا در مزارع تحت آبیاری با پساب شهرک صنعتی آمل. پژوهش آب در کشاورزی، دوره ۲۹، شماره ۲، ص ۱۵۵-۱۴۱.

نصر آزادانی، آ. و هودجی، م. ۱۳۹۳. ارزیابی تأثیر یک نمونه پساب صنعتی بر آلودگی خاک با فلزات سنگین. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره ۱۶، شماره ۱، ص ۳۸۹-۳۷۹.

یزدان‌دوست، ف. و نوروزی، م. م. ۱۳۹۹. بررسی نقش آب‌های غیرمتعارف (بازچرخانی و نمک‌زدایی) در نواحی خشک با رویکرد مدیریت بهم پیوستهٔ منابع آب. مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره ۱۰، شماره ۳، ص ۱۴۱-۱۲۷.

یزدانی، ع.، صفاری، م. و رنجبر، غ. ۱۳۹۶. اثر آبیاری با فاضلاب شهری تصفیه‌شده بر عملکرد دانه و تجمع فلزات سنگین در دانه ژنوتیپ‌های جو. علوم زراعی ایران. دوره ۱۹، شماره ۴، ص ۲۹۶-۲۸۴.

Ahmad, K., Ejaz, A., Azam, M., Khan, Z. I., Ashraf, M., Al-Qurainy, F. ... & Valeem, E. E. 2011. Lead, cadmium and chromium contents of canola irrigated with sewage water. Pak J Bot, 43(2): 1403-1410.

Bahmanyar, A. 2008. Effects of Long- Term Irrigation using Industrial Wastewater on Soil Properties and Elemental Contents of Rice, Spinach, Clover, and Grass. Communications in soil science and plant analysis, 39(11-12): 1620-1629.

Jahany, M., & Rezapour, S. 2020. Assessment of the quality indices of soils irrigated with treated wastewater in a calcareous semi-arid environment. Ecological Indicators, 109: 105800.

Mani, D., Sharma, B., Kumar, C., & Balak, S. 2013. Depth-wise distribution, mobility and naturally occurring glutathione based phytoaccumulation of cadmium and zinc in sewage-irrigated soil profiles. International Journal of Environmental Science and Technology, 10(6): 1167-1180.

Pourgholam-Amiji, M., Liaghat, A., Ghameshlou, A. N., & Khoshravesh, M. 2021. The evaluation of DRAINMOD-S and AquaCrop models for simulating the salt concentration in soil profiles in areas with a saline and shallow water table. Journal of Hydrology, 598: 126259.

Sahay, S., Iqbal, S., Inam, A., Gupta, M., & Inam, A. 2019. Waste water irrigation in the regulation of soil properties, growth determinants, and heavy metal accumulation in different Brassica species. Environmental monitoring and assessment, 191(2): 107.

Wei, Z., Paredes, P., Liu, Y., Chi, W. W., & Pereira, L. S. 2015. Modelling transpiration, soil evaporation and yield prediction of soybean in North China Plain. Agricultural water management, 147: 43-53.

Zhang, D., Li, N., Cao, S., Liu, X., Qiao, M., Zhang, P. ... & Huang, X. 2019. A Layered Chitosan/Graphene Oxide Sponge as Reusable Adsorbent for Removal of Heavy Metal Ions. Chemical Research in Chinese Universities, 35(3): 463-470.

Investigation of the Using Heavy Metals-Contaminated Water with Subirrigation in Canola Cultivation

Abdolmajid Liaghat[1*], Mohammad Saleh[2], Masoud Pourgholam-Amiji[3], Alireza Hassanoghli [4], Mehdi Poursaeedi[5]

Abstract

One of the ways out of the water crisis is to use polluted and non-conventional water. In this regard, a study was conducted in 2017 and 2018 in the Agricultural and Natural Resources College, the University of Tehran in the form of a completely randomized factorial design with four treatments, three replications, and a total of 12 experimental plots in the lysimeter environment. Experimental treatments included surface irrigation with contaminated water by heavy metals (SRC), surface irrigation with conventional water or control treatment (SRF), subirrigation with contaminated water by heavy metals (SBC), and subirrigation with conventional water (SBF). The texture of the soil inside the lysimeters was sandy loam, its pH was 7.4, and the heavy metals used were copper, zinc, and lead. The results showed that the highest copper concentration in SBC treatment was observed at a depth of 75 cm, which was 43% less than the maximum amount in SRC treatment, and 25 cm depth, which was significant at the level of 5%. Also, there was a difference between the maximum amount of soil zinc on SRC and SBC treatment of more than 4.2 mg/kg, and in subirrigation, 32% less zinc was absorbed into the soil, which was significant at the level of 5%. The average amount of copper uptake by the plant in SRC treatment was 4.97 mg/kg, which was 80% and 70% increase in copper uptake, respectively, compared to control and SBC treatment, and this difference was significant at the level of 1%. In general, top-down motion (SRC) is higher than bottom-up motion (SBC), indicating the use of heavy metal contaminated water in subirrigation.

Keywords: Soil Pollution, Lysimeter, Non-Conventional Water, Rare Elements, Water Table.

1- Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. (Email: Aliaghat@ut.ac.ir) (Corresponding Author)
2- MS.c. Graduated, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. (Email: Mohammadsaleh@ut.ac.ir)
3- Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. (Email: Mpourgholam6@ut.ac.ir)
4- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. (Email: Arho49@yahoo.com)
5- MS.c. Graduated, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. (Email: Mehdi.poursaeedi@yahoo.com)

Extended Abstract

Research Paper

Investigation of the Using Heavy Metals-Contaminated Water with Subirrigation in Canola Cultivation

Abdolmajid Liaghat[1], Mohammad Saleh[2], Masoud Pourgholam-Amiji[3], Alireza Hassanoghli[4], Mehdi Poursaeedi[5]

1- Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. (Email: Aliaghat@ut.ac.ir) (Corresponding Author)
2- MS.c. Graduated, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. (Email: Mohammadsaleh@ut.ac.ir)
3- Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. (Email: Mpourgholam6@ut.ac.ir)
4- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. (Email: Arho49@yahoo.com)
5- MS.c. Graduated, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. (Email: Mehdi.poursaeedi@yahoo.com)

10.22125/IWE.2020.234466.1359

Received:
09. June.2020
Accepted:
01. September2020
Available online:
10. January.2022

Keywords**: Soil Pollution, Lysimeter, Non-Conventional Water, Rare Elements, Water Table**

Abstract

One of the ways out of the water crisis is to use polluted and non-conventional water. In this regard, a study was conducted in 2017 and 2018 in the Agricultural and Natural Resources College, the University of Tehran in the form of a completely randomized factorial design with four treatments, three replications, and a total of 12 experimental plots in the lysimeter environment. Experimental treatments included surface irrigation with contaminated water by heavy metals (SRC), surface irrigation with conventional water or control treatment (SRF), subirrigation with contaminated water by heavy metals (SBC), and subirrigation with conventional water (SBF). The texture of the soil inside the lysimeters was sandy loam, its pH was 7.4, and the heavy metals used were copper, zinc, and lead. The results showed that the highest copper concentration in SBC treatment was observed at a depth of 75 cm, which was 43% less than the maximum amount in SRC treatment, and 25 cm depth, which was significant at the level of 5%. Also, there was a difference between the maximum amount of soil zinc on SRC and SBC treatment of more than 4.2 mg/kg, and in subirrigation, 32% less zinc was absorbed into the soil, which was significant at the level of 5%. The average amount of copper uptake by the plant in SRC treatment was 4.97 mg/kg, which was 80% and 70% increase in copper uptake, respectively, compared to control and SBC treatment, and this difference was

significant at the level of 1%. In general, top-down motion (SRC) is higher than bottom-up motion (SBC), indicating the use of heavy metal contaminated water in subirrigation.

1. Introduction

With the increase of urban population and the development of various industries, the demand for water and the production of pollutants, especially heavy metals, is increasing and the share of agricultural water is decreasing. One of the ways out of the water crisis is to use polluted and non-conventional water. Given that agriculture is the largest and most consuming of water, efforts to reduce water consumption in this sector and increase water yield and productivity, the use of polluted water, as well as unconventional water, are necessary scenarios. Irrigation with effluent adds elements to the soil that can be beneficial to the soil as well as plant growth, but excessive use of it increases the accumulation of heavy metals in the soil, which is dangerous for plants. Therefore, it is necessary to perform various tests to minimize the harmful effects.

2. Materials and Methods

In this regard, a study was conducted in 2017 and 2018 in the Agricultural and Natural Resources College, the University of Tehran in the form of a completely randomized factorial design with four treatments, three replications, and a total of 12 experimental plots in the lysimeter environment. Experimental treatments included surface irrigation with contaminated water by heavy metals (SRC), surface irrigation with conventional water or control treatment (SRF), subirrigation with contaminated water by heavy metals (SBC), and subirrigation with conventional water (SBF). The texture of the soil inside the lysimeters was sandy loam, its pH was 7.4, and the heavy metals used were copper, zinc, and lead. Irrigation amount was calculated based on the average evapotranspiration for the period and soil requirements. At this stage, the water requirements of the plant under normal conditions were calculated using the latest version of CROPWAT software (version 8.0) to ensure the necessary. Before the start of the main test and application of groundwater irrigation treatments, irrigation was performed in all lysimeters equally and from the soil surface. The concentration of metals used (lead, cadmium, zinc, and chromium) in agriculture and irrigation was determined based on the values of the instructions of the Department of Environmental-Iran (DEI), Food and Agriculture Organization (FAO), and the World Health Organization (WHO).

3. Results

The results showed that the highest copper concentration in SBC treatment was observed at a depth of 75 cm, which was 43% less than the maximum amount in SRC treatment, and 25 cm depth, which was significant at the level of 5%. Also, there was a difference between the maximum amount of soil zinc on SRC and SBC treatment of more than 4.2 mg/kg, and in subirrigation, 32% less zinc was absorbed into the soil, which was significant at the level of 5%. The average amount of copper uptake by the plant in SRC treatment was 4.97 mg/kg, which was 80% and 70% increase in copper uptake, respectively, compared to control and SBC treatment, and this difference was significant at the level of 1%. In general, top-down motion (SRC) is higher than bottom-up motion (SBC), indicating the use of heavy metal contaminated water in subirrigation. Based on the above and the result of the T-Student test, it can be said that if water contaminated with copper metal enters the soil through irrigation, it can be ensured that the copper enters the soil is not absorbed by the plant and if absorbed, the amount is insignificant and within the control treatment or initial soil concentration. According to the results of the T-Student statistical test and the above, it can be said that if water contaminated with zinc metal enters the soil through underground irrigation, it can be assured that the zinc entering the soil is far away from the roots and is not absorbed.

4. Discussion and Conclusion

This study was conducted with the aim of Investigation of Using Heavy Metals-Contaminated Water with Subirrigation in Canola Cultivation. The general results showed that by combining the groundwater irrigation method and using water contaminated with heavy metals and considering how it moves and accumulates in the soil, these metals accumulate in the lower layers of the soil and do not

reach the roots of the plants' zone. Also, no traces of copper, zinc, and lead metals were observed in the drainage obtained from drains related to groundwater treatment with contaminated water. In the case of soil, it can be said that the movement of copper and zinc metals was such that in the groundwater irrigation treatment, the roots were out of reach and were not absorbed by the plant. Therefore, the desired goal, which was the healthy and safe use of heavy metal contamination, was achieved in underground irrigation.

.5. Six important references

1. Bahmanyar, A. 2008. Effects of Long-Term Irrigation using Industrial Wastewater on Soil Properties and Elemental Contents of Rice, Spinach, Clover, and Grass. Communications in soil science and plant analysis, 39(11-12): 1620-1629.

2. Jahany, M., & Rezapour, S. 2020. Assessment of the quality indices of soils irrigated with treated wastewater in a calcareous semi-arid environment. Ecological Indicators, 109: 105800.

3. Pourgholam-Amiji, M., Liaghat, A., Ghameshlou, A. N., & Khoshravesh, M. 2021. The evaluation of DRAINMOD-S and AquaCrop models for simulating the salt concentration in soil profiles in areas with a saline and shallow water table. Journal of Hydrology, 598: 126259.

4. Sahay, S., Iqbal, S., Inam, A., Gupta, M., & Inam, A. 2019. Wastewater irrigation in the regulation of soil properties, growth determinants, and heavy metal accumulation in different Brassica species. Environmental monitoring and assessment, 191(2): 107.

5. Wei, Z., Paredes, P., Liu, Y., Chi, W. W., & Pereira, L. S. 2015. Modelling transpiration, soil evaporation and yield prediction of soybean in North China Plain. Agricultural water management, 147: 43-53.

6. Zhang, D., Li, N., Cao, S., Liu, X., Qiao, M., Zhang, P. ... & Huang, X. 2019. A Layered Chitosan/Graphene Oxide Sponge as Reusable Adsorbent for Removal of Heavy Metal Ions. Chemical Research in Chinese Universities, 35(3): 463-470.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.