مجله پژوهش آب ایران
جلد ۱۵/ شماره ۳/ پیاپی ۴۲/ پاییز ۱۴۰۰ (۱-۱۴)

مقاله پژوهشی

اثر زهکشی کنترل‌شده بر تغییرات غلظت آهن در زهاب خروجی و جذب آن در گیاه ذرت

وریا صوفی‌احمدی[۱*]، مهدی قبادی‌نیا[۲]، عبدعلی ناصری[۳]، محمدرضا نوری امامزاده‌ئی[۴] و حمیدرضا متقیان[۵]

چکیده

آهن از نظر غذایی برای گیاه ضروری است، اما مقدار بیش از حد آن شرایط سمی ایجاد می‌کند. همچنین میزان بالای آن در زهاب می‌تواند باعث گرفتگی زهکش‌ها نیز شود. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر زهکشی کنترل‌شده بر غلظت آهن در زهاب خروجی و جذب آن در اندام‌های ذرت دانه‌ای در دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ (کشت بهاره و پاییزه) در مزرعهٔ آزمایشی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. در این پژوهش از ذرت هیبرید سینگل‌کراس ۶۴۷ در کشت بهاره و سینگل‌کراس ۷۰۴ در کشت پاییزه استفاده شد. برای این منظور آزمایش فاکتوریل بر پایهٔ طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار و سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل زهکشی آزاد (FD) زهکشی با سطح ایستابی متغیر (CD-Var)، زهکشی کنترل‌شده با تثبیت سطح ایستابی در عمق ۵۰ سانتی‌متر (CD50) و زهکشی کنترل‌شده با تثبیت سطح ایستابی در عمق ۵۰ سانتی‌متر و رهاسازی یک شبانه‌روز پس از توقف عملیات آبیاری (CD-In) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد زهکشی کنترل‌شده بر میزان غلظت آهن در زهاب خروجی، جذب آهن در گیاه ذرت و عملکرد اجزای ذرت اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشت. بیشترین غلظت آهن در زهاب خروجی در دو کشت بهاره و پاییزه مربوط به تیمار زهکشی کنترل‌شده با سطح ایستابی متغیر (CD-Var) به‌ترتیب برابر با ۱/۹۲ و ۱/۵۶ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین غلظت آهن در زهاب مربوط به تیمار زهکشی آزاد (FD) برابر با ۰/۸۳ و ۰/۸ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد. به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد زهکشی کنترل‌شده باعث افزایش عملکرد گیاه و کارایی مصرف آب شده، ولی از طرف دیگر براساس نتایج غلظت آهن در زهاب خروجی و روند افزایشی آن، پتانسیل تولید گل‌اخرا در تیمارهای CD-Var و CD50 وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: ذرت دانه‌ای، سطح ایستابی، کارایی مصرف آب، گل‌اخرا.

ارجاع: صوفی‌احمدی و، قبادی‌نیا م، ناصری ع، نوری امامزاده‌ئی م، و متقیان ح، ۱۴۰۰. اثر زهکشی کنترل‌شده بر تغییرات غلظت آهن در زهاب خروجی و جذب آن در گیاه ذرت. مجله پژوهش آب ایران. ۴۲: ۱-۱۴.

۱- دانشجوی دکتری مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
۵- دانشیار گروه مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
*** نویسنده مسئول**: **vorya56@gmail.com**
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۷

مقدمه

آهن به‌عنوان یکی از عناصر فراوان خاک شناخته شده، ولی به‌دلیل ویژگی‌های شیمیایی این عنصر و همچنین شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، حلالیت آن عموماً کمتر از حد مورد نیاز گیاهان است. گیاهان به مقدار کمی آهن نیاز دارند، اما همین مقدار کم تأثیر زیادی بر عملکرد گیاه دارد (میرپاریزی و همکاران، ۱۳۹۷). آهن با دو گونهٔ شیمیایی در خاک مشاهده می‌شود. در کانی‌های اولیه آهن به‌صورت Fe^{3+} یا Fe^{2+} است که طی هوادیدگی در محیطی با تهویهٔ مناسب به Fe^{3+} تبدیل و به‌صورت اکسید و هیدرواکسیدهای Fe^{3+} رسوب می‌کند (شائوشان و همکاران، ۲۰۰۸). گیاهان آهن را به شکل دوظرفیتی جذب می‌کنند. این عنصر برای بسیاری از فرایندهای فیزیولوژی و زیست‌شناسی ازجمله ساخت کلروفیل، واکنش‌های اکسایش و کاهش، فتوسنتز، تنفس و سیستم‌های آنزیمی ضروری است. برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها ازجمله pH قلیایی، جذب آهن به‌وسیلهٔ گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و فراهمی آن را کاهش می‌دهد (رونقی و همکاران، ۲۰۰۲). نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات نشان می‌دهد pH خاک با قابلیت دسترسی فلزات سنگین رابطهٔ معکوس دارد. اسیدی‌شدن خاک، قابلیت دسترسی گیاهان به فلزات را به مقدار زیادی افزایش می‌دهد (واثقی و همکاران، ۱۳۸۴). آهن در شرایط غیرهوازی و اسیدی به حد سمیت زیاد می‌رسد (بشارتی و همکاران، ۱۳۸۵). افزایش حلالیت آهن در اثر فعل و انفعالات فیزیکوشیمیایی خاک‌های ماندابی نه‌تنها موجب افزایش قابلیت جذب آهن به‌عنوان عنصری کم‌مصرف و ضروری برای گیاه می‌شود، ی بلکه آبشویی آن را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (ذلیکانی و شاه‌نظری، ۱۳۹۲).

آهن موجود در آب زیرزمینی با غلظت بیش از یک میلی‌گرم بر لیتر باعث گرفتگی بیولوژیکی زهکش‌ها می‌شود. آهن سه ظرفیتی انحلال‌ناپذیر بوده و درنتیجه در لوله زهکشی یا در داخل مواد پوششی رسوب می‌کند (ادیمی و همکاران، ۱۳۸۸). آهن دوظرفیتی به‌صورت محلول در آب زیرزمینی وجود دارد. این ماده اغلب به‌صورت هیدروکسیدآهن ($Fe(OH)_2$) یافت می‌شود که پس از اکسیده‌شدن در مجاورت هوا، در جوار بخش درونی زهکش‌های زیرزمینی، رسوب می‌کنند. آهن دو ظرفیتی در شرایطی می‌تواند در آب زیرزمینی وجود داشته باشد که مقدار اکسیژن در خاک کاهش یابد. هنگامی که اکسیژن قابل‌دسترسی توسط میکروارگانیسم‌های موجود به مصرف رسیده باشد، این شرایط به‌وجود می‌آید. هرگاه چنین شرایطی فراهم باشد، باکتری‌های احیاکنندهٔ آهن، موجب احیای آهن سه ظرفیتی غیرمحلول می‌شوند (اکرم و همکاران، ۱۳۸۳). تغییرات الکتروشیمیایی و بیوشیمیایی حاصل از غرقاب‌شدن خاک به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر بسیاری از ویژگی‌های خاک اعم از حلالیت، قابلیت دسترسی عناصر غذایی و انحلال و رسوب کانی‌ها در خاک تأثیر دارد (ترابی، ۱۳۸۲). ژلاتینی‌شدن ته‌نشست‌های قابل‌ملاحظه حاصل از اکسیدشدن آهن که به‌نام «گل اخرا» نامیده می‌شود، ازجمله مهم‌ترین و گسترده‌ترین نوع مشکل گرفتگی زهکش‌های زیرزمینی است. آهن دوظرفیتی محلول، به‌وسیلهٔ جریان آب زیرزمینی، پس از ورود و عبور از پوشش به محیطی متفاوت، یعنی زهکش وارد می‌شود. هرگاه در این محیط، مقادیری اکسیژن وجود داشته باشد، برخی باکتری‌های رشته‌ای و میله‌ای شکل، موجب تبدیل مقادیری از آهن دوظرفیتی به آهن سه‌ظرفیتی غیرمحلول شده و درنهایت تشکیل گل اخرا می‌دهند (بشارتی و همکاران، ۱۳۸۵). در خاک‌های اشباع آهن و منگنز به شکل احیا در طبقات زیرین روی سطوح ریشه یا نواحی دارای ریشه یا دارای اکسیژن کافی اکسیدشده و به شکل‌های مختلف رسوب می‌کنند. رنگ خاک و عوارض ناشی از اکسایش و کاهش ازجمله مهم‌ترین ویژگی‌هایی هستند که از آب زیرسطحی و نوسان آن و همچنین مقدار آب مصرفی برای آبیاری تأثیر می‌پذیرند (ترابی، ۱۳۸۲). دوره‌های متناوب اکسایش و کاهش در زمان‌های طولانی و به‌دنبال آن تحرک، تجمع یا تخلیهٔ آهن با عمق سطح آب زیرسطحی در ارتباط است (ادو و همکاران، ۲۰۱۲).

در زهکشی متداول، سطح ایستابی پایین‌تر از منطقهٔ توسعهٔ ریشهٔ گیاه قرار می‌گیرد و نمک پروفیل خاک تحت آبشویی همراه زهاب خارج می‌شود. در روش‌های کنترل سطح ایستابی به‌عنوان یکی از روش‌های مدیریتی، خروج زهاب با کنترل سطح ایستابی در منطقه توسط ریشه با توجه به شرایط، کاهش می‌یابد (رونیاسی و پرویزی، ۱۳۹۵). در نگرش سنتی حاکم بر طراحی سامانه‌های زهکشی، هدف تنها افزایش عملکرد گیاه و

بهبود شرایط محیط رشد بوده و اثرات زیست‌محیطی طرح‌های زهکشی مدنظر قرار نمی‌گیرد. در نگرش نوین با رویکرد کشاورزی پایدار، علاوه بر اهداف کشاورزی، مخاطرات زیست‌محیطی به‌ویژه پیامدهای ناشی از رهاسازی زهاب کشاورزی به محیط‌زیست را مورد توجه جدی قرار می‌دهد (حسن‌اقلی و همکاران، ۲۰۱۵). زهکشی کنترل‌شده یک روش حفاظت ساختاری است که در آن جریان خروجی زهکشی و سطح ایستابی به‌منظور کاهش حجم جریان تخلیه و عناصر غذایی مدیریت می‌شود (سعادت و همکاران، ۲۰۱۸). این نوع سیستم باعث تثبیت سطح ایستابی در عمق‌های کمتر شده و حجم بیشتری از خاک به‌مدت زمان طولانی‌تر در حالت اشباع قرار خواهد گرفت. بدین‌ترتیب امکان فراهم‌کردن یک فاصلهٔ نسبتاً ثابت، حدفاصل کف ریشه و ناحیهٔ اشباع به‌وجود خواهد آمد (آیارز و همکاران، ۲۰۰۶). طولانی‌شدن زمان اشباع عمق‌های کم خاک باعث تغییراتی در واکنش‌های شیمیایی نظیر اکسایش و کاهش خواهد شد که آثار هرکدام از این واکنش‌ها در برنامه‌ریزی آبیاری، زهکشی و سیاست‌گذاری تولیدات کشاورزی حائز اهمیت است (ترابی، ۱۳۸۲). یافته‌های پژوهشی که با هدف بررسی آثار مانداب‌شدن موقت بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و تغییرات آن‌ها پس از زهکشی صورت گرفته است، نشان می‌دهد که حلالیت بسیار کم و مقدار قابل‌توجه فرم‌های اکسید و هیدروکسید آهن سه ظرفیتی در حضور مقدار کم مادهٔ آلی تجزیه‌پذیر، باعث کاهش آهن سه‌ظرفیتی و افزایش آهن دوظرفیتی و درنتیجه افزایش آهن قابل‌جذب خاک می‌شود (کلباسی و حسین‌پور، ۱۳۷۶). بررسی تأثیر فاصله و عمق نصب زهکشی زیرزمینی آزاد بر میزان خروجی عنصر آهن در اراضی شالیزاری تجهیز و نوسازی‌شده دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی ساری نشان داد که میزان خروجی آهن در تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری ندارد. بیشترین میزان خروجی در تیمار زهکشی زیرزمینی آزاد با عمق نصب ۹۰ سانتی‌متر و فاصلهٔ ۳۰ متری رخ داد. همچنین مقادیر آهن خاک در طول فصل کشت، بیانگر خروج اندک این عنصر از پروفیل خاک بود (ذلیکانی و شاه‌نظری، ۱۳۹۲).

در صورت وجود یون آهن با غلظت بالا در زهاب زهکش‌ها، یکی از مشکلاتی که در شبکهٔ زهکش‌های زیرزمینی می‌تواند به وقوع بپیوندد، تشکیل گل‌اخرا و ایجاد گرفتگی شیمیایی ناشی از آن در سامانهٔ زهکشی زیرزمینی است. در زیر سطح ایستابی، اشباع خاک و درنتیجهٔ آن کاهش اکسیژن محیط، شرایط حضور آهن دوظرفیتی در آب زیرزمینی را فراهم می‌آورد. آهن دوظرفیتی همراه جریان آب زیرزمینی وارد لولهٔ زهکش شده و در محیط جدید، شرایط هوازی موجب تبدیل مقادیری از آهن دوظرفیتی به آهن سه‌ظرفیتی غیرمحلول و ترسیب شیمیایی آهن شده و درنهایت تشکیل گل‌اخرا را می‌دهند. درجه‌بندی پتانسیل تشکیل گل‌اخرا با دو روش فورد و نوار معرف انجام می‌شود که در صورتی که غلظت آهن در آب بالاتر از ۲ میلی‌گرم بر لیتر باشد، رسوب‌گذاری ناشی از گل اخرا مورد توجه قرار می‌گیرد (اکرم و همکاران، ۱۳۸۳).

با آن‌که پژوهش‌های زیادی در زمینهٔ فلزات سنگین دارای پتانسیل آلودگی در اراضی کشاورزی توسط پژوهشگران ازجمله جرفی و همکاران (۲۰۱۷) و مین و همکاران (۲۰۲۰) انجام شده است، اما مطالعه‌های اندکی درخصوص پایش غلظت فلز آهن، تحت‌تأثیر سامانهٔ زهکشی کنترل‌شده صورت گرفته است. در این پژوهش به بررسی مقایسه‌ای اثرات زهکشی کنترل‌شده و آزاد بر میزان غلظت آهن در زهاب خروجی و جذب آهن توسط ذرت پرداخته شده است. با آگاهی از رفتار و عکس‌العمل گیاه به جذب عناصر سنگین و تأثیر آن بر عملکرد در فرایند تولید، می‌توان برنامه‌ریزی جامعی درجهت رسیدن به تولید بهینه به‌همراه مدیریت اثرات آن‌ها بر گیاه و انسان اِعمال کرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر زهکشی کنترل‌شده بر غلظت آهن در زهاب خروجی و جذب آهن توسط گیاه ذرت با استفاده از لایسی‌متر در مزرعهٔ آزمایشی دانشگاه شهید چمران اهواز در سطح ۴۰۰ مترمربع (با طول و عرض ۲۰ متر) با ارتفاع ۱۷ متر از سطح دریا، عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۸ دقیقهٔ شمالی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۹ دقیقهٔ شرقی و دارای آب‌وهوای گرم و مرطوب با میانگین بارندگی و دمای سالیانهٔ به‌ترتیب حدود ۲۴۳ میلی‌متر و ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد اجرا شد. خاک مورد نیاز لایسی‌مترهای یادشده از دشت شعیبیهٔ شهرستان

شوشتر تأمین شد. دشت شعیبیه در غرب رودخانهٔ کارون واقع شده و به‌عنوان یکی از دشت‌های مستعد کشاورزی حدفاصل شهرهای شوشتر و اهواز در شمال استان خوزستان است و دارای سابقهٔ طولانی در کشت ذرت بوده و یکی از محصولات مهم کشاورزی این محدوده است. این پژوهش در دو فصل انجام شد. کشت بهاره از اوایل ۱۳۹۷ آغاز و تا پایان خرداد ۱۳۹۸، طی ۱۱۱ روز انجام شد. کشت پاییزه از اوایل مرداد ۱۳۹۸ تا نیمهٔ آذر همین سال طی ۱۳۱ روز انجام شد.

برای سنجش مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک و ویژگی‌های شیمیایی آب مورد استفاده که در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است، نمونهٔ خاک هوا خشک و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (کلوت، ۱۹۸۶)، pH در سوسپانسیون ۱:۱ خاک به آب‌مقطر (ریچارد، ۱۹۶۹) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصارهٔ سوسپانسیون ۱:۱ (گوپتا، ۲۰۰۰)، مواد آلی خاک توسط اکسیداسیون تر (نلسون و سامر، ۱۹۸۲)، کربنات کلسیم معادل (CCE) خاک با خنثی‌سازی با اسیدکلریدریک (آلیسون و مودی، ۱۹۶۵)، پتاسیم قابل‌جذب با استات آمونیم (جونز، ۲۰۰۱)، فسفر قابل‌جذب با بی‌کربنات سدیم ۰/۵ مولار دارای pH=۸/۵ (اولسن، ۱۹۵۴)، غلظت آهن قابل‌استفادهٔ خاک با روش DTPA-TEA (لیندسی و نورول، ۱۹۷۸) و دستگاه جذب اتمی مدل GBC932 و رطوبت ظرفیت زراعی و نقطهٔ پژمردگی دائم توسط دستگاه صفحهٔ فشاری (Pressure Plate) اندازه‌گیری شدند.

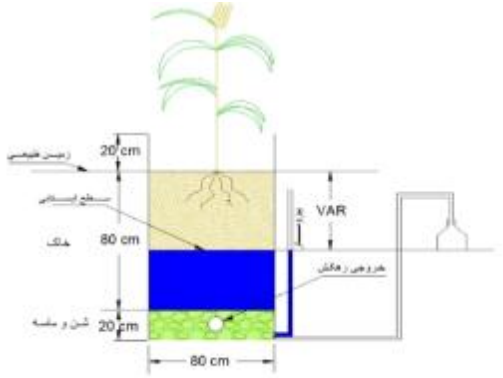
جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

رطوبت ظرفیت مزرعه	رطوبت نقطهٔ پژمردگی دائم	جرم مخصوص ظاهری	بافت خاک	هدایت الکتریکی	اسیدیته (pH)	مادهٔ آلی	فسفر	آهن قابل‌جذب	پتاسیم
(درصد وزنی)	(درصد وزنی)	($g.cm^{-3}$)	---	($dS.m^{-1}$)	---	(%)	($mg.kg^{-1}$)	($mg.kg^{-1}$)	($mg.kg^{-1}$)
۲۴	۱۱	۱/۴۷	لوم رسی	۰/۵۵	۷/۶۵	۰/۴۷	۲۹/۴	۹/۵	۳۵۶/۴

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی آب مورد آزمایش

TDS $mg.l^{-1}$	هدایت الکتریکی $dS.m^{-1}$	سدیم $meq.l^{-1}$	بی‌کربنات $meq.l^{-1}$	کلسیم $meq.l^{-1}$	منیزیم $meq.l^{-1}$	SAR $(meq.l)^{0/5}$
۸۷۶/۲	۱/۳۵۷	۵/۸۳	۲/۷۷	۴/۷۶۷	۲/۸۳	۲/۹

به‌منظور انجام آزمایش‌های زهکشی کنترل‌شده از لایسی‌مترهای استوانه‌ای شکل از جنس پلی‌اتیلن کاروگیت‌دار با قطر ۸۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متر استفاده شد (شکل ۱). لایسی‌مترها دارای سیستم زهکشی بوده (لولهٔ سبز مشبک با قطر ۲/۵۴ سانتی‌متر و سوراخ‌ها با فاصلهٔ ۵ سانتی‌متر در اطراف لوله) و به‌طور عمودی به عمق ۱۰۰ سانتی‌متر در داخل خاک مدفون و ۲۰ سانتی‌متر بالایی آن به‌منظور جلوگیری از ورود آب‌های اطراف به‌صورت ارتفاع آزاد بالاتر از سطح زمین طبیعی قرار داده شد. در فاصلهٔ ۵ سانتی‌متر از کف لایسی‌متر لولهٔ زهکشی قرار گرفته و تا ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر با شن و ماسه و مابقی عمق لایسی‌متر (۸۰ سانتی‌متر) با خاکی با مشخصات مورد نظر پر شد. خاک حمل‌شده به مزرعهٔ آزمایشی دانشگاه پس از خُردشدن، الک شده و داخل هر لایسی‌متر وزن یکسان از خاک الک‌شده ریخته شد.



شکل ۱- نمای کلی لایسی‌متر با سامانهٔ زهکشی کنترل‌شده (با کمک ظرف ماریوت)

در این پژوهش ذرت سینگل‌کراس ۶۴۷ در کشت بهاره و ذرت هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ با قوهٔ نامیهٔ ۹۰ درصد در کشت پاییزه استفاده شد. به‌منظور تأمین نیاز گیاه به عناصر غذایی، براساس نتایج آزمایش خاک نیتروژن از

منبع کود اوره معادل ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار به شکل سرک در سه مرحله (قبل کشت، ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری و آغاز گل‌دهی) به مقدار مساوی به خاک اضافه شد. با ملاحظهٔ تلفات احتمالی بوته‌ها در طول فصل رشد، ابتدا ۱۲ بذر در هر لایسی‌متر کشت شد و درنهایت به چهار بوته در لایسی‌متر (معادل تراکم ۸۰ هزار بوته در هکتار) کاهش داده شد. این پژوهش در چهار تیمار و سه تکرار و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. تیمار اول زهکشی آزاد (FD)، تیمار دوم سطح ایستابی متغیر (CD-Var) (با فاصلهٔ ثابت سطح ایستابی تا ناحیهٔ توسعهٔ ریشه)، تیمار سوم تثبیت سطح ایستابی در عمق ۵۰ سانتی‌متر (CD50) و تیمار چهارم به‌صورت تلفیقی (تلفیق تیمار اول و تیمار سوم) با تثبیت سطح ایستابی در عمق ۵۰ سانتی‌متر و تأخیر یک‌روزه در رهاسازی زهاب پس از قطع عملیات آبیاری (CD-In) انجام شد. کنترل سطح آب زیرزمینی در لایسی‌مترها به کمک ظرف ماریوت صورت گرفت.

در مورد روش اجرای تیمار دوم قابل‌ذکر است که با توجه به بافت و ویژگی فیزیکی خاک، نوار مویینگی در زهکش‌های اصلی و فرعی برابر ۲۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد؛ ازاین‌رو نوار مویینگی ثابت ۲۵ سانتی‌متر به‌عنوان فاصلهٔ سطح ایستابی تا ناحیهٔ توسعهٔ ریشه در تیمار دوم لحاظ شد. براین‌اساس عمق سطح ایستابی در تیمار دوم همگام با توسعهٔ ریشه در طول فصل رشد از ۳۰ سانتی‌متر تا ۵۵ سانتی‌متر متغیر بود. برای پایش عمق ریشه از روش حفر و مشاهدهٔ نیم‌رخ خاک استفاده شد. با توجه به عمق فعال ریشهٔ گیاه ذرت (تراکم ریشه‌های افشان ذرت) تا عمق ۳۰ سانتی‌متر (امامی، ۱۳۷۵)، عمق سطح ایستابی در تیمار CD-Var مطابق با جدول ۳ تثبیت شد. همان‌گونه که در جدول ۳ نشان داده شده است، سطح ایستابی از ابتدای فصل تا ۱۰ هفته بعد از کشت متغیر بود و با رشد تدریجی ریشه، سطح آب در عمق پایین‌تری قرار گرفت و پس از هفتهٔ دهم تا پایان دوره در عمق ۵۵ سانتی‌متر ثابت ماند.

شیوهٔ عمل و کنترل سطح آب زیرزمینی در تیمار CD-In به‌صورت قطع و وصلی است. به‌طوری‌که در روز نخست آبیاری، مشابه تیمار CD50، سطح ایستابی در فاصلهٔ ۵۰ سانتی‌متری از سطح خاک نگه داشته شد. پس از گذشت یک شبانه‌روز از زمان آبیاری، زهکش در حالت آزاد قرار گرفت و به سطح ایستابی اجازه داده شد که در فاصلهٔ بیشتری از ناحیهٔ ریشه قرار گیرد (ابوت و همکاران، ۲۰۰۳).

مقدار آب آبیاری براساس مجموع تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A مستقر در ایستگاه هواشناسی مزرعه تخمین زده شد. در این طرح، دور آبیاری در ابتدای کشت دو روزه بوده و سپس متناسب با تکمیل مرحلهٔ ابتدایی رشد، تا استقرار کامل گیاه به‌صورت پلکانی به هفت روز افزایش و در ادامه به‌صورت هفتگی ادامه یافت.

عملیات آبیاری در طول دورهٔ کشت بهاره ۱۶ نوبت و در کشت پاییزه ۱۹ نوبت انجام شد. از هر لایسی‌متر هم در کشت بهاره و هم در کشت پاییزه تعداد ۱۰ نمونه از خروجی زهکش زیرزمینی تهیه شد. مقادیر غلظت آهن نمونه‌های زهاب توسط دستگاه جذب اتمی اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد. درجه‌بندی پتانسیل تشکیل گل‌اخرا با دو روش فورد و نوار معرف در جدول ۴ نشان داده شده است.

به‌منظور اندازه‌گیری غلظت آهن در خاک، هم در کشت بهاره و هم در کشت پاییزه از هر لایسی‌متر، در سه مقطع زمانی قبل از کشت، میانهٔ دورهٔ رشد و پس از برداشت محصول نمونه تهیه و به آزمایشگاه درجهت آنالیز ارسال شد.

برای اندازه‌گیری غلظت آهن در بخش‌های مختلف گیاه ذرت از روش خاکستر خشک عصاره‌گیری و با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل GBC932 انجام شد. مطابق با استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO)، سازمان غذا و کشاورزی (FAO)، آژانس حفاظت از محیط‌زیست (EPA) و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران (IRNDOE) حد مجاز آهن برای آب کشاورزی ۵ میلی‌گرم بر لیتر است (رونقی و همکاران، ۲۰۰۲). حدود بهینهٔ عنصر آهن در محصولات ۱۵۰-۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (ملکوتی و تهرانی، ۱۳۸۴). با توجه به نوع طرح آزمایشی تجزیهٔ آماری و مقایسهٔ میانگین‌ها با استفاده از آزمایش فاکتوریل برپایهٔ طرح کاملاً تصادفی به کمک نرم‌افزار SPSS انجام گرفت.

جدول ۳- عمق سطح ایستابی در تیمار CD-Var به نسبت عمق ریشهٔ ذرت

	۱۴ روزگی	۳۵ روزگی	۵۶ روزگی	۷۷ روزگی تا پایان دوره
عمق ریشه (سانتی‌متر)	۵	۱۵	۲۰	۳۰
عمق سطح ایستابی (سانتی‌متر)	۳۰	۴۰	۴۵	۵۵

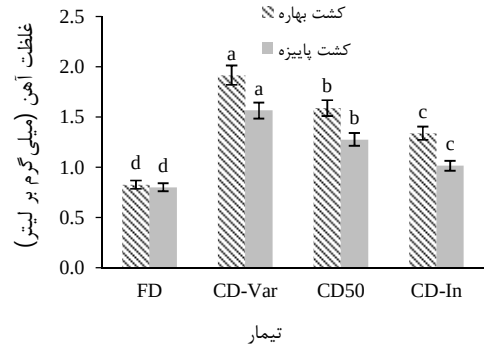
جدول ۴- پتانسیل تولید گل‌اخرا طبق روش فورد (فورد، ۱۹۸۲) و استفاده از نوار معرف

پتانسیل تولید گل‌اخرا	آهن دوظرفیتی موجود در آب زیرزمینی (میلی‌گرم در لیتر)	
	روش فورد	روش نوار معرف
خیلی زیاد	بیش از ۱۰	بیش از ۲۵
زیاد	۱۰-۵	۲۵-۱۰
متوسط	۵-۲	۱۰-۵
کم	۲ – ۰/۵	۵-۱
قابل‌اغماض	کمتر از ۰/۵	کمتر از ۱

نتایج و بحث

غلظت آهن در زهاب خروجی

نتایج آزمایش نمونه‌های زهاب نشان داد که غلظت آهن در زهاب خروجی هر لایسی‌متر روند افزایشی دارد. بدین‌معنی که با نزدیک‌شدن به انتهای فصل کشت در هر دوره، غلظت عنصر در زهاب افزایش یافت. طولانی‌شدن مدت زمان نگهداشت آب در داخل خاک، افزایش غلظت عنصر در آب خروجی از زهکش زیرزمینی را در پی داشته و روند افزایش غلظت نیز با شیب بیشتری صورت گرفت. شکل ۲ اثر سطح ایستابی بر غلظت آهن در زهاب خروجی تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۲- اثر عمق سطح ایستابی بر غلظت آهن در زهاب در کشت بهاره و پاییزه

این شکل حاکی از این واقعیت است که میزان فراهمی آهن و آبشویی آن با مدت زمان شرایط ماندابی خاک رابطهٔ مستقیم دارد. شرایط اشباع و به‌دنبال آن مداومت شرایط احیا، باعث افزایش آهن قابل‌جذب (راجزکومار و همکاران، ۲۰۱۸) و افزایش آبشویی آن می‌شود (کلباسی و حسین‌پور، ۱۳۷۶).

جدول ۵ نتایج آنالیز واریانس اثر زهکشی کنترل‌شده بر غلظت آهن در زهاب خروجی را نشان می‌دهند. همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، اثر سطح ایستابی بر غلظت آهن در زهاب خروجی در سطح یک درصد معنی‌دار شده است.

نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها نشان می‌دهد که بیشترین غلظت آهن در زهاب خروجی در دو فصل کشت بهاره و پاییزه مربوط به تیمار CD-Var بوده و به‌ترتیب برابر با ۱/۹۲ و ۱/۵۶ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین میزان غلظت آهن مربوط به تیمار FD برابر با ۰/۸۳ و ۰/۸ میلی‌گرم بر لیتر به‌ترتیب در کشت بهاره و پاییزه به‌دست آمد.

جدول ۵- نتایج تجزیهٔ واریانس اثر زهکشی کنترل‌شده بر غلظت آهن در زهاب خروجی

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات (MS)	
		کشت بهاره	کشت پاییزه
		زهاب خروجی	زهاب خروجی
تراز سطح ایستابی	۳	۰/۶۳۲**	۰/۳۲۹**
خطا	۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات		۸	۵

* معنی‌دار در سطح پنج درصد، ** معنی‌دار در سطح یک درصد، ns فاقد اختلاف معنی‌دار

شکل‌های ۳ و ۴ روند افزایش غلظت آهن در زهاب خروجی در طول دورهٔ کشت بهاره و کشت پاییزه را نشان می‌دهد.

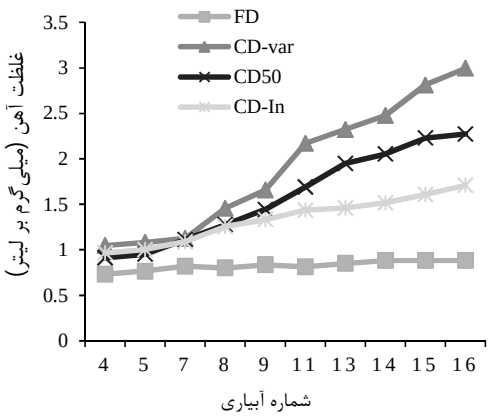
با توجه به شکل‌های ۳ و ۴، بیشترین میزان غلظت آهن در زهاب خروجی در دورهٔ کشت گیاه مربوط به تیمار سطح ایستابی متغیر (CD-Var) و کمترین میزان غلظت آهن در زهاب خروجی مربوط به تیمار زهکشی آزاد (FD) است. میزان تغییرات غلظت آهن در زهاب در تیمار FD اندک بوده ولی برای تیمار CD-Var بیش از دو برابر تیمار زهکشی آزاد بود. در کشت بهاره، میانگین غلظت آهن در زهاب خروجی در سایر تیمارها نسبت‌به میانگین غلظت آهن در زهاب خروجی تیمار FD برابر با ۲/۳۲، ۱/۹۲ و ۱/۶۲ برای تیمارهای CD-Var> CD50 > CD-In به‌دست آمد.

در کشت پاییزه، نسبت میانگین غلظت آهن زهاب خروجی در سایر تیمارها به میانگین غلظت آهن در زهاب خروجی تیمار FD برابر با ۱/۹۶، ۱/۶۰ و ۱/۲۷ به‌ترتیب برای تیمارهای CD-Var، CD50 و CD-In حاصل شد. از آنجایی‌که افزایش حلالیت آهن در اثر فعل و انفعالات فیزیکوشیمیایی خاک‌های اشباع موجب افزایش فراهمی آهن می‌شود؛ بنابراین آبشویی آن نیز تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه در لایسی‌متر تیمار CD-Var عمق بیشتری از خاک نسبت سایر تیمارها در حالت ماندابی قرار گرفت، ازاین‌رو شرایط احیایی فراهم شده و غلظت آهن دوظرفیتی افزایش یافته که در نتیجه زهاب خروجی تیمار CD-Var بیشتر از زهاب خروجی سایر تیمارها دارای غلظت آهن بالاتری است. خاک لایسی‌متر تیمار FD مدت زمان کمتری نسبت‌به سایر تیمارها در حالت اشباع قرار گرفته و درنتیجه غلظت آهن در زهاب خروجی تیمار زهکشی آزاد غلظت پایین‌تری در مقایسه با سایر تیمارها را داشت. همانگونه که نتایج نشان می‌دهد با افزایش عمق و زمان ماندابی، غلظت آهن در زهاب خروجی روند صعودی یافته به‌گونه‌ای که در پایان فصل بالاترین میزان غلظت آهن قابل‌جذب خاک اندازه‌گیری شد. درنتیجه تداوم شرایط احیا در خاک در اثر وضعیت اشباع، فعالیت میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی افزایش یافته و در اثر آن امکان افزایش آهن محلول و آهن قابل‌تبادل فراهم می‌شود (راجزکومار و همکاران، ۲۰۱۸).

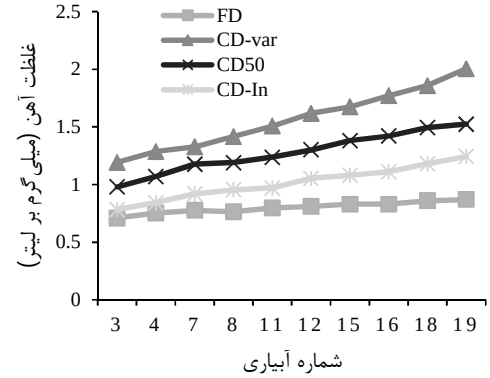
شکل‌های ۲ تا ۴ نشان می‌دهد که غلظت آهن در زهاب خروجی از زهکش زیرزمینی در کشت پاییزه کمتر از کشت بهاره بود. این مطلب به این دلیل رخ داده که در کشت بهاره، عنصر آهن قابل‌جذب در محلول خاک در اثر آبشویی از محیط خارج شده است. غلظت آهن در زهاب با میزان آهن قابل‌دسترس محلول خاک ارتباط دارد. در اراضی شالیزاری دانشگاه ساری، مطالعه‌ای به‌منظور بررسی تأثیر زهکشی زیرزمینی بر میزان خروج عنصر آهن انجام گرفت که نتایج نشان داد ماندابی‌شدن خاک باعث افزایش آهن قابل‌جذب و آبشویی آن می‌شود. آن‌ها دریافتند که مقدار آهن قابل‌جذب خاک در کرت‌های تحت تیمارهای زهکشی کمتر از مقدار متناظر آن در تیمار شاهد بوده که دلیل آن را می‌توان به طولانی‌تربودن مدت زمان ماندابی که از ابتدای فصل تا انتهای فصل در کرت شاهد ادامه داشته نسبت داد که منجر به کاهش آهن قابل‌جذب در اثر آبشویی می‌شود (ذلیکانی و شاه‌نظری، ۱۳۹۲). نتایج کار مطالعهٔ آن‌ها با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد.

در پژوهشی دیگر اثر مانداب‌شدن موقت خاک را بر مقدار آهن قابل‌جذب و تغییرات آن پس از زهکشی را روی سه خاک آهکی منطقه اصفهان مورد مطالعه قرار گرفت. یافته‌ها نشان داد که مدت زمان مانداب‌بودن خاک‌ها قبل از زهکشی اثر مستقیم و معنی‌داری بر کاهش مقدار آهن قابل‌جذب پس از زهکشی داشت. دلیل این امر را احیای مقدار بیشتری از ترکیبات سه ظرفیتی آهن به دوظرفیتی عنوان کردند. همچنین بیان کردند که زهکشی خاک با کاهش در مقدار قابل‌جذب خاک همراه بوده است (کلباسی و حسین‌پور، ۱۳۷۶).

براساس نتایج غلظت آهن در زهاب خروجی و روند افزایشی آن، پتانسیل تولید گل‌اخرا در تیمارهای CD-Var و CD50 وجود دارد. در تیمار CD-In غلظت آهن در زهاب در ابتدای فصل کمتر از یک میلی‌گرم بر لیتر بوده ولی از هفتهٔ پنجم به بعد غلظت از یک میلی‌گرم بر لیتر فراتر رفته و تا پایان فصل روند افزایشی دارد و از نظر پتانسیل تولید گل‌اخرا در محدودهٔ پتانسیل کم قرار خواهد گرفت. در تیمار زهکشی آزاد مقادیر غلظت آهن در زهاب در هر دو فصل و در طول دورهٔ رشد پایین‌تر از یک میلی‌گرم بر لیتر بود و از نظر پتانسیل تولید گل‌اخرا قابل‌چشم‌پوشی است. به‌طورکلی در تیمارهای مجهز به سیستم کنترل سطح ایستابی پتانسیل ایجاد گل‌اخرا وجود داشته و در بلندمدت امکان گرفتگی لولهٔ زهکش زیرزمینی در تیمارهای CD-Var، CD50 و CD-In را تقویت می‌کند.



شکل ۳- اثر عمق سطح ایستابی بر غلظت آهن در زهاب خروجی از تیمارها در طول دورهٔ کشت بهاره



شکل ۴- اثر عمق سطح ایستابی بر غلظت آهن در زهاب خروجی از تیمارها در طول دورهٔ کشت پاییزه

غلظت آهن در خاک

جدول ۶ نتایج تجزیهٔ واریانس اثر زهکشی کنترل‌شده بر غلظت آهن در خاک و اندام هوایی ذرت را نشان می‌دهد. براساس نتایج، عمق سطح ایستابی اثر معنی‌داری در سطح یک درصد در کشت‌های بهاره و پاییزه بر غلظت آهن در اندام‌های ذرت و خاک داشت.

نتایج آنالیز واریانس و نمودار مقایسهٔ میانگین‌ها حاکی از آن است که اثر تیمارها بر غلظت آهن قابل‌جذب در خاک مؤثر بوده است. مقایسهٔ میانگین‌های اثر سطح ایستابی بر غلظت آهن در خاک نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد بین تیمارهای CD-Var و CD50 وجود ندارد. بیشترین مقدار غلظت در خاک در دو فصل کشت بهاره و پاییزه مربوط به تیمار به CD-Var به مقدار ۹/۴۳ و ۹/۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین آن مربوط به تیمار FD به مقدار ۹/۱۷ و ۸/۶۲ میلی‌گرم بر گیلوگرم به‌دست آمد. بیشترین غلظت آهن در خاک مربوط به تیمار CD-Var و کمترین آن مربوط به تیمار FD به‌دست آمد. به‌طورکلی در دو کشت بهاره و پاییزه بیشترین غلظت آهن در خاک مربوط به تیمار CD-Var و کمترین غلظت آهن در خاک مربوط به تیمار FD بود. تیمار CD50 با مقادیر ۹/۳۶ و ۹/۱۵ و تیمار CD-In با مقادیر ۹/۲۸ و ۹/۰۶ پس از تیمار CD-Var قرار گرفتند. کنترل سطح ایستابی در فاصلهٔ نزدیک ناحیهٔ ریشه در طول دورهٔ رشد باعث احیای آهن سه‌ظرفیتی و در پی آن افزایش آهن قابل‌جذب خاک و فراهمی آهن دوظرفیتی را می‌توان به‌عنوان دلیل اصلی آن مطرح کرد. نتایج آزمایش‌های کلباسی و حسین‌پور (۱۳۷۶) مؤید این مطلب است. آن‌ها اثر مانداب‌شدن خاک بر آهن قابل‌جذب را به مدت شش ماه در سه نوع خاک مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که زمان مانداب‌بودن خاک‌ها اثر مستقیم و معنی‌داری بر مقدار آهن قابل‌جذب خاک دارد. میزان آهن قابل‌جذب در خاک پس از شش ماه ماندابی از ۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ۴۴ میلی‌گرم به کیلوگرم افزایش یافت. دلیل این امر را به احیای ترکیبات سه‌ظرفیتی آهن به آهن دوظرفیتی در شرایط اشباع و بی‌هوازی مرتبط دانستند.

جدول ۶- نتایج تجزیهٔ واریانس اثر زهکشی کنترل‌شده بر غلظت آهن در خاک و اندام‌های هوایی ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)					
		کشت بهاره			کشت پاییزه		
		دانه	ساقه و برگ	خاک	دانه	ساقه و برگ	خاک
تکرار	۲	۴۱/۱۸ns	۱۲/۲۵ns	۰/۰۰۲ns	۶۶/۳۳ns	۵/۴۰۱ns	۰/۰۰۳ns
سطح ایستابی	۳	۲۷۵۷/۳۲**	۵۷۳/۰۳**	۰/۰۳۸**	۱۳۶۶/۵۰**	۱۳۶/۱۰۳**	۰/۲۴۱**
خطا	۶	۳۷/۲۳	۲۲/۷	۰/۰۰۲	۲۷/۷۹	۱/۲۸۹	۰/۰۰۴
ضریب تغییرات		۱۲/۸۲	۷/۱۵	۱/۷۹	۸/۲۳	۱۱/۶۶	۲/۹۹

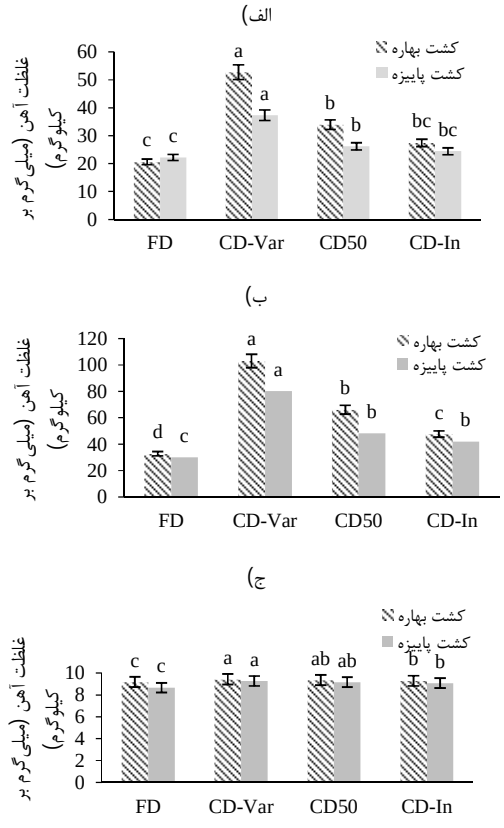
* معنی‌دار در سطح پنج درصد، ** معنی‌دار در سطح یک درصد، ns فاقد اختلاف معنی‌دار

پژوهشگران تأثیر نفوذ عمقی بر آبشویی عناصر موجود در اراضی شالیزاری با نصب زهکش در عمق ۴۰ سانتی‌متری به مدت دو سال در کشور ژاپن را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج به‌دست‌آمده بیان‌گر آن بود که هر ساله ۸ تا ۱۷ کیلوگرم بر هکتار آهن در فصل کشت برنج از لایهٔ ۴۰ سانتی‌متری خاک خارج شد (کاتو و همکاران، ۲۰۰۳).

در پژوهش دیگری تأثیر نفوذ عمقی بر وضعیت عناصر غذایی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل گویای این بود که ۵/۹ تا ۱۲ درصد از آهن دوظرفیتی موجود در لایهٔ ۱۳ تا ۴۰ سانتی‌متر خارج شد (کاتو و همکاران، ۲۰۰۴).

غلظت آهن در اندام هوایی ذرت

نتایج آنالیز واریانس بررسی دانه نشان داد که اثر تراز سطح ایستابی بر غلظت آهن در سطح یک درصد معنی‌دار بود. شکل ۵ مقایسهٔ میانگین اثر عمق سطح ایستابی بر غلظت آهن در گیاه و خاک را نشان می‌دهد.



شکل ۵- اثر عمق سطح ایستابی بر غلظت آهن قابل‌استفاده در خاک و گیاه در کشت بهاره و پاییزه. الف: غلظت آهن در ساقه و برگ، ب: غلظت آهن در دانه، ج: غلظت آهن در خاک

با توجه به نمودار مقایسهٔ میانگین‌ها، اثر سطح ایستابی بر غلظت آهن در دانه، بیشترین مقدار غلظت در دانه در کشت بهاره و پاییزه مربوط به تیمار CD-Var به مقدار ۱۰۳/۷۱ و ۸۰/۰۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین آن مربوط به تیمار FD به مقدار ۳۲/۸۲ و ۳۰/۱۶ میلی‌گرم بر گیلوگرم به‌دست آمد. تیمار CD50 با مقادیر ۶۶/۱۰ و ۴۸/۲۱ و تیمار CD-In با مقادیر ۴۷/۷۵ و ۴۱/۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بعد از تیمار CD-Var قرار گرفتند. از آنجایی‌که حد بهینهٔ آهن در غلات بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (ملکوتی و تهرانی، ۱۳۸۴) می‌توان گفت که تنها تیمار CD-Var و فقط در کشت بهاره به مقدار کافی عنصر آهن توسط دانه جذب شده و در سایر تیمارها میزان آهن جذب‌شده در دانه پایین‌تر از حد بهینه بود. نظر به اینکه تیمار CD-Var نسبت‌به سایر تیمارها مدت زمان بیشتری در شرایط اشباع قرار گرفت، دانهٔ ذرت در این تیمار دارای بیشترین غلظت عنصر آهن شد. غلظت آهن در دانه برای تیمارهای مختلف، به‌ترتیب نزولی به CD-Var، CD50، CD-In و FD تعلق گرفت. در توضیح این موضوع می‌توان گفت، واکنش احیای آهن یکی از بارزترین واکنش‌های شیمیایی در شرایط اشباع و بی‌هوازی است و باعث افزایش حلالیت آهن قابل‌استفاده برای گیاه می‌شود.

با توجه به نتایج جدول آنالیز واریانس، تأثیر عمق سطح ایستابی بر غلظت آهن در ساقه و برگ نیز در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها حاکی از آن است که بیشترین مقدار غلظت در دو فصل مربوط به تیمار به CD-Var به مقدار ۵۲/۷۵ و ۳۷/۳۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین آن مربوط به تیمار FD به مقدار ۲۲/۱۹ و ۲۰/۶۳ میلی‌گرم بر گیلوگرم تعلق دارد. نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها همچنین نشان داد هم در کشت بهاره و هم پاییزه اثر تیمارهای CD50 و CD-In در ساقه و برگ، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد نداشتند؛ اما اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای CD-Var با تیمارهای CD50، CD-In و تیمار FD حاصل شده است.

از شکل‌های ۵- الف، ب و ج ملاحظه می‌شود که غلظت آهن در دانه، ساقه و برگ در کشت پاییزه کمتر از کشت بهاره به‌دست آمد. کاهش غلظت آهن را به این دلیل می‌توان مرتبط دانست که در کشت اول مقداری از آهن قابل‌جذب در اثر آبشویی از ناحیهٔ ریشه خارج شده و

به‌این‌ترتیب در کشت پاییزه میزان آهن قابل‌دسترس خاک کمتر شده و درنتیجه میزان جذب آن توسط گیاه کاهش یافته است.

نتایج پژوهشگران مبنی‌بر آبشویی املاح نشان داد که در اراضی شالیزاری تحت تأثیر نفوذ عمقی، عناصر غذایی و آهن دوظرفیتی به میزان ۵/۹ تا ۱۲ درصد از لایه ۱۳ تا ۴۰ سانتی‌متر خارج شده است و درنتیجه دسترسی گیاه برای جذب آهن کمتر شده است (کاتو و همکاران، ۲۰۰۴).

عملکرد گیاه

اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در کشت بهاره شامل وزن هزار دانه، عملکرد دانه، کارایی مصرف آب، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد برگ، ارتفاع ساقه، قطر بلال، طول بلال انجام شد. جدول ۷ نتایج تجزیهٔ واریانس اثر عمق سطح ایستابی بر عملکرد اجزای گیاه ذرت در کشت بهاره را نشان می‌دهد. در کشت بهاره تیمارها بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشتند. این تأثیر بر تعداد برگ در سطح پنج درصد معنی‌دار شده است. نتایج تجزیهٔ واریانس اثر عمق سطح ایستابی بر عملکرد اجزای گیاه نشان داد در کشت پاییزه، سطح ایستابی بر وزن هزار دانه، عملکرد دانه، کارایی مصرف آب، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، ارتفاع ساقه، قطر و طول بلال در سطح یک درصد معنی‌دار بوده و تأثیر آن بر تعداد برگ در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. در تیمارهای زهکشی کنترل‌شده با توجه به امکان تأمین رطوبت خاک از طریق نیروی مویینگی، جذب آب به‌وسیلهٔ گیاه در حد پتانسیل بوده و منجر به افزایش عملکرد گیاه شد.

جدول ۷- نتایج تجزیهٔ واریانس اثر سطح ایستابی بر عملکرد اجزای گیاه ذرت (کشت بهاره)

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات (MS)								
		هزار دانه	عملکرد دانه	کارایی مصرف آب	تعداد ردیف در بلال	تعداد دانه در ردیف	تعداد برگ	ارتفاع ساقه	قطر بلال	طول بلال
سطح ایستابی	۳	۴۳۳۲/۴۴**	۲/۷۴۹**	۲/۷۷۳**	۲/۴۰۶**	۶/۳۲۸**	۰/۶۳۰*	۱۷۴/۱**	۰/۴۰۲**	۲/۲۷۹**
خطا	۶	۳۹/۷۴۸	۰/۰۵۸	۰/۰۹۶	۰/۰۱۷	۰/۰۴۷	۰/۰۸۳	۹/۲۴	۰/۰۱۳	۰/۲۰۷
ضریب تغییرات		۱۳/۷۸	۱۳/۲۲	۱۰/۳۶	۵/۴۰	۵/۰۹	۵/۰۹	۴/۲۴	۷/۷۲	۴/۶۶

* معنی‌دار در سطح پنج درصد، ** معنی‌دار در سطح یک درصد، ns فاقد اختلاف معنی‌دار

جدول ۸- نتایج تجزیهٔ واریانس اثر سطح ایستابی بر عملکرد اجزای گیاه ذرت (کشت پاییزه)

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات (MS)								
		هزار دانه	عملکرد دانه	کارایی مصرف آب	تعداد ردیف در بلال	تعداد دانه در ردیف	تعداد برگ	ارتفاع ساقه	قطر بلال	طول بلال
سطح ایستابی	۳	۴۶۹۶/۹۹**	۲/۹۸۳**	۳/۱۶۴**	۳/۰۱۷**	۳/۴۰۵**	۱/۲۶۹*	۵۵/۵۰**	۰/۴۱۴**	۲/۳۵۷**
خطا	۶	۳۹/۲۲	۰/۰۴۹	۰/۰۹۷	۰/۰۱۵	۰/۱۳۵	۰/۱۸۴	۶/۰۰۲	۰/۰۱	۰/۱۷۰
ضریب تغییرات		۱۳/۲۰	۱۳/۸۰	۹/۸۲	۶/۳۲	۳/۷۹	۷/۲۸	۲/۳۸	۷/۳۲	۴/۵۷

*معنی‌دار در سطح پنج درصد، ** معنی‌دار در سطح یک درصد، ns فاقد اختلاف معنی‌دار

از آنجایی‌که اثر سطح ایستابی بر صفات کمّی و عملکرد گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار بود، مقایسهٔ میانگین عملکرد و اجزای عملکرد براساس آزمون دانکن انجام پذیرفت. جدول ۹ نتایج مقایسهٔ میانگین اثر عمق سطح ایستابی بر اجزای عملکرد گیاه ذرت در کشت بهاره را نشان می‌دهد. براساس نتایج، بیشترین تأثیر بر عملکرد اجزای گیاه مربوط به تیمار CD-Var و کمترین اثر مربوط به تیمار FD بود و تیمارهای CD50 و CD-In در رتبه‌های دوم و سوم از منظر تأثیر بر عملکرد اندام‌های هوایی گیاه قرار گرفتند. نتایج نشان داد اختلاف معنی‌داری بین تیمارها بر وزن هزار دانه و قطر بلال وجود دارد. برای برخی اجزای گیاه شامل تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد برگ، ارتفاع ساقه و طول بلال، در مقایسهٔ اثر تیمارهای CD-Var و CD50 اختلاف معنی‌داری یافت نشد. همچنین بین تأثیر تیمارهای FD و CD-In در هیچکدام از عملکرد اجزای گیاه، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و تأثیر مشابهی بر عملکرد گیاه داشتند. اثر تیمار CD50 بر عملکرد اجزای گیاه به استثنای تعداد

برگ و طول بلال، اختلاف معنی‌داری با اثر تیمارهای FD و CD-In بر عملکرد اندام‌های گیاه مشاهده شد. تیمارهای زهکشی کنترل‌شده، با مدیریت خروجی زهکش، سطح آب در داخل خاک در حدی مطلوب حفظ شده، به‌طوری که گیاه قادر است به کمک نیروی موئینه‌ای از آن استفاده کند و عملکرد آن بهبود یابد.

نتایج بیشترین تأثیر عمق سطح ایستابی بر عملکرد دانه مربوط به تیمار CD-Var برابر با ۶/۷۲ تُن در هکتار و کمترین آن مربوط به تیمار FD برابر با ۵/۳۱ تُن در هکتار به‌دست آمد. عملکرد دانه در تیمار CD-Var با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بود. تراز سطح ایستابی در دو تیمار CD-In و FD معنی‌دار نشد. افزایش عملکرد دانه در تیمار CD-Var و CD50 به‌ترتیب ۲۶/۶ و ۱۷/۳ درصد نسبت‌به تیمار FD به‌دست آمد.

مدیریت سطح ایستابی اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر کارایی مصرف آب بین همهٔ تیمارها به‌وجود آورد. مقایسهٔ میانگین‌ها در کشت بهاره نشان داد زهکشی کنترل‌شده به‌صورت معنی‌داری باعث افزایش میزان کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف شده است. در کشت بهاره بیشترین تأثیر عمق سطح ایستابی بر کارایی مصرف آب مربوط به تیمار CD-Var برابر ۹/۴۴ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین آن مربوط به تیمار FD برابر ۷/۳۷ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد.

جدول ۹- مقایسهٔ میانگین اثر عمق سطح ایستابی بر عملکرد اجزای گیاه ذرت (کشت بهاره)

تیمارها	میانگین اثر تیمارها								
	هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (تُن بر هکتار)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	تعداد ردیف در بلال	تعداد دانه در ردیف	تعداد برگ	ارتفاع ساقه (سانتی‌متر)	قطر بلال (سانتی‌متر)	طول بلال (سانتی‌متر)
FD	۲۰۷/۱۶^{c}	۵/۳۱ ^{c}	۷/۳۷^{d}	۱۳/۱۱^{b}	۲۳/۷۳^{b}	۸/۲۹^{c}	۱۵۸/۳۳^{b}	۴/۰۳۳^{c}	۱۶/۷۰^{c}
CD-Var	۲۸۲/۲۲^{a}	۶/۷۲^{a}	۹/۴۴^{a}	۱۴/۷۱^{a}	۲۶/۴۲^{a}	۹/۳۳^{a}	۱۷۴/۰۳^{a}	۴/۸۷^{a}	۱۸/۷۱^{a}
CD50	۲۶۶/۴۰^{b}	۶/۲۳^{b}	۹/۰۷^{b}	۱۴/۵۱^{a}	۲۶/۰۵^{a}	۹/۰۴^{ab}	۱۶۸/۱۸^{a}	۴/۵^{b}	۱۷/۸۸^{ab}
CD-In	۲۱۱/۹۰^{c}	۵/۴۸^{c}	۷/۹۶^{c}	۱۳/۱۵^{b}	۲۳/۷۴^{b}	۸/۶۳ ^{bc}	۱۵۸/۸۵^{b}	۴/۲^{c}	۱۷/۱۹^{bc}

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ۱۰ مقایسهٔ میانگین اثر عمق سطح ایستابی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت در کشت پاییزه را نشان می‌دهد. براساس نتایج، بیشترین تأثیر عمق سطح ایستابی بر وزن هزار دانه و عملکرد دانه مربوط به تیمار CD-Var به‌ترتیب به مقدار ۳۱۳/۸۶ گرم و ۷/۰۹ تُن در هکتار و کمترین آن مربوط به تیمار FD به‌ترتیب به مقدار ۲۲۱/۹ گرم و ۵/۵۱ تُن در هکتار به‌دست آمد. عملکرد دانه در تیمار CD-Var با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بود. تراز سطح ایستابی در دو تیمار CD-In و FD معنی‌دار نشد. افزایش عملکرد دانه در تیمار CD-Var و CD50 به‌ترتیب ۲۸/۶۸ و ۱۳/۲۵ درصد نسبت‌به تیمار FD به‌دست آمد.

جدول ۱۰- مقایسهٔ میانگین اثر عمق سطح ایستابی بر عملکرد اجزای گیاه ذرت (کشت پاییزه)

تیمارها	میانگین اثر تیمارها								
	هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (تن بر هکتار)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	تعداد ردیف در بلال	تعداد دانه در ردیف	تعداد برگ	ارتفاع ساقه (سانتی‌متر)	قطر بلال (سانتی‌متر)	طول بلال (سانتی‌متر)
FD	۲۲۱/۹^{d}	۵/۵۱^{c}	۸/۲۷^{d}	۱۲/۸۷^{d}	۲۴/۲^{c}	۸/۵^{b}	۱۶۶/۷۸^{c}	۴/۱۱^{c}	۱۷/۱۵^{c}
CD-Var	۳۱۳/۸۶^{a}	۷/۰۹^{a}	۱۰/۶۹^{a}	۱۵/۰۳^{a}	۲۶/۷۵^{a}	۹/۹۲^{a}	۱۷۷/۱۳^{a}	۵/۰۰^{a}	۱۹/۲۶^{a}
CD50	۲۶۸/۳۶^{b}	۶/۲۴^{b}	۹/۴۶^{b}	۱۴/۲۲^{b}	۲۵/۳۲^{b}	۹/۳۳^{ab}	۱۷۳/۵^{ab}	۴/۶۴^{b}	۱۸/۳۸^{b}
CD-In	۲۴۳/۰۴^{c}	5/۶۹^{c}	۸/۹۳^{c}	۱۳/۲۶^{c}	۲۵/۰۱^{b}	۸/۶۷ ^{b}	۱۷۱/۸۷^{b}	۴/۴۶^{b}	۱۸/۸۸^{bc}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

بیشترین اثر تراز سطح ایستابی بر تعداد ردیف در بلال به مقدار ۱۵/۰۳ ردیف و کمترین ردیف برابر با ۱۲/۸۷ به‌ترتیب برای تیمارهای CD-Var و FD تعیین شد. نتایج مشابهی برای سایر اجزا حاصل شد؛ به‌طوری‌که بیشترین تأثیر بر تعداد دانه در ردیف مربوط به تیمار CD-Var و کمترین تعداد دانه در تیمار FD اندازه‌گیری شد. بیشترین

تعداد برگ، ارتفاع ساقه، قطر و طول بلال مربوط به تیمار CD-Var به‌ترتیب برابر با مقادیر ۹/۹۲ عدد، ۱۷۷/۱۳ سانتی‌متر، ۵ سانتی‌متر و ۱۹/۲۶ سانتی‌متر تعیین شد. همچنین کمترین مقدار تعداد برگ، ارتفاع ساقه، قطر و طول بلال مربوط به تیمار FD به‌ترتیب برابر با مقادیر ۸/۵ عدد، ۱۶۶/۷۸ سانتی‌متر، ۴/۱۱ سانتی‌متر و ۱۷/۱۵ سانتی‌متر به‌دست آمدند. براساس نتایج مقایسهٔ میانگین می‌توان گفت بیشترین تأثیر بر اجزای عملکرد گیاه ذرت مربوط به تیمار CD-Var و کمترین تأثیر مربوط به تیمار FD است. در مورد تعداد ردیف در دانه و قطر بلال می‌توان اظهار داشت که اثر عمق ایستابی بین تیمارهای CD50 و CD-In دارای اختلاف معنی‌دار نبود، ولی در تیمارهای CD-Var و FD اختلاف معنی‌دار بود. همچنین اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای FD و CD-In در تعداد برگ به‌دست نیامد. به‌طورکلی می‌توان گفت در کشت پاییزه تیمار CD-Var بیشترین تأثیر را بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت داشت و از این منظر تیمارهای CD50، CD-In و FD به‌ترتیب در جایگاه دوم تا چهارم قرار گرفتند و تأثیر تیمار CD-Var بر عملکرد گیاه ذرت اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت.

مقایسه میانگین‌ها در کشت پاییزه نشان داد که زهکشی کنترل‌شده بین تیمارهای مختلف در کارایی مصرف آب، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد ایجاد کرده است. زهکشی کنترل‌شده به‌صورت معنی‌داری باعث افزایش میزان کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف شده است. بیشترین تأثیر بر کارایی مصرف آب مربوط به تیمار CD-Var به میزان ۱۰/۶۹ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر و کمترین تأثیر مربوط به تیمار FD به میزان ۸/۲۷ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر بود. تیمارهای CD50 و CD-In از منظر میزان کارایی مصرف آب به‌ترتیب پس از تیمار CD-Var و قبل از تیمار FD قرار گرفتند.

جوانی جونی و همکاران (۱۳۹۷) تأثیر زهکشی کنترل‌شده بر دبی زهاب، سطح ایستابی و بهره‌وری آب در دشت مغان را با اجرای زهکشی کنترل‌شده در دو حالت سطح ایستابی متغیر (CD_{ch}) و سطح کنترل ثابت با عمق ۷۰ سانتی‌متر (CD70) و مقایسهٔ آن با زهکشی آزاد (FD) بررسی کردند. نتایج بیان‌گر افزایش عملکرد ذرت و گندم در سامانهٔ زهکشی کنترل‌شده نسبت‌به زهکشی آزاد بود. در این پژوهش میزان افزایش عملکرد گیاه ذرت در دو تیمار کنترل سطح ایستابی در حالت متغیر (CD_{ch}) و سطح ایستابی ثابت با عمق ۷۰ سانتی‌متر (CD70) به‌ترتیب به میزان ۲۴/۹ و ۱۹/۱ درصد و میزان افزایش عملکرد دانهٔ گندم به‌ترتیب برابر با ۴۱/۳ و ۲۶/۶ درصد نسبت‌به زهکشی آزاد (FD) گزارش شد. یافته‌های راموسکا و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که زهکشی کنترل‌شده باعث افزایش عملکرد محصول به میزان ۱۰ درصد و در پژوهش شان و همکاران (۲۰۲۰) افزایش عملکرد تحت تأثیر زهکشی کنترل‌شده ۱۵ درصد بود. این نتایج مؤید این مطلب است که سامانهٔ زهکشی کنترل‌شده در افزایش عملکرد محصول مؤثر است.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر زهکشی کنترل‌شده بر روی غلظت آهن در زهاب خروجی و جذب آن در اندام‌های گیاه ذرت در رقم سینگل‌کراس ۶۴۷ در کشت بهاره و رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ در کشت پاییزه انجام شد. نتایج نشان داد زهکشی کنترل‌شده اثر معنی‌داری بر میزان غلظت در زهاب خروجی، عملکرد گیاه، غلظت عنصر آهن در گیاه و خاک و کارایی مصرف آب دارد. براساس داده‌های به‌دست‌آمده، در تیمار CD-Var به‌دلیل تداوم ماندگاری آب در داخل خاک و ایجاد شرایط بی‌هوازی، غلظت آهن در خروجی زهکش زیرزمینی بیشتر بوده و در طول دورهٔ رشد غلظت آن در زهاب روند افزایشی داشته و این روند با شیب بیشتری نسبت‌به سایر تیمارها صورت گرفت. از این منظر تیمارهای CD50 و CD-In پس از تیمار CD-Var قرار گرفتند. کمترین میزان غلظت عنصر آهن در خروجی زهکش به تیمار FD اختصاص یافته و شیب تغییرات غلظت عنصر آهن در زهاب خروجی در طول دورهٔ رشد بسیار ملایم بود. براساس نتایج، هرچه نگه‌داشت آب در مجاورت ناحیهٔ توسعهٔ ریشه طولانی‌تر باشد، عملکرد اجزای گیاه بیشتر خواهد بود و فراهمی عناصر در دسترس گیاه بیشتر و درنتیجه غلظت عناصر در اندام‌های گیاه بیشتر خواهد بود. به‌طورکلی می‌توان گفت زهکشی کنترل‌شده از یک طرف با حفظ شرایط مطلوب رطوبتی در منطقهٔ ریشه باعث افزایش عملکرد گیاه و کارایی مصرف آب می‌شود و از طرف دیگر به‌دلیل ایجاد شرایط اشباع خاک در مدت زمان بیشتر و به‌تبع‌آن فراهم‌آوردن شرایط مناسب

درجهت حلالیت آهن دوظرفیتی خاک، امکان دسترسی بیشتر گیاه برای جذب آهن توسط اندام‌های هوایی گیاه را به‌وجود می‌آورد؛ اما نکته‌ای که نباید از آن غافل بود آن است که سامانهٔ زهکشی کنترل‌شده به‌دلیل ایجاد شرایط ماندابی در محیط خاک، باعث افزایش آهن دوظرفیتی در زیر سطح ایستابی می‌شود و پس از ورود به داخل شبکهٔ زهکشی زیرزمینی به آهن سه‌ظرفیتی غیرمحلول تبدیل شده و موجب تشکیل گل‌اخرا و گرفتگی شیمیایی زهکش‌ها می‌شود. براساس نتایج غلظت آهن در زهاب خروجی و روند افزایشی آن، پتانسیل تولید گل‌اخرا در تیمارهای CD-Var و CD50 وجود دارد. در تیمار CD-In غلظت آهن در زهاب تا پایان فصل روند افزایشی نشان دارد و از نظر پتانسیل تولید گل‌اخرا در محدودهٔ پتانسیل کم قرار گرفت. بدین‌ترتیب سامانه زهکشی کنترل‌شده با افزایش پتانسیل تشکیل گل‌اخرا، احتمال گرفتگی لولهٔ زهکش زیرزمینی در بلندمدت را افزایش می‌دهد که لازم است این مسأله در مطالعات مورد بررسی دقیق‌تر قرار گیرد.

منابع

۱. ادیمی م، ج، نبوی م، دربندی ص، و شهریاری م، ۱۳۸۸. پوشش‌های زهکشی. کمیتهٔ ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳۶ ص.

۲. اکرم م، پذیرا ا، آذری ا، لیاقت ع، دربندی ص، و لیاقت ز، ۱۳۸۳. مواد و مصالح سامانه‌های زهکشی زیرزمینی. کمیتهٔ ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۳۵۹ ص.

۳. امامی ع، ۱۳۷۵. روش‌های تجزیهٔ گیاه. تهران: انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب. ۲۰۲ ص.

۴. بشارتی ج، صالح راستین ن، و فلاح ع، بررسی کارایی کود بیولوژیک حاوی میکرواورگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد در تأمین آهن مورد نیاز ذرت. همایش خاک، محیط‌زیست و توسعه پایدار. ۱۳۸۵ کرج- دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی. ۲ ص

۵. ترابی ح، ۱۳۸۲. پیدایش، رده‌بندی و ارزیابی کیفی، کمی و اقتصادی تناسب اراضی خیس برای کشت برنج در شرق گیلان. پایان‌نامه دکتری. دانشگاه صنعتی اصفهان.

۶. جوانی‌جونی ح، لیاقت ع، حسن‌اقلی ع، و نظری ب، ۱۳۹۷. تأثیر زهکشی کنترل‌شده بر دبی زهاب، سطح ایستابی و بهره‌وری آب در دشت مغان. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۹(۱): ۲۰۷-۲۱۹.

۷. ذلیکانی ز، و شاه‌نظری ع، ۱۳۹۲. تأثیر زهکشی زیرزمینی بر میزان خروج عنصر آهن در اراضی شالیزاری. اولین همایش ملی زهکشی و کشاورزی پایدار. اسفند ماه، دانشگاه تربیت مدرس، ۸ ص.

۸. رونیاسی ن، و پرویزی مساعد ح، ۱۳۹۵. بررسی میزان فلزات سنگین در قسمت‌های مختلف برخی از سبزیجات مصرفی شهر کرج. مجله سلامت و محیط‌زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران. ۹(۲): ۱۷۱-۱۸۴

۹. کلباسی م، و حسین‌پور ع، ۱۳۷۶. اثر مانداب‌شدن موقت سه خاک آهکی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و تغییرات آن پس از زهکشی. مجله علوم کشاورزی ایران. ۲۸ (۳): ۵۰-۵۸.

۱۰.ملکوتی م، ج، و تهرانی م، م، ۱۳۸۴. نقش ریزمغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی. تهران: انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۳۲۸ ص.

۱۱.میرپاریزی ا، بارانی مطلق م، موحدی نائینی س، قربانی نصرآبادی ر، و بختیاری س، ۱۳۹۷. اثر کاربرد خاکی سرباره مس و ترکیبات آلی بر فراهمی آهن و رشد گیاه سورگوم. مهندسی زراعی (مجلهٔ علمی کشاورزی). ۴۱(۲): ۱-۲۵.

۱۲.واثقی س، افیونی م، شریعتمداری ح، و مبلی م، ۱۳۸۴. اثر لجن فاضلاب روی برخی غلظت عناصر غذایی و خصوصیات شیمیایی خاک. مجلهٔ آب و فاضلاب. ۱۶(۱): ۱۵-۲۲.

13. Abbott C. L. Cascio A. L. Abdel-Gawad S. Morris J. and Hess T. 2003. Guideline for Controlled Drainage. Report OD 147. February. Department for International Development.

14. Addo M. A. Darko E. O. Gordon C. Nyarko B. J. B. and Gbadago J. K. 2012. Heavy metal concentrations in road deposited dust at Ketu-south district. Ghana. International Journal of Science and Technology. 2(1) 28-39.

15. Allison L. E. and Modie C. D. 1965. Carbonate. In Blck (ed.) Method of soil analysis part 2. Soil Science Society of

America and American Society of Agronomy Madison. WI. USA. 1379-1396.
16. Ayars J. E. Chresten E. W. and Hornbuckle J. W. 2006. Controlled drainage for improved water management in arid regions irrigated agriculture. Agricultural Water Management. 86: 128-139.
17. Ford. H. W. 1982. Biological clogging of drain envelopes. In: Proc. 2nd Internat. Drainage Workshop. Washington DC. 215-220.
18. Gupta P. K. 2000. Soil, Plant, Water, and Fertilizer Analysis. Agrobios, New Dehli, India. 366 p
19. Hassanoghli A. R. Esmaeili Aminlooi A. and Sakhaei Rad H. 2015. Assessment in of quality and quantity drain in subsurface drainage drains without envelope in comparison with mineral envelope in Shadegan Plain. Water Research in Agriculture. 22(2): 263-275.
20. Jones B. Jr. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. USA: CRC Press.
21. Jorfi S. Maleki R. Jaafarzadeh N. and Ahmadi M. 2017. Pollution load for heavy metals in Mian-Ab plain soil, Khuzestan, Iran. Data in Brief. 15: 584-590
22. Katoh M. A. Iwata I. Shaku Y. Nakajima K. Matsuya and M. Kimura. 2003. Impact of water percolation on nutrient leaching from an irrigated paddy field in Japan. Soil Use and Management. 19: 298-304.
23. Katoh M. J. Murase M. Hayashi K. Matsuya and M. Kimura. 2004. Nutrient Leaching from the Plow Layer by Water Percolation and Accumulation in the Subsoil in an irrigated Paddy Field. Soil Science and Plant Nutrition. 50(5): 721-729.
24. Klute A. 1986. Methods of soil analysis. Part1- Physical and mineralogical methods. (2nd. ed). ASA and SSSA. Madison. WI.
25. Lindsay W. L. and Norvell W. A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc iron manganese and copper. Soil Science Society of America Journal. 42: 421-428.
26. Min P. Chuandong Zh. Honghong M. Zhongfang Y. Ke Y. Fei L. Kuo L. Zheng Y. Shiqi T. Fei G. Xiujin L. and Hangxin Ch. 2020. Heavy metal and Pb isotopic compositions of soil and maize from a major agricultural area in Northeast China: Contamination assessment and source apportionment. Journal of Geochemical Exploration 208. journal homepage: www.elsevier.com
27. Nelson D.W. and Sommers L.P. 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, 2nd Edition. ASA-SSSA, Madison. 579-595.
28. Olsen S. R. Cloe V. Watnebe F. S. and Pean L. A. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA. 939 USA.
29. Rajeshkumar S. Liu Y. Zhang X. Ravikumar B. Bai G. and Li X. 2018. Studies on seasonal pollution of heavy metals in water. sediment, fish and oyster from the Meiliang Bay of Taihu Lake in China. Chemosphere. 191: 626-638.
30. Ramoska E. D. Bastinene N. I. and Saulys V. A. 2011. Evaluation of controlled drainage efficiency in LITHUANIA. Irrig. Drain. 60: 196-206.
31. Richards L. A. 1969. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Salinity Laboratory Staff. Agricultural Handbook. NO.60. USDA. USA.
32. Ronaghi. A. Chakrol-hosseini M. and Karimian N. 2002. Growth and chemical composition of corn as affected by phosphorus and iron. Journal of Science and Technology of Agricultural and Natural Resources. 6: 91-102
33. Saadat S. Bowling L. Frankerberger J. and Kladivko E. 2018. Nitrate and phosphorus transport through subsurface drains under free and controlled drainage. Water Research. 142: 196-207
34. Shan Li. Miao Wu. and Jingsi Li. 2020. Influence of different controlled drainage strategies on the water and salt environment of ditch wetland: A model-based study. Soil and Tillage Research 28 December Volume 208 Cover date: April 2021
35. Shao Shan A. Yi-Mei H. Fen-Li Z. and Jian-Guo Y.2008.Aggregate characteristics during natural revegetation on the Loess Plateau. Soil Science Society of China. 18(6): 809-816
36. Torabi Golsefidi H. Eghbal K. M. and Givi J. 2003. Morphology and Micromorphology of Paddy Soils on different landforms in Guilan Province. Northern Iran. Article collections of 8th Iranian Soil Science congress. Rasht. Iran. Oct 2003. 119-121.