

مقاله پژوهشی

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

وریا صوفی احمدی^۱، مهدی قبادی نیا^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 به منظور بررسی اثر زهکشی کنترل شده 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 مزرعه آزمایشی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. در این پژوهش از ذرت هیبرید سینگل کراس ۶۴۷ در کشت بهاره و سینگل کراس ۷۰۴ در کشت پاییزه استفاده شد. برای این منظور آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار و سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل زهکشی آزاد (FD) زهکشی با سطح ایستایی متغیر (CD-Var)، زهکشی کنترل شده با تثبیت سطح ایستایی در عمق ۵۰ سانتی‌متر (CD50) و زهکشی کنترل شده با تثبیت سطح ایستایی در عمق ۵۰ سانتی‌متر و رهاسازی یک شبانه‌روز پس از توقف عملیات آبیاری (CD-In) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد زهکشی کنترل شده 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 کنترل شده با سطح ایستایی متغیر (CD-Var) به ترتیب 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 به دست آمد. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد زهکشی کنترل شده 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 گل‌آخرا در تیمارهای CD-Var و CD50 وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: ذرت دانه‌ای، سطح ایستایی، کارایی مصرف آب، گل‌آخرا.

ارجاع: صوفی احمدی و. قبادی نیا م. ناصری ع. نوری امامزاده‌ئی م. و متقیان ح. ۱۴۰۰. اثر زهکشی کنترل شده بر تغییرات غلظت آهن در زهاب خروجی و جذب آن در گیاه ذرت. مجله پژوهش آب ایران. ۱۴-۱: ۴۲.

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 پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۸

مقدمه

آهن به عنوان یکی از عناصر فراوان خاک شناخته شده، ولی به دلیل 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 گونه شیمیایی در خاک مشاهده می‌شود. در کانی‌های اولیه آهن به صورت Fe^{2+} یا Fe^{3+} است که طی هوادهی در محیطی با تهویه مناسب به Fe^{3+} تبدیل و به صورت 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 از جمله ساخت کلروفیل، واکنش‌های اکسایش و کاهش، فتوسنتز، تنفس و سیستم‌های آنزیمی ضروری است. برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها از جمله pH قلیایی، جذب آهن به وسیله گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و فراهمی آن را کاهش می‌دهد (رونقی و همکاران، ۲۰۰۲). نتایج به دست آمده از تحقیقات نشان می‌دهد pH خاک با قابلیت دسترسی فلزات سنگین رابطه معکوس دارد. اسیدی شدن خاک، قابلیت دسترسی گیاهان به فلزات را به مقدار زیادی افزایش می‌دهد (وائقی 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 نه تنها موجب افزایش قابلیت جذب آهن به عنوان عنصری کم‌مصرف و ضروری برای گیاه می‌شود، 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 در نتیجه در لوله زهکشی یا در داخل مواد پوششی رسوب می‌کند (ادیمی و همکاران، ۱۳۸۸). آهن دوظرفیتی به صورت محلول در آب زیرزمینی وجود دارد. این ماده اغلب به صورت هیدروکسید آهن ($Fe(OH)_2$) یافت می‌شود که پس از اکسید شدن 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 قابل دسترسی توسط میکروارگانیسم‌های موجود به مصرف رسیده باشد، این شرایط به وجود می‌آید. هرگاه چنین شرایطی فراهم باشد، باکتری‌های احیاکننده آهن، موجب احیای آهن سه ظرفیتی غیرمحلول می‌شوند (اکرم و همکاران، ۱۳۸۳). تغییرات الکتروشیمیایی و بیوشیمیایی حاصل از غرقاب شدن خاک به طور 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). ژلاتینی شدن ته‌نشست‌های قابل ملاحظه حاصل از اکسید شدن آهن که به نام «گل اخرا» نامیده می‌شود، از جمله مهم‌ترین و گسترده‌ترین نوع مشکل گرفتگی زهکش‌های زیرزمینی است. آهن دوظرفیتی محلول، به وسیله 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 سه ظرفیتی غیرمحلول شده و در نهایت 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 اکسید شده و به شکل‌های مختلف رسوب می‌کنند. رنگ خاک و عوارض ناشی از اکسایش و کاهش از جمله 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 به دنبال آن تحرک، تجمع یا تخلیه آهن با عمق سطح آب زیرسطحی در ارتباط است (ادو و همکاران، ۲۰۱۲).

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

زیرزمینی می‌تواند به وقوع بپیوندد، تشکیل گل‌اخرا و ایجاد گرفتگی شیمیایی ناشی از آن در سامانه زهکشی زیرزمینی است. در زیر سطح ایستایی، اشباع خاک و در نتیجه آن کاهش اکسیژن محیط، شرایط حضور آهن دوظرفیتی در آب زیرزمینی را فراهم می‌آورد. آهن دوظرفیتی همراه جریان آب زیرزمینی وارد لوله زهکش شده و در محیط جدید، شرایط هوازای موجب تبدیل مقادیری از آهن دوظرفیتی به آهن سه‌ظرفیتی غیرمحلول و ترسیب شیمیایی آهن شده و در نهایت 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 گل‌اخرا مورد توجه قرار می‌گیرد (اکرم و همکاران، ۱۳۸۳).

با آن‌که پژوهش‌های زیادی در زمینه فلزات سنگین دارای پتانسیل آلودگی در اراضی کشاورزی توسط پژوهشگران از جمله جرفی و همکاران (۲۰۱۷) و مین و همکاران (۲۰۲۰) انجام شده است، اما مطالعه‌های اندکی در خصوص پایش غلظت فلز آهن، تحت تأثیر سامانه 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 در جهت رسیدن به تولید بهینه به‌همراه مدیریت اثرات آن‌ها بر گیاه و انسان اعمال 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 مزرعه 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 دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی و دارای آب‌وهوای گرم و مرطوب با میانگین بارندگی و دمای سالیانه به‌ترتیب حدود ۲۴۳ میلی‌متر و ۳۰ درجه سانتی‌گراد اجرا شد. خاک مورد نیاز لایسی‌مترهای یادشده از دشت شعیبیه شهرستان

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 ایستایی به‌منظور کاهش حجم جریان تخلیه و عناصر غذایی مدیریت می‌شود (سعادت و همکاران، ۲۰۱۸). این نوع سیستم باعث تثبیت سطح ایستایی در عمق‌های کمتر شده و حجم بیشتری از خاک به‌مدت زمان طولانی‌تر در حالت اشباع قرار خواهد گرفت. بدین‌ترتیب امکان فراهم‌کردن یک فاصله نسبتاً ثابت، حدفاصل کف ریشه و ناحیه اشباع به‌وجود خواهد آمد (آیاز 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 سه‌ظرفیتی در حضور مقدار کم ماده آلی تجزیه‌پذیر، باعث کاهش آهن سه‌ظرفیتی و افزایش آهن دوظرفیتی و در نتیجه 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 منابع طبیعی 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 فاصله 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 شبکه زهکش‌های

هیدرومتری (کلوت، ۱۹۸۶)، pH در سوسپانسیون ۱:۱ خاک به آب مقطر (ریچارد، ۱۹۶۹) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره سوسپانسیون ۱:۱ (گوپتا، ۲۰۰۰)، مواد آلی خاک توسط اکسیداسیون تر (نلسون و سامر، ۱۹۸۲)، کربنات کلسیم معادل (CCE) خاک با خنثی سازی با اسید کلریدریک (آلیسون و مودی، ۱۹۶۵)، پتاسیم قابل جذب با استات آمونیم (جونز، ۲۰۰۱)، فسفر قابل جذب با بی کربنات سدیم ۰/۵ مولار دارای pH=۸/۵ (اوسن، ۱۹۵۴)، غلظت آهن قابل استفاده خاک با روش DTPA-TEA (لیندسی و نورول، ۱۹۷۸) و دستگاه جذب اتمی مدل GBC932 و رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم توسط دستگاه صفحه فشاری (Pressure Plate) اندازه گیری شدند.

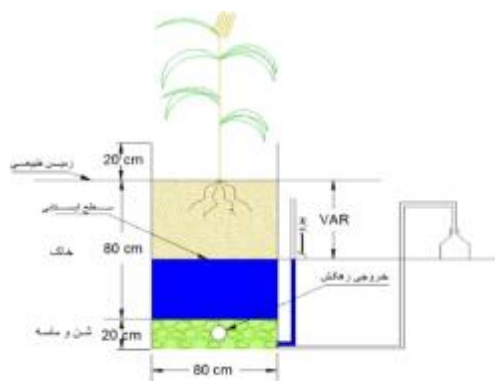
شوشتر تأمین شد. دشت شعیبیه در غرب رودخانه کارون واقع شده و به عنوان یکی از دشت های مستعد کشاورزی حدفاصل شهرهای شوشتر و اهواز در شمال استان خوزستان است و دارای سابقه طولانی در کشت ذرت بوده و یکی از محصولات مهم کشاورزی این محدوده است. این پژوهش در دو فصل انجام شد. کشت بهاره از اوایل ۱۳۹۷ آغاز و تا پایان خرداد ۱۳۹۸، طی ۱۱۱ روز انجام شد. کشت پاییزه از اوایل مرداد ۱۳۹۸ تا نیمه آذر همین سال طی ۱۳۱ روز انجام شد. برای سنجش مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک و ویژگی های شیمیایی آب مورد استفاده که در جدول های ۱ و ۲ آورده شده است، نمونه خاک هوا خشک و از الک دو میلی متری عبور داده شد. بافت خاک به روش

جدول ۱- برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

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

جدول ۲- برخی ویژگی های شیمیایی آب مورد آزمایش

SAR (meq.l) ^{0.5}	منیزیم meq.l ⁻¹	کلسیم meq.l ⁻¹	بی کربنات meq.l ⁻¹	سدیم meq.l ⁻¹	هدایت الکتریکی dS.m ⁻¹	TDS mg.l ⁻¹
۲/۹	۲/۸۳	۴/۷۶۷	۲/۷۷	۵/۸۳	۱/۳۵۷	۸۷۶/۲



شکل ۱- نمای کلی لایسی متر با سامانه زهکشی کنترل شده (با کمک ظرف ماریوت)

در این پژوهش ذرت سینگل کراس ۶۴۷ در کشت بهاره و ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ با قوه نامیه ۹۰ درصد در کشت پاییزه استفاده شد. به منظور تأمین نیاز گیاه به عناصر غذایی، براساس نتایج آزمایش خاک نیتروژن از

به منظور انجام آزمایش های زهکشی کنترل شده از لایسی مترهای استوانه ای شکل از جنس پلی اتیلن کاروگیت دار با قطر ۸۰ سانتی متر و ارتفاع ۱۲۰ سانتی متر استفاده شد (شکل ۱). لایسی مترها دارای سیستم زهکشی بوده (لوله سبز مشبک با قطر ۲/۵۴ سانتی متر و سوراخها با فاصله ۵ سانتی متر در اطراف لوله) و به طور عمودی به عمق ۱۰۰ سانتی متر در داخل خاک مدفون و ۲۰ سانتی متر بالایی آن به منظور جلوگیری از ورود آب های اطراف به صورت ارتفاع آزاد بالاتر از سطح زمین طبیعی قرار داده شد. در فاصله ۵ سانتی متر از کف لایسی متر لوله زهکشی قرار گرفته و تا ارتفاع ۲۰ سانتی متر با شن و ماسه و مابقی عمق لایسی متر (۸۰ سانتی متر) با خاکی با مشخصات مورد نظر پر شد. خاک حمل شده به مزرعه آزمایشی دانشگاه پس از خرد شدن، الک شده و داخل هر لایسی متر وزن یکسان از خاک الک شده ریخته شد.

گرفت و به سطح ایستابی اجازه داده شد که در فاصله بیشتری از ناحیه ریشه قرار گیرد (بوت 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 مرحله ابتدایی رشد، تا استقرار کامل گیاه به صورت پلکانی به هفت روز افزایش و در ادامه به صورت هفتگی ادامه یافت.

عملیات آبیاری در طول دوره کشت بهاره ۱۶ نوبت و در کشت پاییزه ۱۹ نوبت انجام شد. از هر لایسی متر 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 لایسی متر، در سه مقطع زمانی قبل از کشت، میانه دوره 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 بهینه عنصر آهن در محصولات ۱۵۰-۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (ملکوئی و تهرانی، ۱۳۸۴). با توجه به نوع طرح آزمایشی تجزیه آماری و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمایش فاکتوریل برپایه طرح کاملاً تصادفی به کمک نرم‌افزار SPSS انجام گرفت.

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 ملاحظه تلفات احتمالی بوته‌ها در طول فصل رشد، ابتدا ۱۲ بذر در هر لایسی متر کشت شد و در نهایت به چهار بوته در لایسی متر (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 فاصله ثابت سطح ایستابی تا ناحیه توسعه ریشه)، تیمار سوم تثبیت سطح ایستابی در عمق ۵۰ سانتی‌متر (CD50) و تیمار چهارم به صورت 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 موینگی در زهکش‌های اصلی و فرعی برابر ۲۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد؛ از این‌رو نوار موینگی ثابت ۲۵ سانتی‌متر به‌عنوان فاصله سطح ایستابی تا ناحیه توسعه ریشه در تیمار دوم لحاظ شد. براین‌اساس عمق سطح ایستابی در تیمار دوم همگام با توسعه ریشه در طول فصل رشد از ۳۰ سانتی‌متر تا ۵۵ سانتی‌متر متغیر بود. برای پایش عمق ریشه از روش حفر و مشاهده نیم‌رخ خاک استفاده شد. با توجه به عمق فعال ریشه 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 هفته دهم تا پایان دوره در عمق ۵۵ سانتی‌متر ثابت ماند.

شیوه عمل و کنترل سطح آب زیرزمینی در تیمار CD-In به صورت قطع و وصلی است. به طوری که در روز نخست آبیاری، مشابه تیمار CD50، سطح ایستابی در فاصله ۵۰ سانتی‌متری از سطح خاک نگه داشته شد. پس از گذشت یک شبانه‌روز از زمان آبیاری، زهکش در حالت آزاد قرار

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

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

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

پتانسیل تولید گل اخرا	روش فورد	روشنوار 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
قابل اغماض	کمتر از ۰/۵	کمتر از ۱

آهن دوظرفیتی موجود در آب زیرزمینی (میلی گرم در لیتر)

نتایج و بحث

غلظت آهن در زهاب خروجی

همکاران، ۲۰۱۸) و افزایش آبشویی آن می شود (کلباسی و حسین پور، ۱۳۷۶).

جدول ۵ نتایج آنالیز واریانس اثر زهکشی کنترل شده بر غلظت آهن در زهاب خروجی را نشان می دهند. همان گونه که در جدول ۵ مشاهده می شود، اثر سطح ایستابی بر غلظت آهن در زهاب خروجی در سطح یک درصد معنی دار شده است.

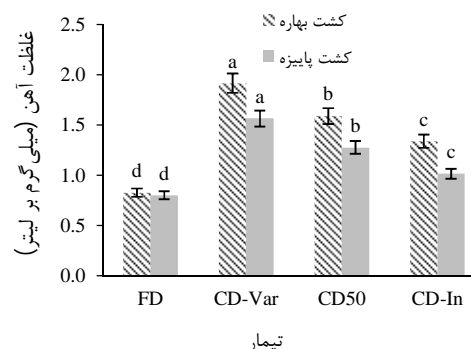
نتایج مقایسه میانگین ها نشان می دهد که بیشترین غلظت آهن در زهاب خروجی در دو فصل کشت بهاره و پاییزه مربوط به تیمار CD-Var بوده و به ترتیب برابر با ۱/۹۲ و ۱/۵۶ میلی گرم بر لیتر و کمترین میزان غلظت آهن مربوط به تیمار FD برابر با ۰/۸۳ و ۰/۸ میلی گرم بر لیتر به ترتیب در کشت بهاره و پاییزه به دست آمد.

نتایج آزمایش نمونه های زهاب نشان داد که غلظت آهن در زهاب خروجی هر لایسی متر روند افزایشی دارد. بدین معنی که با نزدیک شدن به انتهای فصل کشت در هر دوره، غلظت عنصر در زهاب افزایش یافت. طولانی شدن 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 می دهد.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر زهکشی کنترل شده بر غلظت آهن در زهاب خروجی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)
تراز سطح ایستابی	۳	۰/۶۳۲**
خطا	۶	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات	۸	۵

* معنی دار در سطح پنج درصد، ** معنی دار در سطح یک درصد، NS فاقد اختلاف معنی دار



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

شکل های ۳ و ۴ روند افزایش غلظت آهن در زهاب خروجی در طول دوره کشت بهاره و کشت پاییزه را نشان می دهد.

این شکل حاکی از این واقعیت است که میزان فراهمی آهن و آبشویی آن با مدت زمان شرایط ماندابی خاک رابطه مستقیم دارد. شرایط اشباع و به دنبال آن مداومت شرایط احیا، باعث افزایش آهن قابل جذب (راجز کومار و

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 ماندابی شدن خاک باعث افزایش آهن قابل جذب و آبشویی آن می‌شود. آن‌ها دریافتند که مقدار آهن قابل جذب خاک در کرت‌های تحت تیمارهای زهکشی کمتر از مقدار متناظر آن در تیمار شاهد بوده که دلیل آن را می‌توان به طولانی‌تر بودن مدت زمان ماندابی که از ابتدای فصل تا انتهای فصل در کرت شاهد ادامه داشته نسبت داد که منجر به کاهش آهن قابل جذب در اثر آبشویی می‌شود (ذلیکانی و شاه‌نظری، ۱۳۹۲). نتایج کار مطالعه آن‌ها با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد.

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

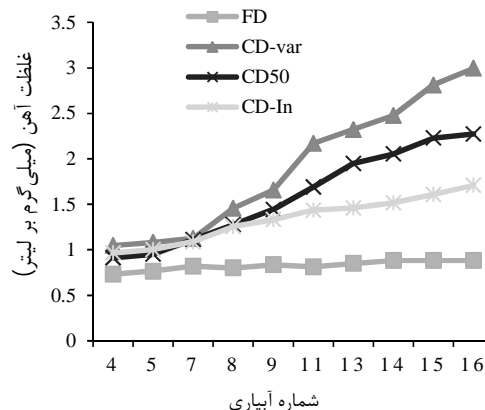
براساس نتایج غلظت آهن در زهاب خروجی و روند افزایشی آن، پتانسیل تولید گل‌اخرا در تیمارهای CD-Var و CD50 وجود دارد. در تیمار CD-In غلظت آهن در زهاب در ابتدای فصل کمتر از یک میلی‌گرم بر لیتر بوده ولی از هفته پنجم به بعد غلظت از یک میلی‌گرم بر لیتر فراتر رفته و تا پایان فصل روند افزایشی دارد و از نظر پتانسیل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

با توجه به شکل‌های ۳ و ۴، بیشترین میزان غلظت آهن در زهاب خروجی در دوره 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 نسبت به 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.

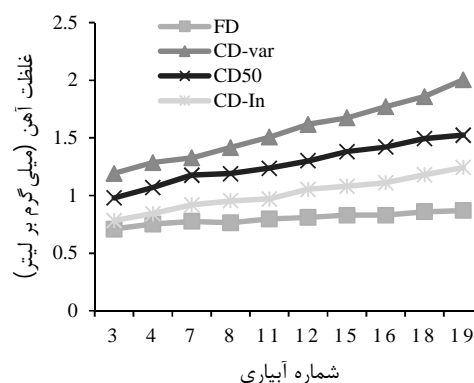
در کشت پاییزه، نسبت میانگین غلظت آهن زهاب خروجی در سایر تیمارها به میانگین غلظت آهن در زهاب خروجی تیمار FD برابر با ۱/۹۶، ۱/۶۰ و ۱/۲۷ به ترتیب برای تیمارهای CD-Var، CD50 و CD-In حاصل شد. از آنجایی که افزایش حلالیت آهن در اثر فعل و انفعالات فیزیکوشیمیایی خاک‌های اشباع موجب افزایش فراهمی آهن می‌شود؛ بنابراین آبشویی آن نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه در لایسی‌تر تیمار CD-Var عمق بیشتری از خاک نسبت سایر تیمارها در حالت ماندابی قرار گرفت، از این رو شرایط احیای فراهم شده و غلظت آهن دو ظرفیتی افزایش یافته که در نتیجه زهاب خروجی تیمار CD-Var بیشتر از زهاب خروجی سایر تیمارها دارای غلظت آهن بالاتری است. خاک لایسی‌تر تیمار FD مدت زمان کمتری نسبت به سایر تیمارها در حالت اشباع قرار گرفته و در نتیجه 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 قابل جذب خاک اندازه‌گیری شد. در نتیجه تداوم شرایط احیا در خاک در اثر وضعیت اشباع، فعالیت میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی افزایش یافته و در اثر آن امکان افزایش آهن محلول و آهن قابل تبادل 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 قابل جذب در محلول خاک در اثر

نتایج آنالیز واریانس و نمودار مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن است که اثر تیمارها بر غلظت آهن قابل جذب در خاک مؤثر بوده است. مقایسه 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 ۸/۶۲ و ۹/۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. بیشترین غلظت آهن در خاک مربوط به تیمار CD-Var و کمترین آن مربوط به تیمار FD به‌دست آمد. به‌طور کلی 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 فاصله نزدیک ناحیه ریشه در طول دوره رشد باعث احیای آهن سه‌ظرفیتی و در پی آن افزایش آهن قابل جذب 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 مانداب شدن خاک بر آهن قابل جذب 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 قابل جذب خاک دارد. میزان آهن قابل جذب در خاک پس از شش ماه ماندابی از ۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ۴۴ میلی‌گرم افزایش یافت. دلیل این امر را به احیای ترکیبات سه‌ظرفیتی آهن به آهن دو‌ظرفیتی در شرایط اشباع و بی‌هوای مرتبط دانستند.



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



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

غلظت آهن در خاک

جدول ۶ نتایج تجزیه واریانس اثر زهکشی کنترل شده 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.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس اثر زهکشی کنترل شده بر غلظت آهن در خاک و اندام‌های هوایی ذرت

میانگین مربعات (MS)						درجه آزادی	منابع تغییرات
کشت پاییزه			کشت بهاره				
خاک	ساقه و برگ	دانه	خاک	ساقه و برگ	دانه		
۰/۰۰۳ns	۵/۴۰۱ns	۶۶/۳۳ns	۰/۰۰۲ns	۱۲/۲۵ns	۴۱/۱۸ns	۲	تکرار
۰/۲۴۱**	۱۳۶/۱۰۳**	۱۳۶۶/۵۰**	۰/۰۲۸**	۵۷۳/۰۳**	۲۷۵۷/۳۲**	۳	سطح ایستابی
۰/۰۰۴	۱/۲۸۹	۲۷/۷۹	۰/۰۰۲	۲۲/۷	۳۷/۲۳	۶	خطا
۲/۹۹	۱۱/۶۶	۸/۲۳	۱/۷۹	۷/۱۵	۱۲/۸۲		ضریب تغییرات

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

با توجه به نمودار مقایسه 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 کیلوگرم 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 بهینه 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 نسبت به سایر تیمارها مدت زمان بیشتری در شرایط اشباع قرار گرفت، دانه 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.

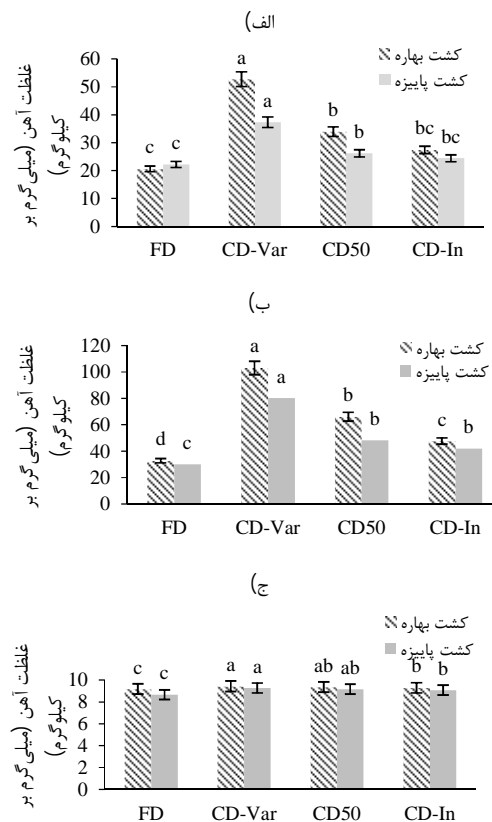
با توجه به نتایج جدول آنالیز واریانس، تأثیر عمق سطح ایستابی بر غلظت آهن در ساقه و برگ نیز در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن است که بیشترین مقدار غلظت در دو فصل مربوط به تیمار به CD-Var به مقدار ۵۲/۷۵ و ۳۷/۳۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین آن مربوط به تیمار FD به مقدار ۲۲/۱۹ و ۲۰/۶۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعلق دارد. نتایج مقایسه 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 ناحیه ریشه خارج شده و

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 لایه 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 لایه 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 مقایسه 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

نتایج تجزیه 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 تجزیه 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 کنترل شده با توجه به امکان تأمین رطوبت خاک از طریق نیروی موینگی، جذب آب به وسیله گیاه در حد پتانسیل بوده و منجر به افزایش عملکرد گیاه شد.

به این ترتیب در کشت پاییزه میزان آهن قابل دسترس خاک کمتر شده و در نتیجه میزان جذب آن توسط گیاه کاهش یافته است.

نتایج پژوهشگران مبنی بر آشنویی 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 سانتی متر خارج شده است و در نتیجه 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

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

میانگین مربعات (MS)										
منابع تغییرات	درجه آزادی	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**	۰/۶۳*	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 تجزیه واریانس اثر سطح ایستابی بر عملکرد اجزای گیاه ذرت (کشت پاییزه)

میانگین مربعات (MS)										
منابع تغییرات	درجه آزادی	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	۲/۲۸	۷/۳۲	۴/۵۷

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

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 مقایسه 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

از آنجایی که اثر سطح ایستابی بر صفات کمی و عملکرد گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار بود، مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد براساس آزمون دانکن انجام پذیرفت. جدول ۹ نتایج مقایسه 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

عملکرد دانه در تیمار CD-Var و CD50 به ترتیب ۲۶/۶ و ۱۷/۳ درصد نسبت به تیمار FD به دست آمد. مدیریت سطح ایستابی اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد بر کارایی مصرف آب بین همه تیمارها به وجود آورد. مقایسه میانگین‌ها در کشت بهاره نشان داد زهکشی کنترل شده به صورت معنی داری 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 به دست آمد.

برگ و طول بلال، اختلاف معنی داری با اثر تیمارهای FD و CD-In بر عملکرد اندام‌های گیاه مشاهده شد. تیمارهای زهکشی کنترل شده، با مدیریت خروجی زهکش، سطح آب در داخل خاک در حدی مطلوب حفظ شده، به طوری 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 تن در هکتار و کمترین آن مربوط به تیمار FD برابر با ۵/۳۱ تن در هکتار به دست آمد. عملکرد دانه در تیمار CD-Var با سایر تیمارها اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد بود. تراز سطح ایستابی در دو تیمار CD-In و FD معنی دار نشد. افزایش

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

میانگین اثر تیمارها									
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	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	۲۸۲/۲۳ ^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	۶/۲۲ ^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	۴/۳ ^c	۱۷/۱۹ ^{bc}

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

۲۲۱/۹ گرم و ۵/۵۱ تن در هکتار به دست آمد. عملکرد دانه در تیمار CD-Var با سایر تیمارها اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد بود. تراز سطح ایستابی در دو تیمار CD-In و FD معنی دار نشد. افزایش عملکرد دانه در تیمار CD-Var و CD50 به ترتیب ۲۸/۶۸ و ۱۳/۲۵ درصد نسبت به تیمار FD به دست آمد.

جدول ۱۰ مقایسه 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 به ترتیب به مقدار ۳۱۳/۸۶ گرم و ۷/۰۹ تن در هکتار و کمترین آن مربوط به تیمار FD به ترتیب به مقدار

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

میانگین اثر تیمارها									
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	۸/۳۷ ^d	۱۲/۸۷ ^d	۲۴/۳ ^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	۹/۹۳ ^a	۱۷۷/۱۳ ^a	۵/۰ ^a	۱۹/۲۶ ^a
CD50	۲۶۸/۳۶ ^b	۶/۲۴ ^b	۹/۴۶ ^b	۱۴/۲۳ ^b	۲۵/۳۲ ^b	۹/۳۳ ^{ab}	۱۷۳/۵ ^{ab}	۴/۶۴ ^b	۱۸/۳۸ ^b
CD-In	۲۴۳/۰۴ ^c	۵/۶۹ ^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 معنی دار ندارند.

مشابهی برای سایر اجزا حاصل شد؛ به طوری که بیشترین تأثیر بر تعداد دانه در ردیف مربوط به تیمار CD-Var و کمترین تعداد دانه در تیمار FD اندازه‌گیری شد. بیشترین

بیشترین اثر تراز سطح ایستابی بر تعداد ردیف در بلال به مقدار ۱۵/۰۳ ردیف و کمترین ردیف برابر با ۱۲/۸۷ به ترتیب برای تیمارهای CD-Var و FD تعیین شد. نتایج

تعداد برگ، ارتفاع ساقه، قطر و طول بلال مربوط به تیمار CD-Var به ترتیب برابر با مقادیر ۹/۹۲ عدد، ۱۷۷/۱۳ سانتی متر، ۵ سانتی متر و ۱۹/۲۶ سانتی متر تعیین شد. همچنین کمترین مقدار تعداد برگ، ارتفاع ساقه، قطر و طول بلال مربوط به تیمار FD به ترتیب برابر با مقادیر ۸/۵ عدد، ۱۶۶/۷۸ سانتی متر، ۴/۱۱ سانتی متر و ۱۷/۱۵ سانتی متر به دست آمدند. براساس نتایج مقایسه میانگین می توان 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 می توان اظهار داشت که اثر عمق ایستابی بین تیمارهای CD50 و CD-In دارای اختلاف معنی دار نبود، ولی در تیمارهای CD-Var و FD اختلاف معنی دار بود. همچنین اختلاف معنی داری بین تیمارهای FD و CD-In در تعداد برگ به دست نیامد. به طور کلی می توان 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 به ترتیب در جایگاه دوم تا چهارم قرار گرفتند و تأثیر تیمار CD-Var بر عملکرد گیاه ذرت اختلاف معنی داری با سایر تیمارها داشت.

مقایسه میانگین ها در کشت پاییزه نشان داد که زهکشی کنترل شده بین تیمارهای مختلف در کارایی مصرف آب، اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد ایجاد کرده است. زهکشی کنترل شده به صورت معنی داری 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 میلی متر و کمترین تأثیر مربوط به تیمار FD به میزان ۸/۲۷ کیلوگرم در هکتار بر میلی متر بود. تیمارهای CD50 و CD-In از منظر میزان کارایی مصرف آب به ترتیب پس از تیمار CD-Var و قبل از تیمار FD قرار گرفتند.

جوانی جونی و همکاران (۱۳۹۷) تأثیر زهکشی کنترل شده بر دبی زهاب، سطح ایستابی و بهره وری آب در دشت مغان را با اجرای زهکشی کنترل شده در دو حالت سطح ایستابی متغیر (CD_{th}) و سطح کنترل ثابت با عمق ۷۰ سانتی متر (CD70) و مقایسه آن با زهکشی آزاد (FD) بررسی کردند. نتایج بیانگر افزایش عملکرد ذرت و گندم در سامانه زهکشی کنترل شده نسبت به زهکشی آزاد بود. در این پژوهش میزان افزایش عملکرد گیاه ذرت در دو تیمار

کنترل سطح ایستابی در حالت متغیر (CD_{th}) و سطح ایستابی ثابت با عمق ۷۰ سانتی متر (CD70) به ترتیب به میزان ۲۴/۹ و ۱۹/۱ درصد و میزان افزایش عملکرد دانه گندم به ترتیب برابر با ۴۱/۳ و ۲۶/۶ درصد نسبت به زهکشی آزاد (FD) گزارش شد. یافته های راموسکا و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که زهکشی کنترل شده باعث افزایش عملکرد محصول به میزان ۱۰ درصد و در پژوهش شان و همکاران (۲۰۲۰) افزایش عملکرد تحت تأثیر زهکشی کنترل شده ۱۵ درصد بود. این نتایج مؤید این مطلب است که سامانه زهکشی کنترل شده در افزایش عملکرد محصول مؤثر است.

نتیجه گیری

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر زهکشی کنترل شده بر روی غلظت آهن در زهاب خروجی و جذب آن در اندام های گیاه ذرت در رقم سینگل کراس ۶۴۷ در کشت بهاره و رقم سینگل کراس ۷۰۴ در کشت پاییزه انجام شد. نتایج نشان داد زهکشی کنترل شده اثر معنی داری بر میزان غلظت در زهاب خروجی، عملکرد گیاه، غلظت عنصر آهن در گیاه و خاک و کارایی مصرف آب دارد. براساس داده های به دست آمده، در تیمار CD-Var به دلیل تداوم ماندگاری آب در داخل خاک و ایجاد شرایط بی هوازی، غلظت آهن در خروجی زهکش زیرزمینی بیشتر بوده و در طول دوره رشد غلظت آن در زهاب روند افزایشی داشته و این روند با شیب بیشتری نسبت به 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 دوره رشد بسیار ملایم بود. براساس نتایج، هرچه نگاه داشت آب در مجاورت ناحیه توسعه ریشه طولانی تر باشد، عملکرد اجزای گیاه بیشتر خواهد بود و فراهمی عناصر در دسترس گیاه بیشتر در نتیجه غلظت عناصر در اندام های گیاه بیشتر خواهد بود. به طور کلی می توان گفت زهکشی کنترل شده از یک طرف با حفظ شرایط مطلوب رطوبتی در منطقه ریشه باعث افزایش عملکرد گیاه و کارایی مصرف آب می شود و از طرف دیگر به دلیل ایجاد شرایط اشباع خاک در مدت زمان بیشتر و به تبع آن فراهم آوردن شرایط مناسب

۶. جوانی جونی ح. لیاقت ع. حسن اقلی ع. و نظری ب. ۱۳۹۷. تأثیر زهکشی کنترل شده بر دبی زهاب، سطح ایستابی و بهره‌وری آب در دشت مغان. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۹(۱): ۲۰۷-۲۱۹.
۷. ذلیکانی ز. و شاه نظری 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. رونبایی ن. و پرویزی مساعد ح. ۱۳۹۵. بررسی میزان فلزات سنگین در قسمت‌های مختلف برخی از سبزیجات مصرفی شهر کرج. مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران. ۹(۲): ۱۷۱-۱۸۴.
۹. کلباسی م. و حسین پور ع. ۱۳۷۶. اثر مانداب شدن 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 (مجله 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. مجله 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

درجهت حلالیت آهن دوظرفیتی خاک، امکان دسترسی بیشتر گیاه برای جذب آهن توسط اندام‌های هوایی گیاه را به وجود می‌آورد؛ اما نکته‌ای که نباید از آن غافل بود آن است که سامانه زهکشی کنترل شده به دلیل ایجاد شرایط ماندابی در محیط خاک، باعث افزایش آهن دوظرفیتی در زیر سطح ایستابی می‌شود و پس از ورود به داخل شبکه 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 محدوده پتانسیل کم قرار گرفت. بدین ترتیب سامانه زهکشی کنترل شده با افزایش پتانسیل تشکیل گل‌اخرا، احتمال گرفتگی لوله 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. کمیته 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. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۳۵۹ ص.
۳. امامی ع. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه. تهران: انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب. ۲۰۲ ص.
۴. بشارتی ج. صالح راستین ن. و فلاح ع. بررسی کارایی کود بیولوژیک حاوی میکرواورگانسیم‌های اکسیدکننده گوگرد در تأمین آهن مورد نیاز ذرت. همایش خاک، محیط زیست 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.

- 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 Kladviko 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 Golesefidi 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.
 - 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 Aminloo 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*.