بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده کشاورزی
گروه علوم خاک

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته علوم خاک- گرایش شیمی و حاصلخیزی خاک

عنوان پایان‌نامه

تعیین شکل‌های آهن و روابط آن‌ها با جذب آهن و شاخص‌های رشد ذرت در برخی خاک‌های استان آذربایجان شرقی

استاد راهنما

دکتر عادل ریحانی تبار

استاد مشاور

دکتر شاهین اوستان

پژوهشگر

ندا پاشاپور

بهمن ۱۳۹۳

تقدیم به:

پدر و مادرم

و

همسر عزیزم

تقدیم به:

اساتید راهنمای فرزانه و گرانقدرم

دکتر عادل ریحانی تبار

و

دکتر شاهین اوستان

تشکر و قدردانی

سپاس بیکران خداوند را که توفیق انجام پایان نامه حاضر را فراهم نمود. بدینوسیله از تلاش ها و راهنمایی های استاد گرانقدر و ارجمندم جناب آقای دکتر عادل ریحانی تبار به خاطر تمامی زحماتی که در انجام مراحل این تحقیق متحمل شده اند، بسیار ممنون و سپاسگزارم.

از مشاورت های دلسوزانه استاد ارجمندم جناب آقای دکتر شاهین اوستان به جهت مساعدت های ایشان در انجام این تحقیق بسیار ممنون و متشکرم.

از استاد گرامی جناب آقای دکتر نصرت اله نجفی که زحمت باز خوانی و داوری پایان نامه را بر عهده داشتند، کمال امتنان و تشکر را دارم.

از اساتید محترم گروه به ویژه آقایان دکتر جعفرزاده، دکتر نیشابوری، دکتر علی اصغرزاد، دکتر احمدی که در طول دوره تحصیل از محضرشان کسب علم نموده ام کمال قدردانی را دارم.

از کارشناسان محترم آزمایشگاه آقایان مهندس عمارت پرداز، مهندس صادق زاده، مهندس لطف الهی و مهندس اسفهلان کمال تشکر را دارم.

از تلاش ها و مساعدت های صمیمانه دوستان عزیزم آقای مهندس کمال خلخال و خانم مهندس منیره عیدی، صوفیا جوادی و سایر دوستان خوبم در تمامی مراحل این تحقیق بسیار متشکر و سپاسگزارم.

در پایان از زحمات پدر و مادرم و همسرم که، همواره یار و یاورم بوده اند تقدیر نموده و پایان نامه را به ایشان تقدیم می کنم.

نام خانوادگی دانشجو: پاشاپور **نام: ندا**

عنوان: تعیین شکل‌های آهن و روابط آن‌ها با جذب آهن و شاخص‌های رشد ذرت در برخی خاک-های استان آذربایجان شرقی

استاد راهنما: دکتر عادل ریحانی‌تبار

استاد مشاور: دکتر شاهین اوستان

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** علوم خاک **گرایش:** شیمی و حاصلخیزی خاک

دانشگاه: تبریز **دانشکده:** کشاورزی

تاریخ فارغ‌التحصیلی: ۱۳۹۳/۱۱/۲۰ **تعداد صفحات:** ۱۱۷

واژگان کلیدی: آهن قابل جذب، ذرت، شکل‌های شیمیایی آهن، عصاره‌گیری دنباله‌ای، ویژگی‌های خاک

چکیده

آهن یکی از مهم‌ترین عناصر کم مصرف برای تمام گیاهان است که قابلیت دسترسی آن در خاک‌های آهکی کم می‌باشد. شناخت شکل‌های مختلف آهن در خاک و تعیین مقدار هر کدام از آن‌ها، اطلاعات مفیدی برای ارزیابی وضعیت آهن و نیز حاصلخیزی و شیمی خاک در اختیار می‌گذارد. به منظور کسب چنین اطلاعاتی، مقدار و توزیع آهن در شکل‌های مختلف در ۲۱ نمونه مرکب خاک استان آذربایجان شرقی به روش عصاره‌گیری دنباله‌ای تغییر یافته سینگ و همکاران (۱۹۸۸) تعیین و رابطه این شکل‌ها با یکدیگر و با ویژگی‌های خاک و صفات رشد گیاه ذرت مطالعه گردید. دامنه تغییرات آهن معادل کل به روش اسپوزیتو (۱۹۸۲) بین ۵۰/۸۴ - ۱۵/۲۵ گرم بر کیلوگرم خاک با میانگین ۲۹/۸۴ گرم بر کیلوگرم و به روش Aqua-Regia (۲۰۰۱) بین ۴۷/۷۵ - ۱۹/۵۴ گرم بر کیلوگرم با میانگین ۳۰/۳۸ گرم بر کیلوگرم خاک متغیر بود. غلظت شکل‌های مختلف آهن به ترتیب : آهن باقی-مانده (Fe-Res) > آهن پیوسته به اکسیدهای آهن بلوری (Fe-CFeOX) > آهن پیوسته به اکسیدهای آهن بی شکل (Fe-AFeOX) > آهن پیوسته به اکسیدهای منگنز(Fe-MnOX) > آهن پیوسته به مواد آلی (Fe-OM) > آهن تبادلی (Fe-Ex) ≤ آهن کربناتی (Fe-Car) بود. آهن قابل جذب خاک به روش DTPA با pH، درصد کربن آلی، درصد رس و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک رابطه مثبت و معنی‌داری داشت. pH خاک با آهن پیوسته به اکسیدهای آهن بلوری، کربنات کلسیم معادل فعال با آهن پیوسته به اکسیدهای منگنز و ظرفیت تبادل کاتیونی با آهن تبادلی، آهن باقی‌مانده و آهن کل همبستگی-های معنی‌داری داشتند. درصد رس با آهن تبادلی، آهن پیوسته به اکسیدهای منگنز، آهن باقی‌مانده و آهن کل، درصد سیلت با آهن پیوسته به مواد آلی و آهن پیوسته به اکسیدهای منگنز همبستگی-های معنی‌داری داشتند. از میان شکل‌های آهن Fe-Ex، Fe-CFeOX و Fe-Res رابطه مثبت معنی‌داری با آهن قابل جذب داشتند که در بین آن‌ها Fe-CFeOX بالاترین ضریب همبستگی (r=۰/۷۹۶**) را داشت. در این تحقیق بین شکل‌های مختلف آهن همبستگی‌های معنی‌داری بدست آمد که احتمالاً بیانگر یک رابطه پویا بین آن‌ها می‌باشد. شکل‌های Fe-Ex، Fe-OM، Fe-CFeOX، Fe-AFeOX، Fe-Res و آهن قابل جذب رابطه معنی‌داری با ماده خشک بخش هوایی و ریشه، آهن فعال، شاخص کلروفیل و جذب آهن بخش هوایی ذرت داشتند. مطالعات آماری نشان داد که شکل تبادلی آهن،

پیوسته به اکسیدهای آهن بی‌شکل و آهن باقی‌مانده رابطه قوی و معنی‌داری با تمام پارامترهای رشد بخش هوایی گیاه ذرت (ماده خشک، غلظت آهن فعال و جذب آهن در بخش هوایی و ریشه) داشتند و در تمام معادلات رگرسیونی وارد شدندکه این امر نشان می‌دهد احتمالاً این شکل‌ها منبع آهن قابل جذب گیاه ذرت در خاک‌های مورد مطالعه در شرایط این آزمایش گلخانه‌ای بودند.

فهرست مطالب

۱- ۱ آهن..... ۴
۱-۱- ۱ نقش آهن در تغذیه گیاهان ۴
۱-۱-۱-۱ آهن و متابولیسم آنزیم ها و پروتئین ها..... ۴
۱-۱-۱-۲ نقش آهن در ساخت کلروفیل ۵
۱-۱-۱-۳ نقش آهن در تنفس گیاه..... ۵
۱-۱-۱-۴ نقش آهن در سوخت‌وساز اسیدهای آلی..... ۵
۱-۱-۱-۵ نقش آهن در سوخت‌وساز و احیای سایر ملکول های زیستی ۵
۱-۱-۲ نشانه ها و پیامدهای کمبود آهن در گیاهان ۶
۱-۱-۲-۱ تغییرات بیوشیمیایی..... ۶
۱-۱-۲-۲ فعالیت فتوسنتزی..... ۶
۱-۱-۲-۳ متابولیسم نیتروژن..... ۷
۱-۱-۲-۴ اسیدهای آمینه..... ۷
۱-۱-۲-۵ دیگر تغییرات فیزیولوژیکی..... ۷
۱-۱-۳ جذب و انتقال آهن در گیاه ۷
۱-۱-۴ استراتژی های جذب آهن ۹
۱-۱-۵ پراکنش جغرافیایی آهن در خاک ۱۲
۱-۱-۶ ترکیبات آهن در خاک..... ۱۲
۱-۱-۶-۱ اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن ۱۲
۱-۱-۶-۲ کانی های رسی و سیلیکات های آهن دار، کربنات ها و سولفیدها ۱۴
۱-۱-۶-۳ آهن متصل به ترکیبات آلی..... ۱۴
۱-۱-۷ عوامل موثر بر قابلیت جذب آهن ۱۴
۱-۱-۷-۱ pH خاک..... ۱۴
۱-۱-۷-۲ کربنات کلسیم..... ۱۵
۱-۱-۷-۳ بیکربنات..... ۱۵
۱-۱-۷-۴ پتانسیل ریداکس..... ۱۶
۱-۱-۷-۵ رطوبت خاک..... ۱۶
۱-۱-۷-۶ مواد آلی..... ۱۷

۱-۱- ۸ عصاره گیری دنباله ای و روش های آن ۱۷
۱-۱-۸-۱ عصاره گیرهای مورد استفاده در برخی روش های عصاره گیری دنباله ای آهن ۱۸
۱-۱- ۹ ارتباط ویژگی های خاک با آهن قابل جذب و شکل های آهن در خاک ۲۴
۱-۱-۱۰ توزیع آهن خاک در بین شکل های مختلف ۲۶
۱-۱-۱۱رابطه بین غلظت آهن کل، آهن فعال و شاخص کلروفیل برگ در گیاه ۲۷
۱-۲ ذرت ۲۹
۱-۲-۱ گیاه شناسی ۲۹
۱-۲-۲ اهمیت کاشت ذرت در ایران ۲۹
۱-۲-۳ نیاز غذایی ذرت ۲۹
۱-۲-۳-۱ سینگل کراس۷۰۴ (SC 704). ۳۰
۲-۱ نمونه برداری ۳۲
۲-۲ اندازه گیری ویژگی های خاک ۳۲
۲-۲-۱pH ۳۲
۲-۲-۲ EC ۳۳
۲-۲-۳ بافت خاک ۳۳
۲-۲-۴ اندازه گیری درصد اشباع (SP) ۳۵
۲-۲-۵ کربن آلی ۳۵
۲-۲-۶ کربنات کلسیم معادل (CCE) ۳۶
۲-۲-۷ اندازه گیری کربنات کلسیم معادل فعال (ACCE) ۳۷
۲-۲-۸ اندازه گیری ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) ۳۹
۲-۲-۹ اندازه‌گیری عناصر کم مصرف قابل جذب گیاه در خاک ۴۰
۲-۲-۱۰ اندازه گیری پتاسیم قابل جذب خاک ۴۱
۲-۲-۱۱ فسفر قابل جذب خاک (فسفر اولسن) ۴۱
۲-۳ عصاره گیری دنباله ای آهن به روش تغییریافته سینگ و همکاران (۱۹۸۸) ۴۲
۲-۳-۱ آهن تبادلی Fe-EX ۴۲
۲-۳-۲ شکل کربناتی آهن Fe-Car ۴۳
۲-۳-۳ آهن پیوسته به مواد آلی Fe-OM ۴۳
۲-۳-۴ آهن پیوسته به اکسیدهای منگنز Fe-MnOX ۴۴
۲-۳-۵ آهن پیوسته به اکسیدهای آهن بی شکل Fe-AFeOX ۴۴

۲-۳-۶ آهن پیوسته به اکسیدهای آهن بلوری Fe-CFeOX ۴۴
۲-۳-۵ آهن باقیمانده Fe-Res. ۴۵
۲-۳-۸ اندازه گیری آهن کل..... ..... ۴۵
۲-۳-۸-۱ روش Aqua Regia (قابل استخراج با مخلوط اسید کلریدریک و اسید نیتریک) ۴۵
۲-۳-۸-۲ روش اسپوزیتو و همکاران(۱۹۸۲)..... ۴۵
۲-۴ آزمایش گلخانه ای..... ..... ۴۶
۲-۴-۱ شرایط رشد گیاه در اتاق رشد ۴۶
۲-۴-۲ آبیاری گلدان ها..... ..... ۴۶
۲-۵ شاخص کلروفیل برگ‌ها..... ..... ۴۷
۲-۶ اندازه گیری آهن فعال ۴۷
۲-۶-۱روش ارتوفنانترولین (o-phenanthroline ۱۰-۱) ۴۷
۲-۶-۲ روش اسید کلریدریک ۱ نرمال ۴۹
۲-۷ قطر و ارتفاع گیاه..... ..... ۴۹
۲-۸ وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه ۴۹
۲-۹ استفاده از روش خشک‌سوزانی برای تعیین غلظت عناصر معدنی ۴۹
۲-۱۰ تعیین مقدار فسفر جذب شده در بخش هوایی و ریشه ۵۰
۲-۱۰-۱ تهیه معرف نیتروونادو مولیبدات..... ۵۰
۲-۱۰-۲ تهیه محلول های استاندارد..... ۵۰
رنگی کردن عصاره های گیاهی و قرائت مقدار آن ها..... ۵۱
۲-۱۱تعیین مقدار پتاسیم و سدیم جذب شده در بخش هوایی و ریشه ذرت ۵۱
۲-۱۲ تعیین غلظت آهن کل و مقدار جذب آهن در بخش هوایی و ریشه..... ۵۱
۳-۱ ویژگی های خاک های مورد مطالعه..... ۵۳
۳-۲ همبستگی خطی بین برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه..... ۶۰
۳-۲-۱ همبستگی آماری بین کربنات کلسیم معادل و کربنات کلسیم معادل فعال..... ۶۱
۳-۳ توزیع آهن معادل کل ۶۲
۳-۴ توزیع شکل های آهن در خاکهای مورد مطالعه ۶۴
۳-۵ همبستگی ویژگی های خاک با آهن قابل جذب ۶۷
۳-۶ همبستگی ویژگی های خاک با شکل های آهن ۶۹
۳-۷ همبستگی شکل های آهن خاک ۷۲

۳-۸ همبستگی آهن قابل جذب با شکل های آهن خاک ۷۴
۳-۹ همبستگی صفات رشد گیاه ذرت با آهن قابل جذب و شکل های آهن ۷۵
۳-۹-۱ همبستگی ماده خشک بخش هوایی و ریشه با آهن قابل جذب و شکل های آهن ۷۸
۳-۹-۲ همبستگی بین غلظت آهن کل، آهن فعال و شاخص کلروفیل متری در برگ ذرت ۸۰
۳-۹-۳ همبستگی غلظت آهن کل بخش هوایی و ریشه ذرت با آهن قابل جذب و شکل های آهن ۸۳
۳-۹-۴ همبستگی غلظت آهن فعال و شاخص کلروفیل با آهن قابل جذب و شکل های آهن خاک ۸۴
۳-۹-۵ همبستگی مقدار جذب آهن بخش هوایی با آهن قابل جذب و شکل های آهن ۸۵
۳-۱۰ همبستگی خطی بین برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و شاخص‌های رشد گیاه ۸۷
نتیجه گیری کلی ۹۰
پیشنهادات ۹۱
منابع ۹۲

فهرست جداول

جدول ۱-۱- مقدار آهن کل در محیط های مختلف..... ۲۶
جدول ۳-۱- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی ۴۰ نمونه خاک ۵۴
جدول ۳-۲- توصیف آماری برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی ۴۰ نمونه خاک ۵۶
جدول ۳-۳- توصیف آماری برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی ۲۱ خاک مورد استفاده ۵۸
جدول ۳-۴- درصد رطوبت وزنی معادل ظرفیت مزرعه و ظرفیت تبادل کاتیونی ۵۹
جدول ۳-۵- همبستگی خطی بین برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی ۲۱ خاک مورد مطالعه..... ۶۰
جدول ۳-۶- توزیع شکل های آهن در خاکهای مورد مطالعه ۶۶
جدول ۳-۷- ضرایب همبستگی ساده (r) بین شکل های مختلف آهن با ویژگی های خاک ۷۰
جدول ۳-۸- ماتریس ضرایب همبستگی خطی (r) شکل های شیمیایی آهن ۷۳
جدول ۳-۹- ضریب همبستگی خطی (r) آهن قابل جذب (DTPA-Fe) با شکل های آهن خاک ۷۴
جدول ۳-۱۰- نتایج وزن ماده خشک، غلظت و جذب آهن بخش هوایی گیاه ذرت ۷۶
جدول ۳-۱۱- نتایج وزن ماده خشک، غلظت و جذب آهن بخش ریشه گیاه ذرت ۷۷
جدول ۳-۱۲- توصیف آماری شاخص های رشد گیاه ذرت ۷۸
جدول ۳-۱۳- ضرایب همبستگی ماده خشک بخش هوایی و ریشه با آهن قابل جذب و شکلهای آهن.. ۷۸
جدول ۳-۱۴ - توصیف آماری آهن کل، آهن فعال و شاخص کلروفیل ۸۰
جدول ۳-۱۵- ضرایب همبستگی بین مقادیر شاخص کلروفیل، غلظت آهن کل و غلظت آهن فعال گیاه ۸۲
جدول ۳-۱۶- ضرایب همبستگی غلظت آهن کل گیاه با آهن قابل جذب و شکل های آهن خاک..... ۸۴
جدول ۳-۱۷- ضرایب همبستگی آهن فعال و شاخص کلروفیل با آهن قابل جذب و شکل های آهن..... ۸۵
جدول ۳-۱۸- ضرایب همبستگی مقدار جذب آهن با آهن قابل جذب و شکل های آهن خاک ۸۶
جدول ۳-۱۹- همبستگی خطی بین برخی ویژگی های خاک با برخی از شاخص های رشد گیاه ۸۸

فهرست شکل‌ها

شکل۱-۱- مدل انتقال آهن در ریشه.....۸
شکل۱-۲- پاسخ ریشه به کمبود آهن در دو لپه ای و غیر گرامینه تک لپه‌ای.....۱۰
شکل ۱-۳- مدلی برای پاسخ ریشه به کمبود آهن در گونه‌های گرامینه.....۱۱
شکل ۱-۴- فعالیت Fe^{3+} در حالت تعادل با چند گونه اکسید آهن.....۱۳
شکل ۱-۵- روش عصاره‌گیری دنباله‌ای برای عناصر کم مصرف در خاک به روش شومن.....۲۱
شکل ۱-۶- روش عصاره‌گیری دنباله‌ای اسپوزیتو.....۲۲
شکل ۱-۷- عصاره‌گیری دنباله‌ای روش تغییریافته سینگ.....۲۳
شکل ۲-۱- نقشه استان آذربایجان شرقی و مکان های نمونه برداری ۳۲
شکل ۲-۲- نمایی از اندازه گیری کلروفیل برگ ذرت با کلروفیل سنج ۴۷
شکل ۲-۳- نمایی از اندازه گیری آهن فعال گیاه به روش ارتوفنانترولین ۴۸
شکل ۳-۱ نمودار انتخاب ۲۱ خاک براساس تجزیه کلاستر ۵۷
شکل ۳-۲- رابطه کربنات کلسیم معادل و کربنات کلسیم معادل فعال ۶۱
شکل۳-۳- رابطه آهن کل اندازه گیری شده به روش اسید نیتریک ۴ مولار و روش Aqua-Regia.....۶۳
شکل ۳-۴- رابطه مجموع شکل های آهن و آهن کل اندازه گیری شده با روش Aqua-Regia.....۶۳
شکل ۳-۵- رابطه مجموع شکل های آهن و آهن اندازه گیری شده با اسید نیتریک ۴مولار.....۶۳
شکل ۳-۶- مقادیر نسبی شکل های شیمیایی آهن در خاکهای مورد مطالعه (درصد) ۶۵
شکل ۳-۷- رابطه آهن قابل جذب با pH.....۶۸
شکل ۳-۸- رابطه آهن قابل جذب با درصد کربن آلی.....۶۸
شکل ۳-۹- رابطه آهن قابل جذب با درصد رس ۶۸
شکل ۲-۱- رابطه آهن قابل جذب با ظرفیت تبادل کاتیونی.....۶۸
شکل ۳-۱۱- رابطه آهن تبادلی و درصد رس ۷۱
شکل ۳-۱۲-رابطه آهن تبادلی و درصد رس بعد از حذف داده پرت.....۷۱
شکل ۳-۱۳-رابطه آهن کربناتی و درصد کربن آلی ۷۱
شکل ۳-۱۴-رابطه آهن کربناتی و درصد کربن آلی بعد از حذف داده پرت.....۷۱
شکل ۳-۱۵- رابطه آهن پیوسته به مواد آلی با درصد کربن آلی..... ۷۱
شکل ۳-۱۶-رابطه درصد کربن آلی و درصد رس.....۷۱

شکل ۳-۱۷- رابطه خطی آهن پیوسته به اکسیدهای منگنز و ACCE%..... ۷۲
شکل ۳-۱۸- رابطه لگاریتمی آهن پیوسته به اکسیدهای منگنز و ACCE%..... ۷۲
شکل ۳-۱۹- رابطه آهن باقیمانده و درصد رس ۷۲
شکل ۳-۲۰- رابطه آهن معادل کل و درصد رس..... ۷۲
شکل ۳-۲۱- رابطه آهن تبادلی با آهن قابل جذب..... ۷۵
شکل ۳-۲۲-رابطه آهن پیوسته اکسیدهای آهن بلوری با آهن قابل جذب..... ۷۵
شکل ۳-۲۳- رابطه آهن باقیمانده با آهن قابل جذب ۷۵
شکل ۳-۲۴- رابطه آهن فعال اندازه گیری شده به روش ارتوفنانترولین با شاخص کلروفیل ۸۲
شکل ۳-۲۵- رابطه آهن فعال اندازه گیری شده به روش HCl با شاخص کلروفیل ۸۲
شکل ۳-۲۶- رابطه آهن فعال اندازه گیری شده با ارتوفنانترولین و HCl ۸۳
شکل ۳-۲۷- رابطه آهن فعال اندازه گیری شده با ارتوفنانترولین و HCl بعد از حذف داده پرت..... ۸۳
شکل ۲-۲۸- همبستگی درصد رطوبت اشباع با آهن فعال گیاه (ارتوفنانترولین)..... ۸۸
شکل ۲-۲۹- همبستگی درصد رطوبت اشباع با آهن فعال گیاه بعد از حذف داده پرت..... ۸۸
شکل ۲-۳۰- همبستگی درصد رطوبت اشباع با وزن تر بخش هوایی..... ۸۹
شکل ۲-۳۱- همبستگی درصد رطوبت اشباع با وزن خشک بخش هوایی..... ۸۹

مقدمه

آهن یکی از عناصر اصلی تشکیل‌دهنده پوسته جامد زمین (تقریباً ۵/۱ درصد) است و میانگین آن در خاک‌ها ۳/۸ درصد گزارش شده است (لیندزی، ۱۹۷۹). تقریباً همه جانداران برای بقای خود به آهن نیاز دارند. به دلیل توانایی آهن در تبادل الکترون، آهن به عنوان کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌ها که نقش مهمی در تنفس، بیوسنتز DNA و متابولیسم نیتروژن دارند به کار گرفته می‌شود. آهن برای فتوسنتز و بیوسنتز کلروفیل ضروری می‌باشد (جانگ و همکاران، ۲۰۰۹). از میان عناصر مورد نیاز گیاهان کمبود آهن به عنوان عنصر کم‌مصرف، بیش‌ترین محدودیت را برای محصولات کشاورزی سرتاسر جهان دارد (به نقل از کاظمی و همکاران، ۱۳۹۱). در بیشتر نقاط کشور ما، مهم‌ترین عاملی که موجب کمبود آهن می‌شود، زیادی بی‌کربنات در محلول خاک است. بسیاری از خاک‌های ایران دارای مقدار فراوانی آهک هستند و میزان کربنات کلسیم معادل (CCE) حتی به بیش از ۷۰۰ گرم بر کیلوگرم هم می‌رسد (ادهمی و همکاران، ۲۰۰۶). چالشی که گیاهان در خاک‌های آهکی با آن مواجه هستند، محدودیت دسترسی به آهن است. با تعیین شکل‌های شیمیایی ویژه عناصر در خاک می‌توان وضعیت تحرک و فراهمی آنها را ارزیابی نمود. شکل‌های مختلف آهن در دراز مدت می‌توانند به یکدیگر تبدیل شوند، لذا آنها می‌توانند نقش مهمی در تعیین قابلیت استفاده آهن برای گیاهان داشته باشند. بنابراین، برای درک بهتر شیمی آهن از عصاره‌گیری دنباله‌ای و تعیین شکل‌های مختلف شیمیایی آن استفاده می‌شود. با این روش می‌توان منبع، نحوه واکنش، زیست فراهمی آهن در خاک‌های کشاورزی و پویایی و حرکت آن به سمت پایین در خاک‌های آلوده را پیش‌بینی کرد (سینگ و همکاران، ۱۹۸۸). همچنین با استفاده از روش عصاره‌گیری دنباله‌ای در خاک‌های کشاورزی، اشکال محلول و قابل تبادل که نسبت به اجزای محبوس و باقی‌مانده، برای گیاه سریع‌تر قابل دسترس می‌باشند، جداسازی می‌شوند (زیان، ۲۰۰۳). با مشخص کردن روابط بین شکل‌های مختلف آهن و ویژگی‌های خاک، تمهیدات لازم برای تغییر برخی پارامترهای خاکی با هدف افزایش قابلیت استفاده آهن را می‌توان تدارک دید. از سوی دیگر، تناسب و کارآیی روش‌های عصاره‌گیری دنباله‌ای در پیش‌بینی زیست فراهمی عناصر عموماً از طریق مقایسه با مقادیر عناصر در

قسمت‌های مختلف گیاه به ویژه در بخش هوایی گیاهان ارزیابی می‌گردد (چـایگنون و همکـاران، ۲۰۰۳؛ برون و همکاران، ۲۰۰۱). همچنین این اطلاعات در تعیین نوع عصاره‌گیر آهن قابل جذب خاک هم مهـم هستند (بخشی و همکاران، ۱۳۸۲). با توجه به مطالب فوق اهداف این پژوهش عبارتند از:

- ارزیابی وضعیت آهن معادل کل و توزیع شکل‌های مختلف آهن در برخی خاک‌های استان آذربایجان شرقی؛
- تعیین همبستگی بین شکل‌های مختلف آهن با برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه؛
- تعیین ارتباط شکل‌های مختلف آهن با آهن استخراج شده توسط روش DTPA؛
- تعیین ارتباط شکل‌های مختلف آهن در خاک با برخی پاسخ‌های گیاه ذرت .

فصل اول

بررسی منابع

۱-۱ آهن

۱-۱-۱ نقش آهن در تغذیه گیاهان

۱-۱-۱-۱ آهن و متابولیسم آنزیم‌ها و پروتئین‌ها

یکی از مهم‌ترین نقش‌های آهن در گیاهان، نقش آن در فعالیت آنزیم‌ها به عنوان فعال کننده می‌باشد. به دلیل این که اسیدهای نوکلئیک حاوی مقادیر قابل توجهی آهن و دیگر عناصر سنگین می‌باشند، آهن نقش ضروری در متابولیسم اسیدهای نوکلئیک و پروتئین دارد. از میان پروتئین‌های مختلف، پروتئین‌های کلروفیل شدیداً تحت تأثیر کمبود آهن قرار می‌گیرد و در نتیجه کمبود آهن منجر به عدم تشکیل و یا کاهش ساخت کلروفیل می‌شود (بیندرا، ۱۹۸۳). به طور کلی دو گروه اصلی پروتئین‌های آهن‌دار وجود دارد. گروه اول پروتئین‌های هم [1] یا هموپروتئین‌ها هستند که حاوی آهن در اسکلت پورفیرین می‌باشد و تعداد زیادی از آنزیم‌ها مانند سیتوکروم، کاتالازها، پراکسیدازها، سیتوکروم اکسیدازها و لگ هموگلوبین را تشکیل می‌دهد (سندمن و بوگر، ۱۹۸۳). سیتوکروم‌ها از اجزا مهم احیای آهن در کلروپلاست و میتوکندری می‌باشند که فعالیت آن‌ها با کمبود آهن کاهش می‌یابد، به طوری که فعالیت کاتالاز برگ شاخص مناسبی برای وضعیت تغذیه‌ای آهن می‌باشد. لگ-هموگلوبین از دیگر پروتئین‌های هم می‌باشد که در گره بقولات یافت می‌شود و وظیفه رساندن و تأمین اکسیژن برای تنفس باکتریوئیدهای موجود در همزیستی را بر عهده دارد (اورکات و نیلسن، ۲۰۰۰). گروه دوم پروتئین‌های آهن‌دار شامل پروتئین‌های آهن – گوگرد می‌باشد. در سیستم‌های اکسید و احیاء فردوکسین بیشترین اهمیت را دارد. همچنین فردوکسین در فتوسنتز و احیای نیتریت به عنوان یک دهنده و گیرنده الکترون شرکت می‌کند. سایر پروتئین‌های دارای آهن – گوگرد در چرخه اسیدسیتریک، تنفس، واکنش‌های فتوسنتز، احیای SO_4^{2-}، SO_3^{2-} و تثبیت N_2 دخالت دارند (مارشنر، ۱۹۹۵). البته گروه سومی نیز شامل پروتئین‌های حاوی آهن هستند که کمتر شناخته شده-اند. آهن علاوه بر ایفای نقش در پروتئین‌های هم و آهن – گوگرد، در تعداد زیادی از آنزیم‌ها از جمله سوپر اکسید دیسموتاز نقش دارد. به طور کلی سه نوع سوپر اکسید دیسموتاز شامل ۱- سوپر اکسید دیسموتاز حاوی روی و مس، ۲- سوپر اکسید دیسموتاز حاوی آهن، ۳- سوپر اکسید دیسموتاز حاوی منگنز وجود دارد؛ اما هر سه نوع از این سوپر اکسید دیسموتازها تبدیل رادیکال سوپر اکسید (O^{2-}) به هیدروژن پراکسید و اکسیژن را بر عهده دارند (سندمن و بوگر، ۱۹۸۳). از دیگر آنزیم‌های حاوی آهن می‌توان به آمینولوولینیک اسید سنتتاز [2] که کوپروفیرینوژن اکسیداز [1] را فعال می‌نماید و نقشی در

[1] Heme proteins
[2] Aminolevulinic acid synthetase

ساخت اسیدهای ریبونوکلئیک دارد اشاره نمود (سندمن و بوگر، ۱۹۸۳).

۱-۱-۱-۲ نقش آهن در ساخت کلروفیل

آهن برای ساخت کلروفیل ضروری است و در بسیاری از فرآیندهای بیوشیمیایی به عنوان ناقل الکترون دخالت دارد. عمل بیوسنتز کلروفیل با تشکیل آمینولوولینیک اسید[۲] (ALA) از گلیسین و سوکسینل کوآنزیم [۳] (شکل فعال شده اسید سوکسینیک) شروع می‌شود. سپس دو مولکول ALA به یکدیگر پیوسته ترکیبی به نام پورفوبیلی‌نوژن[۴] یا PBG که دارای یک حلقه پیرولی است به وجود می‌آورند. در این موقع چهار مولکول پورفوبیلی‌نوژن به صورت دایره‌ای به هم پیوسته و پس از خارج کردن NH_3 و کربوکسیلاسیون ترکیبی به نام کوپروپورفیرینوژن[۵] به وجود می‌آورند. سپس یک دکربوکسیلاسیون اکسیداتیو انجام شده و به پرتوپورفیرینوژن تبدیل می‌شود که آن هم پس از اکسایش به پرتووپورفیرین تبدیل می‌شود. ماده اخیر تحت تأثیرآنزیمی به نام منیزیم کاتالاز[۶] به یک اتم منیزیم پیوسته و ماده‌ای به نام منیزیم پروتوپورفیرین به وجود می‌آورد که پس از انجام متیلاسیون، اکسایش به پروتو کلروفید تبدیل می‌شود و نهایتاً پس از استری شدن و احیاء، کلروفیل a ایجاد میگردد (ابراهیم‌زاده، ۱۳۷۴).

۱-۱-۱-۳ نقش آهن در تنفس گیاه

سیتوکروم‌های b و c نقش مهمی در انتقال الکترون در فرآیند تنفس دارند. آهن در زنجیره الکترونی با اکسید و احیاء شدن به شکل فریک (Fe^{3+}) و فرو (Fe^{2+}) نقش خود را ایفا می‌کند. سیتوکروم‌ها همچنین در تنفس مرتبط با جذب یون‌ها توسط سلول‌ها مهم می‌باشند (بیندرا، ۱۹۸۳).

۱-۱-۱-۴ نقش آهن در سوخت‌وساز اسیدهای آلی

علاوه بر کلروفیل و آنزیم‌ها، تعدادی از اسیدهای آلی وجود دارد که آهن را در ترکیب خود به صورت تفکیک نشده نگه می‌دارندکه شامل اسیدهای هیدروکسی مونوکربوکسیلیک (استیک، گلوکونیک)، دی کربوکسیلیک (اکسالیک، مالونیک)، اسیدهای هیدروکسی دی کربوکسیلیک (تاراتاریک، مالیک و سیتریک) و اسیدهای آمینه می‌باشند (بیندرا، ۱۹۸۳).

۱-۱-۱-۵ نقش آهن در سوخت‌وساز و احیای سایر ملکول‌های زیستی

کمبود آهن منجر به کاهش قندها به ویژه قندهای احیایی و کوفاکتورهایی مانند ریبوفلاوین‌ها،

[1] Coprophyrinogen oxidase
[2] Aminolevulinic acid
[3] Succinyl Coenzym Acid
[4] Prophobilinogen
[5] Coproporphyrinogen
[6] Mg-Catalase

ویتامین‌ها و فلاوین و مونوکلئوتید (FMN)[1] می‌گردد (بیندرا، ۱۹۸۳).

۱-۱-۲نشانه‌ها و پیامدهای کمبود آهن در گیاهان

نشانه‌های کمبود آهن بیشتر در درختان میوه و در محصولات زراعی مانند ذرت یا سورگوم مشاهده می‌شود. نشانه‌های کمبود آهن نخست به صورت کلروز برگ‌های جوان اتفاق می‌افتد. به رغم کاهش غلظت کلروفیل، کلروز ناشی از کمبود آهن در برگ‌های جوان برگشت‌پذیر می‌باشد مگر آنکه لکه‌های نکروزه با کمبود شدید به وجود آمده باشند (سالاردینی، ۱۳۸۷). بر اثر کمبود آهن تقسیم سلولی متوقف و کاهش می‌یابد لذا رشد برگ‌ها دچار اختلال می‌گردد. از دیگر پیامدهای کمبود آهن می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

۱-۱-۲-۱ تغییرات بیوشیمیایی

یک رابطه‌ی بسیار نزدیک بین متابولیسم آهن و فعالیت آنزیم پراکسیداز وجود دارد و این رابطه به حدی است که برای پی بردن به وضعیت تغذیه‌ای آهن، فعالیت پراکسیداز مد نظر قرار می‌گیرد. مشاهده شده است که وقتی آهن به محلول غذایی اضافه می‌گردد مقدار آهن برگ ۲/۵ برابر افزایش می‌یابد ولی میزان فعالیت پراکسیداز ۱۱/۵ برابر افزایش می‌یابد (سمر و همکاران، ۱۳۸۹). پراکسیدازها در گیاهان فرآیندهای اکسیداتیو مرتبط با H_2O_2 را توسط احیاء Fe(III) به Fe(II) در حلقه پورفیرین[2] کاتالیز می‌نمایند. همچنین پراکسیدازهای متصل به دیواره سلولی در ریزودرم و آندودرم ریشه‌ها فراوان بوده و پلیمریزاسیون فنول‌ها به لیگینین را کاتالیز می‌نمایند. بر این اساس در صورت کمبود آهن فنول‌ها در ریشه‌ها تجمع پیدا می‌نمایند. کمبود آهن همچنین لیپیدی شدن ریشه‌ها را با کاهش فعالیت پراکسیداز ویژه سوبرین[3] کاهش می‌دهد (سمر و همکاران، ۱۳۸۹).

۱-۱-۲-۲ فعالیت فتوسنتزی

در برگ‌هایی که از کمبود آهن رنج می‌برند فعالیت فتوسنتزی کاهش می‌یابد. در برگ‌های خیلی جوان حتی وقتی کاملاً کلروزه باشند فعالیت فتوسنتزی اغلب همانند برگ‌های سالم است؛ اما این برگ‌ها مقدار نسبی بیشتری سلولز خام، ترکیبات محلول در آب، اجزای اسیدی و بازی (که شامل اسیدهای آلی و پروتئین‌ها هستند) و به میزان کمتری اجزای الکلی و بنزنی (شامل رنگدانه‌ها و قندهای محلول و ....) می‌سازند (بیندرا، ۱۹۸۳).

[1] Flavino Mono Nucleotide (FMN)
[2] Porophyin ring
[3] Suberin-specific proxidase

۱-۱-۲-۳ متابولیسم نیتروژن

در بهار برگ‌های کلروزه گیاه دارای نیتروژن بیشتری نسبت به برگ‌های سالم بوده و با شدت کلروز همبستگی دارد. علت این امر عدم سنتز کلروفیل و تجمع نیتروژن و در نتیجه کاهش رشد برگ‌های کلروزه و به علاوه کاهش فاکتور انتقال نیتروژن می‌باشد. برای نیتروژن محلول در آب تفاوت بین برگ-های کلروزه و سالم بیشتر بوده و میزان آن در برگ‌های سالم به میزان ۵ تا ۱۵ برابر کمتر از برگ‌های کلروزه می‌باشد. در شرایط کلروز در برگ‌ها متابولیسم نیتروژن مختل می‌شود (بیندرا، ۱۹۸۳).

۱-۱-۲-۴ اسیدهای آمینه

اسیدهای آمینه آزاد در گیاهان مبتلا به کلروز آهن تجمع پیدا می‌کند. در میان اسیدهای آمینه مختلف تجمع آرژنین غالب می‌باشد (بیندرا، ۱۹۸۳).

۱-۱-۲-۵ دیگر تغییرات فیزیولوژیکی

علاوه بر موارد فوق الذکر مواردی وجود دارد که در برگ‌های گیاهان کلروزه مشاهده می‌شود که به برخی از آنها در زیر اشاره می‌شود.

الف) ریبوفلاوین‌ها : مقدار ریبوفلاوین‌ها در گیاهان دچار کلروز آهن با افزایش میزان کلروز افزایش می‌یابد. تا آنجا که در برخی بقولات این میزان افزایش تا ۱۰۰۰ برابر بوده است.

ب) پلی‌فنول‌ها : در برگ‌های طبیعی درختان میوه، توزیع پلی‌فنول‌ها یکنواخت می‌باشد اما در برگ-های دچار کلروز آهن بافت‌های بین رگبرگی فاقد پلی‌فنول‌ها می‌باشند. تأمین آهن از طریق خاک یا تزریق آهن در رگبرگ‌ها منجر به تجمع پلی‌فنول‌ها و تشکیل کلروفیل می‌گردد.

ج) RNA : گزارش شده است که با سبز شدن برگ‌های کلروزه RNA پیام‌بر(mRNA) و RNA ریبوزومی(rRNA) ساخته می‌شود (بیندرا، ۱۹۸۳).

۱-۱-۳جذب و انتقال آهن در گیاه

انتقال آهن در پروفیل خاک بیشتر از طریق پخشیدگی و کیلیت شدن می‌باشد. به دلیل اینکه پخشیدگی حرکت کندی است لذا انتظار می‌رود در خاک‌های مناطق خشک که میزان مواد آلی کم است پدیده انتقال به وسیله کیلیت‌ها عملاً ناچیز باشد. آهن عمدتاً به وسیله فرآیند پخشیدگی جذب می‌گردد اما توسط حرکت توده‌ای نیز می‌تواند جذب گیاه شود. جذب آهن توسط گیاهان یک فرآیند فعال است بنابراین باید انرژی مصرف کند (هاچموث ۲۰۱۱). گیاهان نیازمند عرضه مداوم آهن برای