

## اثر لجن کنورتور و سرباره ذوب آهن بر عملکرد ذرت و جذب برخی عناصر کم مصرف گیاه در یک خاک آهکی

حسین شریعتمداری<sup>۱</sup>، یحیی رضایی نژاد<sup>۲\*</sup>، علی عبدی<sup>۲</sup>، علی محمودآبادی<sup>۱</sup> و مهین کرمی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۳/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۱۲/۲۰)

### چکیده

با توجه به نتایج مثبت کاربرد لجن کنورتور و سرباره کارخانه ذوب آهن اصفهان جهت درمان کلروز ناشی از کمبود آهن در گیاهان مختلف در تحقیقات گذشته، در این تحقیق مقدار کاربرد بهینه این دو ترکیب و هم چنین قابلیت جذب برخی عناصر ضروری موجود در لجن کنورتور و سرباره برای گیاه ذرت در مزرعه بررسی شد. لجن کنورتور حاوی حدوداً ۶۴ درصد وزنی اکسیدهای دو و سه ظرفیتی آهن و برخی دیگر از عناصر ضروری گیاه و سرباره حاوی حدوداً ۱۷ درصد اکسیدهای آهن، ۵۲/۸ درصد اکسید کلسیم و مقدار زیادی عناصر ضروری دیگر است. در پژوهش حاضر تیمارهای آزمایشی شامل شاهد، تیمار محلول پاشی توسط فتریلون (Fe-EDTA) با غلظت ۵ در هزار، لجن کنورتور در ۴ سطح (L1، L2، L3 و L4 به ترتیب برابر با ۵/۸۳، ۱۳/۳۳، ۲۰/۸۳ و ۲۶/۶۷ تن در هکتار) و سرباره در چهار سطح (S1، S2، S3 و S4 به ترتیب برابر با ۳/۲۰، ۷/۲۸، ۱۱/۳۶ و ۱۵/۴۴ تن در هکتار) بودند که سطوح لجن و سرباره تأمین کننده ۱، ۲، ۳ و ۴ برابر مقدار توصیه شده آهن قابل جذب در خاک بودند. گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ به عنوان گیاه آزمایشی کشت گردید. سطوح مختلف دو ترکیب سبب افزایش آهن و منگنز و کاهش منیزیم قابل عصاره گیری خاک شده ولی تأثیری روی مس و کلسیم قابل عصاره گیری نداشت. سطوح مختلف سبب افزایش عملکردهای گیاه ذرت شد به گونه ای که بیشترین عملکرد در سطوح بالای دو ترکیب (L4، L3، S4 و S3) اتفاق افتاد. تیمار محلول پاشی سبب از بین رفتن کلروز برگ شد و توانست عملکردهای سیلو، بلال و ساقه + برگ را نسبت به شاهد افزایش دهد، هر چند این تأثیر به اندازه سطوح بالای دو ترکیب لجن کنورتور و سرباره نبود. هم چنین در تیمارهای لجن کنورتور و سرباره جذب آهن، منگنز، روی، مس، کلسیم و منیزیم در عملکردهای گیاه افزایش یافت. بر اساس نتایج این تحقیق سطوح L3 و S3 لجن کنورتور و سرباره می توانند مناسب ترین سطوح این ترکیبات به عنوان کود آهن پیشنهاد شوند.

واژه های کلیدی: لجن کنورتور، سرباره، عناصر تغذیه ای گیاه، عملکرد، ذرت

### مقدمه

نظر تغذیه گیاه مقدار آهن محلول در خاک حائز اهمیت می باشد که در مقایسه با آهن کل خاک بسیار ناچیز است (۱۰ و ۱۵). در حالت کلی با کاهش pH و رداکس خاک، حلالیت آهن افزایش می یابد و بر عکس با افزایش pH و رداکس، آهن رسوب

آهن یکی از اجزای اصلی لیتوسفر و از عناصر کم مصرف ضروری مورد نیاز گیاه می باشد که در تولید انرژی و پروسه های استفاده انرژی و بسیاری از واکنش های حیاتی دخالت دارد. از

۱. به ترتیب دانشیاران، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشجوی دکتری خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Rezajnejad@cc.iut.ac.ir

می‌کند (۲۱). کمبود آهن که بیشتر در خاک‌های آهکی بروز می‌کند از شایع‌ترین کمبودهای غذایی است که کنترل آن نیز مشکل می‌باشد (۲۴ و ۲۵). در ایران نیز همانند بسیاری از نقاط دیگر دنیا عارضه کلروز آهن در کلیه مناطق میوه‌خیز وجود دارد. این مساله روی درختان میوه، درختان و درختچه‌های زینتی و حتی درختان غیر مثمر فوق العاده شدید است و روی گیاهان زراعی مثل پنبه، ذرت، سورگوم و سویا که در خاک‌های آهکی رشد می‌کنند، دیده می‌شود (۴). اعتقاد بر این است که کمبود آهن گیاه یا کلروز به علت عدم تعادل یون‌های فلزی مانند Cu و Mn، مقدار زیاد فسفر در خاک و ترکیبی از pH بالا، آهک آزاد زیاد، تهویه ضعیف ( $\text{CO}_2$  اضافی)، دماهای پایین، کمبود آهن خاک، مقدار کم مواد آلی و غلظت بالای  $\text{HCO}_3^-$  در محیط ریشه ایجاد می‌شود (۱۹ و ۲۳). روش‌ها و راه‌های بسیاری جهت درمان کلروز آهن وجود دارد که یکی از این راه‌ها استفاده از ترکیبات مختلف اصلاحی یا مواد حاوی آهن در خاک می‌باشد. تعدادی از این ترکیبات عبارت‌اند از: ترکیبات معدنی آهن، مواد اسیدی و اسیدزا، ضایعات معادن و محصولات جنبی صنایع، مواد آلی و مواد آلی آهن دار و کلات‌های مصنوعی آهن مؤثرترین این مواد کلات‌های مصنوعی آهن هستند که البته به دلیل گرانی فقط برای محصولات ویژه مصرف می‌شوند (۲۶). در شرایط کشور ما نیز علاوه بر گرانی، عدم تولید کلات‌های آهن در داخل سبب شده است تا معالجه کلروز بوسیله این ترکیب برای کشاورزان مقرون به صرفه نباشد. بنابراین جستجو برای پیدا کردن ترکیباتی که دارای اثر مشابه در معالجه کلروز آهن بوده و در داخل کشور نیز تولید شوند ضروری می‌باشد (۵). محصولات جنبی حاصل از بسیاری از فرایندهای صنعتی اغلب غنی از آهن می‌باشند. بسیاری از این مواد به عنوان برطرف‌کننده‌های کلروز آهن گیاهان پیشنهاد شده‌اند (۱۷). به عنوان مثال کاربرد مقدار زیاد پیریت و مواد پیریتی حاصل از معادن به عنوان منبع آهن در خاک‌های آهکی کمبوددار بسیار مؤثر است (۱۷). این ترکیب در خاک اکسید شده و به سولفات آهن و اسید

سولفوریک تبدیل می‌شود و به تأمین آهن مورد نیاز گیاه کمک می‌کند (۱۴). اخیراً چندین نوع از ضایعات جنبی معدنی صنایع به عنوان منبع آهن مورد آزمایش قرار گرفته است. مزیت کاربرد این ضایعات در این است که علاوه بر آهن، حاوی دیگر عناصر مورد نیاز گیاه از قبیل فسفر، پتاسیم، مس و روی می‌باشد. استروئین و برگر (۳۰) از فروسل (Ferosul) به عنوان یک ماده اصلاحی خاک استفاده نمودند. این ماده یکی از محصولات جنبی مهم صنایع فولاد می‌باشد که مخلوطی از اسید سولفوریک و سولفات آهن است. این ترکیب حاوی ۳۰ درصد اکسید آهن می‌باشد. کاربرد فروسل باعث افزایش عملکرد یونجه و ذرت شد. آندرسون و پارکیپیان (۱۳) یکی از محصولات فرعی (Dust by-product of steel industry) صنایع فولاد را به عنوان کود آهن مصرف کردند. این ترکیب دارای ۴۳ درصد آهن، ۵ درصد روی و ۲ درصد منگنز بود و عملکرد سورگوم را افزایش داد. از دیگر محصولات جنبی می‌توان به محصولات فرعی کارخانه ذوب آهن مانند لجن کنورتور و سرباره اشاره کرد که در پاره‌ای مناطق جهت درمان کمبود آهن کاربرد دارند (۳، ۸ و ۹). در کارخانه‌های فولادسازی هنگامی که اکسیژن به داخل کوره تولید فولاد یا کنورتور (Convertor) دمیده می‌شود گرد و غباری از داخل کوره به بیرون منتشر می‌شود که این ذرات ریز مخرب تأسیسات و دستگاه‌ها می‌باشند، بنابراین توسط آب جمع‌آوری شده و به صورت لجن در می‌آید. لجن حاصل خشک شده و در انبار ذخیره می‌شود. میزان تولید لجن کنورتور ۱/۳ تا ۱/۸ درصد میزان فولاد تولید شده متغیر می‌باشد (۳۱). مقدار آهن در لجن کنورتور بین ۶۷-۵۵ درصد جرم کل لجن می‌تواند متغیر باشد (۳۱). سرباره کنورتور یکی دیگر از فرآورده‌های جنبی کارخانه آهن و فولاد است که به مقدار زیاد در کشورهای اروپایی تولید می‌شود. در کشورهای اروپایی افزایش قابل ملاحظه‌ای در کاربرد سرباره (به عنوان مواد آهکی سیلیکاتی) حاصل از صنایع فولاد در کشاورزی مشاهده می‌شود (۲۰). در تولید فولاد به طریق کنورتوری مواد مذاب حاصل از کوره بلند ذوب آهن را به

همچنین کاربرد ۱ درصد وزنی این ترکیب در خاک به همراه مواد آلی و به تنهایی باعث افزایش عملکرد گیاه ذرت گردید. هر ساله ۲۵۰ هزار تن سرباره کوره بلند و کنورتور در ذوب آهن اصفهان تولید می‌شود که حاوی مواد و ترکیبات با ارزش می‌باشد (۲). با توجه به نتایج مثبت کاربرد لجن کنورتور و سرباره کارخانه ذوب آهن اصفهان جهت درمان کلروز ناشی از کمبود آهن در گیاهان مختلف در تحقیقات گذشته (۳، ۸، ۹ و ۱۲)، هدف از این تحقیق، مطالعه میزان مصرف بهینه لجن کنورتور و سرباره کارخانه‌های ذوب آهن اصفهان، همچنین بررسی غلظت آهن و برخی دیگر از عناصر تغذیه‌ای گیاه (منگنز، روی، مس، کلسیم و منیزیم) موجود در این ترکیبات، اثر کاربرد این کودها بر قابلیت جذب عناصر مذکور در خاک و غلظت و میزان جذب این عناصر در گیاه ذرت بود.

### مواد و روش‌ها

محل اجرای تحقیق مزرعه دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف‌آباد بود که دارای بافت خاک سیلتی-کلی-لوم، متوسط بارندگی سالیانه ۱۴۰ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالیانه ۱۴/۵°C می‌باشد. طبقه‌بندی خاک این مزرعه Haplargids است.

### ویژگی‌های لجن کنورتور و سرباره

نتایج تجزیه شیمیایی کنورتور و سرباره که به وسیله آزمایشگاه مرکزی شرکت ذوب آهن اصفهان انجام گرفته، در جدول ۱ نشان داده شده است. حدود ۶۳/۵ درصد از ترکیب کنورتور و ۱۶/۸۳ درصد از ترکیب سرباره، اکسیدهای آهن می‌باشند و عناصر ضروری دیگر نیز در این دو ترکیب به مقدار قابل توجه وجود دارند. pH در سوسپانسیون ۱۰۰ گرم لجن کنورتور در لیتر آب مقطر برابر ۱۱/۶ و EC در عصاره این سوسپانسیون برابر  $(\text{dS m}^{-1})$  ۰/۹۸ بود. این دو پارامتر برای سرباره به ترتیب برابر  $(\text{dS m}^{-1})$  ۱۲/۴ و  $(\text{dS m}^{-1})$  ۳/۷ می‌باشد. از نظر دانه‌بندی نیز بیش از ۹۵ درصد ذرات لجن کنورتور و در حدود ۷۰ درصد ذرات

همان شکل مذاب به دستگاه‌های تبدیل‌کننده (کنورتور) منتقل می‌کنند (۷). پس از دمیدن اکسیژن به داخل کنورتور و انجام فعل و انفعالات شیمیایی، سرباره را که به علت وزن کمتر روی مواد داخل کنورتور قرار گرفته خارج می‌کنند و سپس آن را به شکل دانه دانه شده با آب سرد می‌کنند. از سرباره دانه دانه شده با آب برای اصلاح خاک و همچنین افزایش حاصل‌خیزی استفاده می‌شود که به آن سرباره زراعتی نیز می‌گویند (۸). عباسپور (۱۲) لجن کنورتور صنایع فولاد اصفهان را به عنوان کود آهن در خاک آهکی مورد بررسی قرار داد. این ترکیب باعث افزایش مختصری در pH خاک شد، ولی در عین حال مقدار آهن، منگنز و فسفر خاک را افزایش داد. مقدار افزایش عموماً متناسب با مقدار لجن مصرفی بود. همچنین تیمارهای ۱ و ۲ درصد وزنی این ترکیب باعث افزایش عملکرد گیاه ذرت شدند. دستوری (۳) کاربرد پودر اکسید آهن ضایعاتی، لجن کنورتور و سرباره را به عنوان کود آهن برای گیاه ذرت در یک خاک آهکی مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان دادند که مصرف ۲ درصد پودر اکسید آهن، ۱ و ۲ درصد لجن کنورتور و ۵/۰ درصد سرباره سبب افزایش عملکرد وزن خشک گیاه نسبت به شاهد و سکوسترین آهن شد. همچنین جذب آهن و سایر عناصر غذایی در گیاه متناسب با افزایش مصرف این ترکیبات بود. اشرفی (۱) پودر اکسیدهای آهن ضایعاتی، لجن کنورتور و سولفات آهن را که ترکیبات معدنی آهن‌دار هستند را در دو مرحله آزمایش انکوباسیون و گلدانی با کود گاوی مخلوط کرد. نتایج نشان دادند که کود آلی غنی شده با سه ترکیب معدنی آهن، سبب افزایش قابل توجهی در وزن خشک گیاه نسبت به شاهد شد و همچنین قابلیت جذب آهن و منگنز را افزایش می‌دهند. محمدی ترکاشوند (۹) در تحقیق خود از سرباره صنایع فولاد اصفهان به عنوان کود آهن در خاک‌های آهکی استفاده نمود. این ترکیب سبب افزایش معنی‌دار آهن قابل عصاره‌گیری شد که مقدار افزایش متناسب با مقدار سرباره مصرفی بود. مصرف ماده آلی به همراه این ترکیب به مقدار قابل ملاحظه‌ای باعث افزایش آهن، فسفر و منگنز قابل جذب شد.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی لجن کنورتور و سرباره (آزمایشگاه مرکزی شرکت ذوب آهن اصفهان)

| ترکیب               | T.Fe* | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | CaO   | SiO <sub>2</sub> | MgO  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | MnO  | ZnO   | S    | K <sub>2</sub> O |
|---------------------|-------|--------------------------------|-------|-------|------------------|------|-------------------------------|------|-------|------|------------------|
| مقدار(٪) در کنورتور | ۶۳/۵  | ۳۰/۴۴                          | ۱۹/۲۲ | ۶/۱۲  | ۱/۳              | ۰/۲۴ | ۰/۲۷۲                         | ۱/۰۲ | ۰/۰۳  | ۰/۱۳ | ۰/۳۰             |
| مقدار(٪) در سرباره  | ۱۶/۸۳ | ۸/۹                            | ۷/۸۷  | ۵۲/۸۵ | ۸/۹۲             | ۲/۲۲ | ۴/۷۶                          | ۴/۴۶ | ۰/۰۵۷ | ۰/۱۸ | ۰/۰۳۲            |

\*T.Fe Total Fe

جدول ۲. میزان لجن کنورتور و سرباره مصرفی در تیمارهای مختلف آزمایشی

| تیمار                                   | L <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | L <sub>3</sub> | L <sub>4</sub> | S <sub>1</sub> | S <sub>2</sub> | S <sub>3</sub> | S <sub>4</sub> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| مقدار کود مصرفی (ton ha <sup>-1</sup> ) | ۵/۸۳           | ۱۳/۳۳          | ۲۰/۸۳          | ۲۶/۶۷          | ۳/۲۰           | ۷/۲۸           | ۱۱/۳۶          | ۱۵/۴۴          |

سرباره دارای قطر کوچک تر از ۰/۵ میلی متر می باشند.

### تیمارهای آزمایش و طرح آماری

این تحقیق با ۱۰ تیمار و در سه تکرار به صورت بلوک های کامل تصادفی اجرا شد. هر بلوک شامل ۱۰ کرت به ابعاد (m) ۳ × ۱۲ بود. تیمارهای آزمایش به شرح زیر بودند: (۱) شاهد (Control)، بدون افزایش مواد حاوی آهن. (۲) لجن کنورتور در چهار سطح ۱، ۲، ۳ و ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک (۱۱) بر حسب آهن قابل جذب این ترکیب (L<sub>1</sub>، L<sub>2</sub>، L<sub>3</sub> و L<sub>4</sub>). (۳) سرباره ذوب آهن در چهار سطح ۱، ۲، ۳ و ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک (۱۱) بر حسب آهن قابل جذب این ترکیب (S<sub>1</sub>، S<sub>2</sub>، S<sub>3</sub> و S<sub>4</sub>). (۴) محلول پاشی آهن با غلظت ۵ در هزار در دو مرحله (Sp). جدول ۲ میزان مصرفی دو ترکیب مورد آزمایش در تیمارهای مختلف را نشان می دهد.

آزمایش روی ذرت (*Zea mays*) سینگل کراس ۷۰۴ انجام شد که در تحقیقات قبلی واکنش نسبتاً خوبی در مقابل مصرف این دو ترکیب از خود نشان داده است.

### آماده سازی زمین های زراعی و اعمال تیمارهای آزمایشی

بر اساس آزمون خاک میزان فسفر و پتاسیم خاک توسط کودهای شیمیایی آمونیم فسفات و سولفات پتاسیم به حد اپتیمم مورد نیاز رسانده شد (۱۱). تیمارهای لجن کنورتور و

سرباره نیز بر اساس میزان آهن قابل جذب خاک و سطح توصیه شده در آزمون خاک (۱۱) محاسبه و به کرت های مربوطه اضافه شد. حد متوسط آهن قابل جذب خاک (قابل عصاره گیری با DTPA) برای اغلب محصولات زراعی توسط ملکوتی و همکاران (۱۱) برابر ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک ذکر شده است که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به میزان آهن اولیه قابل عصاره گیری خاک و هم چنین میزان آهن قابل جذب ترکیبات لجن کنورتور و سرباره (آهن قابل جذب در لجن کنورتور و سرباره به ترتیب ۳۰۰۰ و ۵۵۰۰ میلی گرم در کیلوگرم اندازه گیری شد)، مقدار آهن قابل جذب خاک به ۱، ۲، ۳ و ۴ برابر حد بحرانی ذکر شده به ترتیب برابر ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک محاسبه و به کرت های مربوطه اضافه و تا عمق ۱۵ سانتی متری به خوبی با خاک مخلوط گردید. کاشت بذره های ذرت سینگل کراس ۷۰۴ به صورت ردیفی در فواصل ۱۰ سانتی متری یکدیگر و در ۴ ردیف با فواصل ۷۵ سانتی متر در هر کرت در اواخر فصل بهار صورت گرفت. در طول دوره رشد گیاهان آبیاری به صورت سطحی (غرقابی) و با فواصل ۹-۶ روز یک بار انجام شد. در کرت های تحت تیمار محلول پاشی، محلول پاشی در دو مرحله قبل از گل دهی و گل دهی کامل توسط فتریلون (Fe-EDTA) با غلظت ۵ در هزار و به میزان لازم جهت خیس شدن کامل گیاهان صورت گرفت (۱۱). کود نیتروژنه مورد نیاز (در سه نوبت) طی

جدول ۳. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه

| ویژگی (واحد) | pH  | EC (dS/m) | آهک (%) | ماده آلی (%) | عناصر سنگین قابل جذب (mg/kg)            | فسفر قابل جذب (mg/kg) | پتاسیم قابل جذب (mg/kg) | کلسیم و منیزیم (meq/l) | نیترژن کل (% کلدال) |
|--------------|-----|-----------|---------|--------------|---|-----------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|
| مقدار        | ۸/۲ | ۲/۸       | ۴۱      | ۰/۸۴         | Fe= ۲/۲<br>Mn=۲۰/۶<br>Zn= ۱/۱۳<br>Cu= ۴ | ۸                     | ۱۶۲                     | Ca=۶<br>Mg= ۴/۴        | ۰/۰۴۵               |

آنها توسط دستگاه اتمیک قرائت شد. در نهایت نسبت ۱ : ۱۵۰ به عنوان نسبت مناسب ترکیب به عصاره گیر انتخاب گردید (در این آزمایش با افزایش نسبت عصاره گیر به ترکیب، مقدار آهن قابل استخراج افزایش یافت و در نسبت ۱۵۰ به یک به حداکثر خود رسید. از این رو این نسبت برای نشان دادن تخمینی بهتر از پتانسیل این ترکیبات در تأمین آهن قابل جذب استفاده گردید) که میزان آهن قابل جذب در لجن کنورتور و سرباره به ترتیب ۳۰۰۰ و ۵۵۰۰ میلی گرم در کیلوگرم اندازه گیری شد. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و همچنین عناصر قابل جذب خاک که همگی به روش های استاندارد اندازه گیری شده اند در جدول ۳ نشان داده شده است. pH در گل اشباع، EC در عصاره اشباع، آهک به روش تیتراسیون با اسید کلریدریک، ماده آلی به روش اکسیداسیون تر، عناصر سنگین قابل جذب به روش عصاره گیری با AB-DTPA، فسفر قابل جذب به روش السن، پتاسیم قابل جذب با استات آمونیوم، کلسیم و منیزیم محلول در عصاره اشباع به روش کمپلکسومتری و نیترژن کل به روش کلدال تعیین گردید.

جهت تعیین عناصر آهن، روی، منگنز، مس، نیکل، سرب، کلسیم و منیزیم در نمونه های گیاهی مقداری یک گرم نمونه آسیاب شده در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت دو ساعت سوزانده و به خاکستر تبدیل شد. خاکستر حاصل در ۱۰ میلی لیتر اسید کلریدریک دو نرمال حل و بعد از صاف کردن، غلظت عناصر در عصاره حاصل با دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد.

فصل رشد اضافه شد (۱۱). حذف علف های هرز در طی فصل رشد در چند نوبت و به صورت دستی صورت گرفت.

#### نمونه برداری از گیاه و خاک و تجزیه نمونه ها

در مرحله اول نمونه برداری جهت تعیین عملکرد سیلو، ۷۵ روز پس از سبز شدن، در یک مترمربع از وسط هر کرت، گیاهان از یک سانتی متری بالای سطح خاک به وسیله تیغ استیل قطع شدند. مرحله دوم نمونه برداری نیز به شکل فوق الذکر جهت تعیین عملکرد بلال و ساقه + برگ، ۱۰۵ روز پس از سبز شدن گیاهان در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه صورت گرفت. بوته های برداشت شده به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی گراد در آن تهویه دار تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند. نمونه های گیاهی خشک شده در دمای ۶۵ درجه سانتی گراد جهت تعیین وزن خشک در مرحله سیلو و همچنین عملکردهای بلال و ساقه + برگ در آزمایشگاه توزین شدند. نمونه برداری از خاک کرت ها پس از برداشت گیاه با رعایت حدود نیم متر اثر حاشیه ای به صورت مرکب انجام گرفت.

به منظور تعیین میزان فلزات قابل جذب در نمونه های خاک از عصاره گیر AB-DTPA استفاده شد. نمونه های خاک با محلول AB-DTPA (۰/۰۰۵، DTPA) مولار به علاوه بی کربنات آمونیوم یک مولار در pH= ۷/۶ عصاره گیری شدند (۲۲). در مورد لجن کنورتور و سرباره نسبت های متفاوتی از این دو ترکیب با محلول عصاره گیر مخلوط و پس از عصاره گیری، میزان آهن قابل جذب

جدول ۴. تأثیر تیمارهای مختلف بر عناصر قابل عصاره‌گیری خاک (mg kg) با AB-DTPA

| تیمار          | Fe                 | Mn                | Zn                | Cu               | Ca               | Mg                |
|----------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Co             | ۵/۶ <sup>d</sup>   | ۷/۴ <sup>de</sup> | ۱/۳۱ <sup>a</sup> | ۳/۶ <sup>a</sup> | ۲۶۵ <sup>a</sup> | ۲۸۷ <sup>a</sup>  |
| L <sub>1</sub> | ۱۲/۸ <sup>c</sup>  | ۸/۲ <sup>de</sup> | ۱/۴۸ <sup>a</sup> | ۳/۸ <sup>a</sup> | ۲۱۴ <sup>a</sup> | ۲۳۱ <sup>bc</sup> |
| L <sub>2</sub> | ۱۶/۰ <sup>bc</sup> | ۷/۶ <sup>de</sup> | ۱/۲۹ <sup>a</sup> | ۳/۸ <sup>a</sup> | ۱۸۳ <sup>a</sup> | ۲۱۴ <sup>bc</sup> |
| L <sub>3</sub> | ۱۷/۶ <sup>b</sup>  | ۷/۶ <sup>de</sup> | ۱/۲۸ <sup>a</sup> | ۳/۳ <sup>a</sup> | ۱۹۷ <sup>a</sup> | ۲۰۲ <sup>c</sup>  |
| L <sub>4</sub> | ۳۰/۸ <sup>a</sup>  | ۶/۴ <sup>e</sup>  | ۱/۱۲ <sup>a</sup> | ۳/۴ <sup>a</sup> | ۱۸۶ <sup>a</sup> | ۱۹۴ <sup>c</sup>  |
| S <sub>1</sub> | ۱۸/۴ <sup>b</sup>  | ۱۳/۸ <sup>c</sup> | ۱/۲۹ <sup>a</sup> | ۳/۴ <sup>a</sup> | ۲۲۵ <sup>a</sup> | ۲۴۷ <sup>b</sup>  |
| S <sub>2</sub> | ۱۹/۲ <sup>b</sup>  | ۲۸/۶ <sup>a</sup> | ۱/۲۱ <sup>a</sup> | ۳/۸ <sup>a</sup> | ۲۱۴ <sup>a</sup> | ۲۳۰ <sup>bc</sup> |
| S <sub>3</sub> | ۲۸/۵ <sup>a</sup>  | ۲۲/۴ <sup>b</sup> | ۱/۳۱ <sup>a</sup> | ۳/۶ <sup>a</sup> | ۲۲۰ <sup>a</sup> | ۲۱۰ <sup>bc</sup> |
| S <sub>4</sub> | ۳۱/۶ <sup>a</sup>  | ۹/۸ <sup>d</sup>  | ۱/۱۵ <sup>a</sup> | ۳/۴ <sup>a</sup> | ۲۰۳ <sup>a</sup> | ۱۹۷ <sup>c</sup>  |
| Sp             | ۵/۲ <sup>d</sup>   | ۷/۰ <sup>e</sup>  | ۱/۲۲ <sup>a</sup> | ۳/۴ <sup>a</sup> | ۲۱۸ <sup>a</sup> | ۲۴۴ <sup>b</sup>  |

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک، در سطح ۵٪ فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

## پردازش داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات به‌وسیله نرم افزار SAS صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵٪ با آزمون دانکن و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار EXCEL انجام شد.

## نتایج و بحث

### اثر سطوح مختلف لجن کنورتور و سرباره بر عناصر قابل عصاره‌گیری خاک با AB-DTPA

اثر سطوح مختلف دو ترکیب بر میزان آهن، منگنز و منیزیم قابل عصاره‌گیری با AB-DTPA خاک در سطح ۵٪ معنی‌دار شد. اما تیمارهای مختلف اثر معنی‌داری روی، مس و کلسیم قابل عصاره‌گیری با AB-DTPA نداشتند (جدول ۴). افزایش سطح تیمارها سبب افزایش آهن قابل عصاره‌گیری خاک شده است به گونه‌ای که این افزایش تقریباً متناسب با کاربرد میزان ترکیب مصرفی بود. سطوح S<sub>3</sub> و S<sub>4</sub> فاقد تفاوت معنی‌دار هستند در صورتی که این سطوح با شاهد دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند. در مورد سطوح پایین این دو ترکیب نیز روندی مشابه وجود دارد به گونه‌ای که این سطوح با یکدیگر فاقد تفاوت معنی‌دار بوده ولی با شاهد در سطح ۵٪ دارای تفاوت معنی‌دار

می‌باشند. نورول و لیندسی (۲۷) نشان دادند که نمک‌های معدنی آهن پس از اضافه شدن به خاک با گذشت زمان به فرم‌های غیر محلول‌تر تبدیل می‌شوند. فروهر (۶) در تحقیق خود از یک ترکیب معدنی آهن‌دار به نام پوسته اکسیدی استفاده کرد. اضافه کردن این ترکیب در ابتدا آهن قابل عصاره‌گیری با EDTA را افزایش داد ولی به مرور زمان از حلالیت آن کاسته شده و آهن قابل عصاره‌گیری در پایان مدت انکوباسیون با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت که دلیل آن انحلال املاح محلول و رسوب ترکیبات کم محلول‌تر آهن در خاک می‌باشد. سرباره سبب افزایش معنی‌دار منگنز قابل عصاره‌گیری در خاک شد. این افزایش مربوط به سطوح S<sub>1</sub>، S<sub>2</sub> و S<sub>3</sub> بوده است. افزایش منگنز قابل عصاره‌گیری در سطوح مختلف سرباره نسبت به شاهد می‌تواند به دلیل وجود مقدار قابل توجه منگنز در این ترکیب باشد (MnO=۴/۴۶٪). کاهش اندکی در منگنز قابل عصاره‌گیری سطح S<sub>4</sub> مشاهده می‌شود که علت آن مشخص نیست. کاربرد لجن کنورتور سبب تغییر معنی‌دار منگنز قابل عصاره‌گیری در خاک نشده است که می‌تواند به دلیل محتوی کمتر منگنز این ترکیب باشد (MnO=۱/۰۲٪) و به نظر می‌رسد که این ترکیب نسبت به سرباره تأثیر کمتری در تغذیه

دستوری (۳) در تحقیق خود نشان داد که تیمارهای ۱ و ۲ درصد وزنی لجن کنورتور کمترین غلظت کلسیم و تیمار ۲ درصد وزنی سرباره افزایش ناچیزی را نسبت به شاهد نشان دادند. جدول ۴ نشان می‌دهد که با افزایش سطوح لجن کنورتور میزان منیزیم قابل استخراج خاک کاهش پیدا می‌کند و کمترین میزان مربوط به سطوح  $L_3$  و  $L_4$  می‌باشد. احتمالاً افزایش عملکرد محصول در این سطوح باعث کاهش میزان منیزیم قابل استخراج خاک می‌شود. تقریباً همین روند در مورد سطوح مختلف سرباره مشاهده می‌شود اما کاهش در منیزیم قابل استخراج این سطوح به شدت تیمارهای لجن کنورتور نمی‌باشد.

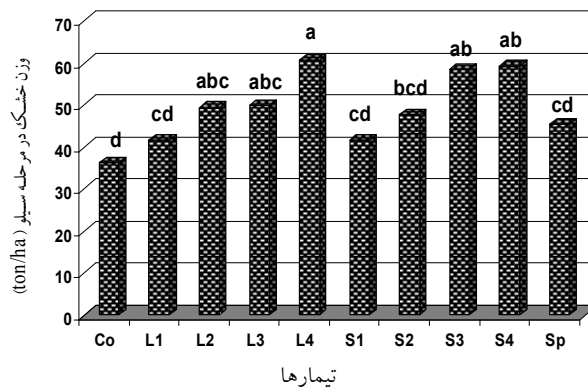
#### تأثیر سطوح مختلف لجن کنورتور و سرباره بر عملکرد وزن خشک سیلو، بلال و ساقه + برگ

اثر سطوح مختلف این دو ترکیب بر عملکرد وزن خشک گیاه در مرحله سیلو و بر عملکرد ساقه + برگ در سطح ۵٪ معنی‌دار شده ولی در مورد عملکرد بلال فاقد تفاوت معنی‌دار است. شکل ۱ اثر تیمارهای مختلف را بر عملکرد سیلو نشان می‌دهد. افزایش عملکرد متناسب با افزایش سطح دو ترکیب بوده و بیشترین عملکردها مربوط به سطوح بالای دو ترکیب ( $L_3$ ،  $L_4$ ،  $S_3$  و  $S_4$ ) می‌باشد. در مورد تیمار محلول‌پاشی فتریلون آهن (Fe-EDTA) باید گفت که این تیمار سبب از بین رفتن کلروز آهن شد و عملکرد را نسبت به شاهد افزایش داد گرچه این تفاوت معنی‌دار نبود. این تیمار جز با سطوح بالای لجن کنورتور و سرباره ( $L_3$ ،  $L_4$ ،  $S_3$  و  $S_4$ ) با دیگر سطوح کاربرد این دو ترکیب فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشد. در تحقیقات گذشته مقادیر زیاد این دو ترکیب تأثیر چندانی بر عملکرد گیاه نداشته و در مورد سرباره حتی سبب کاهش عملکرد شده است. عامل اصلی این روند را تأثیری که این دو ترکیب بر pH خاک در مقادیر بالا می‌گذارد معرفی کرده‌اند. عباسپور (۱۲) در تحقیق خود نشان داد که کاربرد ۲ درصد وزنی لجن کنورتور افزایش قابل توجهی در وزن خشک گیاه نسبت به شاهد را

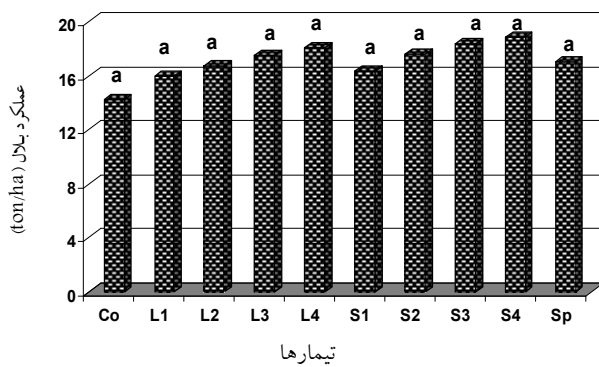
منگنز گیاه داشته باشد. دستوری (۳) نشان داد که اضافه کردن لجن کنورتور به یک خاک آهکی سبب افزایش آهن قابل عصاره‌گیری خاک با DTPA می‌شود به گونه‌ای که تیمار ۵/۰ درصد وزنی تفاوت معنی‌داری با شاهد ندارد اما تیمارهای ۱ و ۲ درصد وزنی افزایش آهن قابل عصاره‌گیری را نسبت به شاهد نشان می‌دهند. وی هم‌چنین گزارش کرد که تیمارهای ۵/۰ و ۱ درصد وزنی سرباره مقدار منگنز قابل عصاره‌گیری با DTPA را نسبت به شاهد افزایش دادند. محمدی ترکاشوند (۹) در تحقیق خود نشان داد که اضافه کردن سرباره به یک خاک آهکی سبب افزایش معنی‌دار آهن قابل عصاره‌گیری و افزایش بسیار معنی‌دار منگنز قابل عصاره‌گیری خاک با AB-DTPA می‌شود که این افزایش متناسب با میزان سرباره مصرفی بود. آندرسون و پارکیان (۱۳) یک محصول فرعی صنایع فولاد (dust Iron) را مورد تحقیق قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که کاربرد این ماده در خاک سبب افزایش غلظت آهن قابل استخراج با DTPA می‌شود.

جدول ۴ اثر سطوح مختلف دو ترکیب را بر میزان روی و مس قابل عصاره‌گیری نشان می‌دهند. جدول ۱ نشان می‌دهد که دو ترکیب مورد استفاده فاقد مس بوده ولی حاوی مقداری روی می‌باشد. دستوری (۳) در تحقیق خود نشان داد که تیمارهای لجن کنورتور و سرباره بر میزان روی و مس قابل استخراج خاک با DTPA تأثیر معنی‌داری نداشته است. عباسپور (۱۲) و محمدی ترکاشوند (۹) نیز در تحقیقات خود نتایج مشابه‌ای را به ترتیب در مورد لجن کنورتور و سرباره به دست آوردند. به نظر می‌رسد که این دو ترکیب تأثیری بر مقدار روی و مس قابل جذب خاک نداشته و از لحاظ تغذیه روی و مس برای گیاه فاقد اهمیت می‌باشند.

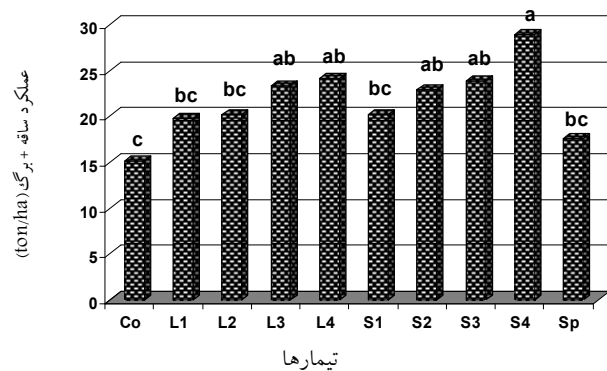
جدول ۴ نشان می‌دهد که با افزایش سطوح لجن کنورتور میزان کلسیم قابل عصاره‌گیری تغییر معنی‌داری پیدا نکرده است. با وجود بالا بودن کلسیم سرباره ( $CaO=52/85$ ) با افزایش سطح سرباره، کلسیم قابل عصاره‌گیری نسبت به تیمارهای لجن کنورتور افزایش معنی‌داری حاصل نکرده است.



شکل ۱. اثر تیمارهای مختلف بر عملکرد وزن خشک سیلو



شکل ۳. اثر تیمارهای مختلف بر عملکرد بلال



شکل ۲. اثر تیمارهای مختلف بر عملکرد ساقه + برگ

این پدیده را افزایش pH خاک و ایجاد شرایط نامناسب شیمیایی و عدم تعادل بین عناصر غذایی در خاک ذکر کرده‌اند. با توجه به این که عملکرد سیلوی سطوح S<sub>3</sub> و S<sub>4</sub> فاقد تفاوت معنی دار (سطح ۵٪) می‌باشند و با توجه به تأثیر اندک سطح S<sub>4</sub> بر pH خاک می‌توان از سطح S<sub>3</sub> سرباره که دارای خطر کمتری می‌باشد به عنوان کود آهن استفاده نمود. تفاوت سطوح L<sub>3</sub> و L<sub>4</sub> نیز از نظر آماری معنی دار نشده است، بنابراین می‌توان از سطح L<sub>3</sub> این ترکیب به عنوان کود آهن استفاده کرد. با افزایش سطح دو ترکیب میزان عملکرد ساقه + برگ (شکل ۲) و بلال (شکل ۳) نیز افزایش پیدا کرده است. به گونه‌ای که این افزایش متناسب با افزایش سطح هر کدام از ترکیب‌ها بوده است. بیشترین عملکرد بلال مربوط به سطوح بالای این دو ترکیب (L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub>, S<sub>3</sub> و S<sub>4</sub>) بوده که ۲۷/۱، ۲۳/۲، ۳۲/۷ و ۲۹/۲ درصد عملکرد بلال را نسبت به شاهد افزایش

باعث شد. در حالی که بیش از این مقدار اثر معنی داری بر وزن خشک گیاه نداشته است. به نظر می‌رسد مقادیر زیاد لجن کنورتور باعث افزایش pH خاک و ایجاد شرایط نامناسب شیمیایی و عدم تعادل بین عناصر غذایی در خاک شده که این به نوبه خود می‌تواند باعث کاهش عملکرد گردد. محمدی ترکاشوند (۹) نشان داد که کاربرد ۲۱ درصد وزنی سرباره در خاک‌های اسیدی سبب افزایش معنی دار وزن خشک گیاه می‌شود و مصرف این ترکیب در مقادیر بالا تأثیر منفی بر رشد و عملکرد گیاه خواهد داشت. هادسون (۱۶) در تحقیقات خود به این نتیجه رسید که کاربرد سولفات آهن III تا مقدار ۱۸۶ گرم بر کیلوگرم خاک سبب افزایش وزن خشک گیاه ذرت شده در حالی که مصرف بیشتر از این مقدار، کاهش عملکرد را به دنبال خواهد داشت. در گزارش دستوری (۳) تیمارهای ۱ و ۲ درصد وزنی سرباره باعث کاهش عملکرد گیاه نسبت به شاهد شده‌اند. علت



داده‌اند، تیمار محلول‌پاشی نیز توانست عملکرد بلال را ۱۹/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش دهد ولی این تفاوت‌ها با شاهد در سطح ۵٪ معنی‌دار نشد. شکل ۲ اثر سطوح مختلف دو ترکیب و تیمار محلول‌پاشی را بر عملکرد ساقه + برگ نشان می‌دهند. بالاترین عملکردها مربوط به سطوح  $S_4$ ،  $L_4$ ،  $S_3$  و  $L_3$  است که هر کدام به ترتیب ۹۰/۲، ۵۹/۵، ۵۷/۴ و ۵۴ درصد عملکرد را نسبت به شاهد افزایش داده‌اند. تیمار محلول‌پاشی نیز عملکرد ساقه + برگ را ۱۵/۸ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. افزایش عملکرد بلال و هم‌چنین ساقه + برگ به دلیل نقش مهمی است که آهن در ساخت پروتئین‌های برگ و کلروفیل ایفا می‌کند (۲۴). با توجه به نقش مهم آهن در سنتز پروتئین‌های سازنده کلروفیل و نقش کلروفیل در سنتز هیدروکربن‌ها افزایش عملکرد بلال در سطوح بالای این دو ترکیب توجیه‌پذیر است. افزایش راندمان فتوسنتز در گیاه سبب افزایش سطح برگ‌ها و هم‌چنین ضخیم‌تر شدن ساقه‌ها می‌شود که می‌تواند افزایش عملکرد ساقه + برگ را به دنبال داشته باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت که نقش این دو ترکیب در افزایش عملکرد ساقه + برگ بیشتر از عملکرد بلال بوده است.

عملکرد سیلو به مقدار اندکی نسبت به شاهد کاهش و در سطوح بالاتر این دو ترکیب ( $L_4$ ،  $L_3$  و  $S_4$  و  $S_3$ ) نسبت به شاهد افزایش پیدا کرده است. غلظت مس در بلال ذرت نسبت به شاهد تغییر چندانی نداشته است. در عملکرد ساقه + برگ در سطوح مختلف تقریباً یک روند افزایشی مشاهده می‌شود. عدم افزایش معنی‌دار غلظت آهن در عملکردهای متفاوت، کاهش غیرمعنی‌دار غلظت منگنز و روی احتمالاً در نتیجه رقیق شدن ناشی از افزایش عملکرد گیاه می‌باشد. سادیک (۲۹) در تحقیق خود نشان داد که استفاده از Fe-EDDHA به عنوان کود آهن عملکرد گیاه ذرت را صد در صد افزایش داد، در حالی که غلظت آهن ۲۹ درصد کاهش پیدا کرد. کاهش غلظت منگنز در گیاهان در اثر کاربرد سکوسترین آهن به وسیله سادیک (۲۹)، پارکپیان (۲۸) و فروهر (۶) نیز گزارش شده است. آنها دلیل این پدیده را اثرات آنتاگونیستی که بین آهن و منگنز وجود دارد ذکر کردند. هادسون (۱۶) نیز با کاربرد سولفات آهن III در گیاه ذرت به این نتیجه رسید ولی در توجیه این پدیده بر پدیده رقت در اثر افزایش عملکرد تأکید نمود. محمدی ترکشوند (۹) در کاربرد سرباره و عباسپور (۱۲) و دستوری (۳) در تحقیقات خود با کاربرد لجن کنورتور به نتایج مشابه‌ای دست پیدا کردند. هر چند بسیاری از محققین حالت آنتاگونیستی را در مورد آهن و مس بیان کرده‌اند ولی برخی تحقیقات (۱۸) یک رابطه سینرژسمی را بین این دو عنصر در گیاه برنج گزارش کردند. از طرف دیگر اندازه‌گیری مس کل گیاه نمی‌تواند شاخص مناسبی جهت ارزیابی تأثیرات متقابل این دو عنصر در گیاه باشد.

در رابطه با افزایش غلظت کلسیم و منیزیم می‌توان گفت که رشد بهتر گیاه که منجر به توسعه ریشه، افزایش قدرت جذب، تعرق و سوخت و ساز گیاه شده است، منجر به افزایش انتقال این دو عنصر به بافت‌های گیاهی می‌شود. با افزایش رشد، میزان کلسیم گیاه که نقش بسیار مهمی در تشکیل دیواره‌های سلولی دارد (عمدتاً به‌صورت پکتات‌های کلسیم) نیز افزایش می‌یابد (۲۴). غلظت منیزیم در بلال بیشتر از کلسیم بود. دلیل

### اثر سطوح مختلف دو ترکیب لجن کنورتور و سرباره بر غلظت عناصر در گیاه

تأثیر سطوح مختلف ترکیب لجن کنورتور و سرباره بر غلظت آهن، منگنز، روی، مس، کلسیم و منیزیم در عملکردهای متفاوت گیاه معنی‌دار نشده است (جدول ۵). با افزایش سطوح دو ترکیب، به مقدار ناچیزی میزان غلظت آهن، کلسیم و منیزیم عملکردهای متفاوت گیاه افزایش پیدا کرده است.

غلظت منگنز در عملکردهای مختلف با افزایش سطح تیمار تقریباً کاهش پیدا کرده است. هم‌چنین در همه تیمارها یک روند کاهشی در غلظت روی عملکردهای متفاوت گیاه با سطح ترکیب اضافه شده مشاهده می‌شود. در تیمار محلول‌پاشی نیز در عملکردهای متفاوت غلظت منگنز و روی نسبت به شاهد کمتر بودند. در تیمارهای  $L_1$ ،  $L_2$ ،  $S_1$  و  $S_2$  غلظت مس در



بالای محصول در این تیمارها و هم‌چنین افزایش منگنز قابل جذب خاک (به ویژه در تیمارهای  $S_2$  و  $S_3$ ) مربوط می‌شود. عباسپور (۱۲) و محمدی ترکاشوند (۹) نتایج مشابهی را برای آهن و منگنز گزارش کردند.

سطوح مختلف این ترکیبات سبب تغییر غیرمعنی‌داری در جذب منگنز در عملکردهای بلال و ساقه + برگ شده‌اند (جدول ۶). پایین آمدن توانایی جذب گیاه در مراحل انتهایی رشد و هم‌چنین غلظت پایین منگنز در آوندهای آبکش می‌تواند دلایل اصلی در تغییرات ناچیز جذب منگنز در این دو عملکرد باشد. کاباتا پندیاس و پندیاس (۱۸) گزارش کرد که غلظت منگنز در آوندهای آبکش کمتر از بافت‌های برگ می‌باشد و این باعث می‌شود که غلظت منگنز در میوه‌ها و بلال‌های گیاه پایین بیاید.

سطوح مختلف دو ترکیب سبب افزایش کمی در جذب روی توسط عملکردهای سیلو، بلال و ساقه + برگ شده‌اند (جدول ۶). این افزایش در عملکردهای بلال و ساقه + دانه تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت. در توجیه این موضوع می‌توان اشاره کرد که ابتدا بالا رفتن عملکرد، سبب افزایش ناچیزی در جذب روی توسط عملکردهای مختلف شده است، اما پایین آمدن توانایی جذب گیاه در مراحل انتهایی رشد مانع از معنی‌دار شدن افزایش جذب در عملکردهای ساقه + برگ و بلال گیاه شده است. محمدی ترکاشوند (۹) نتایج مشابهی را گزارش نمود.

همه سطوح، جذب مس را در عملکرد سیلو نسبت به شاهد افزایش داده‌اند به گونه‌ای که تیمارهای  $S_3$ ،  $S_4$  و  $L_4$  افزایش معنی‌داری را نسبت به شاهد ایجاد کرده‌اند (جدول ۶). این افزایش جذب در بلال و ساقه + برگ نیز روی داده است (جدول ۶). افزایش عملکرد می‌تواند عامل اصلی این تغییرات باشد. عباسپور (۱۲) در تحقیق خود نشان داد که مصرف ۱ و ۲ درصد لجن کنورتور باعث افزایش جذب مس به وسیله گیاه ذرت گردید که این افزایش در تیمار ۲ درصد بیشتر بود. وی بخشی از افزایش جذب مس را به افزایش عملکرد در تیمارهای مذکور نسبت داد.

این امر می‌تواند تحرک بیشتر منیزیم در آوندهای آبکش نسبت به کلسیم باشد (۲۴).

### اثر سطوح مختلف دو ترکیب بر جذب عناصر توسط عملکردهای متفاوت گیاه

به دلیل زیاد بودن عملکرد گیاه و وقوع پدیده رقیق شدن از پارامتر جذب (حاصل ضرب غلظت عنصر در ماده خشک گیاه) بر حسب کیلوگرم در هکتار برای تفسیر بهتر نتایج استفاده می‌شود. سطوح مختلف دو ترکیب بر جذب عناصر (آهن، منگنز، روی، مس، کلسیم و منیزیم) توسط عملکردهای متفاوت گیاه اثر معنی‌دار (۵٪) داشته‌اند (جدول ۶). با افزایش سطح دو ترکیب میزان جذب آهن در عملکرد سیلو افزایش پیدا کرده است که این افزایش تقریباً با میزان آهن اضافه شده توسط هر کدام از ترکیب‌ها متناسب بوده است (جدول ۶). بیشترین جذب آهن مربوط به سطوح بالای دو ترکیب ( $L_3$ ،  $L_4$ ،  $S_3$  و  $S_4$ ) می‌باشد. این سطوح بالاترین عملکرد (سیلو) را نسبت به سطوح دیگر داشته‌اند. سطوح مختلف دو ترکیب سبب کمی افزایش در جذب آهن توسط بلال شده است (جدول ۶). جدول ۶ نشان می‌دهد که افزایش دو ترکیب سبب افزایش جذب آهن در عملکرد ساقه + برگ نیز شده است. افزایش عملکرد ساقه + برگ و هم‌چنین نقش اساسی آهن در سنتز کلروفیل سبب این تغییرات شده است.

در تیمار محلول‌پاشی جذب آهن در همه عملکردها نسبت به شاهد افزایش غیرمعنی‌دار و ناچیزی پیدا کرده است (جدول ۶). این افزایش جذب نسبت به شاهد در این تیمار می‌تواند مربوط به بالا رفتن عملکرد گیاه نسبت به شاهد باشد. پارکینان (۲۸) نیز با مصرف کودهای مختلف آهن مانند سولفات آهن II، سکوسترین آهن و گرد و غبار حاصل از کارخانه فولاد در گیاه سورگوم دریافت که جذب آهن بوسیله گیاه وابستگی زیادی به عملکرد گیاه داشته است. افزایش جذب منگنز عملکرد سیلو در تیمارهای لجن کنورتور و سرباره نسبت به شاهد (گرچه در بسیاری از موارد معنی‌دار نیست) به عملکرد



(Fe-EDTA) سبب از بین رفتن کلروز آهن شد و عملکرد را نیز نسبت به شاهد افزایش داد، ولی با توجه به پایین تر بودن درصد افزایش عملکرد این تیمار نسبت به کاربرد لجن کنورتور و سرباره، می توان نتیجه گیری نمود کاربرد این ترکیبات مؤثرتر از محلول پاشی بوده و این ترکیبات پتانسیل بیشتری جهت درمان کلروز را دارند. کاربرد هر دو ترکیب سرباره و لجن کنورتور غلظت قابل جذب عناصر آهن، منگنز و منیزیم در خاک و نیز جذب آهن، منگنز، روی، مس، کلسیم و منیزیم را در عملکردهای مختلف گیاه افزایش داد. پیشنهاد می گردد که در تحقیقات آتی توجه ویژه ای به پیامدهای کاربرد این کودها بر ویژگی های خاک از جمله pH خاکها معطوف گردد.

### سپاسگزاری

بدین وسیله از شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان که در تأمین بخشی از مواد و هزینه های مورد نیاز اجرای این تحقیق همکاری نموده اند تشکر و قدردانی می شود.

کاربرد لجن کنورتور و سرباره جذب کلسیم و منیزیم در عملکردهای متفاوت ذرت را افزایش داده است. این افزایش که تقریباً رابطه مستقیم با افزایش عملکرد گیاه و میزان ترکیب مصرفی دارد، در سطوح بالای کاربرد کودها ( $S_4$  و  $L_4$ ) نسبت به شاهد معنی دار شده است (جدول ۶).

### نتیجه گیری

کاربرد سطوح مختلف لجن کنورتور و سرباره سبب افزایش عملکردهای متفاوت گیاه ذرت شد به گونه ای که بیشترین عملکردها مربوط به سطوح بالای این دو ترکیب ( $S_4, L_3, L_4$  و  $S_3$ ) بود. با توجه به معنی دار نبودن تفاوت بین سطح  $S_4$  با سطح  $S_3$  سرباره و نیز معنی دار نبودن تفاوت بین عملکرد سطح  $L_4$  با سطح  $L_3$  لجن کنورتور پیشنهاد می شود از سطح  $S_3$  سرباره و سطح  $L_3$  لجن کنورتور به عنوان سطوح مناسب این ترکیب ها جهت کود آهن در منطقه استفاده کرد. ضمن این که با توجه به جدید بودن کاربرد این ترکیبات در منطقه آزمایشی پایش وضعیت فلزات سنگین خاک در کاربرد بلندمدت این مواد ضروری می باشد محلول پاشی فتریلون آهن

### منابع مورد استفاده

۱. اشرفی، ا. ۱۳۸۲. غنی سازی کودهای آلی توسط ترکیبات معدنی آهن. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲. افلاکی، ع. ۱۳۷۴. تحقیق روی پارامترهای مؤثر در بازیابی ترکیبات وانادیومی از سرباره. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. دستوری، ع. ۱۳۸۰. اثر پوسته های اکسیدی، لجن کنورتور و سرباره کارخانه های ذوب آهن و فولاد اصفهان بر رشد و عملکرد ذرت در یک خاک آهکی. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۴. سالاردینی، ع. ا. ۱۳۷۱. حاصلخیزی خاک. چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران.
۵. شریعتمداری، ح. ۱۳۶۸. بررسی امکان استفاده از پودر خون بعنوان کود آهن. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۶. فروهر، م.، م. کلباسی و ح. شریعتمداری. ۱۳۸۱. تأثیر پودر اکسید ضایعاتی حاصل از فرایند اسید شوئی فولاد بر غلظت بعضی عناصر کم مصرف و پ. هاش خاک. مجله علوم خاک و آب ۱۶(۲): ۱۴۳-۱۳۶.
۷. فرهنگ، پ. ۱۳۶۳. تولید آهن و فولاد. انتشارات دانشگاه امیرکبیر، تهران.

۸. کلباسی، م. ۱۳۷۷. بررسی استفاده از سرباره فولاد سازی و لجن کنورتور ذوب آهن اصفهان به عنوان کود و ماده اصلاح کننده خاک. گزارش طرح، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۹. محمدی ترکشوند، ع. ۱۳۷۹. بررسی اثر سرباره کنورتور (فولادسازی) به عنوان اصلاح کننده در خاک‌های اسیدی و کود آهن در خاک‌های آهکی و اسیدی. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۱۰. معزاردلان، م. و غ. ثوابی. ۱۳۷۶. تغذیه درختان میوه (ترجمه). چاپ اول، مؤسسه نشر جهاد، تهران.
۱۱. ملکوتی، م. ج. و م. ن. غیبی. ۱۳۷۹. تعیین حد بحرانی عناصر غذایی مؤثر در خاک، گیاه و میوه در راستای افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات استراتژیک کشور. چاپ دوم، نشر آموزش کشاورزی، کرج.
12. Abbaspour, A., M. Kalbasi and H. Shariatmadari. 2004. Effect of steel converter sludge as iron fertilizer and soil amendment in some calcareous soils. *J. Plant Nutr.* 27(2): 377-394.
13. Anderson, W. B. and P. Parkpian. 1984. Plant availability of an iron waste product utilized as an agricultural fertilizer on calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 7(1-5):223-233.
14. Barrau, E. M. and W. A. Berg. 1977. Pyrite and Pyritic mill tailing as a source of iron in a calcareous iron-deficient soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 385-388.
15. Bindra, A. S. 1983. Iron Chlorosis in Horticulture and Field-Crops. Kalyani Pub., New Delhi.
16. Hadgson, J. F., K. L. Neeley and J. C. Pushee. 1972. Iron fertilization of calcareous soils in the greenhouse and laboratory. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36: 320-324.
17. Hagstrom, G. R. 1984. Current management practices for correcting iron deficiency in plants with emphasis on soil management. *J. Plant Nutr.* 7(1-6): 23-46.
18. Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 2001. Trace Elements in Soils and Plants. 3<sup>rd</sup> ed., CRC Press, USA.
19. Knezek, B. D. and A. Grinert. 1971. Influence of soil Fe and Mn-EDTA interaction upon the Fe and Mn nutrition of bean plants. *Agron. J.* 63: 617-619.
20. Kristen, M. and K. J. Erstad. 1996. Converter slag as a liming material on organic soils. *Norwegian-J. Agric. Sci.* 10(1): 83-93.
21. Lindsay, W. L. 1989. Iron oxide solubilization by organic matter and its effect on iron availability. *Proceeding of the 5<sup>th</sup> International Symposium on Iron Nutrition and Interactions in Plants.* pp. 29-36.
22. Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.
23. Lucas, R. E. and B. C. Knezek. 1972. Climate and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. *Soil Sci. Soc. Am. Inc., Medison, WI.*
24. Marshner, H. 1995. Mineral nutrition of Higher Plant. 2<sup>nd</sup> ed., Academic Press, New York.
25. Morris, D. R., R. H. Loeppert and T. J. Moore. 1989. Indigenous soil factors influencing iron chlorosis of soybean in calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1329-1336.
26. Mortvedt, J. J. 1988. Iron source and management practices for correcting iron chlorosis problems. *J. Plant Nutr.* 9: 94-97.
27. Norvell, W. A. and W. I. Lindsay. 1982. Effect of ferric chloride additions in the solubility of ferric iron in a near-neutral soil. *J. Plant Nutr.* 5: 1285-1295.
28. Parkpian, P. 1983. The potential of iron waste by product as an iron fertilizer in alkaline soil. Texas A&M Univ., USA.
29. Sadiq, M. 1993. Effect of chelate fertilizers on metal concentrations and growth of corn in pot experiment. *J. Plant Nutr.* 16(4): 699-711.
30. Stroehlin, J. L. and C. Berger. 1963. The use of ferrosul, a steel industry by-product, as a soil amendment. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27: 51-53.
31. United Nations. 1990. The recuperation and economic utilization of by-products of the iron and steel industry. Economic commission for Europe, Geneva.