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

حسین شریعتمداری[۱]، یحیی رضایی نژاد[۱*]، علی عبدی[۲]، علی محمودآبادی[۱] و مهین کرمی[۱]

(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 هم‌چنین 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 محلول‌پاشی توسط فتریلون (Fe-EDTA) با غلظت ۵ در هزار، لجن کنورتور در ۴ سطح ($L_1$، $L_2$، $L_3$ و $L_4$ به ترتیب برابر با ۵/۸۳، ۱۳/۳۳، ۲۰/۸۳ و ۲۶/۶۷ تن در هکتار) و سرباره در چهار سطح ($S_1$، $S_2$، $S_3$ و $S_4$ 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 عصاره‌گیری خاک شده ولی تأثیری روی، مس و کلسیم قابل عصاره‌گیری نداشت. سطوح مختلف سبب افزایش عملکردهای گیاه ذرت شد به گونه‌ای که بیشترین عملکرد در سطوح بالای دو ترکیب ($L_4$، $L_3$، $S_4$ و $S_3$) اتفاق افتاد. تیمار محلول‌پاشی سبب از بین رفتن کلروز برگی 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. هم‌چنین 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 $L_3$ و $S_3$ لجن کنورتور و سرباره می‌توانند مناسب‌ترین سطوح این ترکیبات به عنوان کود آهن پیشنهاد شوند.**


**واژه‌های کلیدی: لجن کنورتور، سرباره، عناصر تغذیه‌ای گیاه، عملکرد، ذرت**

## مقدمه

آهن یکی از اجزای اصلی لیتوسفر و از عناصر کم‌مصرف ضروری مورد نیاز گیاه می‌باشد که در تولید انرژی و پروسه‌های استفادهٔ انرژی و بسیاری از واکنش‌های حیاتی دخالت دارد. از نظر تغذیه گیاه مقدار آهن محلول در خاک حائز اهمیت می‌باشد 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 می‌یابد و بر عکس با افزایش pH و رداکس، آهن رسوب

۱. به ترتیب دانشیاران، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشجوی دکتری خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Rezainejad@cc.iut.ac.ir



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.50.9 ]

می‌کند (۲۱). کمبود آهن که بیشتر در خاک‌های آهکی بروز می‌کند از شایع‌ترین کمبودهای غذایی است که کنترل آن نیز مشکل می‌باشد (۲۴ و۲۵). در ایران نیز همانند بسیاری از نقاط دیگر دنیا عارضهٔ 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، تهویهٔ ضعیف ( $CO_2$ اضافی)، دماهای پایین، کمبود آهن خاک، مقدار کم مواد آلی و غلظت بالای $HCO_3^-$ در محیط ریشه ایجاد می‌شود (۱۹ و۲۳). 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 به‌دلیل گرانی فقط برای محصولات ویژه مصرف می‌شوند (۲۶). در شرایط کشور ما نیز علاوه بر گرانی، عدم تولید کلات‌های آهن در داخل سبب شده‌است 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. استرولین و برگر (۳۰) از فروسل (Ferrosul) 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 پارکپیان (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 پاره ای مناطق جهت درمان کمبود آهن کاربرد دارند (۳، ۸ و ۹). در کارخانه‌های فولادسازی هنگامی که اکسیژن به داخل کورهٔ 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 کورهٔ بلند ذوب آهن را به



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.50.9 ]

همان شکل مذاب به دستگاه‌های تبدیل کننده (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 و۲ 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، ۱و۲ درصد لجن کنورتور و ۰/۵ 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 کودآهن 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 قابل‌جذب شد. 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 کارخانهٔ ذوب آهن اصفهان جهت درمان کلروز ناشی از کمبود آهن در گیاهان مختلف در تحقیقات گذشته (۳، ۸، ۹ و۱۲)، 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 سیلتی‌کلی‌لوم، 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 وسیلهٔ 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 عناصرضروری دیگر نیز در این دو ترکیب به مقدار قابل توجه وجود دارند. pH در سوسپانسیون ۱۰۰ گرم لجن کنورتور در لیترآب مقطر برابر ۶/ ۱۱ و EC در عصارهٔ این سوسپانسیون برابر (dS $m^{-1}$) ۰/۹۸ بود. این دو پارامتر برای سرباره به ترتیب برابر ۱۲/۴ و(dS $m^{-1}$) ۳/۷ می‌باشد. از نظردانه‌بندی نیز بیش از ۹۵ درصد ذرات لجن کنورتور و در حدود ۷۰ درصد ذرات



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.50.9 ]

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

| ترکیب | T.Fe* | $Fe_2O_3$ | FeO | CaO | $SiO_2$ | MgO | $P_2O_5$ | MnO | ZnO | S | $K_2O$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 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

**جدول۲. میزان لجن کنورتور و سرباره مصرفی در تیمارهای مختلف آزمایشی**

| تیمار | $L_1$ | $L_2$ | $L_3$ | $L_4$ | $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | $S_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مقدار کود مصرفی ($ton\ ha^{-1}$) | ۵/۸۳ | ۱۳/۳۳ | ۲۰/۸۳ | ۲۶/۶۷ | ۳/۲۰ | ۷/۲۸ | ۱۱/۳۶ | ۱۵/۴۴ |

سرباره دارای قطر کوچک‌تر از ۰/۵ میلی‌متر می‌باشند.

## تیمارهای آزمایش و طرح آماری

این تحقیق با ۱۰ تیمار و در سه تکرار به صورت بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. هر بلوک شامل ۱۰ کرت به ابعاد (۳× ۱۲m) 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 قابل‌جذب این ترکیب ($L_1$، $L_2$، $L_3$و $L_4$). ۳) سرباره ذوب آهن در چهار سطح ۱، ۲، ۳ و ۴ برابر مقدار توصیه آزمون خاک (۱۱) بر حسب آهن قابل‌جذب این ترکیب ($S_1$، $S_2$، $S_3$ و $S_4$). ۴) محلول‌پاشی آهن با غلظت ۵ در هزار در دو مرحله (Sp). جدول۲ میزان مصرفی دو ترکیب مورد آزمایش در تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد.

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 زمین‌های 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 قابل‌جذب خاک و سطح توصیه شده در آزمون خاک (۱۱) محاسبه و به کرت‌های مربوطه اضافه شد. حد متوسط آهن قابل‌جذب خاک (قابل عصاره‌گیری با DTPA) برای اغلب محصولات زراعی توسط ملکوتی و همکاران (۱۱) برابر ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک ذکر شده است که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به میزان آهن اولیه قابل عصاره‌گیری خاک و هم‌چنین میزان آهن قابل‌جذب ترکیبات لجن کنورتور و سرباره (آهن قابل‌جذب در لجن کنورتور و سرباره به ترتیب ۳۰۰۰ و ۵۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری شد)، مقدار آهن قابل‌جذب خاک به ۱، ۲، ۳ و ۴ برابر حد بحرانی ذکر شده به ترتیب برابر ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک محاسبه و به کرت‌های مربوطه اضافه و تا عمق ۱۵ سانتی‌متری به خوبی با خاک مخلوط گردید. کاشت بذرهای ذرت سینگل کراس ۷۰۴ به‌صورت ردیفی در فواصل ۱۰ سانتی متری یکدیگر و در ۴ ردیف با فواصل ۷۵ سانتی‌متر در هر کرت در اواخر فصل بهار صورت گرفت. در طول دورهٔ رشد گیاهان آبیاری به‌صورت سطحی (غرقابی) و با فواصل ۹-۶ روز یک بار انجام شد. در کرت‌های تحت تیمار محلول‌پاشی، محلول‌پاشی در دو مرحله قبل از گل‌دهی و گل‌دهی 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



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.50.9 ]

**جدول ۳. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه**

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

فصل رشد اضافه شد (۱۱). حذف علف‌های هرز در طی فصل رشد در چند نوبت و به‌صورت دستی صورت گرفت.

**نمونه‌برداری از گیاه و خاک و تجزیه نمونه‌ها**

در مرحلهٔ اول نمونه‌برداری جهت تعیین عملکرد سیلو، ۷۵ روز پس از سبز شدن، در یک مترمربع از وسط هر کرت، گیاهان از یک سانتی‌متری بالای سطح خاک به وسیلهٔ تیغ استیل قطع شدند. مرحلهٔ دوم نمونه‌برداری نیز به شکل فوق‌الذکر جهت تعیین عملکرد بلال و ساقه + برگ ، ۱۰۵ روز پس از سبز شدن گیاهان در مرحلهٔ رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه صورت گرفت. بوته‌های برداشت شده به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی گراد در آون تهویه‌دار تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند. نمونه‌های گیاهی خشک شده در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد جهت تعیین وزن خشک در مرحلهٔ سیلو و هم‌چنین عملکردهای بلال و ساقه + برگ در آزمایشگاه توزین شدند.

نمونه‌برداری از خاک کرت‌ها پس از برداشت گیاه با رعایت حدود نیم متر اثر حاشیه‌ای به صورت مرکب انجام گرفت.

به منظور تعیین میزان فلزات قابل‌جذب در نمونه‌های خاک از عصاره‌گیر AB-DTPA استفاده شد. نمونه‌های خاک با محلول AB-DTPA (DTPA، ۰/۰۰۵ مولار به‌علاوه بی‌کربنات آمونیوم یک مولار در۷/۶ =pH) عصاره‌گیری شدند (۲۲). در مورد لجن کنورتور و سرباره نسبت‌های متفاوتی از این دو ترکیب با محلول عصاره‌گیر مخلوط و پس از عصاره‌گیری، میزان آهن قابل‌جذب آنها توسط دستگاه اتمیک قرائت شد. در نهایت نسبت ۱ : ۱۵۰ به عنوان نسبت مناسب ترکیب به عصاره‌گیر انتخاب گردید (در این آزمایش با افزایش نسبت عصاره‌گیر 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 قابل‌جذب استفاده گردید) که میزان آهن قابل‌جذب در لجن کنورتور و سرباره به ترتیب ۳۰۰۰ و ۵۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری شد. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و هم‌چنین عناصر قابل‌جذب خاک که همگی به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شده‌اند 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 عصاره‌گیری 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 نیتروژن کل به روش کلدال تعیین گردید.

جهت تعیین عناصر آهن، روی، منگنز، مس، نیکل، سرب، کلسیم و منیزیم در نمونه‌های گیاهی مقدار یک گرم نمونهٔ آسیاب شده در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد 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 اندازه‌گیری شد.



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.50.9 ]

**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$^{d}$ | ۷/۴$^{de}$ | ۱/۳۱$^{a}$ | ۳/۶$^{a}$ | ۲۶۵$^{a}$ | ۲۸۷$^{a}$ |
| $L_1$ | ۱۲/۸$^{c}$ | ۸/۲$^{de}$ | ۱/۴۸$^{a}$ | ۳/۸$^{a}$ | ۲۱۴$^{a}$ | ۲۳۱$^{bc}$ |
| $L_2$ | ۱۶/۰$^{bc}$ | ۷/۶$^{de}$ | ۱/۲۹$^{a}$ | ۳/۸$^{a}$ | ۱۸۳$^{a}$ | ۲۱۴$^{bc}$ |
| $L_3$ | ۱۷/۶$^{b}$ | ۷/۶$^{de}$ | ۱/۲۸$^{a}$ | ۳/۳$^{a}$ | ۱۹۷$^{a}$ | ۲۰۲$^{c}$ |
| $L_4$ | ۳۰/۸$^{a}$ | ۶/۴$^{e}$ | ۱/۱۲$^{a}$ | ۳/۴$^{a}$ | ۱۸۶$^{a}$ | ۱۹۴$^{c}$ |
| $S_1$ | ۱۸/۴$^{b}$ | ۱۳/۸$^{c}$ | ۱/۲۹$^{a}$ | ۳/۴$^{a}$ | ۲۲۵$^{a}$ | ۲۴۷$^{b}$ |
| $S_2$ | ۱۹/۲$^{b}$ | ۲۸/۶$^{a}$ | ۱/۲۱$^{a}$ | ۳/۸$^{a}$ | ۲۱۴$^{a}$ | ۲۳۰$^{bc}$ |
| $S_3$ | ۲۸/۵$^{a}$ | ۲۲/۴$^{b}$ | ۱/۳۱$^{a}$ | ۳/۶$^{a}$ | ۲۲۰$^{a}$ | ۲۱۰$^{bc}$ |
| $S_4$ | ۳۱/۶$^{a}$ | ۹/۸$^{d}$ | ۱/۱۵$^{a}$ | ۳/۴$^{a}$ | ۲۰۳$^{a}$ | ۱۹۷$^{c}$ |
| Sp | ۵/۲$^{d}$ | ۷/۰$^{e}$ | ۱/۲۲$^{a}$ | ۳/۴$^{a}$ | ۲۱۸$^{a}$ | ۲۴۴$^{b}$ |

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

**پردازش داده‌ها**

تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات به‌وسیلهٔ 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 $S_3$ و $S_4$ 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 درسطح 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 $S_1$، $S_2$ و $S_3$ 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 $S_4$ 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



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.50.9 ]

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 ۰/۵ درصد وزنی تفاوت معنی‌داری با شاهد ندارد اما تیمارهای ۱و۲ درصد وزنی افزایش آهن قابل عصاره‌گیری را نسبت به شاهد نشان می‌دهند. وی هم‌چنین گزارش کرد که تیمارهای ۰/۵ 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 پارکپیان (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 به‌دست آوردند. به نظر می‌رسد که این دو ترکیب تأثیری بر مقدار روی و مس قابل‌جذب خاک نداشته و از لحاظ تغذیهٔ 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=٪۵۲/۸۵) با افزایش سطح سرباره، کلسیم قابل عصاره‌گیری نسبت به تیمارهای لجن کنورتور افزایش معنی‌داری حاصل نکرده است.

دستوری (۳) در تحقیق خود نشان داد که تیمارهای ۱و۲ 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.

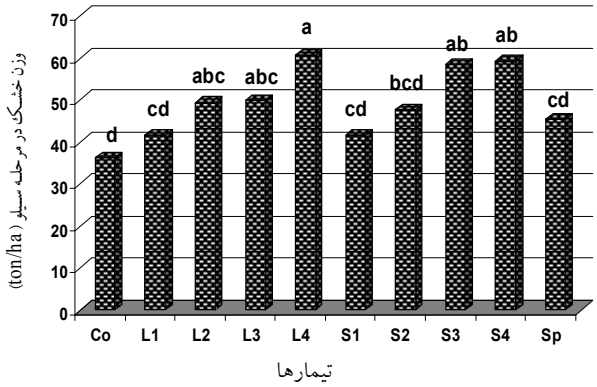
### تأثیر سطوح مختلف لجن کنورتور و سرباره بر عملکرد وزن خشک سیلو، بلال و ساقه + برگ

اثر سطوح مختلف این دو ترکیب بر عملکرد وزن خشک گیاه در مرحلهٔ سیلو و بر عملکرد ساقه + برگ در سطح ٪۵ معنی‌دار شده ولی درمورد 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 ($L_4$، $L_3$، $S_4$ و $S_3$) 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 ($L_4$، $S_4$ و $S_3$) 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 ۱و۲ درصد وزنی لجن کنورتور افزایش قابل توجهی در وزن خشک گیاه نسبت به شاهد را

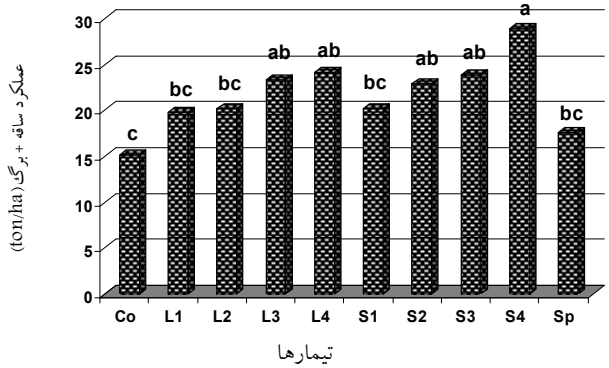


[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15 ]

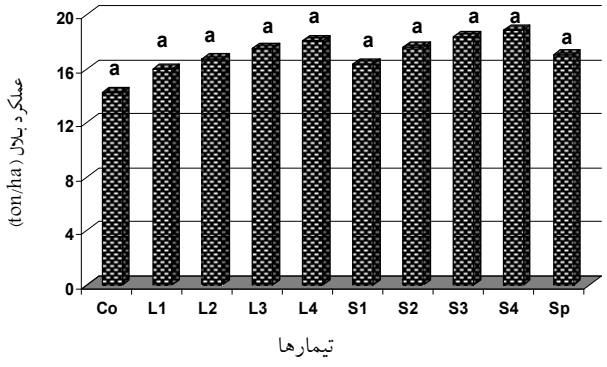
[ DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.50.9 ]




**شکل ۱. اثرتیمارهای مختلف بر عملکرد وزن خشک سیلو**




**شکل ۲. اثرتیمارهای مختلف بر عملکرد ساقه + برگ**




**شکل ۳. اثرتیمارهای مختلف بر عملکرد بلال**

باعث شد. در حالی که بیش از این مقدار اثر معنی‌داری 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 نوبهٔ خود می‌تواند باعث کاهش عملکرد گردد. محمدی ترکاشوند(۹) نشان داد که کاربرد ۱و۲ درصد وزنی سرباره در خاک‌های اسیدی سبب افزایش معنی‌دار 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 آهنIII 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 ۱و۲ درصد وزنی سرباره باعث کاهش عملکرد گیاه نسبت به شاهد شده‌اند. علت این پدیده را افزایش pH خاک و ایجاد شرایط نامناسب شیمیایی و عدم تعادل بین عناصر غذایی در خاک ذکر کرده‌اند.

با توجه به این‌که عملکرد سیلوی سطوح $S_4$ و $S_3$ فاقد تفاوت معنی‌دار (سطح ۵٪) می‌باشند و با توجه به تأثیر اندک سطح $S_4$ بر pH خاک می‌توان از سطح $S_3$ سرباره که دارای خطر کمتری می‌باشد به عنوان کود آهن استفاده نمود. تفاوت سطوح $L_4$ و $L_3$ نیز از نظر آماری معنی‌دار نشده است، بنابراین می‌توان از سطح $L_3$ 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 ($L_4$، $L_3$، $S_4$ و $S_3$) بوده که ۲۷/۱، ۲۳/۲، ۳۲/۷ و۲۹/۲ درصد عملکرد بلال را نسبت به شاهد افزایش



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.50.9 ]

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 به‌دلیل 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.

## 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 همهٔ 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 عملکرد سیلو به مقدار اندکی نسبت به شاهد کاهش و در سطوح بالاتر این دو ترکیب ($L_3$، $L_4$، $S_3$ و $S_4$) 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 نتیجهٔ 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 وسیلهٔ 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 پدیدهٔ رقت در اثر افزایش عملکرد تأکید نمود. محمدی ترکاشوند (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 سینرژیسمی 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 وساز 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



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.50.9 ]

[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.50.9 ]

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 (حاصل‌ضرب غلظت عنصر در مادهٔ 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 بوده‌است (جدول ۶). بیشترین جذب آهن مربوط به سطوح بالای دو ترکیب ($L_4$، $L_3$، $S_4$ و $S_3$) 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 شده‌است. 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 (جدول۶). این افزایش جذب نسبت به شاهد در این تیمار می‌تواند مربوط به بالا رفتن عملکرد گیاه نسبت به شاهد باشد. پارکپیان(۲۸) نیز با مصرف کودهای مختلف آهن مانند سولفات آهنII، سکوسترین آهن و گرد وغبار 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 بالای محصول در این تیمارها و هم‌چنین افزایش منگنز قابل‌جذب 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 (جدول۶). 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.

همهٔ سطوح، جذب مس را در عملکرد سیلو نسبت به شاهد افزایش داده‌اند به گونه‌ای که تیمارهای $L_4$، $S_3$ و $S_4$ 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.



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.50.9 ]

[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.50.9 ]

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

## نتیجه‌گیری

کاربرد سطوح مختلف لجن کنورتور و سرباره سبب افزایش عملکردهای متفاوت گیاه ذرت شد به گونه‌ای که بیشترین عملکردها مربوط به سطوح بالای این دو ترکیب ($L_4$، $L_3$، $S_4$ و $S_3$) بود. با توجه به معنی‌دار نبودن تفاوت بین عملکرد سطح $S_4$ با سطح $S_3$ سرباره و نیز معنی‌دار نبودن تفاوت بین عملکرد سطح $L_4$ با سطح $L_3$ لجن کنورتورپیشنهاد می‌شود از سطح $S_3$ سرباره و سطح $L_3$ لجن کنورتور به عنوان سطوح مناسب این ترکیب‌ها جهت کود آهن در منطقه استفاده کرد. ضمن این‌که با توجه به جدید بودن کاربرد این ترکیبات در منطقه آزمایشی پایش وضعیت فلزات سنگین خاک در کاربرد بلندمدت این مواد ضروری می‌باشد محلول‌پاشی فتریلون آهن (Fe-EDTA) سبب از بین رفتن کلروز آهن شد و عملکرد را نیز نسبت به شاهد افزایش داد، ولی با توجه به پایین‌تر بودن درصد افزایش عملکرد این تیمار نسبت به کاربرد لجن کنورتور و سرباره، می‌توان نتیجه‌گیری نمود کاربرد این ترکیبات مؤثرتر از محلول‌پاشی 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 می‌گردد که در تحقیقات آتی توجه ویژه‌ای به پیامدهای کاربرد این کودها بر ویژگی‌های خاک از جمله pH خاک‌ها معطوف گردد.

## سپاسگزاری

بدین وسیله از شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان که در تأمین بخشی از مواد و هزینه‌های مورد نیاز اجرای این تحقیق همکاری نموده‌اند تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع مورد استفاده


۱. اشرفی، ا. ۱۳۸۲. غنی سازی کودهای آلی توسط ترکیبات معدنی آهن. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲. افلاکی، ع. ۱۳۷۴. تحقیق روی پارامترهای مؤثر در بازیابی ترکیبات وانادیومی از سرباره. پایان نامه کاشناسی ارشد، دانشکده مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳. دستوری، ع. ۱۳۸۰. اثر پوسته‌های اکسیدی، لجن کنورتور و سربارهٔ کارخانه‌های ذوب آهن و فولاد اصفهان بر رشد و عملکرد ذرت در یک خاک آهکی. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، 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. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، 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 کم‌مصرف 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.




[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.50.9 ]

۸. کلباسی، م. ۱۳۷۷. بررسی استفاده از سرباره فولاد سازی و لجن کنورتور ذوب آهن اصفهان به عنوان کود و مادهٔ اصلاح کننده خاک. گزارش طرح، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۹. محمدی ترکاشوند، 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. ثواقبی. 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. 3rd 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. Norwegan-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 5th 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. 2nd 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.

[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.50.9 ]