تاثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر میزان آهن قابل جذب خاک و جذب آن توسط گندم

اکبر قدمخانی[۱]، نعیمه عنایتی‌ضمیر[۲*]، مجتبی نوروزی‌مصیر[۲]

تاریخ دریافت: ۹۶/٤/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۲۸

۱-دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲-دانشیار و استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز
*مسئول مکاتبه: Email: n.enayatzamir@scu.ac.ir

چکیده

کمبود آهن قابل جذب برای گیاه در بیشتر اراضی تحت کشت کشور وجود دارد. از طرفی برخی باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌توانند موجب افزایش دسترسی عناصر برای گیاه شوند. در مطالعه حاضر تاثیر باکتری‌های محرک رشد بر آهن قابل جذب در خاک و برخی ویژگی‌های گندم رقم چمران در قالب طرح کاملا تصادفی با آرایش فاکتوریل در گلخانه بررسی شد. فاکتورهای آزمایش شامل چهار سطح باکتری، شاهد بدون مایه زنی، مایه‌زنی با *انتروباکتر کلوآسه R33*، مایه زنی با *انتروباکتر کلوآسه* sug R_1 و مایه زنی با هردو باکتری و سه سطح کود سولفات آهن (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیازی کودی) بودند. نتایج نشان دهنده کمترین مقدار pH و بیشترین مقدار آهن قابل جذب خاک در تیمار دارای مخلوط دو باکتری و سطح کودی ۵۰ درصد مشاهده شد. بیشترین عملکرد دانه با ۲٦ درصد افزایش در تیمار مخلوط دو باکتری و سطح کودی ۵۰ درصد نسبت به شاهد مشاهده گردید. بیشینه غلظت آهن و همچنین آهن جذب شده در دانه نیز به ترتیب با ۱۷۲ و ۵۰ افزایش نسبت به شاهد در تیمار مخلوط دوباکتری و سطح کودی ۵۰ درصد به‌دست آمد.

واژه های کلیدی: باکتری محرک رشد گیاه، عملکرد، کلروفیل، کود شیمیایی، گندم

Effect of Plant Growth Promoting Bacteria on Soil Available Iron and Its Uptake by Wheat

Akbar Ghadamkhani[2], Naeema Enayatizamir[1*], Mojtaba Norouzi Masir[2]

Received: July 19, 2017 Accepted: November 19, 2017
1-Graduate Student, Dept. of Soil Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
2-Assoc. Prof., and Assist., Dept. of Soil Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
*Corresponding Author Email: n.enayatzamir@scu.ac.ir

Abstract

There is a available iron deficit for the plant in most of the country cultivated lands. On the other hand, some bacteria that stimulate plant growth can increase the access of the elements to the plant. In the present study, the effect of plant growth promoting bacteria (PGPB) on exchangeable iron in soil and some characteristics of wheat (Chamran cultivar) were investigated in a completely randomized design with factorial arrangement in greenhouse.Treatments consisted of four levels of bacteria, without inoculation (control), inoculation with *Enterobacter cloacae* R33, inoculation with *Enterobacter cloacae* sug R_1, inoculation with both *E. cloacae* R33 and *E. cloacae* sug R_1) and three levels of $FeSO_4$ (0 %, 50 % and 100 % of iron requirement). During the experiment, characteristics such as plant height and chlorophyll index were measured. According to the results the lowest amount of pH and the highest amount of soil exchangeable iron were observed in the treatment containing consortium of bacteria and application of 50 percent of plant iron requirement. Maximum grain yield with 26 percent increment was observed in the treatment containing consortium of bacteria and application of 50 percent of plant iron requirement. Maximum grain iron concentration and its uptake were also obtained under treatment of bacteria consortium and 50 percent of plant iron requirement by 172 and 50 percent over the control.

Keywords: Chemical fertilizer, Chlorophyll, PGPR, Wheat, Yield

مقدمه

آهن یک عنصر ضروری برای رشد گیاه است و در فرآیندهای مختلف مانند فتوسنتز و تولید کلروپلاست نقش دارد و جزء اصلی سیستم ریداکس سلولی است (نگاجوتی و همکاران ۲۰۱۰). حدود بحرانی مقدار آهن قابل تبادل در خاک به طور معمول بین ۲/۵ تا ٤/٥ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) گزارش شده است (لیندسی و نورول ۱۹۷۸). با وجود اینکه مقدار آهن کل در خاک زیاد بوده اما به دلیل حلالیت کم ترکیبات دارای آهن، مقدار قابل دسترس آن برای گیاهان در اکثر خاک‌ها کم است (لیندسی ۱۹۸٤). آهن قابل دسترس خاک برای رشد گیاه به شرایط اکسید-احیایی، مقدار کربنات کلسیم، مقدار ماده آلی و pH خاک بستگی دارد (وی و همکاران ۲۰۱۰). حلالیت شیمیایی و قابلیت دسترسی کم آهن تحت تاثیر عواملی مانند pH بالا، مواد آلی کم و آهک خاک است، کربنات کلسیم آزاد در خاک های آهکی اغلب موجب کمبود آهن در گیاهان است (سهر و همکاران ۲۰۱۱؛ آلکانترا و همکاران

۲۰۰۲). با توجه به اینکه میزان آهن قابل دسترس در خاک‌های آهکی بسیار پایین است، بنابراین کمبود آهن یک علت شایع برای کاهش رشد گیاهان در جهان است (لیو و همکاران ۲۰۱۷). برخی ریزجانداران (باکتری‌ها، قارچ ها، مخمرها، جلب ها و گلسنگ‌ها) قادرند سیلیکات-ها را تجزیه و عناصری مثل پتاسیم، آهن، روی، سیلیسیوم، فسفر و غیره را آزاد کنند که در این میان باکتری‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (الکساندروف و همکاران ۱۹٦۷). ریزجاندارن خاک در شرایط کمبود آهن توانایی آزاد کردن مقدار آهن غیر قابل دسترس گیاه را با تولید سیدروفور دارند. سیدروفورها ترکیب‌های آلی با وزن مولکولی کم و لیگاندهای شیمیایی با میل ترکیبی شدید و اختصاصی برای پیوند شدن با آهن III هستند (سزارد و همکاران ۲۰۱۵؛ کانراث و همکاران ۲۰۱۵). لیو همکاران (۲۰۱۷) کاهش مقدار pH خاک را به عنوان عاملی برای افزایش جذب آهن بوسیله بادام زمینی تحت تاثیر باکتری *Paenibacillus illinoisensis* و*Bacillus sp.* را گزارش کردند. ژانگ و کونگ (۲۰۱٤) افزایش مقدار پتاسیم بوسیله باکتری‌های انحلال کننده پتاسیم را در حضور کانی‌های فلدسپار به دلیل تاثیر گذاری این سویه‌ها بر روی ترشحات ریشه‌ای و کاهش مقدار pH خاک گزارش کردند.

امروزه ضرورت افزایش میزان تولید و کیفیت محصولات کشاورزی منجر به استفاده زیاد از کودهای شیمیایی شده است. استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی آلودگی آب و خاک و در دراز مدت کاهش حاصلخیزی خاک را به دنبال دارد. استفاده از کودهای زیستی دارای ریزجاندارن مفید در کشاورزی موجب بهبود رشد گیاه شده و به حفظ سلامت خاک کمک می-کند (آدسیمیو و همکاران ۲۰۰۹). ریزجاندارن از طریق افزایش فراهمی عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، آهن و روی و افزایش تولید هورمون‌های محرک رشد گیاهی سبب بهبود رشد و عملکرد خواهند شد (افضل و بانو، ۲۰۰۸). تاثیر *E. cloacae* sug R_1 در افزایش رشد و جذب پتاسیم در گندم گزارش شده است (پیرهادی و همکاران ۲۰۱٦). رامش و همکاران(۲۰۱۴) در آزمایش تاثیر *Enterobacter cloacae* بر غلظت عناصر در ریشه گندم و سویا، افزایش غلظت ، N، P، K، Zn، Cu، Fe و Mn در ریشه و ساقه و دانه گندم و سویا را در مقایسه با شاهد گزارش کردند. رانا و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند باکتری‌های *Bacillus* sp. و*Providencia* sp. موجب افزایش مقدار آهن و منگنز و همچنین زیست‌توده گیاهی و وزن دانه در گندم می‌شوند (رانا و همکاران ۲۰۱۲). مطالعه حاضر با هدف بررسی تاثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر میزان آهن قابل جذب خاک و جذب آن توسط گندم و عملکرد گیاه صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه خاک از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز به صورت مرکب از عمق زراعی ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک تهیه و بعد از هوا خشک شدن، برخی خصوصیات آن (جدول ۱) شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (کلوت ۱۹۸٦)، هدایت الکتریکی و pH خاک در عصاره۱:۱ خاک: آب، مواد آلی به روش والکی و بلک، آهک به روش تیتراسیون، فسفر قابل دسترس به روش اولسن، پتاسیم قابل دسترس با استفاده از استات آمونیوم و نیتروژن به روش کجلدال و آهن قابل جذب با DTPA تعیین گردیدند (گوبتا ۲۰۰٤).

تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر برخی ویژگی-های گندم رقم چمران در شرایط گلخانه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار بررسی شد. فاکتورهای آزمایش شامل مایه زنی باکتری به خاک در چهار سطح [شاهد(B_1)، *انتروباکتر کلوآسه* R33[1] (B_2)، *انتروباکتر کلوآسه* sug R_1[2] (B_3) و ترکیب *انتروباکتر کلوآسه* R33 و *انتروباکتر کلوآسه*

[1] *Enterobacter cloacae* R33
[2] *Enterobacter cloacae* sug R_1

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

ویژگی(واحد)	مقدار
pH	۷/۳
هدایت الکتریکی(dS/m)	۳/۱
نیتروژن (٪)	۰/۰۶
فسفر قابل جذب (mg/kg)	۱۱/۲
ماده آلی (٪)	۰/۶۵
پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	۲۵۰
بافت خاک	Clay Loamy
ظرفیت تبادل کاتیونی (Cmol+/kg)	۱۳/۱
آهن قابل جذب (mg/kg)	۰/۸۵

(B_4) sug R_1] و فاکتور دوم شامل سه سطح کودی سولفات آهن (صفر (F_1) و ۵۰ درصد (F_2) و ۱۰۰ درصد (F_3) نیاز کودی) بود. میزان آهن توصیه شده از منبع سولفات آهن($FeSO_4.H_2O$) با خلوص ۲۰ درصد، ۲۰ کیلوگرم در هکتار بود که به صورت جامد به خاک اضافه و مخلوط شد. باکتریهای مذکور از کلکسیون میکروبی گروه خاکشناسی دانشگاه شهید چمران اهواز تهیه شدند. به ازای هر بذر یک میلی‌لیتر از کشت شبانه باکتری با کدورت معادل نیم‌مک‌فارلند (CFU/ml ۱۰۸*۱/۵) به منظور مایه‌زنی به خاک استفاده شد. برای گندزدایی رویه دانه‌ها و جلوگیری از آلودگی‌های میکروبی، بذرها برای ۱۰دقیقه درمحلول هیپوکلریت سدیم یک درصد قرار گرفته و سپس با آب مقطر سترون چندین بار شستشو داده شدند (تال احمد، ۲۰۱۱). برای تامین عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد نیاز گیاه، کوددهی بر اساس آزمون خاک و توصیه‌های کودی برای گیاه گندم انجام شد، که به ترتیب از منابع کود اوره (۵۰۰ کیلوگرم در هکتار)، سوپرفسفات تریپل (۵۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۵۰ کیلوگرم در هکتار) استفاده گردید (ملکوتی و غیبی ۲۰۰۰). رطوبت خاک گلدان‌ها طی دوره آزمایش از طریق وزنی تقریباً در حد ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) نگه داشته شد. طی دوره آزمایش شاخص‌هایی مانند ارتفاع گیاه و کلروفیل برگ توسط دستگاه SPAD-502 اندازه‌گیری شد. در پایان فصل رشد ، اندام هوایی گندم از سطح خاک جدا و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون، خشک و سپس وزن خشک اندام هوایی گیاه توسط ترازو با دقت دو رقم اعشار توزین شد. در انتهای مرحله رسیدگی، آهن اندام هوایی (ساقه و دانه) و ریشه بعد از هضم خشک نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید. عملکرد (۵ بوته در گلدان) و مقدار جذب آهن در دانه (حاصلضرب عملکرد در غلظت آهن) نیز محاسبه شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام و مقایسه مقادیر میانگین‌ها بوسیله آزمون توکی انجام و نمودارها با نرم افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

تاثیر تیمارها بر مقدار pH خاک و آهن قابل جذب در خاک

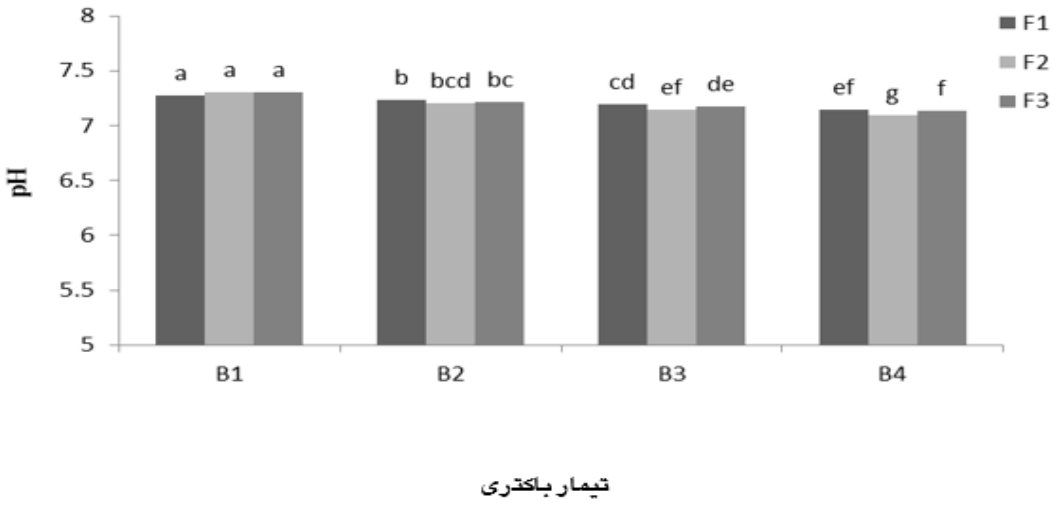
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار ($P<0.01$) سطوح کودی و سویه‌های باکتری و اثر متقابل این دو عامل بر مقدار pH و آهن قابل جذب خاک است (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر مقدار pH و آهن قابل جذب در خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)	
		pH خاک	آهن قابل جذب
کود	۲	۰/۰۰۲**	۰/۱۹**
باکتری	۳	۰/۰٤**	۳/۳۳**
باکتری× کود	٦	۰/۰۰۱**	۰/۱٤**
خطا	۲٤	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات(٪)	-	۰/۱٦	٤/۳

**، * و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد و عدم معنی‌داری می باشد.

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کودی و باکتری بر مقدار pH خاک در شکل ۱ نشان داد که کاربرد سویه‌های مختلف باکتری موجب کاهش pH خاک شده است. بیشترین مقدار pH در تیمار شاهد (۷/۳) و کمترین مقدار آن در تیمار ۵۰ درصد کودی در حضور مخلوط دو باکتری (۷/۱) مشاهده شد. همچنین مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کودی و باکتری بر مقدار آهن قابل جذب در شکل ۲ نشان دهنده بیشترین مقدار آهن قابل جذب خاک در تیمار دارای مخلوط دو باکتری و ۵۰ درصد کودی بود.

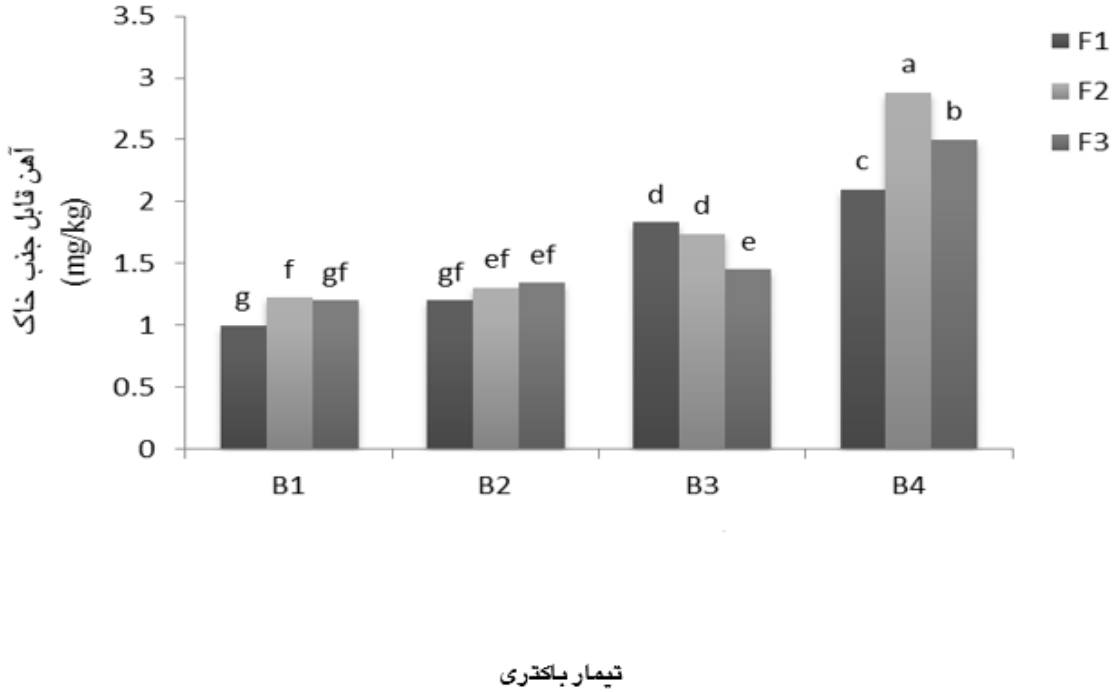


شکل ۱- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری کود و باکتری برای مقدار pH خاک

B_1: بدون باکتری، B_2: انتروباکتر کلوآسهR_{33} ، B_3: انتروباکتر کلواسه sug R_1 ، B_4: مخلوط دو باکتری

F_1: صفر درصد نیاز کودی، F_2: ۵۰ درصد نیاز کودی، F_3: ۱۰۰ درصد نیاز کودی

نتایج نمایانگر این است که به دنبال کاهش مقدار pH خاک در حضور باکتری‌های محرک رشد، آهن قابل جذب در خاک نیز افزایش یافته، که از این بین تیمار داری مخلوط دو باکتری و۵۰ درصد کودی بهترین کارایی را داشت. آهکی بودن و مقدار بالای pH خاک از عوامل مهم کاهش آهن قابل دسترس برای گیاهان هستند (فرناندز و ایبرت ۲۰۰۵). کاهش pH خاک، افزایش ماده آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی از عوامل مهم در افزایش آهن قابل جذب در خاک است (ژو و همکاران، ۲۰۰۶). رامش و همکاران (۲۰۱٤) نشان دادند که مایه‌زنی خاک با *انتروباکتر کلوزه* MDSR9 باعث افزایش غلظت آهن، مس و منگنز در دانه و اندام هوایی، بواسطه کاهش pH خاک، افزایش اکسین و فعالیت‌های آنزیمی برای گندم و سویا بود (رامش و همکاران ۲۰۱٤).



شکل ۲- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری کود و باکتری برای مقدار آهن قابل جذب در خاک

B_1: بدون باکتری، B_2: انتروباکتر کلوآسهR_{33} ، B_3: انتروباکتر کلواسه sug R_1 ، B_4: مخلوط دو باکتری

F_1: صفر درصد نیاز کودی، F_2: ۵۰ درصد نیاز کودی، F_3: ۱۰۰ درصد نیاز کودی

تاثیر تیمارها بر برخی ویژگی‌های گیاه

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر مقدار کلروفیل، ارتفاع، وزن خشک ریشه، اندام هوایی و عملکرد دانه در جدول ۳ نشان داده شده است. اثر ساده باکتری بر ارتفاع در سطح پنج درصد معنادار بود، اما تاثیر سطوح کودی بر ارتفاع معنادار نشد. همچنین اثر متقابل کود و باکتری بر مقدار کلروفیل، وزن خشک ریشه و اندام هوایی و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنادار شد (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها برشاخص کلروفیل نشان‌دهنده افزایش مقدار کلروفیل در تیمارهای دارای سویه‌های مختلف باکتری نسبت به شاهد بود (جدول ٤). بیشترین مقدار کلروفیل در تیمار مخلوط دو باکتری و ۵۰ درصد کودی سولفات آهن (Fe_2B_1) (۱۱/۳ ٪ افزایش نسبت به مشاهده شد. با

توجه به افزایش مقدار آهن خاک در تیمار مخلوط دو باکتری و ۵۰ درصد کود (جدول ۲) مقدار کلروفیل نیز در همین تیمار افزایش پیدا کرد. آهن ریز مغذی مهم برای گیاهان و ریزجاندارن است و نقش مهمی در فرآیندهای فتوسنتز، تنفس و بیوسنتز کلروفیل دارد (کوبایاشی و نیشیزاوا ۲۰۱۲). میزان کلروفیل با آهن خاک همبستگی مثبت دارد و باکتری های محرک رشد می‌توانند با افزیش جذب آهن برای گیاه مقدار کلروفیل را نیز افزایش دهند (لیو و همکاران ۲۰۱۷). افزایش وزن خشک گیاه، جذب آهن و افزایش کلروفیل در گیاه ذرت مایه‌زنی شده با *سودوموناس فلورسنس* گزارش شده

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر برخی ویژگی‌های گندم.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		کلروفیل	ارتفاع	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	عملکرد دانه
کود	۲	۹/۲۳**	۱۵/٤٤^{ns}	۰/۰۲**	۱/۸۲**	۲/۰۳**
باکتری	۳	۱۷/٦۹**	۱٦/۹۹*	۰/۰۲۸**	٤/۳۷**	۰/۸۹**
باکتری× کود	٦	۰/۸۲**	۲/۱۸^{ns}	۰/۰۰۱**	۰/۱۸**	۰/۲۲**
خطا	۲٤	۰/۲	٤/۸٦	۰/۰۰۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
ضریب تغییرات(٪)	–	۱/۰۳	۲/۷۲	۲/۲٤	۲/۱۳	۲/۷٤

**، * و ^{ns} به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد و عدم معنی‌داری می باشد.

است (علیپور و سبحان‌پور، ۲۰۱۲). وزن خشک ریشه، اندام هوایی و عملکرد دانه در تیمار دارای ۵۰ درصد کود و مخلوط دو باکتری به ترتیب ۳۰/۳۵، ۲۳/۳۵ و ۲٦ درصد افزایش نسبت به تیمار ۵۰ درصد کودی بدون حضور باکتری داشتند. باکتری‌های محرک رشد با افزایش زیتوده گیاه و تحریک ریشه‌زایی از طریق تولید هورمون‌های گیاهی نقش مهمی در جذب بیشتر مواد غذایی برای گیاه دارند (شریواستاوا و همکاران ۲۰۱۵). مایه‌زنی *Thymus daenensis* با *G. mosseae* و *Bacillus subtilis* به خاک موجب افزایش ۷۵ درصدی وزن خشک اندام هوایی و ریشه و همچنین افزایش ۱۱۷ درصدی عملکرد گیاه نسبت به شاهد شد (بهادری و همکاران ۲۰۱۳). تاثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد گیاه، در افزایش ارتفاع بوته، طول ریشه و تولید ماده خشک در محصولات کشاورزی مختلف مانند سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی، ذرت، گندم گزارش شده است (شریواستاوا و همکاران ۲۰۱۵). استفاده از گونه-های مختلف *انتروباکتر* موجب افزایش ارتفاع بوته، تعداد برگ، کلروفیل و قطر ساقه در گیاه *Jatropha curcas* شده است (مدهایان و همکاران ۲۰۱۳). همچنین مایه‌زنی با *انتروباکتر کلوآسه* MDSR9 به ترتیب موجب افزایش ٤۱/٦۷ ٪ و ٦/۲۵ ٪ ارتفاع در سویا و گندم شد (رامش و همکاران ۲۰۱٤). محمدی کشکا و همکاران(۲۰۱٦) افزایش ۱۹، ۷ و ۲٦ درصدی عملکرد گندم را به ترتیب در سطوح کودی صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در نتیجه کاربرد *Enterobacter sp.* گزارش کردند.

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۵ نشان داد که اثر متقابل تیمارها بر غلظت آهن در ریشه در سطح پنج درصد و بر جذب آهن در ریشه در سطح یک درصد معنادار است. همچنین اثر متقابل کود و باکتری بر

غلظت و جذب آهن در اندام هوایی و جذب آهن در دانـه در سطح احتمال یک درصد معنادار شد (جدول ۵).
نتیجه مقایسه میانگین اثر ساده باکتری بر غلظت آهن دانه در شکل ۳ نشان داده شده است. بیشترین غلظت آهن در دانه با افزایش ۲۰/۹ درصدی در تیمار دارای مخلوط دو باکتری نسبت به شاهد (بدون حضور باکتری) مشاهده شد.

جدول ۴- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری برای برخی ویژگی‌های گندم

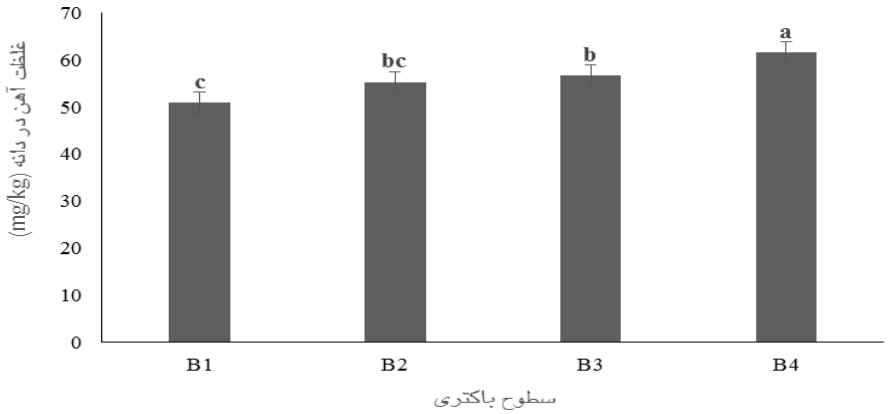
تیمارها	کلروفیل	وزن خشک ریشه (g. pot^{-1})	وزن خشک اندام هوایی(g. pot^{-1})	عملکرد دانه (g. pot^{-1})
Fe_1B_1	٤١/٦^{g}	٠/٥١٣^{h}	٦/٤٢^{h}	٥/٦^{d}
Fe_1B_2	٤٣/٦^{def}	٠/٥٦٣^{g}	٧/٩٣^{cd}	٥/٦٢^{d}
Fe_1B_3	٤٤/٧٣^{bcd}	٠/٦١٣^{e}	٧/٤٣^{ef}	٥/٨٥^{cd}
Fe_1B_4	٤٥/٥^{ab}	٠/٦٤٣^{de}	٧/٨٦^{cde}	٥/٩٨^{cd}
Fe_2B_1	٤٢/٨٣^{efg}	٠/٥٧^{fg}	٧/١٥^{fg}	٥/٦^{d}
Fe_2B_2	٤٥/٤٣^{bc}	٠/٦١^{ef}	٨/٢١^{bc}	٦/٣٣^{bc}
Fe_2B_3	٤٥/٦٣^{ab}	٠/٦٨٦^{bc}	٨/٥٦^{ab}	٦/٦٧^{ab}
Fe_2B_4	٤٦/٨٣^{a}	٠/٧٤٣^{a}	٨/٨٢^{a}	٧/٠٦^{a}
Fe_3B_1	٤٢/٤٣^{fg}	٠/٦١٦^{e}	٦/٧٩^{gh}	٦/٣٢^{bc}
Fe_3B_2	٤٣^{ef}	٠/٦٥^{cde}	٧/٦٢^{def}	٦/٥٢^{b}
Fe_3B_3	٤٣/٨٣^{cde}	٠/٦٥٦^{cd}	٧/٨٦^{cde}	٦/٥٧^{ab}
Fe_3B_4	٤٤/٤^{bcd}	٠/٧٠٣^{ab}	٨/٦^{ab}	٦/٦٨^{ab}

حروف یکسان در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه از نظر آماری مطابق با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
B_1: بدون باکتری، B_2: انتروباکتر کلوآسهR_{33} ، B_3: انتروباکتر کلواسه sug R_1 ، B_4: مخلوط دو باکتری
F_1: صفر درصد نیاز کودی، F_2: ۵۰ درصد نیاز کودی، F_3: ۱۰۰ درصد نیاز کودی

جدول۵- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر برخی ویژگی‌های کیفی گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		غلظت آهن در ریشه	جذب آهن در ریشه	غلظت آهن در اندام هوایی	جذب آهن در اندام هوایی	غلظت آهن در دانه	جذب آهن در دانه
کود	۲	۱۱٦۱٦/۰۲**	۰/۰۱**	۱۲۱۷/۵۸**	۰/۲۳**	۱۹/٦۹^{ns}	۰/۰۰۳*
باکتری	۳	۱۸٦۱٦۵/٤۳**	۰/۱۲۲**	۱۰۸۷۰**	۱/۱٦**	۱۷٤/۰۲**	۰/۰۱۸**
باکتری× کود	٦	۱۱٦۹/۷٦*	۰/۰۰۱**	۲۹۲/۱۳**	۰/۰۲** ۰/۰۰۳	۲۳/۸^{ns}	۰/۰۰۲**
خطا	۲٤	٤٤۷/۱۹	۰/۰۰۰۲	۲۸/٦٦		۱۱/۷۲	۰/۰۰۰۵
ضریب تغییرات(٪)	–	۳/۸۵	٤/٦۱	۳/۵٤	٤/۸۲	٦/۰۹	٦/۸

**، * و ^{ns} به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد و عدم معنی داری می باشد.



شکل ۳- مقایسه میانگین غلظت آهن در دانه در سطوح باکتری

B_1: بدون باکتری، B_2: انتروباکتر کلوآسهR_{33} ، B_3: انتروباکتر کلواسه sug R_1 ، B_4: مخلوط دو باکتری

F_1: صفر درصد نیاز کودی، F_2: ۵۰ درصد نیاز کودی، F_3: ۱۰۰ درصد نیاز کودی

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل در جدول ٦ نشان داد که بیشترین غلظت و جذب آهن در ریشه در تیمار دارای مخلوط دو باکتری و سطح کودی ۵۰ درصد سولفات آهن به ترتیب با افزایش ۹۵/۵ و ۱٦۵درصدی نسبت به تیمار سطح ۵۰ درصد کودی و بدون باکتری (Fe_2B_1) وجود داشته است. بیشترین غلظت و جذب آهن در اندام هوایی با افزایش ۸۵ و ۱۲۹/۸ درصدی در حضور مخلوط دو باکتری و ۵۰ درصد کود سولفات آهن نسبت به Fe_2B_1 مشاهده شد. همچنین بیشترین مقدار جذب آهن در دانه در تیمار مخلوط دو باکتری و ۵۰ درصد کودی با افزایش ٦٦/٦ درصدی نسبت به Fe_2B_1 بدست آمد.

جدول ۶- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری برای غلظت و جذب آهن در بخش‌های مختلف گندم

تیمارها	غلظت آهن در ریشه ($mg.kg^{-1}$)	جذب آهن در ریشه ($mg.\ pot^{-1}$)	غلظت آهن در اندام هوایی ($mg.\ kg^{-1}$)	جذب آهن در اندام هوایی ($mg.\ pot^{-1}$)	جذب آهن در دانه ($mg.\ pot^{-1}$)
Fe_1B_1	۳۰۵^{f}	۰/۱۵^{g}	۱۰۱/٦٦^{f}	۰/٦۵^{e}	۰/۳^{cd}
Fe_1B_2	۵۳۲/۳۳^{d}	۰/۲۹^{e}	۱۳۱/٦٦^{e}	۱/۰٤^{d}	۰/۳۲^{cd}
Fe_1B_3	٦۰۰^{c}	۰/۳٦^{d}	۱۵۸/٦٦^{cd}	۱/۱۷^{cd}	۰/۳۵^{bc}
Fe_1B_4	٦۲۷/۳۳^{bc}	۰/٤^{cd}	۱٦۸/٦٦^{bc}	۱/۳۲^{c}	۰/۳۵^{bc}
Fe_2B_1	۳۷۰^{e}	۰/۲^{f}	۱۰۸/٦٦^{f}	۰/۷۷^{e}	۰/۲۷^{d}
Fe_2B_2	٦۱۰^{c}	۰/۳۷^{cd}	۱۵۲^{d}	۱/۲٤^{c}	۰/۳۳^{cd}
Fe_2B_3	٦۰۹/۳۳^{c}	۰/٤۱^{c}	۱۷۸/٦٦^{b}	۱/۵۲^{b}	۰/۳۷^{bc}
Fe_2B_4	۷۲۳/۳۳^{a}	۰/۵۳^{a}	۲۰۱^{a}	۱/۷۷^{a}	۰/٤۵^{a}
Fe_3B_1	۳۵۵^{ef}	۰/۲۱^{f}	۹۸/۳۳^{f}	۰/٦٦^{e}	۰/۳۱^{cd}
Fe_3B_2	۵۷٦^{cd}	۰/۳۷^{cd}	۱٦۵/۳۳^{bcd}	۱/۲۵^{c}	۰/۳٦^{bc}
Fe_3B_3	۵۹۵^{c}	۰/۳۸^{cd}	۱۷۰/۳۳^{bc}	۱/۳۳^{c}	۰/۳۵^{bc}
Fe_3B_4	٦۸۱^{ab}	۰/٤۷^{b}	۱۷۷^{b}	۱/۵۲^{b}	۰/٤۱^{ab}

حروف یکسان در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه از نظر آماری مطابق با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

B_1: بدون باکتری، B_2: انتروباکتر کلوآسهR_{33} ، B_3: انتروباکتر کلواسه sug R_1 ، B_4: مخلوط دو باکتری

F_1: صفر درصد نیاز کودی، F_2: ۵۰ درصد نیاز کودی، F_3: ۱۰۰ درصد نیاز کودی

ریزجاندارن محرک رشد گیاه بطور مستقیم با ترشح سیدروفور (احمد و همکاران ۲۰۰۸ ؛ دونگ ۲۰۱۰) و هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و اتیلن موجب افزایش قابلیت دسترسی آهن در خاک شده (رومرا و همکاران ۲۰۰٦) و همچنین با افزایش توسعه ریشه (وزن خشک ریشه ارائه شده در جدول ٤) و دسترسی ریشه به حجم بیشتری از خاک مایه افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌شوند (سامرز و همکاران ۲۰۰٤). نتایج کاهش pH خاک در تیمارهای دارای باکتری (جدول ۲) بر قابلیت دسترسی آهن تاثیرگذار است و مایه افزایش آهن قابل جذب برای گیاه در خاک شده است (شکل ۲). با کاهش pH و افزایش آهن قابل دسترس در خاک، غلظت و جذب آهن در ریشه، ساقه و دانه گیاه (جدول ٦) و عملکرد دانه (جدول ٤) افزایش یافته است. افزایش غلظت و جذب آهن، کلروفیل، و فعالیت ریشه گیاه بادام زمینی در یک خاک آهکی مایه‌زنی شده با *Paenibacillus illinoisensis* و *Bacillus sp.* با توانایی ترشح سیدروفور را گزارش دادند (لیو و همکاران ۲۰۱۷). شریعتی و علیخانی (۲۰۱٤) افزایش شاخص‌های رشد ذرت و میزان آهن در اندام هوایی را با استفاده از باکتری *سودموناس فلورسنس* به همراه ماده محرک رشد ورمی‌کمپوست گزارش کردند. میشرا و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که مایه‌زنی خاک با سودوموناس موجب افزایش کلروفیل و جذب آهن و فسفر در گیاه عدس می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که سویه‌های مایه‌زنی شده به خاک باعث کاهش مقدار pH خاک و در نتیجه افزایش مقدار آهن قابل جذب در خاک و جذب آهن توسط گیاه نسبت به تیمارهای بدون حضور باکتری شدند. بیشترین مقدار آهن قابل جذب در خاک و غلظت و جذب آهن در گیاه در تیمار دارای مخلوط دوباکتری و سطح کودی ۵۰ درصد سولفات آهن مشاهده شد. با توجه به اینکه بیشتر خاک‌های خوزستان آهکی و دارای pH بالا بوده و از کمبود آهن قابل جذب رنج می‌برند، لذا استفاده از باکتری‌های محرک رشد قادر به انحلال آهن می‌تواند گامی در جهت جبران این کمبود و کاهش استفاده از کودهای شیمایی باشد.

منابع مورد استفاده

Adesemoye AO, Torbert HA and Kloepper JW, 2009. Plant growth-promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. FEMS Microbial Ecology, 58: 921-929.

Afzal A and Bano A, 2008. Rhizobium and phosphate solubilizing bacteria improve the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum*). International Journal of Agriculture and Biology, 10: 85-88.

Ahmad F, Ahmad I, and Khan MS, 2008. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. Microbiological Research, 163(2):173-181.

Alcantara E, Romera FJ, Canete M, Guardia MD, 2002. Effect of bicarbonate and iron supply on Fe (III) reducing capacity of roots and leaf chlorosis of the susceptible peach rootstock Nemaguard. Journal of Plant Nutrition, 23: 1607-1617.

Aleksandrov VG, Blagodyr RN and Ilev IP, 1967. Liberation of phosphoric acid from apatite by silicate bacteria. Mikrobiol Z, 29:111-114.

Alipour ZT and Sobhanipour A, 2012. The effect of *Thiobacillus* and *Pseudomonas fluorescent* inoculation on maize growth, and Fe uptake. Annals of Biological Research, 3(3):1661-1666.

Bahadori F, Ashorabadi E S, Mirza M, Matinizade M and Abdosi V, 2013. Improved growth, essential oil yield and quality in *Thymus daenensis* Celak on mycorrhizal and plant growth promoting rhizobacteria inoculation. International Journal of Agronomy and Plant Production, 4: 3384-3391.

Cézard C, Farvacques N and Sonnet P, 2015. Chemistry and biology of pyoverdines, *Pseudomonas* primary siderophores. Current Medicinal Chemistry, 22(2):165-186.

Cunrath O, Gasser V, Hoegy F, Reimmann C, Guillon L and Schalk, IJ, 2015. A cell biological view of the siderophore pyochelin iron uptake pathway in Pseudomonas aeruginosa. Environmental Microbiology, 17(1): 171-185.

Dong H, 2010. Mineral-microbe interactions: a review. Frontiers of Earth Science in China, 4(2):127-147.

Fernandez V and Ebert G, 2005. Foliar iron fertilization- a critical review. Journal of Plant Nutrition, 28: 2113-2124.

Gupta PK, 2004. Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis. Agrobios (India), 438 p.

Klute A, 1986. Methods of soil analysis, Part 1: physical and mineralogical methods. Soil Science Society of America, Madison, WI.

Kobayashi T and Nishizawa NK, 2012. Iron uptake, translocation, and regulation in higher plants. Annual Review of Plant Biology, 63:131-152.

Lindsay WL, 1984. Soil and plant relationships associated with iron deficiency with emphasis on nutrient interactions. Journal of Plant Nutrition, 7(1-5): 489-500.

Lindsay WL and Norvell WA, 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of American Journal, 42: 421-428.

Liu D, Yang Q, Ge K, Hu X, Qi G, Du B, Liu K and Ding Y, 2017. Promotion of iron nutrition and growth on peanut by *Paenibacillus illinoisensis* and *Bacillus sp*. strains in calcareous soil. Brazilian Journal of Microbiology, 1-15.

Madhaiyan M, Peng N, Te NS, Hsin C, Lin C, Lin F, Reddy C, Yan H, and Ji L. 2013. Improvement of plant growth and seed yield in *Jatropha curcas* by a novel nitrogen-fixing root associated Enterobacter species. Biotechnology for Biofuels, 6: 1-13.

Malakouti MJ and Gheybi MN, 2000. Determination of critical level of effective in soil, plant and fruit for the quality and yield improvement of the country's strategic products.2ed Edition. Agricultural education publication. Pp. 92. (In Persian).

Mishra PK, Bisht SC, Ruwari P, Joshi G K, Singh G, Bisht JK and Bhatt JC, 2011. Bioassociative effect of cold tolerant *Pseudomonas spp*. and *Rhizobium leguminosarum*-PR1 on iron acquisition, nutrient uptake and growth of lentil (*Lens culinaris* L.). European Journal of Soil Biology, 47: 35-43.

Mohammadi Kashka F, Pirdashti H, Yaghoubian Y, and Bakhshandeh E, 2016. Evaluation of growth and yield stability of wheat by application of *Trichoderm*a and *Enterobacter* sp. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science, 26 (4): 1-15.(In Persion).

Nagajyoti PC, Lee KD and Sreekanth TVM, 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. Environmental Chemistry Letters, 8(3):199-216.

Pirhadi M, Enayatizamir N, Motamedi H and K Sorkheh K, 2016. Screening of salt tolerant sugarcane endophytic bacteria with potassium and zinc for their solubilizing and antifungal activity. Bioscience Biotechnology Research Communication. 9: 530-538.

Ramesh A, Sharma SK, Sharma MP, Yadav N and Joshi OP, 2014. Plant growth-promoting traits in *Enterobacter cloacae* subsp. dissolvens MDSR9 isolated from soybean rhizosphere and its impact on growth and nutrition of soybean and wheat upon inoculation. Agricultural Research, 3(1):53-66.

Romera FJ, Lucena C and Alcàntara E, 2006. Plant hormones influencing iron uptake in plants. Pp. 251-278, In: Barton LL, Abadia J (eds). Iron Nutrition in Plants and Rhizospheric Microorganisms. Springer, Netherlands.

Rana A, Saharan B, Nain L, Prasanna R and Shivay YS, 2012. Enhancing micronutrient uptake and yield of wheat through bacterial PGPR consortia. Soil science and Plant Nutrition, 58(5): 573-582.

Seher BA, Ozturk L, Gokmen OO, Ro€mheld V, Cakmak I, 2011. Effect of nitrogen on root release of phytosiderophores and root uptake of Fe (III) - phytosiderophore in Fe-deficient wheat plants. Physiologia Plantarum, 142, 287-296.

Shariati S, and Alikhani A, 2014. The application of *Pseudomonas fluorescens* bacteria inoculants on certain growth indices and nutrient uptake in maize. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science, 24 (4): 45-59. (In Persion).

Shrivastava S, Egamberdieva D and Varma A, 2015. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and medicinal plants: The State of the Art. Pp. 1-16, In: Egamberdieva D, Shrivastava S, Varma A (eds). Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Medicinal Plants. Springer International Publishing.

Somers E, Vanderleyden J, and Srinivasan M, 2004. Rhizosphere bacterial signalling: a love parade beneath our feet. Critical Reviews in Microbiology, 30(4): 205-240.

Tale Ahmad S and Haddad R, 2011. Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 47(1):17-27.

Wei X, Shao M, Zhuang J, and Horton R, 2010. Soil iron fractionation and availability at selected landscape positions in a loessial gully region of northwestern China. Soil Science and Plant Nutrition, 56(4): 617-626.

Xue N, Seip HM, Guo J, Liao B, and Zeng Q, 2006. Distribution of Al-, Fe-and Mn-pools and their correlation in soils from two acid deposition small catchments in Hunan, China. Chemosphere, 65(11):2468-2476.

Zhang C, and Kong F, 2014. Isolation and identification of potassium-solubilizing bacteria from tobacco rhizospheric soil and their effect on tobacco plants. Applied Soil Ecology. 82: 18-25.