

Research Article

Agricultural Engin., 43(4) (2021) 549-566  
DOI: 10.22055/agen.2021.34665.1580

ISSN (P): 2588-543X  
ISSN (E): 2588-5979

## Effect of enriched compost with Iron refuse and phosphate soil on growth parameters of tomato

S. Mohamadi<sup>1</sup>, N. Rangzan<sup>2\*</sup> and H. Nadian Ghomsheh<sup>3</sup>

1. M.Sc student, Department of Soil Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan
2. Assistant professor, Department of Soil Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan
3. Professor, Department of Soil Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan

Received: 16 August 2020

Accepted: 7 February 2021

### Abstract

**Introduction:** Due to the inefficiency of some chemical fertilizers of trace elements, the high cost of import organic fertilizers containing these elements and also the lack of proper uptake of phosphorus in soils in arid and semi-arid regions, and the desire to produce better quality products, the use of organic matter enriched with nutrients such as phosphorus and iron seems essential. Therefore, the present study was conducted with the aim of comparing the effect of different levels of iron refuse and phosphate soil as an enrichment and investigating the interaction effects of enrichment on the growth components of tomato plants.

**Materials and Methods:** To study the effect of compost enriched with iron refuse and phosphate soil on tomato plant, pot experimen was conducted with experimental treatments including compost enriched with iron refuse at three levels of 0, 5 and 20%, compost enriched with phosphate soil at three levels 0, 5% and 10%. To prepare the potting soil before applying the treatments, 10% by weight of sand was added to the soil. Iron refuse were prepared from the factory of National Iranian Steel Industrial Group and phosphate soil from Esfordi phosphate company and after air drying, the percentage of iron and total phosphorus were measured using standard methods (wet digestion). Compost prepared from green space wastes was also digest to investigate some chemical properties. Obtained data were performed analysed in factorial in completely randomized design with three replications. Statistical analysis was performed using SPSS software and mean comparisons were performed by Duncan's multiple range test. Charts were drawn using Excel software.

**Results and Discussion:** The results showed the highest plant height was observed in the treatment of 20% iron enrichment with 10% phosphorus enrichment at the rate of 57.9 cm. Comparisons of the mean effect of iron enrichment on total chlorophyll in tomato leaves showed that in general, with increasing the percentage of iron, total chlorophyll increased by 17.6 and 18.2%, respectively, compared to the control treatment. In other words, enrichment of compost with iron refuse increases the plant chlorophyll content by 39%, which is 34% for phosphorus



enrichment. The maximum chlorophyll content of the plant was observed in the treatment of 20% iron enrichment with 10% phosphorus, which was not significantly different from the 20% iron enrichment treatment and 5% phosphorus enrichment treatment. Therefore, simultaneous enrichment of compost with iron and phosphorus can increase the quality of crops, especially leafy vegetables. According to the results, increasing the level of iron enrichment from zero to 20% caused 42.4% increase in plant dry weight, which is reported to be 24.9% for phosphorus enrichment. In general, as expected, with increasing the percentage of phosphorus in compost, the concentration of phosphorus in the shoot of tomato plant increased. Iron concentration in the plant increases by 10.9% with increasing phosphorus enrichment level from zero to 5%; In contrast, the use of phosphate soil at the level of 5% caused a decrease in zinc and copper concentrations of the plant by 21.5% and 15.2%, respectively. In many cases, the phosphorus and iron have reducing effects on each other due to the deposition of soluble iron in the form of insoluble phosphate compounds. According to the results of the present study, when an organic medium such as compost is used to add these two elements to the soil, the effect of organic matter on the formation of soluble chelates can increase the amount of available iron. Organic matter also has an undeniable effect on preventing the stabilization of phosphorus, which causes its release due to the direct decomposition of organic matter or the production of organic acids. Copper was found to be more sensitive to increasing the amount of phosphorus in soil.

**Conclusion:** The use of enriching compounds by improving plant nutritional conditions can lead to improve effects of organic amendments such as compost. The use of phosphate-enriched compost and iron refuse, increased the yield of tomato plants. According to the results, high levels of enrichment to some extent limit the uptake of zinc and copper, which is related to the interaction of elements with each other and changes in concentration ratios. Due to the lack of micronutrients in most crops and horticulture and the competition of elements in the soil, in many cases there is a decline in product quality, so it is suggested that following the present study, some studies to be conducted to investigate the simultaneous enrichment of other micronutrients such as zinc and copper and balance dose of enrichment so that maximum absorption is achieved simultaneously for all target elements. The use of waste from different sources to balance the enrichment of organic materials, in addition to reducing costs, will lead to the recycling of large volumes of waste.

**Key words:** *Compost, enrichment, iron refuse, phosphate soil, tomato*

## تأثیر استفاده از کمپوست غنی شده با ضایعات آهن و خاک فسفات بر ویژگی های رشدی گیاه گوجه فرنگی

سعید محمدی<sup>۱</sup>، نفیسه رنگ زن<sup>۲</sup> و حبیب الله نادیان قمشه<sup>۳</sup>

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان  
 ۲- استادیار، عضو هیات علمی گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان  
 ۳- استاد، عضو هیات علمی گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

### تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۶

پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۱۱/۱۹

### کلمات کلیدی:

کمپوست،  
 غنی سازی،  
 ضایعات آهن،  
 خاک فسفات،  
 گوجه فرنگی

### چکیده

به دلیل کم بودن غلظت برخی از عناصر در کودهای آلی و همچنین عدم جذب مناسب عناصر غذایی در برخی از خاک ها، غنی سازی کودها بویژه در مورد عناصر کم مصرف ضروری به نظر می رسد. به منظور مطالعه تأثیر کمپوست غنی شده با ضایعات آهن و خاک فسفات بر گیاه گوجه فرنگی، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شد. تیمارها در ۲۷ واحد آزمایشی شامل کمپوست غنی شده با ضایعات آهن در سه سطح ۰، ۵ و ۲۰ درصد و کمپوست غنی شده با خاک فسفات در سه سطح ۰، ۵ و ۱۰ درصد در نظر گرفته شد. تجزیه و تحلیل داده ها نشان داد بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار ۲۰ درصد غنی سازی آهن به همراه ۱۰ درصد غنی سازی فسفر به میزان ۵۷/۹ سانتی متر، مشاهده گردید. مقایسه میانگین ها نشان داد که افزایش سطح غنی سازی آهن از صفر به ۲۰ درصد باعث افزایش ۴۲/۴ درصدی وزن خشک اندام هوایی گیاه گردید که این اثر در مورد غنی سازی فسفر ۲۴/۹ درصد گزارش شد. در تیمار ۲۰ درصد غنی سازی آهن، اضافه شدن ۵ درصد فسفر در مقایسه با تیمار عدم غنی سازی فسفر، وزن خشک اندام هوایی را ۲۳ درصد افزایش داد. اثرات متقابل غنی سازی همزمان کمپوست، باعث افزایش غلظت عناصر فسفر (۲/۳ برابر)، پتاسیم (۱۴ درصد) و آهن (۴۵ درصد) در اندام هوایی گیاه گردید. با توجه به نتایج به دست آمده غنی سازی ۲۰ درصد آهن به همراه ۵ درصد فسفر، تیمار مناسبی خواهد بود که علاوه بر بهبود مؤلفه های رشدی گیاه، مانع از جذب لوکس می گردد. لذا استفاده از ضایعات و ترکیبات ارزان قیمت به عنوان غنی ساز علاوه بر افزایش بهره وری از این مواد می تواند با افزایش کیفیت کود آلی، به ارتقای شرایط تغذیه ای گیاه، منجر شود.

\* عهده دار مکاتبات

Email:nafas023@yahoo.com

## مقدمه

در قرن حاضر، توسعه روز افزون کشاورزی و بهره‌برداری مستمر از زمین‌های زراعی با شکل‌گیری کشاورزی صنعتی، باعث استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی شده است. این کودها در پی برطرف نمودن نیازهای غذایی گیاه، خود موجب بروز مشکلات جدیدی در عرصه کشاورزی گردیده‌اند که از آن جمله می‌توان به افزایش شوری خاک، مسمومیت ناشی از مصرف زیاد یک یا چند عنصر غذایی توسط گیاه، تجمع بیش از حد برخی از عناصر در میوه و سایر قسمت‌های خوراکی محصولات زراعی و باغی و ورود مواد مضر به زنجیره غذایی انسان اشاره کرد. مصرف طولانی مدت کودهای شیمیایی می‌تواند جامعه میکروبی خاک را تحت تأثیر قرار داده و در جهت کاهش کیفیت بیولوژیکی خاک، گام بردارد. کودهای شیمیایی همچنین باعث بروز اثرات نامطلوب بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌گردند (۸). عدم تأمین عناصر کم مصرف مورد نیاز گیاه به دلیل خالص بودن کودهای شیمیایی و آثار منفی ذکر شده، باعث گردید در سال‌های اخیر بار دیگر توجه به استفاده از کودهای آلی معطوف گردد که نه تنها مشکلات ذکر شده را در خاک ایجاد نمی‌کنند، بلکه تا حد زیادی در جهت اصلاح خاک و تأمین نیازهای تغذیه‌ای متنوع گیاه مؤثر واقع می‌شوند (۲۰). بخش وسیعی از خاک‌های ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده است. این خاک‌ها از لحاظ مواد آلی شدیداً فقیر بوده و به دلیل دریافت باران کم و دمای بالا، روند تجزیه و اکسید شدن مواد آلی، سریع و جایگزین شدن آن به کندی صورت می‌گیرد. عدم وجود پوشش گیاهی کافی، سبب کاهش و حتی توقف بازگشت بقایای گیاهی به خاک و در نتیجه فقر مواد آلی گردیده است. به طور کلی خاک‌های مناطق خشک بین ۰/۱ تا ۱ درصد ماده آلی دارند و این در حالی است که در مناطق مرطوب بین ۱ تا ۳ درصد ماده آلی در خاک وجود دارد؛ که این مقدار حدود ۳

برابر بیشتر از خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد (۴۸). لذا در مناطق خشک افزودن مواد آلی به عنوان کود جهت بارور کردن خاک و افزایش بازدهی محصولات ضروری به نظر می‌رسد. علی‌رغم گوناگونی زیاد کودهای آلی، منشأ اولیه همه آن‌ها گیاه است. مواد آلی از نظر حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه به ویژه متحرک نمودن عناصر غذایی نقش اساسی دارند (۲۹). هررا و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۸) بیان کردند که ترکیبات معدنی و کودهای آلی از طریق تهیه‌ی عناصر ضروری و مناسب به طور مستقیم تغذیه‌ی گیاه و به طور غیرمستقیم حلالیت عناصر معدنی و سپس قابلیت استفاده آن‌ها را برای گیاهان تحت تأثیر قرار می‌دهند. آدیران و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۴) بیان داشتند که عناصر غذایی کم مصرف موجود در محلول خاک به صورت یون‌های آزاد و یا یون‌های کلات شده توسط ترکیبات حاصل از اکسیداسیون بیولوژیکی مواد آلی توسط ریز جانداران می‌باشند. عوامل کلات کننده تولید شده توسط ریز جانداران به صورت عامل ناقل و محرک عناصر غذایی کم مصرف در خاک عمل می‌کنند. ژانگ و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۹) در بررسی تغذیه معدنی گیاهان توسط مواد آلی به این نتیجه رسیدند که با تولید یون آمونیوم توسط تجزیه مواد آلی و تبدیل آن به نیترات، پرتون آزاد می‌گردد که باعث کاهش واکنش خاک در ریزوسفر می‌شود، به طوری که معدنی شدن در ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک می‌تواند معادل ۹ تن اسید سولفوریک در هکتار، پرتون آزاد سازد. ملکوتی و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۶) معتقدند که مواد آلی از طریق ایجاد کلات‌های طبیعی، ترشح مواد اسیدزا در اثر تجزیه شیمیایی، ایجاد شرایط مناسب جهت تهویه و ایجاد شرایط احیایی در نقاط ریز سطح ریشه مؤثر هستند. دنگ و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۶) در بررسی کودهای

1- Herrera et al.

2- Adediran et al.

3- Zhang et al.

4- Malakouti et al.

5- Deng et al.

(۲۰۰۹) برای مقایسه تأثیر ورمی کمپوست و کمپوست‌های مختلف بر رشد گوجه‌فرنگی انجام دادند، بیان کردند که بیشترین عملکرد از ۳۰ درصد اختلاط ورمی کمپوست و کمپوست لجن فاضلاب مخلوط با شلتوک برنج به دست آمد. در این آزمایش اضافه کردن کود گاوی نیمه پوسیده باعث کاهش رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی شد. آتیه و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۰) با بررسی اثر کمپوست و ورمی کمپوست بر خاک و رشد گیاهان در محیط کشت باغبانی نتیجه گرفتند که جوانه‌زنی، رشد نشاء و متوسط وزن میوه‌های گوجه‌فرنگی با جایگزین کردن محیط‌های کشت تجاری توسط ورمی کمپوست بهبود می‌یابد. لازکانو و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۹) در آزمایشی اثرات بستر کشت کمپوست و ورمی کمپوست بر رشد و مورفولوژی گوجه‌فرنگی را مورد بررسی قرار دادند؛ نتایج نشان داد که کمپوست و ورمی کمپوست بسترهای مناسب برای رشد گیاه گوجه‌فرنگی است. در حالی که مقادیر بالاتر از ۵۰ درصد از کمپوست باعث مرگ گیاه می‌شود و مقادیر پایین کمپوست (۱۰ و ۲۰ درصد) و مقدار بالای ورمی کمپوست باعث افزایش قابل توجهی در زیست‌توده هوایی و ریشه گیاهان گوجه‌فرنگی می‌گردد.

لیندسی<sup>۴</sup> (۲۰۰۱) در بررسی تعادل شیمیایی در خاک‌ها مشاهده کرد که غنی‌سازی مواد آلی با ترکیبات معدنی باعث افزایش راندمان این مواد در تغذیه گیاهان می‌شود. غنی‌سازی کمپوست با استفاده از ترکیبات معدنی از جمله فسفر می‌تواند راه حل مناسبی جهت استفاده بهینه از کود و جلوگیری از خطر آلوده شدن محیط زیست به کودهای شیمیایی در اثر استفاده نابجا از آن‌ها باشد. این عمل می‌تواند نقش مؤثری در افزایش عملکرد محصولات در واحد سطح داشته باشد. مصرف کود آلی توأم با کود فسفره در خاک‌های آهکی باعث

آلی در دو سیستم کشت آلی و غیر آلی به این نتیجه رسیدند که فعالیت و زیست‌توده میکروبی در کشت آلی بیشتر بوده است. زیرا افزایش مواد آلی به خاک به منزله غذای تازه‌ای برای موجودات زنده ذره بینی خاک می‌باشد و سبب افزایش فعالیت و تکثیر آن‌ها می‌شود. یکی از اهداف افزایش ماده آلی به خاک بهبود پایداری خاکدانه‌ها و فراهم نمودن شرایط مناسب تهویه و رطوبت، جهت فعالیت موجودات زنده و رشد گیاه است. آنسال و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۶) بیان داشته‌اند که تأثیر ضایعات آلی بر ویژگی‌های خاک بستگی به مقدار و ترکیب آن دارد. کاربرد خاکی کمپوست ضایعات شهری، شوری خاک را افزایش و رشد جوانه را محدود می‌سازد. نتایج نشان داده‌اند که کاربرد بیش از حد ضایعات کمپوست قارچ مصرف شده به دلیل افزایش شوری خاک جوانه زنی را محدود ساخته چرا که شوری ارتباط مستقیمی با میزان سدیم دارد (۳).

گوجه‌فرنگی یکی از گیاهان گلدار دو لپه‌ای یک ساله و از خانواده بادمجانیان (Solanaceae) با جنس *Lycopersicum sp.* و گونه *Esculentum* می‌باشد. ریشه گیاه عمیق بوده و گاهی حتی بیش از یک متر در خاک نفوذ می‌کند. در این گیاه توانایی ریشه نابجا در طوقه و ساقه در صورت تماس با خاک وجود دارد. ساقه گیاهچه علفی، گرد، صاف، ترد و شکننده است ولی در گیاه بالغ و مسن تقریباً گوشه‌دار و سخت می‌شود. برگ‌ها متناوب و مرکب می‌باشند و بسته به رقم دارای اندازه‌های مختلف بوده و رنگ آن نیز بسته به رقم از سبز روشن تا سبز تیره دیده می‌شود. اصغری‌پور و رفیعی (۲۰۰۹) تأثیر کمپوست تولید شده از زباله شهری بر سبزی شدن و رشد گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که بیشترین میزان جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و وزن خشک ریشه و ساقه گوجه‌فرنگی در نسبت اختلاط کمپوست و خاک ۱ به ۵ به دست می‌آید. در آزمایشی که هاشمی‌مجدد و همکاران

2- Atiyeh et al.

3- Lazkano et al.

4- Lindsay

1- Ansal et al.

یک سوم از اراضی جهان را در بر گرفته‌اند (۱۲) و در کشور ما، به غیر از نواحی شمالی، به زحمت می‌توان خاکی یافت که آهکی نباشد. کمی آهن قابل استفاده برای گیاهان در این گونه خاک‌ها، معمولاً مرتبط با حلالیت کم ترکیبات آهن دار در شرایط بازی و اکسایشی می‌باشد. البته خاک‌هایی که از نظر پ-هاس و پتانسیل اکسایش و کاهش مشابه باشند، لزوماً مقدار یکسانی آهن در اختیار گیاه قرار نمی‌دهند. این امر ناشی از تفاوت در ویژگی‌های کانی شناسی و بلورشناسی ترکیبات آهن دار خاک می‌باشد. علاوه بر این، توانایی ریشه‌ی گیاهان در جذب آهن متفاوت می‌باشد. مجموعه این عوامل باعث می‌شود تا در برخی شرایط، کمبود آهن و زردی برگ در گیاهان کشت شده مشاهده گردد (۲۸). محققان جذب فسفر را در خاک‌های آهکی بیشتر تابع مقدار کربنات کلسیم خاک دانسته‌اند؛ در حالی که در خاک‌های قلیایی اکسیدهای آهن و آلومینیوم را مهم‌ترین عامل جذب فسفر معرفی کردند (۲۹). اولسن و سومرز<sup>۲</sup> (۱۹۸۲) در مطالعه خود به نقش مؤثر اکسیدهای آهن و آلومینیوم در تثبیت فسفر در خاک‌های آهکی اشاره کردند. عکس‌العمل بین عناصر کم‌مصرف و پرمصرف خاک، جذب عناصر را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۴). قرشی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۲) بیان کردند که افزایش سطح فسفر از انتقال آهن از ریشه به اندام هوایی جلوگیری می‌کند. همچنین، نتایج تحقیق دیگر نشان داد که مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر، غلظت آهن، روی و منگنز را در گیاه آفتابگردان کاهش می‌دهد (۱۷). ممکن است کاربرد فسفر منجر به تشکیل ترکیبات کم محلول فسفر-آهن درون خاک شده و فعالیت آهن در محلول خاک کاهش یابد (۱۳). در تحقیقی بر روی گیاه تنباکو مشخص شد در غلظت‌های زیاد فسفر، کمبود شدید آهن و رشد کمتر ریشه‌ها رخ می‌دهد؛ چرا که فسفر همانند بی‌کربنات به

افزایش میزان فسفر قابل استفاده گیاه گردید (۱۱). تیمارهای کودی مناسب می‌توانند با ایجاد تعادل بین عناصر تغذیه‌ای مختلف در خاک باعث جذب متعادل عناصر کم‌مصرف و پرمصرف توسط گیاه شوند؛ برای مثال کاربرد بیش از حد فسفر، جذب عناصر کم‌مصرف از جمله روی قابل استفاده در خاک را به علت ایجاد رسوب فسفات روی محدود می‌سازد؛ اما اگر فسفر در سطح متعادلی باشد می‌تواند عنصر روی پیوند شده با اکسید آهن، مواد آلی و کربناتی را کاهش داده و در نتیجه میزان جذب آن را افزایش دهد (۴۶). اشرفی و همکاران (۲۰۱۱) با کاربرد کود گاوی غنی‌سازی شده با ترکیبات معدنی آهن از جمله لجن کتور فولاد سازی، سولفات آهن و پودر پوسته‌های اکسیدی توسط فرایند تولید کمپوست و ورمی‌کمپوست در شرایط کنترل شده دما و رطوبت به این نتیجه رسیدند که با افزایش سولفات آهن در کمپوست میزان آهن قابل جذب توسط گیاه افزایش می‌یابد. در تحقیق دیگری مترس و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۱) با بررسی تأثیر کود حیوانی غنی‌سازی شده با کود آهن بر گیاه سورگوم گزارش کردند که کاربرد کود حیوانی به همراه سولفات آهن قادر به رفع کمبود آهن می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد در صورتی که ۴ درصد وزنی خاک را کود حیوانی تشکیل دهد، کاربرد ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم آهن از منابع سولفات آهن سبب افزایش غلظت آهن در گیاه به میزان ۵۰ درصد می‌شود. مقدار کل آهن در خاک‌ها، بین ۱ تا ۲۰ درصد وزنی متغیر می‌باشد (میانگین چهار درصد)؛ بنابراین در مقایسه با سایر عناصر غذایی ضروری، مقدار این عنصر در خاک بسیار زیاد است. هر چند گیاهان در هر هکتار صرفاً بین ۵ تا ۱۰ کیلوگرم آهن در سال جذب می‌کنند، با این وجود در بسیاری مواقع، رشد طبیعی آن‌ها از تغذیه نامناسب آهن صدمه می‌بیند (۳۱). این حالت به ویژه در خاک‌های آهکی، صادق می‌باشد. خاک‌های آهکی (خاک‌هایی که در آن کربنات کلسیم آزاد وجود دارد)

2- Olsen and Sommers  
3- Ghorashi *et al.*

1- Mathers *et al.*

حاضر با هدف مقایسه اثر سطوح مختلف ضایعات آهن و خاک فسفات به عنوان غنی‌ساز و اثرات متقابل آن‌ها بر مؤلفه‌های رشدی و غلظت برخی از عناصر غذایی در گیاه گوجه‌فرنگی، اجرا گردید.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در ۲۷ واحد آزمایشی در گلخانه‌ی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا شد. نمونه خاک جهت کشت گلخانه‌ای به میزان مورد نیاز از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر از مزرعه آزمایشی دانشکده کشاورزی دانشگاه برداشت و پس از هواخشک کردن و عبور آن از الک ۲ میلی‌متر، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مد نظر با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شامل بافت خاک (روش باور)، هدایت الکتریکی در عصاره اشباع؛ پ-هاش در گل اشباع (۴۴)، میزان ماده آلی (به روش هضم تر)، میزان عناصر غذایی شامل نیتروژن (به روش کج‌لدال)، فسفر (به روش اولسن و قرائت با دستگاه اسپکتروفتومتر)، پتاسیم قابل جذب (با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر)، آهن، روی و مس (استخراج با DTPA و قرائت با دستگاه جذب اتمی)، مورد آزمایش قرار گرفتند (جدول ۱). جهت آماده‌سازی خاک گلدان‌ها قبل از اعمال تیمارها با توجه به خصوصیات خاک جهت ایجاد شرایط القایی کمبود، ۱۰ درصد وزنی ماسه به خاک اضافه شد. تیمارهای مورد استفاده در این طرح شامل تیمار کمپوست فضای سبز غنی شده با ضایعات آهن و خاک فسفات بود. جهت آماده‌سازی تیمارها ابتدا ضایعات آهن از کارخانه گروه ملی صنعتی فولاد ایران (واقع در استان خوزستان) و خاک فسفات از مجتمع فسفات اسفوردی (واقع در استان یزد) تهیه و پس از هوا خشک شدن، درصد آهن و فسفر کل در آن‌ها با استفاده از روش‌های استاندارد (هضم تر) اندازه‌گیری شد. کمپوست تهیه شده از ضایعات فضای سبز

صورت رقابتی از جذب آهن جلوگیری می‌کند (۴۵). در بافت گیاهانی که دچار کلروز آهن ناشی از غلظت بالای فسفر هستند، غلظت آهن می‌تواند در سطح طبیعی آن باشد؛ اما نسبت فسفر به آهن در این گیاهان بیشتر است چرا که در حضور مقادیر زیاد فسفر ظرفیت گیاهان برای جذب و نگهداری آهن به فرم قابل استفاده کم می‌شود؛ بنابراین فسفات نقش مهمی در تعیین مقدار، فرم و نوع آهن در بافت‌های گیاهی دارد (۴۷). همچنین گزارش شده است که کلروز آهن با نسبت‌های پتاسیم به کلسیم و فسفر به آهن، ارتباط دارد و در بافت‌های گیاهی کلروزه نسبت‌ها بیشتر از بافت‌های گیاهان سالم می‌باشد. رایورا و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۷) در مقایسه کودهای سولفات آهن، سترات فریک و سکوسترین در رفع کلروز آهن در درختان لیمو به این نتیجه رسیدند که سولفات آهن و سترات فریک در رفع کلروز آهن موفق نبوده است چرا که پ-هاش قلیایی ریشه و آپوپلاست در خاک آهکی منجر به رسوب آهن در ریشه شده و میزان کلروفیل ۲۰ را نشان می‌دهد. اما زمانی که کود به صورت سکوسترین آهن باشد کلروز آهن رفع شده و میزان کلروفیل ۶۰ را نشان می‌دهد. غلظت آهن در برگ در استفاده از سترات آهن و سولفات آهن به کمتر از ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم رسیده است. لذا منابع مختلف می‌توانند بر مقدار رهاسازی آهن در خاک مؤثر بوده و جذب عنصر توسط گیاه را تغییر دهد. به دلیل ناکارآمد بودن برخی کودهای شیمیایی عناصر کم‌مصرف، گران بودن کودهای آلی خارجی حاوی این عناصر و همچنین عدم جذب مناسب فسفر در خاک‌های مناطق گرم و خشک و تمایل به سوی تولید محصولات با کیفیت بهتر، کاربرد ماده آلی غنی‌سازی شده با عناصر غذایی نظیر فسفر و آهن ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به کمبود عمده آهن و فسفر از لحاظ مقادیر قابل دسترس گیاه و همچنین کمبود این عناصر به شکل قابل جذب در کودهای آلی، با هدف کاربرد ضایعات به عنوان غنی‌ساز برای مدیریت بهتر ضایعات و همچنین غنی‌سازی به صرفه کمپوست، تحقیق

گردید و نمونه‌ها در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت در کوره قرار داده شد. بعد از خروج نمونه‌ها از کوره، به هر نمونه ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه روی حمام بن ماری ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. در پایان، حجم نمونه‌ها با آب مقطر به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد (۱۸) و غلظت عناصر غذایی شامل فسفر، پتاسیم، آهن، روی و مس در عصاره حاصل از هضم خشک بافت گیاهی (اندام هوایی گیاه) به ترتیب به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر، فلم‌فوتومتر و جذب اتمی اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن در سطح آماری سطح ۵ درصد انجام شد. نمودارها به کمک نرم افزار Excel ترسیم گردید.

### نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک (پس از اضافه کردن ماسه) در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود، خاک دارای بافت لومی سیلتی است. میزان ماده آلی خاک کمتر از یک درصد است که بیانگر فقیر بودن خاک از لحاظ محتوای مواد آلی است. برخی از ویژگی‌های شیمیایی کمپوست، ضایعات آهن و خاک فسفات در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود، کمپوست از لحاظ مقادیر فسفر و آهن کل مقادیر بسیار کمتری نسبت به مواد در نظر گرفته شده دارد که همین موضوع نشان می‌دهد ترکیبات مورد نظر می‌توانند به عنوان غنی‌ساز مورد استفاده واقع شوند. لازم به ذکر است با توجه به نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی کمپوست و مقایسه آن با استانداردهای موجود (۴۹) لزوم غنی‌سازی برای بهره‌وری بیشتر، تأیید گردید.

نیز جهت بررسی برخی از ویژگی‌ها شیمیایی، مورد تجزیه قرار گرفت (۲۲، ۷، ۳۳، ۲۴) (جدول ۲). با مشخص شدن ویژگی کودی، کمپوست در مقادیر صفر، ۵ و ۲۰ درصد وزنی توسط ضایعات آهن (انحلال در اسید با رقیق سازی و اسپری یکنواخت) و صفر، ۵ و ۱۰ درصد وزنی با خاک فسفات غنی سازی شد؛ سپس ۲۰ درصد وزنی کمپوست غنی‌سازی شده به خاک اضافه گردید. برای یکنواختی بیشتر، خاک تیمار شده با کمپوست غنی‌سازی شده به مدت ۶۰ روز در دما و رطوبت مناسب نگهداری شد. جهت اطمینان از قوه نامیه، بذرها بر روی کاغذ صافی درون بطری پتری دیش قرار گرفته و به ژرمیناتور انتقال داده شد. پس از این که طول ریشه چه به حدود ۱/۵ سانتی‌متر رسید (۳ تا ۴ روز)، گیاهچه‌ها به گلدان‌ها منتقل گردید. لازم به ذکر است جهت حذف اثر کمبود عناصر غذایی بر رشد گیاه در فواصل مناسب از محلول غذایی فاقد فسفر و آهن (۴۲) استفاده و آبیاری با توجه به نیاز گیاه صورت گرفت. پس از طی ۶ هفته ارتفاع بوته‌ها اندازه‌گیری و سپس گیاه برداشت گردید. برای استخراج و سنجش کلروفیل از روش لیختن تالر<sup>۱</sup> استفاده شد (۲۷). به این منظور ۰/۱ گرم بافت برگ تازه به قطعات کوچک تقسیم شد. پس از آن نمونه گیاهی در ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد، کاملاً ساییده سپس به لوله فالکن منتقل گردید. ظرف نمونه توسط فویل آلومینیومی پوشانده و در تاریکی در یخچال قرار داده شد. بعد از سفید شدن رنگ بافت برگ طی ۳ الی ۴ روز، جذب نوری محلول توسط دستگاه اسپکتروفتومتر صورت گرفت و با استفاده از فرمول‌های ارائه شده کلروفیل کل محاسبه گردید (۲۷).

جهت اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی، نمونه‌ها شسته شده و درون پاکت کاغذی در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ تا ۷۲ ساعت در آون قرار داده شدند. برای تهیه عصاره گیاهی به روش خاکسترگیری خشک ۱ گرم از هر نمونه توزین و برای جلوگیری از خروج فسفر از نمونه‌ها، ۵ میلی‌لیتر محلول نترات منیزیم ۰/۵ نرمال اضافه



جدول (۱) برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table (1) Some of the physicochemical properties of soil

شن	لائی	رس	بافت خاک	پ-هاش	شوری	مواد آلی	آهک	
Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil Texture	pH	EC (dS/m)	OM (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	
19.5	72.6	7.9	لومی سیلتی (Silt-Loam)	7.41	1.24	0.37	30.6	
نیتروژن	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	فلزات قابل جذب (قابل استخراج با DTPA)					
N (%)	Available P (mg/kg)	Available K (mg/kg)	DTPA extractable metals					
			آهن	روی	مس			
			Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)			
0.09	2.94	112	1.04	0.53	0.39			

جدول (۲) برخی ویژگی‌های شیمیایی کمپوست مصرفی، ضایعات آهن و خاک فسفات

Table (2) Some of the initial chemical properties of compost, iron refuse and phosphate soil

آهن کل	فسفر کل	پتاسیم کل	نیتروژن کل	کربن آلی	شوری	پ-هاش	کمپوست
Total Fe (%)	Total P (%)	Total K (%)	Total N (%)	OC (%)	EC (dS/m)	pH	Compost
0.21	0.13	0.45	1.34	44.5	4.16	7.78	
61.9	0.08	ضایعات آهن (Iron Refuse)					
2.55	34.5	خاک فسفات (Phosphate Soil)					

و پایین‌ترین ارتفاع اندام هوایی گیاه به میزان ۴۳/۱ و ۵۲ سانتی‌متر به ترتیب در تیمارهای صفر و ۱۰ درصد غنی‌سازی فسفر مشاهده گردید (شکل ۱). به طور کلی بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار ۲۰ درصد غنی‌سازی آهن به همراه ۱۰ درصد غنی‌سازی فسفر به میزان ۵۷/۹ سانتی‌متر، مشاهده گردید. فسفر به عنوان بخشی از پروتئین هسته، غشاء یاخته‌ای و اسیدهای نوکلئیک نقشی ویژه در ساختار سلولی ایفا می‌کند. به علاوه فسفر جزئی از ساختار فسفوپروتئین‌ها، DNA، RNA، فسفولیپیدها، قندهای فسفردار، فیتین و سایر ترکیبات آلی فسفردار است و در تنظیم فتوسنتز و فعالیت گره‌ها نقش داشته و از این طریق موجب افزایش رشد و نمو و در نهایت افزایش ارتفاع گیاه می‌گردد (۲۳).

### بررسی اثر تیمارها بر ویژگی‌های رشدی گیاه

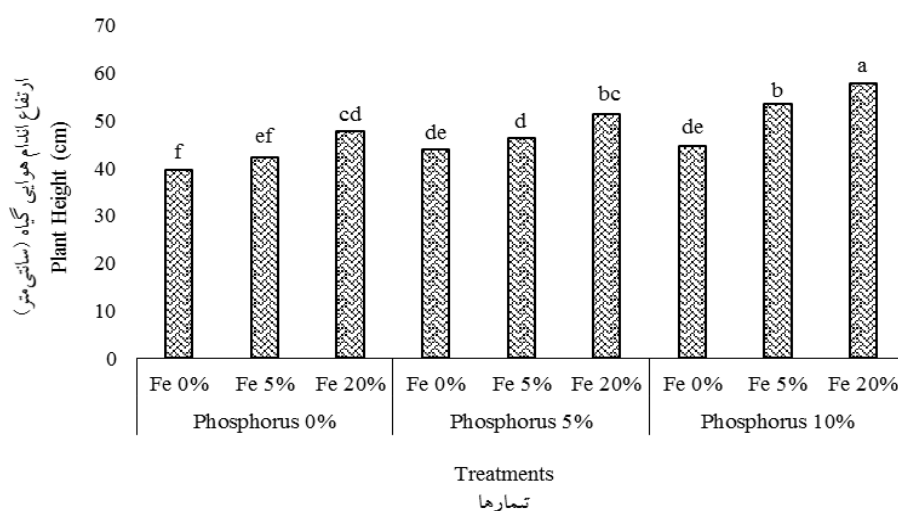
تجزیه واریانس اثر تیمارها بر ارتفاع بوته و وزن خشک اندام هوایی گیاه گوجه‌فرنگی نشان داد که این صفات، تحت تأثیر معنی‌دار سطوح غنی‌سازی توسط آهن و فسفر قرار گرفتند و اثرات متقابل فسفر × آهن نیز معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر مستقل غنی‌سازی با ضایعات آهن بر ارتفاع گیاه نشان داد که با افزایش درصد غنی‌سازی، ارتفاع گیاه افزایش می‌یابد به طوری که بیشترین ارتفاع بوته، در تیمار ۲۰ درصد غنی‌سازی آهن و کمترین آن، در تیمار شاهد (کمپوست بدون غنی‌سازی) مشاهده گردید (شکل ۱). در مقادیر ثابت آهن، با افزایش سطح غنی‌سازی فسفر، ارتفاع بوته ۲۰ درصد افزایش یافت به نحوی که بالاترین

جدول (۳) نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر برخی ویژگی‌های رشدی و غلظت عناصر در گیاه گوجه‌فرنگی  
Table (3) Analysis of variance of the effects treatments on some growth parameters and nutrient concentration in tomato plant

میانگین مربعات (Mean Square)									منابع تغییر (Source)
مس (Cu)	روی (Zn)	آهن (Fe)	پتاسیم (K)	فسفر (P)	کلروفیل کل Total chlorophyll	وزن خشک اندام هوایی Stem dry weight	ارتفاع اندام هوایی Plant Height	درجه آزادی (df)	
35.79**	510.64**	552.97**	0.001 <sup>ns</sup>	0.707**	19.35**	11.73**	179.019**	2	خاک فسفات (P)
2.29**	5.38**	9419.83*	0.313**	0.030**	23.41**	29.24**	207.58**	2	ضایعات آهن (Fe)
0.498**	70.94**	455.07**	0.052**	0.009**	0.96**	0.48**	11.96**	4	فسفر*آهن (P*Fe)
2.094	3.003	1.001	0.0301	1.014	2.002	1.864	1.27	16	خطا (Error)
17.7	15.2	17.1	4.70	16.6	19.0	18.0	11.8		ضریب تغییرات CV(%)

CV(%)، \* و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ درصد، معنی‌داری در سطح ۵ درصد، عدم وجود اختلاف معنی‌دار

\*\*، \*، indicate that variances are significant at the level of 1%, 5% and ns is non-significant, respectively.



شکل (۱) اثرات متقابل تیمار سطوح غنی‌سازی فسفر (۰، ۵، ۱۰ درصد) و سطوح آهن (۰، ۵، ۲۰ درصد) بر ارتفاع اندام هوایی گیاه گوجه‌فرنگی

Table (1) Interaction effects of treatments consist of level of enrichment by phosphorus (0, 5, and 10 percent) and iron (0, 5, and 20 percent) on the height of tomato plant

\*میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشد.

\*For all variables with the same letter, the difference between the means is not statistically significant at the level of 5%.

غنی‌سازی آهن، اختلاف معنی‌دار با عدم غنی‌سازی آهن به همراه ۵ درصد غنی‌سازی فسفر ندارند؛ اما زمانی که غنی‌سازی همزمان هر دو عنصر به مقدار ۵ درصد صورت گرفت، افزایش معنی‌دار در مقایسه با تیمارهای ذکر شده مشاهده می‌شود که این نتیجه دلالت بر اثر مثبت غنی‌سازی توأمان آهن و فسفر دارد. اشرفی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند استفاده از کودهای گاوی خشک غنی‌سازی شده با ترکیبات معدنی آهن باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک گیاه، به علت افزایش قابلیت استفاده عناصر کم مصرف و پر مصرف در خاک، می‌گردد. شرف‌الدین شیرازی و فاضلی<sup>۲</sup> (۲۰۱۵) گزارش کردند که مصرف کودهای حاوی آهن می‌تواند با فعال کردن سیستم‌های آنزیمی فعالیت‌های متابولیکی، باعث افزایش تولید انرژی، سنتز پروتئین و قندها و در نتیجه توسعه سطوح برگ‌گی شده، که در نهایت به صورت افزایش ماده خشک ملاحظه می‌گردد. عباسپور و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۴) معتقدند که با توجه به گران بودن کودهای کلاته آهن، نیاز به استفاده از ترکیبات مؤثر و ارزان‌تر که جایگزینی برای کودهای آهن باشند، احساس می‌شود؛ لذا کاربرد ضایعات آهن با درصد زیاد اکسید آهن، می‌تواند در افزایش کیفی و کمی محصولات کشاورزی مؤثر واقع شود. البته توجه به عناصر و ناخالصی‌های همراه با مواد غنی‌ساز جهت کارایی و اطمینان از مصرف آنها باید مورد توجه قرار گیرد. در همین راستا دستیابی به مقدار غنی‌سازی مناسب بدون ایجاد خطر آلودگی و افت کیفیت محصولات، از شروط اصلی کاربرد چنین ترکیباتی در غنی‌سازی کودهای آلی است.

محققان در بررسی نقش اصلاح‌کننده‌های آلی بیان کردند که استفاده از کود گاوی غنی‌سازی شده با کودهای فسفره در عملکرد سویا و گندم، نسبت به استفاده آن‌ها به تنهایی کارایی بهتری داشته است (۳۸).

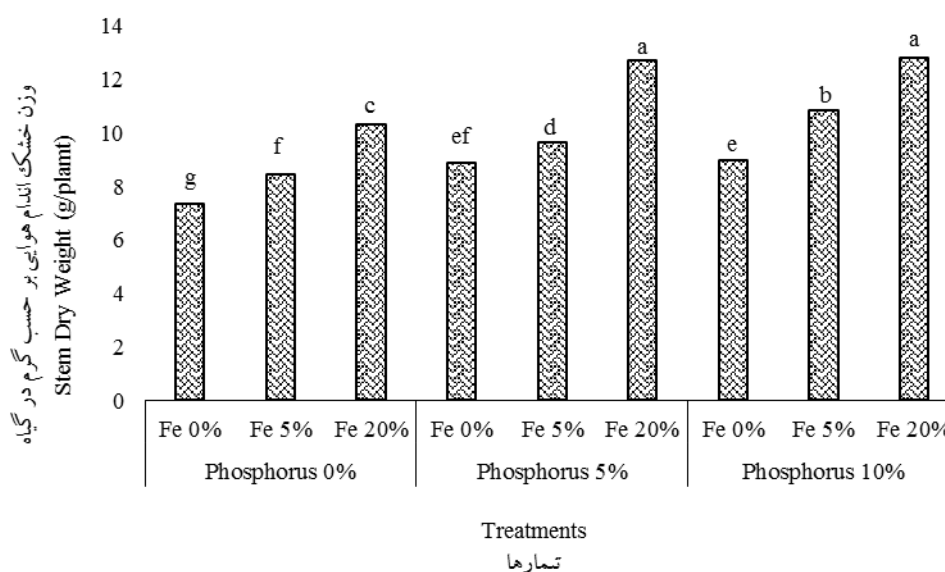
رفعیان اصفهانی (۲۰۱۳)، با کاربرد سرباره شرکت فولاد مبارکه به عنوان کود آهن در کشت ذرت گزارش کردند که بیشترین ارتفاع بوته و وزن خشک شاخساره و ریشه مربوط به تیمار کاربرد سرباره به همراه یک درصد ماده آلی بود. سنتیل کومار و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۳) نشان دادند که استفاده از کودهای آلی غنی‌سازی شده با عناصر کم‌مصرف باعث بهبود وضعیت دسترسی به عناصر غذایی و عملکرد گیاهانی از جمله زردچوبه می‌گردد. موسوی و همکاران (۲۰۱۲) واکنش گیاه زراعی برنج نسبت به استفاده از کود ورمی‌کمپوست به صورت جداگانه و نیز غنی‌شده توسط کودهای شیمیایی مختلف را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که بیشترین زیست‌توده، تعداد پنجه، ارتفاع، تعداد کل دانه در خوشه، شاخص برداشت و عملکرد و همچنین کمترین درصد دانه پوک در خوشه در تیمار ۴۰ تن ورمی‌کمپوست غنی شده با ۵۰ درصد کود شیمیایی مشاهده گردید. هاشمی مجد و گلچین (۲۰۰۹) گزارش کردند که با افزایش سطح غنی‌سازی ورمی‌کمپوست با غبار آهن اثر آن بر عملکرد گیاه افزایش می‌یابد که این افزایش در مقایسه با اثر کود کلات آهن مؤثرتر است.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که افزایش سطح غنی‌سازی آهن از صفر به ۲۰ درصد باعث افزایش ۴۲/۴ درصدی وزن خشک گیاه گردید که این اثر در مورد غنی‌سازی فسفر ۲۴/۹ درصد گزارش می‌شود (شکل ۲). بیشترین وزن خشک اندام هوایی گیاه گوجه‌فرنگی در تیمار غنی‌سازی ۲۰ درصدی آهن به همراه ۱۰ درصد فسفر مشاهده شد که البته اختلاف آن با تیمار غنی‌سازی ۲۰ درصدی آهن به همراه ۵ درصد فسفر، معنی‌دار نیست. لذا با توجه به نتایج بدست آمده در خصوص وزن خشک گیاه، تیمار غنی‌سازی ۲۰ درصد آهن به همراه ۵ درصد فسفر، تیمار مناسبی خواهد بود که می‌تواند مانع از جذب لوکس گردد. لازم به ذکر است تفاوت تیمارهای عدم غنی‌سازی فسفر به همراه ۵ درصد

2- Sharafodin Shirazi and Fazeli  
3- Abbaspour *et al.*

1- Senthil Kumar *et al.*

محمدی و همکاران: تأثیر استفاده از کمپوست غنی شده...



شکل (۲) اثرات متقابل تیمار سطوح غنی سازی فسفر (۰، ۵، ۱۰ درصد) و سطوح آهن (۰، ۵، ۲۰ درصد) بر وزن خشک اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی

Table (2) Interaction effects of treatments consist of level of enrichment by phosphorus (0, 5, and 10 percent) and iron (0, 5, and 20 percent) on stem dry weight of tomato

\*میانگین هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می باشند فاقد تفاوت معنی دار در سطح آماری ۵ درصد می باشد.

\*For all variables with the same letter, the difference between the means is not statistically significant at the level of 5%.

آهن بر کلروفیل کل در برگ گوجه فرنگی نشان داد که به طور کلی، با افزایش درصد آهن، کلروفیل کل به ترتیب به میزان ۱۷/۶ و ۱۸/۲ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. به عبارت دیگر غنی سازی کمپوست با ضایعات آهن باعث افزایش ۳۹ درصدی محتوای کلروفیل گیاه می گردد که این مقدار برای غنی سازی فسفر ۳۴ درصد می باشد. اختلاف محتوای کلروفیل گیاه در تغییر سطح غنی سازی فسفر از ۵ به ۱۰ درصد، از نظر آماری معنی دار نشد. حداکثر محتوای کلروفیل گیاه در تیمار غنی سازی ۲۰ درصد آهن به همراه ۱۰ درصد فسفر مشاهده می شود که اختلاف معنی داری با تیمار ۲۰ درصد غنی سازی آهن و ۵ درصد غنی سازی فسفر نداشت (شکل ۳). با توجه به نتایج بدست آمده، در سطح عدم غنی سازی کمپوست با فسفر، افزایش سطح غنی سازی آهن از ۵ به ۲۰ درصد، افزایش معنی داری را در محتوای کلروفیل برگ ایجاد نکرد؛ اما با غنی سازی فسفر در هر دو سطح ۵ و ۱۰ درصد، افزایش سطح

گندمکار و سلیمپور<sup>۱</sup> (۲۰۰۵) در بررسی کمپوست ضایعات سبز گیاهی غنی سازی شده با کود شیمیایی نشان دادند که این ضایعات مواد آلی خاک را افزایش داده و با توجه به غنی سازی، مواد غذایی به آرامی در اختیار گیاه قرار می گیرند. پلسنر و همکاران<sup>۲</sup> (۱۹۹۸) به این نتیجه رسیدند که کاربرد آزولای غنی شده با ترکیبات معدنی در کشت هیدروپونیک تأثیر زیادی بر میزان استفاده این ترکیبات و در نتیجه رشد اندام هوایی کاهو نسبت به تیمار آزولای بدون غنی سازی دارد.

### بررسی اثر تیمارها بر مقدار کلروفیل و غلظت برخی از عناصر غذایی در گیاه گوجه فرنگی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کلروفیل کل در برگ گوجه فرنگی، تحت تأثیر معنی دار تیمارهای غنی سازی آهن و فسفر و همچنین اثرات متقابل تیمارها قرار گرفت (جدول ۳). مقایسات میانگین اثر غنی سازی

1- Gandomkar and Salimpur  
2- Plessner *et al.*

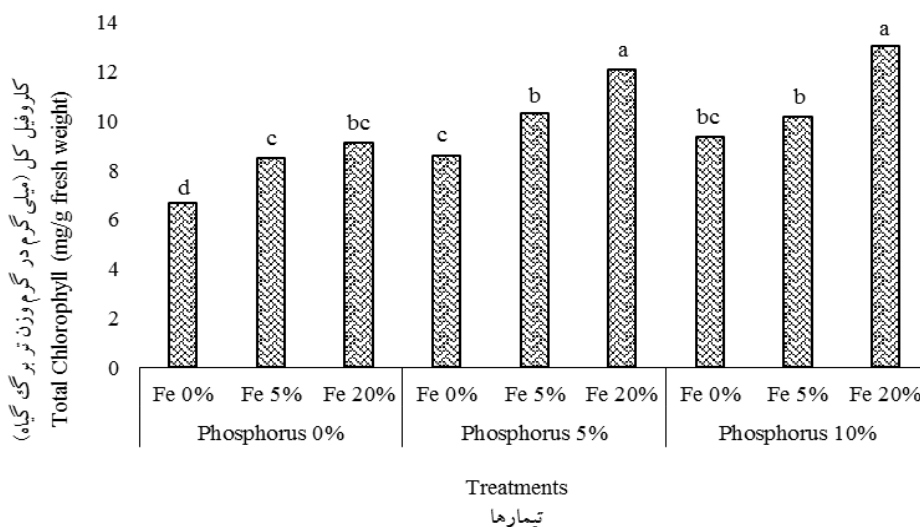
با توجه به جدول تجزیه واریانس، اثر مستقل غنی سازی فسفر بر غلظت همه عناصر به غیر از پتاسیم، معنی دار شد. اثر مستقل غنی سازی با سطوح مختلف آهن و همچنین اثر متقابل فسفر  $\times$  آهن بر غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، آهن، روی و مس از لحاظ آماری معنی دار شد (جدول ۳). با توجه به نتایج بدست آمده (جدول ۴)، با افزایش درصد فسفر در کود کمپوست، غلظت فسفر در اندام هوایی بوته گوجه فرنگی نیز افزایش یافت که مقدار آن نسبت به تیمار شاهد  $1/5$  برابر در سطح  $5$  درصد غنی سازی و  $3/5$  برابر در سطح  $10$  درصد غنی سازی فسفر، برآورد گردید. غلظت آهن در گیاه با افزایش سطح غنی سازی فسفر از صفر به  $5$  درصد، به میزان  $10/9$  درصد افزایش یافت؛ در مقابل استفاده از خاک فسفات در سطح  $5$  درصد باعث کاهش غلظت روی و مس گیاه به میزان  $21/5$  و  $15/2$  درصد گردید که با توجه به مقادیر کاهش غلظت و همچنین عدم معنی داری اختلاف میانگین با سطح غنی سازی  $10$  درصد در مورد عنصر روی؛ این عنصر نسبت به افزایش مقدار فسفر، حساس تر تشخیص داده شد.

در همین رابطه، پژوهشگران علت کاهش غلظت روی را کاهش جذب و یا ممانعت فسفر از انتقال این عنصر از ریشه به اندام هوایی بیان کردند (۱۶). افزایش سطح غنی سازی آهن از صفر به  $20$  درصد باعث افزایش غلظت آهن گیاه به میزان حدود  $2$  برابر ( $1/91$ ) گردید که این اثر افزایشی در مورد عنصر فسفر و پتاسیم به ترتیب  $26$  و  $10/2$  درصد گزارش می شود. اثر غنی سازی آهن بر میزان روی کاهشی بوده که نشان دهنده رقابت این دو عنصر در جذب توسط ریشه گیاه گوجه فرنگی می باشد. به طور کلی بیشترین غلظت عناصر روی و مس در بین تیمارها، به تیمار شاهد بدون غنی سازی با مقادیر  $59/6$  و  $11/8$  مربوط می باشد و کمترین میزان در تیمارهای همزمان غنی سازی مشاهده می شود. بالعکس، در مورد عنصر آهن، حداکثر غلظت در تیمار حداکثر غنی سازی همزمان فسفر و آهن مشاهده می شود (جدول ۴).

غنی سازی آهن باعث افزایش معنی دار در محتوای کلروفیل گیاه گردید. لذا غنی سازی همزمان کمپوست توسط آهن و فسفر می تواند به افزایش کیفیت محصولات بویژه سبزیجات برگی منجر شود. با توجه به نقش مثبت فسفر در رشد ریشه گیاه و قابلیت جذب بهتر عناصر غذایی توسط ریشه های سالم تر و گسترده تر، نتایج فوق توجیه می گردد (۴۲).

آهن در انجام وظایف اصلی گیاه از جمله تعریق، احیا نترات و فتوستنتز نقش دارد و جز ترکیبی سیتوکروم ها، فرودوکسین و چند انتقال دهنده ی دیگر الکترون می باشد (۳۶). اولین اثرات کمبود آهن، بر بخش های مؤثر در فتوستنتز و از آن جمله کلروپلاست می باشد. در گیاهان مبتلا به کلروز به علت کاهش در مقدار کلروفیل، فاصله بین رگرگی زرد می شود و فتوستنتز خالص و نسبت کلروفیل به کارتنوئیدها کاهش می یابد. گزارشاتی در مورد تغییر نسبت کلروفیل  $a$  و  $b$  نیز وجود دارد (۳۶). رایورا و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که بیشترین میزان کلروفیل در برگ توسط اعمال تیمار سکوسترین آهن و کمترین میزان کلروفیل در برگ در تیمار سولفات آهن حاصل گردید. دهقان منشادی و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر کاربرد کمپوست و ورمی کمپوست غنی شده با کود شیمیایی بر برخی شاخص های بیولوژیک کیفیت خاک در ریزوسفر ریحان را مورد بررسی قرار دادند و مطابق با نتایج این مطالعه، افزایش درصد آهن باعث افزایش میزان کلروفیل کل گیاه گردید. تژادا و گونزالز (۲۰۱۶) نیز در مطالعه خود بر تأثیر کمپوست تهیه شده از ضایعات آهن بر ویژگی های زیستی خاک و عملکرد برنج، محتوای کلروفیل بیشتری در تیمارهای حاوی کمپوست غنی گزارش کردند. کودهای آلی غنی سازی شده با ترکیبات شیمیایی باعث افزایش محتوای عناصر تغذیه ای پرمصرف و کم مصرف خاک شده و در نتیجه آن، میزان فراهم آوری این عناصر برای گیاه افزایش می یابد که باعث افزایش محتوای کلروفیل گیاه می شود (۴۰، ۳۰).

محمدی و همکاران: تأثیر استفاده از کمپوست غنی شده...



شکل (۳) اثرات متقابل تیمار سطوح غنی‌سازی فسفر (۰، ۵، ۱۰ درصد) و سطوح آهن (۰، ۵، ۲۰ درصد) بر مقدار کلروفیل برگ گیاه گوجه‌فرنگی

Table (3) Interaction effects of treatments consist of level of enrichment by phosphorus (0, 5, and 10 percent) and iron (0, 5, and 20 percent) on total chlorophyll content of tomato leaves

\*میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشد.

\*For all variables with the same letter, the difference between the means is not statistically significant at the level of 5%.

جدول (۴) مقایسه میانگین‌های ترکیبات تیماری سطوح غنی‌سازی فسفر (۰، ۵، ۱۰ درصد) و سطوح آهن (۰، ۵، ۲۰ درصد) بر غلظت برخی از عناصر غذایی در اندام هوایی گیاه گوجه‌فرنگی

Table (4) Mean comparison of treatments consist of level of enrichment by phosphorus (0, 5, and 10 percent) and iron (0, 5, and 20 percent) on some nutrient concentration in aerial part of tomato

میانگین (Mean)					
تیمار (Treatment)	مس (mg kg <sup>-1</sup> )	روی (mg kg <sup>-1</sup> )	آهن (mg kg <sup>-1</sup> )	پتاسیم (%)	فسفر (%)
P <sub>0</sub> Fe <sub>0</sub>	11.8 <sup>a</sup>	59.61 <sup>a</sup>	80.45 <sup>g</sup>	3.65 <sup>e</sup>	0.18 <sup>f</sup>
P <sub>0</sub> Fe <sub>5</sub>	11.6 <sup>c</sup>	57.62 <sup>b</sup>	83.93 <sup>f</sup>	3.75 <sup>d</sup>	0.24 <sup>e</sup>
P <sub>0</sub> Fe <sub>20</sub>	11.7 <sup>b</sup>	48.93 <sup>c</sup>	129.6 <sup>c</sup>	4.07 <sup>a</sup>	0.23 <sup>e</sup>
P <sub>5</sub> Fe <sub>0</sub>	10.6 <sup>d</sup>	43.62 <sup>f</sup>	72.51 <sup>h</sup>	3.70 <sup>d</sup>	0.48 <sup>d</sup>
P <sub>5</sub> Fe <sub>5</sub>	9.86 <sup>e</sup>	40.33 <sup>g</sup>	113.1 <sup>e</sup>	3.96 <sup>b</sup>	0.50 <sup>d</sup>
P <sub>5</sub> Fe <sub>20</sub>	9.31 <sup>f</sup>	46.30 <sup>d</sup>	140.6 <sup>b</sup>	3.85 <sup>c</sup>	0.68 <sup>c</sup>
P <sub>10</sub> Fe <sub>0</sub>	8.66 <sup>g</sup>	39.53 <sup>i</sup>	70.60 <sup>i</sup>	3.53 <sup>f</sup>	0.72 <sup>b</sup>
P <sub>10</sub> Fe <sub>5</sub>	7.30 <sup>h</sup>	40.21 <sup>h</sup>	120.2 <sup>d</sup>	3.87 <sup>c</sup>	0.79 <sup>a</sup>
P <sub>10</sub> Fe <sub>20</sub>	7.24 <sup>i</sup>	44.71 <sup>e</sup>	147.4 <sup>a</sup>	4.08 <sup>a</sup>	0.81 <sup>a</sup>

\*میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشد.

\*For all variables with the same letter, the difference between the means is not statistically significant at the level of 5%.

افزایش آهن قابل جذب در خاک و در نتیجه رقابت با روی، غلظت روی در اندام هوایی گیاه کاهش می‌یابد. به صورت متقابل، وجود روی می‌تواند در سوخت ساز آهن ایجاد تداخل کرده و باعث بروز کمبود آهن در گیاه گردد (۱). گونس و اینال<sup>۱</sup> (۲۰۰۹) گزارش کردند مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر، غلظت روی و منگنز را در گیاه آفتابگردان کاهش می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

استفاده از ترکیبات غنی‌ساز با بهبود شرایط تغذیه‌ای می‌تواند به بهره‌وری بیشتر از کودهای آلی از جمله کمپوست منجر شود. استفاده از کمپوست غنی‌سازی شده با خاک فسفات و ضایعات آهن باعث بهبود مؤلفه‌های رشدی گیاه گوجه‌فرنگی شد. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، سطوح بالای غنی‌سازی تا حدی جذب عناصر روی و مس را محدود می‌سازد که این موضوع به اثرات متقابل عناصر بر یکدیگر و تغییر نسبت‌های غلظتی، ارتباط می‌یابد که با تنظیم مقادیر غنی‌سازی می‌توان این اثر را تعدیل نمود. با توجه به کمبود عناصر کم مصرف در اغلب محصولات زراعی و باغی و رقابت عناصر در خاک، در بسیاری از موارد افت کیفیت محصولات رخ می‌دهد، لذا پیشنهاد می‌گردد در ادامه تحقیق حاضر، پژوهشی در خصوص غنی‌سازی همزمان سایر عناصر کم مصرف مانند روی و مس و سطوح متعادل غنی‌سازی به نحوی که حداکثر جذب به طور همزمان برای همه عناصر هدف حاصل شود، صورت گیرد. استفاده از ضایعات بخش‌های مختلف به منظور غنی‌سازی متعادل مواد اصلاحی آلی، علاوه بر کاهش هزینه‌ها، به بازیافت حجم زیادی از ضایعات منجر خواهد شد.

### سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به علت حمایت مالی از این تحقیق در قالب پایان‌نامه دانشجویی، کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایم.

در بسیاری از شرایط، عناصر فسفر و آهن اثرات کاهنده بر یکدیگر نشان می‌دهند که علت آن رسوب آهن محلول به صورت ترکیبات فسفات نامحلول است. با توجه به نتایج تحقیق حاضر، زمانی که از یک محیط آلی مانند کمپوست برای اضافه شدن این دو عنصر به خاک استفاده می‌شود، اثر مواد آلی در تشکیل کلات‌های محلول می‌تواند مقدار آهن قابل استفاده را افزایش دهد.

مواد آلی همچنین تأثیر غیر قابل انکاری بر جلوگیری از تثبیت فسفر دارند که باعث آزادسازی آن در اثر تجزیه مستقیم ماده آلی و یا تولید اسیدهای آلی می‌شود. آددیران و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی اثر کمپوست غنی‌سازی شده با کود شیمیایی حاوی نیتروژن، فسفر و پتاسیم دریافتند که غلظت فسفر در برگ گیاه ذرت بعد از ۸ هفته نسبت به تیمار شاهد به دلیل نقش مواد آلی در تعادل عناصر غذایی و افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی و همچنین تعدیل پ-هاش خاک، افزایش یافته است. لیندسی (۲۰۰۱) بیان داشته که اختلاط مواد آلی با مواد معدنی باعث افزایش راندمان این مواد در تغذیه گیاهی می‌شود و تأثیر بسزایی در رفع کمبود آهن گیاهان در خاک‌های آهنکی دارد. محققان در بررسی تأثیر کمپوست باگاس نیشکر و کمپوست کود دامی غنی‌سازی شده با عناصر کم مصرف یافته‌اند که غلظت آهن و سایر عناصر کم مصرف در برگ گیاه مرکبات افزایش معنی‌داری داشته است. گزارشات حاکی از آن است که غنی‌سازی تیمارهای آلی باعث بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه گردید (۲۵). پژوهشگران دیگر با اعمال تیمار کود گاوی غنی‌سازی شده با ترکیبات معدنی آهن در مقایسه با تیمار کود گاوی به تنهایی، افزایش معنی‌دار جذب آهن توسط گیاه را گزارش کردند (۵). کاهش در میزان جذب با اعمال تیمار کود گاوی به تنهایی به دلیل پایین بودن غلظت آهن در کود آلی بیان شده است. کاهش مقدار آهن باعث ضخامت نوک ریشه‌ها و تارهای کشنده می‌شود که بر جذب سایر عناصر مؤثر خواهد بود. لذا بهبود شرایط تغذیه‌ای آهن بواسطه بهبود شرایط ریشه و تارهای کشنده، باعث تسهیل در جذب عناصر غذایی می‌گردد (۵). بر اساس گزارشات، با اعمال ضایعات کارخانه فولاد به دلیل

## References

1. Abbaspour, A. Kalbasi, M. and Shariatmadary, H. 2004. Effect of steel converter sludge as iron fertilizer and soil amendment in some calcareous soils. *Journal of plant nutrition*, 27 (2): 377-394.
2. Adediran, J. A., Taiwo, L. B., Akande, M. O., Sobulo, R. A., and Indiwu, O. J. 2004. Application and Inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria. *Journal of plant nutrition*, 27: 1163-1181.
3. Ansal, M.D., Kaur, K., and Kaur, V.I. 2016. Evaluation of Azolla Compost as Bio-fertilizer in Carp Culture. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 33 (2): 191-196.
4. Asgharipour, W.R., and Rafiei, M. 2009. Effects of Municipal Compost on Germination and Growth of Tomato Seedlings. *Water and Soil Science*, 19: 18-21.
5. Ashrafi, A., Shariatmadari, H., and Rezainezhad, Y. 2011. Enrichment of organic fertilizers with iron compounds. 8<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress. Collection of articles on soil fertility and plant nutrition, PP: 72-78.
6. Atiyeh, R.M., Dominquez, J. Subler, S. and Edwards, C. A. 2000. Change in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia anderi*, Bouche') and Effects on Seedling Growth. *Pedobiologia*, 44: 709-724.
7. Boltz, D. F. and Howell, J. A. 1978. Colorimetric Determination of Nonmetals. John Willey and Sons, New York. PP.197-202.
8. Chu, H. Y., Lin, X. G., Takeshi, F and Morimoto, S. 2007. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, and bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. *Soil Biological and Biochemistry*, 39 (13): 2971-2976.
9. Dang, Y.P., Dalal, R.C., Routley, R., and Schwenke, G.D. 2006. Subsoil constraints to grain production in the cropping soils of the north-eastern region of Australia: an overview. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46 (1): 19-35.
10. Dehghan, M.H., Bahamnyar, M.A., Salek, S., and Kakziyan, A. 2012. Effect of application of compost and vermicompost enriched with chemical fertilizers and chemical fertilizers on some biological indicators of soil quality in basil rhizosphere (*Ocimum basilicum*). *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources, Soil and Water Sciences*, 16: 187-198.
11. El-Baruni, B. and S.R. Olsen. 2011. Effect of manure on solubility of phosphorus in calcareous soils. *Soil Science Journal*, 4: 128-141.
12. FAO. 2005. Use of phosphate rock for sustainable agriculture. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin No. 13. Rome.
13. Fekri, M., and Gharanjik, L. 2015. Effect of phosphorus and pistachio green skin on growth and concentration of some nutrients of pistachio seedlings (*Pistacia Vera L.*). *Science and technology of greenhouse crops*, 23 (2): 47-60.
14. Fonseca, R., Canário, T.M., Morais, F.J., and Barriga, A. S. 2011. Phosphorus sequestration in Fe-rich sediments from two Brazilian tropical reservoirs. *Applied Geochemistry*. 26: 1607-1622.
15. Gandomkar, A., and Salimpur, S. 2005. The effect of organic matter compost and chemical fertilizers on yield and absorption of trace elements in citrus. 9<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress, Tehran.
16. Ghorashi, L.S., Haghnia, Gh. Lakzian, A. and Khorasani, R. 2012. Effect of lime, phosphorus and organic matter on maize ability for iron uptake. *Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology)*, 26 (4): 818-825.



17. Gunes, A. and Inal, A. 2009. Phosphorus efficiency in sunflower cultivars and its relationships with phosphorus, calcium, iron, zinc and manganese nutrition. *Journal of Plant Nutrition*, 32: 1201-1218.
18. Hamada, A. M. and EL-enaty, A.E. 1994. Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element. Content and gas exchange of broad bean and pea plants. *Biologia Plantarum*, 36: 75-81.
19. Hashemi-Majd, K., and Golchin, A. 2009. The Effect of Iron-Enriched Vermicompost on Growth and Nutrition of Tomato. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 11: 613-621.
20. Herrera, F., Castillo, J.E., Chica, A. F., and Lopezbellido, L. 2008. Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing medium in the nursery Production of tomato plants. *Bio-resource technology*, 99: 287-296.
21. Honarjoo, N., and Abedi, M. 2013. Partial trace element reference. Written by Stephen Peace, J. and Benton Jones. University of Mashhad Publications.
22. Jones, J.B. 2001. *Laboratory Guides for Conducting Soil Tests and Plant Analysis*. CRC Press, Boca Raton.
23. Khavazi, K., F. Nourgholipour, and M. J. Malakouti. 2001. Effect of Thio-bacillus and phosphate solublizer bacteria on increasing P availability from rock phosphate for corn. *International Meeting on Direct Application of Rock Phosphate and Related Technology*, Kuala Lumpur, Malaysia.
24. Kou, S. 1996. Phosphorous, In: "Methods of Soil Analysis". Sparks, D. L, (Ed.), Part III, Chemical Methods, SSSA Book Series No.5, SSSA, Madison, WI. PP. 869-912.
25. Kumar, R., Verma, D., Singh, B.L., and Kumar, U. 2010. Composting of sugar-cane waste by-products through treatment with microorganisms and subsequent vermicomposting. *Bioresource Technology*, 101(17): 6707-6711.
26. Lazkano, C., Arnold, J., Tato, A., Zaller, J.G., and Dominguez, J. 2009. Compost and vermicompost as nursery pot components 2009: Effects on tomato plant growth and morphology. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(4): 944-951.
27. Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol.* 148: 350-382.
28. Lindsay, W.L. 2001. *Chemical Equilibria in Soils*. Blackburn Press, PP. 212-234.
29. Malakoti, M.J., and Tehrani, M.M. 2016. The role of micronutrients in increasing yield and improving the quality of agricultural products (micro elements with macro effect). 3<sup>rd</sup> Edition. Tarbiyat Modarres Press. PP: 32-33.
30. Masciandaro, G., Ceccanti, B., Ronchi, V., Benedicto, S., and Howard, L. 2012. Humic substances to reduce salt effect on plant germination and growth. *Commun. Soil Science and Plant Analatical*, 33: 365-378.
31. Mathers, A.C., Thomas, J.D. Stewart, B.A. and Herring J.E. 2011. Manure and Inorganic Fertilizer Effects on Sorghum and Sunflower Growth on Iron-Deficient Soil. *Agronomy Journal*, 72 (6): 1025-1029.
32. Mosavi, M., Bahmanyar, M., and Pirdashti, H. 2012. Rice response to longtime application of vermicompost separately and enriched with different chemical fertilizers. *Journal of Crop Production*, 5 (2): 19-35.
33. Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1996. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter, In: "Methods of Soil Analysis". Part III, Chemical Methods, SSSA Book Series No. 5, SSSA, Madison, WI. PP. 153-188.

34. Olsen, S.R. and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. In A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part1 chemical and biological properties*. SSSA, Madison, WI, PP: 403-427.
35. Plessner, O.E., Chen, Y., Shenker, M. and Tel-Or, E. 1998. Iron-enriched *Azolla* as a slow release bio fertilizer for cucumber plants grown in a hydroponic system. *Journal of Plant Nutrition*, 21 (11): 2357-2367.
36. Preusch, P. L., and Tworkoski, T. J. 2000. Weed Suppression N and P mineralization in an orchard mulched with composted poultry litter. *Scientia Horticulturae*, 30: 35-39.
37. Rafiyan E.Z. 2013. Application of Mobarakeh Steel Company slag as iron fertilizer in corn. MSc Thesis, Isfahan University of Technology. Isfahan.
38. Rezai-Motlagh., M. 2013. Effect of application of iron-enriched organic matter in comparison with Fe-EDDA and iron sulfate on growth factors and iron concentration in tomatoes in calcareous soils. MSc Thesis, Shahid Chamran University, Ahvaz.
39. Senthil Kumar, P.S., Aruna Geetha, S., Savithri, P., Mahendren, P.P., Jagadeeswaran, R. and Raghunath, K. P. 2003. Comparison of CVA, DRIS, MDRIS and CND norms in leaves of turmeric crop in Erode district of Tamil Nadu State. *Indian Journal of Environment and Ecoplanting*, 7(3), 511-518.
40. Shafi-Adib, Sh., Amini, M., and Modares, S.A. 2015. Investigation of application of biological and chemical fertilizers of phosphorus on quantitative and qualitative yield of *Hypericum perforatum*. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 31 (21): 1-15.
41. Sharafodin, Sh., and Fazeli, F. 2015. Effect of iron microclate and iron sulfate on yield and yield components of *thymus daenensis*. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 31 (2): 374-382.
42. Smith, S. E. 1982. Inflow of phosphate into mycorrhizal and non-mycorrhizal plants of *Trifolium subterraneum* at different levels of soil phosphate. *New Phytologist*, 90 (2): 293-303
43. Tejada, M., and Gonzalez, J.L. 2016. Crushed cotton gin compost on soil biological properties and rice yield. *European Journal of Agronomy*, 25: 22-29.
44. United State Department of Agriculture. *Methods for soil characterization, Saline and Alkali soils. Agriculture, Chapter 6, Hand book 60.*
45. Wallace, A., E.M. Romney and R.B. Clark., 2010. Corn inbreds differing in efficiency to Zn. *Journal of Plant Nutrition*, 2: 225 –229.
46. Yao, M. 2002. Application of Phosphorus, Iron, and Silicon Reduces Yield Loss in Rice Exposed to Water Deficit Stress. *Agronomy Journal*, 72 (6): 1025-1029.
47. Zahid, M. A., Rashid, A., and Din, J. 2000. Balanced nutrient management in chickpea. *International Chickpea and Pigeonpea Newsletter*, 7: 24-26.
48. Zarinkafsh, M. 2015. *Soil Fertility and Productivity*. Tehran University Press.
49. Zazouli, M., Bagheri Ardebilian, M., Ghahramani, E., Ghorbanian Alah Abad, M. 2009. *Principles of Compost Production Technology*. Tehran: Khaniran, p.25,49,259,265,268,270.
50. Zhang, Z., Rengel, Z., and Meney, K. 2009. Kinetics of ammonium, nitrate and phosphorus uptake by *Canna indica* and *Schoenoplectus validus*. *Aquatic Botany*, 91 (2): 71-74.