The Effect of Nitrogen (From two sources: Urea and Ammonium bicarbonate) and Phosphorus on Some Agronomic Traits of Corn in an Alkaline Sandy loam Soil under Greenhouse Conditions

Hamid Bromand duzduzan[1], Adel Reyhanitabar[2*], Nosratollah Najafi[3], Seyyed Javad Ghoreyshi[4]

(Received: July, 2025 Accepted: October, 2025)

Abstract

To date, no study has reported on the interaction between nitrogen (N) from ammonium bicarbonate and phosphorus (P) fertilizer in alkaline soils and their effects on the agronomic traits of corn (*Zea mays* L.). Therefore, the aim of this research was to investigate the interaction of urea and ammonium bicarbonate with phosphorus on some agronomical traits of corn plant by simulating band application in pots with urea, the common nitrogen fertilizer in our country as a comparison. Accordingly, an experiment was conducted using a factorial arrangement based on a completely randomized design with three replications under greenhouse condition. The experimental treatments included phosphorus at two levels (zero and 25 mg per kg of soil) from pure mono-calcium phosphate, and nitrogen at seven levels (zero, 75, 150, and 300 mg per kg) from two sources: urea and ammonium bicarbonate. Phosphorus fertilizer was placed in solid form in the pot soil 8 cm below the intended seed location before planting. Immediately after planting, one-third of the nitrogen was applied in solution form 6 cm below the seeds and about 2 cm above the phosphorus fertilizer. The remaining nitrogen fertilizer was injected into the pot soil in the same manner 20 and 40 days after planting the corn. After 80 days from planting and before harvest, leaf chlorophyll index, stem diameter, and plant height were measured. After harvest, fresh and dry weights of the shoot and roots, as well as root volume, were measured. The results indicated that increasing applied nitrogen levels enhanced the leaf chlorophyll index; however, this increase was accompanied by reductions in both fresh and dry weights of the shoot and root, as well as decreases in the root-to-shoot ratio and stem diameter. At nitrogen levels of 150 and 300 mg per kg of soil, ammonium bicarbonate treatments resulted in greater shoot dry weight compared to urea; similarly, at 75 and 150 mg levels, higher root dry weights were observed. The application of phosphorus fertilizer increased the fresh and dry weights of both shoot and roots, as well as stem diameter.

Keywords: Ammonia volatilization, Cholorophil index, Interaction effects, Plant nutrition, Root

Bromand D.H., Reyhanitabar A., Najafi N. Ghoreyshi S.J. 2025. The Effect of nitrogen (from two sources: urea and ammonium bicarbonate) and phosphorus on some agronomic traits of corn in an alkaline sandy loam soil under greenhouse conditions. *Applied Soil Research*. 13(3): 1-16.

1.Former Master Student of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz
2& 3. Professor of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz
4.Laboratory Expert of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tabriz
*Corresponding Author Email: areyhani@tabrizu.ac.ir

تاثیر نیتروژن (از دو منبع اوره و بی‌کربنات آمونیوم) و فسفر بر برخی صفات زراعی ذرت در یک خاک لوم شنی قلیایی در شرایط گلخانه‌ای

حمید برومند دوزدوزان[۱]، عادل ریحانی تبار[۲*]، نصرت اله نجفی[۳] ، سید جواد قریشی[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۱)

چکیده

تاکنون پژوهشی در مورد برهمکنش نیتروژن(N) از منبع بی‌کربنات آمونیوم و کود فسفره (P) در خاک‌های قلیایی و اثر بر صفات زراعی گیاه ذرت گزارش نشده است. لذا هدف از این تحقیق، مطالعه اثر متقابل بی‌کربنات آمونیوم با فسفر بر برخی صفات زراعی گیاه ذرت از طریق شبیه سازی مصرف نواری در گلدان و مقایسه با اوره کود رایج نیتروژنه در کشور ما بود. در این راستا با کاشت گیاه ذرت (*Zea mays* L.) به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار در شرایط گلخانه ای این پژوهش اجرا شد. فاکتور اول فسفر در دو سطح (صفر و ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از منبع مونوکلسیم فسفات مونوهیدرات خالص $[Ca(H_2PO_4)_2.H_2O]$ و فاکتور دوم نیتروژن در هفت سطح صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از دو منبع اوره $[CO(NH_2)_2]$ و بی‌کربنات آمونیوم (NH_4HCO_3) بودند. کود فسفر قبل از کاشت ۸ سانتی‌متر پایین‌تر از جایگاه در نظر گرفته شده برای بذور به‌صورت جامد در خاک گلدان جایگذاری شد. پس از کاشت بلافاصله یک سوم نیتروژن به‌صورت محلول در ۶ سانتی‌متر زیر بذور و حدود ۲ سانتی‌متر بالای کود فسفر تزریق شد. بقیه کود نیتروژن به همین روش ۲۰ و ۴۰ روز بعد از کشت گیاه در خاک گلدان تزریق شد. ۸۰ روز پس از کاشت و قبل از برداشت گیاه، شاخص کلروفیل برگ‌ها، قطر ساقه و ارتفاع گیاه و پس از برداشت وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه به همراه حجم ریشه اندازه‌گیری شدند. بر اساس نتایج حاصله افزایش سطح نیتروژن مصرفی شاخص کلروفیل برگ را بهبود بخشید اما این افزایش با کاهش وزن تازه و خشک بخش هوایی و ریشه همراه بود. همچنین افزایش سطح نیتروژن باعث کاهش نسبت ریشه به بخش هوایی و قطر ساقه شد. منبع بی‌کربنات آمونیوم نسبت به اوره، در سطوح ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک، وزن خشک بخش هوایی و در سطوح ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک وزن خشک ریشه بیشتری داشتند. مصرف فسفر باعث افزایش وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه و قطر ساقه شد.

واژه های کلیدی: اثر متقابل، تغذیه گیاه، تصعید آمونیاک، شاخص کلروفیل، رشد گیاه، ریشه.

برومند دوزدوزان ح.، ریحانی تبار ع.، نجفی ن.، قریشی س.ج. ۱۴۰۴. تأثیر نیتروژن (از دو منبع اوره و بیکربنات آمونیوم) و فسفر بر برخی صفات زراعی ذرت در یک خاک لوم شنی قلیایی در شرایط گلخانه‌ای تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۳، شماره۳. صفحه: ۱-۱۶.

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲و ۳. استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۴-کارشناس آزمایشگاه، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
*پست الکترونیک: areyhani@tabrizu.ac.ir

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) یکی از مهمترین گیاهان زراعی است که اهمیت زیادی در تغذیه انسان، دام و طیور دارد. نیاز کشور به ذرت حدود ۳/۷ تا ۴ میلیون تن در سال است که ۲/۲ میلیون تن در داخل تولید می‌شود و حدود ۱/۵ میلیون تن نیز از طریق واردات تأمین می‌شود (Moayyeri, 2021). ذرت به عنوان یک گیاه پرنیاز به عناصر ضروری با عملکرد ۱۰ تا ۱۲ تن بر هکتار، حدود ۳۰۰-۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن، ۱۲۰-۸۰ کیلوگرم فسفر و ۳۰۰-۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم را از یک هکتار خاک مزرعه جذب می‌کند (Emam, 2007). بنابراین، با توجه به عدم توانایی اکثر خاک‌های زراعی در تأمین بهینه این عناصر، میزان مصرف کودهای شیمیایی در این زراعت زیاد است. برای رسیدن به عملکرد بهینه استفاده از کودهای شیمیایی یک واقعیت انکارناپذیر در کشاورزی امروزی است و در این میان نیتروژن و فسفر محدودکننده‌ترین عناصر غذایی در نظام‌های زراعی هستند. فسفر در زیست‌بوم‌های مختلف از جمله کشاورزی نقش مهمی دارد. کشاورزی مدرن کاملاً به کودهای فسفر وابسته بوده و برای غذای مردم جهان، افزایش کارایی مصرف کودهای فسفر حیاتی است. بسیاری از خاک‌های زراعی دارای فسفر کل قابل توجهی به شکل تثبیت شده هستند که برای گیاهان قابل‌جذب نیست (Fageria *et al*., 2017). نیتروژن در بسیاری از واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه شرکت دارد. بازیابی ظاهری این عنصر در بیشتر نظام‌های زراعی کمتر از ۵۰ درصد است، زیرا بخش بزرگی از نیتروژن مصرفی به‌وسیله آبشویی، تصعید، نیترات‌زدایی و فرسایش از دسترس گیاه خارج می‌شود و به دنبال آن مشکل‌های زیست‌محیطی نیز بروز می‌کند (Fageria, 2014). به رغم مزایای زیاد همچون درصد بالای نیتروژن، غیر الکترولیت بودن و خودکفایی در تولید اوره در کشور اما هنوز هم حضور بیورت و تصعید آمونیاک حاصل از هیدرولیز اوره در خاک از جمله معایب این کود هستند. در تحقیقی با مقایسه منابع مختلف نیتروژن، مشاهده شد که اوره تاثیر منفی بیشتری نسبت به دی‌آمونیوم فسفات و نیترات آمونیوم، بر ریشه ذرت داشت و دلیل آن افزایش pH و افزایش نسبت آمونیاک به آمونیوم عنوان شد (Kirkham, 2014). در پژوهشی که روی صفات موثر بر عملکرد دانه ذرت در خوزستان انجام شد، کاربرد نیتروژن به‌طور معناداری نیتروژن بلال، عملکرد و اجزای عملکرد، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت را تحت تاثیر قرار داد و بیشترین عملکرد دانه از تیمار ۲۲۰ کیلوگرم بر هکتار بدست آمد (Elahi *et al*, 2023) .

عمر و همکاران (Omar *et al*. , 2004) با بررسی چهار سطح کود نیتروژن (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار) از منبع اوره گزارش کردند که کاربرد ۱۰۰ تا ۵۰ کیلوگرم بر هکتار سبب افزایش عملکرد دانه، میزان پروتئین و میزان نشاسته ذرت گردید. محمد و همکاران (Mohammad *et al*., 2004) گزارش کردند که در خاک‌هایی که کمبود فسفر دارند، مصرف کود فسفر باعث افزایش روزهای گل‌دهی، زیست‌توده و افزایش عملکرد دانه ذرت شد. در آزمایشی دیگر، اثر کاربرد سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد بلال ذرت معنادار گردید، به‌طوری‌که کمترین عملکرد در پایین‌ترین سطح نیتروژن بدست آمد و عملکرد با افزایش کود نیتروژن از سطح صفر تا ۳۲۰ کیلوگرم بر هکتار افزایش نشان داد و در سطح ۳۶۰ کیلوگرم بر هکتار کاهش یافت (Robert *et al*., 2010).

برای رسیدن به عملکرد بالا و مطلوب ذرت باید ترکیب مناسبی از مواد غذایی در اختیار قرار گیرد و با استفاده از آزمون خاک و مصرف متعادل کودها می‌توان به این مهم دست یافت. محوحی و همکاران (Mahohi *et al*,2023) گزارش کردند که کاربرد کود اوره-فسفات به دلیل عرضه همزمان دو عنصر پر مصرف نیتروژن و فسفر بهتر از کودهای تک عنصری عمل نموده و باعث افزایش عملکرد نیشکر در خوزستان شد. البته این برهمکنش مثبت نیتروژن و فسفر تا جایی مشاهده شد که در خاک کمبود پتاسیم وجود نداشت.

کودهای شیمیایی فسفاتی به طور سنتی برای حل مشکل کمبود فسفر در تولیدات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما کاربرد این نوع کودها در بسیاری از کشورها به دلیل تجدید ناپذیر بودن منابع اولیه و تاثیرتاثیر مخرب بر سلامت اکولوژیک محیط زیست، محدود شده است؛ بنابراین ضروری است که راهکارهای جایگزین کارآمد و سازگار با محیطزیست برای تأمین نیاز گیاهان به فسفر توسعه یابد (Fallah Nosratabad *et al*,2025). یکی از راهکارها بی‌کربنات آمونیوم می باشد که بعد از اوره به عنوان بیشترین منبع نیتروژنی مورد استفاده در دنیا گزارش شده است (Sommer *et al*., 2004). کودهای بی‌کربناتی باعث

واجذب فسفات جذب سطحی شده در خاک و افزایش غلظت فسفر قابل‌جذب خاک و فسفر ریشه و شاخساره گیاه می‌شود. بورکمن و رینرز (Bjorkman & Reinerz, 2014) در خاک‌های مورد مطالعه خود در چندین ایالت آمریکا، به این نتیجه رسیدند که استفاده از بی‌کربنات پتاسیم به میزان ۵۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک می‌تواند فسفر قابل‌استخراج با آب مقطر را ۳ تا ۸ برابر افزایش دهد. مزیت استفاده از بی‌کربنات پتاسیم این است که هم در دماهای پایین (۱۵ درجه سلسیوس) و هم در دماهای بالا (۲۵ درجه سلسیوس) موثر است و در دامنه وسیعی از رطوبت خاک اثربخش است و در طی دو هفته از آزمایش، فسفر آزادشده تثبیت نشد و تاثیر بی‌کربنات در خاک‌های با شن بیشتر از ۵۰ درصد موثرتر بود (Bjorkman & Reinerz, 2014).

یکی از مشکلات احتمالی در مورد کاربرد بی‌کربنات آمونیوم می‌تواند اثرات مضر آن بر جوانه‌زنی بذر باشد. بورکمن و رینرز (Bjorkman & Reinerz, 2014) مقدار کمتر از ۵۰ میلی‌مول بی‌کربنات پتاسیم بر کیلوگرم خاک را بر روی جوانه‌زنی بذر لوبیا سبز بی‌ضرر گزارش کردند و به این نتیجه رسیدند که ۵۰۰ میکرومول بی‌کربنات آمونیوم و بی‌کربنات پتاسیم به همراه بذر لوبیا سبز، تاثیر منفی نداشت بلکه تاثیر مثبتی نیز مشاهده کردند. مصرف نواری اوره باعث محدودیت در مقدار مصرف نیتروژن می‌شود. به‌طور مثال برای ذرت تنها ۲۰ تا ۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار، به‌صورت نواری می‌توان مصرف کرد (Fan & MacKenzie. 1995). سازوکار تاثیر منفی، اثر نمک و اثر اختصاصی آمونیوم است. با این وجود سمیت آمونیوم در غلظت‌های کمتری هم اتفاق می‌افتد که به وسیله اثر نمک قابل توجیه نیست (Barker *et al*, 1970). در تحقیقی با مقایسه منابع مختلف نیتروژن، مشاهده شد که اوره تاثیر منفی بیشتری نسبت به دی آمونیوم فسفات و نیترات آمونیوم بر ریشه ذرت داشت و دلیل آن افزایش pH و افزایش نسبت آمونیاک به آمونیوم عنوان شد (Creamer & Fox. 1980).

در آزمایشی مشاهده شد که زیان مصرف نواری مونوآمونیوم فسفات و دی‌آمونیوم فسفات در خاک سبک بافت بیش از سنگین بافت بود (Hamedani. 1991&Malakouti). فان و مک کنزی (Fan & MacKenzie. 1995) در خاک‌های مورد مطالعه خود (pH بین ۵/۱ تا ۶/۷) گزارش کردند مصرف نواری سوپرفسفات غلیظ با اوره باعث جلوگیری از افزایش pH ناشی از هیدرولیز اوره شده و باعث کاهش اثر سمی آمونیاک شد.

اگرچه برهمکنش مثبت نیتروژن و فسفر پدیده شناخته شده‌ای در حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه می‌باشد، اما تاکنون در کشور ما برهمکنش نیتروژن از منبع بی‌کربنات با فسفر گزارش نشده است. لذا، هدف این پژوهش بررسی اثر نیتروژن از دو منبع بی‌کربنات آمونیوم و اوره به عنوان کود رایج کشاورزی ایران و فسفر از منبع مونوکلسیم فسفات، ماده اصلی تشکیل دهنده دو کود رایج سوپرفسفات ساده و تریپل، بر شاخص‌های رشد فیزیولوژیکی ذرت در گلخانه بود.

مواد و روش‌ها

برای بررسی چگونگی اثر تلفیقی نیتروژن و فسفر بر برخی شاخص‌های زراعی و رشد ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ این آزمایش در گلخانه در یک خاک لوم شنی و قلیایی اجرا شد. خاک مورد مطالعه در این تحقیق از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری یک مزرعه در ایستگاه تحقیقاتی خلعت پوشان دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز با این هدف که فسفر و نیتروژن قابل استفاده کمی داشته باشد، به صورت مرکب تهیه شد. پس از کوبیدن و هوا خشک کردن نمونه خاک، بخشی از آن از الک دو میلی متری برای اندازه گیری خصوصیات فیزیکی-شیمیایی عبور داده شد. برای این منظور بافت خاک به روش هیدرومتری ۴ زمانه (Gee & Or, 2002)، فسفر قابل‌جذب با روش اولسن (Olsen *et al.*, 1954)، pH در عصاره اشباع به روش ریچاردز (Richards,1954)، EC در عصاره اشباع به روش رودز (Rhoades, 1996)، کربن آلی به روش اکسایش تر به روش نلسون و سامرز (Nelson & Sommers. 1996)، غلظت آهن، روی، مس و منگنز قابل‌جذب خاک به روش لیندزی و نورول (Lindsay & Norvell, 1978) اندازه‌گیری شد. گیاه ذرت در ۳ تکرار به‌صورت آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملا تصادفی کشت شد. فاکتور اول فسفر با سطوح صفر و ۲۵ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک، از منبع مونوکلسیم فسفات ($Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$) و فاکتور دوم نیتروژن در هفت سطح شامل صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک از دو منبع اوره [$CO(NH_2)_2$] و بی‌کربنات آمونیوم (NH_4HCO_3) بود. هر گلدان حاوی ۴ کیلوگرم خاک و ۴ بذر به فاصله ۱۲

سانتی‌متری کشت‌شده و بعد از سبز شدن و استقرار گیاهان، در هر نقطه یک بوته و در هر گلدان دو بوته حفظ شد. کود فسفر قبل از کاشت بذور و همزمان با پر کردن خاک گلدان ۸ سانتی‌متر پایین‌تر از جایگاه در نظر گرفته شده برای بذور به‌صورت جامد جایگذاری شد. سپس خاک گلدان پرشده و پس از کاشت بذور بلافاصله یک سوم نیتروژن مصرفی به صورت محلول در ۶ سانتی‌متر زیر بذور و حدود ۲ سانتی‌متر بالای فسفر تزریق شد. کلیه تیمارهای فسفر قبل از کشت و تیمارهای نیتروژن در سه نوبت (قبل از کاشت، ۲۰ روز بعد از کاشت و ۴۰ روز بعد از کاشت) در خاک اعمال شدند. در هر گلدان حجم محلول تزریقی در هر نوبت ۵۰ میلی‌لیتر بود.

شکل ۱- نمایش شماتیک ناحیه قرارگیری تیمارها در گلدان‌های مورد استفاده در این تحقیق

Figure 1. Schematic representation of the treatment area in the pots used in this study.

برای رفع کمبود احتمالی سایر عناصر بر اساس سطح بحرانی عناصر (Gheibi *et al*., 2015) ۱۰ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک از منبع سکوسترین آهن (Fe-EDDHA)، ۵ میلی‌گرم منگنز بر کیلوگرم از منبع سولفات منگنز ($MnSO_4.4H_2O$)، ۵ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم از منبع سولفات روی ($ZnSO_4.7H_2O$)، ۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم از منبع سولفات مس ($CuSO_4.5H_2O$) و ۱۰۰ میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم از منبع سولفات پتاسیم (K_2SO_4) مصرف شد. رطوبت در طول آزمایش (۸۰ روز) در حدود ۷۰ تا ۱۰۰ درصد ظرفیت گلدانی به روش توزین نگه‌داشته شد. برای اندازه‌گیری رطوبت ظرفیت گلدانی، ته یک گلدان بریده و برداشته‌شده و با پارچه نخی جایگزین شد و از خاک عبور یافته از الک ۴/۷۵ میلی‌متری پر و در داخل آب قرار داده شد؛ به‌نحوی‌که سطح آب کمتر از سطح خاک گلدان بوده و به‌وسیله نیروی مکش، خاک گلدان اشباع شد. بعد از اشباع شدن گلدان، در ستونی از همان خاک که مرطوب شده بود قرار داده شد؛ به‌نحوی‌که ستون خاک بتواند آب ثقلی گلدان را در خود ذخیره کند. سطح گلدان نیز به وسیله نایلون به‌طور کامل بسته شد تا تبخیر صورت نگیرد. هر روز وزن گلدان اندازه‌گیری و در دو روز متوالی که وزن گلدان نسبتا ثابت شد از گلدان نمونه برداشته و رطوبت در آن اندازه‌گیری و با عنوان رطوبت ظرفیت گلدانی ثبت شد (Kirkham, 2014).

شاخص کلروفیل پس از رشد کامل برگ‌ها و قبل از برداشت گیاهان با استفاده از دستگاه کلرفیل‌سنج (Hansatech CL-01,UK) اندازه‌گیری شد. پس از برداشت نیز در پایان دوره رشد رویشی، وزن تر بخش هوایی و ریشه با استفاده از ترازوی دیجیتالی توزین گردید و سپس بخش هوایی و ریشه در آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس تا تثبیت وزن قرار داده شد و سپس وزن خشک آن‌ها یادداشت گردید. بعد از شست‌وشوی ریشه و گرفتن آب اضافی به‌وسیله دستمال، ریشه‌ها در داخل استوانه مدرج دارای آب مقطر قرار داده شد و میزان افزایش در سطح آب استوانه به‌عنوان حجم ریشه ثبت شد (Bruns and Croy, 1985). قطر ساقه گیاهان با استفاده از کولیس اندازه‌گیری و میانگین قطر دو ساقه در هر گلدان با عنوان قطر ساقه در آن گلدان در نظر گرفته شد و برای تعیین ارتفاع گیاه نیز از متر استفاده و میانگین ارتفاع دو بوته در هر گلدان به‌عنوان ارتفاع گیاه در آن گلدان در نظر گرفته شد. رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel، تعیین ضرایب همبستگی با نرم‌افزار SPSS و تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵) با نرم‌افزار MSTAT-C انجام شدند.

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک مورد استفاده

فسفر قابل‌جذب خاک کمتر از سطح بحرانی بود و ازنظر پتاسیم قابل‌جذب نیز با توجه به پرنیاز بودن ذرت وضعیت مطلوب نبود. شوری خاک به‌عنوان یک متغیر ثانویه در این مطالعه مطرح نبود. سطح بحرانی فسفر قابل‌جذب (Olsen-P) در خاک برای ذرت به روش تصویری کیت-نلسون ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک برای خاک‌های استان آذربایجان شرقی تعیین‌شده است (Maghsoudi, 2015). سطح بحرانی روی، منگنز و مس برای ذرت به روش DTPA به ترتیب حدود ۱، ۵ و ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک (MirzaShahi, 2015) و برای آهن ۴/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش‌شده است (Khalkhal, 2015) که با مصرف کود عناصر کم‌مصرف در این آزمایش، کمبود این عناصر برطرف شد.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های خاک مورد استفاده در این تحقیق

Table 1. Some characteristics of the soil used in this research.

Texture	%Sand	%Clay	%$CaCO_3$-eq	pH*	EC * ($dS\ m^{-1}$)	%FC***	%OC
Sandy loam	71	10	2.6	7.6	1.07	17	0.22

* Saturated extract **Available form *** Field Capacity

ادامه جدول ۱

Table 1. continued

Cu**	Zn**	Fe**	Mn**	K**	P**
($mg\ kg^{-1}$)					
0.1	1.16	1.5	4.86	182	6

اثر نیتروژن (اوره و بی‌کربنات آمونیوم) و فسفر بر صفات زراعی ذرت

وزن تر و خشک بخش هوایی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرهای اصلی فسفر و نیتروژن و همچنین اثر متقابل فسفر × نیتروژن بر وزن تر بخش هوایی معنادار بودند (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بین سطح صفر و ۲۵ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک تفاوت معنادار وجود داشت و سطح دوم فسفر ۱۸/۵ درصد وزن تر بیشتری داشت (جدول ۳) که با توجه به ضروری بودن فسفر برای گیاه و کمبود فسفر در خاک مورد استفاده افزایش وزن تر بخش هوایی با مصرف فسفر دور از انتظار نبود. بر خلاف انتظار در شرایط این آزمایش و با توجه به نحوه جایگذاری کودها، با افزایش نیتروژن مصرفی وزن تر بخش هوایی روند کاهشی داشته و سطح صفر نیتروژن بیشترین وزن تر را داشت (جدول ۳) که البته با سطوح ۷۵ نیتروژن از منبع اوره و بی‌کربنات آمونیوم، ۱۵۰ و ۳۰۰ نیتروژن از منبع بی‌کربنات آمونیوم تفاوت معناداری نداشت. بسیاری از محققان (Valad abadi *et al*., 2019)، (Abbasi *et al*., 2012) (Schlegeel & Havlin, 2017) در گیاه ذرت، سطوح معمول نیتروژن (حدود ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک) به‌صورت مخلوط با خاک را بدون اثر منفی بر گیاه گزارش کرده اند. اویانگ و همکاران (Ouyang *et al*., 1999) نیز مشاهده کردند مصرف ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار از منبع اوره در ۵ سانتی‌متر زیر بذر باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه ذرت شد. به نظر می‌رسد مصرف نواری نیتروژن باعث ایجاد اثر دو جانبه مثبت و منفی می‌شود. اثر مثبت مربوط به تاثیر نیتروژن به عنوان یک عنصر ضروری در گیاه است اما تاثیر منفی نیتروژن می‌تواند ناشی از اثر آمونیاک تولیدی و احتمالا تولید نیتریت باشد (Angus *et al*,2014).

جدول ۲ - تجزیه واریانس اثر فسفر و نیتروژن بر وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه و نسبت وزن خشک ریشه به بخش هوایی

Table 2. Analysis of variance of mean squares effects of phosphorus and nitrogen on fresh and dry weight of aerial and root parts and dry weight ratio of roots to shoot.

Source of variation	df	Shoot FW	Shoot DW	Root FW	Root DW	Root DW/Shoot DW
P	1	6968.59**	656.09**	13716.21**	593.63**	0.105**
N	6	703.04**	321.04**	3159.35**	142.04**	0.017**
N × P	6	376.59**	70.20**	1240.43**	47.876**	0.006**
E	28	103	11.5	313.28	5.943	0.001
CV (%)	-	6.7	8.03	40.87	16.05	10.76

.ns, * and ** denote non-significant, significant at the95 and 99 percent level, respectively

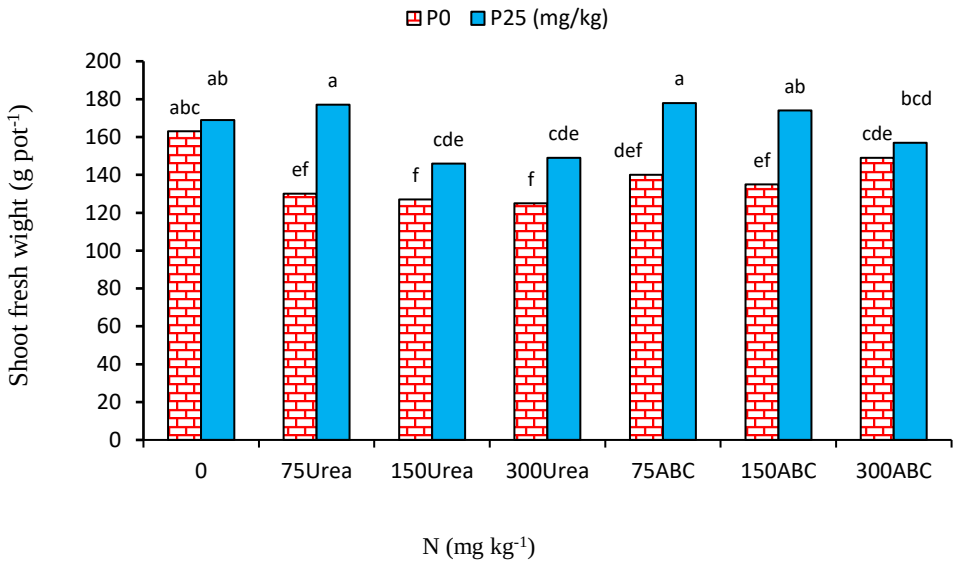
جدول ۳- مقایسه میانگین‌های وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه ذرت (گرم بر گلدان) برای اثرهای اصلی فسفر و نیتروژن

Table 3. Comparison of mean weights of fresh and dry matter of shoot and roots (g/pot) of corn plant for the main effects of phosphorus and nitrogen.

Factor	Levels (mg kg^{-1})	Shoot FW	Shoot DW	Root FW	Root DW	Root DW/Shoot DW
P	0	138.6^{b}	38.29^{b}	25.24^{b}	11.43^{b}	0.296^{b}
	25	164.3^{a}	46.19^{a}	61.39^{a}	18.95^{a}	0.396^{a}
N	0	165.8^{a}	51.5^{a}	71.33^{a}	20.03^{ab}	0.388^{ab}
	75U	153.5^{ab}	45^{b}	52.5^{ab}	16.52^{b}	0.352^{bc}
	150U	136.8^{b}	35^{dc}	21.83^{bc}	10.85^{c}	0.309^{cd}
	300U	137^{b}	32^{c}	16.83^{c}	9.73^{c}	0.304^{cd}
	75ABC	158^{a}	49.5^{ab}	69^{a}	21.85^{a}	0.424^{a}
	150ABC	154^{ab}	44.17^{bc}	49.17^{ab}	16.77^{b}	0.371^{ab}
	300ABC	153.3^{ab}	38.5^{cd}	22.5^{bc}	10.57^{c}	0.274^{d}

- In each column, the means that share at least one common Latin letter do not exhibit a statistically significant difference at the 5 percent significance level according to the Duncan's multiple range test.

-U and ABC refer to urea and ammonium bicarbonate sources, respectively



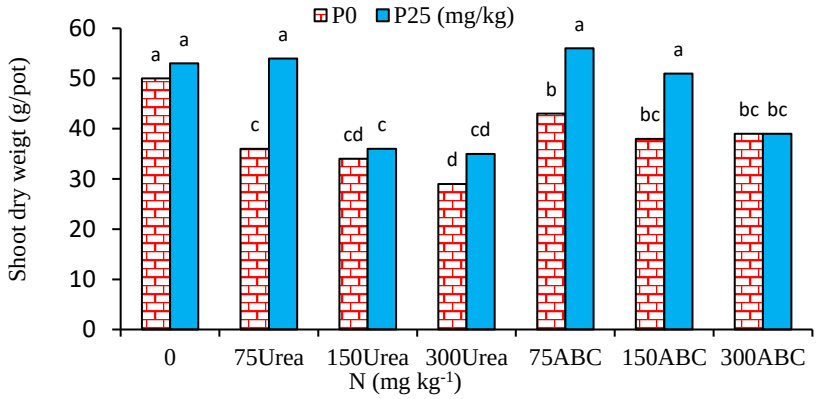
شکل ۱- اثر متقابل فسفر × نیتروژن بر وزن تر بخش هوایی ذرت(ABC نشان دهنده آمونیوم بی کربنات است)

Figure 1. The interaction effect of phosphorus × nitrogen on the fresh weight of the corn shoot (ABC refer to ammonium bicarbonate)

شکل ۱ نشان می‌دهد که در شرایط این تحقیق گلدانی و بدون مصرف نیتروژن، مصرف کود فسفر تاثیر معناداری بر وزن تر بخش هوایی ذرت نداشت که می‌توان با قانون حداقل لیبیگ و تغذیه متعادل عناصر غذایی توجیه کرد اما در بقیه تیمارهای نیتروژن به‌جز سطح ۳۰۰ از منبع بی‌کربنات آمونیوم، مصرف فسفر تاثیر مثبت و معناداری را در وزن تر بخش هوایی ذرت داشت. در سطح دوم فسفر بین سطوح ۱۵۰ نیتروژن از منبع اوره و بی‌کربنات آمونیوم تفاوت معنادار وجود داشت و به عبارتی اثر منفی اوره بیش از بی‌کربنات آمونیوم بود. از طرفی در سطح دوم فسفر بین سطوح نیتروژن مصرفی(N) و وزن تر بخش هوایی(FW) در منبع اوره رابطه خطی مثبت ($FW= 8.86N+182.4$) ($R^2=0.60^{**}$) ولی در منبع بی‌کربنات آمونیوم رابطه منفی ($FW= -3.76N+178.9$ $R^2=0.40^{**}$) مشاهده شد. فسفر به شکل مونوکلسیم فسفات هم جاذب آمونیاک است و هم با کاهش pH ناحیه مصرف می‌تواند به طور موقت هم که شده از تصعید آمونیاک جلوگیری یا فرایند مربوطه را آهسته کند. (Schlegeel & Havlin, 2017) گزارش کردند که عملکرد گیاه ذرت با کود فسفر ۲۰ درصد و با کود نیتروژن ۱۰۳ درصد افزایش یافت اما مصرف فسفر به همراه نیتروژن باعث افزایش ۲۲۵ درصدی عملکرد شد که دوباره اثر سینرژیستی این دو عنصر را نشان داد. با توجه به جدول ۳ در شرایط این تحقیق در سطح ۷۵ نیتروژن از منبع اوره، مصرف فسفر باعث افزایش ۳۶ درصدی وزن تر بخش هوایی شد، درحالی‌که در سطح ۳۰۰ نیتروژن از همان منبع اوره، مصرف فسفر باعث افزایش تنها ۱۹ درصدی وزن تر بخش هوایی شد و همین روند در مورد بی‌کربنات آمونیوم نیز مشاهده شد. این نتیجه می‌تواند به اثر منفی نیتروژن در سطوح بالا بر رشد ریشه در اطراف ناحیه تزریق مربوط شود و با توجه به اینکه کود فسفر نیز در همان ناحیه قرار داشت، جذب فسفر در سطوح بالای نیتروژن نیز محدودشده است. شاید بتوان چنین استنباط کرد که در این تحقیق با افزایش سطوح نیتروژن، کود فسفر نتوانست تاثیر موثری بر کاهش pH ناحیه تزریق داشته باشد. شاید دلیل دیگر برای این نتیجه طبق قانون حداقل لیبیگ این باشد که در سطوح بالاتر نیتروژن اثر سمیت آمونیاک عامل محدود کننده‌تر از کمبود فسفر بود (Havlin *et al*,2022). تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرهای اصلی فسفر و نیتروژن و همچنین اثر متقابل فسفر × نیتروژن بر وزن خشک بخش هوایی معنادار بودند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بین سطح صفر و ۲۵ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک اختلاف معنادار در صفت وزن خشک وجود داشت و در سطح دوم فسفر مصرفی در شرایط این تحقیق ۲۱ درصد وزن خشک بیشتری حاصل شد (جدول ۳). با توجه به کمبود فسفر قابل‌جذب خاک و پر مصرف بودن فسفر این نتیجه قابل انتظار بود و با نتایج بسیاری از محققان مطابقت داشت. به عنوان مثال چاکرالحسینی و همکاران گزارش کردند که با افزایش سطوح فسفر، میانگین وزن خشک بخش هوایی به‌طور معناداری نسبت به شاهد افزایش یافت و بیشترین وزن خشک گیاه سویا با مصرف ۸۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد (Chaker Al Hosseini *et al*., 2003). جدول ۳ نشان می‌دهد که در شرایط این آزمایش با افزایش نیتروژن مصرفی از سطح ۷۵ به ۱۵۰ وزن خشک بخش هوایی نیز همانند وزن تر روند کاهشی داشت و در سطح صفر نیتروژن، ذرت بیشترین وزن را داشت که البته با سطح ۷۵ نیتروژن از منبع بی‌کربنات آمونیوم تفاوت معنادار نداشت. در کمیت برابر نیتروژن مصرفی، در این تحقیق بین بی‌کربنات آمونیوم و اوره اختلاف معنادار از نظر وزن خشک بخش هوایی ذرت مشاهده نشد اما بیشترین تفاوت بین اوره و بی‌کربنات آمونیوم در رابطه خطی بین سطوح نیتروژن و وزن خشک بخش هوایی، در سطح دوم فسفر مشاهده شد که در منبع اوره رابطه ۱ و در منبع بی‌کربنات آمونیوم رابطه ۲ بدست آمد.

$$DW= -7.23N+62 (R^2= 0.79^{**}) \quad (۱)$$

$$DW=-4.57N+61 (R^2= 0.65^{**}) \quad (۲)$$



شکل ۲- اثر متقابل فسفر × نیتروژن کاربردی بر وزن خشک بخش هوایی ذرت(ABC نشان دهنده آمونیوم بی کربنات است)

Figure 2. The interactive effect of applied phosphorus × nitrogen on the dry weight of the corn shoot (ABC refer to ammonium bicarbonate)

در سطوح صفر، ۱۵۰ و ۳۰۰ نیتروژن از منبع اوره و در سطح ۳۰۰ از منبع بی‌کربنات آمونیوم تفاوت معناداری بین سطح صفر و ۲۵ فسفر از لحاظ وزن خشک شاخساره وجود نداشت اما در بقیه سطوح نیتروژن کاربردی فسفر باعث افزایش وزن خشک بخش هوایی شد (شکل۲). فان و مکنزی در گیاه آفتابگردان گزارش کردند که بدون مصرف فسفر، مصرف بیش از ۴۰ کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره به‌صورت نواری باعث کاهش وزن خشک بخش هوایی شد ولی با مصرف ۳۹ کیلوگرم فسفر بر هکتار به‌صورت نواری اثر منفی اوره تعدیل شد. کاهش وزن خشک بخش هوایی از مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره، مشاهده شد (Fan & MacKenzie. 1995).

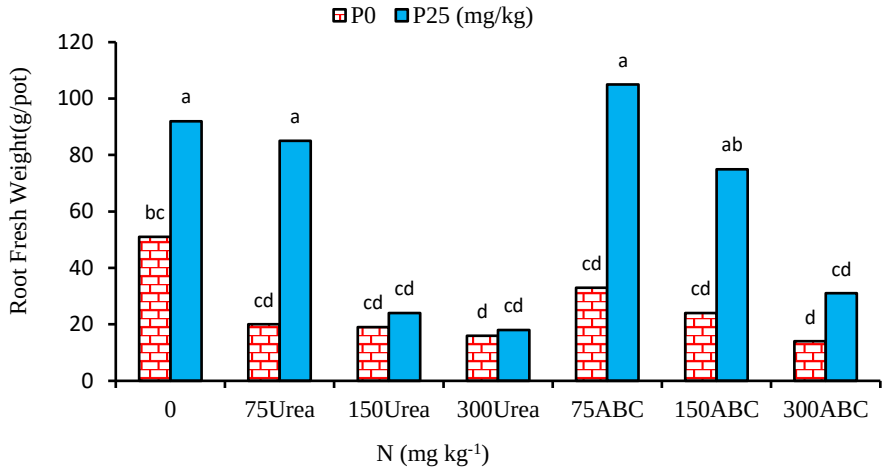
وزن تر و خشک ریشه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی فسفر و نیتروژن و همچنین اثر متقابل فسفر × نیتروژن کاربردی بر وزن تر ریشه ذرت معنادار بودند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بین سطح صفر و ۲۵ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم تفاوت معنادار وجود داشت و در سطح دوم فسفر ۱۴۳ درصد وزن تر بیشتری به دست آمد (جدول ۳). جدول ۳ نشان می‌دهد که در شرایط این تحقیق با افزایش نیتروژن مصرفی وزن تر ریشه روند کاهشی داشت و در سطح صفر نیتروژن بیشترین وزن تر ریشه مشاهده شد. در سطوح یکسان نیتروژن، بین بی‌کربنات آمونیوم و اوره اختلاف معنادار مشاهده نشد، اما بیشترین تفاوت بین اوره و بی‌کربنات آمونیوم در رابطه خطی بین سطوح نیتروژن و وزن تر ریشه، در سطح دوم فسفر مشاهده شد که در منبع اوره رابطه ۱ و در منبع بی‌کربنات آمونیوم رابطه ۲ بدست آمد.

$$FW= -28.3N+125 (R^2=0.87^{**}) \quad (۱)$$

$$FW=-21.5N+129 (R^2=0.73^{**}) \quad (۲)$$

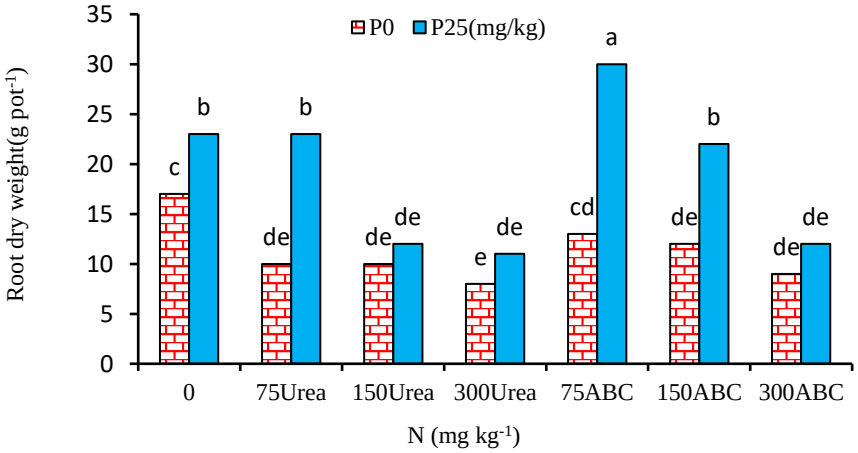
بسیاری از محققان (Brito & Kronzucker, 2007) (Roosta & Schjoerring, 2007)گزارش کرده‌اند که در سمیت آمونیومی نه‌تنها رشد بخش هوایی کاهش می‌یابد بلکه باعث کاهش نسبت ریشه به بخش هوایی نیز اتفاق می افتد. شکل ۳ نشان می‌دهد که در سطوح ۱۵۰ و ۳۰۰ نیتروژن از منبع اوره و ۳۰۰ نیتروژن از منبع بی‌کربنات آمونیوم کمترین وزن تر ریشه حاصل شد و همچنین تفاوت معناداری بین سطوح فسفر وجود نداشت. در سطح دوم فسفر کاهش معنادار نسبت به شاهد در وزن تر ریشه در سطوح ۱۵۰ و ۳۰۰ نیتروژن از منبع اوره مشاهده شد، در حالی که در تیمارهای بی‌کربنات آمونیوم تنها در سطح ۳۰۰ نیتروژن مشاهده شد. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی فسفر و نیتروژن و همچنین اثر متقابل فسفر × نیتروژن بر وزن خشک ریشه معنادار بودند (جدول۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بین سطح صفر و ۲۵ میلی‌گرم فسفر تفاوت معنادار وجود داشت و فسفر مصرفی باعث افزایش ۶۶ درصدی وزن خشک ریشه شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها برای اثر اصلی نیتروژن نشان داد که با افزایش نیتروژن مصرفی وزن خشک ریشه روند کاهشی داشت و در سطح ۷۵ نیتروژن از منبع بی‌کربنات آمونیوم بیشترین وزن خشک ریشه حاصل شد که البته با سطح صفر نیتروژن اختلاف معنادار نداشت (جدول۳).



شکل۳- اثر متقابل فسفر × نیتروژن بر وزن تر ریشه ذرت(ABC نشان دهنده آمونیوم بی کربنات است)

Figure 3. The interactive effects of phosphorus × nitrogen on fresh root weight of corn (ABC refer to ammonium bicarbonate)

شکل ۴ نشان می‌دهد که بدون مصرف فسفر البته به جز سطح ۷۵ نیتروژن از منبع بی‌کربنات آمونیوم، در بقیه تیمارها کاهش معنادار در وزن خشک ریشه نسبت به شاهد به وقوع پیوسته است. با مصرف فسفر در سطوح ۱۵۰ و ۳۰۰ نیتروژن از منبع اوره و سطح ۳۰۰ نیتروژن از منبع بی‌کربنات آمونیوم کاهش معنادار وزن خشک ریشه نسبت به شاهد مشاهده شد. البته در سطح ۷۵ نیتروژن از منبع بی‌کربنات آمونیوم مصرف فسفر توانست وزن خشک ریشه را افزایش معنادار دهد و رابطه هم‌افزایی بیان شده در منابع حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، بین فسفر و نیتروژن مشاهده شد.



شکل ۴- اثر متقابل فسفر × نیتروژن بروزن خشک ریشه ذرت(ABC نشان دهنده آمونیوم بی کربنات است)

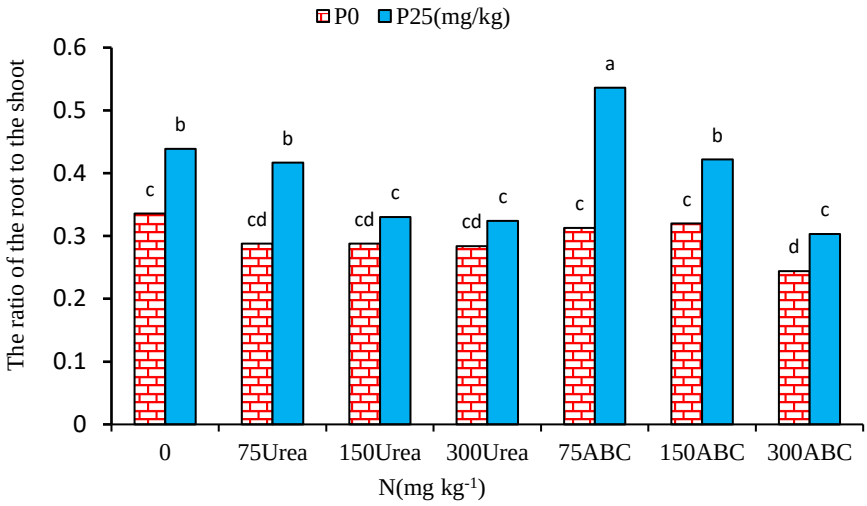
Figure 4. The interaction effect of phosphorus × nitrogen on dry root weight of corn (ABC refer to ammonium bicarbonate)

نسبت وزن خشک ریشه به بخش هوایی

با توجه به تجزیه واریانس داده‌ها اثرهای اصلی فسفر و نیتروژن و اثر متقابل آن دو بر نسبت وزن خشک ریشه به بخش هوایی معنادار بودند (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها برای اثر اصلی نیتروژن نشان داد که با افزایش سطوح نیتروژن این نسبت کاهش یافت (جدول ۳). گزارش شده است که در گندم مصرف نیتروژن باعث کاهش نسبت ریشه

به بخش هوایی شد (Hawkesford *et al*., 2012). در گیاه خیار و در تغذیه آمونیومی این کاهش بیشتر از تغذیه با منبع نیتراتی بود (Roosta. & Schjoerring, 2007)

شکل ۵ نشان می‌دهد که در سطوح مختلف نیتروژن از منبع بی‌کربنات آمونیوم، تفاوت معناداری بین سطح اول و دوم فسفر وجود داشت اما در منبع اوره تنها در سطح ۷۵ نیتروژن تفاوت معنادار وجود داشت.



شکل ۵- اثر متقابل فسفر × نیتروژن بر نسبت وزن خشک ریشه به بخش هوایی(ABC نشان دهنده آمونیوم بی کربنات است)

Figure 5. The interactive effect of phosphorus × nitrogen on the ratio of dry root weight to shoot (ABC refer to ammonium bicarbonate)

شاخص کلروفیل برگ‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی نیتروژن و اثر متقابل نیتروژن × فسفر بر شاخص کلروفیل معنادار بودند ولی اثر اصلی فسفر غیرمعنادار مشاهده شد (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که بیشترین شاخص کلروفیل مربوط به سطح ۳۰۰ نیتروژن از منبع اوره بود که البته با تیمارهای ۱۵۰ نیتروژن از منبع اوره، بی‌کربنات آمونیوم و ۳۰۰ نیتروژن از منبع بی‌کربنات آمونیوم تفاوت معنادار نداشت و کمترین مقدار نیز مربوط به سطح صفر نیتروژن بود (جدول ۵). عباسی و همکاران در گیاه ذرت گزارش کردند که مصرف نیتروژن به مقدار ۳۰ تا ۲۱۰ کیلوگرم بر هکتار باعث افزایش ۳۲ تا ۸۹ درصدی مقدار کلروفیل شد (Abbasi *et al*., 2012). روستا و شوجرینگ مشاهده کردند که افزایش غلظت آمونیوم در محیط کشت تا ۵ میلی‌مولار باعث افزایش غلظت کلروفیل برگ‌ها ولی بیش از آن باعث بروز زردی و کاهش غلظت کلروفیل شد (Roosta & Schjoerring, 2007).

جدول۴- تجزیه واریانس اثر فسفر و نیتروژن بر شاخص کلروفیل برگ‌ها، قطر ساقه، ارتفاع گیاه و حجم ریشه

Table 4. Analysis of variance for the mean squares of the effects of phosphorus and nitrogen on leaf chlorophyll index, stem diameter, plant height, and root volume.

Source of variation	df	Chlorophyll index	Stem diameter	Plant height	Root volume
P	1	0.081^{ns}	0.196^{**}	1.67^{ns}	15467^{**}
N	6	6.887^{**}	0.018^{**}	207.579^{**}	4502^{**}
N × P	6	0.241^{**}	0.01*	76.722^{ns}	1736^{**}
E	28	0.241	0.004^{8}	50.714	285
%CV		10.62	4.54	5.61	27.76

ns, * and ** are nonsignificant, significant at the 5 percent level, and significant at the 1 percent level, respectively Significant at 1% probability level.

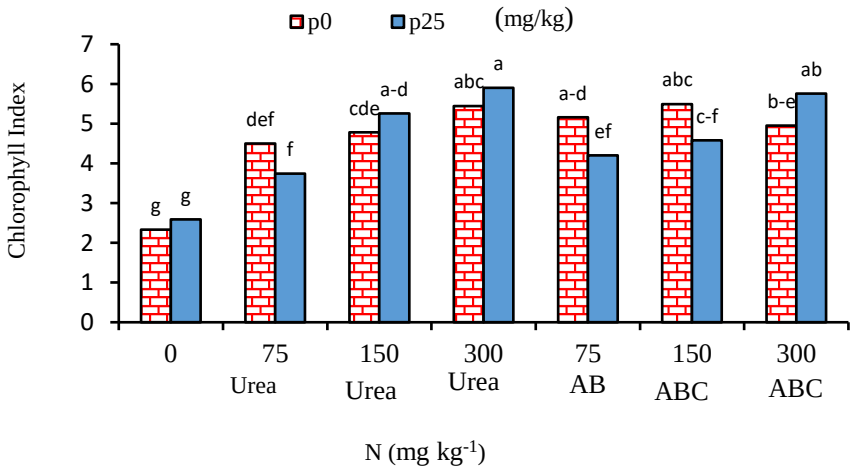
جدول ۵- مقایسه میانگین‌های شاخص کلروفیل برگ، قطر ساقه، ارتفاع گیاه و حجم ریشه برای اثرهای اصلی فسفر و نیتروژن

Table 5. Comparison of Mean Values of Leaf Chlorophyll Index, Stem Diameter, Plant Height, and Root Volume for the Main Effects of Phosphorus and Nitrogen

Factor	Level (mg kg^{-1})	Chlorophyll index (SPAD)	Stem diameter (cm)	Plant height (cm)	Root volume (cm^3)
P	0	4.664^{a}	1.263^{b}	126.81^{a}	41^{b}
	25	4.576^{a}	1.400^{a}	127.14^{a}	80^{a}
N	0	2.458^{d}	1.413^{a}	120.83^{ab}	97^{a}
	75U	4.123^{c}	1.31^{ab}	131.67^{a}	71^{ab}
	150U	5.018^{ab}	1.260^{b}	117.5^{b}	37^{cd}
	300U	5.667^{a}	1.273^{ab}	129.5^{ab}	28^{d}
	75ABC	4.685^{bc}	1.375^{ab}	129.83^{ab}	89^{ab}
	150ABC	5.033^{ab}	1.360^{ab}	126.00^{ab}	65^{bc}
	300ABC	5.353^{ab}	1.327^{ab}	133.50^{a}	36^{cd}

U and ABC refer to urea and ammonium bicarbonate sources, respectively. Numbers followed by the same letter are not significantly different ($p<0.05$)

شکل ۶ نشان می‌دهد که در شرایط این تحقیق و بدون مصرف فسفر، کاربرد نیتروژن تاثیر معناداری بر شاخص کلروفیل داشت اما بین اوره و بی‌کربنات آمونیوم تفاوت معناداری وجود نداشت. با مصرف فسفر و با افزایش سطوح نیتروژن مصرفی شاخص کلروفیل افزایش‌یافت و بیشترین شاخص کلروفیل مربوط به سطوح ۳۰۰ نیتروژن از منبع اوره و بی‌کربنات آمونیوم و کمترین آن مربوط به سطح صفر نیتروژن بود.



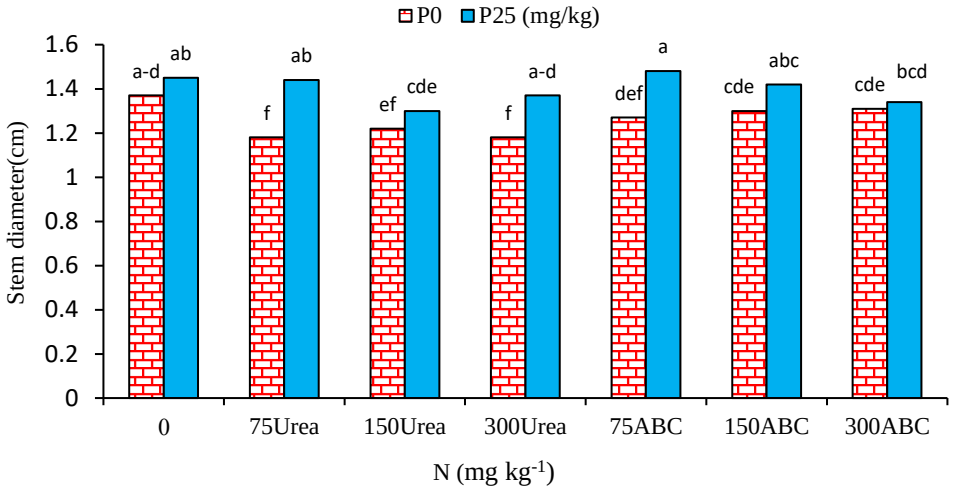
شکل ۶- اثر متقابل فسفر × نیتروژن بر شاخص کلروفیل ذرت(ABC نشان دهنده آمونیوم بی کربنات است)

Figure 6. The interaction effect of phosphorus × nitrogen on the total chlorophyll Index (ABC refer to ammonium bicarbonate)

قطر ساقه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی فسفر و نیتروژن و اثر متقابل نیتروژن × فسفر بر قطر ساقه معنادار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها برای اثر اصلی فسفر نشان داد که با مصرف ۲۵ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک، قطر ساقه ۱۰ درصد افزایش یافت (جدول ۵) که با نتایج (Yazdani Motlagh, 2012) در گیاه برنج مطابقت داشت. مقایسه میانگین‌ها برای اثر اصلی نیتروژن نشان داد که بیشترین قطر ساقه مربوط به سطح صفر نیتروژن بود که البته با تیمارهای ۷۵ نیتروژن از منبع اوره و بی‌کربنات آمونیوم، ۱۵۰ نیتروژن از منبع بی‌کربنات آمونیوم و ۳۰۰ نیتروژن از منبع بی‌کربنات آمونیوم تفاوت معنادار نداشت (جدول ۵). شکل ۷ نشان می‌دهد که در سطح اول فسفر، اوره نسبت به بی‌کربنات آمونیوم باعث کاهش قطر ساقه شد. در سطح صفر نیتروژن تفاوت معناداری بین سطح اول و دوم فسفر وجود نداشت اما در سطوح ۷۵ نیتروژن از هر

دو منبع و ۳۰۰ نیتروژن از منبع اوره تفاوت معناداری بین سطح اول و دوم فسفر وجود داشت. مقایسه میانگین های وزن تر بخش هوایی و قطر ساقه نشان می‌دهد که کود فسفر از طریق افزایش قطر ساقه، وزن تر و خشک بخش هوایی را افزایش داده است.



شکل۷- اثر متقابل فسفر × نیتروژن بر قطر ساقه ذرت(ABC نشان دهنده آمونیوم بی کربنات است)

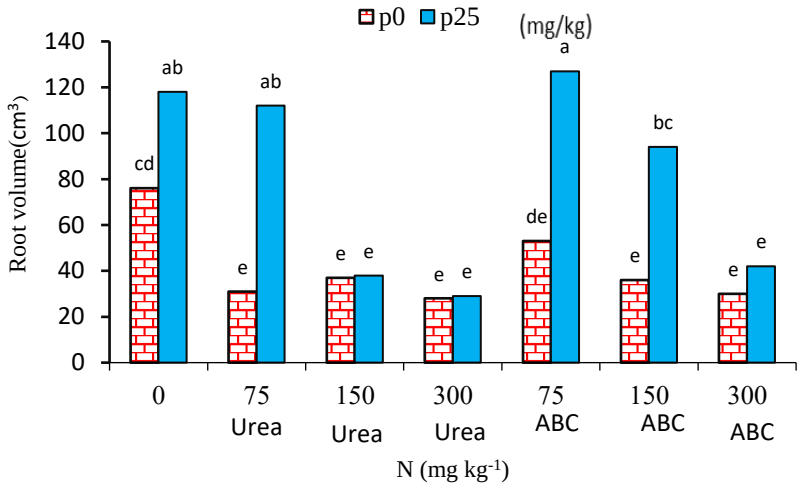
Figure 7. The interactive effect of phosphorus × nitrogen on Stem diameter of corn (ABC refer to ammonium bicarbonate)

ارتفاع گیاه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی نیتروژن بر ارتفاع گیاه معنادار اما اثر اصلی فسفر و اثر متقابل فسفر×نیتروژن غیرمعنادار بودند (جدول ۴). جدول ۵ نشان می‌دهد که مصرف نیتروژن به استثنای سطح ۱۵۰ از منبع اوره، باعث افزایش ارتفاع گیاه نسبت به گلدان بدون مصرف نیتروژن شد. در شرایط این تحقیق گلدانی نه افزایش و نه کاهش ارتفاع گیاه در مقایسه با سطح صفر نیتروژن معنادار نشدند. البته بسیاری از محققان در گیاهان مختلف زراعی به‌ویژه ذرت، افزایش معنادار ارتفاع گیاه را با مصرف نیتروژن گزارش کرده‌اند (Abbasi *et al*, 2012). در تحقیق حاضر با توجه به اینکه آخرین مرحله تزریق نیتروژن ۴۰ روز بعد از کشت بود و گیاهان ۸۰ روز کشت شده بودند، به نظر می‌رسد که عوامل محدود کننده رشد در مراحل پایانی کشت کاهش یافته و رشد طولی گیاه در این مرحله با حضور نیتروژن بیشتر در سطوح بالاتر نیتروژن جبران شده است.

حجم ریشه

در این تحقیق اثرهای اصلی فسفر، نیتروژن و اثر متقابل فسفر × نیتروژن بر حجم ریشه معنادار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها برای اثر اصلی فسفر نشان داد که مصرف فسفر باعث افزایش ۹۵ درصدی حجم ریشه شد (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها برای اثر اصلی نیتروژن نشان داد که بیشترین حجم ریشه در سطح صفر نیتروژن حاصل شد که البته با تیمارهای ۷۵ نیتروژن از منبع اوره و بی‌کربنات آمونیوم تفاوت معنادار نداشت (جدول ۵). شکل ۸ نشان می‌دهد که در سطح صفر فسفر تاثیر منفی اوره از سطح ۷۵ نیتروژن شروع می‌شود، درحالی‌که در سطح ۷۵ نیتروژن از منبع بی‌کربنات آمونیوم، حجم ریشه تفاوت معناداری با شاهد ندارد. در سطح دوم فسفر، سطح ۷۵ نیتروژن از منبع اوره و بی‌کربنات آمونیوم و سطح ۱۵۰ نیتروژن از منبع بی‌کربنات آمونیوم، کاهش معناداری در حجم ریشه نداشتند و دلیل آن می‌تواند کاهش اثر منفی نیتروژن در این تحقیق در سطوح پایین توسط کود فسفر باشد ولی در سطح ۳۰۰ نیتروژن از منبع اوره و بی‌کربنات آمونیوم و ۱۵۰ نیتروژن از منبع اوره کاهش شدیدی در حجم ریشه وجود داشت.



شکل ۸- اثر متقابل نیتروژن × فسفر بر حجم ریشه(ABC نشان دهنده آمونیوم بی کربنات است)

Figure 8. The interaction effect of nitrogen × phosphorus on root volume (ABC refer to ammonium bicarbonate)

نتیجه‌گیری کلی

در شـــرایط این آزمایش گلخانه‌ای که کود فســـفر قبل از کاشت ۸ سانتی متر پایین تر از بذور و نیتروژن ۶ سانتیمتر زیر بذور مصـــرف شـــدند، افزایش ســـطوح نیتروژن باعث افزایش شاخص کلروفیل برگ گردید ولی این افزایش برای گیاه از بابت صفات دیگر زراعی مفید واقع نشد. در سطوح ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک تیمارهای بی‌کربنات آمونیوم وزن خشک بخش هوایی نسبت به اوره داشـــتند. همچنین در ســـطوح ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک تیمارهای بی‌کربنات آمونیوم وزن خشک ریشه بیشتری نسبت به اوره داشتند. البته مصرف فسفر در این شرایط باعث افزایش وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه و قطر ساقه شد. نتایج این تحقیق توجه به نوع منبع نیتروژن و اهمیت فاصـــله متناســـب جاگذاری کودها را در خاک نشـــان داد. البته انجام این تحقیق در شرایط مزرعه و در خاک‌های قلیایی با بافت‌های مختلف و اسیدی توصیه می شود. همچنین توصیه می شود که برهمکنش نیتروژن × فسفر در نوار و در سطوح پایین نیتروژن و یا با منابع نیتراتی نیز موردبررســـی قرار گیرد. همچنین مطالعه برهمکنش نیتروژن × فسفر در یک نوار با برهمکنش نیتروژن × فســـفر در دو نوار جداگانه توصیه می شود.

سپاسگزاری: از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز به دلیل تامین هزینه تحقیق سپاسگزاری می شود.

تعارض منافع: هیچ گونه تعارض منافع بین نویســـندگان وجود ندارد.

Referrence

Abbasi M. K., Tahir M. M., Sadiq A., Iqbal M., and Zafar M. 2012. Yield and nitrogen use effciency of rainfed maize response to splitting and nitrogen rates in Kashmir, Pakistan. *Agronomy Journal*, 104:448–457.

Allison L.E., and Moodie C.D. 1965. Carbonate. In C.A. Black et al., Eds., Methods of Soil Analysis, Part 2- Chemical and Microbiological Properties 1st ed. American Society for Agronomy, Madison, WI, pp. 1379–1396.

Bruns H.A., and Croy L.I. 1985. Root volume and root dry weight measuring system for wheat cultivars. *Cereal Research Communications*, 13:177-183.

Bjorkman T. and Reiners S. 2014. Application of bicarbonate to high-phosphorus soils to increase plant-available phosphorus. *Soil Science Society of America Journal* 78:319-324.

Bjorkman T. and Reiners S. 2015. Meeting Initial snap bean seedling requirements with starter phosphorus or bicarbonate to solubilize soil phosphorus in high-phosphorus soils. *Horticulture Science* 50:590–596.

Chaker Al-Hosseini M. R., Ronaghi A. M., Maftoon M. and Karimian N. A. 2002. Soybean response to iron and phosphorus application in a calcareous soil. *Agricultural Sciences and Technologies and Natural Resources*, 6(4):91-101.

Elahi P., Lak S. and Mojaddam M. 2023. Effect of water deficit and nitrogen levels on some traits affecting spring corn grain yield in Khuzestan climate. *Journal of Soil Research*, 37(11) 1-15. (In Persian)

Fageria N. K. 2014. Nitrogen Management in Crop Production, CRC Press.

Fageria N. K., He Z. L. and Baligar V. C. 2017. Phosphorus Management in Crop Production. CRC Press.

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

Fallah Nosratabad A., Khoshru B., Khosravi H. 2025. Increasing the bioavailability of phosphorus through phosphate solubilizing bacteria to improve organic farming systems. *Applied Soil Research*, 13(1): 93-113.

Fan M. and MacKenzie A. 1995. The toxicity of banded urea to corn growth and yield as influenced by triple superphosphate. *Canadian Journal of Soil Science*, 75: 117-122.

Gee G.W., and D. Or. 2002. Particle-size analysis. Pp. 255-293. In: Dane, J. H.and G. C. Topp, Eds., Methods of Soil Analysis, Part 4- Physical Methods. Agronomy Monograph, Vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI

Gheibi M. N., Asadi F. and Tehrani M. M. 2014. Guide to Integrated Management of Soil Fertility and Corn Nutrition. *Iranean Soil and Water Research Institute Publication*.Tehran, Iran. (In Persian)

Gee G.W., and D. Or. 2002. Particle-size analysis. Pp. 255-293. In: Dane, J. H.and G. C. Topp, Eds., Methods of Soil Analysis, Part 4- Physical Methods. Agronomy Monograph, Vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

Hawkesford M., Horst W., Kichey T., Lambers H., Schjoerring J., Moller I.S, and White P. 2012. Functions of macronutrients, p. 135–189, *In* P. Marschner, ed. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Elsevier, London, UK.

Havlin J.L., Beaton J.D., Tisdale S.L., and Nelson W.L. 2022. Soil Fertility and Fertilizers, 6 (Eds). Soil Science Society of America. Madison, Wisc.

Imam Yahiya. 2007. Grain Production. Shiraz University Press. Shiraz, Iran. Third edition. 190 pages. (In Persian)

Khalkhal K., Reyhani Tabar A., Najafi N. 2016. Determination of soil Iron critical level for corn plant in East Azerbaijan province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 6(3): 1-21. (In Persian)

Kirkham M. B. 2014. Principles of Soil and Plant Water Relations. Academic Press.

Lindsay W. L. and Norvell W. A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42: 421–428.

Mahohi A., Khatinzadeh H.A., Nouri M., Dariush Nikfar D. 2023. Consequences of urea phosphate fertilizer application on the nutrient status and quantitative and qualitative yield of sugarcane. *Applied Soil Research*, 11(2): 13-27

Maghsoudi M.R., Reyhani Tabar A., N. Najafi. 2014. Evaluation of some extraction methods for determination of corn available phosphorus in some calcareous soils of east Azerbaijan province. *Water and Soil Science*. 24(2): 199-214. (In Persian)

Malkooti M.J. and A.H. Reazi Hamedani. 1991. Soil Fertility and Fertilizers (Translation in Farsi). Third edition. University Publishing Center.Tehran, Iran. (In Persian)

Mirzashahi K. Salimpour S., Paknejad A. R. 2015. Fertilizer recommendations for crops and horticulture in the north of Khuzestan Province. *Iranean Soil and Water Research Institute*.Tehran, Iran. (In Persian)

Moayyeri M. 2010. Irrigation of summer corn fields in Khuzestan province. Prepared by the Agricultural Engineering and Technical Research Institute, Knowledge Network and Extension Media Office. *Agricultural Education Publication*, Iran. (In Persian)

Mohammad R., Javad K. and Mohammad H. 2004. Biological response of maize to variable grades of phosphorus and planting geometry. *International Journal of Agriculture & Biology*. 6(3):462-469.

Nelson D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: D. L. Sparks Ed. Methods of Soil Analysis. Part 3. SSSA Madison, W. I.pp. 961-1010.

Omar S., Abd R., Ghani H., Khaeim A.H., Sghaier and Jolánkai M. 2022. The effect of nitrogen fertilisation on yield and quality of maize (*Zea mays* L.). *Acta Alimentaria*, 51(2): 249-258.

Ouyang D. S., Mackenzi A. F. and Fan M. X. 1999. Availability of banded triple superphosphate with urea on phosphorus use efficiency by corn. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 53: 237-248.

Olsen S. R. and Sommers L.E. 1982. Phosphorus. In A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney, Eds, Methods of Soil Analysis. 2nd ed. Part 2. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 403–430

Roberts K. G., Gloy B. A., Joseph S., Scott N. R. and J. Lehmann. 2010. Life cycle assessment of biochar systems: Estimating the energetic, economic and climate change potential. *Environmental Science & Technology*, 44: 827-833

Rhoades J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. In D.L. Sparks et al., Eds. Methods of Soil Analysis, Part 3-Chemical Methods. SSSA Book Series No. 5, SSSA and ASA, Madison, WI, pp. 417–436.

Richards L. A. 1954. pH reading of saturated soil past. USDA Agriculture Handbook.

Roosta H. R., and Schjoerring J. K. 2007. Effects of ammonium toxicity on nitrogen metabolism and elemental profile of cucumber plants. *Journal of Plant Nutrition* 30: 1933–1951.

Schlegeel A. and Havlin J. L. 2017. Corn yield and grain nutrient uptake from 50 years of nitrogen and phosphorus fertilization. *Agronomy Journal*, 109:335-342.

Sommer S. G., Schjoerring J. K. and O. Den mead. 2004. Ammonia emission from mineral fertilizers and fertilized crops. *Advances in Agronomy*, 82: 557-622.

Yazdani Motlagh N. 2011. The combined effect of nitrogen and phosphorus on two rice cultivars (Hashemi and Ali Kazemi) under flooded and non-flooded conditions. Master's thesis. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. (In Persian)