

تأثیر تخلخل تهویه‌ای و مصرف اوره و منو کلسیم فسفات بر قابلیت دسترسی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در طول زمان انکوباسیون

نوشین سلطانه‌لی نژاد^۱، عباس صمدی^۲، حسین عسگرزاده^۳، بهنام دولتی^{۳*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۲۱)

(تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۱۵)

چکیده

تخلخل تهویه‌ای (AFP) به‌عنوان یکی از ویژگی‌های مهم فیزیکی خاک می‌تواند قابلیت استفاده، جذب آب، اکسیژن و عناصر غذایی را تحت تأثیر قرار دهد. تخلخل تهویه‌ای کم ناشی از زیادی آب در خاک، می‌تواند با محدود کردن دسترسی گیاه به اکسیژن و عناصر غذایی خاک اثرات منفی شدیدی بر تولید محصولات کشاورزی ایجاد کند. به‌منظور بررسی برهم‌کنش سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای و ترکیبات کودی نیتروژن و فسفر بر قابلیت دسترسی نیتروژن، فسفر و پتاسیم، آزمایشی گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با دو فاکتور، شامل درصد تخلخل تهویه‌ای (۰، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۴ درصد) و دو سطح کودی (شاهد و سطح بهینه) از منبع کودی اوره و منوکلسیم فسفات با سه تکرار طراحی و اجرا شد. نتایج نشان داد که قابلیت دسترسی عناصر غذایی به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0.001$) تحت تأثیر مقدار رطوبت و سطح اکسیژن در خاک بوده است. بیشترین غلظت فسفر قابل جذب در سطح صفر درصد از تخلخل تهویه‌ای و کمترین مقدار آن در سطح ۲۴ درصد تخلخل تهویه‌ای مشاهده شد. غلظت یون نترات در سطوح ۱۲ تا ۲۰ درصد از تخلخل تهویه‌ای افزایش معنی‌داری در سطح ۰/۱ درصد داشت. پتاسیم با وجود افزایش در سطوح تخلخل تهویه‌ای ۱۲ تا ۲۰ درصد اختلاف قابل ملاحظه‌ای به‌لحاظ مقایسه میانگین با سطوح صفر، ۴، ۸ و ۲۴ درصد نداشت. انکوباسیون خاک در سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای ناشی از رطوبت، طی زمان سبب شد غلظت عناصر پرمصرف (NPK) با گذشت زمان کاهش یابد. نتایج کلی این آزمایش نشان داد سطوح ۱۲ تا ۲۰ درصد، محدوده مناسبی از تخلخل تهویه‌ای برای قابلیت دسترسی عناصر غذایی پرمصرف (NPK) است و همچنین مصرف توأم نیتروژن و فسفر از طریق بهبود حاصلخیزی خاک می‌تواند تا اندازه‌ای اثرات منفی ناشی از زیادی آب در خاک و کمبود اکسیژن را تا حدی جبران نماید.

کلمات کلیدی: تخلخل تهویه‌ای، رطوبت خاک، نیتروژن، فسفر، پتاسیم قابل جذب

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۲- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۳- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه (مکاتبه کننده)

*پست الکترونیک: b.dovlati@urmia.ac

مقدمه

تخلخل تهویه ای یکی از مهمترین ویژگی های فیزیکی خاک بوده و بیان کننده هوای خاک و مقدار اکسیژن قابل دسترس برای ریشه گیاهان است. بنابراین تهویه خاک نقش مهمی در جذب و انتقال عناصر غذایی از طریق ریشه گیاهان دارد (stepeniewski *et al.*, 1994). دامنه تخلخل تهویه ای تحت تأثیر رطوبت خاک و جرم مخصوص ظاهری تغییر می کند (Bhagat *et al.*, 1996). مقدار آب در خاک نیز متأثر از بارندگی، آبیاری و دمای هواست (Litaor, 1988). در واقع آب با پر کردن منافذ ریز و درشت موجود در خاک، دامنه تخلخل تهویه ای را تغییر داده و مقدار دسترسی ریشه های گیاهان به اکسیژن را تعیین می کند (Stepniewski & Przywara, 1992). در شرایط زراعی، خاک های مختلف با توجه به نوع بافت، مواد آلی و ساختمان خاک مقدار تخلخل تهویه ای متفاوتی خواهند داشت (Flocker *et al.*, 1952). که با در نظر گرفتن مقدار رطوبت در خاک شرایط متفاوتی را برای ترکیب محلول شیمیایی و مقدار اکسیژن در خاک به وجود خواهد آورد.

بسیاری از واکنش های بیولوژیکی و شیمیایی خاک همانند چرخه نیتروژن در حضور اکسیژن انجام می شود، لذا در خاک هایی با تهویه نامناسب رشد گیاه کاهش می یابد (Ouyang & Boresma, 1992) و کمبود اکسیژن به شدت فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی خاک را تحت تأثیر قرار می دهد (Ponnamperuma, 1972). اولین علائم فیزیولوژیکی قابل تشخیص ناشی از تنش تهویه ای در گیاهان عبارتند از کاهش در مقدار فتوسنتز، هدایت روزنه ای و تعرق گیاهی (Schaffer *et al.*, 1992). از این رو تهویه از ویژگی های مهم خاک برای رشد گیاهان محسوب می شود. پخشیدگی گازها در خاک به ویژه زمانی که تخلخل تهویه ای کمتر از ۱۰ درصد باشد متوقف می گردد (Wesseling *et al.*, 1957) بنابراین ریشه گیاهان نیاز به حداقل ۱۰ درصد فضای تهویه ای دارند، تا به بقای خود ادامه دهند (Kirkham, 2005). به همین دلیل حد بحرانی تخلخل تهویه ای برای رشد گیاهان ۱۰ درصد گزارش شده است (Grable & Siemer, 1968)، که در تخلخل تهویه ای کمتر از ۱۰ درصد رشد گیاهان به صورت قابل ملاحظه ای محدود (Baver & Farnsworth, 1940; Wesseling & Wijk, 1957) و منجر به بروز پدیده ی

هایپوکسیا (*Hypoxia*) (کاهش اکسیژن کمتر از حد بهینه) برای ریشه بسیاری از گیاهان می شود (Zeroni, 1983).

با توجه به اینکه تخلخل تهویه ای می تواند ناشی از رطوبت (مقدار آب در خاک) باشد و رطوبت نیز خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار می دهد. لایه های سطحی خاک نوسان های شدیدی را از نظر دما و رطوبت در طی زمان متحمل می شوند (Cui & Caldwell, 1997) با توجه به اینکه این لایه ها منبع مهمی برای جذب عناصر غذایی توسط ریشه گیاه هستند، تغییرات مربوط به مقدار آب قابل دسترس برای گیاه می تواند، فراهمی و جذب عناصر غذایی را تحت شعاع قرار دهد از این رو در میزان رشد و عملکرد گیاه تأثیر بسزایی دارد (Robinson, 1994; Grime *et al.*, 1986). همچنین خاک با دارا بودن خاصیت بافری، با تغییر در مقدار رطوبت خاک، غلظت عناصر را از طریق تبادل، ترسیب و یا جذب در سطوح فاز جامد کنترل می کند (Wolt, 1994; Bell & Menzies, 1988).

غلظت عناصر غذایی در محلول خاک شاخصی از تحرک آن ها در محلول و حرکت به سمت ریشه های گیاهان است (Merschener, 2011). افزایش رطوبت در خاک، پخشیدگی یون ها، غلظت فلزات بدون آب و کمپلکس ها را در محلول خاک دستخوش تغییر می کند (Fotovvat *et al.*, 1997) لذا رشد و عملکرد گیاه از این تغییرات به وجود آمده در خصوصیات شیمیایی متأثر خواهد شد (Grime & Curtise, 1976).

محققان اظهار داشتند که رطوبت خاک عامل غالب و مؤثر بر شیمی خاک های آهکی است (Inskip, 1984). تغییرات مقدار آب در خاک به ویژه در خاک های آهکی به شدت بر روی قابلیت دسترسی عناصر کم مصرف از قبیل آهن، روی، مس و منگنز مؤثر است (Coulombe *et al.*, 1984; Doner & Lyn, 1989; Brand *et al.*, 2000). سیکل افزایش و کاهش سطح اکسیژن و رطوبت در خاک های آهکی و تغییر شرایط رطوبتی و تهویه ای خاک، بیشتر سبب کریستاله شدن ترکیبات کم محلول همانند فسفر، آهن و روی می شود (Hariq & Ryan, 1983). همچنین کمبود اکسیژن ناشی از زیادی آب در خاک، به شدت فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی خاک را تحت تأثیر قرار می دهد

دسترسی عناصر غذایی انجام شد. از این رو تعیین دامنه بهینه تخلخل تهویه‌ای یکی از اهداف مهم این تحقیق است که یکی از ضروریات مدیریت زراعی است. تعیین دامنه بهینه تخلخل تهویه‌ای می‌تواند کمک شایانی به بهبود مدیریت خاک در جهت تولید هر چه بهتر و بیشتر محصولات کشاورزی نماید.

مواد و روش‌ها

تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک
به‌منظور امکان ایجاد دامنه‌ای از تخلخل تهویه‌ای در خاک از طریق مرطوب کردن نمونه خاک زراعی با درصد رس و سیلت بالا (۴۲ درصد رس و ۴۵ درصد سیلت) انتخاب و از عمق (۳۰-۰ سانتی‌متری) برداشت و از الک ۵ میلی متری عبور داده شد. خاک آماده شده توسط محلول‌های کودی اوره و منوکلسیم فسفات به‌صورت یکنواخت اسپری و در استوانه‌های از جنس پی‌وی‌سی به قطر ۱۵/۲۴ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر ریخته شدند. برای ایجاد سطوح تخلخل تهویه‌ای (۰، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۴ درصد) با استفاده از روابط جدول ۱ مقادیر جرم خاک خشک و مرطوب، رطوبت جرمی و حجمی خاک و جرم کل خاک و جرم آب اضافه شده به خاک محاسبه شد. مقادیر ویژگی‌های فیزیکی خاک در سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است.

(Ponnamperuma, 1972). همانند اثر منفی روی جذب نیتروژن و آسیمیلسیون آن داشته (Morard, 2004 ; Greenway & Gibbs, 2003) و مقدار جذب نیترات و آمونیوم را بسیار کند کرده (Brix *et al.*, 1994) و غلظت فسفر قابل‌جذب را نیز تحت شعاع قرار می‌دهد (Włodarczyk *et al.*, 2008). بنابراین کاهش تهویه خاک می‌تواند شاخصی کمی، از تخلخل تهویه‌ای، سرعت انتشار اکسیژن و پتانسیل اکسید و احیا در خاک باشد (Cannell, 1977)، که می‌تواند بر مقدار قابل‌جذب بودن عناصر غذایی تأثیر گذار باشد. در تولید محصولات کشاورزی بیشترین کمبود عناصر غذایی مربوط به عناصر ماکرو نظیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عناصر میکرو شامل آهن و روی می‌باشد. در خاک‌های آهکی عوامل متعددی در میزان از دسترس خارج شدن عناصر غذایی و قابلیت‌دسترسی آن‌ها مؤثر هستند که در بین آن‌ها عواملی نظیر رطوبت خاک، فعالیت یون کلسیم و میزان آهک، ماده آلی، زمان و بافت خاک حائز اهمیت می‌باشند (Malakuti, 1993; Misra, 2003). نظر به اینکه اطلاعات در خصوص برهم کنش تخلخل تهویه‌ای و مصرف کود نیتروژن و فسفر قابلیت جذب عناصر پرمصرف N.P.K گزارش نشده است. لذا این تحقیق با هدف ارزیابی بر هم کنش سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای و مصرف کود اوره و منوکلسیم فسفات بر قابلیت

جدول ۱- روابط فیزیکی مورد استفاده در این آزمایش

Table 1: Physical formula used in experiment

$m_s = \frac{m_{w+s}}{1 + \theta_m}$	جرم خاک خشک (Mass of dry soil)
$m_{w+s} = m_s \times (1 + \theta_m)$	جرم خاک مرطوب (Mass of moist soil)
$\theta_m = \frac{\theta_v}{\rho_b}$	رطوبت وزنی (Weight moisture)
$\theta_v = \theta_m \times \rho_b$	رطوبت حجمی (Volumetric water content)
$M_t = m_{w+s} + m_c$	جرم کل خاک (Mass of total soil)
$M_w = m_t - (m_c + m_s)$	جرم آب اضافه شده به خاک (Water Mass added to soil)

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی خاک در سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای

Table 2: Physical parameters of soil on air filled porosity

m_{s+w} G	θ_m (g g ⁻¹)	θ_v (cm ³ cm ⁻³)	AFP (cm ³ cm ⁻³)	سطوح تخلخل تهویه‌ای
جرم کل خاک	رطوبت وزنی	رطوبت حجمی	تخلخل تهویه‌ای	
7860	0.506	0.572	0	AFP ₁
7235	0.470	0.532	0.04	AFP ₂
7175	0.435	0.492	0.08	AFP ₃
6998	0.399	0.452	0.12	AFP ₄
6822	0.364	0.412	0.16	AFP ₅
6645	0.329	0.372	0.20	AFP ₆
6465	0.293	0.332	0.24	AFP ₇

تجزیه آماری داده‌ها

این طرح با دو فاکتور تخلخل تهویه‌ای با هفت سطح (۰، ۰.۴، ۰.۸، ۱.۲، ۱.۶، ۲.۰ و ۲.۴ درصد) و کود با دو سطح (شاهد و بهینه) از منبع کودی اوره و منوکلسیم فسفات اجرا شد. لازم به ذکر است سطح بهینه کودی بر اساس آزمون خاک تعیین شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و با استفاده از نرم‌افزار Genstat 12 و رسم شکل‌ها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. به طوریکه ملاحظه می‌شود خاک مورد آزمایش، آهکی (بیش از ۲ درصد کربنات کلسیم معادل)، با واکنش قلیایی غیر شور، مقدار ماده آلی کم (کمتر از ۲ درصد)، فسفر قابل جذب بسیار کم (کمتر از ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم)، پتاسیم قابل جذب زیاد (بیش از ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و با کلاس بافت رسی سیلتی (بافت سنگین) می‌باشد.

به منظور حفظ سطوح تخلخل تهویه‌ای مورد نظر طی زمان‌های مذکور، مقدار رطوبت در داخل استوانه‌ها به روش وزن کردن با ترازوی دیجیتال کنترل شد. نمونه برداری از استوانه‌ها طی ۱۲۰ روز انکوباسیون و در پایان هر ۴۰ روز صورت گرفت.

ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل pH و EC به روش الکترومتریک با pH متر و هدایت الکتریکی با دستگاه هدایت سنج در عصاره گل اشباع اندازه‌گیری شدند. بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962)، کربن آلی به روش والکی-بلاک (Sommers & Nelson, 1982)، کربنات کلسیم معادل CCE به روش تیتراسیون برگشتی با سود یک نرمال (Sommers & Nelson, 1982)، نیترات به روش کج‌دلال (Mulvaney & Bremner, 1982)، پتاسیم به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم یک نرمال (Pratt & Chapman, 1987) و فسفر به روش بی‌کربنات سدیم نیم مولار (Olsen & Sommers, 1982)، غلظت بی‌کربنات محلول به روش تیتراسیون رسوب ساده اسید-باز اندازه‌گیری شدند (Page et al., 1992).

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 2: Some physical and chemical properties of the soil used

بافت خاک Soil Texture	سیلت Silt	رس Clay	نیتروژن N	ماده آلی Organic matter	کربنات کلسیم			EC	pH
					معادل Calcium carbonate equivalent	پتاسیم K	فسفر P		
-			(%)				mg kg ⁻¹	dSm ₁	-
Silty Clay	45	42	0.017	1.3	17	400	2.8	3.1	7.5

تهویه‌ای صفر درصد رسید (شکل ۲). بر این اساس یک رابطه رگرسیونی مثبت و معنی‌دار بین سطوح تخلخل تهویه‌ای با مقدار pH و غلظت یون بی‌کربنات به دست آمد. این در حالی است که بین مقادیر pH و یون بی‌کربنات نیز همبستگی مثبت مشاهده شد ($R^2=0.89$) ($P \leq 0.001$)، (شکل ۳).

محققان نشان دادند که با افزایش رطوبت و کاهش سطح تخلخل تهویه‌ای منافذ هوایی خاک با آب مسدود می‌شوند. این انسداد سبب کند شدن پخشیدگی گاز O₂ و CO₂ در

تأثیر تخلخل تهویه‌ای بر pH و غلظت یون بی‌کربنات در محلول خاک

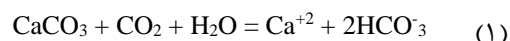
نتایج نشان داد با کاهش سطح تخلخل تهویه‌ای و افزایش مقدار رطوبت خاک، مقدار pH و غلظت یون بی‌کربنات نیز (HCO₃⁻)، افزایش یافته است. به طوریکه مقدار pH محلول خاک، در سطح تخلخل تهویه‌ای صفر درصد به ۸/۲۵ رسید (شکل ۱). مقدار یون بی‌کربنات نیز از ۱/۲ میلی‌اکی‌والان در لیتر در سطح تخلخل تهویه‌ای ۲۴ درصد به ۴/۵ میلی‌اکی‌والان در لیتر در سطح تخلخل

هیدروژن (H^+) توسط یون کربنات (CO_3^{2-}) تولید شده موجب افزایش pH می‌شود. وجود رابطه رگرسیونی مثبت و معنی‌دار بین مقادیر pH و یون بی‌کربنات ($R^2=0/89$)، ($P \leq 0/001$) موید این امر است (شکل ۳ و ۴).

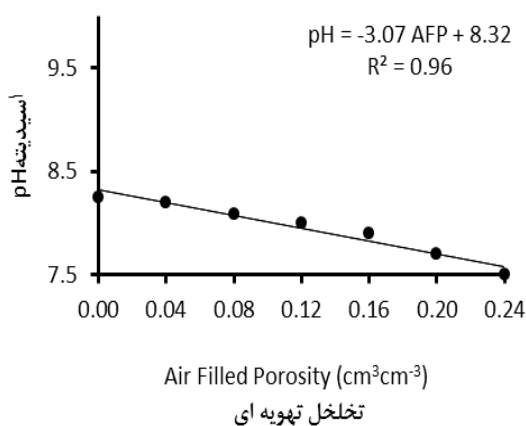


با توجه به بالا بودن غلظت املاح (شوری) در خاک مورد مطالعه و افزایش غلظت یون بی‌کربنات، متعاقباً سبب تشکیل پیوند بین بنیان اسیدی ضعیف با یون‌های موجود در محلول خاک نظیر K^+ ، Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Na^+ می‌شود که در طی این واکنش یون هیدروکسید (OH^-) آزاد و نهایتاً منجر به افزایش مقدار pH تا ۸/۲۵ گردیده است. لازم به ذکر است که در مقایسه با شاهد اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای در مقادیر مربوط به غلظت یون بی‌کربنات و مقدار pH در تیمارهای کودی مشاهده نشد. علت این رخ داد را احتمالاً می‌توان به این امر نسبت داد که هرچند کود اوره جزوه کودهای اسیدزا به‌شمار می‌رود ولی مول‌های (H^+) حاصل از نیتراتی شدن کود اوره در اثر وجود خاصیت بافری خاک خنثی شده و اثری بر تغییرات pH نداشته است.

داخل خاک و کند شدن تبادل گاز بین خاک و اتمسفر بالای آن می‌شود (Bohn *et al.*, 1979). تمام منافذ هوایی خاک در سطح تخلخل تهویه‌ای صفر درصد از آب پر شده و مقدار پخشیدگی گازها به صفر می‌رسد. لذا با افزایش فعالیت‌های میکروبی و مصرف اکسیژن توسط میکروارگانیسم‌ها، مقدار گاز دی‌اکسیدکربن (CO_2) افزایش یافته و باعث محبوس شدن آن داخل خلل و فرج خاک می‌شود. از این رو با افزایش درصد رطوبت و گاز CO_2 در سطح تخلخل تهویه‌ای صفر درصد و بالا بودن مقدار کربنات کلسیم خاک، غلظت یون‌های کلسیم (Ca^{+2}) و بی‌کربنات در محلول خاک بر اساس واکنش زیر افزایش می‌یابد (Inskeep & Bloom, 1986; Yen *et al.*, 1988; McCray & Matocha, 1992).

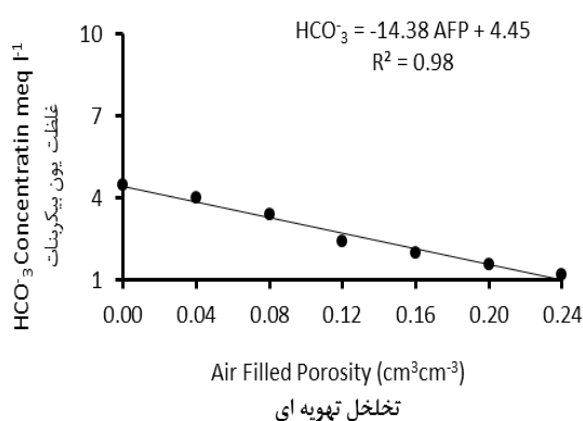


آمرهین (Amrhein, 1993) و ورشیا و دمونت (Verrecchia & Dumont, 1996) گزارش کردند که یکی دیگر از علل افزایش یون بی‌کربنات در محلول خاک تغییر شکل اگزالات به کربنات در خلال فعالیت‌های باکتریایی می‌باشد که این اگزالات توسط میکروارگانیسم‌ها و تجزیه مواد آلی تولید می‌شود. همچنین به‌دلیل مصرف یون



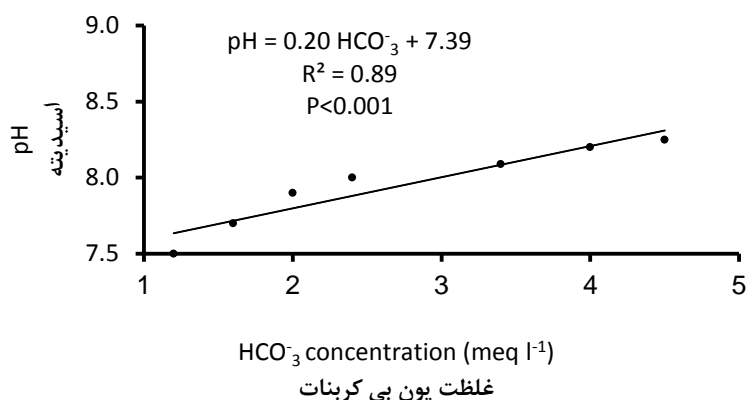
شکل ۱- اثر سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای بر pH در محلول خاک

Fig.1. Effect of different level air filled porosity on PH in soil solution



شکل ۲- اثر سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای بر غلظت HCO_3^- در محلول خاک

Fig.2. Effect of different level air filled porosity on HCO_3^- concentration in soil solution



شکل ۳- رابطه رگرسیونی بین مقدار pH و غلظت یون بی کربنات

Fig.3. Regression relation between pH and HCO₃⁻

بازه‌های زمانی، ۸۰ و ۱۲۰ روز نیز حاکی از حفظ روند فوق بود (شکل ۵ و ۶).

انکوباسیون خاک در بازه‌ی زمانی ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ روز نشان داد، که اثر زمان بر فسفر قابل جذب منجر به تثبیت مقداری از فسفر قابل جذب در خاک شده است. کاهش فسفر قابل جذب پس از گذشت مدت زمان مشخص می‌تواند ناشی از جذب فسفر توسط کربنات‌های کلسیم و منیزیم باشد. این در حالی است که افزودن کود فسفره (منوکلسیم فسفات) در سطح کودی بهینه، باعث افزایش قابلیت دسترسی فسفر شده است. شایان ذکر است که مقدار فسفر تثبیت شده با وجود ظرفیت بافری بالای خاک، افزایش مقدار فسفر قابل جذب در سطح کودی بهینه نسبت به شاهد در طول دوره انکوباسیون کاهش یافته است. از آنجاییکه فسفات‌های کلسیم، آهن و آلومینیوم منبع اصلی تامین فسفر در خاک می‌باشد، تحت تأثیر رطوبت و تغییرات pH حلالیت‌شان در خاک تغییر کرده و در محدوده کوچکتری از pH فسفر غیر قابل جذب به HPO₄²⁻ و H₂PO₄⁻ تبدیل می‌شوند. برعکس تحت شرایطی فسفر در دامنه‌ای از pH به شکل نامحلول در می‌آید به‌طوری‌که در pH بالای ۸ به شکل فسفات کلسیم نامحلول و در pH کمتر از ۵/۵ به شکل فسفات‌های آلومینیوم و آهن نامحلول خواهد بود (Mahmoodi & Hakimian, 2007).

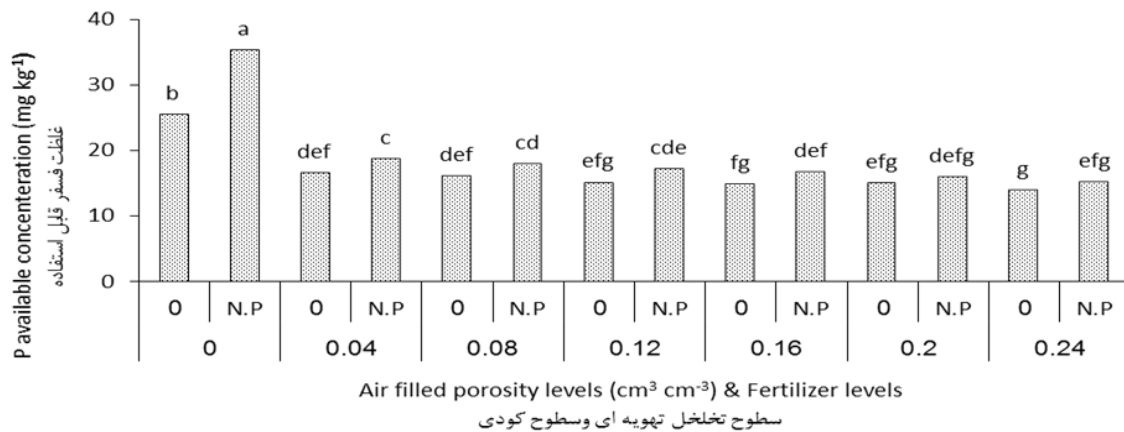
محققان گزارش دادند که قابلیت انحلال فسفات‌های آلومینیوم در pHهای زیاد نسبت به فسفات‌های کلسیم بیشتر است همچنین حضور یون هیدروکسید در pHهای بیشتر از ۷ باعث تبدیل یون‌های H₂PO₄⁻ به HPO₄²⁻ می‌شود لذا یون HPO₄²⁻ بیشترین فرم فسفر محلول در

تأثیر تخلخل تهویه‌ای و مصرف توأم نیتروژن و فسفر بر میزان فسفر قابل جذب در محلول خاک

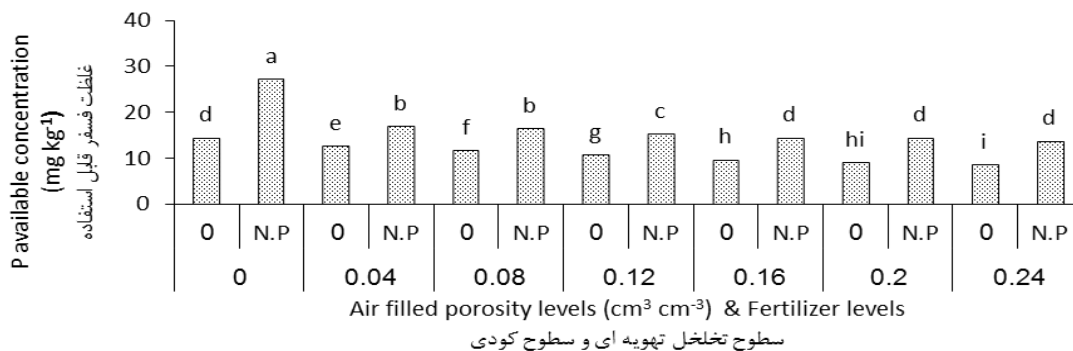
نتایج نشان داد که با کاهش سطح تخلخل تهویه‌ای و افزایش مقدار رطوبت، غلظت فسفر قابل جذب در محلول خاک افزایش یافت. همچنین با افزایش زمان انکوباسیون مقدار فسفر قابل جذب در تمام سطوح تخلخل تهویه‌ای کاهش یافت. به‌طوری‌که بین غلظت فسفر قابل جذب در سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای در دو سطح کودی شاهد و بهینه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P \leq 0.001$). غلظت فسفر قابل جذب پس از ۴۰ روز انکوباسیون در سطح کودی شاهد و سطح تخلخل تهویه‌ای صفر درصد نسبت به سطح ۲۴ درصد، ۴۵/۲۲ درصد افزایش را نشان داد. به‌طوری‌که غلظت فسفر قابل جذب در سطح کودی شاهد و در تخلخل تهویه‌ای ۲۴ درصد از ۱۳/۹۵ میلی‌گرم در کیلوگرم به ۲۵/۴۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در سطح تخلخل تهویه‌ای صفر درصد افزایش یافت. اثر مصرف توأم نیتروژن و فسفر بر میزان غلظت فسفر قابل جذب معنی‌دار بود ($P \leq 0.001$). همچنین اثر متقابل سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای و مصرف توأم نیتروژن و فسفر نیز در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار بود. با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها غلظت فسفر قابل جذب در ۴۰ روز اول انکوباسیون در سطح کودی بهینه و سطح تخلخل تهویه‌ای صفر درصد نسبت به سطح ۲۴ درصد، ۵۷/۰۳ درصد افزایش را نشان داد. به‌طوری‌که غلظت فسفر قابل جذب در ۴۰ روز اول انکوباسیون در سطح کودی بهینه و سطح تخلخل تهویه‌ای ۲۴ درصد، از ۱۵/۱۸ میلی‌گرم در کیلوگرم به ۳۵/۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم در سطح تخلخل تهویه‌ای صفر درصد رسید (شکل ۴). نتایج حاصل از انکوباسیون خاک در

قابل جذب با افزایش pH ناشی اعمال رطوبت در خاک باعث آزاد شدن فسفر از فسفات آلومینیوم به جای فسفات کلسیم می‌شود.

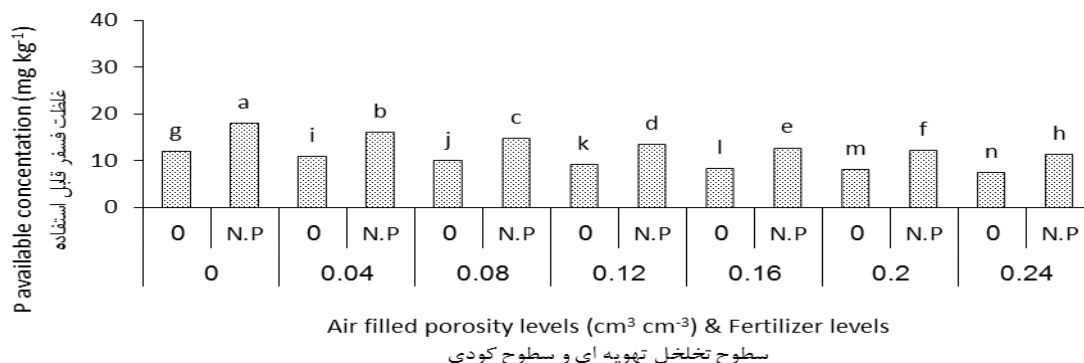
خاک خواهد بود (McBride, 1994). نتایج نشان داد که با کاهش سطح تخلخل تهویه‌ای و افزایش رطوبت خاک، غلظت فسفر قابل جذب افزایش یافت. همان‌طوری که میسرا (Misra, 2003) گزارش کرد که افزایش فسفر



شکل ۴- غلظت فسفر قابل جذب در سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای و سطوح کودی (شاهد و بهینه) پس از ۴۰ روز انکوباسیون
Fig.4. Available phosphorus concentration on different level air filled porosity (AFP) and two level fertilizer, (control and optimum level) after incubation of 40 day



شکل ۵- غلظت فسفر قابل جذب در سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای و سطوح کودی (شاهد و بهینه) پس از ۸۰ روز انکوباسیون
Fig.5. Available phosphorus concentration on different level air filled porosity (AFP) and two level fertilizer, (control and optimum level) after incubation of 80 day



شکل ۶- غلظت فسفر قابل جذب در سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای و سطوح کودی (شاهد و بهینه) پس از ۱۲۰ روز انکوباسیون
Fig.6. Available phosphorus concentration on different level air filled porosity (AFP) and two level fertilizer (control and optimum level) after incubation of 120 day

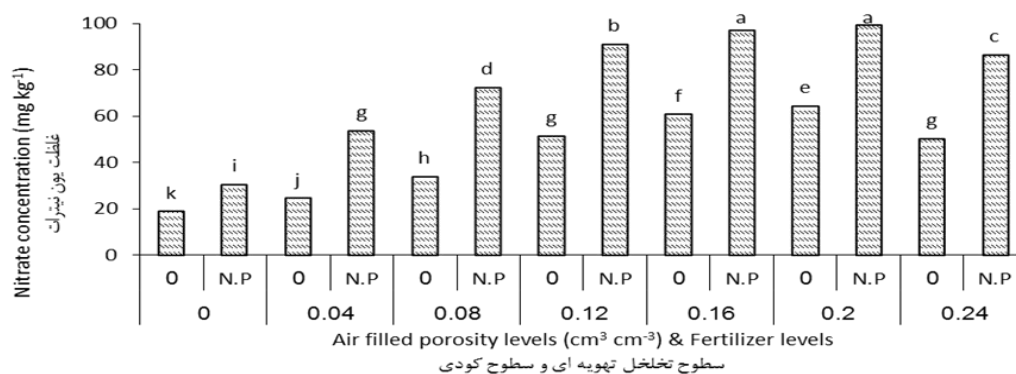
نامناسب) و افزایش pH (۸ و یا بیشتر) فرایند احیا نیترات طی پروسه دنیتریفیکاسیون کاهش و در نهایت متوقف می‌شود. همچنین به دلیل کمبود رطوبت در سطوح تخلخل تهویه‌ای بالا (۲۴ درصد)، احیا نیترات در غلظت-های کم رخ داد. دنیتریفیکاسیون یکی از مهمترین پروسه‌های چرخه ازت بوده و در خروج گاز ازت از خاک نقش بسزایی دارد (Mahmoodi & Hakimian, 2007). همان‌طور که یولی و همکاران (Yue li et al., 2014) گزارش کردند همبستگی منفی بین رطوبت‌های (۲۰ تا ۲۰ درصد) و (۸۰ تا ۱۰۰ درصد) ظرفیت نگهداشت آب (WHC) و نیترات‌سازی وجود دارد.

نگهداری خاک در شرایط مذکور (سطوح تخلخل تهویه‌ای) در طی زمان‌های ۸۰ و ۱۲۰ روز سبب از دسترس خارج شدن مقداری از ازت معدنی خاک شده است. کاهش نیترات پس از گذشت مدت زمان مشخص می‌تواند ناشی از پدیده دنیتریفیکاسیون و آبشویی باشد. این در حالیست که افزودن کود اوره در سطح کودی بهینه باعث افزایش هر چه بیشتر یون نیترات در خاک شد. شایان ذکر است که بر اساس ظرفیت بافری بالای خاک، با افزایش غلظت یون نیترات در سطح کودی بهینه نسبت به شاهد در بازه زمانی انکوباسیون مقدار تثبیت ازت و خارج شدن آن از دسترس را کاهش داده است.

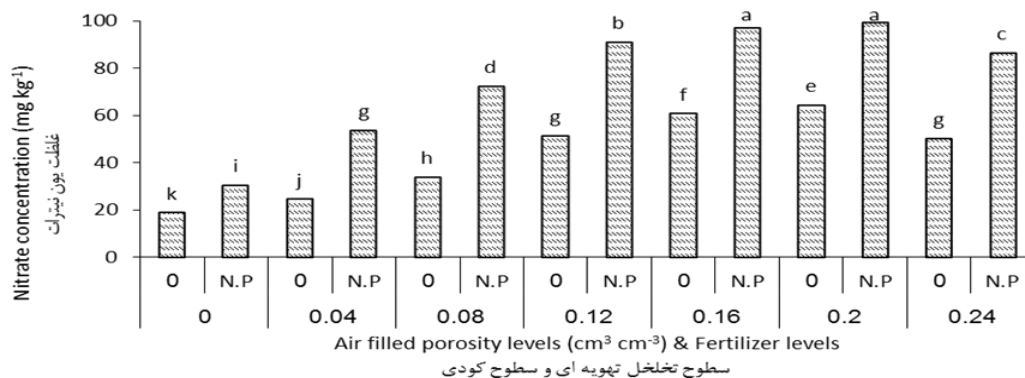
تأثیر تخلخل تهویه‌ای و مصرف توأم نیتروژن و فسفر بر میزان غلظت یون نیترات در محلول خاک

نتایج نشان داد بیشترین مقدار معدنی شدن و تولید یون نیترات در سطوح تخلخل تهویه‌ای ۱۲ تا ۲۰ درصد رخ داده است. اکسیژن و pH مناسب در تخلخل ۱۲ تا ۲۰ درصد سبب افزایش تولید یون نیترات در طی ۴۰ روز انکوباسیون شد (شکل ۷). بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای بر میزان غلظت یون نیترات در ۴۰ روز انکوباسیون معنی‌دار بود ($P \leq 0.001$). غلظت یون نیترات برای ۴۰ روز اول انکوباسیون در سطوح تخلخل تهویه‌ای ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درصد نسبت به سطح صفر درصد در سطح کودی شاهد به ترتیب ۶۳/۶، ۶۹/۲ و ۷۰/۹ درصد افزایش یافت، و در سطح کودی بهینه نیز به ترتیب ۶۶/۷، ۶۸/۲۷ و ۶۹/۴ درصد افزایش یافت. بین غلظت یون نیترات در سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای و دو سطح کودی شاهد و بهینه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P \leq 0.001$). نتایج حاصل از انکوباسیون خاک در بازه‌های زمانی، ۸۰ و ۱۲۰ روز نیز حاکی از حفظ روند فوق بود (شکل ۷ و ۸ و ۹).

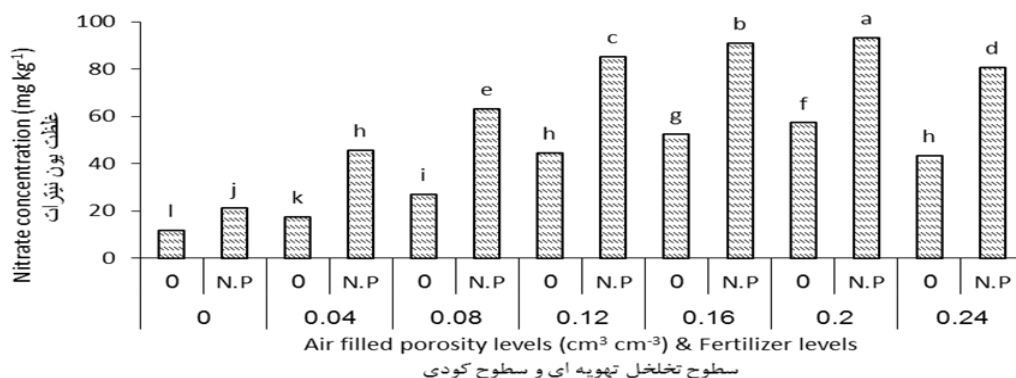
دما، رطوبت بالا و سطوح کم تخلخل تهویه‌ای (سطح ۰، ۴ و ۸ درصد) و بالعکس رطوبت کم و تخلخل تهویه‌ای زیاد (۲۴ درصد) یک اثر منفی بر مقدار یون نیترات تولید شده داشت. لذا در شرایط اشباع و یا نزدیک اشباع (تهویه



شکل ۷- غلظت یون نیترات در سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای و سطوح کودی شاهد و بهینه پس از ۴۰ روز انکوباسیون
Fig.7. Available nitrate concentration on different level air filled porosity (AFP) and two level fertilizer, (control and optimum level) after incubation of 40 day



شکل ۸- غلظت یون نیترات در سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای و سطوح کودی شاهد و بهینه پس از ۸۰ روز انکوباسیون
Fig.8. Available nitrate concentration on different level air filled porosity (AFP) and two level fertilizer, (control and optimum level) after incubation of 80 day



شکل ۹- غلظت یون نیترات در سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای و سطوح کودی شاهد و بهینه پس از ۱۲۰ روز انکوباسیون
Fig.9. Available nitrate concentration on different level air filled porosity (AFP) and two level fertilizer, (control and optimum level) after incubation of 120 day

نشان داد. نتایج حاصل از انکوباسیون طی ۸۰ و ۱۲۰ روز نیز حاکی از حفظ روند فوق الذکر برای هر دوره از انکوباسیون بوده است (شکل ۱۱ و ۱۲). میسرا (Misra, 2003) بیشترین مقدار پتاسیم محلول را در رطوبت ۵۰ تا ۷۰ درصد ظرفیت نگه‌داشت خاک (WHC) گزارش کرد که مقدار پتاسیم محلول آن در سطح رطوبتی ۳۰ تا ۵۰ درصد و ۷۰ تا ۹۰ درصد WHC اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای نداشتند.

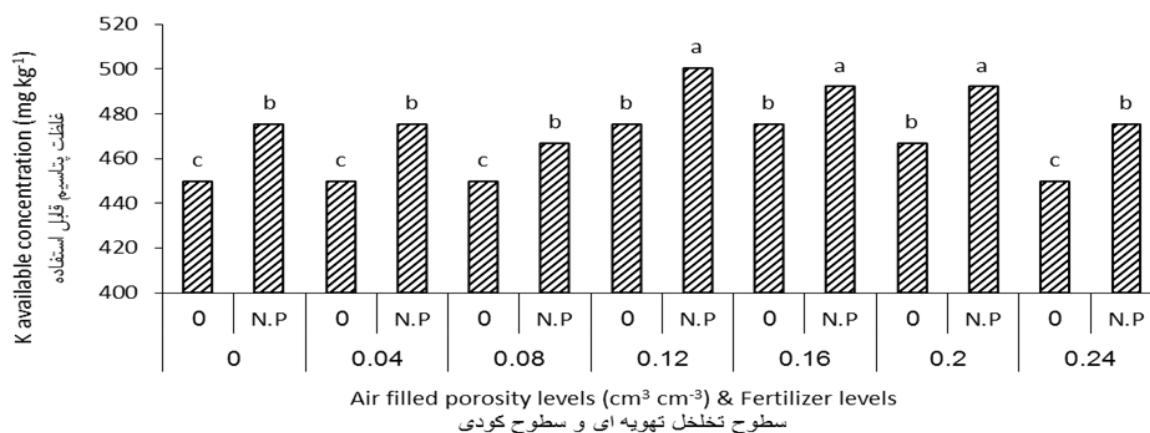
نگهداری خاک در شرایط مذکور (سطوح تخلخل تهویه‌ای) در طی زمان‌های ۸۰ و ۱۲۰ روز سبب از دسترس خارج شدن مقداری از پتاسیم قابل‌جذب خاک شده است. کاهش پتاسیم پس از گذشت مدت زمان مشخص می‌تواند ناشی از پدیده تثبیت و آبشویی باشد. خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک معمولاً دارای واکنش‌های قلیایی بوده و نیازی به دادن آهک و کود پتاسیم‌دار برای بالا بردن پتاسیم قابل‌جذب در خاک نیستند. پتاسیم در اثر هوادهی شیمیایی کانی‌ها وارد فاز محلول می‌شود. سطح

تأثیر تخلخل تهویه‌ای و مصرف توأم نیتروژن و فسفر بر غلظت پتاسیم قابل‌جذب در محلول خاک

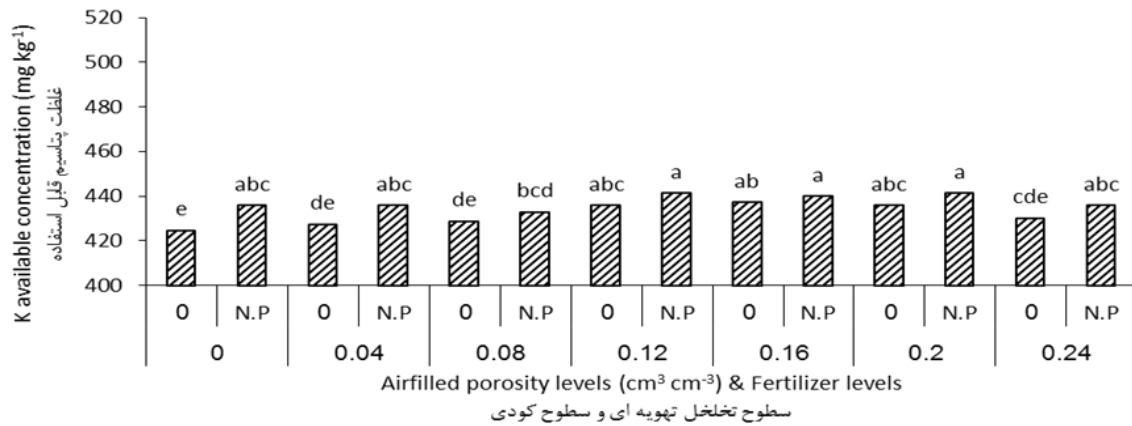
نتایج نشان داد که پس از ۴۰ روز انکوباسیون بیشترین غلظت پتاسیم قابل‌جذب در سطوح تخلخل تهویه‌ای ۱۲ تا ۲۰ درصد مشاهده شد (شکل ۱۰). مقادیر پتاسیم در سطح (۱۲ تا ۲۰ درصد) از تخلخل تهویه‌ای با سطوح (۰، ۴، ۸ و ۲۴ درصد) اختلاف معنی‌داری داشت ($P \leq 0.001$). به‌طوریکه غلظت پتاسیم قابل‌جذب برای ۴۰ روز اول انکوباسیون به‌ترتیب در سطوح تخلخل تهویه‌ای ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درصد در سطح کودی شاهد برابر با ۴۷۵/۱۳، ۴۷۵ و ۴۶۶/۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم و در سطح کودی بهینه به‌ترتیب برابر با ۵۰۰/۵۱، ۴۹۲/۰۵ و ۴۹۲ میلی‌گرم در کیلوگرم برآورد شد. بین غلظت پتاسیم قابل‌جذب در برهم کنش سطوح تخلخل تهویه‌ای و سطوح کودی شاهد و بهینه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. پتاسیم قابل‌جذب تأثیرپذیری کمتری نسبت به سطوح تخلخل تهویه‌ای و مصرف توأم اوره و منوکلسیم‌فسفات از خود

و ذخیره پتاسیم می‌گردد. شایان ذکر است که پتاسیم یک یون متحرک در خاک است و مقدار قابل توجهی از آن می‌تواند از طریق آبخویی هدر رود. هدر رفت پتاسیم از طریق آبخویی به مقدار پتاسیم قابل جذب در محلول خاک بستگی دارد، این مقدار آبخویی پتاسیم از خاک به نوع خاک نیز وابسته است. اما شیمی خاک اهمیت کمتری نسبت به هیدرولوژی و دینامیک آب در خاک و نحوه آبیاری دارد (Alfaro *et al.*, 2004). از طرفی آبیاری با آب حاوی مقدار زیادی از کلسیم، منیزیم و سدیم و حضور ذاتی این عناصر در مقادیر زیاد، در محلول خاک، خود در واجدبی و آبخویی پتاسیم در محلول خاک حائز اهمیت است (Jalali, 2008). همچنین تأثیر مقدار سدیم، کلسیم و منیزیم در آزادسازی پتاسیم قابل تبادل و غیر قابل تبادل و تعیین مقدار پتاسیم قابل جذب در محلول خاک مؤثر است (Jalali, 2008). آبخویی پتاسیم در مزرعه با شرایط ستون‌های خاک آزمایشگاهی متفاوت است. به گزارش میرزایی و رویی و همکاران (Mirzaei *et al.*, 2014)، خاک تیمار شده با کلسیت در ستون‌های خاک آزمایشگاهی ۳۲ درصد تلفات پتاسیم بیشتری را طی زمان از خود نشان داد، چرا که یون پتاسیم با کلسیم بر سر مکان‌های تبدالی با یکدیگر رقابت می‌کنند (Jalali, 2008). از این رو بالا بودن میزان یون کلسیم در خاک در خاک مورد مطالعه، تثبیت و آبخویی در ستون خاک را می‌توان از علل، افزایش میزان از دسترس خارج شدن پتاسیم قابل جذب، طی ۱۲۰ روز انکوباسیون دانست.

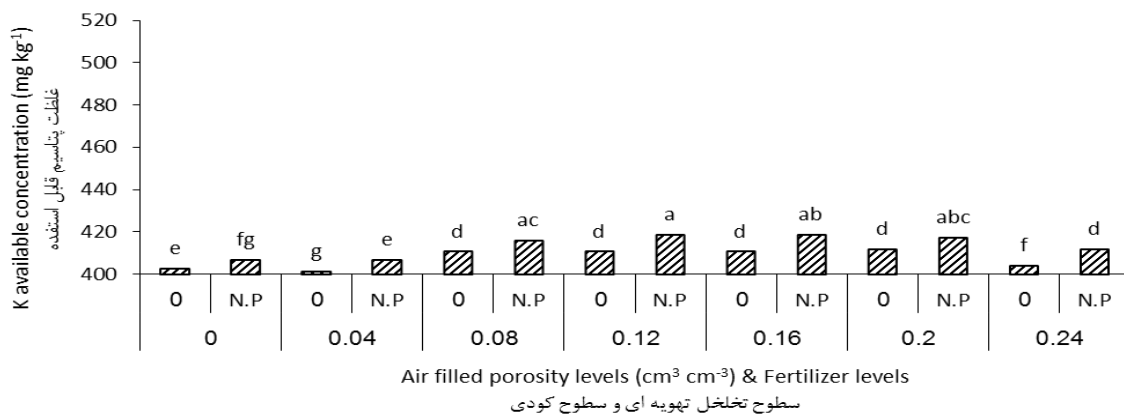
رطوبت و غلظت پتاسیم در محلول خاک بر این امر موثر است. فراهمی پتاسیم در خاک به میزان پتاسیم تثبیت شده در ساختمان خاک، مقدار و نوع رس، میزان ماده آلی، آبخویی و فراهمی رطوبت در خاک بستگی دارد (Tissdal, 1998; Spark, 1987; Andrist-Rangel, 2008; *et al.*, 1998). تثبیت و آزاد شدن یون پتاسیم پدیده‌ای است دو جانبه که جهت آن بستگی به غلظت یون پتاسیم در سطوح رس‌ها و در نتیجه غلظت پتاسیم در محلول خاک دارد. کانی‌های خاک از قبیل بیوتیت و فلدسپارها در اثر هوادیدگی پتاسیم آزاد می‌کنند که این کانی‌ها در بخش شن و سیلت خاک فراوانند (Tributh *et al.*, 1987). با توجه به اینکه خاک مورد آزمایش حاوی ۴۵ درصد سیلت بوده است، می‌تواند از علل زیادی غلظت پتاسیم و افزایش آن، پس از اعمال رطوبت باشد. از این رو خاک‌های ریز بافت با واکنش خنثی تا قلیایی از جمله غنی‌ترین خاک‌ها از نظر پتاسیم قابل جذب محسوب می‌شوند (Foth, 1990). انکوباسیون خاک (خوابانیدن خاک به شکل مرطوب در سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای) در بازه‌های زمانی ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ روز موجب کاهش غلظت یون پتاسیم در هر دو سطح کودی شاهد و بهینه گردید. علت این امر را می‌توان به تثبیت و آبخویی پتاسیم در طی زمان نسبت داد. چراکه پس از افزایش غلظت پتاسیم قابل جذب در خاک، در صورتی که میزان پتاسیم آزاد شده بیش از میزان جذب شده توسط گیاه باشد یا گیاهی برای جذب وجود نداشته باشد، تثبیت پتاسیم صورت گرفته و منجر به حفظ



شکل ۹- غلظت پتاسیم در سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای و سطوح کودی شاهد و بهینه پس از ۴۰ روز انکوباسیون
 Fig.9. Available potassium concentration on different level air filled porosity (AFP) and two level fertilizer, (control and optimum level) after incubation of 40 day



شکل ۱۰- مقایسه غلظت پتاسیم در سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای و سطوح کودی شاهد و بهینه پس از ۸۰ روز انکوباسیون
Fig.10. Available potassium concentration on different level air filled porosity (AFP) and two level fertilizer, (control and optimum level) after incubation of 80 day



شکل ۱۱- مقایسه غلظت پتاسیم در سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای و سطوح کودی شاهد و بهینه پس از ۱۲۰ روز انکوباسیون
Fig.11. Available potassium concentration on different level air filled porosity (AFP) and two level fertilizer, (control and optimum level) after incubation of 120 day

نتیجه‌گیری کلی

تهویه‌ای نسبت به سطح کودی شاهد شد. همچنین میزان جذب سطحی و ترسیب فسفر با کلسیم طی زمان در سطح کودی بهینه در مقایسه با سطح شاهد کمتر بود. بیشترین مقدار معدنی شدن و تولید یون نیترات در تخلخل تهویه‌ای ۱۲ تا ۲۰ درصد رخ داد. نگهداری خاک با سطوح تخلخل تهویه‌ای مختلف در طول زمان سبب از دسترس خارج شدن مقداری از ازت معدنی خاک شد. در حالیکه حضور کود اوره در سطح کودی بهینه نسبت به شاهد باعث کاهش دسترس خارج شدن نیترات شد. بین غلظت پتاسیم قابل جذب با سطوح مختلف تخلخل تهویه‌ای در سطوح کودی شاهد و بهینه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. پتاسیم قابل جذب تأثیرپذیری کمتری نسبت به سطوح تخلخل تهویه‌ای از خود نشان داد. از آنجاییکه غلظت بهینه پتاسیم در خاک ۳۰۰ تا ۴۰۰ و فسفر ۱۵ تا

نتایج نشان داد که با کاهش تخلخل تهویه‌ای از سطح ۲۴ درصد تا ۰ درصد غلظت یون بی‌کربنات و مقدار pH محلول خاک افزایش داد. این افزایش ناشی از زیاد شدن مقدار رطوبت و زیادی کربنات کلسیم بود. همچنین غلظت فسفر قابل جذب در سطح کودی شاهد و بهینه در محلول خاک افزایش یافت. این افزایش به دلیل آزاد شدن فسفر از فسفات‌های کم محلول مثل فسفات آلومینیوم در سطح کودی شاهد و آزاد شدن فسفر از فسفات آلومینیوم و منو کلسیم فسفات در سطح کودی بهینه رخ داد. اثر مصرف توأم نیتروژن و فسفر از منبع کودی اوره و منو کلسیم فسفات بر غلظت فسفر قابل جذب مثبت گزارش شد. حضور کود فسفردار در سطح کودی بهینه منجر به افزایش غلظت فسفر قابل جذب در تمام سطوح تخلخل

فسفر و پتاسیم ایده آل بوده و ماکزیمم مقدار رشد گیاه رخ دهد.

۲۰ میلی گرم در کیلوگرم بیان شده است از این رو تخلخل تهویه ای ۱۲ تا ۲۰ درصد به عنوان دامنه بهینه برای غلظت یون نیترات، فسفر و پتاسیم قابل جذب تعیین شد. انتظار می رود در دامنه مذکور از تخلخل تهویه ای شرایط مطلوب به لحاظ رطوبت و تخلخل تهویه ای، غلظت عناصر نیتروژن،

References

- Alfaro, M. A., Jarvis, S. C., and Gregory, P. J. (2004). Factors affecting potassium leaching in different soils. *Soil Use and Management*, 20(2), 182-189.
- Amrhein, C., Zahow, M. F., and Suarez, D. L. (1993). Calcite super saturation in soil suspensions. *Soil Science*, 156(3), 163-170.
- Andrist Rangel, Y. (2008). Quantifying mineral sources of potassium in agricultural soils. *Acta Universities Agriculture Sueciae*, 53:1652-6880.
- Baver, L. D., and Farnsworth, R. B. (1940). Soil structure effects in the growth of sugar beets. *Soil Science Society American of Journal*, 5: 45-48.
- Bhagat, R. M., Bhuiyan, S. I., and Moody, K. (1996). Water, tillage and weed interactions in lowland tropical rice: a review. *Agricultural Water Management*, 31(3), 165-184.
- Bohn, Briain. L., McNeal, George. A., Oconnor and Hinrich. L. 1979. *Soil Chemistry*. John Wiley and Sons, pp: 144-148.
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal*, 54(5), 464-465.
- Brand, J. D., Tang, C., and Graham, R. D. (2000). The effect of soil moisture on the tolerance of *Lupinus pilosus* genotypes to a calcareous soil. *Plant and soil*, 219(1-2), 263-271.
- Bremner, J. M., Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., and Sumner, M. E. (1996). Nitrogen-total. Methods of soil analysis. *Part 3-Chemical Methods*, pp. 1085-1121.
- Cannell, R. Q. (1977). Soil aeration compaction in relation to root growth and soil management (No. REP-2475. CIMMYT.).
- Chapman, H. D., and Pratt, P. F. (1962). Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters. *Soil Science*, 93(1), 68.
- Coulombe, B. A., Chaney, R. L., and Wiebold, W. J. (1984). Bicarbonate directly induces iron chlorosis in susceptible soybean cultivars. *Soil Science Society of America Journal*, 48(6), 1297-1301.
- Cui, M., and Caldwell, M. M. (1997). A large ephemeral release of nitrogen upon wetting of dry soil and corresponding root responses in the field. *Plant and Soil*, 191(2), 291-299.
- Doner, H. E., and Lynn, W. C. (1989). Carbonate, halide, sulfate, and sulfide minerals. *Minerals in Soil Environments*, pp. 279-330.
- Flocker, W.J., Vomocil, A.J. and Howard, F.D. (1959). Some growth responses of tomatoes to soil compaction. *Soil Society of America Journal*, 23, 188-191.
- Foth, H. D. (1991). Fundamentals of Soil Science, John Wiley and Sons, Inc.
- Fotovat, A., Naidu, R., and Sumner, M. E. (1997). Water: soil ratio influences aqueous phase chemistry of indigenous copper and zinc in soils. *Australian Journal of Soil Research*, 35, 687-709.
- Gibbs, J., and Greenway, H. (2003). Review: Mechanisms of anoxia tolerance in plants. I. Growth, survival and anaerobic catabolism. *Functional Plant Biology*, 30(3), 353-353.
- Grable, A. R., and Siemer, E. G. (1968). Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials, and elongation of corn roots. *Soil Science Society of America Journal*, 32(2), 180-186.
- Grime, J. P., and Curtis, A. V. (1976). The interaction of drought and mineral nutrient stress in calcareous grassland. *The Journal of Ecology*, 64, 975-988.
- Grime, J. P., Crick, J. C., and Rincon, J. E. (1985). The ecological significance of plasticity. *In: Symposia of the Society for Experimental Biology*, 40, 5-29.

- Inskeep, W. P., and Bloom, P. R. (1984). A comparative study of soil solution chemistry associated with chlorotic and nonchlorotic soybeans in western Minnesota. *Journal of Plant Nutrition*, 7(1-5), 513-531.
- Jalali, M. (2008). Effect of sodium and magnesium on kinetics of potassium release in some calcareous soils of western Iran. *Geoderma*, 145(3), 207-215.
- Kirkham, M. B. (2014). Principles of Soil and Plant Water Relations. *Academic Press*.
- Litaor, M. I. (1988). Soil solution chemistry in an alpine watershed, Front Range, Colorado, USA. *Arctic and Alpine Research*, pp. 485-491.
- Mahmoodi, Sh., and Hakimian, M. (2007). Fundamentals of Soil Science. *University of Tehran Press*, pp. 520-527, (In Persian).
- Malakuti, M.J. (1991). Soil Fertility and Fertilizer. *University Tehran press*, 800p. (In Persian).
- Marschner, H. (2011). Mineral Nutrition of Higher Plants. *Academic press*.
- McBride, M. B. (1994). Environmental chemistry of soils. *Oxford university press*.
- McCray, J. M., and Matocha, J. E. (1992). Effects of soil water levels on solution bicarbonate, chlorosis and growth of sorghum. *Journal of Plant Nutrition*, 15(10), 1877-1890.
- Menzies, N. W., and Bell, L. C. (1988). Evaluation of the influence of sample preparation and extraction technique on soil solution composition. *Soil Research*, 26(3), 451-464.
- Mirzaei, M., Varoei, M., Fekri and Mahmoodabadi M. (2014). Effect of different salts on soluble potassium leaching in soil columns. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 4(2), 201-214.
- Misra, A. (2003). Influence of water conditions on growth and mineral nutrient uptake of native plants on calcareous soil. *Lund University Publication*.
- Morard, P., Lacoste, L., and Silvestre, J. (2004). Effect of oxygen deficiency on mineral nutrition of excised tomato roots. *Journal of Plant Nutrition*, 27(4), 613-626.
- Nelson, D. W., and Sommers, L. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Chemical and Microbiological Properties, pp. 539-579.
- Olsen SR and Sommers LE. 1982. Phosphorus. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (ed.), *Methods of soil analysis part 2*, America Society Agronomy, *Soil Science Society of America Journal*, Madison Wisconsin, pp. 403-430.
- Ouyang, Y., and Boersma, L. (1992). Dynamic oxygen and carbon dioxide exchange between soil and atmosphere: II. Model simulations. *Soil Science Society of America Journal*, 56(6), 1702-1710.
- Page, A.L., R.H. Miller and D.R. Keeney. 1992. *Method of Soil Analysis*. Part II: Chemical and Mineralogical Properties (Second Edition). Madison, Wisconsin: SSSA.
- Ponnamperuma, F. N. (1972). The chemistry of submerged soils New York: *Academic Press*. 24, 29-88.
- Robinson, D. (1994). The responses of plants to non-uniform supplies of nutrients. *New Phytologist*, 127(4), 635-674.
- Ryan, J., and Hariq, S. N. (1983). Transformation of incubated micronutrient chelates in calcareous soils. *Soil Science Society of America Journal*, 47(4), 806-810.
- Schaffer, B., Andersen, P. C., and Ploetz, R. C. (1992). Responses of fruit crops to flooding. *Horticultural Reviews*, 13, 257-313.
- Sparks, D. L. (1987). Potassium Dynamics in Soils. In: *Advances in Soil Science*, Springer New York, pp: 1-63.
- Stepniowski, W., and Przywara, G. (1992). The influence of soil oxygen availability on yield and nutrient uptake (N, P, K, Ca, Mg, Na) by winter rye (*Secale cereale*). *Plant and Soil*, 143(2), 267-274.
- Stepniowski, W., Ball, B. C., Soane, B. D., and Ouwkerk, C. V. (1994). Effects of compaction on soil aeration properties. *Soil Compaction in Crop Production*, pp. 167-189.
- Tributh, H., Boguslawski, E. V., Lieres, A. V., Steffens, D., and Mengel, K. (1987). Effect of potassium removal by crops on transformation of illitic clay minerals. *Soil Science*, 143(6), 404-409.
- Verrecchia, E. P., and Dumont, J. L. (1996). A biogeochemical model for chalk alteration by fungi in semiarid environments. *Biogeochemistry*, 35(3), 447-470.
- Wesseling, J., Van Wijk, W. R., Fireman, M., van't Woudt, B. D., and Hagan, R. M. (1957). Land drainage in relation to soils and crops. *Drainage of Agricultural Lands*, 461-578.

- Wodarczyk, T., Stepniewski, W., Brzezinska, M., and Przywara, G. (2008). Impact of different aeration conditions on the content of extractable nutrients in soil. *International Agrophysics*, 22, 371-375.
- Wolt, J. D. (1994). *Soil Solution Chemistry: Applications to environmental science and agriculture*. John Wiley and Sons.
- Yen, P. Y., Inskeep, W. P., and Westerman, R. L. (1988). Effects of soil moisture and phosphorus fertilization on iron chlorosis of sorghum. *Journal of Plant Nutrition*, 11(6-11), 1517-1531.
- Li, Y., Liu, Y., Wang, Y., Niu, L., Xu, X., and Tian, Y. (2014). Interactive effects of soil temperature and moisture on soil N mineralization in a *Stipa krylovii* grassland in Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Land*, 6(5), 571-580.
- Zeroni, M., Gale, J., and Ben-Asher, J. (1983). Root aeration in a deep hydroponic system and its effect on growth and yield of tomato. *Scientia Horticulturae*, 19(3), 213-22.

The study of interaction air filled porosity and the use of urea and mono calcium phosphate on the availability of nitrogen, phosphorus and potassium in incubation period

Nooshin Soltanalinezhad¹, Abbas Samadi², Hossein Asgarzadeh³, Behnam Dovlati^{3*}

(Received: June 2015

Accepted: January 2016)

Abstract

Air filled porosity as one of the most important properties of the soil, can influence the availability of water, oxygen, and other nutrient elements. In order to investigate the interactions between air filled porosity levels and urea and phosphorus fertilizers it was done on availability of macro elements (N-NO₃, P, K). A factorial experiment was carried out based on the randomized completely design with two factors including air filled porosity at seven levels (0, 4, 8, 12, 16, 20, 24%), and fertilizer at two levels (control and optimum level) from mono calcium phosphates and urea sources in the incubation period in three times (40, 80, 120 days) at three replications. Some of the chemical characteristics of treated soils such as pH, concentration of bicarbonate (HCO₃⁻) and nitrate ions, and available phosphorus and potassium at different levels of air filled porosity were measured. Results showed that the correlation between pH, nitrate, bicarbonate, phosphorus and potassium with air filled porosity changes was significant. Increasing the incubation time was caused to reduce the amount of availability nitrate, phosphorus and potassium soil. Also with decreasing air filled porosity levels pH, HCO₃⁻ concentration and availability of phosphorus were increased. The concentration of nitrate ions under the influence of temperature, pH, moisture and oxygen in different of the air porosity levels (12, 16 and 20%) showed a significant increase. So the air filled porosity of 12, 16 and 20 percent were determined the optimal range for the concentration of nitrate, phosphorus and potassium available.

Keywords: Air filled porosity, Soil moisture, Availability of nitrogen, Phosphorus and potassium content

1- MSc Student, Department of Soil Science, Urmia University, Iran

2- Professors, Department of Soil Science Urmia University, Iran

3, 4- Assistant Professor, Department of Soil Science, Urmia University, Iran

* Corresponding author: b.dovlati@urmia.ac.ir