مجله علمی کشاورزی، جلد ۲۷، شماره ۲، سال ۱۳۸۳

بررسی تاثیر تراکم خاک بر حرکت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در ستون خاک

مصطفی چرم[1] و فردین صادق زاده[2]

چکیده

تـراکم خـاک سـاختمان خـاک، جریان آب در خاک، خلل و فرج و ظرفیت نگهداری آب در خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هنگامی که خاک متراکم می‌شود منافذ درشت خاک به منافذ ریز تبدیل می‌شوند، پتانسیل ماتریک خاک کاهش مـی‌یـابد و در نتیجه نگهداری آب توسط خاک افزایش می‌یابد. تغییرات ذکر شده، توزیع و حرکت کودهای اضافه شده بـه خـاک را تحـت تأثـیر قرار می‌دهد، که هدف از این تحقیق بررسی توزیع و حرکت عناصر غذایی ماکرو درستونهای خـاک تحـت تأثـیر تـراکم خاک بود. در خاک مورد آزمایش ٤ سطح تراکم (١/٤، ١/٦، ١/٨ و ١/٩٥ گرم بر سانتی متر مکعـب) و ٣ مـیزان کـودیN,P,K بـه ترتیـب ٢٠٠ ، ١٣٠و٢٢٠ میلـی گرم بر کیلوگرم خاک و ٥ نوبت آبیاری اعمال گـردید. بعـد از هر آبیاری زه‌آب‌ها جمع آوری و عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم آنها با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شـد. بعد از آبیاری پنجم هر ستون خاک به ٦ قسمت مساوی تقسیم، و عناصر مذکور در تمامی قسمت‌های ستون خاک انـدازه‌گـیری شـدند و نـتایج با استفاده از برنامه اماری SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که حرکـت نیـتروژن و پتاسـیم بـا افـزایش تراکم به عمق‌های پایین و به درون زه‌آب‌ها کاهش می‌یابد ولی حرکت فسفر افـزایش مـی‌یـابد. علـت افـزایش حرکت نیتروژن در تراکم پایین وجود منافذ درشت برای جریان ترجیحی و شرایط مناسـب بـرای عمل نیتریفیکاسیون است. حرکت بیشتر پتاسیم در تراکم پایین به علت حرکت از طریق منافذ درشت و جـریان ترجیحـی اسـت. افـزایش حرکـت فسـفر در تراکم بالا می تواند به دلیل وجود رطوبت زیاد و حرکت از طریق پخشـیدگی باشد. کار برد بیش از حد کودها در خاکهای فشرده شده به منظور افزایش محصول باعث افزایش از دست رفتن عناصر غذائی می شود.

واژه های کلیدی: تراکم خاک، حرکت عناصر، جریان ترجیحی، نیتروژن ، فسفر، پتاسیم

مقدمه

تراکم خاک‌های کشاورزی مساله مهمی است که نه تنها رشد ریشه و محصول را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۴و۲۶)، بلکه خواص هیدرولیکی خاک (۱۰) فرایندهای آلودگی آب و خاک (۲۷) انرژی لازم برای خاک‌ورزی را افزایش داده (۱۱) وحرکت املاح را در خاک تحت تاثیر قرار می‌دهد (۱۵). هنگامی که خاکی متراکم می‌شود، جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش یافته و تخلخل آن کاهش می‌یابد، بدین صورت که منافذ درشت و پیوسته خاک فشرده شده و به منافذ ریز تبدیل می‌شود (۵). در این حالت تناسب بین منافذ ریز و درشت به هم می‌خورد و در نتیجه میزان بیشتری از منافذ ریز به وجود می‌آید (۲۹). در خاک متراکم هدایت هیدرولیکی خاک کاهش می‌یابد (۱۰) ولی به علت کاهش پتانسیل ماتریک خاک، نگهداری آب در پتانسیل‌های فشاری (مکشی) زیاد افزایش می‌یابد (۲۸و۳۰). وقتی لایه‌ای از خاک متراکم می‌شود میزان آب بیشتری از لایه‌های دیگر جذب می‌کند و میزان جذب با افزایش تراکم خاک افزایش می‌یابد (۱)، به هرجهت تراکم، نفوذپذیری و آبگذری آب در خاک را کاهش می‌دهد (۱۵) و ازعلایم تراکم خاک آب‌ماندگی در سطح خاک و مرطوب ماندن خاک و زهکشی ضعیف است (۲).

۲و۱-به ترتیب استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی دانشگاه شهید چمران

تاریخ دریافت: ۸۳/۲/۷

تاریخ پذیرش:۸۳/۱۱/۱۹

در کشاورزی مکانیزه امکان اینکه در خاک تراکم ایجاد شود زیاد است، زیرا در زمین‌های وسیع کشاورزی از ماشین‌آلات و ادوات سنگین کشاورزی دارد و در زمان یکسان مزرعه دارای رطوبت غیر یکنواخت و هنگام خاک‌ورزی و سایر عملیات زراعی استفاده می‌گردد و اینها به خاطر داشتن وزن زیاد خاک را متراکم می‌کنند، همچنین در زمین‌های وسیع کشاورزی امکان اینکه بافت خاک متفاوت باشد وجود در مکان‌هایی که رطوبت بیشتر است خاک متراکم می‌شود (۱۳). استفاده از کودهای پرمصرف در کشاورزی برای تولید بیشتر محصول بسیار رایج است و از این کودها در آب آبیاری نیز استفاده می‌گردد. نیتروژن به شکل نیترات در خاک تحرک زیاد دارد و همراه آب ابیاری و یا بارندگی وارد آبهای زیرزمینی می شود (۸). فسفر عنصری است که در کشاورزی کاربرد زیادی دارند و علی رغم تحرک کم آن در آبهای زیرزمینی مشاهده می‌شود (۷). کود پتاسیم نیز در کشاورزی کاربرد دارند. پتاسیم پس از اضافه شدن به صورت کاتیون در محلول خاک در آمده و یا جذب کلوییدهای خاک می‌شود و با اینکه در ساختمان رس‌های ایلیتی تثبیت می شود (۲۰). این کاتیون در مقایسه با کاتیون هایی که دارای‌ظرفیت بالاتری هستند کمتر جذب سطح کلوییدشده و مقادیری از آن در محلول خاک باقی می ماند و بوسیله آبشویی خارج می شود. تراکم خاک با تغییراتی که در اندازه منافذ، پیوستگی منافذ، خصوصیات هیدرولیکی و رطوبت خاک ایجاد می‌کند، ممکن است در حرکت کودهای مصرفی در آب آبیاری تاثیر بگذارد. هدف از این تحقیق بررسی تاثیر تراکم خاک بر حرکت عناصر غذایی پرمصرف (نیتروژن ، فسفر و پتاسیم) موجود در آب آبیاری با استفاده از ستون‌های خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری خاک:

از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری سطح خاک اراضی تحت کشت نیشکر، کشت و صنعت امیر کبیر واقع در جنوب اهواز نمونه برداری خاک انجام شد و سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال یافتند. کلیه نمو نه های خاک برداشته شده، کوبیده شده و از الک ۲ میلی‌متری گذرانده شدند (۱۴). سپس نمونه‌های خاک به رطوبت معین رسانده شده و در کیسه‌های پلاستیکی به مدت ۱۰ روز نگهداری شدند، تا رطوبت تمامی خاک موجود در کیسه‌ها، یکنواخت گردند (۲۹).

اندازه گیری‌های شیمیایی

کلسیم و منیزیم به روش تیتر کردن با EDTA (۹)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک‌ها (۲۲)، اسیدیته (pH) خاک‌ها در گل اشباع (۱۲)، سدیم محلول به روش فیلم فتومتری. سدیم تبادلی به روش استات آمونیم (۱۹)، میزان آهک به روش تیترومتری(۱۶)، نیتروژن به وسیله دستگاه کجلتک کامپیوتری (2300 Analyzer Unite)، فسفر به روش اولسن و اندازه گیری توسط دستگاه اسپکتر فتومتر (۱۷)، پتاسیم محلول با فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (۲۱). خاک مورد آزمایش دارای شوری ۳/۲ دسی زیمنس بر متر و ۱/۸ درصد ماده آلی بود (جدول ۱). سایر خواص شیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- خواص شیمیایی خاک مورد آزمایش

نیتروژن کل mg/kg	فسفر mg/kg	پتاسیم mg/kg	pH گل اشباع	کربنات کلسیم(٪)	EC_e dS/m	ماده آلی(٪)
۲۰۵	۷	۱۲۰	۷/۴	۲۸	۳/۲	۱/۸

آزمایش‌های مکانیک خاک

آزمایش‌های مکانیک خاک شامل تعیین حدود آتربرگ به روش ۸۴- d۴۳۱۸ (ASTM / ۱۹۹۲)، بافت خاک به روش پی پت، تهیه منحنی رطوبتی با استفاده از دستگاه صفحات فشاری و تهیه منحنی تراکم خاک (پروکتور) طبق روش ۹۱ - D ۶۹۸ (ASTM / ۱۹۹۲) انجام شد. خاک مورد آزمایش با داشتن ۲۵ درصد رس دارای بافت لومی و رطوبت ظرفیب زراعی آن ۲۴ درصد بود (جدول ۲). سایر خواص فیزیکی خاک در جدول ۲ نشان داده شده است. رطوبت بهینه (رطوبتی را که خاک در آن بیشترین حساسیت را به تراکم دارد) برای خاک مورد آزمایش ۱۴٪ وزنی بود. برای تعیین حد روانی و رطوبت حد خمیری از دستگاه کاسا گراند استفاده گردید.

دستگاه تک محوری تغییر یافته و لوله‌های پولی‌اتیلن: برای انجام آزمایش‌های تراکم از لوله‌های پولی‌اتیلن ضخیم به ضخامت چهار میلیمتر و قطر ۸۲ میلی‌متراستفاده گردید، زیرا اینگونه لوله‌ها با دیواره ضخیم درمقابل فشار وارده توسط دستگاه تک محوری تغییر یافته، تغییر حجم نداده و شکسته نمی‌شوند. لوله‌های مذکور توسط دستگاه برش به قطعه‌های ۳۰ سانتی‌متری بریده، لبه آنها توسط دستگاه تراش صاف و انتهای هر یک از آنها توسط توریهای مشبک پلاستیکی مسدود شدند. برای متراکم نمودن نمونه های خاک از دستگاه تک محوری تغییر یافته استفاده شد (شکل ۱) در این وسیله درجه نشان دهنده نیرو، و اهرم های وارد کننده نیرو برداشته شدند و به جای اهرم‌های وارد کننده نیرو صفحه فلزی به قطر هشت سانتی متر و ضخامت چهار میلی متر جایگزین گردید. صفحه مذکور توسط دستگاه تراش طوری ساخته شده که بتواند در داخل لوله‌های پولی‌اتیلن قرار بگیرد بطوریکه کاملا مماس بر دیواره لوله پولی اتیلن نباشد تا هنگام تراکم خاک راه فرار هوا از فاصله بین لوله پولی اتیلن وصفحه وجود داشته باشد.

جدول ۲- خواص فیزیکی خاک مورد آزمایش

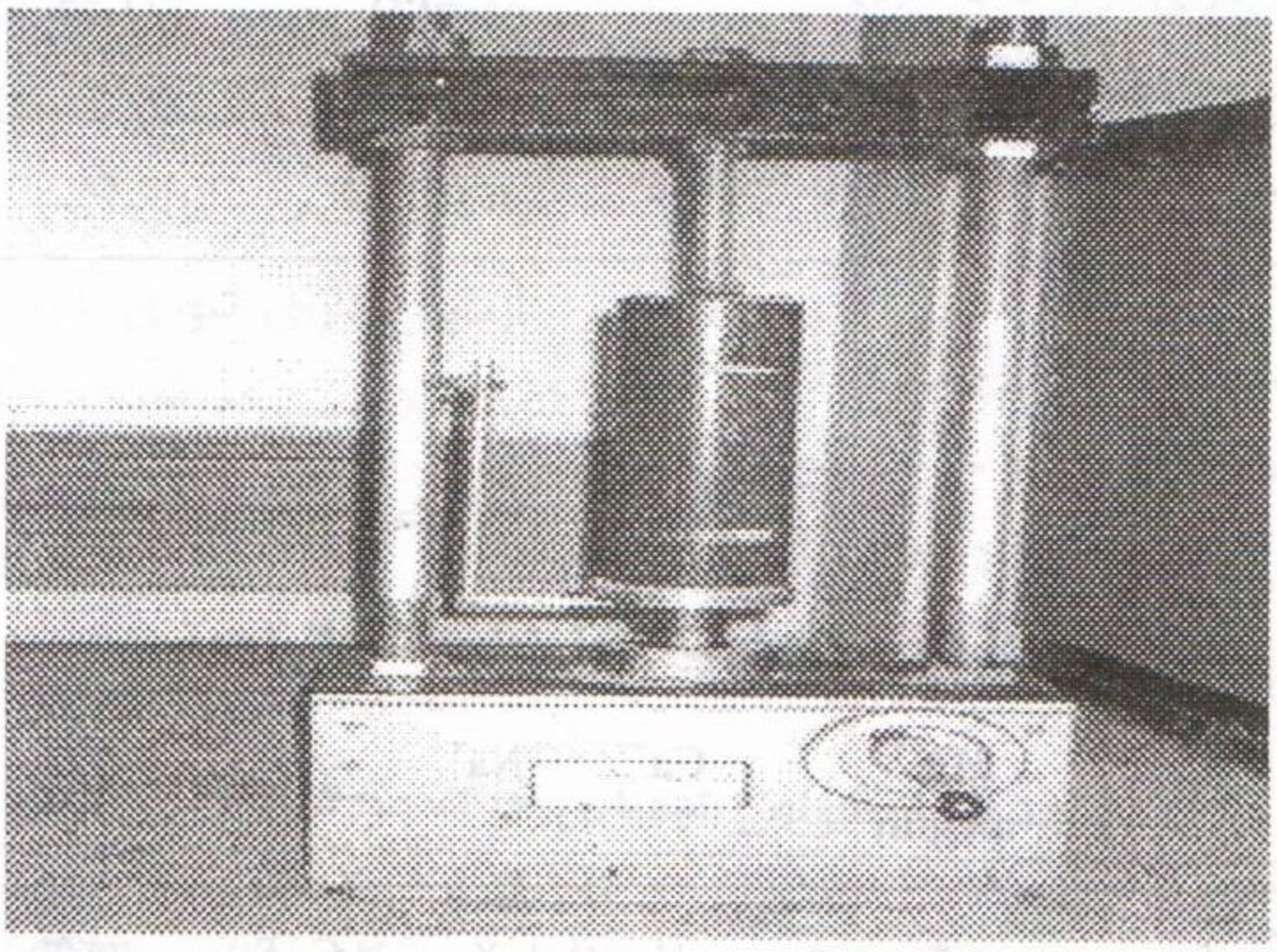
شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	رطوبت حد خمیری(٪)	رطوبت حد روانی(٪)	رطوبت ظرفیت زراعی(٪)
۲۶	۴۸	۲۵	۱۷/۵	۳۷	۲۴

جدول ۳- مشخصات آب آبیاری رودخانه کارون

pH	EC dS/m	SAR	کلاس آب	Na^+	Ca^{++}	Mg^{++} <—meq/lit—>	Cl^-	SO_4^{--}	HCO_3^-
۷/۹	۱/۰۹	۳/۳	C_3-S_1	۷	۵	۴	۶	۷	۳

میزان آب آبیاری، چگونگی کاربرد کود ها و نوبت‌های آبیاری

برای تعیین میزان آب آبیاری برای هر ستون خاک، ابتدا تخلخل کل خاک را بدست آورده و سپس مقدار آب مورد نیاز را برای تخلخل کل خاک محاسبه نموده. مقدار رطوبت اولیه خاک که در آن رطوبت خاک متراکم شده است را از آب مورد نیاز برای تخلخل کل کم نموده تا میزان آب که به اندازه تخلخل تهویه‌ای است بدست آید. مقدارآب ابیاری برابر تخلخل کل نمونه شاهد ($1/4 gr/cm^3$) انتخاب شد و برای تمامی تیمارها یکسان بود که این مقدار برای هر ستون خاک نیم لیتر آب بود. ازکود اوره، دی‌آمونیم فسفات و سولفات پتاسیم به ترتیب به میزان ۱۳۰،۲۰۰ و۲۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم استفاده شد. که این کودها در آب آبیاری لازم برای هر ستون حل شد. برای بهترحل کردن کودها در آب آبیاری، پس از ریختن کود در آب به مدت چند دقیقه کود همراه با آب به هم زده می شد. خاک‌های موجود در ستون ها در مدت ۶۵ روز آزمایش به تعداد ۵ دوره آبیاری شدند. آب ابیاری دارای پ هاش ۷/۹ و شوری ۱/۰۹ دسی زیمنس بر متر با قلیایت ۳/۳ درصد بود (جدول۳). سایر مشخصات آب ابیاری در جدول ۳ نشان داده شده است. میزان تبخیر با توجه به سردی هوا در زمان آزمایش تقریبا صفر و شرایط برای تمامی نمونه ها یکسان بود. بعد از هر بار آبیاری زه اب های هر ستون جداگانه جمع اوری شد. مقدار زه آبها در تیمارهای مختلف اندکی با هم تفاوت داشت ولی عناصر اندازه گیری شده برای تمامی تیمارها در حجم یکسانی از زه آبها مورد تجزیه کامل قرار گرفت. با توجه به اینکه آزمایش در شرایط یکسان آزمایشگاهی صورت گرفت، طرح آزمایشی مورد استفاده طرح ساده کاملاً تصادفی بود که در این آزمایش از ۴ تیمار تراکم ۱/۹۵، ۱/۸،۱/۶ ،۱/۴ گرم بر سانتی متر مکعب استفاده شد.پس از پایان دوره آزمایش با وارد کردن ضربه به اطراف لوله پولی اتیلن خاک موجود در آن به صورت ستونی دست نخورده بیرون آورده شد. هر ستون خاک به شش قسمت مساوی تقسیم گردید و از بالای ستون به طرف پایین ستون از یک تا شش شماره گذاری شد. نمونه‌ها خشک شده وسپس درون کیسه‌های پلاستیکی ریخته شده تا آزمایش‌های تجزیه خاک بر روی آنها انجام گیرد.



شکل۱- دستگاه تک محوری تغییر یافته

تعیین منحنی رطوبتی سطوح مختلف تراکم

برای تعیین منحنی رطوبتی نمونه های خاک از دستگاه صفحات فشاری استفاده شد. هر یک از نمونه های خاک اشباع شده تحت فشارهای ۱۰، ۳۰ ، ۱۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلو پاسکال قرار گرفتند. برای هر نمونه سه تکرار انجام شد. میانگین سه تکرار به عنوان میزان رطوبت نمونه خاک در آن مکش تعیین گردید. در این آزمایش برای چهار سطح .تراکم ۶۰ نمونه خاک برداشته شد (۴سطح تراکم×۵ نقطه مکش×۳ تکرار). (شکل ۲ الف، ب، ج و د) منحنی‌های رطوبتی مربوط به خاک‌هایی است که به ترتیب دارای جرم مخصوص ظاهری ۱/۴، ۱/۶، ۱/۸ و ۱/۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشند. شکل ۲-الف منحنی رطوبتی خاکی است که دارای جرم مخصوص ظاهری ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب بوده، این منحنی رطوبتی نسبت به منحنی رطوبتی مربوط به تراکم های دیگر در پتانسیل های فشاری مشخص دارای درصد رطوبت کمتری است. مثلا در نقطه پژمردگی (۱۵۰۰ kPa) رطوبت حجمی خاکی که دارای جرم مخصوص ظاهری ۱/۴ گرم بر سانتی متر مکعب است ۹ درصد بوده ولی در تراکم های دیگر که دارای جرم مخصوص ظاهری ۱/۶ ، ۱/۸ و ۱/۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند رطوبت‌های حجمی به ترتیب دارای ٪۱۲، ٪۱۵ و ٪۱۷ میباشند. رطوبت ظر فیت مزرعه (پتانسیل فشاری ۳۰ کیلو پا سکال) در چهار سطح تراکم، ۱/۴، ۱/۶، ۱/۸ و ۱/۹۵ گرم بر سانتی مترمکعب، به ترتیب برابر با ٪۲۱، ٪۲۴، ٪۲۶ و ٪۲۸ است. با توجه به منحنی‌های نشان داده شده در شکل ۲ مشخص می‌شود که خاک‌های متراکم‌تر (جرم مخصوص ظاهری بالاتر) دارای رطوبت حجمی بالاتری هستند، این تفاوت بخصوص در نقطه پژمردگی بارزتر است. بنابراین می‌توان بیان کرد که در پتانسیل فشاری کمتر از نقطه ظرفیت زراعی خاک‌های متراکم تر دارای رطوبت بیشتری هستند.

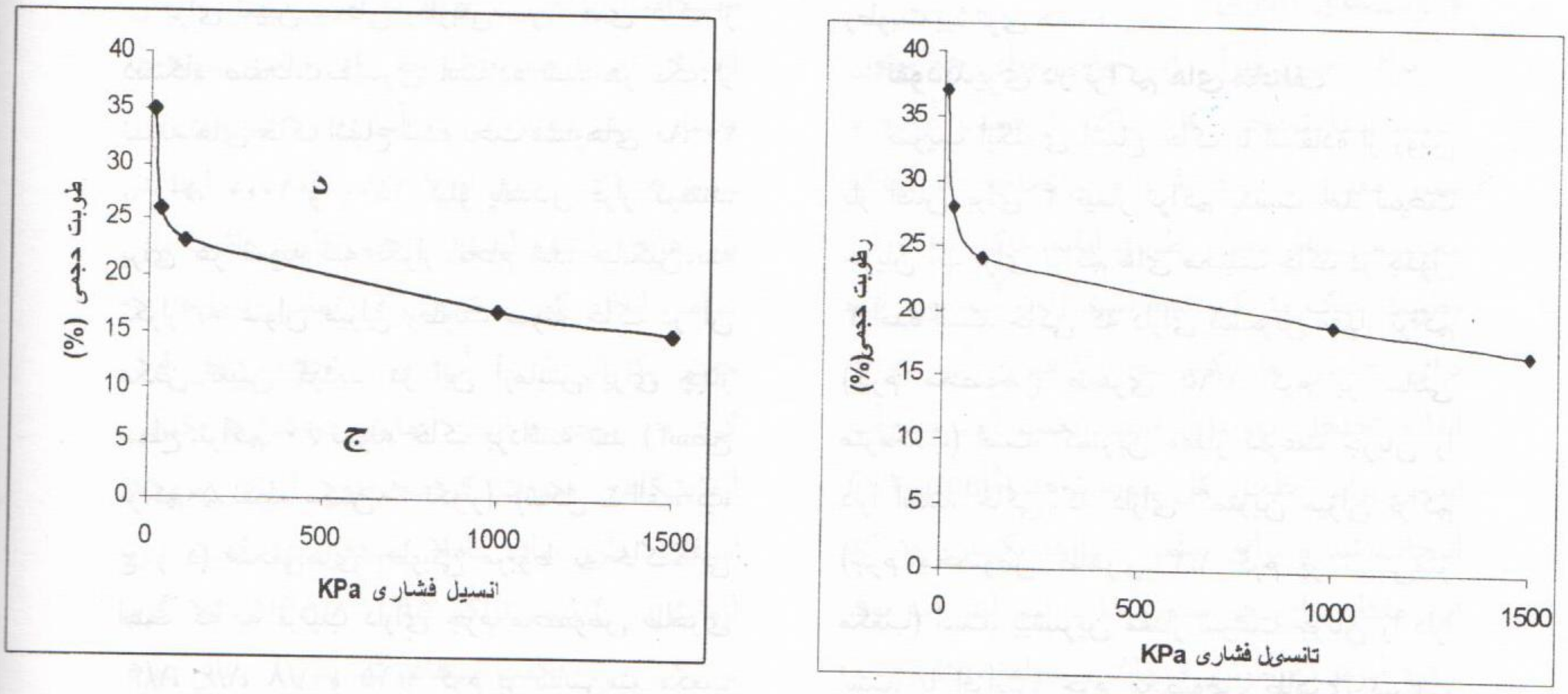
نفوذپذیری در تراکم های مختلف

ضریب آبگذری اشباع خاک با استفاده از روش بار افتان برای ۴ تیمار تراکم بدست آمد سرعت جریان آب برای تراکم های مختلف خاک در جدول ۴ آمده است. خاکی که دارای بیشترین مقدار تراکم (جرم مخصوص ظاهری ۱/۹۵ گرم بر سانتی مترمکعب) است، کمترین مقدار سرعت جریان را دارا است. خاکی که دارای کمترین میزان تراکم (جرم مخصوص ظاهری ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب) است، بیشترین مقدار سرعت جریان را دارا است. با افزایش جرم مخصوص ظاهری سرعت جریان آب کاهش می‌یابد و سرعت جریان آب در خاکی که دارای جرم مخصوص ظاهری ۱/۹۵ گرم بر سانتی متر مکعب است حدود ۱۰ برابر کمتر از نفوذ پذیری خاک دارای جرم مخصوص ظاهری ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب است.

نتایج و بحث

نیتروژن:

با افزایش تراکم حرکت نیتروژن به عمق‌های پایین‌تر کاهش یافته است (شکل ۳). در تراکم ۱ نسبت به سایر تراکم‌ها میزان نیتروژن اندازه‌گیری شده در عمق‌های انتهایی ستون خاک بیشتر است ($p\leq0.05$) و توزیع نیتروژن در ستون خاک یکنواخت‌تر است. این یکنواختی با افزایش تراکم کاهش یافته است، به طوری که در تراکم ۴ روند کاهش نیتروژن از عمق ۱ تا عمق ۳ شدید است ($p\leq0.05$). در عمق۱،تراکم ۴میزان نیتروژن اندازه‌گیری شده بیشترین مقدار را دارد ($p\leq0.05$) و بعد از آن بیشترین مقدار نیتروژن اندازه‌گیری شده به ترتیب مربوط به تراکم‌های ۳، ۲ و۱ است (شکل ۳)، اما عمق ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ عکس عمق ۱ هستند،



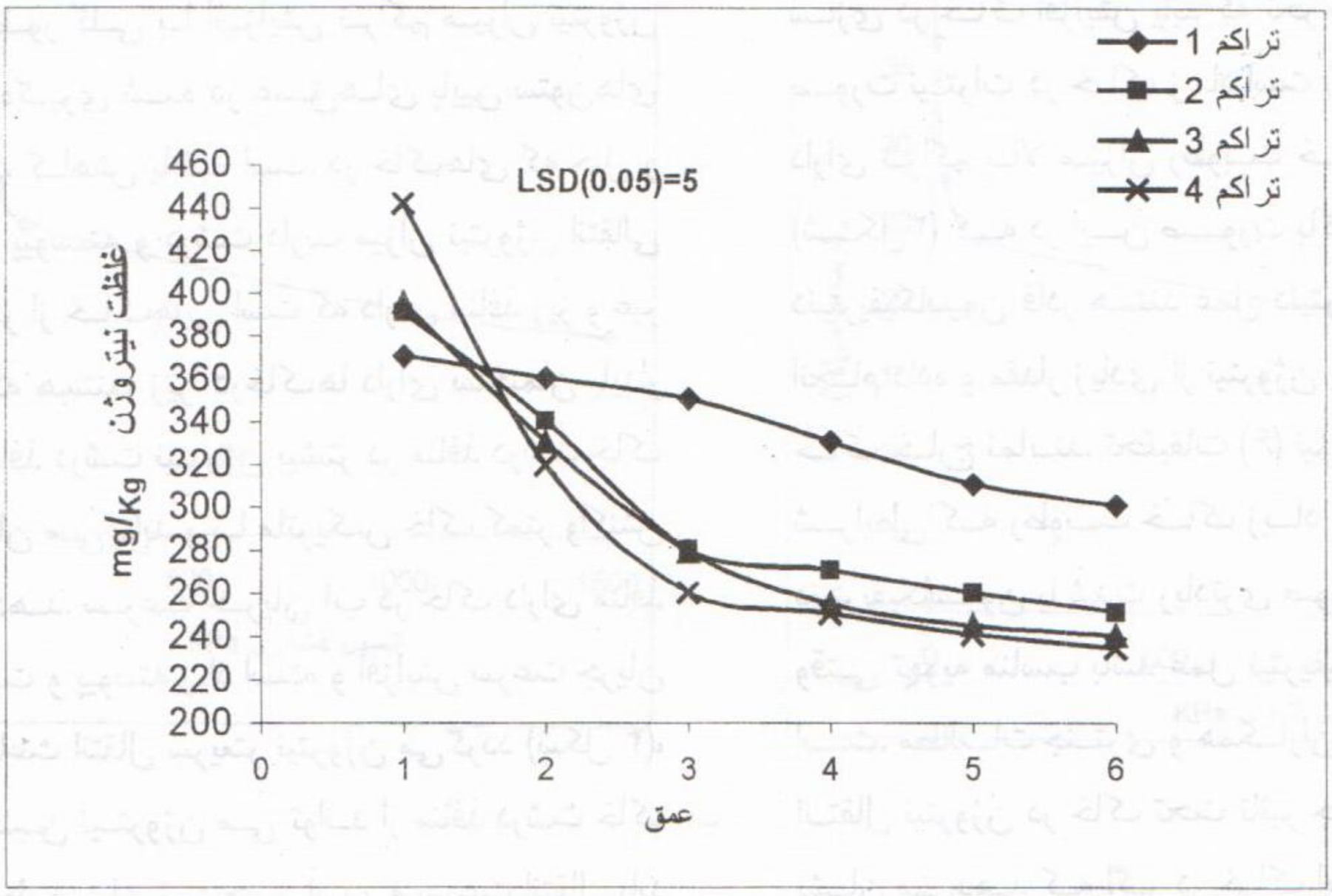
شکل ۲- منحنی رطوبتی خاک در تراکم های مختلف (الف) ۱/٤، (ب) ۱/٦، (ج) ۱/۸ و (۱/۹۵) گرم بر سانتی متر مکعب

یعنـی با افزایش تراکم، میزان نیتروژن در این اعماق کاهش یافته است.

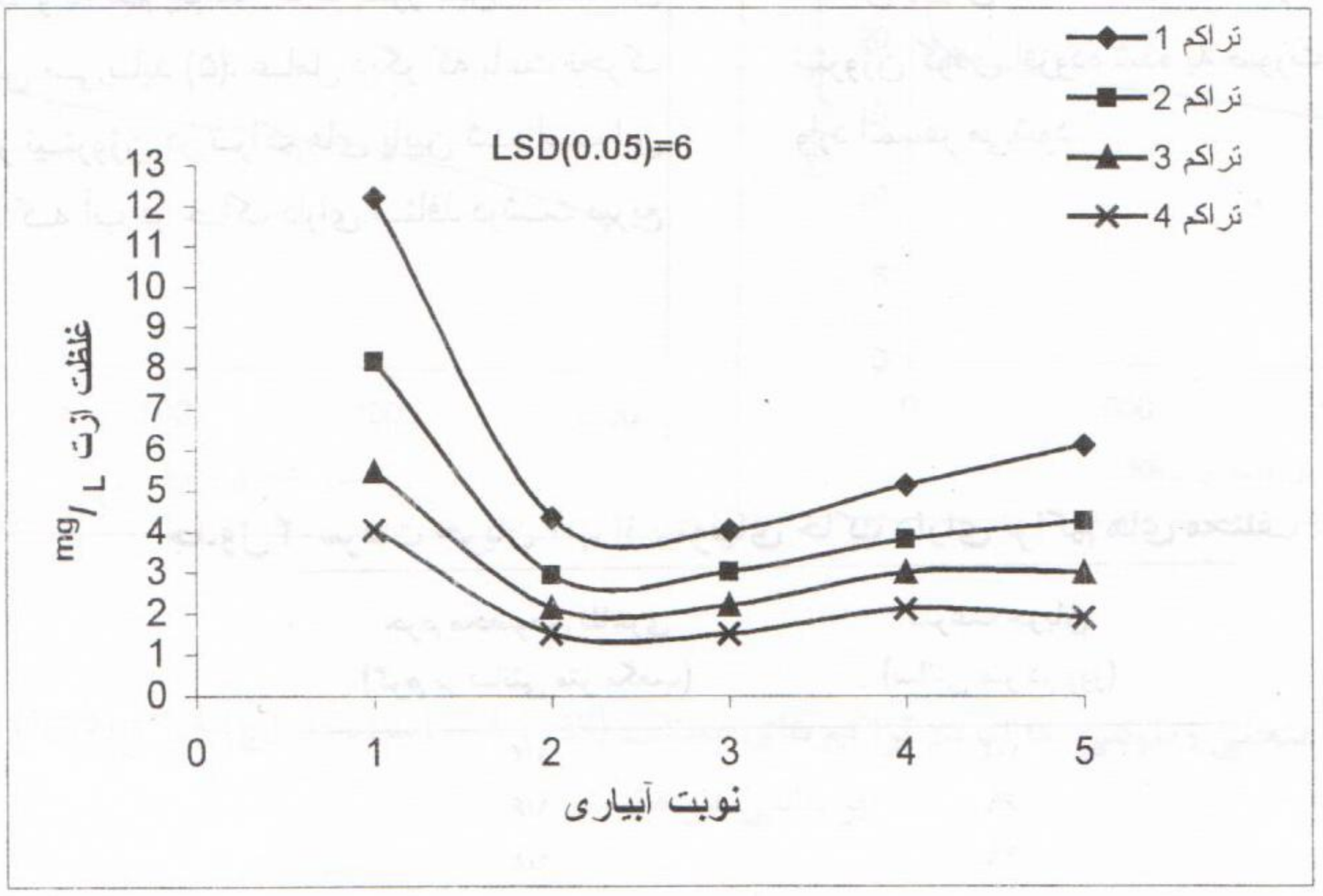
بطـور کلـی بـا افـزایش تـراکم مـیزان نیتروژن انـدازه‌گـیری شـده در عمـق‌هـای پایین ستون‌های خـاک کـاهش یافـته است. در خاک‌های که خلل و فـرج پیوسـته و درشت دارند، میزان نیتروژن انتقالی بیشـتر از خـاک‌هایی است که دارای منافذ ریز و غیر پیوسته هستند، زیرا درخاک‌ها دارای ساختمان پایدار و مـنافذ درشت نیتروژن بیشتر در منافذ درشت خاک جـریان مـی‌یـابد و بـا ماتریکس خاک کمتر واکنش مـی‌دهـد. سـرعت جـریان آب در خاک دارای منافذ درشـت و پیوسته زیاد است، و افزایش سرعت جریان آب باعث انتقال سریعتر نیتروژن می‌گردد (شکل ۴)، همچنیـن نیـتروژن مـی توانـد از منافذ درشت خاک توسـط جـریان ترجیحـی آب بـه سرعت انتقال یابد (شـکل ۴). در سـتون‌هـای خـاک مـورد مطالعه در تـراکم پایین جریان ترجیحی وجود داشته است، زیرا کـه سـرعت جـریان آب در تـراکم پاییـن زیاد است (جـدول ۴)،کـه وقتـی خاک متراکم می‌شود منافذ درشـت و به هم پیوسته خاک بطور قابل ملاحظه‌ای کـاهش مـی‌یـابد (۵). عـامل دیگر که باعث تحرک بیشـتر نیـتروژن در تـراکم‌های پایین شده است این اسـت کـه آب در خـاک دارای مـنافذ درشـت سریع تخلـیه مـی‌شـود (شـکل ۴) و هـوا به جای آن وارد می‌شود، وجود هوا در خاک باعث می‌شود که نیترات سـازی در خـاک افزایش یابد که تحرک نیتروژن به صـورت نیـترات در خـاک زیـاد است (۱۸). در خاک دارای تـراکم بـالا مـیزان رطوبـت خـاک زیاد است (شـکل۳) کـه در ایـن صـورت باکـتری‌هـای دنیتریفیکاسیون قادر هستند عمل دنیتریفیکاسیون را انجـام داده و مقدار زیادی از نیتروژن بصورت گاز از خـاک خـارج نمایـند. تحقیقات (۶) نیز نشان داده در شـرایطی کـه رطوبـت خـاک زیـاد باشـد، عمـل دنیتریفیکاسـیون با شدت زیادتری صورت می‌گیرد و وقتـی تهویه مناسب باشد عمل نیتریفیکاسیون فعال اسـت. مطالعـات جنـتری و همکـاران (۸) در مـورد انـتقال نیتروژن در خاک تحت تاثیر جریان ترجیحی نشـان مـی‌دهـد کـه اگـر در خـاک امکـان جـریان ترجیحـی وجـود داشـته باشـد، انـتقال نیـتروژن بـه صـورت آمونـیم و یـا نیـترات به سرعت رخ می‌دهد. نـتایج حاصـل از تجزیه آماری و تفسیر داده‌ها نشان مـی‌دهـد که در خاک‌های متراکم انتقال نیتروژن به اعمـاق پاییـن خـاک کـم اسـت و مـیزان زیادی از نیتروژن کودی افزوده شده به صورت نیتروژن گازی وارد اتمسفر می‌شود.

جدول۴- سرعت جریان آب از ستونهای خاک دارای تراکم های مختلف

جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	سرعت جریان (سانتی متر در روز)
۱/۴	۱۰۳
۱/۶	۶۹
۱/۸	۲۹
۱/۹۵	۱۱



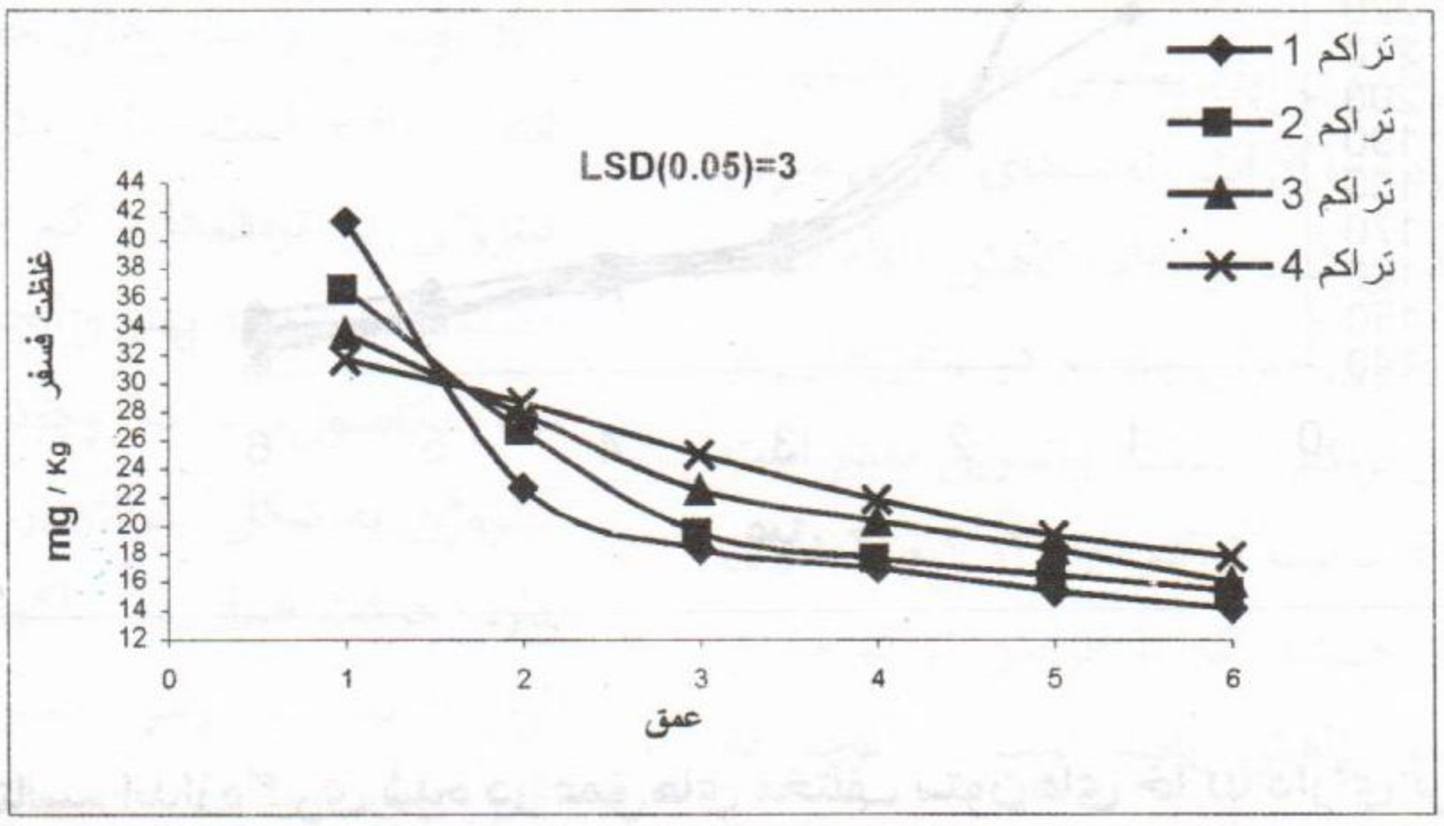
شکل۳- میزان نیتروژن اندازه‌گیری شده در عمق‌های مختلف ستون‌های خاک دارای تراکم‌های متفاوت



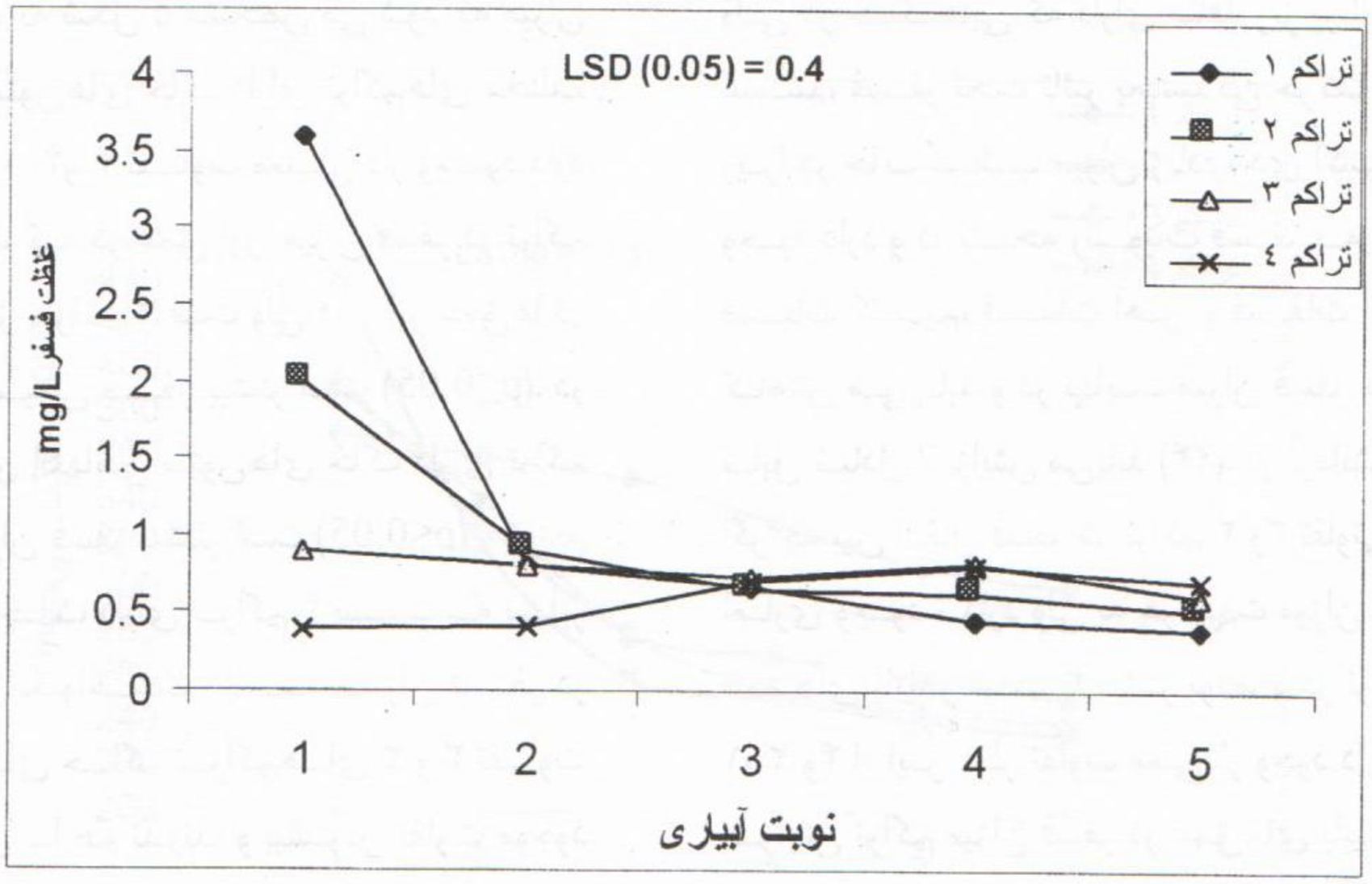
شکل٤- میزان نیتروژن اندازه‌گیری شده در زه‌آب ستون‌های خاک دارای تراکم‌های مختلف

فسفر

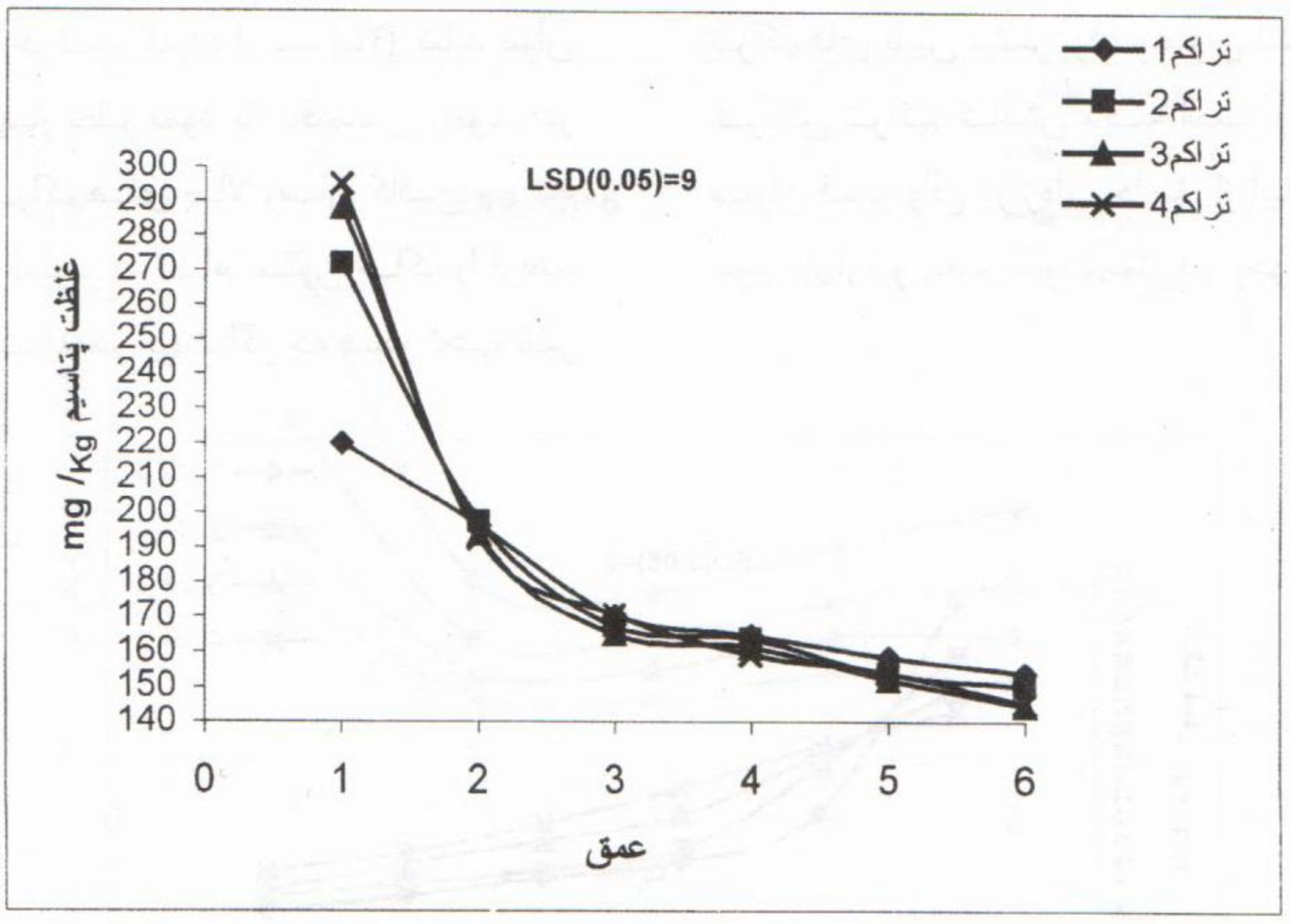
با توجه به شکل ۵ مشخص می شود که میزان فسفر در ستون‌های خاک دارای تراکم‌های مختلف در تـراکم۱ ،۲و ۴ تفـاوت معنـی دار وجـود دارد ($p\leq0.05$)، کـه در عمق اول میزان فسفر در تراکم ۱ بیشـتر از تـراکم ۴ است ولی در سایر عمق‌ها در تـراکم ۴ مـیزان فسـفر بیشتر است ($p\leq0.05$). در عمـق‌هـای انتهایـی ستون‌های خاک دارای تراکم بالاتـر میزان فسفر بیشتر است ($p\leq0.05$) و توزیع فسـفر در خـاک دارای تـراکم ۴ نسـبت بـه سـایر تـراکم‌هـا یکنواخـت‌تـر اسـت. مـیزان فسـفر در سـتون‌هـای خـاک تـراکم‌هـای ۲ و ۳ تفـاوت معنـی‌داری بـا هم ندارند، و بیشترین تفاوت موجود در تـراکم ۱ و ۴ اسـت، کـه به غیر از عمق اول در سـایر اعمـاق فسـفر در تراکم ۴ بیشتر است. نتایج نشـان مـی‌دهـد که فسفر در تراکم پایین حرکتش تحت تاثیر جریان ترجیحی بوده (شکل ۶) ، ولی در تـراکم بـالا بـه علـت وجود رطوبت زیاد (شکل ۲) حلالیـت فسفر بیشتر شده (۲۴) و فسفر تحت عمل پخشـیدگی حرکـت کـرده اسـت (۲۵). شاید بتوان اینگونه اظهـار نظـر نمود که باقیماندن رطوبت در خـاک در تـراکم‌هـای بـالا زمـان کافـی جهـت پخشـیدگی فسـفر در تمـام سـتون خـاک را فراهم نمـوده اسـت. به هر جهت اگر چه فسفر تحت تاثیر جریان‌های ترجیحی در خاک حرکت می کند (۷و۲۳) ولـی در خـاک‌هایی که دارای منافذ ریز پر از رطوبت هسـتند، فسـفر تحت تاثیر پخشیدگی حرکت می‌کند، زیـرا در خاک مرطوب میزان زیادی دی اکسید کربن وجـود دارد و در نتـیجه رسـوبات فسـفر بـه صـورت فسـفات کلسـیم، فسـفات آهـن و فسـفات آلومینـیم کـاهش مـی‌یـابد و در نهایـت میزان فسفر محلول و قـابل تـبادل افـزایش می‌یابد (۲۴). در آزمایش حاضر اگر چه بین انتقال فسفر در تراکم ۲ و۳ تفاوتی از نظر آمـاری وجـود نـدارد ولی به هر جهت میزان فسفر در عمق‌های پایینتر تراکم ۳ بیشتر بوده، و در تراکم‌های ۱، ۲ و۴ از ایـن نظر تفاوت معنی‌دار وجود دارد، که با افـزایش تراکم میزان فسفر در عمق‌های پایینتر خاک افزایش یافته است. این نتایج نشان می‌دهند که باقی مـاندن رطوبت در خاک درتراکم های بالا زمان کافی جهـت حـلا لیـت و پخشـیدگی فسفر در تمام ستون خـاک را فـراهم نمـوده اسـت. در آبـیاری اول تاثـیر جریان ترجیحی غالب بوده و همانطوریکه در شکل ۶ دیـده مـی‌شـود، مـیزان فسفر آبشویی یافته در زه‌آب تـراکم‌های پایین بیشتر بوده و میزان آبشویی فسفر با افـزایش تـراکم کـاهش یافـته است ($p\leq0.05$). در مـیزان فسفر واقع در زه‌آب حاصل از آبیاری‌های دوم، سوم، چهارم و پنجم تفاوت معنی‌دار وجود ندارد.



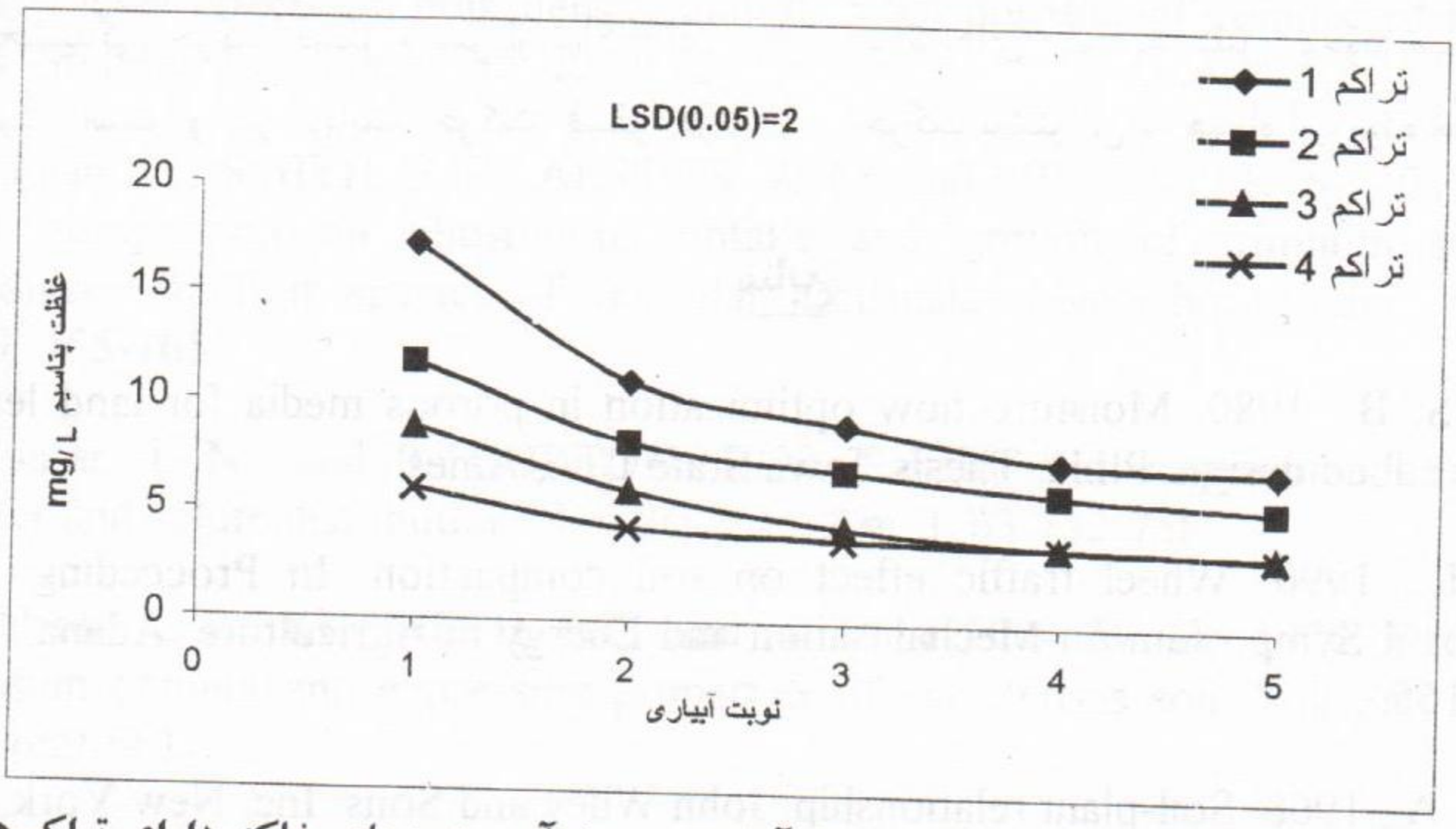
شکل۵- میزان فسفر اندازه‌گیری شده در عمق‌های مختلف ستون‌های خاک دارای تراکم‌های متفاوت



شکل٦- میزان فسفر اندازه‌گیری شده در زه‌آب ستون‌های خاک دارای تراکم‌های مختلف



شکل۷- میزان پتاسیم اندازه‌گیری شده در عمق‌های مختلف ستون‌های خاک دارای تراکم‌های متفاوت



شکل۸- میزان پتاسیم اندازه‌گیری شده در نوبت‌های آبیاری و در زه‌آب ستون‌های خاک دارای تراکم‌های مختلف

پتاسیم

میزان پتاسیم در ستون‌های خاک دارای تراکم‌های مختلف در اعماق مختلف تفاوت معنی‌داری با هم ندارند (شکل ۷)، و تنها تفاوت معنی‌دار در عمق اول، تراکم۱، ۲ و ۳ است ($p\leq0.05$). که در این عمق با افزایش تراکم میزان پتاسیم افزایش یافته است. میزان پتاسیم در زه‌آب حاصل از تراکم‌های مختلف دارای اختلاف معنی دار است ($p\leq0.05$) و با افزایش تراکم میزان پتاسیم در زه‌آب کاهش می‌یابد (شکل۸). میزان پتاسیم در زه‌آب این ستون‌ها با هم اختلاف معنی‌داری داشته و با افزایش تراکم خاک میزان پتاسیم در زه‌آب کاسته شده است. در آبیاری اول بیشرین مقدار پتاسیم در زه‌آب وجود دارد و با افزایش نوبت‌های آبیاری میزان پتاسیم اندازه‌گیری شده در زه‌آب کاهش یافته است. در هر نوبت آبیاری میزان پتاسیم در ستون‌هایی از خاک که دارای تراکم ۱ هستند بیشترین مقدار است و بعد از آن به ترتیب تراکم‌های ۲، ۳ و ۴ دارای بیشترین مقدار هستند، که با افزایش تراکم میزان آبشویی پتاسیم کاهش یافته است. با توجه به مطالب فوق‌الذکر می‌توان چنین بیان کرد که با افزایش تراکم، تحرک پتاسیم کاهش یافته است. در سایر مطالعات انجام شده(۳)مشخص شده که میزان آبشوی و تحرک پتاسیم به بافت خاک ساختمان خاک بستگی دارد. هر چه بافت خاک سبک‌تر، ساختمان خاک پایدارتر و دارای خلل و فرج بیشتر باشد، میزان پتاسیم آبشویی یافته افزایش می‌یابد. در خاک‌هایی که دارای منافذ ریز و بافت سنگین هستند پتاسیم به مقدار زیادی جذب کلوییدهای خاک شده و یا اینکه تثبیت می‌شود.

نتیجه‌گیری

در تراکم‌های کم به دلیل وجود منافذ درشت و مسیرهای جریان ترجیحی حرکت نیتروژن در خاک زیاد بوده و در ستون‌های خاک به اعماق پایین‌تر انتقال یافته است. عامل دیگری که در حرکت نیتروژن در تراکم‌های کم می‌تواند نقش موثری داشته باشد، تهویه بهتر و ایجاد شرایط مناسب برای نیتزیفیکاسیون، و به وجود آمدن نیترات است. نیتروژن به شکل نیترات در خاک تحرک بیشتری دارد. حرکت فسفر در تراکم‌های کم و در آبیاری اول با توجه به وجود مسیرهای جریان ترجیحی قابل توجه بوده است. در حالیکه در آبیاری‌های ۳ و ۴ در تراکم‌های بالا به دلیل وجود رطوبت بیشتر

نگهداری شده در این ستون‌ها و همچنین وجود فرایند پخشیدگی حرکت فسفر بیشتر از تراکم‌های پایین بوده است و در نهایت حرکت فسفر در خاک متراکم چمگیر شده است حرکت پتاسیم در تراکم‌های کم به دلیل وجود منافذ درشت‌تر و حرکت بیشتر آن به همراه آب بوده است.

منابع

1- Affleck, S. B., 1980. Moisture flow optimization in porous media for land leaching and for seedbed design. Ph.D. Thesis. Iowa State Uni., Ames.

2- Baron, L., 1990. Wheel traffic effect on soil compaction. In Proceeding of the International Symposium on Mechanisation and Energy in Agriculture. Adana. Turky. pp, 154-165.

3- Black, C. A., 1968. Soil-plant relationship. John Wiley and Sons. Inc. New York.

4-Boone, F. R., 1986. Towards soil compaction limits for crop growth. Neth. J. Agric. Sci. 34: 349-360.

5- Ellies, A., 2000. Soil erosion and control in Chile-Ano review. Acta Geologica. Hispanica. 35: 279-284.

6- Fuentes, J. P., FLURY, M., HUGGINS, D.R., and BEZDICEK, D.F., 2003. Soil water and nitrogen dynamics in dryland cropping systems of Washington State, USA. Soil Till. Res. 71: 33-47.

7- Gachter, R., NGATIAH, J. M. and STAMM, C., 1998. Transport of phosphate from soil to surface waters by preferential flow. Environ. Qual. 28: 11-24.

8- Gentry, L. E., DAVID, M. E., SMITH, K. M.,and KORACIC, D.A., 2000. Nitrogen fertilizer and herbicide transport from tile drained fields. J. Environ. Qual. 29: 232-240.

9- Heald, W.R., 1995. Calcium and Magnesium. *In* C. A. Black et al (ed.) Methods of soil analysis, part 2. Agronomya, pp 1010. Am. Soc. Agrom., Inc., Madison, WI.

10- Horton, R., ANKENY, M. D. and ALLMARAS, R. R., 1994. Effecs of soil compaction on soil hydraulic properties, p. 141-165. *In* B.D. Soane and C. Van Ouwerkerk (ed.) Soil compaction in crop production. Elsevier Science B. V., Amsterdam, The Netherlands.

11- Larson, W. E., EYNARD, A., HADAS, A. and LIPIEC, J., 1994. Control and avoidance of soil compaction in practice. P, 597-625. *In* B.D. Soane and C. Van Ouwerkerk (ed.) Soil compaction in crop production. Elsevier Science B. V., Amsterdam, The Netherlands.

12- Mclean, E.O. and FRANKLIN, R. E., 1978. Cationic cavity in clay suspension and equilibrium dialysis. Soil Sci. 97: 260-269.

13- Mcnabb, D. H., STARTSEV, A. D. and NGUYEN, H., 2001. Soil wetness and traffic level effects on bulk density and air filled porosity of compacted boreal forest soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 1238-1247.

14- Nadian, H., SMITH, S. E., ALSTON, A. M. and MURRAY, R. S., 1998. Effects of soil compaction on phosphorus uptake and growth of trifolium subterraneum colonized by four species of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytol. 139: 155-165.

15- Nassar, I. N., and R. HORTON. 1999. Salinity and compaction effects on soil water and solute distribution. Soil Sci. Soc. Am. J. 63:752-758.

16- Nelson, R. R., KLAMETH, L.C. and NETTLETON, W. D., 1978. Determinig soil gypsum content and expressing properties of gypsiferous soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 659-661.

17- Olsen, R. S. and SOMMERS, L.E. 1982. Phosphorus. P. 403-430. In Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

18-Paramasivam, S., ALVA, A.K., FARES, A. and SAJWAN, K.S. 2000. Leaching in an Entisol under uptimum citrus production. Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 914-921.

19- Partt, P. F., MORSE. 1954. Sodium releases from exchangeable and non exchangeable from in Ohio Agricultural Expriment Station. Res. Bulliten. 747:238-241.

20- Pal, D. K., P. SARIVASTAVA, S. L. DURGE and T. BHATTACHARYYA 2001. Role of weathering of fine-grained micas in potassium management of Indian soils. Applied Clay Science 20: 39-52.

21- Rhoades, J. D. 1984. Solute content. Method of soil Analysis. Part 1, 2nd Ed. Agronomya. Am. Soc. Agron. Madison WI.

22- Rhoades, J. D. and KRUEGER, B. 1968. Extraction of cations from silicate minerals during the determination of exchangeable cations in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 32: 488-492.

23- Shirmohammadi, A., ULEN, B., BERGSTROM, L.F. and KNISEL, W.G., 1998. Simulation of nitrogen and phosphorus leaching in a structured soil using Gleams and a new submodel, PARTLE. Am. Soc. of Agri. Eng. 41: 353-360.

24- Snyder, C. and SLATON, N. 2002. Effects of soil flooding and drying on phosphorous reaction. News and Views. p, 1-4.

25- Ulen, B., SHIRMOHAMMADI, A. and BERGSTROM L.F. 1998. Phosphorus transport through a clay soil. Journal of Environmental Science and Health. 33:67-82.

26- Unger, P. W. and KASPAR,T.C. 1994. Soil compaction and root growth: A review. Agron. J. 86: 759-766.

27-Van Ouwerkerk, C., Soane, B. D., 1994. Conclusions and recommendations for future research on soil compaction in crop production. P, 627-642. In B.D. Soane and C. Van Ouwerkerk (ed.) Soil compaction in crop production. Elsevier Science B. V., Amsterdam, The Netherlands.

28-Warkentine, B. P, 1971. Effect of compaction on content and transmission of water in soil. I*n* K. K. Barnes et al. (ed.) Compaction of agricultural soils. Am. Soc. Agric. Eng., Michigan.

29-Wolkowski, R. P., 1990. Relationship between wheel traffic induced soil compaction, nutrient availability and crop growth: A review. J. of crop pro. Agri. 4: 460-469.

30- Zhange, Q., Zhao, G., Horton, R., Baumgartl, T., 2001. Shear strength of surface soil as affected by soil bulk density and soil water content. Soil Till. Res. 54: 97-106.