

## حرکت شکل های مختلف نیتروژن در خاک تحت تاثیر مقادیر مختلف کود اوره در سیستم کودآبیاری ذرت در شمال خوزستان

نرجس سروش<sup>۱</sup>، غلامعباس صیاد<sup>۲\*</sup>، عبدالامیر معزی<sup>۳</sup> و محمد خرمیان<sup>۴</sup>

۳-۱- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز  
\*۲- نویسنده مسؤل: استادیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز (gsayyad@scu.ac.ir)

۴- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد دزفول

تاریخ دریافت: ۸۹/۹/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۱۷

### چکیده

نیتروژن از جمله عناصر اصلی مورد نیاز گیاهان و مؤثر در حاصل خیزی خاک است. میزان نیتروژن قابل دسترس خاک در اکوسیستم های کشاورزی در نتیجه جذب نیترات و آمونیوم توسط گیاهان و میکروبی های خاک، اتلاف از طریق آبشویی، نیترات زدایی و تصعید تغییر می کند. میزان مصرف کود تأثیر زیادی بر حرکت نیتروژن و سرنوشت آن در خاک دارد. به منظور بررسی تأثیر مقادیر مختلف کود اوره بر حرکت و توزیع سه فرم نیتروژن (نیترات، آمونیوم و نیتروژن کل) خاک، آزمایشی در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی به صورت کرت های یک بار خرد شده با سه تکرار در مرکز تحقیقات صفی آباد دزفول انجام گرفت. تیمارها شامل سه سطح کودی ۱۵۰، ۲۲۵ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود که در دو مرحله یعنی پس از کشت و مرحله ۶ تا ۸ برگی ذرت به روش کودآبیاری در اختیار گیاه قرار گرفت. نمونه های خاک ۸ تا ۱۰ روز قبل و پس از هر کودآبیاری از عمق های ۳۰-۶۰، ۹۰-۱۲۰ و ۱۲۰-۹۰ سانتی متر برداشت شد و غلظت نیترات و آمونیوم آن ها به روش تقطیر بخار آب و غلظت نیتروژن کل با استفاده از دستگاه کجداال اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که مصرف کود، باعث افزایش غلظت نیترات و نیتروژن کل خاک شد به طوری که بیش ترین افزایش در تیمار ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. سنگینی بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری بالا و آبیاری بهینه حرکت نیترات به لایه های زیرین خاک را محدود نمود و بیش ترین غلظت نیترات در لایه ۳۰-۶۰ سانتی متری خاک مشاهده شد. غلظت آمونیوم در خاک به وسیله میزان کود تحت تاثیر قرار نگرفت و تغییرات آن در طول نیمرخ خاک نامنظم بود.

**کلید واژه ها:** نیترات، آمونیوم، نیتروژن کل، ذرت، کودآبیاری، آبشویی نیتروژن

### مقدمه

کشاورزی و جنگلی توسط میزان نیتروژن قابل دسترس محدود می شود. نیتروژن در خاک به دو شکل آلی و معدنی یافت می شود. نیتروژن آلی بیش از ۹۰ درصد از نیتروژن کل خاک را تشکیل می دهد و برای گیاهان قابل جذب نیست. نیتروژن معدنی شامل نیترات، آمونیوم، نیتريت و آمونیاک است با این تفاوت که نیترات و آمونیوم به سهولت توسط گیاه جذب می شوند؛ در حالی

نیتروژن عنصری اصلی و حیاتی برای موجودات زنده است و نقش مهمی را در ترکیب، ساختمان و عملکرد اکوسیستم ها ایفا می نماید. این عنصر از جمله عناصر کلیدی مورد نیاز گیاه است و در ساختمان کلروفیل، اسیدهای آمینه و پروتئین ها نقش های عمده ای را بر عهده دارد. حاصل خیزی و پویایی بسیاری از اکوسیستم های

بررسی کرده و دریافته اند که با افزایش میزان کود غلظت نیترات در لایه ۰ تا ۱۰۰ سانتی متری خاک افزایش یافت؛ اما غلظت آمونیوم به وسیله میزان کود تحت تأثیر قرار نگرفت. در حالی که برخی دیگر از محققان تجمع نیتروژن در لایه های سطحی خاک و عدم انتقال آن به افق های پایین تر در خاک های سنگین بافت را گزارش نموده اند. نوواکاو و ناگل<sup>۹</sup> (۲۰۰۹) حرکت نیترات در یک خاک لوم رسی با هدایت هیدرولیکی پایین تحت تاثیر مقادیر مختلف کود نیتروژن و آب آبیاری را مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادند با افزایش عمق خاک غلظت نیترات کاهش یافت و جذب نیترات توسط گیاه بر حرکت آن به لایه های زیرین خاک فزونی داشت. سادج و زکواز<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۷) با بررسی تأثیر کودهای نیتروژن دار معدنی و آلی بر غلظت نیتروژن نیتراتی، آمونیومی و نیتروژن کل خاک دریافته اند که کود تأثیر معنی دار بر افزایش غلظت شکل های مختلف نیتروژن در نیمرخ خاک داشت. همچنین بیش ترین افزایش غلظت در لایه های بالایی نیمرخ خاک صورت گرفت و با افزایش عمق خاک مقدار نیتروژن کاهش یافت. در آزمایش آن ها به دلیل آب و هوای معتدل، نیتروژن آمونیومی شکل غالب نیتروژن معدنی بود. در سه دهه اخیر غلظت نیترات در آب های زیرزمینی ایران افزایش یافته و در بعضی مناطق به ۵۰ میلی گرم در لیتر رسیده است. تحقیقات نشان داده که غلظت نیترات در آب چاه های کشاورزی همدان (که غالباً برای شرب نیز استفاده می شوند) بین ۲ تا ۲۵۲ میلی گرم در لیتر و متوسط غلظت نیترات در ۳۲۱ چاه نمونه برداری شده ۴۹ میلی گرم در لیتر است که نشان دهنده میزان زیاد نیترات در آب های مذکور است (جلالی<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۵). بهمنی (۱۳۸۵) آبشویی نیترات در کشت و صنعت نیشکر در خوزستان را مورد بررسی قرار داد و دریافت که

که آمونیاک و نیتريت برای گیاه سمی می باشند (گالووی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴؛ هیومن و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۲).

کارایی استفاده از کودهای نیتروژنی در تولید غلات در سطح جهانی ۳۳ درصد محاسبه شده است (ران و جانسن<sup>۳</sup>، ۱۹۹۹). نیتروژنی که توسط گیاه جذب نمی شود، در معرض هدررفت از طریق نیترات زدایی، رواناب، تصعید و آبشویی قرار دارد. چنین هدررفتی نگرانی درباره آلودگی آب و انتشار گازهای گلخانه ای را افزایش می دهد (بلی لوک و داوبانکو<sup>۴</sup>، ۲۰۰۵). نیترات در زمره شایع ترین آلاینده های آب زیر زمینی قرار دارد و آب آشامیدنی با غلظت نیترات بیش از حد مجاز با تأثیرات منفی متعدد مانند نقص مادرزادی، سرطان، آسیب به سیستم عصبی و بیماری مت هموگلوبینمیا همراه است (جمیسن و فاکس<sup>۵</sup>، ۱۹۹۴؛ کینی<sup>۶</sup>، ۱۹۸۷). سازمان سلامت جهانی (WHO) و جامعه اروپایی (EC) حد مجاز نیترات در آب آشامیدنی را ۵۰ میلی گرم در لیتر اعلام نموده اند. محققان مطالعات فراوانی در زمینه حرکت نیتروژن در مجموعه به هم پیوسته خاک-گیاه انجام داده اند. حاصل این مطالعات نشان می دهد که سرنوشت نیتروژن در مجموعه گیاه-خاک بستگی به عوامل مختلف گیاهی، اقلیمی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، میزان کاربرد کود و همچنین مدیریت آبیاری دارد (مالهای و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۰۱). برخی از محققان افزایش آبشویی نیتروژن با افزایش کاربرد کود را اعلام کرده اند. فانگ و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۰۶) تأثیر میزان کود نیتروژن و آب آبیاری بر آبشویی نیترات و آمونیوم در تناوب ذرت- گندم را

1- Galloway *et al.*2- Heumann *et al.*

3- Raun &amp; Johnson

4- Blaylock &amp; Dowbonko

5- Jemison &amp; Fox

6- Keeney

7- Malhi *et al.*8- Fang *et al.*

9- Novokova &amp; Nagel

10- Sadej &amp; Przekwas

11- Jalali

A حدود ۲۴۰۰ میلی متر و بیشترین تبخیر در ماه های تیر و مرداد و به میزان ۴۰۰ میلی متر اتفاق می افتد. این تحقیق در قالب طرح آماری بلوک های کامل تصادفی به صورت کرت های یکبار خرد شده در سه تکرار صورت گرفت. طول هر کرت ۱۱۰ متر و عرض آن ۳ متر بود. آزمایش بر روی ذرت دانه ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ که جزو ارقام دیررس می باشد، صورت پذیرفت. تیمارها شامل کود نیتروژن به مقدار ۱۵۰ ( $N_1$ )، ۲۲۵ ( $N_2$ ) و ۳۰۰ ( $N_3$ ) کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع کود اوره بودند. تیمارهای نیتروژن در دو تقسیط یعنی مرحله اول بلافاصله پس از کشت و مرحله دوم در زمان ۶ تا ۸ برگی به مقدار یکسان به روش کودآبیاری مورد استفاده قرار گرفتند. برای اجرای کودآبیاری از بشکه های ۲۲۰ لیتری مجهز به شیر فلکه ۱ اینچ استفاده شد. عمل اختلاط کامل کود و آب در بشکه انجام شد. آب و کود در حین آبیاری توسط لوله پلی اتیلنی که از قبل سوراخ شده و ابتدای آن به پایین بشکه متصل شده بود به جویچه های هر تیمار تزریق شد. آبیاری به صورت جویچه ای با راندمان ۶۰ تا ۷۰ درصد انجام شد. نحوه کار توسط خرمیان و همکاران (۱۳۹۰) تشریح شده است. نمونه های خاک قبل از هر مرحله کود آبیاری و ۸ تا ۱۰ روز پس از آن از عمق های ۰-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰، ۹۰-۱۲۰ و ۱۲۰-۹۰ سانتی متر برداشت شدند و پس از انتقال به آزمایشگاه جهت تعیین غلظت نترات و آمونیوم به وسیله روش تقطیر بخار آب مورد تجزیه قرار گرفتند (برمنر و کینی<sup>۱</sup>، ۱۹۶۵). میزان نیتروژن کل خاک و نیز غلظت نیتروژن در گیاه با استفاده از دستگاه کجلدال تعیین گردید. تجزیه و تحلیل آماری داده ها به کمک نرم افزار MSTATC صورت گرفت و از آزمون دانکن جهت مقایسه میانگین ها استفاده شد. نمودارهای مورد نیاز به وسیله نرم افزار EXCEL رسم گردیدند.

شستشوی نترات با میزان آب آبیاری و میزان مصرف نیتروژن رابطه مستقیمی دارد و با افزایش مقدار آب و کود نیتروژن آبتشویی نترات افزایش می یابد.

استان خوزستان به خصوص مناطق شمالی (منطقه مورد مطالعه) با دارا بودن منابع غنی آب و خاک از قطب های کشاورزی ایران می باشد. ذرت در این منطقه یکی از گیاهانی است که به صورت تناوب با گندم به طور معمول کشت می شود. با توجه به نکات فوق، مصرف زیاد کودهای نیتروژنی همراه با آبیاری با کارایی کم در اراضی کشاورزی استان احتمالاً باعث آبتشویی نترات و در نتیجه آلودگی آب های زیر زمینی می شود که این پدیده می تواند تهدیدی جدی برای سلامت انسان و جانداران دیگر باشد؛ بنابراین اطلاع از توزیع شکل های مختلف نیتروژن و چگونگی حرکت آن ها در خاک از اهمیت بالایی برخوردار است و می تواند راهنمایی برای مصرف بهینه کود در جهت کاهش آلودگی منابع آبی و کشاورزی پایدار باشد. نظر با آن که مطالعات اندکی در ارتباط با حرکت شکل های مختلف نیتروژن در خاک های آهکی ایران صورت گرفته است؛ لذا این تحقیق به منظور بررسی تأثیر سه مقدار مختلف کود نیتروژنی بر چگونگی توزیع و حرکت نترات، آمونیوم و نیتروژن کل در یک خاک لوم رسی سیلتی تحت کشت ذرت در شمال خوزستان انجام شد.

### مواد و روش ها

طرح مورد نظر در مرکز تحقیقات صفی آباد دزفول واقع در شمال استان خوزستان با مشخصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۶ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی با ۸۲/۹ متر ارتفاع از سطح دریا اجرا شد. متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۳۴۵ میلی متر با بیشترین بارندگی در بهمن ماه می باشد. مرداد با میانگین درجه حرارت ۳۹/۵ درجه سانتی گراد گرم ترین و دی ماه با میانگین درجه حرارت ۱۲ درجه سانتی گراد سردترین ماه سال می باشد. میزان تبخیر سالیانه از تشت تبخیر کلاس

### نتایج و بحث

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش در جدول (۱) آورده شده است. بافت خاک در لایه ۰-۳۰ سانتی متری لوم رسی سیلتی و در سه لایه بعدی لوم رسی می باشد. لایه ۳۰ تا ۶۰ سانتی متری با ۱/۷ گرم بر سانتی متر مکعب بیش ترین جرم مخصوص ظاهری را به خود اختصاص داده است.

### تأثیر کود نیتروژن بر ماده خشک و میزان جذب نیتروژن گیاه

در اوایل دوره رشد ذرت یعنی ۱۰ روز پس از کشت، افزایش کود نیتروژن با افزایش ماده خشک در هر سه تیمار همراه بود (شکل ۱). در این مرحله تیمار  $N_3$  ماده خشک بیش تری (۹/۹۴ کیلوگرم در هکتار) نسبت به دو تیمار دیگر (۶ و ۵/۵۸ کیلوگرم در هکتار) داشت. ۱۰ تا ۳۸ روز پس از کشت تجمع ماده خشک نسبت به مرحله قبل افزایش یافت، و سرعت تولید ماده خشک در سه تیمار به صورت  $N_3 < N_2 < N_1$  بود (شکل ۱). احتمالاً اثر منفی مقادیر زیاد نیتروژن کاربردی را می توان دلیل این روند ذکر نمود. واین و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۷) نیز چنین نتیجه ای به دست آوردند. این محققان اعلام کردند که تا روز هفدهم پس از کشت با افزایش میزان کود نیتروژن میزان ماده خشک تولیدی نیز افزایش یافت؛ یعنی از روز هفدهم به بعد کاربرد کود تا سطح ۱۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با افزایش ماده خشک همراه بود اما زمانی که میزان کود به ۲۱۰ کیلوگرم در هکتار رسید از مقدار ماده خشک تولیدی کاسته شد. جذب نیتروژن توسط گیاه در اوایل دوره رشد یعنی ۱۰ روز پس از کشت (مرحله ۲ تا سه برگی) در هر سه تیمار کم بود زیرا ذرت در اوایل فصل رشد به دلیل سطح برگ کم، نیتروژن کمی را جذب نمود. مقدار نیتروژن جذب شده در تیمارهای  $N_1$ ،  $N_2$  و  $N_3$  در این مرحله به ترتیب ۰/۱۷، ۰/۲۵ و ۰/۴۴ کیلوگرم در هکتار بود و بین هر سه

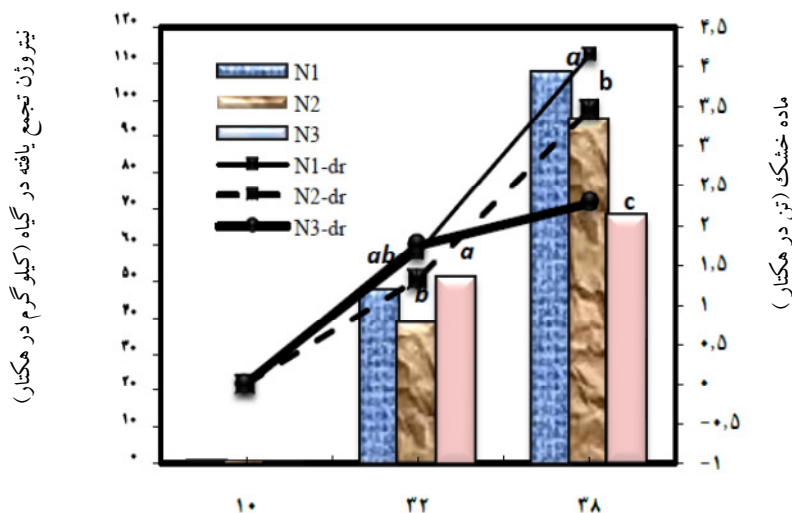
تیمار اختلاف معنی دار وجود داشت (جدول ۲، شکل ۱). از ۱۰ تا ۳۲ روز پس از کشت که مصادف با مرحله ۶ تا ۸ برگی ذرت بود، به دلیل رشد سریع ذرت، جذب نیتروژن در هر سه تیمار افزایش یافت و همچنان تیمار  $N_3$  بالاترین جذب نیتروژن را داشت؛ اگرچه اختلاف معنی داری در جذب نیتروژن در تیمارهای مختلف وجود نداشت (جدول ۲، شکل ۱). این نتیجه با نتایج الکیسی و واین<sup>۲</sup> (۲۰۰۳) همخوانی دارد. جذب نیتروژن در مرحله ۸ تا ۱۰ برگی ذرت یعنی ۳۲ تا ۳۸ روز پس از کشت همچنان به شدت انجام گرفت. در این مرحله سرعت تولید ماده خشک در تیمار  $N_3$  در مقایسه با دو تیمار دیگر کاهش یافت و به دنبال کاهش تولید ماده خشک از میزان جذب نیتروژن نیز کاسته شد. اختلاف معنی داری بین تیمارها در این مرحله وجود نداشت (شکل ۱، جدول ۲).

### تأثیر میزان کود بر غلظت نترات و آمونیوم خاک

تأثیر میزان کود بر غلظت نترات خاک در هر سه مرحله نمونه برداری ( $AF_1$ ،  $BF_2$ ،  $AF_2$ ) در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود؛ اما میزان کود تأثیر معنی داری بر غلظت آمونیوم خاک نداشت (جدول ۳). قبل از کودآبیاری اول متوسط غلظت نترات خاک در کرت های آزمایشی ۶/۱۱ میلی گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۱). در مرحله  $AF_1$  که ۸ روز پس از کودآبیاری اول انجام گرفت، غلظت نترات در همه تیمارها به دلیل کاربرد کود افزایش یافت (جدول ۴). در این مرحله تیمار  $N_3$  با دو تیمار  $N_2$  و  $N_1$  اختلاف معنی دار داشت و از بیش ترین غلظت نترات برخوردار بود؛ اما بین دو تیمار  $N_1$  و  $N_2$  اختلافی مشاهده نشد. ذرت در اوایل دوره رشد به دلیل سطح برگ کم، نیتروژن کمی را جذب نمود (شکل ۱). بنابراین قسمت قابل توجه از

جدول ۱- برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مورد مطالعه قبل از شروع آزمایش

عمق خاک (سانتی متر)	کربن آلی (%)	آمونیم (میلی گرم بر کیلوگرم)	نیترات (میلی گرم بر کیلوگرم)	شن (%)	رس (%)	سیلت (%)	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر) (دسی زمینس بر متر)	هدایت الکتریکی (دسی زمینس بر متر)
۰-۳۰	۰/۷۵	۵/۰۵	۱۲/۰۶	۱۸	۳۶/۵	۴۵/۵	۱/۶۵	۱/۳
۳۰-۶۰	۰/۵	۵/۲۹	۳/۷۸	۳۳/۴	۳۴/۵	۳۲	۱/۷	۰/۲۷
۶۰-۹۰	۰/۴۷	۳/۰۲	۵/۱۶	۳۶/۸	۳۱/۸	۳۱/۳	۱/۶۶	۰/۶۹
۹۰-۱۲۰	۰/۳۴	۳/۰۲	۳/۴۴	۲۸/۷	۲۹/۷	۴۱/۶	۱/۶۴	۰/۶۳



خطوط نماینده ماده خشک و ستون ها جذب نیتروژن را نشان می دهند.

شکل ۱- تأثیر کود نیتروژن بر تجمع ماده خشک و نیتروژن گیاه

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر کاربرد تیمارها بر نیتروژن برداشت شده گیاه

منبع تغییرات	درجه آزادی	V <sub>1</sub>	V <sub>6</sub>	V <sub>10</sub>
تکرار	۲	۰/۰۰۳	۲/۷۷۴	۴۲۰/۷۳
تیمار	۲	۰/۰۵۵**	۱۲۴/۸۸ <sup>ns</sup>	۱۲۰۷/۳۴ <sup>ns</sup>
خطا	۴	۰/۰۰۲	۲۴/۸۲	۲۸۴/۸۲
ضریب تغییرات	(%)	۱۶/۰۳	۱۰/۹	۱۸/۷۷

V<sub>1</sub>: ۱۰ روز پس از کشت، V<sub>6</sub>: ۳۲ روز پس از کشت، V<sub>10</sub>: ۳۸ روز پس از کشت

ns: غیر معنی دار

سروش و همکاران: حرکت شکل های مختلف نیتروژن در خاک تحت تاثیر...

جدول ۳- تجزیه واریانس غلظت نیترات و آمونیوم خاک پس از سه مرحله نمونه برداری

منبع تغییرات	درجه آزادی	AF <sub>1</sub>	BF <sub>2</sub>	AF <sub>2</sub>	AF <sub>1</sub>	BF <sub>2</sub>	AF <sub>2</sub>
تکرار	۲	۰/۸۲۷	۰/۲۰۱	۰/۴۶۴	۰/۲۵۷	۰/۴۳۴	۰/۰۲۸
میزان کود	۲	۵۰/۲۱۵۰**	۱۶/۲۹۱**	۱۹/۱۵**	۳/۳۳۱ <sup>ns</sup>	۰/۲۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۶۰۳ <sup>ns</sup>
خطا (a)	۴	۰/۷۸۷	۰/۴۳۹	۰/۵۲۴	۱/۷۷۴	۱/۳۸۲	۰/۳۰۵
عمق	۳	۳۸۲/۱**	۴۷/۰۰۸**	۳۶۰/۹۶**	۰/۳۴۷ <sup>ns</sup>	۰/۷۵۹ <sup>ns</sup>	۰/۸۵۲ <sup>ns</sup>
کود×عمق	۶	۸/۶۵۵**	۱/۷۹۸*	۳/۹۵**	۰/۶۹۳ <sup>ns</sup>	۰/۸۱۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۹۳ <sup>ns</sup>
خطا (b)	۱۸	۰/۵۴	۰/۵۱۲	۰/۵۶۹	۰/۳۳۷	۰/۵۶۶	۰/۳۳۴
ضریب تغییرات (%)	۹/۰۸	۱۱/۱۴	۸/۴۷	۸/۴۷	۱۷/۰۱	۱۷/۶۶	۲۰/۱۲

جدول ۴- تاثیر میزان کود بر غلظت نیترات و آمونیوم خاک در طول رشد ذرت

تیمار	اولین نمونه برداری <sup>۱</sup> (AF <sub>1</sub> )	دومین نمونه برداری <sup>۲</sup> (BF <sub>2</sub> )	سومین نمونه برداری <sup>۳</sup> (AF <sub>2</sub> )	اولین نمونه برداری (AF <sub>1</sub> )	دومین نمونه برداری (BF <sub>2</sub> )	سومین نمونه برداری (AF <sub>2</sub> )
	غلظت نیترات (میلی گرم بر کیلوگرم)			غلظت آمونیوم (میلی گرم بر کیلوگرم)		
N <sub>1</sub>	۶/۶۸۳ b	۵/۵۶۵ b	۷/۷۵۱ c	۴/۲۷۰ a	۳/۵۴۵ a	۲/۶۱ a
N <sub>2</sub>	۷/۱۴۶ b	۵/۹۵۸ b	۸/۷۱۲ b	۴/۳۷۰ a	۲/۵۸۱ a	۲/۹۸ a
N <sub>3</sub>	۱۰/۴۳ a	۷/۷۵۱ a	۱۰/۲۶ a	۴/۱۲۰ a	۳/۵۷۱ a	۳/۰۱ a

۱= پس از کود آبیاری اول، ۲= قبل از کود آبیاری دوم ۳= پس از کود آبیاری دوم در هر ستون میانگین ها بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی دار دارند.

صورت گرفت (شکل ۱). از آن جایی که سومین نمونه برداری (AF<sub>2</sub>) ۱۰ روز پس از دومین کود آبیاری انجام گرفت، انتظار می رفت که غلظت نیترات خاک به دلیل جذب بالای گیاه در مقایسه با نمونه برداری های قبلی کاهش یابد در حالی که این امر اتفاق نیفتاد. افزایش میزان نیترات خاک پس از این مرحله کود آبیاری احتمالاً با میزان نیترات اولیه بیش تر خاک (باقی مانده از کود آبیاری اول) و نیترات سازی بالا به دلیل شرایط رطوبتی و دمایی مناسب خاک، مرتبط بود. بنابراین پس از کود آبیاری دوم غلظت نیترات خاک در هر سه تیمار افزایش یافت که این افزایش در مقایسه با کود آبیاری

نیترات حاصل از کود اوره در خاک باقی ماند و چون در تیمار N<sub>3</sub> کود بیش تری به کار رفته بود، مقدار نیترات باقی مانده در خاک بیش از دو تیمار دیگر بود (جدول ۴). در مرحله BF<sub>2</sub> (قبل از کاربرد کود دوم) به واسطه جذب گیاه، غلظت نیترات در هر سه تیمار کاهش یافت و همچنان دو تیمار N<sub>1</sub> و N<sub>2</sub> با تیمار N<sub>3</sub> اختلاف معنی دار داشتند. در مرحله AF<sub>2</sub> (پس از کاربرد کود آبیاری دوم) بین غلظت نیترات خاک در هر سه تیمار مورد مطالعه اختلاف معنی دار وجود داشت (جدول ۴). جذب نیتروژن توسط گیاه در مرحله AF<sub>2</sub> (۶ تا ۸ برگی) در هر سه تیمار بالا بود و بیش ترین جذب در تیمار N<sub>1</sub>

خشک مانند خوزستان به دلیل تبخیر و تعرق بالا این امکان وجود دارد که بر اثر صعود موئینه‌ای همراه با آب مجدداً به قسمت بالایی نیمرخ خاک انتقال یابد. کارانتز و همکاران<sup>۴</sup> (۱۹۴۳) تجمع نیترات در لایه‌های بالایی نیمرخ خاک را طی فصول خشک گزارش نمودند. همچنین رحمان و همکاران<sup>۵</sup> (۱۹۹۹) پدیده انتقال نیترات را به بخش‌های فوقانی نیمرخ خاک در دوره‌های خشک تأیید نمودند و اعلام کردند که این پدیده قسمتی از یک رویداد طبیعی بر خلاف حرکت نیترات از ناحیه ریشه به لایه‌های پایین تر خاک می‌باشد و اتلاف نیترات و آلودگی آب‌های زیر زمینی را کاهش می‌دهد. عمق خاک تأثیر معنی‌داری بر غلظت آمونیوم خاک در هیچ یک از مراحل نمونه‌برداری نداشت. توزیع آمونیوم در طول نیمرخ خاک در مراحل مختلف نمونه‌برداری تقریباً یکنواخت بود (جدول ۳ و ۵).

#### اثرات متقابل میزان کود و عمق بر غلظت نیترات و آمونیوم خاک

تأثیرات اثر متقابل میزان کود و عمق بر غلظت نیترات خاک در  $BF_2$  در سطح احتمال ۵ درصد و در دو مرحله دیگر در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۳). بالاترین غلظت نیترات در تمامی مراحل نمونه برداری به تیمار  $N_3$  و لایه ۶۰-۰ سانتی متری خاک اختصاص داشت. اختلاف غلظت نیترات در لایه ۱۲۰-۶۰ سانتی متری خاک بین تیمارهای  $N_1$ ،  $N_2$  و  $N_3$  در اغلب موارد معنی دار نبود (شکل ۲). خاک مورد مطالعه حاکی متراکم با جرم مخصوص ظاهری بالا بود (جدول ۱). جرم مخصوص ظاهری بالای خاک بخصوص در لایه ۶۰-۳۰ سانتی متری می‌تواند دلیلی بر تجمع نیترات در لایه‌های بالایی نیمرخ خاک باشد. اوتمن و پاپ<sup>۶</sup> (۲۰۰۰) مشاهده کردند که میزان کود نیتروژن تأثیری بر

اول بیش تر بود. دایز و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۶) گزارش کردند که در خاک‌های تحت آبیاری، معدنی شدن خالص در فصل تابستان به دلیل رطوبت و شرایط دمایی مناسب بالاست و حتی در خاک‌های با محتوای پایین مواد آلی، معدنی شدن می‌تواند بالا باشد. سانچز و همکاران<sup>۲</sup> (۱۹۹۸) بیان نمودند که معدنی شدن خالص طی فصل رشد ذرت در یک خاک لوم شنی تحت آبیاری ۱۶۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. میزان کود تأثیر معنی‌داری بر غلظت آمونیوم در هیچ یک از مراحل نمونه‌برداری نداشت و غلظت آمونیوم در مقایسه با نیترات ناچیز بود (جدول ۳). از آن جایی که نمونه‌برداری از خاک ۸ تا ۱۰ روز پس از کودآبیاری‌ها صورت گرفت و با توجه به شرایط رطوبتی، دمایی و pH مناسب محیط، احتمالاً قسمت قابل توجه آمونیوم حاصل از فرایند هیدرولیز کود اوره، طی فرایند نیترات سازی سریعاً به نیترات تبدیل شد و مقدار آمونیوم باقی مانده در خاک ناچیز بود. زو و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۶) تغییر شکل کود اوره را مورد بررسی قرار دادند و مشاهده کردند که روز اول پس از کودآبیاری با اوره، غلظت نیتروژن آمونیومی در خاک افزایش یافت، در روز پنجم به حداکثر رسید، و در روز دهم پس از کودآبیاری در نتیجه نیترات‌سازی مجدداً کاهش یافت.

#### تأثیر عمق بر غلظت نیترات و آمونیوم خاک

تأثیر عمق بر غلظت نیترات در مراحل مختلف نمونه‌برداری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در تمامی مراحل نمونه‌برداری با افزایش عمق خاک، غلظت نیترات کاهش یافت و بیش‌ترین غلظت نیترات در عمق ۰-۳۰ سانتی متری مشاهده شد (جدول ۵). اگرچه نیترات آنیون بوده و همراه با آب در خاک به سمت پایین انتقال می‌یابد؛ اما در مناطق گرم و

4- Karantz *et al.*  
5- Rehman *et al.*  
6- Ottman & Pope

1- Diez *et al.*  
2- Sanchez *et al.*  
3- Zhou *et al.*

سروش و همکاران: حرکت شکل های مختلف نیتروژن در خاک تحت تاثیر...

### جدول ۵- تأثیر عمق خاک بر غلظت نیترات و آمونیوم

عمق خاک	اولین نمونه برداری (AF <sub>1</sub> )	دومین نمونه برداری (BF <sub>2</sub> )	سومین نمونه برداری (AF <sub>2</sub> )	اولین نمونه برداری (AF <sub>1</sub> )	دومین نمونه برداری (BF <sub>2</sub> )	سومین نمونه برداری (AF <sub>2</sub> )
	غلظت نیترات (میلی گرم بر کیلوگرم)			غلظت آمونیوم (میلی گرم بر کیلوگرم)		
۰-۳۰	۱۷/۸۱ a	۹/۶۷ a	۱۸/۳۵ a	۴/۵۳ a	۳/۳۲ a	۳/۳۲ a
۳۰-۶۰	۵/۷۷۴ b	۶/۲۸۹ b	۶/۷۶۲ b	۴/۴۹ a	۳/۴۱ a	۲/۷۸ ab
۶۰-۹۰	۴/۲۶۳ c	۵/۲۱۷ c	۵/۱۹۱ c	۴/۰۳ a	۲/۶ b	۲/۶۲ b
۹۰-۱۲۰	۴/۵۰۳ c	۴/۵۱۷ d	۵/۳۲۶ c	۴/۵۱ a	۳/۵۹ a	۲/۷۵ ab

در هر ستون میانگین ها بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی دار دارند.

جلوگیری از خروج کود از انتهای مزرعه، مدت آبیاری کوتاه و به اندازه زمان رسیدن جبهه آب به انتهای مزرعه انتخاب شد. این شیوه باعث شد تا رطوبت خاک که عامل مؤثر در فرایند حرکت نیترات در خاک است، پس از هر بار کودآبیاری در لایه‌های پایین تر از عمق توسعه ریشه ذرت (عمق ۶۰ سانتی متر) افزایش نیابد (خرمیان و همکاران ۱۳۹۰). تأثیر اثرات متقابل میزان کود و عمق بر غلظت آمونیوم خاک در هیچ یک از مراحل نمونه برداری معنی دار نبود (شکل ۲). شرایط مساعد فیزیکی و شیمیایی خاک باعث شد تا احتمالاً تبدیل آمونیوم کود اوره به ترکیبات دیگر با سرعت بیش تری صورت گیرد.

#### تأثیر میزان کود و عمق بر غلظت نیتروژن کل خاک

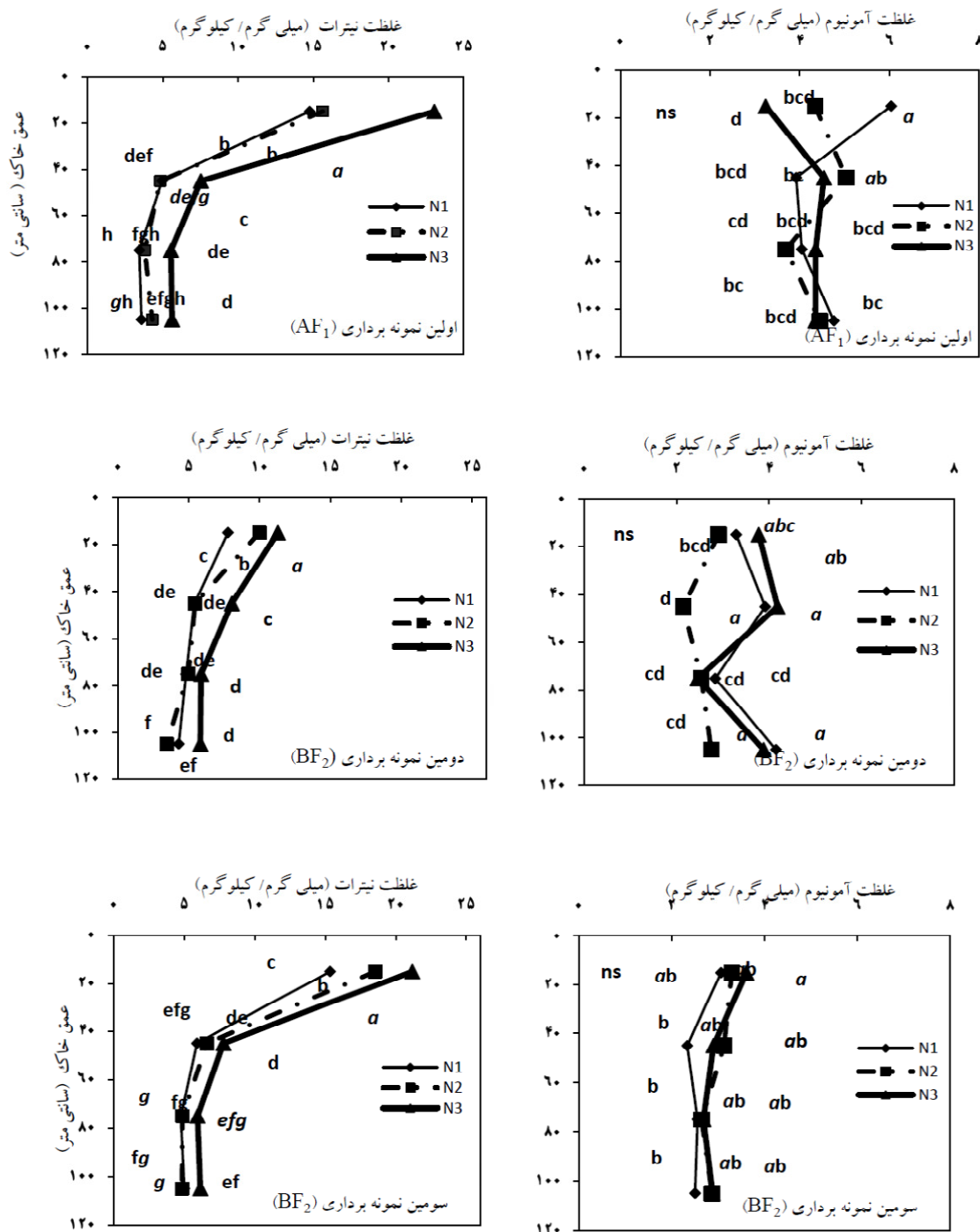
تأثیر میزان کود بر غلظت نیتروژن کل خاک در مرحله AF<sub>1</sub> در سطح احتمال ۱ درصد و در مراحل BF<sub>2</sub> و AF<sub>2</sub> در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۶). غلظت نیتروژن پس از مراحل کودآبیاری یعنی اولین و سومین نمونه برداری (AF<sub>1</sub> و BF<sub>2</sub>) مشابه با غلظت نیترات افزایش و قبل از کودآبیاری یعنی در دومین نمونه برداری (BF<sub>2</sub>) به دلیل جذب گیاه و سایر تلفات مانند تصعید و نیترات زدایی کاهش یافت (جدول ۷). در هر سه مرحله نمونه برداری بالاترین غلظت نیتروژن خاک به

عمق حرکت نیترات در خاک طی فصل رشد گندم نداشت و به دلیل سنگینی بافت خاک قسمت قابل توجه نیترات در لایه های بالایی نیمرخ خاک باقی ماند. همچنین ستیا و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۶) کاهش نیتروژن معدنی خاک با افزایش عمق خاک را گزارش نمودند و اعلام کردند که میزان کود نیتروژن غلظت نیترات خاک را فقط تا عمق ۴۵ سانتی متری تحت تاثیر قرار داد. ظرفیت نگه داری پایین و هدایت هیدرولیکی بالا که در خاک های شنی مشاهده می شود، برای آبتوبی نیترات مطلوب می باشد در حالی که خاک مورد مطالعه، خاکی با بافت لوم سیلتی رسی بود و از هدایت هیدرولیکی پایین (۶ سانتی متر در روز) و ظرفیت نگهداری بالا برخوردار بود. بنابراین حرکت آب و املاح از جمله نیترات در چنین خاکی کند بود و قسمت قابل توجه از نیترات در عمق ۰-۳۰ سانتی متری خاک تجمع یافت. جینس و جینس<sup>۲</sup> (۱۹۹۴) نشان دادند که بافت خاک به صورت آشکار نگهداری یا آبتوبی نیترات در خاک را تحت تاثیر قرار می دهد. آبیاری بهینه و متناسب با نیاز آبی ذرت از دیگر عواملی بود که از هدررفت کود به صورت آبتوبی جلوگیری نمود؛ لازم به توضیح است که در مراحل کودآبیاری برای

1- Setia et al.

2- Gaines & Gaines





شکل ۲ - اثرات متقابل میزان کود و عمق بر غلظت نیترات و آمونیوم خاک پس از سه نمونه برداری

سروش و همکاران: حرکت شکل های مختلف نیتروژن در خاک تحت تاثیر...

تأثیر عمق بر غلظت نیتروژن خاک در هر سه مرحله نمونه برداری در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۶). پس از مراحل کودآبیاری (اولین، سومین نمونه برداری) غلظت نیتروژن در عمق های مورد بررسی در مقایسه با مرحله پیش از کودآبیاری افزایش یافت. افزایش عمق خاک با کاهش غلظت نیتروژن توأم بود (شکل ۳). چنین حالتی در غالب خاک ها حتی خاک های غیر کشاورزی مانند چمنزارها و مراتع نیز مشاهده می شود؛ زیرا تجمع نیتروژن در خاک با تجمع مواد آلی رابطه نزدیک دارد و از آن جایی که بخش عمده نیتروژن کل خاک از مواد آلی ناشی می شود و به دلیل این که با افزایش عمق خاک میزان ماده آلی کاهش می یابد (جدول ۱)؛ بنابراین مقدار نیتروژن کل نیز کم می شود (شکل ۳).

تیمار  $N_3$  مربوط بود. در مرحله  $AF_1$  و  $BF_2$ ، تیمارهای  $N_2$  و  $N_3$  با تیمار  $N_1$  اختلاف معنی دار داشتند؛ اما بین تیمار  $N_2$  و  $N_3$  اختلاف معنی داری وجود نداشت (جدول ۷). در این دو مرحله ذرت ظرفیت چندانی برای جذب نیتروژن نداشت (شکل ۱) و در نتیجه در تیمارهای  $N_2$  و  $N_3$  قسمت قابل توجهی از کود مصرف شده در خاک باقی ماند و اختلاف معنی داری بین آن ها وجود نداشت. سومین نمونه برداری ۹ روز پس از کودآبیاری دوم و در مرحله ۶ تا ۸ برگی ذرت انجام گرفت. در این مرحله به دلیل کاربرد کود مجدداً غلظت نیتروژن خاک در هر سه تیمار افزایش یافت و بین آن ها اختلاف معنی دار وجود داشت؛ اما این افزایش در مقایسه با مرحله  $AF_1$  کمتر بود؛ زیرا جذب نیتروژن توسط گیاه در مرحله ۶ تا ۸ برگی بیش از مراحل اولیه بود (جدول ۷).

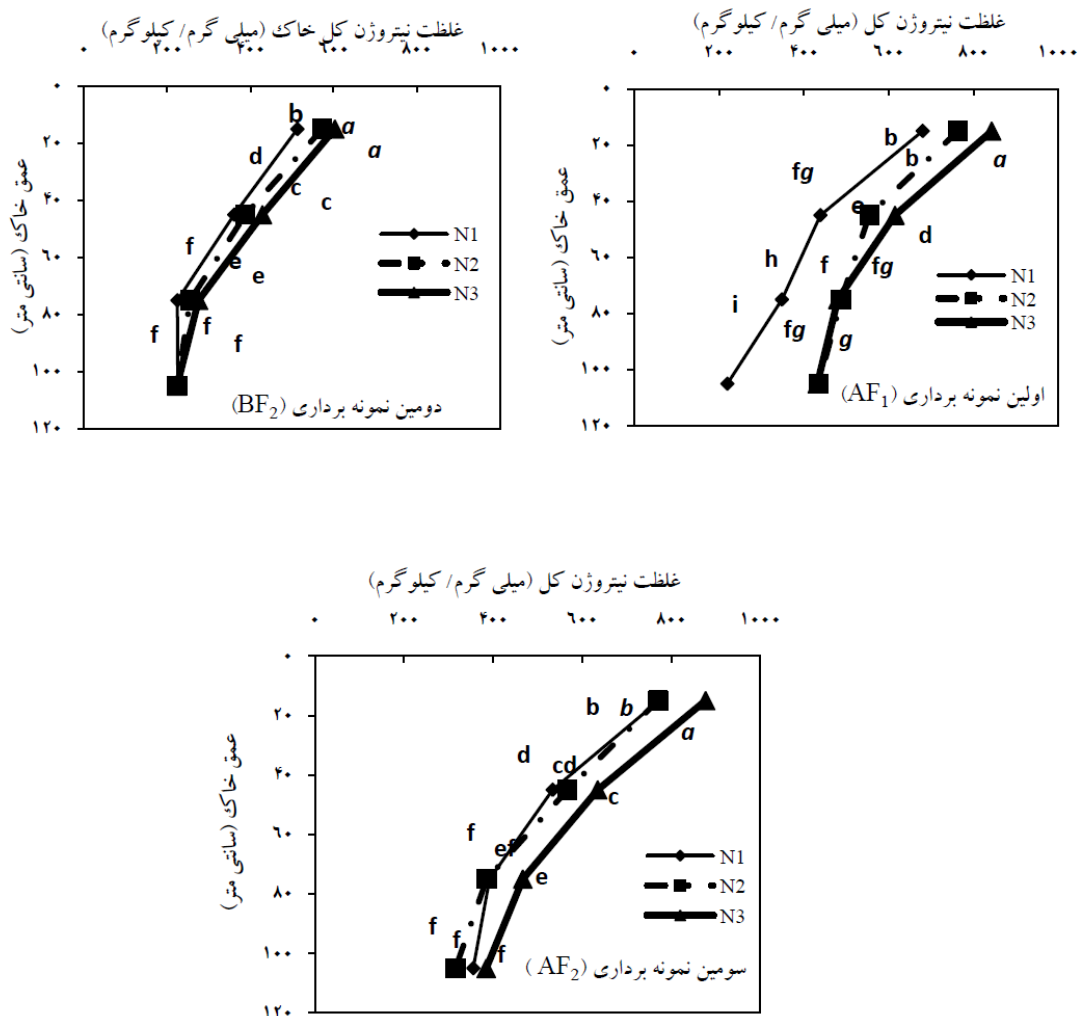
جدول ۶- تجزیه واریانس غلظت نیتروژن کل پس از سه مرحله نمونه برداری

منبع تغییرات	درجه آزادی	$AF_1$	$BF_2$	$AF_2$
تکرار	۲	۷۶۴/۵۸	۸۷۱/۸۹	۹۹۰۹/۱
میزان کود	۲	۹۸۶۵۴/۳**	۸۰۰۱/۱۴*	۱۳۳۰۹/۳*
خطا (a)	۴	۸۰۸/۶۴	۵۰۷/۸۸	۱۰۶۶/۷۷
عمق	۳	۲۷۱۱۶۵/۸**	۲۱۷۳۹۳/۷**	۳۷۹۱۹۴/۱۱**
کود×عمق	۶	۳۱۳۹/۲*	۱۲۳۹/۲ <sup>NS</sup>	۱۱۱/۵۸ <sup>NS</sup>
خطا (b)	۱۸	۹۹۱/۵۲	۸۳۴/۹۲	۶۴۹/۰۶
ضریب تغییرات	(%)	۶	۸/۰۸	۴/۸۹

جدول ۷- تأثیر میزان کود بر غلظت نیتروژن کل خاک

تیمار	$AF_1$	$BF_2$	$AF_2$
$N_1$	۴۲۹/۹ b	۳۳۳/۱ b	۴۱۱ c
$N_2$	۵۶۰/۴ a	۳۵۹/۸ a	۴۵۵/۱ b
$N_3$	۵۹۲/۵ a	۳۸۲/۶ a	۵۰۰/۵ a

در هر ستون میانگین ها بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی دار دارند.



### نتیجه گیری

خاک غلظت نیترات کاهش یافت؛ به طوری که مقادیر نیترات در هریک از مراحل کودآبیاری در لایه های ۶۰ تا ۱۲۰ سانتی متری نزدیک به مقدار اولیه (قبل از شروع کودآبیاری) اندازه گیری شد. همچنین به علت کاهش ماده آلی با افزایش عمق خاک تدریجاً غلظت نیترژن کل نیز کم شد. غلظت آمونیوم خاک به وسیله میزان کود نیترژن تحت تأثیر قرار نگرفت و شرایط رطوبتی و دمایی مناسب، تبدیل آمونیوم به نیترات را تسریع نمود. در نتیجه غلظت آمونیوم نسبت به نیترات در همه مراحل نمونه برداری کم تر بود.

نتایج مطالعه حاضر و اطلاعات سایر محققان پیچیدگی تغییرات نیترژن معدنی خاک را تأیید می نماید و نشان می دهد که پس از کاربرد کود، فاکتورهای متعددی تغییرات نیترژن خاک را تحت تأثیر قرار می دهند. در این تحقیق کاربرد کود نیترژن بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش معنی دار غلظت نیترژن نیتراتی و نیترژن کل در لایه ۰ تا ۶۰ سانتی متری نیمخ خاک شد و بیش ترین افزایش در تیمار ۳۰۰ کیلوگرم نیترژن در هکتار صورت گرفت. به دلیل سنگینی بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری بالا و همچنین برنامه ریزی مناسب آبیاری با افزایش عمق

### منابع

۱. بهمنی، ا.، برومند نسب، س.، بهزاد، م. و ناصری، ع.ع. ۱۳۸۸. بررسی پتانسیل شستشوی نترات و آمونیوم در پروفیل خاک تحت تاثیر کم آبیاری. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱ (۳): ۳۷-۴۴.
۲. خرمیان، م.، برومند نسب، س.، عباسی، ف. و اشرفی زاده، س. ۱۳۹۰. اثر شیوه خاک ورزی و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر حرکت آب و نترات در اراضی شمال خوزستان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۲ (۱۲): ۱-۱۸.
3. Al-Kaisi, M., and Yin, X. 2003. Effects of nitrogen rate, irrigation rate and plant population on corn yield and water use efficiency. *Agronomy Journal*, 95(1): 1475-1482.
4. Blaylock, A.D. J., and Dowbonko, R.D. 2005. Nitrogen fertilizer technologies. *Western Nutrient Management Conference*. Vol 6, Salt Lake City, UT.
5. Bremner, J.M., and Keeney D.R. 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium nitrite and nitrate. *Analytica Chimica Acta*, 32:485-495.
6. Diez, J.A., Tarquis, A., Catagena, M.C., and Vallejo, A. 2006. Optimisation of N application for a maize crop grow in a shallow, irrigated soil. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 4(4): 373-380.
7. Fang, Q., Yu, Q., Wng, E., Chen, Y., Zhang, G., Wang, J., and Li, L. 2006. Soil nitrate accumulation and crop nitrogen use influenced by fertilization and irrigation in an intensive wheat-maiz double cropping system in the North China plain. *Journal of Plant and Soil*, 284(1-2): 335-350.
8. Gaines, T.P., and Gaines, S.T. 1994. Soil texture effect on nitrate leaching in soil percolates. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 25(13-14): 2561-2570.
9. Galloway, J.N., Dentener, F.J., Capone, D.G., Boyer, E.W., Howarth, R.W., Seitzinger, S.P., Asner, G.P., Clevelan, C., Green, P.E., Holland, D.M., Karl, A.F., Michaels, J.H., Porter, A., and Vorosmarty, C. 2004. Nitrogen cycles past, Present and future. *Bioigeochemistry*, 70(2): 153-226.
10. Heumann, S., Bottcher, J., and Springob, G. 2002. N mineralization parameter of sandy arable soils. *Journal of Plant Nutrition*, 166(2): 308-318.
11. Jalali, M. 2005. Nitrate leaching from agriculture land in Hamedan, western Iran. *Journal of Agriculture Ecosystems and Environment*, 110(3-4): 210-218.
12. Jemison, J.M., and Fox, R.H. 1994. Nitrate leaching from nitrogen fertilized and manured corn measured with zero-tension pan lysimeters. *Journal of Environmental Quality*, 23(2): 337-343.
13. Keeney, D.R. 1987. Nitrate in groundwater-Agricultural contribution and control. P 329-351. In *Proc. Conference. of Agricultural. Impacts on ground water*, Omaha, Nebrasaka. 11-13 Aug. 1987. National Water Well Association, Dublin, OH.

14. Karantz, B.A., Ohlrogge, A.J., and Scrseth, G.D. 1943. Movement of nitrogen in soils. *Soil Science Society of American Journal*, 8(1):189-195.
15. Malhi, S.S., Grant, C.A., Johnston, A.M., and Gill, K.S. 2001. Nitrogen fertilization management for no till cereal production in the Canadian Great Plains: A review. *Soil and Tillage Research*, 60(3-4):101-122.
16. Novokova, K., and Nagel, D. 2009. The influence of irrigation on nitrate movement in soil and risk of subsoil contamination. *Soil and Water Research Journal*, 4(2): 131-136.
17. Ottman, M.J., and Pope, N.V. 2000. Nitrogen fertilizer movement in the soil as influenced by nitrogen rate and timing in irrigated wheat. *Soil Science Society of American Journal*, 64(5): 1883-1892
18. Raun, W.R., and Johnson, G.V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*, 91(3): 357-363.
19. Rehman, R., Sial, J.K., Arshad, M., and Zaman, W.U. 1999. Effect of fertilizer doses on nitrate-nitrogen leaching. *Journal of Agriculture and Biology*, 1(4):356-358.
20. Sadej, W., and Przekwas, K. 2007. Fluctuation of nitrogen levels in soil profile under condition of a long-term fertilization experiment. *Journal of Plant Soil and Environment*, 54(5): 197-203
21. Sanchez, L., Diez, J.A., Vallejo, A., Cartagena, M.C., and Polo, A. 1998. Estimate of mineralized organic nitrogen in soils using nitrogen balances and determining available nitrogen by the electroultrafiltration technique. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(5):2036-2043.
22. Setia, R.K., Sharma, K.N., and Verma, V.K. 2006. Movement of nitrogen in a sandy loam soil under continuous maize-wheat cropping system. *Journal Acta Agronomica Hungarica*, 54(4): 487-497.
23. Yin, F., Fu, B., and Mao, R. 2007. Effect of nitrogen fertilizer application rates on nitrate nitrogen distribution in saline soil in the Hai river basin, china. *Journal of Soils and Sediments*, 7(3):136-142.
24. Zhou, J.B., Xi, J.G., Chen, Z.J., and Li, S.X. 2006. Leaching and transformation of nitrogen fertilizer in soil after application of N with irrigation: A soil column method. *Pedosphere Journal*, 6(2): 245-25.