

## آبشویی نترات در سیستم آبیاری بارانی تحت مدیریت کود-آبیاری ذرت

مهدی قیصری، سیدمجید میرلطیفی، مهدی همایی و محمداسماعیل اسدی\*

\* به ترتیب دانشجوی دکتری؛ استادیار گروه مهندسی آبیاری و زه‌کشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، نشانی: تهران، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ص. پ. ۳۳۶-۱۴۱۱۱۵، تلفن: ۴۴۱۹۴۹۱۱، پیام‌نگار: gheisari@yahoo.com؛ دانشیار گروه خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس؛ و استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان  
تاریخ دریافت مقاله: ۸۴/۶/۲۳؛ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۵/۵/۲۱

### چکیده

مدیریت آب و کود نیتروژنی برای افزایش عملکرد و کاهش آلودگی منابع آب، ضروری است. اعمال چنین مدیریتی مستلزم شناخت عوامل مؤثر بر چرخه نیتروژن خاک است. مقدار، زمان و روش استفاده از نیتروژن و آب از عوامل مؤثر بر این چرخه است. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن و آب با مدیریت کود-آبیاری از طریق سیستم آبیاری بارانی بر آبشویی نترات و عملکرد ذرت است. بدین منظور، آزمایشی مزرعه‌ای با ذرت علوفه‌ای در چهار تیمار آبی شامل دو سطح کم‌آبیاری ( $W_3$  و  $W_4$ )، یک سطح آبیاری کامل ( $W_2$ ) و یک سطح بیش‌آبیاری ( $W_1$ ) و سه تیمار کودی شامل  $200(N)$ ،  $150(N)$  و صفر ( $N_0$ ) کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سه تکرار انجام شد. آبشویی نیتروژن نیتراتی ( $NO_3-N$ ) در سطوح مختلف آب و کود طی دوره رشد با توجه به شرایط رشد گیاه بررسی شد. عصاره خاک در عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری با استفاده از "نمونه‌بردار آب خاک" پس از هر آبیاری یا بارندگی از تمام کرت‌ها تهیه و غلظت نترات در عصاره استخراج شده اندازه‌گیری شد. مقدار نترات آبشویی شده با استفاده از معادله بیلان جرم محاسبه شد. نیتروژن نیتراتی خاک، پیش و پس از کاشت تا عمق‌های ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری و نیتروژن کل گیاه در زمان برداشت اندازه‌گیری شد. نیتروژن آبشویی شده از عمق ۶۰ سانتی‌متری در سطوح آبی  $W_1$ ،  $W_2$  و  $W_4$  در سطح کودی  $N_{200}$  به ترتیب برابر  $6/92$ ،  $6/58$  و صفر کیلوگرم در هکتار و در سطح کودی  $N_{150}$  به ترتیب برابر  $5/03$ ،  $4/47$  و صفر کیلوگرم در هکتار به دست آمد. آبشویی نترات در سطوح کم‌آبیاری مشاهده نشد. اما مقدار کمی از نیتروژن کاربردی، توسط گیاه جذب و باقی‌مانده آن پس از تجمع در خاک به صورت تلفات گازی از خاک خارج گردید. با افزایش کود نیتروژن مصرفی، جذب نیتروژن توسط گیاه افزایش، اما درصد جذب نیتروژن نسبت به نیتروژن مصرفی کاهش یافت. در تیمارهایی که آب آبیاری بیشتر از تبخیر-تعرق بود، مصرف زیاد کود نیتراتی موجب افزایش شدت آبشویی نترات شد. نتایج همچنین نشان می‌دهد که آبشویی نیتروژن نیتراتی طی دوره رشد، تابع نیتروژن اولیه خاک، نیتروژن کاربردی، شرایط رشد گیاه، مقدار جذب نیتروژن گیاه و مدیریت کود-آبیاری است.

### واژه‌های کلیدی

آبشویی نترات، آبیاری بارانی، کود-آبیاری، نیتروژن

### مقدمه

آلودگی به یون نترات هستند. از این رو غلظت یون نترات در آب و حد مجاز آن مورد توجه بسیاری از دانشمندان و محققان در بسیاری از نقاط جهان قرار گرفته است. اگر غلظت  $NO_3-N$  در آب آشامیدنی بیشتر از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر باشد مصرف آن برای حیوانات کوچک و نوزادان خطرناک است (Matoes et al., 1997; Tyson et al., 1992). آب‌های زیرزمینی بدون توجه به شرایط اقلیمی در معرض

کودهای نیتروژنی، به دلیل آبشویی سریع یون نترات ( $NO_3^-$ ) در خاک و همچنین استفاده بیش از حد نیاز از آنها، یکی از عوامل اصلی آلوده کننده منابع آب شناخته شده‌اند. به دلیل بالا بودن انحلال‌پذیری و قابلیت انتقال یون نترات، آب‌های زیرزمینی یعنی تنها منبع آب آشامیدنی بسیاری از مردم کشورهای در حال توسعه دائم در معرض تهدید

رسمی کردن تلفات آبشویی  $N$  در سیستم آبیاری بارانی در خاک‌های شنی به منظور بهبود مدیریت کود و آب تحقیقی روی ذرت انجام داد و اظهار داشت که به منظور کاهش موثر آبشویی نیترات، کاربرد کود نیتروژنی باید مطابق با نیاز گیاه باشد تا نیتروژن نیتراتی محلول کاهش یابد. اسدی و همکاران (Asadi et al., 2002)، به منظور ارزیابی اثر کود-آبیاری با استفاده از سیستم آبیاری بارانی روی تلفات آبشویی نیترات و عملکرد محصول ذرت در خاک اسیدی، پژوهشی انجام و گزارش دادند که بیشترین مقدار آبشویی از تیمار ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار رخ داده است.

تحقیقات زیادی نیز به منظور بررسی آبشویی نیترات در روش‌های مختلف آبیاری انجام شده است. میزان جریان آب و آبشویی نیترات زیر منطقه توسعه ریشه ذرت در سیستم آبیاری شیاری (Moreno et al., 1996) و آبیاری زیر سطحی<sup>۲</sup> (Lamm et al., 2001) بررسی شده است. سکستن و همکاران (Sexton et al., 1996) سطح بهینه نیتروژن و آبیاری را برای گیاه ذرت بر اساس میزان آبشویی نیترات؛ و محصول در خاک‌های با بافت درشت بررسی کردند. ماکزیم محصول با مصرف ۲۳۴ و ۲۰۲ کیلوگرم  $N$  بر هکتار به دست آمد و میزان آبشویی نیترات برای سطوح مذکور به ترتیب ۷۲ و ۵۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. کامریا و همکاران (Cameira et al., 2003) مدیریت آب و کود را در دو خاک لوم رسی و شنی روی گیاه ذرت در پرتغال بررسی و مشاهده کردند که مدیریت ضعیف آبیاری در خاک‌های شنی که منجر به ۴۵ درصد نفوذ عمقی آب شود، موجب افزایش آبشویی نیترات خواهد شد. ژو و همکاران (Zhu et al., 2005) آبشویی نیترات و بیلان آب خاک را برای ذرت بهاره و گندم پاییزه بررسی کردند. مقدار تجمع نیتروژن در عمق ۱۷۰ سانتی‌متری با کاربرد ۲۲۰ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برای ذرت و گندم به ترتیب ۲۸/۶ و ۸۱/۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود.

تهدید آلودگی یون نیترات هستند. در مناطق خشک و نیمه خشک، به دلیل آبشویی املاح و برای جلوگیری از تجمع آنها در نیمرخ خاک، عمق آبیاری همواره مقداری بیشتر از تبخیر- تعرق گیاه در نظر گرفته می‌شود، این پدیده می‌تواند سبب آبشویی نیترات شود (Jalali & Rowell, 2003). در مناطق مرطوب در سیستم کشاورزی سنتی نیتروژن از گیاهان لگوم، کود حیوانی و کودهای معدنی تامین می‌شود. اگر در این شرایط مدیریت کود و آب اعمال نشود پتانسیل آبشویی  $NO_3-N$  افزایش می‌یابد (Dinnes et al., 2002). در این خصوص، اعمال مدیریت در کاربرد کودهای نیتروژنی و آب آبیاری می‌تواند حرکت  $NO_3-N$  به اعماق خاک را به حداقل برساند.

در سیستم‌های آبیاری مکانیزه، مدیریت آب و کود آسان است. آبیاری بارانی یکی از روش‌های کارآمد آبیاری مکانیزه با راندمان بین ۵۵ تا ۹۰ درصد است (Martin et al., 1991). از سیستم‌های آبیاری بارانی برای کاربرد کود نیتروژن تحت عنوان کود-آبیاری<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. کود-آبیاری سبب یکنواختی پخش کود و افزایش راندمان مصرف آن می‌شود (Asadi, 2004a; Patel & Rajput, 2000). در سال‌های اخیر استفاده از کود-آبیاری در سیستم آبیاری بارانی متداول و مطالعات زیادی درباره آن انجام شده است. هوم و همکاران (Home et al., 2002)، راندمان مصرف آب و آبشویی نیترات در سیستم‌های آبیاری بارانی، شیاری و کرتی در خاک با بافت درشت را بررسی کرده‌اند و گزارش داده‌اند که آبیاری شیاری بیشترین و آبیاری بارانی کمترین تلفات و نفوذ عمقی را داشته است. لی و همکاران (Li et al., 2005)، تاثیر یکنواختی کود-آبیاری با استفاده از سیستم آبیاری بارانی را بر نفوذ عمقی، توزیع نیتروژن در خاک، جذب نیتروژن گیاه و عملکرد محصول بررسی و اظهار کرده‌اند که استفاده از سیستم آبیاری بارانی برای پخش کود موجب پخش یکنواخت‌تر کود می‌شود. گری (Gary, 1986) برای به

کود- آبیاری ضروری است. لذا این پژوهش با هدف بررسی تاثیر مقدار کود نیتروژنی و آب کاربردی بر تلفات نیتروژن در سیستم آبیاری بارانی با مدیریت کود- آبیاری در زراعت ذرت انجام شد.

### مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال زراعی ۱۳۸۲ در ورامین با طول جغرافیایی "۲۹' ۳۸" ۵۱° شرقی، عرض جغرافیایی "۷' ۳۸' ۳۵° شمالی و ارتفاع ۹۷۲ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش در قطعه زمینی به ابعاد ۲۰۵×۸۵ متر با سه سطح کودی صفر ( $N_0$ )، ۱۵۰ ( $N_{150}$ ) و ۲۰۰ ( $N_{200}$ ) کیلوگرم نیتروژن در هکتار و چهار سطح آبیاری بر اساس نسبتی از آب مورد نیاز گیاه ( $ET_C$ ) شامل،  $0.185ET_C$ ،  $0.17ET_C$ ،  $0.15ET_C$  و  $0.13ET_C$  با استفاده از طرح آماری کرت‌های نواری<sup>۱</sup> در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. طرح، شامل ۳۶ کرت آزمایشی به ابعاد ۱۶×۱۶ متر مجهز به سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت بود. هر کرت شامل ۱۸ جوی و پشته به فاصله ۷۵ سانتی‌متر به طول ۱۶ متر بود. بذر مصرفی ذرت از نوع هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ بود که با تراکم ۶۶ هزار بوته در هکتار کاشته شد. خاک مزرعه، عمیق و بافت آن در عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متر لوم رس (۲۳ درصد شن، ۴۵ درصد سیلت و ۳۲ درصد رس) بود.

برای آبیاری ذرت از سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت- آبپاش متحرک استفاده شد. چهار سطح آبیاری شامل دو سطح کم آبیاری ( $W_3$ ،  $W_4$ )، یک سطح آبیاری کامل ( $W_2$ ) و یک سطح بیش آبیاری ( $W_1$ ) بود. برای تعیین زمان و عمق آبیاری، از پایش رطوبت خاک استفاده شد. رطوبت خاک به روش وزنی در عمق‌های صفر تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰، ۴۰ تا ۶۰ و ۶۰ تا ۸۰ سانتی‌متری با استفاده از متد نمونه‌برداری خاک تعیین شد. نمونه‌های خاک پیش و ۲۴ ساعت پس از آبیاری از تمام کرت‌ها و از سه نقطه در هر کرت (سه راس یک

بخش و همکاران (Bakhsh *et al.*, 2005) تاثیر کاربرد کود مایع حیوانی و نیترات آمونیوم را بر تلفات آبشویی  $NO_3-N$  در خاک لوم رسی را بررسی و اعمال مدیریت دقیق را در کاربرد کود حیوانی به منظور کاهش آبشویی نیترات توصیه کردند. باسو و ریچی (Basso & Ritchie, 2005) آبشویی نیترات را در مزارع ذرت و یونجه میشیگان در صورتی که از کمپوست، کود حیوانی و کود معدنی نیتروژنی استفاده شود بررسی و گزارش کردند که نوع کود مصرفی تاثیری بر عملکرد ندارد اما بیشترین آبشویی نیترات در کاربرد کود حیوانی رخ داده است.

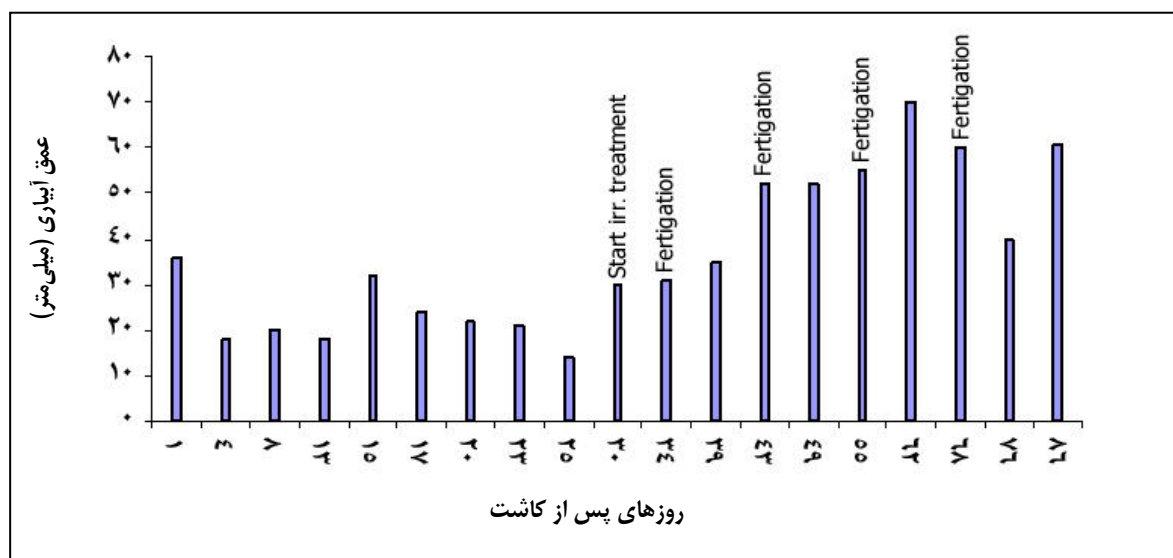
در کشاورزی مدرن نیاز به  $N$  نسبت به سایر عناصر غذایی بیشتر است. همچنین خاک بیشتر مناطق کشاورزی جهان فاقد این عنصر غذایی مهم است و نیاز گیاه با اضافه کردن کودهای نیتروژنی به زمین تامین می‌شود. طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۰، سی تا پنجاه درصد افزایش عملکرد نباتات مدیون مصرف کودها بوده است. تا آنجا که تولید غلات در این چهار دهه دو برابر شده است. بیش از ۴۰ درصد پروتئین دنیا از کودهای نیتروژنی تامین می‌شود. مصرف سالانه کود نیتروژنی از ۱۱/۵ میلیون تن در سال ۱۹۶۱ به ۸۴/۴ میلیون تن در سال ۲۰۰۲ رسیده است (Asadi, 2004a; Mosier *et al.*, 2004). در این خصوص اثبات شده که کمتر از ۵۰ درصد کود نیتروژنی به کار رفته مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد و بقیه از طریق آبشویی، فرسایش، رواناب و تلفات گازی از دسترس گیاه خارج و تلف می‌شود (Asadi, 2004a; Bacon, 1995; Wiesler, 1998). تاثیر روش‌های مختلف آبیاری بر روی تلفات نیتروژن، تاثیر منبع کودی نیتروژن بر روی آبشویی نیترات در خاک‌های مختلف و تاثیر مدیریت کودی بر آبشویی نیترات در پژوهش‌های دیگر محققان بررسی شده است. با توجه به جهت‌گیری پژوهش‌ها، به نظر می‌رسد بررسی تاثیر توأم سطوح کود و آب بر تلفات نیتروژن در یک سیستم مدیریتی

$$I_n = \left( \sum_{i=1}^m (W_{FCi} - W_{BIi}) \times Bd_i \times D_i / Bd_w \right) / 100 \quad (1)$$

که در آن،  $I_n$  = عمق خالص آبیاری (بر حسب میلی‌متر)؛  $W_{FC}$  = رطوبت وزنی خاک در ظرفیت زراعی (بر حسب درصد)؛  $Bd$  = جرم ویژه ظاهری خاک (بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب)؛  $Bd_w$  = جرم حجمی آب (بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب)؛  $D$  = عمق ناحیه ریشه (بر حسب میلی‌متر)؛  $m$  = تعداد لایه‌ها در عمق توسعه ریشه؛  $i$  = شمارشگر تعداد لایه‌ها؛ و  $W_{BI}$  = رطوبت وزنی خاک پیش از آبیاری (بر حسب درصد) است. در این مطالعه، مقدار  $W_{BI}$  در تیمار آبی کامل همواره برابر یا بیشتر از  $(FC - PWP) \times MAD + PWP$  بود. برای محاسبه عمق آبیاری در تیمارهای آبی  $W_1, W_2, W_3, W_4$  به ترتیب از ضرایب  $0.7, 0.85, 1.0$  و  $1.13$  استفاده شد. در شکل ۱ مقدار و زمان آب آبیاری و زمان کاربرد کود نیتروژنی در تیمار  $W_2$  نشان داده شده است.

مثلاً برداشت می‌شد. بارش‌های منطقه مورد مطالعه بیشتر در پاییز و زمستان است؛ طی دوره رشد ذرت هیچ بارندگی رخ نداد.

عمق آبیاری با هدف جایگزین کردن رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه تا حد ظرفیت زراعی ( $FC$ ) برای تیمار آبی بدون تنش رطوبتی ( $W_2$ ) محاسبه شد و دیگر تیمارهای آبی، ضریبی از عمق آبیاری تیمار  $W_2$  را دریافت می‌کردند. ضرایب  $0.7, 0.85, 1.0$  و  $1.13$  به ترتیب برای محاسبه عمق آبیاری در سطوح آبیاری  $W_1, W_2, W_3, W_4$  به کار برده شد. زمان آبیاری بر اساس تخلیه مجاز رطوبتی<sup>۱</sup> ( $MAD$ ) برابر ۵۰ درصد آب قابل دسترس خاک (پتانسیل ماتریک  $0.1$  - مگا پاسکال) در تیمار  $W_2$  تعیین شد. عمق آبیاری با استفاده از کنتورهای حجمی که در مسیر جریان نصب شده بودند، کنترل می‌شد. دور آبیاری تابع میزان تخلیه رطوبت از نیمرخ خاک بود. بنابراین، دور آبیاری طی فصل رشد به طور یکسان اعمال نشد. اما آبیاری تیمارهای آبی همزمان انجام می‌شد. عمق آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:



شکل ۱- زمان و عمق آبیاری تیمار  $W_2$  و زمان کود- آبیاری طی دوره رشد

که در آنها،  $DP =$  نفوذ عمقی آب (بر حسب میلی‌متر) در دوره اندازه‌گیری؛  $I_r =$  عمق آب نفوذ یافته در خاک (بر حسب میلی‌متر) در دوره اندازه‌گیری؛  $W_{FCi} =$  رطوبت وزنی خاک در ظرفیت زراعی در لایه  $i$  ام (بر حسب درصد)؛  $W_{Bli} =$  رطوبت وزنی خاک پیش از آبیاری یا بارندگی در لایه  $i$  ام (بر حسب درصد)؛  $Bd_i =$  جرم ویژه ظاهری خاک در لایه  $i$  ام (بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب)؛  $Bd_w =$  جرم حجمی آب (بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب)؛  $D_i =$  عمق لایه (بر حسب میلی‌متر)؛  $n =$  تعداد لایه‌های خاک تا عمقی که تغییرات رطوبت مشاهده شده است؛ و  $W_{Ali} =$  رطوبت وزنی خاک ۲۴ ساعت پس از آبیاری یا بارندگی در لایه  $i$  ام (بر حسب درصد) است.

در طی دوره رشد با اندازه‌گیری رطوبت نیمرخ خاک در تیمارهای آبیاری کامل و مقایسه رطوبت نیمرخ خاک در روزهای متوالی، عمق فعال ریشه تعیین گردید. متوسط حداکثر عمق توسعه ریشه ذرت در تیمارهای آبیاری کامل ۶۰ سانتی‌متر بدست آمد. بنابراین، مقادیر آب نفوذ یافته به زیر عمق ۶۰ سانتی‌متری به عنوان نفوذ عمقی در نظر گرفته شد. بدین ترتیب، مقدار نیترات آبشویی شده از عمق ۶۰ سانتی‌متری با استفاده از رابطه زیر به دست آمد:

$$(L_{NO3})_{60} = DP \times C_{60} \quad (4)$$

که در آن،  $(L_{NO3})_{60} =$  مقدار نیترات آبشویی شده از عمق ۶۰ سانتی‌متر؛ و  $C_{60} =$  غلظت نیترات آب نفوذ یافته از عمق ۶۰ سانتی‌متری است. به دلیل وجود تیمارهای کم‌آبیاری و احتمال این که در این تیمارها نفوذ عمقی در عمق ۶۰ سانتی‌متر وجود ندارد، مقدار نیترات عبور یافته از عمق ۳۰ سانتی‌متری نیز مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه نیتروژن اولیه خاک، نیتروژن نهایی خاک و نیتروژن آبشویی شده به صورت نیتروژن نیتراتی ( $NO_3-N$ ) و نیتروژن

در ۲۵ روز ابتدای دوره رشد، آبیاری با عمق کم و به طور یکسان برای تمام سطوح آبی اجرا شد و تیمارهای آبی از روز سی‌ام اعمال گردید.

نیاز کودی خاک بر اساس نتیجه آزمایش شیمیایی خاک و استفاده از جداول توصیه‌ی کودی (Malakouti & Gheybi, 2004) تعیین شد. کودهای کلراید پتاسیم و سوپر فسفات تریپل با توجه به نیاز خاک پیش از کاشت در تمام تیمارها به صورت یکسان در سطح خاک پخش شد. نیتروژن مورد نیاز گیاه از منبع کودی اوره تأمین گردید. کود نیتروژنی به همراه آب آبیاری (کود-آبیاری) طی دوره رشد به کار گرفته شد. برای تزریق کود در سیستم آبیاری بارانی از ونتوری (انژکتور تزریق کود) استفاده شد. در اجرای طرح حدود ۱۰ کیلو گرم از کود نیتروژنی پیش‌بینی شده در تیمارهای کودی توزیع نگردید. بنابراین، در تیمارهای کودی  $N_{200}$ ،  $N_{150}$  و  $N_0$  به ترتیب ۴۱۱، ۳۰۸ و صفر کیلوگرم در هکتار کود اوره استفاده شد. به‌طوری‌که ۲۶/۵ درصد کود اوره مصرفی در مرحله شش برگی و سه سهم برابر ۲۴/۵ درصدی از کود اوره مصرفی در مراحل ۸، ۱۲ و ۱۶ برگی مورد استفاده قرار گرفت.

برای محاسبه نفوذ عمقی آب یا محاسبه میزان فرونشست عمقی (آب زهکشی) از روش موازنه جرم به شرح زیر استفاده شد:

$$DP = I_r - \left( \sum_{i=1}^m (W_{FCi} - W_{Bli}) \times Bd_i \times D_i / Bd_w \right) / 100 \quad (2)$$

$$I_r = \left( \sum_{i=1}^n (W_{Ali} - W_{Bli}) \times Bd_i \times D_i / Bd_w \right) / 100 \quad (3)$$

زمانی که دستگاه با پمپ خلاء تحت فشار منفی قرار می‌گیرد، مانند لایسیمتر مکنده عمل می‌کند و سبب می‌شود آب ثقیلی خاک اطراف سرامیک از طریق کلاهک سرامیکی به داخل SWS مکیده شود. به این طریق از اطراف سرامیک نمونه‌برداری انجام شد. در وسط هر کرت ۲ عدد SWS در عمق‌های ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر، داخل حفره‌هایی نصب شد که با مت‌۵ سانتی‌متری به صورت عمودی حفر شده بودند. فضای خالی بین SWS و جداره داخلی حفره با خاکی پر شد که از حفره خارج شده بود. SWS ها، پیش از نصب شدن و برای زدودن مواد خارجی درون آنها به مدت ۴۸ ساعت درون آب مقطر نگهداری و سپس درون سرامیک‌ها با آب مقطر شسته شدند (Litaor, 1988).

برای تهیه عصاره خاک، پیش از آبیاری با پمپ خلاء دستی، داخل SWS ها مکش برابر با ۳۰ تا ۳۵ کیلوپاسکال ایجاد شد. بیست و چهار تا ۴۸ ساعت پس از آبیاری، با پمپ و وسایل جنبی آب جمع شده در داخل SWS ها تخلیه شده و درون ظروف دردار و مشکی رنگ تا حمل به آزمایشگاه نگهداری می‌شد. نمونه‌های تهیه شده در محیطی خنک (محلول آب و یخ) نگهداری و به سرعت به آزمایشگاه منتقل می‌شدند، غلظت نیترات نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل DR/2500، ساخت شرکت HACH آمریکا) به روش کاهش کادمیم اندازه‌گیری شد.

### نتایج و بحث

با توجه به اینکه پژوهش در سطح وسیعی انجام گردید، تلاش انجام شده برای انتخاب محل انجام پژوهش به طوری که خاک از نظر تمام خصوصیات فیزیکی و شیمیایی یکسان و یکنواخت باشد و سایر شرایط مورد نیاز پژوهش را داشته باشد، صد در صد موفقیت‌آمیز نبود. نیتروژن اولیه کرت‌های آزمایشی کمی با یکدیگر متفاوت می‌باشند. به منظور

برداشت شده توسط گیاه به صورت نیتروژن کل ( $N$ ) گزارش شده است.

سکستن و همکاران (Sexton *et al.*, 1996) در معادله موازنه جرم نیتروژن از تلفات تصعید و تثبیت نیتروژن صرف‌نظر و معادله‌های ۵ و ۶ را برای تخمین آبشویی نیترات ارائه کردند:

$$N_{Leach} = N_{fert} + N_{min} + N_{initial} - N_{plant} - N_{final} \quad (5)$$

$$N_{min} = N_{plant} - N_{initial} + N_{final} \quad (6)$$

که در آنها،  $N_{leach}$  = نیتروژن آبشویی شده؛  $N_{fert}$  = نیتروژن اضافه شده از طریق کود؛  $N_{min}$  = نیتروژن اضافه شده به خاک از طریق معدنی شدن؛  $N_{initial}$  = نیتروژن اولیه خاک؛  $N_{plant}$  = نیتروژن برداشت شده توسط گیاه؛ و  $N_{final}$  = نیتروژن خاک در انتهای دوره است. معادله ۶ برای کرت  $N_0$  به کاربرده می‌شود و مقدار  $N_{min}$  به دست می‌آید.

در این پژوهش کلیه پارامترهای معادله ۵ و ۶ به صورت مستقیم اندازه‌گیری یا محاسبه شده‌اند. بنابراین، امکان محاسبه تصعید و تثبیت نیتروژن ( $N_{vol}$ ) وجود دارد. برای محاسبه  $N_{vol}$  از رابطه زیر استفاده شد:

$$N_{vol} = N_{fert} + N_{min} + N_{initial} - N_{plant} - N_{final} - N_{leach} \quad (7)$$

که در آن،  $N_{vol}$  = مجموع تلفات تصعید و تثبیت نیتروژن است. برای استخراج نمونه آب ثقیلی خاک از عمق‌های ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری، از دستگاه نمونه‌بردار آب خاک<sup>۱</sup> (SWS) (مدل L241900، Soil Moisture Equipment Corporation، USA) استفاده شد. کلاهک سرامیکی متخلخل SWS،

نشان می‌دهد که بیشترین آبشویی نیتروژن از سه سطح کودی  $N_0$ ،  $N_{150}$  و  $N_{200}$  چهل و پنج روز پس از کاشت رخ داده است. این پدیده را می‌توان به عمق آب آبیاری و شرایط رشد گیاه ارتباط داد. در این پژوهش، عمق آب آبیاری با توجه به عمق توسعه ریشه محاسبه و اعمال شد. تا ۳۹ روز پس از کاشت، آبیاری به گونه‌ای انجام شد که حداکثر عمق ۳۰ سانتی‌متر اولیه خاک (عمق مؤثر توسعه ریشه) تا حد رطوبت ظرفیت زراعی مرطوب شود. از این رو می‌توان استدلال کرد که نیتروژن موجود در لایه صفر تا ۲۵ سانتی‌متری خاک و نیتروژن اضافه شده با آب آبیاری تا روز سی و نهم همراه آب آبیاری به سمت پایین حرکت کرده و به دلیل محدود بودن عمق آبیاری و نبود بارندگی، در عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک تجمع یافته است. نیاز گیاه به نیتروژن در این دوره (دوره اولیه رشد و ابتدای دوره توسعه) ناچیز بوده است و گیاه مقدار کمی نیتروژن از خاک برداشت کرده و مقدار قابل توجهی نیتروژن در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر تجمع یافته است. چهل و سه روز پس از کاشت، عمق فعال ریشه ذرت از ۳۰ سانتی‌متر فراتر رفته است.

جلوگیری از هر گونه اشتباه تمام تحلیل‌ها و نتیجه‌گیری‌ها با توجه به مجموع نیتروژن اولیه خاک و نیتروژن اضافه شده از طریق کود آورده انجام شده است.

در جدول ۱ درصد نیتروژن کل گیاه در زمان برداشت، شاخص سطح برگ طی دوره رشد و عملکرد محصول در تیمارهای مختلف کود و آب ارائه شده است. شاخص سطح برگ بیانگر وضعیت رشد رویشی ذرت طی دوره رشد به عنوان تابعی از آب و نیتروژن دریافتی است. نیتروژن کل گیاه در تیمار کودی  $N_0$  کمترین و در  $N_{200}$  بیشترین مقدار است.

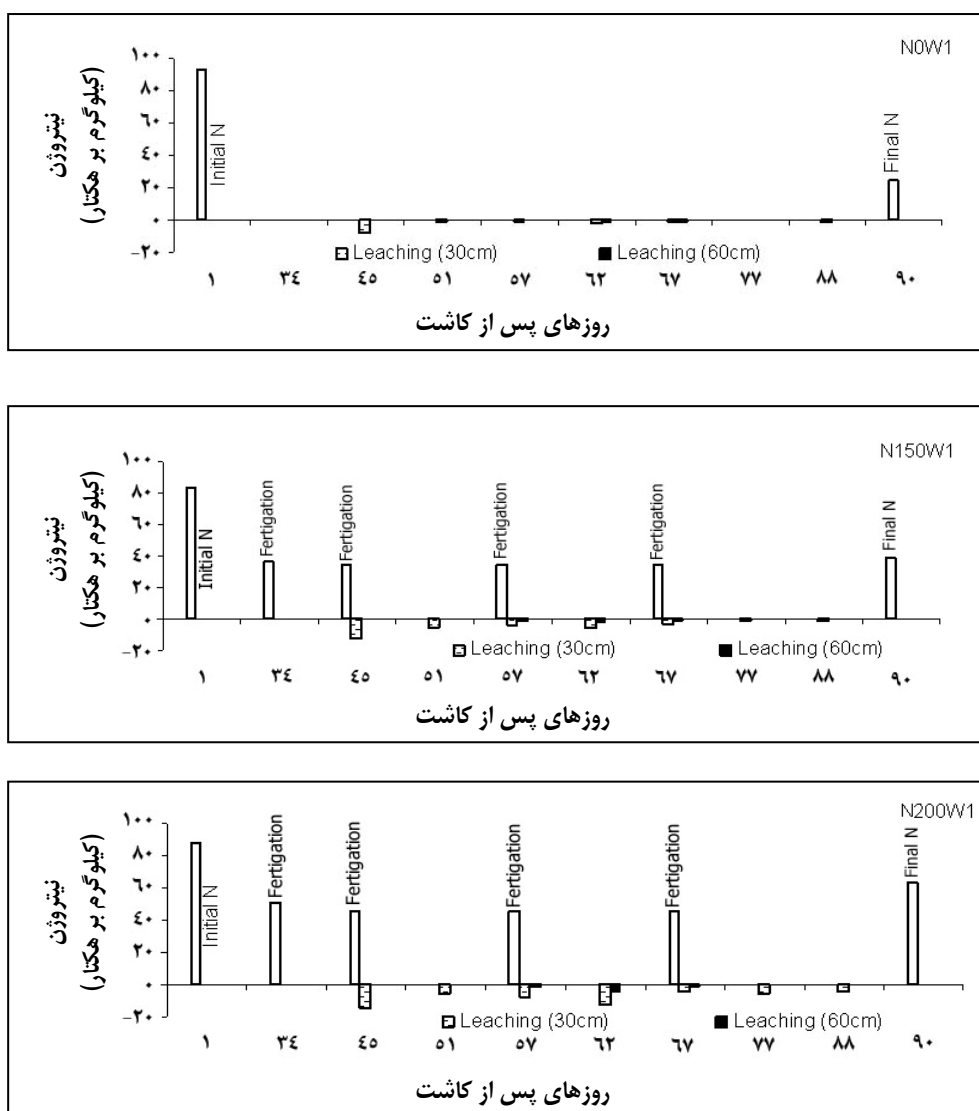
مقادیر آبشویی  $NO_3-N$  در سطوح مختلف کودی با سطح آبی  $W_1$  (بیش آبیاری) در شکل ۲ نشان داده شده است. در ناحیه مثبت محور قائم، مقدار نیتروژن نیتراتی اولیه و نهایی خاک در لایه صفر تا ۶۰ سانتی‌متری خاک، همچنین مقدار نیتروژن اضافه شده به تیمارها بر حسب کیلوگرم نیتروژن در هکتار و در ناحیه منفی محور قائم مقدار نیتروژن نیتراتی آبشویی شده از عمق‌های ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر بر حسب کیلوگرم نیتروژن در هکتار نشان داده شده است. شکل ۲

جدول ۱- شاخص‌های رشد و عملکرد در سطوح مختلف آب و کود

روزهای پس از کاشت						
۴۶	۵۹	۷۱	۸۵	۸۵	۸۵	
شاخص سطح برگ	شاخص سطح برگ	شاخص سطح برگ	عملکرد ماده خشک (کیلوگرم بر هکتار)	نیتروژن کل گیاه (درصد)	نیتروژن برداشت شده توسط گیاه (کیلوگرم N بر هکتار)	سطوح کودی
۰/۹۳	۲/۷	۴/۳۲	۹۵۰۰	۰/۷	۶۶/۵	$N_0$
۰/۷	۲/۶۱	۴/۷۷	۱۰۸۰۵	۱/۴۳	۱۵۴/۵	$N_{150}$
۰/۷۲	۳/۱	۴/۷	۱۱۱۰۰	۱/۵۲	۱۶۸/۷	$N_{200}$
۰/۷۱	۱/۴۷	۳/۸	۸۲۶۲	۰/۷۶	۶۲/۸	$N_0$
۰/۹۳	۲/۳	۴/۳۹	۹۶۵۰	۱/۳۳	۱۲۸	$N_{150}$
۱/۱۸	۳/۵	۵/۴۹	۱۰۵۰۰	۱/۷۷	۱۸۵	$N_{200}$
۰/۶۶	۲/۳۲	۴/۲	۶۴۰۰	۰/۸۲	۵۲/۵	$N_0$
۰/۸۲	۱/۸۴	۳/۹۵	۷۲۱۰	۱/۳۴	۹۶/۶	$N_{150}$
۰/۸۵	۱/۳۱	۳/۷۸	۷۱۰۰	۱/۶۷	۱۱۸/۵	$N_{200}$

از ۳۰ سانتی‌متر شده و همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود مقدار زیادی نیتروژن نیتروژن نیتروژن در آبیاری روز چهل و سوم از عمق ۳۰ سانتی‌متری عبور کرده است.

بنابراین، آبیاری با هدف مرطوب کردن خاک تا عمق ۳۵ سانتی‌متری خاک تا حد  $FC$  انجام شد. گذر آب از عمق ۳۰ سانتی‌متری موجب حرکت نیتروژن تجمع یافته در لایه ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری به عمق بیشتر



شکل ۲- مقایسه آبشویی نیتروژن در سطوح مختلف کودی ( $N_{200}$  و  $N_{150}$ ،  $N_0$ ) در سطح آبی  $W_1$

موجب شسته شدن نیترات به اعماق خاک خواهد شد. این یافته‌ها با نتایج به دست آمده دیگر پژوهشگران (Cameira et al., 2003; Martin et al., 1991; Rasse et al., 1999) همخوانی دارد.

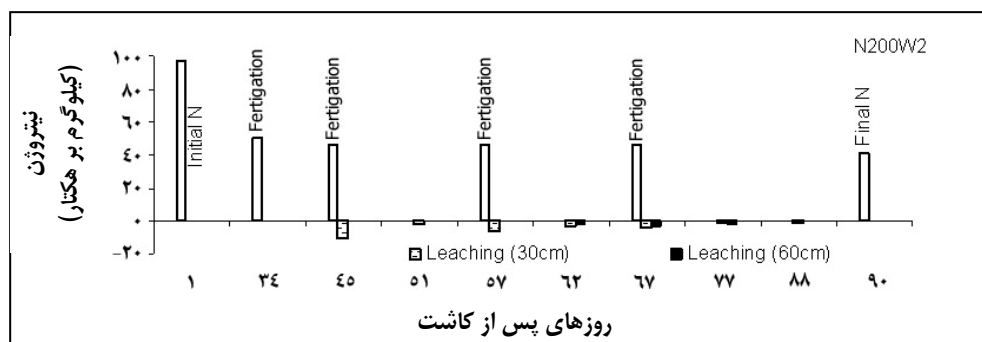
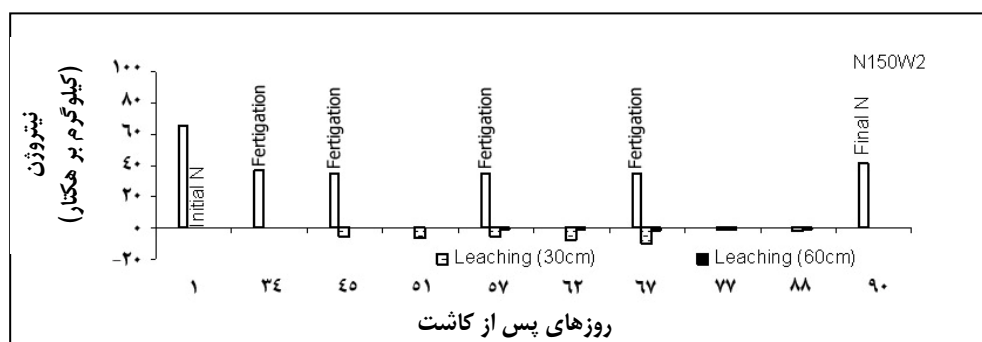
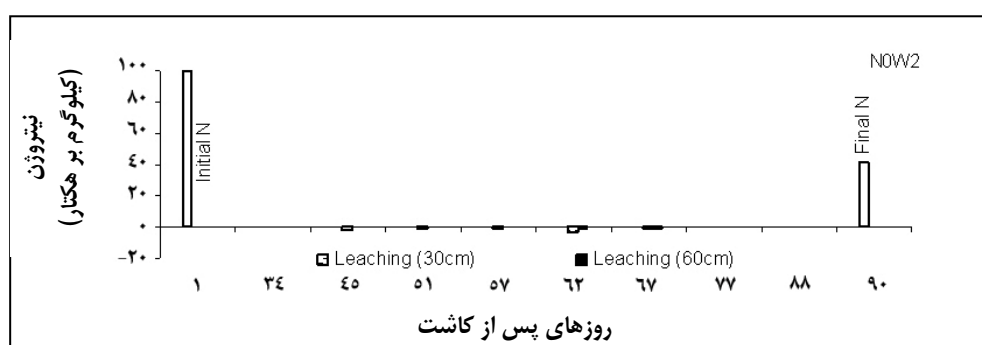
بدین ترتیب می‌توان گفت که در فصل پاییز و زمستان پدیده‌ای مشابه با آبشویی نیترات از عمق ۳۰ سانتی‌متری پس از روز چهل و پنجم برای نیتروژن تجمع یافته در زیر ناحیه ریشه رخ می‌دهد که





وجود داشته است. بنابراین، آبشویی نترات طی دوره رشد علاوه بر این که تحت تأثیر مقدار نیتروژن اولیه خاک، مقدار کود نیتروژنی مصرفی، شرایط رشد گیاه و مقدار آب مصرفی است تحت تأثیر برداشت نیتروژن توسط گیاه نیز هست. این موضوع با یافته‌های برخی پژوهشگران (Li et al., 2005) مطابقت دارد.

نتایج به دست آمده از سه بحث قبل مبین این واقعیت است که، در کرت  $N_{200}W_2$  نسبت به  $N_{150}W_2$  نیتروژن بیشتری به کار برده شده است اما به دلیل جذب نیتروژن توسط گیاه، آبشویی نیتروژن نیتراتی کاهش یافته است؛ در صورتی که در کرت  $N_{150}W_2$  به دلیل جذب کمتر نیتروژن توسط گیاه، همواره نیتروژن بیشتری در معرض آبشویی



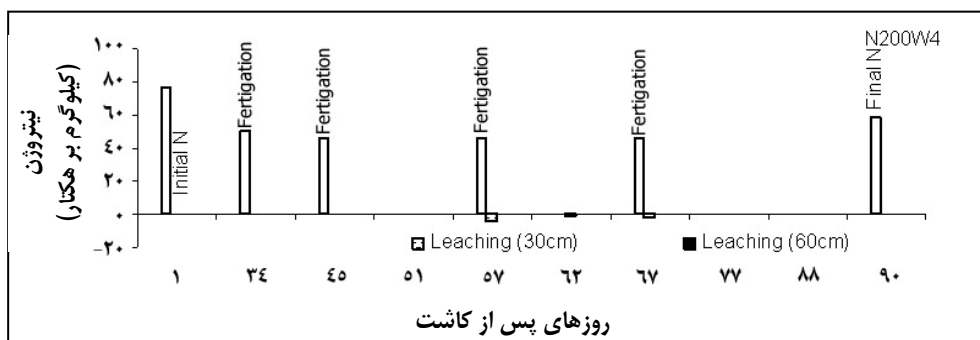
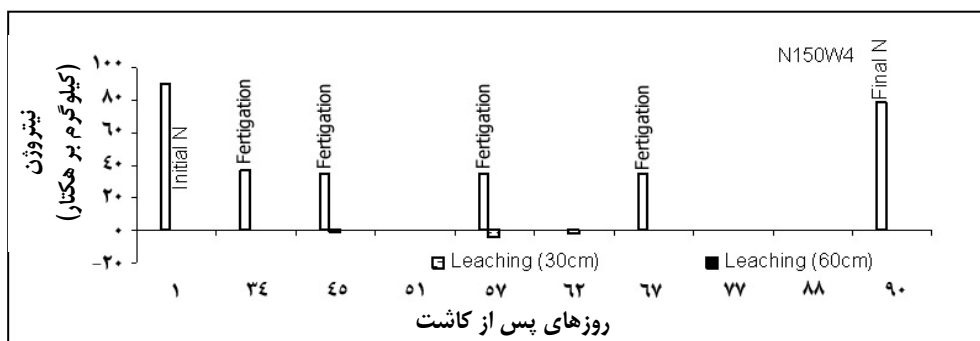
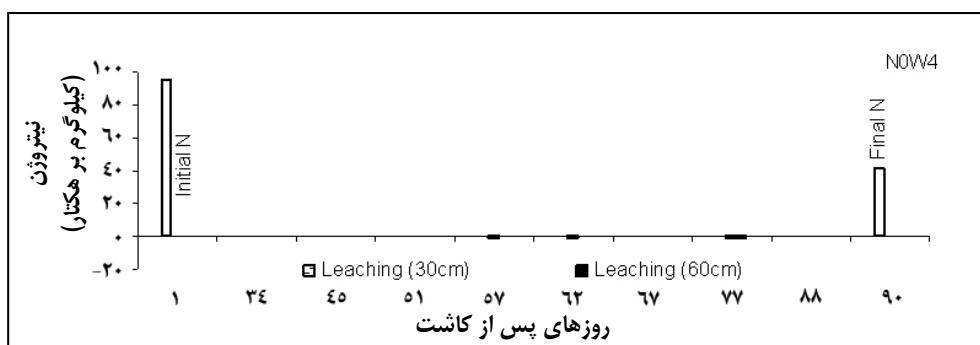
شکل ۳- مقایسه آبشویی نیتروژن در سطوح مختلف کودی ( $N_{200}$  و  $N_{150}$  و  $N_0$ ) در سطح آبی  $W_2$

مقدار کود نیتروژنی اضافه شده، مقدار نیتروژن اولیه و نهایی خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری در سطح آبی  $W_4$  (کم آبیاری) در شکل ۴ نشان داده شده است. در این تیمار، ۰/۷ نیاز آبی گیاه تأمین شده است. گرچه

آبشویی نیترات در سیستم آبیاری بارانی تحت مدیریت ...

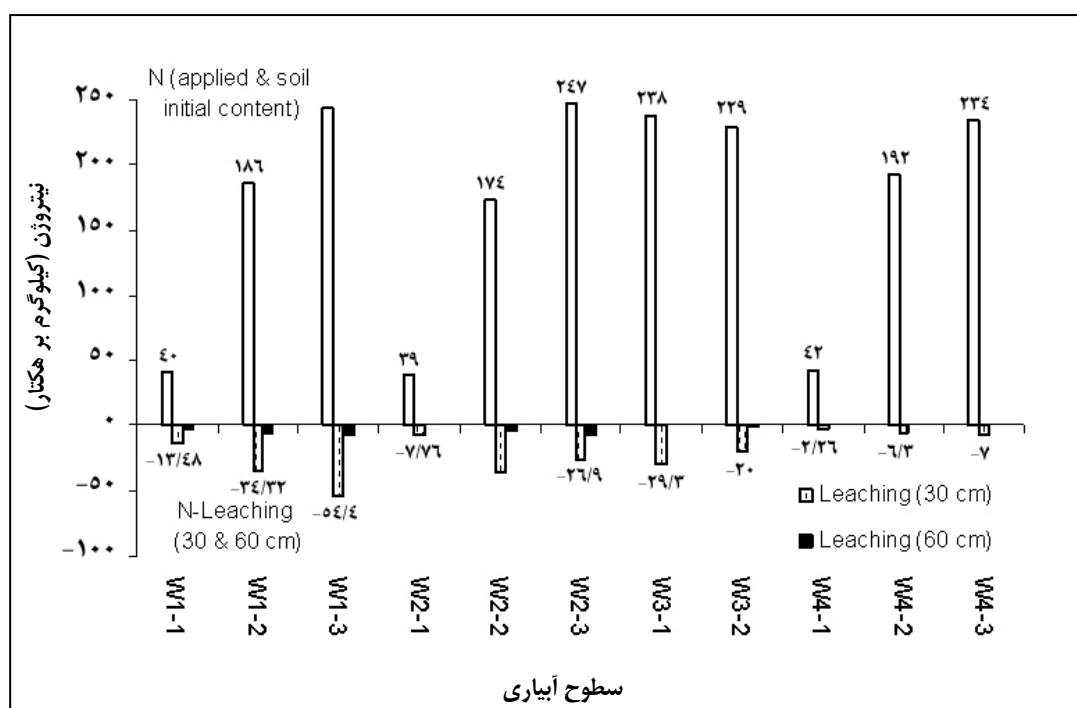
مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه افزایش، اما درصد جذب نیتروژن نسبت به نیتروژن مصرفی کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان استدلال کرد که مقدار نیتروژنی که گیاه جذب می‌کند تحت تاثیر مقدار آب قابل دسترس در منطقه توسعه ریشه است و در سطوح کم آبیاری به دلیل کاهش حجم آب قابل دسترس خاک، برداشت نیتروژن توسط گیاه کاهش می‌یابد. از این رو در سطوح کم آبیاری باید کود نیتروژنی کمتری استفاده شود.

تفاوت چندانی در آبشویی نیتروژن بین سطوح مختلف کودی در تیمار آبی  $W_4$  وجود ندارد، بیشترین آبشویی نیترات به ترتیب در سطوح کودی  $N_0$ ،  $N_{150}$  و  $N_{200}$  داده است. نیتروژن کل گیاه در کرت‌های  $N_{200}W_4$ ،  $N_{150}W_4$  و  $N_0W_4$  به ترتیب ۱/۶۷، ۱/۳۴ و ۱/۸۲ درصد است. از مقایسه مقدار نیتروژنی که گیاه برداشت کرده است با مقدار نیتروژن کاربردی در سطح آبی  $W_4$  نتیجه می‌شود که با افزایش کود نیتروژن مصرفی،



شکل ۴- مقایسه آبشویی نیتروژن در سطوح مختلف کودی ( $N_0$ ،  $N_{150}$  و  $N_{200}$ ) در سطح آبی  $W_4$

شکل ۵، آبشویی نیتروژن نیتراژی را در سطوح مختلف آب و کود نشان می‌دهد. در این شکل، مقدار تجمعی نیتروژن اولیه خاک تا عمق ۶۰ سانتی‌متر و نیتروژن اضافه شده از منبع کود آورده و نیز مقدار نیتروژن آبشویی شده از عمق‌های ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر بر حسب کیلوگرم بر هکتار برای تیمارهای مختلف آبی نشان داده شده است. همچنین دیده می‌شود که مقدار آبشویی نیتروژن با افزایش عمق آبیاری افزایش یافته و نیز مقدار کود اثر قابل توجهی بر مقدار آبشویی نیتروژن داشته است.



شکل ۵- مقایسه آبشویی نیتروژن از عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری در سطوح مختلف آب و کود

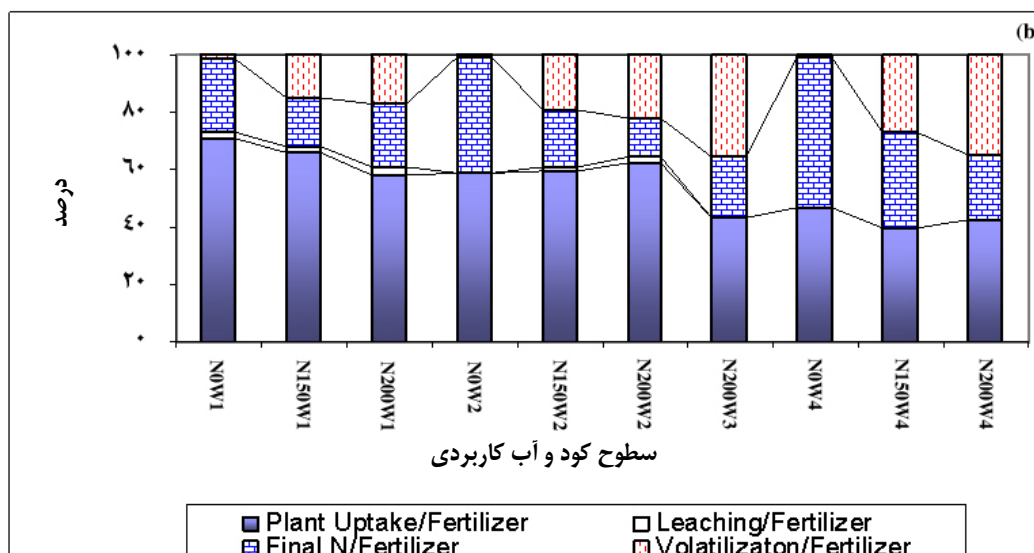
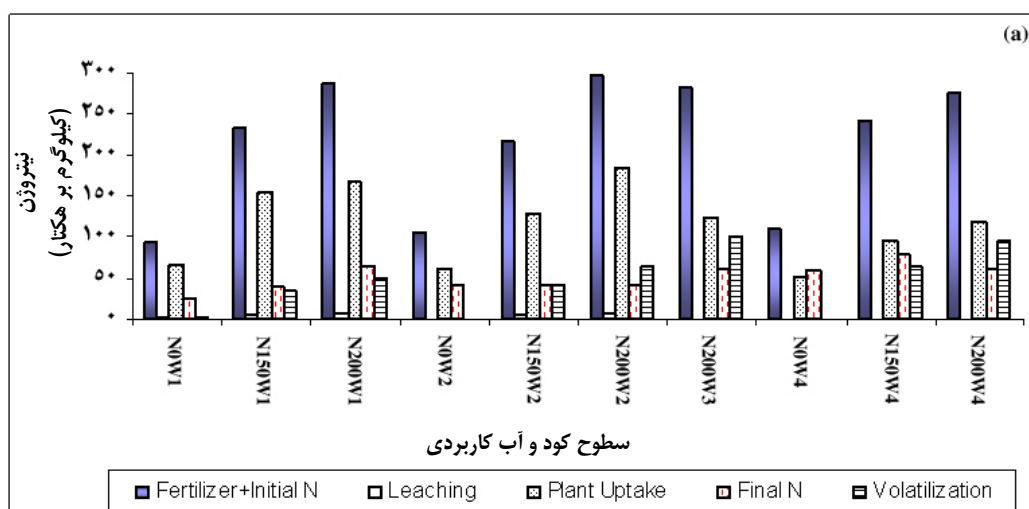
محدود است و مصرف افزون بر آن سبب تجمع نیتروژن در خاک و هدر رفت آن می‌شود. روند فوق برای  $W_3$  نیز دیده می‌شود. در شرایطی که عمق آب کاربردی بیشتر از نیاز تبخیر-تعرق گیاه باشد، با افزایش مصرف کود نیتروژنی شدت منحنی آبشویی نترات افزایش می‌یابد. این موضوع با یافته‌های برخی پژوهشگران (Zhu et al., 2005) مطابقت دارد.

در صورتی که در شرایط یکسان آبیاری، کرتی که ۲۳۲ کیلوگرم نیتروژن در اختیار داشته است، ۲۳/۴ درصد نیتروژن آن از عمق ۳۰ سانتی‌متری عبور کرده است. این موضوع را می‌توان متأثر از نیاز گیاه به نیتروژن و شرایط آبشویی نیتروژن دانست. به عبارت دیگر، گرچه عملکرد ذرت با مصرف نیتروژن افزایش می‌یابد، مقدار جذب نیتروژن توسط گیاه

کامل، نسبت نیتروژن برداشت شده توسط گیاه به نیتروژن به کار برده شده بیشتر از سطوح کم آبیاری است. می توان این اختلاف را متأثر از عملکرد محصول دانست زیرا درصد جذب نیتروژن توسط گیاه روند مشخصی را نشان نمی دهد. همچنین تلفات نیتروژن و نیتروژن باقی مانده در خاک در سطوح کم آبیاری بیشتر از سطوح آبیاری کامل و بیش آبیاری است. می توان نتیجه گرفت که برداشت نیتروژن توسط گیاه تحت تاثیر آب آبیاری است و همان گونه که آب مازاد بر نیاز موجب افزایش آبشویی نیترات می شود، کمبود آب آبیاری سبب کاهش جذب نیتروژن توسط گیاه، تجمع نیتروژن در خاک و افزایش تلفات گازی نیتروژن می شود. مقدار تلفات گازی با استفاده از معادله ۷ محاسبه شد. نتایج نشان داد با افزایش مصرف کود نیتروژنی، تلفات گازی در تمام سطوح آبی افزایش می یابد. در سطح آبی  $W_1$  برای سطوح کودی  $N_{200}$  و  $N_{150}$  به ترتیب ۵۰ و ۳۴/۶ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار به صورت تلفات گازی از دسترس گیاه خارج شده است. مقدار تلفات گازی برای سطح آبی  $W_2$  به ترتیب ۶۶/۴ و ۴۳/۵ و برای سطح آبی  $W_4$  به ترتیب ۹۶ و ۶۵ کیلوگرم  $N$  در هکتار است. عدم کاهش مصرف کود نیتروژنی در سطح آبی  $W_4$  موجب شده در تیمارهای کودی  $N_{200}$  و  $N_{150}$  به ترتیب ۳۴ و ۲۷ درصد کود نیتروژن مصرفی به صورت تلفات گازی از دسترس گیاه خارج شود. در صورتی که برای سطح آبی  $W_1$  مقادیر فوق به ترتیب ۱۷ و ۱۴ درصد است. همچنین کل تلفات نیتروژن (تلفات گازی و آبشویی از عمق ۶۰ سانتی متری) در سطح آبی  $W_1$  برای سطوح کودی  $N_{200}$  و  $N_{150}$  به ترتیب ۱۹/۵ و ۱۷/۵ درصد به دست آمد. بیشترین تلفات نیتروژن در سطح کودی  $N_{200}$  رخ داده است. بیشترین تلفات برابر با ۳۹ درصد متوسط تلفات کودهای نیتروژنی جهان (Asadi, 2004a; Bacon, 1995; Wiesler, 1998) است.

مقدار نیتروژن آبشویی شده از عمق ۶۰ سانتی متر در سطوح آبی  $W_1, W_2, W_4$  در شکل ۵ نشان داده شده است. بیشترین مقدار نیتروژن آبشویی شده به ترتیب در سطوح کودی  $N_{200}, N_{150}$  و  $N_0$  رخ داده است. مقدار نیتروژن آبشویی شده در سطوح آبی  $W_1, W_2, W_4$  در سطح کودی  $N_{150}$  به ترتیب ۵/۰۳، ۴/۴۷ و صفر کیلوگرم بر هکتار و در سطح کودی  $N_{200}$  به ترتیب ۶/۹۲، ۶/۵۸ و صفر کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. بنابراین، در سطح کودی ثابت، بیشترین مقدار آبشویی نیتروژن به ترتیب در سطح آبی  $W_1$  و  $W_2$  رخ داده و در سطح آبی  $W_4$  هیچ آبشویی از عمق ۶۰ سانتی متری رخ نداده است. در سطح آبی  $W_1$  شدت آبشویی از عمق ۶۰ سانتی متری برای سطوح کودی  $N_{200}$  و  $N_{150}$  به ترتیب ۲/۴ و ۲/۱۵ درصد کود مصرفی و شدت تلفات در سطح آبی  $W_2$  به ترتیب ۲/۲ و ۲/۰ درصد کود مصرفی است. نتایج اسدی و همکاران (Asadi et al., 2002) نشان می دهد که بیشترین مقدار آبشویی نیترات از تیمار ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار رخ می دهد و مقدار آن در دو سال متوالی به ترتیب ۲۳ و ۵/۳ کیلوگرم  $N$  در هکتار است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که مصرف زیاد نیتروژن موجب افزایش شیب تلفات آبشویی نیترات می شود.

در شکل (a) مقدار نیتروژن خاک شامل نیتروژن اولیه و کود نیتروژنی اضافه شده، مقدار نیتروژن خارج شده از خاک شامل تلفات آبشویی از عمق ۶۰ سانتی متر و برداشت توسط گیاه و مقدار نیتروژن باقی مانده در خاک تا عمق ۶۰ سانتی متر برای سطوح مختلف کود و آب نشان داده شده است. در شکل (b) نیز مقدار نیتروژن برداشت شده توسط گیاه، مقدار نیتروژن آبشویی شده از عمق ۶۰ سانتی متری، مقدار نیتروژن باقی مانده در خاک تا عمق ۶۰ سانتی متر و نیتروژن تصعید شده به صورت نسبتی از مجموع "نیتروژن اولیه خاک و نیتروژن اضافه شده به خاک" ارائه شده است. در سطوح آبی



شکل ۶- (a) : مقایسه (نیترژن اولیه خاک و نیترژن اضافه شده با کود)، (نیترژن برداشت شده توسط گیاه)، (نیترژن آبشویی شده) و (نیترژن باقی مانده در خاک)؛ (b) : مقایسه درصد نیترژن برداشت شده توسط گیاه، نیترژن آبشویی شده از عمق ۶۰ سانتی متری، نیترژن باقی مانده در خاک و نیترژن تصعید شده نسبت به "مجموع نیترژن کاربردی و نیترژن اولیه خاک"

منطقه (اقلیم خشک و نیمه خشک) و خیس شدن مکرر خاک طی دوره رشد، نیترژن تجمع یافته در خاک به صورت تلفات گازی از خاک خارج شده است. همچنین ممکن است سله های عمیقی که در خاک تیمارهای کم آبیاری به وجود آمده است، تلفات گازی نیترژن را تحت تاثیر قرار داده باشد. در سطوح کم آبیاری، در صورت جذب نشدن کود نیترژنی

تلفات گازی ممکن است متاثر از جذب نشدن نیترژن توسط گیاه در سطوح کم آبیاری باشد. زیرا در سطوح کم آبیاری به دلیل وجود تنش رطوبتی، رشد گیاه کند شده است. همچنین، کمبود رطوبت خاک موجب شده جذب عناصر غذایی از جمله نیترژن کاهش یابد و نیترژن کاربردی در خاک تجمع یابد. با توجه به شرایط آب و هوایی

توام با مدیریت کود تحت عنوان مدیریت کود- آبیاری توصیه می‌شود. آبیاری بارانی با مدیریت کود- آبیاری موجب کاهش چشمگیر تلفات نیتروژن می‌شود به طوری که در این تحقیق کل تلفات نیتروژن در تیمار  $N_{200}W_1$  حدود ۱۹/۵ درصد نیتروژن مصرفی است در صورتی که متوسط تلفات نیتروژن گزارش شده در جهان ۵۰ درصد است. همچنین، بیشترین تلفات آبشویی نیتروژن در تیمار بیش آبیاری ( $WI$ ) و سطح کودی  $N_{200}$  رخ داده است که برابر ۳/۵ درصد کود نیتروژنی مصرفی است. در این پژوهش با اعمال یک مدیریت آبیاری دقیق تلفات آبشویی نترات از عمق ۶۰ سانتی‌متری به حداقل رسانده شد، اما تلفات گازی با شدت‌های مختلف رخ داده و تلفات گازی در سطوح کم آبیاری بیشتر از سطوح آبیاری کامل بوده است. بنابراین، اعمال مدیریت آبیاری موجب مهار تلفات آبشویی می‌شود. در هر مدیریت کودی کارا و دقیق، علاوه بر تقسیم کود بر اساس نیاز ادواری گیاه طی دوره رشد، باید در محاسبه مقدار کود مورد نیاز گیاه اثر تنش رطوبتی لحاظ شود.

توسط گیاه، مقداری از نیتروژن اضافه به صورت تلفات گازی از خاک خارج می‌شود. در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک تلفات تصعید کود اوره در روش پخش کود در سطح خاک تا ۴۰ درصد نیز گزارش شده است (Malakouti & Homaei, 2004). در صورتی که در این پژوهش کل تلفات نیتروژن (از منبع کود اوره) در روش کود- آبیاری حدود ۱۹/۵ درصد است.

### نتیجه‌گیری

استفاده از روش آبیاری بارانی و اعمال مدیریت آبیاری موجب کنترل نفوذ عمقی می‌شود. در صورتی که نیتروژن بیش از نیاز گیاه مصرف شود، به دلیل کنترل نفوذ عمقی در آبیاری بارانی، نیتروژن اضافه از محدوده فعال ریشه آبشویی نمی‌شود. با این همه، نیتروژن اضافه‌ای که در خاک تجمع می‌یابد، در فصل‌های پر باران یا پس از آبیاری سنگین آبشویی می‌شود. بنابراین، اعمال مدیریت آبیاری به تنهایی قادر به حل مشکل آبشویی نترات نیست و از این رو برای کنترل تلفات نیتروژن، مدیریت آبیاری

### مراجع

- Asadi, M. E. 2004a. Effect of irrigation and tillage practices on nitrate leaching. Programme and Abstracts. 3<sup>rd</sup> International Nitrogen Conference. October. 12-16. Nanting. China.
- Asadi, M. E. 2004b. Optimum utilization of water and nitrogen fertilizers in sustainable agriculture. Programme and Abstracts. 3<sup>rd</sup> International Nitrogen Conference. October. 12-16. Nanting. China.
- Asadi, M. E. Clemente, R. S., Gupta, A. D., Loof, R. and Hansen, G. K., 2002. Impacts of fertigation via sprinkler irrigation on nitrate leaching and corn yield in an acid-sulphate soil in Thailand. *Agric. Water Management*. 52: 197-213.
- Bacon, P. E. 1995. Nitrogen Fertilization in the Environment. Marcel Dekker Inc. N. Y.
- Bakhsh, A., Kanwar, R. S. and Karlen, D. L. 2005. Effects of liquid swine manure applications on  $NO_3-N$  leaching losses to subsurface drainage water from loamy soils in Iowa. *Agric. Ecosystems and Environment*. 109: 118-128

- Basso, B. and Ritchie, J. T. 2005. Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize-alfalfa rotation in Michigan. *Agric., Ecosystems and Environment*. 108: 329-341.
- Cameira, M. R., Fernando, R. M. and Pereira, L. S. 2003. Monitoring water and NO<sub>3</sub>-N in irrigated maize fields in the Sorraia Watershed, Portugal. *Agric. Water Management*. 60: 199-216.
- Dinnes, D. L., Karlen, D. L., Jaynes, D. B., Kaspar, T. C., Hatfield, J. L., Colvin, T. S. and Cambardella, C. A. 2002. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained Midwestern soils. *Agronomy J*. 94: 153-171.
- Eriksen, G. N., Coale, F. J. and Bollero, G. A. 1999. Soil nitrogen dynamics and maize production in municipal solid waste amended soil. *Agronomy J*. 91: 1009-1016.
- Gary, W. H. 1986. Nitrate leaching through sandy soil as affected by sprinkler irrigation management. *J. Environment Quality*. 15: 272-278.
- Home, P. G., Panda, P. K. and Kar, S. 2002. Effect of method and scheduling of irrigation on water and nitrogen use efficiencies of Okra (*Abelmoschus esculentus*). *Agric. Water Management*. 55: 159-170.
- Jalali, M. and Rowell, D. L. 2003. The role of calcite and gypsum in the leaching of potassium in a sandy soil. *Expl. Agric*. 39: 379-394.
- Lamm, F. R., Trooien, T. P., Manges, H. L. and Sunderman, H. D. 2001. Nitrogen fertilization for subsurface drip irrigation corn. *Trans. ASAE*. 44(3): 533-542.
- Li, J., Li, B. and Rao, M. 2005. Spatial and temporal distributions of nitrogen and crop yield as affected by nonuniformity of sprinkler fertigation. *Agric. Water Management*. 76: 160-180.
- Litaor, M. I. 1988. Review of soil solution samplers. *Water Resources Res*. 24(5): 727-733.
- Malakouti, M. J. and Gheybi, M. N. 2000. Determining Critical Levels of Efficient Nutrients in Soil, Plant and Fruit in Order to Increase Quantity and Quality of Strategic Country's Crops. 2<sup>nd</sup> Ed. Agricultural Education Pub. (in Farsi)
- Malakouti, M. J. and Homae, M. 2004. Soil Fertility of Arid and Semi-Arid Regions "Difficulties and Solutions". 2<sup>nd</sup> Ed. Tarbiat Modaress University Pub. (in Farsi)



- Martin, D. L., Gilley, J. R. and Skaggs, R. W. 1991. Soil Water Balance and Management. In: Follet, R. F., Keeney, D. R. and Cruse, R. M. (Eds.) *Managing Nitrogen for Groundwater Quality and Farm Profitability*. ASA, SSSA. Madison. WI.
- Mateos, L., Mantovani, E. C. and Villalobos, F. J. 1997. Cotton response to non-uniformity of conventional sprinkler irrigation. *Irrig. Sci.* 17: 47-52.
- Moreno, F., Cayuela, J. A., Fernandez, J. E., Fernandez-boy, E., Murillo, J. M. and Cabrera, F. 1996. Water balance and nitrate leaching in an irrigated maize crop in SW Spain. *Agric. Water Management*. 32: 71-83.
- Mosier, A. R., Syers, J. K. and Freney, J. R. 2004. *Agriculture and the Nitrogen Cycle*. Scope Series 65. Island Press.
- Patel, N. and Rajput, T. B. S. 2000. Effect of Fertigation on Growth and Yield of Onion. In: *Micro Irrigation*. CBIP pub. No. 282.
- Randall, G. W., Huggins, D. R., Russelle, M. P., Fuchs, D. J., Nelson, W. W. and Anderson, J. L. 1997. Nitrate losses through subsurface tile drainage in conservation reserve program, alfalfa, and row crop systems. *J. Environmental Quality*. 26 (5): 1240-1247.
- Rasse, D. P., Ritchie, J. T., Peterson, W. R., Loudon, T. L. and Martin, E. C. 1999. Nitrogen management impacts on yield and NO<sub>3</sub>-N leaching in inbred maize systems. *J. Environmental Quality*. 28: 1365-1371.
- Sexton, B. T., Moncrief, J. F., Rosen, C. J., Gupta, S. C. and Cheng, H. H. 1996. Optimizing nitrogen and irrigation input for corn based on nitrate leaching and yield on a coarse-textured soil. *J. Environment Quality*. 25: 982-992.
- Tyson, A., Dixon, M. L. and Segars, W. 1992. *Your Drinking Water. Nitrates Ext. Pub.* University of Georgia. Athens. GA, USA.
- Wiesler, F. 1998. Comparative Assessment of the Efficacy of Various Nitrogen Fertilizers. In: Rengel, Z. (Ed.) *Nutrient Use in Crop Production*. Food Product Press. N. Y.
- Zhu, A., Zhang, J., Zhao, B., Cheng, Z. and Li, L. 2005. Water balance and nitrate leaching losses under intensive crop production with Ochric Aquic Cambosols in North China plain. *Environment International*. 31(6): 904-912.

## Nitrate Nitrogen Leaching in a Corn Silage Field Fertigated Via a Sprinkler Irrigation System

M. Gheysari, S. M. Mirlatifi, M. Homae and M. E. Asadi

Reduction of  $NO_3-N$  contamination and increasing crop production hinges upon proper management of applied water and nitrogen fertilizer. In order to practice such management, it is necessary to evaluate all the effective parameters involve in the cycle of nitrogen in the soil. Such as amount, time, and method of nitrogen and irrigation water application. The objective of this study was to evaluate the effects of various level of water and nitrogen application via a sprinkler irrigation system on corn silage yield and nitrate leaching. The filed experiment included four levels of irrigation water, ( $1.13ET_C$  ( $W_1$ ),  $1.0ET_C$  ( $W_2$ ),  $0.85ET_C$  ( $W_3$ ), and  $0.7ET_C$  ( $W_4$ )), and three levels of nitrogen application ( $200\text{ Kg N ha}^{-1}$  ( $N_{200}$ ),  $150\text{ Kg N ha}^{-1}$  ( $N_{150}$ ), and  $0.0\text{ Kg N ha}^{-1}$  ( $N_0$ )), with three replications. Soil moisture extracts were taken for the depths 30 and 60 cm by soil moisture samplers 24 hours after each irrigation and rainfall from all the treatment plots. Nitrate concentration of soil moisture extracts were measured to quantity the amount of  $NO_3-N$  leaching below root zone. The  $NO_3-N$  content of the soil up to the depth of 30 and 60 cm at planting and harvesting times and the total crop nitrogen uptake were measured. The amount of  $NO_3-N$  leached below the depth of 60 cm in  $W_1$ ,  $W_2$ , and  $W_4$  treatments with 200 Kg nitrogen applied were 6.92, 6.58, and 0.0 Kg  $ha^{-1}$  and with 150 Kg nitrogen applied were 5.03, 4.47, and 0.0 Kg  $ha^{-1}$ , respectively. No nitrate leaching occurred from  $W_3$  and  $W_4$  plots. The major portion of applied fertilizer to  $W_3$  and  $W_4$  plots remained unused in the soil, a little was absorbed by the crop, and the rest was volatilized. Increasing the amount of applied fertilizer resulted in improving plant nitrogen uptake, but reduced the ratio of plant uptake to total nitrogen applied. The amount of nitrate leaching significantly increased in response to over irrigation in  $W_1$  plots. Results indicate that the amount of  $NO_3-N$  leaching during the growing season depends on many factors such as soil initial nitrogen content, amount of applied nitrogen fertilizer, crop growth condition, crop nitrogen uptake, and irrigation-fertilizer management.

**Key words:** Nitrate Leaching, Sprinkler Irrigation, Fertigation, Nitrogen