Archive of SID

مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۷ / شماره ۲۹/ زمستان ۱۳۸۵/ص ۱۱۸-۱۰۱

آبشویی نیترات 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، پیام نگار: 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 چرخهٔ 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 نیترات 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 ۲۰۰ (N_{200})، ۱۵۰ (N_{150}) 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 دورهٔ 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 نیترات در عصارهٔ استخراج شده اندازه‌گیری شد. مقدار نیترات 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 ۶/۹۲، ۶/۵۸ و صفر کیلوگرم در هکتار و در سطح کودی N_{150} به ترتیب برابر ۵/۰۳، ۴/۴۷ و صفر کیلوگرم در هکتار به دست آمد. آبشویی نیترات در سطوح کم‌آبیاری مشاهده نشد. اما مقدارکمی از نیتروژن کاربردی، توسط گیاه جذب و باقی‌مانده آن پس از تجمع در خاک به‌صورت 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 نیترات شد. نتایج همچنین نشان می‌دهد که آبشویی نیتروژن نیتراتی طی دورهٔ رشد، تابع نیتروژن اولیهٔ خاک، نیتروژن کاربردی، شرایط رشد گیاه، مقدار جذب نیتروژن گیاه و مدیریت کود- آبیاری است.

واژه‌های کلیدی

آبشویی نیترات، آبیاری بارانی، کود- آبیاری، نیتروژن

مقدمه

کودهای نیتروژنی، به دلیل آبشویی سریع یون نیترات (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 نیترات، آب‌های زیرزمینی یعنی تنها منبع آب آشامیدنی بسیاری از مردم کشورهای در حال توسعه دائم در معرض تهدید آلودگی به یون نیترات هستند. از این رو غلظت یون نیترات 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

www.SID.ir

Archive of SID

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[1] 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 دربارهٔ 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 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 منطقهٔ توسعهٔ ریشهٔ ذرت در سیستم آبیاری شیاری (Moreno *et al.*, 1996) و آبیاری زیر سطحی[2] (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 ماکزیمم 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.

1- Fertigation 2- Subsurface Drip Irrigation

www.SID.ir

Archive of SID

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 صورتی‌که 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 به‌کار 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 توام سطوح کود و آب بر تلفات نیتروژن در یک سیستم مدیریتی 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 "۲/۹ ' ۳۸ ° ۵۱ شرقی، عرض جغرافیایی "۳۸/۷ ' ۲۰°۳۵ شمالی و ارتفاع ۹۷۲ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش در قطعه زمینی به ابعاد ۸۵×۲۰۵ 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، $0/7ET_C$ (W_4)، $0/85ET_C$ (W_3)، $1/0ET_C$ (W_2) و $1/13ET_C$ (W_1) با استفاده از طرح آماری کرت‌های نواری[1] 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. هرکرت شامل ۱۸ جوی و پشته به فاصلهٔ 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 کم‌آبیاری (W_1 , 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 متهٔ 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

1- Strip- Plot design

www.SID.ir

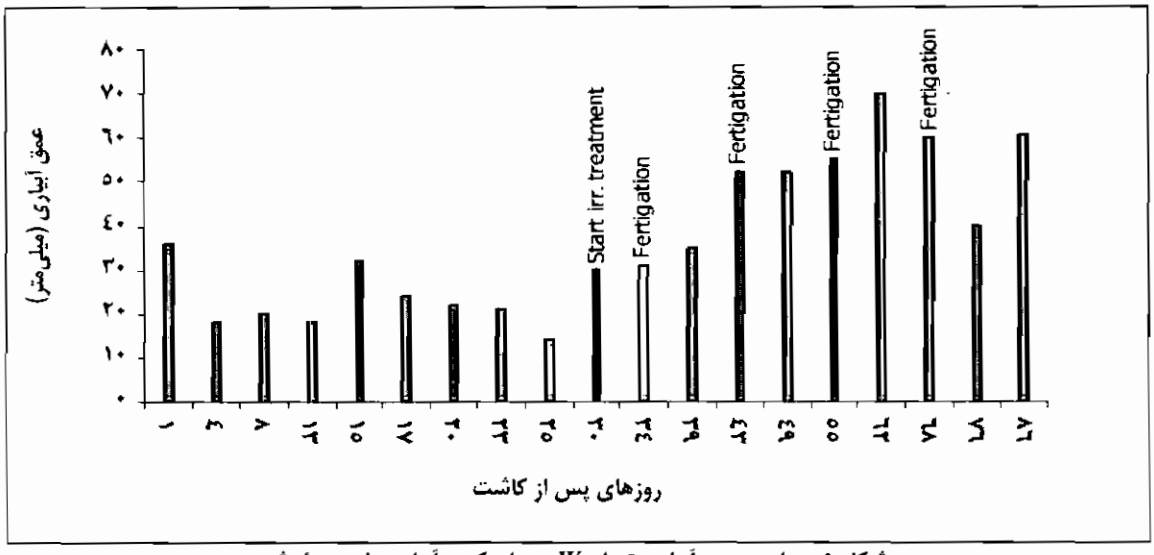
Archive of SID

مثلث) برداشت می‌شد. بارش‌های منطقهٔ مورد مطالعه بیشتر در پاییز و زمستان است؛ طی دورهٔ رشد ذرت هیچ بارندگی رخ نداد.

عمق آبیاری با هدف جایگزین کردن رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه تا حد ظرفیت زراعی (FC) برای تیمارآبی بدون تنش رطوبتی (W_2) محاسبه شد و دیگر تیمارهای آبی، ضریبی از عمق آبیاری تیمار W_2 را دریافت می‌کردند. ضرایب ۰/۷، ۰/۸۵، ۱/۰ و ۱/۱۳ به ترتیب برای محاسبه عمق آبیاری در سطوح آبیاری W_4، W_3، W_2 و W_1 به کار برده شد. زمان آبیاری بر اساس تخلیهٔ مجاز رطوبتی[1] (MAD) برابر ۵۰ درصد آب قابل دسترس خاک (پتانسیل ماتریک ۰/۱- 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 تخلیهٔ 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 رابطهٔ زیر محاسبه شد:

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

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 ناحیهٔ ریشه (بر حسب میلی‌متر)؛ m= تعداد لایه‌ها در عمق توسعهٔ 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 $PWP + MAD \times (FC - PWP)$ بود. برای محاسبهٔ عمق آبیاری در تیمارهای آبی W_4 ، W_3، W_2 و W_1 به ترتیب از ضرایب ۰/۷، ۰/۸۵، ۱ و ۱/۱۳ استفاده شد. در شکل ۱ مقدار و زمان آب آبیاری و زمان کاربرد کود نیتروژنی در تیمار W_2 نشان داده شده است.



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

1- Management allowed depletion

www.SID.ir

Archive of SID

در ۲۵ روز ابتدای دورهٔ 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 نتیجهٔ آزمایش شیمیایی خاک و استفاده از جداول توصیهٔ 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 دورهٔ 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 پیش بینی 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 محاسبهٔ نفوذ عمقی آب یا محاسبهٔ میزان فرونشت عمقی (آب زهکشی) از روش موازنه جرم به شرح زیر استفاده شد:

$$DP = I_r - (\sum_{i=1}^{m} (W_{FCi} - W_{BIi}) \times Bd_i \times D_i / Bd_w) / 100 \quad (۲)$$

$$I_r = (\sum_{i=1}^{n} (W_{AIi} - W_{BIi}) \times Bd_i \times D_i / Bd_w) / 100 \quad (۳)$$

که در آنها، DP= نفوذ عمقی آب (بر حسب میلی‌متر) در دورهٔ اندازه‌گیری؛ I_r = عمق آب نفوذ یافته در خاک (بر حسب میلی‌متر) در دورهٔ اندازه‌گیری؛ W_{FCi}= رطوبت وزنی خاک در ظرفیت زراعی در لایهٔ i ام (بر حسب درصد)؛ W_{BIi}= رطوبت وزنی خاک پیش از آبیاری یا بارندگی در لایهٔ i ام (بر حسب درصد)؛ Bd_i = جرم ویژه ظاهری خاک در لایهٔ 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_{AIi}= رطوبت وزنی خاک ۲۴ ساعت پس از آبیاری یا بارندگی در لایهٔ i ام (بر حسب درصد) است.

در طی دوره رشد با اندازه گیری 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 نفوذیافته به زیر عمق ۶۰ سانتی‌متری به عنوان نفوذ عمقی در نظر گرفته شد. بدین‌ترتیب، مقدار نیترات آبشویی شده از عمق ۶۰ سانتی‌متری با استفاده از رابطهٔ زیر به دست آمد:

$$(L_{NO3})_{60} = DP \times C_{60} \quad (۴)$$

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

www.SID.ir

Archive of SID

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

سکستن و همکاران (Sexton *et al.*, 1996) در معادلهٔ موازنهٔ جرم نیتروژن از تلفات تصعید و تثبیت نیتروژن صرف‌نظر و معادله‌های ۵ و۶ را برای تخمین آبشویی نیترات ارائه کردند:

$$N_{Leach} = N_{fert} + N_{\min} + N_{initial} - N_{plant} - N_{final} \quad (۵)$$

$$N_{\min} = N_{plant} - N_{initial} + N_{final} \quad (۶)$$

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. معادلهٔ ۶ برای کرت N_0 به کاربرده می‌شود و مقدار N_{min} به دست می‌آید.

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

$$N_{vol} = N_{fert} + N_{\min} + N_{initial} - N_{plant} - N_{final} - N_{leach} \quad (۷)$$

که در آن، N_{vol} = مجموع تلفات تصعید و تثبیت نیتروژن است.

برای استخراج نمونه آب ثقلی خاک از عمق‌های ۳۰ و۶۰ سانتی‌متری، از دستگاه نمونه‌بردار آب خاک[1] (SWS) (مدل L241900، Soil Moisture Equipment Corporation, USA) استفاده شد. کلاهک سرامیکی متخلخل *SWS*، زمانی که دستگاه با پمپ خلاء تحت فشار منفی قرار می‌گیرد، مانند لایسیمتر مکنده عمل می‌کند و سبب می‌شود آب ثقلی 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 متهٔ ۵ سانتی‌متری به صورت عمودی حفر شده بودند. فضای خالی بین SWS و جدارهٔ 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 تهیهٔ عصارهٔ 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 تحلیه 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

1 - Soil Water Sampler

www.SID.ir

Archive of SID

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

در جدول ۱ درصد نیتروژن کل گیاه در زمان برداشت، شاخص سطح برگ طی دورهٔ رشد و عملکرد محصول در تیمارهای مختلف کود و آب ارائه شده است. شاخص سطح برگ بیانگر وضعیت رشد رویشی ذرت طی دورهٔ 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 (بیش‌آبیاری) در شکل ۲ نشان داده شده است. در ناحیهٔ 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 ناحیهٔ 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 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 توسعهٔ 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 لایهٔ 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 (دورهٔ اولیه رشد و ابتدای دورهٔ توسعه) ناچیز بوده است و گیاه مقدار کمی نیتروژن از خاک برداشت کرده و مقدار قابل توجهی نیتروژن در عمق صفر تا ۳۰ تجمع یافته است. چهل و سه روز پس از کاشت، عمق فعال ریشهٔ ذرت از ۳۰ سانتی‌متر فراتر رفته است.

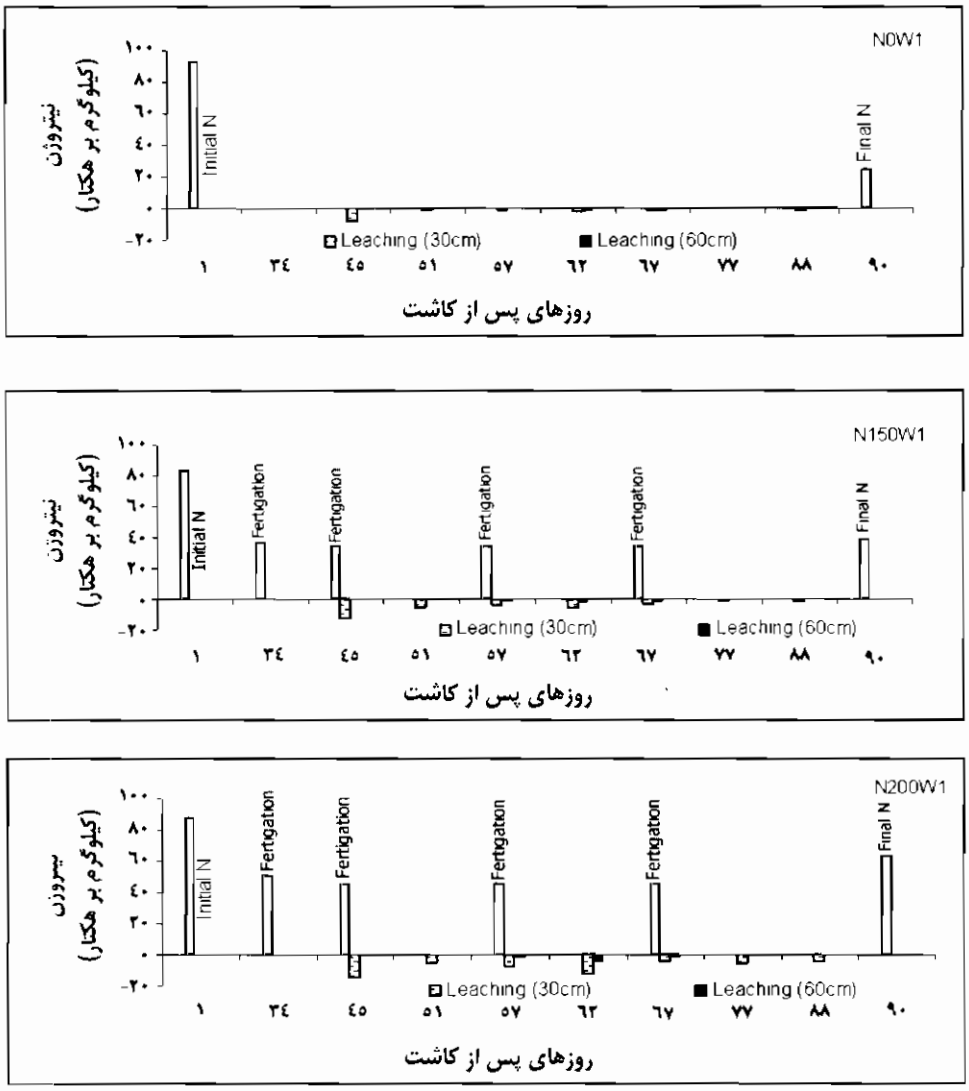
جدول ۱- شاخص‌های رشد و عملکرد در سطوح مختلف آب و کود

			روزهای پس از کاشت				
		۸۵	۸۵	۸۵	۷۱	۵۹	۴۶
سطوح آبی	سطوح کودی	نیتروژن برداشت شده توسط گیاه (کیلوگرم N بر هکتار)	نیتروژن کل گیاه (درصد)	عملکرد مادهٔ خشک (کیلوگرم بر هکتار)	شاخص سطح برگ		
W_1	N_0	۶۶/۵	۰/۷	۹۵۰۰	۴/۳۲	۲/۷	۰/۹۳
	N_{150}	۱۵۴/۵	۱/۴۳	۱۰۸۰۵	۴/۷۷	۲/۶۱	۰/۷
	N_{200}	۱۶۸/۷	۱/۵۲	۱۱۱۰۰	۴/۷	۳/۱	۰/۷۲
W_2	N_0	۶۲/۸	۰/۷۶	۸۲۶۲	۳/۸	۱/۴۷	۰/۷۱
	N_{150}	۱۲۸	۱/۳۳	۹۶۵۰	۴/۳۹	۲/۳	۰/۹۳
	N_{200}	۱۸۵	۱/۷۷	۱۰۵۰۰	۵/۴۹	۳/۵	۱/۱۸
W_4	N_0	۵۲/۵	۰/۸۲	۶۴۰۰	۴/۲	۲/۳۲	۰/۶۶
	N_{150}	۹۶/۶	۱/۳۴	۷۲۱۰	۳/۹۵	۱/۸۴	۰/۸۲
	N_{200}	۱۱۸/۵	۱/۶۷	۷۱۰۰	۳/۷۸	۱/۳۱	۰/۸۵

www.SID.ir

Archive of SID

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



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

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 ناحیهٔ ریشه رخ می‌دهد که موجب شسته شدن نیترات به اعماق خاک خواهد شد. این یافته‌ها با نتایج به دست آمدهٔ دیگر پژوهشگران (Cameira *et al.*, 2003; Martin *et al.*, 1991; Rasse *et al.*, 1999) همخوانی دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج دلالت بر آن دارد که مصرف بیش از حد کودهای نیتراتی موجب تجمع نیترات در نیمرخ خاک یا آبشویی نیترات از عمق فعال ریشهٔ گیاه می‌شود. در روش‌های مکانیزهٔ آبیاری، با اعمال مدیریت آبیاری امکان کاهش آبشویی نیترات طی دورهٔ رشد وجود دارد ولی مازاد نیتروژن در نیمرخ خاک تجمع می‌یابد و در فصل‌های پر باران (پاییز و زمستان) آبشویی می‌شود. بنابراین، علاوه بر مدیریت آبیاری (تنظیم عمق آب با عمق توسعهٔ ریشه) اعمال مدیریت کود نیتروژنی یعنی مصرف کود نیتروژن بر اساس نیاز ادواری گیاه نقش مهمی در کاهش تلفات آبشویی نیترات دارد. عمق آب آبیاری در آبیاری‌های پس از روز چهل و سوم بیشتر از روز چهل و سوم بود، اما مقدار NO_3-N آبشویی شده از عمق ۳۰ سانتی‌متری در آبیاری‌های بعدی کمتر از NO_3-N آبشویی‌شده در روز چهل و سوم است. این روند تحت تاثیر کاهش غلظت نیتروژن در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک پس از آبیاری روز چهل و سوم و افزایش نیاز گیاه به نیتروژن در دورهٔ توسعه و میانی رشد، در مقایسه با دورهٔ اولیه رشد، قرار دارد.

آبیاری روز شصت و دوم پس از کاشت یکی از عمیق‌ترین آبیاری‌های دوره بود که طی آن نقصان رطوبت خاک تا عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک تا حد رطوبت FC برطرف شد. با توجه به اجرای کود- آبیاری در روز پنجاه و پنجم، انتظار می‌رفت مقدار آبشویی نیتروژن از عمق ۳۰ سانتی‌متری در آبیاری روز شصت و دوم نسبت به سایر آبیاری‌ها بیشتر باشد. اما، به دلیل جذب زیاد نیتروژن توسط گیاه در اواخر دورهٔ میانی رشد و کاهش غلظت نیترات خاک بر اثر آبیاری‌های مکرر، آبشویی NO_3-N از عمق ۳۰ سانتی‌متری قابل توجه نبوده است.

نتایج دلالت بر آن دارد که علاوه بر مقدار آبی که از منطقهٔ توسعهٔ ریشه عبور می‌کند، غلظت نیترات نیز در نیمرخ خاک یا آب آبیاری عامل موثری در مقدار آبشویی نیترات است. نتایجی که محققان دیگر (Eriksen *et al*., 1999; Randall *et al*., 1997) به دست آورده‌اند، این موضوع را تائید می‌کند. از این رو تنها راه ممکن برای کنترل غلظت نیترات در نیمرخ خاک، تقسیط کود نیتروژنی طی دورهٔ رشد بر اساس نیاز گیاه است.

در شکل ۳، آبشویی نیتروژن نیتراتی در سطوح مختلف کودی با سطح آبی W_2 (آبیاری کامل) نشان داده شده است. الگوی آبشویی نیتروژن در سطح آبی W_2 شبیه الگوی ذکر شده در سطح آبی W_1 است، با این همه آبشویی نیتروژن در روزهای ۶۲ و ۶۷ دورهٔ رشد در کرت $N_{150}W_2$ برخلاف انتظار افزایش یافته و بیشتر از آبشویی کرت $N_{200}W_2$ است. برای بررسی دلیل این موضوع مقادیر آبشویی نیترات، نتایج تجزیهٔ گیاهی و شاخص سطح برگ به طور همزمان بررسی و نتایج زیر حاصل شد.

نیتروژن نمونه گیاهی کرت $N_{150}W_2$، در مقایسه با کرت $N_{200}W_2$، ۲۵ درصد کمتر است. شاخص سطح برگ در کرت $N_{200}W_2$ طی دورهٔ رشد بیشتر از کرت $N_{150}W_2$ بوده است، به طوری که در آخر فصل شاخص سطح برگ این دو به ترتیب ۵/۴۹ و ۴/۳۹ بوده است. روند رشد گیاه طی دورهٔ رشد در کرت $N_{200}W_2$ بهتر از $N_{150}W_2$ و جذب نیتروژن گیاه نیز در کرت $N_{200}W_2$ بیشتر از $N_{150}W_2$ بوده و بنابراین از کرت $N_{200}W_2$ مقدار نیتروژن بیشتری برداشت شده است.

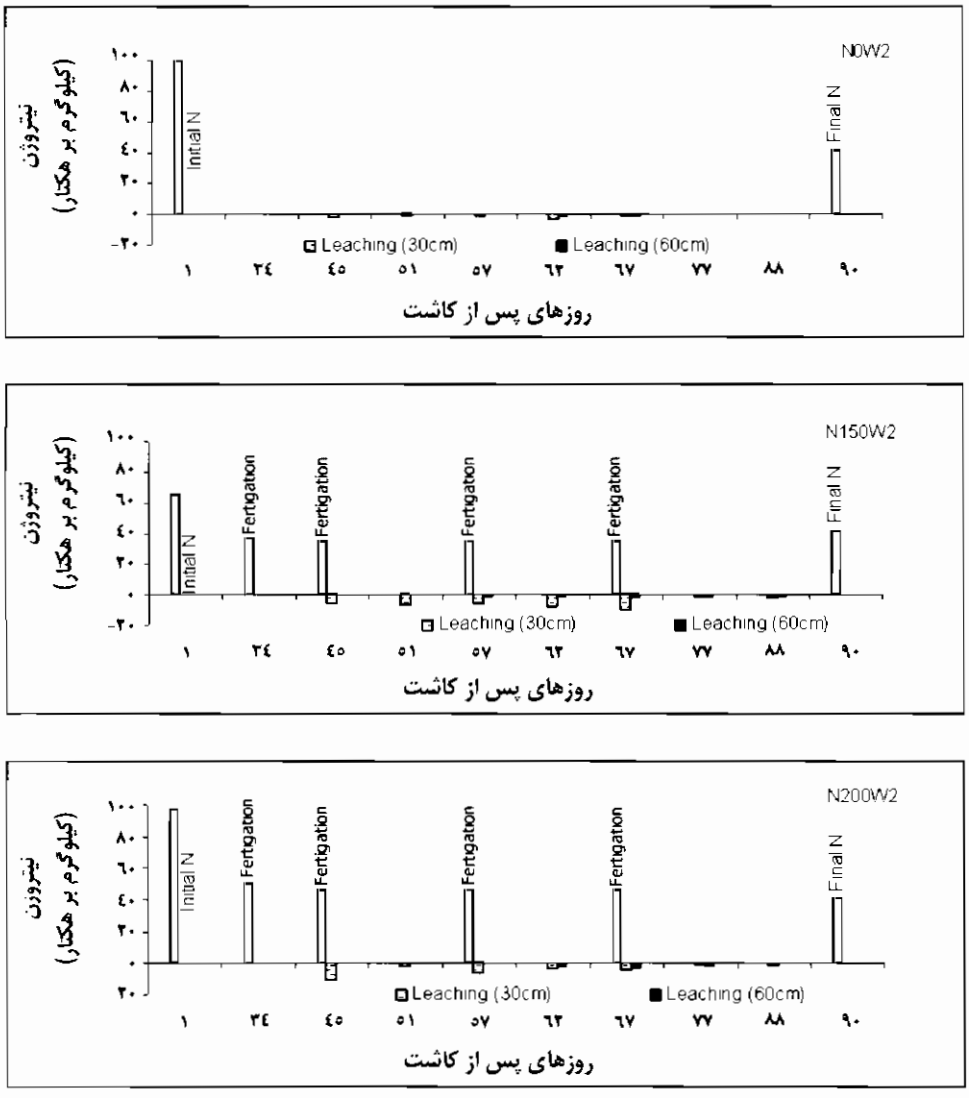
مقایسهٔ درصد نیتروژن کل گیاه و شاخص سطح برگ کرت‌های $N_{200}W_2$ و $N_{200}W_1$ نشان می‌دهد که کرت $N_{200}W_2$ نسبت به کرت $N_{200}W_1$ آب کمتری دریافت کرده و عملکرد آن نیز کمتر بوده است، اما درصد جذب نیتروژن بیشتری داشته و در مجموع مقدار نیتروژن برداشت شده از کرت $N_{200}W_2$ بیشتر از $N_{200}W_1$ بوده است.

جدول ۱ نشان می‌دهد که شاخص سطح برگ کرت $N_{150}W_2$ نسبت به $N_{150}W_1$ کمتر و رشد گیاه در کرت $N_{150}W_2$ ضعیف‌تر از $N_{150}W_1$ بوده است. با توجه به درصد نیتروژن کل گیاه و عملکرد محصول در کرت‌های مذکور، مشاهده می‌شود که گیاه در کرت $N_{150}W_2$ در مقایسه با کرت $N_{150}W_1$ نیتروژن کمتری برداشت کرده است.

www.SID.ir

Archive of SID

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



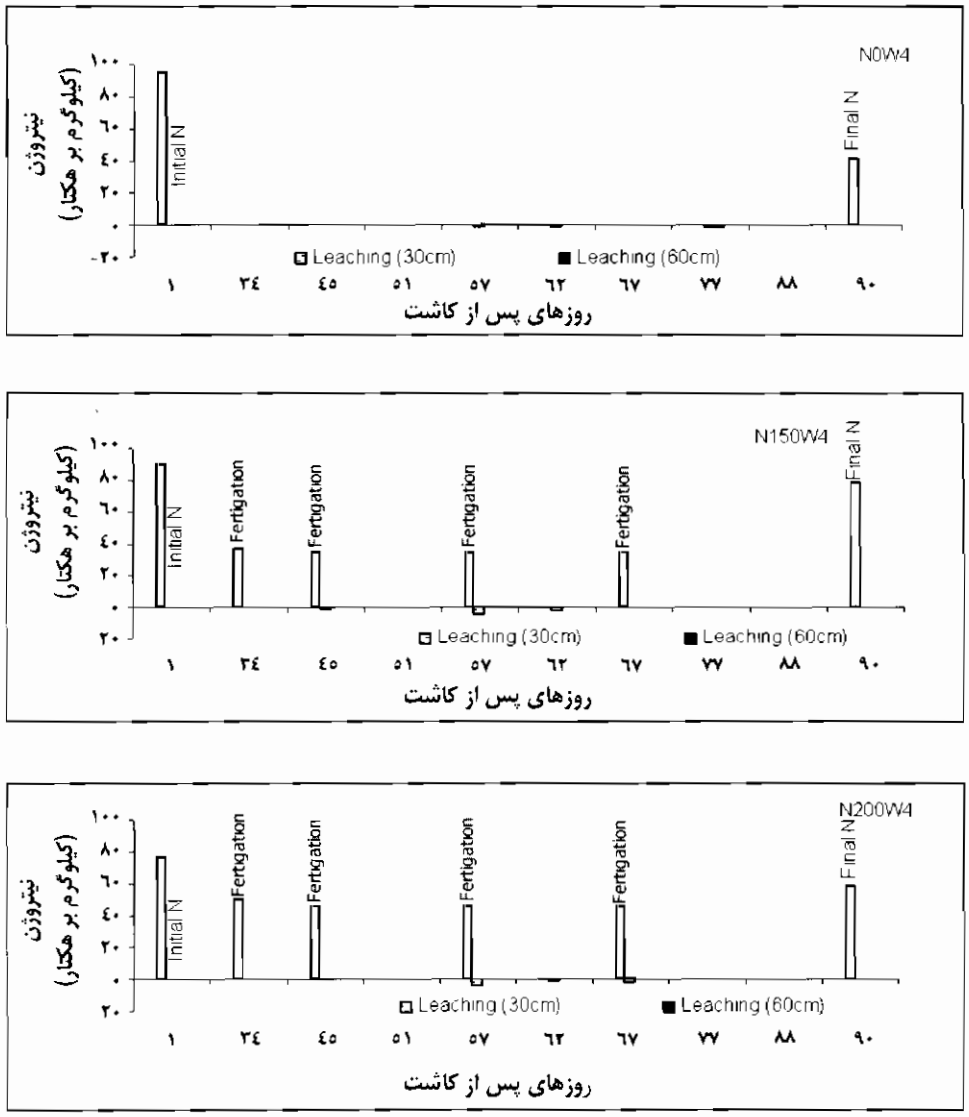
شکل ۳- مقایسه آبشویی نیتروژن در سطوح مختلف کودی (N_0، N_{150} و N_{200}) در سطح آبی W_2

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

www.SID.ir

Archive of SID

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_{200}، N_{150} و N_0 رخ 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 ۸۲/. درصد است. از مقایسهٔ مقدار نیتروژنی که گیاه برداشت کرده است با مقدار نیتروژن کاربردی در سطح آبی W_4 نتیجه می‌شود که با افزایش کود نیتروژن مصرفی، 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 منطقهٔ توسعهٔ ریشه است و در سطوح کم‌آبیاری 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.



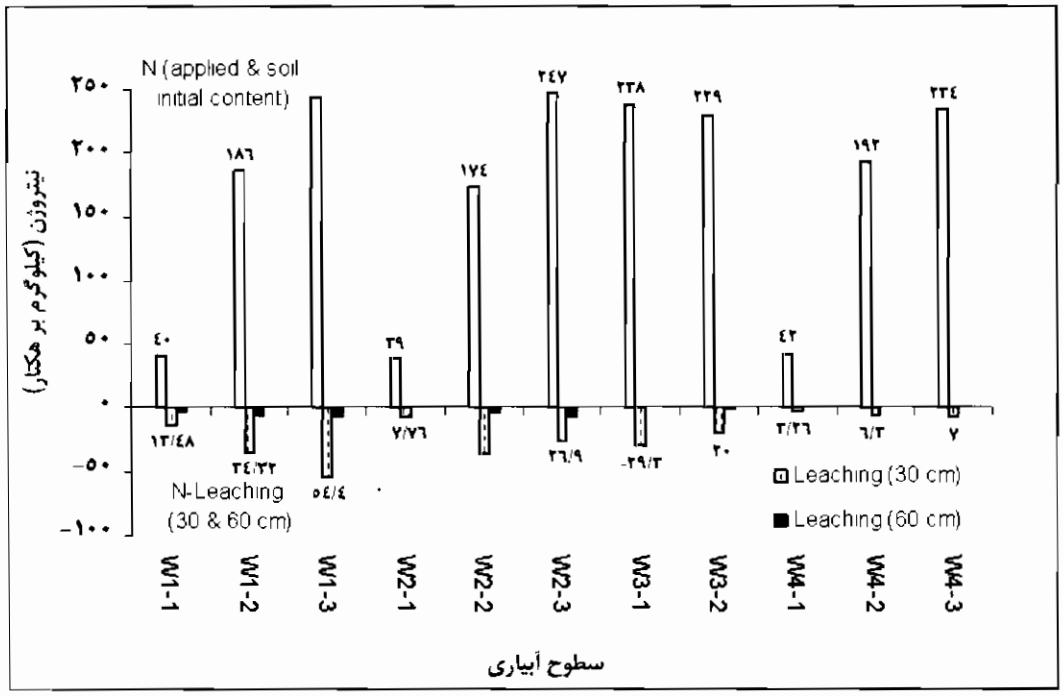
شکل ٤- مقایسه آبشویی نیتروژن در سطوح مختلف کودی (N_0، N_{150} و N_{200}) در سطح آبی W_4

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۵، آبشویی نیتروژن نیتراتی را در سطوح مختلف آب و کود نشان می‌دهد. در این شکل، مقدار تجمعی نیتروژن اولیهٔ خاک تا عمق ۶۰ سانتی‌متر و نیتروژن اضافه شده از منبع کود اوره 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.

با مقایسهٔ ستون‌های سطح آبی W_1 می‌توان استدلال کرد که در شرایطی که آب کافی برای نفوذ وجود داشته باشد، مصرف کود نیتروژنی شدت آبشویی نیترات را افزایش می‌دهد. به عنوان مثال، کرتی که کل نیتروژن موجود در آن ۱۷۷ کیلوگرم بوده و آب کافی برای آبشویی در اختیار داشته است (سطح آبی بیش آبیاری)، ۱۹/۳ درصد نیتروژن آن از عمق ۳۰ سانتی‌متر عبور کرده است.



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

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 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 نیترات افزایش می‌یابد. این موضوع با یافته‌های برخی پژوهشگران (Zhu *et al.*, 2005) مطابقت دارد.

www.SID.ir

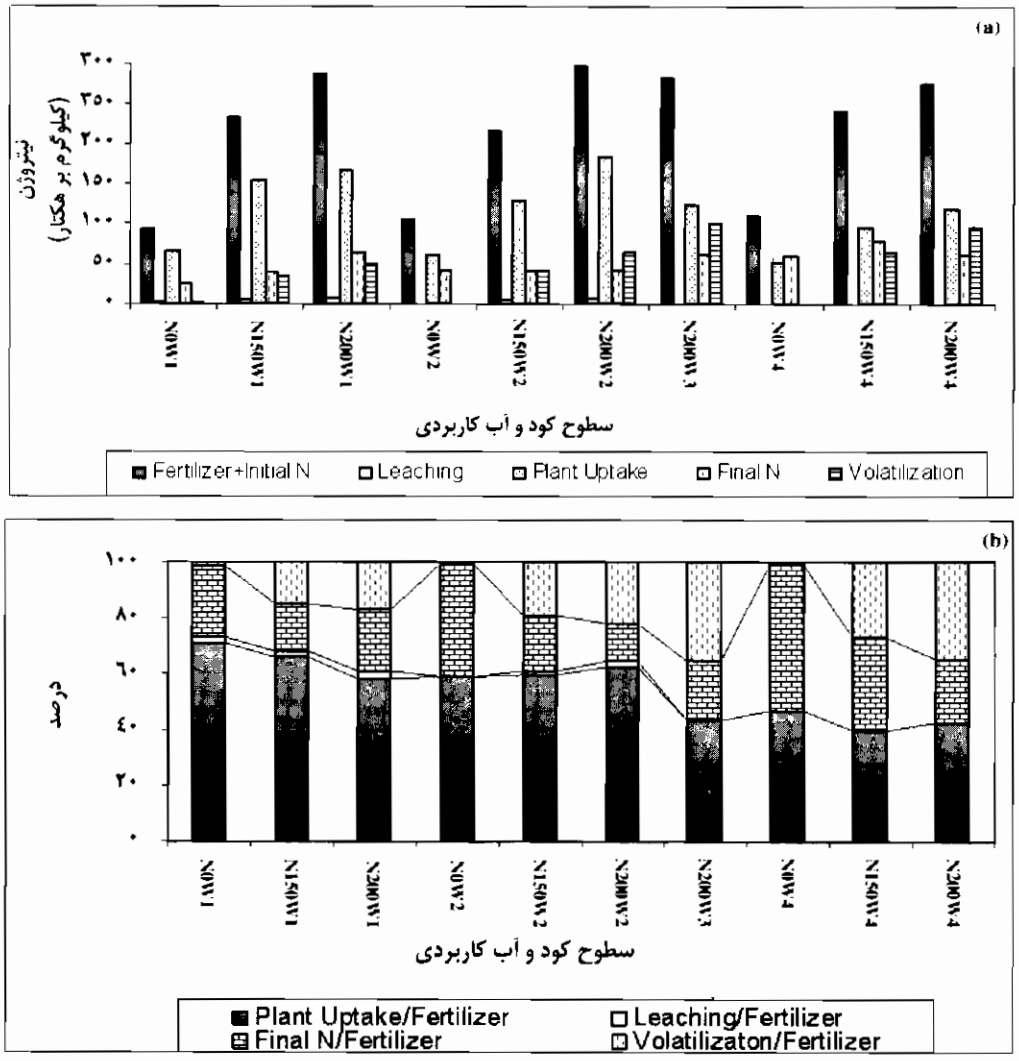
Archive of SID

مقدار نیتروژن آبشویی شده از عمق ۶۰ سانتی‌متر در سطوح آبی W_1، W_2 و 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 و 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 سانتی‌متری رخ نداده است. در سطح آبی W_1 شدت آبشویی از عمق ۶۰ سانتی‌متری 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 می‌دهد که بیشترین مقدار آبشویی نیترات از تیمار ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار رخ می‌دهد و مقدار آن در دو سال متوالی به ترتیب ۲۳ و ۵/۳ کیلوگرم N در هکتار است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مصرف زیاد نیتروژن موجب افزایش شیب تلفات آبشویی نیترات می‌شود.

در شکل ۶(a) مقدار نیتروژن خاک شامل نیتروژن اولیه و کود نیتروژنی اضافه شده، مقدار نیتروژن خارج شده از خاک شامل تلفات آبشویی از عمق ۶۰ سانتی‌متر و برداشت توسط گیاه و مقدار نیتروژن باقی‌مانده در خاک تا عمق ۶۰ سانتی‌متر برای سطوح مختلف کود و آب نشان داده شده است. در شکل ۶(b) نیز مقدار نیتروژن برداشت شده توسط گیاه، مقدار نیتروژن آبشویی‌شده از عمق ۶۰ سانتی‌متری، مقدار نیتروژن باقی‌مانده در خاک تا عمق ۶۰ سانتی‌متر و نیتروژن تصعید شده به صورت نسبتی از مجموع "نیتروژن اولیه خاک و نیتروژن اضافه شده به خاک" ارائه شده است. در سطوح آبی کامل، نسبت نیتروژن برداشت شده توسط گیاه به نیتروژن به کار برده شده بیشتر از سطوح کم‌آبیاری است. می‌توان این اختلاف را متأثر از عملکرد محصول دانست زیرا درصد جذب نیتروژن توسط گیاه روند مشخصی را نشان نمی‌دهد. همچنین تلفات نیتروژن و نیتروژن باقی‌مانده در خاک در سطوح کم‌آبیاری بیشتر از سطوح آبیاری کامل و بیش آبیاری است. می‌توان نتیجه گرفت که برداشت نیتروژن توسط گیاه تحت تاثیر آب آبیاری است و همان‌گونه که آب مازاد بر نیاز موجب افزایش آبشویی نیترات می‌شود، کمبود آب آبیاری سبب کاهش جذب نیتروژن توسط گیاه، تجمع نیتروژن در خاک و افزایش تلفات گازی نیتروژن می‌شود. مقدار تلفات گازی با استفاده از معادلهٔ ۷ محاسبه شد. نتایج نشان داد با افزایش مصرف کود نیتروژنی، تلفات گازی در تمام سطوح آبی افزایش می‌یابد. 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 و۴۳/۵ 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 سانتی‌متری) 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.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٦- (a) : مقایسه (نیتروژن اولیه خاک و نیتروژن اضافه شده با کود)، (نیتروژن برداشت شده توسط گیاه)، (نیتروژن آبشویی‌شده) و (نیتروژن باقی‌مانده در خاک) ؛ (b) : مقایسه درصد نیتروژن برداشت شده توسط گیاه، نیتروژن آبشویی‌شده از عمق ٦٠ سانتی‌متری، نیتروژن باقی‌مانده در خاک و نیتروژن تصعیدشده نسبت به "مجموع نیتروژن کاربردی و نیتروژن اولیه خاک"

تلفات گازی ممکن است متاثر از جذب نشدن نیتروژن توسط گیاه در سطوح کم‌آبیاری باشد. زیرا در سطوح کم‌آبیاری به دلیل وجود تنش رطوبتی، رشد گیاه کند شده است. همچنین، کمبود رطوبت خاک موجب شده جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن کاهش یابد و نیتروژن کاربردی در خاک تجمع یابد. با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه (اقلیم خشک و نیمه‌خشک) و خیس نشدن مکرر خاک طی دوره رشد، نیتروژن تجمع‌یافته در خاک به صورت تلفات گازی از خاک خارج شده است. همچنین ممکن است سله‌های عمیقی که در خاک تیمارهای کم‌آبیاری به وجود آمده است، تلفات گازی نیتروژن را تحت تاثیر قرار داده باشد. در سطوح کم‌آبیاری، در صورت جذب نشدن کود نیتروژنی

www.SID.ir

Archive of SID

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 & Homaee, 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 صورتی‌که 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 پرباران یا پس از آبیاری سنگین آبشویی می‌شود. بنابراین، اعمال مدیریت آبیاری به تنهایی قادر به حل مشکل آبشویی نیترات نیست و از این رو برای کنترل تلفات نیتروژن، مدیریت آبیاری توام با مدیریت کود تحت عنوان مدیریت کود- آبیاری توصیه می‌شود. آبیاری بارانی با مدیریت کود- آبیاری موجب کاهش چشمگیر تلفات نیتروژن می‌شود به‌طوری‌که 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 ($W1$) و سطح کودی $N200$ رخ داده است که برابر ۳/۵ درصد کود نیتروژنی مصرفی است. در این پژوهش با اعمال یک مدیریت آبیاری دقیق تلفات آبشویی نیترات 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 تقسیط کود بر اساس نیاز ادواری گیاه طی دوره رشد، باید در محاسبه مقدار کود مورد نیاز گیاه اثر تنش رطوبتی لحاظ شود.

مراجع

Asadi, M. E. 2004a. Effect of irrigation and tillage practices on nitrate leaching. Programme and Abstracts. 3rd 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. 3rd 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 NO3-N leaching losses to subsurface drainage water from loamy soils in Iowa. Agric. Ecosystems and Environment. 109: 118-128

www.SID.ir

Archive of SID

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 NO3-N in irrigated maize fields in the Sorraia Watershed, Portugal. Agric. Water Managemcnt. 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 Increasc Quantity and Quality of Strategic Country's Crops. 2nd Ed. Agricultural Education Pub. (in Farsi)

Malakouti, M. J. and Homaee, M. 2004. Soil Fcrtility of Arid and Semi-Arid Regions "Difficulties and Solutions". 2nd Ed. Tarbiat Modaress Univcrsity Pub. (in Farsi)

www.SID.ir

Archive of SID

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 NO3-N leaching in inbred maize systems. J. Environ mental. 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.

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.7 /No. 29 / Winter 2007/ P: 101-118

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

M. Gheysari, S. M. Mirlatifi, M. Homaee 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 Kg N ha^{-1} (N_{200}), 150 Kg N ha^{-1} (N_{150}), and 0.0 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

www.SID.ir