مدیریت آب و آبیاری، دوره ۲، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۱، صص ۹۸-۸۵

تأثیر کم‌آبیاری ناقص ریشه و کم‌آبیاری معمولی ذرت بر جذب و پتانسیل آبشویی نیترات

فاطمه کاراندیش [۱]، سید مجید میرلطیفی [۲*]، علی شاه‌نظری [۳]، مهدی قیصری [۴] و فریبرز عباسی [۵]

(E-mail: mirlat_m@modares.ac.ir)

(تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۲۵ - تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۱۹)

چکیده

در این پژوهش، تأثیر پنج تیمار آبیاری کامل (FI)، کم‌آبیاری ناقص ریشه در دو سطح ۷۵ درصد (PRD_{75}) و ۵۵ درصد (PRD_{55}) و کم‌آبیاری معمولی در دو سطح ۷۵ درصد (DI_{75}) و ۵۵ درصد (DI_{55}) تحت آبیاری قطره‌ای روی میزان جذب و آبشویی نیترات در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در دو فصل کشت ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین مقادیر نفوذ عمقی و رطوبت خاک از سنسورهای TDR استفاده شد. نتایج نشان داد که کاهش عمق آب آبیاری باعث کاهش معنی‌دار نیتروژن برگ و نیتروژن کل ذخیره شده در اندام هوایی در تیمارهای DI_{75}، DI_{55} و PRD_{55} در سطح پنج درصد شد، اما این اختلاف بین تیمارهای PRD_{75} و FI معنی‌دار نبود. علی‌رغم پتانسیل بیشتر انتقال نیتروژن از لایه‌های سطحی در تیمارهای PRD در مقایسه با DI، جذب بیشتر نیتروژن از خاک باعث شده تا مقادیر نیتروژن باقیمانده در عمق ۸۰-۰ سانتی‌متری در تیمارهای PRD بین ۲۰ تا ۶۰ درصد کمتر از مقدار آن در تیمارهای DI باشد. همچنین میزان عملکرد محصول، در تیمارهای DI_{55}، DI_{75} و PRD_{55} به ترتیب ۵۴، ۵۲ و ۱۷ درصد در سال ۱۳۸۹ و ۲۶، ۱۴ و ۲۰ درصد در سال ۱۳۹۰ کمتر از تیمار FI بود. این اختلاف بین تیمارهای FI و PRD_{75} معنی‌دار نبود. لذا می‌توان ادعا داشت که روش PRD_{75} با حفظ توأم مسایل زیست‌محیطی و اقتصادی، راهکاری مناسب در راستای نیل به یک کشاورزی پایدار محسوب می‌گردد.

کلمات کلیدی: انتقال نیتروژن، ذرت، سنسورهای رطوبتی TDR، عملکرد محصول، نیتروژن برگ

---

۱ - دانش‌آموخته دکتری، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران - ایران

۲ - دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران - ایران **(نویسنده مسئول مکاتبات *)**

۳ - استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری - ایران

۴ - استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان - ایران

۵ - دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج - ایران

مقدمه

نیتروژن یکی از مهمترین عناصر غذایی قابل جذب برای بسیاری از گیاهان به‌ویژه ذرت بوده و نقش مهمی در رشد آنها دارد. با این وجود، خطر آبشویی نیتروژن اضافی از منطقه ریشه و جلوگیری از آلودگی آبخوان‌ها به مقادیر بالای آن، لزوم چاره‌اندیشی در راستای کاهش این خطرات را مشهود می‌سازد. نظر به اینکه یکی از عمده عوامل آبشویی نیتروژن از منطقه ریشه اعمال مقادیر بالای آب آبیاری است، لذا راهکارهای مدیریت آبیاری نیز می‌تواند نقش مهمی در حفظ و کنترل نیتروژن در منطقه ریشه و افزایش میزان جذب آن به وسیله گیاه داشته باشد (۱۱ و ۳۰).

کم‌آبیاری ناقص ریشه یکی از تکنیک‌های نوین آبیاری طی سال‌های گذشته است که نتایج بسیاری از مطالعات حاکی از افزایش میزان کارآیی مصرف آب و همچنین عدم کاهش معنی‌دار محصول، درنتیجه اعمال این شیوه آبیاری بوده است (۱۹، ۲۳، ۲۴ و ۳۳). در این تکنیک، تنها نیمی از ریشه در هر نوبت، آبیاری شده و نیم دیگر خشک باقی می‌ماند. بخشی از ریشه که خشک مانده است، به عنوان یک عکس‌العمل فیزیولوژیکی در برابر تنش آبی، مقداری هورمون شیمیایی با نام آبسسیک اسید در ریشه تولید می‌کند که انتقال این ماده به شیره گیاهی باعث قلیایی شدن آن و کاهش میزان بازشدگی روزنه شده و موجبات کاهش هدررفت آب را فراهم می‌آورد (۱۴).

روند خاص توزیع زمانی و مکانی رطوبت در روش کم‌آبیاری ناقص ریشه، با افزایش میزان هدایت هیدرولیکی ریشه‌های قدیمی و توسعه ریشه‌های ثانویه موجب افزایش جذب آب و عناصر غذایی از خاک شده و درنتیجه جلوی هدررفت بیشتر نیتروژن از منطقه ریشه را می‌گیرد (۲۲ و ۲۸). نتایج بسیاری از مطالعات حاکی از افزایش میزان جذب عناصر غذایی از خاک درنتیجه اعمال آبیاری ناقص ریشه بوده است (۱۵، ۱۶، ۲۳ و ۲۹). افزایش بیشتر جذب نیتروژن از خاک به وسیله گیاه ذرت و کمتر بودن مقادیر نیتروژن باقیمانده در خاک در تیمار آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با آبیاری کامل و کم‌آبیاری معمولی گزارش شده است (۱۳، ۱۵، ۲۹ و ۳۱).

اعمال کم‌آبیاری با استفاده از آبیاری قطره‌ای موجب کاهش میزان نفوذ عمقی و تبخیر سطحی شده و لذا خطر آبشویی نیترات از منطقه ریشه را کاهش می‌دهد (۲۲). براساس یکی از تحقیقات انجام شده معلوم شد که اعمال روش آبیاری فاروی متناوب میزان آبشویی نیتروژن نیتراتی را در حد معنی‌داری کاهش داده و موجب جذب بیشتر آن به وسیله گیاه می‌شود (۲۵). یکی از رایج‌ترین ابزارهای اندازه‌گیری میزان آبشویی نیترات، استفاده از لوله‌های سرامیک کپ می‌باشد که در مطالعات بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است (۲، ۴، ۵ و ۱۱). نتایج پژوهشی روی گیاه ذرت معلوم نشان داد که بین مقادیر اندازه‌گیری شده نیترات آبشویی شده با استفاده از این ابزار و مقادیر برآورد شده با مدل DSSAT یک رابطه خطی با ضریب همبستگی ۰/۸۶ وجود دارد (۵). همچنین در پژوهشی دیگر، تأثیر کم‌آبیاری و سطوح مختلف کود روی میزان آبشویی نیترات بررسی شد و نتایج نشان داد که علی‌رغم اینکه در یک سطح کود معین، کاهش میزان آب آبیاری، میزان آبشویی نیترات را کاهش می‌دهد، اما میزان جذب نیتروژن به وسیله گیاه ذرت نیز درنتیجه اعمال کم‌آبیاری معمولی کاهش می‌یابد (۱۱). در پژوهشی که روی بررسی تأثیر شدت کوددهی بر میزان آبشویی نیترات از یک مزرعه ذرت تحت آبیاری بارانی انجام شد، این‌گونه گزارش شده است که افزایش شدت کوددهی از صفر به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار میزان آبشویی نیترات را از ۰/۵ به ۵/۴ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌دهد (۴). افزایش میزان هدررفت نیتروژن در مقادیر بالاتر کود در پژوهش دیگری نیز گزارش شده است (۲). اثر اعمال کم‌آبیاری معمولی بر کاهش جذب نیتروژن ذرت و افزایش جذب نیتروژن به وسیله گیاه ذرت تحت آبیاری ناقص ریشه در یک پژوهش گلخانه‌ای نیز گزارش شده است (۱۱ و ۳۱). به این ترتیب، علی‌رغم اینکه پژوهش‌های بسیاری روی تأثیر مدیریت کود و آبیاری بر میزان جذب و نیتروژن آبشویی شده از منطقه ریشه در گیاه ذرت

صورت گرفته است، اما اثر مدیریت کم‌آبیاری معمولی و آبیاری ناقص بر جذب نیتروژن گیاه، نیتروژن باقیمانده در خاک و پتانسیل آبشویی نیترات در گیاه ذرت در یک سیستم آبیاری قطره‌ای و در سطح مزرعه بررسی نشده است. لذا در این پژوهش، تأثیر اعمال آبیاری ناقص ریشه و کم‌آبیاری معمولی در میزان جذب، پتانسیل آبشویی از لایه‌های مختلف و نیتروژن باقیمانده در خاک در مقایسه با آبیاری کامل و کم‌آبیاری معمولی برای ذرت با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

طرح مذکور طی دو فصل زراعی ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در سطح مزرعه و در زمینی به ابعاد ۸۲۵ مترمربع (۵۵ × ۱۵) واقع در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری روی گیاه ذرت تحت آبیاری قطره‌ای سطحی با فواصل قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر و دبی دو لیتر بر ساعت و به صورت یک روز در میان انجام شد. بدین منظور، رقم ذرت ۷۰۴ دانه‌ای[1] در اوایل اردیبهشت در عمق پنج سانتی‌متر از سطح خاک و با فواصل ۶۰ سانتی‌متر بین ردیف و ۲۰ سانتی‌متر بین داده‌ها کاشت شد.

شرایط آب و هوایی منطقه براساس طبقه بندی اقلیمی در سیستم دومارتن مرطوب با متوسط بارندگی سالانه ۷۰۰ میلی‌متر می‌باشد. خصوصیات خاک منطقه تا عمق ۸۰ سانتی‌متری در جدول (۱) ارایه شده است. نیاز کود نیتروژن در منطقه براساس آزمون خاک قبل از کاشت در منطقه مطالعاتی تعیین و به صورت کود آبیاری در دو نوبت ۱۷ و ۵۰ روز بعد از کاشت در سال ۸۹ و ۱۰ و ۴۰ روز بعد از کاشت در سال ۱۳۹۰ با مجموع ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (به صورت کود اوره با درجه خلوص ۴۶ درصد، یک سوم در نوبت اول و دو سوم در نوبت دوم) اعمال شد (۱).

این پژوهش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با پنج تیمار آبیاری کامل (FI)، آبیاری ناقص ریشه در سطح ۷۵ درصد (PRD_{75}) و ۵۵ درصد (PRD_{55}) و کم‌آبیاری معمولی در دو سطح ۵۵ درصد (DI_{55}) و ۷۵ درصد (DI_{75}) با سه تکرار انجام شد. به منظور اعمال آبیاری ناقص ریشه، لترال‌های آبیاری بین ردیف‌های کاشت قرار داده شد، به گونه‌ای که در تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری معمولی، در هر نوبت آبیاری، در هر دو لترال جریان مجاور هم وجود داشت، در حالی‌که در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه، در هر نوبت آبیاری، تنها در یکی از دو لترال مجاور هم جریان وجود داشت (شکل ۱).

آبیاری تیمار FI به صورت یک روز درمیان با هدف رساندن میزان رطوبت خاک به حد طرفیت زراعی انجام و نیاز آبی گیاه در این تیمار با استفاده از رابطه ذیل محاسبه شد:

$$I = \sum_{i=1}^{k} ((\theta_{FCi} - \theta_{BIi}) \times D_i) \quad (۱)$$

در این رابطه، θ_{FCi} رطوبت حجمی در حد ظرفیت زراعی خاک (درصد)، θ_{BIi} رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری (درصد)، D_i عمق هر لایه از خاک (میلی‌متر) I_n عمق خالص آبیاری (میلی‌متر)، i شماره هر لایه از خاک و k تعداد لایه‌های خاک تا عمق موردنظر می‌باشد.

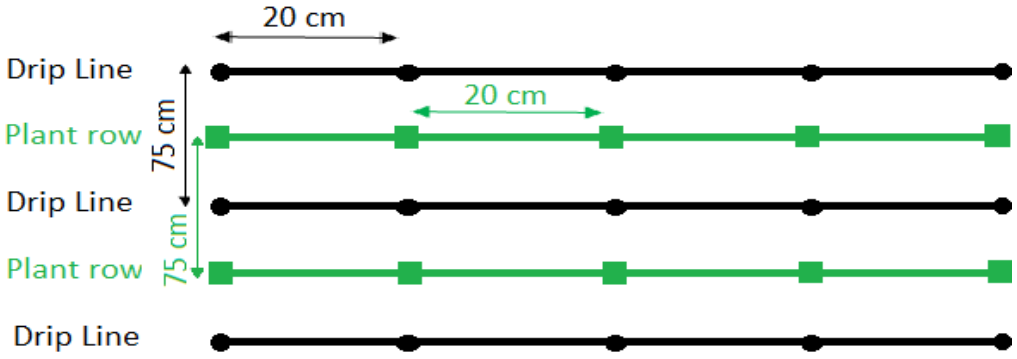
به منظور تعیین میزان رطوبت خاک، در هر یک از کرت‌های یک تیمار، پنج لوله دسترسی[2] قبل از کاشت به صورت عمودی در حد فاصل دو لترال قرار داده شد. شکل (۲) نحوه استقرار این لوله‌ها را نشان می‌دهد. قرائت مقادیر رطوبت در طول دوره اعمال تیمار به صورت روزانه و قبل از آبیاری در محدوده‌های عمقی ۲۰ سانتی‌متری تا عمق یک متری صورت گرفته است (شعاع تأثیر دستگاه ۷/۵ سانتی‌متر بود). مقادیر عمق آب آبیاری در تیمارهای PRD_{75} و DI_{75} ۷۵ درصد و در تیمارهای PRD_{55} و DI_{55} ۵۵ درصد عمق محاسبه شده از رابطه (۱) برای تیمار FI اعمال شد.

1 - Single Cross

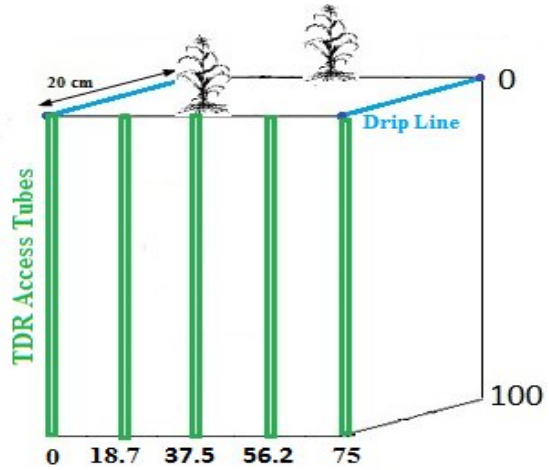
2 - Access tube, TRIME-FMA

جدول ۱ - خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مطالعاتی

محدوده عمقی (سانتی‌متر)	بافت	ظرفیت زراعی (٪) (درصدحجمی)	نقطه پژمردگی (درصد حجمی)	چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
۰-۲۰	لوم رسی - شنی	۳۰	۱۵	۱/۴
۲۰-۴۰	لوم رسی	۳۲	۱۴	۱/۳۸
۴۰-۶۰	لوم رسی	۳۲	۱۴	۱/۳۵
۶۰-۸۰	لوم رسی	۳۲	۱۴	۱/۳۷



شکل ۱ - نحوه استقرار لترال‌های آبیاری و ردیف‌های کاشت



شکل ۲ - نحوه استقرار لوله‌های دسترسی رطوبت‌سنج *TRIME-FM*

از آنجایی‌که دور آبیاری در این پژوهش دو روز بوده است، لذا تعیین مقادیر عمق آب انتقال شده از یک عمق مشخص با استفاده از مقادیر رطوبت خاک قبل از شروع هر نوبت آبیاری و بر اساس رابطه (۲) به‌دست آمد:

$$DP = I - \sum_{i=1}^{k} (\theta_{FCi} - \theta_{BIi}) \times Z_i \quad (۲)$$

در این رابطه، DP آب خارج شده از لایه مورد نظر (mm)، I عمق آب آبیاری (mm)، θ_{Fci} ظرفیت زراعی حجمی (درصد) در لایه iام و θ_{BI} میزان رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری (درصد) در لایه i ام و k تعداد لایه‌های خاک تا عمق موردنظر و z_i ضخامت هر لایه می‌باشد.

به منظور تعیین مقادیر غلظت نیتروژن نیتراتی، از زمان شروع اعمال تیمار (۵۵ روز بعد از کاشت در سال ۱۳۸۹ و ۴۵ روز بعد از کاشت در سال ۱۳۹۰) تا انتهای فصل رشد، نمونه‌های خاک بعد از هر سه نوبت آبیاری، از عمق‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی‌متری از سطح خاک و در فواصل افقی محل لترال اول، ۱۸/۷۵، ۳۷/۵، ۵۵ و ۷۵ (محل لترال دوم) سانتی‌متر بعد از آن برداشت شده و میزان نیترات آن پس از تهیه عصاره اشباع در آزمایشگاه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل DR2500 قرائت شد. همچنین مقادیر نیتروژن کل خاک در لایه‌های ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰ و ۸۰-۶۰ سانتی‌متری قبل از شروع اعمال تیمار و در انتهای فصل رشد با استفاده از آنالیز نمونه‌های خاک با روش کژلدال اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین روند تجمع نیتروژن در برگ، از زمان شروع اعمال تیمار تا انتهای فصل رشد، به صورت هفتگی، سه گیاه از هر تکرار از دو ردیف وسط آن در یک طول مشخص کف‌بر شده و میزان نیتروژن برگ آن با استفاده از روش کژلدال به‌دست آمد (۱۱). مقادیر وزن خشک نمونه‌های گیاهی با قرار دادن نمونه‌ها در گرم‌کن حرارتی با درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۷۲ ساعت به‌دست آمد. همچنین در انتهای فصل رشد، مقادیر نیتروژن کل اندام هوایی در نمونه‌های برداشت شده با استفاده از روش کژلدال به‌دست آمد. علاوه بر آن، میزان عملکرد دانه (براساس وزن دانه در یک مساحت معین، ۲) اندازه‌گیری شد. میزان نیتروژن جذب شده (کیلوگرم بر هکتار)، با ضرب درصد نیتروژن کل گیاه (اندازه‌گیری با استفاده از یک نمونه ترکیبی از کل گیاه و با روش کژلدال) در عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد. مقایسه بین میانگین پارامترهای مورد بررسی در تیمارهای مختلف، با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری پنج درصد انجام شد.

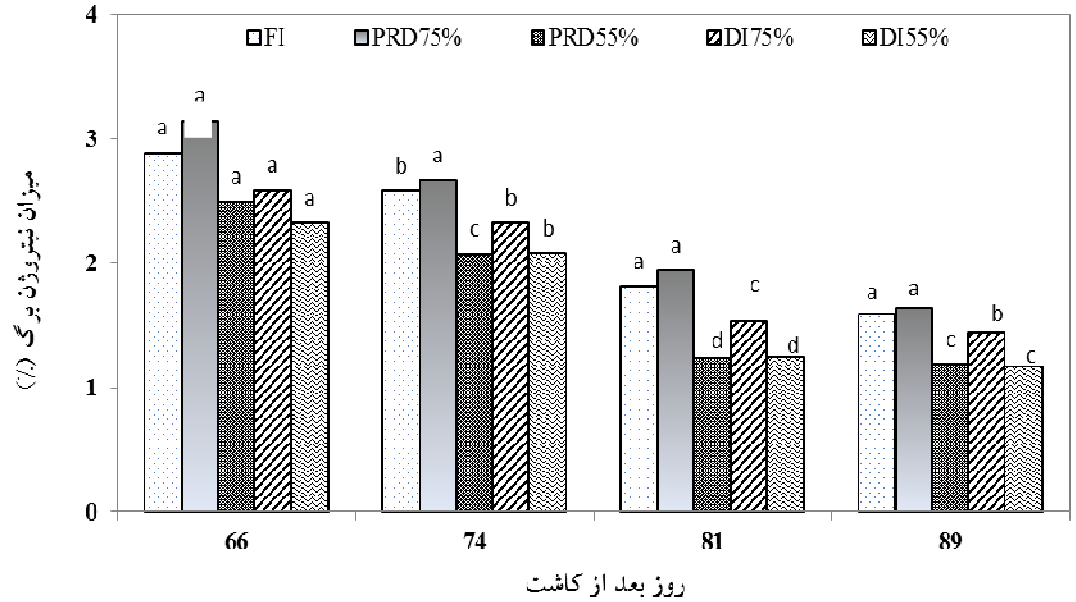
نتایج و بحث

نیتروژن اندام هوایی

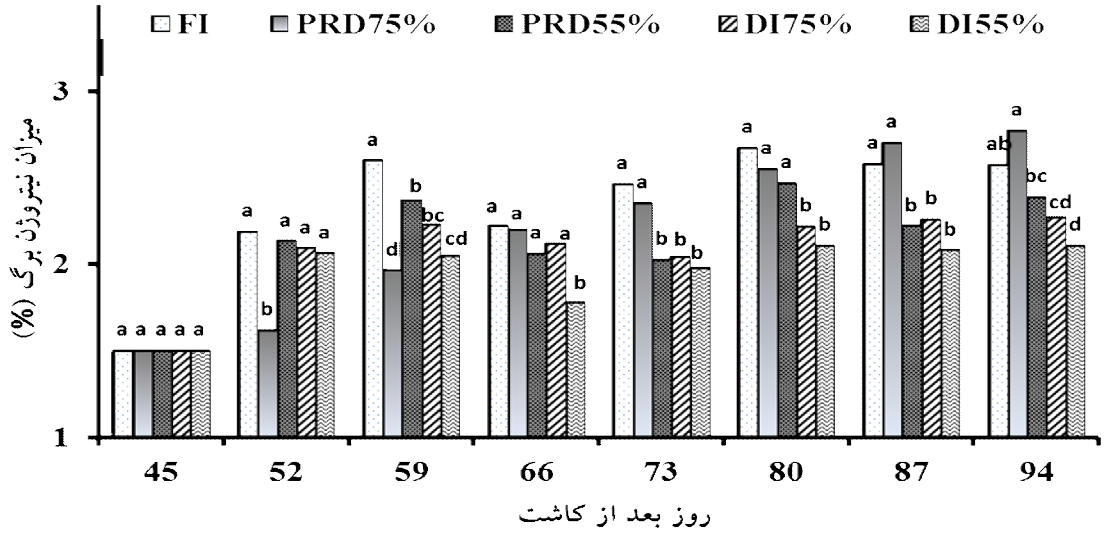
روند تجمع نیتروژن برگ در تیمارهای مختلف طی دو فصل زراعی ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در شکل‌های (۳) و (۴) ارایه شده است. این شکل‌ها نشان می‌دهد که از تاریخ ۷۴ روز بعد از کاشت در سال ۱۳۸۹ میزان نیتروژن برگ در تیمار PRD_{75} بالاتر از سایر تیمارها بود. همچنین در سال ۱۳۹۰، از تاریخ ۶۶ روز بعد از کاشت تا انتهای فصل رشد، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر نیتروژن برگ در تیمارهای FI و PRD_{75} مشاهده نشد. به‌علاوه مقادیر نیتروژن برگ در تاریخ‌های ۸۷ و ۹۴ روز بعد از کاشت در سال ۱۳۹۰ در تیمار PRD_{75} بالاتر از مقادیر آن در تیمار FI بود. این در حالی است که در سایر تیمارهای کم‌آبیاری، کاهش حجم آب مصرفی موجب کاهش معنی‌دار میزان نیتروژن برگ از تاریخ ۷۴ روز بعد از کاشت در سال ۱۳۸۹ و ۶۶ روز بعد از کاشت در سال ۱۳۹۰ تا انتهای فصل رشد شد. با این وجود، مقادیر نیتروژن برگ در تیمارهای PRD بیشتر از مقادیر آن در تیمارهای DI بود.

نتایج به‌دست آمده نشان داد که مقادیر کل نیتروژن تجمع یافته در اندام هوایی گیاه در انتهای فصل رشد در تیمارهای FI، PRD_{75}، PRD_{55}، DI_{75} و DI_{55} به‌ترتیب ۱۷۸، ۱۷۴، ۱۶۱، ۱۵۵ و ۱۴۷ کیلوگرم در هکتار در سال ۸۹ و ۱۷۹، ۱۷۵، ۱۳۹، ۱۳۵ و ۱۱۷ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۳۹۰ بود که بیشترین نیتروژن جذب شده در تیمار FI مشاهده شد (جدول ۲). نتایج آنالیز واریانس دانکن نشان داد که اختلاف مقادیر نیتروژن کل ذخیره شده در اندام هوایی گیاه بین تیمارهای FI و PRD_{75} در هر دو سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ معنی‌دار نبود، درحالی‌که این اختلاف بین

سایر تیمارهای کم‌آبیاری با تیمار FI معنی‌دار بود. به علاوه، مقادیر نیتروژن ذخیره شده در اندام هوایی گیاه در تیمارهای PRD بیشتر از مقادیر آن در تیمارهای DI با سطوح مشابه کاهش آب آبیاری بود.



شکل ۳ – روند تجمع نیتروژن در برگ در طی دوره رشد – سال ۱۳۸۹



شکل ۴ – روند تجمع نیتروژن در برگ در طی دوره رشد – سال ۱۳۹۰

جدول ۲ - مقادیر جذب و عملکرد نیتروژن و عملکرد بیولوژیک تیمارهای مختلف در سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰

تیمار	عملکرد دانه (تن بر هکتار)		عملکرد بیولوژیک (تن بر هکتار)		نیتروژن کل اندام هوایی (کیلوگرم بر هکتار)	
	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۸۹	۱۳۹۰
FI	۷/۰^{a}	۶/۶^{a}	۲۵/۷^{a}	۱۹/۰^{a}	۱۷۸^{c}	۱۷۹^{a}
PRD_{75}	۶/۹^{a}	۶/۲^{a}	۲۱/۸^{ab}	۱۸/۷^{a}	۱۷۴^{c}	۱۷۵^{a}
DI_{75}	۵/۸^{b}	۵/۳^{b}	۱۷/۸^{bc}	۱۶/۵^{b}	۱۶۱^{b}	۱۳۹^{b}
PRD_{55}	۳/۳^{c}	۵/۷^{ab}	۱۴/۶^{c}	۱۶/۰^{b}	۱۵۵^{b}	۱۳۵^{b}
DI_{55}	۳/۲^{c}	۴/۹^{c}	۱۴/۰^{c}	۱۵/۲^{c}	۱۴۷^{c}	۱۱۷^{c}

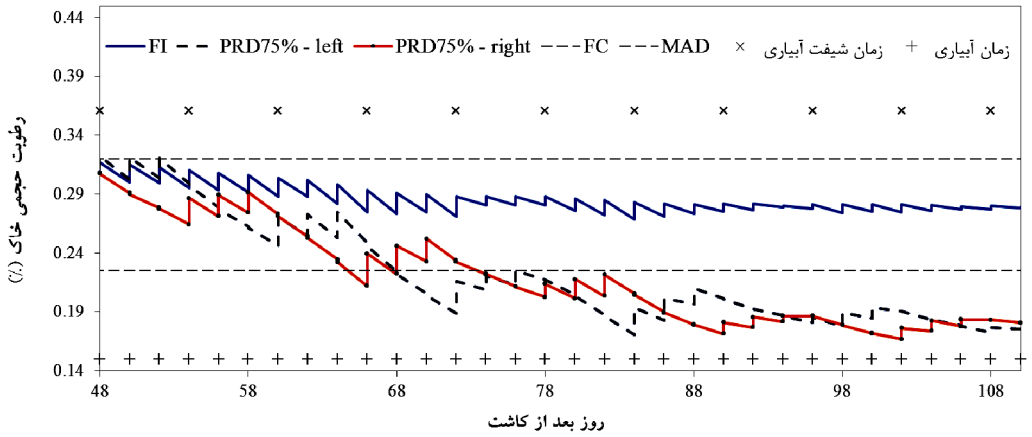
نتایج برخی از مطالعات نشان داده است که کاهش حجم آب آبیاری موجب کاهش مقادیر جذب نیتروژن به وسیله گیاه شده و نیاز کودی را در مقایسه با آبیاری کامل محدودتر می‌سازد. علت این امر، کاهش میزان عملکرد بیولوژیک به دلیل آبیاری محدودتر می‌باشد که به وسیله سایر محققین نیز این روند گزارش شده است (۱۱ و ۲۳). همچنین، مقادیر عملکرد بیولوژیک در تیمارهای DI_{75}، DI_{55} و PRD_{55} در هر دو سال (۱۳۸۹ و ۱۳۹۰) در حد معنی‌داری (در سطح پنج درصد) کمتر از مقدار آن در تیمار FI بود (جدول ۲). با این وجود، میزان عملکرد بیولوژیک در تیمار PRD_{55} در هر دو سال بیشتر از مقدار آن در تیمار DI_{55} بود. لذا مقادیر نیتروژن کل ذخیره شده در اندام هوایی و نیتروژن برگ در این تیمار بالاتر از مقادیر آنها در تیمار DI_{55} بود، اما اختلاف میزان عملکرد بیولوژیک بین تیمارهای FI و PRD_{75} در هر دو سال معنی‌دار نبود. نتایج یک پژوهش بر ذرت تحت تیمار آبیاری ناقص ریشه نشان داد از یک سو کاهش جریان توده‌ای و درنتیجه کاهش حرکت مواد غذایی به سمت ریشه و از سوی دیگر، کاهش میزان توانایی ریشه در جذب املاح غذایی در شرایط تنش رطوبتی، موجب کاهش جذب عناصر غذایی از خاک در تیمارهای کم‌آبیاری در مقایسه با شرایط بدون تنش می‌شود (۱۳).

برخلاف سایر تیمارهای کم‌آبیاری، تیمار PRD_{75} موجب اختلاف معنی‌داری بین مقادیر نیتروژن ذخیره شده در اندام هوایی گیاه و نیتروژن تجمع یافته در برگ در این تیمار و تیمار FI نشد. افزایش میزان نیتروژن برگ و کل نیتروژن جذب شده به وسیله گیاه به دلیل اعمال تیمار آبیاری ناقص ریشه در سایر مطالعات نیز گزارش شده است (۱۳، ۳۰ و ۳۱). یکی از دلایل عدم اختلاف معنی‌دار، میزان جذب نیتروژن در تیمار PRD_{75} در مقایسه با تیمار FI، افزایش تراکم ریشه درنتیجه اعمال تیمار آبیاری ناقص ریشه و لذا سطح تماس بالاتر آن با خاک و همچنین افزایش توانایی ریشه در جذب مواد غذایی از خاک گزارش شده است (۱۳، ۱۷ و ۲۰). به علاوه نتایج پژوهشی دیگر نشان داد که اعمال تیمار آبیاری ناقص ریشه سرعت معدنی شدن نیتروژن آلی در خاک را افزایش می‌دهد. همچنین آبیاری مجدد بخشی از ریشه که مدتی خشک مانده، موجب افزایش سرعت نیترات زایی می‌شود (۳). در این شرایط، نیتروژن بیشتری در اختیار گیاه قرار گرفته و میزان جذب بیشتر نیتروژن در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با تیمارهای کم‌آبیاری معمولی را فراهم می‌آورد.

پتانسیل آبشویی نیترات و نیتروژن خاک

بررسی نتایج نشان داد که علی‌رغم اعمال حجم آب بیشتر به یک سمت در تیمار PRD_{75} در مقایسه با تیمار FI، بعد از یک هفته از زمان شروع اعمال تیمار تا انتهای فصل رشد، مقادیر نفوذ عمقی به خارج از محدوده ریشه (۸۰ سانتی‌متر) صفر بوده است. لذا پتانسیل آبشویی نیتروژن نیتراتی در تیمار مذکور کاهش می‌یابد. این نتیجه می‌تواند به دلیل بالاتر بودن مقادیر جذب رطوبت در لایه‌های مختلف و درنتیجه کاهش میزان آب عبوری از هر لایه در این تیمار می‌باشد. این واقعیت را می‌توان از روند تغییرات رطوبت در خاک در تیمارهای FI و سمت راست و چپ تیمار PRD_{75} دریافت (شکل ۴). باتوجه به مقادیر رطوبت بعد از یک نوبت آبیاری و قبل از آبیاری در نوبت بعدی در این شکل می‌توان دریافت که میزان تخلیه رطوبتی در اکثر روزها در سمت مرطوب تیمار PRD_{75} در مقایسه با FI بیشتر بوده و میزان رطوبت حداقل در تیمار PRD_{75} در این بازه زمانی در حدود ۳۸ درصد کمتر از میزان آن در تیمار FI می‌باشد (۱۸ درصد در مقایسه با ۲۸/۱ درصد) که این نتیجه نشان‌دهنده جذب آب بیشتر در تیمار PRD_{75} در مقایسه با سایر تیمارهای کم‌آبیاری می‌باشد (شکل ۴). لذا، بیشتر بودن جذب از هر لایه موجب پایین‌تر بودن حد رطوبت خاک در این تیمار گشته و درنتیجه امکان ذخیره بیشتر آب آبیاری در هر لایه را فراهم آورده و لذا موجب کاهش میزان انتقال آب به لایه پایینی و درنتیجه کاهش انتقال نیتروژن به لایه‌های پایین‌تر می‌شود. جذب بیشتر رطوبت از خاک در تیمار PRD_{75} می‌تواند درنتیجه افزایش تراکم ریشه و هدایت هیدرولیکی آن باشد (۱۴ و ۱۸). همچنین افزایش میزان جذب نیتروژن در تیمارهای PRD عامل مهمی در کاهش میزان پتانسیل آبشویی نیتروژن - نیتراتی به اعماق گزارش شده است (۲۵).

مجموع عمق آب انتقال یافته از عمق ۴۰ سانتی‌متری که بیشترین تمرکز ریشه در آن قرار دارد، در تیمارهای FI، PRD_{75}، PRD_{55}، DI_{75} و DI_{55} به‌ترتیب ۷۸، ۵۶، ۱۳، ۴/۵ و ۱/۵ میلی‌متر در سال ۹۰ و ۴۵، ۴۰، ۱۰، صفر و صفر میلی‌متر در سال ۸۹ بوده است. لذا، کاهش عمق آب انتقال یافته از عمق ۴۰ سانتی‌متری در تیمارهای کم‌آبیاری پتانسیل آبشویی نیتروژن نیتراتی از این عمق را کاهش داده و نیتروژن بیشتری را در اختیار گیاه قرار می‌دهد.



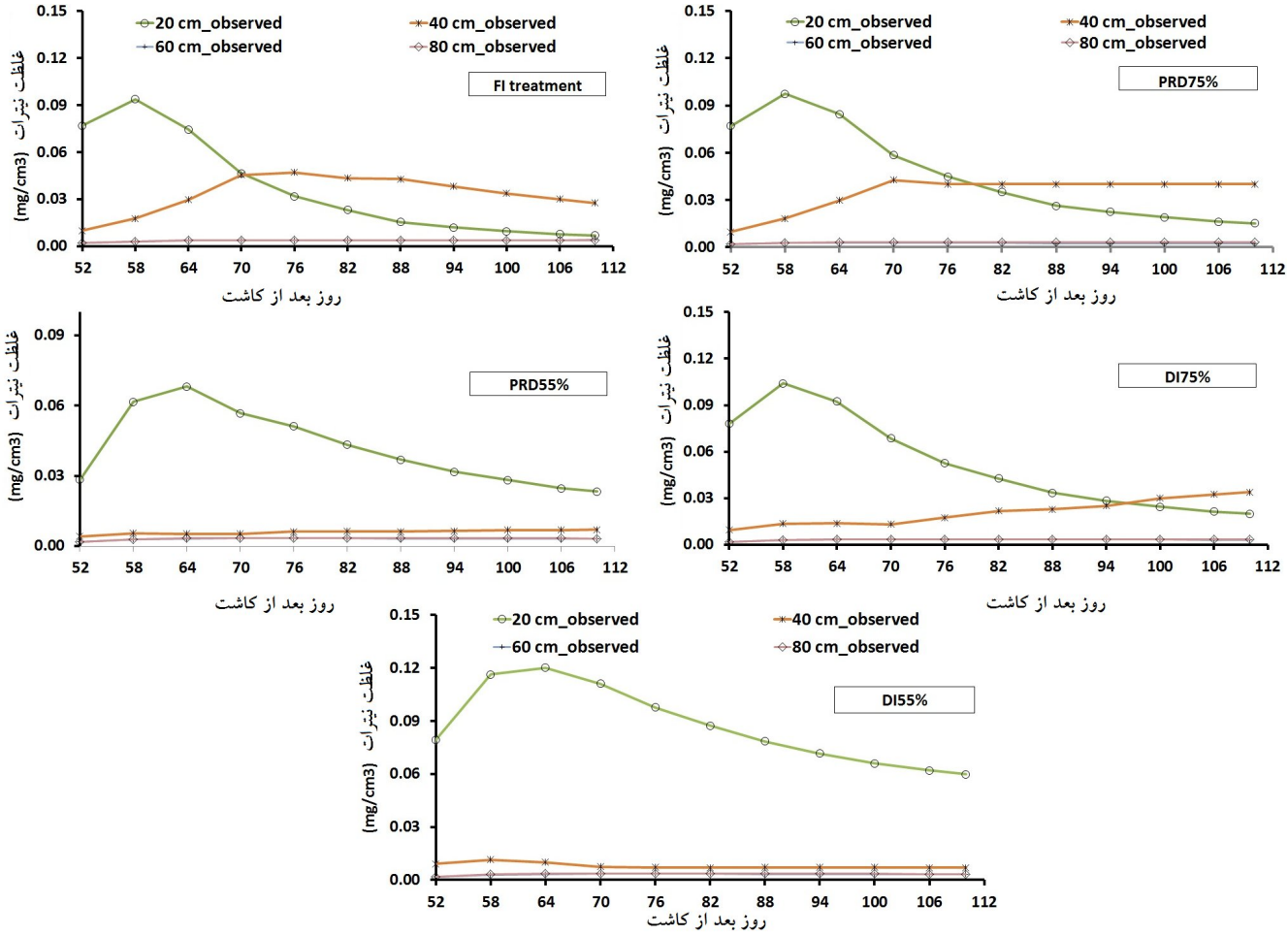
شکل ۵ - روند تغییرات روزانه متوسط رطوبت خاک در تیمارهای FI و PRD_{75} در عمق ۸۰-۰ cm (+) زمان آبیاری و (×) شیفت آبیاری

روند تغییرات مقدار نیتروژن نیتراتی در عمق‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی‌متری خاک به عنوان نمونه برای سال ۹۰ در تیمارهای مختلف در شکل (۵) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که میزان غلظت نیتروژن نیتراتی در عمق ۲۰ سانتی‌متری مرتب در حال کاهش است که علت آن انتقال نیتروژن به لایه‌های زیرین و جذب بیشتر به وسیله گیاه از این لایه می‌باشد، اما عبور بیشتر نیتروژن از عمق ۲۰ سانتی‌متری در تیمارهای FI، PRD_{75} و DI_{75} به دلیل ارایه حجم آب بیشتر در

این تیمارها در مقایسه با تیمارهای DI_{55} و PRD_{55} موجب تغییرات بیشتر غلظت نیتروژن نیتراتی در عمق ۴۰ سانتی‌متری شده است، درحالی‌که این تغییرات در سایر تیمارها محدودتر بوده است. همچنین تمرکز بیشتر آب آبیاری در لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری، موجب تغییرات محدودتر غلظت نیتروژن - نیتراتی در عمق‌های ۶۰ و ۸۰ سانتی‌متری در تمام تیمارها شد.

بیلان نیتروژن

اجزای معادله بیلان در تیمارها و در لایه‌های مختلف خاک در انتهای فصل رشد در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در شکل‌های (۷) و (۸) نشان داده شده است. از آنجایی‌که مقادیر نیتروژن آبشویی شده به خارج از محدود ریشه بسیار ناچیز بود، در این شکل نشان داده نشد. نتایج بیلان نشان داد که کمترین میزان نیتروژن باقیمانده در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر خاک در انتهای فصل رشد مربوط به تیمار FI بوده و کاهش عمق آب آبیاری در تیمارهای کم‌آبیاری معمولی موجب افزایش میزان نیتروژن باقیمانده در لایه سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متر) در مقایسه با تیمار FI شده است. با این وجود، میزان نیتروژن باقیمانده در لایه ۲۰-۰ سانتی‌متر در تیمارهای PRD کمتر از مقادیر متناظر آنها در تیمارهای DI با سطوح مشابه کاهش عمق آب آبیاری بوده است که این مساله می‌تواند از یک طرف به دلیل بالاتر بودن میزان آبشویی نیتروژن نیتراتی به دلیل ارایه حجم آب بیشتر به یک سمت در مقایسه با مقادیر متناظر آن در تیمارهای DI و از سوی دیگر، به دلیل افزایش میزان جذب نیتروژن به وسیله گیاه از این عمق در تیمارهای PRD در مقایسه با تیمارهای DI باشد.

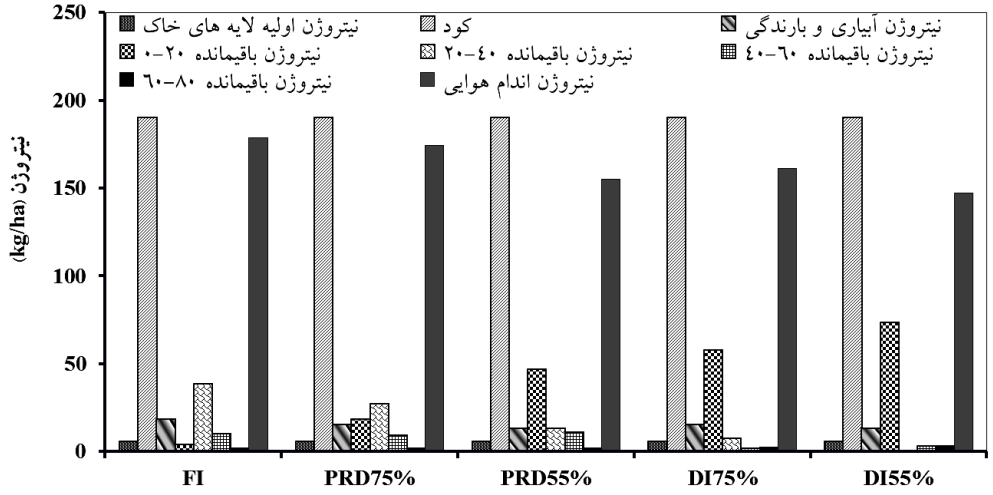


شکل ۶ - تغییرات غلظت نیتروژن نیتراتی در عمق‌ها و تیمارهای مختلف طی دوره رشد - سال ۱۳۹۰

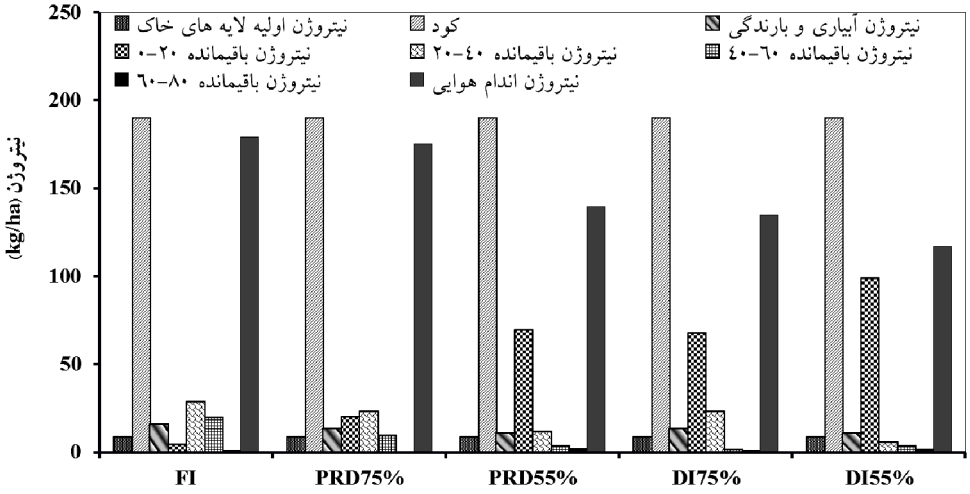
همچنین نتایج نشان می‌دهد که کاهش میزان آبشویی نیترات در تیمارهای کم‌آبیاری موجب شده تا میزان نیتروژن باقیمانده در خاک در تیمارهای DI_{75}، DI_{55} و PRD_{55} نسبت به عمق روند کاهشی داشته باشد، اما در تیمار آبیاری کامل میزان نیتروژن باقیمانده در عمق‌های ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ سانتی‌متری بیشتر از مقدار آن در ۲۰-۰ بوده است که این امر نشان‌دهنده انتقال بیشتر آب و به دنبال آن نیتروژن به لایه‌های پایین‌تر در این دو لایه سطحی بوده است (شکل‌های ۷ و ۸).

میزان نیتروژن کل باقیمانده در لایه ۸۰-۰ سانتی‌متری در تیمار PRD کمتر از تیمار DI بود که بررسی تمام اجزای بیلان نیتروژن نشان داد که این نتیجه نشان‌دهنده جذب بالاتر نیتروژن تیمار PRD در مقایسه با تیمار DI می‌باشد. این نتیجه در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (۱۵ و ۱۶). بررسی نتایج نشان داد که میزان نیتروژن آبشویی شده از عمق ۸۰ سانتی‌متری در مقایسه با سایر اجزا معادله بیلان ناچیز می‌باشد که این مساله به دلیل کاهش مقدار نفوذ عمقی و آبشویی نیترات در سیستم آبیاری قطره‌ای می‌باشد که در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (۲۲). بررسی بیلان نیتروژن در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ نشان داد که بین مقادیر نیتروژن ورودی و خروجی مقداری اختلاف وجود دارد که این میزان در تمامی تیمارها کمتر از ۲۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. این اختلاف می‌تواند به دلیل عدم لحاظ میزان دنیتریفیکاسیون، میزان نیتروژن تجمع یافته در ریشه گیاه و یا میزان نیتروژن تولید شده از مواد آلی باشد (۱۱ و ۲۶).

در هر دو فصل زراعی ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ اختلاف معنی‌داری در مقادیر عملکرد دانه بین تیمارهای FI و PRD_{75} وجود نداشت، این در حالی است که این اختلاف بین تیمار FI با سایر تیمارها معنی‌دار بود (جدول ۲). اگرچه کاهش میزان عملکرد دانه ذرت درنتیجه اعمال تنش رطوبتی در مطالعات بسیاری گزارش شده است، اما نتایج بسیاری از مطالعات حاکی از عدم کاهش معنی‌دار عملکرد محصول درنتیجه اعمال تیمار کم‌آبیاری ناقص ریشه بوده است (۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۹، ۲۳ و ۳۲). در بسیاری از مطالعات علت کاهش عملکرد دانه، کاهش میزان فتوسنتز در شرایط تنش رطوبتی بیان شده است (۱۲ و ۲۱). در یک پژوهش بیان شده که افزایش میزان نیتروژن برگ موجب افزایش میزان فتوسنتز و درنتیجه افزایش میزان محصول می‌شود (۲۷). لذا عدم کاهش معنی‌دار میزان نیتروژن برگ در تیمار PRD_{75} در مقایسه با تیمار FI و بالاتر بودن مقادیر آن در انتهای فصل رشد موجب شده تا اختلاف معنی‌داری بین مقادیر عملکرد دانه بین این دو تیمار وجود نداشته باشد.



شکل ۷ - اجزای معادله بیلان نیتروژن در سال ۱۳۸۹



شکل ۸ - اجزای معادله بیلان نیتروژن در سال ۱۳۹۰

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر نشان داد که اعمال تیمارهای آبیاری ناقص موجب افزایش مقادیر جذب نیتروژن و لذا باقیماندن مقادیر کمتر نیتروژن در خاک در انتهای فصل رشد در مقایسه با تیمارهای کم‌آبیاری معمولی گردید. همچنین افزایش میزان جذب آب از هر لایه در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه، موجب انتقال کمتر آب به لایه‌های پایینی شده و لذا پتانسیل آبشویی نیترات را نیز کاهش داد. با این وجود، بین میزان محصول به عنوان مهمترین جزء اقتصادی در کشاورزی آبی در تیمار PRD_{55} و FI اختلاف معنی‌داری وجود داشت، اما این اختلاف بین تیمارهای PRD_{75} و FI معنی‌دار نبود. نتایج این پژوهش فائق آمدن فرضیه‌های حاکم بر آبیاری ناقص ریشه مبنی بر افزایش هدایت هیدرولیکی و تراکم ریشه، افزایش سرعت معدنی شدن نیتروژن آلی خاک و سرعت نیترات‌زایی به دلیل آبیاری مجدد بخش خشک خاک و درنتیجه افزایش میزان جذب آب و املاح به وسیله گیاه در مقایسه با کم‌آبیاری معمولی را به اثبات می‌رساند، لذا با درنظر گرفتن هم‌زمان مسایل اقتصادی و زیست محیطی می‌توان تیمار PRD_{75} را به عنوان تیمار برتر در این پژوهش معرفی نمود. با این وجود، تکرار این پژوهش برای سطوح دیگر کاهش آب آبیاری بین محدوده ۵۵ تا ۷۵ درصد به منظور تعیین حد بهینه کاهش آب به نحوی که موجب کاهش معنی‌داری در میزان محصول و جذب املاح نگردد نیز توصیه می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱ . ملکوتی م. ج. و غیبی م. ن (۱۳۷۷) تعیین حد بحرانی عناصر غذایی محصولات استراتژیک و توصیه صحیح کودی در کشور. چاپ اول، انتشارات آموزش کشاورزی، تهران. ۶۴ ص.

۲ . قیصری م.، میرلطیفی س. م.، همایی م. و اسدی م. ا (۱۳۸۵) آبشویی نیترات در سیستم آبیاری بارانی تحت مدیریت کود آبیاری ذرت. تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۷(۲۹): ۱۱۸-۱۰۱.

۳ . نوربخش ف. و کریمیان اقبال م (۱۳۷۶) حاصلخیزی خاک. چاپ اول، انتشارات غزل، اصفهان. ۳۱۲ ص.

4 . Asadi ME, Clemente RS, Gupta AD, Loof R and Hansen GK (2002) Impacts of fertigation via sprinkler irrigation on nitrate leaching and corn yield on an acid - sulphate soil in Thailand. Agricultural Water Management. 52(3): 197-213.

5 . Asadi ME and Clemente RS (2003) Evaluation of CERES-Maize of DSSAT model to simulate nitrate leaching, yield and soil moisture content under tropical conditions. Food, Agriculture and Environment. 1(3&4): 270-276.

6 . Boz B (2001) Validation of the Ceres-Maize Growth Model under Cukurova Region Conditions. Department of Agricultural Structures and Irrigation, Institute of Natural and Applied Sciences, Cukurova University, M.Sc. Thesis., 59, Adana.

7 . Bozkurt Y, Yazar A, Gencel B and Sezen SM (2006) Optimum lateral spacing for drip-irrigated corn in the Mediterranean Region of Turkey. Agricultural Water Management. 85: 113-120.

8 . Denmead OT and Shaw RH (1960) The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. Agronomy. 52: 272-274.

9 . Dry PR and Loveys BR (1998) Factors influencing grapevine vigor and the potential for control with partial rootzone drying. Australian Journal of Grape WineResearches. 4: 140-148.

10 . Gençoğlan C and Yazar A (1999) Corn yield and water use water Kisintili applications to yield. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 23: 233-241.

11 . Gheysari M, Mirlatifi SM, Homaee M, Asadi ME and Hoogenboom G (2009) Nitrate Leaching in a Silage Maize Field under Different Irrigation and Nitrogen Fertilizer Rates. Agricultural Water Management. 96(6): 946-954.

12 . Gianquinto G, Sambo P and Pimpini F (2003) The use of SPAD-502 chlorophyllmeter for dynamically optimising the nitrogen supply in potato crop: firstresults Acta Horticulturae. 627: 225-230.

13 . Hu T, Kang Sh, Li F and Zhang J (2009) Effects of partial root-zone irrigation on the nitrogen absorption and utilization of maize. Agricultural Water Management. 96: 208-214.

14 . Kang S and Zhang J (2004) Controlled alternate partial root- Zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. Experimental Botany. 55: 2437-2446.

15 . Kirda C, Cetin M, Dasgan Y, Topcu S, Kaman H, Ekici B, Derici MR and Ozguven AI (2004) Yield response of greenhouse grown tomato to partial root drying and conventional deficit irrigation. Agricultural Water Management. 69: 191-201.

16 . Li F, Liang J, Kang S and Zhang J (2007) Benefits of alternate partial rootzone irrigation on growth, water and nitrogen use efficiencies modified by fertilization and soil water status in maize. Plant Soil. 295: 279-291.

17 . Mingo DM, Theobald JC, Bacon MA, Davies WJ and Dodd IC (2004) Biomass allocation in tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants grown under partial root zone drying: enhancement of root growth. Functional Plant Biology. 31(10): 971-978.

18 . Poni S, Tagliavini M, Neri D, Scudellari D and Toselli M (1992) Influence of root pruning and water stress on growth and physiological factors of potted apple, grape, peach and pear trees. Science of Horticulture. 52: 223-226.

19 . Posadas A (2008) Partial root-zone drying: an alternative irrigation management to improve the water use

efficiency of potato crops. ISBN 978-92-9060-360-3. Production system and the environmental division working paper No. 2008-2.

20 . Robinson D (1994) The responses of plants to non-uniform supplies of nutrients. New Phytology. 127: 635-674.

21 . Rodriguez IR, and Grady LM (2000) Using a chlorophyll meter to determine the chlorophyll concentration nitrogen concentration and visual quality of St. Austinne grass. Horticultural Science. 35: 751-754.

22 . Sepaskhah AR and Ahmadi SH (2010) A review on partial root-zone drying irrigation. International Journal of Plant Production. 4(4): 241-258.

23 . Shahnazari A, Liu F, Andersen MN, Jacobsen SE and Jensen CR (2007) Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. Field Crops Research. 100: 117-124.

24 . Shani-Dashtgol A, Jaafari S, Abbasi N and Malaki A (2006) Effect sof alternate furrow irrigation (Partial Root Zone Drying: PRD) on yield quantity and quality of sugarcane in southern farm in Ahvaz. Proceeding of national conference on Irrigation and Drainage Networks Management. Shahid Chamran University of Ahwaz. 2-4 May. Pp. 565-572.

25 . Skinner RH, Hanson JD and Benjamin JG (1999) Nitrogen uptake and partitioning under alternate- and every-furrow irrigation. Plant Soil. 210: 11-20.

26 . Tafteh A and Sepaskhah AR (2012) Application of HYDRUS-1D model for simulating water and nitrate leaching from continuous and alternate furrow irrigated rapeseed and maize fields. Agricultural Water Management. 113: 19-29.

27 . Varvel GE, Schepers JS and Francis DD (1997) Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. American Journal of Soil Science Society. 61: 1233-1239.

28 . Wang FX, Kang Y and Liu SP (2006) Effects of drip irrigation frequency on soil wetting pattern and potato growth in North China Plain. Agricultural Water Management. 79: 248-264.

29 . Wang H, Liu F, Andersen MN and Jensen CR (2009) Comparative effects of partial root-zone drying and deficit irrigation on nitrogen uptake in potatoes (*Solanum tuberosum* L.). Irrigation Science. 27: 443-448.

30 . Wang H, Ju X, Wei Y, Li B, Zhao L and Hu K (2010) Simulation of bromide and nitrate leaching under heavy rainfall and high-intensity irrigation rates in North China Plain. Agricultural Water Management. 97: 1646-1654.

31 . Wang Z, Liu F, Kang Sh and Jensen CR (2012) Alternate partial root-zone drying irrigation improves nitrogen nutrition in maize (*Zea mays* L.) leaves. Environmental Experimental Botany. 75: 36-40.

32 . Westgate ME (1994) Water status and development of the maize endosperm and embryo during drought. Crop Science. 34: 76-83.

33 . Zegbe JA and Serna-Pérez A (2011) Partial root-zone drying maintains fruit quality of ‘Golden Delicious’ apple at harvest and postharvest. Science of Horticulture. 127: 455-459.

Effect of partial root-zone drying (PRD) and deficit irrigation on Nitrogen uptake and leaching in maize

F. Karandish [1], S. M. Mirlatifi [2*], A. Shahnazari [3], M. Gheysari [4] and F. Abbasi [5]

(E-mail: mirlat_m@modares.ac.ir)

(Received: 15 January 2012, Accepted: 9 March 2013)

Abstract

The effect of full irrigation (FI), Partial root-zone drying at two levels (receiving 75 percent of ET (PRD_{75}), 55 percent of ET (PRD_{55})) and deficit Irrigation treatments at the same levels (75 percent (DI_{75}) and 55 percent (DI_{55})) under drip irrigation on nitrogen uptake and leaching in a maize field in Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University were carried out during years 2010 to 2011. TDR access tubes were installed in the soil profile to measure soil water content for deep percolation measurement. The results demonstrated a significant decrease ($P<0.05$) in the values of leaf nitrogen and total nitrogen uptake by plant in DI_{75}, DI_{55} and PRD_{55} treatments as decreasing irrigation depths. There was no significant difference in the values of leaf nitrogen and total nitrogen uptake between PRD_{75} and FI treatments. Although, nitrate leaching potential was more in PRD treatments than DI treatments, residual Nitrogen in soil in PRD treatments at the end of growing season (in 0-80 cm of soil depth) was about 20 to 60 percent less than those of DI treatments due to more nitrogen uptake in PRD than DI treatments. Also, the results showed that yield in PRD_{55}, DI_{55} and DI_{75} treatments were 54, 52 and 17 percent lower than those in FI treatment in 2010 and 26, 14 and 20 percent less than that in FI treatment in 2011, respectively. Finally, there was no significant difference found in the values of yield between PRD_{75} and FI treatments. Therefore, by considering both environmental and economic issues, it could be concluded that PRD_{75} treatment was a promising irrigation strategy to reach a sustainable condition.

Keywords: Leaf Nitrogen, Maize, Nitrogen movement, TDR sensor, Yield efficiency

---

1 - Ph.D. Graduated Student, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran - Iran

2 - Associat Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran - Iran **(Corresponding Author *)**

3 - Assistant Professor, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari - Iran

4 - Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan - Iran

5 - Associat Professor, Agricultural Engineering Research Instirute, Karaj - Iran