تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۲ (ص ۳۴۶-۳۳۹)

بررسی اثر تنش رطوبتی بر اندام هوایی و وزن ریشهٔ ذرت علوفه‌ای در مراحل مختلف رشد

مهدی قیصری[1]*، محمدمهدی مجیدی[2]، محمدجواد زارعیان[3]، سید مجید میرلطیفی[4]، حمزه دوکوهکی[5]، سمیه امیری[6]

۱. استادیار گروه مهندسی آب دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان- ایران

۲. دانشیار گروه مهندسی زراعت و اصلاح نباتات دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان- ایران

۳. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان- ایران

۴. دانشیار گروه آبیاری و زهکشی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران- ایران

۵. دانشجوی سابق ارشد آبیاری و زهکشی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان- ایران

۶. دانشجوی سابق کارشناسی مهندسی آب دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان- ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۴/۱۹ ـ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۱۰/۳۰)

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر اعمال تنش آبی روی وزن خشک اندام هوایی، سطح برگ، و وزن ریشهٔ گیاه ذرت علوفه‌ای سینگل‌کراس ۷۰۴ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۴ سطح آبیاری در ۵ مرحلهٔ رشد گیاه در ۶۰ گلدان با قطر ۳۹٫۴ و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر بود که ۳ بار تکرار شد. پارامترهای اندازه‌گیری‌شده شامل وزن خشک اندام هوایی و سطح برگ و وزن خشک ریشه در ۴ مقطع طولی ریشه بودند که در مراحل مختلف رشد گیاه برداشت شدند. نتایج نشان داد سطوح مختلف آبیاری اثری معنادار ($P<0.05$) بر وزن خشک اندام هوایی، سطح برگ، وزن خشک مقاطع طولی مختلف ریشه، و وزن خشک کل ریشه دارد. بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی سطح برگ و وزن خشک کل ریشه در هر ۲ سال اجرای آزمایش در مرحلهٔ شیری‌شدن دانه رخ داد. این مقدار در ۲ سال ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ برای وزن خشک اندام هوایی به‌ترتیب ۳۱۸٫۹ و ۴۶۵٫۱ گرم، برای سطح برگ ۶۴۹۷ و ۶۵۳۳ سانتی‌متر مربع، و برای وزن خشک کل ریشه ۳۲٫۳ و ۳۶٫۶ گرم بود. سطح تنش مناسب با بیشترین وزن خشک ریشه برای ذرت؛ برای افزایش بهره‌وری مصرف آب آبیاری تحت مدیریت کم‌آبیاری اطلاعات مفیدی به محققان و کارشناسان می‌دهد.

کلیدواژگان: استرس آبی، ذرت، سینگل‌کراس ۷۰۴، کم‌آبیاری، مدیریت آبیاری.

مقدمه

کمبود آب برای آبیاری یکی از معضلات مهم در صنعت کشاورزی در سراسر جهان است (Farre and Faci, 2009). پیش‌بینی‌های مرتبط با مطالعات مباحث تغییر اقلیم نیز، که بیانگر افزایش دما و کاهش میزان متوسط بارش است، بر این نگرانی‌ها می‌افزاید (Farre and Faci, 2006). در حقیقت یکی از چالش‌های پیش روی آیندهٔ صنعت کشاورزی افزایش تولید محصول کشاورزی در شرایط کاهش شدید منابع آب است (Traore *et al*, 2000). رشد ذرت در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیازمند آبیاری فراوان برای رسیدن به حداکثر محصول قابل دسترس است (Paknejad *et al*, 2010; Shoa hosseini *et al*, 2008). افزایش هزینه‌های به‌کارگیری سیستم‌های پیشرفتهٔ آبیاری، کاهش کیفیت آب، و افزایش هزینه‌های پمپاژ نیز از عواملی است که نیاز مبرم کشاورزان را در زمینهٔ به‌کارگیری هدفمند روش‌های کم‌آبیاری تأیید می‌کند (Li *et al*, 2011). گیاه ذرت به‌شدت به تنش خشکی حساس است. بسیاری از محققان بحرانی‌ترین دورهٔ رشد ذرت را هنگام تشکیل محصول نهایی، ۲ هفته قبل، و ۲ تا ۳ هفته پس از مرحلهٔ ابریشمی‌شدن گزارش کرده‌اند (Pandey *et al*, 2000).

مطالعات زیادی در زمینهٔ اثر تنش آبی بر رشد و توسعهٔ گیاه ذرت صورت گرفته است. رشد ریشهٔ ذرت تحت تاثیر نوع بستر است (Bo *et al*, 2012). اعمال تنش آبی باعث کاهش ارتفاع ساقه، اندازهٔ بلال، تعداد برگ، و وزن اندام هوایی ذرت می‌شود (Emam and Ranjbar, 2000). کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه ذرت باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی گیاه (Farre and Faci, 2009; Lizarazu *et al*, 2012) و کاهش وزن خشک ریشهٔ ذرت سینگل‌کراس ۷۰۴ (Khalili Rad *et al*, 2010) می‌شود. ریشهٔ ذرت در مواجه‌شدن با شرایط تنش آمادگی پیدا می‌کند که در شرایط آبیاری کافی تعداد انشعابات ریشه و نیز ریشه‌های مویین خود را به مقدار بیشتری توسعه دهد (Liange *et al*, 2008). عمق توسعهٔ ریشهٔ ذرت تحت تأثیر عمق آبیاری است؛ طوری که با کاهش عمق آبیاری، به‌دلیل

* نویسنده مسئول: gheysari@cc.iut.ac.ir

محدودکردن عمق خیس‌شدهٔ خاک، عمق توسعهٔ ریشه نیز کاهش می‌یابد (Gheysari *et al*, 2009 b). Gheysari *et al* (2009 a) مطالعه‌ای را به‌منظور بررسی آثار سطوح مختلف تنش آبی و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای انجام دادند. نتایج نشان داد، با افزایش تنش آبی، وزن خشک و شاخص سطح برگ گیاه ذرت به‌طور معناداری تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در شرایط کم‌آبیاری ناقص ریشه[1] نسبت به کم‌آبیاری معمول ریشهٔ ذرت توسعهٔ بیشتری خواهد یافت (Karandish *et al*, 2012).

Li *et al* (2011) اثر دو نوع روش آبیاری جویچه‌ای معمولی و جویچه‌ای یک در میان را روی رشد و توسعهٔ ریشهٔ ذرت بررسی کردند. نتایج نشان داد تعداد و مساحت ریشهٔ ذرت در آبیاری جویچه‌ای معمولی بیشتر از آبیاری جویچه‌ای یک در میان است. در شرایطی که تراکم کشت افزایش پیدا کند، ارتفاع گیاه و قطر ساقه و وزن خشک کل گیاه کاهش می‌یابد و گیاه دچار پیری زودرس می‌شود؛ ولی استفاده از کود نیتروژن تا سطح ۱۶۵ کیلوگرم در هکتار باعث کاهش این آثار مضر خواهد شد (Boomsma *et al*, 2009).

استفاده از روش‌های کم‌آبیاری مستلزم مطالعهٔ دقیق آثار آن‌ها بر شاخص‌های رشد گیاه است. اطلاع دقیق از این آثار به پیش‌بینی واکنش‌های گیاهان به کم‌آبی و در نتیجه مدیریت صحیح در شرایط مختلف کمبود آب کمک می‌کند. آنچه در حالت کلی می‌تواند مد نظر قرار گیرد اثر کمبود آب بر شاخص‌های اندام هوایی، مانند وزن خشک و سطح برگ، است؛ در حالی که توجه به وضع ریشهٔ گیاه در شرایط کم‌آبی نیز می‌تواند در مدیریت صحیح‌تر گیاه مؤثر باشد (Bohm, 1979; Lamm *et al*, 1994).

حساسیت بالای ذرت به کم‌آبی نشان‌دهندهٔ این مطلب بسیار مهم است که تغییر برنامهٔ آبیاری این گیاه و اعمال استراتژی‌های مدیریت آب متفاوت بر این گیاه بدون شناخت صحیح واکنش آن به کم‌آبی در دوره‌های مختلف رشد امکان‌پذیر نیست و به‌کارگیری کم‌آبیاری ناصحیح می‌تواند صدمات جدّی به گیاه وارد کند. همچنین، از آنجا که تا کنون هیچ مطالعهٔ دقیقی سیستم ریشه و اندام هوایی ذرت را، طی دورهٔ رشد، بررسی نکرده است، هدف این تحقیق بررسی اثر اعمال تنش آبی با استفاده از تغییر در دور آبیاری بر رشد و توسعهٔ اندام هوایی و وزن خشک ریشهٔ گیاه ذرت علوفه‌ای طی مراحل مختلف رشد است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ به صورت گلدانی در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان با طول جغرافیایی '۲۸ °۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی '۳۲°۴۲ شمالی انجام شد. میانگین درجهٔ حرارت سالیانهٔ منطقه ۱۷ درجهٔ سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالیانهٔ آن ۱۳۴ میلی‌متر است. محدوده‌ای از اراضی این مزرعه به ابعاد ۱۰×۲۰ متر جهت اجرای طرح در نظر گرفته شد. برای ایجاد محیط کشت گیاهان از لوله‌های آبیاری هیدروفلوم با قطر ۳۹٫۴ و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر استفاده شد که انتهای آن‌ها مسدود و از خاک پر شدند. بافت خاک لوم رسی با میزان رطوبت در حد ظرفیت زراعی برابر ۲۱٫۷ و ۱۶٫۵ درصد، میزان رطوبت در حد پژمردگی ۱۲٫۵ و ۶ درصد، مقدار وزن مخصوص حقیقی برابر ۲٫۶ و ۲٫۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب، و مقدار وزن مخصوص ظاهری برابر ۱٫۲۸ و ۱٫۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌ترتیب برای سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹بود.

تیمارهای آزمایشی شامل ۴ سطح آبیاری و ۵ مرحلهٔ رشد گیاه بود که به صورت طرح آماری فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. طرح آزمایشی شامل ۶۰ گلدان بود که در گروه‌های ۱۵ تایی قرار گرفتند. برای ازبین‌بردن اثر حاشیه‌ای در اطراف طرح مورد نظر پشته‌هایی به ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر احداث شد و روی آن‌ها دو ردیف ذرت کشت شد تا خصوصیتی مشابه دو ردیف اضافی کیسه را در اطراف نمونه‌های اصلی ایجاد کنند. در هر گلدان سه گیاه ذرت واریته سینگل‌کراس ۷۰۴ کاشته شد و پس از استقرار کامل گیاهان (۱۰ روز پس از کاشت)، تعداد گیاهان در هر گلدان به یک بوته کاهش داده شد.

گیاهان تا مرحلهٔ شش‌برگی بدون اعمال تیمارهای تنش آبی آبیاری شدند. پس از مرحلهٔ شش‌برگی، مدیریت اصلی آبیاری گیاهان آغاز گردید. مدیریت‌های آبیاری شامل ۴ سطح آبیاری، به صورت ۱ سطح آبیاری کامل و ۳ سطح تنش آبی، بود. برای تعیین زمان و مقدار آبیاری در مراحل مختلف رشد در تیمار آبیاری کامل از تانسیومتر استفاده شد. تانسیومترها قبل از کاشت گیاهان در ۴ عمق ۱۵، ۲۵، ۳۵، و ۵۰ سانتی‌متری خاک درون یکی از گلدان‌های تیمار آبیاری کامل نصب گردیدند و برای تعیین رطوبت خاک در لایهٔ سطحی از روش وزنی استفاده شد. برای تعیین زمان آبیاری در تیمارهای تنش از مقادیر مختلف تبخیر- تعرق گیاه ذرت در شرایط بدون تنش استفاده شد. مقدار تبخیر- تعرق تجمعی ذرت با استفاده از رابطهٔ فائو- پنمن- مانتیث (Allen *et al*, 1998)، ضرایب گیاهی توصیه‌شده برای ذرت علوفه‌ای (Gheysari *et al*, 2006)، و ضرایب

1. Partial Root Drying یا PRD

خرداقلیمی محاسبه‌شده در این تحقیق محاسبه شد. به‌عبارت دیگر، زمانی که تبخیر- تعرق تجمعی گیاه بین دو آبیاری برابر ماکزیمم عمق معادل ۵۰، ۶۵، ۷۵، و ۸۵ درصد آب قابل استفادهٔ خاک در عمق توسعهٔ ریشه بود تیمارهای آبیاری آبیاری شدند. عمق‌های یادشده به به‌ترتیب بیان‌کنندهٔ تیمارهای آبیاری کامل (T_4)، تنش ملایم (T_3)، تنش متوسط (T_2)، و تنش شدید (T_1) هستند. ضریب خرداقلیمی به‌دلیل استفاده از گلدان و قرارگیری آن‌ها روی سطح زمین و نبودِ پوشش گیاهی کامل در محل آزمایش با استفاده از داده‌های مقدار تخلیهٔ رطوبت از خاک در تیمار شاهد و تبخیر- تعرق فائو- پنمن- مانتیث محاسبه شد.

در تیمار شاهد زمانی که میانگین وزنی رطوبت خاک در عمق توسعهٔ ریشه به$\theta_{MAD\%50}$ می‌رسید آبیاری صورت می‌گرفت:

$$\theta_{MAD\%50} = \theta_{FC} - (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times 0.50 \quad \text{(رابطه ۱)}$$

θ_{FC} و θ_{PWP} به‌ترتیب رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی و نقطهٔ پژمردگی دائم است.

پس از محاسبهٔ تبخیر- تعرق تجمعی گیاه در یک دور آبیاری، هنگامی که تبخیر- تعرق تجمعی برابر $D_{ir(MAD\ 85\%)}$، $D_{ir(MAD\ 75\%)}$، $D_{ir(MAD\ 65\%)}$، و $D_{ir(MAD\ 50\%)}$ (ماکزیمم عمق آبیاری در تیمارهای T_1، T_2، T_3، T_4) می‌شد، زمان آبیاری به‌ترتیب در تیمارهای T_1، T_2، T_3، T_4 فرامی‌رسید (رابطه‌های ۲ تا ۵).

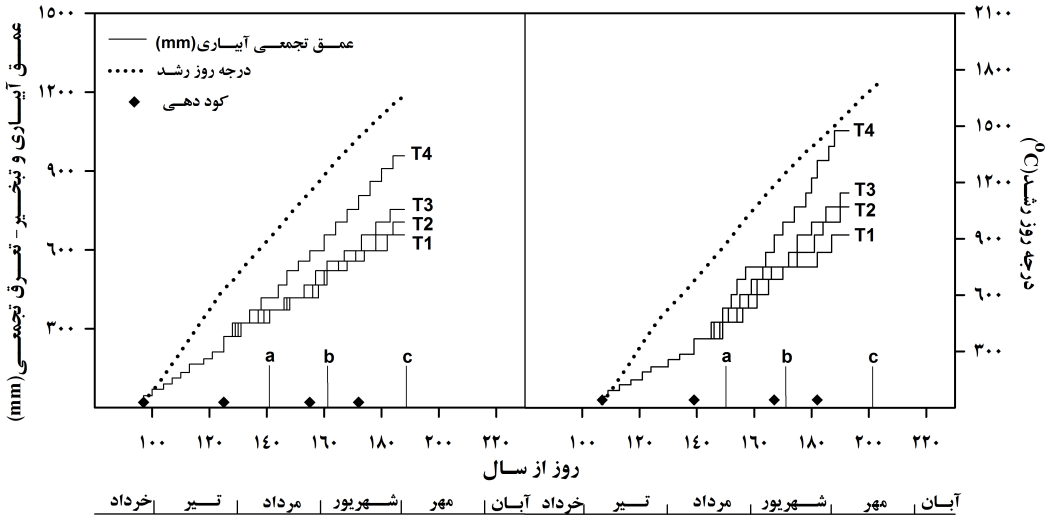
$$D_{ir(MAD50\%)} = \sum_{i=1}^{5} (\theta_{FC} - \theta_{pwp}) \times 0.50 \times D_i \quad \text{(رابطه ۲)}$$

$$D_{ir(MAD65\%)} = \sum_{i=1}^{5} (\theta_{FC} - \theta_{pwp}) \times 0.65 \times D_i \quad \text{(رابطه ۳)}$$

$$D_{ir(MAD75\%)} = \sum_{i=1}^{5} (\theta_{FC} - \theta_{pwp}) \times 0.75 \times D_i \quad \text{(رابطه ۴)}$$

$$D_{ir(MAD85\%)} = \sum_{i=1}^{5} (\theta_{FC} - \theta_{pwp}) \times 0.85 \times D_i \quad \text{(رابطه ۵)}$$

$D_{ir(MAD50\%)}$، $D_{ir(MAD65\%)}$، $D_{ir(MAD75\%)}$ و $D_{ir(MAD85\%)}$ به‌ترتیب ماکزیمم عمق آب آبیاری در تیمارهای آبیاری کامل، تنش ملایم، تنش متوسط، تنش شدید (cm) و D_i عمق لایهٔ iام خاک (cm) است. بنابراین مقدار آب کاربردی و دور آبیاری در تیمارهای مختلف آبیاری متفاوت بود (شکل ۱).



شکل ۱. درجهٔ روز رشد، عمق تجمعی آب کاربردی، تبخیر- تعرق ذرت تخمینی با استفاده از رابطهٔ فائو- پنمن- مانتیث، زمان آبیاری و کود- آبیاری در طول فصل رشد، و مراحل رشد ذرت در دو سال آزمایش (a مرحلهٔ شانزده‌برگی، b مرحلهٔ ظهور گل‌آذین نر، c مرحلهٔ شیری‌شدن دانه، T_1 تنش آبی شدید (MAD=۰/۸۵)، T_2 تنش آبی متوسط (MAD=۰/۷۵)، T_3 تنش آبی ملایم (MAD=۰/۶۵) و T_4 آبیاری کامل (MAD=۰/۵))

نیاز کودی گیاه با توجه به آزمایش‌های شیمیایی خاک درون گلدان‌ها و با استفاده از جداول توصیهٔ کودی ملکوتی و غیبی تعیین گردید (Malakooti and Gheybi, 2000). کودهای فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم به صورت دستی به خاک اضافه و تا عمق ۲۵ سانتی‌متری با خاک مخلوط شد. مابقی کود استفاده‌شده از نوع اوره بود که در زمان کاشت و ۳۰ و ۵۹ و ۷۴ روز پس از کاشت گیاه با آب آبیاری به گیاه داده شد.

شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده در دو بخش اندام هوایی و ریشهٔ گیاه بود. این اندازه‌گیری‌ها در ۵ مرحلهٔ رشد گیاه، شامل مراحل دَه‌برگی (S_1)، شانزده‌برگی (S_2)، ظهور گل‌آذین نر (S_3)، و شیری‌شدن دانه (S_4) در هر ۲ سال و در مرحلهٔ رسیدگی کامل گیاه (S_5) فقط در سال ۱۳۸۹ انجام شد. با رسیدن گیاه به هر یک از مراحل یادشده، برای هر یک از سطوح آبیاری ذکرشده، ۳ گلدان از مجموع گلدان‌هایی که ذرت در آن‌ها کشت

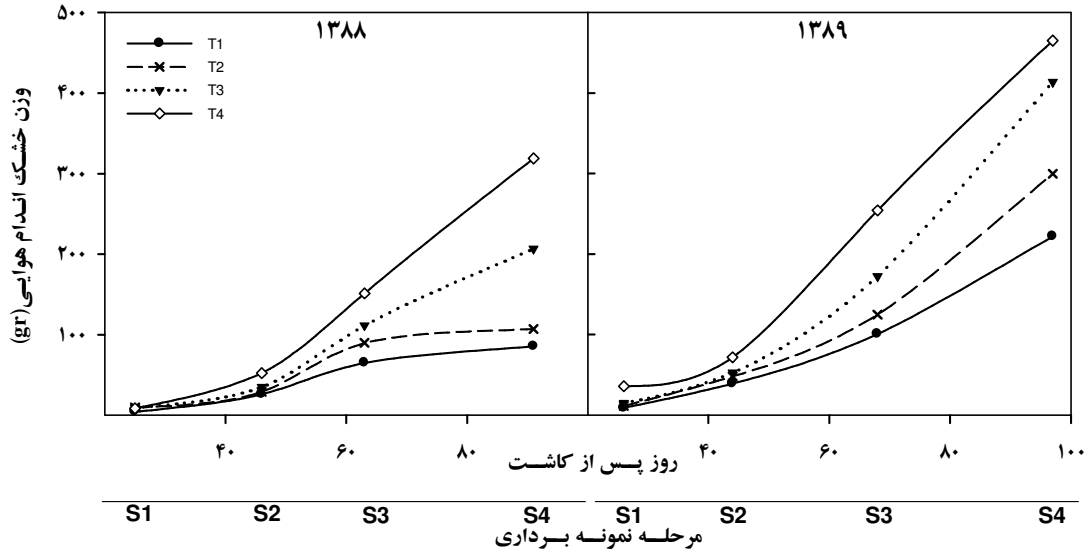
شده بود برای نمونه‌برداری گیاهی از محوطهٔ آزمایش خارج شد و برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی (TDMP) و سطح برگ گیاه (LA) گیاهان ذرت بریده و به آزمایشگاه منتقل شد. برگ‌های گیاه از ساقه جدا و سطح برگ گیاه به‌وسیلهٔ دستگاه Delta-T Scan اندازه‌گیری شد. قسمت‌های هوایی گیاه در دمای ۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد در آون قرار داده شد تا وزن خشک کل اندام هوایی به‌دست آید.

وزن خشک ریشهٔ گیاه (DMR) در ۴ مقطع طولی ریشه اندازه‌گیری شد. برای این منظور گلدان‌ها به‌صورت عمودی برش داده شدند و با استفاده از فشار ملایم آبْ خاک اطراف ریشه‌ها شسته شد تا ریشه کاملاً از خاک جدا شود. پس از آن ریشه‌ها در آب غوطه‌ور شدند و مواد آلی چسبیده به آن از ریشه جدا شد. سپس ریشه در راستای طولی در ۴ مقطع ۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰، ۴۰ تا ۶۰، و ۶۰ سانتی‌متر به بالا برش داده شد. این مقاطع به‌ترتیب با DMR 0-20، DMR 20-40، DMR 40-60، و DMR 60-End معرفی شده‌اند. هر یک از مقاطع برش‌خورده داخل آون به مدت ۴۸ ساعت با دمای ۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد خشک شد و وزن خشک آن‌ها به‌دست آمد. از تجمیع وزن خشک هر یک از این مقاطع، وزن خشک کل ریشهٔ گیاه (DMRTL) در هر یک از تیمارهای آبیاری حاصل شد. طرح آزمایشی به صورت طرح فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS 9 تجزیه‌وتحلیل گردید (SAS, 2001).

ی‌افته‌ها و بحث

اندام هوایی گیاه

در شکل ۲ روند تغییرات وزن خشک اندام هوایی گیاه ذرت طی ۲ سال آزمایش بر حسب سطوح مختلف آبیاری می‌آید. روند تغییرات در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ نشان داد با زیادشدن فاصلهٔ بین آبیاری از سطح آبیاری T_4 تا سطح آبیاری T_1 از مقدار وزن خشک اندام هوایی گیاه کاسته می‌شود. در مراحل S_1 و S_2 اختلاف کمتری بین مقادیر مشاهده‌شدهٔ وزن خشک اندام هوایی بین تیمارهای مختلف وجود داشت و با گذشت زمان کم‌کم اختلاف بین وزن خشک گیاه در سطوح مختلف آبیاری بیشتر شد (شکل ۲).

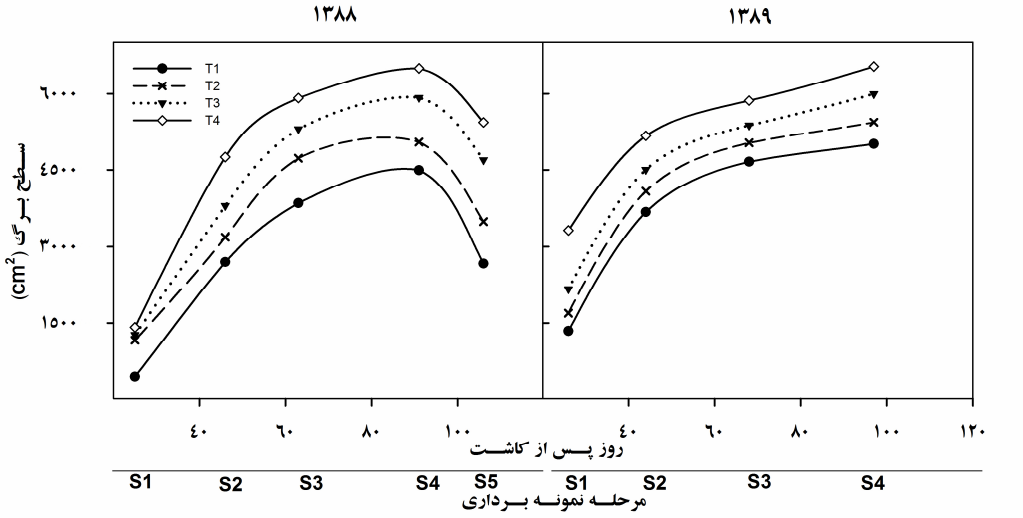


شکل ۲. وزن خشک کل اندام هوایی گیاه (TDMP) در تیمارهای آبی T_1 (تنش آبی شدید، MAD=۰/۸۵)، T_2 (تنش آبی متوسط، MAD=۰/۷۵)، T_3 (تنش آبی ملایم، MAD=۰/۶۵)، T_4 (آبیاری کامل، MAD=۰/۵) و در مراحل S_1 (دَه‌برگی)، S_2 (شانزده‌برگی)، S_3 (ظهور گل‌آذین نر)، S_4 (شیری‌شدن دانه) مقادیر میانگین سه تکرارند.

در همهٔ مراحل رشد در هر دو سال آزمایش مساحت برگ گیاه با افزایش شدت تنش آبی کاهش یافت (شکل ۳). شیب افزایش سطح برگ از مرحلهٔ S_3 کم شد و تا مرحلهٔ S_4 با شیبی ملایم همچنان روند افزایشی داشت؛ اما در سال ۱۳۸۸ از مرحلهٔ S_4 تا مرحلهٔ S_5 منحنی سطح برگ روند کاهشی به خود گرفت.

بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی گیاه در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ به‌ترتیب برابر با ۳۱۸/۹ و ۴۶۵/۱ گرم و در تیمار S_4T_4 مشاهده شد (جدول ۱). در مرحلهٔ S_1 در سال ۱۳۸۸، به‌رغم وجود اختلاف معنادار بین مقادیر وزن خشک گیاه و سطح برگ در سطوح مختلف آب کاربردی، روند مشخصی از تغییرات بر حسب مقدار آب دریافتی وجود نداشت. در همهٔ مراحل دیگر داده‌برداری (S_2، S_3، S_4، S_5) و برای هر دو سال اجرای طرحْ مقدار وزن خشک اندام هوایی گیاه با افزایش تنش آبی از سطح آبیاری T_4 تا سطح آبیاری T_1 کاهش یافت و بین سطوح مختلف آبیاری در این مراحل اختلافی معنادار در مقدار وزن خشک اندام هوایی گیاه وجود داشت ($P<0/05$) (جدول ۱).

نتایج فوق مشابه نتایج پژوهش Farre and Faci (2009)، Pandey *et al* (2000)، و Traore *et al* (2000) بود. در هر دو سال اجرای طرح اختلافی معنادار ($P<0/05$) بین مساحت برگ گیاه ذرت در همهٔ مراحل رشد بین سطوح مختلف آبیاری وجود داشت. بیشترین مقدار مساحت برگ‌ها در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ به‌ترتیب برابر با ۶۴۹۷ و ۶۵۳۳ سانتی‌متر مربع و در تیمار S_4T_4 مشاهده شد. در همین مرحله از رشد گیاه، کمترین مساحت برگ‌ها در سطح آبیاری T_1 و برابر ۴۴۹۴ و ۵۰۰۶ سانتی‌متر مربع به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ دیده شد.



شکل ۳. تغییرات سطح برگ گیاه ذرت (LA) در تیمارهای آبی T_1 (تنش آبی شدید، MAD=۰/۸۵)، T_2 (تنش آبی متوسط، MAD=۰/۷۵)، T_3 (تنش آبی ملایم، MAD=۰/۶۵)، T_4 (آبیاری کامل، MAD=۰/۵) و در مراحل S_1 (دَه‌برگی)، S_2 (شانزده‌برگی)، S_3 (ظهور گل‌آذین نر)، S_4 (شیری‌شدن دانه)، S_5 (رسیدگی کامل گیاه) مقادیر میانگین سه تکرارند.

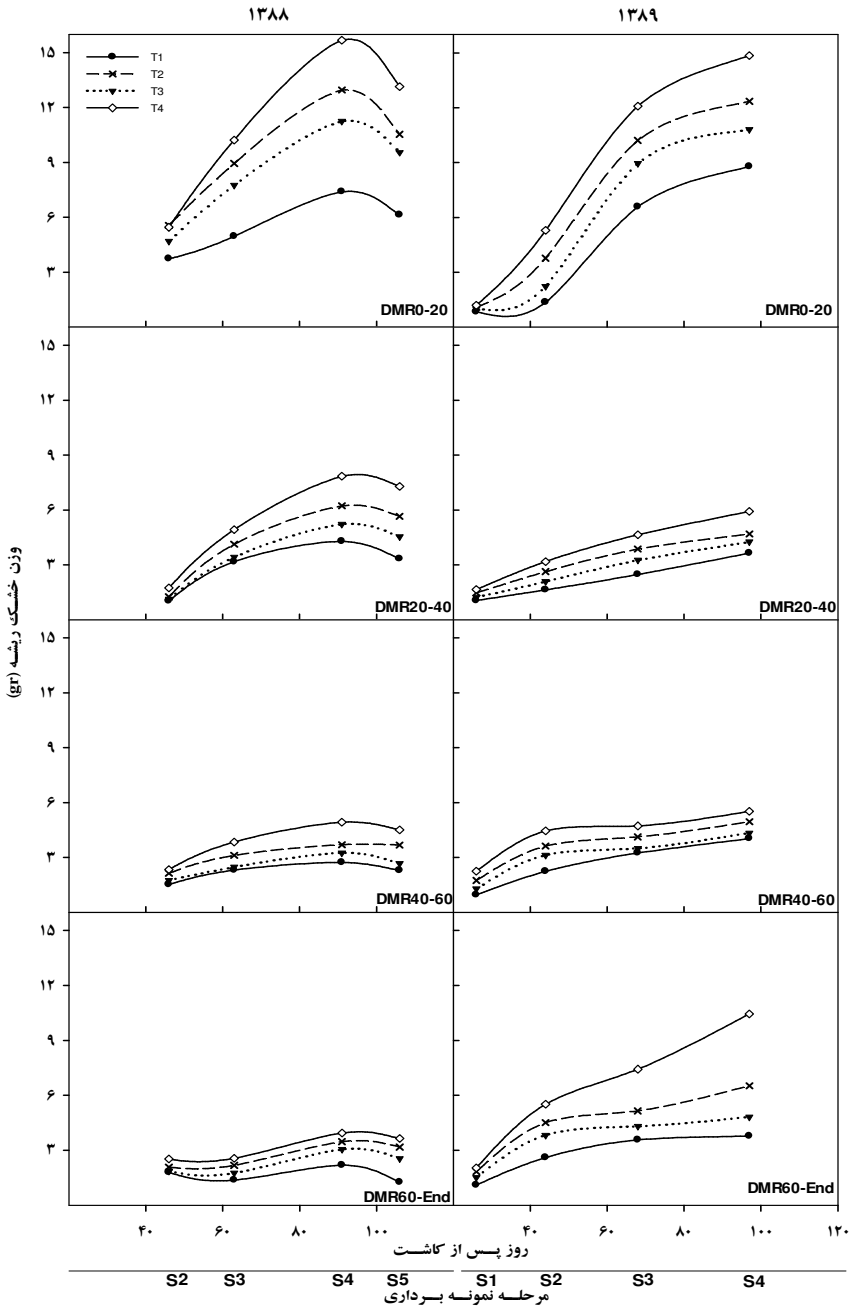
جدول ۱. مقایسهٔ میانگین وزن خشک اندام هوایی و سطح برگ گیاه ذرت در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹*

عامل آزمایشی**		وزن خشک گیاه (gr)		سطح برگ (cm^2)	
مرحلهٔ رشد	آبیاری	سال ۱۳۸۸	سال ۱۳۸۹	سال ۱۳۸۸	سال ۱۳۸۹
S1	T1	۴/۴ c	۹/۲ c	۴۴۱ c	۳۴۳ d
	T2	۹/۸ a	۱۱/۷ c	۱۱۶۳ b	۶۹۱ c
	T3	۹/۳ a	۱۵/۳ b	۱۲۷۰ ab	۱۶۱ b
	T4	۸/۵ b	۳۶/۱ a	۱۴۱۵ a	۳۲۲ a
S2	T1	۲۶/۱ d	۳۹/۳ d	۲۶۹۴ d	۶۷۸ d
	T2	۲۹/۳ c	۴۸/۲ c	۳۱۸۹ c	۴۰۸۵ c
	T3	۳۵/۲ b	۵۲/۹ b	۳۸۰۲ b	۴۵۰۸ b
	T4	۵۲/۴ a	۷۱/۹ a	۴۷۵۲ a	۵۱۶۳ a
S3	T1	۶۴/۹ d	۱۰۰/۷ d	۳۸۵۰ d	۴۶۵۸ d
	T2	۸۹/۹ c	۱۲۵/۱ c	۴۷۲۹ c	۵۰۲۶ c
	T3	۱۱۱/۴ b	۱۷۲/۶ b	۵۲۹۸ d	۵۳۷۲ b
	T4	۱۵۱/۳ a	۲۵۴/۳ a	۵۹۱۱ a	۵۸۶۲ a
S4	T1	۸۵/۵ d	۲۲۲/۱ d	۴۴۹۴ d	۵۰۰۶ d
	T2	۱۰۷/۱ c	۲۲۹/۹ c	۵۰۴۳ c	۵۴۳۳ c
	T3	۲۰۶/۷ b	۴۱۳/۷ b	۵۹۲۱ b	۵۹۹۵ b
	T4	۳۱۸/۹ a	۴۶۵/۱ a	۶۴۹۷ a	۶۵۳۳ a
S5	T1	---	---	۲۶۶۳ d	---
	T2	---	---	۳۴۹۲ c	---
	T3	---	---	۴۶۹۵ b	---
	T4	---	---	۵۴۳۱ a	---

* در هر مرحله از رشد میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند اختلاف آماری معناداری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند. ** T_1: تنش آبی شدید (MAD=۰/۸۵)، T_2: تنش آبی متوسط (MAD=۰/۷۵)، T_3: تنش آبی ملایم (MAD=۰/۶۵)، T_4: آبیاری کامل (MAD=۰/۵)؛ S_1: مرحلهٔ دَه‌برگی، S_2: مرحلهٔ شانزده‌برگی، S_3: مرحلهٔ ظهور گل‌آذین نر، S_4: مرحلهٔ شیری‌شدن دانه

وزن خشک ریشه

شکل ۴ تغییرات وزن خشک ریشه در مقاطع طولی ۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰، ۴۰ تا ۶۰، و بیش از ۶۰ سانتی‌متر را در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ نشان می‌دهد. وزن خشک ریشه در سطح آبیاری کامل (T_4) در همهٔ مقاطع طولی بررسی‌شده در طول دورهٔ رشد گیاه بیش از سایر سطوح آبیاری بود. با شروع اعمال سطوح آبیاری، وزن خشک ریشه از سطح آبیاری کامل (T_4) به سطح تنش آبی ملایم (T_3) کاهش یافت. با افزایش تنش آبی و رسیدن به سطح تنش آبیاری متوسط (T_2) دوباره وزن خشک ریشه افزایش یافت و در نهایت در سطح تنش آبی شدید (T_1) مقدار وزن خشک ریشه در همهٔ مراحل رشد به کمترین مقدار خود در بین همهٔ سطوح آبی رسید. در سال ۱۳۸۸ با رسیدن گیاه به مرحلهٔ S_5 وزن خشک ریشه در همهٔ اعماق بررسی‌شده نسبت به مرحلهٔ S_4 کاهش یافت.



شکل ۴. تغییرات وزن خشک ریشهٔ (DMR) گیاه ذرت در طول فصل رشد در تیمارهای آبی T_1 (تنش آبی شدید، MAD=۰/۸۵)، T_2 (تنش آبی متوسط، MAD=۰/۷۵)، T_3 (تنش آبی ملایم، MAD=۰/۶۵)، T_4 (آبیاری کامل، MAD=۰/۵) در مراحل S_1 (دَه‌برگی)، S_2 (شانزده‌برگی)، S_3 (ظهور گل‌آذین نر)، S_4 (شیری‌شدن دانه)، S_5 (رسیدگی کامل گیاه) برای مقاطع طولی ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری (DMR 0-20)، ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری (DMR 20-40)، ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متری (DMR 40-60)، و ۶۰ سانتی‌متری تا انتها (DMR 60-END) در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹

روند تغییرات وزن خشک کل ریشه مطابق روند مشاهده‌شده در هر یک از مقاطع طولی است. بدین ترتیب که مقادیر تنش ملایم (T_3) باعث کاهش وزن خشک ریشه می‌شود و در مقادیر تنش آبی متوسط (T_2) دوباره وزن خشک کل ریشه افزایش می‌یابد و در سطح تنش آبی شدید (T_1) مقدار وزن خشک کل ریشه به حداقل مقدار خود می‌رسد. در شرایط تنش ملایم به‌دلیل نامطلوب‌شدن شرایط رطوبتْ ریشهٔ گیاه نسبت به آبیاری کامل رشد و توسعهٔ کمتری دارد. زمانی که تنش شدیدتر می‌شود برای مقابله با تنش در فرایندی تطبیقی رشد و توسعهٔ ریشه افزایش می‌یابد. در این حالت رشد ریشه در مقایسه با تنش ملایم بیشتر می‌شود، اما همچنان کمتر از شرایط آبیاری کامل است.

سطوح مختلف آبیاری باعث ایجاد اختلافی معنادار ($P <۰/۰۵$) در وزن خشک کل و نیز وزن خشک ریشهٔ مقاطع طولی مختلف در همهٔ مراحل رشد شد. وزن خشک ریشه در هر یک از مراحل رشد بین همهٔ سطوح آبیاری به جز وزن کل ریشه در مرحلهٔ S_1، وزن ریشه در اعماق ۰ تا ۲۰، و بیش از ۶۰ سانتی‌متر در مرحلهٔ S_2 و وزن ریشه در عمق ۴۰ تا ۶۰ در مراحل S_3 و S_5 در سال ۱۳۸۸ اختلافی معنادار ($P <۰/۰۵$) داشت (به‌دلیل محدودیت تعداد صفحات مقاله جدول ارائه نشد).

در همهٔ مراحل رشد بیشترین مقدار وزن خشک ریشه در مقاطع طولی بررسی‌شده در سال ۱۳۸۸ در سطح آبیاری کامل (T_4) و لایهٔ ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری ریشه به‌دست آمد. در سال ۱۳۸۹ نیز بیشترین مقدار وزن خشک ریشه در مقاطع طولی همواره در سطح آبیاری کامل به‌دست آمد؛ ولی در دو مرحلهٔ دَه‌برگی (S_1) و شیری‌شدن (S_4) به‌ترتیب در عمق ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متری و پس از ۶۰ سانتی‌متر و در دو مرحلهٔ S_2 و S_3 در لایهٔ ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری خاک رخ داد. بیشترین مقدار وزن خشک کل ریشه در هر دو سال ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ برای همهٔ سطوح آبیاری در مرحلهٔ شیری‌شدن دانه (S_4) به‌ترتیب برابر با ۳۲/۳ و ۳۶/۶ گرم و در تیمار S_4T_4 به‌دست آمد (به‌دلیل محدودیت تعداد صفحات مقاله جدول ارائه نشد).

کاهش وزن خشک اندام هوایی و سطح برگ گیاه ذرت تحت تأثیر تنش رطوبتی را سایر محققان تأیید کرده‌اند (Emam and Ranjbar, 2000; Farre and Faci, 2009). محققان دیگر نیز اعلام کرده‌اند در اثر کاهش دسترسی گیاه ذرت به آب شاخص‌های اندام هوایی گیاه کاهش خواهد یافت (Li *et al*, 2011; Farre and Faci, 2009). کاهش رشد ریشهٔ ذرت تحت تأثیر تنش آب در مقایسه با تیمار شاهد را سایر محققان نیز گزارش کرده‌اند. نتایج تحقیقات Gheysari *et al* (2009b) نشان می‌دهد با کاهش عمق آبیاری به‌دلیل محدودشدن عمق خاک مرطوبْ عمق توسعهٔ ریشهٔ گیاه ذرت کاهش می‌یابد.

همچنین Li *et al* (2011) و Karandish *et al* (2012) اعلام کردند با تغییر روش آبیاری سطحی و نحوهٔ توزیع رطوبت در خاکْ توسعهٔ ریشهٔ ذرت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در این تحقیق اثر تنش رطوبتی بر کاهش وزن ریشه و اندام هوایی گیاه مشاهد شد. این یافته با نتایج سایر محققان که هم‌زمانی کاهش در شاخص‌های اندام هوایی و گسترش ریشه را مطرح کردند هماهنگ است. نتایج تحقیقات Yan *et al* (2011) نشان داد هنگامی که وزن خشک ریشهٔ ذرت به حداقل مقدار خود برسد سطح برگ گیاه نیز در کمترین مقدار خود خواهد بود (Yan *et al*, 2011). Amato and Ritchie (2002) نیز اعلام کردند سطح برگ ذرت هنگامی به حداکثر مقدار خود خواهد رسید که دانسیتهٔ حجمی ریشه حداکثر باشد.

نتیجه‌گیری

وقتی فاصلهٔ بین دو آبیاری در مقایسه با سطح بهینه اندکی افزایش یابد و تنش ملایم شروع شود وزن خشک ریشه کاهش می‌یابد؛ ولی با افزایش بیشتر فاصلهٔ بین دو آبیاری و شروع تنش متوسط سطح ریشه دوباره بیشتر می‌شود و در نهایت در تنش رطوبتی شدید به کمترین مقدار خود خواهد رسید. اما همیشه مقدار وزن خشک ریشه در تیمار شاهد بیشینه است. از طرف دیگر وزن خشک اندام هوایی و سطح برگ از تیمار شاهد به تنش شدید به صورت پیوسته کاهش دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش وزن خشک ریشه در تیمار تنش متوسط در مقایسه با تیمار تنش ملایم می‌تواند در اثر فرایندی تطبیقی در گیاه در مواجه‌شدن با تنش باشد. بیشترین وزن ریشه متناظر با بیشینهٔ سطح برگ است که در مرحلهٔ شیری‌شدن دانه مشاهد شد. به‌طور کلی نتایج نشان داد سطح مشخصی از تنش رطوبتی وجود دارد (تنش بهینه) که گیاه در آن سطح تنش برای مقابله با کمبود رطوبت خاک سیستم ریشهٔ خود را به حداکثر مقدار گسترش می‌دهد. بنابراین شناسایی این سطح تنش برای گیاهان مختلف در خاک‌های مختلف می‌تواند برای مدیریت کم‌آبیاری و افزایش بهره‌وری مصرف آب اطلاعات مفیدی به محققان و کارشناسان بدهد.

سپاس‌گزاری

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی شمارهٔ ۸۸۰۰۰۸۴۱ صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور است. نویسندگان از حمایت‌های مادی صندوق و دیدگاه‌های ارزشمند جناب آقای دکتر عبدالمجید لیاقت، ناظر محترم طرح، تقدیر و تشکر می‌کنند.

REFERENCES

Allen, R. G. Pereira, L. S. Raes, D. and Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirments. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56*, FAO, Rome, 41-51.

Amato, M. and Ritchie, J. T. (2002) Spatial Distribution of Roots and Water Uptake of Maize (Zea mays L.) as Affected by Soil Structure. *Crop Science*, 42, 773-780.

Bo, Z. Renkuan, L. Yunkai, L. Tao, G. Peiling, Y. Ji, F. Weimin, X. and Zhichao, Z. (2012). Water-absorption characteristics of organic–inorganic composite superabsorbent polymers and its effect on summer maize root growth. *Journal of Applied Polymer Science,* 126, 423–435.

Bohm, W. 1979. Method of Studying Root Systems. New York: Springer-Verlag.

Boomsma, C.R. Santini, J.B. Tollenaar, M. and Vyn, T.J. (2009). Maize morphophysiological responses to intense crowding and low nitrogen availability: An analysis and review. *Agronomy Journal*, 101, 1426-1452.

Emam, Y. and Ranjbar, Gh. H. (2000). Effect of deficit irrigation on vegetative growth stage on appearance characteristic yield, water use efficiency and yield component for maize Hybrid SG704. In: Proceedings of first national drought seminar (Issues and mitigation), 13-14 May 2009, Shiraz.Iran (In Farsi)

Farre, I. and Faci, J.M. (2006). Comparative response of maize and sorghum to deficit irrigation in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management,* 83, 135-143.

Farre, I. and Faci, J. M. (2009). Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*, 96, 383-394.

Gheysari, M., Mirlatifi, S. M., Homaee, M. and Asadi, M. E. (2006). Determination of crop water use and crop coefficient of corn silage based on crop growth stages. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 7(26), 125-142. (In Farsi)

Gheysari, M. Mirlatifi, S.M. Bannayan, M. Hmomaee, M. and Hoogenboom, G. (2009a). Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. *Agricultural Water Management,* 96, 809-821

Gheysari, M., Mirlatifi, S.M. Homaee, M. Asadi, M.E. and Hoogenboom, G. (2009b). Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates. *Agricultural Water Management,* 96, 946-954.

Khalili rad, R. Mirnia, S.kh. and Bahrami, H. (2010). Effect of different water amount on growth of maize root. *Journal of soil and water*, 24, 557-564. (In Farsi)

Karandish, F. Mirlatifi, S.M. Shahnazri, A. Gheysari, M. and Abbasi, F. (2012). Effect of partial root-zone drying (PRD) and deficit irrigation on Nitrogen uptake and leaching in maize. *Water and irrigation management*, 2(2), 86-97. (In Farsi)

Lamm, F.R. Rogers, D.H. and Manges, H.L. (1994). Irrigation scheduling with planned soil water depletion. *Transaction of ASAE,* 37, 1491–1497.

Li, C. Sun, J. Li, F. Zhou, X. Li, Z. Qiang, X. and Guao, D. (2011). Response of root morphology and distribution in maize to alternate furrow irrigation. *Agricultural Water Management,* 98, 1789-1798.

Liang, A. H. Ma, F. Y. Liang, Z. S. and Mu, Z. X. (2008). Studies on the physiological mechanism of functional compensation effect in maize root system induced by re-watering after draught stress. *Journal of North Science Technology*, 36, 58–64.

Lizarazu, W. Z. Zatta, A. and Monti, A. (2012). Water uptake efficiency and above- and belowground biomass development of sweet sorghum and maize under different water regimes. *Plant Soil*, 351, 47–60.

Malakooti, M.J. and Gheybi M.N (2000). Determination of critical limit of nutrition elements in soil plant and fruit. Karaj: Publishing center of learning spreading. (In Farsi)

Paknejad, F. Vazan, S. Ajeli, j. Mirkhari, M. Nasri, M. (2010). Effect of drought stress and irrigation method on yield and yield component for two maize hybrid. *Journal of new agriculture science*, 18, 17-25. (In Farsi)

Pandey, R.K. Maranville, J.W. and Admou, A. (2000). Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. I. Grain yield and yield components. *Agricultural Water Management,* 46, 1–13

SAS Institute. 2001. SAS System. 8th ed. SAS Inst., Cary, NC

Shani, U. and Dudley, L. M. (2001). Field Studies of Crop Response to Water and Salt Stress. *Soil Science Society of American Journal*, 65, 1522–1528.

Shoa hosseini, S.M. Farsi, V. Khavari Khorasani, S. (2008). Investigating on the effect of deficit irrigation on yield and yield component in different maize hybrid by using causing analyzing. *Journal of agriculture science*, 15, 71-85. (In Farsi)

Traore, S.B. Carlson, R.E. Pilcher, C.D. and Rice, M.E. (2000). Bt and Non-Bt maize growth and development as affected by temperature and drought stress. *Agronomy Journal,* 92, 1027–1035.

Yan, H. Shang, A. Peng, Y. Yu, P. and Li, C. (2011). Covering middle leaves and ears reveals differential regulatory roles of vegetative and reproductive organs in root growth and nitrogen uptake in maize. *Crop Science*, 51, 265-272.