

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

مهدی قیصری^{۱*}، محمدمهدی مجیدی^۲، محمدجواد زارعیان^۳، سید مجید میرلطیفی^۴، حمزه دوکوهکی^۵، سمیه امیری^۶

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

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

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

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

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

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

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

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر اعمال تنش آبی روی وزن خشک اندام هوایی، سطح برگ، و وزن ریشه گیاه ذرت علوفه‌ای سینگل کراس ۷۰۴ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۴ سطح آبیاری در ۵ مرحله رشد گیاه در ۶۰ گلدان با قطر ۳۹/۴ و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر بود که ۳ بار تکرار شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده 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 مرحله شیری شدن دانه رخ داد. این مقدار در ۲ سال ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ برای وزن خشک اندام هوایی به ترتیب 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 کم آبیاری اطلاعات مفیدی به محققان و کارشناسان می‌دهد.

کلیدواژگان: استرس آبی، ذرت، سینگل کراس ۷۰۴، کم آبیاری، 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 آینده 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 (Shoa et al, 2010; Paknejad et al, 2010; hosseini et al, 2008). افزایش هزینه‌های به‌کارگیری سیستم‌های پیشرفته آبیاری، کاهش کیفیت آب، و افزایش هزینه‌های پمپاژ نیز از عواملی است که نیاز مبرم کشاورزان را در زمینه به‌کارگیری هدفمند روش‌های کم آبیاری تأیید می‌کند

(Li et al, 2011). گیاه ذرت به‌شدت به تنش خشکی حساس است. بسیاری از محققان بحرانی‌ترین دوره رشد ذرت را هنگام تشکیل محصول نهایی، ۲ هفته قبل، و ۲ تا ۳ هفته پس از مرحله ابریشمی شدن گزارش کرده‌اند (Pandey et al, 2000). مطالعات زیادی در زمینه اثر تنش آبی بر رشد و توسعه گیاه ذرت صورت گرفته است. رشد ریشه ذرت تحت تاثیر نوع بستر است (Bo et al, 2012). اعمال تنش آبی باعث کاهش ارتفاع ساقه، اندازه بلال، تعداد برگ، و وزن اندام هوایی ذرت می‌شود (Emam and Ranjbar, 2000). کم آبیاری 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 ریشه ذرت سینگل کراس ۷۰۴ (Khalili Rad et al, 2010) می‌شود. ریشه ذرت در مواجهه شدن با شرایط تنش آمادگی پیدا می‌کند که در شرایط آبیاری کافی تعداد انشعابات ریشه و نیز ریشه‌های موئین خود را به مقدار بیشتری توسعه دهد (Liang et al, 2008). عمق توسعه ریشه ذرت تحت تاثیر عمق آبیاری است؛ طوری که با کاهش عمق آبیاری، به دلیل

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

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ به صورت گلدانی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان با طول جغرافیایی ۲۸° ۵۱' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲°۴۲' شمالی انجام شد. میانگین درجه حرارت سالیانه منطقه ۱۷ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالیانه آن ۱۳۴ میلی‌متر است. محدوده‌ای از اراضی این مزرعه به ابعاد ۲۰×۱۰ متر جهت اجرای طرح در نظر گرفته شد. برای ایجاد محیط کشت گیاهان از لوله‌های آبیاری هیدروفوم 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 به ترتیب برای سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ بود.

تیمارهای آزمایشی شامل ۴ سطح آبیاری و ۵ مرحله 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 وارپته سینگل کراس 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 مرحله شش‌برگی بدون اعمال تیمارهای تنش آبی آبیاری شدند. پس از مرحله 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 تانسیمتر استفاده شد. تانسیمترها 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 لایه 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 جمعی ذرت با استفاده از رابطه فائو- پنمن-مانتیت (Allen et al, 1998)، ضرایب گیاهی توصیه‌شده برای ذرت علوفه‌ای (Gheysari et al, 2006)، و ضرایب

محدود کردن عمق خیس‌شده خاک، عمق توسعه ریشه نیز کاهش می‌یابد (Gheysari et al, 2009 b). (Gheysari et al, 2009 a) مطالعه‌ای را به منظور 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 به طور معناداری تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در شرایط کم‌آبیاری ناقص ریشه نسبت به کم‌آبیاری معمول ریشه ذرت توسعه 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 توسعه ریشه ذرت بررسی کردند. نتایج نشان داد تعداد و مساحت ریشه 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 مطالعه 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 ریشه گیاه در شرایط کم‌آبی نیز می‌تواند در مدیریت صحیح‌تر گیاه مؤثر باشد (Bohm, 1979; Lamm et al, 1994).

حساسیت بالای ذرت به کم‌آبی نشان‌دهنده این مطلب بسیار مهم است که تغییر برنامه 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 جدی به گیاه وارد کند. همچنین، از آنجا که تا کنون هیچ مطالعه دقیقی سیستم ریشه و اندام هوایی ذرت را، طی دوره رشد، بررسی نکرده است، هدف این تحقیق بررسی اثر اعمال تنش آبی با استفاده از تغییر در دور آبیاری بر رشد و توسعه اندام هوایی و وزن خشک ریشه گیاه ذرت علوفه‌ای طی مراحل مختلف رشد است.

$D_{ir(MAD 75\%)}$ ، $D_{ir(MAD 65\%)}$ و $D_{ir(MAD 50\%)}$ (ماکزیمم عمق آبیاری در تیمارهای T_1 ، T_2 ، T_3 ، T_4) می‌شد، زمان آبیاری به ترتیب در تیمارهای T_1 ، T_2 ، T_3 ، T_4 فرامی‌رسید (رابطه‌های ۲ تا ۵).

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

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

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

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

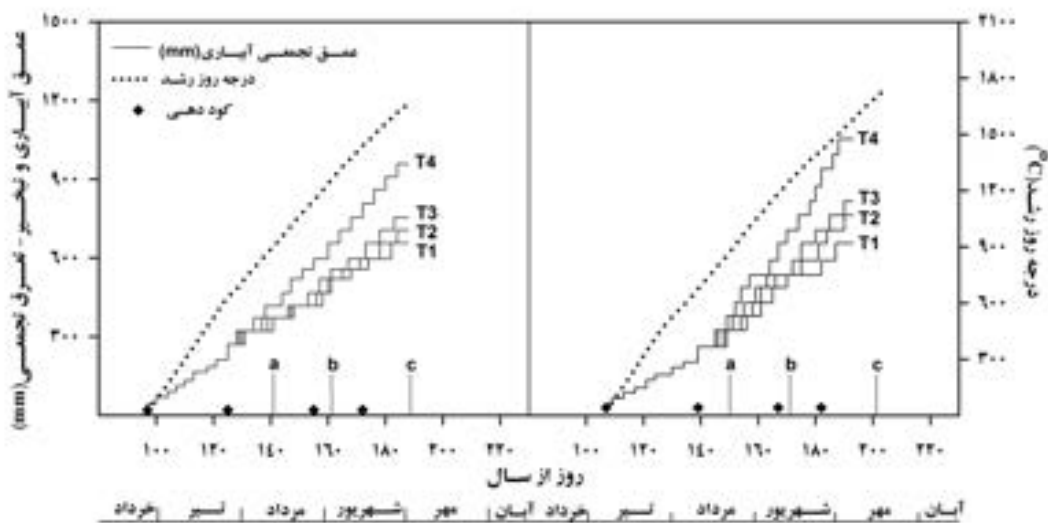
$D_{ir(MAD50\%)}$ ، $D_{ir(MAD65\%)}$ ، $D_{ir(MAD75\%)}$ و $D_{ir(MAD85\%)}$ به ترتیب ماکزیمم عمق آب آبیاری در تیمارهای آبیاری کامل، تنش ملایم، تنش متوسط، تنش شدید (cm) و D_i عمق لایه نام خاک (cm) است. بنابراین مقدار آب کاربردی و دور آبیاری در تیمارهای مختلف آبیاری متفاوت بود (شکل ۱).

خرداقلیمی محاسبه شده در این تحقیق محاسبه شد. به عبارت دیگر، زمانی که تبخیر- تعرق تجمعی گیاه بین دو آبیاری برابر ماکزیمم عمق معادل ۵۰، ۶۵، ۷۵ و ۸۵ درصد آب قابل استفاده خاک در عمق توسعه ریشه بود تیمارهای آبیاری شدند. عمق‌های یادشده به به ترتیب بیان کننده تیمارهای آبیاری کامل (T_4)، تنش ملایم (T_3)، تنش متوسط (T_2)، و تنش شدید (T_1) هستند. ضریب خرداقلیمی به دلیل استفاده از گلدان و قرارگیری آن‌ها روی سطح زمین و نبود پوشش گیاهی کامل در محل آزمایش با استفاده از داده‌های مقدار تخلیه رطوبت از خاک در تیمار شاهد و تبخیر- تعرق فائو- پنمن- مانیتث محاسبه شد.

در تیمار شاهد زمانی که میانگین وزنی رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه به $\theta_{MAD50\%}$ می‌رسید آبیاری صورت می‌گرفت: (رابطه ۱)

$$\theta_{MAD50\%} = \theta_{FC} - (\theta_{FC} - \theta_{pwp}) \times 0.50$$

θ_{FC} و θ_{pwp} به ترتیب رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم است. پس از محاسبه تبخیر- تعرق تجمعی گیاه در یک دور آبیاری، هنگامی که تبخیر- تعرق تجمعی برابر $D_{ir(MAD 85\%)}$



شکل ۱. درجه روز رشد، عمق تجمعی آب کاربردی، تبخیر- تعرق ذرت تخمینی با استفاده از رابطه فائو- پنمن- مانیتث، زمان آبیاری و کود- آبیاری در طول فصل رشد، و مراحل رشد ذرت در دو سال آزمایش (a مرحله شانزده برگی، b مرحله ظهور گل آذین نر، c مرحله شیر شدن دانه، T_1 تنش آبی شدید ($MAD=0.85$)، T_2 تنش آبی متوسط ($MAD=0.75$)، T_3 تنش آبی ملایم ($MAD=0.65$) و T_4 آبیاری کامل ($MAD=0.5$))

شاخص‌های اندازه‌گیری شده در دو بخش اندام هوایی و ریشه گیاه بود. این اندازه‌گیری‌ها در ۵ مرحله رشد گیاه، شامل مراحل ده برگی (S_1)، شانزده برگی (S_2)، ظهور گل آذین نر (S_3)، و شیر شدن دانه (S_4) در هر ۲ سال و در مرحله 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 ذکر شده، ۳ گلدان از مجموع گلدان‌هایی که ذرت در آن‌ها کشت

نیاز کودی گیاه با توجه به آزمایش‌های شیمیایی خاک درون گلدان‌ها و با استفاده از جداول توصیه 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 سانتی متری با خاک مخلوط شد. مابقی کود استفاده شده 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.

وزن خشک آن‌ها به دست آمد. از تجمیع وزن خشک هر یک از این مقاطع، وزن خشک کل ریشه 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 تجزیه و تحلیل گردید (SAS, 2001).

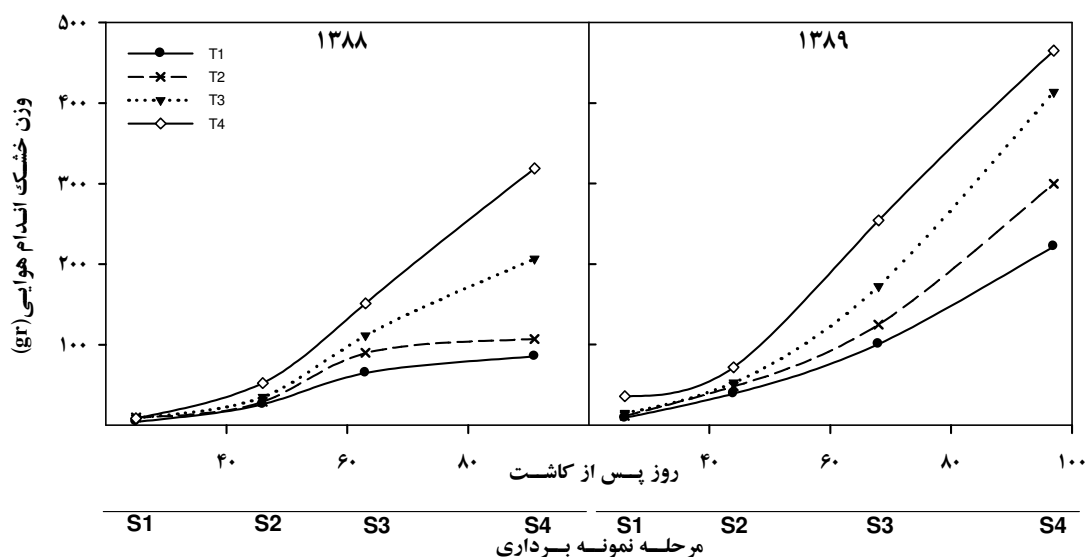
یافته‌ها و بحث

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 زیاد شدن فاصله 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 مشاهده شده 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).

شده بود برای نمونه برداری گیاهی از محوطه 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 به وسیله دستگاه Delta-T Scan اندازه‌گیری شد. قسمت‌های هوایی گیاه در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آن قرار داده شد تا وزن خشک کل اندام هوایی به دست آید.

وزن خشک ریشه گیاه (DMR) در ۴ مقطع طولی ریشه اندازه‌گیری شد. برای این منظور گلدان‌ها به صورت عمودی برش داده شدند و با استفاده از فشار ملایم آب 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 به ترتیب با DMR 0-20، DMR 20-40، DMR 40-60، و DMR 60-End معرفی شده‌اند. هر یک از مقاطع برش خورده داخل آن به مدت ۴۸ ساعت با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد و



شکل ۲. وزن خشک کل اندام هوایی گیاه (TDMP) در تیمارهای آبی T_1 (تنش آبی شدید، $MAD=0.85$)، T_2 (تنش آبی متوسط، $MAD=0.75$)، T_3 (تنش آبی ملایم، $MAD=0.65$)، T_4 (آبیاری کامل، $MAD=0.5$) و در مراحل S_1 (ده‌برگی)، S_2 (شانزده‌برگی)، S_3 (ظهور گل آذین نر)، S_4 (شیری شدن دانه) مقادیر میانگین سه تکرارند.

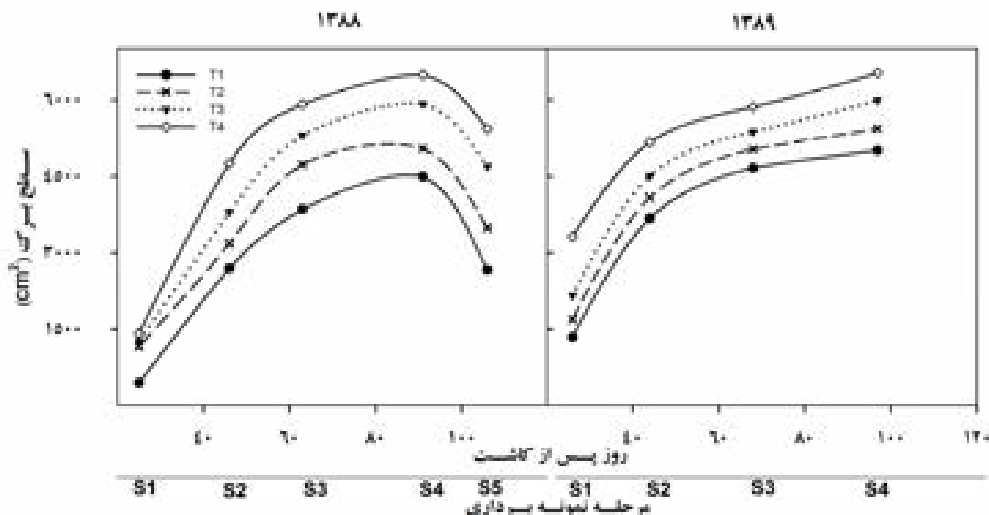
به‌رغم وجود اختلاف معنادار بین مقادیر وزن خشک گیاه و سطح برگ در سطوح مختلف آب کاربردی، روند مشخصی از تغییرات بر حسب مقدار آب دریافتی وجود نداشت. در همه مراحل دیگر داده‌برداری (S_2 ، S_3 ، S_4 ، S_5) و برای هر دو سال اجرای طرح مقدار وزن خشک اندام هوایی گیاه با افزایش تنش آبی از سطح آبیاری T_4 تا سطح آبیاری 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).

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

بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی گیاه در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۸۸ به ترتیب برابر با ۳۱۸٫۹ و ۴۶۵٫۱ گرم و در تیمار $S_4 T_4$ مشاهده شد (جدول ۱). در مرحله S_1 در سال ۱۳۸۸،

۱۳۸۹ به ترتیب 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 به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ دیده شد.

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 همه مراحل رشد بین سطوح مختلف آبیاری وجود داشت. بیشترین مقدار مساحت برگ‌ها در سال‌های ۱۳۸۸ و



شکل ۳. تغییرات سطح برگ گیاه ذرت (LA) در تیمارهای آبی T_1 (تنش آبی شدید، $MAD=0.85$)، T_2 (تنش آبی متوسط، $MAD=0.75$)، T_3 (تنش آبی ملایم، $MAD=0.65$)، T_4 (آبیاری کامل، $MAD=0.5$) و در مراحل S_1 (ذه‌برگی)، S_2 (شانزده‌برگی)، S_3 (ظهور گل‌آذین نر)، S_4 (شیری شدن دانه)، S_5 (رسیدگی کامل گیاه) مقادیر میانگین سه تکرارند.

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

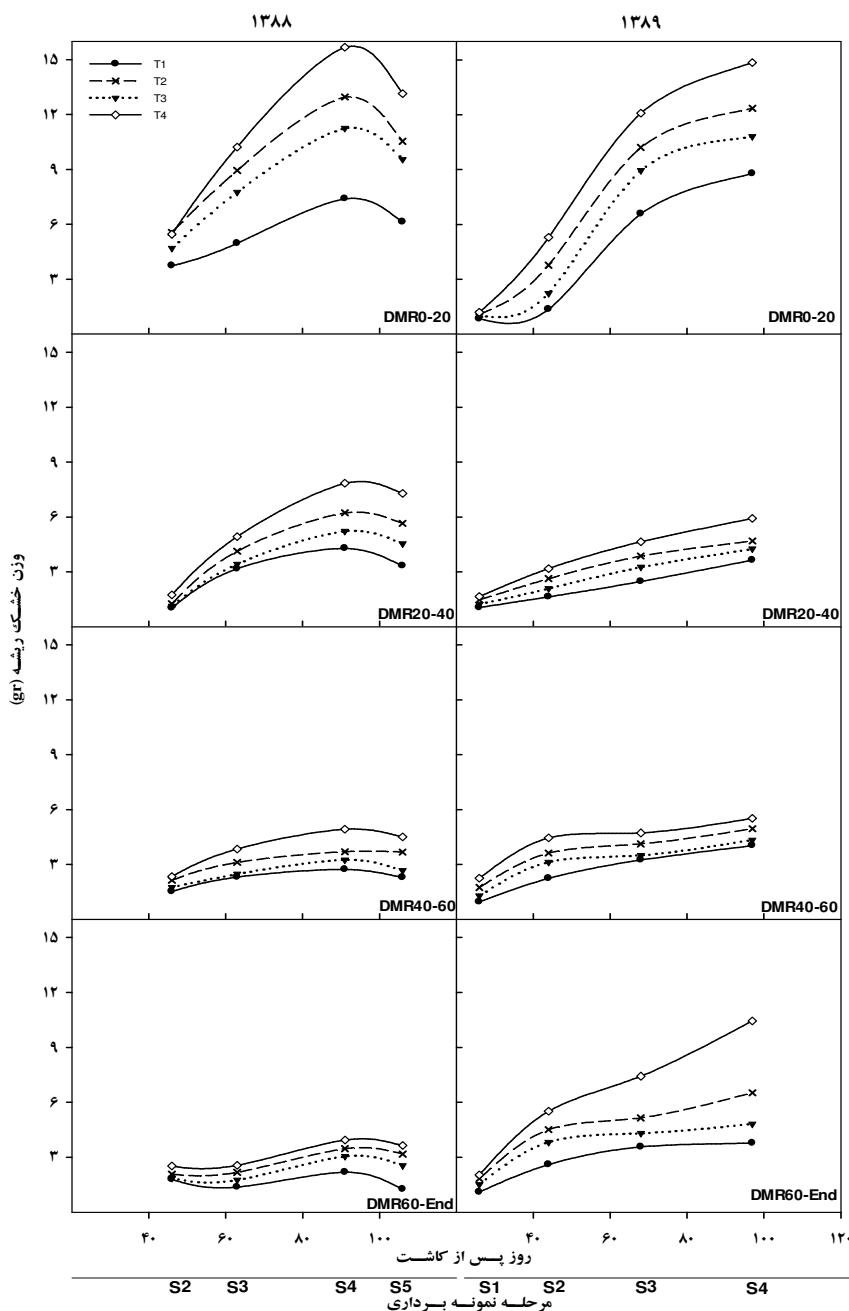
عامل آزمایشی**		وزن خشک گیاه (gr)		آبیاری	مرحله رشد
سطح برگ (cm ²)		سال ۱۳۸۹	سال ۱۳۸۸		
سال ۱۳۸۹	سال ۱۳۸۸	سال ۱۳۸۹	سال ۱۳۸۸		
۳۴۳ ^d	۴۴۱ ^c	۹,۲ ^c	۴,۴ ^c	T_1	S1
۶۹۱ ^c	۱۱۶۳ ^b	۱۱,۷ ^c	۹,۸ ^a	T_2	
۱۶۱ ^b	۱۲۷۰ ^{ab}	۱۵,۳ ^b	۹,۳ ^a	T_3	
۳۲۲ ^a	۱۴۱۵ ^a	۳۶,۱ ^a	۸,۵ ^b	T_4	
۶۷۸ ^d	۲۶۹۴ ^d	۳۹,۳ ^d	۲۶,۱ ^d	T_1	S2
۴۰۸۵ ^c	۳۱۸۹ ^c	۴۸,۲ ^c	۲۹,۳ ^c	T_2	
۴۵۰۸ ^b	۳۸۰۲ ^b	۵۲,۹ ^b	۳۵,۲ ^b	T_3	
۵۱۶۳ ^a	۴۷۵۲ ^a	۷۱,۹ ^a	۵۲,۴ ^a	T_4	
۴۶۵۸ ^d	۳۸۵۰ ^d	۱۰۰,۷ ^d	۶۴,۹ ^d	T_1	S3
۵۰۲۶ ^c	۴۷۲۹ ^c	۱۲۵,۱ ^c	۸۹,۹ ^c	T_2	
۵۳۷۲ ^b	۵۲۹۸ ^d	۱۷۲,۶ ^b	۱۱۱,۴ ^b	T_3	
۵۸۶۲ ^a	۵۹۱۱ ^a	۲۵۴,۳ ^a	۱۵۱,۳ ^a	T_4	
۵۰۰۶ ^d	۴۴۹۴ ^d	۲۲۲,۱ ^d	۸۵,۵ ^d	T_1	S4
۵۴۳۳ ^c	۵۰۴۳ ^c	۲۲۹,۹ ^c	۱۰۷,۱ ^c	T_2	
۵۹۹۵ ^b	۵۹۲۱ ^b	۴۱۳,۷ ^b	۲۰۶,۷ ^b	T_3	
۶۵۳۳ ^a	۶۴۹۷ ^a	۴۶۵,۱ ^a	۳۱۸,۹ ^a	T_4	
---	۲۶۶۳ ^d	---	---	T_1	S5
---	۳۴۹۲ ^c	---	---	T_2	
---	۴۶۹۵ ^b	---	---	T_3	
---	۵۴۳۱ ^a	---	---	T_4	

* 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 ($MAD=0.85$)، T_2 : تنش آبی متوسط ($MAD=0.75$)، T_3 : تنش آبی ملایم ($MAD=0.65$)، T_4 : آبیاری کامل ($MAD=0.5$)؛ S_1 : مرحله ذه‌برگی، S_2 : مرحله شانزده‌برگی، S_3 : مرحله ظهور گل‌آذین نر، S_4 : مرحله شیری شدن 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 سانتی متر را در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ نشان می‌دهد. وزن خشک ریشه در سطح آبیاری کامل (T₄) در همه مقاطع طولی بررسی شده در طول دوره رشد گیاه بیش از سایر سطوح آبیاری بود. با شروع اعمال سطوح آبیاری، وزن خشک ریشه از سطح آبیاری کامل (T₄) به

سطح تنش آبی ملایم (T₃) کاهش یافت. با افزایش تنش آبی و رسیدن به سطح تنش آبیاری متوسط (T₂) دوباره وزن خشک ریشه افزایش یافت و در نهایت در سطح تنش آبی شدید (T₁) مقدار وزن خشک ریشه در همه مراحل رشد به کمترین مقدار خود در بین همه سطوح آبی رسید. در سال ۱۳۸۸ با رسیدن گیاه به مرحله S₅ وزن خشک ریشه در همه اعماق بررسی شده نسبت به مرحله S₄ کاهش یافت.



شکل ۴. تغییرات وزن خشک ریشه (DMR) گیاه ذرت در طول فصل رشد در تیمارهای آبی T₁ (تنش آبی شدید، MAD=۰/۸۵)، T₂ (تنش آبی متوسط، MAD=۰/۷۵)، T₃ (تنش آبی ملایم، MAD=۰/۶۵)، T₄ (آبیاری کامل، MAD=۰/۵) در مراحل S₁ (ده‌برگی)، S₂ (شانزده‌برگی)، S₃ (ظهور گل‌آذین نر)، S₄ (شیری شدن دانه)، S₅ (رسیدگی کامل گیاه) برای مقاطع طولی ۰ تا ۲۰، (DMR 0-20)، ۲۰ تا ۴۰ سانتی متری (DMR 20-40)، ۴۰ تا ۶۰ سانتی متری (DMR 40-60) و ۶۰ سانتی متری تا انتها (DMR 60-End) در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۸۸

می‌دهد با کاهش عمق آبیاری به دلیل محدود شدن عمق خاک مرطوب عمق توسعه ریشه گیاه ذرت کاهش می‌یابد.

همچنین Li *et al* (2011) و Karandish *et al* (2012) اعلام کردند با تغییر روش آبیاری سطحی و نحوه توزیع رطوبت در خاک توسعه ریشه ذرت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در این تحقیق اثر تنش رطوبتی بر کاهش وزن ریشه و اندام هوایی گیاه مشاهده 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 ریشه 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 که حداکثر مقدار خود خواهد رسید که دانسیته حجمی ریشه حداکثر باشد.

نتیجه‌گیری

وقتی فاصله 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 فاصله 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 مواجه شدن با تنش باشد. بیشترین وزن ریشه متناظر با بیشینه سطح برگ است که در مرحله شیری شدن دانه مشاهده 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 ریشه 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 شماره 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.

روند تغییرات وزن خشک کل ریشه مطابق روند مشاهده شده 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 به دلیل نامطلوب شدن شرایط رطوبت ریشه گیاه نسبت به آبیاری کامل رشد و توسعه کمتری دارد. زمانی که تنش شدیدتر می‌شود برای مقابله با تنش در فرایندی تطبیقی رشد و توسعه 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 ($P < 0.05$) در وزن خشک کل و نیز وزن خشک ریشه مقاطع طولی مختلف در همه مراحل رشد شد. وزن خشک ریشه در هر یک از مراحل رشد بین همه سطوح آبیاری به جز وزن کل ریشه در مرحله S_1 ، وزن ریشه در اعماق ۰ تا ۲۰، و بیش از ۶۰ سانتی‌متر در مرحله S_2 و وزن ریشه در عمق ۴۰ تا ۶۰ در مراحل S_3 و S_5 در سال ۱۳۸۸ اختلافی معنادار ($P < 0.05$) داشت (به دلیل محدودیت تعداد صفحات مقاله جدول ارائه نشد). در همه مراحل رشد بیشترین مقدار وزن خشک ریشه در مقاطع طولی بررسی شده در سال ۱۳۸۸ در سطح آبیاری کامل (T_4) و لایه ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری ریشه به دست آمد. در سال ۱۳۸۹ نیز بیشترین مقدار وزن خشک ریشه در مقاطع طولی همواره در سطح آبیاری کامل به دست آمد؛ ولی در دو مرحله دانه‌برگی (S_1) و شیری شدن (S_4) به ترتیب در عمق ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متری و پس از ۶۰ سانتی‌متر و در دو مرحله S_2 و S_3 در لایه ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری خاک رخ داد. بیشترین مقدار وزن خشک کل ریشه در هر دو سال ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ برای همه سطوح آبیاری در مرحله شیری شدن دانه (S_4) به ترتیب برابر با ۳۲/۳ و ۳۶/۶ گرم و در تیمار S_4T_4 به دست آمد (به دلیل 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) 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 ریشه ذرت تحت تأثیر تنش آب در مقایسه با تیمار شاهد را سایر محققان نیز گزارش کرده‌اند. نتایج تحقیقات Gheysari *et al* (2009b) نشان

REFERENCES

- Allen, R. G. Pereira, L. S. Raes, D. and Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. *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., Homae, 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. Homae, 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.