

واکنش ریشه ارزن مرواریدی (*Pennisetum americanum* L.) به تنش خشکی و آبیاری مجدد بعد از دوره تنش

مینا رستم ز^{۱*}، محمدرضا چائی چی^۲ و محمدرضا جهانسوز^۳
۱، ۲، ۳. دانشجوی سابق دکتری و دانشیاران پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
(تاریخ دریافت: ۸۹/۳/۲۶ - تاریخ تصویب: ۹۰/۱۱/۱۹)

چکیده

به منظور ارزیابی تاثیر تنش خشکی بر آغازش و رشد ریشه‌های ثانویه ارزن مرواریدی و همچنین واکنش آنها به آبیاری مجدد بعد از تنش خشکی، دو آزمایش گلخانه‌ای در سال ۸۸-۸۷ در موسسه تحقیقات علمی و صنعتی استرالیا (CSIRO) در شهر کانبرا استرالیا اجرا شد. هر دو آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در گلخانه اجرا گردید. عامل اول در هر دو آزمایش، سطوح مختلف رطوبتی و عامل دوم زمان های برداشت پس از آبیاری مجدد در ۴ سطح (یک روز قبل از آبیاری مجدد، برداشت ۱، ۳ و ۶ روز بعد از آبیاری مجدد) بود. تنش خشکی در آزمایش اول شامل شاهد و ۴۰ درصد رطوبت شاهد (تنش ملایم) و در آزمایش دوم نیز شامل شاهد و ۲۵ درصد رطوبت شاهد (تنش شدید) بود. نتایج نشان داد وزن خشک اندام هوایی ارزن مرواریدی در تنش ملایم و شدید نسبت به شاهد کاهش یافت و در برداشت ۶ روز بعد از آبیاری مجدد، نسبت به شاهد خود به ترتیب ۳۷ و ۵۲/۳ درصد کاهش نشان داد. تعداد، طول کل و وزن خشک ریشه‌های ثانویه در تنش ملایم و شدید نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد. کاهش وزن خشک کل ریشه‌های ثانویه نسبت به شاهد در تنش ملایم و شدید، در برداشت پس از ۶ روز آبیاری مجدد به ترتیب ۳۴ و ۵۶ درصد بود. بنابراین احتمالاً تنش خشکی در هر مقدار خود می تواند آغازش و رشد ریشه‌های ثانویه را محدود کند و افزایش شدت تنش، زمان بهبود و بازگشت را بیشتر به تاخیر بیاندازد.

واژه های کلیدی: ارزن مرواریدی، تنش خشکی، آبیاری مجدد، ریشه‌های ثانویه.

مقدمه

می‌کند. مقدار آب جذب شده توسط ریشه گیاه، نه تنها به خصوصیات فیزیکی خاک بستگی دارد بلکه به ویژگی‌های ریشه نیز مرتبط می‌باشد (Chen et al., 1987; Taylor & Nguyen, 1980). سیستم ریشه گیاه ارزن همانند سورگوم شامل یک ریشه اولیه و چندین ریشه ثانویه می‌باشد (Jordan & Miller, 1980). کاهش در جذب آب و مواد غذایی در ریشه می‌تواند رشد اندام هوایی را تحت تاثیر قرار دهد. اثرات خشکی بر سیستم ریشه گیاهان به وسیله بسیاری از محققان مطالعه شده است (Kono et al., 1987; Molyneux & Davies, 1987).

تنش خشکی یک عامل محدود کننده اولیه در کشاورزی در بسیاری از نقاط جهان محسوب می‌شود. واکنش گیاه به تنش خشکی در اندام‌های مختلف بسته به شدت و مدت تنش و همچنین نوع گیاه و مرحله رشدی آن متفاوت می‌باشد (Chaves et al., 2003). تنش خشکی بسیاری از مراحل متابولیک و فیزیولوژیک گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Levitt, 1980). در این میان، ریشه نقش مهمی در رشد گیاهان به وسیله جذب آب از خاک و فراهم سازی بخشی از مواد غذایی بازی

بعد از کاشت نسبت به شاهد کمتر بود. همچنین در مطالعه دیگری که بر روی سورگوم صورت گرفت، رشد دوباره در ریشه‌های ثانویه بعد از آبیاری مجدد در گیاهان تنش دیده مشاهده شد. درحالیکه هیچ تغییری در خصوصیات ریشه‌های اولیه مشاهده نگردید (Pardales & Kono, 1990). Yang et al. (2006) در آزمایش دیگری بر روی گندم مشاهده کردند که کاهش وزن ریشه تحت شرایط تنش شدید (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) بیشتر از شرایط تنش ملایم (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) بود. نتایج نشان داد که اثرات آبیاری مجدد بعد از اعمال تنش ملایم، بیشتر از تنش شدید و در تنش کوتاه مدت بیشتر از تنش بلند مدت می باشد.

به طور کلی مطالعه بر روی ریشه ارزن مرواریدی بسیار محدود صورت گرفته است. همچنین در تحقیقات انجام شده بر آبیاری مجدد، واکنش اندام هوایی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. هدف از این آزمایش مطالعه تاثیر میزان تنش بر آغازش و رشد ریشه‌های ثانویه ارزن مرواریدی تحت شرایط تنش خشکی و بررسی میزان بهبود رشد گیاه و ریشه‌های ثانویه بعد از آبیاری مجدد می باشد.

مواد و روش‌ها

خصوصیات محل آزمایش

آزمایش های گلخانه‌ای در سال زراعی ۸۷-۸۸ در موسسه^۱ CSIRO در شهر کانبرا در استرالیا اجرا گردید. بدین منظور ارزن مرواریدی رقم نوتریفید در گلخانه و در درجه حرارت روزانه 35 ± 2 و شبانه 20 ± 2 کاشته شد.

طرح آزمایشی و مشخصات تیمارها

آزمایش اول: این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در ۵ تکرار در گلخانه اجرا گردید. عامل اول سطوح مختلف رطوبتی شامل تیمار شاهد و ۴۰ درصد رطوبت شاهد (تنش ملایم) و عامل دوم زمان‌های برداشت پس از آبیاری مجدد در ۴ سطح

همچنین بر کاهش رشد ریشه به عنوان یک نتیجه اولیه از تنش خشکی تاکید شده است (Salim et al., 1965; Tanguiling et al., 1987; Stevenson & Laidlaw, 1985). در یافتند که ریشه اولیه می‌تواند هنگامیکه آغازش و طول شدن ریشه‌های ثانویه به علت خشکی به تاخیر می‌افتد، فعال باقی بماند. اما ریشه اولیه نمی‌تواند مواد غذایی و آب کافی را برای حمایت از رشد بعدی گیاه جذب کند. Blum & Richie (1984) و Jordan & Miller (1980) بیان کردند هنگامیکه ۳۰ سانتی‌متر بالای خاک مرطوب است (حدود ۷۰٪ ظرفیت زراعی)، آغازش رشد ریشه‌های ثانویه و استقرار آنها در حداکثر سرعت خود می‌باشد. اما نمو ریشه‌های ثانویه هنگامی که رطوبت خاک در این عمق کم می‌شود، می‌تواند محدود شده و یا اینکه به تاخیر بیافتد (Cornish et al., 1984). اما هنگامیکه گیاهان تنش دیده آبیاری می‌شوند به سرعت تعداد ریشه‌های ثانویه آنها افزایش می‌یابد (Jordan & Miller, 1980). در مطالعه‌ای که بر روی ارزن مرواریدی صورت گرفت نتایج نشان داد که ۴۱ روز بعد از کاشت، تعداد برگ در شرایط تنش نسبت به شرایط شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت اما وزن ماده خشک اندام هوایی نسبت به شرایط شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد (Galamay et al., 1992). Efeoglu et al. (2008) در مطالعه واکنش سه رقم ذرت به تنش خشکی و بهبود آنها ۶ روز بعد از آبیاری مجدد، دریافتند که رشد گیاهچه‌ها تحت شرایط تنش و شاهد ادامه یافت اما رشد به طور معنی‌داری در گیاهان تنش دیده در طی دوره بازیابی و بهبود بعد از آبیاری مجدد، نسبت به گیاهان شاهد کمتر بود. طی مرحله بهبود و بازیابی بعد از آبیاری مجدد، گیاهچه‌های تنش دیده سرعت رشد خود را دوباره افزایش دادند اما ماده خشک به طور معنی‌داری تحت شرایط تنش و همچنین در شرایط بازیابی و بهبود در مقایسه با تیمار شاهد کمتر بود. Soman & Seetharama (1992) در مطالعه تنش خشکی بر ریشه‌های ثانویه سورگوم و اثر بارندگی بر رشد مجدد آنها، گزارش کردند که در تیمارهای تنش خشکی، وزن ریشه‌های ثانویه در هر گیاهچه در ۱۸ روز

1. Common wealth Scientific and Industrial Research Organization

هوایی و ریشه ثانویه یک روز قبل از آبیاری مجدد و سپس برداشت و اندازه‌گیری رشد اندامهای هوایی و ریشه ثانویه ۱، ۳ و ۶ روز بعد از آبیاری مجدد بود.

آماده سازی گلدان‌ها و عملیات کاشت ارزن مرواریدی

کلیه گیاهان در هر دو آزمایش در ۱۹ آذر ۱۳۸۸ در داخل گلدان‌هایی که لوله‌های PVC با قطر داخلی ۹ و ارتفاع ۵۰ سانتی متر بودند، کاشته شدند. تعداد گلدانها در هر آزمایش ۳۷ عدد بود. بافت خاک شامل ۵۰ درصد شن و ۵۰ درصد ترکیبی از مواد آلی و ترکیبات سبک بود. ابتدا خاک با الک ۳ میلیمتری الک شد. سپس گلدان‌ها با مقدار یکسان از خاک تهیه شده پر گشت. انتهای تمامی گلدان‌ها با پتری پلاستیکی بسته شد و به منظور جلوگیری از نفوذ آب به خارج، تمامی منافذ با چسب ضد آب، عایق گشت. رطوبت در این بافت خاک در شرایطی که هیچ گونه تنشی به گیاه وارد نمی شد، ۱۲/۵۲ درصد وزنی (معادل رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی) بود. به منظور حصول اطمینان از سبز شدن بذرها و همچنین یکنواختی گیاهان، در داخل هرکدام از گلدان‌ها ۲ عدد بذر کاشته شد. کلیه گیاهان در هر دو آزمایش تا قبل از اعمال تیمارهای آبیاری به طور یکسان آبیاری شدند. ۷ روز بعد از کاشت تمامی گلدان‌ها تنک شدند و یک گیاه در هر گلدان نگه داشته شد. پس از تنک کردن گلدان‌ها و هنگامیکه اکثر گیاهان در مرحله سه برگی بودند، رژیم‌های تنش خشکی در هر دو آزمایش با متوقف کردن آبیاری اعمال گردید. به منظور جلوگیری تبخیر از سطح خاک، سطح تمامی گلدان‌ها با پلاستیک پوشانده شد. در هر دو آزمایش، جهت تعیین زمان آبیاری مجدد در تیمارهای تنش، هر یک روز در میان کلیه گلدان‌ها وزن شدند و هنگامیکه رطوبت در گلدانهای تنش رطوبتی به آستانه ۲۵ و ۴۰ درصد تیمار شاهد رسید، گلدانها آبیاری شدند. در تیمارهای شاهد نیز آبیاری به روش وزنی هر یک روز در میان انجام شد تا رطوبت خاک در ۱۲/۵۲ درصد حفظ گردد. در آزمایش اول، گیاهان شاهد و گیاهان تحت تنش ملایم، در تیمار برداشت یک روز قبل از

(یک روز قبل از آبیاری مجدد و ۱، ۳ و ۶ روز بعد از آبیاری مجدد) بود.

آزمایش دوم: این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در ۵ تکرار در گلخانه اجرا گردید. عامل اول سطوح مختلف رطوبتی شامل تیمار شاهد و ۲۵ درصد رطوبت شاهد (تنش شدید) و عامل دوم زمان‌های برداشت پس از آبیاری مجدد در ۴ سطح (یک روز قبل از آبیاری مجدد و ۱، ۳ و ۶ روز بعد از آبیاری مجدد) بود.

تنش خشکی

در هر دو آزمایش اعمال تنش خشکی به روش وزنی صورت گرفت. بدین منظور هنگامیکه کلیه گیاهان در مرحله ۳ برگی کامل بودند، تنش خشکی با قطع آبیاری در تیمارهای تنش آغاز گشت. گیاهان شاهد و تنش دیده در هر دو آزمایش، هر یک روز در میان توزین گردیدند و گیاهان شاهد تا حد ۱۲/۵۲ درصد وزنی (معادل رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی) آبیاری شدند. در آزمایش اول هنگامیکه درصد رطوبت در تیمارهای تنش به ۴۰ درصد رطوبت تیمارهای شاهد رسید، کلیه گلدان‌ها تا حد تیمارهای شاهد به مدت ۶ روز آبیاری شدند. به علت اینکه واکنش ریشه گیاهان تنش دید به آب بسیار سریع است لازم است که در فواصل کوتاهی بعد از آبیاری واکنش آن ثبت گردد. در آزمایش دوم نیز هنگامیکه درصد رطوبت در تیمارهای تنش به ۲۵ درصد رطوبت در تیمارهای شاهد رسید، کلیه گلدان‌ها تا حد تیمارهای شاهد به مدت ۶ روز آبیاری شدند. میزان پتانسیل آب خاک در این تیمار تنش در حد نقطه پژمردگی (۱۵- بار) بود.

آبیاری مجدد

در هر دو آزمایش، به منظور ارزیابی تاثیر تنش خشکی بر برخی از خصوصیات ریشه‌های ثانویه، ۱۰ گلدان در پایان دوره تنش خشکی و قبل از آبیاری مجدد تیمارها، برداشت گردیدند. سپس گیاهان تنش دیده در هر دو آزمایش به مدت ۶ روز متوالی آبیاری شدند. بنابراین تیمارهای آبیاری مجدد در هر دو آزمایش شامل برداشت و اندازه‌گیری رشد اندامهای

اندازه‌گیری، ریشه‌های ثانویه هر گیاه در پاکت‌های جداگانه قرار داده شد و در آون ۷۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲ روز خشک گردید.

محاسبات آماری

محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SAS ver. 6.12 و رسم نمودارها و جداول آماری نیز توسط نرم افزار EXCEL صورت گرفت. به علت نامساوی بودن تکرارها طرح بصورت نامتعادل تجزیه گردید. مقایسه میانگین صفات مورد نظر با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح ۵ و ۱ درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس وزن خشک کل اندام هوایی و کلیه صفات ریشه در آزمایش اول (تنش ملایم) و آزمایش دوم (تنش شدید) در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. اثر تیمار آبیاری و زمان برداشت پس از آبیاری مجدد در کلیه صفات بجز طول ریشه اولیه در هر دو آزمایش معنی‌دار بود. همچنین در هر دو آزمایش (تنش ملایم و شدید) اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و زمان برداشت پس از آبیاری مجدد بجز در صفت طول محورهای اصلی ریشه اولیه و ریشه‌های ثانویه، در تمامی صفات دیگر معنی‌دار بود.

آبیاری مجدد و همچنین تیمارهای برداشت ۱، ۳ و ۶ روز بعد از آبیاری مجدد به ترتیب در ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۶ روز بعد از کاشت برداشت شدند. در آزمایش دوم، گیاهان شاهد و گیاهان تحت تنش شدید، در تیمارهای برداشت یک روز قبل از آبیاری مجدد و ۱، ۳ و ۶ روز بعد از آبیاری مجدد به ترتیب در ۲۴، ۲۵، ۲۷ و ۳۰ روز بعد از کاشت برداشت گردیدند.

نمونه برداری‌ها و صفات مورد مطالعه

پس از قطع گیاهان از سطح خاک، هر گیاه جداگانه در پاکت‌هایی گذاشته شد و در آون ۷۵ درجه سانتیگراد به مدت دو روز خشک گردید. در هر دو آزمایش، پس از قطع اندام هوایی، ریشه‌ها کاملاً با آب شسته شده و در اتانول ۵۰ درصد جهت ارزیابی خصوصیات ریشه، نگهداری شدند. سپس ریشه‌ها در یک تشت بزرگ کاملاً پخش گشته به نحوی که ریشه اولیه از ریشه‌های ثانویه قابل تفکیک باشد. ابتدا ریشه اولیه از ریشه‌های ثانویه جدا گشت، سپس تعداد کل ریشه‌های ثانویه شمرده شد و طول محور اصلی آنها جداگانه با خط کش اندازه‌گیری گردید. سرانجام طول کل ریشه‌های ثانویه توسط نرم افزار WinRhizo با کمک دستگاه اسکنر (Epson 1680 modified flatbed scanner, Regent) اندازه‌گیری شد. بعد از

جدول ۱ - نتایج تجزیه واریانس صفات مختلف ارزن مرواریدی علوفه‌ای در آزمایش اول (تنش ملایم)

میانگین مربعات							
منابع تغییرات	درجه آزادی	طول محور اصلی ریشه اولیه	وزن خشک کل اندام هوایی	تعداد ریشه ثانویه	طول محورهای اصلی ریشه‌های ثانویه	طول کل ریشه‌های ثانویه	وزن خشک کل ریشه‌های ثانویه
تنش خشکی	۱	۱۷۰/۲۲ *	۳۴/۰۸ **	۴/۸۵ **	۶۰۳۹۷۶/۳۲ **	۱۰۷۹۵۵۲۷۵۰/۶۹ **	۱/۰۳ **
زمان آبیاری مجدد	۳	۱۵۹/۲۸ n.s	۳۳/۲۶ **	۵۲۰/۶۷ **	۳۶۵۶۳۲/۶۱ **	۲۸۰۳۳۸۲۶۲/۴۵ **	۲ **
زمان آبیاری مجدد × تنش خشکی	۳	۲۵/۵ n.s	۱/۰۳ **	۳۹/۵۸ **	۳۵۲۴ n.s	۶۷۲۷۳۰۸۵/۰۸ **	۰/۱ **
خطا	۲۹	۳۵/۳۱	۰/۱۴	۵/۸۳	۱۸۰۴/۹۵	۷۱۵۷۳۵۲/۰۳	۰/۰۱
کل	۳۶						

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و n.s: عدم اختلاف معنی‌دار

وزن خشک اندام هوایی

در تنش ملایم و شدید بین وزن خشک اندام هوایی در روز قبل از آبیاری مجدد و برداشت ۱ روز پس از

آبیاری مجدد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. اما در برداشت ۳ روز پس از آبیاری مجدد در تنش ملایم افزایش معنی‌داری در ماده خشک کل مشاهده شد.

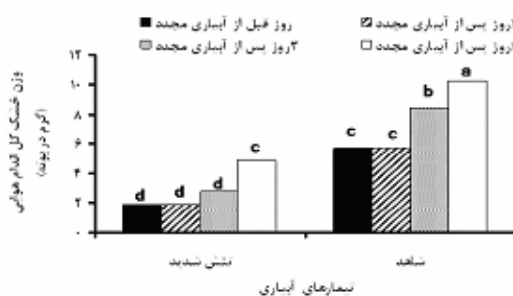
(2008) در مطالعه واکنش سه رقم ذرت به تنش خشکی و بهبود آنها بعد از آبیاری مجدد، دریافتند که در تیمار تنش خشکی، وزن ماده خشک به طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین در شرایط بازیابی و بهبود بعد از آبیاری مجدد وزن ماده خشک گیاهان تنش دیده در مقایسه با تیمار شاهد کمتر بود. در مطالعه دیگری که بر روی ارزن مرواریدی صورت گرفت نیز نشان داده شد که ۴۱ روز بعد از کاشت، وزن ماده خشک اندام هوایی گیاهان تنش دیده نسبت به شرایط شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد (Galamay et al., 1992). نتایج این محققان با نتایج حاصل از این آزمایش مطابقت دارد.

در حالیکه افزایش ماده خشک در تنش شدید حتی در برداشت ۳ روز پس از آبیاری مجدد نسبت به اولین روز معنی‌دار نبود. بیشترین ماده خشک اندام هوایی نیز در برداشت ۶ روز پس از آبیاری مجدد در هر دو آزمایش بدست آمد که در تنش ملایم و شدید به ترتیب ۳۷ و ۵۲/۳ درصد نسبت به شاهد خود در همان روز کمتر بود (شکل‌های ۱ و ۲). نتایج نشان می‌دهد که درصد کاهش در ماده خشک اندام هوایی در تنش شدید نسبت به شاهد خود، بیشتر از تنش ملایم بود. زیرا درجه محدودیت گیاه در تنش ملایم نسبت به تنش شدید و همچنین محدودیت فتوسنتز اندام هوایی در تنش ملایم کمتر می‌باشد (Yang et al., 2006). (Efeoglu et al.

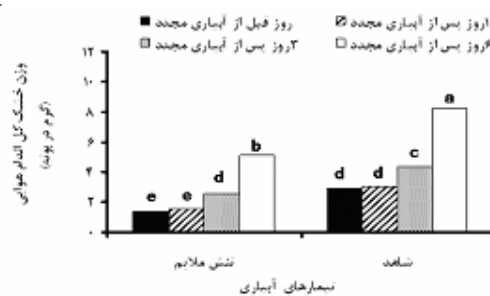
جدول ۲ - نتایج تجزیه واریانس صفات مختلف ارزن مرواریدی علوفه‌ای در آزمایش دوم (تنش شدید)

میانگین مربعات						
منابع تغییرات	درجه آزادی	طول محور اصلی ریشه اولیه	وزن خشک کل اندام هوایی	تعداد ریشه ثانویه	طول محورهای اصلی ریشه‌های ثانویه	طول کل ریشه‌های ثانویه
تنش خشکی	۱	۶/۴۱ n.s	۱۹۷/۴۴**	۱۶۹۴/۱۷**	۲۴۰۲۵۵۵/۶۲**	۷۵۶۱۶۹۲/۴۷**
زمان آبیاری مجدد	۳	۰/۶۱ n.s	۳۰/۶۰**	۵۸۲/۳۷**	۲۷۴۰۱۸/۲۲**	۱۵۰۰۰۷۶۲۴۸/۸۶**
زمان آبیاری مجدد × تنش خشکی	۳	۱۰۱/۲ n.s	۲/۳۲**	۹۲/۵۸**	۱۳۵۸۴/۶۳ n.s	۱۲۴۱۷۴۹۷۳/۲۵**
خطا	۲۹	۱۵/۳۲	۰/۵۰	۱۱/۵۳	۶۵۰۷/۸۲	۷۵۶۱۶۹۲/۴۷
کل	۳۶					

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و n.s: عدم اختلاف معنی‌دار



شکل ۲- اثر متقابل تنش خشکی و آبیاری مجدد بر وزن خشک کل اندام هوایی در ارزن مرواریدی در آزمایش دوم (تنش شدید)



شکل ۱- اثر متقابل تنش خشکی و آبیاری مجدد بر وزن خشک کل اندام هوایی در ارزن مرواریدی در آزمایش اول (تنش ملایم)

تنش ملایم معنی‌دار بود (جدول ۱). اما در تنش شدید اثر تیمارهای آبیاری و همچنین اثر برداشت پس از آبیاری مجدد معنی‌دار نبود (جدول ۲). در آزمایش اول

اثر تنش خشکی و آبیاری مجدد بر خصوصیات ریشه طول ریشه اولیه اثر تیمارهای آبیاری بر طول ریشه اولیه تنها در

و شدید تحریک شد. Pardales & Kono (1990) در سورگوم نتایج دیگری را بدست آوردند. آنها مشاهده کردند که ۲۱ روز پس از متوقف کردن آبیاری، تعداد ریشه‌های ثانویه بین گیاهان تنش دیده و شاهد مشابه بود که با نتایج این آزمایش مطابقت نداشت. احتمالاً شدت تنش اعمال شده می‌تواند بر تعداد ریشه‌های ثانویه تاثیر بگذارد.

طول محور اصلی ریشه‌های ثانویه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنها اثرات تیمار آبیاری و زمان برداشت پس از آبیاری مجدد در هر دو آزمایش بر طول محور اصلی ریشه‌های ثانویه معنی‌دار بود. اما اثرات متقابل معنی‌دار نگردید (جدول ۱ و ۲). بیشترین طول محور اصلی ریشه‌های ثانویه در هر دو آزمایش (تنش ملایم و شدید) در گیاهان شاهد مشاهده شد (جدول ۳). در گیاهانی که ۱ روز پس از آبیاری مجدد برداشت شدند، طول محور اصلی ریشه‌های ثانویه در تنش ملایم و شدید نسبت به برداشت یک روز قبل از آبیاری مجدد افزایش معنی‌داری نشان نداد (جدول ۴). در حالیکه در برداشت ۳ روز پس از آبیاری مجدد نسبت به روزهای قبل از آن، افزایش معنی‌داری در طول محور اصلی ریشه‌های ثانویه مشاهده شد. حداکثر طول محور اصلی ریشه‌های ثانویه در برداشت ۶ روز پس از آبیاری مجدد در هر دو آزمایش مشاهده گردید. Pardales & Kono (1990) در تحقیقات خود دریافتند که سرعت افزایش طول ریشه‌های ثانویه به طور آشکاری توسط تنش خشکی محدود می‌شود.

طول کل ریشه‌های ثانویه

اثر متقابل تنش خشکی و زمان‌های برداشت پس از آبیاری مجدد بر طول کل ریشه‌های ثانویه در تنش ملایم و شدید معنی‌دار بود (جدول ۱ و ۲). واکنش افزایش در طول ریشه‌های ثانویه به آبیاری مجدد، در گیاهانی که تنش ملایم را تحمل کرده بودند، نسبت به تنش شدید متفاوت بود. در تنش ملایم، آبیاری مجدد در روزهای اولیه تاثیری بر افزایش طول ریشه‌های ثانویه نگذاشت و افزایش در طول، تنها در برداشت ۶ روز پس از آبیاری مجدد به طور معنی‌داری مشاهده شد. طول کل ریشه‌های ثانویه در شش روز پس از آبیاری مجدد

(تنش ملایم) طول محور اصلی ریشه اولیه در گیاهانی که تحت تنش ملایم بودند، کاهش یافت (جدول ۳). Pardales & Kono (1990) نیز بیان کردند که طول محور اصلی ریشه اولیه سورگوم تحت تاثیر تنش یا بعد از آبیاری مجدد تفاوت معنی‌داری نداشت. بنابراین احتمالاً بهبود رشد باید از طریق ریشه‌های ثانویه اتفاق افتاده باشد.

تعداد ریشه‌های ثانویه

اثر متقابل تنش خشکی و زمان‌های برداشت پس از آبیاری مجدد بر تعداد ریشه‌های ثانویه در تنش ملایم و شدید معنی‌دار بود (جدول ۱ و ۲). آبیاری مجدد تعداد ریشه‌های ثانویه را در گیاهان تنش دیده به شدت افزایش داد. همانطوری که در شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود در تنش ملایم و شدید، تعداد ریشه‌های ثانویه در برداشت ۱ روز پس از آبیاری نسبت به روز قبل از آبیاری مجدد به ترتیب ۴۵/۳ و ۵۷/۳ درصد افزایش نشان داد. در هر دو آزمایش بین برداشت در ۱ و ۳ روز پس از آبیاری مجدد در گیاهان تنش دیده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. اما در برداشت ۶ روز پس از آبیاری مجدد در تنش ملایم، تعداد ریشه‌های ثانویه به حدی افزایش یافت که با تیمار شاهد خود در همان روز از لحاظ آماری برابری می‌کرد. اما در گیاهانی که تنش شدید دیده بودند، تعداد ریشه‌های ثانویه در برداشت ۶ روز پس از آبیاری مجدد، ۳۰ درصد کمتر از تیمار شاهد خود در همان روز بود. بنابراین افزایش رطوبت خاک بعد از آبیاری مجدد، آغازش ریشه‌های ثانویه را تحت تاثیر قرار داد (Blum and Richie, 1984). Cornish et al. (1984) نیز بیان کردند که نمو ریشه‌های ثانویه، هنگامیکه رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه کم است می‌تواند محدود شود و یا اینکه به تاخیر بیافتد. در این آزمایش نیز تعداد ریشه‌های ثانویه گیاهان تنش دیده کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد خود نشان داد اما بعد از بر طرف شدن تنش و فراهم شدن رطوبت، آغازش ریشه‌های ثانویه به شدت در تیمارهای تنش ملایم

رشد ریشه‌های ثانویه و مقدار کل ریشه ارزن مرواریدی در تنش خشکی کاهش می‌یابد. Pardales & Kono (1990) در مطالعه بر روی سورگوم مشاهده کردند که طول ریشه‌های ثانویه در گیاهان تحت تنش، طی رشد افزایش یافت. اما شیب افزایش در گیاهان تنش دیده کمتر بود. آنها همچنین دریافتند که طول ریشه در گیاهان تنش دیده ۲۱ روز بعد از تنش، به طور معنی‌داری کمتر از گیاهان شاهد بود. Pardales & Kono (1990) در آبیاری مجدد گیاهان تنش دیده، رشد دوباره را در ریشه‌های ثانویه مشاهده کردند. درحالی‌که هیچ تغییری را در خصوصیات ریشه‌های اولیه نیافتند. نتایج گزارش شده توسط محققان فوق با نتایج بدست آمده در این آزمایش مطابقت دارد.

در تنش ملایم، ۳۰ درصد گیاهان شاهد در همان روز بود (شکل ۵). در تنش شدید در برداشت ۱ روز پس از آبیاری مجدد، افزایش معنی‌داری در طول ریشه‌های ثانویه مشاهده نشد. اما در برداشت ۳ روز پس از آبیاری مجدد، طول ریشه‌های ثانویه به طور معنی‌داری افزایش یافت. طول ریشه‌های ثانویه گیاهانی که تنش شدید را تحمل کرده بودند، در روز ششم پس از آبیاری مجدد ۵۸ درصد از شاهد خود در همان روز کمتر بود (شکل ۶). بنابراین کاهش در رشد ریشه به عنوان یک نتیجه اولیه از تنش خشکی کاملاً واضح می‌باشد (Salim et al., 1965; Tanguiling et al., 1987; Stevenson & Laidlaw, 1985). Brady et al. (1995) کاهش در رشد ریشه‌های ثانویه را در خاک خشک گزارش کردند. همچنین Galamay et al. (1992) نیز اظهار داشتند که

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین طول محورهای اصلی ریشه‌های ثانویه ارزن مرواریدی علوفه‌ای در آزمایش اول (تنش ملایم) و آزمایش دوم (تنش شدید)

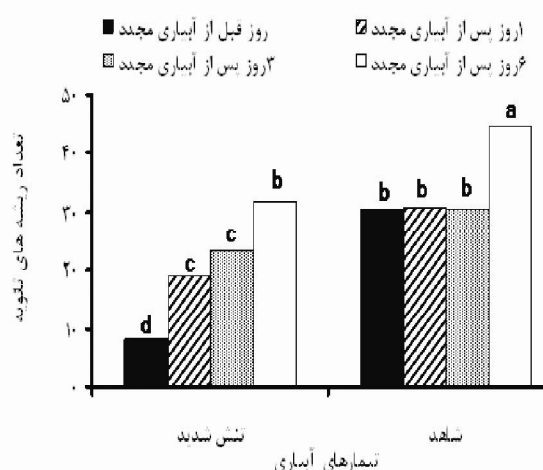
تنش ملایم (۴۰ درصد رطوبت شاهد)	تنش شدید (۲۵ درصد رطوبت شاهد)	طول محور اصلی ریشه اولیه (سانتی متر)	طول محورهای اصلی ریشه‌های ثانویه (سانتی متر)	طول محورهای اصلی ریشه‌های ثانویه (سانتی متر)	تیمارهای تنش خشکی
۶۴/۸۸ a	۸۰۳/۶۰ a	۶۴/۸۸ a	۱۰۲۶/۷۳ a	۵۲۳/۴۵ b	شاهد
۶۰/۳۵ b	۵۲۲/۶۶ b	۶۰/۳۵ b			تنش ملایم

میانگین‌ها در هر ستون که دارای حرف مشابه هستند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

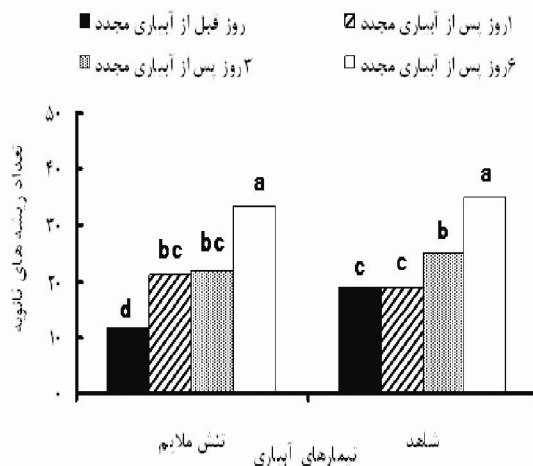
جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین طول محورهای اصلی ریشه‌های ثانویه ارزن مرواریدی علوفه‌ای در آزمایش اول (تنش ملایم) و آزمایش دوم (تنش شدید) تحت تاثیر تیمارهای آبیاری مجدد

تنش ملایم (۴۰ درصد رطوبت شاهد)	تنش شدید (۲۵ درصد رطوبت شاهد)	طول محورهای اصلی ریشه‌های ثانویه (سانتی متر)	طول محورهای اصلی ریشه‌های ثانویه (سانتی متر)	زمان‌های برداشت پس از آبیاری مجدد
۵۳۳/۱۶ c	۶۶۶/۸۸ c	۵۳۳/۱۶ c	۶۶۶/۸۸ c	روز قبل از آبیاری مجدد
۵۶۷/۱۸ c	۶۵۸/۲۴ c	۵۶۷/۱۸ c	۶۵۸/۲۴ c	۱ روز بعد از آبیاری مجدد
۶۴۷/۶۹ b	۷۶۶/۹۱ b	۶۴۷/۶۹ b	۷۶۶/۹۱ b	۳ روز بعد از آبیاری مجدد
۱۰۲۷/۹۹ a	۱۰۰۴/۴۶ a	۱۰۲۷/۹۹ a	۱۰۰۴/۴۶ a	۶ روز بعد از آبیاری مجدد

میانگین‌ها در هر ستون و برای تیمارهایی که دارای حرف مشابه هستند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌دار ندارند



شکل ۴- اثر متقابل تنش خشکی و آبیاری مجدد بر تعداد ریشه‌های ثانویه در ارزن مرواریدی در آزمایش دوم (تنش شدید)



شکل ۳- اثر متقابل تنش خشکی و آبیاری مجدد بر تعداد ریشه‌های ثانویه در ارزن مرواریدی در آزمایش دوم (تنش ملایم)

آنها، گزارش کردند که تیمارهای تنش خشکی، وزن ریشه‌های ثانویه در هر گیاهچه را تا ۱۴ روز بعد از کاشت، تحت تاثیر قرار نداد. اما در ۱۸ روز بعد از کاشت طول و وزن ریشه‌های ثانویه به طور معنی‌داری در تیمار شاهد بیشتر بود. Yang et al. (2006) در مطالعه‌ای بر روی گندم مشاهده کردند اثر محدودکنندگی تنش شدید بر وزن خشک ریشه بیشتر از تنش ملایم بود. به طور کلی محدود شدن رشد ریشه‌های ثانویه در خاک خشک و در نتیجه کاهش وزن آنها توسط محققان مختلفی گزارش شده است (Shone & Fliid, 1983; Sharp & Davies, 1985) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

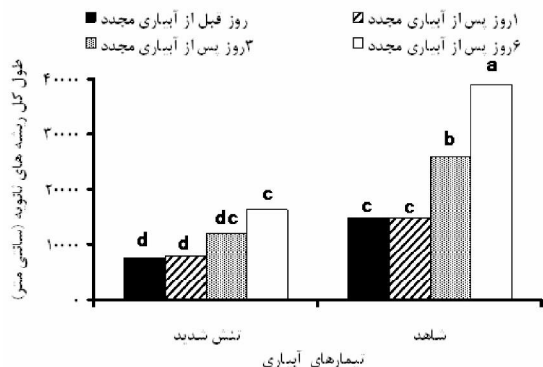
به طور کلی در این آزمایش تنش خشکی یا هر شدت، رشد اندام هوایی، تعداد، طول و وزن خشک ریشه‌های ثانویه را کاهش داد. با اعمال آبیاری مجدد در کلیه صفات ریشه و همچنین وزن خشک اندام هوایی، بهبود مشاهده شد. اما همیشه مقادیر بدست آمده در ششمین روز بعد از آبیاری مجدد، کمتر از شاهد بود. بهبود رشد و توسعه بعد از آبیاری مجدد عمدتاً در ریشه‌های ثانویه مشاهده شد. همچنین آغازش و رشد ریشه‌های ثانویه در تنش ملایم کمتر از تنش شدید،

وزن خشک کل ریشه‌های ثانویه

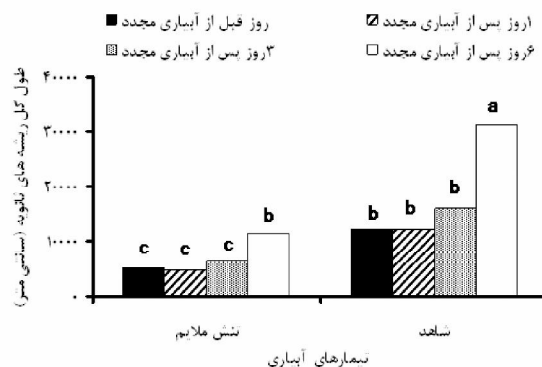
اثر متقابل تنش خشکی و زمان‌های برداشت پس از آبیاری مجدد بر وزن کل ریشه‌های ثانویه در تنش ملایم و شدید معنی‌دار بود (جدول ۲ و ۳). وزن کل ریشه‌های ثانویه در تنش ملایم در برداشت ۱ روز پس از آبیاری مجدد افزایش یافت، اما این افزایش معنی‌دار نبود (شکل ۷). در برداشت ۳ روز پس از آبیاری مجدد، افزایش معنی‌داری در وزن کل ریشه‌های ثانویه در تنش ملایم نسبت به روز قبل از آبیاری مجدد مشاهده شد. حداکثر وزن خشک ریشه‌های ثانویه در تنش ملایم در ششمین روز پس از آبیاری مجدد حاصل شد که در این شرایط از تیمار شاهد خود در همان روز بسیار کمتر بود (شکل ۷). در گیاهانی که تنش شدیدتری را تحمل کرده بودند (۲۵٪ رطوبت شاهد) تا سه روز پس از آبیاری مجدد، افزایش معنی‌داری در وزن خشک کل ریشه‌های ثانویه مشاهده نگردید. تنها در روز ششم پس از آبیاری مجدد، وزن خشک ریشه‌های ثانویه گیاهانی که تنش شدید دیده بودند، افزایش معنی‌داری پیدا کرد که در این شرایط وزن خشک ریشه‌های ثانویه ۵۰ درصد نسبت به گیاهان شاهد خود کمتر بود (شکل ۸). Soman & Seetharama (1992) در مطالعه تنش خشکی بر ریشه‌های ثانویه سورگوم و اثر بارندگی بر رشد مجدد

است که افزایش شدت تنش احیاء و رشد مجدد ریشه‌های ثانویه را بیشتر به تاخیر می‌اندازد.

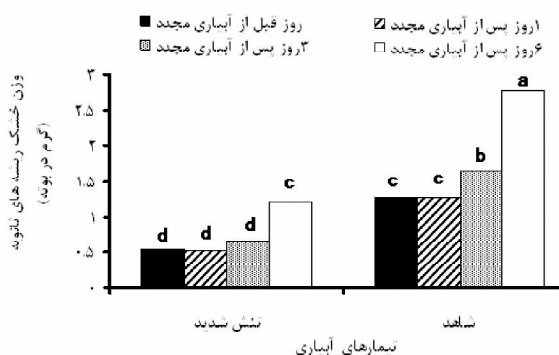
تحت تاثیر قرار گرفت. اما نتایج نشان داد که تنش در هر شدتی می‌تواند تجمع ماده خشک و همچنین رشد و آغازش ریشه‌های ثانویه را محدود کند. این در حالی



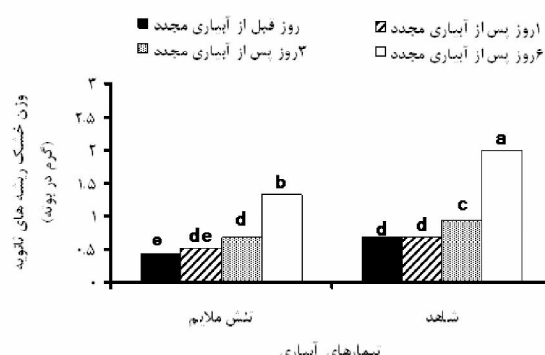
شکل ۴- اثر متقابل تنش خشکی و آبیاری مجدد بر طول کل ریشه های ثانویه در ارزن مرواریدی در آزمایش اول (تنش شدید)



شکل ۵- اثر متقابل تنش خشکی و آبیاری مجدد بر طول کل ریشه های ثانویه در ارزن مرواریدی در آزمایش اول (تنش ملایم)



شکل ۶- اثر متقابل تنش خشکی و آبیاری مجدد بر وزن خشک ریشه های ثانویه در ارزن مرواریدی در آزمایش دوم (تنش شدید)



شکل ۷- اثر متقابل تنش خشکی و آبیاری مجدد بر وزن خشک ریشه های ثانویه در ارزن مرواریدی در آزمایش دوم (تنش ملایم)

REFERENCES

- Blum, A. & Ritchie, J. F. (1984). Effect of soil surface water content on sorghum root distribution in the soil. *Field Crop Research*, 8,169-176.
- Brady, D. J., Wenzel, C. L., Fillery, I. R. P. & Gregory, P. J. (1995). Root growth and nitrate uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) following wetting of dry surface soil. *Journal of Experimental Botany*, 46(5), 557-564.
- Bur, R., Morad, P. & Berduncan, J. (1977). Importance of seminal and adventitious roots for growth and cation nutrition in grain sorghum (*Sorghum doctina*). *Plant and Soil*, 47,1-12
- Chaves, M. M., Maroco, J. P. & Pereira, J. S. (2003). Understanding plant responses to drought-from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30,239-264.
- Chen. P. Y., Zhan, G. Y. & Xie, b. T. (1980). The response of the root of winter wheat. *Shanxi Agricultural Science*, 6-16.
- Cornishe, P. S., McWilliam, J. R. & So, H. B. (1984). Root morphology, water uptake, growth and survival of seedling of ryegrass and Phalaris. *Australian Journal of Agricultural Research*, 35,479-492.

7. Efeoğlu, B., Ekmekçi, Y. & Çiçek, N. (2008). Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. *South African Journal of Botany*, 75(1), 34-42.
8. Galamay, T. O., Yamauchi, A. & Nonoyama, T. (1992). Acropetal lignification in protective tissue of cereal nodal root axes as affected by different soil moisture conditions. *Japanese Journal of Crop Science*, 61(3), 511-517.
9. Jordan, W. R., & Miller, F.R. (1980) *Genetic variability in sorghum root systems: implications for drought tolerance*. In NC Turner, Kramer, P.J. eds, *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*. Wesley, NY, 383-399.
10. Kono, Y., Tomida, K., Tatsumi, J., Nonoyama, T., Yamauchi, A. & Kitano, J. (1987). Effects of soil moisture conditions on the development of root system of soybean plants (*Glycine max* Merr.). *Japanese Journal of Crop Science*, 56(4), 597-607.
11. Levitt, J. (1980). Responses of plant to environmental stresses: *Water, Radiation, Salt and Other stresses* (Vol. 2). (pp. 25-280). Academic press. New York.
12. Molyneux, D. E. & Davies, W. J. (1983). Rooting pattern and water relations of three pasture grasses growing in dry soil. *Oecologia*, 58(2), 220-224.
13. Pardales, J. R., & Kono, Y. (1990). Development of sorghum root system under increasing drought stress. *Japanese Journal of Crop Science*, 59(4), 752-761.
14. Salim, M. H., Todd, G. W. & Schlehuber, M. (1965). Root development of wheat, oat and barley under conditions of soil moisture stress. *Agronomy Journal*, 57, 603-607
15. Sharp, R. E., & Davies, W. J. (1985). Root growth and water uptake in drying soil. *Journal of Experimental Botany*, 36(9), 1441-1456.
16. Shone, M. G. T. & Flood, A. N. N. V. (1983). Effects of periods of localized water stress on subsequent nutrient uptake by barley roots and their adaptation by osmotic adjustment. *New Phytologist*, 94, 561-572.
17. Stevenson, C. A., & A. S. Laidlaw. 1985. The effect of moisture stress on stolon and adventitious root development in white clover (*Trifolium repens* L.). *Plant and Soil*. 85(2), 249-257.
18. Tanguiling, V. C., Yambao, E. B., O'Toole, J. C. & DeDatta, S. K. (1987). Water stress on leaf elongation, leaf water potential, transpiration and nutrient uptake of rice, maize and soybean. *Plant and Soil*, 103(2), 155-168.
19. Taylor. H. M & Nguyen. H. T. (1987). Opportunities for maintaining root systems to reduce drought stress in Wheat. In: Srivastava., J. P, et al., eds, *Drought Tolerance in wheat Cereals*. 285-298.
20. Yang, G., Yuan-pei, L.U., Bao-guo, L. I. & Xiao-ying, L. I. U. (2006). The response of winter wheat root to the period and the after-effect of soil water stress. *Agricultural science*, 5(4):284-290