مطالعه روابط بین عملکرد و اجزای عملکرد هیبرید ایروفلور آفتابگردان در شرایط تنش خشکی

ابراهیم عباسی سیه‌جانی[1]، فرهاد فرح‌وش[2]، حمداله کاظمی اربط[2] و محمد باقر خورشیدی بنام[3]

چکیده

به منظور ارزیابی سطوح مختلف تنش خشکی طی مرحله زایشی بر خصوصیات مورفولوژیک و زراعی هیبرید روغنی ایروفلور آفتابگردان، آزمایشی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز اجرا شد. تیمار دور آبیاری در پنج سطح (50، 100، 150، 200 و 250 میلی‌متر از تشتک تبخیر کلاس A) اعمال شد. نتایج نشان داد که عملکرد دانه در 100، 150، 200 و 250 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر نسبت به تیمار شاهد (آبیاری پس از 50 میلی‌متر) به ترتیب 25٪، 29٪، 42٪ و 51٪ کاهش نشان داد. همچنین نتایج نشان داد که درصد کاهش عملکرد روغن درسطوح 100، 150، 200 و 250 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر نسبت به آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر (شاهد) به ترتیب 30٪، 36٪، 54٪ و 62٪ بود. افزایش شدت تنش آب باعث کاهش معنی دار قطر طبق، وزن صد دانه، وزن مغز دانه، تعداد دانه پر در طبق، بیوماس کل، شاخص میزان کلروفیل، شاخص سطح برگ، محتوای رطوبت نسبی و درصد روغن و افزایش درصد پوکی دانه و مقاومت روزنه‌ای گردید. با توجه به نتایج این تحقیق، رقم ایروفلور بسیار حساس به تنش خشکی بوده و هر گونه تاخیر در آبیاری منجر به کاهش عملکرد از طریق کاهش وزن صد دانه و تعداد دانه پر (مهم‌ترین اجزای عملکرد دانه در آفتابگردان) می گردد.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، تنش خشکی، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، عملکرد روغن.

تاریخ دریافت: 91/3/21 تاریخ پذیرش: 91/11/15

1- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، گروه زراعت و اصلاح نباتات، تبریز، ایران

2- به‌ترتیب استادیار و استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

3- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی

مقدمه

آب یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده کشاورزی در دوره گرم و خشک تابستان می‌باشد (Erdem *et al.*, 2006) و کمبود آب مهم‌ترین موضوع در بسیاری از نقاط جهان به ویژه نواحی خشک و نیمه خشک دنیا محسوب می‌شود (Sepaskhah and Akbari, 2005).

افزایش کارایی استفاده از آب می‌تواند با استراتژی‌های بسیاری حاصل شود که یکی از این راه کارها تغییر توان گیاه زراعی برای تولید عملکرد قابل قبول تحت شرایط کم آبیاری و آبیاری محدود است (Zwart and Bastiaanssen, 2004). ایران از کشورهایی است که به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی، در اکثر نقاط آن تنش‌های مهم غیر زنده مانند خشکی، شوری و دما موجب کاهش عملکرد و در مواردی نیز موجب عدم موفقیت در کشاورزی گردیده است، لذا ضرورت دارد علاوه بر افزایش سطح زیر کشت دانه‌های روغنی، به منظور دستیابی به حداکثر محصول و یافتن بهترین شرایط محیطی و مناسب‌ترین رقم برای هر منطقه، طرح‌های پژوهشی روی دانه‌های روغنی در کشورمان انجام گیرد (Kafi and Mahdavi-Damghani, 2000).

به طور کلی، اعمال روش‌های زراعی و یا بروز تغییرات در عوامل محیطی که سبب کاهش دوره رشد و کوتاهی مرحله پر شدن دانه‌ها شوند، عملکرد دانه و روغن را در واحد سطح کاهش خواهند داد. با این حال، تنش رطوبتی طی دوره‌ی اولیه رشد، دوره رشد اصلی و مرحله پر شدن دانه‌ها، عملکرد دانه و روغن را به نحو قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد (Alyari *et al.*, 2000). آلوارز و همکاران (Alvarez *et al.*, 1992) همبستگی مثبتی بین عملکرد دانه با عملکرد روغن به دست آوردند، ولی هیچ‌گونه رابطه خطی بین عملکرد دانه و درصد روغن پیدا نکردند. بالاترین درصد روغن دانه در آزمایش کریم‌زاده و همکاران (Karimzadeh *et al.*, 2003) در دور آبیاری هفت روز یک‌بار و کمترین آن از دور آبیاری 19 روز یکبار بدست آمد. در مطالعه مجید و اشنایدر (Majid and Schneiter, 1987) عملکرد روغن ارقام، از عملکرد دانه بیش از درصد روغن دانه تاثیر پذیرفت. هم‌چنین درصد روغن بالاتر در ارقام مورد مطالعه، با وزن دانه بیشتر و درصد پوسته کمتر همراه بود. راضی و آساد (Razi and Asaad, 1998) ضمن مقایسه معیارهای انتخاب در شرایط آبیاری مطلوب (آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر) و آبیاری محدود (آبیاری پس از 125 میلی‌متر تبخیر) در آفتابگردان اظهار داشتند که تنش رطوبتی موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و اجزای آن گردید. عباسی سیه‌جانی و همکاران (Abbasi-Seyahjani *et al.*, 2009) در مقایسه قابلیت تولید ارقام آفتابگردان در شرایط تنش آبی نشان دادند که اعمال تنش کم آبیاری باعث کاهش وزن مغز، وزن صد دانه، عملکرد دانه، درصد و عملکرد روغن آفتابگردان گردید.

فرح‌وش و همکاران (Farahvash *et al.*, 2011) طی آزمایشی دریافتند که تنش کم آبی عملکرد دانه را کاهش داد و تیمار آبیاری بعد از 50 میلی‌متر تبخیر، بالاترین عملکرد دانه (4865 کیلو گرم در هکتار) را تولید نمود و کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار آبیاری پس از 250 میلی‌متر تبخیر (2122 کیلو گرم در هکتار) بود. این محققین هم‌چنین اعلام نمودند که تنش کم آبی باعث کاهش قطر طبق، وزن صد دانه، بیوماس و تعداد دانه در طبق آفتابگردان شده است. رشدی و همکاران (Roshdi *et al.*, 2006) در آزمایشی اثر تنش کم آبی را بر صفاتی مانند قطر طبق، تعداد دانه در طبق، وزن صد دانه، عملکرد دانه و روغن آفتابگردان ارزیابی کردند. نامبردگان اظهار داشتند که تنش اثر معنی‌داری بر صفات مذکور داشته و سبب کاهش آن‌ها شده است. در آزمایش فریرز و همکاران (Fereres *et al.*, 1986) معلوم شد که کمبود آب از طریق کاهش تعداد دانه در طبق، کاهش فتوسنتز و افزایش درصد پوکی دانه‌ها سبب افت عملکرد دانه گردید. رشدی (Roshdi, 2005) پوکی دانه را حساس‌ترین صفت نسبت به کم آبی دانسته و افزایش درصد پوکی دانه‌ها را در اثر اعمال تنش کم آبی گزارش کرده است. اونگر (Unger, 1992) بیان داشت که تنش کم آبی باعث گلدهی زود هنگام، کاهش طول دوره گلدهی و سرعت یافتن در رسیدن بوته‌های آفتابگردان شد. بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک مرتبط با رشد و فتوسنتز، انتقال مواد فتوسنتزی، تقسیم و توسعه سلولی تحت تاثیر کاهش آب قرار گرفته و از طرفی اصولاً تنش آبی فتوسنتز را سریع‌تر و با شدت بیشتری نسبت به تنفس کاهش می‌دهد. به همین دلیل تنش خشکی باعث کاهش تجمع ماده خشک گیاهی می‌گردد (Farrokhinia *et al.*, 2009). در اثر کمبود آب حجم سلول، تقسیم سلولی، دیواره‌سازی سلول، اندازه کلی

گیاه، وزن تر و خشک گیاه کاهش می‌یابد (Earl and Davis, 2003). نتایج آزمایش فلنت و همکاران (Flenet *et al.*, 1996) بیانگر کاهش میزان شاخص سطح برگ بر اثر اعمال تنش به علت کاهش سرعت تولید برگ‌های جدید و تسریع در پیری برگ‌ها می‌باشد. مردای اقدم (Moradi –Aghdam, 2007) گزارش کرد که با افزایش تنش آبی، سطح برگ کاهش می‌یابد. کافی و همکاران (Kafi *et al.*, 2008) در آزمایشی مشاهده کردند که تنش خشکی، مقاومت روزنه‌ای برگ در ژنوتیپ‌های نخود مقاوم و حساس به خشکی را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد، اما در هر دو تیمار مقاومت روزنه‌ای در ژنوتیپ‌های مقاوم بیش از ژنوتیپ‌های حساس بود.

از آن‌جایی که در طول بیست سال گذشته زراعت آفتابگردان به دلیل تحمل آن به تنش‌های رطوبتی به اراضی دارای آبیاری محدود و دیم تمایل یافته است، شناسایی ارقام پر محصول و پر روغن متحمل به تنش‌های رطوبتی سبب افزایش تولید آن در این گونه اراضی خواهد شد. لذا این تحقیق با هدف ارزیابی عکس‌العمل هیبرید ایروفلور آفتابگردان (یکی از مهم‌ترین ارقام کاشته شده در ایران) نسبت به تنش خشکی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز واقع در اراضی کرکج، در 15 کیلومتری شرق تبریز اجرا گردید. میانگین دراز مدت بارش سالیانه حدود 271/3 میلی‌متر و دمای سالیانه آن 10 درجه سلسیوس می‌باشد. با استفاده از مثلث بافت خاک، خاک منطقه بافت لومی شنی تشخیص داده شد و pH خاک 7/93 بود.

آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. پنج زمان آبیاری شامل: 50 (شاهد)، 100، 150، 200 و 250 میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A به عنوان تیمارهای آزمایش در نظر گرفته شدند. هر کرت آزمایشی از چهار ردیف به طول چهار متر تشکیل گردید. فاصله ردیف‌ها 60 سانتی‌متر و فاصله دو بوته 20 سانتی‌متر منظور گردید. کاشت به صورت هیرم کاری با قرار دادن چهار عدد بذر در داخل هر کپه و در داغ آب پشته‌ها در تاریخ 22 اردیبهشت ماه انجام شد. بعد از سبز شدن، وجین در سه مرحله 3، 5 و 10 برگی انجام شد. تنک نمودن واحدهای آزمایشی در مرحله 5 برگی با اعمال تراکم 8 بوته در متر مربع (80 هزار بوته در هکتار) اعمال شد.

آبیاری در جوی و پشته‌ها به صورت نشتی انجام شد. نیاز آبی زراعت آفتابگردان در یک دوره رشدی در حدود 600-500 میلی‌متر برآورد شده است (Alyari *et al.*, 2000). آبیاری مزرعه تا مرحله R_3 (طویل شدن میانگره زیرین گل آذین به بیش از دو سانتی‌متری بالای برگ‌ها) بدون اعمال تنش آبی و با پنج نوبت آبیاری انجام شد. سپس تنش رطوبتی اعمال گردید. آبیاری طبق عرف منطقه معمولاً هر هفت روز یک‌بار برحسب نیاز کانوپی و بسته به شرایط آب و هوایی منطقه، قبل و بعد از مرحله R_3 تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی انجام شد و از مرحله R_3 به بعد تیمار شاهد با 9 نوبت آبیاری و تیمارهای تحت تنش (200، 150،100 و 250 میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A) به ترتیب تحت 4، 3، 2 و 1 نوبت آبیاری قرار گرفتند.

از چهار ردیف کاشته شده در هر کرت، ردیف‌های اول و چهارم به عنوان اثرات حاشیه در نظر گرفته شدند و ردیف‌های دوم و سوم برای نمونه‌برداری انتخاب شدند. در مرحله رسیدگی، برای تعیین عملکرد دانه، هشت بوته متوالی از دو ردیف میانی برداشت شده و عملکرد دانه با جدا کردن بذرهای موجود از هشت بوته برداشت شده و وزن کردن آن‌ها (بر مبنای رطوبت 15 درصد) محاسبه گردید. هم‌چنین صفات قطر طبق، وزن مغز دانه، وزن صد دانه، تعداد دانه پر در طبق، بیوماس کل، درصد پوکی، شاخص میزان کلروفیل، شاخص سطح‌برگ، محتوای رطوبت نسبی، درصد روغن و عملکرد روغن اندازه‌گیری شدند. وزن مغز دانه بعد از جدا کردن پوست از وزن 100 دانه توزین شد. تعداد دانه پر، از میانگین تعداد دانه‌های هشت بوته بدست آمد. محاسبه محتوی رطوبت نسبی بین ساعت 8 تا 10 صبح از برگ سوم از بالا در مرحله R_5 (مرحله آغاز گرده‌افشانی) محاسبه شد. شاخص سطح برگ نیز در مرحله R_7 (زرد کم رنگ شدن پشت طبق) اندازه‌گیری شد. محتوی کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (مدل SPAD- 502) در اواسط دوره تنش از برگ سوم از بالا اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری مقاومت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر و اوایل صبح بین ساعت 6 تا 8 در مرحله پر

شدن دانه آفتابگردان صورت پذیرفت. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی نشان داد که اثر سطوح مختلف تنش کمبود آب بر صفات قطر طبق، وزن صد دانه، وزن مغز دانه، تعداد دانه پر در طبق، درصد پوکی، بیوماس کل، شاخص میزان کلروفیل، مقاومت روزنه‌ای، شاخص سطح برگ، محتوی رطوبت نسبی، درصد روغن، عملکرد روغن و عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول 1).

قطر طبق

بین سطوح مختلف آبیاری از نظر قطر طبق اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول 1). بیشترین قطر طبق (196 میلی‌متر) مربوط به تیمار آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر و کمترین مقدار این صفت متعلق به تیمار آبیاری پس از 250 میلی‌متر تبخیر به میزان 139 میلی‌متر بود (جدول 2). با افزایش فواصل آبیاری و اعمال تنش خشکی، از قطر طبق کاسته شد. به گزارش مظفری و همکاران (Mozafari *et al.*, 1996) تنش خشکی همواره بر قطر طبق اثر منفی داشته است. اثر تنش خشکی روی کاهش قطر طبق در آزمایشات دیگری توسط محققینی از جمله فرحوش و همکاران (Farahvash *et al.*, 2011) و رشدی و همکاران (Roshdi *et al.*, 2006) نیز گزارش شده است.

وزن صد دانه

مصرف آب بیشتر در سطح اول (تیمار شاهد) منجر به تولید دانه‌های بزرگتر و افزایش وزن صد دانه (5/73 گرم) گردید (جدول 2). به نظر می رسد وجود آب کافی به خصوص در مرحله دانه‌بندی مانع از بروز رقابت زیاد بر سر جذب مواد فتوسنتزی بین دانه‌ها و اندام‌های رویشی شده است. هم‌چنین طولانی‌تر شدن مرحله دانه‌بندی و رسیدگی در تیمار آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر منجر به انتقال مواد فتوسنتزی کافی به دانه‌ها و افزایش متوسط وزن دانه‌ها شد. با افزایش فواصل آبیاری و کاهش تعداد دفعات آبیاری از میانگین این جزء عملکرد کاسته شد، به طوری که کمترین وزن صد دانه (3/63 گرم) در تیمار آبیاری پس از 250 میلی‌متر تبخیر بدست آمد (جدول 2). به نظر می‌رسد تنش رطوبتی از طریق کاهش سطح برگ سبب کاهش وزن صد دانه گردید. احتمال دارد ادامه روند تنش خشکی روی انتقال جاری و مجدد مواد فتوسنتزی بوته‌ها اثر منفی گذاشته و در نهایت مواد منتقل شده به دانه کاهش یافته و همین مسئله منجر به چروکیدگی و کاهش وزن دانه‌ها گردید. کاهش وزن صد دانه با اعمال تنش رطوبتی با نتایج فرحوش و همکاران (Farahvash *et al.*, 2011)، عباسی سیه‌جانی و همکاران (Abbasi-Seyahjani *et al.*, 2009) و رشدی و همکاران (Roshdi *et al.*, 2006) مطابقت دارد.

تعداد دانه پر

با تامین آب کافی و مناسب طی مرحله گلدهی و گرده‌افشانی در تیمار شاهد، بیشترین تعداد دانه پر در طبق (1024 عدد) بدست آمد (جدول 2). با اعمال تنش کم آبی در سطوح دیگر، از تعداد دانه پر در طبق کاسته شد. بروز تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ و ریزش آن‌ها منجر به کاهش منبع فتوسنتزی گیاه و افت فعالیت آنزیم‌های موثر بر این فرآیند می‌گردد. هم‌چنین طی مراحل گلدهی و گرده‌افشانی کمبود آب باعث خشک شدن دانه‌های گرده و کلاله مادگی شده که این مسئله باعث اختلال در گرده‌افشانی توسط حشرات می‌شود. تمام عوامل منجر به افت تعداد گلچه‌های بارور سطح طبق می‌گردد (Roshdi *et al.*, 2006). سادراس و همکاران (Sadras *et al.*, 1993) نیز مشاهده کردند که بر اثر کم آبی قبل از گلدهی، تعداد گلچه‌های بارور آفتابگردان کاهش می‌یابد. نتایج تحقیقات، کاهش تعداد دانه پر در طبق آفتابگردان را در شرایط محدودیت رطوبتی تایید می‌کند.

درصد پوکی دانه

بیشترین درصد پوکی در تیمار آبیاری پس از 250 میلی‌متر تبخیر با متوسط 29 درصد و کمترین درصد پوکی دانه در تیمار آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر با متوسط 11 درصد بود (جدول 2). راضی و آساد (Razi and Asaad, 1998) به این نتیجه رسیدند که درصد پوکی دانه حساس‌ترین صفت نسبت به تنش خشکی می‌باشد، زیرا کمبود آب منجر به پوکی شدید دانه‌ها می‌شود. رشدی (Roshdi, 2005) و فریرز و همکاران (Fereres *et al.*, 1986) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند.

بیوماس اندام هوایی

تیمار آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر با متوسط 12560 کیلوگرم در هکتار بیشترین بیوماس را به علت افزایش توسعه رویشی و اجزای عملکرد دانه داشت. اعمال تنش شدید باعث کاهش 44 درصدی بیوماس گردید. به عبارت دیگر مقدار کل بیوماس در تیمارهای تحت تنش پس از 250، 200، 150 و 100 میلی‌متر نسبت به تیمار آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر (شاهد) به ترتیب 44، 36، 24 و 15 درصد کاهش یافت، لذا محدودیت آب منجر به کاهش بیوماس شده است (جدول 2). اثر منفی محدودیت آبیاری به دلیل کاهش طول دوره رشد که منجر به کاهش فرصت گیاه برای تجمع ماده خشک شده و به دلیل کاهش تعداد برگ فعال که منجر به کاهش واحدهای تولیدکننده شد، باعث کاهش وزن خشک بوته در زمان رسیدگی شد.

چیمنتی و هال (Chimenti and Hall, 1993) نیز کاهش شدید وزن خشک گیاه آفتابگردان را در نتیجه محدودیت آب در طی رشد گیاه تایید کرده‌اند. هم‌چنین فرخی‌نیا و همکاران (Farahvash *et al.*, 2011) کاهش شدید وزن اندام‌های هوایی (ساقه، برگ و طبق) در نتیجه کمبود رطوبت خاک را گزارش کرده‌اند.

وزن مغز دانه

بیشترین وزن مغز دانه در تیمار شاهد (آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر) معادل 4/48 گرم مشاهده شد و کمترین مقدار این صفت در شرایط آبیاری پس از 250 میلی‌متر تبخیر معادل 3/09 گرم حاصل شد (جدول2). لذا با اعمال تنش کمبود آب، کاهش معنی‌داری در وزن مغز دانه به وجود می‌آید و این موضوع نشان می‌دهد که تنش در هر مرحله از رشد زایشی که اتفاق بیفتد موجب کاهش وزن مغز دانه خواهد شد. عباسی سیه‌جانی و همکاران (Abbasi-Seyahjani *et al.*, 2009) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

درصد روغن و عملکرد روغن

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین درصد روغن دانه در شرایط آبیاری مطلوب دیده شد و با محدودیت در آبیاری، درصد روغن کاهش یافت. این کاهش درصد روغن در مورد سطوح مورد مطالعه متفاوت بود، به طوری که در شرایط آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر نسبت به سطوح 100، 150، 200 و 250 میلی‌متر تبخیر به ترتیب 6/5، 11/8، 20/6 و 23/1 درصد کاهش یافت (جدول2). برخی محققان نتایج مشابهی را درباره اثر معنی‌دار تنش رطوبتی بر روغن دانه گزارش کرده‌اند که با نتایج این بررسی مطابقت دارد (Abraham-Nel, 2001; Abbasi-Seyahjani *et al.*, 2003 Karimzadeh *et al.*, 2009).

حداکثر عملکرد روغن در تیمار آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر معادل 2376 و حداقل آن در تیمارهای آبیاری پس از 200 و 250 میلی‌متر تبخیر به ترتیب برابر 1080 و 896 کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول2). البته این نتایج با توجه به وابستگی شدید عملکرد روغن آفتابگردان به عملکرد دانه، قابل پیش‌بینی بود. آبیاری کافی به خصوص طی مرحله پرشدن دانه آفتابگردان می‌تواند در افزایش وزن دانه‌ها و ذخیره روغن کافی در آن‌ها مفید و موثر واقع گردد. البته تامین رطوبت مناسب در سطح آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر می‌تواند در نازک شدن پوسته و افزایش درصد مغز دانه و روغن ذخیره‌ای آن تاثیرگذار باشد. در آزمایش مجید و اشنایدر (Majid and Schneiter, 1987) عملکرد روغن ارقام، نسبت به درصد روغن دانه بیشتر تحت تاثیر عملکرد دانه قرار گرفت. با کاهش مصرف آب و اعمال تنش خشکی در سطوح آبیاری بعدی بسته به شدت تنش از عملکرد روغن کاسته شد. آلیاری و همکاران (Alyari *et al.*, 2000)، عباسی سیه‌جانی و همکاران (Abbasi-Seyahjani *et al.*, 2009) و رشدی و همکاران (Roshdi *et al.*, 2006) نتایج مشابهی گزارش کرده‌اند.

مقاومت روزنه‌ای

جدول 2 نشان می‌دهد که با افزایش میزان خشکی، میزان مقاومت روزنه‌ای روند افزایشی داشت. بالاترین مقاومت روزنه‌ای در تیمار تحت آبیاری پس از 250 میلی‌متر تبخیر معادل6/80 ثانیه بر سانتی‌متر مشاهد شد. درک تنش توسط ریشه و ارسال پیام‌های لازم از این محل، احتمالا سنتز و انتقال ABA را به محل سلول‌های محافظ افزایش داده که نتیجه آن کاهش گشودگی روزنه و افزایش مقاومت روزنه‌ای خواهد بود (Kafi *et al.*, 2008). سوهن و همکاران (Sohan *et al.*, 1999) گزارش کردند که در سطوح شوری کمتر از 56 میلی‌مولار سدیم کلراید، مقاومت روزنه‌ای آفتابگردان مشابه

شاهد بود، ولی مقدار آن در شوری‌های بالاتر مانند 100 و 150 میلی‌مولار نسبت به شاهد افزایش یافت.

شاخص محتوی کلروفیل

تمام عوامل تنش‌زای گیاهی به طور مستقیم و یا غیر مستقیم سیستم فتوسنتز و محتوی کلروفیل را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Abbasi-Seyahjani *et al.,* 2009). بیشترین کلروفیل در تیمار آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر معادل 25/86 و کمترین مقدار آن در تیمار آبیاری پس از 250 میلی‌متر تبخیر معادل 12/56 حاصل شد (جدول 2). علت این امر تجزیه و تخریب کلروفیل در اثر تنش کمبود آب می‌باشد. هم چنین گلوتامات که پیش ماده کلروفیل و پرولین است در اثر تنش کمبود آب به پرولین تبدیل شده و در نتیجه از محتوی کلروفیل کاسته می‌شود.

محتوای رطوبت نسبی (RWC)

مقایسه میانگین‌ها نشان داد (جدول2) که بیشترین محتوی رطوبت نسبی در تیمار آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر معادل 75/43 و کمترین آن در تیمارهای آبیاری پس از 200 و250 میلی‌متر تبخیر معادل 53/53 و 51/00 حاصل شد. علت این امر بالا بودن رطوبت و وزن تر و خشک برگ‌های تیمار شاهد نسبت به تیمار حداکثر تنش می‌باشد. شیر مرد (Shirmard, 2003) مشاهده نمودند که میزان RWC در ژنوتیپ‌های مقاوم بالاتر است. ایشان نتیجه گرفتند که ارقام مقاوم به خشکی در مقایسه با ارقام حساس در شرایط تنش، آب بیشتری در بافت‌های خود مخصوصاً در برگ‌ها نگهداری می‌نمایند.

شاخص سطح برگ

تیمار شاهد در آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر با میانگین 2/76 بیشترین شاخص سطح برگ داشت و کمترین شاخص سطح برگ مربوط به تیمارهای آبیاری پس از 200 و 250 میلی‌متر تبخیر بود (جدول 2). علت شاخص سطح برگ بالا در سطح اول آبیاری زیادی تعداد و افزایش حجم سلول و طویل شدن سلول‌ها در اثر وجود آب می‌باشد. کاهش رشد رویشی و متعاقب آن کاهش سطح برگ‌ها در شرایط تنش آبی، در اواخر دوره رشد پیری و ریزش برگ‌ها و رقابت بخش‌های زایشی بر اثر جذب مواد غذایی باعث کاهش LAI می‌گردد. کاهش LAI به دلیل کاهش سطح فتوسنتزی گیاه در نهایت موجب کاهش عملکرد دانه می‌گردد. نتایج فوق با نتایج فلنت و همکاران (Flenet *et al.,* 1996) و مرادی اقدم (Moradi –Aghdam, 2007) مطابقت دارد.

عملکرد دانه

بررسی نتایج مربوط به عملکرد دانه در تیمارهای مختلف نشان داد که با افزایش فواصل آبیاری بر اساس میزان تبخیر و کاهش دفعات آن، از میزان عملکرد دانه کاسته شد، به طوری که تیمار آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر بالاترین عملکرد دانه را به میزان 4646 کیلوگرم در هکتار تولید نمود و کمترین عملکرد دانه هم در تیمارهای آبیاری پس از 200 و 250 میلی‌متر تبخیر بدست آمد (جدول 2). به نظر می‌رسد مصرف متعادل آب طی مراحل مختلف نمو از جمله گلدهی و دانه‌بندی منجر به بهبود عملکرد دانه آفتابگردان می‌گردد، زیرا طی این مراحل، دو جزء مهم عملکرد دانه (تعداد دانه پر در طبق و وزن صد دانه) شکل می‌گیرد. در ضمن آبیاری کافی در مرحله رویشی به ویژه در سطح آبیاری اول، باعث توسعه مطلوب سطح برگ‌ها و فتوسنتز کننده گیاه می‌شود. اکثر مطالعات انجام شده در این زمینه چنین نتیجه‌ای را گزارش نموده‌اند. گزارش تحقیقاتی مظاهری لقب و همکاران (Mazaheri- Laghab *et al.,* 2002) نشان داد که سطوح آبیاری تاثیر معنی‌داری در عملکرد دانه آفتابگردان دارد. ایشان علل کاهش عملکرد دانه را بر اثر استرس خشکی چنین توجیه نمودند که رژیم آبیاری نامطلوب، ضمن کاهش سطح برگ‌ها، پیری آن‌ها را سرعت بخشیده و میزان تولید دانه را کاهش می‌دهد.

البته برخی از محققین (Kalhori *et al.,* 2001; Roshdi *et al.,* 2006) علت عمده افت عملکرد دانه در اثر تنش خشکی را کاهش فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد طی دوره پر شدن دانه می‌دانند. تیمار آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر به واسطه داشتن تعداد دانه پر در طبق و وزن صد دانه بالا که از اجزای مهم عملکرد دانه آفتابگردان می‌باشند، توانسته حداکثر عملکرد دانه را نیز به خود اختصاص دهد (جدول 2). هم‌چنین به نظر می‌رسد تیمار برتر از لحاظ عملکرد دانه (تیمار شاهد) به دلیل داشتن دوام سطح برگ بالا در مرحله زایشی، رشد فیزیولوژیک سریع، ارسال مواد فتوسنتزی کافی به اندام-های زایشی و در نهایت بهره‌مندی مطلوب از امکانات محیطی چنین وضعیتی را نشان داده است. کاهش عملکرد دانه با

گزارش‌های منتشر شده در این زمینه توسط فرحوش و همکاران (Farahvash *et al.*, 2011)، عباسی سیه‌جانی و همکاران (Abbasi-Seyahjani *et al.*, 2009)، رشدی و همکاران (Roshdi *et al.*, 2006)، راضی و آساد (Razi and Asaad, 1998) و فریرز و همکاران (Fereres *et al.*, 1986) هم‌خوانی دارد.

در مجموع با توجه به نتایج بدست آمده، رقم ایروفلور در تیمار آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر به دلیل داشتن بیشترین وزن صد دانه، قطر طبق، تعداد دانه پر، شاخص سطح برگ، شاخص محتوی کلروفیل و محتوی رطوبت نسبی، بالاترین عملکرد دانه و روغن را تولید کرد. هم‌چنین این تیمار با داشتن دوره رشد طولانی به دلیل نبود کمبود آب، مخصوصاً در فاصله زمانی بین گلدهی تا رسیدگی که حدود 2 ماه به طول انجامید، توانست با حداکثر بهره‌مندی از عوامل محیطی، بیشترین مقادیر اجزای عملکرد و عملکرد دانه را به خود اختصاص دهد. تیمارهای آبیاری پس از 100 و 150 میلی‌متر تبخیر اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. این موضوع در مورد تیمارهای 200 و 250 میلی‌متر تبخیر هم صادق بود. به عبارت دیگر در صورت کمبود بارندگی یا نبود سیستم آبیاری مطمئن، آبیاری پس از 150 میلی‌متر تبخیر همان عملکرد 100 میلی‌متر تبخیر را به دنبال خواهد داشت. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص شد که برای تولید عملکرد بالا، وجود آب کافی ضروری می‌باشد و کمبود آب بر اکثر صفات کمی و کیفی تأثیرگذار بوده و در نهایت باعث کاهش عملکرد و اجزای عملکرد می‌شود.

جدول 1- نتایج تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد هیبرید ایروفلورآفتابگردان تحت تنش خشکی

Table 1. Analysis of variance for seed yield and yield components of sunflower Euroflour hybrid under water deficit.

S.O.V.	D.F.	Mean Squares						
		Head diameter	100 seed weight	Kernel weight	No. filled seeds per head	hollowness (%)	biomass	Chlorophyll content
Replication	2	17^{ns}	0.098^{ns}	0.162^{ns}	331818^{ns}	9^{ns}	23206^{ns}	30^{**}
Stress	4	1416^{**}	1^{**}	5^{**}	3161324^{**}	134^{**}	231079^{**}	74^{**}
Error	8	41	0.135	0.314	269519	19	16061	3
CV%		4.0	8.0	15	7.3	22	1.4	9.2

ns،* و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال 5٪ و 1٪

ns, *and**: Non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

ادامه جدول 1

Table 1. continued

S.O.V.	D.F.	Mean Squares					
		Stomatal resistance	LAI	RWC	Oil percent	Oil yield	Grain yield
Replication	2	2^{**}	0.089^{ns}	41^{ns}	1^{ns}	623^{ns}	126044^{ns}
Stress	4	15^{**}	1^{**}	308^{**}	72^{**}	15583^{**}	2448391^{**}
Error	8	0.147	0.030	10	0.700	192	57410
CV%		10	8.7	5.1	1.9	0.9	7.3

ns،* و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال 5٪ و 1٪

ns , *and**: Non- significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

جدول 2- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد هیبرید ایروفلور آفتابگردان تحت تنش خشکی

Table 2. Mean comparison of seed yield and yield components of sunflower Euroflour hybrid under water deficit.

Stress level	Head diameter (mm)	100 seed weight (g)	Kernel weight (g)	No. filled seeds per head	hollowness (%)	biomass (kg/ha)	Chlorophyll content	Stomatal resistance (sec/cm)	LAI
50 mm evaporation	196. 3[a]	5.73 [a]	4.48 [a]	1024 [a]	11.10 c	12560 [a]	25.86 [a]	0.600 [a]	2.76 [a]
100 milimeter evaporation	162.1 [b]	4.83 [b]	3.92 [b]	989 [ab]	16.06 ba	10720 [ab]	20.53 [b]	2.16 [b]	2.33 [b]
150 mm evaporation	159.5 [bc]	4.43 [b]	3.70 [bc]	892 [b]	18.96 [ba]	9520 [bc]	18.36 [bc]	3.06 [c]	1.90 [c]
200 mm evaporation	148.5 [cd]	4.16 [bc]	3.44 [cd]	840 [b]	20.00 [b]	7992 [cd]	16.03 [c]	3.76 [c]	1.46 [d]
250 mm evaporation	139.1[d]	3.63 [c]	3.09 [d]	684 [c]	29.33 [a]	6968 [d]	12.56 [d]	6.80 [d]	1.40 [d]

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال 5 درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% of probability level.

Table 2. continued ادامه جدول **2**

Stress level	RWC	Oil percent (g)	Oil yield (kg/ha)	Grain yield (kg/ha)
50 mm evaporation	75.43 [a]	51.16 [a]	2376 [a]	4646 [a]
100 mm evaporation	68.06 [b]	47.83 [b]	1672 [b]	3490 [b]
150 mm evaporation	60.90 [c]	45.16 [c]	1512 [b]	3311 [b]
200 mm evaporation	53.53 [d]	40.66 [d]	1080 [c]	2673 [c]
250 mm evaporation	51.00 [d]	39.33 [d]	896 [c]	2288 [c]

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال5 درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% of probability level.

References

Abbasi-Seyahjani E, Khomari S, Sadeghi A (2009) Performance of sunflower cultivars for seed and oil yield in water deficit stress condition. Journal of Crop Breeding 1 (2): 1-11. [In Persian with English Abstract].

Abraham-Nel A (2001) Determinants of sunflower seed quality for processing: Chapter 1. Growth and development of the seed. University of Pretoria. South Africa.

Alvarez D, Luduena P, Fratos YE (1992) Correlation and causation among sunflower traits. proc. 13th International Sunflower Conference, Pisa. Italy. pp. 182-204.

Alyari H, Shekari F, Shekari F (2000) Oilseeds. Amidi Press, Tabriz. 162 pp. [In Persian].

Chimenti CA, Hall AJ (1993) Genetic variation and changes with ontogeny of osmotic adjustment in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Euphytica 71: 201-210.

Earl HJ, Davis RF (2003) Effect of drought stress on leaf and canopy whole radiation use efficiency and yield of maize. Agronomy Journal 95: 688-696.

Erdem T, Erdem Y, Orta AH, Okursoy H (2006) Use of a crop water stress index for scheduling the irrigation of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry 30: 11-20.

Farahvash F, Mirshekari B, Abbasi-Seyahjani E (2011) Effects of water deficit on some traits of three sunflower cultivars. Middle-East Journal of Scientific Research 9 (5): 584-587.

Farrokhinia M, Roshdi R, Rezadoost S (2009) Study of drought stress effects on yield and some vegetative characters in spring safflower. Journal of Research in Crop Sciences 2 (5): 1-12. [In Persian with English Abstract].

Fereres E, Geminez C, Fernandez JM (1986) Genetic variability in sunflower cultivars under drought. I. Yield relationships. Australian Journal of Agriculture Research 37: 573-582.

Flenet F, Boundiols A, Suraiva C (1996) Sunflower response to a range of soil water contents. European Journal of Agronomy 15: 161-167.

Kafi M, Ganjali A, Abbasi F (2008) A abscisic acid (ABA) content and stomatal resistance in leaf tissue of resistant and susceptible genotypes to drought in chickpea (*Cicer arientinum* L). Journal of Research in Agricultural Science. 33 (4): 19-26. [In Persian with English Abstract].

Kafi M, Mahdavi-Damghani A (2000). Mechanisms of plant resistance to environmental stress. Mashhad University Press. 156 pp. [In Persian with the English Abstract].

Kalhori J, Mazaheri D, Hosinzadeh A (2001). Evaluation of withholding irrigation at different growth stages on yield and yield components. M.Sc. Thesis in Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Tehran.118 pp. [In Persian with English Abstract].

Karimzadeh KH, Mazaheri D, Peghambari SA (2003) Effects of four irrigation intervals on seed yield and quantitative characteristics of three sunflower cultivars. Iranian Journal of Agricultural Sciences 34 (2): 293-301. [In Persian with English Abstract].

Mazaheri-Laghab H, Nori F, Zarea-Abyaneh H, Vafaee MH (2002). Effect of supplemental irrigation on agronomic traits of sunflower cultivars in rain-fed agriculture. Journal of Agricultural Research 3 (1): 33-41. [In Persian with English Abstract].

Majid HR, Schneiter AA (1987) Yield and quality of semidwarf and standard height sunflower hybrids grown at five plant populations. Agronomy Journal 79: 681-684.

Moradi-Aghdam A (2007) Water deficit and plant density effects on agronomic traits and some growth parameters of sunflower nuts. M.Sc. Thesis. Islamic Azad University. Takestan Branch. 122 pp. [In Persian with English Abstract].

Mozafari K, Arshi Y, Zinali H (1996) Evaluation of the effect of drought stress on some morphological traits and components of yield in sunflower. Seed and Plant 12: 24-33. [In Persian with English Abstract].

Razi H, Asaad T (1998) Evaluation of important agronomic traits and drought stress tolerance related criteria changes in sunflower cultivars. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 2(1): 31-43. [In Persian with English Abstract].

Roshdi M (2005) Effects of water deficit on physiological and biochemical aspects of sunflower cultivars. Ph.D. Thesis in Agronomy. Faculty of Agriculture, Islamic Azad University of Tehran, Science and Research Branch, 256 pp. [In Persian with English Abstract].

Roshdi M, Heydari-Sharifabad H, Karimi M, Darvish F, Noor-Mohammadi G (2006) A survey on the impact of water deficiency over the yield of sunflower seed cultivars and its components. Journal of Agricultural Sciences 12 (1): 109-122. [In Persian with English Abstract].

Sadras VO, Connor DJ, Whitfield DM (1993). Yield, yield components and source-sink relationships in water-stressed sunflower. Filed Crops Research 31: 27-39.

Sepaskhah AR, Akbari D (2005) Deficit irrigation planning under variable seasonal rainfall. Biosystems Engineering 92 (1): 97-106. [In Persian with English Abstract].

Shirmard M (2003) Effect of water deficit stress on some morphological and physiological characteristics in sunflower cultivars. M.Sc. Thesis. Islamic Azad University, Karaj Branch. 171 pp. [In Persian with English Abstract].

Sohan D, Jasoni R, Zajicek J (1999) Plant-water relation of NaCl and calcium treated sunflowers plants. Environmental and Experimental Botany 42: 105-111.

Unger PW (1992) Time and frequency of irrigation effects on sunflower production and water use. Soil ciences 46: 1072-1076.

Zwart SJ, Bastiaanssen WGM (2004) Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. Agricultural Water Management 69: 115-133.