مجله علوم گیاهان زراعی ایران
دوره ۴۱، شماره ۳، ۱۳۸۹ (۶۱۰-۵۹۷)

اثر کم‌آبیاری در دوران رشد زایشی بر رشد و عملکرد چهار رقم جدید آفتابگردان

مصطفی کریمی کاخکی[۱]، علی سپهری[۲]* و محمدعلی ابوطالبیان[۳]
۱، ۲، ۳، دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیاران دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا
(تاریخ دریافت: ۸۷/۵/۲۳ - تاریخ تصویب: ۸۸/۱۲/۱۲)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کم‌آبیاری در مرحلهٔ زایشی بر روند رشد و عملکرد آفتابگردان، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعهٔ پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا در سال ۱۳۸۶ انجام گرفت. آبیاری در ۶ سطح شامل: آبیاری کامل (شاهد)، کم‌آبیاری با عدم آبیاری در مرحلهٔ غنچه‌دهی، عدم آبیاری در مرحلهٔ گلدهی، عدم آبیاری در مرحلهٔ دانه‌بندی، عدم آبیاری در مراحل غنچه‌دهی و دانه‌بندی و عدم آبیاری در مراحل گلدهی و دانه‌بندی بود. از ۴ رقم آفتابگردان شامل آذرگل، آلستار، آلیسون و یوروفلور استفاده شد. روند تجمع مادهٔ خشک در اندام هوایی، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص، سرعت رشد نسبی، عملکرد بیولوژیک، عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت اندازه‌گیری و محاسبه شد. نتایج نشان داد بیشترین مقدار شاخص سطح برگ (۴/۰)، سرعت رشد محصول (۴۰/۱ گرم در مترمربع در روز) و تجمع مادهٔ خشک (۱۵۳۷/۹ گرم در مترمربع) از رقم یوروفلور با آبیاری کامل به‌دست آمد. این رقم در سایر سطوح کم‌آبیاری نیز از بیشترین مقادیر شاخص‌های مذکور برخوردار بود. کم‌آبیاری در مرحلهٔ گلدهی کاهش بیشتر شاخص‌های رشد، بویژه سرعت فتوسنتز خالص و سرعت رشد نسبی و شاخص برداشت را به همراه داشت. رقم یوروفلور و تیمار آبیاری کامل دارای بیشترین عملکرد بیولوژیک (به‌ترتیب با ۱۰۱۲/۷ و ۱۱۶۸/۲ گرم در مترمربع) و شاخص برداشت (به‌ترتیب با ۴۰ و ۴۲ درصد) بودند. بیشترین عملکرد دانه از رقم یوروفلور با آبیاری کامل (۵۰۰/۸ گرم در مترمربع) بدون اختلاف معنی‌دار با کم‌آبیاری در مرحلهٔ دانه‌بندی و همچنین در سایر ارقام با آبیاری کامل به‌دست آمد. کمترین عملکرد دانه از ارقام آذرگل و آلیسون با دوبار عدم آبیاری در مراحل گلدهی و دانه‌بندی همچنین رقم آلیسون با دوبار عدم آبیاری در مراحل غنچه‌دهی و دانه‌بندی حاصل شد. در مجموع دوبار عدم آبیاری و کم‌آبیاری در مرحلهٔ دانه‌بندی به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین اثر منفی بر رشد و عملکرد آفتابگردان بود. رقم یوروفلور به‌عنوان یک رقم موفق با بیشترین رشد و تولید در شرایط مختلف آبیاری معرفی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: **شاخص‌های رشد، کم‌آبیاری، رشد زایشی، آفتابگردان.**

* نویسنده مسئول: علی سپهری تلفن: ۰۹۱۸-۸۱۵۴۱۹۷ E-mail: sepehri110@yahoo.com

مقدمه

کشور ایران از نظر اقلیمی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان واقع شده و آب مورد نیاز گیاهان زراعی به علت کمبود نزولات آسمانی و توزیع نامتناسب آن عمدتاً از طریق آبیاری تأمین می‌شود. محدودیت منابع آب در این مناطق موجب گردیده که آب به‌عنوان مهمترین نهاده تولید تلقی شود (Sepaskhah & Khajehabdollahi, 2005). کم‌آبیاری[1] یک راهبرد برای تولید پایدار محصولات کشاورزی در شرایط کمبود آب است، به نحوی که حد مجاز کاهش مصرف آب و عملکرد در واحد سطح تعیین می‌شود. گرچه با اعمال کم‌آبیاری تا حدودی گیاه تحت تنش آبی قرار می‌گیرد ولی با تنظیم مراحل آبیاری و بهینه‌سازی می‌توان از واحد حجم آب حداکثر استفاده را به عمل آورد (English, 1990; English & Raja, 1996; Kirda et al., 1999; Kirnak et al., 2002).

اصولاً گیاهانی که برای کم‌آبیاری انتخاب می‌شوند بایستی مقاوم به تنش کمبود آب بوده و اثرات آن بر رشد و عملکرد در مراحل مختلف رشد به دقت مورد بررسی قرار گیرد (Göksoy et al., 2004). آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) به‌عنوان یکی از چهار گیاه مهم زراعی تأمین کنندهٔ روغن و پروتئین (Fageria, 1992) گرچه یک گیاه بسیار متحمل به خشکی نیست ولی معمولاً در مناطق خشک، جایی‌که سایر محصولات به شدت از کمبود آب آسیب می‌بینند اغلب تولید رضایت بخشی دارد (Stone et al., 2002). توانائی آفتابگردان در تحمل دوره‌های کوتاه تنش کمبود آب با کاهش عملکرد در حد قابل قبول یک خصوصیت ارزشمند در مناطق خشک محسوب می‌شود (Hattendorf et al., 1988). به بیان Talha & Osman (1975)، آفتابگردان ۲۵ روز بعد از کاشت و مراحل اولیهٔ به ساقه رفتن نسبت به مراحل رشد سریع، گلدهی و رسیدگی به تنش کمبود آب حساسیت بیشتری دارد.

به گزارش Morizet & Merrien (1990) تجمع مادهٔ خشک در آفتابگردان نسبت به محصولات دیگر کمتر تحت تأثیر تنش کمبود آب قرار می‌گیرد. از طرفی Turner & Sobrado (1987) اظهار داشتند کمبود آب وزن خشک برگ، ساقه و ریشه را در آفتابگردان کاهش می‌دهد و باعث کاهش مقدار تجمع مادهٔ خشک و کند شدن روند رشد می‌گردد. در این خصوص کاهش سرعت جذب خالص و افزایش شیب کاهشی سرعت رشد نسبی قابل توجه است (Karimzadeh-asl et al., 2004). به اظهار Fereres et al. (1986)، در اثر تنش کمبود آب، سطح برگ آفتابگردان به‌سرعت کاهش می‌یابد و تأثیر منفی بر عملکرد دانه دارد. به گفتهٔ Mazaheri Laghab et al. (2001) تنش کمبود آب ضمن کاهش سطح برگ و پیری زودرس، افت عملکرد دانه را باعث می‌شود. همچنین Cox & Jollief (1986) در آزمایش دو ساله‌ای بر روی آفتابگردان دریافتند عملکرد دانه در شرایط دیم نسبت به شرایط آبیاری آفتابگردان ۵۱ درصد و برای شرایط آبیاری محدود ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. در بین مراحل رشد، Göksoy et al. (2004) و نیز Karam et al. (2007) مرحلهٔ گلدهی را مرحلهٔ حساس رشد آفتابگردان به کمبود آب دانسته‌اند.

در گزارش Karam et al. (2007) عملکرد دانه با کم‌آبیاری در اوایل و اواسط گلدهی ۲۵ و ۱۴ درصد کاهش یافت. اما با کم‌آبیاری در اوایل تشکیل دانه کاهشی در این فاکتور مشاهده نشد. آن‌ها کمترین تجمع نهایی مادهٔ خشک در زمان برداشت را در تیمار کم‌آبیاری اوایل گلدهی و سپس اواسط گلدهی عنوان نموده و کم‌آبیاری در اوایل تشکیل دانه را بر این فاکتور بی‌تأثیر دانستند. کاهش شاخص برداشت بر اثر تنش کمبود آب توسط Richards et al. (2002) و Soriano et al. (2004) گزارش شد. در حالی‌که Karam et al. (2007) تغییر معنی‌داری را در شاخص برداشت مشاهده نکردند.

با توجه به اهمیت آب آبیاری در کشت تابستانه گیاهان، کمبود آب در این زمان و نیاز سایر محصولات زراعی به آب، اعمال کم‌آبیاری از طریق عدم آبیاری در مراحلی از رشد زایشی که می‌تواند حساسیت کمتری به کمبود آب داشته باشد از اهمیت خاصی برخوردار است. پژوهش حاضر به بررسی عکس‌العمل ارقام جدید آفتابگردان به تنش کمبود آب در شرایط کم آبیاری آخر فصل پرداخته است.

1. Deficit irrigation

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۸۶ در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، در یک خاک لوم رسی با اسیدیته ۷/۲ اجرا شد. منطقه مورد بررسی از نظر اقلیمی جزو مناطق نیمه‌خشک و سرد، با میانگین بارندگی سالیانه ۳۳۳ میلی‌متر و متوسط درجه‌حرارت ۲۴ درجه سانتی‌گراد در گرمترین ماه سال بر اساس آمار هواشناسی ۵۵ ساله است.

عوامل مورد بررسی شامل ۶ سطح آبیاری: آبیاری کامل[1] (I_1)، کم‌آبیاری با عدم آبیاری در مرحلهٔ غنچه‌دهی (I_2)، عدم آبیاری در مرحلهٔ گلدهی (I_3)، عدم آبیاری در مرحلهٔ دانه‌بندی (I_4)، عدم آبیاری در دو مرحلهٔ غنچه‌دهی و دانه‌بندی (I_5) و عدم آبیاری در دو مرحلهٔ گلدهی و دانه‌بندی (I_6) بود. از ۴ رقم آفتابگردان شامل آذرگل که یک هیبرید داخلی است و هیبریدهای خارجی آلستار[2]، آلیسون[3] و یوروفلور[4] استفاده شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد که سطوح آبیاری در کرت اصلی و ارقام در کرت فرعی قرار گرفتند.

آماده‌سازی مزرعه، شامل شخم عمیق در پائیز سال قبل، شخم متوسط و دو مرحلهٔ دیسک‌زنی عمود بر هم در بهار و قبل از کاشت بود. هر کرت آزمایشی شامل ۸ ردیف کاشت به طول ۶ متر و فاصلهٔ بین ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر بود. فاصلهٔ کاشت روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کودهای مورد نیاز بر اساس نتایج آزمایش خاک و توصیه کودی، به میزان ۲۰۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم، ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم و ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار استفاده شد. تمام کودهای فسفره و پتاسه و یک سوم کود نیتروژن‌دار قبل از کاشت و مابقی آن در مرحلهٔ ۶ تا ۷ برگی به خاک اضافه شد. تمام کرت‌ها عاری از آفت و بیماری بوده و کنترل علف‌های هرز به‌طور کامل طی ۲ مرحله در دورهٔ رشد رویشی با دست انجام شد.

با تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) به روش فائو-پنمن مونتیث و ضرایب گیاهی (K_c) در مراحل مختلف رشد، نیاز آبی گیاه (ET_{Crop}) در منطقه مورد آزمایش از رابطهٔ ۱ تعیین شده (Allen et al., 1998) و سپس با در نظر گرفتن بارندگی مؤثر، راندمان آبیاری (۶۰ درصد) و ۴۵ درصد تخلیهٔ مجاز رطوبتی در منطقه توسعهٔ ریشه برآورده شد (Doorenbos & Kassam, 1979):

$$ET_{Crop} = K_c \times ET_o \qquad (۱$$

آبیاری با استفاده از لولهٔ پلی‌اتیلن انجام و مقدار آب مصرفی در هر بار آبیاری با استفاده از کنتور کنترل گردید. تمام تیمارهای آزمایشی در دوران رشد رویشی تا مرحلهٔ غنچه‌دهی از آبیاری یکنواخت برخوردار بودند.

به‌منظور تعیین مراحل فنولوژیک و روند شاخص‌های رشد شامل شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص، سرعت رشد نسبی و تجمع مادهٔ خشک از درجه-روزهای رشد[5] استفاده گردید. درجه-روز رشد (GDD) با استفاده از معادله (۲) محاسبه شد:

$$GDD = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_b \qquad (۲$$

در معادله مذکور T_{max} حداکثر دمای روزانه با یک حد بالایی ۳۵ درجه سانتی‌گراد، T_{min} حداقل دمای روزانه با یک حد پایینی ۶/۷ درجه سانتی‌گراد و T_b نیز دمای پایه آفتابگردان معادل ۶/۷ درجه سانتی‌گراد است که پایین‌تر از آن رشد گیاه صورت نمی‌گیرد (Kaya et al., 2004). به منظور بررسی شاخص‌های رشد، نمونه‌برداری در طول فصل رشد از ۲۵ روز پس از کاشت آغاز و هر ۱۴ روز یک‌بار به طور منظم تکرار شد. در هر بار نمونه برداری سطح برگ توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ محاسبه و وزن خشک برگ و سایر اندام گیاهی پس از قرار دادن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت تعیین شد.

تعیین مراحل فنولوژیک با رسیدن ۵۰ درصد بوته‌های واحد آزمایشی به مرحلهٔ مورد نظر صورت گرفت. به‌منظور تعیین عملکرد نهایی، در مرحلهٔ رسیدگی کامل از هر کرت آزمایشی، ۴ مترمربع برداشت

1 . Full irrigation
2 . Allstar
3 . Alison
4 . Euroflor

5 . Growth degree days

و عملکرد بیولوژیک شامل وزن خشک تمام اندام‌های بالای سطح خاک و عملکرد اقتصادی پس از رسیدن رطوبت دانه‌ها به ۱۴ درصد محاسبه شد. روند تجمع مادهٔ خشک[1] (TDW) برحسب گرم در مترمربع، سرعت رشد نسبی[2] (RGR) برحسب گرم بر گرم در روز، شاخص سطح برگ[3] (LAI)، سرعت جذب خالص[4] (NAR) برحسب گرم در مترمربع در روز و بالاخره سرعت رشد محصول[5] (CGR) برحسب گرم در مترمربع مترمربع در روز از معادلات ۳ تا ۷ به‌دست آمد (Hunt, 1990):

$$TDW = Exp(a + bx + cx^2) \quad (۳$$

$$RGR = Exp(a + bx + cx^2) \times (b + 2cx) \quad (۴$$

$$LAI = Exp(a' + b'x + c'x^2) \quad (۵$$

(۶

$$NAR = (b + 2cx) \times Exp[(a - a') + (b - b')x + (c - c')x^2]$$

$$CGR = NAR \times LAI \quad (۷$$

در این روابط x همان GDD یا درجه-روز رشد همچنین a، a´، b، b´، c و c´ ضرایب معادله که به روش حداقل مربعات به‌دست آمده است. شاخص برداشت[6] (HI) از معادله ۸ به‌دست آمد (Gardner et al., 1985):

$$HI = \frac{EY}{BY} \times 100 \quad (۸$$

در این رابطه، EY عملکرد اقتصادی[7] و BY عملکرد عملکرد بیولوژیک[8] است. تجزیه‌های آماری و همچنین محاسبه شاخص‌های رشد با استفاده از نرم‌افزارهای SAS[9] (SAS Institute Inc., 1996) و Excel انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ نسبت سطح برگ به سطح زمین اشغال شده توسط گیاه است که با گذشت زمان، به دلیل تولید برگ‌های جدید و افزایش سطح هر برگ افزایش می‌یابد. شاخص سطح برگ پس از رسیدن به حد معینی کاهش می‌یابد که بسته به رقم و شرایط محیطی متفاوت است (Hunt, 1990). حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max}) در همه تیمارها در زمان گلدهی حاصل شد (شکل ۱).

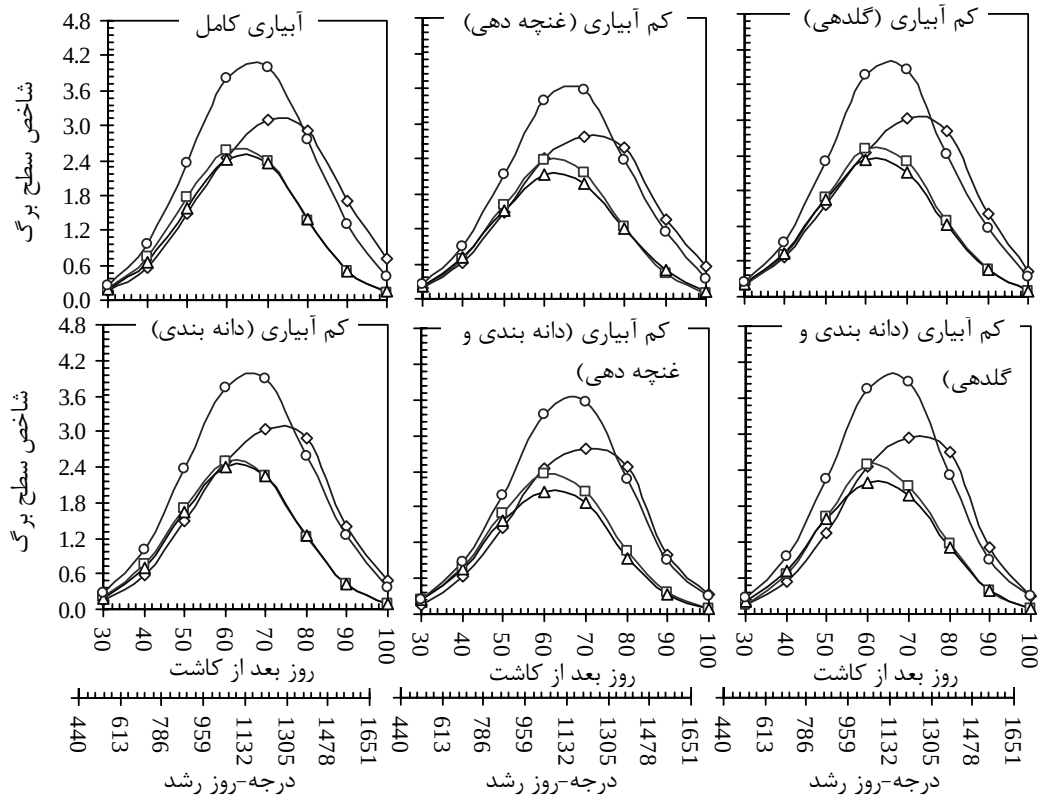
بین ارقام، سطوح آبیاری و اثرات متقابل آن‌ها در خصوص حداکثر شاخص سطح برگ اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد وجود داشت (جدول ۱). بیشترین مقادیر LAI_{max} از رقم یوروفلور در همهٔ سطوح آبیاری و به ترتیب با شاخص سطح برگ ۴/۰۰ در آبیاری کامل و پس از آن ۳/۹۰ با عدم آبیاری در مرحلهٔ دانه‌بندی، مرحلهٔ گلدهی و مراحل گلدهی و دانه‌بندی و سپس ۳/۶۰ با عدم آبیاری در مرحلهٔ غنچه‌دهی و مراحل غنچه‌دهی و دانه‌بندی به‌دست آمد (جدول ۲). کمترین مقادیر نیز متعلق به رقم آلیسون در همه سطوح آبیاری و به‌ترتیب با شاخص سطح برگ ۲/۶۰ در آبیاری کامل و ۲/۲۰ با عدم آبیاری در مرحلهٔ دانه‌بندی، مرحلهٔ گلدهی و مراحل گلدهی و دانه‌بندی و سپس ۱/۹۰ با عدم آبیاری در مرحلهٔ غنچه‌دهی و مراحل غنچه‌دهی و دانه‌بندی به‌دست آمد.

نتایج نشان می‌دهد ارقام یوروفلور و آلیسون در همه شرایط به‌ترتیب از بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ برخوردار می‌باشند. ضمن اینکه اعمال کم‌آبیاری در مرحلهٔ غنچه‌دهی بیشترین تأثیر منفی را بر حداکثر شاخص سطح برگ دارد. به گزارش Soriano et al. (2004)، گیاهان آفتابگردان در شرایط آبیاری کامل نسبت به شرایط کمبود آب، فرصت کافی را برای به دست آوردن حداکثر سطح برگ خود دارند.

پس از پایان مرحلهٔ گلدهی شاخص سطح برگ در همه تیمارها کاهش یافت. علت کاهش سطح برگ پس از گلدهی توسط Rawson (1979)، Rawson & Constable (1980) و Flénet et al. (1994) پیری برگ

1. Total dry weight accumulation
2. Relative growth rate
3. Leaf area index
4. Net assimilation rate
5. Crop growth rate
6. Harvest index
7. Economic yield
8. Biological yield
9. Statistical analysis system

عنوان شده و Cirilo & Andrade (1994) همچنین Andrade (1995) تخصیص انرژی و عناصر در دسترس به دانه را دلیل آن دانستند. شیب کاهش شاخص سطح برگ در تیمارهای کم‌آبیاری بویژه دو بار عدم آبیاری، نسبت به شاهد افزایش نشان داد (شکل ۱) که علت آن تأثیر تنش کمبود آب ناشی از اعمال کم‌آبیاری بر پیری زودرس و ریزش برگ‌های پایین گیاه است. در این رابطه Karimzadeh-asl et al. (2004)، اثر کمبود آب بر شاخص سطح برگ را به ریزش برگ‌ها و کاهش سطح برگ نسبت دادند. گزارش Rawson & Turner (1982) نشان داد که تعداد برگ در آفتابگردان‌های تحت تنش کمبود آب کمتر از ارقام بدون تنش بوده و اگر کمبود آب ادامه یابد برگ‌های پایینی ریزش پیدا می‌کند. همچنین .Fereres et al (1986) نشان دادند که شاخص سطح برگ در شرایط تنش در مرحلهٔ بین ظهور گل تا رسیدگی فیزیولوژیک کاهش می‌یابد.



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ با روزهای بعد از کاشت و درجه-روز رشد در تیمارهای مختلف آبیاری و ارقام آفتابگردان (آذرگل: —◇—، آلستار: —□—، آلیسون: —△— و یوروفلور: —○—).

جدول ۱- تجزیه واریانس حداکثر تجمع مادهٔ خشک (TDW_{max})، حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max})، حداکثر سرعت رشد محصول (CGR_{max})، عملکرد بیولوژیک (BY)، عملکرد دانه (EY) و شاخص برداشت (HI)

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		TDW_{max}	LAI_{max}	CGR_{max}	BY	EY	HI
تکرار	۲	۹۶۲۰۳/۳	۰/۳۷**	۰/۲۷**	۵۴۹۸۶/۰۱**	۲۷۳۵/۳*	۰/۰۰۲**
آبیاری	۵	۳۲۲۰۰۴/۹**	۰/۴۳**	۷۸/۲۷**	۳۲۳۶۴۱/۵۸**	۸۱۴۹۷/۸**	۰/۰۰۵۱**
خطای فرعی	۱۰	۴۷/۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۲۰۳۰/۴۲	۵۲۱/۸	۰/۰۰۰۱
رقم	۳	۲۸۸۴۳۰/۸**	۹/۱۳**	۲۱۲/۲۷**	۱۱۶۴۶۱/۶۶**	۲۲۵۱۴/۰**	۰/۰۰۱۴**
آبیاری × رقم	۱۵	۴۵۵۹/۲*	۰/۰۴**	۳/۷۶**	۷۶۰۷/۳۱ $^{n.s}$	۱۴۱۴/۶*	۰/۰۰۰۲$^{n.s}$
خطای اصلی	۳۶	۲۶۱/۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۶۵۵۰/۸۵	۶۳۳/۶	۰/۰۰۰۳
ضریب تغییرات (درصد)		۶/۲۲	۳/۸۱	۴/۰۲	۸/۷۵	۶/۹۴	۴/۲۲

*، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد، n.s فاقد اختلاف معنی‌دار.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات حداکثر تجمع مادهٔ خشک (TDW_{max})، حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max})، حداکثر سرعت رشد محصول (CGR_{max}) و عملکرد دانه (EY) آفتابگردان

تیمار		TDW_{max} (گرم در مترمربع)	LAI_{max}	CGR_{max} (گرم در مترمربع در روز)	EY (گرم در مترمربع)
آبیاری کامل	آذرگل	۱۳۲۵/۰d	۳/۳۹d	۳۵/۸۰e	۴۷۵/۳۴abc
	آلستار	۱۳۹۹/۸c	۲/۷۰g	۳۲/۳۰j	۴۸۴/۲۸ab
	آلیسون	۱۳۳۶/۱d	۲/۶۰h	۳۱/۲۰n	۴۸۱/۱۸ab
	یوروفلور	۱۵۳۷/۹a	۴/۰۰a	۴۰/۰۷a	۵۰۰/۸۱a
کم‌آبیاری در مرحلهٔ غنچه‌دهی	آذرگل	۱۰۱۳/۱k	۲/۷۳g	۲۹/۳۳p	۳۶۷/۲۳fgh
	آلستار	۱۱۷۶/۶gh	۲/۳۷j	۲۸/۹۰r	۳۶۷/۶۸fgh
	آلیسون	۹۱۵/۶mn	۱/۹۰m	۲۶/۰۰t	۲۸۰/۸۴jklm
	یوروفلور	۱۲۲۲/۳f	۳/۶۰c	۳۱/۹۰k	۴۱۳/۹۱de
کم‌آبیاری در مرحلهٔ گلدهی	آذرگل	۱۰۴۳/۵j	۳/۰۰f	۳۳/۱۰h	۳۲۵/۴۹hij
	آلستار	۱۱۹۷/۴fg	۲/۴۳i	۳۱/۷۰m	۳۲۹/۴۴hij
	آلیسون	۱۰۹۳/۳i	۲/۲۰l	۳۰/۱۰o	۲۸۵/۷۸jklm
	یوروفلور	۱۳۴۷/۶d	۳/۹۰b	۳۸/۷۰c	۳۸۴/۵۸efg
کم‌آبیاری در مرحلهٔ دانه‌بندی	آذرگل	۱۲۶۵/۱e	۳/۳۸d	۳۵/۲۰f	۴۴۴/۷۸bcd
	آلستار	۱۳۴۸/۸d	۲/۷۰g	۳۲/۴۰i	۴۳۲/۷۲dc
	آلیسون	۱۲۶۴/۳e	۲/۲۰l	۳۱/۷۰m	۴۰۰/۷۰def
	یوروفلور	۱۴۹۶/۵b	۳/۹۰b	۳۹/۹۰b	۴۶۳/۸۳abc
کم‌آبیاری در مراحل غنچه‌دهی و دانه‌بندی	آذرگل	۸۵۷/۲o	۳/۰۰f	۲۹/۳۰p	۲۴۷/۶۱klm
	آلستار	۱۰۳۴/۹jk	۲/۲۷k	۲۹/۲۰q	۲۹۴/۰۵ijkl
	آلیسون	۹۰۹/۵n	۱/۹۰m	۲۶/۰۰t	۲۴۸/۸۹lmn
	یوروفلور	۱۱۵۳/۳h	۳/۶۰c	۳۳/۳۰g	۳۵۰/۶۱gh
کم‌آبیاری در مراحل گلدهی و دانه‌بندی	آذرگل	۹۴۰/۲lm	۳/۳۰e	۳۰/۱۰o	۲۲۹/۰۹n
	آلستار	۱۰۸۱/۹i	۲/۵۷h	۳۱/۸۰l	۲۹۶/۵۷ijkl
	آلیسون	۹۵۲/۶l	۲/۲۰l	۲۸/۲۷s	۲۴۱/۴۱mn
	یوروفلور	۱۲۸۸/۴e	۳/۹۰b	۳۸/۲۰d	۳۳۵/۱۳hi

در هر ستون میانگین های با یک حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.

به گزارش Göksoy et al. (2004)، شاخص سطح برگ در مرحلهٔ شیری شدن دانه از ۱/۸۰ با تنها یک بار آبیاری در این مرحله به ۳/۰۸ با انجام آبیاری در سه مرحلهٔ غنچه‌دهی، گلدهی و شیری شدن دانه رسید. به اظهار Karam et al. (2007)، شاخص سطح برگ با اعمال کم‌آبیاری در اوایل گلدهی، اواسط گلدهی و تشکیل دانه به‌ترتیب ۲۰، ۱۳ و ۹ درصد نسبت به آبیاری کامل کاهش پیدا کرد. این نتایج مطابق با نتایج به‌دست آمده توسط Connor et al. (1985)، Connor & Jones (1985)، Cox & Jollief (1986) و Sadras et al. (1991) می‌باشد.

سرعت رشد محصول

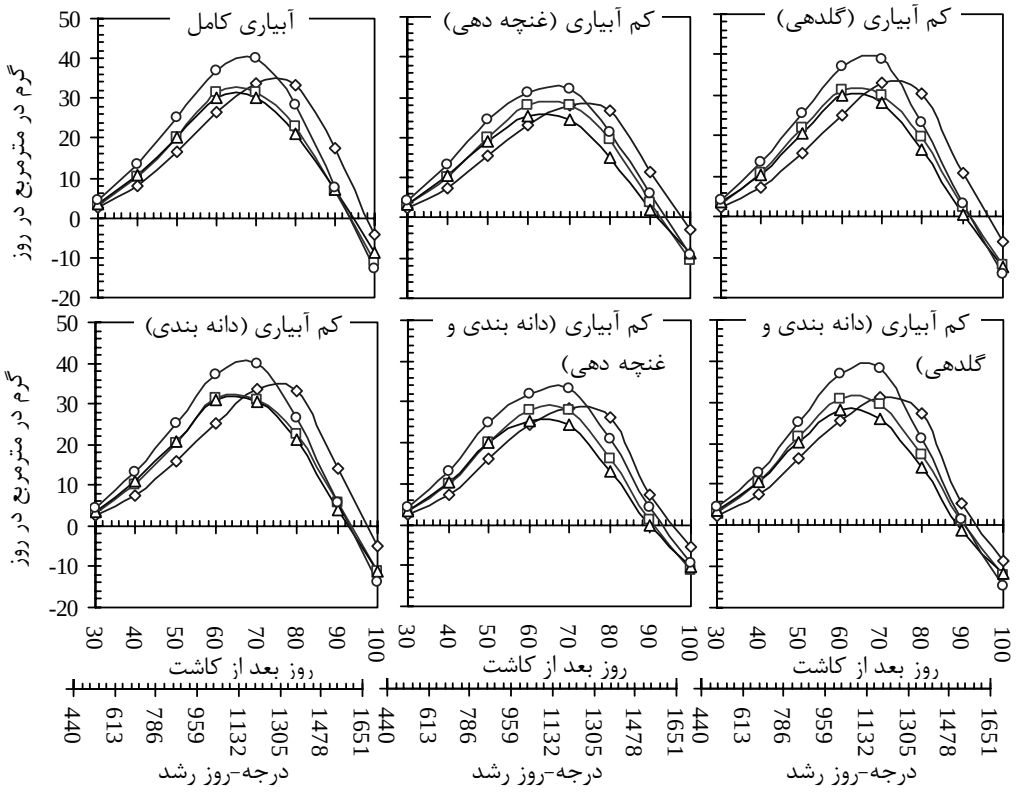
سرعت رشد محصول شاخصی از قابلیت تولید برای گیاهانی که در داخل یک جامعهٔ گیاهی رشد می‌کنند می‌باشد (Hunt, 1990). این شاخص نمایانگر میزان تجمع مادهٔ خشک گیاهان در یک فاصلهٔ زمانی مشخص در واحد سطح خاک است (Gardner et al., 1985) و مقدار آن زمانی که شاخص سطح برگ درحد مطلوب است بیشترین مقدار بوده و سپس با سایه‌اندازی و پیری برگ‌ها کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود حداکثر سرعت رشد محصول (CGR_{max}) در زمان گلدهی و منطبق بر حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max}) می‌باشد.

با توجه به نتایج جدول ۱، بین ارقام، سطوح آبیاری و اثرات متقابل آن‌ها در ارتباط با حداکثر سرعت رشد محصول اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود

داشت. رقم یوروفلور با آبیاری کامل (۴۰/۰۷ گرم در مترمربع در روز)، سپس با عدم آبیاری در مرحلهٔ دانه‌بندی (۳۹/۹۰ گرم در مترمربع در روز)، پس از آن با عدم آبیاری در مرحلهٔ گلدهی (۳۸/۷۰) و عدم آبیاری در مراحل گلدهی و دانه‌بندی (۳۸/۲۰ گرم در مترمربع در روز) به‌ترتیب از بیشترین مقدار حداکثر سرعت رشد محصول برخوردار بودند (جدول ۲). کمترین مقدار نیز متعلق به رقم آلیسون با عدم آبیاری در مرحلهٔ غنچه‌دهی و عدم آبیاری در مراحل غنچه‌دهی و دانه‌بندی (۲۶/۰۰ گرم در مترمربع در روز) بود. مطابق نتایج قبل در مورد LAI_{max}، اعمال کم‌آبیاری در مرحلهٔ غنچه‌دهی دارای تأثیر منفی بر CGR_{max} می‌باشد. به گزارش Karam et al. (2007)، کمترین سرعت رشد محصول را کم‌آبیاری در اوایل گلدهی و سپس کم‌آبیاری در اواسط گلدهی داشته و کم‌آبیاری در اوایل تشکیل دانه تأثیر معنی‌داری در کاهش سرعت رشد محصول نداشت.

در پایان مرحلهٔ گلدهی سرعت رشد محصول رو به کاهش گذاشت. در این رابطه Andrade (1995) نشان داد که سرعت رشد آفتابگردان تا زمان گلدهی افزایش یافته و پس از آن در اثر پیری سریع برگ‌ها کاهش می‌یابد. شیب کاهش سرعت رشد محصول پس از گلدهی مانند آنچه در مورد شاخص سطح برگ ملاحظه شد، در تیمارهای کم‌آبیاری بویژه دو بار عدم آبیاری بیشتر بود.

سرعت رشد محصول قبل از رسیدگی فیزیولوژیک در همه تیمارها به صفر رسیده و منفی شد. منفی شدن سرعت رشد محصول در مراحل آخر رشد به علت کاهش تولید مادهٔ خشک در اثر ریزش برگ‌ها می‌باشد (Sindagi & Virupakshappa, 1990). با توجه به اینکه اعمال کم‌آبیاری موجب رسیدگی زودتر محصول شده، سرعت رشد محصول در این تیمارها زودتر به حداقل مقدار خود رسید. این موضوع به‌خصوص با عدم آبیاری مراحل گلدهی و دانه‌بندی دیده شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده در مورد شاخص سطح برگ می‌توان بیان داشت که تنش کمبود آب عمدتاً با اثر بر روی توسعه و دوام سطح برگ، سرعت رشد محصول را تحت تأثیر قرار داده که با نتایج به‌دست آمده توسط Turner & Sobrado (1987)، Karam et al. (2007) و Karimzadeh-asl et al. (2004) مطابقت دارد.



شکل ۲- روند تغییرات سرعت رشد محصول در اندام هوایی (گرم در مترمربع در روز) با روزهای بعد از کاشت و درجه-روز رشد در تیمارهای مختلف آبیاری و ارقام آفتابگردان (آذرگل: —◇—، آلستار: —□—، آلیسون: —△— و یوروفلور: —○—).

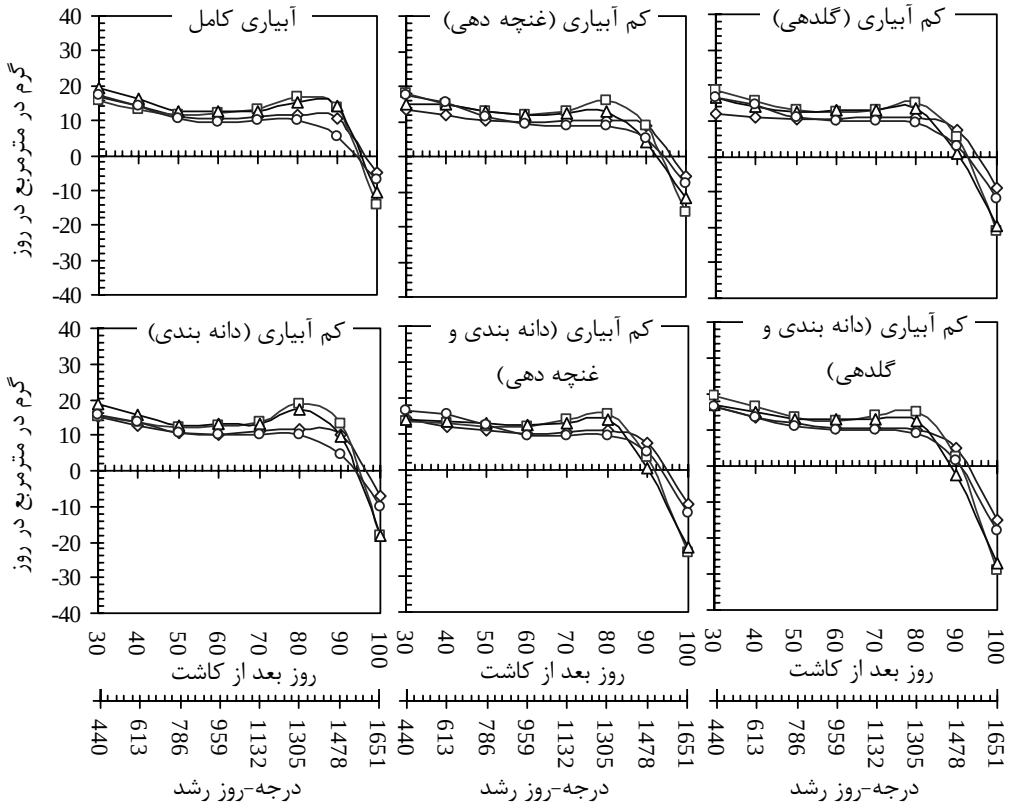
سرعت فتوسنتز خالص

سرعت جذب یا فتوسنتز خالص معیاری از مدل کارآیی فتوسنتزی برگ‌ها در یک جامعهٔ گیاهی است که به صورت سرعت تجمع مادهٔ خشک در واحد سطح برگ در زمان معین بیان می‌گردد و با افزایش شاخص سطح برگ، در سایه قرار گرفتن برگ‌ها و کاهش کارآیی برگ این شاخص با گذشت زمان کاهش می‌یابد (Gardner et al., 1985).

در بررسی سرعت فتوسنتز خالص، همان‌گونه که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود این شاخص دارای روند کاهشی است. با توجه به روند افزایش شاخص سطح برگ، افت سرعت فتوسنتز خالص در اوایل رشد، بیشتر به علت در سایه قرار گرفتن برگ‌ها قابل توجیه است. شیب کاهش سرعت فتوسنتز خالص بعد از گلدهی، با اعمال کم‌آبیاری (به‌جز کم‌آبیاری در مرحلهٔ غنچه‌دهی) افزایش یافت که نشان‌دهندهٔ کاهش بیشتر سرعت جذب و تحلیل خالص در زمان تنش می‌باشد. به‌طوری که بیشترین کاهش برای ارقام آلیسون، آلستار، یوروفلور و آذرگل با عدم آبیاری در مراحل گلدهی و دانه‌بندی به ترتیب با ۴۵، ۳۴، ۲۰ و ۱۵ درصد و پس از آن با عدم آبیاری در مرحلهٔ گلدهی به ترتیب با ۳۴، ۲۴، ۱۵ و ۱۲ درصد نسبت به آبیاری کامل اتفاق افتاد. این امر نشان دهندهٔ تأثیر بیشتر کم‌آبیاری در این مراحل و بویژه در زمان گلدهی بر کاهش سرعت فتوسنتز خالص است. این نتایج با گزارش Karimzadeh-asl et al. (2004) مبنی بر افزایش شیب افت سرعت فتوسنتز خالص تحت تأثیر کمبود آب، مطابقت دارد. در این خصوص Wise et al. (1990) علت کاهش بیشتر سرعت فتوسنتز خالص در اثر کمبود آب را عدم هدایت روزنه‌ای به دلیل بسته شدن روزنه‌ها دانستند.

سرعت رشد نسبی

سرعت رشد نسبی بیان کنندهٔ وزن خشک اضافه شده به وزن اولیه در یک فاصلهٔ زمانی معین است که با گذشت زمان و به دلیل افزایش سایه‌اندازی و افزایش قسمت‌های ساختمانی و غیرمؤثر در فتوسنتز در حال کاهش می‌باشد. این شاخص به‌عنوان معیار اصلی و اساسی تولید مادهٔ خشک به‌کار می‌رود و می‌توان آن را برای مقایسهٔ کارآیی گونه‌ها یا اثرات محیطی در ساختن مادهٔ خشک در شرایط معین به‌کار برد (Rana et al., 1990).



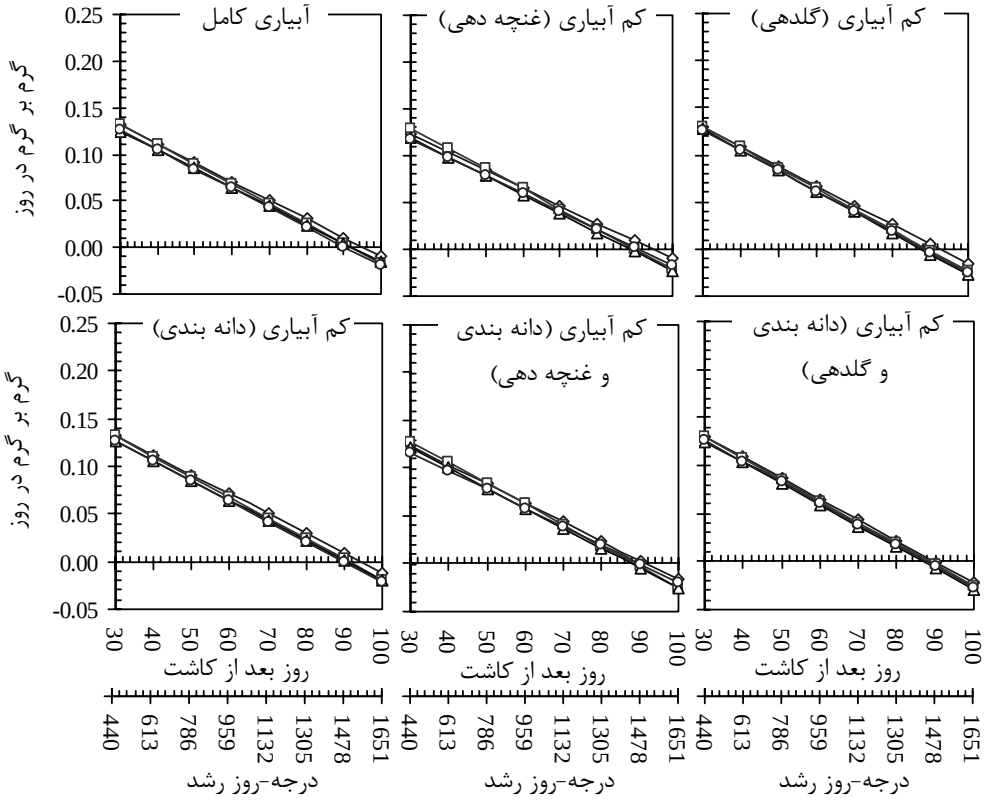
شکل ۳- روند تغییرات سرعت جذب خالص در اندام هوایی (گرم در مترمربع در روز) با روزهای بعد از کاشت و درجه-روز رشد در تیمارهای مختلف آبیاری و ارقام آفتابگردان (آذرگل: —◇—، آلستار: —□—، آلیسون: —△— و یوروفلور: —○—).

مطابق شکل ۴، سرعت رشد نسبی دارای روند کاهشی است که شیب آن مشابه آنچه در خصوص سرعت جذب خالص ملاحظه شد، با اعمال کم‌آبیاری تندتر شده است. بیشترین کاهش شیب برای ارقام آلیسون، آذرگل، یوروفلور و آلستار با عدم آبیاری در مراحل گلدهی و دانه‌بندی به ترتیب ۱۰، ۷، ۵ و ۴ درصد نسبت به آبیاری کامل بود. در این خصوص نقش بیشتر کم‌آبیاری در زمان گلدهی بر کاهش سرعت رشد نسبی مشهود است. به‌طوری که با اعمال کم‌آبیاری در این مرحله، شیب سرعت رشد نسبی در رقم آلیسون ۸ درصد و در سایر ارقام ۳ درصد نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت. گزارش Karimzadeh-asl et al. (2004) حاکی از افزایش شیب سرعت رشد نسبی آفتابگردان بر اثر کمبود آب بوده و به اظهار Gardner et al. (1985) تنش کمبود آب سبب پیری زودرس گیاه می‌شود. این مکانیسم برای فرار از خشکی است که گیاه می‌خواهد هر چه سریعتر دورهٔ رشد خود را تمام کند. در اواخر فصل رشد به علت افزایش برگ‌های پیر سرعت رشد نسبی در همه تیمارها منفی شده است.

تجمع مادهٔ خشک

با توجه به شکل ۵، روند تجمع مادهٔ خشک در ابتدای مراحل رشد کند بوده سپس به سرعت افزایش می‌یابد و در نهایت ثابت شده و رو به کاهش می‌گذارد (Gardner et al., 1985).

بین ارقام و سطوح آبیاری در خصوص حداکثر تجمع مادهٔ خشک اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد و اثرات متقابل آن‌ها اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد وجود داشت (جدول ۱). بیشترین مقدار تجمع مادهٔ خشک با ۱۵۳۷/۹ گرم در مترمربع از رقم یوروفلور با آبیاری کامل و سپس با ۱۴۹۶/۵ گرم در مترمربع از همین رقم با کم‌آبیاری در مرحلهٔ دانه‌بندی به‌دست آمد. پس از آن رقم آلستار با آبیاری کامل (۱۳۹۹/۸ گرم در مترمربع) قرار داشت. رقم آلستار با کم‌آبیاری در مرحلهٔ دانه‌بندی، رقم یوروفلور با کم‌آبیاری در مرحلهٔ گلدهی و ارقام آلیسون و آذرگل با آبیاری کامل به‌ترتیب با ۱۳۴۸/۸، ۱۳۴۷/۶، ۱۳۳۶/۱ و ۱۳۲۵/۰ گرم در مترمربع، بدون



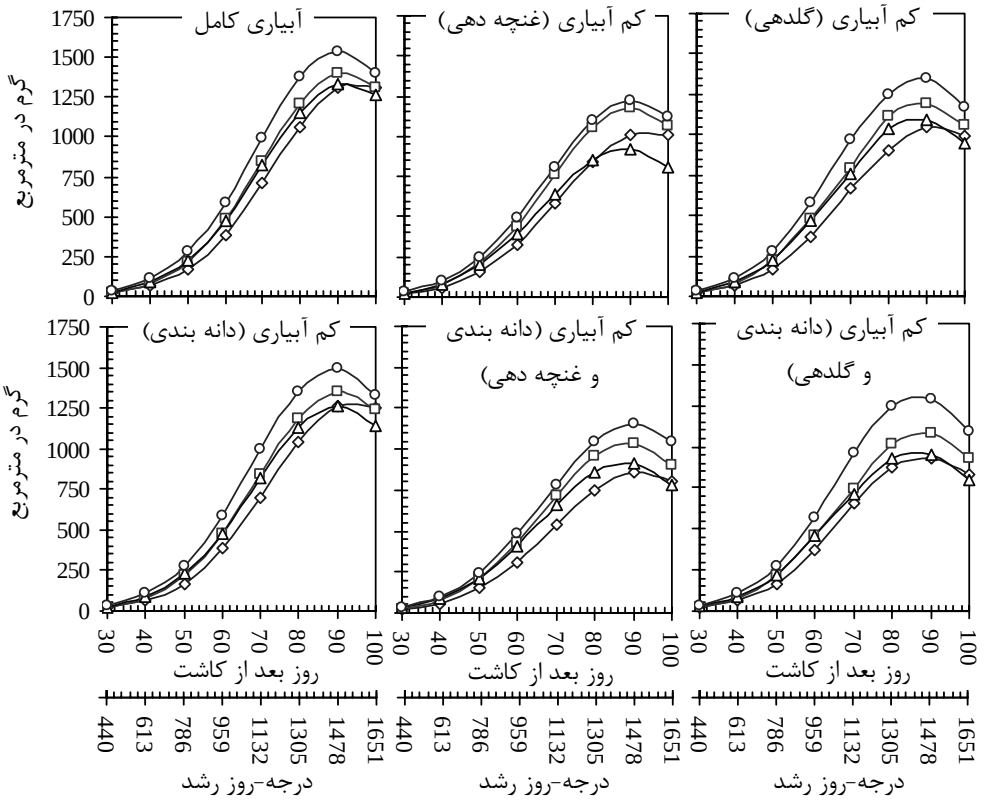
شکل ۴- روند تغییرات سرعت رشد نسبی در اندام هوایی (گرم بر گرم در روز) با روزهای بعد از کاشت و درجه-روز رشد در تیمارهای مختلف آبیاری و ارقام آفتابگردان (آذرگل: —◇—، آلستار: —□—، آلیسون: —△— و یوروفلور: —○—).

اختلاف معنی‌داری در ردهٔ بعد جای گرفتند. کمترین مقدار تجمع مادهٔ خشک با ۸۵۷/۲ گرم در مترمربع از رقم آذرگل با دو بار عدم آبیاری در مراحل غنچه‌دهی و دانه‌بندی و پس از آن با ۹۰۹/۵ و ۹۱۵/۶ گرم در مترمربع، بدون اختلاف معنی‌داری از رقم آلیسون به ترتیب با دو بار عدم آبیاری در مراحل غنچه‌دهی و دانه‌بندی و یک‌بار عدم آبیاری در مرحلهٔ غنچه‌دهی حاصل شد. این نتایج با نتایج قبلی در مورد شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول مطابقت دارد. چنین استنباط می‌شود که تنش بوجود آمده با کاهش شاخص سطح برگ موجب کاهش سرعت رشد محصول و سرانجام کاهش تجمع مادهٔ خشک می‌شود. در این ارتباط کم‌آبیاری در مرحلهٔ غنچه‌دهی دارای بیشترین اثر منفی بر عوامل یاد شده است.

به بیان Karam et al. (2007)، روند تجمع مادهٔ خشک با آبیاری کامل تا زمان زرد شدن طبق آفتابگردان افزایشی است و پس از آن به علت ریزش و حذف برگ‌ها مقداری کاهش می‌یابد. آن‌ها گزارش کردند که با اعمال کم‌آبیاری در اوایل و اواسط گلدهی تجمع مادهٔ خشک کاهش یافت در حالی‌که کم‌آبیاری در اوایل تشکیل دانه تأثیر معنی‌داری در کاهش تجمع مادهٔ خشک نداشت. همچنین Turner & Sobrado (1987) نشان دادند کمبود آب در آفتابگردان باعث کاهش تجمع مادهٔ خشک و کند شدن روند رشد می‌شود.

عملکرد بیولوژیک

بین سطوح آبیاری و ارقام از نظر عملکرد بیولوژیک اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود داشت (جدول۱). تیمار آبیاری کامل با ۱۱۶۸/۱۷ گرم در مترمربع و پس از آن عدم آبیاری در مرحلهٔ دانه‌بندی با ۱۰۷۸/۴۶ گرم در مترمربع دارای بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک بودند. در بین ارقام آفتابگردان، رقم یوروفلور با ۱۰۱۲/۷۱ گرم در مترمربع از بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک برخوردار بود. کمترین مقدار از تیمارهای دو بار عدم آبیاری در مراحل غنچه‌دهی و دانه‌بندی و مراحل گلدهی و دانه‌بندی به‌ترتیب با ۷۷۶/۰۶ و ۷۶۱/۹۰ گرم در مترمربع و رقم آلیسون با ۸۱۹/۱۸ گرم در مترمربع به‌دست آمد (جدول ۳).



شکل ۵- روند تغییرات تجمع مادهٔ خشک در اندام هوایی (گرم در مترمربع) با روزهای بعد از کاشت و درجه-روز رشد در تیمارهای مختلف آبیاری و ارقام آفتابگردان (آذرگل: —◇—، آلستار: —□—، آلیسون: —△— و یوروفلور: —○—).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی صفات عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در آفتابگردان

تیمار		عملکرد بیولوژیک (گرم در مترمربع)	شاخص برداشت (درصد)
آبیاری			
	آبیاری کامل	۱۱۶۸/۱۷a	۴۲a
	کم‌آبیاری در مرحلهٔ غنچه‌دهی	۸۹۰/۸۵c	۴۰b
	کم‌آبیاری در مرحلهٔ گلدهی	۸۷۷/۸۹c	۳۸c
	کم‌آبیاری در مرحلهٔ دانه‌بندی	۱۰۷۸/۴۶b	۴۰b
	کم‌آبیاری در مراحل غنچه‌دهی و دانه‌بندی	۷۷۶/۰۶d	۳۸c
	کم‌آبیاری در مراحل گلدهی و دانه‌بندی	۷۶۱/۹۰d	۳۶c
رقم			
	آذرگل	۹۱۹/۰۷b	۳۸b
	آلستار	۹۵۰/۴۸b	۳۸b
	آلیسون	۸۱۹/۱۸c	۳۹ab
	یوروفلور	۱۰۱۲/۷۱a	۴۰a

در هر ستون میانگین های با یک حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.

به گزارش Turner & Rawson (1982) با افزایش تعداد آبیاری و Göksoy et al. (2004) با افزایش تعداد و مقدار آب آبیاری در مراحل رشد زایشی آفتابگردان، عملکرد مادهٔ خشک افزایش یافت. نتایج مشابه توسط Unger (1982) به‌دست آمد. همچنین Karam et al. (2007) کمترین تجمع نهایی مادهٔ خشک در زمان برداشت را با کم‌آبیاری در اوایل گلدهی و سپس اواسط گلدهی عنوان نموده و کم‌آبیاری در اوایل تشکیل دانه را بر این صفت بی تأثیر دانستند. بیشتر بودن عملکرد بیولوژیک با آبیاری کامل و کم‌آبیاری در مرحلهٔ دانه‌بندی به‌علت بیشتر بودن شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول بوده و کمتر بودن آن در تیمارهای دو بار عدم آبیاری به‌دلیل کاهش بیشتر شاخص‌های مذکور است.

عملکرد دانه یا اقتصادی

با توجه به جدول ۱، بین ارقام مورد بررسی و سطوح مختلف آبیاری در سطح ۱ درصد و اثرات متقابل آنها در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. بیشترین عملکرد دانه با آبیاری کامل و از ارقام یوروفلور، آلستار، آلیسون و آذرگل به ترتیب با ۵۰۰/۸۱، ۴۸۴/۲۸، ۴۸۱/۱۸، و ۴۷۵/۳۴ گرم در مترمربع، همچنین رقم یوروفلور با عدم آبیاری در مرحلهٔ دانه‌بندی با ۴۶۳/۸۳ گرم در مترمربع به‌دست آمد. کمترین عملکرد دانه با دو بار عدم آبیاری در مراحل گلدهی و دانه‌بندی از ارقام آذرگل و آلیسون به ترتیب با ۲۲۹/۰۹ و ۲۴۱/۴۱ گرم در مترمربع و با دو بار عدم آبیاری در مراحل غنچه‌دهی و دانه‌بندی از رقم آلیسون با ۲۴۸/۸۹ گرم در مترمربع حاصل شد (جدول ۲).

این نتایج با داده‌های حاصل از شاخص‌های رشد قابل توجیه است. به‌طوری که تیمارهای دارای عملکرد اقتصادی بیشتر از شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، تجمع مادهٔ خشک و عملکرد بیولوژیک بیشتری نیز برخوردار بودند. همچنین کم بودن عملکرد اقتصادی بویژه در تیمارهای دو بار عدم آبیاری را می‌توان در ارتباط با کمتر بودن شاخص‌های مذکور و انتقال کمتر مواد به دانه دانست.

در همین رابطه Göksoy et al. (2004) و نیز Karam et al. (2007) مرحلهٔ گلدهی را مرحلهٔ حساس رشد آفتابگردان به کمبود آب دانسته‌اند. به گزارش Göksoy et al. (2004)، بیشترین عملکرد دانه از آبیاری کامل، آبیاری محدود در مرحلهٔ غنچه‌دهی و ۶۰ درصد کم‌آبیاری در مرحلهٔ شیری شدن دانه به‌دست آمد. آنها گزارش کردند که عملکرد دانه با کاهش مقدار و تعداد آبیاری کاهش یافت. به‌طوری که کمترین عملکرد دانه از تیمار بدون آبیاری به‌دست آمد و کمبود آب در زمان گلدهی به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه را کاهش داد.

در گزارش Karam et al. (2007)، عملکرد دانه با کم‌آبیاری در اوایل و اواسط گلدهی ۲۵ و ۱۴ درصد

کاهش یافت. اما با کم‌آبیاری در اوایل تشکیل دانه کاهشی در این صفت دیده نشد. آن‌ها افزایش نسبت مواد پرورده تخصیص یافته برای طبق را علت عدم کاهش عملکرد دانه با اعمال کم‌آبیاری در اوایل تشکیل دانه تا زمان رسیدگی دانستند. در تأیید این موضوع می‌توان به نتایج تحقیقات Cox & Jollief (1986)، Connor & Sadras (1992)، D'Andria et al. (1995) و Flénet et al. (1994) اشاره نمود.

شاخص برداشت

شاخص برداشت (ضریب کارآیی یا ضریب جابجایی) معیاری از کارآیی انتقال مواد فتوسنتزی تولید شده در گیاه به دانه است (Gardner et al., 1985). در مطالعهٔ شاخص برداشت، بین ارقام مختلف و سطوح مختلف آبیاری در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۱).

بیشترین شاخص برداشت با ۴۲ درصد از آبیاری کامل به‌دست آمد. با اعمال کم‌آبیاری شاخص برداشت کاهش یافت. کمترین کاهش با عدم آبیاری در مرحلهٔ غنچه‌دهی و عدم آبیاری در مرحلهٔ دانه‌بندی با شاخص برداشت ۴۰ درصد مشاهده شد. بیشترین کاهش با عدم آبیاری در مرحلهٔ گلدهی با شاخص برداشت ۳۸ درصد و همچنین دو بار عدم آبیاری در مراحل غنچه‌دهی و دانه‌بندی و مراحل گلدهی و دانه‌بندی به ترتیب با شاخص برداشت ۳۸ و ۳۶ درصد اتفاق افتاد. در بین ارقام آفتابگردان، شاخص برداشت بیشتر مربوط به یوروفلور و آلیسون به ترتیب با ۴۰ و ۳۹ درصد بود (جدول ۳).

علت کاهش شاخص برداشت، کاهش بیشتر عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش کمبود آب بویژه در زمان گلدهی است. کاهش شاخص برداشت بر اثر تنش کمبود آب در مطالعات D'Andria et al. (1995)، Sadras et al. (1993)، Richards et al. (2002)، Soriano et al. (2004) و Razi & Asad (1999) گزارش شد. ولی Karam et al. (2007) تغییر معنی‌داری در این خصوص مشاهده نکردند.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج نشان داد که تنش کمبود آب ناشی از اعمال کم‌آبیاری در مراحل رشد زایشی موجب کاهش شاخص‌های رشد، عملکرد و شاخص برداشت در چهار رقم آفتابگردان شده است. ارقام یوروفلور و آلیسون از بیشترین و کمترین مقدار حداکثر شاخص سطح برگ در همه سطوح آبیاری برخوردار بودند. آبیاری کامل دارای بیشترین مقدار و کم‌آبیاری در مرحلهٔ غنچه‌دهی و دو بار عدم آبیاری در مراحل غنچه‌دهی و دانه‌بندی دارای کمترین مقدار حداکثر شاخص سطح برگ در همه ارقام بود. همچنین با دو بار عدم آبیاری بویژه در مراحل گلدهی و دانه‌بندی، شاخص سطح برگ پس از گلدهی به علت پیری زودرس و ریزش برگ‌های پایینی به سرعت یافت.

رقم یوروفلور به ترتیب با آبیاری کامل، عدم آبیاری مرحلهٔ دانه‌بندی، عدم آبیاری مرحلهٔ گلدهی همچنین عدم آبیاری مراحل گلدهی و دانه‌بندی از بیشترین حداکثر سرعت رشد محصول برخوردار بود. کمترین مقدار متعلق به رقم آلیسون با عدم آبیاری مرحلهٔ غنچه‌دهی و عدم آبیاری مراحل غنچه‌دهی و دانه‌بندی بود. نتایج مشابه در مورد شاخص سطح برگ نشان داد تنش کمبود آب با تأثیر بر توسعه برگ، سرعت رشد محصول را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. بیشترین مقدار تجمع مادهٔ خشک از رقم یوروفلور با آبیاری کامل و سپس با کم‌آبیاری مرحلهٔ دانه‌بندی به‌دست آمد. کمترین مقدار تجمع مادهٔ خشک از رقم آذرگل با دو بار عدم آبیاری در مراحل غنچه‌دهی و دانه‌بندی و پس از آن از رقم آلیسون با دو بار عدم آبیاری در مراحل غنچه‌دهی و دانه‌بندی و یک‌بار عدم آبیاری در مرحلهٔ غنچه‌دهی حاصل شد.

ارقام یوروفلور و آلیسون به ترتیب دارای بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک بودند. همچنین بیشترین عملکرد بیولوژیک از آبیاری کامل و کمترین آن به ترتیب از دو بار عدم آبیاری در مراحل غنچه‌دهی و دانه‌بندی و دو بار عدم آبیاری در مراحل گلدهی و دانه‌بندی به‌دست آمد. بیشترین عملکرد دانه از همهٔ ارقام با آبیاری کامل همچنین رقم یوروفلور با عدم آبیاری در مرحلهٔ دانه‌بندی به‌دست آمده و کمترین عملکرد دانه از تیمار دو بار عدم آبیاری در مراحل گلدهی و دانه‌بندی و ارقام آذرگل و آلیسون همچنین از تیمار دو بار عدم آبیاری در مراحل غنچه‌دهی و

دانه‌بندی و رقم آلیسون حاصل شد. با بروز تنش کمبود آب به دلیل کاهش بیشتر عملکرد اقتصادی نسبت به عملکرد بیولوژیک شاخص برداشت کاهش یافت. بیشترین شاخص برداشت متعلق به آبیاری کامل و کمترین شاخص برداشت مربوط به تیمارهای دو بار عدم آبیاری و تیمار کم‌آبیاری در مرحلهٔ گلدهی بود.

در مجموع کم‌آبیاری در مرحلهٔ دانه‌بندی دارای کمترین اثر منفی و دو بار عدم آبیاری بیشترین تأثیر سوء را بر شاخص‌های رشد و عملکرد آفتابگردان دارد. همچنین رقم یوروفلور بیشترین و رقم آلیسون کمترین رشد و عملکرد را در تمام شرایط آبیاری و در بین ارقام مورد بررسی داشتند.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی، مسئول مزرعهٔ پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا و کلیهٔ عزیزانی که در اجرای این طرح پژوهشی کمک نموده‌اند تقدیر و تشکر می‌گردد.

REFERENCES

1. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome, Italy. 300p.
2. Andrade, F. H. (1995). Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Research*, 41, 1–12.
3. Cirilo, A. G. & Andrade, F. H. (1994). Sowing date and maize productivity. I. Crop growth and dry matter partitioning. *Crop Science*, 34, 1039–1043.
4. Connor, D. J., Jones, T. R. & Palata, J. A. (1985). Response of sunflower to strategies of irrigation. I. Growth, yield and the efficiency of water use. *Field Crops Research*, 10, 15–36.
5. Connor, D. J. & Jones, T. R. (1985). Response of sunflower to strategies of irrigation. II. Morphological and physiological responses to water stress. *Field Crops Research*, 12, 91–103.
6. Connor, D. J. & Sadras, V. O. (1992). Physiology of yield expression in sunflower. *Field Crops Research*, 30, 333–389.
7. Cox, W. J. & Jollief, J. P. (1986). Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits. *Agronomy Journal*, 78, 226–230.
8. D'Andria, R., Chiaranda, F. Q., Magliulo, V. & Mori, M. (1995). Yield and soil water uptake of sunflower sown in spring and summer. *Agronomy Journal*, 87, 1122–1128.
9. Doorenbos, J. & Kassam, A. H. (1979). *Yield response to water*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. FAO, Rome, Italy. 181 p.
10. English, M. & Raja, S. N. (1996). Perspectives on deficit irrigation. *Agricaltural Water Management*, 32, 1–14.
11. English, M. J. (1990). Deficit irrigation. I. Analytical framework. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 116, 399–412.
12. Fageria, N. K. (1992). *Maximizing crops yields*. Marcel Dekker Inc., New York, USA. 288 p.
13. Flénet, F., Bouniols, A. & Fiorini, C. (1994). Sunflower response to timing of water stress application. *Agricaltural Mediteranian*, 124, 95–105.
14. Fereres, E., Gimenez, C. & Fernandez, J. M. (1986). Genetic variability in sunflower cultivars under drought I. Yield relationships. *Austuralian Journal of Agricaltural Science*, 37, 573–582.
15. Gardner, F. P., Pearce, R. B. & Mitchell, R. L. (1985). *Physiology of crop plants*. Iowa State University press, Ames, Iowa, USA. 478 p.
16. Göksoy, A. T., Demir, A. O., Turan, Z. M. & Dagustu, N. (2004). Responses of sunflower *(Helianthus annuus L.)* to full and limited irrigation at different growth stages. *Field Crops Research*, 87, 167–178.
17. Sepaskhah, A. R. & Khajehabdollahi, M. H. (2005). Alternative furrow irrigation with different irrigation intervals for maize (*Zea mays* L.). *Plant Production Science*, 8, 592–600.
18. Hattendorf, M. J., Redelfs, M. S., Amos, B., Stone, L. R. & Gwin, R. E. (1988). Comparative water use characteristics of six row crops. *Agronomy Journal*, 80, 80–85.
19. Hunt, R. (1990). *Basic growth analysis*. Unwin Hyman Ltd. London. 112 p.
20. Karam, F., Lahoud, R., Masaad, R., Kabalan, R., Breidi, J., Chalita, C. & Rouphael, Y. (2007). Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. *Agricaltural Water Management*, 90, 213–223.
21. Karimzadeh-asl, Kh., Mazaheri, D. & Peyghambari, S. A. (2004). Effect of four irrigation intervals on seed yield and physiological indeces of three sunflower cultivars. *Biaban*, 9(2), 255–266. (In Farsi)

22. Kaya. Y., Baltensperger, D., Nelson, L. & Miller, J. (2004). Maturity growing in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Helia*, 40, 257–270.
23. Kirda, C., Moutonnet, P., Hera, C. & Nielsen, D. R. (1999). *Crop yield response to deficit irrigation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
24. Kirnak, H., Tas, I., Kaya, C. & Higgs, D. (2002). Effects of deficit irrigation on growth, yield, and fruit quality of eggplant under semi-arid conditions. *Australian Journal of Agricaltural Research*, 53, 1367–1373.
25. Mazaheri Laghab, H., Nouri, F. & Zare Abianeh, H. (2001). Effects of the reduction of drought stress using supplementary irrigation for sunflower (*Helianthus annuus*) in dry farming conditions. *Pajouhesh va Sazandegi*, 59, 81–86. (In Farsi)
26. Morizet, J. & Merrien. A. (1990). Principaux traits du comportement hydrique du tournesol. In: Karam, F., Lahoud, R., Masaad, R., Kabalan, R., Breidi, J., Chalita, C. & Rouphael, Y. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. *Agricaltural Water Management*, 90, 213–223.
27. Rana, M. A., Ayyubkhan, M., Yousuf, M. & Mirza, S. M. (1990). Evaluation of 26 sunflower cultivars at Islam Abad. Pakistan, *Helia*, 14, 19–28.
28. Rawson, H. M. (1979). Vertical wilting and photosynthesis, transpiration, and water use efficiency of sunflower leaves. *Australian Journal of Plant Physiology*, 6, 109–120.
29. Rawson, H. M. & Constable, G. A. (1980). Carbon production of sunflower cultivars in field and controlled environments. I. Photosynthesis and transpiration of leaves, stems and heads. *Australian Journal of Plant Physiology*, 7, 555–573.
30. Rawson, H. M. & Turner, N. C. (1982). Recovery from water stress in five sunflower cultivars. I. Effect of the timing of water application on leaf area and seed production. *Australian Journal of Plant Physiology*, 9, 437–449.
31. Razi, H. & Asad, M. T. (1999). Comparison of selection criteria in normal and limited irrigation in sunflower. *Euphytica*, 105, 83–90.
32. Richards, R. A., Rebetzke, G. J., Condon, A. G. & van Herwaarden, A. F. (2002). Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Science*, 42, 111–121.
33. Sadras, V. O., Connor, D. J. & Whitfield, D. M. (1993). Yield, yield components and source-sink relationships in water stressed sunflower. *Field Crops Research*, 31, 27–39.
34. Sadras, V. O., Whitfield, D. M. & Connor, D. J. (1991). Regulation of evapotranspiration, and its partitioning between transpiration and soil evaporation by sunflower crops: a comparison between hybrids of different stature. *Field Crops Research*, 28, 17–37.
35. SAS Institute Inc., (1996). SAS/STAT Software: Changes and Enhancements through Release 6. 11. SAS Institute Inc., Cary, NC, pp. 1–1104.
36. Sindagi, S. S. & Virupakshappa, K. (1990). *Sunflower*. Indian Council of Agriculture Research, New Dehli.
37. Soriano, M. A., Orgaz, F., Villalobos, F. J. & Federes, E. (2004). Efficiency of water use of early plantings of sunflower. *Europian Journal of Agronomy*, 21, 465–476.
38. Stone, L. R., Goodrum, D. E., Jaafar, M. N. & Khan, A. H. (2002). Rooting front and water depletion depths in grain sorghum and sunflower. *Agronomy Journal*, 93, 1105-1110.
39. Talha, M. & Osman, F. (1975). Effect of soil water stress on water economy and oil composition in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Agricaltural Science*, 84, 49–56.
40. Turner, N. C. & Rawson, H. M. (1982). Yield and harvest index of sunflower cultivars influence of duration and water stress. In: Proceedings of *the 10th international sunflower conference*. Australian Sunflower Association, Toowoomba, Australia, pp. 38–42.
41. Turner, N. C. & Sobrado, M. A. (1987). Photosynthesis dry mater accumulation and distribution in the wild sunflower and cultivated sunflower as influenced by water deficits. *Field Crops*, 44, 435-436.
42. Unger, P. W. (1982). Time and frequency of irrigation effects on sunflower production and water use. USDA Conservation and Production Research Laboratory. *Soil Sciennce Society of America Journal*, 46, 1072–1076.
43. Wise, R. R., Fredrik, J. R., Alm, D. M., Kramer, D. M., Hesketh, J. D., Corfth, A. R. & Ort, D. R. (1990). *Investigation of the limitation of photosynthesis induced by leaf water deficit in field grown sunflower*. Uir. of III inois Plant cell Environ. pp 923–931.