خصوصیات فیزیولوژیک پایدارکنندهٔ عملکرد دانهٔ آفتابگردان در شرایط آبیاری محدود

مهدی غفاری[1]، محمود تورچی[2]*، مصطفی ولیزاده[2]، محمد رضا شکیبا[2]

تاریخ دریافت: 91/10/9 تاریخ پذیرش: 93/10/8

1-استادیار ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوی

2- استاد گروه به نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشگاه تبریز

3-استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبه: Email: mtoorchi@yahoo.com

چکیده

در این بررسی پاسخ خصوصیات فیزیولوژیک آفتابگردان به قطع آبیاری در مرحله گلدهی در طی دو سال در شرایط آبیاری مطلوب و محدود بررسی گردید. خشکی بیشترین تأثیر را بر پتانسیل آب برگ، میزان پرولین، عملکرد دانه، سطح برگ و وزن خشک شاخه داشت. عملکرد دانه در اثر آبیاری محدود 40% کاهش یافت. تنش خشکی بر وزن خشک ریشه، نسبت شاخه به ریشه، شاخص برداشت، سطح مخصوص برگ، فلورسانس کلروفیل، شاخص کلروفیل و پتانسیل اسمزی تأثیرنداشت. همبستگی بین وزن خشک ریشه و شاخه، سطح برگ، شاخص کلروفیل، دمای برگ، محتوای پرولین، میزان رطوبت نسبی و فلورسانس کلروفیل با عملکرد دانه مشاهده شد. براساس میزان تغییر در میزان رطوبت نسبی، پرولین، سطح برگ، فلورسانس کلروفیل و عملکرد دانه از بین 16 لاین اینبرد دو لاین BGK-329 و RGK-21 به ترتیب به عنوان متحمل‌ترین و حساس‌ترین لاین‌های اینبرد شناسایی شدند. وزن خشک شاخه، دمای برگ و تنظیم اسمزی به ترتیب رابطهٔ رگرسیونی درجه دو و سه با عملکرد دانه داشتند. نتایج نشان داد که رشد آفتابگردان در شرایط محدودیت آب تابع تعادل بین وضعیت رطوبتی درون گیاه و سطح فتوسنتز کننده است که بسته به نوع ژنوتیپ از خصوصیات میزان پرولین، تنظیم اسمزی، فلورسانس کلروفیل، شاخص کلروفیل و دمای برگ متأثر می شود. مشارکت این اجزا در صفاتی مانند وزن خشک شاخه و ریشه و در نهایت عملکرد دانه منعکس شده و تعیین کنندهٔ میزان رشد عمومی گیاه، تحمل و پایداری تولید در شرایط محدودیت آب است.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنظیم اسمزی، شاخص کلروفیل، فلورسانس کلروفیل

Grain Yield Stabilizing Physiological Characteristics of Sunflower under Limited Irrigation Condition

Mehdi Ghaffari[1], Mahmoud Toorchi[2]*, Mostafa Valizadeh[2], Mohammad Reza Shakiba[3]

Received: December 29, 2012 Accepted: December 29, 2014
1-Assist. Prof., Agricultural and Natural Resource Research Station, Khoy, Iran.
2-Prof., Dept. of Plant Breeding and Biotechnology, University of Tabriz, Faculty of Agriculture, Tabriz, Iran
3- Prof., Dept. of Plant Ecophysiology, University of Tabriz, Iran.
*Corresponding Author: mtoorchi@yahoo.com

Abstract

Physiological response of sunflower to water withholding in flowering stage was evaluated under optimum and limited irrigation in 2 years. The highest effect of drought was imposed on leaf water potential, proline content, seed yield, leaf area and shoot dry weight. Seed yield reduced as much as 40% with limited irrigation. Seed yield was reduced 40% by drought stress. Drought had no effect on root dry weight, shoot to root ratio, harvest index, specific leaf area, chlorophyll fluorescence, SPAD value and osmotic potential. There were significant correlation of shoot and root dry weight, leaf area, SPAD value, leaf temperature, proline content, relative water content and chlorophyll fluorescence with seed yield. Among the 16 inbred lines and according to the changes in proline and relative water content, leaf area, chlorophyll fluorescence and seed yield, BGK-329 and RGK-21 were identified as more tolerant and sensitive lines, respectively. Shoot dry weight and leaf temperature had a quadratic while osmotic adjustment had a cubic relationship with seed yield. The results indicated that under limited irrigation, sunflower growth is dependent to balance between plant water statues and photosynthetic area which according to the genotype is affected by proline content, osmotic adjustment, chlorophyll fluorescence, SPAD value and leaf temperature. Contribution of these components is reflected in characteristics like that shoot and root dry weight and finally in seed yield which determines general growth, drought tolerance and stability of yield under limited water condition.

Keywords: Chlorophyll Florescence, Osmotic Adjustment, Proline, SPAD Value

مقدمه

به دلیل دشواری‌های اندازه‌گیری، خصوصیات فیزیولوژیک بخصوص در آفتابگردان و در شرایط تنش خشکی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. از سوی دیگر ظرفیت استفاده از صفات فیزیولوژیک برای افزایش عملکرد به حد اشباع رسیده و لزوم معرفی

معیارهای نو برای استفاده در برنامه‌های غربالگری وجود دارد. اهمیت خصوصیات فیزیولوژیک در تشکیل عملکرد دانه از دیرباز مشخص بوده است ولی به دلیل پیچیده بودن اندازه گیری، کارایی این خصوصیات در برنامه های به نژادی کم بوده است. در سالهای اخیر با توجه به معرفی ابزارهای جدید، شناسایی خصوصیات فیزیولوژیک مرتبط با عملکرد دانه که به سهولت قابل اندازه گیری باشند می تواند با افزایش پتانسیل عملکرد به تثبیت عملکرد دانه در شرایط خشک کمک کند.

خشکی اصلی ترین تنش غیر زیستی در یک سوم اراضی دنیا و یک چهارم اراضی قابل آبیاری است (سینگ 2000). با پدیده گرم شدن کره زمین اثرات خشکی در آینده بیشتر نیز خواهد شد. بر اساس پیش بینی‌های صورت گرفته تا سال 2050 خشکی به همراه شوری در بیش از 50% اراضی زراعی دنیا عامل اصلی محدود کنندهٔ تولیدات کشاورزی خواهد شد (اشرف و وو 1994).خشکی عامل اصلی کاهش عملکرد آفتابگردان است. میزان تأثیر تنش خشکی بستگی به مرحلهٔ نموی دارد و بیشترین کاهش عملکرد زمانی است که تنش خشکی در فاصلهٔ گلدهی تا پرشدن دانه اتفاق می افتد (اسکوریچ 2009). افزایش طول ریشه، نسبت ریشه به شاخه و کاهش طول ریشه های جانبی از پاسخ های سازگاری آفتابگردان در برابر تنش خشکی است (رئوف و همکاران 2008). خشکی باعث کاهش رشد برگ، سطح برگ، شاخص برداشت، میزان رطوبت نسبی (RWC) برگ، پتانسیل آب برگ (LWP) وعملکرد مطلوب کوانتوم در آفتابگردان می شود ولی میزان کاهش این خصوصیات در ژنوتیپ‌های متحمل کمتر از حساس ذکر شده است (فرز و همکاران 1986، هیراساوا و همکاران1995، اونیایار و همکاران 2004، میاشیتا و همکاران2004 و حسین و همکاران2010). جرم و همکاران (2005) تنوع در عملکرد مطلوب کوانتوم در ارقام آفتابگردان تحت شرایط تنش خشکی را اعلام کرده و آن را معیاری مناسب برای ارزیابی تغییرات در ظرفیت فتوسنتزی در شرایط تنش دانستند، با این حال پانکویچ و همکاران (1999) عدم تأثیر پذیری عملکرد مطلوب کوانتوم از تنش خشکی را گزارش کردند. بر اساس نتایج رئوف و همکاران (2009) لاین‌های متحمل آفتابگردان در مقایسه با لاین‌های حساس در شرایط تنش خشکی تنظیم اسمزی بالاتری داشتند. برتری ژنوتیپ‌های با تنظیم اسمزی بالا در شرایط خشک به دلیل شاخص برداشت بالاتر ذکر شده است (رئوف و صداقت 2008).ارزش تنظیم اسمزی در حفظ عملکرد آفتابگردان در شرایط تنش خشکی ثابت شده است و این به خاطر نقش آن در حفظ تورم سلولی است (رئوف 2008). مولکولهای مختلفی از جمله پرولیندر تنظیم اسمزی آفتابگردان دخالت دارند (سچین و همکاران 2010).

به دلیل مشکلات اندازه‌گیری خصوصیات فیزیولوژیک تا کنون بررسی‌های صورت گرفته در زمینه پاسخ آفتابگردان به تنش خشکی اغلب صفات مورفولوژیک را شامل شده است. در این بررسی پاسخ خصوصیات مهم فیزیولوژیک به قطع آبیاری در مرحله گلدهی و نقش آنها در تشکیل عملکرد بررسی شد.

مواد و روش ها

تعداد 16 لاین اینبرد آفتابگردان طی دو سال در دو آزمایش جداگانهٔ آبیاری مطلوب و محدود در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی هر کدام با 9 تکرار در مزرعهٔ دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تبریز از نظر خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک ارزیابی شدند. کشت در زیر محافظ باران[1]و در لوله های پی وی سی با قطر 20 سانتیمتر و طول یک متر صورت گرفت. لوله های آزمایش با مخلوطی از خاک مزرعه، کود دامی و ماسه هر کدام با نسبت 1/3 تا 20 سانتیمتری از سطح بالایی لوله ها پر شد. بعد از کشت آبیاری به طور منظم در هر

[1]-Rainout Shelter

هفته دو بار تا زمان شروع گلدهی صورت گرفت. تنش خشکی از طریق قطع آبیاری در طی مدت گلدهی یعنی در مراحل R4-R6 (اشنایتر و میلر 1981) اعمال شد.اندازه گیری خصوصیات مختلف در زمان پایان مرحله تنش (R6) صورت گرفت. برای اندازه‌گیری RWC سه دیسک به قطر2 سانتیمتر از آخرین برگ توسعه یافته برش یافت و بعد از توزین وزن تر داخل فویل آلومینومی قرارگرفته و درون آب غوطه ور شد. دیسک های برگی24 ساعت در دمای 4 درجه سانتیگراد در شرایط تاریکی در آب غوطه ور شده و سپس وزن تورم به دست آمد. دیسکهای مذکور به مدت 24 ساعت در آون با دمای 72 درجهٔ سانتیگراد خشک و توزین شدند. میزان رطوبت نسبی از تقسیم تفاضل وزن تر و خشک بر تفاضل وزن تورم کامل و خشک حاصل شد.سطح مخصوص برگ از تقسیم سطح دیسک ها بر وزن تر آنها بدست آمد.وزن خشک ریشه ها به دنبال شتشو و 48 ساعت خشک کردن در آون با دمای 72 درجهٔ سانتیگراد اندازه گیری شد. پتانسیل آب برگ با استفاده از محفظه فشار بلافاصله در پایان مرحلهٔ تنش خشکی و قبل از آبیاری مجدد بر روی آخرین برگ توسعه یافته دوم اندازه گیری شد. پتانسیل اسمزی با استفاده از اسمومتر (مدل OSMOMAT 010) اندازه گیری و توان تنظیم اسمزی از تفاضل پتانسیل اسمزی در دو شرایط آبیاری مطلوب و محدود برای هر لاین محاسبه شد. میزان پرولین به روش بتیس و همکاران (1973) اندازه گیری شد. میزان کلروفیل با استفاده از کلروفیل متر (Minolta) SPAD-502 بر روی آخرین برگ توسعه یافته اندازه گیری شد. فلورسانس کلروفیل با استفاده از فلورومتر[1] مدل (OS-130 Opti Science) و دمای برگ با استفاده از دماسنج مادون قرمز در آخرین زمان اعمال تنش و بر روی سه نمونه برگی در هر بوته اندازه گیری شد. برای داده های حاصل تجزیه واریانس مرکب برای دو سال صورت گرفت و میانگین داده های دو آزمایش با آزمون t مقایسه شد. از نرم افزارهای MSTAT-C، SPSS18 و Excel برای انجام محاسبات آماری و رسم نمودار ها استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب، تنش خشکی بر همه خصوصیات اندازه گیری شده به غیر از سطح مخصوص برگ و شاخص کلروفیل تأثیر معنی‌دار داشت (جدول 1). بیشترین تأثیر خشکی بر پتانسیل آب برگ، میزان پرولین، عملکرد دانه، سطح برگ و وزن خشک شاخه وارد شد (جدول 2). رئوف و همکاران (2009) نیز کاهش پتانسیل آب برگ آفتابگردان در اثر تنش خشکی را گزارش کردند. براساس نتایج کوکس و جولیف (1987) با کاهش پتانسیل آب برگ آفتابگردان در شرایط تنش خشکی میزان تبادل کربن و هدایت روزنه‌ای کاهش یافته و محدودیت روزنه‌ای به عنوان عامل اصلی کاهش فتوسنتز و در نهایت عملکرد دانه مطرح می شود. همبستگی منفی پتانسیل آب برگ با عملکرد دانه این موضوع را تأیید می‌کند (شکل 1). کاهش معنی دار میزان رطوبت نسبی برگ می‌تواند عامل اصلی تغییر خصوصیات فیزیولوژیک در این آزمایش باشد که با گزارش‌های پور محمد کیانی و همکاران (2007)، حسین و همکاران (2010) و نظرلی و زردشتی (2010) منطبق است. با اعمال تنش خشکی سطح برگ کاهش یافت (جدول 2). به نظر حسین و همکاران (2010) تنش خشکی عمدتا از طریق سطح برگ بر فتوسنتز و در نهایت عملکرد دانه اثر منفی می گذارد. همبستگی بالای سطح برگ با عملکرد دانه در این آزمایش (شکل 1) اهمیت حفظ سطح فتوسنتز کننده در شرایط تنش را نشان می‌دهد. کاهش سطح برگ می تواند یک مکانیسم سازگاری جهت کاهش تلفات آبی در شرایط تنش باشد. با این حال لاین های BGK 329، RGK 26، BGK

[1]- Chlorophyll Fluorometer

147 و46 RGK با حفظ سطح برگ بیشتر و کاهش عملکرد کمتر در مقایسه با لاین 21 RGK از تحمل به خشکی بالاتری برخوردار بودند (شکل2-الف). محاسبه مقادیر شاخص های حساسیت و تحمل خشکی دو لاین 21 RGK و 329 BGK را به ترتیب به عنوان دو لاین حساس و متحمل تثبیت کرد (غفاری و همکاران، 2012).

علیرغم اینکه شاخص کلروفیل همبستگی مثبتی با عملکرد دانه داشت ولی از تنش خشکی متأثر نشد (شکل 1 و جدول 2). گزارش های متناقضی در این زمینه وجود دارد. اومن و همکاران(1999) افزایش و احمدی و بیکر(2000) کاهش آن در شرایط تنش خشکی را گزارش کردند. دسوزا و همکاران (1997) گزارش کردند که فقط تنش شدید بر میزان کلروفیل اثر می گذارد. به نظر می رسد تغییر در شاخص کلروفیل وابسته به شدت تنش و نوع ژنوتیپ است. به دلیل ارتباط مستقیم و حیاتی با چرخه های تولید انرژی تغییر در میزان کلروفیل منعکس کننده میزان آسیبهای غیر روزنه‌ای به فتوسنتز بوده و می تواند معیاری برای گزینش در سطح تحمل متابولیک باشد. کاهش معنی دار در پتانسیل اسمزی در شرایط محدودیت آب مشاهده نشد با این حال بین لاین ها تنوع معنی داری از نظر این صفت وجود داشت (جدول 2). با افزایش شدت تنش خشکی پتانسیل اسمزی برگ کاهش یافته و با کمک به حفظ فشار تورمی ادامهٔ فتوسنتز را امکان پذیر می سازد (بولانوس و ادمدز 1991)، پدیده ای که با عنوان تنظیم اسمزی در شرایط تنش شناخته شده است. رئوف و همکاران(2009) پتانسیل اسمزی کمتری را در لاین-های متحمل آفتابگردان در شرایط تنش خشکی گزارش کردند . چیمنتی و همکاران (2002) تنظیم اسمزی را به عنوان معیاری مناسب برای ارزیابی تحمل به خشکی آفتابگردان پیشنهاد کردند. تنظیم اسمزی نقش مهمی در حفظ فعالیت فتوسنتزی و عملکرد آفتابگردان در شرایط تنش خشکی دارد و این به خاطر نقش آن در حفظ تورم سلولی است (رئوف 2008). بالا بودن میزان تنظیم اسمزی در لاین متحمل329-BGK و کم بودن آن در لاین حساس 21 -RGK (شکل3) تأیید کنندهٔ اهمیت این خصوصیت در حفظ عملکرد لاین‌های متحمل آفتابگردان در شرایط محدودیت آب است. رابطهٔ رگرسیونی درجهٔ سه بین عملکرد دانه و تنظیم اسمزی (شکل4- الف) دلالت بر آن داشت که حفظ تنظیم اسمزی در محدودهٔ 3-4/5 بار با افزایش خطی عملکرد دانه همراه است ولی بیش از آن منجر به کاهش عملکرد می شود. این امر نشان می دهد که هزینهٔ بیشتر اختصاص داده شده به تنظیم اسمزی به عملکرد دانه آسیب می زند. رابطهٔ معنی داری بین تنظیم اسمزی و میزان رطوبت نسبی وجود دارد (رئوف و صداقت 2008) که دلالت بر آن دارد که میزان رطوبتنسبی می تواند به عنوان یک معیار فیزیولوژیک ساده برای مقایسه ژنوتیپ ها از نظر تنظیم اسمزی بکار گرفته شود. میزان پرولین در شرایط تنش خشکی به شدت القا شد (جدول 2). تغییرات همزمان میزان پرولین و میزان رطوبت نسبی توانست لاین‌های اینبرد را از نظر عملکرد دانه تفکیک کند. در دیاگرام حاصل لاین های 26 RGK و 329 BGK و 46 RGK با تجمع پرولین بیشتر کاهش کمی از نظر میزان رطوبت نسبی داشته (شکل2- ب) و به دلیل برخورداری از عملکرد بالا به عنوان لاین متحمل شناخته شدند. در مقابل لاین 21 RGK با ناتوانی نسبی در تجمع پرولین بیشترین کاهش میزان رطوبت نسبی را داشت و با کمترین عملکرد دانه به عنوان لاین حساس شناسایی شد. پرولین مهمترین نمک سازگار است که در شرایط تنش خشکی در آفتابگردان القا شده و آنزیم ها را در مقابل آسیب های ناشی از تنش محافظت می کند (اونجل و همکاران 2000، سچین و همکاران 2010). اونیایار و همکاران (2004) اعلام کردند که در شرایط تنش پرولین در آفتابگردان افزایش می‌یابد و رابطهٔ نزدیکی بین تغییرات میزان پرولین و میزان رطوبت نسبی وجود دارد. افزایش قابل توجه میزان پرولین در شرایط تنش خشکی و همبستگی مثبت آن با عملکرد دانه (شکل1)

نشان دهندۀ اهمیت القای آن در شرایط تنش خشکی است.

با اعمال محدودیت آب وزن خشک شاخه به طور قابل توجهی کاهش یافت که با نتایج رئوف و صداقت (2008) و فولدا و همکاران (2011) مطابقت دارد. وزن خشک شاخه 36% در حالیکه وزن خشک ریشه 22% کاهش یافت (جدول 2) لذا میزان آسیب به وزن شاخه بیشتر بود وافزایش نسبت وزن ریشه به شاخه را سبب شده است. افزایش این نسبت در جهت افزایش جذب آب است و نشان دهندۀ اولویت بقا برای گیاه در شرایط تنش است (شارپ و بویر 1986). همبستگی مثبت وزن خشک شاخه و ریشه با عملکرد دانه در این آزمایش (شکل 1) نشان داد که میزان رشد عمومی گیاه در شرایط تنش تعیین کنندۀ پتانسیل نهایی عملکرد در شرایط تنش رطوبتی است. وزن خشک شاخه رابطۀ درجۀ دو با عملکرد دانه داشت و معادلۀ برازش شده نشان داد که با افزایش وزن خشک شاخه از 24 گرم عملکرد دانه به شدت افزایش می یابد (شکل4 -ب).

قطع آبیاری در دورۀ گلدهی تأثیر معنی داری برفلورسانس کلروفیل نداشت (جدول 1). جرم و همکاران (2005) نیز گزارش کردند که میزان فلورسانس کلروفیل ارقام آفتابگردان در شرایط تنش ملایم از تنش خشکی متأثر نمی‌شود در حالیکه در تنش شدید ژنوتیپ‌های مختلف پاسخ متفاوتی نشان می دهند. پانکویچ و همکاران (1999) عدم تأثیر پذیری عملکرد مطلوب کوانتوم از تنش خشکی در آفتابگردان را گزارش کردند.به دلیل پاسخ متفاوت لاین ها (جدول 1)، تغییرات فلورسانس کلروفیل در ترکیب با تغییرات عملکرد دانه وRWC توانست در تثبیت لاین های BGK 329 و RGK 46 به عنوان لاین‌های متحمل و لاین RGK 21 به عنوان لاین حساس مفید واقع شود (شکل 2- ج و د).

دمای برگ در اثر تنش خشکی در شرایط آبیاری محدود افزایش یافت (جدول 2). با بسته شدن روزنه ها در اثر کاهش رطوبت درون سلولی میزان تعرق کاهش یافته و دفع انرژی گرمایی درون گیاه با مشکل مواجه شده و دمای برگ افزایش می یابد. بر اساس نتایج این بررسی با افزایش دمای برگ از 20 تا 22 درجۀ سانتیگراد به ازای هر یک درجۀ سانتی گراد افزایش دما عملکرد دانه حدود 1/5 گرم و با افزایش دما از 22 به 23 درجۀ سانتیگراد حدود 0/5 گرم کاهش یافت (شکل 4-ج). این امر نشان دهندۀ حساسیت زیاد عملکرد دانه به افزایش اولیه دما است و با افزایش بیشتر دما احتمالا به دلیل واکنش های سازگاری عملکرد دانه کمتر تحت تأثیر قرار می گیرد.

عملکرد دانه در اثر تنش خشکی حدود 40% کاهش یافت (جدول 2). اختلال در دانه بندی به دلیل افزایش عقیمی دانه‌های گرده (ردی و همکاران 2003) و آسیب به اندام فتوسنتز کننده در اثر ریزش زودهنگام برگها (رئوف و صداقت 2007) از دلایل اصلی کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی ذکر شده است. به طور کلی بر اساس نتایج حاصل می‌توان گفت رشد آفتابگردان در شرایط محدودیت آب تابع تعادل بین وضعیت رطوبتی گیاه و سطح فتوسنتز کننده است که بسته به نوع ژنوتیپ از خصوصیات میزان پرولین، تنظیم اسمزی، فلورسانس و شاخص کلروفیل و دمای برگ متأثر می شود. مشارکت این اجزا و تظاهر آنها در رشد عمومی گیاه منعکس کنندۀ میزان تحمل و پایداری تولید هر لاین در شرایط محدودیت آب است.

جدول 1- میانگین مربعات صفات زراعی در تجزیهٔ مرکب خصوصیات مختلف لاینهای اینبرد آفتابگردان در شرایط آبیاری مطلوب و محدود

منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص برداشت	وزن خشک	وزن خشک ریشه	نسبت ریشه/شاخه	سطح برگ	سطح مخصوص برگ	میزان رطوبت نسبی
سال	1	0/021*	1816/29	599/84**	0/152**	2301162/6*	733/53**	78/66
تنش خشکی	1	0/037	22190/7	643/21	0/51	179418211/3	151/75	43327/8**
تنش خشکی × سال	1	0/003	80/87	44/79*	0/012	69278/63	55/97	0/88
تنش خشکی × /تکرار	32	0/003	44/13	7/66	0/005	118942/29	71/05	55/45
لاین	15	0/005	448/92*	52/83**	0/024	5356583/7*	925/95**	144/72**
سال × لاین	15	0/013**	57/4**	8/22**	0/012**	403432/5**	118/82*	33/88**
تنش خشکی × لاین	15	0/008	73/93*	2/65	0/012	403851/83*	29/79	48/59*
تنش خشکی × سال ×	15	0/005**	25/64**	1/54	0/008**	97029/77**	51/88	17/48
خطای آزمایش	480	0/001	10	1/29	0/002	11973/08	57/46	13/48
ضریب تغییرات		12/56	11/17	13/35	14/03	4/68	11/30	5/17

منابع تغییر	پتانسیل آب برگ	فلورسانس کلروفیل	دمای برگ	شاخص کلروفیل	پتانسیل اسمزی	میزان پرولین	عملکرد دانه
سال	25/76*	0/070**	1/74	99/67**	269/8**	38/01	92/18**
تنش خشکی	33871/34*	1/274	847/05*	2/83	383/6	2355/8*	1978/2*
تنش خشکی × سال	9/46	0/039*	0/88	10/03	0/2	2/84	14/08*
تنش خشکی × سال/تکرار	4/63	0/009	0/69	7/6	10/3	8/73	2/94
لاین	16/85	0/014**	12/01**	129/3**	59/9**	22/5**	35/76**
سال × لاین	5/37**	0/004**	0/82**	15/66**	14/1**	6/88**	9/75**
تنش خشکی × لاین	22/16	0/004**	4/72**	6/35	2/9**	14/18	8/54
تنش خشکی × سال × لاین	9/87**	0/001	0/65**	5/32	0/08	6/87**	4/33**
خطای آزمایش	1/86	0/001	0/22	6/43	4/588	1/97	0/66
ضریب تغییرات	9/48	4/74	2/33	9/35	7/14	14/78	10/82

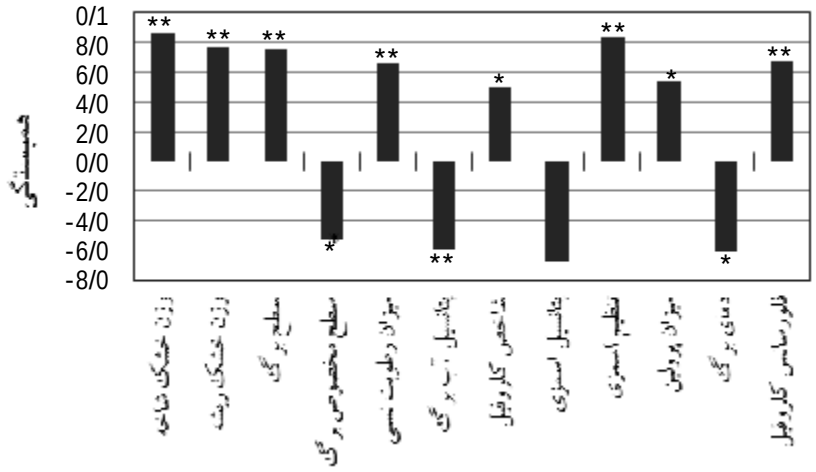
* و** به ترتیب معنی دار در سطوح 5 و 1 درصد می باشد.

جدول 2- میانگین خصوصیات مورفو- فیزیولوژیک آفتابگردان در شرایط آبیاری مطلوب و محدود

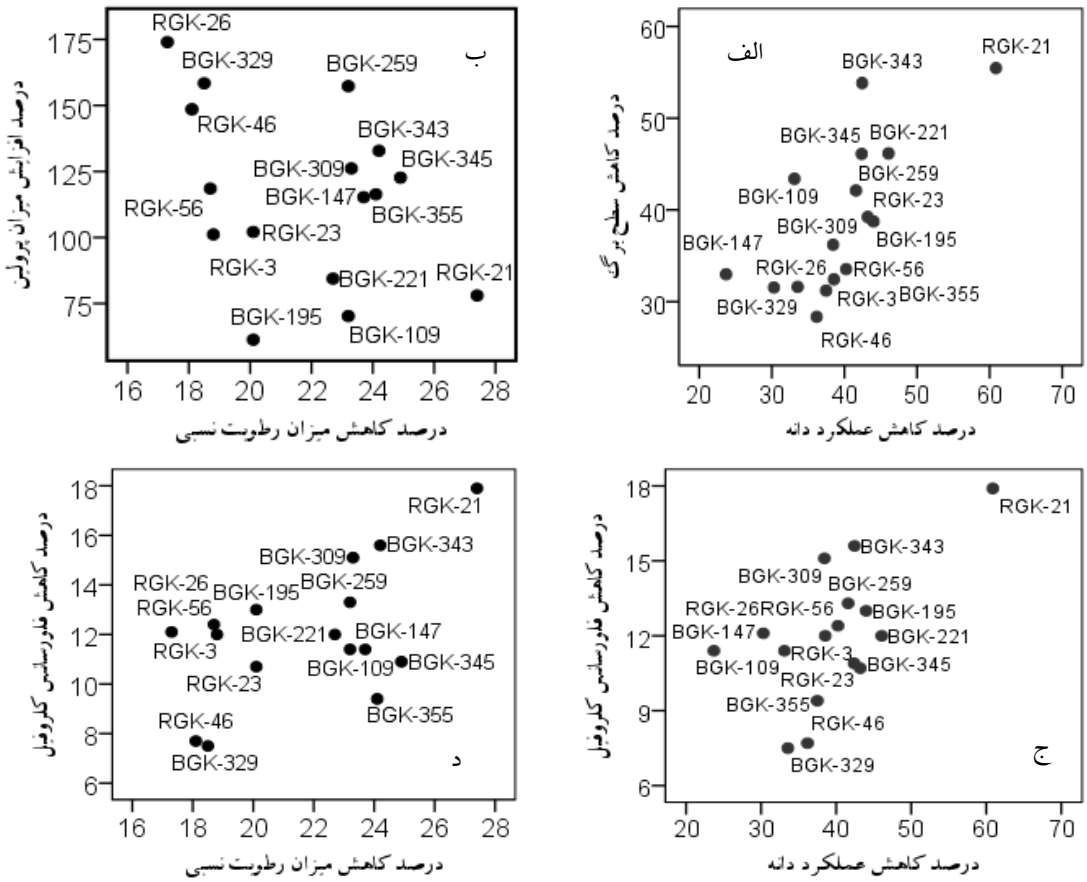
صفت	وزن خشک شاخه (گرم)	وزن خشک ریشه(گرم)	وزن ریشه به شاخه	شاخص برداشت	سطح برگ (سانتیمترمربع)	سطح مخصوص برگ	رطوبت نسبی برگ
آبیاری مطلوب	34/5	9/6	0/279	0/274	2897	67/6	79/7
آبیاری محدود	22/1	7/4	0/338	0/258	1780	66/5	62/4
درصد تغییرات	-36**	-22/1**	+21/1**	-5/8**	-38/5**	-1/5	-21/7**

صفت	پتانسیل آب برگ (بار)	شاخص کلروفیل	پتانسیل اسمزی	میزان پرولین	دمای برگ (سانتیگراد)	فلورسانس کلروفیل	عملکرد دانه (گرم در بوته)
آبیاری مطلوب	-6/7	27/05	-28/6	4/65	19/11	0/783	9/35
آبیاری محدود	-22/1	27/2	-31/4	12/51	21/53	0/689	5/65
درصد تغییرات	-229/8**	+0/55	-9/8**	+169**	+12/7**	-12**	-39/6**

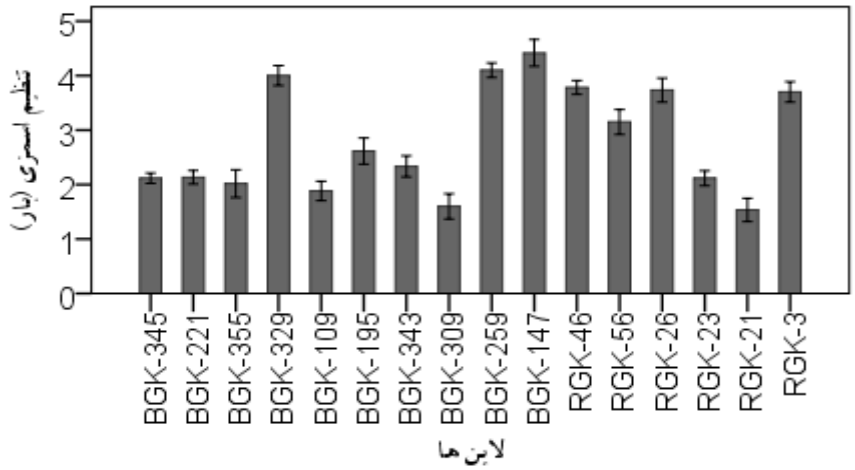
* و ** به ترتیب معنی دار در سطوح 5 و 1 درصد می باشد.



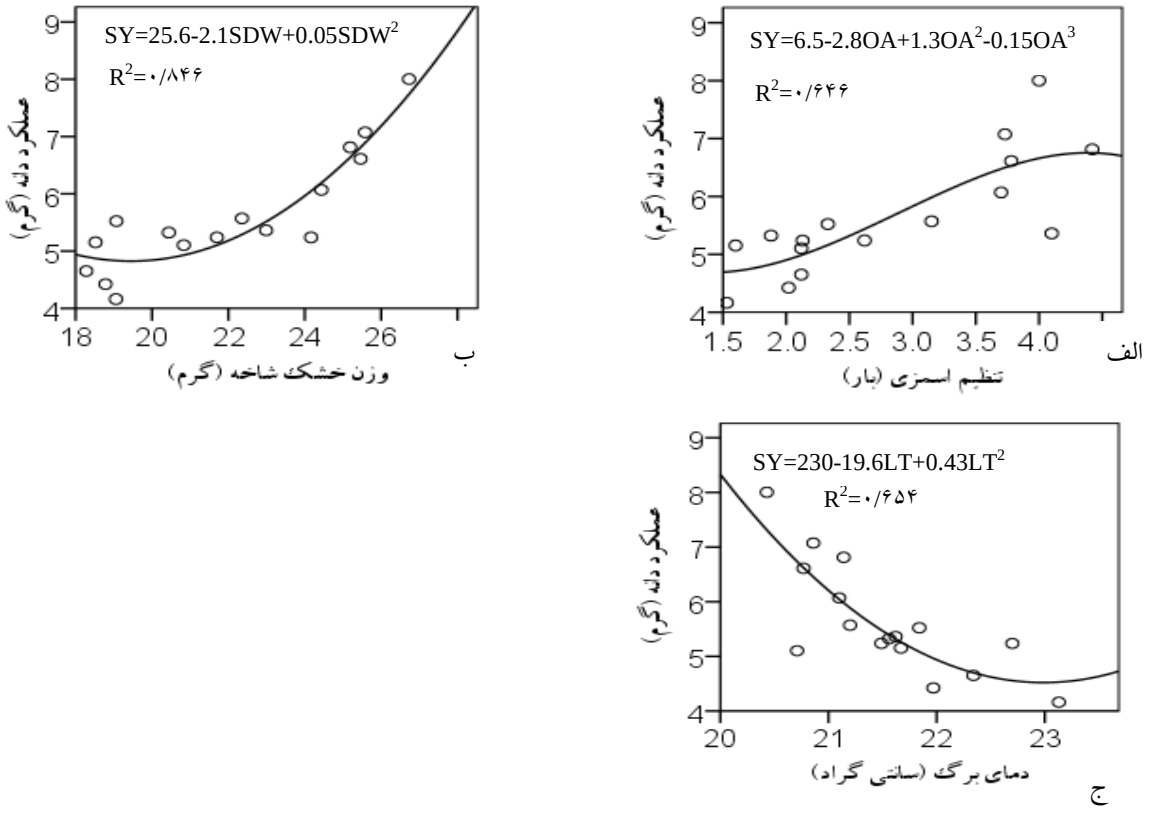
شکل1- همبستگی سادۀ خصوصیات مورفو- فیزیولوژیک با عملکرد دانه در شرایط محدودیت آب



شکل 2- تمایز لاین‌های آفتابگردان بر اساس تغییرات خصوصیات فیزیولوژیک مرتبط با عملکرد دانه در شرایط محدودیت آب



شکل 3- میانگین تنظیم اسمزی در لاین های مختلف آفتابگردان در اثر محدودیت آب در مرحلهٔ گلدهی. خطوط بار خطای استاندارد در فاصلهٔ 1SE± از میانگین را نشان می دهد.



شکل4- رابطهٔ عملکرد دانه با برخی خصوصیات فیزیولوژیک آفتابگردان در شرایط تنش خشکی. دایره های توخالی میانگین هر لاین را که از 9 تکرار حاصل شده است نشان می دهد. در معادله های رگرسیونی SY: عملکرد دانه، SDW: وزن خشک شاخه، LT : دمای برگ، و OA: تنظیم اسمزی است.

منابع مورد استفاده

Ahmadi A and Baker DA, 2000. Stomatal and nonstomatal limitations of photosynthesis under water stress conditions in wheat plant. Iranian Journal of Agricultural Science, 31: 813-825.

Ashraf M and Wu L, 1994. Breeding for salinity tolerance in plants. Critical Reviews in Plant Sciences, 13:17-42.

Bates LS, Waldren RP and Teare ID, 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant Soil, 39: 205-207.

Bolanos J and Edmeades GO, 1991. Value of selection for osmotic potential in tropical maize. Agronomy Journal, 83: 948-956.

Cechin I, Corniani N, Fumis TF and Cataneo AC, 2010. Differential responses between mature and young leaves of sunflower plants to oxidative stress caused by water deficit. Ciencia Rural, 40: 1290-1294.

Chimenti CA, Pearson J and Hall AJ, 2002. Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. Field Crops Research, 75: 235-246.

Darvishzadeh R, Hatami- Maleki H and Sarrafi A, 2011. Path analysis of the relationships between yield and some related traits in diallel population of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and water-stressed conditions. Australian Journal of Crop Science, 5: 674-680.

De Souza PI, Egli DB and Bruening WP, 1997. Water stress during seed filling and leaf senescence in soybean. Agronmy Journal, 89: 807-812.

Dragovic S and Maksimovic L, 1995.Drought phenomenon and impact on crop yields in the Vojvodina Province, Yogoslavia. In: Proceedings of the Int. Workshop on Drought in the Carpathian Region, Budapest, Yogoslavia, pp. 207–217.

Fereres E, Gimenez C and Fernandez JM, 1986. Genetic variability in sunflower cultivars under drought. I. yield relationships. Australian Journal of Agricultural Science, 37: 573-582.

Fulda S, Mikkat S, Stegmann H and Horn R, 2011. Physiology and proteomics of drought stress acclimation in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Plant Biology, 13: 632-642.

Germ M, Bercic OU and Acko DK, 2005. The response of sunflower to acute disturbance in water avalibility. Acta Agriculturae Slovenica, 85: 135-141.

Ghaffari M, Toorchi M, Valizadeh M, Shakiba MR, 2012. Morpho-physiological screening of sunflower inbred lines under drought stress condition. Turkish Journal of Field Crops, 17(2):185-190.

Hirasawa T, Wakabayashi K, Touya S and Ishihara K, 1995. Stomatal responses to water deficits and abscisic acid in leaves of sunflower plants (*Helianthus annuus* L.) Grown under different conditions. Plant and Cell Physiology, 36: 955-964.

Hossain MI, Khatun A, Talukder MSA, Dewan MMR and Uddin MS, 2010. Effect of drought on physiology and yield contributing characters of sunflower. Bangladesh Journal of Agricultural Research, 35: 113-124.

Miyashita K, Tanakamaru S, Maitani T and Kimura K, 2005. Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. Environmental and Experimental Botany, 53: 205-214.

Nazarli H and Zardashti MR, 2010. The effect of drought stress and super absorbent polymer (A200) on agronomical traits of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under field condition. Cercetari Agronomice in Moldova, 143: 5-14.

Nezami A, Khazaei HR, Boroumand RZ and Null N, 2008. Effects of drought stress and defoliation on sunflower. Desert, 12: 99-104.

Ommen OE, Donnelly A, Vanhoutvin S, Van Oijen M and Manderscheid R, 1999. Chlorophyll content of spring wheat flag leaves grown under elevated CO_2 concentrations and other environmental stresses within the 'ESPACE-wheat' project. European Journal of Agronomy, 10: 197-203.

Oncel I, Keles Y and Ustun AS, 2000. Interactive effects of temperature and heavy metal stress on the growth and some biochemical compounds in wheat seedlings. Environmental Pollution, 107: 315-320.

Pankovic D, Sakac Z, Kevresan S and Plesnicar M, 1999. Acclimation to long-term water deficit in the leaves of two sunflower hybrids: photosynthesis, electron transport and carbon metabolism. Journal of Experimental Botany, 50: 128-138.

Poormohammad Kiani S, Talia P, Maury P, Grieu P, Heinz R, Perrault A, Nishinakamasu V, Hopp E, Gentzbittel L, Paniego N and Sarrafi A, 2007. Genetic analysis of plant water status and osmotic adjustment in recombinant inbred lines of sunflower under two water treatments. Plant Science, 172: 773-787.

Rauf S, 2008. Breeding sunflower (*Helianthus annuus* L.) for drought tolerance. Communications in Biometry and Crop Science, 3: 29-44.

Rauf S and Sadaqat HA, 2007. Effects of varied water regimes on root length, dry matter partitioning and endogenous plant growth regulators in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Journal of Plant Interactions, 2: 41-51.

Rauf S and Sadaqat HA, 2008. Identification of physiological traits and genotypes combined to high achene yield in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under contrasting water regimes. Australian Journal of Crop Science, 1(1): 23-30.

Rauf S, Sadaqat HA, Khan IAand Ahmed R, 2009. Genetic analysis of leaf hydraulics in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress. Plant, Soil and Environment, 55: 62–69.

Reddy GKM, Dangi KS, Kumar SS and Reddy AV, 2003. Effect of moisture stress on seed yield and quality in sunflower. Journal of Oilseeds Research, 20: 282–283.

Schniter AA and Miller JF, 1981. Description of sunflower growth stage. Crop Science, 21: 901-903.

Sharp REand Boyer JS, 1986. Photosynthesis at low water potentials in sunflower: Lack of photoinhibitory effects. Plant Physiology, 82: 90-95.

Singh BD, 2000. Plant breeding, Principles and methods. Kalyani Publishers, New Delhi, India.

Skoric D, 2009. Sunflower breeding for resistance to abiotic stresses. Helia, 32: 1-15.

Unyayar S, Keles Y and Unal E, 2004. Proline and ABA levels in two sunflower genotypes subjected to water stress. Bulgarian Journal of Plant Physiology, 30: 34-47.

Yegappan TM, Paton DM, Gates CT and Muller WJ, 1982. Water stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.) 3. responses of cypsela size. Annals of Botany, 49: 69-75.