

بررسی برخی خصوصیات مورفو-فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های انتخابی بادام در شرایط تنش خشکی

شبنم گوهری^۱، علی ایمانی^{۲*}، علیرضا طلایی^۳، وحید عبدوسی^۴ و محمدرضا اصغری^۵

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۰)

چکیده

پژوهش حاضر به صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و در سه تکرار طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری انجام شد. فاکتور اول شامل ژنوتیپ بادام در ۱۰ سطح و فاکتور دوم تنش خشکی در ۲ سطح بود. در این مطالعه ۱۰ ژنوتیپ انتخابی بادام با استفاده از برخی صفات مورفولوژیکی شامل ارتفاع نهال، قطر تنه در قسمت بالای محل پیوند، طول رشد شاخه جدید، میزان زردی و ریزش برگ و همچنین برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی تحت شرایط تنش خشکی از قبیل شاخص محتوای کلروفیل بر اساس شاخص اسپد، محتوای نسبی آب برگ و اندازه‌گیری میزان فلورسانس کلروفیل مورد ارزیابی قرار گرفت. با ارزیابی شاخص‌های مورفوفیزیولوژیکی، ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس نسبت به شرایط تنش خشکی مشخص شدند. در بین ژنوتیپ‌های انتخابی مورد بررسی، ژنوتیپ A-7-100 مقاوم‌ترین و ژنوتیپ A-124-1 حساس‌ترین ژنوتیپ به شرایط تنش خشکی بودند.

کلمات کلیدی: بادام، تنش خشکی، صفات فیزیولوژیکی، صفات مورفولوژیکی، مقاوم

۱- دانشجوی دکتری علوم باغی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- دانشیار پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۳- استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۴- استادیار، گروه علوم باغی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۵- استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

* پست الکترونیک: imani_a45@yahoo.com

مقدمه

بادام^۱ از خانواده گل‌سرخیان^۲، زیر خانواده هسته‌دارها^۳، جنس پرونس^۴ و زیرجنس آمیگدالوس^۵ بومی فلات ایران بوده و ایران از تولیدکنندگان مهم آن در جهان می‌باشد و به دلیل صادراتی بودن از محصولات مهم خشکباری ایران محسوب می‌شود (مومن‌پور^۶ و همکاران، ۲۰۱۱؛ کریمی^۷ و همکاران، ۲۰۱۳).

تنش خشکی یکی از مشکلات اساسی کشاورزان در ایران و جهان است و عامل مهمی در کاهش عملکرد گیاهان به شمار می‌رود. براساس گزارشی حدود یک‌سوم اراضی جهان با کمبود بارندگی مواجه است و ایران با متوسط بارندگی ۲۵۰ میلی‌لیتر در سال جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان طبقه‌بندی می‌شود. عدم بارندگی کافی و توزیع غیریکنواخت بارندگی در طول فصل رشد در مناطق خشک و نیمه‌خشک همانند ایران باعث شده است که نیاز گیاهان زراعی و باغی به قدر کافی تأمین نگردد (کریمی و همکاران، ۲۰۱۳). امروزه با توجه به تغییرات اقلیمی، بحران و کمبود منابع آبی، برای احداث موفقیت آمیز باغ بادام که توجیه اقتصادی داشته باشد، انتخاب ارقام مقاوم در برابر عوامل محدودکننده نظیر تنش‌های زنده و غیرزنده اهمیت زیادی دارد (اژه^۸ و همکاران، ۲۰۱۰). با مدیریت صحیح مصرف آب و انتخاب ارقام پایه‌های مناسب در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک معتدل با تابستان‌های گرم و خشک، بادام را می‌توان کشت و عملکرد مناسبی از آن بدست آورد (گیگلو^۹ و الهامی، ۲۰۱۲).

خشکی یک واژه هواشناسی است و معمولاً به دوره‌ای از زمان اطلاق می‌گردد که بارش قابل ملاحظه‌ای در طول آن دوره رخ نداده باشد (ترنر^{۱۰}، ۱۹۷۹). از جمله تنش‌های حائز اهمیت در شرایط فعلی تنش خشکی می‌باشد به نحوی که قرار گرفتن در معرض تنش خشکی به خصوص در برخی از مواقع سال اجتناب‌ناپذیر است که برای تولید

و عملکرد رضایت‌بخش باید میزان آبیاری در باغات از طریق کاهش دور آبیاری صورت بگیرد (برمن و دجونگ^{۱۱}، ۱۹۹۶).

بررسی مکانیسم‌های کنترل‌کننده ژنتیکی تحمل به تنش‌ها که موجب اصلاح و دستیابی به ارقام زراعی جدید می‌گردد، نشان‌دهنده این است که این نوع ارقام با شرایط تنش سازگار می‌باشند. ارقام زراعی اصلاح شده که در مواجهه با تنش‌های محیطی دارای مکانیسم‌های کنترل‌کننده ژنتیکی تحمل به تنش‌ها می‌باشند که علاوه بر سازگاری آنها به این نوع شرایط محیطی، کمک شایانی به پایداری عملکرد آنها نیز می‌کنند (نژاداحمدی^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۳).

واژه تحمل یا مقاومت به خشکی در گیاه به شرایطی گفته می‌شود که در آن به ازای یک مقدار معین از رطوبت خاک توانایی تولید محصول یک ژنوتیپ بیشتر از ژنوتیپ دیگر باشد. اما به هر حال می‌توان گفت که در گیاهان سه نوع مکانیسم کلی برای مقاومت به خشکی برای کاهش خسارت تنش خشکی وجود دارد که عبارتند از اجتناب از خشکی^{۱۳}، تحمل به خشکی^{۱۴} و فرار از خشکی^{۱۵} (رایان^{۱۶}، ۲۰۱۳).

یکی از مهم‌ترین مسائلی که در خاک‌های شور و خشک وجود دارد مشکل افزایش منفی پتانسیل اسمزی محلول خاک است که منجر به کاهش جذب آب و بدین ترتیب باعث توقف رشد می‌شود. اگرچه علت عمده اثر بازدارندگی افزایش غلظت مواد محلول در خاک ماهیت اسمزی دارد. بعضی از انواع مواد محلول که نمونه آن املاح منیزیم است وقتی بیش از غلظت معین باشد اثرات سمی ثانویه خواهد داشت که باعث کاهش بیشتر رشد می‌گردد (رازوک^{۱۷} و همکاران، ۲۰۱۳).

همچنین منفی شدن پتانسیل اسمزی محلول خاک روی پتانسیل اسمزی برگ (Ψ_p) و محتوای رطوبت نسبی (RWC) و پتانسیل آب برگ (Ψ_w) و پتانسیل آماس برگ (Ψ_p) تأثیر می‌گذارد (مونه-بوش^{۱۸} و همکاران، ۲۰۰۳؛

1. *Prunus amygdalus* Batsch, syn. *P. dulcis* (Mill.) D.A. Webb
2. Rosaceae
3. Prunoidea
4. *Prunus*
5. *Amygdalus*
6. Momenpour
7. Karimi
8. Egea
9. Gikloo and Elhami
10. Turner

11. Berman and Dejong
12. Nezhadahmadi
13. Drought Avoidance
14. Drought Avoidance
15. Drought Scape
16. Ryan
17. Razouk
18. Munné-Bosch

که با بسته‌شدن روزنه‌ها، CO₂ داخل سلولی کاهش یافته و در نتیجه باعث تجمع ناقلین الکترون پرانرژی، تشکیل رادیکال‌های آزاد، آشفستگی کمپلکس‌های برداشت‌کننده نور و افت کارایی فتوسنتز می‌گردد (گریفیتس و پاری^۸، ۲۰۰۲).

همچنین، بر اساس گزارشی (یوان^۹ و همکاران، ۲۰۰۵) فتوسیستم II نقش مهمی در پاسخ فتوسنتزی به عوامل محیطی در گیاهان عالی بازی می‌کند و تکنیک فلورسانس کلروفیل در سال‌های اخیر در مطالعات اکوفیزیولوژی گیاهی به عنوان یک روش سریع، حساس و غیرتخریبی مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است (بیکر و روزنکوویست^{۱۰}، ۲۰۰۴). در زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی، فتوسیستم II نسبت به فتوسیستم I به تنش های محیطی حساس‌تر است که یکی از دلایل حساسیت بیشتر، وجود کمپلکس تجزیه‌کننده آب در فتوسیستم II می‌باشد (بسیلار^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۶). فتوسنتز یکی از فرآیندهای مهم فیزیولوژیکی گیاه است که شدت آن در شرایط کمبود آب کاهش می‌یابد (پاریدا و داس^{۱۲}، ۲۰۰۵). در واقع برای اصلاح و بهبود گونه‌های مختلف و همچنین تولید ارقام مقاوم به خشکی، آگاهی از گونه‌های مقاوم به خشکی لازم و ضروری است (گلدهامبر و اسمیت^{۱۳}، ۱۹۹۵). در پژوهش‌های فراوان صورت گرفته تحت شرایط تنش خشکی برخی ارقام قادر هستند پتانسیل اسمزی را کاهش و فشار از دست رفته آماس را جبران کنند (بلخودجا^{۱۴} و همکاران، ۱۹۹۴). قابل ذکر است که گزارش‌ها در مورد تأثیر تنش خشکی بر میزان کلروفیل برگ متفاوت است. افزایش، کاهش و یا عدم تغییر میزان کلروفیل برگ تحت تنش خشکی با توجه به نوع محصول، مرحله رشد، طول دوره تنش و شدت تنش خشکی متفاوت است (بسیلار و همکاران، ۲۰۰۶).

دی‌هیراژ^{۱۵} و همکاران (۲۰۰۱) تفاوت دو رقم بادام لوران و ماسباورا^{۱۶} را از نظر مقاومت به خشکی بررسی و گزارش کردند که رقم ماسباورا دارای تطابق اسمزی، پتانسیل آب

هراندز^۱ و همکاران، ۲۰۰۴).

بادام یکی از درختان میوه است که به دلیل تحمل به خشکی و شرایط کم آبی تحت تنش خشکی، عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشت می‌شود ولی برای تولید اقتصادی محصول احتیاج به آبیاری در فصل رشد دارد و همچنین به دلیل اینکه بادام سازگاری‌های فیزیولوژیکی برای بقاء را در شرایط تنش کم آبی از خود نشان می‌دهد ولی درجه سازگاری به خشکی در بین ارقام مختلف متفاوت است (گیگلو و الهامی، ۲۰۱۲؛ رومرو^۲ و همکاران، ۲۰۰۴). یکی از روش‌های مدیریت این امر کشت پایه‌ها و ارقام متحمل به تنش خشکی است.

تحمل به تنش خشکی نتیجه برهمکنش صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی است، بنابراین به جای یک صفت ساده ترکیبی از صفات مختلف که رابطه مستقیم با تحمل به خشکی دارند به‌عنوان معیارهای گزینش برای غربال کردن تیپ ایده‌آل می‌توان استفاده کرد (کریمی و همکاران، ۲۰۱۳؛ روحی^۳ و همکاران، ۲۰۰۷).

در بین ارقام بادام سازگاری‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی در شرایط تنش کم آبی نشان داده شده و در اثر تنش کم آبی پارامترهایی از جمله پتانسیل آب برگ، سرعت تبخیر و تعرق، ضریب هدایت روزنه‌ای، سطح برگ، وزن برگ، وزن مخصوص برگ، طول شاخه، تعداد و تراکم برگ کاهش یافته و برخی از ارقام تحمل بیشتری را به تنش کم آبی نشان می‌دهند (ژرمن^۴، ۱۹۹۷). ارقام بادام از نظر کاهش پتانسیل آب برگ، محتوی آب گیاه، کارایی مصرف آب، سرعت فتوسنتز و رشد رویشی متفاوت هستند (سوشیاس آ کمپانی و گرادیزل^۵، ۲۰۱۷).

در بین گونه‌های بادام نیز پاسخ به تنش خشکی متنوع بوده به‌طوری‌که گونه اسکوپاریا^۶ تحت تنش برگ‌های خود را ریزش داده اما در گونه لیسویدس^۷ تعدادی از برگ‌ها سالم بوده و قادر به فتوسنتز بودند و بیشترین اندازه برگ مربوط به مقاوم‌ترین گونه یعنی لیسویدس بوده است (روحی و همکاران، ۲۰۰۷). تنش کم آبی یکی از مهمترین عوامل محیطی محدودکننده فتوسنتز است چون

8. Griffiths and Parry

9. Yuan

10. Baker and Rosenqvist

11. Bacelar

12. Parida and Das

13. Goldhamer and Smith

14. Belkhodja

15. De Herralde

16. Lauranne and Masbovera

1. Hernández

2. Romero

3. Rouhi

4. Germana

5. Socias i Company and Gradziel

6. Scoparia

7. lycoides

در این مطالعه ۱۰ ژنوتیپ برتر حاصل از برنامه اصلاح بادام با استفاده از بررسی صفات مورفولوژیک از نظر صفات رویشی از قبیل ارتفاع نهال، قطر تنه در قسمت بالای محل پیوند و طول رشد شاخه جدید و زردی و ریزش برگ و همچنین برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی تحت شرایط تنش خشکی از قبیل شاخص محتوای کلروفیل بر اساس معیار اسپد^۴، محتوای نسبی آب برگ^۵ و اندازه‌گیری میزان فلورسانس کلروفیل در قالب یک آزمایش فاکتوریل شامل دو فاکتور بر اساس طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. فاکتور اول ژنوتیپ بادام در ۱۰ سطح و فاکتور دوم تنش خشکی در ۲ سطح مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفتند.

مواد گیاهی

در این مطالعه ۱۰ ژنوتیپ برتر حاصل از برنامه اصلاح بادام روی پایه‌های یکنواخت رویشی GN در گلدان‌های پلاستیکی ۱۵ لیتری (ارتفاع ۳۴ و قطر دهانه ۳۲ سانتی متر) حاوی مخلوط کود دامی پوسیده، ماسه و خاک باغچه به نسبت حجمی ۱:۱:۱ پیوند شدند. این گیاهان دوساله برای مدت ۴ ماه (تا زمان شروع تیمارهای تنش خشکی)، برای استقرار خوب مورد آبیاری و تغذیه نرمال و به طور یکسان قرار گرفتند. در طول این مدت نهال‌ها تحت هیچ گونه تنش محیطی و غذایی قرار نگرفتند.

تیمارهای تنش خشکی در دو سطح: شاهد FC100% و تنش خشکی شدید FC40% صورت گرفت. برای تعیین میزان رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی (رطوبت ظرفیت زراعی مقدار رطوبتی است که یک خاک اشباع شده پس از خارج شدن آب ثقلی در خود نگه می‌دارد که تابعی از بافت و ساختمان خاک است) به این ترتیب اعمال شد: تعدادی از گلدان‌های حاوی بستر مورد آزمایش، اشباع از آب گردید به نحوی که آب از ته گلدان‌ها خارج شد. جهت جلوگیری از تبخیر، سطح گلدان‌ها با فویل آلومینیومی پوشانده شد و در فواصل زمانی ۲۴ ساعت از خاک گلدان-ها نمونه‌هایی تهیه شد. ابتدا وزن تر نمونه‌ها یادداشت گردید و سپس برای تعیین وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۱۰۵ الی ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند. رطوبت وزنی خاک با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

بیشتر، سرعت تبخیر و تعرق کمتر، سرعت فتوسنتز بالاتر، کارایی مصرف آب بالاتر و مقاومت هیدرولیکی ریشه پائین تری در مقایسه با رقم لوران بود و توصیه کردند که رقم ماسباورا سازگاری بهتری با شرایط بدون آبیاری در شرایط اقلیمی مدیترانه‌ای دارد. دی‌هیراژ (۲۰۰۰) تحمل به خشکی را در هشت رقم تجاری بادام در شرایط گلدانی بررسی و گزارش کرد که ارقام از نظر کاهش پتانسیل آب برگ، محتوای آب گیاه، کارایی مصرف آب، سرعت فتوسنتز و رشد رویشی تفاوت نشان دادند. تورسیلاس^۱ و همکاران (۱۹۹۶). در یک آزمایش مزرعه‌ای نهال‌های دو رقم بادام به نام‌های رامیلته^۲ و گاریگز^۳ و را به مدت ۲۸ روز تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی قرار دادند و داده‌های آنها نشان داد که در اثر تنش خشکی، هدایت روزنه‌ای در رقم گاریگز حدود ۶۲ درصد و در رقم رامیلته حدود ۷۹ درصد کاهش می‌یابد (تورسیلاس و همکاران، ۱۹۸۹).

بررسی عکس‌العمل درختان بادام به شرایط آبیاری قطره-ای نشان داده که قطر تنه، ارتفاع و عرض تاج، میزان محصول ارتباط نزدیکی با سطوح مختلف آبیاری داشته‌اند و سطوح پائین آبیاری و ایجاد تنش آبی منجر به کاهش درصد مغز و در نهایت کاهش رشد و عملکرد گیاهان تحت تنش آبی گردید و از طرفی آبیاری زیاد و سنگین نیز بازده پائین‌تری داشت به‌علت اینکه تولید در واحد سطح با مقدار آب مصرفی کمتر بود و این بیانگر این مطلب است که مصرف بیش از حد آب (بیشتر از نیاز آبی) موجب افزایش میزان تبخیر و هدرروی آب می‌شود که نهایتاً موجب کاهش راندمان آبیاری می‌گردد، نتیجتاً بایستی میزان آبیاری بر اساس نیاز گیاه تنظیم گردد (تورسیلاس و همکاران، ۱۹۸۹).

در ایران در رابطه با این ژنوتیپ‌های امیدبخش تحقیقاتی در زمینه تحمل به خشکی و برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی تاکنون صورت نگرفته است. لذا در این پژوهش تحمل به خشکی و برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های انتخابی بادام بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

1. Torrecillas
2. Ramillete
3. Garrigues

4. SPAD
5. RWC

تغییرات فلورسانس کلروفیل

میزان تغییرات فلورسانس کلروفیل با کمک دستگاه اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل^۲ اندازه‌گیری شد. با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری فلورسانس، پس از قرار گرفتن برگ در مقابل نور فعال (۸۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه)، انرژی فلورسانس کلروفیل افزایش یافته و به سطح مطلوب (F_o) ^۳ می‌رسد. در سطح مطلوب توان استفاده از انرژی برانگیخته در اپتیمم مقدار خود قرار دارد. وقتی شدت نور کافی باشد در ادامه فلورسانس از مقدار سطح مطلوب به حداکثر مقدار (F_m) خود افزایش می‌یابد. این افزایش نشان دهنده افزایش تدریجی عملکرد فلورسانس و کاهش سرعت واکنش‌های فتوشیمیایی است. از پارامترهای مهم فلورسانس کلروفیل، نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر (F_v/F_m) است که با تنش رابطه عکس دارد. برای ارزیابی تیمار مختلف تحت تنش از دستگاه دیجیتال در اندازه‌گیری‌های نمونه‌های برگ در تیمارهای مختلف استفاده شد که میزان تغییرات فلورسانس کلروفیل را به صورت خودکار نشان می‌دهد (بیکر و روزنکوویست، ۲۰۰۴).

داده‌های به‌دست آمده پس از حصول اطمینان از یکنواخت بودن بر روی آنها تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ با نرم‌افزارهای مینی‌تیب^۴ و سس^۵ انجام گرفت و نمودارها مربوط با نرم‌افزار اکسل رسم گردید.

نتایج و بحث

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در جدول ۱ نشان داد که با اعمال تنش خشکی بر روی ژنوتیپ‌های انتخابی بادام و با بررسی نتایج برخی شاخص‌های مورفولوژیکی مورد ارزیابی در ژنوتیپ‌های بادام تحت شرایط تنش خشکی مشخص نمود که اثر تنش خشکی در ژنوتیپ‌های بادام در شاخص‌های مورفولوژیکی متفاوت بوده، طوری که در شرایط تنش بیشترین ارتفاع برابر با ۱۷/۱۵۰ سانتی‌متر برای ژنوتیپ A-100 و کمترین ارتفاع مربوط به AHI-99 برابر با ۷۸/۳۴ سانتی‌متر بود و این در حالی است که در حالت بدون تنش این میزان به ترتیب برای ژنوتیپ‌های A-7-100 و

۱۰۰× وزن خاک خشک- وزن خاک تر = درصد رطوبت در ظرفیت زراعی این کار تا زمانی ادامه یافت که رطوبت موجود در نمونه‌ها به یک مقدار ثابتی رسید که این مقدار رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای یا حد ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد. برای محاسبه میزان آب مورد نیاز هر گلدان از روش توزین گلدان‌ها و تعیین میانگین آن به عنوان آب مصرفی تیمارها، استفاده گردید. در طول دوره رشد هر روزه کلیه گلدان‌ها با توجه به تغییرات دمای هوا با ترازوی دیجیتالی حساس توزین گردید و هر گلدان در وزن تیمار مربوط ثابت نگه داشته شد. پس از اعمال تنش خشکی، برخی صفات مورفولوژیکی و همچنین چند شاخص فیزیولوژیکی که معیارهای مناسبی برای ارزیابی مقاومت یا حساسیت به تنش خشکی اندازه‌گیری شدند.

صفات مورفولوژیک

برای اندازه‌گیری کلیه صفات مورفولوژیکی در ارتباط با رشد رویشی از کولیس دیجیتال و متر، استفاده شد.

محتوای نسبی آب برگ

برگ‌های کاملاً توسعه یافته پس از برداشت از تیمارهای مختلف، بلافاصله توزین شده و وزن تر آن‌ها یادداشت برداری و سپس نمونه‌های گیاهی در ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر (۲۵ درجه سانتی‌گراد) غوطه‌ور می‌شوند. پس از گذشت ۱۶ ساعت از آب مقطر خارج شده و مجدداً وزن تر آن‌ها تعیین می‌گردند. نمونه‌های وزن شده به مدت ۴۸ ساعت درون پاکت‌های کاغذی در آون (۷۰ درجه سانتی‌گراد) قرار می‌گیرند تا کاملاً خشک شوند. در نهایت وزن نمونه‌های خشک شده یادداشت شد و درصد محتوای آب نسبی با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (مومن‌پور و همکاران، ۲۰۱۱).

(وزن خشک - وزن تر برگ) = درصد محتوای آب نسبی
 $100 \times$ وزن خشک برگ - وزن برگ در حالت اشباع/برگ

اندازه‌گیری شاخص کلروفیل بر اساس معیار اسپد

میزان سبزی‌نگی به‌وسیله دستگاه اسپد شماره ۱، بدون تخریب بافت‌های گیاهی در تابستان و هنگام اعمال تیمار خشکی، از سه نقطه میانی برگ، تخمین زده شد (قلی‌زاده، ۲۰۰۹).

2. Opti-Sciences, Model: OS-3p, USA
 3. Fluorescence Optimum
 4. Minitab version 17
 5. SAS

1. SPAD-502 (Soil and Plant Analysis Development)
 Minolta-japan

زکایی خسروشاهی و همکاران (۲۰۱۴) نیز اشاره شده است.

در ارتباط با میزان رشد و طول شاخه جدید با توجه به جدول مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های A-100-13، A-7-100 و A-100-8 به ترتیب با ۷/۰۳، ۶/۷۸ و ۶/۸۷ سانتی‌متر بیشترین رشد را در شرایط تنش خشکی داشته که نشان دهنده این است که این ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها مقاومت و سازگاری بهتری داشتند. همچنین گزارش مشابهی در نتایج توسط زکایی خسروشاهی و همکاران (۲۰۱۴) مشخص شده که ژنوتیپ‌ها تأثیر معنی‌داری بر طول شاخساره داشتند و بیشترین و کمترین طول شاخه‌ها به ترتیب در *P. eleagnifolia* و *P. eburnea* در پاسخ به تیمارهای تنش خشکی مشاهده شد. بنابراین به نظر می‌رسد که ممکن است از این ویژگی به عنوان نشانگر تنش خشکی نیز در نهال‌های جوان گونه بادام استفاده شود.

بررسی نتایج شاخص‌های فیزیولوژیکی براساس مقایسه میانگین‌ها در این تحقیق مشخص شد که شاخص محتوای کلروفیل^۵ (CCI) به‌عنوان یک روش غیرتخریبی و سریع برای سنجش تغییرات مقدار کلروفیل و مرتبط با تأثیر تنش بر گیاهان استفاده می‌شود. بنابراین پژوهش حاضر نیز بررسی شاخص محتوای کلروفیل براساس معیار اسپد نشان داد که این شاخص در ژنوتیپ A-7-100 با بالاترین میزان (۴۹/۹۵) در بین سایر ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود. در صورتیکه ژنوتیپ AH1-99 کمترین میزان شاخص کلروفیل (۳۱/۸۷) را از خود نشان داد. بررسی تحمل به شرایط تنش خشکی نشان داد که ژنوتیپ AH1-99 نسبت به ژنوتیپ A-7-100 حساسیت بیشتری در برابر شرایط کم آبی و تنش خشکی دارد (شکل ۱). نتایج مشابهی توسط گیگلو و الهامی (۲۰۱۲) ارائه شد که طبق نتیجه آنها اختلاف معنی‌داری در شاخص محتوای کلروفیل در تنش خشکی بین ارقام بادام مشاهده شد و رقم تونو میزان شاخص محتوای کلروفیل بسیار بالاتری را نسبت به رقم پرنسس نشان داد. علت آن تأثیر مستقیم خشکی بر شاخص کلروفیل برگ بوده که آنرا کاهش داده و به‌دنبال آن عملکرد نیز کاهش می‌یابد (شلمر^۶ و همکاران، ۲۰۰۵).

AH1-99، ۱۷۴/۵۴ و ۹۴ سانتی‌متر بود. با توجه به معنی‌دار بودن اثر تنش خشکی بر میزان رشد و ارتفاع ارقام مختلف این نتیجه حاکی از آن است که زمانی که درختان تحت تیمار خشکی و شرایط کم آبی قرار بگیرند با افزایش میزان تنش، رشد طولی نهال‌ها کاهش پیدا می‌کند. استوکر (۱۹۶۰) گزارش کرد که تنش خشکی موجب کاهش طول ساقه و ایجاد حالت قدکوتاهی در گیاهان می‌گردد. طبق گزارشی فعالیت آنزیم ایندول استیک اسید اکسیداز در بافت‌های گیاهی که دارای رشد سریعی می‌باشند بسیار کم است ولی فعالیت این آنزیم در شرایط تنش خشکی افزایش یافته و موجب تجزیه هورمون اکسین در گیاه می‌گردد (میزیابی و یوسفزاده^۱، ۲۰۱۳؛ انجوم^۲ و همکاران، ۲۰۱۴).

بر طبق نتایج مقایسه میانگین تأثیر تیمار خشکی بر روی صفت قطر تنه در بالای محل پیوند در ژنوتیپ‌های انتخابی بادام مشخص شد که ژنوتیپ‌های A-5-، A-7-100 و A-100-17 بیشترین قطر داشته و در یک گروه قرار می‌گیرند و با همدیگر تفاوت نداشته ولی نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارای تنه‌ای قطورتر بالای محل پیوند داشتند. طبق گزارشی (رینگلینگ^۳ و همکاران، ۲۰۰۳) کمبود آب بر روی رشد سلول‌ها اثر منفی می‌گذارد و بر روی تشکیل سلول‌های آوند چوب اثرگذار بوده و مقدار آن را کاهش می‌دهد. در ارتباط با زردی و ریزش برگ در بین ژنوتیپ‌های انتخابی بادام نتایج مقایسه میانگین حاکی از آن بود که ژنوتیپ‌های AH1-99 و A-124-1 به ترتیب با میانگین ۵۹/۴۵ و ۵۶/۶۷ درصد زردی و ریزش برگ بالاترین میزان را در بین سایر ژنوتیپ‌ها به خود اختصاص داد. همچنین نتایج مقایسه میانگین در ارتباط با این صفات نشان‌دهنده این موضوع بود که اختلاف معنی‌داری با سایرین داشتند. مک‌میشیل^۴ و همکاران (۱۹۷۳) گزارش کردند علت کاهش تعداد برگ یا زردی و ریزش برگ‌ها، افزایش میزان تولید اتیلن در نتیجه تنش می‌باشد. از طرفی در طی دوره تنش به دلیل تمایل گیاهان به کاهش تعرق با استفاده از کاهش تعداد برگ‌های‌شان که در این مطالعه نیز مشهود بود، توسط

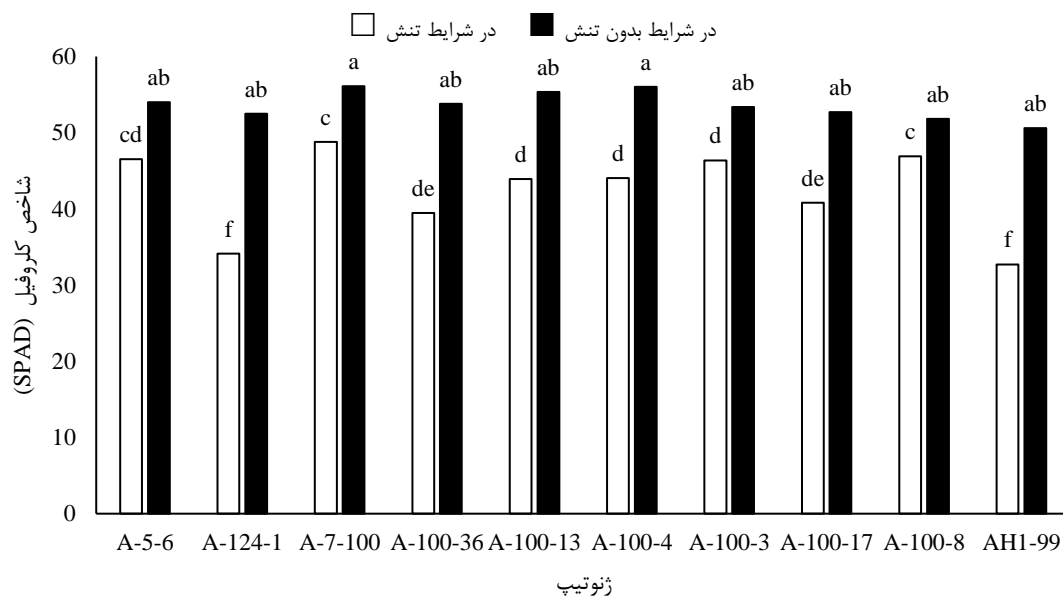
1. Mirzaei and Usefzadeh
2. Anjum
3. Rigling
4. McMichael

5. Chlorophyll content index (CCI)
6. Schlemmer

جدول ۱- مقایسه میانگین برخی صفات در ارقام انتخابی بادام در شرایط تنش و عادی

ژنوتیپ	ارتفاع نهال (سانتی‌متر)	ارتفاع نهال (سانتی‌متر)	رشد شاخه جدید (سانتی‌متر)	رشد شاخه جدید (سانتی‌متر)	رشد شاخه جدید (سانتی‌متر)	قطر تنه بالای محل پیوند (میلی‌متر)	قطر تنه بالای محل پیوند (میلی‌متر)	زردی و ریزش برگ (٪)	زردی و ریزش برگ (٪)
A-5-6	۱۴۱c	۱۳۷ab	۱۴/۴۴bc	۵/۸۱b	۲۷/۶۵abc	۲۲/۰۰ab	۳۵/۴۵c*	•	•
A-124-1	۹۷/۱۳K	۷۹/۷۱g	۱۳/۱۸c	۴/۷۸bc	۲۳/۷۶bc	۱۹/۳۹۷d	۵۶/۶۷a	•	•
A-7-100	۱۷۴/۵۴a	۱۵۰/۱۷a	۱۷/۱a	۷/۰۳a	۲۹/۸۹bc	۲۴/۹۲۳a	۲۵/۳۴d	•	•
A-100-36	۱۵۳/۶۷b	۱۴۰/۱۹ab	۱۳/۱۴bc	۵/۷۳b	۲۲/۲۳a	۲۱/۳۳cd	۴۵/۰۳b	•	•
A-100-13	۱۳۵d	۱۲۴c	۱۶/۳۱ab	۶/۷۸a	۲۱/۴۳bc	۱۹/۹۳۳d	۴۹/۸۷b	•	•
A-100-4	۱۱۲/۴۳f	۹۹/۳۳ef	۱۴/۶۰۰bc	۴/۹۸bc	۲۲/۱۷abc	۲۱/۱۳cd	۴۷/۷۸b	•	•
A-100-3	۱۱۹ef	۱۰۶e	۱۱/۵۰۰d	۳/۷۹c	۲۱/۶۹abc	۲۲/۶۴bc	۴۶/۹۸b	•	•
A-100-17	۱۲۶e	۱۱۳d	۱۴/۱۴bc	۴/۰۰c	۲۴/۰۹abc	۲۳/۰۱۸ab	۳۸/۶۷bc	•	•
A-100-8	۱۱۹/۵۶ef	۱۰۸/۳۴e	۱۵/۹۸ab	۶/۸۷a	۲۲/۹۹bc	۲۱/۹۸bc	۴۱/۳۴b	•	•
AH1-99	۹۴g	۷۸/۳۴g	۱۵/۶۷ab	۵/۹۸b	۲۱/۲۴c	۱۹/۳۴d	۶۵/۴۵a	•	•

* اعدادی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن در سطح ۵٪ می‌باشند.



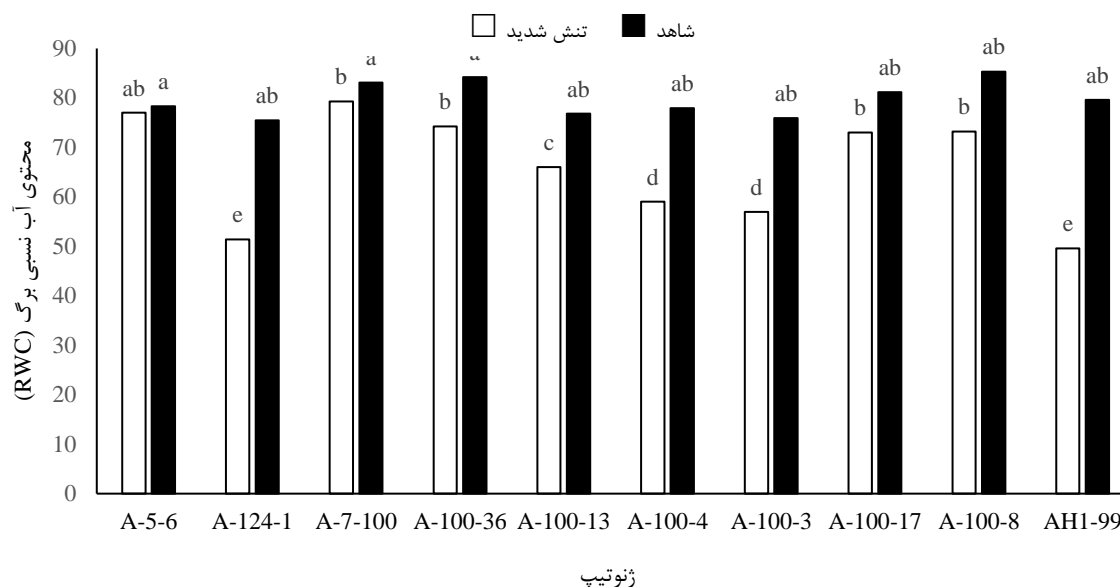
شکل ۱- مقایسه میانگین شاخص محتوای کلروفیل در ارقام انتخابی بادام در شرایط تنش و عادی. میانگین‌های با حرف‌های مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد آزمون دانکن ندارند.

محتوای آب نسبی برگ

با توجه به نتایج مقایسه میانگین در بین ژنوتیپ‌های انتخابی بادام مورد مطالعه در این تحقیق مشخص شد (شکل ۲) که ژنوتیپ A-100-8، A-100-36، A-7-100 و A-100-17 با ۷۹/۲۷، ۷۴/۲۷، ۷۳/۱۹ و ۷۳/۰۴ بیشترین میزان آب نسبی برگ را در بین سایر ژنوتیپ‌ها داشتند که نشان‌دهنده تحمل نسبی این ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی دارد. همچنین گزارش مشابهی توسط فارالونی^۱ و

همکاران (۲۰۱۱) در رابطه با مقایسه مقادیر محتوای آب نسبی در گونه‌های مختلف در بالاترین سطح تنش خشکی نشان داد که *P.eburnea* دارای بیشترین محتوای آب نسبی برگ تحت تنش شدید خشکی بوده که نشان می‌دهد نسبت به سایرین در برابر تنش آب مقاوم است. این نتایج نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های حساس توانایی کمتر جذب و یا نگهداری آب در درون برگ‌های خود تحت تأثیر شرایط خشکی و کم آبی می‌باشد که در توجیه آن می‌توان اشاره نمود که با افزایش شدت تنش آبی،

1. Faraloni



شکل ۲- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ در ارقام انتخابی بادام در شرایط تنش و عادی. میانگین‌های با حرف‌های مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد آزمون دانکن ندارند.

یابد و در نتیجه باعث تجمع ناقلین الکترون پر انرژی، تشکیل رادیکال‌های آزاد، آشفستگی کمپلکس‌های برداشت کننده نور و افت کارایی فتوسنتز می‌گردد. از دلایل دیگر این موضوع می‌توان به گزارش پیپر^۴ و همکاران (۲۰۰۷) در مورد تنش خشکی اشاره نمود که بیان نموده اند که تنش‌های مختلف از جمله خشکی با کاستن از مصرف شدن محصولات زنجیره انتقال الکترون (NADPH) و ATP موجب افزایش فردوکسین احیاء و رادیکال‌های آزاد و در نتیجه تخریب پروتئین‌های غشاء تیلاکوئید می‌شود که در نتیجه آن انتقال الکترون از جایگاه پذیرنده فتوسیستم II و حداکثر عملکرد فتوسیستم II کاهش و فلورسانس کلروفیل افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج حاصل از بررسی تحمل به خشکی و برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های انتخابی بادام نشان داد که اعمال تنش خشکی روی نهال‌های بادام، برخی صفات مورفولوژیکی از قبیل ارتفاع نهال، قطر تنه در قسمت بالای محل پیوند، طول رشد شاخه جدید، میزان زردی و ریزش برگ تحت شرایط تنش خشکی، کاهش پیدا کردند. همچنین در شرایط تنش خشکی ویژگی‌های فیزیولوژیکی از قبیل شاخص محتوای

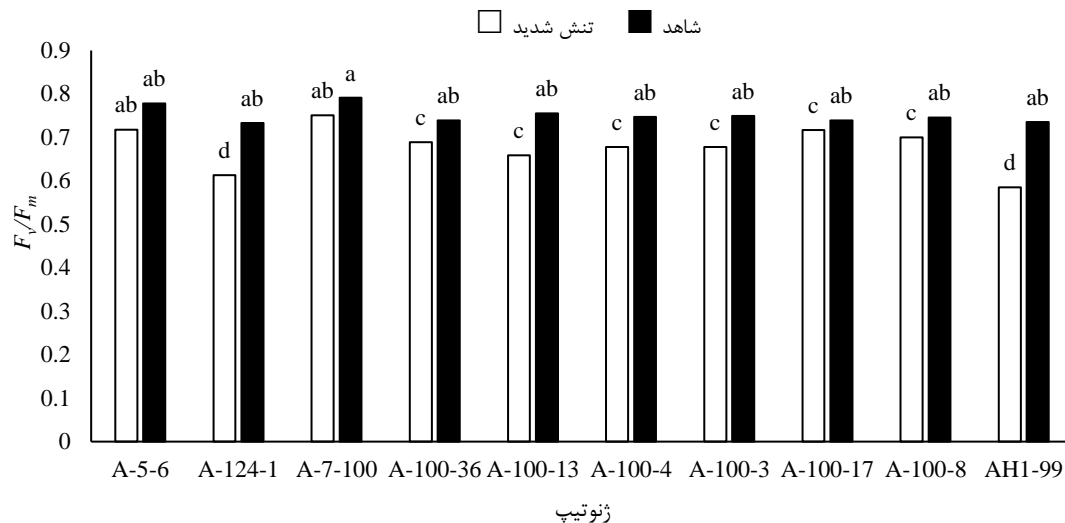
شرایط جذب آب برای گیاهان مشکل‌تر شده و در نتیجه مقدار آب موجود در یاخته‌های بافت گیاهی از حالت تورژسانس فاصله گرفته و کاهش محتوای آب باعث تأثیر منفی بر تقسیم یاخته‌ای و رشد و نمو گیاه می‌شود. بر اساس بررسی‌هایی که روی گیاهان مختلف انجام شده (ماکلاگان^۱، ۱۹۹۳) می‌توان میزان نسبی آب برگ را به عنوان شاخصی در میزان تنش و پژمردگی آنها به کاربرد و در غربال‌گری به به‌نژادگر کمک نماید (گرادزیل^۲ و همکاران، ۲۰۰۱؛ کراوز^۳ و همکاران، ۱۳۹۳).

نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر (F_v/F_m)

بر طبق نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین‌ها (شکل ۳)، نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر، تحت شرایط تنش خشکی ژنوتیپ AH1-99 با ۴۹/۶۰ کمترین میزان را داشت در مقابل ژنوتیپ A-7-100 با ۷۵۱ دارای بیشترین مقدار می‌باشد. این نتایج حاکی از آن است که این ژنوتیپ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها تحت تنش خشکی از مقاومت و سازگاری بیشتری برخوردار بود. یوان و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی محدودکننده فتوسنتز است، بدین ترتیب که با بسته شدن روزنه‌ها، CO_2 داخل سلولی کاهش می‌-

1. Maclagan
2. Gradziel
3. Krause

4. Peper



شکل ۳- مقایسه میانگین نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر (F_v/F_m) در ارقام انتخابی بادام در شرایط تنش و عادی. میانگین‌های با حرف‌های مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد آزمون دانکن ندارند.

مقاوم‌ترین ژنوتیپ شناخته شدند. با توجه به نتایج بدست آمده، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر که قبلاً هیچ پژوهشی بر روی آنها انجام نشده، پس از مطالعات تکمیلی می‌توانند به‌عنوان ارقام جدید امیدبخش و مقاوم به خشکی معرفی و در برنامه‌های به‌نژادی و به‌زراعی مورد استفاده قرار گیرند.

کلروفیل بر اساس معیار اسپید، محتوای آب‌نسبی برگ و نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر، کاهش یافتند که این میزان کاهش در برخی از ژنوتیپ‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری را نشان دادند. در نهایت با توجه به داده‌های حاصل از این تحقیق ژنوتیپ AH1-99 به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ و A-7-100 به‌عنوان

منابع

- Anjum, N.A., Arena, C. and Singhgill, S. 2014. Reactive Oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS scavengers during environmental stress in plant. *Frontiers in Environmental Science*, 2: 1-13.
- Bacelar, E.A., Santos, D.L., Jose, M.M.P., Goncalves, B.C., Ferreira, H.F. and Correia, C.M. 2006. Immediate responses and adaptive strategies of three olive cultivars under contrasting water availability regimes. *Plant Science*, 170(3): 596-605.
- Baker, N.R. and Rosenqvist, E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55(403): 1607-1621
- Belkhdja, R., Morales, F., Abadia, A., Gómez-Aparisi, J. and Abadia, J. 1994. Chlorophyll fluorescence as a possible tool for salinity tolerance screening in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Physiology*, 104: 667-673.
- Berman, M.E. and Dejong, T.M. 1996. Water stress and crop load effects on fruit fresh and dry weights in peach (*Prunus persica* L.). *Tree Physiology*, 16: 859-864.
- De Herralde, F. 2000. Integral study of the ecophysiological response to water stress: characterization of the almond varieties. *Nucis –Newsletter*, 9: 20-21.
- De Herralde, F., Savé, R., Biel, C., Batlle, I. and Vargas, F.J. 2001. Differences in drought tolerance in two almond cultivars: 'Lauranne' and 'Masbovera'. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 56: 149-154.
- Egea, G., Nortes, P.A., González, R.M.M., Baille, A. and Domingo, R. 2010. Agronomic response and water productivity of almond trees under contrasted deficit irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 97(1): 171-181.

- Faraloni, C., Cutino, I., Petruccelli, R., Leva, A.R., Lazzeri, S. and Torzillo, G. 2011. Chlorophyll fluorescence technique as a rapid tool for in vitro screening of olive cultivars (*Olea europaea* L.) tolerant to drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 73: 49-56.
- Germana, C. 1997. Experience on the response of almond plants (*Amygdalus communis* L.) To water stress. In II International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, 449: 497-504.
- Gholizadeh, A. 2009. Evaluation of SPAD chlorophyll meter in two different rice growth stages and its temporal variability. *European Journal of Scientific Researches*, 37(4): 591-598.
- Gikloo, S.T. and Elhami, B. 2012. Physiological and morphological responses of two almond cultivars to drought stress and cycocel. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3(5):1000-1004.
- Goldhamer, D.A. and Smith, T.E. 1995. Single -season drought irrigation strategies influence almond production. *California Agriculture*, 49(1):19-22.
- Gradziel, T.M., Martinez-Gomez, P., Dicenta, F. and Kester, D.E. 2001. The Utilization of Prunus Species for Almond Variety Improvement. *Journal of the American Pomological Society*, 55(2): 100-108.
- Griffiths, H. and Parry, M.A.J. 2002. Plant responses to water stress. *Annual of Botany*, 89: 801- 802.
- Hernández, I., Alegre, L. and Munné-Bosch, S. 2004. Drought-induced changes in flavonoids and other low molecular weight antioxidants in *Cistus clusii* grown under Mediterranean field conditions. *Tree Physiology*, 24(11): 1303-11.
- Karimi, S., Yadollahi, A. and Arzani, K. 2013. Responses of Almond Genotypes to Osmotic Stress Induced in Vitro. *Journal of Nuts*, 4(4): 1-7.
- Krause, S.C., Raffa, K.F. and Wagner, M.R., 1993. Tree response to stress: a role in sawfly outbreaks. Sawfly life history adaptations to woody plants. Academic Press, New York, 211-227.
- Maclagan, J.L. 1993. Effect of drought stress on the water relation in Brassica Species. *Canadian Journal of Plant Physiological Science*, 73: 225-229.
- McMichael, B.L., Jordan, W.R. and Powell, R.D. 1973. Abscission processes in cotton: Induction by plant water deficit. *Agronomy Journal*, 65: 202-204.
- Mirzaei, J. and Usefzadeh, H. 2013. Peroxidase, superoxide dismutase and catalase activities of the *Pistacia khinjuk* seedlings under drought stress. *Ecopersia*, 1: 329-337.
- Momenpour, A., Ebadi, A. and Imani, A. 2011. Discrimination of self compatability in genotypes obtained from almond breeding program using fluorescent microscopy and PCR methods. *African journal of Agriculture Research*, 6(23): 5251-5260.
- Munné-Bosch, S., Jubany-Marí, T. and Alegre, L. 2003. Enhanced photo- and antioxidative protection, and hydrogen peroxide accumulation in drought-stressed *Cistus clusii* and *Cistus albidus* plants. *Tree Physiology*, 23(1):1-12.
- Nezhadahmadi, A., Prohdan, Z.H. and Faruq, G. 2013. Drought tolerance in wheat. *The Scientific World Journal*, 12 pp.
- Parida, A.K and Das, A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants. A review; *Ecotoxicology and Enviromental safety*, 60: 324-349.
- Peper, F.I., Corcuera, L.J., Alberdi, M. and Lusk, C. 2007. Differential photosynthetic and survival responses to soil drought in two evergreen nothofagus species. *Annals of forest Sciences*, 64: 447-452.
- Razouk, R., Ibjibijen, J., Kajji, A. and Karrou, M. 2013. Response of peach, plum and almond to water restrictions applied during slowdown periods of fruit growth. *American Journal of Plant Sciences*, 4: 561-570.
- Rigling, A., Brihlhart, H., Barker, O., forster, T. and Schweingruber, F.H. 2003. Effect of irrigation on diameter growth and vertical resin production in *Pinus sylvestris* L. on dry sites in the central Alps. *Switzerland and Forest Ecological Management*, 175: 285-296.
- Romero, P., Navarro, J.M., Garcia, F., Pablo, O. and Botia, O. 2004 Effects of regulated deficit irrigation during the pre-harvest period on gas exchange, leaf development and crop yield of mature almond trees *Tree Physiology*, 24: 303-312.
- Rouhi, V., Samson, R., Lemeur, R. and Van Damme, P. 2007. Photosynthetic gas exchange characteristics in three different almond species during drought stress and subsequent recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 59: 117-129.
- Ryan, M.G. 2013. Tree responses to drought. *Tree Physiology*, 31: 237-239.

- Schlemmer, M.R., Francis, D.D., Shanahan, J.F. and Schepers, J.S. 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *American Society of Agronomy*, 97(1): 106-112.
- Socias i Company, R. and Gradziel, T.M. 2017. *Almonds: Botany, Production and Uses*. Boston, MA: CABI.
- Stocker, O. 1960. Physiological and morphological changes in plants due to water deficiency. In *Plant Water Relationships in Arid and Semi-arid Conditions*, pp. 63–104. UNESCO, Paris.
- Torrecillas, A., Alarcon, J.J., Domingo, R., Planes, J. and Sanchez Blanco, M.J. 1996. Strategies for drought resistance in leaves of two almond. *Plant Science*, 118(2): 135-143.
- Torrecillas, A., Ruiz-Sanchez, M.C. and Hernanseaz, A. 1989. The response of young almond trees to different drip-irrigated conditions: Development and Yield. *Journal of Horticultural Science*, 64(1): 1-7.
- Turner, N.C. 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. *Stress physiology in crop plants*, 343-372.
- Yuan, S., Liu, W.L., Zhang, N.H., Wang, M.B., Liang, H.G. and Lin, H.H. 2005. Effects of water stress on major photosystem II gene expression and protein metabolism in barley leaves. *Physiologia Plantarum*, 125: 464-473.
- Zokaee-Khosroshahi, M., Esna-Ashari, M., Ershadi, A., Imani, A. 2014. Morphological changes in response to drought stress in cultivated and wild almond species. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 1: 79-92.