

ارزیابی تغییرات فلورسانس کلروفیل و میزان زیست‌توده پایه‌ها و هیبریدهای بین‌گونه‌ای جنس پسته (*P. vera* × *P. integerrima*) به منظور دستیابی به پایه‌های متحمل به خشکی

محمد مهدی شریفانی^۱، حسن فرهادی^{۲*}، مهدی علیزاده^۳، حسین حکم‌آبادی^۴ و ساسان علی‌نیا^۵ فرد^۵

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۳۰)

چکیده

در پژوهش حاضر تکنیک فلورسانس کلروفیل به عنوان یک ابزار غیرتخریبی با هدف مقایسه میزان تحمل به خشکی پایه‌ها برای تخمین کارکرد فتوسیستم II به کار گرفته شد. این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار به صورت گلدانی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به اجرا در آمد. فاکتورهای آزمایش شامل ۱۰ پایه پسته احمد آقایی، اکبری، سرخه‌حسینی، گرمه، فندق و هیبرید بین‌گونه‌ای (احمد آقایی × اینتگریمما، اکبری × اینتگریمما، سرخه‌حسینی × اینتگریمما، گرمه × اینتگریمما و فندق × اینتگریمما) و سه سطح خشکی شامل شاهد (ظرفیت زراعی)، تنش ملایم (۶۵ درصد ظرفیت زراعی) و تنش شدید (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) بودند که ۸۴ روز در دانهال‌های سه ماهه پسته اعمال شدند. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح خشکی میزان فلورسانس بیشینه (F_m)، فلورسانس متغیر (F_v)، حداکثر کارایی فتوسیستم II (F_v/F_m) و زیست‌توده دانهال‌ها کاهش و فلورسانس کمینه (F_0) افزایش یافت. بیش‌ترین میزان این شاخص‌ها به جز شاخص F_0 در تیمار شاهد مشاهده شد و تفاوت معنی‌داری با تنش شدید داشت. بر اساس نتایج، پاسخ‌های فیزیولوژیکی متفاوتی در پاسخ به تنش‌های اعمال شده بین پایه‌ها مشاهده شد. پایه‌های هیبرید سرخه‌حسینی × اینتگریمما، احمد آقایی × اینتگریمما و اکبری × اینتگریمما بالاترین و پایه فندق کم‌ترین عملکرد کوانتومی (فتوسیستم II) را نسبت به سایر پایه‌ها نشان دادند. از نظر میزان وزن تر و خشک ساقه، ریشه و برگ نیز پایه‌های هیبرید سرخه‌حسینی × اینتگریمما، احمد آقایی × اینتگریمما و اکبری × اینتگریمما کمتر تحت تأثیر خشکی قرار گرفتند. بر اساس نتایج پژوهش حاضر به نظر می‌رسد بتوان از این سه پایه به عنوان پایه‌های حاوی ژن‌های متحمل به خشکی برای اصلاح ارقام با پتانسیل عملکرد بالا در مناطق خشک استفاده کرد.

کلمات کلیدی: اینتگریمما، پایه‌های دانهالی، تحمل به خشکی، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، نسبت F_v/F_m

۱- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
۲- دانش‌آموخته دکتری علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
۳- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
۴- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاه‌رود)، ایستگاه تحقیقات پسته دامغان
۵- استادیار گروه علوم باغبانی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت
* پست الکترونیک: farhadi.hassan66@gmail.com

مقدمه

پسته (*Pistacia vera* L.) از نظر باغی دارای اهمیت تجاری بسزایی بوده و به عنوان یک محصول مناسب برای بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند مدیترانه و آسیای صغیر در نظر گرفته شده است (مهدی‌تونس^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). ایران یکی از تولیدکنندگان عمده پسته در جهان است و تاریخچه کشاورزی در ایران به سه الی چهار هزار سال قبل بر می‌گردد (معظم‌جازی^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). در حال حاضر یکی از مهم‌ترین مشکلات باغات پسته در اکثر مناطق ایران افت شدید منابع آبی به علت خشکسالی‌های پی در پی در چند سال اخیر می‌باشد که به میزان چشم‌گیری باعث کاهش این محصول ارزشمند شده است. یکی از شیوه‌های مقابله با این پدیده، گزینش و بکارگیری پایه‌های متحمل به خشکی می‌باشد (معظم‌جازی و همکاران، ۲۰۱۷).

کم شدن فتوسنتز به دلیل اختلال در فعالیت فتوسیستم II یکی از بارزترین پاسخ‌های گیاهان به تنش‌های محیطی می‌باشد (کیران^۳ و همکاران، ۲۰۱۴). بسته شدن روزنه‌ها و در پی آن کاهش تبادلات گازی در شرایط تنش‌زا صورت گرفته به طوری که ادامه جذب انرژی نورانی باعث اختلال در زنجیره انتقال الکترون شده و باعث بسته شدن مراکز واکنش و در نهایت کاهش عملکرد کوانتومی فتوسیستم II می‌گردد (دپاس^۴ و بروگمان، ۲۰۱۰). در هنگام بروز تنش خشکی نیز در فرآیندی مشابه، روزنه‌ها در واکنش به اسید آبسزیک منشأ گرفته از برگ یا ریشه بسته شده و در نتیجه باعث کاهش فتوسنتز می‌گردد (پیراسته انوشه^۵ و همکاران، ۲۰۱۶). از طرفی با افزایش شدت نور، سیستم فتوسنتزی با یک روش تنظیمی برای کاهش انرژی القا شده تاریکی، انرژی اضافی را به روش افزایش خاموشی غیرفتوشیمیایی به صورت فرآیند غیر تشعشعی هدر می‌دهد. با این ساز و کار تنظیمی، علاوه بر حفاظت از مرکز واکنش، باعث شده که کم‌ترین صدمه به این مرکز وارد گردد (معراجی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱). در پژوهشی کردرستمی^۶ و همکاران (۲۰۱۴) در گیاه

داغداغان گزارش کردند که در زمان وقوع تنش خشکی واکنش شیمیایی فتوسیستم II به میزان زیادی تحت تأثیر کمبود آب قرار می‌گیرد. در این وضعیت به دنبال کاهش فتوسنتز و ذخیر فرآورده‌های آن، انتقال الکترون یعنی ATP و NADPH در واکنش‌های مرتبط با نور در فتوسنتز، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II کاهش می‌یابد. در واقع میزان فرود^۷ انرژی الکترون بر انگیخته شده از مسیر غیرفتوشیمیایی افزایش پیدا کرده و در نتیجه با این روش فتوسیستم II به طوری منفی تنظیم می‌گردد.

در ارتباط با انرژی نورانی که توسط مولکول‌های کلروفیل برگ جذب می‌شود یکی از این سه وضعیت می‌تواند اتفاق بیافتد: بخشی از انرژی نور جذب شده برای پیشبرد فتوسنتز توسط مولکول‌های کلروفیل در یک برگ استفاده می‌گردد (خاموشی فتوشیمیایی) و یا به صورت حرارت انرژی اضافی پراکنده شده (خاموشی غیرفتوشیمیایی) و یا به شکل نور از سطح برگ با طول موج بلند منعکس شده که این پدیده فلورسانس کلروفیل نام‌گذاری شده است (بیکر^۸، ۲۰۰۸). اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل یکی از روش‌های تعیین اختلال در سیستم فتوسنتزی است که بازتابی از وضعیت فتوشیمیایی گیاه می‌باشد. در واقع میزان فلورسانس کلروفیل نشان‌دهنده تمامیت غشای تیلاکوئید و کارایی نسبی انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I می‌باشد (بیلگر و بیورکمن^۹، ۲۰۱۴). پدیده فلورسانس کلروفیل منحصراً در فتوسیستم II رخ می‌دهد، بنابراین استفاده از نتایج فلورسانس کلروفیل به عنوان یک معیار سنجش برای اندازه‌گیری تأثیر تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی بر گونه‌های زراعی و باغی و تعیین میزان مقاومت به خشکی آن‌ها می‌تواند اطلاعات بسیار مفیدی در ارتباط با ساختار و عملکرد فتوسیستم II ارائه دهد (اوکاروم^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۷). تنش خشکی و شوری منجر به افزایش فلورسانس کمینه^{۱۱} (F_0)، فلورسانس متغیر^{۱۲} (F_v)، فلورسانس بیشینه^{۱۳} (F_m) و کاهش حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m)

7. Quenching
8. Baker
9. Bilger and Bjorkman
10. Oukarroum
11. Fluorescence Minimum
12. Fluorescence Variable
13. Fluorescence Maximum

1. Mehdi-Tounsi
2. Moazzam Jazi
3. Kiran
4. Dias and Bruggemann
5. Pirasteh-Anosheh
6. Kurd Rostami

با توجه به اهمیت محصول پسته در کشور به عنوان یک محصول استراتژیک و همچنین قرار گرفتن ایران در شرایط خشک و نیمه‌خشک، تحقیقات به منظور دستیابی به پایه‌های هیبرید متحمل به خشکی ضروری می‌باشد (آرتوس^۴ و همکاران، ۲۰۱۵). پژوهش‌های انجام شده تاکنون در جهت ارزیابی تنش خشکی ارقام و پایه‌های پسته از طریق انتخاب بذور و یا گیاه مادری مستقیم بوده و تاکنون بین بذور حاصل از تلاقی‌های کنترل شده، آزمایشی به منظور گزینش پایه متحمل به خشکی همزمان با بهبود رشد رویشی انجام نشده است. به طور کلی تلاقی‌های کنترل شده و هدفمند در راستای افزایش میزان مقاومت، می‌تواند راهی مطمئن و دائمی برای کاهش اثرات زیان بار تنش خشکی بر گیاهان در نظر گرفته شود. گونه ورا (*Pistacia vera* L.) که عمده‌ترین پایه مورد استفاده در کشور ایران است، گونه‌ای کند رشد و دیر بازده می‌باشد. از طرف دیگر پسته گونه اینترگریم (*P. integerrima* S.) یکی از گونه‌های پر رشد، مقاوم به ورتیسیلیوم و دارای بسیاری از ویژگی‌های خوب دیگر است (آرتوس و همکاران، ۲۰۱۵). از طرفی اطلاعات خاصی در مورد شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و میزان زیست‌توده پایه‌ها در تلاقی‌های کنترل شده و آزاد در ارتباط با پایه‌های پسته در شرایط تنش خشکی گزارش نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش، ارزیابی اثر تنش خشکی بر تغییرات فلورسانس کلروفیل و میزان زیست‌توده پایه‌ها در دانه‌های پسته حاصل از گرده‌افشانی آزاد با دانه گرده گونه اهلی و گرده‌افشانی کنترل شده با دانه گرده گونه اینترگریم به منظور دستیابی به پایه‌های متحمل به خشکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مرحله اول: گرده‌افشانی کنترل شده و تولید بذور

هیبرید

به منظور تولید بذور هیبرید، تلاقی کنترل شده در مؤسسه تحقیقات پسته آستان قدس رضوی (شهرستان بردسکن - شهر انابد) واقع در ۲۱۱ کیلومتری شهر مشهد در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در درختان ۱۴ ساله ارقام احمد آقایی، اکبری، سرخه حسینی، گرمه و فندق انجام شد.

می‌گردد (ژائو^۱ و همکاران، ۲۰۰۷). زمانی که مراکز واکنش کاملاً باز بوده و شدت نور در حد ایجاد اشباع نوری باشد، بخش زیادی از انرژی نورانی به مصرف فعالیت‌های فتوشیمیایی می‌رسد و در نهایت فقط بخش جزئی از آن به صورت فلورسانس منعکس می‌یابد که به آن فلورسانس کمینه (F_0) گفته می‌شود، در مقابل زمانی که تابش نور اشباع ادامه داشته باشد کلیه مولکول‌های اولین دریافت کننده الکترون یعنی کوئینون^۲ حداقل به صورت کوتاه مدت به حالت احیا در آمده و به علت ادامه واکنش‌های شیمیایی فتوسیستم II، مراکز واکنش بسته شده و به میزان زیادی فلورسانس افزایش می‌یابد که به آن فلورسانس بیشینه (F_m) اطلاق می‌گردد (ماکسول و جانسون^۳، ۲۰۰۰). قاسمی و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی روی پایه‌های پسته نشان دادند که هر چه میزان فلورسانس کلروفیل پایه‌ها در شرایط تنش کمتر باشد، استفاده بیشتری از نور دریافتی می‌کنند و در نتیجه مقاومت بیشتری به خشکی خواهند داشت.

علاوه بر تکنیک فلورسانس کلروفیل، پایداری پایه‌ها از لحاظ زیست توده در شرایط تنش‌زا نیز به عنوان یک معیار مقاومت به خشکی برای انتخاب پایه‌های مقاوم پیشنهاد شده است (فهیمی‌خویردی و شمشیری، ۱۳۹۵). فهیمی‌خویردی و شمشیری (۱۳۹۵) گزارش کردند شاخص PI (یکی از شاخص‌های فلورسانس کلروفیل) که بیانگر عملکرد دستگاه فتوسنتزی است، بیشترین همبستگی را با وزن خشک داشت، بنابراین می‌توان از آن به عنوان یک شاخص مؤثر در تفکیک و شناسایی پایه‌های مقاوم و حساس استفاده کرد. طبق نتایج ایشان، ارقام سرخس و بادامی ریز با کاهش کمتر وزن خشک کل و ظرفیت فتوسنتزی بالاتر نسبت به رقم ابارقی در شرایط تنش مقاوم‌تر ارزیابی شدند. در پژوهشی ملکوتی و همکاران (۱۳۸۷) گزارش کردند که گیاهان در زمان مواجهه با تنش خشکی روزه‌های خود را بسته و این کار منجر به کاهش میزان کربن‌گیری و فتوسنتز می‌گردد به طوری که نبودن تورژانس سلولی از تقسیم سلول‌ها جلوگیری کرده که این عوامل رشد و نمو و در نهایت زیست‌توده گیاهان را کاهش می‌دهد.

1. Zhao
2. Quinon A
3. Maxwell and Johanson

4. Araus

درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در ادامه با استفاده از سرنگ ترکیب آرد گندم و گرده اینتگریمما (نسبت ۱:۱) به داخل کیسه‌های عایق تزریق و عمل گرده‌افشانی صورت گرفت. این اقدام برای هر خوشه چهار مرتبه تکرار گردید. در زمان بستن کیسه‌های عایق‌بندی، با توجه به رشد طولی جوانه انتهایی، حدوداً ۱۵ سانتی‌متر از فضای انتهایی کیسه خالی در نظر گرفته شد. پس از گرده‌افشانی هنگامی که کلاله‌ی گل‌ها، قهوه‌ای رنگ شد و میوه‌ها به صورت دانه ارزنی (۲/۶-۱/۸ میلی‌متر) رسیدند، کیسه‌های مملول از روی شاخه‌ها برداشته و با کیسه‌های توری بزرگ تعویض شدند تا از میوه‌های تشکیل شده مراقبت‌های لازم در خصوص کنترل آفات و سایر موارد صورت پذیرد. در اواخر تابستان برداشت بذرها هیبرید انجام شد و پس از خشک نمودن، در داخل یخچال با دمای ۴ + درجه سانتی‌گراد جهت مراحل بعدی آزمایش نگهداری شدند.

درختان پسته مورد آزمایش در این پژوهش، در فضای باغ به مختصات جغرافیایی " ۴۸'۰۱" ۵۷/۸۰° طول شرقی، " ۱۴'۲۱" ۳۵/۲۳° عرض شمالی و ارتفاع ۸۷۵ متر از سطح دریا قرار داشتند. هر تکرار شامل یک درخت و از هر درخت هفت شاخه که حداقل دارای سه تا چهار جوانه گل بود انتخاب شد و چهار شاخه از آن‌ها برای گرده‌افشانی کنترل شده، دو شاخه جهت گرده‌افشانی آزاد و یک شاخه به منظور کنترل منفی در نظر گرفته شد. قبل از باز شدن کامل خوشه‌های گل، بر روی شاخه‌ها با الکل ۷۰ درصد محلول‌پاشی شد تا از احتمال وجود گرده‌های ناخواسته جلوگیری گردد. به منظور اطمینان از گرده‌افشانی کنترل شده، در مرحله تورم جوانه، شاخه‌ها به وسیله کیسه‌های دو لایه مملول به ابعاد ۳۰×۴۵ سانتی‌متر ایزوله گردید. برای انتخاب والد نر اینتگریمما در منطقه ارزوئیه استان کرمان از درخت شماره ۱ دانه گرده جمع‌آوری شد و تا زمان آماده بودن والد‌های ماده، گرده‌ها در دمای ۱۸-



شکل ۱- نحوه عایق‌سازی (الف)، کنترل منفی (ب) و تعویض کیسه‌های مملول با کیسه‌های توری (ج) در شاخه‌ها

۱۳۹۸ در گلدان‌هایی با قطر دهانه ۳۳ و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر کشت شدند. بذرها قبل از کاشت ۲۴ ساعت در آب مقطر استریل خیس شدند و در ادامه به مدت ۱۰ دقیقه با هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد و به مدت ۳۰ دقیقه با قارچکش کاپتان دو در هزار به منظور ضدعفونی خیس‌اند و سپس جهت زدودن بقایای مواد شوینده سه مرتبه با آب مقطر شستشو داده شدند. در هر یک از واحدهای آزمایشی (گلدان‌ها)، سه عدد بذر کاشته شد و پس از سبز شدن و اطمینان از استقرار، تعداد گیاهان داخل گلدان به سطح نهایی یک عدد در هر گلدان کاهش یافت. هر تکرار شامل چهار واحد آزمایشی یا چهار گلدان

مرحله دوم: آزمون مقاومت به خشکی هیبریدهای

بدست آمده از مرحله اول

این پژوهش در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ به صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان روی ۱۰ پایه پسته احمد آقایی، اکبری، سرخه حسینی، گرمه، فندق و هیبریدهای بین گونه‌ای (احمد آقایی × اینتگریمما، اکبری × اینتگریمما، سرخه حسینی × اینتگریمما، گرمه × اینتگریمما و فندق × اینتگریمما) انجام شد. بذور حاصل از گرده‌افشانی آزاد و کنترل شده در ۱۷ فروردین

تجزیه و تحلیل آماری نتایج آزمایش با استفاده از نرم افزارهای SAS 9.1 و Minitab 16 صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد و با آزمون LSD انجام شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

صفات مورد اندازه‌گیری

شاخص‌های مربوط به زیست‌توده

به منظور اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام‌ها، گیاهان به اندام‌های ریشه، شاخه و برگ تقسیم شدند. جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند.

اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل

در پایان آزمایش، به منظور اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل از دستگاه تنش سنج گیاهی^۲ (OS-30) شرکت ADC ساخت کشور آمریکا استفاده شد. روش کار به این صورت بود که از هر گلدان بسته به تعداد برگ‌های سالم، دو تا چهار برگ بالغ از قسمت‌های میانی گیاه انتخاب و بین ساعات ۱۱ تا ۱۳، ابتدا با اتصال گیره‌های مخصوص شرایط تاریکی به مدت ۳۰ دقیقه ایجاد و با تاباندن نور قرمز (۶۹۵) نانومتر میزان شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (F_v/F_m , F_m , F_v , F_0) اندازه‌گیری و ثبت گردید (اونیل^۳ و همکاران، ۲۰۰۶). این دستگاه توانایی تخمین میزان آسیب‌های وارده در اثر تنش خشکی وارده به فتوسیستم II را دارا می‌باشد به طوری که با این ابزار کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II اندازه‌گیری می‌شود (لی^۴ و همکاران، ۲۰۰۶).

نتایج و بحث

اثر تنش خشکی بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل

$$(F_v/F_m, F_v, F_m, F_0)$$

فلورسانس کمینه (F_0)

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس، نوع پایه و سطوح مختلف خشکی بر مقدار فلورسانس کمینه ($P \leq 0.01$) معنی‌دار بود ولی اثر متقابل پایه و خشکی در این شاخص معنی‌دار ($P \geq 0.05$) نبود (جدول ۲).

و هر گلدان شامل یک گیاه بود. دمای متوسط روزانه گلخانه ۲۵-۳۷ درجه سانتی‌گراد، دمای متوسط شبانه ۱۸-۲۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 12 ± 45 درصد بود. بعد از ۳۵ روز از شروع کاشت به مدت ۶۵ روز، تغذیه دانه‌ها هر ۱۲ روز یک بار با کود بیومین (-446 sp) با غلظت ۲ گرم در لیتر و در مجموع ۶۰۰ گرم و استفاده از کود هیومکس ۹۵ (HUMAX 95-WSG) با غلظت ۷ گرم در لیتر و در مجموع ۲۱۰۰ گرم انجام شد. پس از رشد و مراقبت‌های لازم از گیاهان، سطوح خشکی برای مدت ۸۴ روز (از ۲۳ تیر تا ۱۵ مهر ۱۳۹۸) روی دانه‌های ۱۰۰ روزه اعمال شد. اعمال تیمار خشکی به روش وزنی صورت گرفت. در ابتدا آزمایشات مقدماتی با استفاده از محاسبات تعیین میزان آب در خاک خشک نسبت به ظرفیت مزرعه صورت پذیرفت. برای تعیین تیمارهای مربوط به مقادیر آب در هر گلدان، ابتدا مقداری خاک درون آون قرار داده شد و پس از ۴۸ ساعت مجدد وزن شده و میزان آب در خاک مشخص گردید. سپس خاک خشک را در گلدان ریخته و به آرامی و تا حد اشباع، آب به آن اضافه شد و تا روز بعد رها گردید (شیبایرو^۱ و همکاران، ۱۹۹۸). پس از خارج شدن کامل آب ثقلی، گلدان توزین شد و پس از کسر وزن گلدان و خاک خشک، مقدار آب نگهداری شده در ظرفیت زراعی تعیین شد و تیمارهای مختلف بر این اساس محاسبه شدند. بر اساس محاسبات یاد شده، وزن هر گلدان برای هر سه تیمار ۱- شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، ۲- تنش ملایم (۶۵ درصد ظرفیت زراعی) و ۳- تنش شدید (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) محاسبه گردید. طبق محاسبه‌های انجام شده با توجه به اینکه ظرفیت زراعی در نمونه خاک ۱۹ درصد محاسبه شد، معیار آبیاری هر گلدان، وزن روزانه آن‌ها در ساعت ۱۰ صبح بود و آب لازم برای رسیدن به هر سطح اضافه شد. همچنین در این آزمایش برای تعیین وزن گیاه از گلدان‌های بدون گیاه هم استفاده شد تا برابر وزن گیاه به گلدان‌ها آب اضافه شود تا وزن گیاه در ظرفیت‌های زراعی مدنظر اختلالی ایجاد نکند. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شده برای دانه‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

2. Plant stress meter
3. O'Neill
4. Li

1. Shibairo

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مخلوط خاکی استفاده شده برای پایه‌های دانه‌های پسته

بافت خاک	pH	EC	رس	شن	سیلت	کربنات کلسیم	نیترژن کل	کربن آلی	پتاسیم	فسفر	آهن	روی	منگنز	بور	مس
		ds ^m -1	%	%	%										
لوم رسی	۷/۴۷	۰/۹۱	۴۰	۲۳	۳۷	۵/۵۳	۰/۰۷	۱/۴	۶۱۱	۱۹	۴/۷۳	۴/۰۳	۶/۴۵	۱/۷۲	۰/۱۶۶

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس و سطح معنی‌دار بودن میانگین مربعات مربوط به شاخص‌های فلورسانس کلروفیل دانه‌های مختلف پسته تحت تنش خشکی

میانگین مربعات				منابع تغییرات	درجه آزادی
F _v /F _m	F _v	F _m	F ₀		
۰/۰۸۸۷**	۵۵۳۱۳۳۶۶/۸**	۲۶۹۶۸۹۴۵/۷**	۵۲۴۶۹۰۸/۳۸**	پایه (A)	۹
۰/۲۰۰۴**	۹۲۸۲۷۵۰۴/۱**	۲۸۲۰۲۶۸۵/۲**	۱۸۸۰۲۱۴۴/۶۲**	خشکی (B)	۲
۰/۰۰۲۴ ^{ns}	۶۸۴۷۲۴/۸ ^{ns}	۱۸۰۴۰۸/۹ ^{ns}	۱۶۴۷۴۲/۱۱ ^{ns}	A×B	۱۸
۰/۰۰۱۹	۵۰۰۴۶۹/۱	۱۱۳۲۴۴۶/۳	۲۳۸۹۸۷/۲	خطای آزمایشی	۹۰
۷/۶۱	۸/۰۱	۷/۱۴	۸/۰۷	ضریب تغییرات (درصد)	

* و **، به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد و ns عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.

(فالکتو^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). طبق نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴) با افزایش سطوح تنش، شاخص F₀ افزایش نشان داد. کم‌ترین مقدار این شاخص متعلق به تیمار شاهد (ظرفیت زراعی) بود و در سطوح تنش ملایم (۶۵ درصد ظرفیت زراعی) و شدید (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) به ترتیب ۱۲/۱۴ و ۲۰/۳۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش مشاهده شد. در واقع معنی‌دار شدن شاخص F₀ در سطوح مختلف تنش، احتمالاً به دلیل این است که نظام نوری دو در سطوح مختلف خشکی از کارایی متفاوتی برخوردار است و این که میزان تنش در آزمایش حاضر آنقدر زیاد است که توانسته باعث خسارت به مراکز نظام نوری دو گردد. افزایش شاخص F₀ در اثر تنش خشکی در سایر مطالعات نیز گزارش شده است (جوادی‌پور، ۱۳۹۲). بنابراین احتمال دارد پایه‌هایی که بتوانند در شرایط تنش از افزایش F₀ جلوگیری کنند از تحمل بیشتری به خشکی برخوردار باشند.

فلورسانس بیشینه (F_m)

در ارتباط با شاخص فلورسانس بیشینه (F_m)، اختلاف بین پایه‌ها و سطوح مختلف خشکی معنی‌دار (P ≤ ۰/۰۱) بود ولی در مورد اثر متقابل پایه و خشکی تفاوت معنی‌داری (P ≥ ۰/۰۵) مشاهده نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های اثرات ساده نشان داد که پایه سرخه‌حسینی × اینتگریمما در

مقایسه میانگین‌های اثرات ساده نشان داد که پایه فندق در بین پایه‌های دانه‌های مورد مطالعه بیش‌ترین میزان F₀ را دارا بود و پایه‌های پسته احمد آقایی، احمد آقایی × اینتگریمما، فندق × اینتگریمما، سرخه‌حسینی، سرخه‌حسینی × اینتگریمما، گرمه، گرمه × اینتگریمما، اکبری و اکبری × اینتگریمما نسبت به این پایه به ترتیب ۱۸/۴۳، ۲۲/۴۵، ۰/۳۴۵، ۱۵/۰۶، ۲۷/۷۶، ۳/۶۵، ۹/۸۰، ۴/۴۱، ۱۳/۳۱ درصد کاهش فلورسانس کمینه را نشان دادند. با توجه به اینکه کاهش شاخص F₀ در ارتباط با افزایش سطوح تنش معیار مقاومت می‌باشد، در نتیجه پایه سرخه‌حسینی × اینتگریمما با بیش‌ترین کاهش از لحاظ این شاخص نسبت به پایه فندق (بیش‌ترین میزان F₀) به عنوان متحمل‌ترین پایه از لحاظ فلورسانس کمینه ارزیابی شد و پایه‌های احمد آقایی × اینتگریمما، سرخه‌حسینی، اکبری × اینتگریمما، اکبری، گرمه × اینتگریمما، گرمه و فندق × اینتگریمما از لحاظ کاهش بیشتر این شاخص نسبت به پایه فندق به ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳). افزایش فلورسانس کمینه حاکی از خسارت به زنجیره انتقال الکترون فتوسیستم II به دلیل کاهش ظرفیت کوئینون^۱ (QA) و اکسیداسیون ناقص آن به دلیل جریان‌کند الکترون در طول مسیر فتوسیستم II و در مجموع منجر به غیرفعال شدن فتوسیستم II می‌شود

الکترون در اطراف یا درون فتوسیستم II مرتبط باشد (زلاتو، ۲۰۱۰).

فلورسانس متغیر (F_v)

در ارتباط با شاخص فلورسانس متغیر (F_v)، طبق جدول تجزیه واریانس، اختلاف بین پایه‌ها و سطوح مختلف خشکی معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود ولی اثر متقابل پایه و خشکی بر روی این شاخص اثر معنی‌داری ($P \geq 0.05$) نشان نداد (جدول ۲). با افزایش سطوح تنش نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده در ارتباط با فلورسانس متغیر (F_v) روندی مشابه با فلورسانس حداکثر (F_m) بین پایه‌ها نشان داد (جدول ۳ و ۴). اصولاً میزان فلورسانس کلروفیل زمانی که پذیرنده الکترون در حالت احیا باشد، زیاد بوده و به این دلیل میزان F_v نیز در این شرایط زیاد می‌گردد، ولی موقعی که کینون در حالت اکسیداسیون باشد میزان فلورسانس کلروفیل A کم شده و در نتیجه میزان F_v کاهش پیدا می‌کند (پاکنژاد، ۲۰۰۷). همچنین میزان F_v توسط تنش‌های محیطی به دلیل ممانعت از فتواکسیداسیون فتوسیستم II کاهش می‌یابد. با توجه به این که F_v نشان‌گر احیای کامل کینون است، لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اختلال در انتقال الکترون به فتوسیستم I به وسیله تنش خشکی ایجاد شده است (پاکنژاد و همکاران، ۲۰۰۷).

حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m)

در ارتباط با شاخص F_v/F_m (کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II) طبق نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر پایه و خشکی بر روی این شاخص معنی‌دار ($P \leq 0.01$) شد ولی در مورد اثر متقابل پایه در خشکی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ($P \geq 0.05$) مشاهده نشد. مقایسه میانگین‌های اثرات ساده نشان داد که پایه سرخه‌حسینی × اینتگریم در بین پایه‌های مورد مطالعه بیش‌ترین میزان کارایی فتوشیمیایی نظام نوری فتوسیستم II را دارا بود و پایه‌های احمد آقایی، احمد آقایی × اینتگریم، فندق، فندق × اینتگریم، سرخه حسینی، گرمه، گرمه × اینتگریم، اکبری و اکبری × اینتگریم نسبت به پایه سرخه‌حسینی × اینتگریم به ترتیب ۱۱/۸۳، ۳/۸۰، ۳۵/۰۷، ۳۲/۸۱، ۱۳/۹۴، ۲۸/۵۹

بین پایه‌های دانه‌الی مورد مطالعه بیش‌ترین میزان فلورسانس بیشینه را دارا بود و پایه‌های احمد آقایی، احمد آقایی × اینتگریم، فندق، فندق × اینتگریم، سرخه حسینی، گرمه، گرمه × اینتگریم، اکبری و اکبری × اینتگریم نسبت به این پایه به ترتیب ۹/۰۱، ۱/۹۳، ۷/۶۶، ۱۷/۷۴، ۱۵/۵۵، ۲۰/۳۰، ۱۲/۵۵، ۲۳/۴۸، ۲۵/۵۶ درصد کاهش در میزان این شاخص را نشان دادند. با توجه به اینکه افزایش شاخص F_m در ارتباط با افزایش سطوح تنش معیار مقاومت می‌باشد در نتیجه پایه فندق در بین پایه‌ها با بیش‌ترین کاهش از لحاظ این شاخص نسبت به پایه سرخه‌حسینی × اینتگریم به عنوان حساس‌ترین پایه از لحاظ فلورسانس بیشینه ارزیابی شد و پایه‌های احمد آقایی × اینتگریم، اکبری × اینتگریم، احمد آقایی، سرخه حسینی، گرمه × اینتگریم، اکبری، گرمه و فندق × اینتگریم از لحاظ کاهش کمتر این شاخص نسبت به پایه سرخه‌حسینی × اینتگریم که بیش‌ترین میزان این شاخص را دارا بود به ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳). فلورسانس بیشینه در اثر تابش فوتون‌های نوری و احیای تمامی ناقل‌های الکترون و در اثر بسته بودن همه مراکز واکنش ایجاد می‌گردد (مهتا^۱ و همکاران، ۲۰۱۰). زمانی که همه مراکز واکنشی فتوسیستم II بسته می‌باشد، افزایش تدریجی عملکرد فلورسانس صورت گرفته و سرعت واکنش‌های فتوشیمیایی رو به کاهش است و هر چه زمان بسته شدن سیستم دیرتر انجام گیرد، یعنی بتواند تعداد الکترون‌های بیشتری را پذیرا باشد، سیستم از کارایی بیشتر یا F_m آن بالاتر خواهد بود. در واقع، افزایش فلورسانس از کمینه به بیشینه به دلیل کوئینون ب (QB) و مخزن بزرگی از پلاستوکوئینون است (مهتا و همکاران، ۲۰۱۰). طبق نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴) با افزایش سطوح تنش، شاخص F_m کاهش نشان داد به طوری که بیش‌ترین مقدار این شاخص متعلق به تیمار شاهد بود و در سطوح تنش ۶۵ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۶/۶۱ و ۱۰/۵۲ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش مشاهده شد (جدول ۵). بنابراین کاهش میزان F_m می‌تواند به کم شدن فعالیت آنزیم تجزیه‌کننده آب و چرخه انتقال

فتوسیستم II است. بنابراین تنش خشکی از طریق اثرات نامطلوبی که بر تثبیت کربن می‌گذارد باعث کاهش ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون شده، در نتیجه سیستم سریعاً به فلورسانس حداکثر (F_m) رسیده که نتیجه آن کاهش در میزان فلورسانس متغیر (F_v) خواهد بود، لذا کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II که به صورت نسبت F_v/F_m بیان می‌گردد، تحت تنش خشکی کاهش پیدا می‌کند (ما^۴ و همکاران، ۱۹۹۵). در حقیقت کاهش در نسبت F_v/F_m به علت افزایش در میزان F_0 یا کاهش F_m و یا هر دو می‌باشد. نتایج آزمایش حاضر در ارتباط با کاهش شاخص F_v/F_m در شرایط تنش خشکی با نتایج فهمی خویردی و همکاران (۲۰۱۶) در پسته، ژانگ^۵ و همکاران (۲۰۱۱) در زنبق و پتری دیس^۶ و همکاران (۲۰۱۲) در زیتون مطابقت دارد.

اثر تنش خشکی بر وزن تر برگ

نتایج تجزیه واریانس حاصل از این پژوهش نشان داد که فاکتورهای مربوط به اثر متقابل پایه و خشکی در سطح یک درصد بر میزان وزن تر برگ اثر معنی‌داری ($P \leq 0.01$) داشته است (جدول ۵).

کاهش میزان وزن تر برگ دانه‌های پسته احمدآقایی، احمدآقایی × اینتگریمما، فندق، فندق × اینتگریمما، سرخه حسینی، سرخه حسینی × اینتگریمما، گرمه، گرمه × اینتگریمما، اکبری و اکبری × اینتگریمما در تنش شدید نسبت به شاهد به ترتیب ۲۲/۵۰، ۱۹/۹۲، ۴۵/۱۸، ۴۳/۶۵، ۲۹/۷۹، ۱۴/۴۷، ۳۹/۲۱، ۳۱/۳۴، ۳۶/۶۴، ۲۰/۴۳ درصد بود. همانطور که مشاهده می‌شود پایه‌های هیبرید سرخه حسینی × اینتگریمما، احمد آقایی × اینتگریمما، اکبری × اینتگریمما، احمد آقایی و سرخه حسینی به ترتیب از نظر وزن تر برگ از ثبات بیشتری ناشی از تغییرات سطوح خشکی برخوردار بودند به طوری که میزان وزن تر برگ مربوط به این پایه‌ها در سطح خشکی شدید (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) نسبت به سطح شاهد کم‌ترین کاهش را نسبت به سایر پایه‌ها داشته است. بنابراین پایه‌های هیبرید سرخه حسینی × اینتگریمما، احمد آقایی × اینتگریمما، اکبری × اینتگریمما و دو پایه احمد آقایی و سرخه حسینی که حاصل تلاقی با دانه گرده آزاد هستند به ترتیب نسبت به

۱۹/۴۳، ۲۴/۷۸، ۹/۷۱ درصد کاهش در میزان این شاخص را نشان دادند (جدول ۳). نسبت F_v/F_m در ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی پسته بالاتر گزارش شده است (فهمی خویردی^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). با توجه به اینکه افزایش شاخص F_v/F_m در ارتباط با افزایش سطوح تنش معیار مقاومت می‌باشد، بنابراین پایه فندقی با بیش ترین کاهش از لحاظ این شاخص نسبت به پایه سرخه حسینی × اینتگریمما به عنوان حساس‌ترین پایه ارزیابی شد و پایه‌های فندقی × اینتگریمما، گرمه، اکبری، گرمه × اینتگریمما، سرخه حسینی، احمد آقایی، اکبری × اینتگریمما و احمد آقایی × اینتگریمما از لحاظ کاهش بیشتر این شاخص نسبت به پایه سرخه حسینی × اینتگریمما به ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳). طبق نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴) کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m) با افزایش سطوح خشکی از روند کاهشی برخوردار بود. نتایج مربوط به تأثیر خشکی بر میزان این شاخص نشان داد که بیش‌ترین میزان F_v/F_m متعلق به تیمار شاهد بود و با افزایش سطوح تنش یک روند کاهشی از نظر این شاخص وجود داشت به طوری که در آخرین سطح خشکی نسبت به شاهد ۲۱/۶۷ درصد کاهش مشاهده شد. بر اساس نتایج آزمایش حاضر تفاوت داده‌های مربوط به F_v/F_m بین سطوح مختلف تنش معنی دار بود. بنابراین کارایی فتوسیستم II برای ایجاد فرآیندهای اولیه فتوشیمیایی به طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت. به طوری که بالاترین کارایی در تیمار شاهد مشاهده شد. بر اساس گزارش دی‌لوسنا^۲ و همکاران (۲۰۱۲) کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II نشان دهنده ظرفیت جذب انرژی القایی توسط برگ می‌باشد و در بیشتر مواقع به عنوان پیامد تأثیرات عوامل نامساعد محیطی مانند خشکی و شوری کاهش پیدا می‌کند. از آنجا که نتایج به دست آمده از شاخص F_v/F_m حتی در گیاهان شاهد که در وضعیت رطوبتی مناسبی بودند کمتر از ۰/۸۵ مشاهده شد، می‌توان بیان کرد که احتمالاً این وضعیت بیانگر فتواکسیداسیون نوری و آسیب رساندن به مراکز واکنش فتوسیستم II می‌باشد (کیادر^۳ و همکاران، ۲۰۱۲). در واقع پایین‌تر بودن F_v/F_m نشان دهنده کارایی کمتر

4. Ma
5. Zhang
6. Petridis

1. Fahimi Khoyerd
2. De Lucena
3. Kaouther

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مربوط به شاخص‌های فلورسانس کلروفیل دانه‌های مختلف پسته تحت تنش خشکی

پایه	F ₀	F _m	F _v	F _v /F _m
احمد آقایی	۵۵۷۱/۸ ^{de}	۱۵۶۳۴/۵۰ ^b	۱۰۰۶۲/۷ ^c	۰/۶۲۶ ^b
احمد آقایی × اینتگریمما	۵۲۹۶/۸ ^{ef}	۱۶۸۵۱/۷۰ ^a	۱۱۵۵۴/۹ ^b	۰/۶۸۳ ^a
فندق	۶۸۳۰/۸ ^a	۱۲۷۹۰/۵۰ ^f	۵۹۵۹/۶ ^h	۰/۴۶۱ ^f
فندق × اینتگریمما	۶۸۰۷/۲ ^a	۱۳۱۴۷/۵۰ ^{ef}	۶۳۴۰/۳ ^h	۰/۴۷۷ ^{ef}
سرخه حسینی	۵۸۰۱/۵ ^{cd}	۱۵۰۲۶/۱۰ ^{bc}	۹۲۲۴/۶ ^d	۰/۶۱۱ ^b
سرخه حسینی × اینتگریمما	۴۹۴۳ ^f	۱۷۱۸۳/۶۰ ^a	۱۲۲۴۰/۶۰ ^a	۰/۷۱۰ ^a
گرمه	۶۶۹۰/۷ ^a	۱۳۶۹۳/۸۰ ^{de}	۷۰۰۳/۱ ^g	۰/۵۰۷ ^{de}
گرمه × اینتگریمما	۶۱۶۱/۲ ^{bc}	۱۴۵۱۱/۳۰ ^{cd}	۸۳۵۰ ^e	۰/۵۷۲ ^c
اکبری	۶۵۲۹/۳ ^{ab}	۱۴۱۳۳/۸۰ ^d	۷۶۰۴/۶ ^f	۰/۵۳۴ ^d
اکبری × اینتگریمما	۵۹۲۱/۴ ^{cd}	۱۵۸۶۷/۳۰ ^b	۹۹۴۵/۹ ^c	۰/۶۴۱ ^b

بر مبنای آزمون LSD، در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

جدول ۴- اثر سطوح مختلف خشکی بر میانگین صفات مربوط به شاخص‌های فلورسانس کلروفیل دانه‌های مختلف پسته

سطوح خشکی	F ₀	F _m	F _v	F _v /F _m
شاهد (ظرفیت زراعی)	۵۳۵۲/۱ ^c	۱۵۷۸۵/۷ ^a	۱۰۴۳۳/۶ ^a	۰/۶۵۵ ^a
تنش ملایم (۶۵ درصد ظرفیت زراعی)	۶۰۹۲/۳ ^b	۱۴۷۴۱/۸ ^b	۸۶۴۹/۶ ^b	۰/۵۷۸ ^b
تنش شدید (۳۰ درصد ظرفیت زراعی)	۶۷۲۱/۸ ^a	۱۴۱۲۴/۵ ^c	۷۴۰۲/۷ ^c	۰/۵۱۳ ^c

بر مبنای آزمون LSD، در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

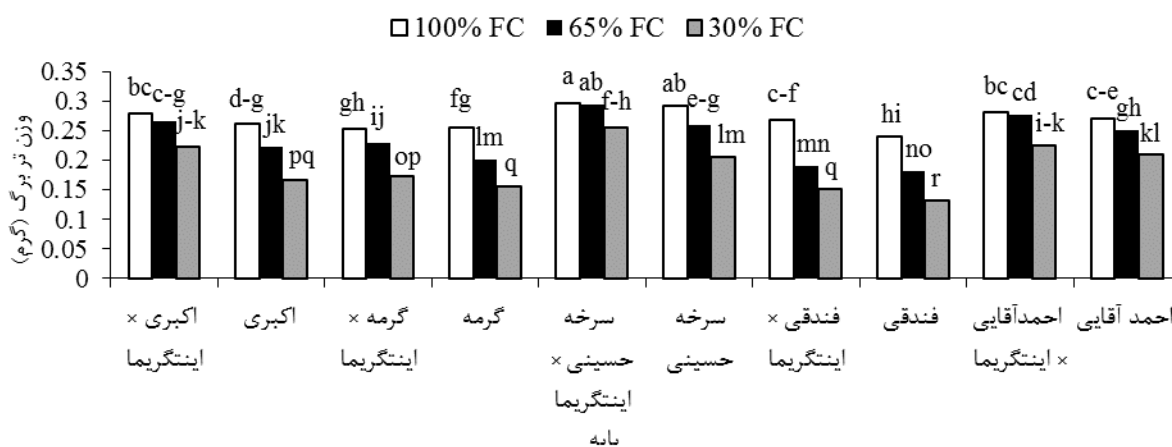
جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس و سطح معنی‌دار بودن میانگین مربعات مربوط به زیست‌توده دانه‌های مختلف پسته تحت تنش خشکی

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییرات
وزن خشک برگ	وزن تر برگ	وزن خشک ساقه	وزن تر ساقه	وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه		
۰/۰۱۴ ^{**}	۰/۰۱۱ ^{**}	۲۸/۰۴ ^{**}	۵/۷۰ ^{**}	۳۰/۰۵ ^{**}	۵/۷۶ ^{**}	۹	پایه (A)	
۰/۰۸۶ ^{**}	۰/۰۶۵ ^{**}	۱۸۱/۰۴ ^{**}	۳۲/۹۱ ^{**}	۱۱۷/۱۲ ^{**}	۲۳/۵۳ ^{**}	۲	خشکی (B)	
۰/۰۰۰۹۰ ^{**}	۰/۰۰۰۸۴ ^{**}	۱/۸۱ ^{**}	۰/۲۴۰ ^{**}	۱/۷۶ ^{**}	۰/۲۸۸ ^{**}	۱۸	A×B	
۰/۰۰۰۰۳۸	۰/۰۰۰۰۱۲	۰/۱۷۹	۰/۰۱۶	۰/۲۹۰	۰/۰۳۴	۹۰	خطای آزمایشی	
۴/۶۸	۴/۸۱	۶/۹۴	۴/۷۸	۹/۴۳	۷/۲۵		ضریب تغییرات (درصد)	

* و **، به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد و ^{ns} عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.

می‌گیرد (کوساکا^۱ و همکاران، ۲۰۰۵). احتمالاً این امر دلیلی برای رشد کاهش یافته گیاهان تحت تنش کمبود آب است. کاهش وزن تر در وضعیت کم‌آبی احتمال دارد به علت توقف تقسیم سلول و رشد آن در نتیجه میزان پایین فشار تورژسانس باشد. پژوهشگران گزارش کردند که افزایش تنش خشکی و شوری منجر به محدود شدن ترکیباتی مانند سیتوکنین‌ها و افزایش ترکیباتی مانند اسید آبسزیک می‌گردد که بر تقسیم سلولی مؤثر است.

سایر پایه‌های مورد آزمایش متحمل‌ترین پایه‌ها در برابر خشکی از نظر وزن تر برگ می‌باشند. همچنین در بین دانه‌ها، پایه فندق در تیمار شاهد با میانگین ۰/۲۳۹ گرم، در تنش متوسط با میانگین ۰/۱۸۲ گرم و در تنش شدید با میانگین ۰/۱۳۱ گرم کم‌ترین میزان وزن تر برگ را در تمامی سطوح تنش بین پایه‌ها نشان داد (شکل ۲). کمیت و کیفیت رشد گیاه وابسته به تقسیم سلول می‌باشد. تمایز و بزرگ شدن به وسیله تنش کمبود آب تأثیر



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و نوع پایه بر وزن تر برگ پسته. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

قرار گرفتند (شکل ۳). فرآیندهای فیزیولوژیکی بسیاری وجود دارد که مرتبط با رشد، فتوسنتز، انتقال مواد فتوسنتزی و تقسیم و توسعه سلولی می‌باشند و این فرآیندها در شرایط کاهش آب قرار گرفته و از طرفی معمولاً تنش خشکی فتوسنتز را سریع‌تر و با شدت بیشتری نسبت به تنفس کاهش می‌دهد. به همین علت تنش خشکی منجر به کاهش تجمع ماده خشک گیاهی می‌شود. میزان بالای وزن خشک حاکی از کارایی گیاه در تولید مواد فتوسنتزی و ارسال آن به اندام‌های در حال رشد می‌باشد. هر گونه تنش در رشد گیاه مستقیماً وزن خشک را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث کاهش آن می‌شود (وانوزی^۱ و همکاران، ۱۹۹۸). کاهش وزن خشک برگ در شرایط تنش خشکی توسط دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است. در پژوهشی قاسمی و همکاران (۱۳۹۲) و حیدری (۱۳۹۵) در پسته گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک برگ گردید که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت.

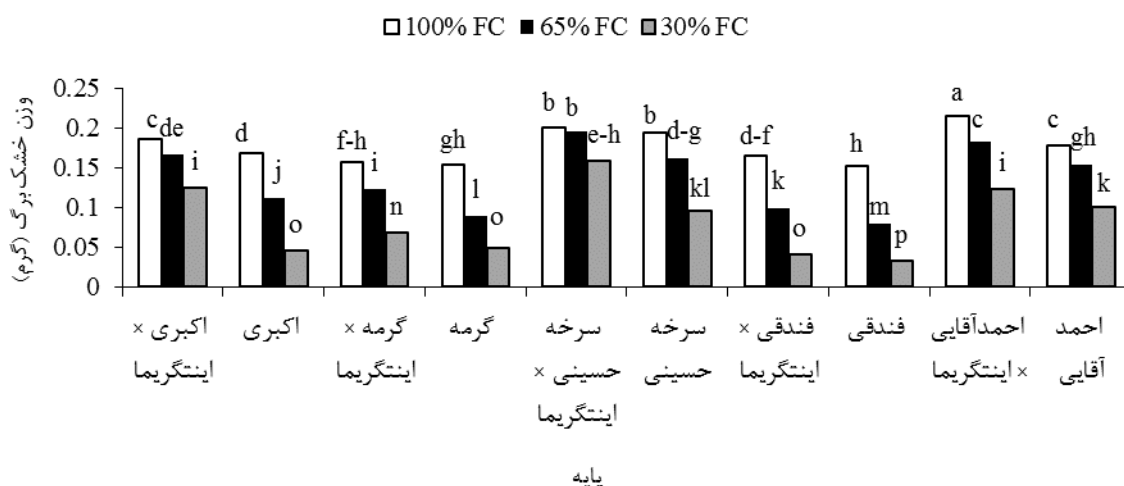
اثر تنش خشکی بر وزن تر ساقه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر فاکتورهای مختلف خشکی، پایه و اثر متقابل خشکی و پایه بر میزان وزن تر ساقه معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$) (جدول ۵). طبق نتایج مقایسه میانگین همگام با افزایش شدت خشکی میزان وزن تر ساقه نسبت به شاهد در تمامی پایه‌ها کاهش نشان داد به طوری که در سطح شاهد، دانه‌ها بیشترین میزان

در پژوهشی حیدری (۱۳۹۵) روی پسته و بخشی‌خانیکی و همکاران (۱۳۹۰) روی چغندر اثر تنش خشکی را بررسی و گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش وزن تر برگ می‌شود که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت.

اثر تنش خشکی بر وزن خشک برگ

اثرات ساده و متقابل عوامل آزمایشی از نظر وزن خشک برگ اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ($P \leq 0.01$) نشان داد (جدول ۵). بررسی اثر متقابل پایه و خشکی (شکل ۳) نشان داد که با افزایش سطوح تنش میزان وزن خشک برگ در همه پایه‌های مورد بررسی از یک روند کاهشی برخوردار است. در گیاهان شاهد میزان وزن خشک برگ بیش‌ترین مقدار بود در حالی که در سطح خشکی شدید کم‌ترین میزان این صفت نسبت به شاهد مشاهده شد به طوری که پایه هیبرید سرخه حسینی × اینتگریمما با میانگین ۲۱ درصد کم‌ترین کاهش از لحاظ این صفت را نسبت به شاهد در بین تمامی دانه‌های مورد آزمایش نشان داد. طبق نتایج پایه فندقی در تیمار شاهد با میانگین ۰/۱۵۲ گرم، در تنش متوسط با میانگین ۰/۰۷۹ گرم و در تنش شدید با میانگین ۰/۰۳۲ گرم کم‌ترین میزان وزن خشک برگ را در تمامی سطوح تنش در بین پایه‌ها نشان داد و حساس‌ترین پایه از لحاظ این صفت ارزیابی شد. در ضمن پایه‌های پسته اکبری × اینتگریمما، احمد آقایی × اینتگریمما، احمد آقایی، سرخه حسینی، گرمه اکبری × اینتگریمما، گرمه، اکبری و فندقی × اینتگریمما از لحاظ کاهش کمتر وزن خشک برگ به ترتیب در رده‌های بعدی



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و نوع پایه بر وزن خشک برگ پسته. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

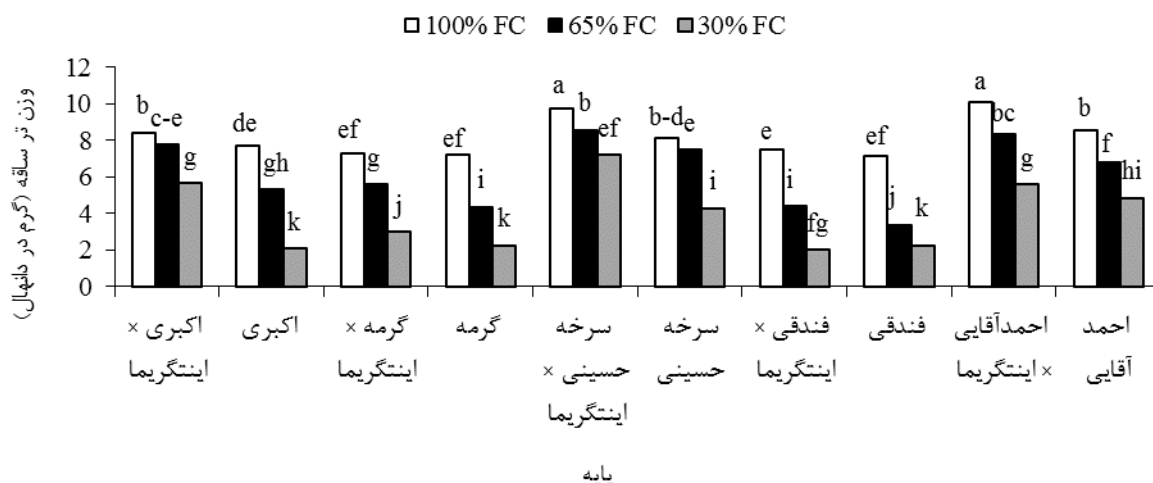
و بیش‌ترین کاهش در تنش شدید مشاهده شد که با شاهد و تنش متوسط اختلاف معنی‌داری داشت که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت.

اثر تنش خشکی بر وزن خشک ساقه

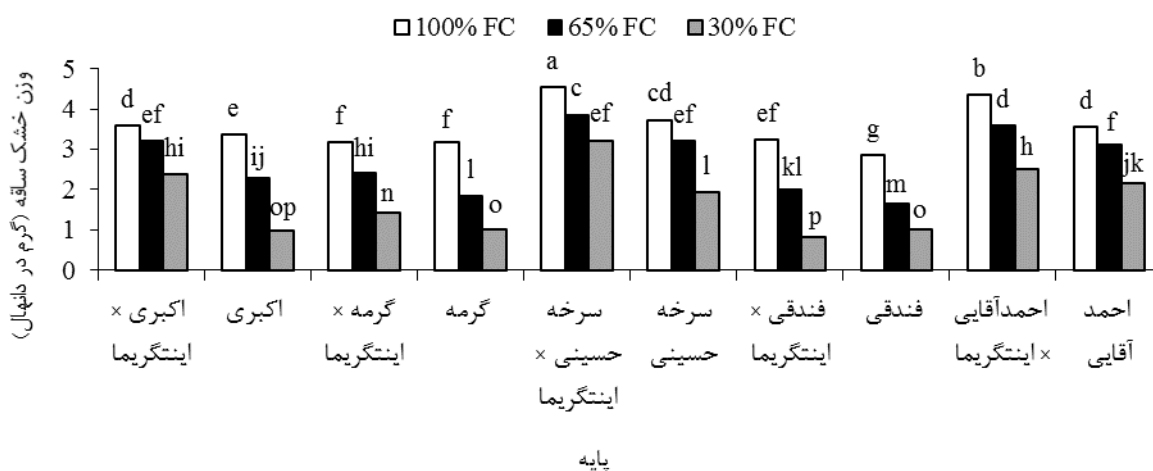
طبق نتایج تجزیه واریانس، تمامی اثرهای ساده و متقابل در مورد وزن خشک ساقه در سطح یک درصد ($P \leq 0.01$) معنی‌دار گردید (جدول ۵). وزن خشک ساقه در هر ۱۰ پایه، با افزایش سطوح تنش از شاهد به ۳۰ درصد ظرفیت زراعی روند نزولی داشت، منتها این روند در تیمار ۶۵ درصد ظرفیت زراعی به میزان کمتری مشاهده شد (شکل ۵). بررسی اثر متقابل پایه و خشکی نشان داد که پایه سرخه حسینی × اینتگریمما در تیمار شاهد با میانگین (۴/۵۴ گرم) در تنش ملایم با میانگین (۳/۸۵ گرم) و در تنش شدید با میانگین (۳/۲۲ گرم) بیش‌ترین میزان وزن خشک ساقه را در تمامی سطوح خشکی داشت در حالی‌که پایه فندقی با میانگین ۰/۸۳ گرم در آخرین تیمار خشکی کم‌ترین میزان وزن خشک ساقه را بین پایه‌ها نشان داد. در ضمن پایه‌های پسته احمد آقایی × اینتگریمما، اکبری × اینتگریمما، احمد آقایی، سرخه حسینی، گرمه × اینتگریمما، گرمه، اکبری و فندقی × اینتگریمما از لحاظ این صفت در رده‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۵). نتایج پژوهش حاضر با نتایج قاسمی و همکاران (۱۳۹۲) در پسته مطابقت دارد. ایشان ضمن بررسی سطوح خشکی (۰، ۶۵ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) در چهار پایه بادامی، بنه، قزوینی و

این صفت را نشان دادند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سطوح تنش مخصوصاً در تنش شدید وزن تر ساقه در گیاهان کم‌ترین مقدار بود به طوری‌که پایه‌های احمد آقایی، احمد آقایی × اینتگریمما، فندقی، فندقی × اینتگریمما، سرخه حسینی، سرخه حسینی × اینتگریمما، گرمه، گرمه × اینتگریمما، اکبری و اکبری × اینتگریمما به ترتیب ۴۳/۲۵، ۴۴/۶۴، ۶۸/۴۹، ۷۲/۸۸، ۴۷/۲۲، ۲۵/۸۶، ۶۸/۵۶، ۵۸/۶۹، ۷۳/۱۷، ۳۲/۴۵ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان دادند. بنابراین دو پایه اکبری و هیبرید سرخه حسینی × اینتگریمما به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین کاهش وزن تر ساقه را در آخرین سطح خشکی نسبت به شاهد بین پایه‌ها نشان دادند (شکل ۴). پاسخ گیاهان به خشکی مکانیسم‌های پیچیده‌ای را نشان می‌دهد که تغییرات مولکولی و گسترش آن به کلیه فعالیت‌های متابولیسمی گیاه را شامل می‌شود و بر مورفولوژی گیاه اثر گذار می‌باشد (مولنار^۱ و همکاران، ۲۰۰۴). تنش خشکی با تجزیه نشاسته به وسیله فعالیت آنزیم آمیلاز قندهای قابل حل را افزایش و با مصرف تدریجی آن در نهایت منجر به کاهش وزن تر گیاه می‌شود (پیراسته انوشه و امام، ۱۳۹۱). در پژوهشی ساجدی و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی اثر تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های رشدی چند رقم انجیر در پاسخ به تنش خشکی گزارش کردند که کمبود آبیاری باعث کاهش وزن تر ساقه می‌شود

1. Molnar



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و نوع پایه بر وزن تر ساقه پسته. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و نوع پایه بر وزن خشک ساقه پسته. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

نشان داد که با افزایش سطوح تنش میزان وزن تر ریشه در همه پایه‌ها کاهش یافت به طوری که در تنش شدید کم‌ترین میزان این صفت مشاهده شد. طبق نتایج در بین دانهاها، پایه پر رشد هیبرید سرخه حسینی × اینتگریمما در تیمار شاهد با میانگین ۹/۵۲ گرم، در تنش متوسط با میانگین ۸/۳۸ گرم و در تنش شدید با میانگین ۷/۳۶ گرم بیش‌ترین میزان وزن تر ریشه را در تمامی سطوح خشکی نشان داد به طوری که در آخرین سطح تنش نسبت به شاهد با میانگین ۲۲/۷۱ درصد کم‌ترین کاهش از لحاظ این صفت را نسبت به سایر پایه‌ها نشان داد. در ارتباط با

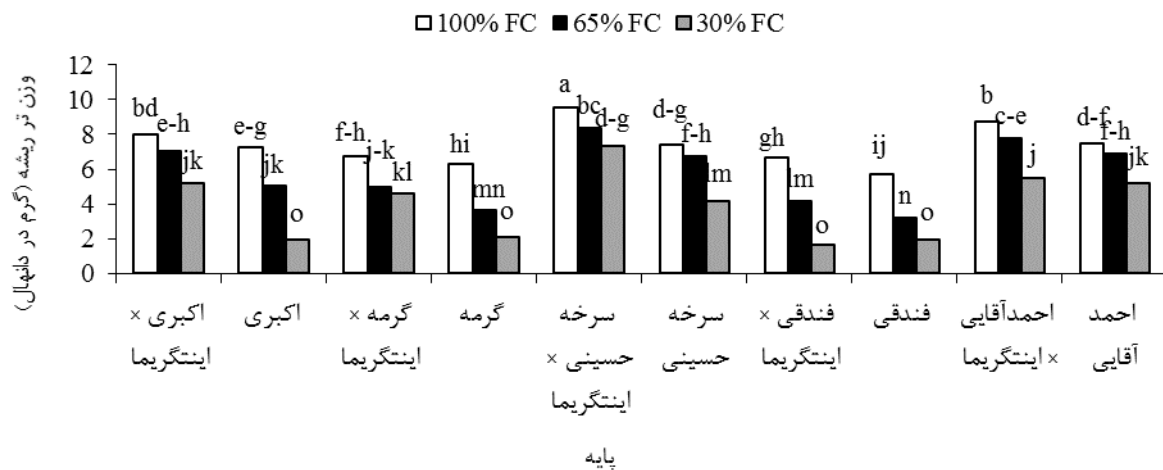
سرخس گزارش کردند که وزن خشک ساقه در پایه‌های مختلف متفاوت است به طوری که پایه‌های متحمل در پایان تنش وزن خشک ساقه بیشتری نشان دادند. طبق نتایج محققان مذکور با افزایش تنش خشکی وزن خشک اندام هوایی در پایه بادامی در پایان تنش نسبت به سایر پایه‌ها به میزان کمتری کاهش یافت.

اثر تنش خشکی بر وزن تر ریشه

اثرات ساده و متقابل عوامل آزمایشی از نظر وزن تر ریشه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ($P \leq 0.01$) نشان داد (جدول ۵). بررسی اثر متقابل پایه و خشکی

آقایی × اینتگریمما، احمد آقایی و اکبری × اینتگریمما در این سطح از تنش تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۶). نتایج پژوهش حاضر با نتایج آزمایشات ساجدی و همکاران (۱۳۹۶) در ارقام انجیر مطابقت دارد. طبق نتایج محققان مذکور با افزایش تنش خشکی وزن تر ریشه در تمامی ارقام کاهش یافت به طوری که بیش‌ترین میزان کاهش در تنش شدید و ارقام حساس مشاهده شد که با شاهد و تنش متوسط اختلاف معنی‌داری داشت.

وزن تر ریشه پایه هیبرید فندقی × اینتگریمما با میانگین ۷۵/۰۳ درصد بیش‌ترین کاهش را در تنش شدید نسبت به تیمار شاهد بین پایه‌ها نشان داد. در تنش شدید پایه‌های پسته احمد آقایی × اینتگریمما، اکبری × اینتگریمما، احمد آقایی، سرخه‌حسینی، گرمه × اینتگریمما، فندقی، اکبری و گرمه به ترتیب با میانگین ۵/۴۵، ۵/۱۹، ۵/۱۸، ۴/۱۹، ۴/۵۶، ۱/۹۷، ۱/۹۵، ۲/۰۵ گرم در رده‌های بعدی از لحاظ این صفت قرار گرفتند. البته بین پایه‌های احمد

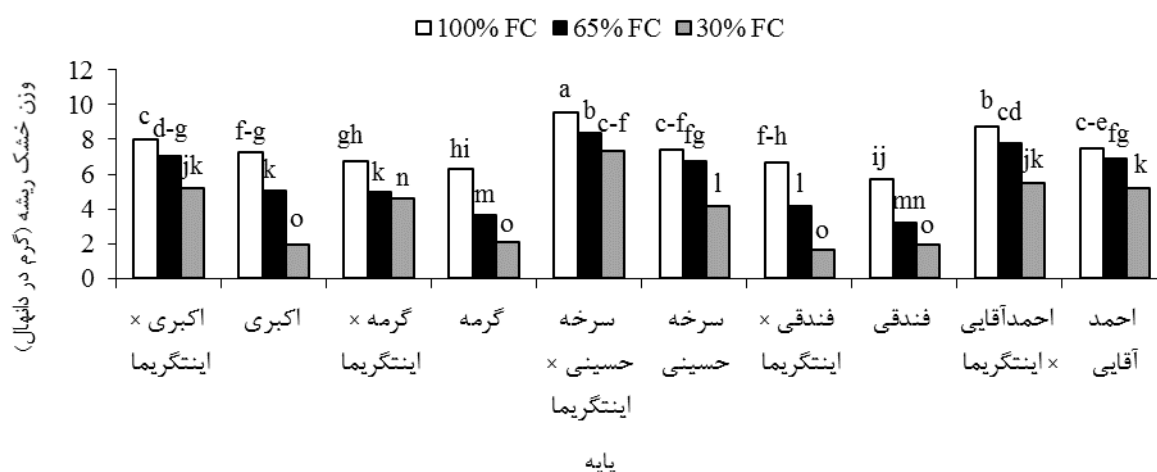


شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و نوع پایه بر وزن تر ریشه پسته. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

نسبت به سایر پایه‌ها برخوردار بود. در ضمن پایه‌های پسته اکبری × اینتگریمما، احمد آقایی × اینتگریمما، احمد آقایی، سرخه‌حسینی، گرمه × اینتگریمما، گرمه، اکبری و فندقی × اینتگریمما از لحاظ کاهش کمتر این صفت به ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۷). نتایج آزمایش ما با نتایج آزمایشات قاسمی (۱۳۹۲) و فهیمی خویردی و همکاران (۲۰۱۶) در ارتباط با تأثیر تنش خشکی بر کاهش وزن خشک ریشه ارقام پسته مطابقت دارد. یکی از دلایل احتمالی که افزایش تنش خشکی منجر به کاهش وزن خشک ریشه می‌شود به دلیل تحت تأثیر قرار گرفتن ریشه به عنوان یکی از اجزای گیاه در اثر این پدیده محیطی می‌باشد. در واقع با افزایش تنش خشکی هم‌چنان که فتوسنتز برگ کاهش یافته احتیاجات قندی برای تنظیم اسمزی در گیاه زیاد شده و به دنبال آن رشد ریشه به طور اجتناب ناپذیری متوقف می‌گردد

اثر تنش خشکی بر وزن خشک ریشه

طبق نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس، تأثیر سطوح مختلف خشکی و نوع پایه بر میزان وزن خشک ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود و این صفت به طور معنی‌داری تحت تأثیر پایه و تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۵). طبق نتایج، با افزایش سطوح تنش از وزن خشک ریشه در تمامی پایه‌ها کاسته شد. بیش‌ترین میزان وزن خشک ریشه در تیمار شاهد مشاهده شد به طوری که پایه هیبرید سرخه‌حسینی × اینتگریمما در این سطح بالاترین وزن خشک ریشه را در بین پایه‌ها نشان داد. با افزایش سطوح تنش روند تغییرات از شیب تندتری برخوردار بود و در سطح خشکی ۳۰ درصد ظرفیت زراعی پایه فندقی با میانگین ۷۲/۶۴ درصد کاهش وزن نسبت به تیمار شاهد، کم‌ترین میزان وزن خشک ریشه و پایه سرخه‌حسینی × اینتگریمما با میانگین ۲۱/۵۹ درصد کاهش وزن نسبت به تیمار شاهد از بیش‌ترین وزن خشک ریشه



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و نوع پایه بر وزن خشک ریشه پسته. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در پایه‌های دانهای پسته

صفات مورد ارزیابی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
F ₀ - ۱										
F _m - ۲	-۰/۸۱**									
F _v - ۳	-۰/۹۱**	۰/۹۷**								
F _v /F _m - ۴	-۰/۹۵**	۰/۹۲**	۰/۹۷**							
وزن تر برگ - ۵	-۰/۸۴**	۰/۷۶**	۰/۸۳**	۰/۸۶**	۱					
وزن خشک برگ - ۶	-۰/۸۸**	۰/۷۸**	۰/۸۵**	۰/۸۸**	۰/۹۶**	۱				
وزن تر ساقه - ۷	-۰/۸۴**	۰/۷۹**	۰/۸۵**	۰/۸۶**	۰/۹۴**	۰/۹۶**	۱			
وزن خشک ساقه - ۸	-۰/۸۸**	۰/۸۰**	۰/۸۷**	۰/۸۸**	۰/۹۴**	۰/۹۷**	۰/۹۶**	۱		
وزن تر ریشه - ۹	-۰/۸۷**	۰/۸۱**	۰/۸۷**	۰/۸۸**	۰/۹۳**	۰/۹۶**	۰/۹۵**	۰/۹۷**	۱	
وزن خشک ریشه - ۱۰	-۰/۸۸**	۰/۸۱**	۰/۸۷**	۰/۹۰**	۰/۹۴**	۰/۹۷**	۰/۹۶**	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۱

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد.

خشک برگ و وزن خشک ریشه با شاخص F₀ بیش‌ترین همبستگی منفی معنی‌دار (۸۸ درصد) مشاهده شد.

نتیجه‌گیری کلی

طبق نتایج بدست آمده از این پژوهش در بین صفات مورد مطالعه بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص F_v/F_m با وزن خشک ریشه مشاهده شد. با توجه به نتایج حاصل از شاخص‌های فلورسانس کلروفیل در بین پایه‌های مورد بررسی پایه‌های هیبرید سرخه حسینی × اینتگریمما، احمد آقایی × اینتگریمما و اکبری × اینتگریمما از ظرفیت فتوسنتزی بالاتری در شرایط تنش خشکی برخوردار

(نیکنام و همکاران، ۲۰۰۶).

همبستگی صفات مورد بررسی

نتایج ضرایب همبستگی صفات تحت بررسی در جدول ۶ نشان داد که بین صفات مختلف، همبستگی مثبت و منفی معنی‌دار وجود دارد، به طوری که بین شاخص F_v/F_m و وزن خشک ریشه بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار (۹۰ درصد) در بین صفات نسبت به هم وجود داشت. همچنین بین صفات وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه با شاخص F_v/F_m، مشترکاً با (۸۸ درصد) همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت. از طرفی بین صفات وزن

بین پایه‌ها مشاهده شد. پایه‌های دانه‌الی احمد آقایی، سرخه‌حسینی، گرمه × اینتگریمما، اکبری، گرمه و فندقی × اینتگریمما در اکثر صفات به ترتیب در رده‌های بعدی از لحاظ تحمل به خشکی قرار گرفتند. طبق نتایج حاصل از این پژوهش، با بکارگیری تکنیک فلورسانس کلروفیل به عنوان یک روش سریع و غیرتخریبی و تجزیه و تحلیل شاخص‌های آن و تغییرات زیست‌توده پایه‌ها در شرایط تنش می‌توان از آن‌ها در شناسایی پایه‌های متحمل به خشکی استفاده کرد. از طرف دیگر موارد متعددی در انتخاب یک پایه برای این منظور تأثیر گذار می‌باشد.

بودند. از طرفی میزان کاهش زیست‌توده در سطوح خشکی ملایم (۶۵ درصد ظرفیت زراعی) و شدید (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) نسبت به تیمار شاهد (ظرفیت زراعی) در این پایه‌ها کمتر بود، بنابراین می‌توان نتیجه گیری کرد که این پایه‌ها از عملکرد بهتری در شرایط تنش نسبت به سایر پایه‌ها برخوردار بودند. از طرفی در بین پایه‌های مورد مطالعه پایه فندقی بیش‌ترین حساسیت را به تنش خشکی در ارتباط با شاخص‌های فلورسانس کلروفیل نشان داد. همچنین بیش‌ترین کاهش زیست‌توده در این پایه در آخرین سطح خشکی نسبت به شاهد در

منابع

- بخشی‌خانیک، غ.ر.، جوادی، ص.، مهدی‌خانی، پ. و طهماسبی، د. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر تنش خشکی روی برخی ویژگی‌های کمی و کیفی ارقام جدید اصلاح شده چغندرقدند. مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی-مولکولی، ۱(۳): ۶۵-۷۴.
- پیراسته انوشه، ه. و امام، ی. ۱۳۹۱. دستوری صفات مورفوفیزیولوژیک گندم نان و گندم ماکارونی با استفاده از تنظیم کننده‌های رشد در شرایط متفاوت آبیاری. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۵: ۲۹-۴۵.
- جوادی‌پور، ز.، موحدی‌دهنوی، م. و بلوچی، ح.ر. ۱۳۹۲. ارزیابی شاخص‌های فتوسنتزی، محتوا و فلورسانس کلروفیل برگ ارقام گلرنگ تحت تنش شوری. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، ۶(۲): ۳۵-۵۶.
- حیدری، م. ۱۳۹۵. ارزیابی رشد رویشی و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی در تلاقی‌های کنترل شده پسته *P. integerrima* × *P. vera* رشد یافته در غلظت‌های مختلف شوری NaCl. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شاهد، تهران.
- ساجدی، م.، اثنی‌عشری، م.، جعفری، م. و مشتاقی‌اصل، ا. ۱۳۹۶. ویژگی‌های فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و بیوشیمیایی چهار رقم انجیر خوراکی و دو رقم بر انجیر در پاسخ به تنش خشکی. مجله تولیدات گیاهی، ۴۰(۳): ۱۰۱-۱۱۳.
- فهیمی‌خویردی، ف. و شمشیری، م.ح. ۱۳۹۵. مقایسه عملکرد فتوسنتز II در چهار رقم پایه‌ای پسته اهلی با استفاده از تکنیک فلورسانس کلروفیل در شرایط تنش خشکی. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی، ۵(۱۷): ۹۵-۱۰۹.
- قاسمی، م.، ارزانی، ک.، یدالهی، ع. و حکم‌آبادی، ح. ۱۳۹۲. اثر تنش خشکی بر فلورسانس، مقدار و شاخص کلروفیل چهار پایه دانه‌الی پسته. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۲۷(۴): ۴۷۶-۴۸۵.
- معرارجی‌پور، م.، محمدی‌دهنوی، م.، دهداری، ا.، فرجی، ح. و معراجی‌پور، م. ۱۳۹۱. تأثیر تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی چهار رقم گلرنگ بهاره در منطقه یاسوج. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۵(۲): ۱۲۵-۱۳۴.
- ملکوتی، م.ج.، کشاورز، پ. و کریمیان، ن.ع. ۱۳۸۷. روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار. انتشارات مرکز نشر دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۸۰۴ ص.
- Araus, J.L., Casadesus, J., Bort, J., Nachit, M.M., Villegas, D., Aparicio, N. and Royo, C. 2015. Some remarks on ecophysiological traits for breeding. Journal of Ciheam-Options Mediterranneenes, 40: 57-62.
- Baker, N.R. 2008. "Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo", Annual Review of Plant Biology, 59: 89-113.
- Bilger, W. and Bjorkman, O. 2014. Relationships among violaxanthin deepoxidation thylakoid membrane conformation, and nonphotochemical fluorescence quenching in leaves of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Journal of Planta, 193: 238-246.
- De Lucena, C.C., De Siqueira, D.L., Martinez, H.N. and Cecon, P.R. 2012, Salt stress change chlorophyll fluorescence in mango. Journal of Fruticultura Jaboticabal, 34(4): 1245-1255.

- Dias, M.C. and Bruggemann, W. 2010. Limitations of photosynthesis in *Phaseolus vulgaris* under drought stress: gas exchange, chlorophyll fluorescence and Calvin cycle enzymes. *Journal of Photosynthetic*, 48(1): 96-102.
- Fahimi Khoyerd, F., Shamshiri, M.H. and Estaji, A. 2016. Changes in some physiological and osmotic parameters of several pistachio genotypes under drought stress. *Journal of Scientia Horticulturae*, 198: 44- 51.
- Falqueto, A.R., Da Silva, R.A., Gaudio Gomes, M.T., Rodrigues Martins, J.P., Moura Silva, D. and Partelli, F.L. 2017. Effects of drought stress on chlorophyll a fluorescence in two rubber tree clones. *Journal of Scientia Horticulturae*, 224: 228- 243.
- Kaouther, Z., Ben Fredj, M., Mani, F. and Hannachi, C. 2012. Impact of salt stress (NaCl) on growth, chlorophyll content and fluorescence of Tunisian cultivars of chili pepper (*Capsicum frutescens* L.). *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 8(4): 236-252.
- Kiran, B., Ratnakuma, P., Satish Kumar, Y. and Santanu Kumar, B. 2014. Approaches to plant stress and their management. Springer Science, 195-205 pp.
- Kordrostami, F., Shirvany, A., Attarod, P. and Khoshnevis, M. 2014. Does drought stress induce physiological mechanisms in *Celtis caucasica* L. seedlings? *Advances in Bioresearch*, 5(4): 30-34.
- Kusaka, M., Lalusin, A.G. and Fujimura, T. 2005. The maintenance of growth and turgor in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) cultivars with different root structures and osmoregulation under drought stress. *Journal of Plant Science*, 168(1): 1-14.
- Li, R., Guo, P., Baum, M., Grande, S. and Ceccarelli, S. 2006. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Journal of Agricultural Sciences in China*, 5: 751-757.
- Ma, B.L., Morison, M.J. and Videng, H.D. 1995. Leaf greenness and photosynthetic rates in soybean. *Journal of Crop Science*, 35: 1411-1414.
- Maxwell, K. and Johnson, G. 2000. Chlorophyll fluorescence a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51: 659-668.
- Mehdi-Tounsi, H., Chelli-Chaabouni, A., Mahjoub-Boujnah, D. and Boukhris, M. 2017. Long term field response of pistachio to irrigation water salinity. *Journal of Agricultural Water Management*, 185: 1-12.
- Mehta, P., Jajoo, A., Mathur, S. and Bharti, S. 2010. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves, *Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 48(1):16-20.
- Moazzam Jazi, M., Seyedi, S.M., Ebrahimie, E., Ebrahimi, M., De Moro, G. and Botanga, C. 2017. A genome-wide transcriptome map of pistachio (*Pistacia vera* L.) provides novel insights into salinity-related genes and marker discovery. *BMC Genom*, 18- 627: 1-21.
- Molnar, I., Gaspar, L., Sarvari, E., Dulai, S., Haffman, B., Molnar, L.M., and Galiba, G. 2004. Physiological and morphological response to water stress in *Aegilops biuncialis* a *Triticum aestivum* genotype with differing tolerance to drought. *Journal of Functional Plant Biology*, 31: 1149-1159.
- Niknam, V., Razavi, N., Ebrahimzadeh, H. and Sharifzadeh, B. 2006. Effect of NaCl on biomass, protein and proline contents, and antioxidant enzymes in seedlings and calli of two *Trigonella* species. *Journal of Biologia Plantarum*, 50(4): 591-596.
- O'Neill, P.M., Shanahan, J.F. and Schepers, J.S. 2006. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrids response to variable water conditions. *Journal of Crop Science*, 46: 681-687.
- Oukarroum, A., El Madidi, S., Schansker, G. and Strasser, R.J. 2007. Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. *Journal of Environmental and Experimental Botany*, 60: 438-446.
- Paknejad, F., Nasri, M., Tohidi Moghadam, H.R., Zahedi, H. and Jami Alahmad, M. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *Journal of Biological Sciences*, 7(6): 841-847.
- Petridis, A., Therios, I., Samouris, G., Koundouras, S. and Giannakoula, A. 2012. Effect of water deficit on leaf phenolic composition, gas exchange, oxidative damage and antioxidant activity of

- four Greek Olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 60: 1-11.
- Pirasteh-Anosheh, H., Saed-Moucheshi, A., Pakniyat, H. and Pessaraki, M. 2016. Stomatal responses to drought stress. *Springer Science*, 24-40 pp.
- Shibairo, S.I., Upadhyaya, M.K. and Toivonen, P.M.A. 1998. Influence of preharvest water stress on postharvest moisture loss of carrot (*Daucus carota* L.), *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 73: 347-352.
- Vannozzi, G.P., Baldini, M., Tahmasebi Enferadi, S., Vedove, G. and Gomez Sanchez, D. 1998. Effect of soil water availability in sunflower lines derived from interspecific crosses [*Helianthus-Friuli Venezia Giulia*]. *Italian Journal of Agronomy*, 62(1): 371-387.
- Zhang, Y., Xie, Z., Wang, Y., Su, P., An, L. and Gao, H. 2011. Effect of water stress on leaf photosynthesis, chlorophyll content and growth of oriental lily. *Russian Journal of Plant Physiology*, 58(5): 844-850.
- Zhao, G.Q., Ma, B.L. and Ren, C.Z. 2007. Growth, Gas Exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. *Journal of Crop Science*, 41: 123-131.
- Zlatev, Z. 2010. Drought-induced changes in chlorophyll fluorescence of young wheat plants. *Journal of Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 23(4): 438-441.