

مقاله پژوهشی

اثر تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک دانه‌های ایجاد شده از تلاقی‌های بین‌گونه‌ای پسته (*P. vera* × *P. integerrima*)

حسن فرهادی^{۱*}، محمدمهدی شریفانی^۲، مهدی علیزاده^۳، حسین حکم‌آبادی^۴ و ساسان علی‌نئیایی^۵

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۸ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۲۲)

چکیده

پسته به‌عنوان یک محصول استراتژیک جایگاه خاصی در بین محصولات کشاورزی ایران دارد. به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر برخی از ویژگی‌های مورفولوژیک و میزان پروتئین کل دانه‌های هیبرید و غیر هیبرید پسته و شناسایی پایه‌های متحمل به خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی با چهار تکرار به‌صورت گلدانی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال‌های ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل پنج پایه دانه‌ای پسته احمدآقایی، اکبری، سرخه‌حسینی، گرمه، فندق و پنج هیبرید بین‌گونه‌ای (احمدآقایی × اینتگریمما، اکبری × اینتگریمما، سرخه‌حسینی × اینتگریمما، گرمه × اینتگریمما و فندق × اینتگریمما) و سه سطح خشکی شامل شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، تنش ملایم (۶۵ درصد ظرفیت زراعی) و تنش شدید (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) بودند که به‌مدت ۱۲ هفته روی دانه‌های سه ماهه پسته اعمال شدند. نتایج نشان داد که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر وزن خشک ساقه، وزن خشک ریشه، طول ساقه، قطر ساقه، طول ریشه، نسبت طول ریشه به ساقه، طول برگ، عرض برگ، ضخامت برگ، ریزش برگ و میزان پروتئین کل برگ و ریشه داشت. با افزایش سطح خشکی، کاهش معنی‌داری در تمامی صفات به‌جز طول ریشه، نسبت طول ریشه به ساقه و ضخامت برگ نسبت به شاهد مشاهده شد. در بین پایه‌ها، به‌ترتیب پایه‌های پر رشد هیبرید سرخه‌حسینی × اینتگریمما، احمدآقایی × اینتگریمما و اکبری × اینتگریمما بیشترین تحمل به خشکی را نشان دادند. از طرفی پایه دانه‌های فندق و تمامی صفات بیشترین حساسیت به خشکی را نشان داد.

کلمات کلیدی: اینتگریمما، تحمل به خشکی، سطح برگ، ظرفیت زراعی، هیبرید

- ۱- دانش‌آموخته دکتری علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
- ۲- دانشیار گروه 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، شاهرود
- ۵- استادیار گروه علوم باغبانی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران

* پست الکترونیک: farhadi.hassan66@gmail.com

مقدمه

پسته (*Pistacia vera* L.) از نظر باغبانی اهمیت تجاری بسزایی دارد و به‌عنوان یک محصول مناسب برای بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند مدیترانه و آسیای صغیر در نظر گرفته شده است (مهدی-تونسلی^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). خانواده پسته دارای تعداد زیادی جنس است که بیشتر آنها اختصاص به مناطق نیمه‌گرمسیری دارند (معظم‌جازی^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). تعداد ۱۱ گونه در این جنس وجود دارد که سه گونه آن در ایران شناسایی شده است. به‌طور عمده گونه‌های شناسایی شده در جنس پسته به‌صورت درختچه می‌باشند و از این ۱۱ گونه، تنها گونه *P. vera* است که میوه آن از نظر اقتصادی دارای ارزش بالایی است و سایر گونه‌ها عمدتاً به‌عنوان پایه و یا به‌عنوان گرده‌زا در اصلاح پسته به کار گرفته می‌شوند (معظم‌جازی و همکاران، ۲۰۱۷؛ پارفیت^۳ و همکاران، ۲۰۰۵). پسته همچنین از نظر تغذیه ای منبع گرانبهایی از مواد غذایی سالم و مفید به‌ویژه آنتی‌اکسیدان‌ها، پروتئین‌ها، فنل‌ها و مواد معدنی می‌باشد (علی-اکبرخوانی^۴ و همکاران، ۲۰۱۷).

عدم وجود شرایط محیطی بهینه در گیاهان نوعی تنش محسوب شده و باروری و رشد گیاهان توسط این تنش‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی می‌باشد که تشدید آن معمولاً پاسخ های مورفولوژیکی مانند افزایش رشد ریشه، کاهش رشد ساقه، کاهش سطح برگ، کاهش نرخ رشد و غیره در گیاهان را به‌دنبال دارد (جلیلی‌مروندی و همکاران، ۱۳۹۰). اثرات منفی تنش خشکی بر ارتفاع گیاه، قطر نهال، تعداد و سطح برگ پسته خنجوک گزارش شده است (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۰). در پژوهشی بن‌حامد^۵ و همکاران (۲۰۱۶) سطوح مختلف تنش خشکی را بر روی بذور ارقام آتلانتیکا، ورا و دانه‌های حاصل از بذور تلاقی بین‌گونه‌ای آتلانتیکا × ورا اعمال نمودند و مشاهده کردند که بذور هیبرید میزان مقاومت بیشتری نسبت به بذور آتلانتیکا و ورا داشتند. بر اساس گزارشات آدن^۶ و همکاران (۲۰۱۱) گونه اینتگریمما از نظر شرایط آب و هوایی دامنه‌های خشک با خاک‌های کم-عمق را ترجیح می‌دهد و از نظر تحمل به خشکی متوسط

است. در پژوهشی که اخیراً توسط ماریانا^۷ و همکاران (۲۰۱۸) در اسپانیا انجام شد تأثیر تنش خشکی بر پیوندک دو ساله رقم کرمان روی سه پایه تربینتوس، آتلانتیکا و یو سی بی-۱^۸ که حاصل تلاقی بین‌گونه‌ای اینتگریمما (به عنوان والد پدری) و آتلانتیکا (به عنوان والد مادری) است مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ایشان نشان داد که بیشترین میزان رشد رویشی رقم کرمان در شرایط خشکی روی پایه یو سی بی-۱ بود. در پژوهشی دیگر گیجون^۹ و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که گونه تربینتوس و هیبرید حاصل از تلاقی آتلانتیکا × ورا به‌طور چشم‌گیری هدایت روزنه‌ای و قدرت زنده‌مانی در شرایط تنش خشکی را در پیوندک رقم کرمان بهبود بخشیدند و این درحالی بود که گونه آتلانتیکا با بیشترین کاهش سطح برگ، رشد و قدرت زنده‌مانی به عنوان حساس‌ترین پایه در این بین شناسایی گردید.

در ارتباط با پروتئین دانه، مطالعات آرانجیلو^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که میزان پروتئین متصل شونده به روبیسکو تحت تنش خشکی کاهش می‌یابد. همچنین در پژوهشی مالکی‌کوهبنانی و کریمی (۱۳۹۲) در بررسی میزان پروتئین ارقام مختلف پسته تحت تنش خشکی نشان دادند که میزان پروتئین برگ تحت تأثیر تیمار خشکی و نوع پایه واقع شد. طبق نتایج محققین مذکور با افزایش دور آبیاری میزان پروتئین به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به طوری که بیشترین میزان پروتئین در دور آبیاری ۳ روز و کمترین میزان آن در دور آبیاری ۹ روز مشاهده شد. طبق نتایج ایشان بیشترین میزان پروتئین برگ در پایه قزوینی و کمترین آن در پایه هیبرید مشاهده شد. طبق نتایج ژانگ^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۵) یکی از روش‌های بهبود سازگاری گیاهان به‌مناطق خشک، شناسایی و کاشت ارقام متحمل به‌خشکی به‌منظور درک مکانیسم‌های مولکولی مؤثر در سازگاری گیاه در شرایط تنش‌زا می‌باشد. در این راستا آنالیز پروتئوم گیاهان برای درک پاسخ آن‌ها به تنش‌های غیرزیستی ضروری به‌نظر می‌رسد (بارکلا^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۳). از طرفی روش‌های جدید زیادی وجود دارد که پروتئین‌های مؤثر در مقاومت به تنش را شناسایی می‌کنند

7. Moriana
8. UCB-1
9. Gijon
10. Aranjuelo
11. Zhang
12. Barkla Bronwyn

1. Mehdi-Tounsi
2. Moazzam Jazi
3. Parfitt
4. Aliakbarkhani
5. Ben Hamed
6. Uddin

(کاپریوتی^۱ و همکاران، ۲۰۱۴).

از آنجا که کشور پهناور ایران در کمربند خشک جغرافیایی و نوار بیابانی ۲۵ تا ۳۷ درجه از خط استوا در نیمکره شمالی واقع شده است، بنابراین جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب شده به طوری که میزان بارش در این کشور حدود یک‌سوم متوسط جهانی است و با بارندگی سالانه ۲۷۰ میلی‌متر، دارای اقلیمی خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (محمدی‌یگانه و همکاران، ۱۳۹۱). بنابراین در این مناطق، آب مهم‌ترین عامل محدودکننده پیشرفت اقتصادی به حساب آمده و وقوع تنش خشکی در دوره رشد محصولات کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. هم‌سو با استفاده از شیوه‌های مدرن و تحت فشار آبیاری، فرآیند غربال‌گری و گزینش ژنوتیپ‌ها و پایه‌های مقاوم به خشکی و کارآمد از لحاظ مصرف آب، بهترین راهکار در راستای کاهش آب مصرفی در کشاورزی و تقلیل اثرات تنش خشکی بر درختان پسته در مقیاس وسیع به حساب می‌آید (آنجوم^۲ و همکاران، ۲۰۱۱).

تحقیقات صورت گرفته تاکنون در راستای بررسی تنش خشکی دانه‌ها و ارقام پسته از طریق انتخاب بذور و یا گیاه مادری مستقیم بوده و تاکنون بین بذور حاصل از تلاقی‌های کنترل شده به وسیله دانه‌گرده گونه اینتگریمما با گونه‌ها را پژوهشی به منظور گزینش پایه متحمل به خشکی هم‌زمان با بهبود رشد رویشی صورت نگرفته است. به‌طور کلی تلاقی‌های هدفمند در جهت افزایش میزان مقاومت، می‌تواند راهی مطمئن و دائمی برای به حداقل رساندن اثرات زیان بار تنش خشکی بر گیاهان در نظر گرفته شود. گونه *P. vera* که مهم‌ترین پایه مورد استفاده در کشور است، گونه‌ای کُند رشد و دیربازده می‌باشد. در عوض پسته گونه اینتگریمما *P. integerrima* یکی از گونه‌های پررشد، مقاوم به ورتیسیلیوم و بسیاری از خصوصیات خوب دیگر است. بنابراین هدف از این پژوهش، ارزیابی اثر تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و میزان پروتئین پایه‌های دانه‌های حاصل از تلاقی‌های بین‌گونه‌ای پسته به منظور دستیابی به متحمل‌ترین پایه نسبت به خشکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

گرده‌افشانی کنترل شده و تولید بذور هیبرید

به‌منظور تولید بذور هیبرید، تلاقی کنترل شده در مؤسسه تحقیقات پسته استان قدس رضوی (شهرستان بردسکن-شهر انابد) واقع در ۲۹۷ کیلومتری مشهد در سال باغی ۹۷-۱۳۹۶ روی درختان ۱۴ ساله ارقام احمدآقایی، اکبری، سرخه‌حسینی، گرمه و فندق‌ای انجام شد. درختان پسته مورد آزمایش جهت رشد در فضای باغ در مختصات جغرافیایی ۴۸°۰۱'۴۸" طول شرقی، ۱۴°۲۱'۳۵" عرض شمالی و ارتفاع ۸۷۵ متر از سطح دریا قرار داشتند. هر درخت معادل یک تکرار بود و از هر درخت هفت شاخه که حداقل دارای سه الی 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، روی شاخه‌ها الکل ۷۰ درصد اسپری شد تا از احتمال وجود گرده‌های ناخواسته جلوگیری گردد. به‌منظور اطمینان از گرده‌افشانی کنترل شده، در مرحله تورم جوانه، شاخه‌ها به وسیله کیسه‌های دو لایه ملامل به ابعاد ۳۰×۴۵ سانتی‌متر ایزوله 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. برای انتخاب والد نر اینتگریمما در منطقه ارزوئیه استان کرمان از درخت شماره ۱ دانه‌گرده جمع‌آوری شد و تا زمان آماده بودن والد‌های ماده، گرده‌ها در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگاه‌داری شدند. در ادامه با استفاده از سرنگ ترکیب آرد گندم و گرده اینتگریمما (نسبت ۱:۱ در هر مرحله) در چهار مرحله با غلظت‌های مختلف به داخل کیسه‌های عایق تزریق و عمل گرده‌افشانی صورت گرفت (جدول ۱).

پس از گرده‌افشانی هنگامی که کلاله گل‌ها، قهوه‌ای شدند و میوه‌ها به صورت دانه‌ارزنی رسیدند، کیسه‌های ملامل 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 را هیبرید انجام شد و پس از خشک نمودن، در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد جهت مراحل بعدی آزمایش نگاه‌داری شدند.

آزمون مقاومت به خشکی هیبریدهای تولید شده

این پژوهش در سال باغی ۹۹-۱۳۹۸ به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی با چهار تکرار در گلخانه

جدول ۱- تیمارهای آرد و گرده مورد استفاده در گرده‌افشانی کنترل شده درختان پسته

مراحل گرده‌افشانی	تاریخ گرده‌افشانی	میزان آرد و گرده اینتگریمما
مرحله اول	۵ فروردین ماه	۰/۲۵ گرم آرد + ۰/۲۵ گرم گرده اینتگریمما
مرحله دوم	۷ فروردین ماه	۰/۳۷۵ گرم آرد + ۰/۳۷۵ گرم گرده اینتگریمما
مرحله سوم	۱۰ فروردین ماه	۰/۳۷۵ گرم آرد + ۰/۳۷۵ گرم گرده اینتگریمما
مرحله چهارم	۱۴ فروردین ماه	۰/۲۵ گرم آرد + ۰/۲۵ گرم گرده اینتگریمما



ج

ب

الف

شکل ۱- نحوه عایق‌سازی (الف)، کنترل منفی (ب)، تعویض کیسه‌های ململ با کیسه‌های توری (ج) در درختان پسته در مرحله گرده-افشانی کنترل شده

یک بار با کود بیومین (sp-446) 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، تیمارهای خشکی برای مدت ۱۲ هفته (از ۲۳ تیر تا ۱۵ مهر ۱۳۹۸) روی دانه‌های ۱۰۰ روزه اعمال شد. اعمال تیمار خشکی به روش وزنی صورت گرفت. جهت شناسایی ترکیب خاک، در ابتدا آزمایشات مقدماتی با استفاده از محاسبات تعیین میزان آب در خاک خشک نسبت به ظرفیت مزرعه صورت پذیرفت. برای تعیین تیمارهای مقادیر آب در هر گلدان، ابتدا مقداری خاک درون آن 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 ثقیلی، 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.

گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان روی ۱۰ پایه دانه‌الی پسته احمدآقایی، اکبری، سرخه‌حسینی، گرمه، فندق و هیبرید بین‌گونه‌ای (احمدآقایی × اینتگریمما، اکبری × اینتگریمما، سرخه‌حسینی × اینتگریمما، گرمه × اینتگریمما و فندق × اینتگریمما) انجام شد. بذور حاصل از گرده‌افشانی آزاد و کنترل‌شده در ۱۷ فروردین 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 ۲ در هزار به‌منظور ضدعفونی خیس‌انده و سپس جهت زدودن بقایای مواد شوینده از آنها با آب مقطر سه مرتبه 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 (چهار گلدان) و هر گلدان شامل یک گیاه بود. دمای متوسط روزانه گلخانه ۳۷-۲۵ درجه سانتی‌گراد، دمای متوسط شبانه ۲۲-۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۱۲+۴۵ درصد بود. بعد از ۳۵ روز از شروع کاشت (از ۲۰ اردیبهشت ماه) به مدت ۶۵ روز (تا ۲۳ تیر ماه)، تغذیه دانه‌ها هر ۱۲ روز

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 دانهاها در جدول ۲ آورده شده است.

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

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مخلوط خاکی استفاده شده برای پایه‌های دانهای پسته

بافت خاک	pH	EC (dsm ⁻¹)	رس (%)	شن (%)	سیلت (%)	کربنات کلسیم (%)	نیترژن کل (%)	کربن آلی (%)	پتاسیم (ppm)	فسفر (ppm)	آهن (ppm)	روی (ppm)	منگنز (ppm)	بور (ppm)	مس (ppm)
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	۰/۶۶

استخراج مطلوب پروتئین انجام نداد) لوله‌های فالكون حاوی نمونه در سردخانه در وضعیت سکون نگهداری شدند. سپس نمونه‌ها در دمای ۴-۲ درجه سانتی‌گراد و با دور ۱۶۰۰ دور در دقیقه به مدت ۴۰-۳۰ دقیقه سانتریفیوژ گردیدند. مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر از فاز مایع شناور نمونه‌ها را پس از سانتریفیوژ برداشته و بعد از انتقال به فالكون ۱۵ میلی‌لیتری، مقدار ۵ میلی‌لیتر معرف برادفورد به آن اضافه و به سرعت ورتکس شد. در نهایت پس از ۲۵ دقیقه میزان جذب نوری محلول حاصل با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت و ثبت شد. با استفاده از منحنی استاندارد غلظت پروتئین محاسبه شد (برادفورد، ۱۹۷۶).

تجزیه و تحلیل آماری نتایج آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 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.

نتایج و بحث

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 ۳).

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 ۲). بررسی اثر متقابل پایه و خشکی نشان داد که پایه سرخه‌حسینی \times اینتگریمما در تیمار شاهد با میانگین (۴/۵۴ گرم) در تنش ملایم با میانگین (۳/۸۵

اندازه‌گیری صفات

به‌منظور اندازه‌گیری وزن 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. به‌منظور بررسی اثرات سطوح مختلف خشکی بر پارامترهای رویشی در انتهای آزمایش پارامترهایی مانند طول ساقه، قطر ساقه، طول ریشه، نسبت طول ریشه به ساقه، طول برگ، عرض برگ، ضخامت برگ، سطح برگ و درصد ریزش برگ اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری سطح برگ گیاه، برگ را با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ مدل DELTA-T اسکن کرده و سطح برگ بر اساس سانتی‌متر مربع گزارش گردید. برای سنجش طول ریشه و ساقه، ابتدا گیاهان مورد بررسی از درون گلدان‌ها خارج و ریشه‌ها به خوبی شستشو گردیدند. سپس این گیاهان در بسته‌های پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل گردیده و ریشه و بخش هوایی با استفاده از یک تیغ از محل طوقه از هم جدا شدند. در نهایت طول ریشه و ساقه گیاهان در این آزمایش با استفاده از متر نواری اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری طول برگ، عرض برگ، ضخامت برگ و قطر ساقه از کولیس دیجیتالی استفاده شد.

جهت اندازه‌گیری محتوای پروتئین کل، میزان ۰/۵ گرم از نمونه را در هاون چینی ریخته، سپس در چند مرحله مقدار ۶/۲۵ میلی‌لیتر بافر استخراج (pH = ۷/۵) به نمونه اضافه کرده و به مدت ۳۰ دقیقه سائیده شد و سپس نمونه درون فالكون ۱۵ میلی‌لیتری ریخته شد. جهت حل شدن کامل نمونه در بافر و استخراج بهتر پروتئین، به مدت ۲۴ ساعت (این مرحله را می‌توان در صورت همگن بودن نمونه و

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های رویشی دانه‌های مختلف پسته تحت تنش خشکی

میانگین مربعات		طول ریشه		قطر ساقه	طول ساقه	وزن خشک ریشه	وزن خشک ساقه	درجه آزادی	منابع تغییرات
عرض برگ	طول برگ	طول ریشه به ساقه	طول ریشه						
۵۷۸/۳۸**	۱۸۲۱/۸۳**	۰/۴۶۹**	۲۹۶۶/۲۵**	۱/۴۴**	۷۶۲/۲۰**	۵/۷۶**	۵/۷۰**	۹	پایه (A)
۶۴۱/۳۰**	۹۸۷/۸۰**	۲/۰۵۷**	۱۱۴۱۸/۷۱**	۸/۵۶**	۱۳۸۸/۱۲**	۲۳/۵۳**	۳۲/۹۱**	۲	خشکی (B)
۲/۷۰ ^{ns}	۰/۱۰۰ ^{ns}	۰/۳۶۲**	۵۲۳/۷۹**	۰/۰۶۸**	۴۱/۱۶ ^{ns}	۰/۲۸۸**	۰/۲۴۰**	۱۸	A×B
۲/۰۵	۹/۶۴	۰/۰۰۴۱	۴۰/۰۷	۰/۰۰۷۵	۲۶/۹۵	۰/۰۳۴	۰/۰۱۶	۹۰	خطا
۶/۰۱	۶/۴۷	۶/۲۴	۷/۷۸	۶/۴۹	۶/۸۵	۷/۲۵	۴/۷۸		ضریب تغییرات (درصد)

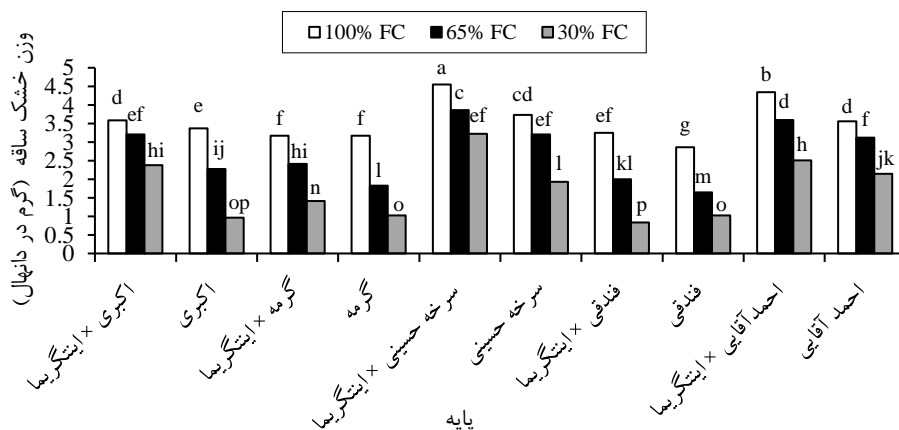
**، * و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح یک درصد و پنج درصد و غیر معنی‌دار را نشان می‌دهد.

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 به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر پایه و تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۳). 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 فندق‌هی 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 نسبت به سایر پایه‌های دانه‌های برخوردار بود. در ضمن پایه‌های

گرم) و در تنش شدید با میانگین (۳/۲۲ گرم)، بیش‌ترین میزان وزن خشک ساقه را در تمامی سطوح خشکی داشت در حالی که پایه فندق‌هی با میانگین ۰/۸۳ گرم در آخرین تیمار خشکی، کم‌ترین میزان وزن خشک ساقه را بین پایه‌ها نشان داد. در ضمن پایه‌های دانه‌های احمدآقایی × اینتگریمما، اکبری × اینتگریمما، احمدآقایی، سرخه‌حسینی، گرمه × اینتگریمما، گرمه، اکبری و فندق‌هی × اینتگریمما از لحاظ این صفت در رده‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۲). 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 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.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل پایه و خشکی بر وزن خشک ساقه دانه‌های پسته. میانگین‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند

درصد کاهش مشاهده شد. با توجه به اینکه در شرایط تنش آبی فشار تورژسانس سلول‌های ساقه که در حال ازدیاد طول می‌باشند، کاهش می‌یابد و از طرفی تولید مواد اصلی فتوسنتز نیز کم می‌شود، بنابراین طول میانگره‌های ساقه و در نتیجه ارتفاع گیاه تحت تأثیر سطوح خشکی کاهش می‌یابد (امام و نیک‌نژاد، ۱۳۸۳). ضابط و حسین‌زاده (۱۳۹۰) نیز گزارش کردند که کاهش ارتفاع گیاه در ساقه دلیلی بر این است که تنش خشکی باعث کاهش تقسیمات سلولی گردیده و رشد رویشی گیاه کاهش داده می‌شود لذا منجر به کاهش رشد و سطح فتوسنتز کننده گیاه می‌گردد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج بشارت و همکاران (۱۳۹۳) و قاسمی و همکاران (۱۳۹۲) روی پسته مطابقت دارد.

اثر تنش خشکی بر قطر ساقه

بر اساس نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس، تمامی اثرات ساده و متقابل در مورد قطر ساقه معنی‌دار ($P \leq 0.01$) گردید (جدول ۳). کاهش میزان قطر ساقه پایه‌های دانه‌های پسته سرخه‌حسینی × اینتگریمما، اکبری × اینتگریمما، احمد-آقایی × اینتگریمما، احمدآقایی، سرخه‌حسینی، گرمه × اینتگریمما، گرمه، اکبری، فندقی × اینتگریمما و فندقی در تنش شدید نسبت به شاهد به ترتیب ۲۹/۴۳، ۳۳/۶۹، ۴۰/۳۷، ۳۸/۹۸، ۴۹/۲۱، ۵۶/۶۰، ۶۷/۲۹، ۷۱/۵۹، ۷۱/۸۵، ۷۳/۹۷ درصد بود. بر اساس نتایج، پایه‌های هیبرید سرخه-حسینی × اینتگریمما، اکبری × اینتگریمما، احمدآقایی × اینتگریمما، احمدآقایی و سرخه‌حسینی از نظر قطر ساقه از ثبات بیشتری ناشی از تغییرات سطوح خشکی برخوردار بودند به طوری که اندازه قطر ساقه مربوط به این پایه‌ها در سطح آخر خشکی نسبت به سطح شاهد کمترین کاهش را نسبت به سایر پایه‌ها داشته است. بنابراین پایه‌های هیبرید سرخه‌حسینی × اینتگریمما، اکبری × اینتگریمما، احمدآقایی × اینتگریمما و دو پایه احمدآقایی و سرخه‌حسینی که حاصل تلاقی با دانه گرده آزاد هستند به ترتیب نسبت به سایر پایه‌های دانه‌های مورد آزمایش متحمل‌ترین پایه‌ها در برابر خشکی از نظر کاهش قطر ساقه می‌باشند. از طرفی در بین دانه‌ها، پایه فندقی در تیمار شاهد با میانگین ۱/۴۶ میلی‌متر، در تنش متوسط با میانگین ۰/۸۲ میلی‌متر و در تنش شدید با میانگین ۰/۳۸ میلی‌متر کمترین میزان قطر ساقه را در بین تمامی تیمارها نشان داد و به عنوان حساس‌ترین پایه از لحاظ این صفت ارزیابی شد (شکل ۴). رشد سلول‌ها

دانه‌های اکبری × اینتگریمما، احمدآقایی × اینتگریمما، احمد-آقایی، سرخه‌حسینی، گرمه × اینتگریمما، اکبری و فندقی × اینتگریمما از لحاظ کاهش کمتر این صفت به ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۳). نتایج آزمایش ما با نتایج آزمایشات قاسمی و همکاران (۱۳۹۲) و فهیمی-خویردی^۱ 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 (نیک‌نام^۲ و همکاران، ۲۰۰۶).

اثر تنش خشکی بر طول ساقه

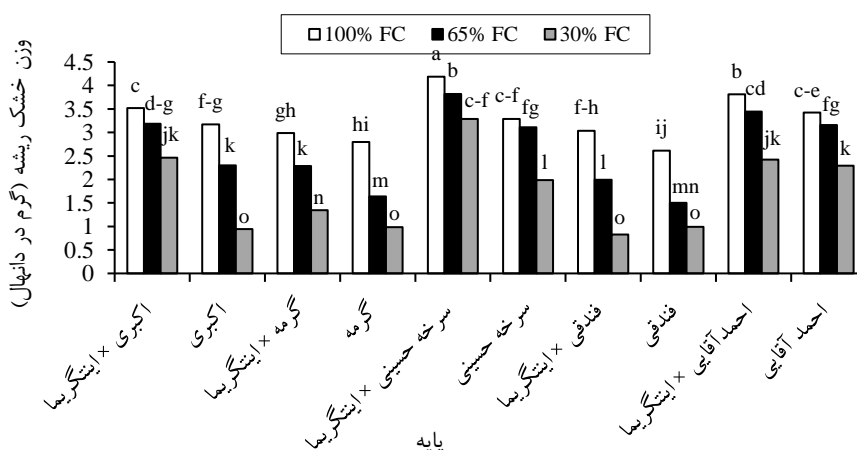
طبق نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر پایه و خشکی بر صفت طول ساقه معنی‌دار ($P \leq 0.01$) شد ولی در مورد اثر متقابل پایه در خشکی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در این بررسی طول ساقه اختلاف معنی‌داری بین پایه‌ها نشان داد به طوری که پایه هیبرید سرخه‌حسینی × اینتگریمما و فندقی با میانگین ۹۱/۰۵ و ۶۵/۴۱ سانتی‌متر به ترتیب بیشترین و کمترین میزان این صفت را به خود اختصاص دادند. در ضمن پایه‌های دانه‌های احمدآقایی × اینتگریمما، اکبری × اینتگریمما، احمدآقایی، سرخه‌حسینی، گرمه × اینتگریمما، فندقی × اینتگریمما و گرمه از لحاظ این صفت در رده‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۵). نتایج پژوهش حاضر با نتایج مالکی کوهبنانی و کریمی (۱۳۹۲) در ارتباط با مقاومت به خشکی ارقام پسته مطابقت دارد. طبق نتایج محققان مذکور رقم هیبرید بین‌گونه‌ای آتلانتیکا × ورا در سطوح مختلف خشکی نسبت به ارقام قزوینی و بادامی ریز زرد ارتفاع ساقه بیشتری نشان داد و به عنوان متحمل‌ترین پایه از لحاظ این صفت ارزیابی شد. در ارتباط با نتایج مربوط به تأثیر خشکی بر طول ساقه (جدول ۶) مشاهده شد که با افزایش سطوح خشکی یک روند کاهشی از نظر این صفت وجود داشت به طوری که در آخرین سطح خشکی (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) نسبت به شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، ۱۴/۲۴

همکنش پایه و خشکی معنی‌دار ($P \leq 0.01$) شد. در تمامی پایه‌ها با افزایش سطوح خشکی افزایش طول ریشه در تنش ملایم و شدید مشاهده شد به طوری که در بین دانه‌ها، پایه دانه‌های هیبرید سرخه‌حسینی × اینتگریم، اکبری × اینتگریم، احمدآقایی × اینتگریم، سرخه‌حسینی، اکبری، گرمه × اینتگریم، گرمه، احمدآقایی، فندقی × اینتگریم و فندقی در آخرین سطح تنش نسبت به شاهد به ترتیب ۳۲/۵۴، ۴۰/۶۲، ۴۲/۵۶، ۶۴/۳۳، ۷۸/۳۷، ۸۰/۰۲، ۹۸/۶۵، ۲۰/۷۹، ۲۰/۱۶، ۱۵/۴۱ درصد افزایش در طول ریشه نشان دادند (شکل ۵). طبق نتایج با افزایش تنش خشکی در تمامی سطوح پایه هیبرید سرخه‌حسینی × اینتگریم و فندقی به ترتیب بیشترین و کمترین افزایش طول ریشه را نسبت به شاهد در مقایسه با سایر پایه‌ها نشان دادند. بنابراین پایه پررشد هیبرید سرخه‌حسینی × اینتگریم نسبت

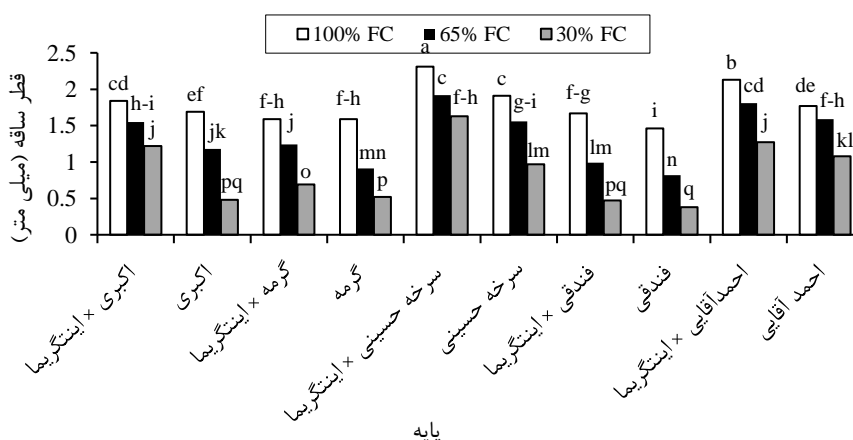
یکی از مهم‌ترین و حساس‌ترین فرآیندهای فیزیولوژیکی وابسته به فشار تورژانس است. رشد گیاه به علت تولید سلول‌های دختری در تقسیم سلول‌های مریستمی و افزایش ابعاد سلول‌های جوان ایجاد می‌گردد. در شرایط کم‌آبی طولی شدن سلول‌های بیشتر گیاهان با قطع جریان آب از آوند چوب به سلول‌های در حال طولی شدن جلوگیری می‌گردد. در نتیجه خشکی باعث کاهش رشد و افت عملکرد می‌گردد؛ بنابراین با افزایش سطوح خشکی قطر ساقه گیاهان کاهش می‌یابد (آنجوم و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج آزمایش حاضر با نتایج حیدری (۱۳۹۵) مبنی بر کاهش قطر ساقه پسته با افزایش تنش خشکی مطابقت دارد.

اثر تنش خشکی بر طول ریشه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به طول ریشه (جدول ۳) نشان داد که اثر پایه، تنش خشکی و بر



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



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل پایه و خشکی بر قطر ساقه دانه‌های پسته. میانگین‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند

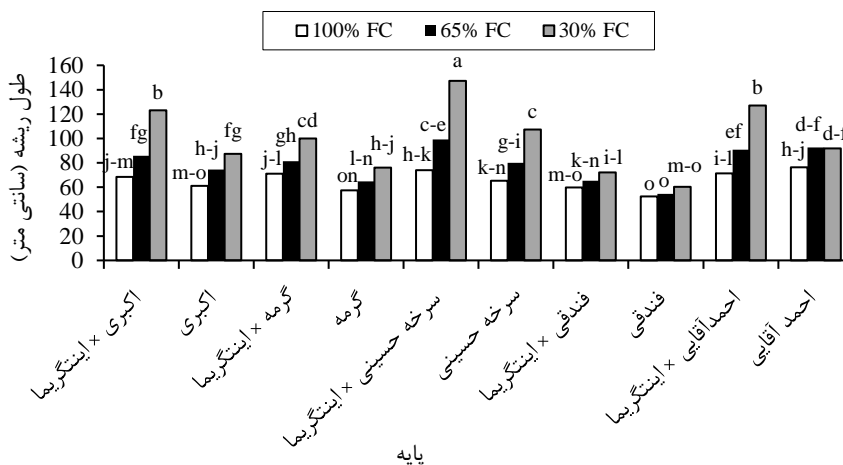
نسبت به سایر پایه‌های تحت تنش متحمل‌ترین پایه در برابر خشکی از لحاظ افزایش طول ریشه و دستیابی بیشتر به آب در شرایط تنش می‌باشد. نتایج این پژوهش با نتایج قاسمی و همکاران (۱۳۹۲) روی پسته مطابقت نداشت. محققان مذکور گزارش کردند با افزایش تنش خشکی طول ریشه در تمامی پایه‌ها کاهش یافت و پایه‌های حساس کاهش بیشتری در ارتباط با این صفت نشان دادند. از طرفی نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های حسنی‌گرده‌کوهی (۱۳۹۱) روی پسته مطابقت داشت به طوری که با افزایش تنش خشکی طول ریشه بیشتری در پایه‌های متحمل نسبت به پایه‌های حساس مشاهده شد. با افزایش تنش خشکی، گیاهان مقاوم به تنش، به‌منظور استفاده بهینه از آب موجود در خاک در شرایط تنش طول ریشه خود را افزایش می‌دهند و این افزایش طول ریشه با کاهش قطر ریشه همراه است و در نتیجه ریشه گیاه بهتر می‌تواند به منافذ خاک نفوذ کرده و آب را جذب کند (ژینگ^۱ و همکاران، ۲۰۰۴). از طرفی با افزایش تنش خشکی ژن‌های تولیدکننده پروتئین اکسپانزین فعال شده و باعث افزایش تولید پروتئین در ریشه می‌گردد. این پروتئین منجر به سست کردن پیوندهای دیگلوکان بین رشته‌های سلولزی در دیواره سلولی شده به-طوری که بعد از سست شدن دیواره سلولی به‌علت جذب آب و تورژسانس سلولی، سلول‌ها بزرگتر می‌شود و در نهایت این عوامل باعث افزایش طول ریشه می‌گردند (ویو^۲ و همکاران، ۲۰۰۱).

اثر تنش خشکی بر نسبت طول ریشه به ساقه

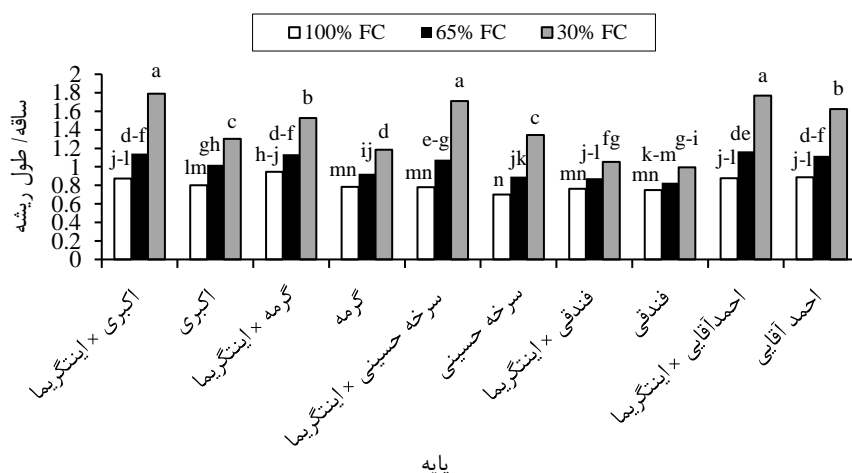
طبق نتایج تجزیه واریانس، تمامی اثرات ساده و متقابل در مورد صفت نسبت ریشه به ساقه معنی‌دار ($P \leq 0.01$) شد (جدول ۳). بررسی اثر متقابل پایه و خشکی (شکل ۶) نشان داد که با افزایش سطوح خشکی نسبت ریشه به ساقه در همه پایه‌های دانه‌الی مورد بررسی از یک روند افزایشی برخوردار بود. البته تیمار تنش ملایم نسبت به تنش شدید افزایش کمتری از لحاظ این صفت را نسبت به شاهد در تمامی پایه‌ها نشان داد. طبق نتایج در گیاهان شاهد نسبت ریشه به ساقه کمترین مقدار بود در حالی که در سطح آخر خشکی بیشترین میزان این صفت نسبت به شاهد مشاهده شد به طوری که در این سطح از تنش پایه هیبرید سرخه-حسینی × اینتگریمما با میانگین ۱۱۹/۶۶ درصد در آخرین

3. Chartzoulakis
4. Close

1. Xing
2. Wu



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل پایه و خشکی بر طول ریشه دانه‌های پسته. میانگین‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل پایه و خشکی بر نسبت طول ریشه به ساقه دانه‌های پسته. میانگین‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند

اکبری، فندق \times اینتگریمما، گرمه و فندق از لحاظ این صفت در رده‌های بعدی قرار گرفتند. طبق نتایج در مقایسه بین سطوح مختلف خشکی از لحاظ عرض برگ، تیمار شاهد با میانگین ۲۷/۶۲ میلی‌متر بیشترین میانگین این صفت را به خود اختصاص داد. میزان این صفت در تیمار تنش ملایم و شدید به ترتیب ۱۲/۳۰ و ۲۸/۹۲ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد (جدول ۴). در گیاهان رشد رویشی تحت تأثیر عوامل متعددی قرار دارد که یکی از مهم‌ترین این عوامل میزان آب در دسترس است. یکی از اولین نشانه‌های کم‌آبی، کاهش آماس و در نتیجه کاهش تقسیم و توسعه سلول به ویژه در برگ‌ها می‌باشد و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کمبود آب بر روی گیاهان را می‌توان به‌وسیله اندازه کوچکتر برگ‌های گیاهان (طول و

فندق نسبت به سایر پایه‌های مورد آزمایش حساس‌ترین پایه در برابر خشکی از نظر طول برگ بود (جدول ۵). طبق نتایج تنش خشکی اثر منفی معنی‌داری بر روی طول برگ گذاشت به طوری که تیمار تنش ملایم با میانگین ۴۹/۴۲ میلی‌متر و تنش شدید با میانگین ۴۲/۳۷ میلی‌متر به ترتیب ۱۸/۴۵ و ۴/۸۸ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان دادند (جدول ۶). در ارتباط با تأثیر تنش خشکی بر عرض برگ، مقایسه میانگین‌های اثرات ساده (جدول ۳) نشان داد که میزان عرض برگ در پایه‌های مورد بررسی از ۱۵/۰۵ الی ۳۶/۳۶ میلی‌متر به ترتیب مربوط به پایه‌های فندق و هیبرید سرخه حسینی \times اینتگریمما متغیر بوده است. در ضمن پایه‌های دانه‌های اکبری \times اینتگریمما، احمدآقایی \times اینتگریمما، احمدآقایی، سرخه حسینی، گرمه \times اینتگریمما،

عرض برگ) شناسایی کرد (سلاح‌ورزی و همکاران، ۱۳۸۷).

اثر تنش خشکی بر ضخامت برگ

طبق نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس (جدول ۴)، اثر پایه و خشکی بر صفت ضخامت برگ معنی‌دار ($P \leq 0.01$) شد ولی در مورد اثر متقابل پایه در خشکی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

در این بررسی ضخامت برگ اختلاف معنی‌دار در بین پایه‌ها نشان داد به طوری که پایه‌های دانه‌الی هیبرید احمدآقایی × اینتگریمما و فندق با میانگین ۰/۷۰۶ و ۰/۲۷۶ میلی‌متر به ترتیب بیشترین و کمترین میزان این صفت را به خود اختصاص دادند. در ضمن پایه‌های دانه‌الی اکبری × اینتگریمما، سرخه‌حسینی × اینتگریمما، احمدآقایی، سرخه-حسینی، اکبری، گرمه × اینتگریمما، گرمه و فندق از نظر ضخامت برگ در رده‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۵). نتایج مربوط به تأثیر خشکی بر ضخامت برگ نشان داد که با افزایش سطوح خشکی یک روند افزایشی از نظر این صفت وجود داشت به طوری که در آخرین سطح خشکی نسبت به شاهد ۰/۳۰ درصد افزایش ضخامت برگ مشاهده شد (جدول ۶). از جمله تغییراتی که در نتیجه تنش خشکی ایجاد می‌گردد کاهش حجم سلولی، کاهش سطح برگ و افزایش ضخامت برگ می‌باشد. در مناطق کم‌آب برگ‌های کوچک‌تر و ضخیم‌تر به وسیله کاهش سطح تعرق باعث کاهش تلفات آب می‌شوند و به افزایش تحمل به خشکی کمک می‌نمایند (پسرکلی^۱، ۱۹۹۹). نتایج پژوهش حاضر با نتایج اکبری و همکاران (۱۳۹۴) روی زیتون مبنی بر افزایش ضخامت برگ با افزایش سطوح خشکی مطابقت دارد.

اثر تنش خشکی بر سطح برگ کل گیاه

بر اساس نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس، اثرات ساده و متقابل در مورد سطح برگ ($P \leq 0.01$) معنی‌دار

گردید (جدول ۴). بررسی اثر متقابل پایه و خشکی نشان داد که پایه سرخه‌حسینی × اینتگریمما در تیمار شاهد با میانگین (۱۹۴/۱۴) سانتی‌مترمربع در هر دانه‌الی در تنش ملایم با میانگین (۱۴۸/۵) سانتی‌مترمربع در هر دانه‌الی و تنش شدید با میانگین (۹۹/۰۲) سانتی‌مترمربع در هر دانه‌الی از بیشترین میزان سطح برگ بین پایه‌ها برخوردار بوده است. طبق نتایج پایه فندق کمترین میزان سطح برگ را در آخرین سطح خشکی با میانگین ۲۷/۳۸ سانتی‌مترمربع نشان داد به طوری که در این سطح از تنش نسبت به شاهد با میانگین ۶۳/۰۱ درصد بیشترین کاهش از لحاظ این صفت نسبت به سایر پایه‌ها مشاهده شد. در ضمن پایه‌های دانه‌الی احمدآقایی × اینتگریمما، اکبری × اینتگریمما، سرخه‌حسینی، احمدآقایی، گرمه × اینتگریمما، اکبری، گرمه و فندق × اینتگریمما از نظر میزان کاهش کمتر این صفت به ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۷). احتمالاً توقف و محدود شدن سطح برگ به منزله اولین مکانیسم دفاعی گیاه در برابر خشکی می‌باشد که به دلیل کاهش تورژانس سلول‌های گیاهی و همچنین کاهش جذب مواد و عناصر غذایی بر اثر کمبود آب است (جلیلی‌مندی و همکاران، ۱۳۹۰). کاهش سطح برگ که در اثر تنش خشکی حادث می‌شود می‌تواند به کم‌شدن تقسیم و طولیل شدن سلولی نسبت داده شود.

همچنین کاهش پتانسیل آب خاک باعث کاهش تولید برگ جدید می‌گردد (عبدالجلیل^۲ و همکاران، ۲۰۰۹). از طرفی کاهش سطح برگ، خود می‌تواند به دلیل فرآیندهای دیگری از درون گیاه باشد که عمدتاً در ارتباط با فتوسنتز می‌باشند. بنابراین این فرآیندها باعث تولید برگ‌های کوچک‌تر و از طرف دیگر موجبات نابودی برگ‌ها را زودتر از موعد فراهم می‌نمایند (وفابخش و همکاران، ۱۳۸۷). نتایج پژوهش

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های رویشی و میزان پروتئین دانه‌الی مختلف پسته تحت تنش خشکی

میانگین مربعات						
منابع تغییرات	درجه آزادی	ضخامت برگ	سطح برگ کل گیاه	ریزش برگ	پروتئین برگ	پروتئین ریشه
پایه (A)	۹	۰/۲۳۵**	۲۰۷۸۸/۴۳**	۱۹۲۸/۵۵**	۰/۰۰۱۹**	۰/۰۰۱۹**
خشکی (B)	۲	۰/۳۳۱**	۳۴۶۵۸/۳۶**	۳۹۵۲/۸۱**	۰/۰۰۱۷۵**	۰/۰۳۵۲**
A×B	۱۸	۰/۰۰۱۳ ^{ns}	۵۸۳/۱۱**	۱۰۵/۰۳**	۰/۰۰۰۰۵۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۶ ^{ns}
خطا	۹۰	۰/۰۰۱۱	۳۰/۰۶	۳/۳۷	۰/۰۰۰۰۳۷	۰/۰۰۰۰۴۴
ضریب تغییرات (درصد)		۶/۴۹	۶/۲۳	۶/۷۰	۵/۹۶	۷/۴۹

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

بشارت و همکاران (۱۳۹۳) روی پسته نشان دهنده کاهش سطح برگ در اثر تنش خشکی می‌باشد به طوری که با افزایش دور آبیاری از ۲ روز به ۸ روز، سطح برگ ۵۳ درصد کاهش یافت. طبق نتایج محققین مذکور سطح برگ یک پارامتر کلیدی برای آزمایشات فیزیولوژیکی شامل رشد گیاه، جذب نور، کارایی فتوسنتزی، تبخیر و تعرق و همچنین پاسخ گیاه به کودها و آبیاری می‌باشد. نتایج آزمایش حاضر با یافته‌های فهیمی خویردی و همکاران (۲۰۱۶) و کریمی^۱ و همکاران (۲۰۱۱) روی پسته مطابقت دارد.

اثر تنش خشکی بر ریزش برگ

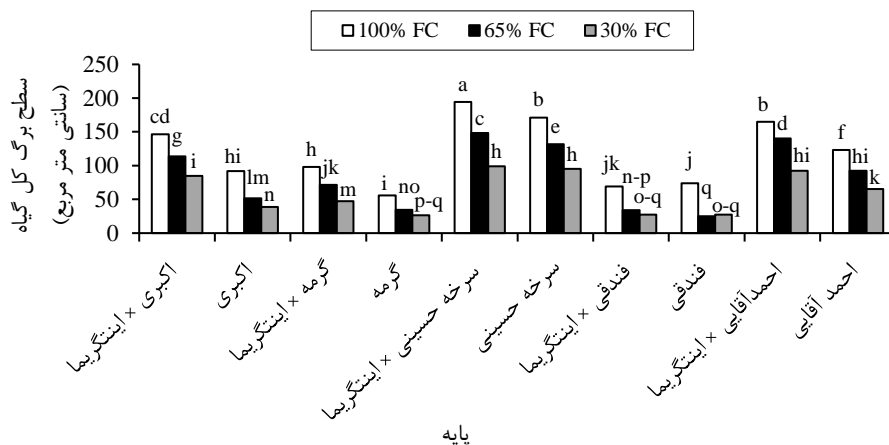
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح مختلف پایه، خشکی و اثر متقابل پایه و خشکی بر میزان ریزش برگ معنی‌دار بود ($P \leq 0/01$) (جدول ۴). طبق نتایج مقایسه میانگین همگام با افزایش شدت خشکی میزان ریزش در برگ‌ها نسبت به شاهد در تمامی پایه‌های دانه‌های افزایش نشان داد به طوری که در سطح شاهد دانه‌ها کمترین میزان ریزش برگ را داشتند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سطوح خشکی مخصوصاً در تنش شدید ریزش برگ در گیاهان بیشترین مقدار بود به طوری که پایه‌های دانه‌های احمدآقایی، احمدآقایی × اینتگریمما، فندق، احمدآقایی × اینتگریمما، سرخه‌حسینی × اینتگریمما، سرخه‌حسینی × اینتگریمما، گرمه، گرمه × اینتگریمما، اکبری و اکبری × اینتگریمما به ترتیب ۲۵/۰۴، ۲۲/۶۴، ۷۱/۹۹، ۴۹/۵۸، ۳۵/۷۱، ۱۶/۳۲، ۵۶/۰۸، ۴۴/۸۱، ۳۳/۴۴، ۲۶/۶۵ درصد نسبت به شاهد ریزش برگ نشان دادند. بنابراین پایه‌های هیبرید سرخه‌حسینی × اینتگریمما، احمدآقایی × اینتگریمما، اکبری × اینتگریمما و احمدآقایی کمترین و پایه فندق بیشترین ریزش برگ را در بین پایه‌ها نشان دادند (شکل ۸). برای مقاومت در برابر خشکی و زنده‌مانی بیشتر یکی از مکانیزم‌های گیاه در شرایط کم‌آبی ریزش برگ می‌باشد که گیاه جهت حفظ خود اقدام به ریزش برگ‌های مسن و ضعیف که بیشتر مصرف‌کننده هستند می‌کند (تورسیلس^۲ و همکاران، ۱۹۹۶).

اثر تنش خشکی بر میزان پروتئین محلول برگ و ریشه

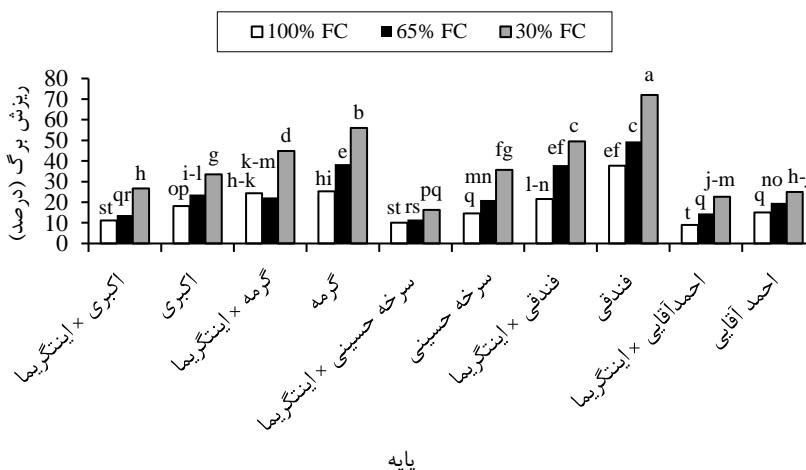
طبق نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس (جدول ۴)، اثر پایه و خشکی بر صفت پروتئین برگ و ریشه معنی‌دار ($P \leq 0/01$) شد ولی در مورد اثر متقابل پایه در خشکی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج مربوط به پروتئین برگ اختلاف معنی‌داری بین پایه‌ها نشان داد به طوری که پایه هیبرید احمدآقایی × اینتگریمما در بین پایه‌های دانه‌های مورد مطالعه بیش‌ترین میزان پروتئین محلول برگ را دارا بود و پایه‌های دانه‌های اکبری × اینتگریمما، سرخه‌حسینی × اینتگریمما، احمدآقایی، سرخه‌حسینی، گرمه × اینتگریمما، اکبری، فندق × اینتگریمما، گرمه و فندق نسبت به این پایه به ترتیب ۱/۵۹، ۲/۱۷، ۴/۲۵، ۱۴/۰۹، ۱۹/۴۱، ۱۹/۹۴، ۲۱/۸۰، ۲۵/۷۹، ۲۶/۸۶ درصد کاهش نشان دادند (جدول ۵). وقتی گیاهان در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرند برخی تغییرات کمی و کیفی در میزان پروتئین‌های گیاهی به وجود می‌آید. به طور کلی میزان پروتئین گیاه در طی دوره کم‌آبی در گیاه افت می‌کند و مقدار هدروی آن در گیاهان سه‌کربنه نسبت به گیاهان چهارکربنه بیشتر می‌باشد (سید^۳ و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج مربوط به تأثیر خشکی بر پروتئین برگ نشان داد که با افزایش سطوح خشکی یک روند کاهشی از نظر این صفت وجود داشت به طوری که در آخرین سطح خشکی نسبت به شاهد ۳۳/۷۷ درصد کاهش پروتئین برگ مشاهده شد (جدول ۶). با افزایش تنش خشکی الگوی تولید بسیاری از پروتئین‌ها در پاسخ به تنش، تغییر می‌نماید که از جمله این پروتئین‌ها، پروتئین‌های درگیر در مسیره‌های پیام‌رسانی تنش، پروتئین‌های مخصوص مقابله با تنش اکسیداتیو و پروتئین‌هایی با اعمال غیرمستقیم با تنش می‌باشند (حاج-حیدری^۴ و همکاران، ۲۰۰۵). در پژوهشی که توسط کینگ سنگ^۵ و همکاران (۲۰۰۷) روی نارنج سه برگ انجام گرفت، میزان پروتئین‌های برگ به واسطه تنش خشکی کاهش یافت. در پژوهشی مشابه فهیمی خویردی و همکاران (۲۰۱۶) با سنجش مقاومت چند ژنوتیپ پسته به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی و رشد دانه‌های گزارش کردند که با افزایش تیمارهای خشکی میزان پروتئین برگ و ریشه کاهش قابل توجهی یافت. در ارتباط با میزان پروتئین ریشه همانند پروتئین برگ اختلاف معنی‌دار بین پایه‌ها مشاهده

4. Hajheidari
5. Qiangsheng

1. Karimi
2. Torrecillas
3. Seyed



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل پایه و خشکی بر سطح برگ دانه‌های پسته. میانگین‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل پایه و خشکی بر ریزش برگ دانه‌های پسته. میانگین‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند

وجود داشت به طوری که کمترین میزان این صفت در آخرین سطح خشکی نسبت به شاهد مشاهده شد. بر اساس نتایج تیمار تنش شدید ۵۰/۰۸ درصد نسبت به شاهد از لحاظ پروتئین ریشه کاهش نشان داد (جدول ۶). بر اساس یافته‌های آنجوم و همکاران (۲۰۱۱) یکسری تغییرات کمی و کیفی در میزان پروتئین‌های گیاهی به واسطه تنش خشکی به وجود می‌آید به طوری که از ساخت پروتئین‌ها جلوگیری شده و در بیان ژن تغییراتی ایجاد شده و در نتیجه گروه‌های جدیدی از پروتئین‌ها ایجاد می‌شود. از طرفی آزمایشات قبلی نشان داده که تجمع و فعالیت آنزیم‌های پروتئاز و سیستمین پروتئیناز که نقش بسزایی در از هم پاشیدگی پروتئین‌ها دارند در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد. علاوه بر این گزارش شده که ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی

شد به طوری که پایه هیبرید احمدآقایی × اینتگریمما و سرخه‌حسینی × اینتگریمما به ترتیب با میانگین ۰/۱۰۶۳ و ۰/۱۰۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر نسبت به سایر پایه‌ها مقادیر بالاتری از لحاظ این صفت را نشان دادند. از طرفی پایه فندقی با میانگین ۰/۰۷۴۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر کمترین میزان پروتئین ریشه را بین پایه‌ها به خود اختصاص داد (جدول ۵). در پژوهشی که به منظور بررسی اثر تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول (PEG) بر میزان پروتئین گیاه برنج انجام شد نتایج حاکی از آن بود که با افزایش سطوح پلی‌اتیلن گلیکول (PEG) میزان پروتئین گیاه کاهش یافت (جنابابیرام و برا، ۲۰۱۲). نتایج مربوط به تأثیر خشکی بر پروتئین ریشه همانند پروتئین برگ نشان داد که با افزایش سطوح خشکی یک روند کاهشی از نظر این صفت

گندم به دلیل سازگاری بالاتر به تنش آبی از میزان فعالیت آنزیم سیستئین پروتئیناز پایین‌تری برخوردار هستند (داندا^۱ و همکاران، ۲۰۰۴) که احتمالاً در پژوهش حاضر نیز پایه‌های متحمل از میزان فعالیت آنزیم سیستئین پروتئیناز پایین‌تری برخوردار بوده‌اند. کاهش پروتئین محلول در اثر تنش خشکی در گیاه پسته (فهمی خویردی و همکاران، ۲۰۱۶)، ذرت (جابسینگ و بابو^۲، ۲۰۱۴) و انگور (عباسی^۳ و همکاران، ۲۰۱۴) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری کلی

طبق نتایج حاصل از پژوهش حاضر بررسی میزان پروتئین برگ و ریشه در تمامی پایه‌های دانه‌های نشان داد که افزایش سطوح تنش خشکی باعث افزایش تفاوت‌های قابل ملاحظه-ای در گیاهان تحت تنش نسبت به گیاهان شاهد شده است. از طرفی پایه‌های دانه‌های پسته نسبت به تنش خشکی پاسخ‌های متفاوتی را نشان دادند، به طوری که پایه‌های هیبرید سرخه‌حسینی × اینتگریم، احمدآقایی × اینتگریم

و اکبری × اینتگریم در ارتباط با تمامی صفات رویشی و میزان پروتئین برگ و ریشه از مقادیر بالاتری در شرایط تنش خشکی برخوردار بودند که این بیانگر تحمل بیشتر این پایه‌ها نسبت به تنش خشکی می‌باشد. از طرفی پایه فندقی در بین پایه‌های دانه‌های مورد مطالعه بیشترین حساسیت را به تنش خشکی در ارتباط با تمامی صفات مورد مطالعه نشان داد. بر اساس نتایج پژوهش حاضر مشخص شد پایه‌های هیبرید سرخه‌حسینی × اینتگریم، احمدآقایی × اینتگریم و اکبری × اینتگریم بیشترین و پایه فندقی کمترین توانایی را در حفظ پروتئین‌های برگ و ریشه در پاسخ به تنش خشکی در بین پایه‌ها دارند. به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی، به نظر می‌رسد بتوان از پایه‌های هیبرید سرخه‌حسینی × اینتگریم، احمدآقایی × اینتگریم و اکبری × اینتگریم به عنوان پایه‌های متحمل به خشکی برای اصلاح ارقام با پتانسیل عملکرد زیاد در مناطق خشک استفاده کرد. البته لازم است در آینده پیوند ارقام مختلف روی این پایه‌ها انجام و مقاومت پایه‌های پیوندی و رفتار پیوندک نسبت به سطوح مختلف خشکی مورد ارزیابی قرار گیرد.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات رویشی و میزان پروتئین در دانه‌های مختلف پسته تحت تنش خشکی

پایه	طول ساقه (سانتی‌متر)	طول برگ (میلی‌متر)	عرض برگ (میلی‌متر)	ضخامت برگ (میلی‌متر)	پروتئین برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه)	پروتئین ریشه (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه)
احمد آقایی	۷۶/۰۴ ^{bc}	۵۶/۵۸ ^b	۲۶/۹۸ ^d	۰/۶۲۳ ^b	۰/۰۹۹ ^b	۰/۰۳۶ ^b
احمد آقایی × اینتگریم	۸۷/۵۹ ^a	۵۷/۸۸ ^b	۲۸/۳۵ ^c	۰/۷۰۶ ^a	۰/۱۰۶۳ ^a	۰/۰۳۷۶ ^a
فندقی	۶۵/۴۱ ^f	۳۲/۴۳ ^g	۱۵/۰۵ ^g	۰/۲۷۶ ^g	۰/۰۷۴۶ ^e	۰/۰۲۷۵ ^f
فندقی × اینتگریم	۷۰/۶۹ ^{de}	۳۴/۳۲ ^{fg}	۱۷/۵۱ ^f	۰/۳۸۶ ^f	۰/۰۷۹۶ ^{de}	۰/۰۲۹۴ ^{de}
سرخه حسینی	۷۳/۹۹ ^{b-d}	۵۳/۸۶ ^c	۲۳/۱۰ ^e	۰/۵۷۳ ^c	۰/۰۸۸۰ ^c	۰/۰۳۲۳ ^c
سرخه‌حسینی × اینتگریم	۹۱/۰۵ ^a	۶۶/۹۴ ^a	۳۶/۳۶ ^a	۰/۶۳۰ ^b	۰/۱۰۵۳ ^a	۰/۰۳۶۸ ^{ab}
گرمه	۶۹/۱۸ ^{ef}	۳۵/۴۰ ^{ef}	۱۵/۳۴ ^g	۰/۳۹۶ ^f	۰/۰۷۵۶ ^e	۰/۰۲۷۹ ^{ef}
گرمه × اینتگریم	۷۳/۸۶ ^{b-d}	۴۷/۰۵ ^d	۲۲/۰۵ ^e	۰/۴۴۶ ^e	۰/۰۸۳۳ ^{cd}	۰/۰۳۰۳ ^d
اکبری	۷۲/۰۷ ^{c-e}	۳۷/۰۷ ^e	۲۲/۵۱ ^e	۰/۴۷۶ ^d	۰/۰۷۹۶ ^{de}	۰/۰۳۰۱ ^d
اکبری × اینتگریم	۷۶/۹۵ ^b	۵۷/۶۷ ^b	۳۱/۰۳ ^b	۰/۶۵۰ ^b	۰/۱۰۲۳ ^{ab}	۰/۰۳۷۰ ^{ab}

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

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف خشکی بر صفات رویشی و میزان پروتئین دانه‌های مختلف پسته

سطوح تنش	طول ساقه (سانتی‌متر)	طول برگ (میلی‌متر)	عرض برگ (میلی‌متر)	ضخامت برگ (میلی‌متر)	پروتئین برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه)	پروتئین ریشه (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه)
شاهد (ظرفیت زراعی)	۸۰/۶۷ ^a	۵۱/۹۶ ^a	۲۷/۶۲ ^a	۰/۴۲۴ ^c	۰/۰۳۷ ^a	۰/۱۱۸ ^a
تنش ملایم (۶۵ درصد ظرفیت زراعی)	۷۷/۱۹ ^b	۴۹/۴۲ ^b	۲۴/۲۲ ^b	۰/۵۲۰ ^b	۰/۰۳۴ ^b	۰/۰۹۰ ^b
تنش شدید (۳۰ درصد ظرفیت زراعی)	۶۹/۱۸ ^c	۴۲/۳۷ ^c	۱۹/۶۴ ^c	۰/۶۰۶ ^a	۰/۰۲۵ ^c	۰/۰۵۹ ^c

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

منابع

- اکبری، و.، جلیلی‌مردی، ر. و فرخزاد، ع. ۱۳۹۴. تأثیر سایکوسل بر فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی و میزان مالون‌دی‌آلدئید در ارقام ماری و میشن زیتون (*Olea europaea* L.) تحت تنش خشکی. مجله فناوری تولیدات گیاهی، ۱۵(۲): ۱۲۱-۱۳۵.
- امام، ی. و نیک‌نژاد، م. ۱۳۸۳. مقدمه‌ای بر فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات دانشگاه شیراز، ۵۷۱ ص.
- بشارت، ن.، تاج‌آبادی‌پور، ا. و مظفری، و. ۱۳۹۳. تأثیر فسفر و تنش آبی بر رشد، برخی روابط آبی و غلظت عناصر نهال‌های پسته در شرایط گلخانه. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. علوم آب و خاک، ۱۸(۶۷): ۳۳۹-۳۵۴.
- جلیلی‌مردی، ر.، حسنی، ع.، دولتی‌بانه، ح.، عزیزی، ح. و حاجی‌تقی‌لو، ر. ۱۳۹۰. تأثیر سطوح مختلف رطوبت خاک بر خصوصیات مورفولوژی و فیزیولوژیکی سه رقم انگور (*Vitis vinifera* L.). مجله علوم باغبانی ایران، ۴۲(۱): ۳۱-۴۰.
- حسینی‌گرده‌کوهی، م. ر. ۱۳۹۱. بررسی اثرات تلفیقی قارچ میکوریز آربوسکولار (*Glomus mosseae*) و اسید سالیسیلیک بر مقاومت به خشکی دانه‌های پسته رقم ابارقی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان.
- حیدری، م. ۱۳۹۵. ارزیابی رشد رویشی و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی در تلاقی‌های کنترل شده پسته *P. integerrima* × *P. vera* رشد یافته در غلظت‌های مختلف شوری NaCl. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شاهد، تهران.
- سلاح‌ورزی، ی.، تهرانی‌فر، ع. و گزانه‌چیان، ع. ۱۳۸۷. بررسی تغییرات فیزیومورفولوژیکی سبز فرش‌های بومی و خارجی، در تنش خشکی و آبیاری دوباره. مجله علوم و فنون باغبانی ایران، ۹(۴): ۱۹۳-۲۰۰.
- ضابط، م. و حسین‌زاده، ع. ا. ح. ۱۳۹۰. تعیین مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد ماش (*Vigna radiata*) با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره در شرایط تنش خشکی و بدون تنش. مجله پژوهش‌های حیوانات ایران، ۲(۱): ۸۷-۹۸.
- قاسمی، م.، ارزانی، ک.، یداله‌ی، ع. و حکم‌آبادی، ح. ۱۳۹۲. اثر تنش خشکی بر فلورسانس، مقدار و شاخص کلروفیل چهار پایه دانه‌های پسته. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۲۷(۴): ۴۷۶-۴۸۵.
- مالکی کوهبنانی، ا. ۱۳۹۰. ارزیابی هیبرید بین‌گونه‌ای پسته (*P. vera* × *P. atlantica*) به تنش شوری و خشکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان.
- مالکی کوهبنانی، ا. و کریمی، ح. ۱۳۹۲. ارزیابی پایه‌های پسته و هیبرید بین‌گونه‌ای آتلانتیکا × ورا (*Pistacia vera* × *Pistacia atlantica*) به تنش خشکی. مجله علوم باغبانی ایران، ۴۴(۱): ۸۱-۹۳.
- محمدنیا، ر.، رضایی‌نژاد، ع. ح. و بهرامی‌نژاد، ص. ۱۳۹۷. تأثیر دور آبیاری و کاربرد سیلیسیم بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ریحان (*Ocimum basilicum* L.). مجله علوم باغبانی ایران، ۴۹(۱): ۳۷-۴۵.
- محمدی‌یگانه، ب.، رضایی، ح. و چراغی، م. ۱۳۹۱. واکاوی تأثیرات خشکسالی بر اقتصاد نواحی روستایی شهرستان ابرکوه (طی دوره زمانی ۸۵-۱۳۷۵). فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۲(۶): ۵۷-۶۷.
- میرزایی، ج.، اکبری‌نیا، م.، محمدی‌گل‌تپه، ا.، شریفی، م. و رضایی‌دانش، ی. ۱۳۹۰. تأثیر قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نهال‌های خنجوک (*Pistacia Khinjuk*) تحت تنش خشکی. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۹(۲): ۲۹۱-۳۰۰.

- وفابخش، ج.، نصیری‌محلّاتی، م.، کوچکی، ع. و عزیزی، م. ۱۳۸۷. اثر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب و عملکرد کلزا. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، ۷(۱): ۲۸۵-۲۹۱.
- Abbasi, A., Sarvestani, R., Mohammadi, B. and Bagheri, A. 2014. Drought stress-induced changes at physiological and biochemical levels in some common vetch (*Vicia sativa* L.) genotypes. Journal of Agricultural Science and Technology, 16:(3): 505-516.
- Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. 2009. Drought stress in plants: A Review on Morphological Characteristics and Pigments Composition. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 11: 100-105.
- Aliakbarkhani, S.T., Farajpour, M., Asadian, A.H., Aalifar, M., Ahmadi, S. and Akbari, M. 2017. Variation of nutrients and antioxidant activity in seed and exocarp layer of some Persian pistachio genotypes. Annals of Agricultural Sciences, 62: 39-44.
- Anjum, S.A., Xie, X.Y., Wang, L., Saleem, M.F., Man, C. and Lei, W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research, 6: 2026-2032.
- Aranjuelo, I., Molero, G., Erice, G., Christophe Avice, J. and Nogues, S. 2011. Plant physiology and proteomics reveals the leaf response to drought in alfalfa (*Medicago sativa* L.). Journal of Experimental Botany, 62(1): 111-123.
- Barkla Bronwyn, J., Vera-Estrella, R. and Pantoja, O. 2013. Progress and challenges for abiotic stress proteomics of crop plants. Journal of Proteomics, 13: 1801-1815.
- Ben Hamed, S., Lefi, E. and Chaieb, M. 2016. Physiological responses of *Pistacia vera* L. versus *Pistacia atlantica* Desf. to water stress conditions under arid bioclimate in Tunisia. Journal of Scientia Horticulturae, 203: 224- 230.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 72(1-2): 248-254.
- Capriotti, A.L., Borrelli, G.M., Colapicchioni, V., Papa, R., Piovesana, S., Samperi, R., Stampachiachiere, S. and Lagana, A. 2014. Proteomic study of a tolerant genotype of durum wheat under salt-stress conditions. Journal of Analytical and Bioanalytical Chemistry, 406: 1423-1435.
- Chartzoulakis, K., Noitsakis, B. and Therios, L. 1993. Photosynthesis, plant growth and dry matter distribution in kiwifruit as influenced by water deficits. Journal of Irrigation Science, 14: 1-5.
- Close, D.C., Beadle, C.L. and Brown, P.H. 2005. The physiological basis of containerised tree seedling 'transplant shock': a review. Journal of Australian Forestry, 68(2): 112-120.
- Dhanda, S., Sethi, G. and Behl, R. 2004. Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. Journal of Agronomy and Crop Science, 190: 6-12.
- 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.
- Gijon, M.C., Gimenez, C., Perez-Lopez, D., Guerrero, J., Couceiro, J.F. and Moriana, A. 2010. Rootstock influences the response of pistachio (*Pistacia vera* cv. Kerman) to water stress and rehydrations. Journal of Scientia Horticulturae, 125(4): 666-671.
- Hajheidari, M., Abdollahian, N., Heidari, M., Sadeghian, S.Y., Ober, E.S. and Hosseini Salekdeh, G.h. 2005. Proteome analysis of sugar beet leaves under drought stress. Journal of Proteomics, 5: 950-960.
- Jabasingh, C. and Babu, S.S. 2014. Impact of water stress on protein content of *Zea mays* L. Journal of Academia and Industrial Research, 2: 679.
- Jnandabhiram, C. and Borah, S. 2012. Water stress effects on leaf growth and chlorophyll content but not the grain yield in traditional rice (*Oryza sativa*) genotypes of Assam, India ii. protein and proline status in seedlings under peg induced water stress. American Journal of Plant Sciences, 3: 971- 980.
- Karimi, H.R., Zamani, Z., Ebadi, A. and Fatahi, R. 2011. Effect of water salinity on growth indices and physiological parameters in some pistachio rootstocks. Journal of Plant Nutrition, 34: 935-944.
- 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.

- 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.
- Moriana, A., Memmib, H., Centeno, A., Martin-Palomo, M.J., Corell, M., Torrecillas, A. and Perez-Lopez, D. 2018. Influence of root stock on pistachio (*Pistachio vera* L cv Kerman) water relations. *Journal of Agricultural Water Management*, 202: 263-270.
- 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.
- Parfitt, D., Kallsen, C. and Maranto, J. 2005. The orchard pistachio cultivars. in: UC Fruit and Nut Reserch Publication, California. USA.
- Passarkli, M. 1999. Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker Inc. 697 pp.
- Qiangsheng, W.U., Ying-Ning, Z., Ren, X. and Ming-Yang, W. 2007. Five glomus species affect water relation of citrus tangerine during drought stress. *Journal of Botanical Studies*, 48: 147-154.
- Seyed, Y.S., Lisar, M. and Ismail, M. 2012. Effects and responses water stress in plants. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13: 929-942.
- 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.
- Torrecillas, A., Alarcon, J.J., Domingo, R., Planes, J. and Sanches, M.J. 1996. Strategies for drought resistance in leaves of two almond cultivars. *Journal of Plant Science*, 118: 135-143.
- Uddin, G., Rauf, A., Rehman, T. and Qaisar, M. 2011. "Phytochemical Screening of *Pistacia chinensis* var. *integerrima*", *Middle-East Journal of Scientific Research*, 5: 707-711.
- Wu, Y., Thorne, E.T., Sharp, R.E. and Cosgrove, D.J. 2001. Modification of expansion transcript levels in the maize primary root at low water potentials. *Journal of Plant Physiology*, 126: 1471-1479.
- Xing, H.L., Tan, L., An, L., Zhao, Z., Wang, S. and Zhang, C. 2004. Evidence for the involvement of nitric oxide and reactive oxygen species in osmotic stress tolerance of wheat seedlings: inverse correlation between leaf abscisic acid accumulation and leaf water loss. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42: 61-68.
- Zhang, L., Hu, W., Wang, Y., Feng, R., Zhang, Y., Liu, J., Jia, C., Miao, H., Zhang, J., Xu, B. and Jin, Z. 2015. The MaASR gene as a crucial component in multiple drought stress response pathways in Arabidopsis. *Functional and Integrative Genomics*, 15: 247-260.