مطالعه جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه ژنوتیپ‌های یونجه (*Medicago sativa* L.) تحت اثر تنش خشکی

علی اکبر رحیمی [۱]، عادل مدحج [۲*] و مانی مجدم [۳]

۱) گروه زراعت، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۲) دانشیار گروه زراعت، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.
۳) استادیار گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

* نویسنده مسئول: **adelmodhej2006@yahoo.com**

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۴ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۶**

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ۱۰ ژنوتیپ یونجه، دو آزمایش مجزا در محیط کشت پتری‌دیش (آزمایش بذری) و گلدانی (مرحله رشد رویشی) به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار در آزمایشگاه تخصصی دانشگاه علوم و تحقیقات خوزستان در سال ۱۳۹۳ اجرا شد. فاکتورها در هر دو آزمایش شامل پنج سطح تنش خشکی صفر، ۰/۴، ۰/۶-، ۰/۹- و ۱/۱- مگاپاسکال و ۱۰ ژنوتیپ یونجه شامل: KFA1، KFA3، KFA12، KFA15 (با منشأ قره یونجه)، KFA4، KFA5، KFA16 (با منشأ همدانی)، KFA9 (با منشأ چالشتر شهرکرد)، KFA7 (با منشأ رهنانی) و یزدی گرمسیری بودند. نتایج آزمایش بذری نشان داد که تنش خشکی، مولفه‌های جوانه‌زنی شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، متوسط جوانه زنی روزانه، طول و وزن خشک ریشه‌چه را به طور معنی‌داری کاهش داد. در مرحله رشد رویشی صفات طول ریشه‌چه و گیاهچه، وزن خشک گیاهچه با افزایش تنش خشکی کاهش یافتند. بیش‌ترین مقدار شاخص حساسیت SSI به ژنوتیپ‌های KFA3 وKFA7 به ترتیب با میانگین‌های ۱/۱۱ و ۱/۱ اختصاص داشت. بالاترین شاخص تحمل به تنش خشکی با میانگین ۰/۹۱ به ژنوتیپ KFA16 مربوط بود.

واژه‌های کلیدی: تنش، ژنوتیپ، جوانه‌زنی، شاخص حساسیت و وزن خشک گیاهچه.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.8.4]

مقدمه

یونجه زراعی (*Medicago sativa* L.) به عنوان مهم‌ترین گیاه علوفه ای دنیا، از منطقه کائوکا سوس (Caucasus) یعنی شمال شرقی ترکیه، ارتفاعات ترکمنستان و شمال غربی ایران منشأ یافته است (Tuck *et al.*, 2008). تاکنون گونه های مختلفی از جنس *Medicago* در ایران شناسایی شده اند که به طور عمده مورد کشت و کار قرار می‌گیرند که خود بیانگر سازگاری وسیع این گیاه به شرایط مختلف اقلیمی می‌باشد. سطح زیر کشت این گیاه با ارزش در کشور حدود ۶۱۶۱۰۶/۲ هکتار، میزان تولید سالیانه آن ۴۷۶۲۳۹۱/۳ تن (علوفه خشک) و متوسط عملکرد علوفه خشک آن نیز ۸۲۸۷ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (سادات اسیلان، ۱۳۸۹). تنش‌های غیر زنده یکی از عوامل کاهش عملکرد در گیاهان زراعی می‌باشند و به طور متوسط علت کاهش ۵۰ درصد محصولات عمده کشاورزی می‌باشند (Valliy and Nguyen, 2006). تنش خشکی به عنوان یک محدودیت فیزیکی برای تولید علوفه به شمار می‌آید و بر جوانه زنی، رشد رویشی، کمیت و کیفیت علوفه اثر می‌گذارد. تنش خشکی به دلیل کاهش ۴۹ درصدی علوفه و رشد رویشی به عنوان یک محدودیت فیزیکی به شمار می‌رود (Buxton, 2004). خشکسالی مهم‌ترین عامل محدود کننده برای تولید محصول است و بسیاری از مناطق جهان به طور فزاینده ای دچار این مشکل می شوند (passioura, 2007; sadak ,2016). به طور کلی تنش خشکسالی هنگامی رخ می دهد که آب موجود در خاک کاهش می یابد و شرایط اتمسفر از طریق انتقال و یا تبخیر باعث از دست دادن مداوم آب می شود (khajeh *et al.*,2003 ; sadak , 2016). بحران آب باعث کاهش عملکرد محصول در هر مرحله از رشد می شود (Jensen *et al.*,1984; sadak ,2016). خشکی باعث تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی متعدد در گیاه مانند کاهش اندازه برگ، گسترش ساقه، افزایش ریشه، کاهش مصرف آب، تغییر در فعالیت های متابولیک، عدم تعادل یونی و اختلالات در انباشت محلول و یا ترکیب این عوامل می شود (farooq *et al.*, 2009 ; lawlor *et al* ,2002 ; khan *et al.*, 1999; sadak, 2016). علاوه بر این، قرار گرفتن گیاهان در معرض تنش خشکی منجر به تولید گونه‌های اکسیژن واکنشی (ROS) می شود که می تواند با پراکسیداسیون لیپید، تخریب پروتئین، تکه تکه کردن DNA و در نهایت مرگ سلول به گیاه آسیب برساند (zhang *et al.*, 2015). در حال حاضر استفاده از گیاهان و اکوتیپ‌های مقاوم به کم‌آبی یکی از مهم‌ترین روش‌های مؤثر در بهره‌برداری و افزایش عملکرد در هکتار در مناطق خشک و نیمه خشک جهان می‌باشد. به‌طور کلی تحمل به تنش در تمام مراحل زندگی گیاه اهمیت دارد و بدیهی است که اولین مرحله، جوانه‌زنی بذر است. از آن‌جا که عملکرد از نظر کمی و کیفی به میزان و درصد سبز شدن و همچنین یکنواختی آن وابسته می‌باشد، بنابراین مرحله جوانه‌زنی گیاه، مرحله‌ی حساس و مهمی است که می‌تواند با استقرار مطلوب گیاهچه‌ها، در فرآیند تولید نقش مهمی ایفا نماید. استقرار گیاهان زراعی به برهم‌کنش بین عوامل محیطی بستر و کیفیت بذر بستگی دارد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.8.4]

حساسیت به تنش خشکی عاملی است که بر جوانه‌زنی بذر اثر معکوس دارد، به‌طوری‌که مراحل اولیه رشد گیاهچه نسبت به تنش خشکی حساسیت بیش‌تری دارد. چنانچه بذر در بستری با آب ناکافی کشت شود، سبز کردن گیاهچه‌ها غیر یکنواخت و ضعیف خواهد شد و در نتیجه بر عملکرد نهایی گیاه اثر منفی خواهد گذاشت (سادات اسیلان و همکاران، ۱۳۸۸). در آزمایشی سادات اسیلان و همکاران (۱۳۸۸) اظهار داشتند تنش کم آبی کلیه صفات جوانه‌زنی و رشد اولیه را در اکوتیپ‌های مختلف یونجه تحت تاثیر قرار داد، به‌طوری‌که در تنش‌های ۶- و ۸۰ بار بیش‌ترین کاهش در ویژگی‌های رشدی در یونجه مشاهده شد. صادقی و خانی (۱۳۹۱) نشان دادند با افزایش سطوح تنش خشکی کاهش چشم‌گیری در صفات طول گیاه، قدرت رویشی و درصد جوانه زنی مشاهده شد. با توجه به اهمیت گیاه یونجه به عنوان علوفه، و افزایش روز به روز بحران کمبود آب در این آزمایش سعی می‌شود ضمن بررسی عکس العمل جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه‌های ژنوتیپ‌های مختلف یونجه به تنش خشکی، دامنه تحمل آن‌ها نسبت به این عامل محدود کننده شناخته شود تا بتوان ارقام مناسب را با اطمینان بیش‌تری در مناطقی که احتمال بروز خشکی وجود دارد، توصیه نمود. تحقیقات که بر جوانه زنی گیاهان زراعی مختلف (از جمله یونجه) انجام شده اند بیانگر این است که با افزایش خشکی رشد ریشه چه، ساقه چه و در نهایت وزن خشک گیاهچه به طور معنی داری در مقایسه با شاهد کاهش می یابد (Alebrahim ,2004 . 2006, Kaya). پژوهش های متعدد نشان داده اند که در اغلب گیاهان افزایش میزان خشکی خاک در مرحله جوانه‌زنی مانع جوانه زنی می شود و درجه تحمل به خشکی برای گیاهان و ژنوتیپ‌های مختلف در هر مرحله از جوانه‌زنی متفاوت است. با افزایش خشکی، درصد و سرعت جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و بیوماس کل کاهش می یابد. این مساله توسط محققان زیادی گزارش شده است (Macfarlen and Greenwood, 2009). از آن جا که ارزیابی‌های معمول در شرایط مزرعه‌ای از یک سو زمان‌بر و از سوی دیگر تحت تأثیر عوامل غیر قابل کنترل متعددی از جمله عوامل خاکی، اقلیم و عملیات زراعی می‌باشند، بنابراین ضرورت دارد با استفاده از یک روش آزمایشگاهی تحت شرایط کنترل شده، امکان ارزیابی سریع و نسبتا دقیق واکنش گیاهان به تنش خشکی فراهم گردد (Black *et al.*, 2006). بنابراین، این مطالعه به منظور بررسی مولفه-های جوانه‌زنی و پارامترهای رشد (طول ریشه چه و گیاهچه) و وزن خشک گیاهچه در مرحله رشد رویشی و همچنین شاخص حساسیت و تحمل که تحت تنش خشکی بودند، قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مرداد ماه ۱۳۹۳ به صورت دو آزمایش مجزا در محیط کشت پتری‌دیش (بذری) و گلدانی (گیاهچه‌ای) در آزمایشگاه تخصصی واحد علوم و تحقیقات خوزستان دانشگاه آزاد اسلامی انجام شد. آزمایش به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های جوانه‌زنی ۱۰ ژنوتیپ یونجه به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.8.4]

اجرا شد. فاکتورها شامل: سطوح تنش خشکی شامل: پنج سطح عدم تنش یا شاهد (آب مقطر)، ۰/۴- ، ۰/۶- ، ۰/۹- و ۱/۱- مگاپاسکال و ژنوتیپ‌های یونجه: شامل KFA1، KFA3، KFA12، KFA15 (با منشأ قره یونجه)، KFA4، KFA5، KFA16 (با منشأ همدانی)، KFA9 (با منشأ چالشتر شهرکرد)، KFA7 (با منشأ رهنانی) و یزدی گرمسیری بودند.

آزمایش اول : محیط کشت پتری‌دیش (آزمایش بذری)

در ابتدا برای هر پتری دیش ۲۵ عدد بذر با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم پنج درصد به مدت سه دقیقه ضدعفونی و سه بار با آب مقطر شستشو شدند. سپس به منظور اعمال تنش خشکی از غلظت‌های مختلف پلی‌اتیلن گلایکول (۶۰۰۰) استفاده شد، که شامل پنج سطح شاهد (آب مقطر)، ۰/۴-، ۰/۶- و ۰/۹- و ۱/۱- مگاپاسکال بود. سپس بذور روی کاغذ واتمن شماره یک در پتری‌دیش‌ها قرار داده شد و به هر پتری‌دیش مقدار ۱۰ میلی‌لیتر از محلول های پلی اتیلن گلایکول با پتانسیل مورد نظر اضافه گردید. درب پتری دیش‌ها کاملا بسته شده و برای جوانه‌زنی به دستگاه ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد (۸ ساعت روشنایی و ۱۶ ساعت تاریکی) و رطوبت نسبی ۶۰ درصد منتقل شد. شمارش بذرها هر ۲۴ ساعت و به مدت هفت روز انجام گرفت. در طول آزمایش هر روز بذور از نظر جوانه‌زنی مورد بررسی قرار گرفتند. معیار بذور جوانه زده خروج ریشه‌چه بیش از دو میلی‌متر بود. در روز آخر آزمایش جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، متوسط جوانه‌زنی روزانه، طول و وزن خشک ریشه‌چه اندازه‌گیری شد. درصد جوانه‌زنی از طریق فرمول زیر اندازه‌گیری شد (Camberato and Mccarty, 1999).

رابطه ۱: $GP= (\sum G/N) \times 100$

GP: درصد جوانه‌زنی، G: تعداد بذور جوانه زده، N: تعداد کل بذور

سرعت جوانه زنی بذر از طریق فرمول زیر محاسبه گردید:

رابطه ۲: $Rs= \sum^{n}=0 (si/Di)$

Rs= سرعت جوانه‌زنی، S_i= تعداد بذر جوانه زده در هر روز، D_i= تعداد روز تا شمارش n ام و n= تعداد روزهای شمارش است (Maguirw, 1962).

متوسط جوانه زنی روزانه که شاخصی از سرعت جوانه‌زنی روزانه می‌باشد از رابطه زیر تعیین گردید (scott, 1984):

رابطه ۳: $$MDG = \frac{FGP}{d}$$

در این رابطه FGP درصد جوانه‌زنی نهایی (قوه نامیه) و d تعداد روز تا رسیدن به حداکثر جوانه زنی نهایی (طول دوره آزمایش) می باشد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.8.4]

آزمایش دوم: محیط کشت گلدانی (گیاهچه‌ای)

آزمایش دوم با هدف بررسی اثر تنش خشکی بر صفات مربوط به سبز شدن و ویژگی های مورفولوژیکی گیاهچه‌های ژنوتیپ‌های یونجه انجام شد. هر واحد آزمایش در این آزمایش از یک گلدان به حجم ۱/۱۵ سانتی‌متر مکعب تشکیل شد که از ماسه و خاک مزرعه به نسبت یک به دو پر شده بود. بذرها در عمق یک سانتی‌متری در نیمه اول مهر ماه کاشته شدند. تا مرحله ۴ تا ۶ برگی و مدت زمان ۴۵ روز پس از کاشت آبیاری با آب مقطر صورت گرفت تا گیاهان به اندازه کافی در فضای آزاد رشد کنند و پس از آن سطوح مختلف تیمارهای صفر ،۰/۴-،۰/۶-،۰/۹-،۱/۱- مگاپاسکال پلی‌اتیلن گلایکول اعمال شد. اعمال تیمارها در دو نوبت با مقدار ۲۰۰ سی سی در هر گلدان در هر نوبت صورت پذیرفت و پس از اعمال تیمار خشکی، گلدان‌ها به مدت دو هفته نگهداری شدند پس از آن به صورت تصادفی سه بوته انتخاب و ویژگی‌های مورفولوژیکی شامل طول ریشه، طول گیاه، وزن خشک گیاه و همچنین شاخص حساسیت و تحمل به تنش مورد ارزیابی قرار گرفتند. مقدار SSI از رابطه پیشنهادی Fischer and Maurer (۱۹۸۱) محاسبه شد.

رابطه ۴:

$$SSI = \frac{1 - \frac{Y_{Si}}{Y_{Pi}}}{1 - \frac{Y_S}{Y_P}}$$

در این رابطه Y_{pi}، Y_{Di}، Y_P و Y_D به‌ترتیب عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط مطلوب، عملکرد همان ژنوتیپ در شرایط تنش، میانگین عملکرد تمامی ژنوتیپ‌های در شرایط مطلوب و تنش بودند. مقدار STI از رابطه پیشنهادی Fernandez (۱۹۹۲) محاسبه گردید:

رابطه ۵:

$$STI = \frac{Y_{Si}.Y_{Pi}}{\overline{Y}^{2}{}_{P}}$$

در این معادله Y_{pi}، Y_{Di} و $\overline{Y}^{2}{}_{P}$ به‌ترتیب عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط مطلوب، تنش و مربع میانگین همه ژنوتیپ‌های در شرایط مطلوب بودند. مقادیر بیش‌تر STI نشان دهنده تحمل بیش‌تر گیاهان زراعی به شرایط تنش می‌باشد. آنالیز آماری داده‌ها با نرم افزار SAS، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودار با نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که اثر تنش خشکی، ژنوتیپ و برهم‌کنش آن‌ها بر صفات مورد مطالعه معنی دار بود (جدول ۱). سطوح مختلف تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلایکول باعث کاهش درصد جوانه‌زنی بذر شد (جدول ۲). کم‌ترین درصد جوانه‌زنی

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.8.4]

از تیمار ۱/۱- مگاپاسکال (با میانگین ۶۱ درصد) حاصل شد که با تیمار ۰/۹- مگاپاسکال تفاوت معنی‌دار نداشت. تفاوت بین تیمارهای ۰/۴- و ۰/۶- از نظر درصد جوانه‌زنی معنی دار نبود. بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی ناشی از برهم‌کنش تیمار بدون خشکی و ژنوتیپ‌های یزدی گرمسیری و KFA15 و همچنین KFA16 (به‌ترتیب با میانگین ۱۰۰، ۱۰۰ و ۹۲/۵ درصد) و کم‌ترین درصد جوانه‌زنی از برهم‌کنش سطوح ۰/۶-، ۰/۹- و ۱/۱- مگاپاسکال و ژنوتیپ KFA3 به‌دست آمد. نتایج مطالعه بذور یونجه تحت تنش خشکی، کاهش درصد جوانه‌زنی و کاهش قابل توجه در فعالیت آلفا و بتا آمیلاز را با کاهش پتانسیل آب نشان دادند (Zeid and Shedeed, 2006). سادات اسیلان و همکاران (۱۳۸۸) اثر تنش خشکی با استفاده از پلی اتلین گلایکول را بر ۱۰ اکوتیپ یونجه مطالعه نموده و نتیجه گرفتند که تنش خشکی با پتانسیل‌های اسمزی ۱- و ۸- بار، درصد جوانه زنی را به طور معنی‌داری کاهش داد. در این پژوهش، یونجه رقم همدانی از درصد جوانه زنی بیش‌تری نسبت به سایر اکوتیپ‌ها در شرایط تنش و نرمال برخوردار بود.

جدول ۱: نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های یونجه تحت تاثیر تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	متوسط جوانه‌زنی	طول ریشه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه
تنش	۴	۱۴۶۷/۵**	۱۳۵/۵**	۲۲/۹**	۷۷/۲**	۱۰/۵**
ژنوتیپ	۹	۲۲۴۵/۲**	۱۴/۷**	۳۵/۱**	۷/۵**	۳/۶۸*
تنش*ژنوتیپ	۳۶	۴۸۹/۸**	۵/۶**	۷/۷**	۶/۴**	۳/۳*
خطا	۱۰۰	۱۸۶	۱/۸	۲/۹	۱/۲	۱/۹
Cv		۱۹	۲۸	۱۹	۲۷	۲۱

** , *: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

جدول ۲: اثر برهم‌کنش تنش خشکی و ژنوتیپ بر درصد جوانه‌زنی

خشکی (مگاپاسکال) / ژنوتیپ	صفر	-۰/۴	-۰/۶	-۰/۹	-۱/۱	میانگین
	مگاپاسکال					
KFA1	۷۵ a-h *	۶۷/۵ b-i	۶۷/۵ b-i	۶۵ b-i	۶۷/۵ b-i	۶۸/۵ cd
KFA3	۶۵ b-i	۷۰ b-i	۴۵ i-j	۳۰ jk	۱۵ k	۴۵ e
KFA4	۷۷/۵ a-g	۸۰ a-f	۴۷/۵ h-j	۸۰ a-f	۵۲/۵ f-j	۶۷/۵ cd
KFA5	۹۰ a-c	۷۷/۵ a-g	۸۰ a-f	۸۲/۵ a-e	۵۷/۵ d-i	۷۷/۵ c
KFA7	۷۰ b-i	۶۷/۵ b-i	۷۷/۵ a-g	۶۲/۵ c-i	۵۲ f-j	۶۶ d
KFA9	۸۵/۵ a-d	۸۰ a-f	۵۵ e-j	۵۰ g-j	۴۵ i-j	۶۳ d
KFA12	۷۵ a-h	۶۷/۵ b-i	۶۷/۵ b-i	۷۰ b-i	۵۲ f-j	۶۶/۵ cd
KFA15	۱۰۰ a	۷۲/۵ a-i	۶۲/۵ c-i	۶۰d-i	۵۰ g-j	۶۹ cd
KFA16	۹۲/۵ ab	۸۰ a-f	۹۲/۵ a-b	۹۰ a-c	۷۵ a-h	۸۶ b
یزدی گرمسیری	۱۰۰ a	۹۰ a-c	۹۰ a-c	۸۵/۵ a-d	۷۵ a-h	۸۸ a
میانگین	۷۹ a **	۷۲ b	۷۲ b	۶۳ c	۶۱/۵ c	

در هر ستون و ردیف میانگین‌هایی که فاقد حروف مشترک هستند، دارای اختلاف معنی‌دار به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.8.4]

سرعت جوانه‌زنی

اثر تنش خشکی، ژنوتیپ و برهم‌کنش تیمارها بر سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی به ژنوتیپ‌های KFA16 و KFA4 در تیمار شاهد آب مقطر (و کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی از برهم‌کنش تیمارهای ۰/۶-، ۰/۹- و ۱/۱- مگاپاسکال و ژنوتیپ KFA3 به‌دست آمد. به‌طور کلی می‌توان اظهار داشت که تنش خشکی متوسط و شدید سرعت و درصد جوانه‌زنی بذور ژنوتیپ‌های یونجه را کاهش داد، به‌طوری‌که در تنش ۰/۶- مگاپاسکال سرعت و درصد جوانه‌زنی در مقایسه با عدم تنش خشکی کاهش قابل توجهی را نشان داد. روند کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی به موازات تنش خشکی تا ۱/۱- مگاپاسکال ادامه داشت. در مجموع ژنوتیپ KFA16 در شرایط تنش خشکی بالاترین درصد و سرعت جوانه‌زنی را نشان داد. حساس‌ترین مرحله زندگی گیاه مرحله جوانه‌زنی و هنگامی است که گیاه هنوز به صورت گیاهچه است که اگر گیاه بتواند این مراحل را با موفقیت سپری کند، شانس زنده ماندن و استقرار آن زیاد است. سرعت جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه در شرایط تنش، نقش مهمی را در رشد گیاه ایفا می‌کنند. سرعت جوانه‌زنی یکی از شاخص‌های ارزیابی تحمل به تنش است، به‌طوری که ارقام دارای سرعت جوانه‌زنی بیش‌تر در شرایط تنش، از شانس بیش‌تری برای سبز شدن برخوردارند (Ajmelkhan *et al.*, 2006). پلی اتیلن گلایکول با ایجاد تنش خشکی باعث کاهش هیدرولیز مواد اندوخته دانه و درنتیجه کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌شود (آخوندی و صفرنژاد، ۱۳۸۴).

جدول ۳: اثر برهم‌کنش تنش خشکی و ژنوتیپ بر سرعت جوانه زنی (بذر در روز)

ژنوتیپ / خشکی (مگاپاسکال)	صفر	-۰/۴	-۰/۶	-۰/۹	-۱/۱	میانگین
			مگاپاسکال			
KFA1	۷/۹۳ bc	۶/۳ b-h	۳/۶۴ h	۲/۷۳ k-o	۲/۸۳ k-o	۴/۶۹ cd
KFA3	۷/۲۵ b-e	۶/۴ b-g	۱/۷ m-o	۱/۱۵ n-o	۰/۷ o	۳/۴۴ e
KFA4	۸/۸۷ ab	۶/۹ b-g	۲/۶ k-o	۳/۶۸ h-n	۲/۳۳ k-o	۴/۸۷ cd
KFA5	۸/۴۷ a-c	۷/۴۴ b-d	۴/۳ g-m	۳/۲ j-o	۲/۵۷ k-o	۵/۲ bc
KFA7	۷/۱۴ b-f	۴/۷۵ e-l	۳/۴۵ i-n	۳/۶ h-n	۲/۴۵ k-o	۴/۲۷ cde
KFA9	۷/۹۷ bc	۵/۱۱ d-k	۳/۴ h-n	۲/۶۴ k-o	۲/۱۱ l-o	۴/۳ cde
KFA12	۵/۹ c-j	۵/۹۸ c-i	۲/۷۸ k-o	۲/۸۳ k-o	۲/۹۸ k-o	۴/۰۹ cde
KFA15	۶/۳ b-h	۴/۳ g-m	۳/۲ j-o	۳/۴۳ i-o	۲/۶ k-o	۳/۹۷ de
KFA16	۱۰/۷۷ a	۸/۲۲ a-c	۶/۳ b-h	۴/۴۹ f-l	۳/۶ h-n	۶/۶۸ a
یزدی گرمسیری	۸/۱۶ bc	۸ bc	۴/۲۵ g-m	۴/۷۵ e-l	۵/۰۳ d-k	۶/۰۴ ab
میانگین	۷/۴ a	۶/۶ b	۴c	۳/۳ cd	۲/۷ d	

در هر ستون و ردیف میانگین هایی که فاقد حروف مشترک هستند، دارای اختلاف معنی دار به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد می باشند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.20084403.1397.10.40.8.4]

متوسط جوانه‌زنی روزانه (MDG)

با افزایش سطح تنش خشکی از صفر به ۱/۱- مگاپاسکال متوسط جوانه‌زنی روزانه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴). حداکثر متوسط جوانه‌زنی روزانه تحت تاثیر تنش خشکی و ژنوتیپ از تیمار عدم تنش خشکی و ژنوتیپ‌های یزدی گرمسیری، KFA16 و KFA15 و برهم‌کنش خشکی ۰/۶- مگاپاسکال و ژنوتیپ KFA16 و کم‌ترین متوسط جوانه‌زنی روزانه از برهم‌کنش سطوح ۰/۶-، ۰/۹- و ۱/۱- و ژنوتیپ KFA3 به‌دست آمد. کاهش متوسط جوانه‌زنی روزانه در اثر کاهش پتانسیل آب ناشی از کاهش یا عدم جوانه زنی در پتانسیل خشکی و همچنین افزایش زمان رسیدن به حداقل سطح آبگیری است.

جدول ۴: اثر برهم‌کنش تنش خشکی و ژنوتیپ بر متوسط جوانه‌زنی روزانه

خشکی (مگاپاسکال) × ژنوتیپ	صفر	۰/۴-	۰/۶-	۰/۹-	۱/۱-	میانگین
	مگاپاسکال					
KFA1	۹/۳۷ a-h	۸/۴۳ b-i	۸/۴۳ b-i	۸/۱۲ b-i	۸/۴۳ b-i	۸/۵۶ cd
KFA3	۸/۱۲ b-i	۸/۷۵ b-i	۵/۶۲ ij	۳/۷۵ jk	۱/۸۷ k	۵/۶۲ e
KFA4	۹/۶۸ a-g	۱۰ a-f	۵/۹۳ hi-j	۱۰ a-f	۶/۵۶ f-j	۸/۴۳ cd
KFA5	۱۱/۲۵ a-c	۹/۶۸ a-g	۱۰ a-f	۱۰/۳۳ a-e	۷/۲ d-i	۹/۶۸ bc
KFA7	۸/۷۵ b-i	۶/۵۶ f-j	۸/۴۳ b-i	۹/۶۸ a-g	۷/۸۱ c-i	۸/۲۵ d
KFA9	۱۰/۶۲ a-d	۱۰ a-f	۶/۸۷ e-j	۶/۲۵ g-j	۵/۶۲ ij	۷/۸۷ d
KFA12	۹/۳۷ a-h	۸/۴۳ b-i	۶/۵۶ f-j	۸/۴۳ b-i	۸/۷۵ b-i	۸/۳۱ cd
KFA15	۱۲/۵ a	۶/۲۵ g-j	۷/۵ d-i	۹/۰۶ a-i	۷/۸۱ c-i	۸/۶۲ cd
KFA16	۱۱/۵۶ ab	۱۰ a-f	۱۱/۵۶ ab	۱۱/۲۵ a-c	۹/۳۷ a-h	۱۰/۷۵ ab
یزدی گرمسیری	۱۲/۵ a	۱۱/۲۵ a-c	۹/۳۷ a-h	۱۰/۶۲ a-d	۱۱/۲۵ a-c	۱۱ a
میانگین	۹/۸۷ a	۹ b	۹ b	۸ c	۷/۷ c	

در هر ستون و ردیف میانگین‌هایی که فاقد حروف مشترک هستند، دارای اختلاف معنی دار به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد می باشند.

طول ریشه‌چه

تنش خشکی باعث افزایش و سپس کاهش شدیدی در طول ریشه‌چه و ساقه چه شد (جدول ۵). بیش‌ترین طول ریشه‌چه از تیمارهای ۰/۴- و ژنوتیپ‌های KFA5، KFA12 و KFA16 (با میانگین ۶۵ میلی‌متر) و کم‌ترین طول ریشه‌چه از تیمار ۱/۱- مگاپاسکال و ژنوتیپ‌های KFA3، KFA4 و KFA9 (به ترتیب با میانگین ۴/۶ و ۸ و ۱۰ میلی‌متر) به‌دست آمد. کاهش طول ریشه‌چه در تنش شدید می تواند به علت محدودیت فشار تورگر باشد. ایجاد استحکام و سخت شدن دیواره سلول در دوره تنش سبب ایجاد گیاهان کوچک‌تر و کاهش تنفس می گردد (آخوندی و همکاران، ۱۳۸۴). نتایج حاصل که بر ژنوتیپ‌های یونجه انجام شد نشان داد که با افزایش خشکی درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر و رشد ریشه‌چه به طور معنی‌داری در مقایسه با عدم تنش خشکی کاهش یافت. یافته‌های تحقیقاتی نیز حاکی از آن است که با تشدید تنش خشکی رشد طولی ریشه‌چه محدود می‌گردد (Chon *et al.*, 2004) در آزمایشی با هدف بررسی واکنش

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.8.4]

اکوتیپ‌های یونجه به تنش خشکی محققان اظهار داشتند در شرایط تنش شدید ۸-، ۱۰- و ۱۲- بار طول ریشه‌چه در اکوتیپ‌های مختلف کاهش یافت و در شرایط بدون تنش اکوتیپ مهاجران کرج بیش‌ترین و اکوتیپ سینتتیک کرج کم-ترین طول ریشه‌چه را دارا بود (سادات اسیلان و همکاران، ۱۳۸۸). اثر تنش خشکی بر سایر گونه‌های یونجه این نتایج را تایید می‌کند. سرعت طویل شدن ریشه‌چه برای استقرار گیاه بسیار مهم است. از این‌رو بذوری که در نواحی خشک از طول ریشه‌چه بیش‌تری برخوردار باشند، می‌توانند استقرار و عملکرد بهتر و بیش‌تری داشته باشند (محمودی و همکاران، ۱۳۸۷). نتایج این آزمایش با نتایج (سادات اسیلان و همکاران، ۱۳۸۸؛ محمودی و همکاران، ۱۳۸۷ و Chon *et al.*, 2004) مطابقت دارد.

جدول ۵: اثر برهم‌کنش تنش خشکی و ژنوتیپ بر طول ریشه‌چه (میلی متر)

خشکی (مگاپاسکال) / ژنوتیپ	صفر	-۰/۴	-۰/۶	-۰/۹	-۱/۱	میانگین
	مگاپاسکال					
KFA1	۴/۵۵ b-i	۵/۹۹ a-c	۴/۷۴ b-h	۲/۷۷ h-q	۱/۲۷ o-r	۳۸/۷ bc
KFA3	۴/۶ b-i	۶/۰۶ a-c	۲/۰۱ l-r	۰/۹۸ p-r	۰/۴۶ r	۲۸/۲ e
KFA4	۳/۵ e-n	۵/۵۶ a-e	۳/۲۳ g-o	۳/۸ d-m	۰/۷۸ qr	۳۳/۷ cde
KFA5	۴/۷۸ a-h	۶/۳۲ ab	۵/۴۳ a-f	۵/۱ a-g	۱/۵۵ n-r	۴۶/۴ ab
KFA7	۳/۹ d-l	۵/۷۷ a-d	۴/۳۱ b-j	۳/۶۶ e-m	۲/۳۶ j-r	۴۰abc
KFA9	۱/۸۵ m-r	۴/۵۴ b-i	۴/۱۶ c-k	۲/۲۹ j-r	۰/۹۶ p-r	۲۷/۶ e
KFA12	۳/۷۴ e-m	۶/۲۲ ab	۲/۹۷ h-p	۲/۳۱ j-r	۱/۳۶ o-r	۳۳/۲ cde
KFA15	۲/۱۶ k-r	۵/۰۳ a-g	۳/۷ e-m	۲/۸۵ h-p	۱/۳۷ o-r	۳۰/۲ de
KFA16	۵/۲۸ a-f	۶/۷۵ a	۶/۲۲ ab	۳/۱۳ g-o	۳/۴۲ j-r	۴۷/۶ a
یزدی گرمسیری	۲/۶۴ i-q	۵/۹۴ a-c	۴/۷۲ b-h	۴/۳ b-j	۱/۴۵ o-r	۳۸ cd
میانگین	۵۸ a	۴۸ b	۴۰b	۳۱ c	۱۴ d	

در هر ستون و ردیف میانگین هایی که فاقد حروف مشترک هستند، دارای اختلاف معنی دار به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد می باشند.

وزن خشک ریشه‌چه

وزن خشک ریشه‌چه در واکنش به تنش خشکی کاهش یافت (جدول ۶). بیش‌ترین وزن خشک ریشه‌چه از برهم‌کنش خشکی ۰/۶- مگاپاسکال و ژنوتیپ‌های یزدی گرمسیری و KFA16 (با میانگین ۵/۵ میلی‌گرم) و کم‌ترین وزن خشک ریشه‌چه از تنش ۱/۱- و ژنوتیپ‌های KFA3 و KFA9 (به‌ترتیب با میانگین ۱/۴ و ۱/۱ میلی‌گرم) به‌دست آمد. نتایج سایر تحقیقات نیز نشان داده است که با محدود شدن مقدار آب درون خاک، رشد ریشه و در نتیجهٔ آن، وزن ریشه کاهش می یابد. به دنبال کاهش رشد ریشه‌چه، وزن خشک آن‌ها نیز کاهش یافت. محققان دریافتند کاهش وزن خشک ریشه‌چه در سطوح بالای خشکی به علت کاهش انتقال مواد غذایی و انتقال آن‌ها از لپه‌ها به محور جنینی است و رابطه مستقیمی بین میزان تجمع ماده خشک و رشد در ژنوتیپ های متحمل وجود دارد. اثر منفی تنش خشکی بر کاهش وزن خشک ریشه در یونجه توسط آخوندی و همکاران (۱۳۸۵) و اسفندیاری و همکاران (۱۳۸۷) گزارش شده است.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.8.4]

جدول ۶: اثر برهم‌کنش تنش خشکی و ژنوتیپ بر وزن خشک ریشه‌چه (گرم)

خشکی (مگاپاسکال) × ژنوتیپ	صفر	-۰/۴	-۰/۶	-۰/۹	-۱/۱	میانگین
	مگاپاسکال					
KFA1	۳/۵۵ a-i	۴/۶۵ a-d	۴/۶۵ a-d	۳/۷ a-i	۲/۵ c-i	۳/۸ a
KFA3	۱/۲۵ hi	۲/۵۵ c-i	۱/۳۵ g-i	۱/۷ e-i	۱/۴ g-i	۱/۶۵ b
KFA4	۴/۱ a-h	۳/۶۵ a-i	۴/۱ a-h	۳/۲ a-i	۲/۴۵ c-i	۳/۵ a
KFA5	۳/۴۵ a-i	۴/۱ a-h	۴/۷ a-d	۴/۳ a-f	۴/۱ a-h	۴/۱ a
KFA7	۳/۵۵ a-i	۴/۹ a-c	۳/۸۵ a-i	۳/۴ a-i	۲/۶۵ c-i	۳/۶۷ a
KFA9	۳/۵۵ a-i	۲/۶ c-i	۲/۱ c-i	۱/۹ d-i	۱/۰۵ i	۲/۲۳ b
KFA12	۳/۴۵ a-i	۴/۴ a-f	۴/۱ a-h	۲/۷ b-i	۲/۷۵ b-i	۳/۴۷ a
KFA15	۳/۲ a-i	۳/۴ a-i	۴/۵۵ a-e	۳/۶ a-i	۳/۸ a-i	۳/۷۱ a
KFA16	۵/۶۵ a	۴/۶ a-d	۴ ab-h	۴/۲ a-g	۳/۸۵ a-i	۴/۴۶ a
یزدی گرمسیری	۵/۵۵ ab	۳/۵۵ a-i	۳/۵ a-i	۲/۷ b-i	۱/۵۵ f-i	۳/۳۷ a
میانگین	۴/۲۵ a	۳/۷ b	۳/۲ b	۳/۱bc	۲/۷۵ c	

در هر ستون و ردیف میانگین هایی که فاقد حروف مشترک هستند، دارای اختلاف معنی دار به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد می باشند.

آزمایش دوم: آزمایش گلدانی

طول گیاه

بررسی نتایج تجزیه واریانس در آزمایش گلدانی نشان داد تیمار تنش خشکی و برهم‌کنش ژنوتیپ و خشکی بر طول گیاه و وزن خشک گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۷). با افزایش تنش خشکی میزان قابل توجهی از رشد رویشی کاسته شد (جدول ۸). به طوری‌که بیش‌ترین طول گیاه از تیمارهای عدم تنش خشکی و ژنوتیپ‌های KFA16 و KFA1 و کم‌ترین طول گیاه از برهم‌کنش تیمار ۱/۱- و ژنوتیپ‌های KFA3، KFA4 و KFA9 به‌دست آمد. زمانیان و همکاران (۲۰۰۴) اعلام کردند که تنش خشکی بر طول گیاهچه اثر گذاشته و باعث کاهش آن شده است که این تحقیق مطابق با یافته‌های آن‌ها بود. علت کاهش رشد طولی ساقه و ریشه در اثر تنش خشکی ممکن است مربوط به واکنش سلول‌های مریستمی ریشه و ساقه و اختلال در فرآیند تقسیم و طویل شدن سلولی باشد. زیرا شرایط کم آبی و پتانسیل منفی بر جذب آب سلول‌ها اثر گذاشته و در نتیجه فشار تورژسانس لازم جهت بزرگ شدن سلول ها کاهش یافته که توقف و کند شدن رشد را تسریع می کند (Zamanian *et al.*, 2004). مرجانی و همکاران (۱۳۸۵) طی تحقیقات خود اعلام کردند که در شرایط تنش خشکی کاهش جذب آب توسط بذر، باعث کاهش سرعت فعالیت‌های متابولیکی بذر، کاهش ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه اختلال در رشد گیاهچه (ریشه‌چه و ساقه‌چه) شده است. نتایج این آزمایش با نتایج آزمایش سایر محققان (مرجانی و همکاران، ۱۳۸۵؛ سادات اسیلان و همکاران، ۱۳۸۸؛ Zamanian *et al.*, 2004) مطابقت داشت.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.8.4]

جدول ۷: نتایج تجزیه واریانس صفات مرفولوژیکی مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های مختلف یونجه تحت سطوح مختلف تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول گیاهچه	طول ریشه چه	وزن خشک گیاه
تنش خشکی	۴	۴۸۳/۶**	۴۶/۴**	۰/۰۴۱**
ژنوتیپ	۹	۸۶/۸**	۲۷/۲**	۰/۰۹۸**
ژنوتیپ × تنش خشکی	۳۶	۹۴/۷**	۵۳/۲ **	۰/۰۳۷ **
خطا	۱۰۰	۱۳/۵۶	۴/۶۷	۰/۰۰۱۲
ضریب تغییرات (٪)		۳۲/۳۴	۲۵/۲	۲۶/۷۲

*و**: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۸: برهم‌کنش تنش خشکی و ژنوتیپ بر طول گیاه (سانتی‌متر)

خشکی (مگاپاسکال) و ژنوتیپ	صفر	-۰/۴	-۰/۶	-۰/۹	-۱/۱	میانگین
	مگاپاسکال					
KFA1	۲۶/۹۷ a	۲۱/۹ b-g	۲۰/۷ e-j	۱۵/۷۵ n-u	۱۲/۵ u-x	۲۲/۱ a
KFA3	۲۰/۴۳ f-k	۱۹/۹۱ f-l	۱۶/۲ m-s	۱۲/۷ u-x	۱۰/۶ x	۲۰/۷۵ d
KFA4	۲۱ d-j	۱۹/۲ f-m	۱۵/۲ o-v	۱۲/۲۵ w-x	۱۱/۱۵ x	۲۰ ab
KFA5	۲۴/۲۲ a-d	۲۲/۵۵ b-f	۱۹ g-n	۱۳/۷ r-x	۱۴/۴ p- w	۲۳/۹ e
KFA7	۲۳/۵۲b-e	۲۰/۶۵ e-j	۱۷/۶ j-p	۱۴/۰۵ q-w	۱۳/۴ s-x	۲۲/۱ bcd
KFA9	۲۱/۸ b-g	۱۹/۴۷ f-m	۱۵/۰۲ o-v	۱۳/۴۵ s-x	۱۱/۵ x-w	۱۹/۸ e
KFA12	۲۱/۶۱ b-h	۲۱/۳۳ b- h	۱۶/۹۵ k-r	۱۳/۵۵ r-x	۱۳/۱۵ t-x	۲۲/۴۵ bcd
KFA15	۲۳/۴۴ b-e	۲۱/۵۷ b-h	۱۷/۱۵ k-q	۱۶/۳ m-s	۱۳/۶۵ r-x	۱۹/۷۸ bc
KFA16	۲۷/۰۵ a	۲۴/۴۲ a-c	۱۹/۵۵ f-m	۱۸/۲ h-n	۱۶/۶۵ l-s	۲۵/۸ bcd
یزدی گرمسیری	۲۴/۷۱ ab	۲۱/۰۸ c-i	۱۷/۸۵ i-o	۱۵/۲ o-v	۱۲/۳۵ u-x	۲۱/۸۴ e
میانگین	۲۴/۵ a	۲۲/۵ b	۲۰/۲ c	۱۶/۶ d	۱۳ e	

در هر ستون و ردیف میانگین‌هایی که فاقد حروف مشترک هستند، دارای اختلاف معنی دار به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد می باشند.

طول ریشه

رشد ریشه چه در اثر تنش خشکی کاهش معنی داری را نشان داد (جدول ۹). بیش‌ترین طول ریشه‌چه از تیمارهای عدم تنش خشکی و ژنوتیپ‌های KFA15، KFA16 و KFA1 و همچنین یزدی گرمسیری و کم‌ترین طول ریشه از تیمار ۱/۱- مگاپاسکال و ژنوتیپ‌های KFA3 بدست آمد. نتایج آزمایشات نشان می دهد که ریشه و پارامترهای مهم آن مانند طول ریشه، حجم ریشه، تراکم و انبوهی ریشه و تعدادریشه‌های نابجا توسط خشکی و کم آبی تحت تاثیر قرار می‌گیرند (Manivanna *et al.*, 2007). مرجانی و همکاران (۱۳۸۵) طی تحقیقات خود اعلام کردند که در شرایط تنش خشکی کاهش جذب آب توسط بذر، باعث کاهش سرعت فعالیت‌های متابولیکی بذر، کاهش ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه اختلال در رشد گیاه شده است.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.8.4]

جدول ۹: اثر تنش خشکی و ژنوتیپ بر طول ریشه (سانتی متر)

خشکی (مگاپاسکال) و ژنوتیپ	صفر	-۰/۴	-۰/۶	-۰/۹	-۱/۱	میانگین
			مگاپاسکال			
KFA1	۸/۴۷ ab	۷/۳ b-g	۷/۵۵b-e	۵/۷۵ h-p	۴/۵ p-r	۷/۴ ab
KFA3	۶/۵۶ e-k	۶/۹۹ c-i	۶/۳۵ e-m	۵/۰۵ l-r	۳/۸۵ r	۵/۷ c
KFA4	۷ c-i	۶/۱۵ f-n	۶/۳۵ e-m	۴/۸ n-r	۴/۱۵ q-r	۷/۵ ab
KFA5	۸/۲۷ a-c	۷/۰۵ c-h	۶/۴ e-l	۵/۴ j-q	۵/۱۵ l-q	۷/۶ ab
KFA7	۷/۴۲ b-f	۷ c-i	۶/۵۵ e-k	۵ l-r	۵/۵ j-q	۶/۷ bc
KFA9	۷/۳ b-g	۶/۹۲ c-i	۵/۸۵ h-p	۵/۵ j-q	۴/۵ p-r	۶ ab
KFA12	۷/۵۵ b-e	۷/۴۷ b-f	۶/۲ e-m	۵/۵۵ j-p	۴/۷ o-r	۷/۷ a
KFA15	۸/۴۶ ab	۸/۰۳ a-d	۷/۳ b-g	۵/۹۵ g-o	۵/۲ k-q	۷/۳۵ ab
KFA16	۹/۱۷ a	۸/۵ ab	۷/۵ b-f	۶/۷ d-j	۵/۷۵ h-p	۸/۴ a
یزدی گرمسیری	۸/۵۲ ab	۷ c-i	۶/۶ e-j	۵/۶۵ i-p	۴/۱۵ q-r	۷/۳ c
میانگین	۸/۵ ab	۸/۸ a	۸/۹ a	۷/۶ b	۶ c	

در هر ستون و ردیف میانگین هایی که فاقد حروف مشترک هستند، دارای اختلاف معنی‌دار به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد می باشند.

وزن خشک گیاه

بیش‌ترین وزن خشک گیاه از برهم‌کنش تیمار عدم تنش خشکی و ژنوتیپ KFA16 (با میانگین ۱۱۴/۵ میلی‌گرم) و کم‌ترین وزن خشک گیاه از برهم‌کنش خشکی ۱/۱- مگاپاسکال و ژنوتیپ های KFA3 و KFA9 (به‌ترتیب با میانگین ۲۹ و ۳۹ میلی‌گرم) حاصل شد. اثر تنش خشکی بر وزن تر در این پژوهش ممکن است ناشی از اثر کاهنده خشکی بر رشد اندام هوایی و جذب آب باشد. به عبارت دیگر با کاهش جذب آب، رشد گیاه کاهش یافته و با افزایش کمبود آب وزن تر گیاه کاهش می‌یابد.

جدول ۱۰: اثر تنش خشکی و ژنوتیپ بر وزن خشک گیاه (میلی گرم در بوته)

خشکی (مگاپاسکال) و ژنوتیپ	صفر	-۰/۴	-۰/۶	-۰/۹	-۱/۱	میانگین
			مگاپاسکال			
KFA1	۱۱۱/۲۵ a	۸۸/۷۵ e	۷۸ g-i	۶۲ m-p	۵۱/۲۵ rs	۸۸ ab
KFA3	۷۹/۲۵ g-h	۶۴/۲۵ l-n	۵۵ qr	۴۲/۵ tu	۲۸/۷۵ u	۴۰ e
KFA4	۸۸/۵ e	۷۳/۵ g-j	۶۱/۲۵ m-q	۵۲/۷۵ r	۳۹/۵ u	۵۹ d
KFA5	۹۹/۷۵ bc	۸۰/۲۵ fg	۷۱/۵ i-k	۶۲ m-p	۴۶/۲۵ st	۷۸ bc
KFA7	۹۸/۲۵ b-d	۸۰/۲۵ fg	۶۶/۵ k-m	۵۷/۵ n-r	۴۲/۷۵ tu	۷۰ cd
KFA9	۹۱ e	۷۸/۵ g-h	۶۲/۲۵ m-p	۶۰/۷۵ m-q	۳۹ u	۶۱ d
KFA12	۹۲ de	۷۳/۵ g-j	۶۰/۲۵ m-q	۶۲/۷۵ l-o	۴۳ tu	۵۹ d
KFA15	۱۰۸/۲۵ b	۸۱/۷۵ f	۷۳/۵ g-j	۶۹ j-l	۴۴/۲۵ tu	۷۸ bc
KFA16	۱۱۴/۵ a	۹۳/۵ c-e	۷۹/۷۵ fg	۷۲/۷۵ h-k	۵۶/۵ o-r	۹۹ a
یزدی گرمسیری	۹۸ b-d	۷۹/۵ f-h	۶۶/۷۵ k-m	۵۵/۷۵ p-r	۳۸/۵ u	۷۱ cd
میانگین	۸۸ a	۷۱ b	۵۲c	۴۸ c	۲۷ d	

در هر ستون و ردیف میانگین هایی که فاقد حروف مشترک هستند، دارای اختلاف معنی‌دار به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد می باشند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.8.4]

محققان دیگر اظهار داشتند علت کاهش وزن ماده خشک به دلیل کاهش رشد گیاهی، بسته شدن روزنه‌ها و متعاقب آن کاهش فتوسنتز و پیری و ریزش برگ‌ها است (Bhatt *and* Srinivasa, 2005). حاجبی و حیدری شریف‌آبادی (۱۳۸۴) در بررسی ارقام مختلف یونجه مشاهده کردند که با کاهش پتانسیل آب وزن خشک آن ها کاهش می یابد.

شاخص های حساسیت (SSI) و تحمل به تنش (STI)

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد بالاترین مقدار این شاخص به ژنوتیپ‌های KFA3 و KFA7 (با میانگین ۱/۱) و کم‌ترین میزان به ژنوتیپ KFA9، KFA15 و KFA16 تعلق داشت. هر چه میانگین‌ها در شاخص حساسیت به تنش بالاتر باشد نشان‌دهنده حساسیت بیش‌تر آن ژنوتیپ به تنش خشکی خواهد بود. بالاترین مقدار این شاخص تحمل به تنش مربوط به ژنوتیپ KFA9 و KFA1 و کم‌ترین میزان مربوط به ژنوتیپ‌های KFA3 و KFA4 بود (جدول ۱۱). به نظر محققان معیار تحمل به خشکی، وضعیت عملکرد در شرایط خشک می‌باشد. بنابراین وضعیت عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در شرایط خشکی و در شرایط مطلوب به عنوان یک نقطه شروع برای شناسایی صفات مربوط به خشکی و انتخاب ژنوتیپ‌ها برای اصلاح در محیط‌های خشک است (باصفا و طاهریان، ۱۳۸۹). در مطالعه ای که توسط اسفندیاری و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از شاخص‌های SSI صورت گرفت، پنج ژنوتیپ یونجه یکساله را از نظر تحمل به تنش گروه‌بندی نموده و گزارش کردند تنوع بسیار معنی‌داری در بین گونه‌ها وجود داشت و اثر ژنوتیپ بر شاخص‌ها در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. استفاده از شاخص‌های منتخب در غربال نمودن ژنوتیپ‌های مختلف جهت تحمل به خشکی باعث افزایش عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش می‌شود و می‌توان آن‌ها را به‌طور همزمان برای شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب برای هر دو شرایط توصیه نمود. در واقع هدایت برنامه‌های اصلاحی باید براساس عملکرد در دو محیط و همراهی این شاخص‌ها باشد.

جدول ۱۱: میانگین شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های یونجه

ژنوتیپ	SSI	STI
KFA1	۱/۰۲ ab	۰/۸۱ b
KFA3	۱/۱۱ a	۰/۳۹ h
KFA4	۰/۹۹ ab	۰/۵۳ g
KFA5	۰/۹۵ ab	۰/۶۸ d
KFA7	۱/۱ a	۰/۶۳ e
KFA9	۰/۷۴ c	۰/۵۷ f
KFA12	۰/۹۸ ab	۰/۵۷ f
KFA15	۰/۷۶ c	۰/۷۲ c
KFA16	۰/۷۴ c	۰/۹۱ a
یزدی گرمسیری	۱/۰۱ ab	۰/۶۱ e

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.8.4]

به عبارت دیگر ژنوتیپ‌های انتخابی بر اساس این شاخص‌ها، ضمن اینکه از پایداری عملکرد بالاتری برخوردارند، دارای میانگین عملکرد بالایی در هر دو محیط نیز هستند. بنابراین ژنوتیپ‌هایی که مقدار بالایی از شاخص STI را داشته باشند به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته می‌شوند (باصفا و طاریان، ۱۳۸۹).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با افزایش خشکی از صفر به ۱/۱- مگاپاسکال ویژگی‌های جوانه‌زنی در آزمایش بذری (پتری‌دیش) به میزان قابل توجهی کاهش یافت. در بررسی ویژگی‌های درصد و سرعت و همچنین ویژگی‌های اولیه رشد ژنوتیپ‌های KFA16 و گرمسیری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها واکنش بهتری را نشان داد. همچنین در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی کم-ترین درصد و سرعت جوانه‌زنی و ویژگی‌های اولیه رشد در مرحله جوانه‌زنی به ژنوتیپ KFA3 تعلق داشت. با توجه به شاخص‌های ارزیابی‌کننده تحمل و حساسیت به تنش در آزمایش گلدانی ژنوتیپ KFA16 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها از لحاظ ویژگی‌های رشدی دارای برتری قابل توجهی بود. متحمل‌ترین ژنوتیپ به تنش خشکی در بین ژنوتیپ‌ها، لاین KFA9 و حساس‌ترین KFA3 و KFA4 بودند.

منابع

اسفندیاری ص، حسنلی ع، صفری م، فرشادفر م. ۱۳۸۷ . مقاومت به خشکی پنج گونه یونجه یکساله در شرایط آب و هوایی استان کرمانشاه. فصلنامه علمی- پژوهشی پژوهشات مرتع و بیابان. ۱۵: ۲۹۴-۲۸۳.

آخوندی م، صفرنژاد ع، لاهوتی م. ۱۳۸۵ . اثر تنش خشکی بر تجمع پرولین و تغییرات عناصر در یونجه‌های نیک شهری، یزدی و رنجر. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۸: ۱۷۴-۱۶۵.

باصفا، م.، طاهریان، م. ۱۳۸۹. ارزیابی تحمل به خشکی اکوتیپ‌های یونجه با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۳(۱): ۸۱-۶۹.

حاجبی،ع.، حیدری شریف آبادی،ح .۱۳۸۴. بررسی تأثیر خشکی بر روی رشد و گره‌زایی سه گونه شبدر. مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی .۲۱:۶۶-۱۳.

سادات اسیلان، ک.، مدرس ثانوی، س. ع. م.، آقاعلیخانی، م. ۱۳۸۸. اثر تنش کم‌آبی بر صفات جوانه‌زنی بذرهای ده اکوتیپ یونجه چند ساله. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۰ (۳): ۱۰۲-۹۵.

محمودی، ع. ر.، بارانی، ح.، سلطانی، ا.، سپهری، ع. ۱۳۸۷. بررسی اثر تنش خشکی بر روی یونجه یکساله در مرحله جوانه‌زنی. مجله علمی پژوهشی مرتع. ۲ (۲): ۱۲۴-۱۱۳.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.8.4]

مرجانی ع.، فارسی م. و رحیمی زاده م. ۱۳۸۵. بررسی تحمل به خشکی ده ژنوتیپ نخود دیم در مرحله جوانه زنـی بـا اسـتفاده از پلـی اتـیلن گلایکول ۶۰۰۰. ویژه نامه علمی پژوهشی علوم کشاورزی. ۱۲: ۲۹-۱۷.

Abdollahi Mandoulakani, B., Piri, Y., Darvishzadeh, R., Benoosi, I. and Jafari, M. 2012. Retroelement insertional polymorphism and genetic diversity in *Medicago sativa* populations revealed by IRAP and REMAP markers. Plant Molecular Biology Reporter. 30: 286-296.

Ajmal Khan, M., Zaher Ahmed, M. and Hameed, A. 2006. Effect of salt and ascorbic acid on the seed germination of halophytes. Journal of Arid Environments. 67: 535 - 540.

Alebrahim, M. T , sabaghnia, N., Ebadi, A., and Mohebodini, M. 2004. Investigation th effect of salt and drought stress on seed germination of thymemedicinal plant (*Thymus vulgaris*). Journal .Research in Agricultural Science. 1:13-20

Bhatt R. M. and Srinivasa Rao N. K. 2005. Influence of pod load on response of okra to water stress. Indian. Journal. Plant Physiol, 10: 54–59

Buxton, D. R., 2004. Growing quality forages under variable environmental conditions, USDA, Iowa State University, USA.

Camberato, J. and B. Mccarty. 1999. Irrigation water quality: part I. Salinity.South Carolina Turfgrass.Foundation.New. 6 (2): 6-8.

Chon, S. U., Nelsm, C. J. and Coutls, J. H. 2004. Osmtic and autotoxic effects of ceaf extracts on germination and seedling growth of Alfalfa. *Agronomy Journal*, 96: 1673-1679.

Ehsanpour, A. A. and Razavizadeh, R. 2005. Effect of UV-C on drought tolerance of alfalfa (*Medicago sativa*) callus. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 1 (2), 109-110.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S. M. A. 2009. Plant drought stress, effects, mechanisms and management. Agron. Sustain. Dev., 29: 185–212.

Greenwood, M. E and G. R. Macfarlen, 2009. Effects of salinity on competitive interactions between two Juncusspecies. Journal of Aquatic Botany, 90:23-29

Jensen, H. and Mogensen, V. P. 1984. Yield and nutrient contents of spring wheat subjected to water stress at various growth stages. Acta. Agric. Seandinar, 34: 527–533

Kaya, M. D., Okcu, G., Atak, M., Cikili, Y., and Kolsarici, O. 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Europ. J. Agron. 24:291-295.

Khajeh, H. M., Powell, A. A. and Bingham, I. J. 2003. The interaction between salinity stress and seed Vigor during germination of soybean seed. Seed Sci. Technol, 1, 715-725.

Khan, A. H. Mujtaba, S. M. and Khanzada, B. 1999. Response of growth, water relation and solute accumulation in wheat genotypes under water deficit. Pakistan J. Bot., 31: 461–468.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.8.4]

Lawlor, D.W. and Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant Cell Environ., 25: 275–294.

Maguirw, I. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Sci. 2: 176-177.

Manivanna, P., Abduljaleel, C. and Sanker, B. 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism *Helianthus annus* as induced by drought stress, colloids and surface Biointerface, 59: 141-149.

Passioura, J. B. 2007. The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. J. Exp. Bot., 58 (2): 113-117.

Sandrine, F., Joëlle, R., Pierre, B., Philippe, B., Thierry, H., Christian, H. and Bernadette, J. 2008. Genetic diversity among alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars coming from a breeding program, using SSR markers. Theoretical and Applied Genetics. 111: 1420-1429.

Scott, S. J., Jones, R. A. and Williams, W.A. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. Journal of Crop Science 24: 1192-1199.

Sadak and Mervat. 2016. Mitigation of drought stress on Fenugreek plant by foliar application of trehalose. International Journal of ChemTech Research. CODEN (USA): IJCRGG ISSN: 0974-4290, 9 (2): 147-155.

Tuck, M., Popovic, S., Grljusic, S., Bolaric, S.and Kozumplic, V. 2008. Genetic diversity of alfalfa (*Medicago* spp.) estimated by molecular markers and morphological characters. Journal of Periodicum Biologorum. 110: 243-249.

Valliy, B. and Nguyen, H. T., 2006. Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants. Current opinion in Plant Biology, 9: 1-7.Veronesi F, Charles B, Huyghe C. 2010. Alfalfa. Springer Sci, 395-436.

Zamanian, M., R. Vakeal and M. H. Mirzapour. 2004. Performance comparison of five alfalfa cultivars under saline conditions. Journal of Soil and Water Sciences. 18 (1): 1-11.

Zeid, I. M and shedeed, Z. A. 2006. Response of alfalfa to potrescine treatment under droght stress. Biologiae Plantarum, 50 (4):635-640.

Zhang, M., Jin, Z.Q., Zhao, J., Zhang, G. P. and Wu, F. B. 2015. Physiological and biochemical responses to drought stress in cultivated and Tibetant wild barley. Plant Growth Regul 75:567–574 .

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.8.4]