علوم و تحقیقات بذر ایران
سال ششم/ شماره اول/ ۱۳۹۸ (۱۸ - ۱)

DOI: 10.22124/jms.2019.3584

تغییرات جوانه‌زنی و شاخص‌های رشد گاوزبان (*Borago officinalis* L.) در واکنش به پیش‌تیمار بذر و فواصل مختلف آبیاری

سهیلا دست‌برهان*، کاظم قاسمی‌گلعذانی، فرهود یگانه‌پور

تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۱۹

چکیده

به‌منظور بررسی جوانه‌زنی بذر، سبز شدن گیاهچه و تغییرات شاخص‌های رشد گیاه گاوزبان در واکنش به پیش‌تیمار بذر و محدودیت آب، آزمون‌های آزمایشگاهی به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۱ اجرا گردیدند. تیمارهای آبیاری (I_1، I_2، I_3، I_4: به‌ترتیب آبیاری پس از ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A) و پیش‌تیمار بذر (P_0: بدون پیش‌تیمار، P_1: پیش‌تیمار با آب، P_2: پیش‌تیمار با نیترات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار و P_3: پیش‌تیمار با دی هیدروفسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار) به‌ترتیب در کرت‌های اصلی و فرعی قرار گرفتند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، پیش‌تیمار آبی بذر گاوزبان، میانگین سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را به‌ترتیب ۱۵/۹ و ۲۲/۶ درصد افزایش داد. سرعت سبز شدن گیاهچه‌های گاوزبان هم تحت تیمارهای مختلف بذری حدود هفت درصد بهبود یافت. در مرحله رویشی، شاخص سطح برگ گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده با آب مقطر، KNO_3 و KH_2PO_4 به‌ترتیب ۲۲/۸، ۳۹/۷ و ۱۶/۱ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. در مرحله گلدهی، با کاهش شاخص سطح برگ از اتلاف آب گیاهان تحت شرایط کمبود آب کاسته شد. همه تکنیک‌های پیش‌تیمار بذر، به‌ویژه پیش‌تیمار آبی، شاخص سطح برگ را در شرایط آبیاری مطلوب از طریق افزایش سرعت سبز شدن گیاهچه بهبود بخشید. تجمع ماده خشک، سرعت رشد نسبی و سرعت رشد گیاه گاوزبان با افزایش فواصل آبیاری کاهش یافت، با این‌حال، دوره رشد گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده طولانی‌تر از گیاهان حاصل از بذرهای تیمار نشده بود که به تولید گیاهانی بزرگ‌تر در شرایط آبیاری مطلوب منجر شد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌تیمار بذر، تنش خشکی، سطح برگ، سرعت رشد، گاوزبان، ماده خشک

گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

*نویسنده مسئول: dastborhan.s@gmail.com

مقدمه

گاوزبان (*Borago officinalis* L.) گیاهی علفی و یک-ساله از تیره گاوزبان[1] است که پیکر رویشی آن حاوی مواد موسیلاژی، ساپونین، تانن، مقادیر قابل توجهی عناصر معدنی و همچنین مقدار کمی اسانس می‌باشد. در طب سنتی بعضی کشورها، برگ و گل این گیاه در درمان یرقان، سرفه، تب، بیماری‌های پوستی و سنگ کلیه مورد استفاده قرار می‌گیرد (Omidbaigi, 2010). این گیاه همچنین به‌عنوان کاهنده درد، مسکن، معرق، مدر، تقویت کننده قلب، آرامبخش و مکمل غذایی مصرف شده و در تصفیه خون و جلوگیری از التهاب قفسه سینه و صفاق، روماتیسم مفاصل، التهاب وریدی و مشکلات یائسگی و درمان برونشیت نیز مؤثر است. رفع التهاب ورم کلیه و تسکین دردهای ناشی از آن‌ها و تقویت برونش‌ها از دیگر خواص گاوزبان می‌باشد (Ahvazi *et al.*, 2010). دانه گاوزبان میزان بالایی روغن و پروتئین خام دارد (یانگ و همکاران، ۲۰۰۲) و روغن دانه آن حاوی ۲۲ تا ۳۳ درصد اسید گامالینولنیک، ۳۰ تا ۴۰ درصد اسید لینولئیک و ۸ تا ۱۵ درصد اسید پالمیتیک است (Omidbaigi, 2010) که در درمان بیماری نورودرماتیت کاربرد داشته و به‌عنوان مکمل غذایی مصرف می‌شود (Ahvazi *et al.*, 2010). در برخی کشورها از برگ‌های سبز و جوان گاوزبان به‌خاطر طعم خاص آن در تهیه سالاد استفاده می‌شود. مواد مؤثر گاوزبان در صنایع آرایشی و بهداشتی نیز کاربرد دارد (Omidbaigi, 2010).

کمبود آب یکی از تنش‌های غیرزیستی عمده است که اثرات نامطلوبی بر رشد و عملکرد گیاهان دارد (Jaleel *et al.*, 2009) و تقریباً تولید ۲۵ درصد از اراضی جهان را محدود ساخته است. خشکی به‌عنوان یک تنش چند بعدی، اثرات متنوعی روی گیاهان داشته (Choluj *et al.*, 2004) و دامنه وسیعی از واکنش‌ها، از تغییرات ژنتیکی تا تغییر در سرعت رشد و عملکرد را در گیاهان موجب می‌شود (Reddy *et al.*, 2004). واکنش گیاهان به تنش خشکی به‌شدت و طول دوره تنش، گونه و مرحله رشد گیاه بستگی دارد (Parameshwarappa and Salimath, 2008).

یکی دیگر از مشکلات عمده در تولید گیاهان زراعی و دارویی، جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه‌های آن‌ها می‌باشد. از آنجایی‌که کارهای اصلاحی کمتری روی گیاهان دارویی انجام شده است، سبز شدن و استقرار گیاهچه گیاهان دارویی معمولاً به کندی صورت می‌گیرد (Shekari *et al.*, 2010). فاصله زمانی کاشت تا استقرار گیاهچه، اثر قابل ملاحظه‌ای بر رشد و عملکرد نهایی گیاه دارد. بعد از کاشت، بذرها یک دوره طولانی را در خاک صرف جذب آب می‌کنند. اگر این زمان به حداقل برسد، جوانه‌زنی بذرها و سبز شدن گیاهچه‌ها به‌طور معنی‌داری تسریع می‌شود (Khan, 1992). تأخیر در جوانه‌زنی بذر و سبز شدن کند و غیر یکنواخت گیاهچه‌ها، به تولید گیاهان کمتر و کوچک‌تر منجر می‌شود که آسیب‌پذیری بیشتری در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی دارند. یکی از روش‌های ساده و مناسب در مقابله با تنش‌های محیطی، استفاده از پیش‌تیمار بذر[2] است که هدف از آن، آبگیری بذر تا اندازه‌ای است که مراحل اول (جذب فیزیکی آب) و دوم (شروع فرایندهای بیوشیمیایی و هیدرولیز قندها) جوانه‌زنی طی شده، ولی اجازه ورود به مرحله سوم جوانه‌زنی (مصرف قند توسط جنین و خروج ریشه‌چه) داده نمی‌شود (Bradford, 1995؛ Ashraf and Foolad, 2005). این عمل فاصله زمانی بین کاشت بذرها و سبز شدن گیاهچه‌ها را کاهش داده و باعث همزمانی ظهور گیاهچه‌ها می‌شود (Parera and Cantliffe, 1994) و به بهبود استقرار پوشش گیاهی، افزایش تحمل خشکی، کاهش خسارت آفات و افزایش عملکرد گیاه منجر می‌گردد (Harris *et al.*, 2002).

تکنیک‌های رایج پیش‌تیمار بذر شامل خیس کردن بذرها در محلول‌های اسمزی، محلول‌های نمکی، آب، تیمار بذر با ماتریک جامد، دماهای پائین یا بالا، باکتری‌ها و هورمون‌های گیاهی می‌باشد که پس از گذشت زمان مشخص، بذرها تا رطوبت اولیه خشکانده شده و تا زمان کاشت به آن حالت نگهداری می‌شوند (Bradford, 1986؛ Taylor *et al.*, 1988). اثرات مثبت پیش‌تیمار و فرآیندهای متابولیکی ناشی از آن که معمولاً با جذب آب در

[1]Boraginaceae

[2]Seed priming

بذرها آغاز می‌شود، بعد از خشک‌کردن نیز در آن‌ها باقی می‌ماند. پیش‌تیمار بذر با فعال کردن فرایندهای متابولیکی ضروری، در نهایت به سنتز آنزیم‌های ترمیم کننده می‌انجامد. این آنزیم‌ها خسارت وارد شده به غشای سلولی را تا حدودی ترمیم کرده و نشت متابولیت‌ها از بذر را کاهش می‌دهند (Mc Donald, 2000). پیش‌تیمار بذر با تسریع فعالیت‌های آنزیمی باعث افزایش متابولیسم و رشد جنین می‌شود (Ashraf and Harris, 2005). در بذرهای تیمار شده، بخشی از پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها با فعالیت آنزیم‌ها و واکنش‌های هیدرولیز کننده، شکسته شده و آماده شرکت در فرایند جوانه‌زنی می‌شوند. این امر می‌تواند توجیهی برای تسریع جوانه‌زنی و کاهش متوسط زمان جوانه‌زنی باشد (Bittencourt *et al.*, 2004) و می‌تواند تحت تنش‌های محیطی سبب بهبود روند واکنش‌های فیزیولوژیکی در بذر شده و در نتیجه مقاومت به تنش‌ها را در این بذرها به‌طور قابل ملاحظه‌ای ارتقا دهد (Khan, 1992).

جدول ۱- میانگین دما، بارندگی و رطوبت نسبی در طول اجرای آزمایش در سال ۱۳۹۱

Table 1. Average values of temperature, rainfall and relative humidity during the experiment in 2012

Month	Minimum temperature (°C)	Maximum temperature (°C)	Rainfall (mm)	Minimum relative humidity (%)	Maximum relative humidity (%)
May	8.71	23.77	0.82	15.35	74.93
June	12.87	28.03	1.68	14.47	62.27
July	16.19	31.22	0.10	22.81	77.29
August	18.17	35.09	0.00	18.13	47.09

رشد نتیجه اثر متقابل فرایندهایی مانند فتوسنتز، انتقال، تنفس، روابط آبی و تغذیه معدنی بوده و شامل افزایش وزن، حجم، طول و یا سطح می‌باشد که ناشی از تقسیم، توسعه و تمایز سلول است. تجزیه و تحلیل رشد گیاه، روش سودمندی در مطالعه اثرات متقابل پیچیده رشد گیاه و محیط و توضیح و توجیه واکنش‌های فیزیولوژیکی آن به‌شمار می‌رود (Lambers *et al.*, 2008). رشد گیاه معمولاً با شاخص‌هایی مانند سرعت رشد نسبی[3]، سرعت رشد گیاه زراعی[4]، سرعت جذب خالص[5] و شاخص سطح برگ[6] تجزیه و تحلیل می‌شود (Gardner *et al.*, 1985؛ Karimi and Siddique, 1991). رشد گیاه در مزرعه اغلب بر اساس تجمع ماده خشک[7] تعیین می‌شود که نشانگر راندمان تولید گیاه در طول دوره رشد بوده و شاخصی برای سازگاری گیاهان به خشکی در پایان فصل فراهم می‌کند که با عملکرد قابل قبول تحت تنش خشکی در ارتباط است (Smith and Hamel, 1999). با توجه به این‌که تغییرات شاخص‌های رشد گیاه گاوزبان در واکنش به تنش کمبود آب و پیش‌تیمار بذر توسط محققان ارزیابی نگردیده است، در این پژوهش سعی می‌شود اثر پیش‌تیمار آبی و نمکی بذر بر جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه‌ها بررسی شده و تأثیر آن بر شاخص‌های رشد این گیاه دارویی تحت تیمارهای مختلف آبیاری مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز (اراضی کرکج) واقع در ۱۲ کیلومتری شرق تبریز به اجرا در آمد. ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۱۳۶۰ متر بوده و در ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۳ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. جدول یک میانگین دما، رطوبت نسبی و بارندگی منطقه در طول اجرای آزمایش در سال ۱۳۹۱ را نشان می‌دهد.

بذرهای مورد استفاده در این بررسی (توده بومی هشتگرد) از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد که محصول سال زراعی ۹۰ بود. برای پیش‌تیمار بذرهای گاوزبان، توده بذری تهیه شده به چهار قسمت تقسیم گردید و بذرهای مربوط به تیمارهای P_1، P_2 و P_3 به‌ترتیب در آب مقطر، محلول نیترات پتاسیم (KNO_3) ۱۰۰ میلی‌مولار (۰/۱٪) و

[3]Relative Growth Rate (RGR)
[4]Crop Growth Rate (CGR)
[5]Net Assimilation Rate (NAR)
[6]Leaf Area Index (LAI)
[7]Dry Matter Accumulation (DMA)

دی‌هیدروفسفات پتاسیم (KH_2PO_4) ۱۰۰ میلی‌مولار (۰/۱٪) به‌مدت هشت ساعت در انکوباتوری با دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس بذرهای تیمار شده از محلول‌ها خارج گردیده و پس از شستن با آب مقطر، به‌مدت سه ساعت در دمای تقریبی ۲۵ درجه سانتی‌گراد در شرایط آزمایشگاه قرار گرفتند و پس از قرارگیری در کیسه‌های پلاستیکی جداگانه، در یخچالی با دمای ۵-۳ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

آزمون‌های آزمایشگاهی به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شدند. به این منظور برای هر تیمار، چهار تکرار ۲۵ بذری جدا گردید و پس از ضدعفونی با سم بنومیل (با نسبت دو در هزار)، در لای کاغذ صافی مرطوب به ابعاد ۳۰×۳۰ سانتی‌متر قرار داده شدند. پس از لوله کردن کاغذها و قرار دادن آن‌ها در کیسه پلاستیکی، به‌مدت ۱۴ روز در انکوباتوری با دمای ۱±۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند (Ghassemi-Golezani and Dalil, 2011). شمارش روزانه تعداد بذرهای جوانه‌زده (خروج دو میلی‌متری ریشه‌چه) تا روز چهاردهم ادامه یافت. تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر روز از کسر تعداد بذرهای جوانه‌زده در روزهای ماقبل محاسبه و به‌عنوان جوانه‌های ظاهر شده در همان روز یادداشت گردید. در پایان روز چهاردهم، ضمن تعیین درصد جوانه‌زنی (درصد گیاهچه‌های عادی)، میانگین سرعت جوانه‌زنی با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (Ellis and Roberts, 1980):

$$\overline{R} = \frac{\sum n}{\sum D \times n}$$ رابطه (۱)

در این معادله، $\overline{R}$ میانگین سرعت جوانه‌زنی، n تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز معین و D تعداد روزهای سپری شده از شروع آزمایش می‌باشد. گیاهچه‌هایی که تمام ساختارهای اصلی آن‌ها به‌خوبی توسعه یافته و سالم و کامل بوده و در موارد استثنایی با آلودگی ثانویه همراه بودند، به‌عنوان گیاهچه عادی در نظر گرفته شدند.

در پایان روز چهاردهم گیاهچه‌های عادی در هر تکرار به‌مدت ۲۴ ساعت در آونی با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردیده و با ترازوی حساس توزین شدند. در نهایت میانگین وزن خشک گیاهچه برای هر تیمار در هر تکرار محاسبه شد.

در فروردین ماه سال ۱۳۹۱ با مساعد شدن شرایط اقلیمی، آماده‌سازی زمین با انجام یک شخم بهاره و دیسک‌زنی به‌منظور خرد کردن کلوخ‌ها صورت گرفت. به‌منظور بررسی وضعیت خاک قطعه زمین مورد نظر در مزرعه، نمونه خاکی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه شد و جهت انجام تجزیه‌های مربوطه به بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی تبریز ارسال گردید. نتایج حاصل از تجزیه خاک در جدول دو ارائه شده است. در مرحله بعد، پس از ایجاد جوی و پشته نسبت به کرت‌بندی زمین اقدام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. فواصل آبیاری (I_1، I_2، I_3، I_4: به‌ترتیب آبیاری پس از ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A) به‌عنوان عامل اصلی و پیش‌تیمار بذر (P_0: عدم پیش‌تیمار، P_1: پیش‌تیمار با آب، P_2: پیش‌تیمار با نیترات پتاسیم و P_3: پیش‌تیمار با دی‌هیدروفسفات پتاسیم) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. در هر بلوک ۱۶ کرت (واحد آزمایشی) وجود داشت و هر کرت با ابعاد ۳×۲ متر شامل هشت ردیف کاشت بود. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بذرها روی ردیف پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بر اساس نیاز گیاه و نتایج تجزیه خاک، پیش از کاشت ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، ۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم با خاک هر کرت مخلوط گردید.

کاشت بذرها در ۲۲ اردیبهشت ماه و پس از ضدعفونی با قارچ‌کش بنومیل (با نسبت دو در هزار)، در شیارهایی به عمق دو سانتی‌متر صورت گرفت و برای خروج هر چه بهتر گیاهچه‌ها، روی بذرهای کشت شده ماسه بادی ریخته شد. بعد از کاشت، کلیه واحدهای آزمایشی آبیاری گردیدند بلافاصله پس از ظهور اولین گیاهچه‌ها، شمارش گیاهچه‌های سبز شده در هر واحد آزمایشی به‌صورت روزانه آغاز شد و تا زمان تثبیت گیاهچه‌های سبز شده در هر کرت ادامه یافت. درصد سبز شدن با در نظر گرفتن تراکم کاشت و تعداد کل

گیاهچه‌های سبز شده محاسبه گردید. سرعت سبز شدن گیاهچه‌ها نیز با بهره‌گیری از معادله یک به‌دست آمد.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2. Physical and chemical properties of the experimental area soil

عمق Depth (cm)	pH	هدایت الکتریکی EC ($dc\ m^{-1}$)	درصد مواد خنثی شونده T.N.V. (%)	درصد کربن آلی Organic Carbon (%)	درصد نیتروژن Nitrogen (%)	فسفر قابل جذب Available P (ppm)	پتاسیم قابل جذب Available K (ppm)	درصد اجزای معدنی خاک Mineral components of soil (%) رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	بافت خاک Soil texture
0-30	8.2	2.08	16	1.5	0.13	96.7	1540	16	22	62	Sandy loam

پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها، آبیاری‌های بعدی بر اساس تیمارهای مورد نظر و میزان تبخیر از تشتک صورت گرفت. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی و به‌طور مداوم انجام شد. نمونه‌برداری برای تجزیه رشد هر هشت روز یک‌بار و با در نظر گرفتن بوته‌های رقابت کننده صورت گرفت. اولین نمونه‌برداری ۳۷ روز پس از کاشت انجام پذیرفت. در هر نمونه‌برداری پنج بوته از هر کرت از سطح زمین کف‌بر شد و به‌مدت ۴۸ ساعت در آونی با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و در نهایت وزن خشک آن‌ها ثبت گردید. با توجه به این‌که بین نمو گیاه و دما رابطه نزدیکی وجود دارد، محاسبه RGR و CGR با استفاده از درجه روزهای رشد[8] انجام پذیرفت. درجه روز رشد برای هر روز، از کاشت تا هر نوبت نمونه‌برداری با استفاده از معادله دو محاسبه گردید (Karimi and Siddique, 1991).

$$H_i = \sum [T_{max} + T_{min}] - T_b$$ رابطه (۲)

در این رابطه H_i درجه روزهای رشد تا روز i ام، T_{max} حداکثر دمای روزانه، T_{min} حداقل دمای روزانه و T_b نیز دمای پایه گاوزبان است که پنج درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد (Ghaderi *et al.*, 2008).

برای تعیین تغییرات وزن خشک اندام‌های هوایی نسبت به درجه روزهای بعد از کاشت، از معادله سه استفاده گردید:

$$DM = e^{(a+bH+cH^2)}$$ رابطه (۳)

در این معادله، DM وزن خشک اندام‌های هوایی، H شاخص دمایی ($H=\sum Hi$) بر اساس درجه روز رشد و a، b و c ضرایب معادله می‌باشند. با در نظر گرفتن معادله ۳، RGR و CGR به‌صورت زیر محاسبه شدند:

$$RGR = b + 2cH$$ رابطه (۴)

$$CGR = (b + 2cH) \times e^{(a+bH+cH^2)}$$ رابطه (۵)

به‌دلیل محدودیت استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج، شاخص سطح برگ در دو مرحله (قبل از ساقه‌دهی و در زمان پنجاه درصد گلدهی) با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج غلتکی مدل LI-COR تعیین شد.

پیش از تجزیه واریانس، آزمون نرمال بودن و یکنواختی واریانس خطای داده‌ها انجام گردید تا در صورت نیاز، تبدیل مناسب صورت گیرد. از نرم‌افزار SPSS-16 و MSTAT-C برای انجام تجزیه‌های آماری استفاده شد. میانگین داده‌ها نیز بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه گردید. برای رسم شکل‌ها و برازش رگرسیونی از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه نشانگر اثر معنی‌دار پیش‌تیمار بذر بر درصد جوانه‌زنی بذر و وزن خشک گیاهچه می‌باشد. بین تیمارهای مختلف بذر، اختلاف معنی‌داری از نظر سرعت جوانه‌زنی مشاهده نشد (جدول ۳). میانگین درصد جوانه‌زنی بذرهای پیش‌تیمار شده گاوزبان، به‌ویژه بذرهای تیمار شده با آب مقطر، کمتر از تیمار شاهد بود، با این‌حال بین گیاهچه‌های حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده با نیترات پتاسیم، دی‌هیدروفسفات پتاسیم و گیاهچه‌های حاصل از بذرهای تیمار نشده، تفاوت معنی‌داری از نظر درصد جوانه‌زنی وجود نداشت (شکل ۱-a). با وجود اثر غیرمعنی‌دار پیش‌تیمار بذر بر سرعت جوانه‌زنی، تیمار بذرها با آب مقطر، نیترات پتاسیم

[8]Growing degree days (GDDs)

و دی‌هیدروفسفات پتاسیم به‌ترتیب به افزایش ۱۵/۹، ۱ و ۹/۷ درصدی سرعت جوانه‌زنی منجر شد. از طرف دیگر، پیش‌تیمار آبی و نمکی بذرها اثر مثبتی بر رشد گیاهچه‌های گاوزبان داشت، به‌طوری‌که وزن خشک گیاهچه‌های حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده با آب مقطر، نیترات پتاسیم و دی‌هیدروفسفات پتاسیم به‌ترتیب ۲۲/۶، ۹/۷ و ۹/۷ درصد بیشتر از بذرهای تیمار نشده بود (شکل۱-b).

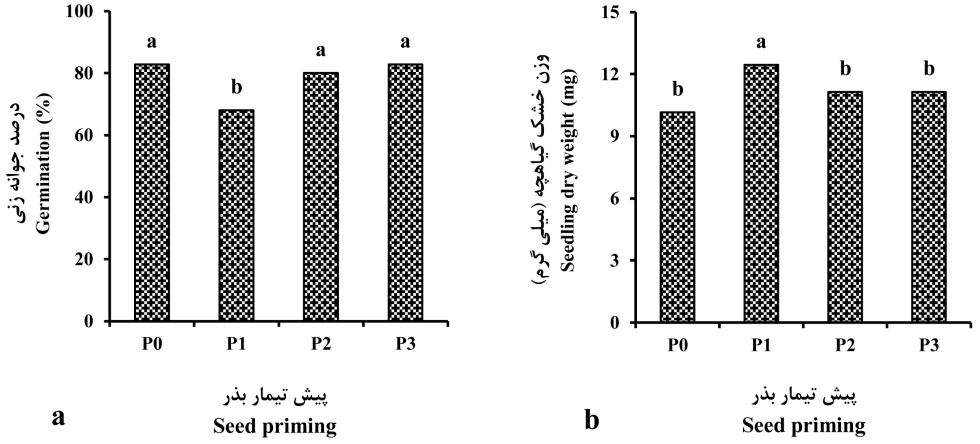
جدول ۳- تجزیه واریانس درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه‌های گاوزبان تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر

Table 3. Analysis of variance of the percentage and rate of seed germination and seedlings growth of borage affected by seed priming

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares		
		درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight
پیش‌تیمار بذر Seed priming	3	198.08 *	0.0043 ns	3.541 **
خطا Error	12	52.458	0.0025	0.669
ضریب تغییرات (%) CV	---	9.24	13.92	7.29

ns ، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, *, **: no significant, and significant at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively



شکل ۱- اثر پیش‌تیمار بذر بر میانگین درصد جوانه‌زنی بذر (a) و وزن خشک گیاهچه‌های گاوزبان (b)

Figure 1. Effect of seed priming on germination percent (a) and seedlings dry weight (b) of borage

P_0 ، P_1، P_2، P_3: به‌ترتیب عدم پیش‌تیمار بذر و تیمار بذر با آب مقطر، KNO_3 و KH_2PO_4

P_0, P_1, P_2, P_3: Control and priming with water, KNO_3 and KH_2PO_4, respectively

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ است (آزمون دانکن).

Different letters indicate a significant difference at $p \leq 0.05$ (Duncan test).

در مجموع، گیاهچه‌های حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده به‌دلیل سرعت جوانه‌زنی بالا، در مقایسه با گیاهچه‌های حاصل از بذرهای شاهد از رشد بیشتری برخوردار بوده و بزرگ‌تر بودند. اثرات مثبت پیش‌تیمار بذر بر بهبود رشد گیاهچه را می‌توان به افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده (α آمیلاز و β آمیلاز)، افزایش انرژی زیستی، افزایش همانندسازی DNA و سنتز RNA و پروتئین، و افزایش تعداد و ارتقای عملکرد میتوکندری‌ها نسبت داد (Afzal *et al.*, 2002) که در نتیجه آن سرعت تقسیم سلولی (De Castro *et al.*, 2000)، هیدرولیز آندوسپرم (Bradford *et*

al., 2000) و تحرک پروتئین‌های ذخیره‌ای (Job *et al.*, 2000) افزایش یافته و با تسریع جوانه‌زنی، گیاهچه‌هایی قوی تولید می‌نماید.

اثر پیش‌تیمار بذر بر درصد سبز شدن معنی‌دار نبود، ولی سرعت سبز شدن گیاهچه‌ها به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر قرار گرفت (جدول۴). در شرایط مزرعه، گیاهچه‌های حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده در مقایسه با بذرهای شاهد سریع‌تر سبز شده و استقرار یافتند. پیش‌تیمار بذر، میانگین سرعت سبز شدن گیاهچه‌های گاوزبان را حدود هفت درصد افزایش داد. بین گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده با آب، نیترات پتاسیم و دی‌هیدروفسفات پتاسیم اختلاف معنی‌داری از این نظر مشاهده نشد (شکل۲).

سرعت بالای سبز شدن گیاهچه‌های حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده را می‌توان به جذب سریع‌تر آب (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2008)، تسریع تقسیم سلولی در بذرهای در حال جوانه‌زنی (Sivritepe *et al.*, 2003)، افزایش فعالیت آنزیم‌های مؤثر در رشد و تکامل جنین و گیاهچه (Singh *et al.*, 1999) و فعال شدن فرایندهای متابولیکی که به سنتز آنزیم‌های ترمیم کننده می‌انجامد (Mc Donald, 2000) نسبت داد. تسریع جوانه-زنی باعث افزایش قدرت و استقرار بهتر گیاهچه شده و گیاه می‌تواند از منابع بهتر استفاده کرده و عملکرد نهایی آن افزایش یابد (Bradford, 1995).

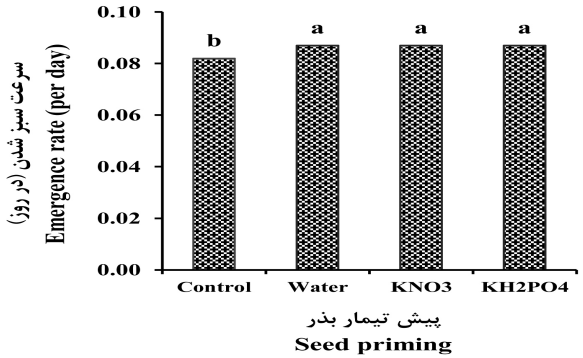
جدول ۴- تجزیه واریانس اثر پیش‌تیمار بذر بر درصد و سرعت سبز شدن گیاهچه‌های گاوزبان

Table 4. Analysis of variance of the effect of seed priming on emergence percentage and rate of borage seedlings

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares	
		درصد سبز شدن Emergence percent	سرعت سبز شدن Emergence rate
تکرار Replication	2	47.587 **	0.000000445 ns
پیش‌تیمار بذر Seed priming	3	2.740 ns	0.00001872 **
خطا Error	6	3.114	0.000001177
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	---	2.05	1.26

ns و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ns, **: no significant and significant at $p \leq 0.01$, respectively



شکل ۲- میانگین سرعت سبز شدن گیاهچه‌های گاوزبان تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر

Figure 2. Means of emergence rate of borage seedlings affected by seed priming

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ است (آزمون دانکن).

Different letters indicate a significant difference at $p \leq 0.05$ (Duncan test).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر پیش‌تیمار بذر و فواصل آبیاری بر شاخص سطح برگ گاوزبان در مراحل رویشی و گلدهی
Table 5. Analysis of variance of the effect of seed priming and irrigation intervals on leaf area index of borage at vegetative and flowering stages

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares	
		شاخص سطح برگ (رویشی) LAI (vegetative)	شاخص سطح برگ (گلدهی) LAI (flowering)
تکرار Replication	2	0.114 ns	0.362 ns
فواصل آبیاری (I) Irrigation intervals	3	0.271 ns	3.453 *
خطای ۱ Error 1	6	0.105	0.569
پیش‌تیمار بذر (P) Seed priming	3	0.283 *	0.109 ns
I × P	9	0.042 ns	0.415 *
خطای ۲ Error 2	24	0.095	0. 170
ضریب تغییرات (%) CV	---	27.47	20.89

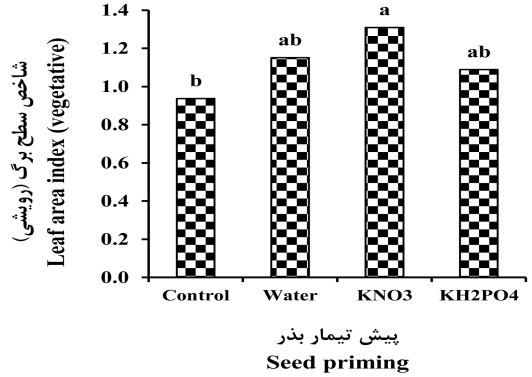
ns و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد
ns, *: no significant and significant at $p \leq 0.05$, respectively

شاخص سطح برگ (LAI)

شاخص سطح برگ گاوزبان در مرحله رویشی برای تیمارهای مختلف بذری متفاوت بود، اما اثر آبیاری و اثر متقابل تیمارها بر این صفت غیرمعنی‌دار به‌دست آمد. در مرحله زایشی ، شاخص سطح برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر آبیاری و اثر متقابل آبیاری × پیش‌تیمار بذر قرار گرفت (جدول ۵).

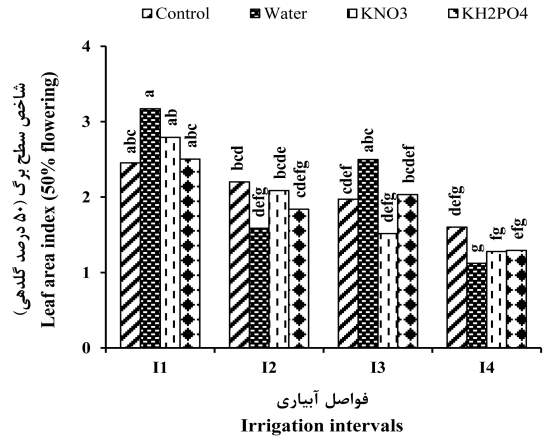
در مرحله رویشی کمترین شاخص سطح برگ به گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار نشده اختصاص داشت. میانگین شاخص سطح برگ گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده با آب مقطر، KNO_3 و KH_2PO_4 به‌ترتیب ۲۲/۸، ۳۹/۷ و ۱۶/۱ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود (شکل۳). به‌نظر می‌رسد گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده به‌دلیل برخورداری از سرعت سبز شدن بالا (شکل۲)، در شرایط مزرعه سریع‌تر استقرار یافته و با بهره‌مندی مناسب از منابع محیطی زمان بیشتری را برای تولید و توسعه سطح سبز در اختیار داشته‌اند. با توجه به این‌که در این مرحله مدت کمی از اعمال تیمارهای آبیاری سپری شده بود، افزایش فواصل آبیاری تغییر قابل ملاحظه‌ای در شاخص سطح برگ گاوزبان ایجاد نکرد (جدول۵).

در مرحله گلدهی، با افزایش فواصل آبیاری، میانگین شاخص سطح برگ گاوزبان کاهش یافت. در شرایط آبیاری



شکل ۳- میانگین شاخص سطح برگ گاوزبان در مرحله رویشی تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر
Figure 3. Means of leaf area index of borage at vegetative stage affected by seed priming

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ است (آزمون دانکن).
Different letters indicate a significant difference at $p \leq 0.05$ (Duncan test).



شکل ۴- تغییرات شاخص سطح برگ گاوزبان در مرحله گلدهی تحت فواصل مختلف آبیاری و پیش‌تیمار بذر

Figure 4. Changes in leaf area index of borage at flowering stage affected by different irrigation intervals and seed priming

I_1، I_2، I_3، I_4: به‌ترتیب آبیاری پس از ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A

I_1, I_2, I_3, I_4: Irrigation after 60, 90, 120 and 150 mm evaporation from class A pan, respectively

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ است (آزمون دانکن).

Different letters indicate a significant difference at $p \leq 0.05$ (Duncan test).

مطلوب (I_1)، پیش‌تیمار بذر به بهبود LAI منجر شد، اما در سایر سطوح آبیاری تفاوت بین گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده و نشده از این نظر معنی‌دار نبود و تنها تحت تنش خشکی متوسط (I_3) پیش‌تیمار آبی بذر با افزایش غیر معنی‌دار شاخص سطح برگ همراه بود (شکل۴). توسعه سلول فرایندی وابسته به پتانسیل فشاری است و کاهش پتانسیل فشاری سلول‌ها از اولین آثار مهم بیوفیزیکی تنش کم‌آبی محسوب می‌شود. توسعه برگ نیز به توسعه سلول بستگی دارد (Taiz and Zeiger, 2002). تشکیل سلول-های کمتر و کوچک‌تر در گیاهان تحت تنش، اندازه نهایی برگ را محدود می‌سازد. از این‌رو توسعه سطح برگ اولین فرایندی است که بر اثر کمبود آب محدود می‌گردد که نتیجه آن تولید برگ‌های کوچک‌تر در گیاه است (Hsiao, 2000). تحت تنش خشکی، برگ‌های کوچک‌تر و ضخیم‌تر از طریق کاهش سطح تبخیر، تلفات آب را کاهش داده و به بهبود روابط آبی کمک می‌کنند (Pessarakli, 1999). اگر بذرها در مزرعه سریع و یکنواخت جوانه‌زده و گیاهچه‌ها سبز شوند، از نور، آب و مواد غذایی با حداکثر ظرفیت خود استفاده کرده و گیاهانی قوی و سالم تولید می‌کنند که در برابر تنش‌های زیستی و غیر زیستی مقاوم بوده و محصول بیشتری تولید می‌نمایند. اثرات سودمند پیش‌تیمار بذر بر بهبود سطح برگ در کلزا (Basra *et al.*, 2003) و گندم (Hussian *et al.*, 2013) نیز گزارش شده است.

تجمع ماده خشک (DMA)

ضرایب معادله نمایی تغییرات ماده خشک اندام‌های هوایی گیاه گاوزبان نسبت به درجه روزهای رشد در جدول ۶ درج شده است که در آن ضرایب تبیین منحنی‌های برازش شده برای کلیه تیمارها با استفاده از معادله ۳ بیشتر از ۰/۹۶ می‌باشند.

تجمع ماده خشک، راندمان تولید گیاه در طول دوره رشد را نشان می‌دهد. در مراحل اولیه رشد گاوزبان، مقدار ماده خشک تجمع یافته در کلیه تیمارهای مورد بررسی ناچیز بود و بین تیمارهای آبیاری تا ۹۰۰ درجه روز رشد اختلاف اندکی از نظر تجمع ماده خشک گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده و بدون پیش‌تیمار وجود داشت، اما پس از آن تغییرات قابل ملاحظه‌ای در ماده خشک تجمع یافته تحت تیمارهای مختلف آبیاری مشاهده گردید. از آنجایی‌که گاوزبان گیاهی رشد نامحدود است، منحنی‌ها تا آخرین نمونه‌برداری یعنی حدود ۱۴۰۰ درجه روز رشد هم روند نزولی نداشتند. حداکثر اختلاف بین سطوح آبیاری در

جدول ۶- ضرایب معادله نمایی برای تغییرات ماده خشک گاوزبان بر اساس درجه روزهای رشد در تیمارهای مختلف

Table 6. Coefficients of polynomial equation for changes in borage dry matter based on growing degree days (GDDs) at different treatments

تیمار Treatment		عرض از مبدأ(a) Intercept	ضریب رگرسیون خطی(b) linear regression coefficient	ضریب رگرسیون درجه دو (c) quadratic regression coefficient	ضریب تبیین (R^2) R-Square
I_1	P_0	-0.4310	0.0100	-3.883×10^{-6}	0.993
	P_1	0.9583	0.0073	-2.529×10^{-6}	0.969
	P_2	1.0135	0.0070	-2.322×10^{-6}	0.989
	P_3	0.9515	0.0068	-2.218×10^{-6}	0.989
I_2	P_0	0.0114	0.0090	-3.283×10^{-6}	0.996
	P_1	2.0720	0.0054	-1.827×10^{-6}	0.993
	P_2	1.9210	0.0055	-1.829×10^{-6}	0.977
	P_3	0.8293	0.0073	-2.510×10^{-6}	0.978
I_3	P_0	0.2315	0.0087	-3.280×10^{-6}	0.996
	P_1	1.5654	0.0066	-2.371×10^{-6}	0.991
	P_2	1.5591	0.0066	-2.580×10^{-6}	0.986
	P_3	1.5765	0.0064	-2.303×10^{-6}	0.985
I_4	P_0	0.2435	0.0087	-3.417×10^{-6}	0.997
	P_1	-0.3935	0.0096	-3.794×10^{-6}	0.993
	P_2	0.9834	0.0069	-2.549×10^{-6}	0.990
	P_3	0.7332	0.0078	-3.134×10^{-6}	0.995

I_1، I_2، I_3، I_4: به‌ترتیب آبیاری پس از ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A

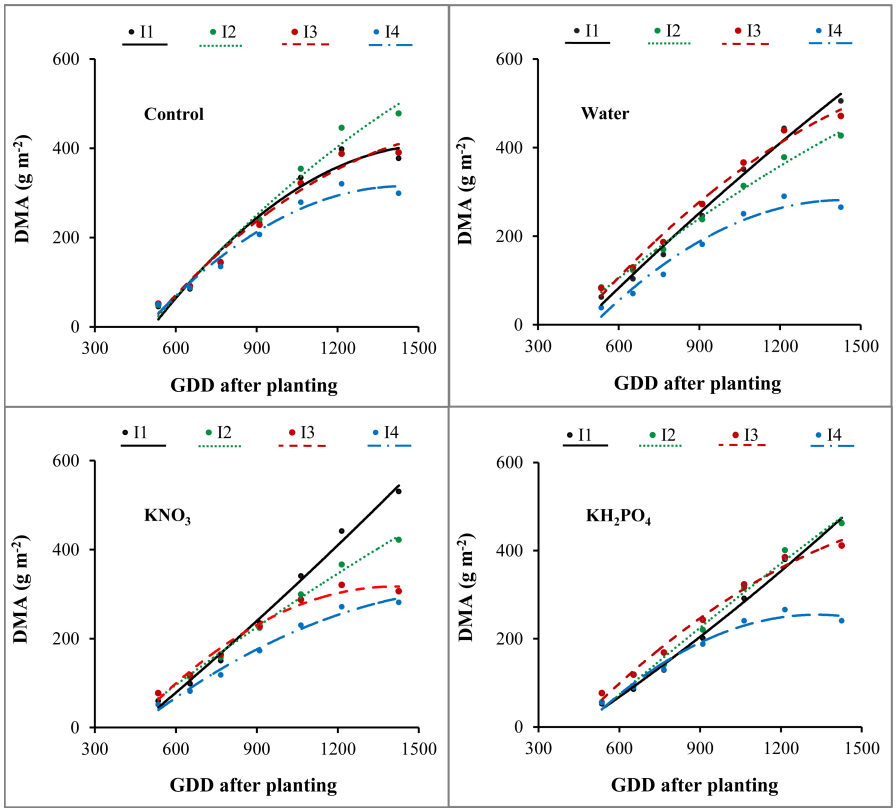
P_0، P_1، P_2، P_3: به‌ترتیب عدم پیش‌تیمار و پیش‌تیمار با آب مقطر، KNO_3 و KH_2PO_4

I_1, I_2, I_3, I_4: Irrigation after 60, 90, 120 and 150 mm evaporation from class A pan, respectively

P_0, P_1, P_2, P_3: Control and priming with water, KNO_3 and KH_2PO_4, respectively.

تمام تیمارهای بذری در آخرین مرحله نمونه‌برداری مشاهده گردید. در هر چهار تیمار بذر، کمترین تجمع ماده خشک به گیاهان آبیاری شده با فواصل ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر (I_4) مربوط بود (شکل ۵) که علت آن می‌تواند کاهش معنی‌دار سطح برگ (شکل ۴) و به تبع آن کاهش توانایی گیاه در انجام فتوسنتز و انتقال مواد سنتز شده به اندام‌های مختلف در این شرایط باشد. در گیاهان حاصل از بذرهای تیمار نشده، تجمع ماده خشک تحت تنش ملایم (I_2) پس از ۹۰۰ درجه روز رشد، بیشتر از سایر سطوح آبیاری بود که این برتری تا آخرین اندازه‌گیری ادامه داشت و منحنی تغییرات ماده خشک گیاهان تحت I_1 و I_3 با شیب کمتری نسبت به I_2 و با روند مشابهی نسبت به هم افزایش نشان دادند. در گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده با آب مقطر و دی هیدروفسفات پتاسیم (KH_2PO_4)، منحنی تجمع ماده خشک تحت تیمارهای I_1، I_2 و I_3 با شیب مشابهی افزایش یافت و تا ۱۴۰۰ درجه روز رشد کاهشی در آن‌ها مشاهده نگردید. در حالی‌که ماده خشک گیاهان تحت تیمار I_4 (به‌ویژه پس از ۹۰۰ درجه روز رشد) به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از سایر سطوح آبیاری بود (شکل ۵). در گیاهان حاصل از بذرهای تیمار شده با نیترات پتاسیم (KNO_3)، با افزایش فواصل آبیاری، ماده خشک تجمع یافته در مراحل مختلف رشد کاهش یافت. تحت تیمارهای I_1 و I_2، گیاهان از زمان طولانی‌تری برای تجمع ماده خشک در مقایسه با سایر سطوح آبیاری برخوردار بودند (شکل ۵).

بسته شدن روزنه‌ها اولین واکنش گیاه در مقابل افت پتانسیل آب برگ بر اثر تنش کم‌آبی است. این امر نفوذ دی اکسید کربن به سلول‌های مزوفیلی کلروپلاست‌ها را محدود می‌کند که نتیجه آن کاهش میزان فتوسنتز می‌باشد (Flexas *et al.*, 2006). تنش کم‌آبی از طریق کوتاه کردن دوره رشد و کاهش سطح برگ و ظرفیت فتوسنتزی گیاه، سبب افت تولید و تجمع ماده خشک می‌گردد (Karimi and Siddique 1991؛ Ghassemi-Golezani *et al.*, 2009). تولید ماده خشک در گیاه وابستگی شدیدی به سطح برگ، مقدار نور جذب شده، سرعت فتوسنتز و کارآیی



شکل ۵- تغییرات تجمع ماده خشک گاوزبان بر مبنای درجه روزهای رشد در فواصل مختلف آبیاری برای گیاهان حاصل از بذرهای تیمار نشده و پیش‌تیمار شده با آب مقطر، KNO_3 و KH_2PO_4

Figure 5. Changes in dry matter accumulation (DMA) of borage based on growing degree days (GDDs) at different irrigation intervals for plants from unprimed seeds (control) and seeds primed with water, KNO_3 and KH_2PO_4

I_1، I_2، I_3، I_4: به‌ترتیب آبیاری پس از ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A

I_1, I_2, I_3, I_4: Irrigation after 60, 90, 120 and 150 mm evaporation from class A pan, respectively.

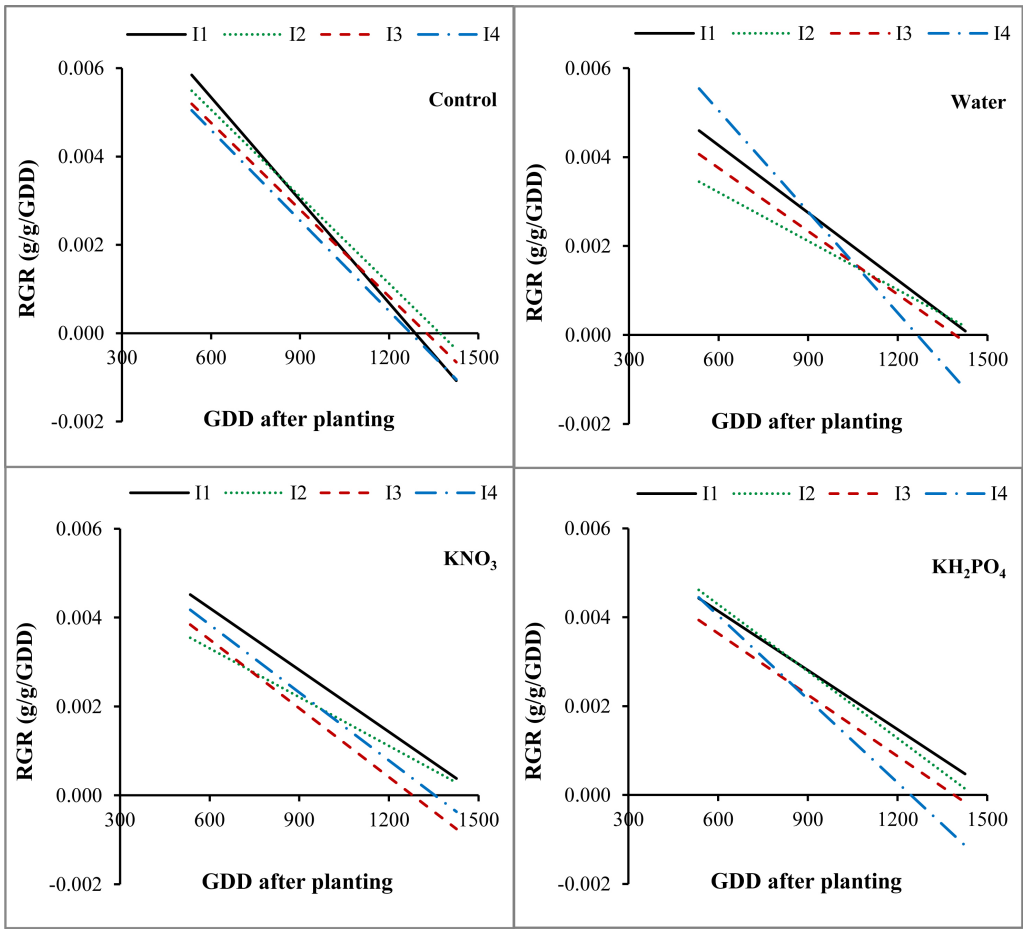
تبدیل انرژی به ماده خشک دارد و برای افزایش سرعت تولید ماده خشک لازم است که سرعت فتوسنتز با حفظ سطح برگ در طول دوره رشد بالا نگه داشته شود (Hirasawa and Hsiao, 1999). کاهش تجمع ماده خشک بر اثر تنش کم‌آبی در لوبیا (Ghassemi-Golezani and Mardfar, 2008) و باقلا (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2009) نیز گزارش شده است. پیش‌تیمار بذر از طریق افزایش شاخص سطح برگ (شکل‌های۲ و ۳)، تعداد سلول‌های مزوفیلی و تعداد کلروپلاست، باعث کاهش هدررفت نوری و بهبود توان فتوسنتزی برگ شده و به تولید ماده خشک بیشتر منجر می‌شود (Shekari *et al.*, 2010).

۳-۳-۳- سرعت رشد نسبی (RGR)

سرعت رشد نسبی نشانگر میزان افزایش وزن خشک گیاه نسبت به وزن خشک اولیه در واحد زمان است و معمولاً بر حسب گرم بر گرم در روز تعیین می‌شود. در ابتدای دوره رشد، RGR به‌علت سایه‌اندازی کمتر برگ‌ها و نفوذ بهتر نور بیشتر بود، ولی با سپری شدن دوره رشد و افزایش درجه روزهای رشد، سرعت رشد نسبی گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده و نشده تحت تیمارهای مختلف آبیاری به‌طور خطی کاهش یافت. این شاخص در مراحل انتهایی رشد به‌دلیل ریزش برگ‌های پیر گیاهان در اکثر تیمارها مقادیر منفی به خود گرفت. در مراحل اولیه رشد، گیاهان حاصل از بذرهای شاهد در تمام سطوح آبیاری RGR بیشتری در مقایسه با گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده داشتند.

در مقابل، سرعت رشد نسبی گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده در اغلب موارد با شیب کمتری نسبت به گیاهان حاصل از بذرهای تیمار نشده کاهش یافت. در گیاهان حاصل از بذرهای شاهد، سرعت رشد نسبی تا ۹۰۰ درجه روز رشد برای تیمارهای I_1 و I_2 مشابه بود. پس از آن برتری این شاخص در آبیاری مطلوب به‌تدریج کاهش یافت و سپس کمتر از سایر تیمارهای آبیاری شد. در گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده، مقدار RGR در شرایط آبیاری مطلوب (I_1) و تنش ملایم (I_2) برخلاف گیاهان حاصل از بذرهای شاهد تا آخرین نمونه‌برداری همچنان مثبت بود. سرعت رشد نسبی گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده با آب مقطر و دی هیدروفسفات پتاسیم (KH_2PO_4) تحت تنش شدید (I_4) با سرعت بیشتری در مقایسه با سایر سطوح آبیاری کاهش یافت (شکل ۶).

اگرچه وزن خشک کل گیاه با گذشت زمان افزایش می‌یابد، ولی قسمت عمده این افزایش به بافت‌های بالغ و مسن که فعالیت متابولیکی خود را از دست داده‌اند، مربوط است. پس با گذشت زمان از بافت‌های فعال و جوان گیاه کاسته شده و به بافت‌های بالغ و مسن افزوده می‌شود و در نتیجه سرعت رشد نسبی که همان کارآیی واحد وزن گیاه است به



شکل ۶- تغییرات سرعت رشد نسبی گاوزبان بر مبنای درجه روز رشد در فواصل مختلف آبیاری برای گیاهان حاصل از بذرهای تیمار نشده و تیمار شده با آب مقطر، KNO_3 و KH_2PO_4

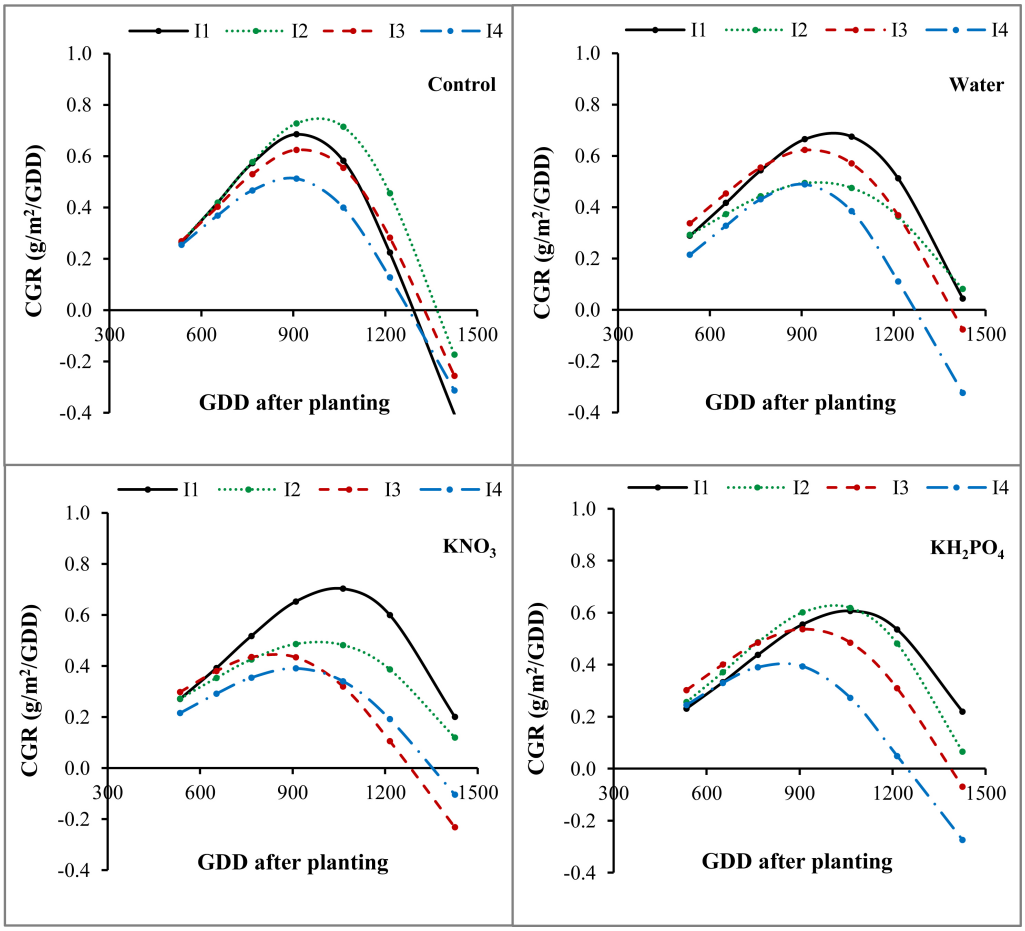
Figure 6. Changes in relative growth rate (RGR) of borage based on growing degree days (GDDs) at different irrigation intervals for plants from unprimed seeds (control) and seeds primed with water, KNO_3 and KH_2PO_4

I_1، I_2، I_3، I_4: به‌ترتیب آبیاری پس از ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A

I_1, I_2, I_3, I_4: Irrigation after 60, 90, 120 and 150 mm evaporation from class A pan, respectively.

صورت خطی کاهش می‌یابد (Ahmadi and Sio-Se Mardeh, 2004). میانگین سرعت رشد نسبی در طول فصل زراعی معمولاً سیر نزولی دارد (Costa-Franca *et al.*, 2000) که با افزایش سن برگ‌های پایین‌تر گیاه و در سایه قرار گرفتن آن‌ها و همچنین افزایش بافت‌های ساختمانی که اغلب در فتوسنتز نقشی ندارند، در ارتباط است.

سرعت رشد نسبی بالا در گیاهان یک مزیت اکولوژیکی محسوب می‌شود، زیرا گیاهانی که رشد سریعی دارند، فضا را زودتر اشغال نموده و همین امر در شرایط رقابت برای منابع محدود یک مزیت محسوب می‌شود. همچنین RGR بالا ممکن است محصول گیاهان با دوره رشد کوتاه را به حداکثر برساند (Lambers *et al.*, 2008). با این‌حال، سرعت رشد نسبی کمتر تحت تنش کم‌آبی می‌تواند به‌دلیل مصرف تدریجی رطوبت موجود در خاک و حفظ آن برای مراحل انتهایی رشد، مطلوب‌تر باشد (Chapin, 1980). نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که تنش خشکی بر سرعت رشد نسبی گیاه اثر منفی دارد (Costa-Franca *et al.*, 2000؛ Choluj *et al.*, 2004؛ Ghassemi-Golezani and Mardfar, 2008).



شکل ۷- تغییرات سرعت رشد گیاه گاوزبان بر مبنای درجه روز رشد در تیمارهای مختلف آبیاری برای گیاهان حاصل از بذرهای تیمار نشده و پیش‌تیمار شده با آب مقطر، KNO_3 و KH_2PO_4

Figure 7. Changes in crop growth rate (CGR) of borage based on growing degree days (GDDs) at different irrigation intervals for plants from unprimed seeds (control) and seeds primed with water, KNO_3 and KH_2PO_4

I_1، I_2، I_3، I_4: به‌ترتیب آبیاری پس از ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A

I_1, I_2, I_3, I_4: Irrigation after 60, 90, 120 and 150 mm evaporation from class A pan, respectively

سرعت رشد گیاه (CGR)

سرعت رشد گیاه، میزان تجمع ماده خشک در واحد سطح زمین و زمان است که بر حسب گرم در مترمربع در روز محاسبه می‌گردد. در مراحل اولیه رشد به‌دلیل محدود بودن سطح فتوسنتز کننده و کامل نبودن اثرات کم‌آبی، بین سرعت رشد گیاهان حاصل از بذرهای تیمار شده و نشده تحت سطوح مختلف آبیاری اختلاف کمی وجود داشت، ولی با گذشت زمان تفاوت‌ها آشکار گردید. به‌طوری‌که با کاهش آب قابل دسترس برای گیاهان، CGR به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش نشان داد. این شاخص ابتدا روند افزایشی داشت و پس از رسیدن به حداکثر مقدار خود به‌علت پیر شدن و ریزش برگ‌ها روند کاهشی پیدا کرد. سرعت رشد گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده تحت تیمارهای I_3 و I_4 سریع‌تر و در درجه روز رشد کمتری نسبت به I_1 و I_2 به حداکثر مقدار خود رسید (شکل ۷).

در گیاهان حاصل از بذرهای شاهد، حداکثر CGR تحت تیمارهای I_1، I_3 و I_4 در حدود ۹۰۰ درجه روز رشد حاصل شد، درحالی که با آبیاری گیاهان با فاصله ۹۰ میلی‌متر تبخیر (I_2) حداکثر این شاخص در ۱۰۵۰ درجه روز رشد به‌دست آمد. در محدوده ۱۳۰۰ تا ۱۴۰۰ درجه روز رشد، سرعت رشد گیاه برای بذرهای شاهد در همه تیمارهای آبیاری و برای بذرهای پیش‌تیمار شده تحت تنش متوسط (I_3) و شدید (I_4) منفی شد. این کاهش برای گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار نشده در مراحل پایانی رشد تحت تیمار I_1 شدیدتر و با شیب بیشتری همراه بود که دلیل آن می‌تواند سایه‌اندازی بیشتر برگ‌ها و کاهش شدید تجمع ماده خشک باشد. پیش‌تیمار بذر با آب مقطر تنها در شرایط آبیاری مطلوب (I_1) به افزایش سرعت رشد گیاه منجر گردید. سرعت رشد گیاهان حاصل از بذرهای تیمار شده با KNO_3 تحت I_2، I_3 و I_4 و KH_2PO_4 تحت همه سطوح آبیاری کمتر از گیاهان حاصل از بذرهای تیمار نشده بود، ولی دوام رشد این گیاهان تحت تیمارهای I_1، I_2 و I_3 بیشتر از گیاهان حاصل از بذرهای تیمار نشده بود (شکل ۷). سرعت رشد گیاه به جذب نور توسط برگ‌ها، طول دوره جذب نور و کارآیی مصرف نور وابسته است. در اوایل دوره رشد به‌دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی و جذب کمتر نور توسط گیاه، سرعت رشد کم است، اما با افزایش سطح برگ و دریافت نور کافی، تولید ماده خشک در واحد سطح و به تبع آن CGR افزایش یافته و به حداکثر مقدار خود می‌رسد و پس از آن به‌دلیل سایه‌اندازی برگ‌های بالایی روی برگ‌های پایینی، زرد شدن برگ‌ها و اختصاص مواد فتوسنتزی به دانه‌ها روند نزولی پیدا کرده و در نهایت به‌سبب ریزش تعدادی از برگ‌ها منفی می‌گردد. به‌دلیل اثر مثبت پیش‌تیمار بذر بر سرعت سبز شدن و استقرار گیاهچه (شکل ۲) و بهبود سطح برگ گیاه (شکل‌های ۳ و ۴)، گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده توانایی بالایی در حفظ بافت فتوسنتز کننده داشته و توانسته‌اند با مقاومت نسبی در برابر کمبود آب و ادامه فتوسنتز تا حدودی بر وزن خشک خود بیفزایند.

تحت شرایط کم‌آبی، گیاه برای فرار از اثرات نامطلوب تنش، دوره رشد خود را با دریافت درجه روز رشد کمتری به اتمام رسانده و این امر به کاهش ماده خشک تولیدی گیاه و در نهایت عملکرد کمتر منجر می‌شود. افت رشد تحت شرایط کم‌آبی را می‌توان به کاهش سطح برگ (شکل ۴) و تجمع ماده خشک (شکل ۵) نسبت داد. کمبود آب از طریق اثرات منفی بر فرایندهای مختلف مورفوفیزیولوژیکی گیاه مانند کاهش سطح برگ و ظرفیت فتوسنتزی گیاهان، تولید ماده خشک و در نهایت سرعت رشد گیاهان را کاهش می‌دهد (Karimi and Siddique, 1991). نتایج مشابهی مبنی بر کاهش سرعت رشد گیاه بر اثر کم‌آبی در گندم نیز گزارش شده است (Ahmadi *et al.*, 2006). در گیاه گندم هم حداکثر سرعت رشد در شرایط آبیاری مطلوب دیرتر حاصل شده و افت آن تحت تنش شدید کم‌آبی به‌طور معنی‌دار سریع‌تر از سایر تیمارهای آبیاری اتفاق افتاده است که دلیل آن کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ عنوان شده است (Dehghanzadeh-Jazy *et al.*, 2007).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که پیش‌تیمار بذر گاوزبان می‌تواند شاخص سطح برگ این گیاه را به‌خصوص در شرایط آبیاری مطلوب از طریق افزایش سرعت سبز شدن گیاهچه بهبود بخشد. اگرچه تجمع ماده خشک، سرعت رشد نسبی و

سرعت رشد گیاهان با افزایش فواصل آبیاری کاهش یافت، اما، دوره رشد گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده طولانی‌تر از گیاهان حاصل از بذرهای تیمار نشده بود که به تولید گیاهانی بزرگ‌تر به‌ویژه در شرایط آبیاری مطلوب منجر شد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از کارکنان مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز (اراضی کرکج) نهایت تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

Afzal, I., Basra, S.M.A., Ahmad, N., Cheema, M.A., Warraich, E.A. and Khaliq, A. 2002. Effect of priming and growth regulator treatments on emergence and seedling growth of hybrid maize (*Zea mays* L.). International Journal of Agriculture and Biology, 4: 303-306. **(Journal)**

Ahmadi, A., Saeedi, M. and Zalli, A.A. 2006. Drought resistance and its relation with yield, leaf area and crop growth rate during reproductive stage in bread wheat genotypes with different breeding background. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 12(5): 82-90. (In Persian) **(Journal)**

Ahmadi, A. and Sio-Se Mardeh, A. 2004. The effects of water stress on soluble carbohydrates, chlorophyll and proline contents of four Iranian wheat cultivars under different moisture regimes. Iranian Journal of Agriculture Science, 35(3): 753-763. (In Persian)**(Journal)**

Ahvazi, M., Rezvani-Aghdam, A. and Habibi-Khaniani, B. 2010. Medicinal plants seeds (morphology, physiology and medicinal properties). Volume 1, SID Publications, Tehran, Iran, 228 p. (In Persian) **(Book)**

Ashraf, M. and Foolad, M.R. 2005. Pre-sowing seed treatment - A shotgun approach to improve germination, plant growth and crop yield under saline and non-saline conditions. Advances in Agronomy, 88: 223-271. **(Journal)**

Ashraf, M. and Harris, P.J.C. 2005. Abiotic stresses: Plant resistance through breeding and molecular approaches. Food Products Press, New York, 725p. **(Book)**

Basra, S.M.A., Ullah, E., Warraich, E.A., Cheema, M.A. and Afzal, I. 2003. Effect of storage on growth and yield of primed canola (*Brassica napus*) seeds. International Journal of Agriculture and Biology, 5: 117-120. **(Journal)**

Bittencourt, M.L.C., Dias, D.C.F.S., Dias, L.A.S. and Araujo, E.F. 2004. Effect of priming on asparagus seed germination and vigour under water and temperature stress. Seed Science and Technology, 32: 607-616. **(Journal)**

Bradford, K.J. 1986. Manipulation of seed water relation via osmotic priming to improve germination under stress conditions. HortScience, 21: 1105-1112. **(Journal)**

Bradford, K.J. 1995. Water relations in seed germination. In: Kigel, J. and Galili, G. (Eds.). Seed development and germination. Marcel Dekker, New York, pp: 351-396. **(Book)**

Bradford, K.J., Chen, F., Cooley, M.B., Dahal, P., Downie, B., Fukunaga, K.K., Gee, O.H., Gurusinghe, S., Mella, R.A., Nonogaki, H., Wu, C.T., Yang, H. and Yim, K.O. 2000. Gene expression prior to radical emergence in imbibed tomato seeds. In: Black, M., Bradfoard, K.J. and Vazquez-Ramos, J. (Eds.). Advances and applications in seed biology. Wallingford, UK: CAB International, pp. 231-251. **(Book)**

Chapin, F.S. 1980. The mineral nutrition of wild plants. Annual Review of Ecology and Systematics, 11: 233-260. **(Handbook)**

Choluj, D., Karwowska, R., Jasinka, M. and Haber, G. 2004. Growth and dry matter partitioning in sugar beet plants (*Beta vulgaris* L.) under moderate drought. Plant, Soil and Environment, 50: 265-272. **(Journal)**

Costa-Franca, M.G., Thi, A.T., Pimental, C., Pereyra, R.O., Zuily-Fodil, Y. and Laffray, D. 2000. Differences in growth and water relations among *Phaseolus vulgaris* cultivars in response to induced drought stress. Environmental and Experimental Botany, 43: 227-237. **(Journal)**

De Castro, R.D., Van-Lammeren, A.A.M., Groot, S.P.C., Bino, R.J. and Hilhorst, H.W.M. 2000. Cell division and subsequent radical protrusion in tomato seeds are inhibited by osmotic stress but DNA synthesis and formation of microtubular cytoskeleton are not. Plant Physiology, 122: 327-336. **(Journal)**

Dehghanzadeh-Jazy, H., Khajeh-Poor, M.R., Heidari-Sharif-Abad, H. and Soleimani, A. 2007. Growth indices of winter wheat as affected by irrigation regimes under Iran conditions. Pakistan Journal of Biological Sciences, 10: 4495-4499. **(Journal)**

Ellis, R.H. and Roberts, E.H. 1980. Towards a rational basis for testing seed quality. In: Hebblethwaite, P.D. (Ed.). Seed production. Butterworths, London, pp: 605-635. **(Book)**

Flexas, J., Bota, J., Galmés, J., Medrano, H. and Ribas-Carbó, M. 2006. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. Physiologia Plantarum, 127: 343-352. **(Journal)**

Gardner, F.P., Pearce, R.B. and Mitchell, R.L. 1985. Physiology of crop plants. Lowa State University Ames. USA. **(Book)**

Ghaderi, F.A., Soltani, A. and Sadeghipour, H.R. 2008. Cardinal temperatures of germination in medicinal Pumpkin (*Cucurbita pepo* convar. *Pepo* var. *styriaca*), Borage (*Borago officinalis* L.) and Black cumin (*Nigella sativa* L.). Asian Journal of Plant Sciences, 7: 574-578. **(Journal)**

Ghassemi-Golezani, K. and Mardfar, R.A. 2008. Effects of limited irrigation on growth and grain yield of common bean. Journal of Plant Science, 3: 230-235. **(Journal)**

Ghassemi-Golezani, K., Aliloo, A.A., Valizadeh, M. and Moghaddam, M. 2008. Effects of different priming techniques on seed invigoration and seedling establishment of lentil (*Lens culinaris* Medik). Journal of Food, Agriculture and Environment, 6: 222-226. **(Journal)**

Ghassemi-Golezani, K., Ghanehpoor S., and Dabbagh-Mohammadi-Nasab, A. 2009. Effects of water limitation on growth and grain filling of faba bean cultivars. Journal of Food, Agriculture and Environment, 7: 442-447. **(Journal)**

Ghassemi-Golezani, K. and Dalil, B. 2011. Seed germination and vigor tests. SID Publications, Mashhad, Iran, 104p. (In Persian)**(Book)**

Harris, D., Tripathi, R.S. and Joshi, A. 2002. On-farm seed priming to improve crop establishment and yield in dry direct-seeded rice. In: Pandey, S., Mortimer, M., Wade, L., Tuong, T.P., Lopez, K. and Hardy, B. (Eds.). Direct seeding: research strategies and opportunities. International Research Institute, Manila, Philippines, pp: 231-240. **(Book)**

Hirasawa, T. and Hsiao, T.C. 1999. Some characteristics of reduced leaf photosynthesis at midday in maize growing in the field. Field Crops Research, 62: 53-62. **(Journal)**

Hsiao, T.C. 2000. Leaf and root growth in relation to water status. HortScience, 35: 1051-1058. **(Journal)**

Hussian, I., Ahmad, R., Farooq, M. and Wahid, A. 2013. Seed Priming improves the performance of poor quality wheat seed. International Journal of Agriculture and Biology, 15: 1343-1348. **(Journal)**

Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H.J., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture and Biology, 11: 100-105. **(Journal)**

Job, D., Capron, I., Job, C., Dacher, F., Corbineau, F. and Côme, D. 2000. Identification of germination-specific protein markers and their use in seed priming technology. In: Black, M., Bradfoard, K.J. and Vazquez-Ramos, J. (Eds.). Seed biology: advances and applications. Proceedings of the Sixth International Workshop on Seeds, Merida, Mexico, Wallingford, UK, CABI Publishing, pp. 449-459. **(Book)**

Karimi, M.M. and Siddique, K.H.M. 1991. Crop growth and relative growth-rate of old and modern wheat cultivars. Australian Journal of Agricultural Research, 42: 13-20. **(Journal)**

Khan, A.A. 1992. Preplant physiological seed conditioning. Horticultural Reviews, 13: 131-181. **(Journal)**

Lambers, H., Chapin, F.S. and Pons, T.L. 2008. Plant Physiological Ecology. 2nd edition, Springer, New York, 610p. **(Book)**

Mc Donald, M.B. 2000. Seed priming. In: Black, M. and Bewley, J.D. (Eds.). Seed technology and its biological basis. Sheffield Academic Press, England, pp: 287-326. **(Book)**

Omidbaigi, R. 2010. Production and processing of medicinal plants. Volume 4, Astan Quds Razavi Publications, 423p. (In Persian)**(Book)**

Parameshwarappa, S.G. and Salimath, P.M. 2008. Field screening of chickpea genotypes for drought resistance. Karnataka Journal of Agriculture Science, 21: 113-114. **(Journal)**

Parera, C.A. and Cantliffe, D.J. 1994. Pre-sowing seed priming. In: Maclaren, J.S. (Ed.). Chemical manipulation of crop growth and development. Butterworth, London, Horticultural Reviews, pp: 109-141. **(Book)**

Pessarakli, M. 1999. Hand book of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Inc. New York, 697p. **(Book)**

Reddy, A.R., Chaitanya, K.V. and Vivekanandan, M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology, 161: 1189-1202. **(Journal)**

Shekari, F., Baljani, R., Saba, J. Afsahi, K. and Shekari, F. 2010. Effect of seed priming with salicylic acid on growth characteristics of borage plants (*Borago officinalis*) seedlings. Agroecology Journal (Journal of New Agricultural Science), 6(1): 47-53. (In Persian)**(Journal)**

Singh, G., Gill, S.S. and Sandhu, K.K. 1999. Improved performance of muskmelon (*Cucumis melo*) seeds with osmo-conditioning. Acta Agrobotanica, 52: 121-126. **(Journal)**

Sivritepe, N., Sivritepe, H.O. and Eris, A. 2003. The effects of NaCl priming on salt tolerance in melon seedling grown under saline conditions. Scientia Horticulturae, 97: 229-237. **(Journal)**

Smith, D.L. and Hamel, C. 1999. Crop yield: physiology and processes. Springer-Verlag, Berline Heidelberg. **(Book)**

Taiz, L. and Zeiger, E. 2002. Plant Physiology. 3rd Edition, Sinauer Associates, Sunderland, USA, 690p.

Taylor, A.G., Kleina, D.E. and Whitlow, T.H. 1988. Solid matrix priming of seeds. Scientia Horticulturae, 37: 1-11. **(Journal)**

Changes in germination and growth indices of borage (*Borago officinalis* L.) in response to seed priming and different irrigation intervals

Soheila Dastborhan*, Kazem Ghassemi-Golezani, Farhood Yeganehpoor

Received: December 19, 2016 Accepted: September 10, 2017

Abstract

In order to evaluate seed germination, seedling emergence and changes in growth indices of borage in response to seed priming and water limitation, laboratory tests were laid out as completely randomized design with four replicates and field experiment was carried out as split plot based on randomized complete block design with three replications in 2012. Irrigation treatments (I_1, I_2, I_3 and I_4: irrigation after 60, 90, 120 and 150 mm evaporation from class A pan, respectively) and seed priming methods (P_0: unprimed, P_1: hydro-priming, P_2: priming with 100 mM KNO_3, P_3: priming with 100 mM KH_2PO_4 for 8 h at 15±1°C) were allocated to main and sub plots, respectively. Results indicated that seed hydro-priming increased germination rate and seedling dry weight of borage by 15.9% and 22.6%, respectively. Emergence rate of borage seedlings was also improved about 7% under different seed treatments. At vegetative stage, leaf area index of plants from seeds primed with water, KNO_3 and KH_2PO_4 was 22.8, 39.7 and 16.1% higher than that of unprimed seeds. At flowering stage, water loss of the plants decreased under water deficit conditions by reducing the leaf area index. All priming techniques, especially hydro-priming, improved leaf area index, particularly under well watering, through increasing seedling emergence rate. Dry matter accumulation, relative growth rate and crop growth rate decreased with increasing irrigation intervals. However, growth duration of plants from primed seeds was longer than those from unprimed seeds, leading to the production of larger plants under well watering.

Key words: Borage; Drought stress; Dry matter; Growth rate; Leaf area; Seed priming

How to cite this article
Dastborhan, S., Ghassemi-Golezani, K. and Yeganehpoor, F. 2019. Changes in germination and growth indices of borage (*Borago officinalis* L.) in response to seed priming and different irrigation intervals. Iranian Journal of Seed Science and Research, 6(1): 1-18. (In Persian)**(Journal)**
DOI: 10.22124/jms.2019.3584

COPYRIGHTS
Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research
The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

Department of Plant Eco-physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
*Corresponding author: dastborhan.s@gmail.com