برهم‌کنش عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) و تنش خشکی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گیاه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon sculentum* L.)

راهله احمدپور[1*]، فرنوش محمدی[2]، نظام آرمند[3]

[1] دانشجو دکتری، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران

[2] دانشجوی کارشناسی، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران

[3] استادیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۲۶

چکیده

جوانه‌زنی از مهمترین فرآیندهای مهم در چرخه حیات گیاهان است و گزارش‌های متعددی نشان می دهند که چنانچه مرحله جوانه‌زنی یک بذر در شرایط تنش با موفقیت همراه باشد، در مراحل بعدی رشد و نمو، گیاهچه‌هایی با بنیه بهتر و سیستم ریشه‌ای قوی‌تر تولید خواهند کرد. تنش خشکی در خاک با کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی نقش مهمی در کاهش رشد، عملکرد و محصول گیاه گوجه‌فرنگی دارد. عصاره جلبک دریایی *آسکوفیوم نودوسوم*، به دلیل داشتن تنظیم کننده‌های رشد گیاهی نظیر اکسین و سیتوکینین، مقادیر بالای عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف، ویتامین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها می‌تواند تأثیر تنش‌های مختلف را بر گیاهان کاهش-دهد. در این راستا به منظور بررسی اثر سطوح مختلف عصاره جلبک دریایی و تنش خشکی بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشدی گوجه‌فرنگی (رقم موبیل) آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان در سال ۱۳۹۷ به اجراء درآمد. عوامل مورد بررسی شامل: عصاره جلبکی در ۴ سطح (۰، ۱، ۲ و ۳ درصد) و تنش خشکی در چهار سطح (۰، ۰/۳-، ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسکال) بود. تنش خشکی توسط پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰اعمال شد. نتایج نشان داد که عصاره جلبک دریایی در تمامی سطوح موجب افزایش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی، آندوسپرم مصرفی، طول ریشه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و طول گیاهچه شد. در بررسی اثرات متقابل عصاره و تنش مشاهده شد که تنش خشکی در تمامی سطوح (۰/۳-، ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسکال) موجب کاهش معنی‌دار کلیه صفات مورد بررسی در مقایسه با شرایط بدون تنش شد اما کاربرد عصاره جلبکی به‌ویژه در سطوح ۲ و ۳ درصد حجمی منجر به افزایش سرعت جوانه‌زنی، قدرت جوانه‌زنی، میانگین مدت زمان جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، طول ساقه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه شد. با توجه به نتایج این پژوهش استفاده از عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم نودوسوم به عنوان پیش‌تیمار می‌تواند در بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی، خصوصیات رشدی و استقرار مناسب گیاهچه نقش مهمی ایفا کند و باعث افزایش عملکرد این گیاه در شرایط تنش خشکی گردد.

واژه‌های کلیدی: کودهای زیستی، آندوسپرم مصرفی، شاخص بنیه بذر، میانگین مدت جوانه‌زنی، PEG

مقدمه

گوجه‌فرنگی یکی از مهمترین سبزیجات، از خانواده سیب‌زمینی می باشد که امروزه به عنوان یک منبع غنی از ویتامین و مواد معدنی برای تغذیه به شمار می‌آید (Foolad et al., 2003). جوانه‌زنی از مهمترین فرآیندهای مهم در چرخه گیاهان است و گزارش‌های متعددی نشان می‌دهند که چنانچه مرحله جوانه زنی یک بذر در شرایط تنش با

*نویسنده مسئول: ahmadpour_tmu@yahoo.com

موفقیت همراه باشد، در مراحل بعدی رشد و نمو، گیاهچه‌هایی با بنیه بهتر و سیستم ریشه ای قوی‌تر تولید خواهند کرد (Mokhtari et al., 2009). در یک مطالعه گزارش شد که بنیه و قابلیت زیست بذر دو عامل تأثیرگذار بر استقرار گیاهچه، رشد و عملکرد گیاه است (Mensah et al., 2006). یکنواختی در سبز شدن به درصد و سرعت جوانه زنی بستگی دارد که این دو تحت تاثیر عواملی مانند شوری، خشکی، عناصر غذایی دمای محیط و اثرات متقابل این عوامل قرار می‌گیرند. یکی از عوامل تأثیرگذار در کاهش پارامترهای جوانه‌زنی گوجه‌فرنگی، حساسیت بسیار بالای این گیاه به تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی است (Mahajan et al., 2009). کمبود آب محیط، تأثیر مستقیمی بر سرعت جذب آب و در نتیجه جوانه‌زنی گیاه دارد، از سوی دیگر می تواند به طور غیرمستقیم بر نمو دانه، ذخایر غذایی و کیفیت زیست نیز اثر بگذارد (Ahmadpour et al., 2011). بذرهای گوجه‌فرنگی حساسیت بالایی نسبت به تنش خشکی داشته و در یک مطالعه گزارش شد که تنش خشکی منجر به کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی نظیر درصد، سرعت و قدرت جوانه‌زنی شد (Mauromicale et al., 1995). به‌منظور بررسی تنش خشکی بر بذرهای گوجه‌فرنگی از پلی اتیلن گلایکول (PEG) استفاده شد که در ایجاد محیط‌های مصنوعی کنترل پتانسیل آب نقش دارد و علاوه بر جرم ملکولی بالا، در بافت‌های گیاه نفوذ نمی‌کند و بر عکس موادی همچون کلرید سدیم، مانیتول و ساکارز باعث صدمه به گیاه نمی‌شود (Emmerich and Hardegree, 1991). PEG به دلیل ایجاد محلولی با شرایط مشابه طبیعی بیشترین کاربرد را در تحقیقات تحمل به خشکی پیدا کرده است (Emmerich and Hardegree, 1991).

در یک مطالعه گزارش شد که کاربرد تیمارهای مناسب در جهت کاهش اثرات منفی ناشی از تنش می‌تواند در افزایش قدرت جوانه‌زنی بذر نقش داشته باشد و همچنین راهکاری مناسب به منظور افزایش رشد و عملکرد گیاه، استقرار مناسب گیاهچه‌ها و ایجاد یک سیستم ریشه‌ای قوی باشد (Hosseinzadeh et al., 2016). استفاده از عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) به‌عنوان روشی نوین و کاربردی مطرح است که برخی مطالعات نشان داده‌اند که می‌تواند در تحریک جوانه‌زنی و بهبود یکنواختی رشد گیاهچه‌ها به‌کار گرفته شود (Halmer et al., 2000; Zang and Ervin, 2004). عصاره جلبک دریایی با داشتن هورمون‌های رشد نظیر اکسین، سیتوکینین و ترکیبات ارزشمند دیگر نظیر نمک‌های معدنی، ویتامین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها می‌تواند تاثیر مفید و مثبتی بر خصوصیات مورفولوژی و جوانه‌زنی گیاهان داشته باشد (Ahmadpour et al., 2019). در عصاره جلبکی عناصر غذایی مغذی و پرکاربرد نظیر نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و عناصر غذایی کم کاربرد نظیر آهن، روی، مس و منگنز به وفور یافت می‌شود که می تواند اثر تحریکی بر فرآیندهای فیزیولوژیک بذر و مرحله جوانه‌زنی داشته باشد (Zang and Ervin, 2004). برخی مطالعات در زمینه استفاده از عصاره جلبکی نشان داد که کاربرد این عصاره در افزایش معنی‌دار شاخص‌های جوانه‌زنی، رشدی و عملکردی گندم نقش دارد (Kumar and Sahoo, 2011). در مطالعه دیگر گزارش شد که تلقیح جلبک‌ها در محیط‌های غذایی کشت گیاهان منجر به افزایش معنی‌دار خصوصیات رشدی گیاه می‌شود (Caffagni et al., 2005). در بررسی بر روی فرآیندهای ریشه زایی و رشد ریشه در برخی گیاهان زراعی نظیر نخود، لوبیا و عدس مشاهده شد که استفاده از عصاره جلبک دریایی موجب تاخیر در فرآیندهای پیری و افزایش معنی دار ریشه زایی و رشد ریشه شد (Craigie et al., 2011; Ahmadpour et al., 2019).

در مناطقی که بذرهای گیاهان با تنش خشکی مواجه هستند به دلیل بالا بودن اسیدیته خاک، جذب عناصر ریزمغذی معمولاً کم است و ممکن است مقدار موادغذایی جذب شده از خاک کافی نباشد (Veberic et al., 2005). از طرف دیگر ذخایر ناکافی عناصر مغذی در بذرها می‌تواند اثرات نامطلوبی را بر قدرت زیست بذرها و ظهور

گیاهچه‌ها باقی‌گذارد (Aref, 2011)، بنابراین استفاده از عصاره جلبک دریایی از طریق بیوپرایمینگ بذر می‌تواند بر تحریک پارامترهای جوانه‌زنی در گیاهان موثر باشد.

با توجه به حساسیت بالا به تنش کمبود آب و ضعیف بودن بذرهای گوجه‌فرنگی در مرحله جوانه‌زنی و قیمت نسبتاً بالای آن در مقایسه با سایر بذرهای صیفی جات، بررسی‌های متعدد در زمینه بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی ضروری است. از طرفی استفاده از کودهای شیمیایی به منظور تحریک جوانه‌زنی مشکلات زیست محیطی متعددی از جمله آلودگی منابع آب، اُفت کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش میزان حاصل‌خیزی خاک‌ها را به وجود آورده است اما عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم می تواند به عنوان کود زیستی و محصولی عاری از مواد شیمیایی جایگزین این کودها شوند و علاوه بر کاهش اثرات منفی زیست محیطی در جهت افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی و در نهایت محصول و عملکرد گیاه نقش داشته باشد. هدف اصلی از انجام این پژوهش ارزیابی اثرات ساده و متقابل عصاره جلبک دریایی به عنوان تیمار بهبود دهنده تنش خشکی و کاهش اثرات تنش بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر گوجه‌فرنگی بوده است.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی تاثیر عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم بر شاخص‌های جوانه‌زنی گوجه‌فرنگی (رقم موبیل) در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان در سال ۱۳۹۷ اجرا گردید. اولین تیمار مورد بررسی، عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم نودوسوم در ۴ سطح صفر (بدون کاربرد عصاره جلبکی)، ۱، ۲ و ۳ درصد حجمی بود. عامل خشکی نیز شامل ۴ سطح (صفر، ۰/۳–، ۰/۶– و ۰/۹– مگاپاسکال) که طبق دستورالعمل Michael and Kaufman (1976) ایجاد شد (جدول ۱) و برای پتانسیل صفر بار (شاهد) از آب مقطر استفاده شد. سطوح خشکی بر اساس آزمایش‌های مقدماتی و نتایج تحقیقات سایر محققان انتخاب شد. خصوصیات و ترکیبات موجود در عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم در جدول ۲ ذکر شده است. برای انجام این آزمایش ابتدا کلیه بذرها و ظروف استریل شدند، بدین صورت که بذرهای مورد استفاده به مدت ۳۰ ثانیه با قارچ‌کش بنومیل ۲ در هزار ضدعفونی و سپس با آب مقطر شستشو داده شدند. در هر واحد آزمایشی (پتری‌دیش به همراه کاغذ صافی استریل) ۳۰ عدد بذر قرار گرفت. به منظور اعمال تیمارهای مورد بررسی به هر واحد آزمایشی، ۸ سی سی از تیمارهای آزمایشی تهیه شده شامل سطوح مختلف عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم نودوسوم و تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلایکول اضافه شد. به منظور رعایت شرایط یکنواخت برای تمامی تیمارها ابتدا وزن اولیه آن‌ها یادداشت شد و سپس با پارافیلم درب پتری‌ها بسته شد و در محیط آزمایشگاه و در شرایط تاریکی قرار گرفت (Ahmadpour et al., 2015).

پتری‌دیش‌ها به صورت روزانه بازدید و هر بذر که دارای طول ریشه‌چه ۳ میلی متر بود، به عنوان بذر جوانه‌زده در نظر گرفته شد (ISTA, 2009). بررسی روزانه پتری‌دیش‌ها به مدت ۱۴ روز انجام شد و برداشت جوانه‌ها به منظور بررسی شاخص‌های جوانه‌زنی ۱۵ روز پس از شروع آزمایش بود. پس از برداشت، ریشه‌چه و ساقه‌چه از بذر جدا شدند و طول ساقه‌چه و ریشه‌چه به وسیله خط کش اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین وزن خشک اندام‌های فوق، ساقه‌چه و ریشه‌چه در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و سپس وزن خشک آن‌ها با ترازوی ANDمدل GT-300 ساخت کشور آلمان با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد. برای محاسبه آندوسپرم مصرفی بذرها، ابتدا

وزن ۵ عدد بذر در هر تیمار با استفاده از ترازوی دیجیتال تعیین شد، سپس آن‌ها علامت‌گذاری شده و همراه با دیگر بذرها در پتری‌دیش قرار گرفت و همزمان با خروج ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن بذرهای جوانه‌زده مورد نظر در هر تیمار تعیین شد. در نهایت میزان آندوسپرم مصرفی بذرها از طریق محاسبه اختلاف وزن آنها قبل و بعد از جوانه‌زنی محاسبه شد (Hosseinzadeh et al., 2016). جدول ۳ روابط محاسباتی مورد استفاده برای تعیین شاخص بنیه بذر، درصد، سرعت و بنیه جوانه‌زنی را نشان می‌دهد. به منظور تعیین میزان میانگین مدت جوانه‌زنی از معادله کولکارنی و همکاران، ۲۰۰۷ استفاده شد (Kulkarni et al., 2007).

$$\mathrm{MGT} = \frac{\sum(ti \times ni)}{\sum n}$$

در این معادله ti تعداد روزهای پس از شروع جوانه‌زنی، ni تعداد بذرهای جوانه‌زده در یک فاصله مشخص و n کل بذرهای جوانه‌زده در طی آزمایش. آنالیزهای آماری با استفاده از نرم افزار آماری MSTAT-C انجام شد، بدین صورت که پس از نرمال سازی داده‌ها به منظور تعیین سطح معنی‌داری در اثرات ساده و متقابل تیمارها آزمون ANOVA استفاده شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال خطای ۱ درصد ($P \leq ۰/۰۱$) و ۵ درصد ($P \leq ۰/۰۵$) استفاده شد.

جدول ۱: نحوه ایجاد پتانسیل خشکی

مقدار محلول	پلی اتیلن گلایکول	نوع محلول (پتانسیل خشکی)
۴۰۰ میلی‌لیتر	۵۵/۲ گرم	۰/۳- مگاپاسکال
۴۰۰ میلی‌لیتر	۷۵/۶ گرم	۰/۶- مگاپاسکال
۴۰۰ میلی‌لیتر	۸۸/۸ گرم	۰/۹- مگاپاسکال

جدول ۲: برخی ویژگی‌های عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم نودوسوم

نمونه	ماده آلی (٪)	چگالی نسبی (g/cc)	نیتروژن کل(٪)	آهن (٪)	پتاسیم (٪)	کلسیم (٪)	فسفر (٪)	فولویک اسید (٪)	اسیدیته
عصاره جلبکی	۱۵	۱/۲۸	۲/۵	۰/۵	۱۶/۹	۰/۱۸	۱	۱۰/۵	۹/۲

جدول ۳: روابط محاسباتی شاخص‌های جوانه‌زنی

شاخص	رابطه	منابع مورد استفاده
درصد جوانه‌زنی	$\mathrm{GP\%} = \sum \frac{ni}{N} \times 100$	(Agrawal, 1991)
سرعت جوانه‌زنی	$\mathrm{GS} = \sum \frac{ni}{ti}$	(Agrawal, 1991)
بنیه جوانه زنی	$\mathrm{GV} = \frac{GR \times mean(PL + RL)}{100}$	(ISTA, 2009)
شاخص بنیه بذر	$\mathrm{SV} = \frac{GP \times mean(PL + RL)}{100}$	(ISTA, 2009)

n = کل بذر جوانه زده طی دوره، ni = تعداد بذرهای جوانه‌زده در یک فاصله زمانی مشخص، ti = تعداد روزهای پس از شروع جوانه زنی، N = تعداد بذرهای کاشته شده، PL = طول ساقه‌چه، RL = طول ریشه‌چه

نتایج و بحث

شاخص‌های جوانه‌زنی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده عصاره جلبک دریایی و تنش خشکی بر تمامی صفات مورد بررسی معنی‌دار بود اما در برهم‌کنش عصاره × تنش تاثیر معنی‌داری بر سرعت جوانه‌زنی، قدرت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و میانگین مدت جوانه‌زنی مشاهده شد (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها در اثرات ساده عصاره جلبکی بر درصد جوانه‌زنی نشان داد که کاربرد عصاره جلبکی در تمامی سطوح موجب افزایش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی در مقایسه با شاهد شد (جدول ۵). در بین اثرات ساده تنش خشکی نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش از صفر تا ۰/۹- مگاپاسکال به صورت معنی‌داری درصد جوانه‌زنی کاهش یافت (جدول ۶). مقایسه میانگین داده‌ها در اثرات متقابل بر سرعت جوانه‌زنی نشان داد که در شرایط بدون تنش و تنش ۰/۳- مگاپاسکال اختلاف معنی‌داری بین سطوح عصاره جلبکی مشاهده نشد اما در شرایط تنش ۰/۹- مگاپاسکال، با کاربرد عصاره جلبکی در تمامی سطوح افزایش معنی‌داری در سرعت جوانه‌زنی مشاهده شد. در شرایط تنش ۰/۶- مگاپاسکال سطح ۳٪ درصد حجمی عصاره موجب افزایش معنی‌دار این صفت در مقایسه با شاهد شد (جدول ۷). مقایسه میانگین‌ها در برهم کنش عصاره×تنش نتایج نشان داد که در شرایط بدون تنش و تنش ۰/۹- مگاپاسکال، استفاده از عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم در تمامی سطوح موجب افزایش معنی‌دار قدرت جوانه‌زنی در مقایسه با سطوح شاهد در هر تیمار تنش شد. در تیمار تنش ۰/۶- مگاپاسکال سطوح ۲٪ و ۳٪ درصد حجمی در افزایش معنی‌دار قدرت جوانه‌زنی نسبت به شاهد نقش داشتند. در شرایط تنش ۰/۳- مگاپاسکال تفاوت معنی‌داری بین سطوح عصاره جلبکی مشاهده نشد (جدول ۷).

جوانه‌زنی یکی از مراحل مهم و حیاتی رشد در گیاهان بوده و اعتقاد بر این است که درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و بنیه جوانه‌زنی، از شاخص‌های تعیین کننده عملکرد نهایی گیاهان می‌باشد (Rahbarian et al., 2012). به‌طوری‌که مطالعات نشان داده است که افزایش این شاخص‌ها در شرایط تنش‌های محیطی از قبیل خشکی و شوری منجر به افزایش رشد و عملکرد گیاه، استقرار مناسب گیاهچه‌ها و ایجاد یک سیستم ریشه‌ای قوی در خاک می‌شود (Ahmadpour et al., 2019).

تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلایکول در اثر کاهش آب قابل دسترس، منجر به کاهش فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی بذر و دناتوره شدن ساختمان سه بعدی آنزیم‌ها (بویژه آنزیم آلفا-آمیلاز) می‌شود که علت اصلی کاهش درصد، سرعت و قدرت جوانه‌زنی در گیاهان است (Kalefetoglu Macar et al., 2009). نتایج این مطالعه نیز نشان داد که با افزایش شدت تنش به صورت معنی‌داری شاخص‌های جوانه‌زنی مورد بررسی کاهش می‌یابد.

تحقیقات در زمینه استفاده از عصاره جلبک دریایی *آسکوفیلوم نودوسوم* نشان داده است که این عصاره با داشتن ترکیباتی نظیر عناصر غذایی کم مصرف (Fe، Zn، Cu، Mn)، پرمصرف (N، K، Ca، Mg) و برخی هورمون‌ها نظیر اکسین و سیتوکینین نقش مهمی در تنظیم اسمزی محیط اطراف بذر، افزایش تقسیم سلولی، تغذیه بذر و فعال‌سازی برخی کوفاکتورها در فرآیندهای بیوشیمیایی را دارند (Zang and Ervin, 2004; Ahmadpour et al., 2019). در یک مطالعه گزارش شد، کاربرد عصاره جلبک قهوه‌ای با افزایش هورمون سیتوکینین در محیط کشت در افزایش معنی‌دار درصد، سرعت و میانگین مدت جوانه‌زنی نقش دارند که محققان دلیل اصلی آن را افزایش تقسیم سلولی در بذر و فعال سازی آنزیم آلفا-آمیلاز بیان کردند (Zang and Ervin, 2004; Brune, 2011).

جدول ٤: نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گوجه فرنگی در سطوح مختلف عصاره جلبکی تحت تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	آندوسپرم مصرفی	شاخص بنیه بذر	میانگین مدت زمان جوانه‌زنی	قدرت جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی
		میانگین مربعات					
عصاره جلبکی	۳	۰/۰۰۶**	۱۰۲۵/۳۹۷**	۳/۴۷۶*	۴/۹۵۳**	۳/۳۷۶**	۸۲۴/۸۸۲**
تنش خشکی	۳	۰/۰۳۴**	۸۷۶۳/۶۳۵**	۱۱/۶۵۶**	۳۱/۴۷۶**	۱۰/۹۵۹**	۴۸۵۶/۲۸۷**
عصاره×تنش	۹	۰/۰۰۰۲ ns	۱۷/۰۶۱*	۰/۹۲۶*	۰/۲۰۸*	0/۳۴۹ *	۷۰/۰۱۵ ns
خطای آزمایش	۳۲	۰/۰۰۰۱	۲۵/۵۸۵	۱/۰۷۱	۰/۲۷۰	۰/۵۵۲	۴۵/۶۹۸
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۰/۹۸	۷/۵۴	۱۳/۲۹	۹/۶۸	۱۲/۵۲	۹/۲۳

ns، **، * به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

ادامه جدول ٤: نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گوجه فرنگی در سطوح مختلف عصاره جلبکی تحت تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	طول گیاهچه	وزن خشک ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه
		میانگین مربعات				
عصاره جلبکی	۳	۴۷۸/۱۷۲**	۰/۰۲۹*	۰/۲۷۱**	۱۰۴/۰۴۱**	۱۳۶/۸۳۲*
تنش خشکی	۳	۲۸۸۹/۶۶۶**	۰/۱۲۷**	۰/۷۹۷**	۶۱۴/۵۰۲**	۸۵۹/۵۹۲**
عصاره×تنش	۹	۹۹/۱۲۷ ns	۰/۰۰۶ *	۰/۰۲۱ ns	۱۶/۵۲۷ *	۳۸/۱۸۶ ns
خطای آزمایش	۳۲	۹۸/۷۷۲	۰/۰۰۷	۰/۰۱۸	۲۰/۰۸۳	۳۲/۲۱۶
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۱/۳۸	۱۲/۷۰	۱۱/۰۹	۱۲/۰۳	۱۱/۳۴

ns، **، * به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

نتایج این مطالعه نشان داد که تمامی سطوح مورد استفاده از عصاره جلبکی موجب افزایش معنی‌دار درصد جوانه-زنی شد. در شرایط تنش خشکی به خصوص تیمارهای ۰/۹- و ۰/۶ مگاپاسکال سطح ۳ درصد حجمی عصاره بیشترین تاثیر را بر سرعت و قدرت جوانه‌زنی داشت و توانست اثرات منفی تنش را بهبود دهد.

اثرات متقابل عصاره × تنش بر میانگین مدت زمان جوانه‌زنی نشان داد که در شرایط بدون تنش و تیمار ۰/۳- مگاپاسکال اختلاف معنی‌داری بین سطوح عصاره جلبکی مشاهده نشد اما در تیمار ۰/۹- مگاپاسکال، تمامی سطوح عصاره جلبک دریایی موجب افزایش معنی‌دار میانگین مدت جوانه‌زنی در مقایسه با شاهد شد. در شرایط تنش ۰/۶- مگاپاسکال، سطح ۳٪ درصد حجمی به صورت معنی‌داری این صفت را نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۷). نتایج مرتبط با شاخص بنیه بذر نشان داد که در تمامی سطوح تنش (صفر، ۰/۳-، ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسکال)، استفاده از عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم نودوسوم به عنوان پیش تیمار موجب افزایش معنی‌دار شاخص بنیه بذر در مقایسه با سطوح شاهد شد (جدول ۷).

شاخص بنیه بذر و میانگین مدت زمان جوانه‌زنی از صفات ارزیابی تحمل به تنش خشکی در بذر محسوب می‌شود. بذرهای تمامی گیاهان حساس در مواقعی که با تنش خشکی رو به رو می‌شوند، با کاهش مدت زمان جوانه-زنی و سبز شدن سریع سعی در فرار از این شرایط دارند (Ahmadpour et al., 2016) و در این حالت مهمترین شاخص‌های جوانه‌زنی نظیر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، قدرت جوانه‌زنی، میانگین مدت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر یه صورت معنی‌داری کاهش می‌یابد. تنش خشکی با ایجاد عواملی نظیر کاهش تولید ژیبرلین، کاهش فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز، دناتوره شدن پروتئین‌ها و کاهش فعالیت آنزیم‌های محافظت کننده در برابر رادیکال‌های اکسیژن تولید شده (ROS) در کاهش میانگین مدت زمان جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر تقش دارد (Fabian et al., 2008). در یک مطالعه بر روی بذر ژنوتیپ‌های گندم مشاهده شد که افزایش میانگین مدت زمان جوانه‌زنی با استقرار مناسب و یکنواخت در محیط کشت همراه است و در نهایت می‌تواند در بهبود محصول گیاه نقش داشته باشد (Soltani et al., 2006). برخی مطالعات نشان دادند که هورمون‌های ژیبرلین و اکسین موجود در عصاره جلبکی موجب شکست خواب بذر، تحریک رشد گیاهچه (ساقه‌چه+ریشه‌چه) و استقرار مناسب جوانه در خاک می‌شود (David et al., 2010; Ahmadpour et al., 2019). در بررسی اثرات ساده عصاره جلبک دریایی بر میزان آندوسپرم مصرفی، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که سطوح ۲٪ و ۳٪ درصد حجمی در مقایسه با سطوح شاهد و ۱٪ درصد حجمی موجب افزایش معنی‌دار آندوسپرم مصرفی شد (جدول ۵). در بررسی اثرات ساده تنش بر این صفت مشاهده شد که با افزایش شدت تنش، میزان آندوسپرم مصرفی به صورت معنی‌داری کاهش می‌یابد (جدول ۶).

شاخص آندوسپرم مصرفی نشان‌دهنده استفاده جوانه ایجاد شده از مواد غذایی ذخیره شده در بذر است (Hosseinzadeh et al., 2016). با توجه به اینکه جوانه حاصل از بذر فاقد برگ‌های اولیه به‌منظور تامین مواد غذایی از طریق فتوسنتز است، به این منظور ذخایر اندوسپرم داخل بذر مهمترین منبع تغذیه‌ای به شمار می‌آید (Kafi et al., 2005).

افزایش آندوسپرم مصرفی در پتانسیل صفر و ۰/۳- مگاپاسکال را می‌توان این گونه توجیح کرد که جوانه حاصل از بذر، قبل از اینکه برگ‌های اولیه آن بتوانند با استفاده از نور خورشید فتوسنتز انجام دهند از مواد غذایی ذخیره شده در درون بذر استفاده می‌کنند، بنابراین رشد بیشتر ساقه‌چه و ریشه‌چه در سطوح پایین خشکی می تواند دلیلی بر افزایش برداشت مواد غذایی از درون لپه باشد (Mensah et al., 2006; Hosseinzadeh et al., 2016).

جدول ۵: مقایسه میانگین صفات مربوط به خصوصیات جوانه زنی بذرهای گوجه‌فرنگی در سطوح کاربرد عصاره جلبک دریایی *آسکوفیلوم نودوسوم*.

عصاره جلبک دریایی	طول گیاهچه (mm)	وزن خشک ریشه‌چه (g)	طول ریشه‌چه (mm)	آندوسپرم مصرفی (g)	درصد جوانه‌زنی (%)
0	77.88 b	1.003 b	44.99 b	0.124 c	61.64 b
1%	89.54 a	1.242 a	51.54 a	0.148 b	72.91 a
2%	90.94 a	1.352 a	51.78 a	0.172 a	79.63 a
3%	90.82 a	1.274 a	51.89 a	0.168 a	78.79 a

* در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ٦: مقایسه میانگین صفات مربوط به خصوصیات جوانه زنی بذرهای گوجه‌فرنگی در سطوح مختلف تنش خشکی

تنش خشکی	طول گیاهچه (mm)	وزن خشک ریشه‌چه (g)	طول ریشه‌چه (mm)	آندوسپرم مصرفی (g)	درصد جوانه‌زنی (%)
0	103.8 a	1.561 a	58.13 a	0.222 a	95.52 a
-0.3 MP	92.45 b	1.221 b	53.91 ab	0.161 b	82.44 b
-0.6 MP	86.23 b	1.147 b	49.72 b	0.132 c	65.81 c
MP -0.9	66.72 c	0.941 c	38.45 c	0.096 d	49.20 d

* در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

عصاره جلبک دریایی با افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده آندوسپرم به‌ویژه آلفا و بتا آمیلاز منجر به افزایش دسترسی بذر به منابع غذایی می‌گردد (Kumar and Sahoo, 2011) و در نتیجه برداشت مواد غذایی از اندوسپرم به منظور تأمین انرژی برای پارامترهای جوانه‌زنی و رشدی بیشتر می‌شود که در نهایت این رویداد موجب افزایش اندوسپرم مصرفی می‌گردد (Ahmadpour et al., 2019).

ویژگی‌های رشدی مرتبط با جوانه‌زنی: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم نودوسوم و تنش خشکی تاثیر معنی‌داری بر طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و طول گیاهچه داشت. برهم‌کنش عصاره جلبکی و تنش خشکی نیز بر طول ساقه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در اثرات ساده عصاره جلبک دریایی بر طول ریشه‌چه نشان داد که کاربرد این عصاره در سطوح ۱٪، ۲٪ و ۳٪ درصد حجمی در مقایسه با شاهد منجر به افزایش معنی‌دار طول ریشه‌چه شد (جدول ۵). در بررسی اثرات ساده تنش خشکی مشاهده شد که بیشترین میزان طول ریشه‌چه به تیمار ۰/۹- مگاپاسکال و کمترین آن به تیمار شاهد اختصاص داشت که نسبت به یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۶). مقایسه میانگین داده‌های مرتبط با وزن خشک ریشه‌چه نشان داد که کاربرد عصاره جلبک دریایی در تمامی سطوح مورد بررسی موجب افزایش معنی‌دار این صفت در مقایسه با شاهد شد (جدول ۵). در بین سطوح تنش خشکی نیز مشاهده شد که سطوح تنش شامل ۰/۳-، ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسکال در مقایسه با سطح بدون تنش به صورت معنی‌داری وزن خشک ریشه‌چه را کاهش داد (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها در اثرات متقابل عصاره جلبکی و تنش خشکی بر وزن خشک ساقه‌چه نشان داد که در شرایط بدون تنش و تیمار ۰/۶- مگاپاسکال، اختلاف معنی‌داری بین سطوح عصاره جلبکی وجود نداشت اما در تیمار ۰/۹- مگاپاسکال، تمامی سطوح کاربردی عصاره منجر به افزایش معنی‌دار این صفت در مقایسه با شاهد شد. در شرایط تنش ۰/۳- مگاپاسکال، ۲ درصد حجمی از عصاره جلبکی به صورت معنی‌داری وزن خشک ساقه‌چه را نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۷). نتایج مرتبط با طول ساقه‌چه نشان داد که در شرایط بدون تنش و تیمار ۰/۶- مگاپاسکال اختلاف معنی‌داری بین سطوح کاربرد عصاره مشاهده نشد اما در تیمار ۰/۹- مگاپاسکال، استفاده از عصاره جلبکی در تمامی سطوح موجب افزایش معنی‌دار طول ساقه‌چه در مقایسه با شاهد شد. در تیمار ۰/۳- مگاپاسکال، سطح ۳ درصد حجمی از عصاره جلبکی در مقایسه با شاهد به صورت معنی‌داری این صفت را افزایش داد (جدول ۷).

در بررسی طول گیاهچه، مقایسه میانگین اثرات ساده عصاره جلبکی نشان داد که کلیه سطوح مورد بررسی از عصاره جلبکی به صورت معنی‌داری طول گیاهچه را در مقایسه با شاهد افزایش داد (جدول ۵). در بین سطوح تنش خشکی مقایسه میانگین‌ها نشان داد که سطح شاهد و تیمار ۰/۹- مگاپاسکال به ترتیب بیشترین و کمترین میزان طول گیاهچه را داشتند که در مقایسه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۶).

سازوکارهای مرتبط با پارامترهای رشدی در بذر نظیر طول گیاهچه، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه به کمبود آب قابل دسترس حساس‌اند به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی برخی از این فرآیندها نظیر انبساط و طویل شدن سلول‌ها، سنتز کربوهیدرات‌های دیواره سلولی، تولید مواد غذایی و هورمونی مورد نیاز برای توسعه سلول با کاهش معنی‌دار مواجه می‌شوند (Hosseinzadeh, 2015).

جدول ۷: مقایسه میانگین شاخص‌های جوانه‌زنی گیاه گوجه فرنگی در سطوح مختلف عصاره جلبک دریایی تحت تنش خشکی

عصاره جلبک دریایی	وزن خشک ساقه‌چه (g)	طول ساقه‌چه (mm)	شاخص بنیه بذر	میانگین مدت زمان جوانه‌زنی	قدرت جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز)
بدون تنش						
0	0.694 abcd	41.23 abc	88.14 b	8.267 ab	6.157 b	6.367 abc
1%	0.735 abc	45.20 ab	97.75 a	8.433 ab	7.487 a	7.233 ab
2%	0.845 a	48.03 a	106.4 a	9.567 a	8.030 a	7.467 a
3%	0.791 ab	48.10 a	104.7 a	9.100 ab	7.887 a	7.367 ab
تنش خشکی ۰/۳- مگاپاسکال						
0	0.624 cd	37.40 bcde	65.42 d	7.767 ab	5.113 c	5.733 c
1%	0.637 bcd	39.50 bcd	78.11 c	8.033 ab	5.750 bc	6.133 abc
2%	0.790 ab	48.05 a	81.46 bc	8.567 ab	5.853 bc	6.267 abc
3%	0.679 bcd	38.27 bcde	80.24 bc	8.700 ab	5.837 bc	6.267 abc
تنش خشکی ۰/۶- مگاپاسکال						
0	0.610 cd	33.60 cde	43.85 f	7.400 b	4.193 de	5.200 c
1%	0.621 cd	36.67 bcde	55.73 e	7.467 b	4.953 cd	5.633 c
2%	0.644 bcd	38 bcde	63.26 de	7.633 ab	5.253 bc	6 bc
3%	0.619 cd	37.80 bcde	64.44 de	9.367 a	5.300 bc	6.833 b
تنش خشکی ۰/۹- مگاپاسکال						
0	0.369 e	19.30 f	18.68 g	4.733 c	2.210 f	3.300 d
1%	0.567 d	30.63 e	36.82 f	7.133 b	3.777 e	5.200 c
2%	0.570 d	31.50 de	44.98 f	7.300 b	3.970 e	5.333 c
3%	0.560 d	31.57 de	43.51 f	7.133 b	4.020 e	5.367 c

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

تنش خشکی در سطوح پایین از طریق کاهش انتقال و تنش خشکی شدید بوسیله عدم انتقال مواد غذایی از لپه به جنین منجر به کاهش این شاخص‌های رشدی می‌شود (Gamze et al., 2005). پلی‌اتیلن‌گلایکول به عنوان ترکیب ایجاد کننده تنش خشکی موجب خارج نمودن آب مورد نیاز بذر شده و در نهایت منجر به کاهش فرآیندهای فیزیولوژیک و متابولیک جوانه‌زنی شده که این رویداد در نهایت با کاهش رشد ریشه‌چه، ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه همراه است (Ahmadpour et al., 2016). در یک مطالعه گزارش شد که علت کاهش طول ساقه‌چه در شرایط تنش خشکی، کاهش انتقال مواد غذایی مورد نیاز برای رشد، به محور زیرلپه (هیپوکوتیل) است که در نهایت می‌تواند منجر به کاهش معنی‌دار طول گیاهچه شود (Rahbarian et al., 2012). تجمع ماده خشک و رشد طولی ساقه‌چه همبستگی مثبت و بسیار بالایی با یکدیگر دارند، به‌طوری‌که کاهش طول ساقه‌چه در شرایط تنش موجب کاهش معنی‌دار وزن خشک ساقه‌چه می‌گردد (Armand et al., 2015). در شرایط تنش خشکی، تغییرات فشار آماس در سلول‌های ریشه‌چه در توقف رشد طولی آن‌ها نقش بسزایی دارد، به‌طوری‌که با کمبود آب پیوندهای موجود در دیواره سلول‌های ریشه‌چه سخت‌تر شده و در نتیجه توسعه‌پذیری، رشد طولی و تجمع ماده خشک ریشه‌چه محدود می‌شود (Hosseinzadeh, 2015). نتایج این مطالعه نیز نشان داد که با افزایش تنش خشکی، طول ریشه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه به صورت معنی‌داری کاهش می یابد.

طبق نتایج این مطالعه، کاربرد عصاره جلبکی (به خصوص سطوح ۲ و ۳ درصد حجمی) تاثیر مثبت و افزایشی بر طول گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه داشت. در زمینه استفاده از عصاره جلبکی در مطالعات متعددی گزارش شده که جلبک آسکوفیلوم نودوسوم دارای ویزیکول‌های متعددی در بخش ساقه بوده که این بخش‌ها غنی از هورمون‌های گیاهی نظیر اکسین و سیتوکینین، اسیدهای آلی، کربوهیدرات‌ها و عناصر معدنی هستند (Jannin et al., 2013; Ahmadpour et al., 2019). در فرآیند خالص‌سازی عصاره این جلبک، ترکیبات موجود در وزیکول‌ها بدون هیچگونه تغییر همراه با شیره سلولی استخراج می‌شوند (Jannin et al., 2013). بنابراین، با توجه به مقادیر بالای عناصر مغذی و هورمون‌های گیاهی به‌ویژه سیتوکینین در عصاره جلبک *آسکوفیلوم نودوسوم* افزایش طولی گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه به دلیل تغذیه مستقیم از این ترکیبات و فعالیت سیتوکینین قابل پیش‌بینی است (Ramarajan et al., 2012). در حالت کلی افزایش وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه را در سطوح عصاره جلبکی در این مطالعه را می‌توان با افزایش طول ساقه‌چه، ریشه‌چه و طول گیاهچه در این سطوح مرتبط دانست. در یک مطالعه گزارش شد که کاربرد عصاره جلبکی در افزایش فعالیت آنزیم آلفا و بتا آمیلاز نقش دارد (Ghanad et al., 2017). آلفا آمیلاز قادر است با اتصال به باندهای گلیکوزیدی آمیلوز (پلی‌ساکارید ذخیره‌ای در بذرهای گیاهان) در تجزیه نشاسته و تأمین انرژی مورد نیاز برای فرآیندهای رشدی نظیر طول ساقه‌چه و ریشه‌چه نقش داشته باشد (Farooq et al., 2007). کاربرد عصاره جلبکی بر روی بذرهای سویا و برنج موجب افزایش معنی‌دار شاخص‌های رشدی نظیر طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه شد. این محققان گزارش کردند که هورمون‌های گیاهی موجود در عصاره‌های جلبکی (اکسین و سیتوکینین) عامل اصلی در افزایش معنی‌دار رشد طولی و وزن خشک گیاهچه می‌باشند (Kord Firouzjai et al., 2012; Ramarjan et al., 2012). با توجه به ارتباط مستقیم شاخص بنیه بذر و قدرت جوانه‌زنی با طول گیاهچه بنابراین می‌توان گفت افزایش این پارامترها نیز با افزایش طول گیاهچه در تیمارهای عصاره جلبکی مورد بررسی متناسب است. یکی از ترکیبات موجود در عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) آلجیناز است که از مهمترین ویژگی‌های آن نقش مستقیم در ژله‌ای شدن دیواره سلولی و افزایش توسعه‌پذیری است، بنابراین استفاده از

عصاره جلبکی در شرایط تنش خشکی می‌تواند منجر به کاهش اثرات منفی آن در جهت سخت شدن دیواره سلولی و کاهش رشد طولی گردد (Zodape et al., 2001). نتایج این مطالعه نیز نشان داد که عصاره جلبکی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر پارامترهای رشدی از قبیل طول ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و طول گیاهچه دارد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش شدت تنش خشکی از صفر تا ۰/۹- مگاپاسکال موجب کاهش معنی‌دار کلیه شاخص‌های جوانه‌زنی مورد بررسی شد. عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) با ویژگی‌هایی از قبیل تنظیم کننده‌های رشد گیاهی (اکسین و سیتوکینین)، و قدرت تغذیه نهال بذر توانست در کاهش اثرات منفی ناشی از تنش خشکی نقش داشته باشد. کاربرد عصاره جلبکی در تمامی سطوح (۱، ۲ و ۳ درصد حجمی) موجب افزایش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی، آندوسپرم مصرفی، طول ریشه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و طول گیاهچه شد. در بررسی اثرات متقابل عصاره و تنش مشاهده شد که تنش خشکی در تمامی سطوح (۰/۳-، ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسکال) موجب کاهش معنی‌دار کلیه صفات مورد بررسی در مقایسه با شرایط بدون تنش شد اما کاربرد عصاره جلبکی به‌ویژه در سطوح ۲ و ۳ درصد حجمی منجر به افزایش سرعت جوانه‌زنی، قدرت جوانه‌زنی، میانگین مدت زمان جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، طول ساقه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه شد. با توجه به نتایج این پژوهش و توسعه کاشت گوجه فرنگی به صورت زراعی و گلخانه‌ای ممکن است استفاده از عصاره جلبک دریایی *آسکوفیلوم نودوسوم* در خاک هم بتواند در بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی، خصوصیات رشدی و استقرار مناسب گیاهچه نقش مهمی ایفا کند و باعث افزایش عملکرد این گیاه گردد.

Refrences

Agrawal, R.L. 1991. Seed Technology. Oxford and IBH publication. New York, USA. P 320.

Ahmadpour, R., Armand, N., Hoseinzadeh, S. and Chashiani, S. 2016. Selection drought tolerant cultivars of lentil (*Lens culinaris* Medik.) by measuring germination parameters. Iranian Journal of Seed Sciences and Research. 3(3): 75-87. (In Persian)

Ahmadpour, R., Hosseinzadeh, S.R., Armand, N. and Fani, E. 2015. Effect of methanol on germination characteristics of lentil (*Lens culinaris* Medik.) under drought stress. Iranian Journal of Seed Research. 2: 83-96. (In Persian)

Ahmadpour, R., Salimi, A., Zeidi, H., Armand, N. and Hosseinzadeh, S.R. 2019. Effect of seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) on the stimulation of germination indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Nova Biologica Reperta. 6(2): 206-216. (In Persian)

Aref, F. 2011. Concentration of zinc and boron in corn leaf as affected by zinc sulphate and boric acid fertilizers in a deficient soil. Life Science Journal, 8: 26-31.

Armand, N., Amiri, H. and Ismaili A. 2015. Effect of methanol on germination characteristics of bean (Phaseolus vulgaris L. cv. Sadry) under drought stress condition. Iranian Journal of Pulses Research. 6: 42-53. (In Persian)

Brune, D.E., Lundquist, T.J. and Benemann, J.R. 2009. Microalgal biomass for greenhouse gas reductions: Potential for replacement of fossil fuels and animal feeds. Journal of Environmental Engineering. 135: 1136-1144.

Caffagni, d.e., Camargo, E., Casali, C.A., Lombardi, A.T. and Lima, M.I.S. 2015. Coupling microalgal cultures with hydroponics: Prospection for clean biotechnology processes. Journal of Algal Biomass and Utilization. 6: 88-94.

Craigie JS. 2011. Seaweed extracts stimuli in plant science and agriculture. Journal of Apply Phycology. 23:371–393.

David, C. 2010. The effect of gibberellins (GA3 and GA4+7) and ethanol on seed germination of Rosa eglanteria and Rosa glauca. Journal of Plant Growth Regulation. 41: 1-10.

Emmerich, W.E. and Hardegree, S.P. 1991. Seed germination in polyethylen glycol solution. effect of filter paper exclusion and water vapor loss. Journal of Crop Science. 31: 454-458.

Fabian, A., Jager, K. and Barnabas, B. 2008. Effects of drought and combined drought and heat stress on germination ability and seminal root growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. Journal of Acta Biological. 52: 157-159.

Farooq, M., Basra, S.M. and Ahmad, A.N. 2007. Imporoving the performance of transplanted rice by seed priming. Plant Growth Regulation. 51: 129-137.

Foolad, M.R., Subbiah, P., Kramer, C., Hargrave, G. and Lin, G.Y. 2003. Genetic relationship among cold, salt and drought tolerance during seed germination in an interspecific cross of tomato. Euphytica. 130:199-206.

Gamze, O.K.U., Mehmet Demir, K.A.Y. and Mehmet A.T.A. 2005. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.), Turkish Journal of Agriculture. 29: 237-242.

Ghannad, R., Akbari, F. and Madadkar Haghjou, M. 2017. Effect of blue-green and green algae *Spirulina*, *Chlorella*, *Dunaliella* and minerals on the stimulation of metabolic and biochemical processes of germination in Dracocephalum kotschyi Boiss. Seeds. Nova Biologica Reperta. 3(4): 295-307. (In Persian)

Halmer, P. 2000. Commercial seed treatment technology. In: Black, M. and Bewley, J.D (Eds.) Seed Technology and its Biological Basis. Sheffield Academic Press, Sheffield. 257-286.

Hosseinzadeh, S.R. 2015. Effect of vermicompost on germination, morphophysiological and biochimical characteristics of chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L., cv. Pirouz) and (*Cicer arietinum* L., cv. Karaj) under drought stress. Ph.D Dissertation, Lorestan University, Iran.

Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H. and Ismaili, A. 2016. Effect of vermicompost extract on germination characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Journal of Plant Researches. 29(3): 589-598. (In Persian)

ISTA: International Seed Testing Association. 2009. International rules for seed testing. Seed Science and Technology. 49: 86-41.

Jannin, L., Arkoun, M., Etienne, P., Laıne, P., Goux, D. and Garnica, M. 2013. Brassica napus growth is promoted by Ascophyllum nodosum. Seaweed extract: microarray analysis and physiological characterization of N, C, and S metabolisms. Journal Plant Growth Regulation. 32: 31-52.

Kafi, M., Nezami, A., Hosaini, H. and Masomi, A. 2005. Physiological effects of drought stress by polyethylene glycol on germination of lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes. Iranian Journal of Field Crops Research. 3: 69-80. (In Persian)

Kalefetoglu Macar, T., Turan, O. and Ekmekci, Y. 2009. Effect of water deficit induced by PEG and NaCl on Chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars and lines at early seedling stage. Journal of science. 22: 5-14.

Kord Firouzjai, G., Habibi, H., Sodai Mashai, S. and Fotoukian, M.H. 2012. The effect of foliar application of fertilizers containing nutrients and growth stimulants on the germination factors of rice. Journal of Science and Technology Seed. 2(2): 1-10.

Kumar, G. and Sahoo, D. 2011. Effect of seaweed liquid extract on growth and yield of *Triticum aestivum* var. Pusa Gold. Journal of Applied Phycology. 23: 251-255.

Mahajan, S. and Tuteja, N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. Archives of Biochemistry and Biophysics. 444: 139-158.

Mauromicale, G. and Cavallaro, V. 1995. Effects of seed osmopriming on germination of tomato at different water potential. Seed Science and Technolgy. 23(2): 393-403.

Mensah, J. K., Obadoni, B.O., Eruotor, P.G. and Onome, F. 2006. Simulated flooding and drought effects on germination, growth and yield parameters of sesame (*Sesamum indicum* L.). African Journal Biology. 5: 1249-1253.

Michael B.E. and Kaufman M.R. 1976. The osmotic potential of polyethylenglycol-6000. Plant Physiology. 51: 914-916.

Mokhtari, I., Abrishamchi, P. and Ganjeali, A. 2009. The effects of Calcium on amelioration of injuries salt stress on seed germination of tomato (*Lycopersicon esculentom* L.). Journal of Agricultural Science and Technology. 22(1): 89-100. (In Persian)

Rahbarian, R., Khavari-nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A.R. and Najafi, F. 2012. Drought stress effect on germination and seedling for drought tolerance in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) under control condition. Iranian Journal of Field Crops Research. 10(3): 522-531. (In Persian)

Ramarajan, S., Joseph, L.H. and Ganthi, A.S. 2012. Effect of seaweed liquid fertilizer on the germination and pigment concentration of soybean. Journal of Crop Science and Technology. 1(2): 1-5.

Soltani, A., Ghalipoor, M. and Zeinali, E. 2006. Seed reserve utilization and seedling of wheat as affected by drought and salinity. Journal of Environmental and Experience Botany. 44: 614- 866.

Veberic, R., Vodnic, D. and Stampar, F. 2005. Influence of foliar-applied phosphorus and potassium on photosynthesis and transpiration of Golden Delicious apple leaves (*Malus domestica* Borkh.). Journal of Agriculture Slovenia. 85: 143-155.

Zhang, X.E. and Ervin, H. 2008. Impact of seaweed extract-based cytokinins and zeatin riboside on creeping bentgrass heat tolerance. Crop Science. 48: 364-370.

Zhang, X.Z. and Ervin, E.H. 2004. Cytokinin–containing seaweed and humic acid extracts associated with creeping bentgrass leaf cytokinins and drought resistance. Crop Science. 44: 1737-1745.