



Iranian Journal of Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

Research Article

The effect of biopriming with three species of brown seaweed on the growth and activity of some antioxidant enzymes of Niger seed (*Guizotia abyssinica* L.F. Cass) under drought stress

Hamid Najafi¹, Mohammad Rafieiolhossaini^{2*} , Parto Roshandel³ , Maryam Zeinali Borujeni⁴

1. MSc Graduate Student of Seed Science and Technology, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
2. Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
3. Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
4. MSc Graduate Student of Seed Science and Technology, Islamic Azad University, Shahrekord branch, Shahrekord, Iran.

Article Information

Received: 10 Jun. 2024
Revised: 10 Nov. 2024
Accepted: 20 Nov. 2024

Keywords:

Brown seaweed,
Dehydrogenase enzyme,
Drought stress,
Niger seed.

Corresponding Author:

rafiei@sku.ac.ir



Abstract

This research was carried out to investigate the effect of different concentrations of three brown seaweeds on growth and activity of some antioxidant enzymes of Niger seed at different drought stress levels; as a factorial scheme in a completely randomized design with three replications. The first factor includes control and seaweed extract, *Ecklonia maxima*, *Ascophyllum nodosum*, and *Sargassum glaucescens* each in 2 and 3 percent concentrations and the second factor included different levels of drought stress 0, -0.4 and -0.8 MPa. The effect of fertilizer was significant on all traits except of radicle fresh weight and the effect of drought stress and the interaction effect of fertilizer and drought stress was significant on all traits. The results of means comparison of the interaction effect showed that the Basfoliar algae treatment of 2% and zero drought level produced the highest amount of radicle fresh weight (0.636 g), the activity of seedling's alpha-amylase (161 unit mg⁻¹ protein) and beta-amylase (47 unit mg⁻¹ protein). Alga600 2% algae treatment at zero drought stress level had the highest percentage of germination (90%), plumule (1.035 g) and seedling fresh weight (1.414 g), the treatment without algae and zero drought stress level produced the highest radicle length (8.5 cm), Alga600 3% treatment and zero drought level had maximum plumule (6.7 cm) and seedling length (14.2 cm) and Acadian 2% treatment and zero drought level had the highest dehydrogenase enzyme activity (38.33 unit mg⁻¹ protein). In general, it can be concluded that drought stress reduces and the use of seaweed improves the seed growth and biochemical characteristics of Niger seed plant, especially under drought stress conditions.

How to cite this paper: Najafi, H., Rafieiolhossaini, M., Roshandel, P., & Zeinali Borujeni, M. (2026). The effect of biopriming with three species of brown seaweed on the growth and activity of some antioxidant enzymes of Niger seed (*Guizotia abyssinica* L.F. Cass) under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 14 (4), 59-77. <https://doi.org/10.22092/ijssst.2024.365288.1532>



© Authors, Published by Iranian Journal of Seed Science and Technology. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The Niger seed plant with the scientific name *Guizatia abyssinica* is the most important oil seed in Ethiopia and a small source of oil in Iran. The amount of oil extracted from the seeds of this plant is 37 to 50%. Drought stress is one of the most important environmental stresses that leads to morphological and physiological changes in plants and affects almost all stages of plant growth. However, seed priming with seaweed can improve seed germination under drought stress by affecting membrane permeability, increasing antioxidant capacity, regulating enzyme activity, and accelerating starch breakdown. In recent years, seaweed extract has been used as a substitute for chemical fertilizers in agriculture. Also, brown algae are an important protective compound in response to abiotic stresses. The use of seaweed causes better and faster germination of seeds, expansion and growth of roots and increasing the resistance of plants against biotic and abiotic stresses. The aim of this study is to investigate the effect of different concentrations of three species of brown seaweed on the growth and activity of some antioxidant enzymes of Niger seed at different levels of drought stress.

Materials and Methods

In order to study the effect of different types and concentrations of three types of brown seaweed on the germination and biochemical characteristics of Niger seed plant at different levels of drought stress, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications at agronomy laboratory, Faculty of Agriculture, Shahrekord University in 2022. The first factor includes control and seaweed extracts *Ecklonia maxima* (Basfoliar), *Ascophyllum nodosum* (Acadian) and *Sargassum glaucescens* (Alga600), each in concentrations of 2 and 3% and the second factor was different levels of drought stress 0, -0.4 and -0.8 MPa. First, seeds were disinfected using 10% sodium hypochlorite solution for 5 minutes. Under laboratory condition, polyethylene glycol 6000 (PEG6000) was used to create drought stress -0.4 and -0.8 MPa and distilled water was used to create zero potential. After preparing each different concentrations of the fertilizers containing the desired seaweed, the seeds were exposed to the desired concentration for three hours. Then, 7 ml of the respective solution was added to the containers of each drought stress treatment, so that two thirds of the seeds were immersed in the polyethylene glycol solution. The containers were placed in the germinator for 7 days at a temperature of 25 ± 2 degrees Celsius and controlled light conditions of 16 hours of light and 8 hours of darkness. Then the percentage of germination, the length of radicle, plumule and seedling, the fresh weight of plumule, radicle and seedling, the activity of alpha and beta amylase enzyme and the activity of dehydrogenase enzyme were evaluated.

Results and Discussion

The variance analysis showed that the effect of fertilizer on all traits except for radicle fresh weight and the effect of drought stress and the interaction effect of fertilizer and drought stress on all traits was significant. Mean's

comparison of the interaction effect of fertilizer and drought stress showed that Basfoliar 2% algae at zero drought stress level had the highest radicle fresh weight (0.636 g), alpha-amylase enzyme activity (161 unit mg^{-1} protein) and beta-amylase (47 unit mg^{-1} protein). Alga600 2% algae treatment at zero drought stress level had the highest percentage of germination (90%), plumule (1.035 g) and seedling fresh weight (1.414 g), the treatment without algae and zero drought stress level produced the highest radicle length (8.5 cm), Alga600 3% treatment and zero drought level had maximum plumule (6.7 cm) and seedling length (14.2 cm) and Acadian 2% treatment and zero drought level had the highest dehydrogenase enzyme activity (38.33 unit mg^{-1} protein). At the drought stress level of -0.8, all fertilizer treatments significantly increased the germination percentage compared to the control (no fertilizer application). The application of all three types of algae at the drought stress of -0.4 MPa had a positive effect on radicle and seedling fresh weight and plumule length compared to no fertilizer application (control). Although the activity level of all three enzymes decreased by increasing of drought stress, but in all three levels of drought stress, the application of all three types of fertilizers increased the activity of all three enzymes.

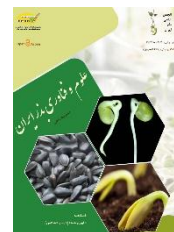
In general, it has been found that seeds with higher germination percentage, germination rate and germination vigor have more chances to grow under drought stress conditions. Drought stress caused by polyethylene glycol due to the reduction of available water leads to a decrease in the physiological and metabolic processes of the seed and the denaturation of the three-dimensional structure of enzymes (especially the alpha-amylase enzyme), which is the main reason for the decrease in germination percentage, rate and vigor in plants. On the other hand, the use of seaweed extract with compounds such as micronutrients of iron, zinc, copper, and manganese and macronutrients of nitrogen, potassium, calcium, and magnesium plays an important role in seed osmotic regulation. This extract by reducing the osmotic potential of the environment and maintaining accessible water, seed nutrition and the activation of some biochemical processes as a cofactor for some enzymes, leads to the improvement of the growth and biochemical characteristics of seeds under drought stress conditions. Biopriming causes an increase in protein synthesis, production and activation of enzymes such as alpha-amylase and beta-amylase in embryo.

Conclusion

The findings showed that Niger seed germination is sensitive to drought stress. Drought stress reduces and the use of seaweed improves the growth and biochemical characteristics of the seeds of the Niger seed plant, especially under drought stress conditions. The results of this research show that Basfoliar 2%, Acadian 2% and Alga600 3% have the most positive effect under no drought stress conditions, while Basfoliar 3%, Acadian 3% and Alga600 2% fertilizers had a positive effect on the growth and biochemical characteristics of Niger seed under stress conditions. Among the treatments used in this experiment and based on all evaluated traits, Alga600 2% can be recommended in similar conditions.

انجمن
علمی
بذر
ایرانسازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات بذر و نهال

نشریه علوم و فناوری بذر ایران



ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

تأثیر بیوپرایمینگ با سه گونه جلبک دریایی قهوه‌ای بر رشد و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی
بذر دان‌سیاه (*Guizotia abyssinica* (L.F) Cass) تحت تنش خشکیحمید نجفی^۱، محمد رفیعی‌الحسینی^{۲*}، پرتو روشندل^۳، مریم زینلی بروجنی^۴

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته علوم و تکنولوژی بذر، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۲. دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۳. دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۴. دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۳۰

واژه‌های کلیدی:

آنزیم دهیدروناز،

تنش خشکی،

جلبک دریایی قهوه‌ای،

دان‌سیاه.

نویسنده مسئول:

rafiei@sku.ac.ir

این پژوهش با هدف بررسی اثر غلظت‌های مختلف سه جلبک دریایی قهوه‌ای بر رشد و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی دان‌سیاه در سطوح مختلف تنش خشکی بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اول شامل شاهد و عصاره جلبک‌های دریایی *Ascophyllum nodosum*، *Ecklonia maxima* و *Sargassum glaucescens* هر یک در غلظت‌های ۲ و ۳ درصد و عامل دوم شامل سطوح مختلف تنش خشکی ۰، ۰/۴ و ۰/۸-مگاپاسکال بود. اثر کود بر کلیه صفات بجز وزن تر ریشه‌چه و اثر تنش خشکی و اثر متقابل کود و تنش خشکی بر کلیه صفات معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که جلبک 2% Basfoliar در سطح خشکی صفر بیشترین وزن تر ریشه‌چه (۰/۶۳۶ گرم)، فعالیت آنزیم آل‌آمیلاز (161 unit mg⁻¹ protein) و بتا‌آمیلاز دانه‌رست (47 unit mg⁻¹ protein)، جلبک 2% Alga600 در سطح خشکی صفر بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۰ درصد)، وزن تر ساقه‌چه (۱/۰۳۵ گرم)، دانه‌رست (۱/۴۱۴ گرم)، تیمار بدون جلبک و سطح خشکی صفر بیشترین طول ریشه‌چه (۸/۵ سانتی‌متر)، تیمار 3% Alga600 و سطح خشکی صفر بیشترین طول ساقه‌چه (۶/۷ سانتی‌متر) و طول دانه‌رست (۱۴/۲ سانتی‌متر) و تیمار 2% Acadian و سطح خشکی صفر بیشترین فعالیت آنزیم دهیدروناز (۳۸/۳۳ unit mg⁻¹ protein) را تولید نمود. به طور کلی می‌توان گفت تنش خشکی موجب کاهش و کاربرد جلبک دریایی، موجب بهبود خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی بذر دان‌سیاه خصوصاً در شرایط تنش خشکی می‌گردد.

نحوه استناد به این مقاله:

Najafi, H., Rafieiolhossaini, M., Roshandel, P., & Zeinali Borujeni, M. (2026). The effect of biopriming with three species of brown seaweed on the growth and activity of some antioxidant enzymes of Niger seed (*Guizotia abyssinica* L.F. Cass) under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 14 (4), 59-77.
<https://doi.org/10.22092/ijssst.2024.365288.1532>

مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است و به دلایل متعددی از جمله بارندگی کم، شوری، درجه حرارت بالا و یا پایین، شدت نور زیاد و غیره رخ می‌دهد (Salehi & Bakhshayeshan, 2016). تقریباً ۷۰ درصد از کل خسارت وارده به تولیدات کشاورزی به این مسئله یعنی تنش خشکی نسبت داده می‌شود. تنش خشکی زمانی رخ می‌دهد که آب خاک کاهش یافته و در چنین شرایطی بدون اضافه شدن هیچگونه آبی از طریق بارندگی یا آبیاری، تعرق در گیاه ادامه یابد (Mathobo et al., 2017). با توجه به تغییرات جهانی اقلیم، پیش‌بینی می‌شود که وقوع خشکسالی بصورت مکرر، مدت زمان طولانی‌تر و بصورت شدیدتر اتفاق افتد. تشدید پدیده‌ی خشکسالی بر روی محصولات کشاورزی اثرات منفی گذاشته و باعث به خطر انداختن امنیت غذایی به ویژه در کشورهای در حال توسعه می‌شود (Mukami et al., 2019).

گونه‌های مختلف گیاهی از نظر مقاومت به خشکی دامنه وسیعی را نشان می‌دهند، که به دلیل سازگاری‌های فیزیولوژیکی، ریخت‌شناسی و بیوشیمیایی آنها می‌باشد. عوامل مورفولوژیک مانند تغییر در سطح برگ، سطح و حجم تاج پوشش، وزن کل بیوماس و یا وزن تاج پوشش، ارتفاع، قطر، طول میان‌گره، قطر تنه، سطح مقطع تنه، زاویه انشعاب شاخه با تنه اصلی، زاویه انشعاب برگ با شاخه، رشد افقی و عمودی ریشه، تراکم ریشه در واحد حجم خاک می‌توانند بر میزان مقاومت گیاه به تنش خشکی نقش داشته باشند (Thomas & Gausling, 2000). برخی تغییرات فیزیولوژیک گیاهان مقاوم به خشکی در طی بروز تنش خشکی نیز موجب ذخیره مواد تنظیم‌کننده اسمزی همانند اسیدهای آمینه، قندها، برخی از یون‌های معدنی، هورمون‌ها و پروتئین‌ها می‌شود (Reddy et al., 2004). تنش آب از بزرگ شدن سلول‌ها بیش‌تر از تقسیم سلولی جلوگیری می‌کند و با تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی مثل فتوسنتز، تنفس، انتقال مجدد، جذب یونی، کربوهیدرات‌ها، سوخت و ساز مواد اندوخته‌ای و سازمان‌یابی رشد، موجب کاهش رشد گیاه می‌شود (Jaleel et al., 2007).

تنش خشکی به نوعی باعث کاهش قابلیت آب خاک شده و

در چنین شرایطی گیاه به منظور حفظ و ادامه جذب آب می‌تواند به تنظیم اسمزی اقدام کند (Farooq et al., 2012). تنظیم اسمزی به وسیله انباشت محلول‌های سازگار، یک سازوکار فیزیولوژیکی مهم گیاهان برای مقاومت در برابر تنش خشکی است (Fathi & Tari, 2016). تنظیم اسمزی جذب آب از خاک را تسهیل نموده و فشار تورگور سلول و رشد در محیط‌های خشک را امکان‌پذیر می‌نماید. قندهای محلول و پرولین دو نوع از محلول‌های سازگار بسیار مهم در گیاهان هستند که علاوه بر تنظیم اسمزی، غشاهای سلولی را از آسیب‌های ناشی از تنش محافظت نموده و ساختار و فعالیت پروتئین‌ها و آنزیم‌ها را تثبیت می‌نمایند. در شرایط تنش خشکی، گیاه برای گریز از پلاسمولیز و حفظ تورژسانس سلول، مولکول‌های درشت مانند نشاسته را به ساکارز و بعد مولکول‌های کوچک‌تری مانند گلوکز و فروکتوز تبدیل می‌کند، که موجب منفی‌تر شدن قابلیت آب در سلول‌ها و تنظیم اسمزی می‌شود (Ferti et al., 2014).

در سال‌های اخیر، عصاره جلبک دریایی در کشاورزی تا حدودی به عنوان جایگزین کودهای شیمیایی به کار می‌رود (Zodape et al., 2010). کاربرد جلبک دریایی موجب جوانه‌زنی بهتر و سریع‌تر بذرها، گسترش و رشد بیشتر ریشه‌ها، افزایش کمیت و کیفیت میوه‌ها، تأخیر در پیری میوه‌ها، بالا بردن مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی و افزایش عمر پس از برداشت محصولات می‌گردد (Hernández et al., 2014). جلبک‌های قهوه‌ای، اسمولیت‌هایی مانند مانیتول، به عنوان یک ترکیب محافظ مهم در پاسخ به تنش‌های غیرزیستی هستند. جلبک‌ها باعث افزایش تخلخل خاک، به علت داشتن ساختار رشته‌ای و تولید مواد چسبنده، افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک به دلیل ساختار ژله‌ای و کاهش شوری خاک می‌شوند (Sridhar et al., 2011). نتایج تحقیقات گوناگون، تأثیر مثبت عصاره جلبک دریایی را بر رشد و مقاومت به تنش‌های محیطی گیاهانی مانند انگور (Norrie & Keathley, 2006)، خیار (Sarhan et al., 2011)، توت‌فرنگی (Alam et al., 2013)، اسفناج (Fan et al., 2011)، زیتون (Chouliaras et al., 2009)، گوجه‌فرنگی (Hernández et al., 2014) و کلم بروکلی (Mattner et al., 2013) به اثبات رسانده است.

گردید. عامل اول شامل ۷ سطح شاهد (عدم استفاده از جلبک) و کاربرد عصاره جلبک‌های دریایی *Eckalinia maxima*، *Ascophyllum nodosum* و *Sargassum glaucescens* هر یک در دو غلظت (۲ و ۳ درصد) به صورت پرایمینگ و فاکتور دوم شامل سه سطح خشکی (۰، ۰/۴ و ۰/۸ - مگاپاسکال) بود.

عصاره‌های جلبک *Eckalinia maxima* (با نام تجاری Basfoliar)، *Ascophyllum nodosum* (با نام تجاری Acadian) و *glaucescens Sargassum* (با نام تجاری Alga600)، به ترتیب از نمایندگی‌های شرکت بازرگان کالا، آرمان سبز آدینه و شرکت دلتا پارس نهاده تأمین گردیدند.

برای ایجاد محیط مصنوعی کنترل پتانسیل آب (تنش خشکی ۰/۴ - و ۰/۸ - مگاپاسکال) در شرایط آزمایشگاهی و به روش میچل و کافمن (Michel & Kaufmann, 1973)، از ماده پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ (PEG6000) و برای ایجاد پتانسیل صفر از آب مقطر استفاده شد. برای ایجاد این سطوح تنش از حل کردن ماده کریستاله پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ در آب مقطر استفاده شد. میزان ماده کریستاله پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ برای حل کردن در آب مقطر از فرمول زیر استفاده شد:

$$OP = (-1.18 \times 10^{-2}) \times C - (1.18 \times 10^{-4}) \times C + (2.67 \times 10^{-4}) \times CT + (8.39 \times 10^{-7}) \times C^2 T$$

C: غلظت پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰

T: دما که برابر ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

بنابراین برای ایجاد تنش خشکی ۰/۴ - مگاپاسکال ۱۷۸/۴ گرم پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ و تنش خشکی ۰/۸ - مگاپاسکال ۲۶۲ گرم پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ در یک لیتر آب مقطر حل شد (Michel & Kaufmann, 1973).

قبل از شروع آزمایش، محیط و وسایل مورد استفاده ضدعفونی شدند. سپس کف هر ظرف پتری (با قطر هشت سانتی‌متر) کاغذ صافی واتمن استریل گذاشته شد. پس از آن بذرها با استفاده از الکل ۷۰ درصد به مدت ۱۰ ثانیه و محلول ۱۰ درصد هیپوکلریت سدیم به مدت ۵ دقیقه ضدعفونی و پس از سه بار شستشو با آب مقطر استریل گردید. بذرها در گروه‌های ۲۵ تایی در هر ظرف پتری به صورت یکنواخت بر روی کاغذ صافی (واتمن) قرار داده شد.

گیاه دان‌سیاه با نام علمی *Guizatia abyssinica* و با نام تجاری Niger seed، مهم‌ترین دانه روغنی کشور اتیوپی و یک منبع خرد روغنی در ایران است. به طوری که این گیاه حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد روغن خوراکی اتیوپی و حدود ۲ درصد از کل تولید روغن کشور هند را تأمین می‌کند. این گیاه بومی مناطق آفریقایی و به طور عمده در کشورهای اتیوپی و هند کشت می‌شود. میزان روغن استخراجی بذور این گیاه ۳۷ تا ۵۰ درصد در منابع مختلف عنوان شده است و با توجه به درصد بالای اسید لینولئیک می‌تواند جانشینی برای روغن زیتون و روغن کنجد باشد. اما به دلیل میزان عملکرد پایین آن در صنعت دانه‌های روغنی جهان مورد توجه و بحث نمی‌باشد. از سوی دیگر این گیاه خواص دارویی بسیار زیادی دارد. روغن این گیاه دارای درصد بالایی از مواد آنتی‌اکسیدانی است که در صنایع داروسازی کاربرد فراوانی دارد (Davazdah Emami et al., 2009).

بیوپرایمینگ بذور در واقع یک روش نوین و کاربردی است که می‌تواند در سطح گسترده‌ای در تحریک جوانه‌زنی و بهبود یکنواختی رشد دانه‌رست به کار گرفته شود. در این روش از عوامل زنده و بیولوژیک نظیر عصاره‌های مختلف جلبکی و قارچی به عنوان پیش‌تیمار در جهت افزایش خصوصیات جوانه‌زنی استفاده می‌شود (Zhang et al., 2004). با توجه به اینکه تأثیر جلبک‌های دریایی قهوه‌ای بر رشد و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بذور دان‌سیاه، تحت شرایط تنش مورد مطالعه قرار نگرفته است، لذا ضرورت این تحقیق کاملاً لازم به نظر می‌رسد. بنابراین هدف از انجام این پژوهش، بهبود خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی گیاه دان‌سیاه با روش بیوپرایمینگ کاربرد سه گونه جلبک دریایی قهوه‌ای، به منظور تخفیف اثرات تنش خشکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه اثر نوع و غلظت‌های مختلف سه جلبک دریایی قهوه‌ای بر روی خصوصیات جوانه‌زنی و بیوشیمیایی گیاه دان‌سیاه در سطوح مختلف تنش خشکی، پژوهشی در آزمایشگاه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، در سال ۱۴۰۱ انجام شد. این پژوهش بصورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام گردید. بذور دان‌سیاه از شرکت پاکان بذور اصفهان تهیه

جدول ۱- مشخصات کودهای مورد استفاده در پژوهش
Table 1- Specifications of fertilizers used in the research

ترکیبات Compounds	Basfoliar	Alga600	Acadian
عصاره جلبک Algae extract	10%	-	
مس Cu	0.02%	-	
بور B	0.01%	-	
روی Zn	0.01%	-	
منگنز Mn	0.01%		
آهن Fe	0.02%	-	
پتاسیم K ₂ O	18%	18%	17%
فسفر P ₂ O ₅	1.6%	6%	0.2%
نیتروژن N	3%	0.5%	0.7%
مواد آلی Organic Matter	-	37%	45%
اسید آلژینیک Alginic Acid	-	13%	10%
اسیدهای آمینه Amino Acids	-	4%	4.4%

اندازه‌گیری طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و دانه‌رست

برای اندازه‌گیری طول دانه‌رست، ساقه‌چه و ریشه‌چه از خط کش میلی‌متری استفاده شد.

اندازه‌گیری وزن تر ساقه‌چه، ریشه‌چه و دانه‌رست

برای اندازه‌گیری وزن تر دانه‌رست، ساقه‌چه و ریشه‌چه، جداگانه توزین گردید. وزن تر با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ توزین شد.

فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز

برای بررسی فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز دانه‌رست از روش بلک و همکاران (Black et al., 1996) استفاده شد، بدین صورت که بذور پرایم‌شده در حضور بافر فسفات ۰/۲ مولار که حاوی ۲ میلی‌مولار CaCl₂ است درون هاون ساییده شده و پس از سانتریفوژ (۱۲۰۰۰ دور در دقیقه) و افزودن نشاسته و معرف ید

پس از تهیه غلظت‌های مختلف از هر یک از کودهای حاوی جلبک‌های دریایی موردنظر، بذرها به مدت سه ساعت در معرض غلظت مورد نظر قرار گرفت. سپس به ظروف هر تیمار از سطوح تنش خشکی به میزان ۷ میلی‌لیتر محلول مربوطه اضافه شد به گونه‌ای که دو سوم بذور در محلول پلی‌اتیلن گلاکول غوطه‌ور شدند. ظروف در دمای ۲۵±۲ درجه سانتی‌گراد و شرایط نوری کنترل شده ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی (Davazdah Emami et al., 2009). در دستگاه ژرمیناتور به مدت ۷ روز قرار گرفت (Ghane et al., 2012). بازدید از نمونه‌ها به صورت روزانه و به مدت ۷ روز انجام شد و تعداد بذره‌های جوانه‌زده از مرحله شروع تا پایان جوانه‌زنی طی دوره آزمایش برای ارزیابی شاخص‌های جوانه‌زنی ثبت گردید.

درصد جوانه‌زنی (Ikic, 2012)

$$GP = (N_G / N_T) \times 100$$

N_G: تعداد بذره‌های جوانه‌زده، N_T: تعداد کل بذرها

خشکی صفر بیشترین و تیمار عدم کاربرد جلبک و سطح خشکی ۰/۸- مگاپاسکال کمترین درصد جوانه‌زنی را داشت. در ضمن با افزایش سطح تنش خشکی روند کاهش در درصد جوانه‌زنی تمامی تیمارهای جلبک (بجز ۳٪ Acadian و ۲٪ Basfoliar) مشاهده شد. اگرچه کاربرد کودها در غلظت‌های مختلف تأثیر معنی‌داری در افزایش درصد جوانه‌زنی در تیمارهای تنش خشکی شاهد و ۰/۴- نداشت، اما در سطح تنش خشکی ۰/۸- تمامی تیمارهای کودی بطور معنی‌داری درصد جوانه‌زنی را نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود) افزایش دادند (درصد جوانه‌زنی در تیمار شاهد، ۲٪ Basfoliar، ۳٪ Basfoliar، ۲٪ Alga600، ۳٪ Acadian، ۲٪ Alga600 و ۳٪ Acadian به ترتیب ۳۸، ۳۹/۳، ۶۵/۳، ۵۶، ۷۸/۷، ۶۴ و ۶۵/۳ درصد بود) (شکل ۱). مطالعات متعدد در این زمینه نشان داده‌اند که بذرهایی با درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، قدرت جوانه‌زنی و شاخص بیه‌بذر بالاتر در شرایط تنش خشکی از شانس بیشتری برای رشد برخوردار هستند و به عنوان ارقام مقاوم‌تر معرفی می‌شوند (Ahmadpour et al., 2016). تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن‌گلیکول در اثر کاهش آب قابل دسترس، منجر به کاهش فرایندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی بذر و دنا توره 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). در یک بررسی بر روی ارقام گیاه نخود، مشاهده شد که با کاهش پتانسیل اسمزی آب در بستر بذر، مدت زمان لازم برای خروج ریشه‌چه از بذر افزایش یافته و موجب کاهش درصد جوانه‌زنی می‌شود (Hosseinzadeh et al., 2016). 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 فعال‌سازی آنزیم آلفا-آمیلاز بیان کردند (Zang & Ervin, 2004; Brune, 2011).

وزن تر ریشه‌چه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی

بدوره، تغییرات جذب نمونه در مقابل بلانک در طول موج ۶۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل UV/Vis5100 Metash اندازه‌گیری شد.

فعالیت آنزیم بتا آمیلاز

بررسی فعالیت آنزیم بتا آمیلاز دانه‌رست، براساس روش (Bernfeld 1955) استفاده گردید، بدین صورت که بعد از بدست آوردن عصاره بذور پرایم شده با بافر فسفات ۰/۲ مولار و اسیدیته ۷/۴ و نشاسته ۰/۲ درصد و ۱۵۰ میکرولیتر دی نیتروسالسیلیک اسید مخلوط شده و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه در درون بنماری قرار گرفته سپس تغییرات جذب نمونه‌ها در مقابل بلانک در طول موج ۵۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد.

فعالیت آنزیم دهیدروژناز

سنجش فعالیت آنزیم دهیدروژناز دانه‌رست طبق روش (Kittcock & Law 1968) انجام شد، بدین صورت که بذور پرایم شده با بافر Base Trizma با اسیدیته ۷/۶ حاوی ۰/۰۵ گرم تری‌فنیل‌تترازولیوم کلراید مخلوط شده و سپس در درون آون در دمای ۳۰ درجه به مدت ۳ ساعت قرار گرفته و سپس با محلول متیل سلوسولو حاوی ۰/۲۵ گرم اسید تری کلرواستیک ساییده شده، سپس تغییرات جذب نمونه در مقابل بلانک در طول موج ۴۸۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. پس از گردآوری اطلاعات، داده‌های مورد نظر توسط برنامه‌ی آماری SAS تجزیه، جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ و جهت ثبت داده‌ها و رسم نمودار از نرم‌افزار اکسل (Excel) استفاده گردید.

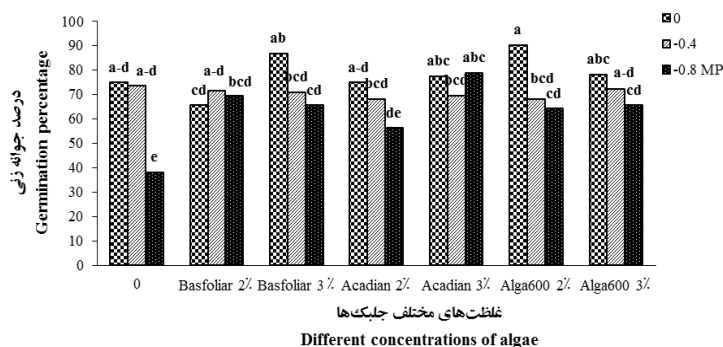
نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی کود و تنش خشکی بر درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال ۵ درصد و اثر متقابل کود × تنش خشکی در سطح احتمال ۱ درصد بر درصد جوانه‌زنی معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد، تیمار دو درصد Alga600 و سطح

تنش خشکی نشان داد که بیشترین وزن تر ریشه‌چه (۰/۶۳۶ گرم) در تیمارهای ۲٪ Basfoliar در سطح خشکی صفر مگاپاسکال (شاهد) و کمترین وزن تر ریشه‌چه (۰/۰۶۴ گرم) در تیمار ۲٪ Acadian و سطح خشکی ۰/۸- مگاپاسکال بدست آمد.

کود بر وزن تر ریشه‌چه معنی‌دار نبوده ولی تنش خشکی بر وزن تر ریشه‌چه در سطح احتمال ۵ درصد تأثیر معنی‌داری داشت. همچنین اثر متقابل کود×تنش خشکی در سطح احتمال ۱ درصد بر وزن تر ریشه‌چه، معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل کود و



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل کود و تنش خشکی بر درصد جوانه‌زنی دان‌سیاه

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با هم اختلاف معنی‌داری ندارند. کودهای Basfoliar، Acadian و Alga600 به ترتیب حاوی جلبک‌های *Eckalinia maxima*، *Ascopthllum nodosum* و *Sargassum glaucescens* می‌باشند.

Figure 1- Mean's comparison of the interaction effect of fertilizer and drought stress on Germination percentage of Niger seed. Columns which have at least one similar letter are not significantly different based on the LSD test at the 5% probability level. Basfoliar, Acadian and Alga600 fertilizers contain *Eckalinia maxima*, *Ascopthllum nodosum* and *Sargassum glaucescens* algae extract, respectively.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کود و تنش خشکی بر برخی از صفات جوانه‌زنی دان‌سیاه

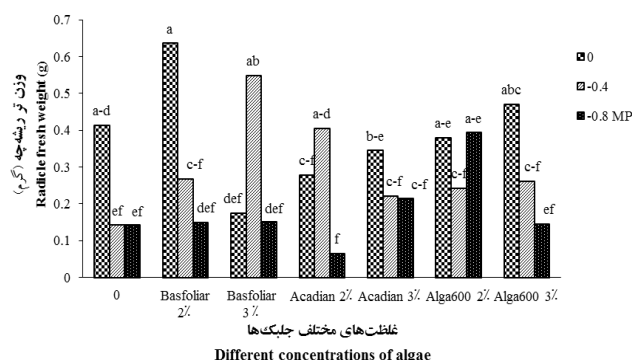
Table 2- Variance analysis of the effect of fertilizer and drought stress on some germination traits of Niger seed

میانگین مربعات								
منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	وزن تر ریشه‌چه	وزن تر ساقچه	وزن تر دان‌درست	طول ریشه‌چه	طول ساقچه	طول دان‌درست
Source of variation	Df	Germination percentage	Radicle fresh weight	Plumule fresh weight	Seedling fresh weight	Radicle length	Plumule length	Seedling length
کود	6	213.88*	0.01789 ^{ns}	0.07351*	0.1157*	9.2081*	2.7029*	16.4150*
Fertilizer (F)								
تنش خشکی	2	1296.57*	0.22265*	0.72865*	1.6955*	6.1344*	49.0290*	76.0963*
Drought stress (D)								
کود×تنش خشکی	12	241.98**	0.06669**	0.09328**	0.0900**	11.4083**	7.0661**	29.7828**
(F × D)								
خطا	42	37.21	0.02598	0.00383	0.02865	0.1235	0.0924	0.1219
Error								
ضریب تغییرات (درصد)		8.68	6.09	5.65	4.78	7.3	9.11	4.28
CV (%)								

n.s غیر معنی‌دار، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و * معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪.

Not- Significant^{n.s}, Significant at $p \leq 0.01$ **, Significant at $p \leq 0.05$ *

در افزایش معنی دار رشد طولی و وزن گیاهچه می باشند (Kord Firouzjaj et al., 2012; Ramarjan et al., 2012). با انجام مطالعه ای (Moradi et al., 2016) به بررسی اثرات تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلایکول در چهار سطح پتانسیل آب ۰، -۳، -۶ و -۹ بر جوانه زنی و رشد دانه رست سه رقم هیبرید ذرت پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که با کاهش پتانسیل آب، وزن تر ریشه چه کاهش یافت.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل کود و تنش خشکی بر وزن تر ریشه چه دان سیاه

ستون هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با هم اختلاف معنی داری ندارند. کودهای Basfoliar، Acadian و Alga600 به ترتیب حاوی جلبک های *Eckalinia maxima*، *Ascophyllum nodosum* و *Sargassum glaucescens* می باشند.

Figure 2- Mean's comparison of the intraction effect of fertilizer and drought stress on the radicle fresh weight of Niger seed Columns which have at least one similar letter are not significantly different based on the LSD test at the 5% probability level. Basfoliar, Acadian and Alga600 fertilizers contain *Eckalinia maxima*, *Ascophyllum nodosum* and *Sargassum glaucescens* algae extract, respectively.

عامل اصلی در افزایش معنی دار وزن گیاهچه می باشند (Kord Firouzjaj et al., 2012; Ramarjan et al., 2012). با انجام مطالعه ای به بررسی اثرات تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلایکول در چهار سطح پتانسیل آب ۰، -۳، -۶ و -۹ بر جوانه زنی و رشد دانه رست سه رقم هیبرید ذرت پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که با کاهش پتانسیل آب، وزن تر ساقه چه کاهش یافت.

وزن تر دانه رست

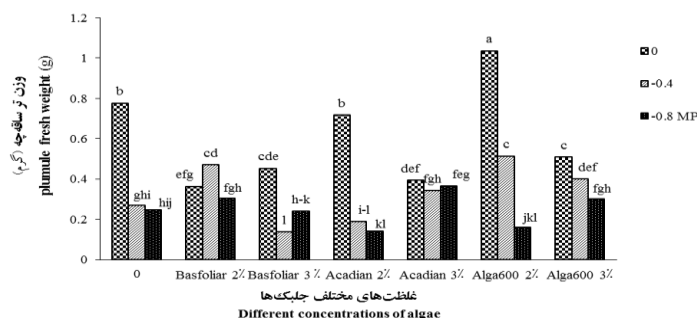
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثرات اصلی کود و تنش خشکی بر وزن تر دانه رست در سطح احتمال ۵ درصد، همچنین اثر متقابل کود × تنش خشکی در سطح احتمال ۱ درصد، بر وزن تر دانه رست معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل

وزن تر ساقه چه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثرات اصلی کود و تنش خشکی بر وزن تر ساقه چه در سطح احتمال ۵ درصد تأثیر معنی داری داشت. همچنین اثر متقابل کود × تنش خشکی در سطح احتمال ۱ درصد بر وزن تر ساقه چه معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل کود و سطوح تنش خشکی نشان داد که بیشترین وزن تر ساقه چه (۱/۰۳۵ گرم) در تیمارهای Alga600 2% در سطح خشکی صفر مگاپاسکال (شاهد) و کمترین وزن تر ساقه چه (۰/۱۴۰ گرم) در تیمار Basfoliar 3% و سطح خشکی ۰/۴- مگاپاسکال بدست آمد (شکل ۳). کاربرد عصاره جلبکی موجب افزایش معنی دار شاخص های رشدی نظیر وزن تر ساقه چه شد. محققان گزارش کردند که هورمون های گیاهی موجود در عصاره های جلبکی همچون اکسین و سیتو کینین

مگاپاسکال تأثیر مثبتی بر وزن تر دانه‌رست نسبت به عدم کاربرد کود (شاهد) داشت (شکل ۴). از آنجا که وزن تر دانه‌رست از حاصل جمع وزن تر ساقه‌چه و ریشه‌چه بدست می‌آید، لذا بدیهی است عوامل مؤثر بر این صفات می‌توانند وزن تر دانه‌رست را تحت تأثیر قرار دهند.

کود و سطوح تنش خشکی نشان داد، که بیشترین وزن تر دانه‌رست (۱/۴۱۴ گرم) در تیمارهای ۲٪ Alga600 در سطح خشکی صفر مگاپاسکال (شاهد) و کمترین وزن تر دانه‌رست (۰/۲۰۴ گرم) در تیمار ۲٪ Acadin و سطح خشکی ۰/۸ مگاپاسکال بدست آمد. به‌طور کلی کاربرد هر سه نوع جلبک در تنش خشکی ۰/۴-

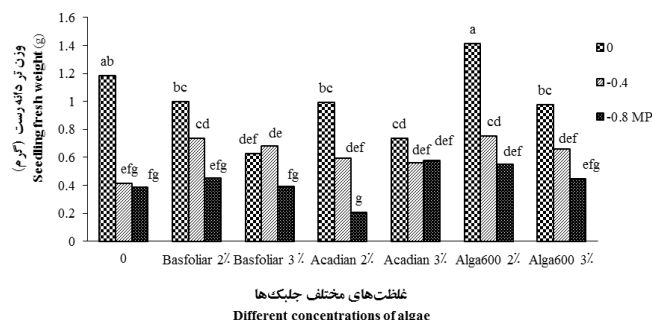


شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل کود و تنش خشکی بر وزن تر ساقه‌چه دان‌سیاه

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با هم اختلاف معنی‌داری ندارند. کودهای Basfoliar، Acadian و Alga600 به ترتیب حاوی جلبک‌های *Eckalinia maxima*، *Ascopthllum nodosum* و *Sargassum glaucescens* می‌باشند.

Figure 3- Mean's comparison of the intraction effect of fertilizer and drought stress on the plumule fresh weight of Niger seed

Columns which have at least one similar letter are not significantly different based on the LSD test at the 5% probability level. Basfoliar, Acadian and Alga600 fertilizers contain *Eckalinia maxima*, *Ascopthllum nodosum* and *Sargassum glaucescens* algae extract, respectively.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل کود و تنش خشکی بر وزن تر دانه‌رست دان‌سیاه

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با هم اختلاف معنی‌داری ندارند. کودهای Basfoliar، Acadian و Alga600 به ترتیب حاوی جلبک‌های *Eckalinia maxima*، *Ascopthllum nodosum* و *Sargassum glaucescens* می‌باشند.

Figure 4- Mean's comparison of the intraction effect of fertilizer and drought stress on Seedling fresh weight of Niger seed
Columns which have at least one similar letter are not significantly different based on the LSD test at the 5% probability level. Basfoliar, Acadian and Alga600 fertilizers contain *Eckalinia maxima*, *Ascopthllum nodosum* and *Sargassum glaucescens* algae extract, respectively.

آب ۰، ۳-، ۶- و ۹- بر جوانه‌زنی و رشد دانه‌رست سه رقم هیبرید ذرت پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که با کاهش

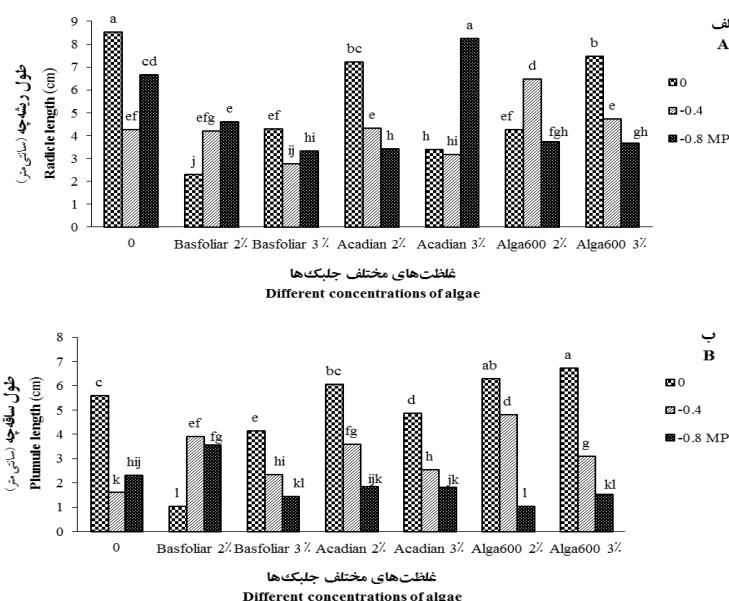
Moradi et al. (2016) با انجام مطالعه‌ای به بررسی اثرات تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلیکول در چهار سطح پتانسیل

طول ساقه‌چه در سطح احتمال ۵ درصد تأثیر معنی‌داری داشت. همچنین اثر متقابل کود $\times$ تنش خشکی در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر معنی‌داری بر طول ساقه‌چه داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل کود و سطوح تنش خشکی نشان داد که بیشترین طول ساقه‌چه (۶/۷ سانتی‌متر) در تیمارهای Alga600 3% در سطح خشکی صفر مگاپاسکال (شاهد) و کمترین طول ساقه‌چه (۱/۰ سانتی‌متر) در تیمار 2% Alga600 و سطح خشکی ۰/۸- مگاپاسکال بدست آمد که از لحاظ آماری با تیمار 2% Basfoliar در سطح خشکی صفر مگاپاسکال (شاهد) تفاوت معنی‌داری نداشت. به‌طور کلی کاربرد هر سه نوع جلبک در تنش خشکی ۰/۴- مگاپاسکال تأثیر مثبتی بر طول ساقه‌چه نسبت به عدم کاربرد کود (شاهد) داشت (شکل ۵-ب). بررسی اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر خصوصیات جوانه‌زنی خرفه نشان داد که با کاهش پتانسیل آب، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش یافت (Rahimi & Kafi, 2009).

پتانسیل آب صفات رشدی، شامل وزن تر دانه‌رست کاهش یافت. جوانه‌زنی بذر گلرنگ با افزایش تنش خشکی وزن تر و خشک دانه‌رست کاهش یافت (Sharifi Sirchi, 2016).

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی کود و تنش خشکی بر طول ریشه‌چه در سطح احتمال ۵ درصد تأثیر معنی‌داری داشت. همچنین اثر متقابل کود $\times$ تنش خشکی بر طول ریشه‌چه در سطح احتمال ۱ درصد، معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل کود و سطوح تنش خشکی نشان داد که بیشترین طول ریشه‌چه (۸/۵ سانتی‌متر) در تیمار بدون کود در سطح خشکی صفر مگاپاسکال (شاهد) بدست آمد که از لحاظ آماری با تیمار 3% Acadian در سطح خشکی ۰/۸- مگاپاسکال از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین طول ریشه‌چه (۲/۳ سانتی‌متر) در تیمار 2% Basfoliar در سطح خشکی صفر مگاپاسکال (شاهد) بدست آمد (شکل ۵-الف). نتایج حاصل نشان داد که اثرات اصلی کود و تنش خشکی بر



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل کود و تنش خشکی بر طول ریشه‌چه (الف) و طول ساقه‌چه (ب) دان‌سیاه

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با هم اختلاف معنی‌داری ندارند. کودهای Basfoliar، Acadian و Alga600 به ترتیب حاوی جلبک‌های *Eckalinia maxima*، *Ascopthllum nodosum* و *Sargassum glaucescens* می‌باشند.

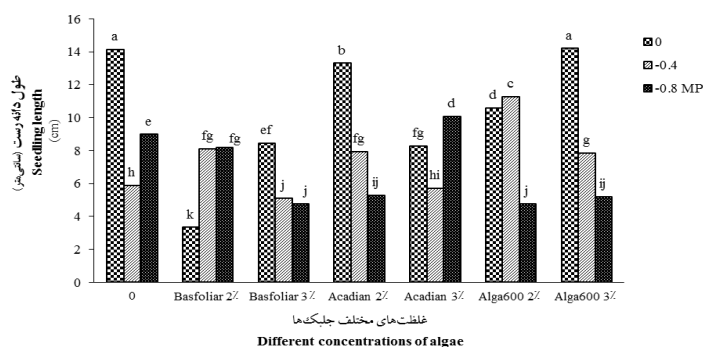
Figure 5- Mean's comparison of the interaction effect of fertilizer and drought stress on Radicle length (A), Plumule length (B) of Niger seed

Columns which have at least one similar letter are not significantly different based on the LSD test at the 5% probability level. Basfoliar, Acadian and Alga600 fertilizers contain *Eckalinia maxima*, *Ascopthllum nodosum* and *Sargassum glaucescens* algae extract, respectively.

طول دانه‌رست

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی کود و تنش خشکی بر طول دانه‌رست در سطح احتمال ۵ درصد، همچنین اثر متقابل کود $\times$ تنش خشکی بر طول دانه‌رست در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل کود و سطوح تنش خشکی نشان داد که بیشترین طول دانه‌رست (۱۴/۲ سانتی‌متر) در تیمار بدون کود در سطح خشکی صفر مگاپاسکال (شاهد) بدست آمد که از لحاظ آماری با تیمار ۳٪ Alga600 در سطح خشکی صفر مگاپاسکال (شاهد) از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین طول دانه‌رست (۳/۳ سانتی‌متر) در تیمار ۲٪ Basfoliar در سطح

خشکی صفر مگاپاسکال (شاهد) بدست آمد (شکل ۶). بررسی اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر خصوصیات جوانه‌زنی خرفه نشان داد که با کاهش پتانسیل آب طول دانه‌رست کاهش یافت (Rahimi & Kafi, 2009). Moradi et al. (2016) با انجام مطالعه‌ای به بررسی اثرات تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن‌گلایکول در چهار سطح پتانسیل آب ۰، -۳، -۶ و -۹ بر جوانه‌زنی و رشد دانه‌رست سه رقم هیبرید ذرت پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که با کاهش پتانسیل آب طول دانه‌رست کاهش یافت.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل کود و تنش خشکی بر طول دانه‌رست دان‌سیاه

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با هم اختلاف معنی‌داری ندارند. کودهای Basfoliar، Acadian و Alga600 به ترتیب حاوی جلبک‌های *Eckalinia maxima*، *Ascophyllum nodosum* و *Sargassum glaucescens* می‌باشند.

Figure 6- Mean's comparison of the intraction effect of fertilizer and drought stress on seedling length of Niger seed Columns which have at least one simialr letter are not significantly different based on the LSD test at the 5% probability level. Basfoliar, Acadian and Alga600 fertilizers contain *Eckalinia maxima*, *Ascophyllum nodosum* and *Sargassum glaucescens* algae extract, respectively.

فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی کود و تنش خشکی بر فعالیت آلفاآمیلاز دانه‌رست در سطح احتمال ۱ درصد از لحاظ آماری معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل کود $\times$ تنش خشکی بر فعالیت آلفاآمیلاز دانه‌رست از لحاظ آماری در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کود و تنش خشکی نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز دانه‌رست روند نزولی داشت. جلبک ۲٪ Basfoliar و سطح

خشکی صفر (شاهد) بیشترین میزان فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز دانه‌رست ($161 \text{ unit mg}^{-1} \text{ protein}$) و فاقد جلبک (شاهد) و خشکی ۰/۸- مگاپاسکال کمترین میزان فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز دانه‌رست ($97/67 \text{ unit mg}^{-1} \text{ protein}$) را دارا بود. در هر سه سطح تنش خشکی کاربرد هر سه نوع کود موجب افزایش فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز دانه‌رست گردید (شکل ۷).

در گیاهان، آنزیم‌های هیدرولیز متفاوتی در آلئورون در پاسخ به حضور نشانه جوانه‌زنی سنتز می‌گردد. آلفاآمیلاز یکی از آنزیم تجزیه‌کننده‌ی نشاسته‌اند و مقدار قند در بذور در حال جوانه‌زنی

دارد (Rahbarian et al., 2012). در میان تحقیقات متعددی که به بررسی اهمیت عملکرد آلفا آمیلاز در طول جوانه‌زنی بذر در تنش‌های محیطی مختلف از جمله تنش گرمایی، تنش خشکی و غیره می‌پردازند، چند پژوهش مهم به شرح زیر خلاصه می‌شود. افزایش شدت تنش خشکی موجب کاهش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در گیاه دارویی مرزه جنگلی (*Satureja mutica*) شد.

را افزایش می‌دهد و انرژی لازم برای رشد جنین را فراهم می‌کنند (Lu & Sharkey, 2004). آنزیم آلفا آمیلاز ابتدا زنجیره‌ی نشاسته را تجزیه و الیگوساکاریدهایی تولید می‌کند که دارای بقایای آلفا ۱ و ۴- گلوکز هستند (Niittyla et al., 2004). تنش خشکی همراه با کاهش هدایت هیدرولیکی و تخریب ساختمان سه‌بعدی آنزیم‌ها به خصوص آلفا آمیلاز است، که در نهایت کاهش معنی‌دار فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی بذر را به دنبال

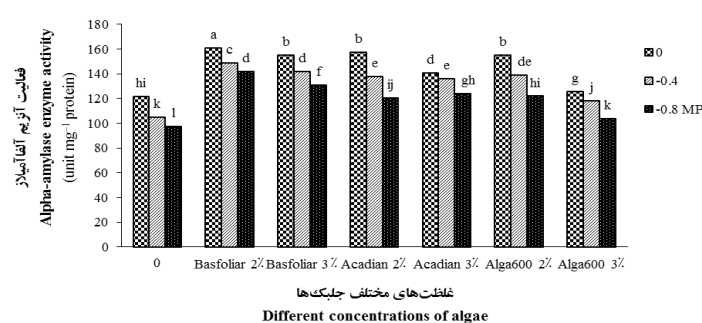
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر کود و تنش خشکی بر فعالیت آنزیم‌های آلفا و بتا آمیلاز و دهیدروژناز بذر دان‌سیاه

Table 3- Variance analysis of the effect of fertilizer and drought stress on the activity of alpha and beta amylase and dehydrogenase enzymes on Niger seed

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean square		
		فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز Alpha-amylase enzyme activity (unit mg ⁻¹ protein)	فعالیت آنزیم بتا آمیلاز Beta-amylase enzyme activity (unit mg ⁻¹ protein)	فعالیت آنزیم دهیدروژناز Dehydrogenase enzyme activity (unit mg ⁻¹ protein)
کود Fertilizer (F)	6	2072.54**	147.810**	118.730**
تنش خشکی Drought stress (D)	2	3306.97**	407.825**	625.333**
کود × تنش خشکی (F × D)	12	49.39**	3.714**	5.889*
خطا Error	42	0.97	0.968	0.905
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		5.74	2.73	3.59

Significant at $p \leq 0.01$ **, Significant at $p \leq 0.05$ *

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و * معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل کود و تنش خشکی بر فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز بذر دان‌سیاه

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با هم اختلاف معنی‌داری ندارند. کودهای Basfoliar، Acadian و Alga600 به ترتیب حاوی جلبک‌های *Eckalinia maxima*، *Ascophyllum nodosum* و *Sargassum glaucescens* می‌باشند.

Figure 7- Mean's comparison of the intraction effect of fertilizer and drought stress on Alpha-amylase enzyme activity of Niger seed

Columns which have at least one similar letter are not significantly different based on the LSD test at the 5% probability level. Basfoliar, Acadian and Alga600 fertilizers contain *Eckalinia maxima*, *Ascophyllum nodosum* and *Sargassum glaucescens* algae extract, respectively.

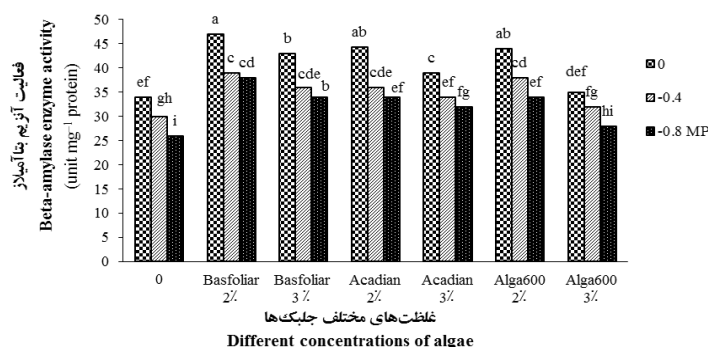
تحقیقات (2010) De Lespinay et al. نیز نشان داد که پرایمینگ سبب افزایش سنتز پروتئین، تولید و فعال شدن آنزیم‌هایی نظیر آلفا آمیلاز و بتا آمیلاز در جنین می‌شود.

فعالیت آنزیم بتا آمیلاز

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی کود و تنش خشکی در سطح احتمال ۱ درصد بر فعالیت بتا آمیلاز دانه‌رست از لحاظ آماری معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل کود × تنش خشکی بر فعالیت بتا آمیلاز دانه‌رست از لحاظ آماری در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کود و تنش خشکی نشان داد که با افزایش سطح خشکی میزان فعالیت آنزیم بتا آمیلاز دانه‌رست روند نزولی داشت. جلبک 2% Basfoliar و سطح خشکی صفر (شاهد) بیشترین میزان فعالیت آنزیم بتا آمیلاز ($47 \text{ unit mg}^{-1} \text{ protein}$) و تیمار فاقد جلبک (شاهد) و سطح خشکی $0/8$ - مگاپاسکال کمترین میزان فعالیت آنزیم بتا آمیلاز دانه‌رست ($26 \text{ unit mg}^{-1} \text{ protein}$) را دارا بودند. در هر سه سطح تنش خشکی کاربرد هر سه نوع کود موجب افزایش فعالیت آنزیم بتا آمیلاز دانه‌رست گردید (شکل ۸).

(2017) Qanad et al.، در بررسی اثر جلبک‌های سبز-آبی، سبز و تعدادی از عناصر معدنی بر روی برخی از فرایندهای متابولیکی و بیوشیمیایی جوانه‌زنی بذر زرین گیاه که در محیط کشت‌های بدون نمک و همراه نمک انجام شد، گزارش نمودند در محیط کشت‌های بدون نمک، جلبک سبز *Chlorella* دارای بیشترین تأثیر مثبت بر روی آنزیم‌های آلفا آمیلاز بود. پس از آن جلبک سبز-آبی *Spirulina* و در حضور $0/1$ درصد نمک بیشترین تأثیر را بر آنزیم آلفا آمیلاز داشت.

تکنیک پرایمینگ بکار گرفته شده، سبب تحریک فعالیت‌های متابولیکی و افزایش جوانه‌زنی در بذرهای دان‌سیاه می‌شود. در طی جوانه‌زنی بذور، آمیلازها قادرند به مثابه‌ی اندوآنزیم (آلفا آمیلاز) یا اکگزوآنزیم (بتا آمیلاز) با اتصال به باندهای ارتو گلیکوزیدی آمیلوز، که یک پلی ساکارید ذخیره‌ای در بذور انواع گیاهان است، نقشی کلیدی را در متابولیسم کربوهیدرات‌های بذور در حال جوانه‌زنی ایفا کنند (Farooq et al., 2007; Kossmann & Lloyd, 2000; Muralikrishna & Nirmala, 2005). این فرایندها تجزیه نشاسته را میسر و انرژی لازم برای جوانه‌زنی و متعاقب آن رشد ساقه و ریشه را تأمین می‌کنند (Dehghanpour et al., 2011).



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل کود و تنش خشکی بر فعالیت آنزیم بتا آمیلاز بذر دان‌سیاه

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با هم اختلاف معنی‌داری ندارند. کودهای Basfoliar، Acadian و Alga600 به ترتیب حاوی جلبک‌های *Eckalinia maxima*، *Ascophyllum nodosum* و *Sargassum glaucescens* می‌باشند.

Figure 8- Mean's comparison of the intraction effect of fertilizer and drought stress on Beta-amylase enzyme activity of Niger seed

Columns which have at least one similar letter in common are not significantly different based on the LSD test at the 5% probability level. Basfoliar, Acadian and Alga600 fertilizers contain *Eckalinia maxima*, *Ascophyllum nodosum* and *Sargassum glaucescens* algae respectively.

میانگین اثر متقابل کود و تنش خشکی نشان داد که با افزایش شدت خشکی میزان فعالیت آنزیم دهیدروژناز دانه‌رست روند نزولی داشت. تیمار جلبک 2% Basfoliar و سطح خشکی صفر (شاهد) بیشترین فعالیت آنزیم دهیدروژناز ($\text{unit mg}^{-1} \text{protein}$) (۳۸/۳۳) و تیمار فاقد جلبک (شاهد) و خشکی ۰/۸- مگاپاسکال کمترین فعالیت آنزیم دهیدروژناز دانه‌رست ($\text{unit mg}^{-1} \text{protein}$) (۱۵/۳۳) را دارا بود. در هر سه سطح تنش خشکی کاربرد هر سه نوع کود موجب افزایش فعالیت آنزیم دهیدروژناز گردید (شکل ۹).

دانه‌ها دارای منابع ذخیره‌ای به شکل پروتئین‌های ذخیره شده، کربوهیدرات‌ها، قندها، فسفات‌ها و لیپیدها هستند که به عنوان اسکلت کربن و منبع انرژی در گیاه عمل می‌کنند. در هنگام جذب آب توسط بذر فرآیندهای بیوشیمیایی مختلفی مانند فعال‌سازی سنتز آنزیم هیدرولیتیک فعال می‌گردد. این آنزیم‌های هیدرولیتیک نقش حیاتی در کاتالیز منابع ذخیره شده مانند پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، همی سلولز، پلی فسفات‌ها و سایر مولکول‌های پیچیده به مولکول‌های ساده در دسترس برای جذب جنین ایفا می‌کنند. آنزیم‌های کمی نیز پس از جذب اکسیژن تولید می‌شوند، مانند فعال شدن آنزیم‌های میتوکندری که در زنجیره انتقال الکترون و چرخه‌های کربس دخیل هستند (Joshi, 2018). دهیدروژناز آنزیم‌هایی از گروه اکسیدورداکتازها هستند، که از هر دو طریق هوازی و بی‌هوازی در تأمین انرژی برای حیات بذر و نیز فرآیندهای جوانه‌زنی مشارکت می‌کنند. مقدار فعالیت دهیدروژناز می‌تواند معیاری برای فعالیت‌های حیاتی بذر به‌شمار آید. عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) با داشتن ترکیباتی نظیر عناصر غذایی کم‌مصرف آهن، روی، مس و منگنز و پرمصرف نیتروژن، پتاسیم، کلسیم و منیزیم نقش مهمی در تنظیم اسمزی بذر با کاهش پتانسیل اسمزی محیط و حفظ آب قابل دسترس، تغذیه بذر و فعال‌سازی برخی فرآیندهای بیوشیمیایی به عنوان کوفاکتور برای برخی آنزیم‌ها دارند (Zhang & Ervin, 2004). (Shamsuddin Saeed et al., 2018) با بررسی تأثیر تنش خشکی بر شاخص‌های جوانه‌زنی و برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه دارویی مرزه‌جنگلی (*Satureja mutica*) گزارش نمودند که فعالیت آنزیم دهیدروژناز ساقه‌چه در غلظت ۶- بار به کمترین میزان رسید، در حالی که میزان فعالیت این

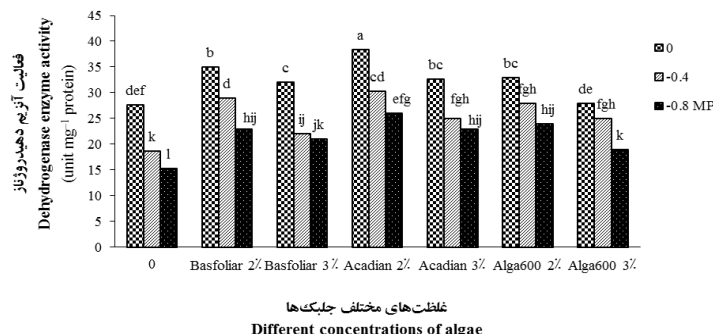
فرآیند جوانه‌زنی بذر را می‌توان به چند مرحله تقسیم کرد، که شامل فعال شدن آنزیم‌ها با جذب آب، توسعه ریشه‌چه به ریشه برای جذب آب از خاک و ساقه‌چه به ساقه برای فتوسنتز می‌شود. هنگامی که جوانه‌زنی شروع می‌شود، بذرها آب را جذب می‌کنند و آنزیم‌های مختلفی تولید می‌کنند که به تجزیه کربوهیدرات‌های پیچیده به مولکول‌های ساده‌تر کمک می‌کند و این مولکول‌های ساده برای رشد به دانه‌رست نوظهور منتقل می‌گردد. مواد معدنی، پروتئین‌ها و آنزیم‌های مختلف به طرق مختلف در مراحل مختلف جوانه‌زنی بذر نقش مهمی دارند. اشاره شده است که وقتی بذر شروع به جوانه‌زدن کرد، مواد معدنی، پروتئین‌ها، ویتامین‌ها و آنزیم‌ها را از ۲۵ به ۴۰۰۰ درصد افزایش می‌یابد (Joshi, 2018). بتا آمیلاز یکی از آنزیم تجزیه‌کننده نشاسته‌اند و مقدار قند در بذور در حال جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد و انرژی لازم برای رشد جنین را فراهم می‌کند (Lu & Sharkey, 2004). پس از فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز، آنزیم بتا آمیلاز با تجزیه‌ای این الیگوساکاریدها، از انتهای غیراحیاکننده زنجیره، به صورت یک در میان اتصالات α -۱ و ۴ را می‌شکند و دی‌ساکارید مالتوز تولید می‌کند (Niittyla et al., 2004). تنش خشکی همراه با کاهش هدایت هیدرولیکی و تخریب ساختمان سه‌بعدی آنزیم‌ها به خصوص بتا آمیلاز است که در نهایت کاهش معنی‌دار فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی بذر را باعث می‌شود (Rahbarian et al., 2012). افزایش شدت تنش خشکی موجب کاهش فعالیت آنزیم بتا آمیلاز در گیاه دارویی مرزه‌جنگلی (*Satureja mutica*) شد (Shamsuddin Saeed et al., 2018). جلبک سبز-آبی *Spirulina* و در حضور ۰/۱ درصد نمک بر روی بذر زرین گیاه موجب تأثیر مثبت بر فعالیت آنزیم بتا آمیلاز گردید (Ghannad et al., 2017).

فعالیت آنزیم دهیدروژناز

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی کود و تنش خشکی در سطح احتمال ۱ درصد بر فعالیت آنزیم دهیدروژناز دانه‌رست از لحاظ آماری معنی‌دار بود. اما اثر متقابل کود $\times$ تنش خشکی بر فعالیت آنزیم دهیدروژناز از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). نتایج مقایسه

مشخص گردید که جلبک سبز-آبی *Spirulina* و در حضور ۰/۱ درصد نمک بیشترین تأثیر را بر فعالیت آنزیم دهیدروژناز داشت (Qanad et al., 2017)

آنزیم در ریشه‌چه در غلظت ۶- بار افزایش یافت و با شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان داد. در پژوهشی بذر زین گیاه که در محیط کشت‌های بدون نمک و همراه نمک انجام شد



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل کود و تنش خشکی بر فعالیت آنزیم دهیدروژناز بذر دان سیاه

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با هم اختلاف معنی‌داری ندارند. کودهای Basfoliar، Acadian و Alga600 به ترتیب حاوی جلبک‌های *Eckalinia maxima*، *Ascophtum nodosum* و *Sargassum glaucescens* می‌باشند.

Figure 9- Mean's comparison of the intraction effect of fertilizer and drought stress on Dehydrogenase enzyme activity of Niger seed

Columns which have at least one similar letter are not significantly different based on the LSD test at the 5% probability level. Basfoliar, Acadian and Alga600 fertilizers contain *Eckalinia maxima*, *Ascophtum nodosum* and *Sargassum glaucescens* algae extract, respectively.

نتیجه‌گیری

شرایط تنش خشکی می‌گردد. همچنین از بین تیمارهای استفاده شده در این آزمایش و بر اساس جمیع صفات مورد ارزیابی، می‌توان 2% Alga600 را در شرایط مشابه توصیه نمود.

نتایج این آزمایش نشان داد که تیمار جلبک 2% Basfoliar و سطح خشکی صفر بیشترین میزان وزن تر ریشه‌چه، فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز دانه‌رست و بتا آمیلاز دانه‌رست را تولید نمود. تیمار جلبک 2% Alga600 در سطح خشکی صفر، بیشترین وزن تر ساقه‌چه، وزن تر دانه‌رست و تیمار بدون جلبک (شاهد) و سطح خشکی شاهد بیشترین طول ریشه‌چه، تیمار 3% Alga600 و سطح خشکی صفر (شاهد) بیشترین طول ساقه‌چه و طول دانه‌رست و تیمار 2% Acadian و سطح خشکی شاهد بیشترین فعالیت آنزیم دهیدروژناز را دارا بودند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که 2% Basfoliar، 2% Acadian و 3% Alga600 بیشترین تأثیر مثبت را در شرایط فاقد تنش خشکی، همچنین کود 3% Basfoliar، 3% Acadian و 2% Alga600 تأثیر مثبت بر خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی بذر دان سیاه در شرایط تنش داشت. به طور کلی از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که تنش خشکی موجب کاهش و کاربرد جلبک دریایی، موجب بهبود خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی بذر گیاه دان سیاه خصوصاً در

سپاسگزاری

از حمایت مالی دانشگاه شهرکرد در انجام این پژوهش قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تعارض منافی در رابطه با نگارش و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

Ahmadpour, R., Armand, N., Hosseinzadeh, S. R., & Chashiani, S. (2016). Selection drought tolerant cultivars of lentil (*Lens culinaris* Medik.) by measuring germination parameters. *Iranian Journal of Seed Research*, 3, 75–88. [In Persian]

- Alam, M. Z., Braun, G., Norrie, J., & Hodges, D. M. (2013). Effect of *Ascophyllum* extract application on plant growth, fruit yield and soil microbial communities of strawberry. *Canadian Journal of Plant Science*, 93, 23–36. <https://doi.org/10.4141/CJPS2011-260>
- Bernfeld, P. (1955). Amylases, alpha and beta. *Methods in Enzymology*, 1, 149–158. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(55\)01021-5](https://doi.org/10.1016/0076-6879(55)01021-5)
- Black, M., Corbineau, F., Grzesik, M., Guy, P., & Come, D. (1996). Carbohydrate metabolism in the developing and maturing wheat embryo in relation to its desiccation tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 47(2), 161–169. <https://doi.org/10.1093/jxb/47.2.161>
- Brune, D. E., Lundquist, T. J., & 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. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000100](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000100)
- Choularas, V., Tasioula, M., Chatzissavvidis, C., Theriosa, I., & Tsabolatidou, E. (2009). The effects of a seaweed extract in addition to nitrogen and boron fertilization on productivity, fruit maturation, leaf nutritional status and oil quality of the olive (*Olea europaea* L.) cultivar Koroneiki. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89, 984–988. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3543>
- Davazdah Emami, S., & Vaseghi, A. (2009). Investigating the capabilities of *Guizotia abyssinica* (L. F.) Cass oil plant in Isfahan region. *The First National Conference of Oilseeds*, October 1–2, Isfahan University of Technology. <https://doi.org/10.29252/yujs.5.1.33> [In Persian]
- Dehghanpour, A., Farashah, H., Tavakkol-Afshari, R., Sharifzadeh, F., & Chavoshinasab, S. (2011). Germination improvement and α -amylase and β -1,3-glucanase activity in dormant and nondormant seeds of oregano (*Origanum vulgare*). *Australian Journal of Crop Science*, 5, 421–427.
- De Lespinay, A., Lequeux, H., Lambillotte, B., & Lutts, S. (2010). Protein synthesis is differentially required for germination in *Poa pratensis* and *Trifolium repens* in the absence or in the presence of cadmium. *Plant Growth Regulation*, 61, 205–214.
- Fan, D., Hodges, M., Zhang, J., Kirby, C. W., Ji, X., Locke, S. J., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2011). Commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* enhances phenolic antioxidant content of spinach (*Spinacia oleracea* L.) which protects *Caenorhabditis elegans* against oxidative and thermal stress. *Food Chemistry*, 124, 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.008>
- Farooq, M., Basra, S. M., & Ahmad, A. N. (2007). Improving the performance of transplanted rice by seed priming. *Plant Growth Regulation*, 51, 129–137.
- Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., & Siddique, K. (2012). Drought stress in plants: An overview. In R. Aroca (Ed.), *Plant responses to drought stress* (pp. 1–35). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0_1
- Fathi, A., & Tari, D. B. (2016). Effect of drought stress and its mechanism in plants. *International Journal of Life Sciences*, 10, 1–6. <https://doi.org/10.3126/ijls.v10i1.14509>
- Fetri, M., Dargahikhoo, A. and Rajabi, M., (2014). Effect of drought and salinity tensions on germination and seedling growth of Common Yarrow (*Achillea millefolium* L.) in laboratory conditions. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2, 383–391.
- Ghane, S. G., Lokhande, V. H., & Nikam, T. D. (2012). Differential growth, physiological and biochemical responses of niger (*Guizotia abyssinica* Cass) cultivars to water-deficit (drought) stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 34(1), 215–225. <https://doi.org/10.1007/s11738-011-0820-y>
- Ghannad, R., Akbari, F., & Madadkar Haghjoui, M. (2017). The effect of blue-green and green algae (*Dunaliella*, *Chlorella*, *Spirulina*) and mineral elements on stimulating the metabolic and biochemical processes of golden seed germination (*Dracocephalum kotschy* Boiss). *New Findings in Biological Sciences*, 3, 295–307. <https://doi.org/10.21859/acadpub.nbr.3.4.295> [In Persian]
- Hernández-Herrera, R. M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Ruiz-López, M. A., Norrie, J., & Hernández-Carmona, G. (2014). Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Applied Phycology*, 26(1), 619–628. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0078-4>
- Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H., & Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost extract on germination characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Journal of Plant Research*, 29, 589–598. <https://doi.org/10.29252/yujs.2.2.123>
- Ikic, I., Maric, M., Tomasovic, S., Gunjaca, J., Atovic, Z. S., & Arcevic, H. S. (2012). The effect of germination temperature on seed dormancy in Croatian-grown winter wheat. *Euphytica*, 188, 25–34. <https://doi.org/10.1007/s10681-012-0735-8>
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sankar, B., Gopi, R., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2007). Alterations in osmotic potential, antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water deficit. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 59, 150–157. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.05.001>

- Joshi, R. (2018).** Role of enzymes in seed germination. *International Journal of Creative Research Thoughts*, 6(2), 1481–1485.
- Kalefetoglu Macar, T., Turan, O., & 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.
- Kittock, D. L., & Law, A. G. (1968).** Relationship of seedling vigour to respiration and tetrazolium chloride reduction by germinating wheat seeds. *Agronomy Journal*, 60(3), 286–288. <https://doi.org/10.2134/agronj1968.0002196200600003012x>
- Kord Firouzjaji, G., Habibi, H., Sodai Mashai, S., & 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 of Seed*, 2(2), 1–10. [In Persian]
- Kossmann, J., & Lloyd, J. (2000).** Understanding and influencing starch biochemistry. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 35, 141–196.
- Lu, Y., & Sharkey, T. D. (2004).** The role of amylomaltase in maltose metabolism in the cytosol of photosynthetic cells. *Planta*, 218, 466–473. <https://doi.org/10.1007/s00425-003-1127-z>
- Mathobo, R., Marais, D., & Steyn, J. M. (2017).** The effect of drought stress on yield, leaf gaseous exchange and chlorophyll fluorescence of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultural Water Management*, 180, 118–125.
- Mattner, S. W., Wite, D., Riches, D. A., Porter, I. J., & Arioli, T. (2013).** The effect of kelp extract on seedling establishment of broccoli on contrasting soil types in southern Victoria, Australia. *Biological Agriculture & Horticulture*, 29, 258–270. <https://doi.org/10.1080/01448765.2013.830276>
- Michel, B. E., & Kaufmann, M. R. (1973).** The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, 51, 914–916. <https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914>
- Moradi, M., Hasankifard, A., & Motamedi, M. (2016).** Investigating the effects of drought stress caused by polyethylene glycol on the germination and seed growth of corn hybrids. *Quarterly Journal of Plant Agronomic Sciences*, 7(2), 115–124. [In Persian]
- Mukami, A., Ngetich, A., Mweu, C., Oduor, R. O., Muthangya, M., & Mwema Mbinda, W. (2019).** Differential characterization of physiological and biochemical responses during drought stress in finger millet varieties. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25, 837–846.
- Muralikrishna, G., & Nirmala, M. (2005).** Cereal alpha amylases: An overview. *Carbohydrate Polymers*, 60, 163–173.
- Niittyla, T., Messerli, G., Trevisan, M., Chen, J., Smith, A. M., & Zeeman, S. C. (2004).** A previously unknown maltose transporter essential for starch degradation in leaves. *Science*, 303, 87–89.
- Norrie, J., & Keathley, S. C. (2006).** Benefits of *Ascophyllum nodosum* marine-plant extract applications to 'Thompson seedless' grape production. *Acta Horticulturae*, 727, 243–245. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.727.27>
- Rahbarian, R., Khavarinejad, R., Ganjali, A., Bagheri, A., & Najafi, F. (2012).** Study of germination and seedling growth in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under drought stress. *Agricultural Research of Iran*, 10(3), 522–531. <https://doi.org/10.22067/gsc.v10i3.17800> [In Persian]
- Rahimi, Z., & Kafi, M. (2009).** Effects of drought stress on germination characteristics of purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Journal of Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 2(1), 87–91. <https://doi.org/10.22077/escs.2009.55> [In Persian]
- Ramarajan, S., Joseph, L. H., & 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.
- Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., & Vivekanandan, M. (2004).** Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161, 1189–1202. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.01.013>
- Salehi-Lisar, S. Y., & Bakhshayeshan-Agdam, H. (2016).** Drought stress in plants: Causes, consequences, and tolerance. In M. Hossain, S. Wani, S. Bhattacharjee, D. Burritt, & L. S. Tran (Eds.), *Drought stress tolerance in plants*, Vol. 1 (pp. 1–16). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28899-4_1
- Sarhan, T. Z., Ali, S. T., & Rasheed, S. M. S. (2011).** Effect of bread yeast application and seaweed extract on cucumber (*Cucumis sativus* L.) plant growth, yield and fruit quality. *Journal of Agriculture*, 39, 26–34. <https://doi.org/10.33899/magrj.2011.30359>
- Shamsuddin Saeed, M., Asdilari, A., & Mahmoudi, F. (2018).** Investigating the effect of drought stress on germination indices and some physiological traits of *Satureja mutica*, the forest savory medicinal plant. *Proceedings of the 15th National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction*, September 23–26, Kerman Shahid Bahonar University. [In Persian]

Sharifi Sirchi, G. (2016). Effect of macro green algae extract on tomato (*Lycopersicum sculentum* Mill.) seedling growth characteristics. *Journal of Aquatic Ecology*, 6, 53–61. <https://doi.org/10.22092/isfj.2024.130839> [In Persian]

Sridhar, S., & Rengasamy, R. (2011). Potential of seaweed liquid fertilizers (SLFs) on some agricultural crops with special reference to protein profile of seedlings. *International Journal of Development Research*, 7, 55–57. <https://doi.org/10.37118/ijdr>

Thomas, M. T., & Gausling, T. (2000). Morphological and physiological responses of oak (*Quercus petraea* and *Q. robur*) to moderate drought. *Annals of Forest Science*, 57, 325–333. <https://doi.org/10.1051/forest:2000123>

Zhang, X. Z., & 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. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1737>

Zodape, S. T., Mukhopadhyay, S., Eswaran, K., Reddy, M. P., & Chikara, J. (2010). Enhanced yield and nutritional quality in green gram (*Phaseolus radiata* L.) treated with seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) extract. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 69, 468–471.