پژوهش‌های بذر ایران/ سال نهم/ شماره دوم/ ۱۴۰۱/ صفحات: ۱۳۲-۱۱۳

مقاله پژوهشی

# تأثیر پیش‌تیمار با عصاره جلبک (*Ascophyllum nodosum*) بر صفات جوانه‌زنی و رشد هتروتروفیک بذرهای سویا (*Glycine max*) در شرایط پیری

صفیه عرب [۱]، مهدی برادران فیروزآبادی [۲*]، احمد غلامی [۲]، مصطفی حیدری [۲]

**چکیده مبسوط**

**مقدمه:** پیری بذر، پدیده‌ای است که در طول عمر هر بذر ممکن است رخ دهد. تغییراتی که در طی پیری رخ می‌دهد بر کیفیت بذر تأثیر می‌گذارند. با پیری بذر، قدرت بذر اولین جزء از کیفیت بذر است که کاهش می‌یابد و به دنبال آن ظرفیت جوانه‌زنی، رشد و استقرار گیاهچه نیز کاهش نشان می‌دهد. یکی از راهکارهای تحریک جوانه‌زنی و افزایش استقرار گیاهچه‌ها در بذرهای فرسوده استفاده از پیش‌تیمار بذرها با مواد مختلف است. از جمله این مواد می‌توان به عصاره جلبک دریایی اشاره کرد. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر پیش‌تیمار با عصاره جلبک دریایی بر صفات جوانه‌زنی و رشد هتروتروفیک بذرهای غیرفرسوده و فرسوده سویا بود.

**مواد و روش‌ها:** آزمایش در سال ۱۳۹۸ در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود طراحی و اجرا شد. تیمارها شامل پیری بذر در دو سطح (بذرهای غیر فرسوده و بذرهای فرسوده) و پیش‌تیمار بذر با عصاره جلبک دریایی در هفت سطح (بدون پیش‌تیمار، آب مقطر، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ درصد) بود. این آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار در محیط ژرمیناتور انجام شد. بذرها با قرار گرفتن در دمای ۴۱ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵ درصد به مدت ۷۲ ساعت فرسوده شدند. پیش‌تیمار بذرها با عصاره جلبک دریایی با رعایت اصول هوادهی بذر به مدت شش ساعت انجام شد.

**یافته‌ها:** پیری موجب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی، نسبت رشد آلومتریک، شاخص بنیه طولی گیاهچه، کارایی استفاده از ذخایر و شاخص بنیه بذر گردید. میزان مالون‌دی‌آلدهید و هدایت الکتریکی بذرهای فرسوده به ترتیب ۳۷/۶۸ و ۳۸/۳۲ درصد بیشتر از بذرهای طبیعی بود. پیش‌تیمار بذرها با ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد عصاره جلبک دریایی موجب افزایش معنی‌دار سرعت جوانه-زنی، شاخص جوانه‌زنی و کارایی استفاده از ذخایر بذر گردید. برش‌دهی برهم‌کنش پیری و عصاره جلبک نشان داد که کاربرد ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد عصاره جلبک در شرایط طبیعی موجب افزایش درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر گردید. پیش‌تیمار بذرهای فرسوده با ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد عصاره جلبک به ترتیب موجب افزایش ۸/۷۳، ۸ و ۱۵ درصدی در جوانه‌زنی نسبت به شاهد (بذرهای فرسوده بدون دریافت پیش‌تیمار) گردید. استفاده از آب مقطر و تمامی سطوح عصاره جلبک دراین پژوهش موجب افزایش شاخص بنیه بذر و کاهش هدایت الکتریکی گردید. میزان مالون‌دی‌آلدهید موجود در بذرهای فرسوده با کاربرد تمامی سطوح عصاره جلبک کاهش یافت. استفاده از ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ درصد عصاره موجب افزایش مقدار استفاده از ذخایر و کسر ذخایر مصرف شده در بذرهای فرسوده گردید.

**نتیجه‌گیری:** در نهایت در محدوده پژوهش انجام شده بین غلظت‌های مورد استفاده، غلظت ۰/۳ درصد عصاره جلبک بهتر از سایر غلظت‌ها بود. هم‌چنین می‌توان پیشنهاد نمود که کاربرد عصاره جلبک دریایی به صورت پیش‌تیمار بذری سبب بهبود اثرات پیری بذر در گیاه سویا می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** پرایمینگ، جلبک قهوه‌ای، درصد جوانه‌زنی، فرسودگی بذر

**جنبه‌های نوآوری:**

۱- بررسی تأثیر پیش‌تیمار بذرهای طبیعی و فرسوده سویا با عصاره جلبک دریایی با غلظت‌های ۰/۱ تا ۰/۵ درصد برای اولین بار انجام شد.

۲- استفاده از غلظت ۰/۳ درصد عصاره جلبک برای پیش‌تیمار بذرهای سویا به‌عنوان بهترین غلظت معرفی گردید.

۳- عصاره جلبک دریایی به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان مهم موجب بهبود صفات فیزیولوژیک در بذرهای فرسوده سویا معرفی شد.

[۱] دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه صنعتی شاهرود

[۲] دانشیار زراعت، دانشگاه صنعتی شاهرود

[*] رایانامه نویسنده مسئول: mbaradaran@.shahroodut.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۴)

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1401.9.2.6.9

DOI: 10.61186/yujs.9.2.113

**مقدمه**

ترکیبات درون یک بذر روی سرعت پیری آن اثرگذار است. هر چقدر مواد اکسید شونده مانند روغن در بذرها بیشتر باشد، بیشتر در معرض پیری هستند و شیوه‌های انبارداری و رفتار خاص را نیاز دارند. بنابراین بذرهای روغنی حساسیت بیشتری دارند. غالباً این گیاهان از اهمیت بالایی نیز برخوردار هستند؛ به‌عنوان مثال سویا با نام علمی *Glycine max* L. جایگاه مهمی در بین محصولات صنعتی دارد و یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی در جهان است. در حال حاضر ۵۵ درصد روغن دنیا توسط سویا تأمین می‌شود (لادهی و دیوان[1]، ۲۰۱۸). پیری در بذر سویا به‌راحتی در مزرعه و در انبار ایجاد می‌شود (یو[2] و همکاران، ۲۰۲۱). نتایج تحقیقات مائساروه[3] و همکاران (۲۰۲۱)، سانتوس[4] و همکاران (۲۰۲۱) و ایبون[5] و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که پیری تسریع شده موجب کاهش درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر و هم‌چنین افزایش پراکسیداسیون لیپید در بذرهای سویا گردید. راجندرا[6] و همکاران (۲۰۱۸) به این نتیجه رسیدند که درصد جوانه‌زنی، شاخص قدرت گیاهچه، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، وزن خشک ساقه و ریشه در سویا تحت تأثیر پیری زودرس کاهش نشان داد. بنابراین یافتن راهکارهایی جهت کاهش و یا بهبود خسارات ناشی از پیری بذر ضروری می‌باشد.

امروزه راهکارهای متعددی برای کاهش پیری بذر مطرح است. پیش‌تیمار بذر یکی از روش‌های مهم توانمندسازی بذر می‌باشد. مطالعات زیادی در مورد به‌کارگیری روش‌های مختلف پیش‌تیمار به کمک ترکیبات شیمیایی، تنظیم کننده‌های رشد و ترکیبات آنتی‌اکسیدان به منظور بهبود آسیب‌های ناشی از پیری بذر صورت گرفته است. عصاره برخی گیاهان به‌صورت پیش‌تیمار بذر و یا محلول‌پاشی برگی توانایی کاهش اثرات منفی انواع تنش‌های غیرزنده و کاهش اثرات منفی پیری بذر را دارا می‌باشند (حسین[7] و همکاران ، ۲۰۲۱). در بین جلبک‌های قهوه‌ای خانواده فاکاسه[8]، آسکوفیلوم نودوزوم (*Ascophyllum nodosum*) تنها گونه در جنس آسکوفیلوم[9] می‌باشد. این جلبک به نام‌های علف صخره، خزه گره‌دار و خزه دریایی نیز معروف است (علی[10] و همکاران، ۲۰۱۹). جلبک‌های دریایی به این دلیل اهمیت دارند که سرشار از عناصر مغذی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم و برخی عناصر کم‌مصرف مورد نیاز گیاهان هستند. سیتوکینین موجود در عصاره جلبک با تشکیل زانتین، تنش‌های ناشی از عوامل غیرزنده را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر بتائین موجب حفظ تعادل اسمزی سلول‌ها در برابر تنش‌های دمایی و شوری می‌شود. عصاره جلبک دریایی حاوی لامینارین است این ترکیب ضمن تحریک پاسخ‌های دفاعی گیاه، یکی از تنظیم کننده‌های مهم رشد و تقویت کننده سامانه دفاعی گیاهان به شمار می‌رود (کادام[11] و همکاران، ۲۰۱۴). محققان گزارش کردند که عصاره جلبک دریایی شامل هورمون‌های گیاهی از قبیل اسید آبسیزیک، جیبرلین، براسینواستروئید، اتیلن، اکسین، سیتوکینین و حتی استریگولاکتون‌ها می‌باشد که منجر به این فرضیه می‌شود که مواد موجود در جلبک می‌تواند رشد گیاهان را تحریک کند (دی‌سائگر[12] و همکاران، ۲۰۲۰). استفاده از عصاره جلبک دریایی به صورت پیش‌تیمار سبب افزایش درصد جوانه‌زنی در سویا (چتنا[13] و همکاران، ۲۰۱۵)، برنج (لایک[14] و همکاران، ۲۰۱۸) و نخود (سیواسانگری رامیا[15] و همکاران، ۲۰۱۵) گردید.

مطالب بیان شده گویای این موضوع است که بروز هر گونه شرایط نامساعد از قبیل تنش‌های محیطی در مسیر تولید بذرها و یا استفاده از شیوه‌های نامناسب تولید و پس از آن نگه‌داری بذرها می‌تواند موجب پیری زود هنگام و کاهش توان واقعی بذر شود که خسارت جبران‌ناپذیری را برای تولید کننده و کشور به‌دنبال

[1] Lodhi and Diwan
[2] Yu
[3] Maesaroh
[4] Santos
[5] Ebone
[6] Rajendra
[7] Hussein
[8] Fucaceae
[9] Ascophyllum
[10] Ali
[11] Kadam
[12] De Saeger
[13] Chetna
[14] Layek
[15] Sivasangari Ramya

خواهد داشت. لذا یافتن راهکاری کارآمد برای کاهش آثار منفی ناشی از بذرهایی که به هر دلیل دچار پیری شده‌اند، ضرورت دارد. با توجه به اینکه تا به حال تحقیقی به منظور بررسی اثر عصاره جلبک دریایی به‌صورت پیش‌تیمار بذری در راستای بهبود بذرهای فرسوده شده سویا و تقویت گیاهان حاصل از آن‌ها انجام نشده است و سندی در این مورد یافت نگردید، در این تحقیق به بررسی این موضوع پرداخته شد.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۸ در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود طراحی و اجرا شد. تیمارها شامل پیری بذر در دو سطح (بذرهای غیرفرسوده و بذرهای فرسوده) و پیش‌تیمار بذر با عصاره جلبک دریایی در هفت سطح (بدون پیش‌تیمار، آب مقطر، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ درصد) بود که آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار در محیط ژرمیناتور با رعایت استانداردهای موجود انجام شد. عصاره جلبک مورد استفاده با نام تجاری آکادین ساخت کشور کانادا بود. ویژگی‌های پودر جلبک آکادین در جدول ۱ نشان داده شده است.

بذر سویا مورد استفاده، رقم DPX (کتول) بود که از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران تهیه گردید. بذرهای مورد استفاده، بذرهای برداشت شده همان سال بودند که تا زمان آزمایش در انبار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران نگه‌داری شدند.

رطوبت اولیه بذرها ۱۲ درصد بود. انبار دارای محدوده دمایی ۱۴ تا ۱۷ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۳۰ تا ۴۰ درصد بود. جهت اطمینان از شرایط یکسان نگه‌داری و داشتن قوه نامیه یکسان بذرها، آزمون جوانه‌زنی استاندارد انجام شد. برای جلوگیری از آلودگی قارچی در آزمایشگاه، قبل از هر آزمایش جعبه‌های پلاستیکی و الک‌ها با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد به خوبی سترون شده و خشک شدند. بذرها بر اساس روش پیری تسریع شده با قرار گرفتن در دمای ۴۱ درجه سلسیوس و رطوبت ۹۵ درصد به مدت ۷۲ ساعت فرسوده شد (ایستا[1]، ۲۰۰۹). برای این کار بذرها روی توری سیمی از جنس آلومینیوم ریخته شد و در داخل ظرف‌ها که در کف آن آب ریخته شده، قرار داده شد. سپس ظرف‌ها در دمای مورد نظر برای مدت زمان ذکر شده قرار گرفت. در نهایت تمام بذرها در یک زمان از انکوباتور خارج گردیدند (ایستا ۲۰۰۹). پیش‌تیمار بذرها از طریق خیساندن[2] با عصاره جلبک دریایی (بدون پیش‌تیمار، آب مقطر، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ درصد) با رعایت اصول هوادهی بذر انجام شد. برای پیش‌تیمار کردن بذرها، در هر ظرف ۵۰ عدد بذر سویا قرار گرفت و با ۱۰ میلی‌لیتر محلول مورد نظر (آب مقطر و غلظت‌های مختلف عصاره جلبک دریایی) به مدت شش ساعت خیسانده شدند. پس از آن بذرها در سایه خشک شدند و جهت ادامه آزمایش و اندازه‌گیری صفات در مقایسه با بذرهای غیرفرسوده استفاده گردیدند.

### پراکسیداسیون لیپیدها

برای اندازه‌گیری پراکسیداسیون لیپیدها، غلظت مالون‌دی‌آلدهید به عنوان نشانه پراکسیداسیون لیپیدها بر اساس روش دو و برملی[3] (۱۹۹۲) اندازه‌گیری شد.

### هدایت الکتریکی بذرها

میزان هدایت الکتریکی هر نمونه به ازای هر گرم بذر بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد (هامپتون و تکرونی[4]، تکرونی[4]، ۱۹۹۵). EL: شاخص هدایت الکتریکی، EC: قابلیت هدایت الکتریکی (عدد EC متر)، Ws: وزن نمونه بذر.

$$EL=(EC/Ws)$$ رابطه ۱

[1] ISTA
[2] Seed soaking
[3] Du and BramLey
[4] Hampton and Tekrony

**جدول ۱.** برخی ویژگی‌های پودر جلبک آکادین (*A. nodosum*). داده‌ها توسط شرکت تولیدکننده (Acadian Seaplants, Canada) گزارش شده است.

**Table 1.** Some characteristics of Acadian marine plant extracts powder (*A. nodosum*) according to the information provided by Acadian Seaplants, Canada

| Traits | ویژگی‌ها | |
|---|---|---|
| Appearance | ظاهر | بلورهای سیاه-قهوه‌ای Brownish-black crystals |
| Solubility in water | حلالیت در آب | 100% |
| pH | | 10.0–10.5 |
| Maximum moisture | حداکثر رطوبت | 6.5% |
| Organic matter | مواد آلی | 45–55% |
| Ash (Minerals) | خاکستر (مواد معدنی) | 45–55% |
| Total nitrogen (N) | نیتروژن کل | 0.8–1.5% |
| Available phosphoric acid ($P_2O_5$) | اسید فسفریک قابل دسترس ($P_2O_5$) | 1–2% |
| Soluble potash ($K_2O$) | پتاسیم قابل دسترس ($K_2O$) | 17–22% |
| Iron (Fe) | آهن | 75–250 $mg.L^{-1}$ |
| Manganese (Mn) | منگنز | 5–20 $mg.L^{-1}$ |
| Amino acids | اسیدهای آمینه | Total 4.4% |

## فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز

یک گرم بذر جوانه‌زده توزین و با بافر تریس (۰/۰۵ مولار، pH=۷) در داخل هاون سرد ساییده شد. محلول حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در ۲۴۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. پس از عمل سانتریفیوژ، محلول صاف رویی برای سنجش فعالیت آنزیم استفاده گردید. برای اندازه‌گیری آلفا آمیلاز، ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی با ۰/۵ میلی‌لیتر EDTA ۴۰ میلی‌مولار استفاده شد. سپس یک میلی‌لیتر محلول نشاسته (۱۵۰ میلی‌گرم نشاسته، ۶۰۰ میلی‌گرم $KH2PO_4$ و ۲۰۰ میکرومول $CaCl_2$ در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) به مخلوط واکنش اضافه شد و واکنش به مدت ۵ دقیقه در ۳۰ درجه سلسیوس انجام شد. واکنش با اضافه کردن یک میلی‌لیتر معرف ید (۳ میلی‌گرم KI + ۰/۳ میلی‌گرم ید در HCl ۰/۰۵ طبیعی) متوقف شد. مخلوط واکنش تا سطح ۱۳ میلی‌لیتر با آب مقطر رقیق شد و جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۲۰ نانومتر خوانده شد (موریس و تاکاکی[1]، ۱۹۹۸).

## رشد هتروتروفیک و میزان ذخایر منتقل شده طی جوانه‌زنی بذر

برای انجام این آزمایش برای هر تیمار سه تکرار ۲۵ تایی بذر انتخاب و سپس وزن تر بذرها (IFSW) در هر تیمار به صورت جداگانه اندازه‌گیری و ثبت شد. ۲۵ عدد بذر انتخابی وزن شده روی یک خط در داخل دو لایه حوله به روش ساندویچ قرار گرفته و به مدت یک هفته در انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگه‌داری شد (ایستا، ۲۰۰۹). بعد از هشت روز تعداد گیاهچه‌های جوانه زده شمارش گردید. سپس با استفاده از تیغ اسکالپل (جراحی) گیاهچه‌ها از باقیمانده بذر (لپه‌ها) به دقت جدا شدند. وزن خشک گیاهچه‌ها[2] (SLDW) و وزن خشک باقیمانده بذرها[3] (FSDW) نیز با قرار دادن آن‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت و سپس توزین آن‌ها با کمک ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم محاسبه شد. در نهایت، مقدار استفاده از ذخایر بذر[4] (SRUR)، کارایی استفاده از ذخایر بذر[5] (SRUE) و کسر ذخایر مصرف شده یا پویا شده بذر[6] (FMOB) بر اساس روابط ۲ تا ۴ محاسبه شد.

ISDW وزن اولیه بذرهای خشک است و با کم کردن رطوبت بذر از وزن اولیه بذرها به دست آمد.

$$SRUR=ISDW-FSDW \quad \text{رابطه ۲}$$

$$SRUE=SLDW/SRUR \quad \text{رابطه ۳}$$

$$FMOB=SRUR/ISDW \quad \text{رابطه ۴}$$

[1] Morais and Takaki
[2] Seedling Dry Weight
[3] Final Seed Dry Weight
[4] Seed Reserves Use Rate
[5] Seed Reserves Use Efficiency
[6] Fraction of Seed Reserves Mobilization

**نسبت رشد آلومتریک و شاخص بنیه طولی گیاهچه**

این دو صفت طبق روابط ۵ و ۶ محاسبه شد (نهفته استر آباد[1] و همکاران، ۲۰۱۶). AG: نسبت رشد آلومتریک[2]، SL: طول ساقه‌چه[3]، RL: طول ریشه‌چه[4]، SLVI: شاخص بنیه طولی گیاهچه[5]، MSL: میانگین طولی گیاهچه، MRL: میانگین طولی ریشه‌چه و GR: درصد جوانه‌زنی کل.

رابطه ۵ $$AG=\frac{SL}{RL}$$

رابطه ۶ $$SLVI=MSL+MRL\times\frac{GR}{100}$$

**شاخص بنیه بذر[6] (شاخص ویگور بذر)**

این صفت از رابطه ۷ به دست آمد (آگراوال[7]، ۲۰۰۳). VI: شاخص بنیه بذر، SL: طول گیاهچه، GR%: درصد جوانه‌زنی کل.

رابطه ۷ $$VI=\frac{(SL*GR\%)}{100}$$

**شاخص جوانه‌زنی بذر**

این صفت از مجموع نسبت تعداد کل بذرهای جوانه‌زده به تعداد روزهای آزمایش طبق رابطه ۸ به‌دست آمد (تکرونی و اگلی[8]، ۱۹۹۱). Ni: تعداد کل بذرهای جوانه زده، Ti: تعداد روزهای آزمایش.

رابطه ۸ $$\Sigma GR=\frac{Ni}{Ti}$$

**سرعت جوانه‌زنی**

سرعت جوانه‌زنی بر اساس رابطه ۹ و روش ورما[9] و همکاران (۲۰۰۵) اندازه‌گیری شد. Ni: تعداد بذرهای جوانه زده در هر روز، Ti: تعداد روزهای آزمایش.

رابطه ۹ $$GR=\sum\frac{Ni}{Ti}$$

**درصد جوانه‌زنی کل**

جهت اندازه‌گیری درصد جوانه‌زنی کل تعداد ۲۵ عدد بذر سویا در داخل پتری‌هایی به قطر ۹ سانتی‌متر که هر کدام حاوی دو عدد کاغذ واتمن شماره یک بودند در سه تکرار قرار داده شد. میزان ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر به هر ظرف اضافه شد و سپس به انکوباتور منتقل شدند و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگه‌داری شدند (ایستا، ۲۰۰۹). شمارش بذرهای جوانه زده به صورت روزانه و در ساعت معین انجام گرفت. بذرهایی جوانه‌زده تلقی شدند که طول ریشه‌چه آن‌ها دو میلی‌متر و بیشتر بود. درصد جوانه‌زنی کل طبق رابطه ۱۰ محاسبه شد (پری[10]، ۱۹۹۱). n: تعداد بذرهای جوانه زده، N: تعداد کل بذرها.

رابطه ۱۰ $$GR\ \%=\left(\frac{n}{N}\right)*100$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت پذیرفت.

**نتایج و بحث**

**پراکسیداسیون لیپید**

میزان مالون‌دی‌آلدهید تحت تأثیر اثرات اصلی در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش پیری و عصاره جلبک دریایی در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۲). بررسی بر هم‌کنش سه‌جانبه عامل‌ها نشان داد استفاده از ۰/۴ و ۰/۵ درصد عصاره جلبک در بذرهای غیرفرسوده موجب کاهش معنی‌دار ۱۲/۴۰ و ۱۸/۶۹ درصدی میزان مالون‌دی‌آلدهید شد (جدول ۴). کاربرد آب مقطر و سایر سطوح عصاره جلبک دریایی (۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد) در بذرهای غیرفرسوده، از لحاظ میزان مالون‌دی‌آلدهید اختلافی با بذرهای شاهد نشان نداد (جدول ۴). این در حالی است که در بذرهای فرسوده استفاده از تمامی سطوح عصاره جلبک دریایی (۰/۱ تا ۰/۵ درصد) موجب کاهش معنی‌دار میزان مالون‌دی‌آلدهید نسبت به شاهد و کاربرد آب مقطر شدند (جدول ۴).

[1] Nahofte Esterabad
[2] Allometric Growth Ratio
[3] Shoot length
[4] Root Length
[5] Seedling Length Vigor Index
[6] Vigor Index
[7] Agrawal
[8] Tekrony and Egli
[9] Verma
[10] Perry

علت افزایش میزان مالون‌دی‌آلدهید در شرایط پیری را می‌توان ناشی از افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن در بذر دانست که خود ممکن است ناشی از ضعف سیستم آنتی‌اکسیدان باشد. کاهش آسیب غشاء سلولی در پاسخ به دریافت عصاره جلبک دریایی می‌تواند نمایانگر القای سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی به‌وسیله این ماده باشد. این ماده با از بین بردن رادیکال‌های آزاد، خسارت ناشی از این گونه‌های فعال را کاهش می‌دهد و در نتیجه پراکسیداسیون لیپیدی غشاء کاهش می‌یابد. گونی[1] و همکاران (۲۰۱۸) در گوجه‌فرنگی و آنجوس‌نتو[2] نتو[2] و همکاران (۲۰۲۰) در اسفناج به نتایج مشابهی دست یافتند و اعلام کردند که کاربرد عصاره *Ascophyllum nodosum* سبب کاهش میزان مالون‌دی‌آلدهید شد.

## هدایت الکتریکی

پیری و عصاره جلبک دریایی در سطح احتمال یک درصد و بر همکنش این دو عامل در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر این صفت داشتند (جدول ۲). کاربرد ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد عصاره جلبک دریایی در شرایط طبیعی اثر منفی و معنی‌داری بر هدایت الکتریکی بذر نسبت به شاهد نشان دادند (جدول ۴). در شرایط پیری، پیش‌تیمار بذرها با آب مقطر و تمامی سطوح عصاره جلبک دریایی به‌طور معنی‌دار و مؤثری مقدار نشت الکترولیت‌ها را کاهش داد (جدول ۴).

نتایج جدول همبستگی نشان داد که هدایت الکتریکی با صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، کارایی استفاده از ذخایر بذر و شاخص بنیه طولی گیاهچه همبستگی منفی و معنی‌دار دارد. بین هدایت الکتریکی بذر و میزان مالون‌دی‌آلدهید همبستگی مثبت و معنی‌دار به ثبت رسید (جدول ۵).

این صفت در شرایط پیری افزایش یافت که دلیل آن نشت مواد است. در واقع نشت مواد نشانگر صدمه به غشاء است که در مراحل پیشرفته‌تر، موجب کاهش فسفولیپیدها می‌شود و در نهایت درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را کاهش می‌دهد. دلیل دیگری که می‌توان برای افزایش هدایت الکتریکی بذرها بیان کرد احتمالاً افزایش پراکسیداسیون لیپیدها است (جدول ۵) که منجر به افزایش رادیکال‌های آزاد شده و به غشاء خسارت وارد می‌کند. قادری‌فر[3] و همکاران (۲۰۱۴) این‌گونه بیان کردند که تولید و انباشتگی رادیکال‌های آزاد موجب خسارت به اسیدهای چرب غیر اشباع غشاهای سلولی می‌شود، در ادامه رادیکال‌های آزاد دیگری تولید می‌شوند که این رادیکال‌ها با یکدیگر ترکیب شده و در نهایت کلیه این تغییرات به اختلال در غشاء، افزایش نفوذپذیری و نشت مواد از بذرها و در نهایت افزایش هدایت الکتریکی منجر می‌شوند.

در اثر پیش‌تیمار بذر با عصاره جلبک میزان مالون‌دی‌آلدهید و به دنبال آن میزان پراکسید هیدروژن کمتر شد و نسبت به سایر تیمارها هدایت الکتریکی کمتری را نیز به خود اختصاص دادند (جدول ۴). در راستای این تحقیق، محققان دریافتند که عصاره جلبک قهوه‌ای موجب کاهش شاخص هدایت الکتریکی غشاء در لوبیا سفید (*Phaseolus lanatus* L.) شد (بیگ‌زاده[4] و همکاران، ۲۰۱۹).

## فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز

بررسی نتایج روشن ساخت که تیمار فرسودگی، پیش‌تیمار با عصاره جلبک دریایی و برهم‌کنش این دو عامل در سطح احتمال یک درصد بر فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز تأثیرگذار بود (جدول ۲). پیش‌تیمار بذور طبیعی با سطوح ۰/۱ تا ۰/۴ درصد عصاره جلبک دریایی و هم‌چنین آب مقطر اثری بر فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز نسبت به شاهد نداشت. در حالی که غلظت بالای عصاره جلبک (۰/۵ درصد) در این شرایط موجب کاهش فعالیت این آنزیم شد (جدول ۴).

فعالیت این آنزیم هیدرولیتیک در اثر فرسودگی بذر به شدت کاسته شد. فعالیت این آنزیم در بذرهای فرسوده تیمار نشده ۰/۵۹۳ میکرومول نشاسته هیدرولیز شده در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه ثبت شد در حالی که فعالیت آن در شرایط مشابه در بذرهای طبیعی ۱/۲۳

[1] Goni
[2] Anjos Neto
[3] Ghaderi-Far
[4] Beigzadeh

میکرومول نشاسته هیدرولیز شده در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بود. محققان بیان کرده‌اند بدون فعالیت آنزیمی مناسب، ذخایر بذر هیدرولیز نمی‌شوند و در نتیجه مولکول‌های لازم برای ساخت حامل‌های انرژی نظیر ATP در دسترس نخواهند بود (مک‌دونالد[1]، ۱۹۹۹).

پیش‌تیمار بذرهای فرسوده با عصاره جلبک دریایی به‌ویژه غلظت‌های ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد سبب افزایش قابل توجهی در فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز نسبت به شاهد گردید. استفاده از آب مقطر و پایین‌ترین غلظت عصاره جلبک دریایی (۰/۱ درصد) از لحاظ تأثیر بر فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز اختلافی با بذرهای شاهد نداشت (جدول ۴).

نتایج همبستگی نشان داد که بین فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز و صفات مقدار استفاده از ذخایر بذر، کارایی استفاده از ذخایر بذر، شاخص بنیه طولی گیاهچه، شاخص بنیه بذر، شاخص جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی همبستگی مثبت و معنی‌دار به ثبت رسید (جدول ۶).

آلفاآمیلاز می‌تواند با اتصال به باندهای گلیکوزیدی آمیلوز (پلی‌ساکارید ذخیره‌ای در بذرهای گیاهان) در تجزیه نشاسته و تأمین انرژی مورد نیاز برای فرآیندهای رشدی مانند طول گیاهچه و ریشه‌چه نقش داشته باشد (فاروق[2] و همکاران، ۲۰۰۷).

دلیل کاهش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در شرایط فرسودگی در این پژوهش را می‌توان با افزایش گونه‌های فعال اکسیژن مرتبط دانست. محققان اعلام کردند که گونه‌های فعال اکسیژن موجب تخریب ساختارهای DNA و RNA ریبوزومی می‌گردد و در فرآیند نسخه-برداری اختلال ایجاد می‌شود و در نهایت موجب عدم ساخت آنزیم‌های ضروری از جمله آلفا آمیلاز می‌گردد (کاپیلان[3]، ۲۰۱۵).

ثابت شده است که ترکیبات شبه جیبرلین موجود در عصاره جلبک دریایی موجب فعال کردن ژن‌های آلفاآمیلاز در سلول‌های لایه آلورون می‌شوند (سان و گوبلر[4]، ۲۰۰۴). حسین و همکاران (۲۰۲۱) در ذرت و باقلا و رایوراث[5] و همکاران (۲۰۰۸) در جو نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

## رشد هتروتروفیک و میزان ذخایر منتقل شده طی جوانه‌زنی بذر

رشد هتروتروفیک شامل سه جزء اصلی شامل مقدار استفاده از ذخایر بذر، کارایی استفاده از ذخایر بذر و کسر ذخایر مصرف شده می‌باشد (سلطانی[6] و همکاران، ۲۰۰۸). در پژوهش حاضر، تیمارهای پیری، پیش‌تیمار با عصاره جلبک دریایی و بر هم‌کنش این دو عامل در سطح یک درصد بر مقدار استفاده از ذخایر بذر سویا مؤثر واقع شدند (جدول ۲). برش‌دهی اثرات متقابل[7] نشان داد که استفاده از عصاره جلبک در هر دو شرایط طبیعی و پیری بر این صفت تأثیرگذار بوده است. در بذرهای طبیعی، کاربرد تمامی سطوح عصاره جلبک دریایی و آب مقطر موجب افزایش این صفت نسبت به شاهد گردید. از سوی دیگر پیش‌تیمار بذرهای فرسوده با غلظت‌های ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ درصد عصاره جلبک موجب افزایش ۰/۰۳۴، ۰/۰۲۸ و ۰/۰۳۰ گرم مقدار استفاده از ذخایر بذر شد (جدول ۴).

نتایج همبستگی نشان داد که مقدار استفاده از ذخایر بذر با درصد جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۵).

[1] McDonald
[2] Farooq
[3] Kapilan
[4] Sun and Gubler
[5] Rayorath
[6] Soltani
[7] Slicing interactions

**جدول ۲.** میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس محتوای مالون‌دی‌آلدهید (MDA)، هدایت الکتریکی (EC)، فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز (α- Amylase)، مقدار استفاده از ذخایر بذر (SRUR)، کارایی استفاده از ذخایر بذر (SRUE)، کسر ذخایر مصرف شده بذر (FMOB)، نسبت رشد آلومتریک (AG)، شاخص بنیه طولی گیاهچه (SLVI)، شاخص بنیه بذر، شاخص جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی در بذرهای سویا تحت تأثیر پیری و عصاره جلبک

**Table 2.** Mean Squares from analysis of variance for malondialdehyde (MDA), electrical conductivity (EC), α- amylase, seed reserves use rate (SRUR), seed reserves use efficiency (SRUE), fraction of seed reserves mobilization (FMOB), allometric growth ratio (AG), seedling length vigor index (SLVI), vigor index, germination index, germination rate and germination percentage in soybean seeds under aging and seaweed extract.

| منابع تغییر | درجه آزادی | MDA | EC | α-Amylase | SRUR | SRUE | FMOB | AG | SLVI | شاخص بنیه بذر | شاخص جوانه‌زنی | سرعت جوانه‌زنی | درصد جوانه‌زنی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S.O.V | df | | | | | | | | | Vigor Index | Germination Index | Germination rate | Germination percentage |
| پیری (A) aging | 1 | 111.68** | 187.41** | 1.88** | 0.001** | 0.005* | 0.022** | 0.54* | 17191.45** | 32.89** | 1.47** | 44.45** | 2392.59** |
| عصاره جلبک (B) seaweed extract | 6 | 13.79** | 48.10** | 0.12** | 0.001** | 0.017** | 0.030** | 0.19$^{ns}$ | 1351.30** | 4.34** | 0.07* | 9.17** | 108.42** |
| A*B | 6 | 5.68* | 14.11* | 0.10** | 0.0003** | 0.001 $^{ns}$ | 0.01** | 0.24$^{ns}$ | 669.29** | 1.79** | 0.009 $^{ns}$ | 2.61 $^{ns}$ | 28.20* |
| خطا Error | 28 | 3.26 | 4.77 | 0.019 | 0.000052 | 0.0010 | 0.0013 | 0.11 | 163.51 | 0.28 | 0.03 | 2.39 | 8.30 |
| ضریب تغییرات (درصد) C.V(٪) | - | 10.35 | 9.18 | 13.05 | 12.20 | 23.14 | 10.02 | 16.89 | 15.68 | 10.24 | 6.79 | 15.72 | 3.48 |

برشدهی بر همکنش: میانگین مربعات سطوح عصاره جلبک در هر سطح تیمار پیری

Slicing interactions: mean squares of seaweed extract levels in each level of aging treatment

| تیمار پیری aging treatment | درجه آزادی Df | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بذرهای غیر فرسوده un-aged seeds | 6 | 5.40* | 21.12** | 0.11** | 0.0007** | - | 0.022** | - | 691.50** | 2.49** | - | - | 33.77** |
| بذرهای فرسوده aged seeds | 6 | 14.07** | 41.09** | 0.11** | 0.0005** | - | 0.020** | - | 1329.02** | 3.64** | - | - | 102.85** |

ns: non-significant, * and ** significant at p<0.05 and p<0.01, respectively.

ns، *و** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

**جدول ۳.** مقایسه میانگین اثرات پیری و عصاره جلبک بر کارایی استفاده از ذخایر بذر (SRUE)، نسبت رشد آلومتریک (AG)، شاخص جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی در بذرهای سویا

**Table 3.** Mean comparison of aging and seaweed extract on seed reserves use efficiency (SRUE), allometric growth ratio (AG), germination index and germination rate in soybean seeds. (D.W: Distilled water).

| | کارایی استفاده از ذخایر بذر SRUE | نسبت رشد آلومتریک AG | شاخص جوانه‌زنی Germination index | سرعت جوانه‌زنی Germination rate |
|---|---|---|---|---|
| | گرم بر گرم بذر g/g | - | - | بذر در روز Seed/day |
| بذرهای غیر فرسوده un-aged seeds | 0.14 [a] | 2.14 [a] | 2.74 [a] | 10.86 [a] |
| بذرهای فرسوده aged seeds | 0.12 [b] | 1.91 [b] | 2.37 [b] | 8.80 [b] |
| عصاره جلبک (٪) seaweed extract | | | | |
| 0 | 0.10 [d] | 2.27 [a] | 2.43 [d] | 8.52 [c] |
| D.W | 0.12 [bcd] | 2.10 [ab] | 2.56 [bcd] | 10.34 [ab] |
| 0.1 | 0.156 [b] | 1.98 [ab] | 2.60 [b] | 10.84 [a] |
| 0.2 | 0.246 [a] | 1.76 [b] | 2.59 [bc] | 10.67 [ab] |
| 0.3 | 0.138 [bc] | 1.84 [b] | 2.76 [a] | 11.21 [a] |
| 0.4 | 0.09 [d] | 2.14 [ab] | 2.50 [bcd] | 9.18 [bc] |
| 0.5 | 0.08 [d] | 2.10 [ab] | 2.45 [cd] | 8.06 [c] |

اعداد هر گروه در هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت آماری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD هستند.

The values in each group in each column that have at least one letter in common are not statistically difference at $p<0.05$ level based on the LSD test.

مقدار استفاده از ذخایر بذر جزء حساس به پیری می‌باشد که موجب کاهش معنی‌دار وزن خشک گیاهچه‌های حاصل از بذرهای فرسوده نسبت به شرایط طبیعی می‌شود. محققان این‌طور بیان کردند که کاهش مقدار استفاده از ذخایر بذر و کسر ذخایر انتقال یافته بذر به گیاهچه در شرایط تنش می‌تواند به دلیل کاهش فعالیت هورمون جیبرلین و کاهش ساخت آنزیم‌های هیدرولیز کننده آلفا آمیلاز و بتا آمیلاز در جوانه‌زنی باشد که کاهش قدرت بذر را به دنبال دارد (سعادت[1] و همکاران، ۲۰۲۰).

بررسی نتایج آزمایش عصاره جلبک دریایی نشان داد که پیری در سطح احتمال پنج درصد و عصاره جلبک دریایی در سطح احتمال یک درصد بر کارایی استفاده از ذخایر بذر مؤثر واقع شدند (جدول ۲). وقوع پیری این صفت را از ۰/۱۴ به ۰/۱۲ گرم بر گرم وزن بذر کاهش داد. کارایی استفاده از ذخایر بذر با کاربرد ۰/۱ و ۰/۲ درصد عصاره جلبک دریایی ارتقا یافت و سایر تیمارها با شاهد اختلافی نداشتند (جدول ۳).

نتایج همبستگی بین صفات نشان داد که کارایی استفاده از ذخایر بذر با سرعت جوانه‌زنی همبستگی مثبت داشت. بین کارایی استفاده از ذخایر بذر و مقدار استفاده از ذخایر بذر همبستگی منفی و معنی‌دار به ثبت رسید (جدول ۵). در این تحقیق، پیری موجب کاهش وزن خشک گیاهچه شد و از طرف دیگر میزان آنزیم‌های هیدرولیتیک نیز کاهش یافت که این امر موجب کاهش کارایی تبدیل ذخایر بذر در شرایط پیری شد. در این تحقیق استفاده از عصاره جلبک موجب افزایش وزن خشک گیاهچه و افزایش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز شد و در نهایت موجب افزایش کارایی استفاده از ذخایر بذر سویا گردید. سانتوس و همکاران (۲۰۲۱) نیز دریافتند که پیری موجب کاهش کارایی استفاده از ذخایر بذر در سویا می‌گردد.

[1] Saadat

**جدول ۴.** مقایسه میانگین مالون‌دی‌آلدهید (MDA)، هدایت الکتریکی (EC)، فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز (α- Amylase)، مقدار استفاده از ذخایر بذر (SRUR)، کسر ذخایر مصرف شده یا پویا شده بذر (FMOB) و شاخص طولی بنیه گیاهچه (SLVI) بذرهای سویا تحت تأثیر برشدهی برهم‌کنش پیری و عصاره جلبک. (D.W: آب مقطر)

**Table 4.** Mean comparison of malondialdehyde (MDA), electrical conductivity (EC), seed reserves use rate (SRUR), fraction of seed reserves mobilization (FMOB) and seedling length vigor index (SLVI) in soybean seeds under slicing interactions of aging and seaweed extract. (D.W: Distilled water)

| تیمار پیری Aging | عصاره جلبک Seaweed extract | مالون‌دی-آلدهید MDA | هدایت الکتریکی EC | فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز α- Amylase | مقدار استفاده از ذخایر بذر SRUR | کسر ذخایر مصرف شده FMOB | شاخص طولی بنیه گیاهچه SLVI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | % | نانو مول بر گرم وزن بذر nmol/g seed weight | میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم وزن بذر µs/cm/g seed weight | میکرومول نشاسته هیدرولیز شده در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه µm starch/mg pro/min | گرم g | - | - |
| بذرهای غیرفرسوده un-aged seeds | 0 | 16.69 $^{ab}$ | 24.16 $^{a}$ | 1.23 $^{a}$ | 0.034 $^{c}$ | 0.20 $^{d}$ | 79.28 $^{d}$ |
| | D.W | 17.34 $^{a}$ | 22.36 $^{ab}$ | 1.43 $^{a}$ | 0.052 $^{b}$ | 0.36 $^{c}$ | 92.47 $^{bcd}$ |
| | 0.1 | 16.63 $^{ab}$ | 22.78 $^{ab}$ | 1.43 $^{a}$ | 0.075 $^{a}$ | 0.42 $^{ab}$ | 91.53 $^{cd}$ |
| | 0.2 | 16.47 $^{ab}$ | 18.84 $^{c}$ | 1.41 $^{a}$ | 0.072 $^{a}$ | 0.45 $^{ab}$ | 124.10 $^{a}$ |
| | 0.3 | 15.44 $^{abc}$ | 20.34 $^{bc}$ | 1.36 $^{a}$ | 0.073 $^{a}$ | 0.40 $^{bc}$ | 103.99 $^{abc}$ |
| | 0.4 | 14.62 $^{bc}$ | 18.11 $^{c}$ | 1.26 $^{a}$ | 0.070 $^{a}$ | 0.42 $^{ab}$ | 114.39 $^{ab}$ |
| | 0.5 | 13.57 $^{c}$ | 25.12 $^{a}$ | 0.88 $^{b}$ | 0.073 $^{a}$ | 0.46 $^{a}$ | 106.58 $^{abc}$ |
| بذرهای فرسوده aged seeds | 0 | 22.98 $^{a}$ | 33.42 $^{a}$ | 0.59 $^{d}$ | 0.036 $^{c}$ | 0.23 $^{c}$ | 33.24 $^{e}$ |
| | D.W | 21.05 $^{a}$ | 25.37 $^{bc}$ | 0.68 $^{cd}$ | 0.043 $^{bc}$ | 0.29 $^{bc}$ | 52.12 $^{cde}$ |
| | 0.1 | 17.87 $^{b}$ | 24.08 $^{bc}$ | 0.80 $^{bcd}$ | 0.041 $^{c}$ | 0.26 $^{c}$ | 68.01 $^{bc}$ |
| | 0.2 | 18.23 $^{b}$ | 22.98 $^{c}$ | 1.01 $^{ab}$ | 0.052 $^{b}$ | 0.33 $^{b}$ | 78.12 $^{ab}$ |
| | 0.3 | 16.64 $^{b}$ | 22.46 $^{c}$ | 1.17 $^{a}$ | 0.070 $^{a}$ | 0.45 $^{a}$ | 93.95 $^{a}$ |
| | 0.4 | 18.36 $^{b}$ | 25.78 $^{bc}$ | 0.94 $^{b}$ | 0.064 $^{a}$ | 0.41 $^{a}$ | 62.16 $^{bcd}$ |
| | 0.5 | 18.44 $^{b}$ | 27.19 $^{b}$ | 0.85 $^{bc}$ | 0.066 $^{a}$ | 0.42 $^{a}$ | 41.50 $^{de}$ |

اعداد هر گروه در هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD هستند.

The values in each group in each column that have at least one letter in common are not statistically difference at $p<0.05$ level based on the LSD test.

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که عکس‌العمل کسر ذخایر مصرف شده بذر به پیری، عصاره جلبک و بر همکنش این دو عامل در سطح احتمال یک درصد معنی-دار بود (جدول ۲). در شرایط طبیعی، استفاده از آب مقطر و تمامی سطوح عصاره جلبک موجب افزایش قابل توجهی در این صفت گردید. در سوی دیگر پیش‌تیمار بذرهای فرسوده با غلظت‌های ۰/۳ تا ۰/۵ درصد عصاره جلبک دریایی این صفت را بهبود قابل ملاحظه‌ای داد. کاربرد سطح ۰/۲ درصد این ماده نیز نسبت به شاهد برتری داشت. همان‌طور که در جدول همبستگی مشاهده می‌شود بین کسر ذخایر مصرف شده بذر با شاخص بنیه بذر و مقدار استفاده از ذخایر بذر همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت. صفات کارایی استفاده از ذخایر بذر و مالون-دی‌آلدهید با کسر ذخایر مصرف شده بذر همبستگی منفی و معنی‌دار داشتند (جدول ۵). در واقع می‌توان این‌طور بیان کرد که افزایش مالون‌دی‌آلدهید در بذرهای فرسوده شده موجب کاهش کسر ذخایر مصرف شده بذر شده است (جدول ۵). پویایی ذخایر بذر وابسته به فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک است که این آنزیم‌ها سبب تجزیه مواد ذخیره‌ای بذر و در نهایت مصرف آن‌ها توسط گیاهچه می-شوند (علی و الزیری[1]، ۲۰۱۷).

[1] Ali and Elozeiri

**جدول ۵.** همبستگی بین صفات محتوای مالون‌دی‌آلدهید (MDA)، هدایت الکتریکی (EC)، آلفا آمیلاز (α-amilase)، مقدار استفاده از ذخایر بذر (SRUR)، کارایی استفاده از ذخایر بذر (SRUE)، کسر ذخایر مصرف شده بذر (FMOB)، نسبت رشد آلومتریک (AG)، شاخص بنیه طولی گیاهچه (SLVI)، شاخص بنیه بذر (VI)، شاخص جوانه‌زنی (GI)، سرعت جوانه‌زنی (GR) و درصد جوانه‌زنی (GR%) در بذرهای سویا تحت تأثیر پیری و عصاره جلبک

**Table 5.** Correlation between malondialdehyde (MDA), electrical conductivity (EC), α-amilase, seed reserves use rate (SRUR), seed reserves use efficiency (SRUE), fraction of seed reserves mobilization (FMOB), allometric growth ratio (AG), seedling length vigor index (SLVI), vigor index (VI), germination index (GI), germination rate (GR) and germination percentage (GR%), in soybean seeds under aging and seaweed extract.

| | MDA | EC | α-Amilase | SRUR | SRUE | FMOB | AG | SLVI | VI | GI | GR | GR% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MDA | 1 | | | | | | | | | | | |
| EC | 0.48** | 1 | | | | | | | | | | |
| α-Amilase | -0.43** | -0.68** | 1 | | | | | | | | | |
| SRUR | -0.45** | -0.23 ns | 0.32* | 1 | | | | | | | | |
| SRUE | -0.12 ns | -0.48** | 0.33* | -0.55** | 1 | | | | | | | |
| FMOB | -0.43** | -0.16 ns | 0.23ns | 0.96** | -0.57** | 1 | | | | | | |
| AG | -0.29 * | -0.37* | -0.16 | -0.31* | -0.08 ns | -0.39** | 1 | | | | | |
| SLVI | -0.70** | -0.61** | 0.62** | 0.51** | 0.19 ns | 0.43** | -0.30* | 1 | | | | |
| VI | -0.57** | -0.67** | 0.82** | 0.44** | 0.26 ns | 0.33* | -0.24 ns | 0.69** | 1 | | | |
| GI | -0.57** | -0.62** | 0.65** | 0.34* | 0.21 ns | 0.24 ns | -0.20 ns | 0.65** | 0.76** | 1 | | |
| GR | -0.30* | -0.54** | 0.52** | 0.08 ns | 0.37* | -0.02 ns | -0.10 ns | 0.43** | 0.66** | 0.69** | 1 | |
| GR% | -0.66** | -0.65** | 0.71** | 0.36* | 0.29 ns | 0.25 ns | -0.24 ns | 0.85** | 0.74** | 0.76** | 0.59** | 1 |

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

ns: non-significant, * and ** significant at $p<0.05$ and $p<0.01$, respectively.

**جدول ۶.** تجزیه علیت درصد جوانه‌زنی تحت تأثیر صفات سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، مالون‌دی‌آلدهید (MDA) و هدایت الکتریکی (EC) (درصد جوانه‌زنی صفت وابسته است).

**Table 6.** Path coefficient analysis of germination rate, germination index, vigor index, malondialdehyde (MDA) and electrical conductivity (EC)

| صفات Traits | مالون‌دی‌آلدهید MDA | هدایت الکتریکی EC | آلفا آمیلاز α-Amylase | شاخص بنیه بذر Vigor index | شاخص جوانه‌زنی Germination index | سرعت جوانه‌زنی Germination rate | اثرات کل Total effect |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MDA | -0.32 | -0.03 | -0.14 | 0.03 | -0.15 | -0.04 | -0.66 |
| EC | -0.15 | -0.06 | -0.22 | 0.03 | -0.16 | -0.07 | -0.65 |
| α-Amylase | 0.14 | 0.04 | 0.32 | -0.04 | 0.17 | 0.07 | 0.71 |
| شاخص بنیه بذر Vigor Index | 0.18 | 0.04 | 0.27 | -0.05 | 0.20 | 0.09 | 0.74 |
| شاخص جوانه‌زنی Germination Index | 0.18 | 0.04 | 0.21 | -0.04 | 0.27 | 0.09 | 0.76 |
| سرعت جوانه‌زنی Germination Rate | 0.09 | 0.03 | 0.17 | -0.03 | 0.18 | 0.13 | 0.59 |
| R- Square | 0.7365 | | | | | | |

در این پژوهش میزان آنزیم آلفا آمیلاز و بتا آمیلاز در پیری کاهش یافت که این امر موجب کاهش کسر ذخایر پویا شده بذر گردید. کاهش فعالیت آلفا آمیلاز در بذر گیاهان تحت تنش به کاهش تشکیل گلوکز از نشاسته منجر می‌شود که حاصل آن کاهش سنتز ساکارز است و در نهایت کاهش کارایی ذخایر بذر را در پی دارد (داماریس[1] و همکاران، ۲۰۱۹). سلطانی و همکاران

[1] Damaris

(۲۰۰۸) علت کاهش کسر ذخایر پویا شده در پیری را با کاهش سنتز هورمون جیبرلین و سایر آنزیم‌های هیدرولیتیک دخیل در جوانه‌زنی بذر مرتبط دانستند. احتمالاً کاربرد عصاره جلبک دریایی نیز از طریق افزایش جیبرلین و فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز موجب افزایش کسر ذخایر مصرف شده بذر گردیده است.

**نسبت رشد آلومتریک و شاخص بنیه طولی گیاهچه**

نسبت رشد آلومتریک تنها تحت تأثیر پیری در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت. پیری، پیش‌تیمار و بر همکنش پیری و پیش‌تیمار در سطح احتمال یک درصد بر شاخص بنیه طولی گیاهچه مؤثر واقع شدند (جدول ۲). نسبت رشد آلومتریک و شاخص بنیه طولی گیاهچه در بذرهای فرسوده به‌ترتیب ۱۰/۷۴ و ۵۸/۰۷ درصد کمتر از بذرهای غیرفرسوده بود (جدول ۴).

در این تحقیق بین نسبت رشد آلومتریک با میزان مالون‌دی‌آلدهید و هدایت الکتریکی همبستگی منفی و معنی‌دار به ثبت رسید (جدول ۵). در این پژوهش پیری تسریع شده اثر معنی‌داری بر طول گیاهچه و به دنبال آن شاخص بنیه طولی و نسبت رشد آلومتریک داشت. افزایش میزان تولید مالون‌دی‌آلدهید همراه با نشت الکترولیت‌ها در شرایط پیری می‌تواند بخش قابل توجهی از کاهش رشد گیاهچه را توجیه کند.

علت کاهش رشد گیاهچه در شرایط پیری را هم‌چنین می‌توان با کاهش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و کسر ذخایر پویا شده بذر در این شرایط مرتبط دانست که مشابه این نتیجه را نیز پسندیده[1] و همکاران (۲۰۱۴) در سویا تحت پیری گزارش کردند.

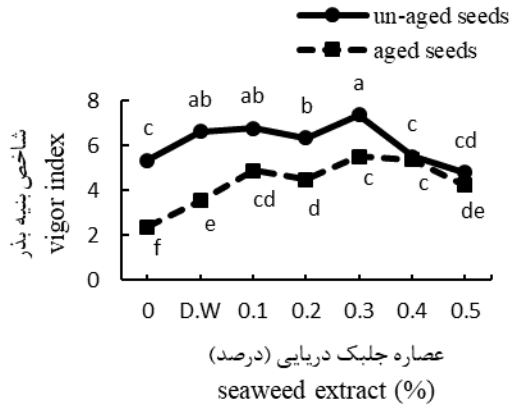
در بذرهای غیرفرسوده استفاده از ۰/۲ تا ۰/۵ درصد عصاره جلبک دریایی موجب افزایش شاخص بنیه طولی گیاهچه گردید. این در حالی است که در بذرهای فرسوده، استفاده از غلظت‌های ۰/۱ تا ۰/۴ درصد این ماده موجب افزایش معنی‌دار این صفت نسبت به شاهد گردید (جدول ۴). عصاره جلبک از طریق افزایش دادن طول گیاهچه موجب افزایش شاخص بنیه طولی گیاهچه گردیده است. شاید بتوان علت افزایش رشد گیاهچه با کاربرد عصاره جلبک دریایی را با وجود اکسین، سیتوکینین و دیگر مواد محرک رشد موجود در این عصاره مرتبط دانست (راماراجان[2] و همکاران، ۲۰۱۲).

**شاخص بنیه بذر**

یکی دیگر از شاخص‌های تعیین کننده کیفیت بذر، شاخص بنیه بذر می‌باشد که از طریق درصد جوانه‌زنی نهایی و طول گیاهچه روی کیفیت بذر مؤثر است. در این تحقیق، صفت شاخص بنیه بذر تحت تأثیر پیری، پیش‌تیمار با عصاره جلبک دریایی و برهمکنش این دو عامل در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). پیش‌تیمار با عصاره جلبک دریایی، هم در شرایط طبیعی و هم در شرایط پیری بر این صفت اثرگذار بود (جدول ۲). در شرایط طبیعی بذرهایی که با آب مقطر و عصاره جلبک دریایی با غلظت ۰/۱ تا ۰/۳ درصد پیش‌تیمار شده بودند، شاخص بنیه بذر بیشتری را دارا بودند (شکل ۱). بررسی بذرها در شرایط پیری نشان داد که بذرهای شاهد با دارا بودن شاخص بنیه بذر معادل ۲/۳۵ کمترین میزان این صفت را نشان داد. زمانی که بذرهای فرسوده با آب مقطر و تمامی سطوح عصاره جلبک دریایی پیش‌تیمار شدند، این صفت افزایش چشمگیری یافت. استفاده از ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۴ درصد عصاره به ترتیب موجب افزایش این صفت از ۲/۳۵ در بذرهای شاهد به ۴/۸۸، ۵/۵۰ و ۵/۳۵ شد (شکل ۱). نتایج جدول همبستگی بیان‌گر این بود که شاخص بنیه بذر با صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص جوانه‌زنی همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۵). شاخص بنیه بذر ارتباط مستقیم با طول گیاهچه و درصد جوانه‌زنی دارد (ایستا، ۲۰۰۹). بنابراین کاهش شاخص بنیه بذر در شرایط پیری ناشی از کاهش اجزاء آن، یعنی درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه است که هر دو در شرایط پیری کاهش یافته‌اند. دلیل دیگر کاهش شاخص بنیه بذر

[1] Pasandideh

[2] Ramarajan




**شکل ۱.** مقایسه میانگین شاخص بنیه در بذرهای غیر فرسوده و فرسوده تحت تأثیر پیش‌تیمار با عصاره جلبک (D.W: آب مقطر)

**Fig. 1.** Mean comparison of vigor index in un-aged seeds and aged seeds under seed pretreatment with seaweed extract. (DW: distilled water).

در این پژوهش می‌تواند افزایش مالون‌دی‌آلدهید باشد که موجب آسیب به غشاء می‌شود. با توجه به ارتباط مستقیم شاخص بنیه بذر با طول گیاهچه، می‌توان گفت افزایش این پارامتر نیز با افزایش طول گیاهچه در تیمارهای عصاره جلبک دریایی متناسب است.

عصاره جلبک احتمالاً از طریق افزایش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و افزایش فعالیت آنزیم‌های محافظت کننده در برابر رادیکال‌های اکسیژن فعال در افزایش شاخص بنیه بذر نقش دارد. احمدپور[1] و همکاران (۲۰۲۰) نیز دریافتند که کاربرد عصاره جلبک *Ascophyllum nodosum* موجب افزایش شاخص بنیه بذر در گوجه‌فرنگی گردید.

## شاخص جوانه‌زنی

اعمال پیری در سطح احتمال یک درصد و پیش‌تیمار در سطح احتمال پنج درصد بر شاخص جوانه‌زنی بذر تأثیر گذاشتند (جدول ۲). وقوع پیری موجب کاهش این صفت از ۲/۷۴ در بذرهای شاهد به ۲/۳۷ گردید. پیش‌تیمار بذرها با غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد عصاره جلبک دریایی به‌ترتیب موجب افزایش معنی‌دار ۶/۹۹، ۶/۵۸ و ۱۳/۵۸ درصدی این صفت نسبت به شاهد شد. سایر تیمارها با شاهد اختلاف معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۳).

در این پژوهش پیری موجب کاهش درصد جوانه‌زنی بذرهای سویا گردید، با کاهش در تعداد بذرهای جوانه‌زده، شاخص جوانه‌زنی نیز کاهش یافت. استفاده از عصاره جلبک تا سطح ۰/۳ درصد نیز از طریق افزایش درصد جوانه‌زنی توانسته است موجب افزایش شاخص جوانه‌زنی گردد (شکل ۱ و جدول ۳). مشابه نتایج تحقیق حاضر تنگسری[2] و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که پیری موجب کاهش شاخص جوانه‌زنی بذرهای سویا گردید. احمدپور و همکاران (۲۰۲۰) و احمدپور و همکاران (۲۰۱۹) نیز دریافتند که عصاره جلبک *Ascophyllum nodosum* موجب افزایش شاخص جوانه‌زنی بذر گوجه‌فرنگی و نخود شد.

## سرعت جوانه‌زنی

در بررسی تأثیر پیری و عصاره جلبک دریایی مشخص گردید که سرعت جوانه‌زنی تحت تأثیر پیری و عصاره جلبک دریایی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). بذرهای فرسوده شده، سرعت جوانه‌زنی کمتری را نسبت به شاهد دارا بودند (جدول ۳). پیش‌تیمار بذرها با عصاره جلبک دریایی با غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد توانست سرعت جوانه‌زنی را افزایش معنی‌دار دهد و این در حالی بود که کاربرد سطوح بالاتر این ماده (۰/۴ و ۰/۵ درصد) از لحاظ سرعت جوانه‌زنی اختلافی با بذرهای شاهد نشان نداد. کاهش سرعت جوانه‌زنی در بذرهای فرسوده در این تحقیق می‌تواند به دلیل کاهش کارایی استفاده از ذخایر بذر باشد (جدول ۴ و ۵). نتایج همبستگی نشان داد که سرعت جوانه‌زنی با صفاتی از قبیل شاخص جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، کارایی استفاده از ذخایر و شاخص بنیه طولی گیاهچه همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. میزان مالون‌دی‌آلدهید و هدایت الکتریکی بذر با سرعت جوانه‌زنی همبستگی منفی و معنی‌دار نشان دادند (جدول ۵).

[1] Ahmadpour

[2] Thongsri

همان‌طور که در جدول همبستگی مشاهده می‌شود می‌توان بیان کرد که افزایش نشت الکترولیت‌های غشاء در شرایط پیری می‌تواند از جمله دلایل دیگری باشد که موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی شده است. قنبری[1] و همکاران (۲۰۱۹) اعلام کردند که کاهش سرعت جوانه‌زنی در شرایط پیری تسریع شده ناشی از کاهش انتقال مواد تجزیه شده از بافت ذخیره‌ای بذر به محور جنین و کند شدن سنتز ترکیبات شیمیایی در جنین است. به نظر می‌رسد استفاده از عصاره جلبک دریایی به دلیل افزایش کارایی استفاده از ذخایر بذر، کاهش هدایت الکتریکی غشاء و کاهش گونه‌های فعال اکسیژن توانستند با پیری مقابله کنند و سرعت جوانه‌زنی بذرها تحت شرایط پیری را ارتقا دهند.

**درصد جوانه‌زنی**

اعمال پیری و پیش‌تیمار با عصاره جلبک دریایی در سطح احتمال یک درصد، بر هم‌کنش پیری و عصاره جلبک دریایی در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی کل داشت (جدول ۲).

پیش‌تیمار بذرهای طبیعی تنها با کاربرد ۰/۳ درصد عصاره جلبک نسبت به شاهد افزایش ۵/۳۴ درصدی و معنی‌دار را نشان داد. پیش‌تیمار بذور طبیعی با سایر سطوح عصاره جلبک اگرچه موجب افزایش درصد جوانه‌زنی شد ولی این افزایش نسبت به شاهد معنی‌دار نبود (شکل ۲). شایان ذکر است درصد جوانه‌زنی در شرایط عادی بدون پیش‌تیمار در بذرهای طبیعی ۸۸/۶۶ درصد بود که در اثر پیری به ۷۰ درصد رسید.

پیش‌تیمار بذرهای فرسوده با عصاره جلبک دریایی با غلظت‌های ۰/۱ تا ۰/۳ درصد تا حدی این کاهش را جبران نمود و این صفت را از ۸ تا ۱۵ درصد بهبود بخشید. بالاترین مقدار ثبت شده مربوط به غلظت ۰/۳ درصد بود. کاربرد عصاره جلبک دریایی با غلظت‌های ۰/۴ و ۰/۵ درصد و هم‌چنین پیش‌تیمار بذرها با آب مقطر از لحاظ درصد جوانه‌زنی اختلافی با بذرهای شاهد نشان ندادند (شکل ۲).

جدول همبستگی صفات حاکی از همبستگی مثبت و معنی‌دار درصد جوانه‌زنی با مقدار استفاده از ذخایر بذر و شاخص بنیه طولی گیاهچه بود (جدول ۵). بین میزان مالون‌دی‌آلدهید و هدایت الکتریکی بذر با درصد جوانه‌زنی بذر نیز همبستگی منفی و معنی‌دار به ثبت رسید (جدول ۵).

بذرهای فرسوده شده به دلیل کاهش در فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن و تخریب در دیواه سلولی در جذب آب دچار مشکل شده و از این رو درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. از دیگر دلایل احتمالی کاهش درصد جوانه‌زنی در بذرهای فرسوده می‌توان به کاهش کارایی مصرف مواد ذخیره‌ای بذر و در نتیجه کاهش در انتقال مواد غذایی به محور جنینی و کاهش در رشد سلولی محور جنینی اشاره کرد، که اعمال پیش‌تیمار می‌تواند تا حدودی سبب افزایش در مصرف مواد غذایی شده و از این طریق درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی را افزایش دهد (شکل ۲ و جدول ۳). مشابه تحقیق حاضر، ویراسکارا[2] و همکاران (۲۰۲۱)، بخشنده و غلامحسینی[3] (۲۰۱۸) بیان کردند که در اثر پیری در سویا از درصد جوانه‌زنی کاسته شد. این محققان دریافتند که کاهش جوانه‌زنی در اثر پیری می‌تواند ناشی از کاهش فعالیت آلفا آمیلاز و میزان قندها و غیر عادی شدن پروتئین‌ها باشد.

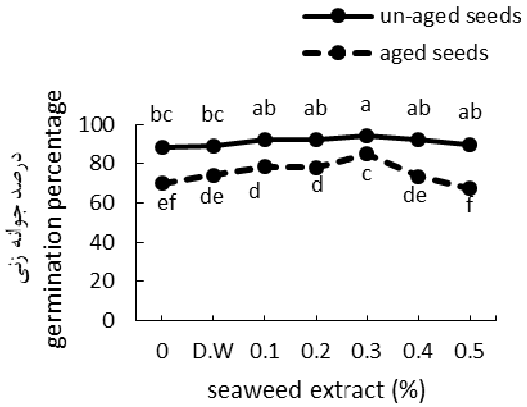
علت افزایش درصد جوانه‌زنی با کاربرد عصاره جلبک دریایی ممکن است به علت حضور هورمون جیبرلین در این عصاره باشد. هورمون جیبرلین ساخت تعدادی از هیدرولازها به ویژه آلفا آمیلاز را افزایش می‌دهد، که موجب تسریع تجزیه نشاسته و در نتیجه افزایش جوانه‌زنی بذر می‌گردد (تمبیراج[4] و همکاران، ۲۰۱۲). علت دیگر افزایش درصد جوانه‌زنی با کاربرد عصاره جلبک دریایی می‌تواند به وجود پلی‌ساکاریدها، آلژینات، پلی‌آمین‌ها،

[1] Ghanbari

[2] Weerasekara
[3] Bakhshandeh and Gholamhosseini
[4] Thambiraj

اسیدهای آمینه، سیتوکینین، اکسین، ترکیبات شبه اکسین و جیبرلین‌ها در عصاره جلبک دریایی مرتبط باشد. این ترکیبات بر فرایندهای متابولیسم سلول تأثیر می‌گذارند و منجر به افزایش جوانه‌زنی بذرها و رشد گیاهچه می‌شوند (یوسف[1] و همکاران، ۲۰۱۲). در راستای تحقیق حاضر چتنا و همکاران (۲۰۱۵) و دزیرگوسکا[2] و همکاران (۲۰۲۱) دریافتند که عصاره جلبک دریایی سبب افزایش درصد جوانه‌زنی سویا می‌گردد.

کاهش درصد جوانه‌زنی در غلظت‌های بالاتر عصاره جلبکی نسبت به غلظت‌های پایین‌تر این ماده را می‌توان به حضور بیش از حد عناصر در اطراف بذر نسبت داد که علاوه بر ایجاد مسمومیت، با توجه به قابل انحلال بودن آن‌ها در آب، موجب کاهش پتانسیل آب می‌شوند. به نحوی که علی‌رغم وجود آب در محیط به دلیل اینکه ظرفیت واکنش آن‌ها در اشغال یون‌های موجود قرار می‌گیرد، منجر به کاهش جذب آب توسط بذر می‌گردند. در نهایت کاهش رطوبت سلول موجب کاهش سنتز و ترشح آنزیم آلفا آمیلاز و لیپازها می‌شود.




**شکل ۲.** مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی در بذرهای غیر فرسوده و فرسوده تحت تأثیر پیش‌تیمار با عصاره جلبک (D.W: آب مقطر)

**Fig. 2.** Mean comparison of germination percentage in un-aged seeds and aged seeds under seed pretreatment with seaweed extract. (DW: distilled water).

[1] Yusuf
[2] Dziergowska

ترشح این آنزیم‌ها موجب می‌شود تا مواد غذایی اندوخته شده (نشاسته، مواد لیپیدی و پروتئین‌ها) در بذر تجزیه و انرژی لازم برای رویش و خروج ریشه‌چه و ساقه‌چه از دانه فراهم شود (سلوام و سیواکومار[3]، ۲۰۱۳).

## تجزیه علیت

برای تعیین سهم اثرهای مستقیم و غیر مستقیم متغیرها از تجزیه علیت استفاده شد. همان‌طور که در جدول ۶ ملاحظه می‌گردد، زمانی که صفت درصد جوانه‌زنی به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد، صفات مالون‌دی‌آلدهید (۰/۶۶-)، هدایت الکتریکی (۰/۶۵-)، فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز (۰/۷۱)، شاخص بنیه بذر (۰/۷۴)، شاخص جوانه‌زنی (۰/۷۶) و سرعت جوانه‌زنی (۰/۵۹) به عنوان متغیرهای اصلی وارد مدل شدند. با توجه به میزان ضریب تبیین، ۷۳/۶۵ درصد از تغییرات درصد جوانه‌زنی توسط شش صفت فوق توجیه می‌شود. نتایج تجزیه علیت درصد جوانه‌زنی بیان‌گر این است که بیشترین اثر مستقیم و مثبت را آنزیم آلفاآمیلاز (۰/۳۲) به خود اختصاص داد. صفت مالون‌دی‌آلدهید، بیشترین اثر مستقیم و منفی (۰/۳۲-) را بر درصد جوانه‌زنی داشت. صفت سرعت جوانه‌زنی به‌طور غیرمستقیم از طریق تأثیر بر شاخص جوانه‌زنی بر درصد جوانه‌زنی مؤثر بود. شاخص بنیه بذر به‌طور غیر مستقیم از طریق تأثیر بر شاخص جوانه‌زنی بر درصد جوانه‌زنی تأثیر گذاشت. هدایت الکتریکی نیز از طریق اثر گذاشتن بر فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز و شاخص جوانه‌زنی موجب کاهش درصد جوانه‌زنی شد (جدول ۶).

## نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج داده‌های این پژوهش نشان داد که پیری به‌طور معنی‌داری اثر کاهشی بر صفات سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی کل، شاخص جوانه‌زنی بذر، شاخص بنیه بذر، کارایی استفاده از ذخایر بذر سویا داشت. استفاده از آب مقطر به‌صورت پیش‌تیمار در بذرهای فرسوده موجب افزایش شاخص بنیه بذر و کاهش هدایت

[3] Selvam and Sivakumar

الکتریکی غشاء گردید. پیش‌تیمار بذرهای غیرفرسوده و فرسوده سویا با عصاره جلبک موجب اثرات مثبتی از جمله افزایش درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و کاهش مالون-دی‌آلدهید و هدایت الکتریکی غشاء در بذرها گردید. در نهایت در بین سطوح مورد استفاده عصاره در این پژوهش می‌توان کاربرد ۰/۳ درصد از این ماده را در بذرهای طبیعی و فرسوده سویا به‌صورت پیش‌تیمار بذری جهت بهبود صفات فیزیولوژیک توصیه نمود. هم‌چنین می‌توان کاربرد عصاره جلبک *Ascophyllum nodosum* را جهت کاهش اثرات ناشی از پیری در بذرهای سویا پیشنهاد داد.

## منابع

Agrawal, R. 2003. Seed Technology. Pub. New Delhi. India. 829 p.

Ahmadpour, R., Mohammadi, F. and Armand, N. 2020. Interaction of Ascophyllum nodosum seaweed extract and drought stress on tomato seed (*Lycopersicon sculentum* L.) germination indices. Journal of Seed Research, 10(2): 31-44. [In Persian with English Summary].

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 with English Summary]. https://doi.org/10.29252/nbr.6.2.206

Ali, A. and Elozeiri, A. 2017. Metabolic processes during seed germination. Chapter 8. pp. 142-166. https://doi.org/10.5772/intechopen.70653

Ali, O., Ramsubhag, A. and Jayaraman, J. 2019. Biostimulatory activities of *Ascophyllum nodosum* extract in tomato and sweet pepper crops in a tropical environment. Plos One, 14(5): 119. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216710

Anjos Neto, A.P., Fonseca Oliveira, G.R., Mello, S.C., Silva, M.S., Gomes-Junior, F.G., November, A.D. and Azevedo, R.A. 2020. Seed priming with seaweed extract mitigate heat stress in spinach: effect on germination, seedling growth and antioxidant capacity. Bragantia, Campinas, 79(4): 377-386. https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200127

Bakhshandeh, E. and Gholamhosseini, M. 2018. Quantification of soybean seed germination response to seed deterioration under PEG-induced water stress using hydrotime concept. Acta Physiologiae Plantarum, 40: 1-8. https://doi.org/10.1007/s11738-018-2700-1

Beigzadeh, S., Maleki, A., Mirzaee Heydari, M., Rangin, A. and Khorgami, A. 2019. Effects of salicylic acid and seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extracts application on some physiological traits of white bean (*Phaseolus lanatus* L.) under drought stress conditions. Journal of Applied Research in Plants Ecophysiology, 1 (14): 21-44. [In Persian with English Summary].

Chetna, M., Rai, S., Sase, N., Krish, S. and Mangalam, A.J. 2015. *Enteromorpha intestinalis* derived seaweed liquid fertilizers as prospective biostimulant for Glycine max. Brazilian Archives of Biology and Technology, 58(6): 813-820. https://doi.org/10.1590/S1516-89132015060304

Damaris, R.N., Lin, Z., Yang, P. and He, D. 2019. The rice alpha-amylase, conserved regulator of seed maturation and germination. International Journal of Molecular Sciences, 20(2): 450. https://doi.org/10.3390/ijms20020450

De Saeger, J., Van Praet, S., Vereecke, D., Park, J., Jacques, S., Han, T. and Depuydt, S. 2020. Toward the molecular understanding of the action mechanism of *Ascophyllum nodosum* extracts on plants. Journal of Applied Phycology, 32: 573-597. https://doi.org/10.1007/s10811-019-01903-9

Du, Z. and BramLey, W.J. 1992. Modified thiobarbituric acid assay for measuring lipid oxidation in sugar-rich plant tissue extracts. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 40(9): 1566- 1570. https://doi.org/10.1021/jf00021a018

Dziergowska, K., Lewandowska, S., Mech, R., Pol, M., Detyna, J. and Michalak, I. 2021. Soybean germination response to algae extract and a static magnetic field treatment. Applied Science, 11: 85-97. https://doi.org/10.3390/app11188597

Ebone, L.A., Caverzan, A., Tagliari, A., Chiomento, J., Silveira, D. and Chavarria, G. 2020. Soybean seed vigor: uniformity and growth as key factors to improve yield. Agronomy, 10: 1-15. https://doi.org/10.3390/agronomy10040545

Farooq, M., Basra, S.M. and Ahmad A.N. 2007. Improving the performance of transplanted rice by seed priming. Plant Growth Regulation, 51: 129-137. https://doi.org/10.1007/s10725-006-9155-x

Ghaderi-Far, F., Soltani, A. and Sadeghipour, H.R. 2014. Biochemical changes during ageing in medicinal pumpkin: lipid peroxidation and membrane damage. Iranian Journal of Plant Biology, 20(6): 96-112. [In Persian].

Ghanbari, M., Makhtassi B., Talebi Siahsaran, P. and Pirani, H. 2019. Effect of deterioration on germination and enzymes activity in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadri) under salinity stress condition. Environmental Stresses in Crop Sciences, 12(2): 585-594. [In Persian with English Summary].

Goni, O., Quille, P. and Oconnell, S. 2018. *Ascophyllum nodosum* biostimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants. Plant Physiology and Biochemistry, 126: 63-73. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.02.024

Hampton, J.G. and Tekrony, D.M. 1995. Handbook of Vigor Test Methods. The International Seed Testing Association, Zurich.

Hussein, M.H., Eltanahy, E.G., Albakry, A. and Elsafty, N. 2021. Seaweed extracts as prospective plant growth bio-stimulant and salinity stress alleviator for *Vigna sinensis* and *Zea mays*. Journal of Applied Phycology, 33(2): 1-18. https://doi.org/10.1007/s10811-020-02330-x

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

Kadam, S., Tiwari, B. and Odonnell, C. 2014. Extraction, structure and biofunctional activities of laminarin from brown algae. International Journal of Food Science and Technology, 50(1): 1-8. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01372.x

Kapilan, R. 2015. Accelerated aging declines the germination characteristics of the maize seeds. Journal of Bioscience, 3(8): 708-711.

Layek, J., Das, A., Ramkrushna, G.I, Sarkar, D., Ghosh, A., Zodape, S.T., Lal, R., Yadav, G.S., Panwar, A.S., Ngachan, S. and Meena, R.S. 2018. Seaweed extract as organic bio-stimulant improves productivity and quality of rice in eastern Himalayas. Journal of Applied Phycology, 30: 547-558. https://doi.org/10.1007/s10811-017-1225-0

Lodhi, K. and Diwan, U.K. 2018. Effect of natural organic fertilizer (seaweed saps) on productivity and protein status of soybean. International Journal of Fauna and Biological Studies, 5(1): 157-168.

Maesaroh, S., Wahyu, Y. and Widajati, E. 2021. Seed storability and genetic parameters estimation on accelerated aging seed of argomulyo soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) mutant lines. Journal of Agricultural Sciences, 31(3): 763- 775. https://doi.org/10.29133/yyutbd.911571

McDonald, M.B. 1999. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. Seed Science and Technology, 27: 177-237.

Morais, G. and Takaki, M. 1998. Determination of amylase activity in cotyledons of *Phaseolus vulgaris* L. cv carioca. Brazilian Archives of Biology and Technology, 41(1): 17-25. https://doi.org/10.1590/S1516-89131998000100003

Nahofte Esterabad, A., Rahemi Karizaki, A. and Nakhzari Moghadam, A. 2016. Effect of seed deterioration on germination parameters and growth seedling of two maize varieties. Iranian Journal of Seed Science and Research, 3(2): 1-11. [In Persian with English Summary].

Pasandideh, H., Seyed Sharifi, R., Hamidi, A., Mobasser, S. and Sedghi, M. 2014. Relationship of seed germination and vigour indices of commercial soybean cultivars with seedling emergence in field. Iranian Journal of Seed and Research, 1(1): 29-50. [In Persian with English Summary].

Perry, D.A. 1991. Methodology and Application of Vigour Tests. International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland. 275p.

Rajendra, D., Satpute, A. and Sanjay, P. 2018. Studies on physiology of soybean seeds by applying tool of accelerated aging test for vigor assessment. Journal of Pharma and Bio Sciences, 7(3): 12-23.

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

Rayorath, P., Khan, W., Palanisamy, R., MacKinnon, S.L., Stefanova, R., Hankins, S.D., Critchley, A.T. and Prithiviraj, B. 2008. Extracts of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* induce gibberellic acid (GA3)-independent amylase activity in barley. Journal of Plant Growth Regulation, 27(4): 370-379. https://doi.org/10.1007/s00344-008-9063-6

Saadat, T., Sedghi, M., Gholipouri, A., Seyed Sharifi, R. and Sheykhbaglou, R. 2020. The effect of priming deterioration on the activity of antioxidant enzymes and the mobility of seed reserves in French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Sadri. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 8(2): 19-32.

Santos, R.F., Placido, H.F., Bosche, L.L., Neto, H.Z., Ferando, H. and Alessandro, B. 2021. Accelerated aging methodologies for evaluating physiological potential of treated soybean seeds. Journal of Seed Science, 43: 1-12. https://doi.org/10.1590/2317-1545v43250605

Selvam, G.G. and Sivakumar, K. 2013. Effect of foliar spray from seaweed liquid fertilizer of Ulva reticulata (Forsk.) on *Vigna mungo* L. and their elemental composition using SEM-energy dispersive spectroscopic analysis. Asian Pacific Journal of Reproduction, 2(2): 119-125. https://doi.org/10.1016/S2305-0500(13)60131-1

Sivasangari Ramya, S., Vijayanand, N. and Rathinavel, S. 2015. Foliar application of liquid biofertilizer of brown alga *Stoechospermum marginatum* on growth, biochemical and yield of *Solanum melongena*. Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture, 1-7.

Soltani, E., Kamkar, B., Galeshi, S. and Akram Ghaderi, F. 2008. Effect of seed deterioration on depletion of seed reserves and heterotrophic growth of wheat seedlings. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 1: 68-76. [In Persian with English Summary].

Sun, T. and Gubler, F. 2004. Molecular mechanism of gibberellin signaling in plants. Annual Review of Plant Biology, 55: 197-223. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141753

Tekrony, D.M. and Egli, D.B. 1991. Relationship of seed vigor to crop yield: a review. Crop Science, 31:816-822. https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100030054x

Thambiraj, J., Lingakumar, K. and Paulsamy, S. 2012. Effect of seaweed liquid fertilizer (SLF) prepared from *Sargassum wightii* and *Hypnea musciformis* on the growth and biochemical constituents of the pulse, *Cyamopsis tetragonoloba* (L.). Agricultural Research, 1(1): 65-70.

Thongsri, K., Teingtham., K., Duangpatra, J. and Romkaew, J. 2021. Effects of brassinosteroids and gibberellin on water uptake and performance of soya bean seeds under different temperatures. Seed Science and Technology, 49(2): 141-157. https://doi.org/10.15258/sst.2021.49.2.06

Verma, S.K., Bjpai, G.C. Tewari, S.K. and Singh, J. 2005. Seedling index and yield as influenced by seed size in pigeon pea. Legume Research, 28: 143-145.

Weerasekara, I., Sinniah, U.R., Namasivayam, P., Nazli, M.H., Abdurahman, S.A. and Ghazali, M.N. 2021. Priming with humic acid to reverse ageing damage in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill.] seeds. Agriculture, 11: 1-18. https://doi.org/10.3390/agriculture11100966

Yu, S., Zhu, X., Yang, H., Yu, L. and Zhang, Y. 2021. A simple new method for aged seed utilization based on melatonin mediated germination and antioxidant nutrient production. Scientific Reports, 11: 1-7. https://doi.org/10.1038/s41598-021-85541-7

Yusuf, R, Kristiansen, P. and Warwick, N. 2012. Potential effect of plant growth regulators on two seaweed products. Acta Horticulturae, 958: 133-138. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.958.15

Iranian Journal of Seed Research, 2023, 9(2): 113-132

Research Article

# Effect of pretreatment with seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) on germination traits and heterotrophic growth of soybean (*Glycine max*) seeds under aging conditions

**Safiyeh Arab[1], Mehdi Baradaran Firouzabadi[2*], Ahmad Gholami[2], Mostafa Haydari[2]**

**Extended Abstract**

**Introduction:** Seed aging is a phenomenon that occurs during the life of any seed. Changes that occur during aging affect seed quality. Through the process of aging, seed vigor is the first trait of the seed quality that decreases, followed by a decrease in germination capacity, seedling growth and establishment. Hence, one way to stimulate germination and increase the establishment of seedlings from aging seeds is seed pre-treatment using different materials such as brown seaweed extract. The aim of this study was to investigate the effect of seaweed extract pretreatment on germination traits and heterotrophic growth of un-aged and aged soybean seeds.

**Materials and Methods:** The experiment was designed and implemented at a laboratory in the faculty of agriculture of Shahrood University of Technology in 2019. Treatments included seed aging at two levels (un-aged seeds and aged seeds) and pretreatment with seaweed extract at seven levels (zero, distilled water, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5 %). The experiment was carried out as a factorial in a completely randomized design (CRD) with three replications in the germinator environment. The seeds were aged by being placed at 41°C and 95% relative humidity for 72 hours. Seed pretreatment seaweed extract was done for 6 hours in accordance with the principles of seed aeration.

**Results:** Aging reduced germination percentage and germination rate, allometric growth ratio, seedling length vigor index, seed reserves use efficiency and seed vigor index. Malondialdehyde content and electrical conductivity of aged seeds were 37.68% and 38.32% higher than un-aged seeds respectively. Seed pretreatment with 0.1, 0.2 and 0.3% of seaweed extract significantly increased germination rate, germination index and seed reserves use efficiency. Slicing interactions of aging and seaweed extract showed that seed pretreatment with 0.1, 0.2 and 0.3% of seaweed extract significantly increased germination rate and germination index in un-age seeds. Pretreatment of aged seeds with 0.1, 0.2 and 0.3% seaweed extract increased germination percentage by 8.73%, 8% and 15% compared to the control (aged seeds without pretreatment), respectively. The use of distilled water and all levels of seaweed extract in this study increased the seed vigor index and decreased the electrical conductivity. The amount of malondialdehyde in aged seeds was reduced by using all levels of seaweed extract. The use of 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5% of the extract increased the amount of seed reserves use rate and fraction of seed reserves mobilization in aged seeds.

**Conclusions**: Finally, in the scope of this research between the concentrations used, the concentration of 0.3% seaweed extract was better than the others. It can also be suggested that the use of seaweed extract as a seed pretreatment improves the effects of seed aging on soybeans.

**Keywords**: ***Brown seaweed, Deterioration, Germination percentage, Priming***

***Highlights***:

1-The effect of pretreatment with seaweed extract with concentrations of 0.1 to 0.5% on un-aged and aged soybean seeds was investigated for the first time.

2-Using a concentration of 0.3% seaweed extract for the pretreatment of soybean seeds was introduced as the best concentration.

3- Seaweed extract was introduced as an important antioxidant to improve physiological traits in soybean seeds.

[1] Ph.D. Student of Agronomy, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

[2] Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

*Corresponding author, E-mail: mbaradaran@.shahroodut.ac.ir

(Received: 11.29.2021; Accepted: 05.25.2022)

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1401.9.2.6.9

DOI: 10.61186/yujs.9.2.113