نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و هشتم، شماره دوم، ۱۴۰۰
۲۳-۳۸
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jopp.2021.17467.2610

بررسی تغییرات هورمون‌های جیبرلین و اسید آبسیزیک در برگ‌ها و سرشاخه‌های طبقات مختلف سنی *Kochia prostrata* (L) schrad و تأثیر آن بر خصوصیات جوانه‌زنی و خواب بذر تحت تیمار پیش‌سرمادهی

هومن قدسی‌راثی*[۱]، عادل سپهری[۲] و حسین بارانی[۳]

[۱]دانشجوی دکتری علوم مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،
[۲]استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،
[۳]دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۰۸

چکیده

سابقه و هدف: مطالعات اندکی در خصوص سن پایه‌های مادری گیاهان و تأثیر آن بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر انجام شده است. پایه‌های مادری از سنین مختلف، به سبب تفاوت‌های ریخت‌شناسی و فیتوشیمیایی، تأثیرات متفاوتی بر خصوصیات فیتوشیمیایی و جوانه‌زنی بذر می‌گذارند. این پژوهش با هدف بررسی تفاوت‌های ریخت‌شناسی و فیتوشیمیایی سنین مختلف پایه‌های مادری *Kochia prostrata* و تأثیر آن بر خصوصیات بذرهای آن‌ها صورت گرفت. بررسی عمق خواب بذر در سنین مختلف پایه‌های مادری این گونه و تأثیر تیمار پیش‌سرمادهی بر شکسته شدن خواب از دیگر اهداف این پژوهش بوده است.

مواد و روش‌ها: در جمعیت مورد مطالعه، ۵ بوته از هر طبقه سنی فرضی، به‌طور تصادفی انتخاب و صفات ریخت‌شناسی شامل ارتفاع و سطح تاج‌پوشش آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس پایه‌های مذکور از قسمت یقه قطع گردیده و در آزمایشگاه تعیین سن گردیدند. پایه‌های مادری *K. prostrata* بر اساس قطر به سه طبقه جوان، بالغ و مسن تقسیم‌بندی گردیدند. در فصل جمع‌آوری بذر، ۱۰ بوته از هر طبقه سنی بر مبنای قطر یقه و سطح تاج‌پوشش به‌طور تصادفی انتخاب و برای تعیین میانگین تولید بذر در بوته و وزن هزاردانه، کل بذر آن‌ها به تفکیک در کیسه‌های نایلونی زیپ‌دار جمع‌آوری گردید. از برگ‌ها و سرشاخه‌ها، به تفکیک سن پایه‌های مادری نمونه‌برداری شد. آزمایش‌های جوانه‌زنی بذر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در ۳ تکرار انجام گرفت. عامل اول، بذر طبقات سنی مختلف (جوان، بالغ و مسن) و عامل دوم، تیمار پیش‌سرمادهی خشک ۲- درجه سانتی‌گراد بود. خصوصیات فیتوشیمیایی و جوانه‌زنی بذرهای شاهد و تیمار شده شامل نشاسته، قند کل، فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، درصد گیاهچه‌های سالم و نرمال، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، بنیه بذر و مقدار هورمون‌های جیبرلین و اسید آبسیزیک در همه نمونه‌های بذر اندازه‌گیری گردید. هم‌چنین مقدار هورمون‌های جیبرلین و اسید آبسیزیک در اندام‌های گیاهی (برگ‌ها و سرشاخه‌ها) به تفکیک طبقات سنی پایه‌های مادری اندازه‌گیری شد.

* مسئول مکاتبه: h_ghodsirasi@gau.ac.ir

یافته‌ها: نتایج نشان داد که پایه‌های مادری بالغ با داشتن ارتفاع و سطح تاج‌پوشش مناسب، حداکثر تولید بذر در بوته (۱۳/۰۲ گرم) را داشته و با سایر گروه‌ها اختلاف معنی‌داری دارد (P<۰/۰۱). هم‌چنین وزن هزاردانه این طبقه سنی (۲/۱۱ گرم) با پایه‌های مادری جوان، اختلاف معنی‌داری دارد (P<۰/۰۱). پایه‌های مادری بالغ بیش‌ترین مقدار هورمون جیبرلین آزاد (۱۵/۸۲ میلی‌گرم در لیتر) و بیش‌ترین مقدار هورمون اسید آبسیزیک (۱۰/۸۲ میلی‌گرم در لیتر) را داشته و با سایر پایه‌های مادری اختلاف معنی‌داری داشت (P<۰/۰۱). بالاتر بودن مقدار هورمون اسید آبسیزیک در گیاه نشان‌دهنده سازگاری بیش‌تر پایه‌های مادری بالغ با محیط‌های خشک و نیمه‌خشک است. بذرهای پایه‌های مادری بالغ با دارا بودن ۰/۷۲۶ میلی‌گرم در لیتر هورمون جیبرلین با بذرهای پایه‌های مادری جوان (۱/۹۷ میلی‌گرم در لیتر) اختلاف معنی‌دار نشان داد (P<۰/۰۱) اما مقدار هورمون اسید آبسیزیک درونی بذرها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشت. نسبت هورمون جیبرلین به اسید آبسیزیک در بذرهای پایه‌های مادری بالغ (۰/۳۸۳) با نسبت مذکور در بذرهای پایه‌های مادری جوان (۰/۷۲۶) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (P<۰/۰۱) اما به‌مراتب کم‌تر بود که این امر نشانگر خواب عمیق‌تر بذرهای گروه سنی بالغ می‌باشد. تیمار پیش‌سرمادهی بیش‌ترین تأثیر را بر بذرهای طبقه سنی بالغ داشت به‌طوری‌که مقدار هورمون جیبرلین آزاد و باند به‌ترتیب به ۱۲/۰۱ و ۸/۹۹ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافته و نسبت هورمون جیبرلین به اسید آبسیزیک نیز به ۹/۴۱ افزایش یافت. این امر منجر به شکستن خواب بذر، افزایش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و تجزیه نشاسته به قندهای ساده و افزایش درصد گیاهچه‌های نرمال، افزایش طول ریشه‌چه و بنیه بذر گردید که بیش‌ترین تأثیر را بر بذرهای طبقه سنی بالغ شاهدداشت.

نتیجه‌گیری: طبقات مختلف سنی پایه‌های مادری *K.prostrata* از نظر خصوصیات فیتوشیمیایی و ریخت‌شناسی با یکدیگر تفاوت دارند که این تفاوت بر خصوصیات جوانه‌زنی و فیتوشیمیایی بذرهای آن‌ها تأثیر گذاشته و سازوکار خواب را در بذرها کنترل و تنظیم می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: آنزیم آلفا آمیلاز، اسید آبسیزیک، تیمار پیش‌سرمادهی، جیبرلین‌ها، خصوصیات جوانه‌زنی بذر، طبقات سنی بوته

مقدمه

سن پایه‌های مادری گیاهان بر خصوصیات جوانه‌زنی و سازوکار خواب بذر تأثیر می‌گذارد (۲۱ و ۱). پایه‌های مادری مختلف در مواجه با شرایط متنوع اقلیمی و تنش‌های محیطی، سازگاری‌های منحصربفردی یافته‌اند و بذرهای آن‌ها نیز دارای سطوح متنوعی از خواب اولیه[1] هستند (٦، ۹، ١٤، ١٥، ٢٥، ٢٨، ٣٦ و ٣٧). شاخص جوانه‌زنی یا عدم جوانه‌زنی، بیان‌کننده تمامی جنبه‌های خواب یک بذر نیست (٢٤). سرعت کم جوانه‌زنی، تاخیر و عدم تقارن در جوانه‌زنی و گیاهچه‌های غیرنرمال، از دیگر شاخص‌های خواب بذر هستند (۸ و ۹).

مطالعات نشان داده است که بذرهای پایه‌های مادری بالغ *Sorbus torminalis* و *Pinus pinea* و *Kochia prostrata* درصد جوانه‌زنی و بنیه بذر بیش‌تری نسبت به بذرهای پایه‌های مادری جوان و پیر دارند (۷، ۱۰ و ۱۱). مطالعه بذرهای پایه‌های مادری مختلف *Aciphyllya glacialis*، نشان داد که درصد جوانه‌زنی و عمق خواب بذرها با یکدیگر متفاوت است (١٦). مطالعات نشان می‌دهد که خواب بذر نتیجه‌ای از اثر تنظیمی هورمون اسید آبسیزیک است که با تغییرات دما و تحت تنش خشکی افزایش می‌یابد (٣٤ و ٢٧). مطالعه بذرهای *Arabidopsis thaliana* و گندم نان *Triticum aestivum* نشان داد که هورمون اسید آبسیزیک نقش تنظیم و کنترل‌کننده ژن‌های مرتبط با

1- Primary dormancy

خواب بذر را بر عهده داشته و این نقش تحت مدل‌های تعادل هورمون‌ها[1] و کنترل از راه دور[2] مورد بررسی قرار گرفته است (۳، ۹ و ۳۱).

سازوکارهای رفع خواب بذر بر اثر سرما، به‌درستی شناخته شده نیستند. فرضیاتی مبنی بر این‌که سرما با کاهش یا حذف بازدارنده‌های جوانه‌زنی درون بذر (مثل اسید آبسیزیک) و فعال کردن تولید جیبرلین، سبب شکستن خواب بذر می‌گردد، وجود دارد (۲). مرحله‌ای که بذرها دماهای کم و مداوم را مشابه شرایط زمستان‌های طبیعی تجربه می‌کنند، اصطلاحاً تیمار پیش‌سرمادهی[3] نامیده می‌شود (۵). درصد جوانه‌زنی بذرهای *Aciphyllya glacialis* و *Oryza sativa* در اثر تیمار پیش‌سرمادهی افزایش یافت. نتایج نشان داد که بر اثر تیمار پیش‌سرمادهی، سطح هورمون اسید آبسیزیک در بذر کاهش و سطح هورمون جیبرلین افزایش یافت (۱۶ و ۳۶). همچنین تیمار پیش‌سرمادهی سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی بذرهای *Pinus pinea* گردید (۱۲). افزایش درصد گیاهچه‌های نرمال، طول ریشه‌چه و بنیه بذر *Kochia prostrata* در اثر تیمار پیش‌سرمادهی گزارش گردید (۱۱).

کوخیا پروستراتا *Kochia prostrata* از خانواده اسفناجیان، گیاهی دائمی و نیمه بوته‌ای و بومی مراتع خشک و نیمه خشک کشور است. طول عمر این گیاه ۱۰ الی ۱۵ سال و بیش‌ترین تولید بذر را در سن بلوغ یعنی ۵ تا ٦ سالگی دارد (۳۳). به‌نظر می‌رسد بذرهای *K.prostrata* برای مقابله با تنش‌های محیطی، از سازوکار خواب جهت عدم هم‌زمانی و کاهش سرعت جوانه‌زنی استفاده می‌کنند (۳، ۲۲ و۲۳).

هدف از این پژوهش مطالعه تغییرات هورمون‌های جیبرلین و اسید آبسیزیک در سنین مختلف پایه‌های مادری *K.prostrata* به‌منظور بررسی تأثیر آن بر مکانیزم خواب و خصوصیات جوانه‌زنی بذر بود. هم‌چنین بررسی تأثیر تیمار پیش‌سرمادهی بر سطح هورمون‌های مذکور و اثر آن بر شکستن خواب بذر از دیگر اهداف این پژوهش بوده است.

مواد و روش‌ها

تعیین سن پایه‌های مادری: جمعیتی از گونه *K.prostrata* در مراتع شهرستان مراوه‌تپه در استان گلستان شناسایی گردید (55°48'7"N,37°42'15"E) (۱۱). به‌منظور تعیین سن، ۱۵ بوته با قطرهای مختلف به‌طور تصادفی شناسایی (۵ بوته به‌ازای هر طبقه سنی فرضی) و پس از اندازه‌گیری قطر یقه، ارتفاع گیاه و سطح تاج پوشش، پایه‌ها قطع و به آزمایشگاه گروه باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شدند. در آزمایشگاه، نمونه‌ها به روش شمارش تعداد حلقه‌های رشد تعیین سن گردیدند (۳۵ و ۱۷). پایه‌های مادری به سه طبقه سنی جوان، بالغ و مسن تقسیم بندی شدند.

جمع‌آوری بذر و نمونه‌های گیاهی از منطقه مورد مطالعه: از هر سه طبقه سنی، ده پایه مادری به‌طور تصادفی انتخاب و کل بذر بوته‌های مذکور به تفکیک طبقه سنی و بوته، در کیسه‌های نایلونی زیپ‌دار جمع‌آوری گردید. در آزمایشگاه بذرها به‌مدت دو هفته روی کاغذ روزنامه خشک گردید و بذرهای خالص جهت تعیین تولید بذر در بوته و وزن هزاردانه مورد استفاده قرار گرفت. جهت اندازه‌گیری هورمون‌های جیبرلین و اسید آبسیزیک در اندام‌های گیاهی (شامل سرشاخه‌ها، برگ‌ها و بذرها)، مقدار مورد نیاز از اندام‌های مذکور از هر طبقه سنی به‌تفکیک جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد.

1- Hormone-balance model
2- Remote control model
3- Prechilling

آزمون‌های جوانه‌زنی بذر و تیمار پیش‌سرمادهی بذر: به‌منظور اعمال تیمار پیش‌سرمادهی، بذرهای کلیه طبقات سنی به‌مدت دو هفته در دمای ۲- درجه سانتی‌گراد درون انکوباتور یخچال‌دار قرار گرفتند (۱۱). آزمون‌های جوانه‌زنی بذر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار ۵۰ تایی درون پتری‌دیش‌هایی با قطر ۹ سانتی‌متر، روی کاغذ صافی واتمن انجام شد (۱۷). عامل اول، بذرهای ۳ طبقه سنی پایه‌های مادری (جوان، بالغ، مسن) و عامل دوم، تیمار پیش‌سرمادهی بذر در نظر گرفته شد. آزمایش‌ها به مدت دو هفته ادامه یافت و بذرها به‌صورت روزانه و هر ٦ ساعت یکبار کنترل گردیدند. بذرهایی که ریشه‌چه آن‌ها به اندازه ۲ میلی‌متر از بذر خارج گردید به‌عنوان بذر جوانه‌زده درنظر گرفته شد. شمارش هنگامی متوقف گردید که در ۳ شمارش متوالی، تعداد بذرهای جوانه‌زده تغییری نکرد. پس از پایان آزمایش‌ها، درصد جوانه‌زنی، درصد گیاهچه‌های نرمال، سرعت جوانه‌زنی و بنیه بذر در تمامی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (۱۸، ۲٦، ۳۲ و ۳۵). برای اندازه‌گیری طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، طول نهال و بنیه بذر، تعداد ۱۵ گیاهچه سالم از هر پتری‌دیش انتخاب و خصوصیات مورد نظر اندازه‌گیری شدند.

اندازه‌گیری هورمون‌های جیبرلین آزاد و باند و اسید آبسیزیک: هورمون‌های گیاهی به تفکیک برای اندام‌های گیاهی (سرشاخه‌ها و برگ‌ها)، بذرهای شاهد (تیمار نشده) و بذرهای تیمار شده (تیمار پیش‌سرمادهی) در کلیه طبقات سنی پایه‌های مادری اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری هورمون جیبرلین آزاد و باند از روش هولبروک و همکاران (۱۹٦۱) و برای اندازه‌گیری هورمون اسید آبسزیک، از روش ماهادوان (۱۹۸٤، ۱۹۸٦) استفاده گردید (٤، ۱۲، ۱۵، ۱۹، ۲۰ و ۳٤).

اندازه‌گیری نشاسته، قند کل و فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در بذرها: نشاسته، قند کل و فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در بذرهای شاهد و تیمار شده کلیه طبقات سنی پایه‌های مادری *K.prostrata* اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری نشاسته و قند کل از روش آنترون (۲۹) و برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز، از روش ۳-۵- دی‌نیترو سالسیلیک‌اسید (DNS) و محلول نشاسته ۱ درصد استفاده شد (٤).

تجزیه و تحلیل آماری: آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. از نرم‌افزار آماری SAS ویرایش ۹/٤ برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده گردید (۳۰). برای مقایسه اثرات اصلی از آزمون ANOVA و در صورت معنی‌دار شدن اثرات متقابل، از حداقل اختلافات معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال یک درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج شمارش حلقه‌های رشد در آزمایشگاه و با توجه به قطر یقه‌ای بوته‌ها، پایه‌های مادری *K.prostrata* به سه طبقه سنی جوان، بالغ و مسن تقسیم‌بندی گردیدند (۳۳). تجزیه واریانس اثر طبقات مختلف سنی پایه‌های مادری بر خصوصیات ریختی گیاه، نشان داد که ارتفاع بوته، سطح تاج‌پوشش، تولید بذر در بوته و وزن هزاردانه پایه‌های مختلف سنی *K.prostrata* در سطح ۱ درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر طبقات مختلف سنی (جوان، بالغ و مسن) پایه‌های مادری بر خصوصیات بوته‌های *K.prostrata*

Table 1. Analysis of variance of maternal age classes (young, mature and old) on characteristics of *K.prostrata* shrubs.

	میانگین مربعات Mean of squares				
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تولید بذر در بوته Seed production per plant	ارتفاع بوته Plant height	سطح تاج پوشش Canopy cover	وزن هزاردانه 1000-seed weight
طبقات سنی پایه‌های مادری (A) Maternal age classes	2	80.12**	3912.10**	56250445.1.00**	0.304**
خطا Error	6	1.79	49.70	3649930.2	0.002
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	18.96	6.35	32.97	2.49

** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪، * اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪، ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

ns, *, ** non-significant and significantin 5% and 1% level of probability, respectively.

مقایسه میانگین‌های اثر طبقات مختلف سنی پایه‌های مادری بر خصوصیات ریختی *K.prostrata* (جدول ۲) نشان داد که ارتفاع پایه‌های مادری مسن، بالغ و جوان به‌ترتیب با ۱٤۷/۲۲، ۱۱۰/۵۵ و ۷۵ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند (جدول ۲). جدول ۲ نشان می‌دهد که پایه‌های مادری مسن با ۱۰٤۹۷ سانتی‌مترمربع، بیش‌ترین میزان تاج‌پوشش را داشته و با سایر طبقات اختلاف معنی‌داری دارند. تاج‌پوشش پایه‌های مادری بالغ و جوان به‌ترتیب با ٤۹۱۳ و ۱۹۷۲ سانتی‌مترمربع، در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. پایه‌های مادری بالغ (گروه سنی ۲) با ۱۳/۰۲ گرم، بالاترین مقدار تولید بذر در بوته را داشته و با بقیه گروه‌ها اختلاف معنی‌داری دارد. مقدار تولید بذر در پایه‌های مادری جوان (گروه سنی ۱) و مسن (گروه سنی ۳) به ترتیب با ۳/۵۷ و ٤/٤۳ گرم، از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۲). هم‌چنین بیش‌ترین وزن هزاردانه (۲/۲۷ گرم) متعلق به پایه‌های مادری مسن است که با وزن هزاردانه پایه‌های مادری بالغ (۲/۱۱ گرم) و وزن هزاردانه پایه‌های مادری جوان (۱/٦۵ گرم) اختلاف معنی‌دار دارد. نتایج نشان می‌دهد که اگرچه مقدار تولید بذر بعد از سن بلوغ کاهش می‌یابد، اما وزن بذرها و بالطبع اندازه بذرها کاهش پیدا نمی‌کند (جدول ۲).

نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار تولید بذر در بوته‌های *K.prostrata* تا سن بلوغ به اندازه و سن گیاه وابستگی دارد. به‌نظر می‌رسد با افزایش سن گیاه، تعداد شاخه‌های حاوی گل‌آذین افزوده شده و بنابراین تولید بذر افزایش می‌یابد. میزان تولید بذر بعد از سن بلوغ، تنها تابعی از سن گیاه است، به‌طوری‌که پایه‌های مادری مسن، علی‌رغم ارتفاع و سطح تاج‌پوشش بیش‌تری که دارند، تولید بذر در بوته بسیار کم است. نتایج این پژوهش، با نتایج آلخانو و همکاران (۲۰۱۹)، کوارلس و روک (۲۰۱۹) و فنر و تامپسون (۲۰۰٦) همخوانی دارد (۱، ۸، ۲۵). گمان می‌رود پایه‌های مادری مسن با اختصاص منابع به فعالیت‌های بقاء و نگهداری، از فعالیت تولیدمثلی خود می‌کاهند.

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های اثر طبقات مختلف سنی پایه‌های مادری (جوان، بالغ و مسن) بر خصوصیات بوته‌های *K. prostrata*

Table 2. Mean comparison of the effects of different maternal age classes (young, mature and old) on characteristics of *K. prostrata* shrubs.

طبقات سنی پایه‌های مادری Maternal age classes	تولید بذر در بوته (گرم) Seed production per plant (gr)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant Height (cm)	سطح تاج پوشش (سانتی‌متر مربع) Canopy cover (cm^2)	وزن هزاردانه (گرم) The weight of 1000 seeds (gr)
۳-٤ ساله (گروه سنی ۱) (3-4 years old)	3.57^{b}	75.00^{c}	1972.00^{c}	1.65^{c}
٥-٦ ساله (گروه سنی ۲) (5-6 years old)	13.02^{a}	110.55^{b}	4913.00^{b}	2.11^{b}
۷ سال به بالا (گروه سنی ۳) (7 years old and more)	4.43^{b}	147.22^{a}	$10497.^{a}$	2.27^{a}

حروف مشترک در هر ستون حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار است.

The common letters in each column indicate no differences.

تجزیه واریانس اثر طبقات مختلف سنی پایه‌های مادری *K.prostrata* و تیمار پیش‌سرمادهی بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر (جدول ۳)، نشان داد که سرعت جوانه‌زنی بذرهای طبقات مختلف سنی پایه‌های مادری، در سطح ۵ درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند. سن پایه‌های مادری بر درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه بذر اثر معنی‌داری نداشت. جدول ۳ نشان می‌دهد که تیمار پیش‌سرمادهی بر کلیه خصوصیات جوانه‌زنی بذر در سطح ۱ درصد تأثیر معنی‌داری داشت. هم‌چنین اثر متقابل طبقات مختلف سنی پایه‌های مادری و تیمار پیش‌سرمادهی بر درصد گیاهچه‌های نرمال در سطح ۱ درصد و بر طول ریشه‌چه و بنیه بذر در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات طبقات سنی پایه‌های مادری (جوان، بالغ و مسن) و تیمار پیش‌سرمادهی بر برخی خصوصیات جوانه‌زنی بذر *K.prostrata*

Table 3. Analysis of variance of maternal age classes (young, mature and old) and prechilling on some seed germination traits of. *K.prostrata*.

	میانگین مربعات Mean of squares							
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	جوانه‌زنی بذر Seed germination	سرعت جوانه‌زنی بذر Germination rate	گیاهچه‌های نرمال Normal Seedlings	طول ساقچه Shoot length	طول ریشچه Root length	طول گیاهچه Seedling length	بنیه بذر (*۱۰۰۰) Seed vigor
طبقات سنی پایه‌های مادری Maternal age classes (A)	2	12.16^{ns}	0.000017^{*}	338.00^{**}	0.0032^{ns}	4.51^{**}	4.29^{ns}	29.07^{ns}
تیمار پیش‌سرمادهی ۲°C- Prechilling -2°C (B)	1	180.50^{**}	0.00014^{**}	9800.0^{**}	514.02^{**}	107.21^{**}	1091.37^{**}	10.95^{**}
A*B	2	22.16^{ns}	0.000007^{ns}	160.66^{**}	1.04^{ns}	2.70^{*}	5.007^{ns}	80.36^{*}
خطا Error	12	9.27	0.000004	18.88	1.09	0.49	1.57	13.87
ضریب تغییرات CV (%)	-	3.34	8.03	7.009	7.63	8.62	5.75	5.84

** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪، * اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪، ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

ns, *, ** non-significant and significantin 5% and 1% level of probability, respectively.

مقایسه میانگین‌های اثرات ساده طبقات مختلف سنی پایه‌های مادری و تیمار پیش‌سرمادهی بر برخی خصوصیات جوانه‌زنی بذر *K.prostrata* (جدول ٤) نشان داد که علی‌رغم تفاوت در وزن هزاردانه و اندازه بذر پایه‌های مختلف سنی، درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه بذرهای شاهد سه طبقه سنی، از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نشان ندادند. سرعت جوانه‌زنی بذرهای شاهد طبقه سنی بالغ از سایر طبقات سنی کم‌تر بود (جدول ٤). نسبت سطح به حجم در بذرهای کوچک‌تر مانند بذرهای پایه‌های مادری جوان بیش‌تر است، بنابراین سرعت آبنوشی بیش‌تری داشته و رشد جنین سریع‌تر می‌باشد. در مقابل، بذرهای پایه‌های مادری بالغ، به سبب اندازه بزرگ‌تری که دارند، سرعت آبنوشی بذر کم‌تر بوده و بنابراین از سرعت جوانه‌زنی کم‌تری برخوردارند. نتایج این پژوهش با نتایج سنزانو و همکاران (٢٠١٨)، فنر و تامپسون (٢٠٠٦) و بسکین و بسکین (٢٠٠٤) همخوانی داشت (٣، ٦، ٨). کاهش سرعت و تاخیر در جوانه‌زنی، به‌عنوان سازوکارهای مقابله با تنش‌های متناوب خشکی، در بذرهای پایه‌های مادری بالغ توسعه بیش‌تری یافته است (٨، ١٦). بدین‌ترتیب، خصوصیاتی مانند درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه در *K.prostrata* تابعی از اندازه بذر و سن گیاه نیست. نتایج این پژوهش با نتایج اسپهبدی و همکاران (٢٠٠٧) همخوانی نداشت. آن‌ها نشان دادند که بذرهای پایه‌های مادری بالغ *Sorbus torminalis* درشت‌تر بوده و درصد جوانه‌زنی بیش‌تری از بذرهای پایه‌های مادری جوان داشتند (٧).

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های اثرات ساده طبقه سنی بوته (جوان، بالغ و مسن) و تیمار سرمادهی بر برخی از خصوصیات جوانه‌زنی بذر *K.prostrata*.

Table 4. Mean comparison of maternal age classes (young, mature and old) and prechilling on some seed germination traits of *K.prostrata*.

طبقات سنی پایه‌های مادری Maternal age classes	جوانه‌زنی بذر (درصد) Seed germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination rate (Seed/day)	طول ساقه‌چه (میلی‌متر) Shoot length (mm)	طول گیاهچه (میلی‌متر) Seedling length (mm)
٣-٤ ساله (جوان) (3-4 years old)	92.66[a]	0.026[a]	13.70[a]	21.47[a]
٥-٦ ساله (بالغ) (5-6 years old)	89.83[a]	0.023[b]	13.66[a]	22.81[a]
٧ سال به بالا (مسن) (7 years old and more)	91.00[a]	0.025[ab]	13.71[a]	21.24[a]
تیمار پیش‌سرمادهی Prechilling				
شاهد Control	88.00[b]	0.020[b]	8.34[b]	14.05[b]
پیش‌سرمادهی ٢°C- Prechilling -2°C	94.33[a]	0.027[a]	19.03[o]	29.63[a]

حروف مشترک در هر ستون حاکی از عدم اختلاف است.

The common letters in each column indicate no differences.

جدول ٤ نشان می‌دهد که تیمار پیش‌سرمادهی سبب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه، بذرهای *K.prostrata* گردید. نتایج این پژوهش با نتایج اسعدی و همکاران (۲۰۱٦)، هویل و همکاران (۲۰۱٤) و گیمنس-بناویدس (۲۰۰۵) در خصوص تأثیر تیمار پیش‌سرمادهی بر افزایش جوانه‌زنی بذرها همخوانی داشت (۲، ۱۳، ۱٦). به‌نظر می‌رسد سرما سبب برهم خوردن تعادل هورمون‌های گیاهی درون بذر به نفع هورمون‌های رشد مانند جیبرلین شده و بدین‌ترتیب رشد گیاهچه بیش‌تر می‌گردد.

مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل طبقات مختلف سنی پایه‌های مادری و تیمار پیش‌سرمادهی بذر (جدول ۵) نشان می‌دهد که بذرهای شاهد پایه‌های مادری جوان با ۵۱/۳۳ درصد بیش‌ترین گیاهچه‌های نرمال را به‌خود اختصاص داده و با بذرهای شاهد گروه سنی بالغ (۳۸/٦٦ درصد) و بذرهای شاهد گروه سنی مسن (۲٦ درصد) اختلاف معنی‌داری دارند. بسکین و بسکین (۲۰۰٤) داشتن گیاهچه‌های غیرنرمال را نشان‌دهنده خواب عمیق فیزیولوژیکی بذر قلمداد نموده‌اند که نتایج این پژوهش با نتایج آن‌ها همخوانی دارد (۳). این سازوکار که در بذرهای طبقات سنی بالغ و مسن تکامل بیش‌تری یافته است سبب می‌گردد تا در کنار سرعت کم‌تر جوانه‌زنی، بتوانند در خشکی‌های متناوب عملکردی بهتر داشته و تنش‌های محیطی را با ریسک کم‌تری پشت سر گذارند. شکستن خواب فیزیولوژیک در این دسته از بذرها با یک تغییر شیمیایی که در اثر دماهای زیر صفر رخ می‌دهد، همزمان خواهد بود (۸). تیمار پیش‌سرمادهی سبب افزایش درصد گیاهچه‌های نرمال بذر در همه طبقات سنی گردید. نتایج این پژوهش با نتایج هویل و همکاران (۲۰۱٤) و ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد. آن‌ها نشان دادند که سرما سبب شکستن خواب ریختشناسی بذر می‌شود، اما شکستن خواب فیزیولوژیکی بذر به یک ماشه سرمایی شدید نیاز دارد (۱٦، ۳۷).

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل طبقه سنی بوته (جوان، بالغ و مسن) و تیمار سرمادهی بر برخی از خصوصیات جوانه‌زنی بذر *K.prostrata*.

Table 5. Comparison of interactions between maternal age classes (young, mature and old) and prechilling on some seed germination traits of *K.prostrata*.

طبقات سنی پایه‌های مادری Maternal age classes	تیمار Treatment	گیاهچه‌های نرمال (درصد) Normal Seedlings (%)	طول ریشه‌چه (میلی‌متر) Root length (mm)	بنیه بذر (۱۰۰۰ *) Seed vigor (*1000)
۳-٤ ساله (3-4 years old)	شاهد Control	51.33[b]	6.11[c]	1.33[c]
۳-٤ ساله (3-4 years old)	پیش‌سرمادهی -۲°C Prechilling -2°C	87.33[a]	9.44[b]	2.66[b]
٥-٦ ساله (5-6 years old)	شاهد Control	38.66[c]	6.31[c]	1.19[c]
٥-٦ ساله (5-6 years old)	پیش‌سرمادهی -۲°C Prechilling -2°C	86.00[a]	11.97[a]	2.98[a]
۷ سال به بالا (7 years old and more)	شاهد Control	26.00[d]	4.71[d]	1.17[c]
۷ سال به بالا (7 years old and more)	پیش‌سرمادهی -۲°C Prechilling -2°C	82.66[a]	10.35[b]	2.73[b]

حروف مشترک در هر ستون حاکی از عدم اختلاف است.

The common letters in each column indicate no differences.

اگر چه طول ریشه‌چه بذرهای شاهد گروه سنی بالغ با بذرهای شاهد گروه سنی جوان اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵)، اما تیمار پیش‌سرمادهی سبب افزایش طول ریشه‌چه بذرهای همه طبقات سنی خصوصاً بذرهای طبقه سنی بالغ گردید. بذرهایی که از طول ریشه‌چه بیش‌تری برخوردارند می‌توانند به منابع محدود رطوبت خاک دسترسی مناسب‌تری داشته و تنش‌های خشکی را بهتر سپری نمایند (۹). بیش‌تر بودن بنیه بذرهای تیمارشده گروه سنی بالغ، بر این مسأله تاکید می‌نماید (جدول ۵). نتایج این پژوهش با نتایج یانگ و همکاران (۲۰۱۹) که نشان دادند تیمار پیش‌سرمادهی سبب افزایش بنیه بذر می‌گردد مطابقت داشت (۳۶). به‌نظر می‌رسد که سن پایه‌های مادری *K.prostrata* با برخی از خصوصیات جوانه‌زنی بذر از جمله سرعت جوانه‌زنی، درصد گیاهچه‌های نرمال، طول ریشه‌چه و وزن بذرها که به سازگاری و استقرار گیاهچه و نهال کمک می‌کنند، ارتباط بیش‌تری دارد.

تجزیه واریانس اثر طبقات مختلف سنی پایه‌های مادری بر هورمون‌های گیاهی موجود در اندام‌های گیاهی *K.prostrata* (جدول ٦)، نشان می‌دهد هورمون‌های جیبرلین، اسید آبسیزیک و نسبت جیبرلین به اسید آبسیزیک بین سنین مختلف پایه‌های مادری در سطح ۱ درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند.

جدول ٦- تجزیه واریانس اثر طبقات سنی پایه‌های مادری (جوان، بالغ و مسن) بر برخی خصوصیات فیتوشیمیایی گونه *K.prostrata*

Table 6. Analysis of variance of maternal age classes (young, mature and old) on some phytohormones of *K.prostrata* shrubs.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares			
		جیبرلین آزاد Free Gibberellin	جیبرلین باند Bond Gibberellin	اسید آبسیزیک Abscicic Acid	نسبت جیبرلین به اسید آبسیزیک GA/ABA
طبقه سنی پایه‌های مادری Maternal age classes	2	153.94**	0.73**	33.82**	3.15**
خطا Error	6	0.896	0.032	0.872	0.135
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	11.25	15.78	11.86	26.86

** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪، * اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪، ^{ns} عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

^{ns}, *, ** non-significant and significant in 5% and 1% level of probability, respectively.

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر طبقات مختلف سنی پایه‌های مادری بر مقدار هورمون‌های گیاهی در اندام‌های گیاه شامل برگ‌ها و سرشاخه‌ها (جدول ۷) نشان می‌دهد که مقدار هورمون جیبرلین آزاد در پایه‌های مادری بالغ، بیش‌ترین میزان را داشته و با سایر طبقات سنی اختلاف معنی‌داری دارد. پایه‌های مادری جوان در رتبه بعدی قرار داشته و پایه‌های مادری مسن کم‌ترین میزان هورمون جیبرلین را به خود اختصاص داده‌اند. از نظر میزان هورمون جیبرلین باند، پایه‌های مادری جوان و بالغ اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشته اما پایه‌های مادری مسن کم‌ترین میزان را به‌خود اختصاص داده و با دو گروه دیگر اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۷). جدول ۷ نشان می‌دهد که پایه‌های مادری بالغ بیش‌ترین مقدار اسید آبسیزیک را داشته و پس از آن پایه‌های

مادری مسن در رتبه دوم قرار دارند و با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نشان دادند. کم‌ترین میزان هورمون اسید آبسیزیک متعلق به پایه‌های مادری جوان بود. میزان اسید آبسیزیک درونی گیاه شاخص سازگاری گیاه با شرایط تنش‌زای محیطی مانند خشکی است. بدین‌ترتیب می‌توان نتیجه‌گیری نمود که پایه‌های مادری بالغ با داشتن غلظت‌های بالاتر از این هورمون، از سازگاری بیش‌تری با محیط خود برخوردار هستند. نتایج این پژوهش با نتایج رضایتمند (۲۰۰٤) هم‌خوانی داشت (۲۷).

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های اثر طبقه سنی بوته (جوان، بالغ و مسن) بر برخی از خصوصیات فیتوشیمیایی بوته‌های *K.prostrata*.

Table 7. Means comparison of maternal age classes (young, mature and old) on some phytohormones of *K.prostrata* shrubs.

طبقات سنی پایه‌های مادری Maternal age classes	جیبرلین آزاد (میلی‌گرم بر لیتر) Free Gibberellin (mg/l)	جیبرلین باند (میلی‌گرم بر لیتر) Bond Gibberellin (mg/l)	اسید آبسیزیک (میلی‌گرم بر لیتر) Abscicic acid (mg/l)	نسبت جیبرلین به اسید آبسیزیک GA/ABA
۳-٤ ساله (3-4 years old)	7.87[b]	1.31[a]	4.21[c]	2.26[a]
٥-٦ ساله (5-6 years old)	15.82[a]	1.53[a]	10.82[a]	1.60[a]
۷ سال به بالا (7 years old and more)	1.53[c]	0.586[b]	8.57[b]	0.25[b]

حروف مشترک در هر ستون حاکی از عدم اختلاف است.

The common letters in each column indicate no differences.

از نظر نسبت هورمون جیبرلین به اسید آبسیزیک، بیش‌ترین نسبت متعلق به پایه‌های مادری جوان است که با پایه‌های مادری بالغ اختلاف معنی‌داری ندارد. کم‌ترین نسبت مذکور، متعلق به پایه‌های مادری مسن بود که با سایر گروه‌ها اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۷). کم‌تر بودن میزان هورمون جیبرلین و اسید آبسیزیک در پایه‌های مادری مسن نسبت به پایه‌های مادری بالغ می‌تواند به‌دلیل کم شدن فعالیت‌های سوخت و سازی پایه‌های مادری مسن در انتهای دوره حیات گیاه باشد. این امر منجر به تغییر سازوکار سازگاری گیاه نسبت به تنش‌های محیطی مانند خشکی شده و عملکرد تولیدمثلی گیاه به نفع بقاء و فعالیت‌های نگهداری کاهش می‌یابد. نتایج این پژوهش با نتایج کوارلس و روک (۲۰۱۹) همخوانی داشت (۲۵).

تجزیه واریانس اثر طبقات مختلف سنی پایه‌های مادری بر خصوصیات فیتوشیمیایی بذر *K.prostrata* (جدول ۸) نشان می‌دهد که بذر پایه‌های سنی مختلف، از نظر میزان قند کل در سطح ۱ درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند. نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد که اثر تیمار پیش‌سرمادهی بر همه خصوصیات فیتوشیمیایی بذر شامل نشاسته، قند کل، فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز، هورمون‌های جیبرلین، اسید آبسیزیک و نسبت هورمون جیبرلین به اسید آبسیزیک در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. اثر متقابل تیمار پیش‌سرمادهی و طبقات مختلف سنی پایه‌های مادری بر خصوصیات فیتوشیمیایی بذر نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد بر فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز، هورمون جیبرلین و نسبت هورمون جیبرلین به اسید آبسیزیک است (جدول ۸).

جدول ۸- تجزیه واریانس اثرات طبقات سنی پایه‌های مادری (جوان، بالغ و مسن) و تیمار پیش‌سرمادهی بر برخی خصوصیات فیتوشیمیایی بذر *K.prostrata*.

Table 8. Analysis of variance of maternal age classes (young, mature and old) and prechilling on some phytochemical characteristics of *K.prostrata* seeds.

		میانگین مربعات Mean of squares						
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	نشاسته Starch	قند کل Total Carbohydrates	فعالیت آلفا آمیلاز Alpha Amylase Activity	جیبرلین آزاد Free Gibberellin	جیبرلین باند Bond Gibberellin	اسید آبسیزیک Abscisic acid	نسبت جیبرلین به اسید آبسیزیک GA/ABA
طبقه سنی پایه‌های مادری (a) Maternal age classes	2	60.86^{ns}	168978.8**	366.08**	44.25**	19.67**	0.277^{ns}	21.36**
تیمار پیش‌سرمادهی (b) prechilling	1	894.52**	12768.08**	7942.06**	92.20**	74.25**	12.10**	94.94**
a*b	2	5.22^{ns}	789.78^{ns}	171.31**	51.52**	19.86**	0.277^{ns}	23.04**
خطا Error	12	35.94	625.62	4.30	0.188	0.125	0.811	0.705
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	3.50	5.56	1.52	12.84	12.80	30.29	29.90

** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪، * اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪، ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

ns, *, ** non-significant and significant in 5% and 1% level of probability, respectively.

مقایسه میانگین‌های اثرات ساده طبقات مختلف سنی پایه‌های مادری و تیمار پیش‌سرمادهی بر خصوصیات فیتوشیمیایی بذر *K.prostrata* (جدول ۹) نشان می‌دهد که بذرهای شاهد طبقات مختلف سنی از نظر میزان نشاسته با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. بذرهای شاهد پایه‌های مادری بالغ بیش‌ترین میزان قند کل را داشته و با سایر طبقات اختلاف معنی‌داری دارند (جدول ۹). بیش‌تر بودن محتوای قند کل در بذرهای پایه‌های مادری بالغ سبب می‌گردد تا در مراحل آغازین رشد گیاهچه، وابستگی گیاهچه به منابع غذایی خاک کم‌تر باشد.

بذرهای شاهد طبقات مختلف سنی از نظر میزان اسید آبسیزیک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند. اگرچه سطح هورمون اسید آبسیزیک در پایه‌های مادری بالغ و مسن بسیار بالاتر از پایه‌های مادری جوان است، اما میزان آن در بذرهای این سه طبقه سنی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری از نظر آماری ندارد (جدول ۹). نتایج این پژوهش با مطالعات بسکین و بسکین (۲۰۰٤) و مائو و همکاران (۲۰۱۹) و فینچ-ساویج و فوتیت (۲۰۱۷) هم‌خوانی داشت (۳، ۹، ۲۰). آنها بیان داشتند که نقش تنظیم‌کننده اسید آبسیزیک بعنوان هورمون القاءکننده خواب به بذر، در حین رسیدن و توسعه بذر بر روی پایه‌های مادری نمایان می‌گردد، اما سطح هورمون مذکور در بذرهای خواب و غیرخواب بسیار شبیه به یکدیگر است.

جدول ۹- مقایسه میانگین‌های اثرات ساده طبقه سنی بوته (جوان، بالغ و مسن) و تیمار سرمادهی بر برخی از خصوصیات فیتوشیمیایی بذر گیاه *K.prostrata*

Table 9. Means comparison of maternal age classes (young, mature and old) and prechilling on some of phytochemicals characteristics of *K.prostrata* seeds.

اسید آبسیزیک (میلی‌گرم بر لیتر) Abscisic acid (mg/l)	قند کل (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) Total Carbohydrates ($mg/100g^{-1}FW$)	نشاسته (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) Starch ($mg/100g^{-1}FW$)	تیمارها Treatments
			طبقات سنی بوته Age classes shrubs
2.73^{a}	308.30^{c}	174.61^{a}	۳-٤ ساله (3-4 years old)
3.02^{a}	635.03^{a}	168.36^{a}	٥-٦ ساله (5-6 years old)
3.16^{a}	405.14^{b}	170.41^{a}	۷ سال به بالا (7 years old and more)
			تیمار پیش‌سرمادهی Prechilling
3.79^{a}	422.86^{b}	178.17^{a}	شاهد Control
2.15^{b}	476.13^{a}	164.08^{b}	پیش‌سرمادهی ۲°C- Prechilling -2°C

حروف مشترک در هر ستون حاکی از عدم اختلاف است.

The common letters in each column indicate no differences.

تیمار پیش‌سرمادهی سبب کاهش سطح هورمون اسید آبسیزیک (جدول ۹) و برهم خوردن تعادل هورمون‌ها شده، به‌طوری‌که نسبت هورمون جیبرلین به اسید آبسیزیک در بذرهای تیمارشده خصوصاً بذرهای پایه‌های مادری بالغ به شدت افزایش یافت (جدول ۱۰). بدین‌ترتیب، بالا رفتن نسبت هورمون جیبرلین به اسید آبسیزیک در بذرها و کاهش سطح اسید آبسیزیک به واسطه تیمار پیش‌سرمادهی، سبب شکستن خواب مورفوفیزیولوژیک بذرها شده و هم‌زمان افزایش فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز نیز منجر به شکسته شدن بیش‌تر نشاسته و تبدیل آن به قندهای ساده‌تر می‌گردد (جدول‌های ۹ و ۱۰). نتایج این پژوهش با نتایج یانگ و همکاران (۲۰۱۹) در خصوص تأثیر تیمار پیش‌سرمادهی بر افزایش فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز در بذرها، همخوانی داشت (۳٦).

مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل طبقات سنی مختلف پایه‌های مادری و تیمار پیش‌سرمادهی بر خصوصیات فیتوشیمیایی بذر *K.prostrata* (جدول ۱۰) نشان می‌دهد که مقدار هورمون جیبرلین آزاد در بذرهای شاهد پایه‌های مادری جوان با سایر طبقات سنی اختلاف معنی‌داری دارد (جدول ۱۰). مقدار هورمون جیبرلین باند در بذرهای شاهد پایه‌های مادری جوان، بالغ و مسن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشت (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل طبقه سنی بوته (جوان، بالغ و مسن) و تیمار سرمادهی بر برخی از خصوصیات فیتوشیمیایی بذر *K.prostrata*.

Table 10. Means comparison of interactions between different maternal age classes (young, mature and old) and prechilling on some of phytochemical characteristics of *K.prostrata* seeds.

طبقات سنی پایه‌های مادری Maternal age classes	تیمار Treatment	فعالیت آلفا آمیلاز (میلی‌گرم در دقیقه) Alpha Amylase Activity (mg/min^{-1})	جیبرلین آزاد (میلی‌گرم در لیتر) Free Gibberellin (mg/l)	جیبرلین باند (میلی‌گرم در لیتر) Bond Gibberellin (mg/l)	نسبت جیبرلین به اسید آبسیزیک GA/ABA
۳-٤ ساله (3-4 years old)	شاهد Control	106.09^{f}	1.97^{c}	0.653^{c}	0.726^{cd}
۳-٤ ساله (3-4 years old)	پیش‌سرمادهی ۲-°C Prechilling -2°C	156.33^{b}	3.46^{b}	2.70^{b}	3.86^{b}
٥-٦ ساله (5-6 years old)	شاهد Control	122.35^{d}	0.726^{de}	0.72^{c}	0.383^{d}
٥-٦ ساله (5-6 years old)	پیش‌سرمادهی ۲-°C Prechilling -2°C	168.21^{a}	12.01^{a}	8.99^{a}	9.41^{a}
۷ سال به بالا (7 years old and more)	شاهد Control	117.40^{e}	0.653^{e}	0.830^{c}	0.426^{d}
۷ سال به بالا (7 years old and more)	پیش‌سرمادهی ۲-°C Prechilling -2°C	147.33^{c}	1.46^{cd}	2.70^{b}	2.04^{c}

حروف مشترک در هر ستون حاکی از عدم اختلاف است.

The common letters in each column indicate no differences.

با وجودی‌که مقدار جیبرلین آزاد و باند در بذرهای شاهد پایه‌های مادری بالغ بسیار کم است، اما پس از تیمار پیش‌سرمادهی، مقدار آن به شدت افزایش یافت (جدول ۱۰). نتایج این پژوهش با نتایج یانگ و همکاران (۲۰۱۹) که تیمار سرمادهی سبب افزایش سطح هورمون جیبرلین درونی بذر و کاهش سطح اسید آبسیزیک می‌گردد، هم‌خوانی دارد (۳٦). میزان حساسیت بذر به هورمون اسید آبسیزیک، عمق خواب بذر را تعیین می‌نماید. با استناد بر مدل کنترل از راه دور، عمق خواب بذر، تحت‌تأثیر اسید آبسیزیک انتقال یافته از پایه‌های مادری (یا تولید شده توسط جنین بذرها) در حین توسعه و بلوغ بذرها است. در واقع، سطحی از هورمون جیبرلین درونی بذر که بتواند آنرا به جوانه‌زنی یکنواخت و نرمال وادار نماید، با میزان حساسیت بذر به غلظت اسید آبسیزیک کنترل می‌گردد (۳). بذرهایی که در طول دوره رسیدن و توسعه، مقدار کمی اسید آبسیزیک توسط جنین آن‌ها تولید شده یا از طریق پایه‌های مادری به آن‌ها منتقل شده، به مقدار کمی جیبرلین درونی برای شروع جوانه‌زنی نیاز دارند، که این خصوصیت بیش‌تر در بذرهای پایه‌های مادری جوان *K.prostrata* مشاهده گردید. اما بذرهایی که در دوره توسعه و رسیدن بر روی پایه‌های مادری، مقدار زیادی اسید آبسیزیک توسط جنین آن‌ها تولید شده یا توسط پایه‌های مادری به آن‌ها منتقل شده، برای جوانه‌زنی به

مقادیر بیش‌تری جیبرلین درونی بذر نیاز دارند، که خصوصیت مذکور در بذرهای پایه‌های مادری بالغ و مسن *K.prostrata* بیش‌تر بود. نتایج این پژوهش با نتایج یانگ و همکاران (۲۰۱۹) در زمینه تغییرات هورمون اسید آبسیزیک و تأثیر آن بر خواب بذر همخوانی داشت (۳۶).

نتایج این پژوهش نشان داد که بذرهای *K.prostrata* دارای خواب مورفوفیزیولوژیک غیرعمیق پیچیده هستند (خواب فیزیولوژیک غیرعمیق اما دارای گیاهچه‌های غیرنرمال و واجد خواب مورفولوژیک) (۳۷). عمق این خواب در بذرهای پایه‌های مادری بالغ و مسن، تکامل بیش‌تری یافته است. این بذرها، برای تولید گیاهچه‌های نرمال به مقادیر به مراتب بالاتری از هورمون جیبرلین داخلی بذر نیاز دارند که این امر بدون تحریک سرمایی شدید، حاصل نمی‌گردد. از آنجائی‌که در این پژوهش بر بذرهای *K. prostrata* تیمار پیش‌سرمادهی خشک اعمال گردید بنابراین نتایج این پژوهش با مطالعات فنر و تامپسون (۲۰۰۶) که معتقد هستند بخش فیزیولوژیکی خواب بذر بدون آبنوشی و در حالت خشک نیز شکسته می‌شود همخوانی دارد (۸).

نتیجه‌گیری کلی

پایه‌های مادری *K.prostrata* در حین تکامل با محیط‌های خشک و نیمه‌خشک سازگاری یافته و واجد سطوح مختلفی از هورمون‌های اسید آبسیزیک و جیبرلین در اندام‌های خود هستند. این امر موجب بروز سازگاری‌های منحصربفردی در بذر طبقات مختلف سنی این گونه گردیده است. بذرهای *K.prostrata* برای شکستن خواب نیاز به سرما و شوک سرمایی دارند و با چنین شرایطی سازگاری و تکامل پیدا کرده‌اند. تیمار پیش‌سرمادهی توانست ضمن تغییر در سطح هورمون‌های جیبرلین و اسید آبسیزیک درونی بذر، جنین را تحریک به جوانه‌زنی نرمال نماید.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی و علمی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شده است. نویسندگان مراتب قدردانی خود را از همکاری اساتید و کارشناسان گروه باغبانی دانشکده تولیدات گیاهی ابراز می‌دارند. از جناب آقای مهندس صادق آتشی مربی آزمایشگاه گروه باغبانی، که در همه مراحل این پژوهش همکاری داشتند، صمیمانه قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Alejano, R., Dominguez-Delmas, M., Garcia-Gonzalez, L., Wazny, T., Vazquez-Pique, J. and Fernandez-Martinez, M. 2019. The age of black pine (*Pinus nigra* Arn.ssp.salzm annii (dunal) Franco) mother trees has no effect on seed germination and on offspring seedling performance. Ann. forest Sci. J. 76: 15. 1-10.
2. Assadi, A.M. and Heshmati, GH.A. 2015. The effect of different treatments on breaking seeds dormancy and inducing germination of *Thymus transcaucasicus* Ronn. and *Zataria moltiflora* Boiss. J. Plant Res. 28: 1. 12-21. (In Persian)
3. Baskin, J.M. and Baskin, C.C. 2004. A classification system for seed dormancy. J. Seed Sci. Res. 14: 1. 1-16.
4. Bernfeld, P. 1955. Methods in enzymology. Aca. Pre. N. Y. 1: 149.
5. Cavieres, A. and Sierra-Almeida, A. 2018. Assessing the importance of cold-stratification for seed germination in alpine plant species of the High-Andes of central Chile. J. Per. Plant Eco. Evo. Sys. 30: 125-131.
6. Cenzano, A.M., Reginato, M., Celeste Varela, M. and Virginia Luna, M. 2018. Abscisic acid and its metabolites are involved in drought tolerance in four native species of Patagonian semiarid

shrublands (Argantina). Aus. J. Bot. 66: 8. 589-600.
7. Espahbodi, K., Hosseini, S.M., Mirzaie-Nodoushan, H., Tabar, M., Akbarian, M. and Dehghan-Shooraki, Y. 2007. Tree age effects on seed germination in *Sorbus torminalis*. Gen. Appl. Plant Physiol. J. 33: 1. 107-119.
8. Fenner, M. and Thompson, K. 2006. The Ecology of Seeds. Camb. Uni. Press, 250p.
9. Finch-Savage, W.E. and Footitt, S. 2017. Seed dormancy cycling and the regulation of dormancy mechanisms to time germination in variable field environments. J. EXp. Bot. 68:4.843-856.
10. Ganatsas, P., Tsakaldimi, M. and Thanos, C. 2008. Seed and cone diversity and seed germination of *Pinus pinea* in strofylia site of the Natura 2000 Network. Bio. Cons. J. 17: 10. 2427-2439.
11. Ghodsirasi, H., Sepehry, A. and Barani, H. 2020. Effects of priming techniques on seed germination of *Kochia prostrata* [L.] schrad in relation to seed harvest date and shrubs' age. J. Plant Pro. (accepted) (In Persian)
12. Ghosh, D., Gupta, A. and Mohapatra, S. 2019. A comparative analysis of exopolysaccharide and phytohormone secretions by four drought-tolerant rhizobacterial strains and their impact on osmotic-stress mitigation in *Arabidopsis thaliana*. J. Micro. Biotech. 35: 6. 1-15.
13. Gimenez-Benavides, L., Escudero, A. and Perez-Garcia, F. 2005. Seed germination of high mountain Mediterranean species: altitudinal, interpopulation and interannual variability. J. Eco. Res. 20: 433-444.
14. Herman, J.J., Sultan, S.E., Horgan-Kobelski, T. and Riggs, C. 2012. Adaptive trangenerational plasticity in an annual plant: grand-parental and parental drought stress enhance performance of seedlings in dry soil. Int. Com. Bio. J. 52: 1. 77-88.
15. Holbrook, A.A., Edge, W.J.W. and Bailey, F. 1961. Spectrophotometric method for determination of gibberllic acid. In: Gibberellin, A.C.S. D.C. Pp: 159-167.
16. Hoyle, G.L., Cordiner, H., Good, R.B. and Nicotra, A.B. 2014. Effects of reduced winter duration on seed dormancy and germination in six population of the alpine herb *Aciphyllya glacialis* (Apiaceae). J. Con. Physiol. 2: 1-10.
17. International Rules for Seed Testing. Edi. 2009. International Seed Testing Association. Chapter 5&6.
18. Magaire, J.D. 1962. Seed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. J. Cro. Sci. 2: 111-116.
19. Mahadevan, A. 1984. Growth regulators, microorganisms and diseased plants. Oxf. IBH Pub. Co., N. Delhi, Pp: 184-192.
20. Mahadevan, A. and Sridhar, R. 1986. In: Methods in physiology and plant pathology (3rd edn.), Siv. Pub. Che, Pp: 284-288.
21. Mao, P., Guo, L., Gao, Y., Qi, L. and Cao, B. 2019. Effects of seed size and sand burial on germination and early growth of seedlings for coastal *pinus thunbergii* Parl. In the northern Shandong peninsula, China. J. For. 10: 3. 1-14.
22. Meyer, S.E. and Monsen, S.B. 1991. Habitat-correlated variation in mountain big sagebrush (*Artemisia tridentate* ssp. Vaseyana) seed germination patterns. J. Eco.72: 2.739-742.
23. Moradi, P. 2018. The impact of drought stress on growth and hormone alterations in Thyme plant. Plant proc. Func J. 6: 19. 311-322.
24. Murdoch, A.J. and Ellis, R.H. 2000. Dormancy, viability and longevity. In: The ecology of regeneration in plant communities, ed. M. fenner, Wallingford: CA. Pub., Pp: 183-214.
25. Quarles, B. and Roach, D.A. 2019. Increases in mortality and decreases in physiology and seed mass. J. Eco. 107: 3. 1409-1418.
26. Rezai, A., Balouchi, H., Movahhedi Dehnavi, M. and Ahmadi, I. 2018. Effect of Different priming on seed germination indices and enzyme of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) SOR834 genotype under cadmium chloride and nitrate toxicity. J. Plant Pro. 41: 1. 69-82.

27. Rezaiatmand. Z. 2004. Effect of Abscisic Acid under Stressful Conditions for Resistance in Five Rangeland Species. J. Bio. I. Azad Uni. 14: 54. 4603-4608. (In Persian)
28. Richardson, W.C., Badrakh, T., Roundy, B.A., Aanderud, Z.T., Peterson, S.L., Allen, P.S. and Whitaker, D.R. 2019. Influence of an abscisic acid (ABA) seed coating on seed germination rate and timing of Bluebunch Wheatgrass. J. Eco. Evo. 9: 13. 7438-7447.
29. Sadasivam, S. and Manickam, A. 1992. In: Biochemical methods for agricultural sciences ltd. N. Delhi, Pp: 184-185.
30. Statistical Software Ver.9.4. SAS Institute, 2017.
31. Tavakol Afshari, R., Badri٤, S. and Abbasi, A. 2010. Effects of gibberellin and abscisic acid on germination, dormancy induction as well as acid and alkalin phosphatase activity in seed embryo of bread wheat cultivar. Iranian J. Crop Sci. 41: 4. 781-789. (In Persian)
32. Vashisth, A. and Nagarajan, S. 2010. Effects on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. J. Plant Physiol. 167: 2. 149-156.
33. Waldron, B.L., Eun, J.S., ZoBell, D.R. and Olson, K.C. 2010. Forage Kochia (*Kochia prostrata*) for fall and winter grazing. J. S. Rum. Res. 91: 1.47-55.
34. Wang, S., Lin, H., Saito, T., Ohkawa, K., Ohara, H. and Jia, H. 2019. Abscisic acid effects ethylene metabolism and carotenoid biosynthesis in Japanese apricot (*Prunus mume* Sieb. ET Zucc.). J. Agri. Gene. 12: 1. 1-7.
35. Willis, G., Baskin, C., Baskin, M., Auld, R., Venable, L., Cavender-Bares, J., Donohue, K. and Rubio de Casas, R. 2014. The evolution of seed dormancy: environmental cues, evolutionary hubs, and diversification of the seed plants. J. N. Phyt. 203: 1. 300-309.
36. Yang, B., Cheng, J., Wang, J., Cheng, Y., He, Y., Zhang, H. and Wang, Z. 2019. Physiological characteristics of cold stratification on seed dormancy release in rice. J. Plant Gr. Reg. 89: 2. 131-141.
37. Zhang, K., Zhang, Y., Walck, J.L. and Tao, J. 2019. Non-deep simple morphophysiological dormancy in seeds of *Angelica keiskei* (Apiaceae). J. Sci. Hort. 255: 20. 202-208.