

بررسی پیش تیمارهای تغذیه‌ای بر ویژگی‌های جوانه‌زنی، محتوی رنگزیرهای فتوسنتزی و متابولیت‌های ثانویه آنتوسیانین و

فلفل بافت گیاهچه دو ژنوتیپ کنجد (*Sesamum indicum* L.)

حمیدرضا رضوانی^۱ و حشمت‌امیدی^{۲*}

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد تهران

^۲ استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده علوم کشاورزی و مرکز تحقیقت گیاهان دارویی دانشگاه شاهد تهران

پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Email: omid@shahed.ac.ir

چکیده

کنجد (*Sesamum indicum* L.) گیاهی روغنی از خانواده پدالیاسه است که به دلیل کیفیت بالای روغن و پروتئین، در مناطق گرم و خشک کشت می‌شود. پیش تیمار یا پرایمینگ بذر، تکنیکی است که بذر را قبل از کاشت از نظر فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برای جوانه‌زنی آماده می‌کند و شامل روش‌های مختلفی مانند هیدروپرایمینگ، اسموپرایمینگ و نوتری پرایمینگ است. این مطالعه با هدف بررسی اثر تیمارهای عامل اول پیش تیمار تغذیه‌ای بر خصوصیات جوانه‌زنی ارقام کنجد و پارامترهای رشدی گیاهچه رقم اولتان ویل دشتستانی و رقم چمستان انجام شد. عامل پیش تیمار در ۵ سطح شامل ۱- کنترل یا شاهد (عدم پیش تیمار بذور و کشت مستقیم در محیط کشت)؛ ۲- هیدروپرایمینگ (قرار دادن بذر در آب مقطر در دمای ۱۵ درجه سانتی گراد و خشک شدن به مدت ۱۲ ساعت) (Guan et al., 2013; Haghighi, 2008)؛ ۳- نیتрат پتاسیم ۰/۰۲ درصد (w/v) به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۱۵ درجه (Sang et al., 2008)؛ ۴- کلسیم از منبع کلسیم کلراید در غلظت ۴۰ میلی مولار (Zehra et al., 2012). به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۱۵ درجه و سپس خشک کردن به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق (Parmoon et al., 2013)؛ و ۵- آهن از منبع سولفات آهن در غلظت ۴ میلی مولار و به مدت ۱۲ ساعت و خشک شدن در دمای ۱۵ درجه سانتی گراد و سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق بود (Parmoon et al., 2013). مطالعه در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در پتری دیش و در شرایط آزمایشگاهی در چهار تکرار اجرا گردید. نتایج نشان داد که تاثیر پرایمینگ بذر بر درصد جوانه‌زنی، محتوای آب نسبی، محتوای کلروفیل a، محتوای کلروفیل b و میزان آنتوسیانین و محتوای فنل و محتوای کارتنوئید معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که در هر دو ژنوتیپ تعداد بذور جوانه زده در تیمار شاهد کمتر از سایر پیش تیمارها بود. در صفات مورد بررسی، رقم چمستان نسبت به دیگر ژنوتیپ، واکنش کمتری نشان داده است. به طور کلی، پرایمینگ باعث بهبود ویژگی‌های بیوشیمیایی و متابولیت‌های ثانویه فنل و آنتی سیانین و کاروتنوئید شده است بطوریکه بیوسنتز محتوای کارتنوئید در ژنوتیپ چمستان بمیزان ۶۲/۵ درصد بیشتر از ژنوتیپ اولتان ویل دشتستانی بود. همچنین سطوح پیش تیماری به جز سولفات آهن و نیترات کلسیم باعث بهبود محتوای کارتنوئید نسبت به شاهد (۲۱۲۵ mg/gFW) شد. بیش‌ترین محتوای آنتوسیانین مربوط به تیمار نیترات پتاسیم با میزان ۱/۱۵ mg/mL

و کم‌ترین آن مربوط به تیمار نیترات کلسیم با میزان 0.49 mg/mL به دست آمد تیمار پرایمینگ نیترات پتاسیم با میانگین 1.55 ، ب $\mu\text{g/mL}$ بالاترین محتوی فنول را در مقایسه با سایر تیمارها به خود اختصاص داد در صورتی که تیمار پرایمینگ نیترات کلسیم کم‌ترین محتوی فنول را با میزان $0.65 \mu\text{g/mL}$ به خود اختصاص داد. همچنین مشخص شد که رقم چمستان نسبت به سایر ارقام، واکنش پذیری کمتری به تیمارهای پرایمینگ نشان داده است. در نهایت، پرایمینگ باعث کاهش سرعت، واریانس و بهبود همگنی جوانه‌زنی در سطوح مختلف پرایمینگ شده است (نتایج نشان داده نشده). به عبارت دیگر، پرایمینگ بواسطه بهبود سنتز متابولیت های ثانویه مانند فنل سبب تحمل بهتر گیاهچه در استقرار سریعتر و جوانه‌زنی سریع‌تر، یکنواخت‌تر و با پراکندگی کمتر در زمان جوانه‌زنی می‌شود.

کلیدواژه: هیدروپرایمینگ، نیترات پتاسیم، ارقام کنجد، میزان جوانه زنی

مقدمه

دانه کنجد برای طیف وسیعی از محصولات خوراکی به صورت خام یا بو داده و همچنین برای مصارف صنعتی مانند صابون‌ها، روان کننده‌ها، لوازم آرایشی، دارویی و خوراک دام استفاده می‌شود (Myint et al 2020). کنجد (*Sesamum indicum* L.) یکی از قدیمی‌ترین و ضروری‌ترین گیاهان دانه روغنی در سراسر جهان، از خانواده پدالیاسه (Pedaliaceae)، گیاهی دیپلوئید ($2n=26$) است و به صورت بوته‌ای رشد می‌کند (اسدی و همکاران ۱۳۹۹). این گیاه حدود ۱۶ جنس و ۵۰ گونه دارد (خواجه‌پور، ۱۳۸۳). هند را منشأ کنجد دانسته‌اند، اما تنوع وسیع انواع وحشی در آفریقا نشان می‌دهد احتمالاً کنجد زراعی از *Sesame capense* در نواحی مرکزی قاره آفریقا و ظاهراً در اتیوپی منشأ یافته است (خواجه‌پور، ۱۳۸۳).

جایگاه ویژه این گیاه در بین گیاهان روغنی به دلیل بالا بودن کمیت و کیفیت روغن استحصالی آن است. این گیاه با ۵۰ درصد روغن با کیفیت و ۱۷ الی ۱۹ درصد پروتئین، به دلیل ترکیبات آنتی‌اکسیدانی قوی و مقاومت آن به دما، به عنوان ملکه دانه‌های روغنی شناخته و به طور سنتی در کشورهای آسیایی به عنوان یک ماده غذایی سالم و مهم در نظر گرفته می‌شود (فروغی و همکاران ۱۳۹۴، Myint et al 2020). وجود بیش از ۵۰٪ روغن در دانه مطلوب به شمار می‌رود. از روغن‌های نیمه خشک و دارای بیشترین مرغوبیت با ضریب یدی ۱۰۰ تا ۱۳۰ است. این روغن از ۳۲ تا ۵۴ درصد اولئیک اسید، ۳۷ تا ۵۹ درصد لینولئیک اسید، ۸ تا ۱۱ درصد پالمیتیک اسید و ۳ تا ۶ درصد استئاریک اسید و فاقد لینولنیک و کلسترول می‌باشد (خواجه‌پور، ۱۳۸۳). میزان اسیدهای چرب اشباع در روغن کنجد از ۱۱ تا ۱۷ درصد متغیر است. بالا بودن درصد اولئیک اسید سبب پایداری زیاد و زیادی لینولئیک اسید سبب کیفیت عالی روغن کنجد برای تغذیه انسان شده است (خواجه‌پور، ۱۳۸۳). همچنین روغن کنجد به دلیل وجود ترکیب فنل آنتی اکسیدان به نام سزامول از دوام خوبی برخوردار است (منصوری و سلطانی نجف‌آبادی، ۱۳۸۳).

کم بارانی و عدم توزیع مناسب نزولات جوی منطبق با نیازهای آبی گیاهان، بالا بودن سطح املاح مولد شوری در مزارع، عدم تهویه مناسب بستر بذر، فقر غذایی مزارع و غیره از مشکلات بسیار شایع در مزارع ایران به شمار می‌رود. براساس نتایج متعدد حاصل از تحقیقات مستقل دانشمندان، یکی از راه‌های موثر و مفید برای جبران اثر بخشی از این عوامل نامساعد، می‌تواند استفاده

از پیش تیمار بذر باشد (Harris et al, 2001). پیش تیمار بذر تکنیکی است که به واسطه آن بذور پیش از قرار گرفتن در بستر خود و مواجهه با شرایط اکولوژیکی محیط، به لحاظ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آمادگی جوانه زنی را به دست می آورند.

جوانه زنی و استقرار مطلوب که یکی از مراحل حساس در چرخه رشدی گیاهان است و نقش چشمگیری در تعیین تراکم نهایی گیاه (مخصوصاً در شرایط تنش) دارد، از چالش های کشاورزان است (حیدریه و همکاران ۱۴۰۰). یک روش جایگزین و جذاب برای این مشکل، تیماری بذر با ریز مغذی ها (شامل پرایمینگ و پوشش دهی بذر) می باشد (Farooq et al 2006). پیش تیمار (پرایمینگ)، یک تکنیک ساده است که بذور به لحاظ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آمادگی جوانه زنی را پیش از قرار گرفتن در بستر خود و مواجهه با شرایط اکولوژیکی به دست می آورند (امری و امیدی ۱۴۰۱). بنابراین با تسریع خروج گیاهچه، افزایش درصد و سرعت جوانه زنی و تعجیل توسعه ریشه، تحمل بهتر گیاهان به شرایط تنش را خواهیم داشت (حیدریه و همکاران ۱۴۰۰). روش های پرایمینگ متنوعی موجود شامل هیدروپرایمینگ (Hydro priming)، اسموپرایمینگ یا هالوپرایمینگ (Halo-priming or Osmo-priming)، پرایمینگ مواد مغذی (Nutrient Priming)، پرایمینگ شیمیایی (Chemical Priming)، بیوپرایمینگ (Bio-priming)، پرایمینگ هورمونی (Hormonal priming)، پرایمینگ فیزیکی (Physical priming)، نانوپرایمینگ (Nano priming) و ماتری پرایمینگ (Solid matrix priming) می شود (Tripathi 2023). از این میان هیدروپرایمینگ به معنای خیس و مرطوب کردن بذرها و خشک کردن دوباره آن ها قبل از تکمیل فرایند جوانه زدن است و اسموپرایمینگ یا هالوپرایمینگ روشی شامل خیساندن بذرها در مواد اسمزی هوادهی شده یا نمک های معدنی مثل نترات پتاسیم (KNO_3)، نترات کلسیم ($CaNO_3$) و سولفات آهن ($FeSO_4$) برای کنترل مقدار آب جذب شده می باشد (امیدی و همکاران، ۱۳۹۳). در جریان پرایمینگ، بذر از مرحله جوانه زنی تا شروع تقسیم سلولی تحریک می شود و پس از خشک شدن و آب گیری مجدد از همان نقطه ای که خشک شده بود شروع به فعالیت می کند. روش های مختلف پرایمینگ بذر وجود دارند که هر یک با هدف خاصی انجام می گیرد که شامل هیدرو پرایمینگ^۱، اسمو پرایمینگ^۲، هالو پرایمینگ^۳، ترمو پرایمینگ^۴، پرایمینگ ماتریکس مواد جامد^۵، بیو پرایمینگ^۶ و هورموپرایمینگ می باشد (Ashraf and Foolad, 2005). این تکنیک ها می توانند سبب بروز تظاهرات زیستی و فیزیولوژیکی متعددی در بذر پرایم شده و گیاه حاصل از آن گردند. به طوری که بهبودهایی را می توان در چگونگی جوانه زنی، استقرار اولیه نباتات، بهره برداری از نهاده های محیطی، زودرسی و افزایش کمی و کیفی محصول مشاهده کرد (Pill and Neeker, 2001).

با توجه به شرایط نامساعدی که برای جوانه زنی بذر و رشد گیاه در تنش پیش می آید و ذکر شد، همچنین با نظر به تحقیقات انجام شده در این زمینه، سؤالی که پیش می آید این است که آیا هیدروپرایمینگ و اسموپرایمینگ بذر کنجد باعث تغییر جوانه زنی و رشد گیاه آن می شوند؟ بنابراین پیش تیمار بذر کنجد در جوانه زنی و رشد گیاهچه تاثیر دارد یا آیا نوع پیش تیمار در این زمینه

-
2. Hydropriming
 3. Osmopriming
 4. Halopriming
 5. Thermopriming
 6. Matric Priming
 7. Biopriming

می‌تواند نتایج متفاوتی بیان نماید؟ بنابراین هدف از این پژوهش تعیین بهترین پرایم با هدف به زراعی و به نژادی در دو ژنوتیپ کنجد برای بهبود ویژگی‌های رشدی در جهت استفاده از تکنولوژی آماده‌سازی بذر بود.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه بذور دو ژنوتیپ گیاه کنجد شامل رقم اولتان ویل دشتستانی و چمستان از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر در آزمایشگاه بذر مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی استان قم در سال ۱۴۰۳ - ۱۴۰۲ مورد مطالعه قرار گرفتند.

به منظور بررسی اثر پیش تیمارهای نیتрат پتاسیم، نیترات کلسیم و سولفات آهن بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد ژنوتیپ‌های کنجد در مرحله جوانه‌زنی، آزمایشی بر پایه طرح کاملاً تصادفی (CRD)، به صورت فاکتوریل و در ۴ تکرار انجام شد. شروع کار با تست جوانه‌زنی بوده و قبل از اعمال پیش تیمار، با استفاده از هیپوکلرید سدیم ۱۰ درصد، بذور به مدت ۳ دقیقه (Valdiani et al., 2005) ضد عفونی و سپس چند بار با آب مقطر شستشو شد. همزمان، کاغذهای جوانه‌زنی و وسایل مورد نیاز در اتوکلاو با دمای ۱۸۰ سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت سترون شد، سپس بذور کنجد با نیترات پتاسیم، نیترات کلسیم و سولفات آهن تحت پیش تیمار قرار گرفت.

عامل اول پیش تیمار به شرح ذیل بود ۱- کنترل یا شاهد (عدم پیش تیمار بذور و کشت مستقیم در محیط کشت): ۲- هیدروپرایمینگ (قرار دادن بذر در آب مقطر در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۲ ساعت) (Guan et al., 2013; Haghighi, 2008): ۳- نیترات پتاسیم ۰/۰۲ درصد (w/v) به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۱۵ درجه (Sang et al., 2008) ۴- کلسیم از منبع کلسیم کلراید در غلظت ۴۰ میلی مولار (Zehra et al., 2012). به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۱۵ درجه و سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق خشک خواهند شد (Parmoon et al., 2013): ۵- آهن از منبع سولفات آهن در غلظت ۴ میلی مولار و به مدت ۱۲ ساعت و در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق خشک خواهند شد (Parmoon et al., 2013) عامل دوم ژنوتیپ‌های کنجد شامل (رقم اولتان ویل دشتستانی و چمستان) بود.

پس از اینکه بذور خشک شدند به محیط کشت پتری‌دیش انتقال یافتند. در هر تکرار از تیمار، داخل هر پتری‌دیش شسته شده با اسید به ابعاد (۱۰×۱/۵ سانتی‌متر)، ۵۰ عدد بذر روی کاغذ واتمن شماره ۱ (ISTA, 2013) قرار گرفته و به هر پتری‌دیش آب مقطر (۵ میلی‌لیتر) افزوده شد. دور پتری‌ها با پارافیلیم، به منظور کاهش میزان تبخیر آب، بسته شدند. سپس پتری‌ها به درون ژرمیناتور با دمای 20 ± 1 (مامدی و همکاران، ۱۳۹۳؛ ISTA, 2013)، رطوبت نسبی ۷۰٪، ۱۶ ساعت روشنائی و ۸ ساعت تاریکی (Zeng et al., 2013) منتقل شدند. از روز دوم (به صورت روزانه و در ساعت معینی) شمارش بذورهای جوانه‌زده انجام گرفت. محتوای نسبی آب اندام هوایی، محتوای کلروفیل a، b و کارتنوئید، آنتوسیانین و زمان تا ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی بودند.

شمارش روزانه بذورهای جوانه زده از روز دوم به صورت روزانه در ساعتی معین انجام گرفت. هنگام شمارش، بذوری جوانه زده تلقی می‌شدند که طول ریشه‌چه آنها ۲ میلی‌متر یا بیشتر بود (ISTA, 2013). پس از اتمام جوانه‌زنی، سپس برای اندازه‌گیری وزن خشک گیاهچه، پس از خشک کردن گیاهچه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در درون آون، از ترازوی دقیق استفاده گردید. همچنین به منظور محاسبه سایر شاخص‌ها از روابط محاسباتی زیر استفاده شد:

درصد جوانه زنی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Ayub et al., 2013).

$$\text{رابطه (۱)} \quad GP = ((\text{No of germinated seeds}) / (\text{Total no of seeds})) \times 100$$

اندازه‌گیری کلروفیل a, b، کلروفیل کل و کارتنوئید (Arnon., 1949)

برای تعیین مقادیر کلروفیل a, b در مرحله ۲ برگ‌گی برحسب میکروگرم بر میلی‌لیتر، میزان ۰/۵ گرم بافت تازه گیاهچه به همراه ۵ میلی لیتر استون ۸۰ درصد خوب ساییده شده و سپس در سانتریفیوژ در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفتند. سپس جذب عصاره حاصل در طول موج‌های ۶۶۳/۲، ۶۴۶/۸ و ۴۷۰ قرائت شد. با استفاده از روابط زیر میزان کلروفیل a (Chl a)، کلروفیل b (Chl b) و میزان کاروتنوئید (Carotenoids) محاسبه گردید. در این روابط Chl کلروفیل، A طول موج، V حجم محلول و W وزن نمونه برگ می باشد (Arnon et al., 1949).

$$\text{رابطه (۲-۱۰)} \quad \text{Total chlorophyll } (\mu\text{g/ml}) = 20.2 (A645) + 8.02 (A663)$$

$$\text{رابطه (۲-۱۱)} \quad \text{Chlorophyll a } (\mu\text{g/ml}) = 12.7 (A663) - 2.69 (A645)$$

$$\text{رابطه (۲-۱۲)} \quad \text{Chlorophyll b } (\mu\text{g/ml}) = 22.9 (A645) - 4.68 (A663)$$

$$\text{رابطه (۲-۱۳)} \quad \text{Carotenoids } (\mu\text{g/ml}) = (1000A470 - 3.27[\text{chl a}] - 104[\text{chl b}]) / 227$$

اندازه‌گیری محتوای آنتوسیانین بافت برگ

برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین بافت برگ از روش Wagner استفاده شد. ۰/۱ گرم از بافت تازه برگ گیاه در هاون چینی با ۱۰ میلی لیتر متانول اسیدی (متانول خالص و اسیدکلریدریک خالص به نسبت حجمی ۹۹:۱) کاملاً ساییده شد و عصاره در لوله آزمایش سربیش دار ریخته شد و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی گراد قرار گرفت. سپس به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۴۰۰۰ سانتریفیوژ و جذب محلول رویی در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. غلظت با استفاده از فرمول زیر و با در نظر گرفتن ضریب خاموشی (E) سانتی متر بر مول محاسبه شد. میزان جذب نوری، B عرض کووت، C غلظت محلول مورد نظر است.

$$\text{رابطه (۱۴)} \quad C = \frac{A}{E}$$

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ

جهت بررسی محتوای نسبی آب برگ، بافت تازه برگ را جدا کرده و پس از وزن نمودن وزن تر برگ، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در داخل آب مقطر و در ظرفی در بسته شناور شدند و سپس وزن آن‌ها مجدداً اندازه‌گیری شد (وزن اشباع). پس از این عمل برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. پس از اندازه‌گیری وزن خشک برگ، درصد محتوای رطوبت نسبی برگ توسط رابطه زیر محاسبه گردید (Qasim et al., 2003).

$$\text{رابطه (۱۵)} \quad RWC = (FW - DW / TW - DW) \times 100$$

در رابطه محتوای نسبی آب (Levitt, 1980)

DW وزن خشک برگ‌ها، FW وزن تر برگ‌ها، TW وزن آماس برگ‌ها و RWC محتوای نسبی رطوبت می‌باشد در این رابطه Fw وزن تر برگ‌ها، Dw وزن خشک برگ‌ها و Tw وزن در تورگر کامل پس از ۲۴ ساعت در آب مقطر می‌باشد.

محتوی فنل

اندازه‌گیری فنل به روش فولین سیکالتو (Ebrahimzadeh et al., 2008) به صورت زیر صورت گرفت. ابتدا ۰/۵ تا یک گرم از نمونه فریز شده یا تازه را وزن کرده و آن با اتانول ۸۰ درصد در داخل هاون چینی به خوبی کوبیده و در داخل فالكون‌های ۱۵ میلی‌لیتر ریخته شد. سپس محلول حاصل را در ۱۰۰۰۰ دور به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ کرده و محلول صاف شده رویی را در داخل فالكون جدید انتقال داده شد. ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره بدست آمده را در داخل یک فالكون ۱۵ میلی‌لیتر به همراه ۷ میلی‌لیتر آب مقطر استریل اضافه کرده و کاملاً مخلوط گردید. به لوله فوق ۵ میلی‌لیتر از معرف فولین سیکالتو (۱ به ۱۰ رقیق شده با آب مقطر) اضافه گردید و سپس محتویات لوله مخلوط شدند. این معرف حساس به نور بوده و باید در ظروف تیره نگهداری شود. پس از ۳ دقیقه، ۴ میلی‌لیتر از کرینات سدیم یک مولار اضافه و کل محتویات لوله را مخلوط شد. برای تهیه کرینات سدیم یک مولار ۱۰/۶ گرم از این ترکیب را در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل گردید. در شرایط تاریکی نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه راکد نگه داشته شد، سپس مقدار جذب رنگ در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر خوانده شدند. برای نمونه شاهد (بلانک) از آب مقطر و معرف فولین استفاده شد.

$$\text{Phenol } (\mu\text{g/mL}) \ y = 0.0985x - 0.015$$

رابطه (۱۶)

اندازه‌گیری صفات تعداد بذور جوانه زده، تعداد بذور با جوانه زنی طبیعی و تعداد بذر سخت بر اساس معیارهای بین‌المللی آزمون بذر (ISTA)، با شمارش بذور جوانه‌زده، از روز دوم و هر ۲۴ ساعت یک بار در ساعتی معین به مدت ۱۵ روز صورت گرفت. محاسبه درصد جوانه زنی، همگنی زمان جوانه زنی، واریانس زمان جوانه زنی و سرعت جوانه زنی بر اساس روابط ریاضی روی داده‌های روزانه جوانه زنده محاسبه شده‌اند. به طور کلی در این تحقیق تجزیه واریانس برای صفات مختلف کنجد انجام شد. در پایان تجزیه داده‌ها و محاسبه ضرایب همبستگی بین صفات، تعیین ضرایب رگرسیونی، تجزیه آماری و مقایسه میانگین به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و با استفاده از نرم افزارهای SAS 9.4 و SPSS در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

این مطالعه اثر پرایمینگ (پیش تیمار) بذر کنجد با مواد مختلف (نیتрат کلسیم، آب مقطر (هیدروپرایمینگ)، نیترات پتاسیم و سولفات آهن) را بر ویژگی‌های جوانه‌زنی دو ژنوتیپ چمستان و اولتان ویل دشتستانی است.

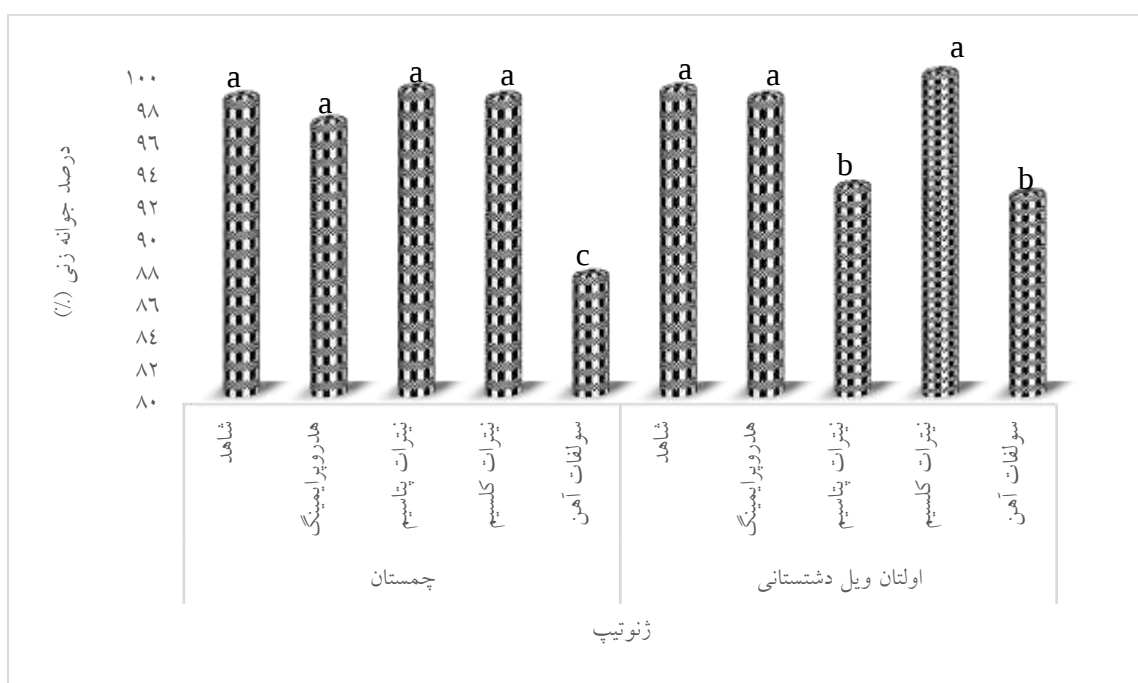
جوانه‌زنی:

درصد جوانه‌زنی: پرایمینگ، به ویژه با نیترات کلسیم، درصد جوانه‌زنی را در هر دو ژنوتیپ به طور معنی‌داری افزایش داد و به ۱۰٪ رسید. اثر ژنوتیپ بر درصد جوانه‌زنی معنی‌دار نبود.

پرایمینگ بذر کنجد، به ویژه با نیترات کلسیم و هیدروپرایمینگ، می‌تواند درصد و سرعت جوانه‌زنی را بهبود بخشد. پرایمینگ با سولفات آهن یکنواختی جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد. هیدروپرایمینگ طول گیاهچه و ریشه‌چه را افزایش می‌دهد. با این حال، واکنش ژنوتیپ‌ها به تیمارهای مختلف پرایمینگ متفاوت بود و در برخی موارد، مانند هیدروپرایمینگ در ژنوتیپ اولتان ویل

دشتستانی، حتی ممکن است منجر به کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی شود. به طور کلی، پرایمینگ با بهبود فرآیندهای متابولیکی و از بین بردن ترکیبات ممانعت کننده جوانه‌زنی، باعث بهبود جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه می‌شود. انتخاب نوع پرایمینگ باید با توجه به ژنوتیپ مورد نظر و هدف از پرایمینگ (بهبود درصد، سرعت یا یکنواختی) انجام شود.

تجزیه واریانس صفات بیانگر معنی دار بودن اثر پرایمینگ و اثر متقابل پرایمینگ بر ویژه گی های و درصد جوانه زنی در سطح احتمال یک درصد ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۱). تیمار بذر با محلول نیترات کلسیم منجر به افزایش درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد شد. همچنین تیمار بذور با آب مقطر (شاهد)، هیدروپرایمینگ و پرایم با محلول نیترات پتاسیم بعد از پرایم با نیترات کلسیم باعث بهبود درصد جوانه‌زنی ارقام کنجد شدند (جدول ۲ و نمودار ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل پرایمینگ و ژنوتیپ نشان داد که بالاترین درصد جوانه زنی (۱۰۰ درصد) در پرایمینگ بذر با محلول نیترات کلسیم در هر دو ژنوتیپ به دست آمد.



نمودار ۱- مقایسه میانگین برهمکنش پرایمینگ بذر و ژنوتیپ بر درصد سرعت جوانه‌زنی بذر کنجد

میانگین های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

همچنین در بخش دیگری از مطالعه به بررسی اثر پرایمینگ (پیش تیمار) بر صفات فیزیولوژیک دو ژنوتیپ کنجد (چمستان و اولتان ویل دشتستانی) پرداخته شده است. نتایج کلیدی به شرح زیر است:

اثر کلی پرایمینگ و ژنوتیپ: پرایمینگ بر تمامی صفات فیزیولوژیک به جز محتوای رطوبت نسبی تأثیر معنی دار داشت. ژنوتیپ‌ها نیز در همه صفات به جز آنتوسیانین و فنول تفاوت معنی دار نشان دادند. اثر متقابل پرایمینگ و ژنوتیپ نیز بر تمامی صفات به جز محتوای رطوبت نسبی معنی دار بود.

محتوای کلروفیل a: ژنوتیپ چمستان بیشترین و ژنوتیپ اولتان ویل دشتستانی کمترین مقدار کلروفیل a را داشتند. هیدروپرایمینگ بیشترین و سولفات آهن کمترین محتوای کلروفیل a را ایجاد کردند. بیشترین مقدار در اثر متقابل، در ژنوتیپ اولتان ویل دشتستانی با هیدروپرایمینگ مشاهده شد.

محتوای کلروفیل b: ژنوتیپ چمستان بیشترین و اولتان ویل دشتستانی کمترین مقدار کلروفیل b را داشتند. پرایمینگ با نیترات کلسیم بیشترین مقدار کلروفیل b را ایجاد کرد. بیشترین مقدار در اثر متقابل، در ژنوتیپ چمستان با نیترات کلسیم مشاهده شد.

محتوای کلروفیل کل: ژنوتیپ چمستان بیشترین و اولتان ویل دشتستانی کمترین مقدار کلروفیل کل را داشتند. پرایمینگ با نیترات کلسیم بیشترین مقدار کلروفیل کل را ایجاد کرد. بیشترین مقدار در اثر متقابل، در ژنوتیپ اولتان ویل دشتستانی با نیترات کلسیم مشاهده شد.

نسبت کلروفیل a/b: ژنوتیپ چمستان نسبت بالاتری از کلروفیل a به b داشت. هیدروپرایمینگ بیشترین و سولفات آهن کمترین نسبت a/b را ایجاد کردند. بیشترین نسبت در اثر متقابل، در ژنوتیپ اولتان ویل دشتستانی با هیدروپرایمینگ و کمترین آن در ژنوتیپ چمستان با نیترات کلسیم مشاهده شد.

کارتونوئید: ژنوتیپ چمستان محتوای کارتونوئید بیشتری داشت. پرایمینگ (به جز سولفات آهن و نیترات کلسیم) محتوای کارتونوئید را نسبت به شاهد افزایش داد. هیدروپرایمینگ افزایش ۲۵ درصدی را نشان داد. در اثر متقابل، بیشترین مقدار در ژنوتیپ اولتان ویل دشتستانی با تیمار شاهد و در ژنوتیپ چمستان با نیترات پتاسیم مشاهده شد. همبستگی مثبت بین محتوای کارتونوئید با کلروفیل a و کلروفیل کل وجود داشت.

آنتوسیانین: پرایمینگ با نیترات پتاسیم بیشترین و با نیترات کلسیم کمترین محتوای آنتوسیانین را ایجاد کرد. در اثر متقابل، بیشترین مقدار در ژنوتیپ چمستان با نیترات پتاسیم و کمترین آن در ژنوتیپ اولتان ویل دشتستانی با نیترات کلسیم مشاهده شد.

فنول: پرایمینگ با نیترات پتاسیم بیشترین و با نیترات کلسیم کمترین محتوای فنول را ایجاد کرد. در اثر متقابل، بیشترین مقدار در ژنوتیپ چمستان با نیترات پتاسیم و کمترین آن در ژنوتیپ اولتان ویل دشتستانی با نیترات کلسیم مشاهده شد.

محتوای رطوبت نسبی: تفاوت معنی داری بین تیمارهای پرایمینگ مشاهده نشد، اما ژنوتیپ اولتان ویل دشتستانی بیشترین محتوای رطوبت نسبی را داشت. بیشترین مقدار در اثر متقابل، در ژنوتیپ اولتان ویل دشتستانی با هیدروپرایمینگ مشاهده شد.

پرایمینگ بذر کنگد، به ویژه با هیدروپرایمینگ و نیترات کلسیم، می تواند محتوای رنگدانه های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کل) و کارتونوئیدها را بهبود بخشد. نیترات پتاسیم نیز در افزایش آنتوسیانین و فنول مؤثر بود. واکنش ژنوتیپ ها به تیمارهای مختلف پرایمینگ متفاوت بود و اثر متقابل ژنوتیپ و پرایمینگ در بیشتر صفات معنی دار بود. بنابراین، انتخاب نوع پرایمینگ باید با توجه به ژنوتیپ مورد نظر و هدف از پرایمینگ (بهبود کدام صفت فیزیولوژیکی) انجام شود

جدول ۱- میانگین مربعات صفات جوانه زنی بذر دو ژنوتیپ کنگد تحت تأثیر پرایمینگ

منابع تغییرات	درجه آزادی
درصد جوانه زنی	

۱۱۳/۱۵**	۴	پرایمینگ
۲/۵ ^{ns}	۱	ژنوتیپ
۳۲/۲۵**	۴	پرایمینگ × رقم
۶/۱	۳۰	خطا
۲/۵۶	ضریب تغییرات (%)	
۰/۷۶	R-Square	

*, **, ns به ترتیب معنی دار بودن در سطوح پنج، یک درصد و معنی دار نبودن را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقایسه میانگین پرایمینگ بر صفات جوانه‌زنی ارقام کنجد

صفات		پرایمینگ
درصد جوانه‌زنی		
۹۸/۷۵ _a	کنترل (شاهد)	
۹۷/۷۵ _{ab}	هیدروپرایمینگ	
۹۶ _b	نیتراپتاسیم	
۹۹/۲۵ _a	نیتراپتاسیم	
۹۰ _c	سولفات آهن	

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ و پرایمینگ بر جوانه‌زنی دو ژنوتیپ کنجد

ژنوتیپ	پرایمینگ	درصد جوانه‌زنی
اولتان ویل دشتستانی	کنترل (شاهد)	۹۹ _a
	هیدروپرایمینگ	۹۸/۵ _a
	نیتراپتاسیم	۹۳ _b
	نیتراپتاسیم	۱۰۰ _a
	سولفات آهن	۹۲/۵ _b
چمستان	کنترل (شاهد)	۹۸/۵ _a
	هیدروپرایمینگ	۹۷ _a
	نیتراپتاسیم	۹۹ _a
	نیتراپتاسیم	۹۸/۵ _a
	سولفات آهن	۸۷/۵ _c

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

صفات فیزیولوژیک

براساس نتایج صفات فیزیولوژیک، تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد بین تیمارهای پرایم برای تمامی صفات به جز محتوای رطوبت نسبی مشاهده شد. همچنین، ارقام مختلف نیز در همه صفات به جز آنتوسیانین و فنول تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. علاوه بر این، اثر متقابل رقم و پرایم در تمامی صفات به جز محتوای رطوبت نسبی در سطح ۱ درصد معنی‌دار تشخیص داده شد (جدول ۱۳).

۳-۱۷-۱. محتوای کلروفیل a

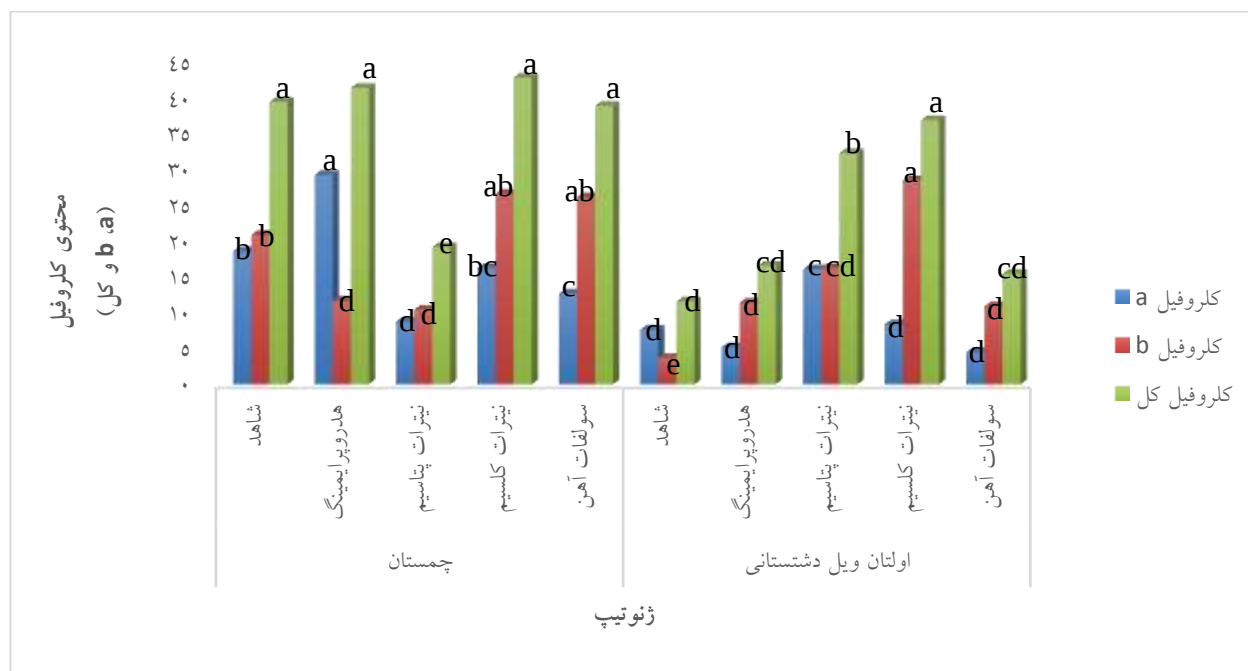
با بررسی جدول مقایسه میانگین مربوط به ژنوتیپ‌های کنگد می‌توان مشاهده کرد که بیشترین و کم‌ترین محتوای کلروفیل a به ترتیب مربوط به ژنوتیپ چمستان و اولتان ویل دشتستانی می‌باشد (جدول ۳-۱۵). همچنین در مورد اثرات پرایمینگ نیز بیش‌ترین محتوای کلروفیل a مربوط به تیمار هیدروپرایمینگ با میزان ۱۷/۲۲ و کم‌ترین آن مربوط به تیمار سولفات آهن با میزان ۸/۶ به دست آمد (جدول ۱۴). در مورد مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و پرایمینگ بیشترین محتوای کلروفیل a در رقم اولتان ویل دشتستانی در تیمار هیدروپرایمینگ به دست آمد (جدول ۱۶). کمترین میانگین این صفت در ژنوتیپ چمستان با پرایمینگ سولفات آهن مشاهده شد (جدول ۳-۱۶).

۳-۱۷-۲. محتوای کلروفیل b

بر اساس داده‌های جدول ۳-۱۳، رقم چمستان با میانگین ۱۹/۱۵ میلی گرم بر گرم وزن تر، بیشترین مقدار کلروفیل b را در بین ژنوتیپ‌های کنگد دارا بود. در حالی که رقم اولتان ویل دشتستانی با میانگین ۱۴/۱۵ میلی گرم بر گرم وزن تر، کمترین مقدار کلروفیل b را نشان داد (جدول ۳-۱۵). تیمار پرایمینگ نیترا کلسیم با میانگین ۵۶/۲۷ میلی گرم بر گرم وزن تر، بالاترین مقدار کلروفیل b را در مقایسه با سایر تیمارها داشت (جدول ۳-۱۴). همچنین، ترکیب رقم چمستان با تیمار نیترا کلسیم بیشترین مقدار کلروفیل b (۲۸/۵۱ میلی گرم بر گرم وزن تر) را در بین تمام ترکیب‌های مورد بررسی دارا بود، در حالی که کمترین مقدار کلروفیل b (۳/۶۹) در ترکیب رقم چمستان با تیمار شاهد (بدون پرایمینگ) مشاهده شد. در مورد رقم اولتان ویل دشتستانی نیز بیش‌ترین میزان به دست آمده کلروفیل b از تیمار نیترا کلسیم حاصل شد (جدول ۳-۱۶).

۳-۱۷-۳. محتوای کلروفیل کل

نتایج مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن است که رقم چمستان به طور معنی‌داری بیشترین (۳۶/۳۶) و رقم اولتان ویل دشتستانی کمترین (۲۲/۵) مقدار کلروفیل کل را از خود نشان دادند (جدول ۳-۱۵). همچنین، تیمار پرایمینگ نیترا کلسیم نیز به طور قابل توجهی منجر به افزایش محتوای کلروفیل کل با میزان ۳۹/۸۷ نسبت به سایر تیمارها شد (جدول ۳-۱۴).



نمودار ۳-۱۴- مقایسه میانگین برهمکنش پرایمینگ بذر و ژنوتیپ بر محتوی کلروفیل ژنوتیپ‌های کنجد

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌دار ندارند.

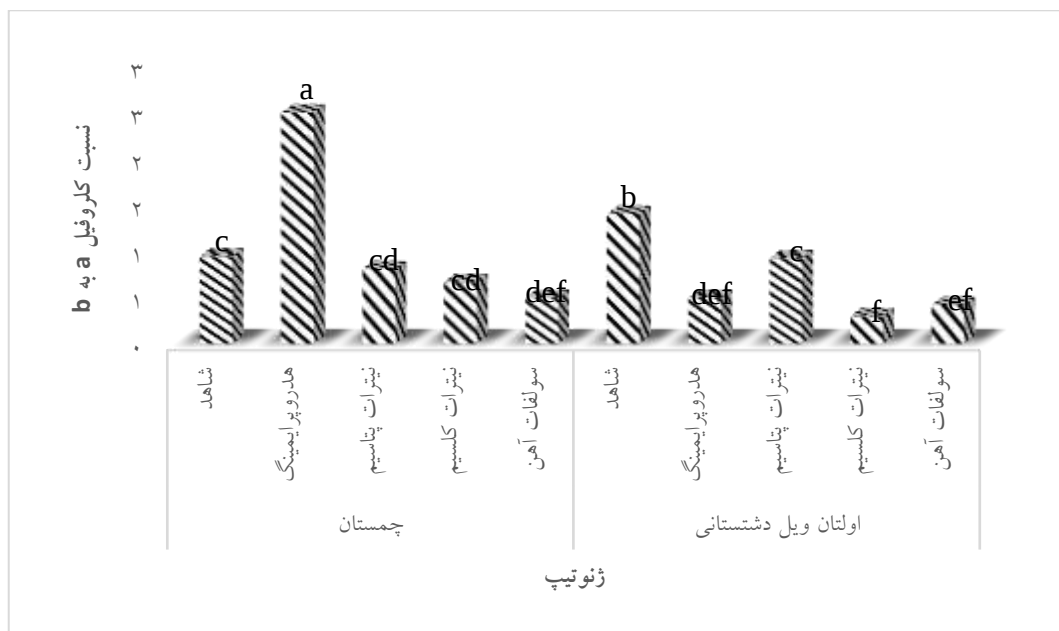
بررسی نتایج جدول مقایسه میانگین ژنوتیپ و پرایمینگ نشان داد که ترکیب رقم اولتان ویل دشتستانی و تیمار نیتراک کلسیم نیز بیشترین مقدار کلروفیل کل (۴۲/۸۵) را در بین تمام ترکیب‌های مورد بررسی دارا بود و بعد از آن تیمار هیدروپرایمینگ و سولفات آهن نیز در مورد این رقم در یک گروه آماری قرار گرفتند، در حالی که کمترین مقدار کلروفیل کل (۱۱/۵۷) در ترکیب ژنوتیپ چمستان با تیمار بدون پرایمینگ یا شاهد مشاهده شد (جدول ۳-۱۶).

روی و سربواتاوا (۲۰۰۰) گزارش کردند که گیاهان حاصله از بذور پرایم شده از محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل بالایی برخوردارند و همچنین فتوسنتز کل در این گیاهان افزایش می‌یابد. در مطالعه‌ای بر روی گلرنگ، محلول پاشی روی و منگنز باعث افزایش میزان کلروفیل شد که این نتایج را می‌توان با نقش این عناصر در متابولیسم نیتروژن و سنتز کلروفیل مرتبط دانست (موحدی دهنوی و همکاران ۱۳۸۳). نقش مثبت پرایمینگ بذر در افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی مثل کلروفیل، کاروتنوئیدها و فلورسانس کلروفیل توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (Anwar et al., 2011; Tabassum et al., 2018).

۳-۱۷-۴. نسبت کلروفیل a/b

با توجه به داده‌های جدول مقایسه میانگین‌ها، رقم چمستان نسبت به رقم اولتان ویل دشتستانی نسبت کلروفیل a به b بالاتری را نشان داد (جدول ۳-۱۵). این بدین معنی است که در رقم چمستان، مقدار کلروفیل a نسبت به کلروفیل b بیشتر بوده است (جدول ۳-۱۵). همچنین در مورد اثرات پرایمینگ نیز بیشترین نسبت کلروفیل a/b مربوط به تیمار هیدروپرایمینگ با میزان ۱/۵ و کم‌ترین آن مربوط به تیمار سولفات آهن با میزان ۰/۴۶ به دست آمد (جدول ۳-۱۴).

در مورد مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و پرایمینگ نیز بیشترین نسبت کلروفیل a/b در رقم اولتان ویل دشتستانی در تیمار هیدروپرایمینگ با میزان ۲/۵ و کمترین آن به تیمار نیترات کلسیم در ژنوتیپ چمستان (۰/۳) به دست آمد (جدول ۳-۱۶ و نمودار ۳-۱۴).

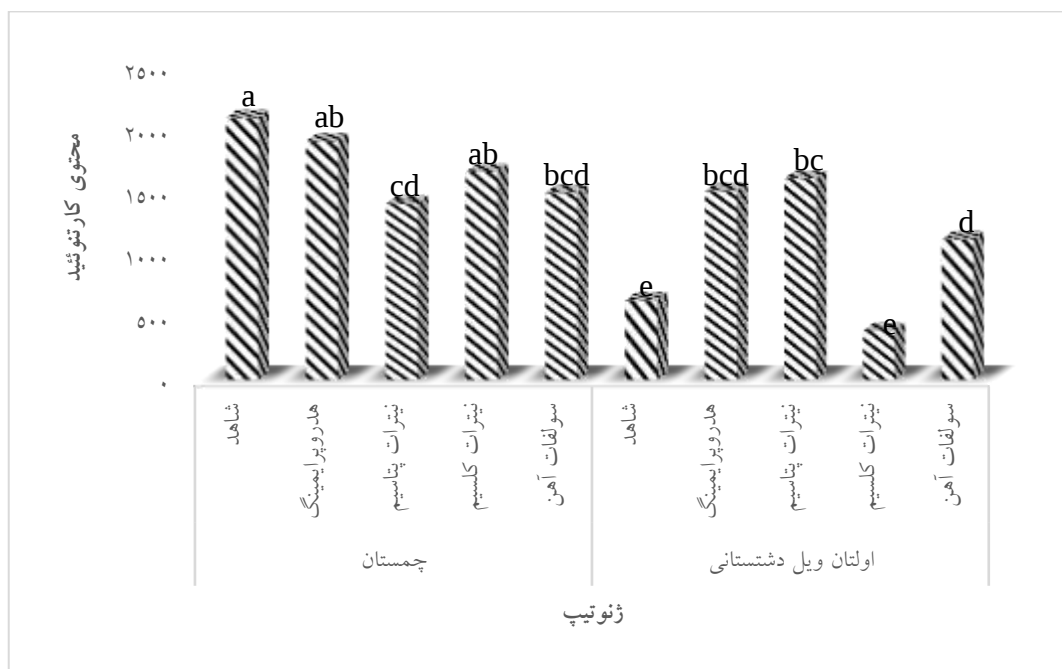


نمودار ۳-۱۵- مقایسه میانگین برهمکنش پرایمینگ بذر و ژنوتیپ بر نسبت کلروفیل a به b ژنوتیپ‌های کنگد

میانگین های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

۳-۱۷-۵. کارتنوئید

بر اساس نتیجه واریانس (جدول ۳-۱۳) اثر ژنوتیپ بر محتوای کارتنوئید در سطح احتمال ۱ درصد ($p \leq 0.01$) معنی دار بود. بر اساس نتایج محتوای کارتنوئید ژنوتیپ چمستان بمیزان ۶۲/۵ درصد بیشتر از ژنوتیپ اولتان ویل دشتستانی بود (جدول ۳-۱۵). اثر سطوح مختلف پرایمینگ بر صفت مذکور در سطح احتمال ۱ درصد ($p \leq 0.01$) معنی دار بود (جدول ۳-۱۳). سطوح مختلف تیماری به جز سولفات آهن و نیترات کلسیم باعث بهبود محتوای کارتنوئید نسبت به شاهد شد. همچنین تیمار هیدروپرایمینگ باعث افزایش ۲۵ درصدی این صفت نسبت به شاهد شد (جدول ۳-۱۴). اثر متقابل پرایمینگ و ژنوتیپ بر محتوای کارتنوئید در سطح احتمال ۱ درصد ($p \leq 0.01$) معنی دار بود (جدول ۳-۱۳) پرایمینگ بذر در تیمار شاهد بالاترین محتوای کارتنوئید در ژنوتیپ اولتان ویل دشتستانی و تیمار نیترات پتاسیم در ژنوتیپ چمستان را در پی داشت (جدول ۳-۱۶).

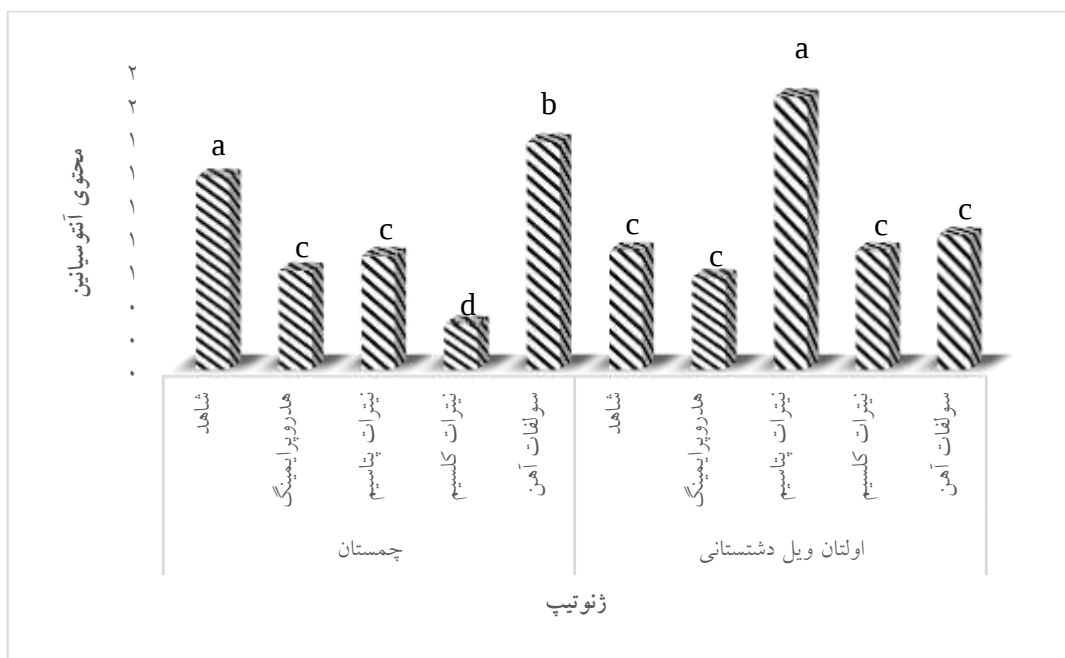


نمودار ۳-۱۶- مقایسه میانگین برهمکنش پرایمینگ بذر و ژنوتیپ بر محتوی کارتنوئید ژنوتیپ‌های کنجد
میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌دار ندارند.

با توجه به نتایج ذکر شده در جدول ۳-۱۷ بین محتوای کارتنوئید و کلروفیل a (**۵۴/۰) و کلروفیل کل (*۳۹/۰) همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت. کارتنوئیدها می‌توانند سیستم دریافت‌کننده نور دستگاه فتوسنتزی را از گزند مولکول‌های اکسیژن رادیکال حفاظت نمایند. کارتنوئیدها می‌توانند مستقیماً اکسیژن یکتایی را خاموش و غیرفعال کنند و یا به وسیله اکسیژن یکتایی اکسید شوند. بنابراین به طور غیرمستقیم تولید گونه‌های اکسیژن را کاهش می‌دهند. همچنین کارتنوئیدها از طریق مکانیسمی که چرخه زانتوفیل نامیده می‌شود، باعث مصرف اکسیژن و حفاظت از کلروفیل در مقابل فتواکسیداسیون می‌شوند (Koryto, 2006). مولر و همکاران (۲۰۰۱) علاوه بر نقش آنتی‌اکسیدانتی کارتنوئیدها، به نقش آن‌ها در خاموش کردن الکترون‌های مازاد در فتوسنتز گیاهان تحت تنش‌های مختلف از جمله خشکی اشاره کرده‌اند که سبب کاهش آسیب‌های ناشی از الکترون‌های پر انرژی می‌شود. پژوهشگران گزارش کرده‌اند منحنی عکس‌العمل گیاه به تمام هورمون‌های شناخته شده زنگوله‌ای شکل بود، به این صورت که در غلظت‌های پایین اثر تحریک‌کننده‌ای داشته و به حداکثر خود رسیده و در غلظت‌های بالاتر از آن، اثر بازدارنده خواهد داشت (Arteca, 2013).

۳-۱۷-۶. محتوای آنتوسیانین

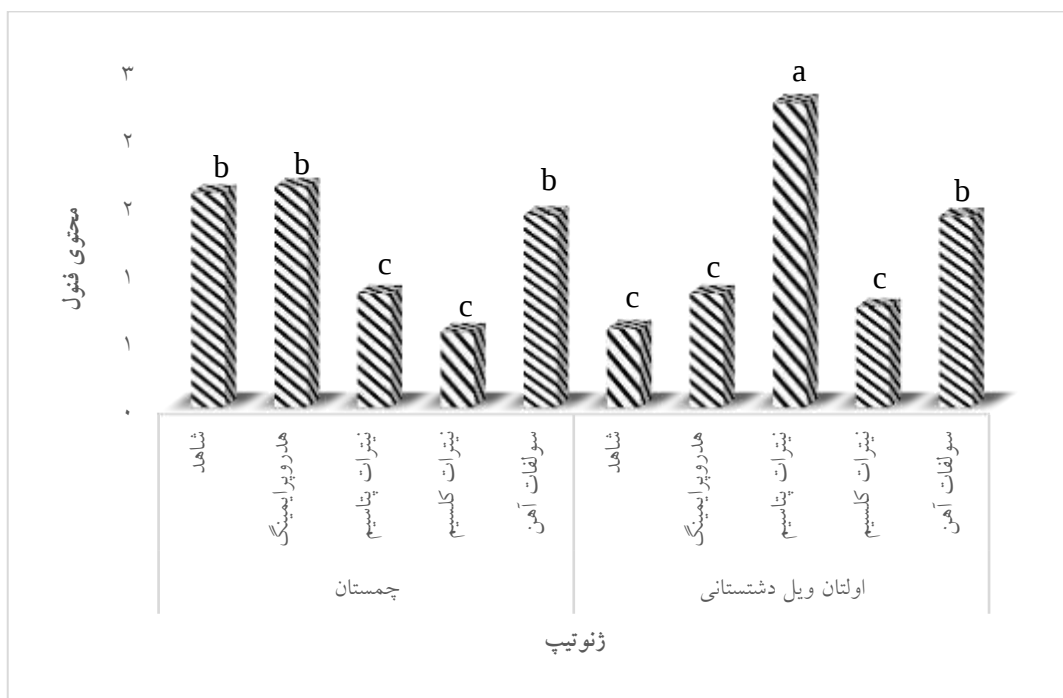
نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن است که در پرایمینگ بیش‌ترین محتوای آنتوسیانین مربوط به تیمار نیترات پتاسیم با میزان ۱/۱۵ و کم‌ترین آن مربوط به تیمار نیترات کلسیم با میزان ۰/۴۹ به دست آمد (جدول ۳-۱۴). همچنین ترکیب ژنوتیپ چمستان و تیمار نیترات پتاسیم نیز بیش‌ترین محتوای آنتوسیانین (۱/۶۳) را در بین تمام ترکیب‌های مورد بررسی دارا بود، در حالی که کم‌ترین آن با میزان ۰/۲۷ در ترکیب ژنوتیپ اولتان و یل دشتستانی با تیمار نیترات کلسیم مشاهده شد (جدول ۳-۱۶).



نمودار ۳-۱۷- مقایسه میانگین برهمکنش پرایمینگ بذر و ژنوتیپ بر محتوی آنتوسیانین ژنوتیپ‌های کنجد
میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌دار ندارند.

۳-۱۷-۷. فنول

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار پرایمینگ نترات پتاسیم با میانگین ۱/۵۵، بالاترین محتوی فنول را در مقایسه با سایر تیمارها به خود اختصاص داد در صورتی که تیمار پرایمینگ نترات کلسیم کم‌ترین محتوی فنول را با میزان ۰/۶۵ به خود اختصاص داد. (جدول ۳-۱۴). همچنین ترکیب رقم چمستان و تیمار نترات پتاسیم نیز بیشترین محتوی فنول (۲/۲۵) را در بین تمام ترکیب‌های مورد بررسی دارا بود، در حالی که کمترین آن با میزان ۰/۵۶ در ترکیب رقم اولتان ویل دشتستانی با تیمار نترات کلسیم مشاهده شد (جدول ۳-۱۶).



نمودار ۳-۱۸- مقایسه میانگین برهمکنش پرایمینگ بذر و ژنوتیپ بر محتوی فنول ژنوتیپ‌های کنجد

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

۳-۱۷-۸. محتوای رطوبت نسبی

بیشترین محتوای رطوبت نسبی برگ مقدار برابر با ۹۱/۹۸ در رقم اولتان ویل دشتستانی دیده شد (جدول ۳-۱۵). رقم اولتان ویل دشتستانی در شرایط هیدروپرایمینگ، بیشترین مقادیر محتوای رطوبت نسبی برگ را به خود اختصاص دادند. کمترین مقدار هم در رقم چمستان در شرایط عدم پرایمینگ بود (جدول ۳-۱۶). این نتایج اثر استفاده از پرایمینگ با نیترات پتاسیم را به روشنی در افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ نشان می‌دهد. در بررسی رستمی و همکاران (۱۳۹۶) بر روی تاثیر تیمارهای مختلف پرایمینگ در ریحان بیشترین میزان محتوای رطوبت نسبی برگ مربوط به گیاهان حاصل از بذور پرایم شده با نیترات پتاسیم به دست آمد. مطابق با پژوهش حاضر در آزمایشی پرایمینگ بذر سبب بهبود روند واکنش‌های فیزیولوژیکی در بذر شده است (Kaya et al., 2006).

محتوای رطوبت نسبی برگ همبستگی بالایی با پتانسیل آب برگ دارد و کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ در ابتدا به دلیل بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز و با افزایش به دلیل توقف انتقال الکترون و ممانعت نوری در چرخه فتوسنتزی است (Kamali et al., 2012). محققان افزایش محتوای رطوبت نسبی بذور گندم را با افزایش سطوح پرایمینگ گزارش کردند (Singhand Usha, 2003). رستمی و همکاران (۱۳۹۶) بیان داشتند بیشترین میزان محتوای رطوبت نسبی برگ ریحان مربوط به گیاهان حاصل از بذور پرایم شده با نیترات پتاسیم می‌باشد.

جدول ۳-۱۳- تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات فیزیولوژیک دو ژنوتیپ کنجد تحت تأثیر سطوح مختلف پرایمینگ

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						محتوای رطوبت نسبی
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	نسبت کلروفیل a/b	کارتونوید	آنتوسیانین	فنول
پرایمینگ	۴	۷۵/۳۲**	۳۵۷/۸**	۲۸۶/۳۲**	۱/۶۲**	۵۱۵۴۶۵/۹**	۰/۸۳**	۰/۹۷**
ژنوتیپ	۱	۷۶۷/۳۷**	۲۴۹/۴۵**	۱۹۰۸/۸۱**	۱/۴۱**	۴۳۹۳۶۲۱/۶**	۰/۰۰۰۸ ^{NS}	۰/۰۱۶ ^{NS}
پرایمینگ × رقم	۴	۲۴۹/۵۹**	۲۱۹/۹**	۵۹۹/۸۳**	۱/۸۴**	۹۶۲۴۲۸/۸**	۱/۰۱**	۱/۸۲**
خطا	۳۰	۷/۳	۱۶/۲۳	۱۶/۸۴	۰/۰۵	۸۵۳۲۷/۳۱	۰/۰۲۵	۰/۰۸
ضریب تغییرات (%)		۲۱/۲۳	۲۴/۱۹	۱۳/۹۳	۲۵/۲۱	۲۰/۹۸	۱۷/۸۷	۲۳/۸۱
R-Square		۰/۹۱	۰/۸۴	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۸۱	۰/۹۱	۰/۸۲
								۰/۲۷

*, **, و ^{NS} به ترتیب معنی دار بودن در سطوح پنج، یک درصد و معنی دار نبودن را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۱۴- مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ بر صفات فیزیولوژیک دو ژنوتیپ کنجد

ژنوتیپ	صفات						
	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	نسبت کلروفیل a/b	کارتونوید	آنتوسیانین	فنول
اولتان ویل دشتستانی	۸/۳۵ _b	۱۴/۱۵ _b	۲۲/۵۵ _b	۰/۷۱ _b	۱۰۶۰/۵۶ _b	۰/۸۸ _a	۱/۱۶ _a
چمستان	۱۷/۱۱ _a	۱۹/۱۵ _a	۳۶/۳۶ _a	۱/۰۹ _a	۱۷۲۳/۴۱ _a	۰/۸۹ _b	۱/۲۱ _a
							۹۱/۹۸ _a
							۸۷/۹۴ _b

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۳-۱۵- مقایسه میانگین اثر پرایمینگ بر صفات فیزیولوژیک دو ژنوتیپ کنجد

صفات	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	نسبت کلروفیل a/b	کارتنوئید	آنتوسیانین	فنول	محتوای رطوبت نسبی
کنترل (شاهد)	۱۳/۱۱ _b	۱۲/۲۸ _c	۲۵/۵۲ _b	۱/۱۸ _b	۱۳۷۳/۸ _b	۱/۱۱ _a	۱/۰۸ _c	۸۷/۹۵ _a
هیدروپرایمینگ	۱۷/۲۲ _a	۱۱/۵۳ _c	۲۹ _b	۱/۵ _a	۱۷۱۸/۹ _a	۰/۵۷ _b	۱/۲۴ _{bc}	۹۱/۰۴ _a
نیترات پتاسیم	۱۲/۴۱ _b	۱۳/۳۳ _c	۲۵/۷۴ _b	۰/۸۷ _c	۱۵۱۷/۶ _{ab}	۱/۱۵ _a	۱/۵۵ _a	۸۹/۳۶ _a
نیترات کلسیم	۱۲/۳۱ _b	۲۷/۵۶ _a	۳۹/۸۷ _a	۰/۴۸ _d	۱۰۳۲/۶ _c	۰/۴۹ _b	۰/۶۵ _d	۹۰/۸۹ _a
سولفات آهن	۸/۶ _c	۱۸/۵۳ _b	۲۷/۱۶ _b	۰/۴۶ _d	۱۳۱۷ _{bc}	۱/۰۸ _a	۱/۴۲ _{ab}	۹۰/۵۵ _a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۳-۱۶- مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و سطوح مختلف پرایمینگ بر صفات فیزیولوژیک دو ژنوتیپ کنجد

ژنوتیپ	پرایمینگ	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	نسبت کلروفیل a/b	کارتنوئید	آنتوسیانین	فنول	محتوای رطوبت نسبی
اولتان ویل دشتستانی	کنترل (شاهد)	۱۸/۶ _b	۲۰/۸۸ _{bc}	۳۹/۴۷ _a	۰/۹۵ _c	۲۱۰۶/۷ _a	۱/۵۱ _{ab}	۱/۵۸ _b	۹۰/۷۵ _{ab}
	هیدروپرایمینگ	۲۹/۲۷ _a	۱۱/۶۷ _d	۴۱/۴۲ _a	۲/۵۱ _a	۱۹۱۸/۴ _{ab}	۰/۵۹ _c	۱/۶۳ _b	۹۱/۸۸ _{ab}
	نیترات پتاسیم	۸/۷۶ _d	۱۰/۴۳ _d	۱۹/۱۸ _c	۰/۸۱ _{cd}	۱۴۱۶/۷ _{cd}	۰/۶۸ _c	۰/۸۴ _c	۹۲/۱۴ _{ab}
	نیترات کلسیم	۱۶/۲۴ _{bc}	۲۶/۶۲ _{ab}	۴۲/۸۵ _a	۰/۶۷ _{cde}	۱۶۷۱/۹ _{abc}	۰/۲۷ _d	۰/۵۶ _c	۹۲/۹۱ _a
	سولفات آهن	۱۲/۶۸ _c	۲۶/۱۴ _{ab}	۳۸/۹ _a	۰/۵ _{def}	۱۵۰۳/۵ _{bcd}	۱/۳۶ _b	۱/۴۲ _b	۹۲/۲۳ _{ab}
چمستان	کنترل (شاهد)	۷/۶۳ _d	۳/۶۹ _e	۱۱/۵۷ _d	۱/۴۱ _b	۶۴۱ _e	۰/۷۱ _c	۰/۵۸ _c	۸۵/۱۴ _b
	هیدروپرایمینگ	۵/۱۷ _d	۱۱/۴ _d	۱۶/۵۷ _{cd}	۰/۵ _{def}	۱۵۱۹/۳ _{bcd}	۰/۵۵ _c	۰/۸۴ _c	۹۰/۲۱ _{ab}
	نیترات پتاسیم	۱۶/۰۶ _{bc}	۱۶/۲۴ _{cd}	۳۲/۲۹ _b	۰/۹۳ _c	۱۶۱۸/۵ _{bc}	۱/۶۳ _a	۲/۲۵ _a	۸۶/۵۷ _{ab}
	نیترات کلسیم	۸/۳۸ _d	۲۸/۵۱ _a	۳۶/۸۸ _{ab}	۰/۳ _f	۳۹۳/۳ _e	۰/۷۱ _c	۰/۷۴ _c	۸۸/۸۸ _{ab}
	سولفات آهن	۴/۵ _d	۱۰/۹۲ _d	۱۵/۴۳ _{cd}	۰/۴۲ _{ef}	۱۱۳۰/۶ _d	۰/۸ _c	۱/۴۱ _b	۸۸/۸۸ _{ab}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۳-۱۷- ضرایب همبستگی ساده بین صفات مربوط به جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و فیزیولوژیک کنبند

۸	۷	+	۵	۴	۳	۲	۱	
							۱	۱- کلروفیل a
						۱	۰/۳۴*	۲- کلروفیل b
					۱	۰/۱۱ ^{ns}	۰/۱۹ ^{ns}	۳- کلروفیل کل
				۱	۰/۷۶**	۰/۶۷**	۰/۳۷*	۴- کارتنوئید
			۱	۰/۳۹*	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۵۴**	۰/۰۷ ^{ns}	۵- نسبت کلروفیل a به b
		۱	۰/۲۶ ^{ns}	۰/۱۱ ^{ns}	-۰/۴۷**	۰/۷۲**	۰/۲۵ ^{ns}	۶- آنتوسیانین
	۱	-۰/۰۸ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}	۰/۱۴ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	-۰/۰۳ ^{ns}	۷- فنول
۱	۰/۶۹**	۰/۲ ^{ns}	۰/۳۹*	۰/۲۶ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۳۶*	-۰/۰۲ ^{ns}	۸- درصد جوانه‌زنی

بحث

اسمو پرایمینگ همچنین به اسموکاندیشنینگ یا اسموتیک کاندیشنینگ معروف است و به خیساندن بذرها در محلولهای قندی، پلی اتیلن گلایکول، گلیسرول، سوربیتول یا مانیتول و بعد خشکاندن بذر قبل از کاشت در این تحقیق اشاره دارد. پتانسیل پایین محلول تیمار به بذر اجازه آبنوشی جزئی می‌دهد. همچنین که پروسه‌های متابولیکی پیش جوانه‌زنی آغاز می‌شود اما جوانه‌زنی متوقف می‌شود (McDonald, 2000). پلی اتیلن گلایکول مناسبترین ترکیب اسموتیک است: وزن مولکولی بالایی دارد، ۶۰۰۰ تا ۸۰۰۰ دالتون، ترکیبی بی اثر است و اندازه مولکولی بالا، مانع از ورودش به بذر و ایجاد اثرات سمی که در استفاده از نمک‌ها بروز می‌کند، می‌گردد (Lima et al., 2003). یک محدودیت عمده پلی اتیلن گلایکول این است که میزان حلالیت اکسیژن به طور معکوسی وابسته به غلظت آن است که منجر به اثرات مضر در جوانه‌زنی می‌گردد.

پیش تیمار بذر قبل از کاشت در آب به هیدروپرایمینگ معروف است بعد از آبنوشی بذر وارد فاز اولیه جوانه‌زنی می‌شود که در آن فعالیت‌های متابولیکی پیش جوانه‌زنی طی می‌شود اما از ورود به دو فاز آخری جلوگیری می‌شود. اگرچه خیساندن بذر در آب و خشک کردن مجدد آن قبل از کاشت آسانترین روش برای آبیگری بذر می‌باشد اما ممکن است بر اثر آبیگری غیریکنواخت، بذرها جوانه‌زنی غیر یکنواختی داشته باشند (Pill and Neeker, 2001).

در این مطالعه اثر اسموپرایمینگ بر جوانه زنی موثر بود و مطالعات مشخص کرده که نمک‌های مورد استفاده برای ایجاد پتانسیل اسمزی محلول پرایمینگ چندان مهم نیست. مک‌دونالد (۲۰۰۰) به نقل از دورانت و همکاران مشخص کرد که هیچ تفاوتی در بذر چغندر قند به اسموپرایمینگ با نمک‌های با پتانسیل اسمزی ۱- تا ۲- مگاپاسکال نبود و به نقل از اسمیت و کوب به این نتیجه رسید که پاسخ به اسموپرایمینگ بیشتر بستگی به مدت زمان تیماردهی و پتانسیل اسمزی محلول دارد تا نوع نمک خاصی که به کار برده شده بود. وی به نقل از فرت و همکاران مشخص کرد که در مقایسه با استفاده از پلی اتیلن گلایکول به عنوان ماده اسموتیکی، نمک‌های استفاده شده روی کاغذ صافی مرطوب برای جوانه‌زنی بذر گوجه فرنگی و مارچوبه مفیدتر بودند و منجر به خرابی غشا و تغییرات آنزیمی که مسبب رشد بعدی هستند، شد، در حالی که محلول‌های نمکی به طور موفقیت آمیزی بذره‌های گوجه فرنگی و هویج را اسموپرایم کرد. همان تیمارها درصد سبز شدن دانه‌های پیاز را با وجود افزایش میزان استقرار، کاهش داد. در حالی که نمک‌های استفاده شده در اسموپرایمینگ برای دانه‌های سورگوم سمی بودند، بذرها سه نوع گیاه دارویی و گوجه فرنگی پرایم شده با این محلول‌های نمکی بهتر از بذرها پرایم شده با پلی اتیلن گلایکول بودند (McDonald, 2000).

بر مبنای کار ولبائوم و همکاران (۱۹۹۸) ممکن است تفاوت در پاسخ این گونه‌ها به محلول‌های نمکی و پلی اتیلن گلایکول به عنوان ترکیبات اسموتیک مرتبط با حضور لایه احاطه کننده جنینی که از بافتی با نفوذ پذیری انتخابی است باشد که اجازه جذب آب را می‌دهد اما مانع از انتشار مواد حل شده به داخل بذر می‌گردد. بذره‌های فاقد این لایه، نمک را جذب کرده و خراب می‌شوند. در چنین مواردی پلی اتیلن گلایکول ماده اسموتیک مناسب‌تری خواهد بود، چرا که

پلی اتیلن گلاپکول خنثی بوده و اندازه بزرگ مولکولی آن مانع از جذب آن توسط جنین می‌گردد (Welbaum et al., 1998).

جوانه‌زنی نوعاً یک الگوی سه مرحله‌ای از جذب آب را ارائه می‌دهد که با آبنوشی سریع آغاز می‌شود (فاز اول)، با مرحله ثابت یا کند ادامه می‌یابد که در آن تغییر اندکی در میزان آب بذر دیده می‌شود (فاز دوم) و در نهایت یک افزایش در مقدار آب وجود دارد (فاز سوم) که با رشد ریشه‌چه همزمان می‌گردد (Welbaum et al., 1998). در طی فاز اول، DNA و میتوکندری‌ها بازسازی شده و پروتئین‌ها با استفاده از mRNAهای موجود تولید می‌شوند. فاز دوم فقط با یک افزایش تدریجی در میزان آب بذر نمایان می‌شود، اما فعالیت‌های مربوط به جوانه‌زنی در آغار راه هستند که شامل سنتز میتوکندری و پروتئین‌های متکی به ترجمه از روی mRNAهای جدید می‌باشند (Welbaum et al., 1998). در طی این فاز، تغییرات فیزیولوژیک و آناتومیکی رخ می‌دهد. این تغییرات بذر را برای رشد گسترده‌ای آماده می‌کند. بنابراین فاز دوم نقطه کنترل اصلی جوانه‌زنی بذرهای غیر خواب را تامین می‌کند (Welbaum et al., 1998). فاز ۱ و ۲ فرایندهای جوانه‌زنی را کامل می‌کنند و اساس پرایمینگ موفق خواهند بود، زمانی که بذر به میزانی از رطوبت می‌رسد که فقط خروج اندک ریشه‌چه را به همراه داشته باشد. در طی پرایمینگ به فاز سوم جوانه‌زنی راه پیدا نمی‌کند چرا که جذب بیشتر آب و لازم برای آغاز رشد و توسعه جنین متوقف شده است (Welbaum et al., 1998). تکمیل جوانه‌زنی و شروع رشد گیاهچه با ادامه رشد ریشه‌چه بیان می‌شود که در طی فاز سوم رخ می‌دهد و به وسیله افزایش سریع دیگری از جذب آب مشخص می‌شود. این کار شانس کامل برای بزرگ شدن سلول‌های ریشه‌چه را فراهم می‌کند (Welbaum et al., 1998). شواهد حاکی از آنست که بسیاری از تغییرات فیزیولوژیک و آناتومیک که در طی فاز دوم جوانه‌زنی رخ می‌دهد، به طور گسترده‌ای طی پرایمینگ کامل می‌گردد و منجر به این شده که بذرها پس از خشک شدن مجدد، سریعتر جوانه بزنند (Welbaum et al., 1998). در تحقیقات مشخص شده که پرایمینگ به طور موفقیت آمیزی درصد جوانه‌زنی را در بسیاری از محصولات زراعی به خصوص بذرهای سبزیجات و علوفه‌های دانه ریز و محصولاتی چون گندم، چغندر قند، ذرت، سویا و آفتابگردان افزایش داده است (Demir Kaya et al., 2006). در تحقیقات میتوسوшіما و ساکاگامی (۲۰۱۳) که بر روی برنج صورت گرفته است مشخص شد که هیدروپرایمینگ بذر به مدت ۱۲ ساعت، درصد و سرعت جوانه‌زنی را تحت شرایط تنش رطوبتی افزایش می‌دهد. آنها همچنین بیان داشتند که پرایمینگ بذر با آب تحت تیمارهای مختلف تنش رطوبتی باعث تسریع، یکنواختی و افزایش گیاهچه‌های سبز شده می‌گردد (Matsushima and Sakagami, 2013). در مطالعه‌ی دیگری که بر روی چاودار کلوهی صورت گرفت نشان داد که با افزایش سطح تنش شوری درصد جوانه‌زنی در بذره‌ای پرایم شده و شاهد کاهش می‌یابد البته این کاهش در بذره‌ای پرایم نشده بیشتر از بذره‌ای پرایم شده بود. پرایمینگ‌های اعمال شده سبب افزایش درصد جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی و متوسط زمان جوانه‌زنی در مقایسه با شاهد شدند (انصاری و همکاران، ۱۳۹۲).

در سطح پروتئینی مکدونالد (۲۰۰۰) گزارش کرد که فعالیت پروتئین‌های آلدولاز و ایزوسیترات لیاز افزایش یافته و مقدار گلوکز ۶- فسفات دهیدروژناز بیشتر شده و فعالیت الکل دهیدروژناز در بذره‌ای ذرت شیرین کاهش یافت.

اسموپرایمینگ بذره‌های بادام زمینی نیز منجر به افزایش در فعالیت ایزوسیترات لیاز، مسئول ذخیره چربی، به دنبال جوانه‌زنی می‌گردد. در بذره‌های ذرت شیرین، اسموپرایمینگ و ماتری پرایمینگ فعالیت آلفا و بتا آمیلاز را افزایش می‌دهد و اسموپرایمینگ منجر به افزایش تولید پروتئین در بذره‌های گندم شد (McDonald, 2000). در بذرها برنج پرایم شده با محلولی از ترکیب نمک‌ها مشاهده شد که به طور معنی‌داری فعالیت آلفا آمیلاز، بتا آمیلاز و دهیدروژناز ریشه افزایش می‌یابد همچنین یک افزایش نسبی در فعالیت کاتالاز ساقه تحت شرایط تنش شوری مشاهده شد (Chang- Zheng et al., 2002). در مطالعات مختلف، تغییرات چرخه سلولی در جنین گوجه فرنگی طی آبنوشی در آب و طی اسموکاندیشنینگ با استفاده از کمی کردن و آنالیز سیتولوژی، تولید DNA و مجموع بتا توبولین تعیین می‌شود. مشخص شده که اغلب اسید نوکلئیک جنین بذر خشک تیمار نشده در فاز G1 سیکل سلولی محبوس می‌شود که به فقدان تولید DNA نسبت داده می‌شود. طی آبنوشی بذر سنتز DNA در راس ریشه‌چه در جریان باز شدن لپه‌ها فعال می‌شود در نتیجه میزان نوکلئیک اسید در مرحله G2 افزایش می‌یابد (Ashraf and Foolad, 2005).

صنعت بذر تحقیقات بر روی نشانگرهای فیزیولوژیک را ادامه می‌دهد تا بتواند مرحله‌ای که بیشترین نفع از پرایمینگ حاصل می‌شود را مشخص کند. تولید DNA که به دنبال تقسیم سلولی رخ می‌دهد در فاز ۳ همانطور که رشد ریشه ادامه پیدا می‌کند، مشاهده می‌شود (McDonald, 2000). مکدونالد (۲۰۰۰) نقطه فیزیولوژیکی را مشخص کرد که در آن مناسب‌ترین پاسخ پرایمینگ دقیقتر به دست می‌آید. وی مشخص کرد ۴۲ درصد سلول‌های نوک ریشه گوجه فرنگی پرایم شده در فاز G2 متوقف شده‌اند و تقسیم سلولی را کامل نکرده‌اند. یافته‌های مشابهی برای دانه‌های پرایم شده چغندر قند گزارش شده است.

پرایمینگ، سبز شدن گیاهچه را افزایش می‌دهد چرا که منجر به کاهش نشت الکترولیت‌ها و افزایش میزان جوانه‌زنی شده و مانع از آسیب بیماری‌های قارچی می‌شود. در طی مرطوب شدن، اجزایی از غشا که در ایجاد خواب دانه مشارکت دارند مثل اسیدهای چرب C8, C7 و C9 موقعیتشان را در غشا تغییر داده و پس از خشک شدن به موقعیت اولیه بر نمی‌گردند (Arif and Tariq Jan, 2005). فاروق و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعات خود بر روی بذر برنج گزارش کردند که پرایمینگ بذر تیمارهای متوالی گرما و سرما باعث بهبود نفوذپذیری غشا سلولی در گیاهچه‌های تحت تنش سرما نسبت به گیاهچه‌های حاصل از بذر پرایم نشده می‌گردد، که این امر باعث کاهش نشت الکترولیت‌ها از غشا سلولی یا حفظ بهتر پایداری غشا می‌شود (Farooq et al., 2005).

توانایی جوانه‌زنی بذرها در شرایط تنش رطوبتی، شانس استقرار بیشتر گیاه و تراکم بالاتر را به دنبال دارد که در نتیجه منجر به افزایش عملکرد می‌گردد. گزارشات متعدد حاکی از آنست که پرایمینگ باعث افزایش دامنه جوانه‌زنی بذرها در شرایط محیطی تنش‌زا از قبیل تنش شوری، خشکی و دما می‌باشد (Demir Kaya et al., 2006). دمی‌رکایا و همکاران (2006) گزارش کردند که پرایمینگ باعث افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه و کاهش گیاهچه‌های غیر نرمال آفتابگردان در شرایط تنش خشکی شد (Demir Kaya et al., 2006). سلطانی و همکاران (۱۳۸۶) تاثیر تنش خشکی را بر روی صفات جوانه‌زنی بذره‌های پرایم شده و شاهد پنبه بررسی کردند و مشاهده کردند که درصد

و سرعت جوانه‌زنی بذرها به طور معنی‌داری در بذره‌ای پرایم شده نسبت به بذره‌ای پرایم نشده بیشتر بود. فاروق و همکاران (۲۰۰۷) مشخص کردند که پرایمینگ میانگین زمان جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد و سرعت سبز شدن گیاهچه‌های برنج را بهبود می‌بخشد. محصولات پرایم شده می‌توانند کمبود بارندگی پس از کاشت بذر را تحمل کنند در حالی که بذره‌ای پرایم نشده تا زمان بارندگی جوانه نمی‌زنند (Farooq et al., 2005). اشرف و فولاد (۲۰۰۵) به نقل از سایولا و همکاران گزارش کردند که گیاهان حاصل از بذر پرایم شده با کلرید سدیم مقاومت بیشتری به شوری نسبت به گیاهان شاهد دارند، به نظر می‌رسد که علت این مقاومت به شوری مربوط به تطابق اسمزی بهتر در گیاهان پرایم شده با کلرید سدیم باشد (Ashraf and Foolad, 2005).

گزارش شده است که پرایمینگ، خواب بذر را در بعضی از گونه‌های گیاهی رفع می‌کند (McDonald, 2000). طی اسموپرایمینگ، رسیدگی فیزیولوژیک بذره‌ای خربزه بدون رشد فیزیکی جنین رخ می‌دهد که ممکن است جایگزین نیاز به پس‌رسی شود. بنابراین این تیمار تقویت‌کننده باعث ادامه توسعه جنین در بذره‌ای نارس و خواب می‌گردد. در بذره‌ای کاهو (*Lactuca sativa*) دماهای بالا طولیل شدن سلولی و تقسیم سلولی را مختل می‌کند. به هر صورت هیدرو و اسموپرایمینگ منجر به شروع غیر قابل برگشت طولیل شدن سلول می‌شود، بنابراین باعث رفع خواب ناشی از دمای بالا خواهد شد (McDonald, 2000).

پرایمینگ، پراکسیداسیون لیپیدها را طی انبار بعدی بذرها کاهش می‌دهد. تیمار هیدروپرایمینگ در بذره‌ای پیاز به طور موثری فساد فیزیولوژیک ناشی از مسن شدن طبیعی و تسریع شده (۱۵ ماه) را با اثری که بر بنیه بذر بستگی دارد، کند می‌کند. بهبود این توانایی انبار داری با فعالیت بیشتر دهیدروژناز و به طور قابل توجهی با تشکیل کمتر پراکسید در سلول‌ها مرتبط و هماهنگ است. در بذره‌ای هیدراتاسیون شده بادم زمینی که به طور مصنوعی مسن شده بودند آنزیم‌های برطرف‌کننده رادیکال‌های آزاد مثل سوپراکسید دسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز، و آنزیم‌های گلی اکسی زوم مثل ایزوسیترات لیاز و ملات سنتتاز با افزایش هیدراتاسیون، افزایش یافت (McDonald, 2000).

در حالی که عقیده بر این است که معمولاً تیمارهای پرایمینگ اثرات مثبتی بر عملکرد بذر دارند، ممکن است اثرات منفی نیز بر کیفیت بذر داشته باشند. برخی تیمارهای پرایمینگ با مدت زمان طولانی، پتانسیل اسمزی پایین یا دمای پایین می‌تواند اثرات منفی بر عملکرد بعدی بذر بگذارند. خشک کردن سریع پس از پرایمینگ می‌تواند بذر را خراب کند که منجر به کاهش مزایای مورد نظر در طی پرایمینگ می‌گردد (Welbaum et al., 1998). همچنین این امکان هست که تیمار پرایمینگ بذرها را از جهت فساد و تخریب در مرحله انبارداری مستعدتر سازد. کاهش مدت زمان ذخیره پس از پرایمینگ در بذره‌ای گوجه فرنگی، هندوانه، کاهو و گندم که تحت شرایط نامساعد انبارداری قرار گرفته بودند، گزارش شده است (Welbaum et al., 1998). کاهش زمان انبارداری پس از پرایمینگ ممکن است مربوط به کاهش تحمل نسبت به خشک شدن باشد. مکانیسم‌های سلولی تحمل به خشک شدن و طول عمر بافت‌های خشک شده در سال‌های اخیر بر روی این فرضیه متمرکز شده که تعدادی از الیگوساکاریدها درگیر بوده و توانایی‌شان جهت حفظ پایداری غشاء و تاثیر شکل‌گیری حالت‌های بیوشیمیایی ساکاروز، استاکیوز یا بالسکوز معمولاً در بذره‌ای مقاوم به

خشک‌شدگی یافت شده است. ممکن است کاهش تحمل به خشک‌شدگی در طی جوانه‌زنی یا پرایمینگ در ارتباط با کاهش میزان الیگوساکاریدها باشد (Welbaum et al., 1998). محیطی که بذرها در آن پرایم می‌شوند، می‌تواند بر میزان موفقیت تاثیر گذار باشد. مهمترین این عوامل اکسیژن، نور، دما و رطوبت است (Welbaum et al., 1998). تعیین میزان رطوبت برای بذره‌ای که منجر به آبیگری کوتاه و خروج ریشه گردد، در موفقیت پرایمینگ موثر است. به طور کلی برای اینکه پرایمینگ موفقیت آمیز باشد، میزان رطوبت بذر می‌بایست در حدود ۴۰ تا ۴۵ درصد وزن تر باشد (Badek et al., 2006).

اضافه کردن مواد تحریک کننده در پرایمینگ بذر می‌تواند کارایی بذر را افزایش دهد (McDonald, 2000). فلاروق و همکاران (۲۰۱۲) ثابت کردند که پیش تیمار کردن بذره‌ای گندم با آبسیزیک اسید ۲ میلی مولار به مدت ۱۰ ساعت طی هیدروپرایمینگ باعث جوانه‌زنی یکنواخت‌تر و سریع‌تر بذرها می‌شود. باهزا و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی اثر تیمار کردن بذره‌ای فلفل با جیبرلیک اسید و پلی اتیلن گلیکول به صورت همزمان دریافتند که اسموپرایمینگ بذر فلفل با استفاده از ترکیبی از پلی اتیلن گلیکول و جیبرلیک اسید نسبت زمانی که بذرها فقط با پلی اتیلن گلیکول پرایم شده بود، تاثیر بهتری بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر فلفل دارد.

یکی از جنبه‌های بحرانی پرایمینگ بذر این است که چه مدت زمان مزایای پرایمینگ در طی انبار داری دوام می‌آورد (McDonald, 2000). تیمارهای پرایمینگ بذر خشک را آبدار کرده، بنابراین رویدادهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی اولیه جوانه‌زنی فعال هستند. به رغم اینکه بذرها مجدداً خشک می‌شوند اما در نقطه فیزیولوژیک جلوتری نسبت به قبل از پرایمینگ بوده و آسیب پذیرتر می‌باشند. مزایای پرایمینگ نیز به طور نسبی در طی انبار کردن بذر سریعاً کاهش یافته و این کاهش به نوع گیاه زراعی، دماهای مختلف و رطوبت نسبی اعمال شده در طی انبار بستگی دارد (McDonald, 2000). اسماعیل و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که بذره‌ای اسموپرایم شده گوجه فرنگی که مدت ۲، ۴ و ۶ ماه پس از تیمار بذر توسط پلی اتیلن گلیکول، مورد آزمون جوانه‌زنی قرار گرفتند به ترتیب حدود ۶، ۱۳ و ۱۷ درصد کاهش درصد جوانه‌زنی را نسبت به بذره‌ای که به سرعت بعد از پرایم کردن مورد آزمون جوانه‌زنی قرار گرفته بودند، نشان دادند.

منابع

اسدی، حسین؛ برادران، رضا؛ ثقه الاسلامی، محمد جواد، و موسوی، سید غلامرضا. (۱۳۹۹). ارزیابی تحمل به تنش خشکی در برخی ژنوتیپ‌های کنجد (*Sesamum indicum* L.) براساس شاخص‌های تحمل به تنش.

پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۸ (۴)، ۴۳۳-۴۱۳. ##

امیدی، حشمت، و پویا موحد، فرهاد. (۱۳۹۰). اثر هورمون سالیسیلیک اسید و خراش‌دهی بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و محتوای پروتئین، پروتئین و کربوهیدرات‌های محلول گیاهچه کهورک (*Prosopis farcta* L.) در شرایط

شوری. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۱۸ (۴)، ۳۴-۲. ##

امیدی، حشمت؛ جعفرزاده، لیلا، و نقدی بادی، حسنعلی. (۱۳۹۳). بذر گیاهان دارویی و زراعی. چاپ اول. تهران: مرکز چاپ و انتشارات دانشگاه شاهد. ##

امیدی، حشمت؛ علیپور، سمیرا؛ مرادیان، زهرا؛ احمدی، خدیجه، و بازمکانی، رحیم. (۱۳۹۷). ارزیابی اثر پرایمینگ و تنش بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.). نشریه تحقیقات بذر. ۸(۳)، ۷۳-۸۳ ##

انصاری، امید؛ توکل افشاری، رضا؛ شریف‌زاده، فرهاد، و شایان‌فر، علی. (۱۳۹۲). نقش پرایمینگ در روند مصرف مواد ذخیره‌ای و جوانه‌زنی بذر چاودار کوهی تحت تنش شوری. علوم گیاهان زراعی ایران. ۲، ۱۸۱ تا ۱۸۹. ##

پوررضا، علی، و امیدی، حشمت. (۱۳۹۷). اثر پیش تیمار بذر بر شاخص‌های جوانه‌زنی و محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و کارتنوئیدی مرزه تابستانه تحت تنش شوری کلرید کلسیم. بوم‌شناسی گیاهان زراعی. ۱۴(۲)، ۵۱-۶۵. ##

حیدریه، ضرغام؛ جعفری، عبدالرضا؛ ابراهیمی، حمیدرضا؛ جعفری حقیقی، برمک، و میری، حمیدرضا. (۱۴۰۰). اثر پرایمینگ بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد ارقام مختلف کنجد تحت تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی. ۲۹(۳)، ۱۸۷-۱۶۵. ##

خواجه‌پور، محمد رضا. (۱۳۸۳). گیاهان صنعتی. انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان ##

رستمی، قادر؛ مقدم، محمد؛ نریمانی، رسول، و مهدی‌زاده، لیلا. (۱۳۹۷). تأثیر تیمارهای مختلف پرایمینگ بر شاخص‌های جوانه‌زنی، مورفوفیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و تحمل به شوری ریحان (*Ocimum basilicum* L.) (رقم کشکنی لولو). تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۱(۴)، ۱۱۲۳-۱۱۰۷. ##

سلطانی، الیاس؛ قادری، فرشید، و معمار، حامد. (۱۳۸۶). تأثیر پرایمینگ بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه پنبه در شرایط تنش خشکی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۴، ۸-۱. ##

فروغی، عباس؛ قرخلو، جاوید، و قادری‌فر، فرشید. (۱۳۹۴). ارزیابی توان رقابتی دو رقم کنجد (*Sesamum indicum* L.) با توق (*Xanthium strumarium* L.) در فواصل مختلف ردیف گیاه زراعی. تولید گیاهان زراعی. ۸(۳)، ۴۰-۱۹. ##

مامدی، آرش؛ توکل افشاری، رضا؛ سپهوند، نیازعلی، و اوایی، مصطفی. (۱۳۹۳). بررسی تأثیر دما بر جوانه‌زنی بذر گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) تحت تنش شوری. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۶(۴)، ۵۸۹-۵۸۳. ##

منصوری، علی، و امیدی، حشمت. (۱۳۹۷). تأثیر نانو ذرات کیتوزان و نیترات پتاسیم بر جوانه‌زنی و برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاهچه کینوا (*Chenopodium quinoa*). مجله پژوهش‌های بذر ایران. ۵(۱)، ۱۴۷-۱۵۹. ##

منصوری، سعداله، و سلطانی نجف آبادی، مسعود. (۱۳۸۳). بررسی و تجزیه تحلیل سیستمیک عملکرد و روابط اجزای آن برای اصلاح کنجد. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. ۲۰(۲)، ۱۴۹ تا ۱۶۵. ##

- Ansari, O., Chogazardi, H., Sharifzadeh, F., & Nazarli, H. (2012). Seed reserve utilization and seedling growth of treated seeds of mountain rye (*Secale montanum*) as affected by drought stress. *Cercetari Agronomice in Moldova*, 45(2): 43-48.##
- Anwar, S., Shafi, M., Bakht, J., Jan, M. T., & Hayat, Y. (2011). Effect of salinity and seed priming on growth and biochemical parameters of different barely genotypes. *African Journal of Biotechnology*, 10(68): 15278-15286.##
- Arif, M., & Tariq Jan, M. (2005). Effects of seed priming emergence, yield and storability of soybean, Department of Agronomy, NWFP Agricultural University, Peshawar.##
- Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23(1): 112-121.##
- Arteca, R. N. (2013). *Plant growth substances: principles and applications*. Springer Science & Business Media.##
- Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2005). Pre-sowing seed treatment-a shotgun approach to improving germination growth and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in Agronomy*, 88: 223-241.##
- Ayub, M., Ibrahim, M., Noorka, I. R. Tahir, M., Tanveer, A., & Ullah, A. (2013). Effect of seed priming on seed germination and seedling growth of garden cress (*Lepidium sativum* L.). *International Journal of Agriculture and Applied Science*, 5(2): 1-5##
- Badek, B., Duijn, B., & Grzesik, M. (2006). Effect of water methods and seed moisture content on germination of China aster (*Callistephus chinensis*) and tomato (*Lycopersicon esulentum* Mill) seed. *European Journal of Agronomy*, 24: 45-51. ##
- Bradford, K. J. (1986). Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *Hor. Sci*, 21: 1105-1112.##
- Demir Kaya, M., Okcu, G., Atak, M., Cikili, Y., & Kolsarici, O. (2006). Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Heliantus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*, 24: 291-295.##
- Ebrahimzadeh, M.A., Hosseini-mehr, S.J., Hamidinia, A., & Jafari, M. (2008). Antioxidant and free radical scavenging activity of Feijoa sallowiana fruits peel and leaves. *Pharmacologyonline*, 1: 7-14.##
- Farooq, M., Basra, S. A., Warraich, E. A., & Khaliq, A. (2006). Optimization of hydro-priming techniques for rice seed invigoration. *Seed Science and Technology*. 34: 529-534.##
- Farooq, M., Basra, S. A., Warraich, E. A., & Khaliq, A. (2006). Optimization of hydro-priming techniques for rice seed invigoration. *Seed Science and Technology*. 34: 529-534.##
- Farooq, M., Basra, S. M., & Asad, S. A. (2008). Comparison of conventional puddling and dry tillage in rice–wheat system. *Paddy and Water Environment*, 6(4): 397-404.##
- Farooq, M., Basra, S. M. A., Ahmad, N., & Hafeez, K. (2005). Thermal hardening: A new seed vigor enhancement tool in rice. *Journal of Integrative Plant biology*, 47(2): 187-193. ##
- Guan, Y. J., Hu, J., Wang, X. J., & Shao, C. X. (2009). Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. *Zhejiang University-Science*, 10: 427-433.##
- Haghighi, M., & Pessarakli, M. (2013). Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage Scientia Horticulturae. *Biological Environment Scinece*, 161: 111–117.##
- Harris, D., Raghuwanshi, B. S., Gangwar, J. S., Singh, S. C., Joshi, K. D., Rashid, A., & Hollington, A. (2001). Participatory evaluation by farmers of on-farm seed priming in wheat in India. *Nepal and Pakistan journal of experimental agriculture*, 37(3): 403-415. ##
- ISTA. (2013). Germination Committee. Committee report. 2010-2013##
- Kaya, M. D., Okcu, G., Atak, M., Cikili, Y., & Kolsarici, O. (2006). Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Europ. J. Agronomy*, 24: 291-295.##
- Levitt, J. (1980). Stress terminology. In: Tuner, N. C and Kramer, P. J. (Ed), Adaptation of plants to water and high temperature stress. John Willey, New York. 437-439.##

- Matsushima, K., & Sakagami, J. (2013). Effect of seed hydropriming on germination and seedling vigor during emergence of rice under different soil moisture conditions. *American Journal of plant Science*, 4: 1584-1593.##
- McDonald, M. B. (2000). Seed priming, in: seed technology and its biological basis (eds. M. black and J.D. Bewley), 287-325, CRC press, Boca Raton, FL. ##
- Myint, D., Gilani, S. A., Kawase, M., & Watanabe, K. N. (2020). Sustainable Sesame (*Sesamum indicum* L.) Production through Improved Technology: An Overview of Production, Challenges, and Opportunities in Myanmar. *Sustainability*, 12: 3515.##
- Parmoon, Gh., Ebadi, A., Ghaviazam, A., & Miri, M. (2013). Effect of seed priming on germination and seedling growth of Chamomile under salinity. *Iranian Sosity Agronomy and Plant Breeding Sciences*, 6: 145-164##
- Pill. W. G., & Neeker, A. D. (2001). The effects of seed treatments on germination and establishment of Kentucky bluegrass (*Poa Pratense* L.),. *Seed Science Technology*, 29: 1160-1162. ##
- Qasim, M., Ashraf, M., Jamil, M. A., Ashraf, M. Y., & RHA, E. S. (2003). Water relations and leaf gas exchange properties in some elite canola (*Brassica napus*) lines under salt stress. *Annals of applied biology*, 142(3): 307-316.##
- Sang, I. S., Moon, J. C., Jang, C. S., Raymer, P., & Kim, W. (2008). Effect of Potassium Nitrate Priming on Seed Germination of Seashore Paspalum. *Hort Science Jornale*. 43(7): 2259-2262##
- Tabassum, T., Ahmad, R., Farooq, M., & Basra, S. M. A. (2018). Improving salt tolerance in barley by Osmoprimer and bioprimer. *Int J Agric Biol*, 20: 2455-2464.##
- Tripathi, M. (2023). Recent advances in molecular biology and plant physiology. AkiNik publications. Vol 4.##
- Valdiani, A. R., Hassanzadeh, A., & Tajbakhsh, M. (2005). Study on the effects of salt stress in germination and embryo growth stages of the four prolific and new cultivars of winter rapeseed (*Brassica napus* L.). *Pajouhesh and Sazandegi*, 66: 23-32.##
- Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanins in protoplast. *Plant Physiology*, 64: 88-93##
- Welbaum, G. E., Shen, Z. H., Oluoch, M. O., & Jett, L. W. (1998). The evolution and effects on priming vegetables seeds. *Seed Science Technology*, 20(2): 209-235. ##
- Zehra, A., Gul, B., Ansari, R., & Khan, M. A. (2012). Role of calcium in alleviating effect of salinity on germination of *Phragmites karka* seeds. *South African journal of botany*, 78: 122-128.##
- Zeng, J., Chen, A., Li, D., Yi, B., & Wu, W. (2013). Effects of Salt Stress on the Growth, Physiological Responses, and Glycoside Contents of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(24): 5720-5726.##

Investigation of the effects of nutritional pretreatments on germination characteristics, photosynthetic pigment content, and secondary metabolites (anthocyanin and phenol) in the seedling tissue of two sesame genotypes (*Sesamum indicum* L.).

Hamid Reza Rezvani and Heshmat Omid

Department of Seed Technology, Faculty of Agricultural Sciences, Shahed University

Abstract

(Due to technical issues, the search service is temporarily unavailable.)

****Abstract:****

Abstract:

Sesame (*Sesamum indicum* L.), an oilseed crop belonging to the Pedaliaceae family, is cultivated in warm and arid regions due to its high-quality oil and protein content. Seed priming is a technique that physiologically and biochemically prepares seeds for germination before sowing, encompassing methods such as hydropriming, osmopriming, and others. This study aimed to investigate the effects of different priming treatments (control without priming, hydropriming, priming with 0.25% potassium nitrate, and priming with 0.5% potassium nitrate) on the germination characteristics of sesame genotypes and seedling growth traits. The experiment was conducted as a factorial design based on a completely randomized design in Petri dishes under laboratory conditions with four replications. The results indicated that seed priming significantly influenced germination percentage, relative water content, chlorophyll *a* and *b* content, anthocyanin levels, phenolic content, and carotenoid content. In both genotypes, the number of germinated seeds in the control treatment was lower than in the primed treatments. Among the evaluated traits, the Chamestan genotype exhibited less responsiveness to priming compared to other genotypes. Overall, priming improved biochemical characteristics and secondary metabolites such as phenols, anthocyanins, and carotenoids. For instance, carotenoid biosynthesis in the Chamestan genotype was 62.5% higher than in the Oltan genotype. Additionally, all priming treatments, except iron sulfate and calcium nitrate, enhanced carotenoid content compared to the control (2125 mg/g FW). The highest anthocyanin content (1.15 mg/mL) was observed in the potassium nitrate treatment, while the lowest (0.49 mg/mL) was recorded in the calcium nitrate

treatment. The potassium nitrate priming treatment yielded the highest phenolic content (1.55 $\mu\text{g/mL}$), whereas the calcium nitrate treatment resulted in the lowest (0.65 $\mu\text{g/mL}$). Furthermore, the Chamestan genotype showed less reactivity to priming treatments compared to other genotypes. Finally, priming reduced germination speed and variance while improving germination uniformity across different priming levels (results not shown). In other words, priming enhances the synthesis of secondary metabolites such as phenols, leading to better seedling establishment, faster and more uniform germination, and reduced variability in germination timing.

Keywords: Hydropriming, Potassium nitrate, Sesame cultivars, Germination spee