نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و دوم، شماره دوم، ۱۳۹٤
http://jopp.gau.ac.ir

تأثیر هالو پرایمینگ بذر بر برخی خصوصیات جوانه‌زنی، ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت تنش قلیائیت

حامد بخرد[۱]، *بتول مهدوی[۲] و اصغر رحیمی[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه زراعت، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان،

[۲]استادیار گروه زراعت، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان، [۳]دانشیار گروه زراعت، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان

تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: تنش قلیائیت توسط نمک‌های قلیایی مانند Na_2CO_3 و $NaHCO_3$ در خاک ایجاد می‌شود. تنش قلیائیت جوانه‌زنی، رشد و تولید گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به هر حال تنش قلیائیت به‌طور مستقیم سبب کاهش رشد گیاه، تغییر در دسترسی مواد غذایی و به هم زدن توازن یونی و مواد معدنی می‌شود. استفاده از پیش تیمارهای مختلف بذر یکی از روش‌های تحریک جوانه‌زنی و رشد گیاه در شرایط تنش است. هالوپرایمینگ یا خیساندن بذرها در محلول‌های مختلف نمک یکی از این روش‌های پیش تیمار بذر است که جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه را در شرایط محیطی نامساعد افزایش می‌دهد. بنابراین هدف این مطالعه بررسی اثر هالو پرایمینگ بذر بر رشد کنجد در شرایط تنش قلیائیت بود.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی تأثیر هالو پرایمینگ بذر بر خصوصیات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک کنجد رقم GL-13 در شرایط تنش قلیائیت، سه آزمایش در آزمایشگاه و گلخانه انجام گردید. در آزمایش اول تیمارهای آزمایشی شامل پیش تیمار کلریدسدیم با غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار و مدت زمان‌های ٦، ۱۲، ۱۸ و ۲٤ ساعت بود. در آزمایش دوم تیمارهای آزمایشی شامل پیش تیمار بی‌کربنات سدیم با غلظت‌های ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌مولار و مدت زمان‌های ٦، ۱۲، ۱۸ و ۲٤ ساعت بود. آزمایش سوم با توجه به نتایج دو آزمایش قبل در گلخانه اجرا گردید. در این آزمایش تیمارها شامل پرایمینگ (شاهد (بدون پرایم)، آب-

*مسئول مکاتبه: b.mahdavi@vru.ac.ir

مقطر (هیدروپرایم)، پیش تیمار کلریدسدیم با غلظت ۵۰ میلی‌مولار و زمان ۲٤ ساعت و پیش تیمار بی‌کربنات سدیم با غلظت ۳۰ میلی‌مولار و زمان ۱۸ ساعت) و تنش قلیائیت (۰، ۱۵، ۳۰ و ٤۵ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم) بود. تنش قلیائیت با استفاده از نمک بی‌کربنات سدیم ($NaHCO_3$) در محلول غذایی هوگلند تهیه و به گلدان‌ها اضافه شد. در این آزمایش، طول ساقه و ریشه، پتانسیل عملکرد کوانتوم (Fv/Fm)، شاخص کارایی فتوسنتز، پرولین، کربوهیدرات، مالون دی آلدئید، محتوی پتاسیم، سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: بر طبق آزمایش اول بهترین پیش‌تیمار برای اعمال هالوپرایمینگ در گیاه کنجد پیش تیمار کلریدسدیم با غلظت ۵۰ میلی‌مولار با مدت زمان ۲٤ ساعت معرفی شد. در آزمایش دوم تیمار بی‌کربنات سدیم ۳۰ میلی‌مولار با مدت ۱۸ ساعت به‌عنوان بهترین پیش‌تیمار معرفی شد. نتایج آزمایش سوم نشان داد که تنش قلیائیت موجب کاهش طول ساقه، سطح برگ، پتانسیل عملکرد کوانتوم (Fv/Fm)، شاخص کارایی‌فتوسنتز، غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم گردید در حالی‌که محتوی پرولین، هیدرات کربن‌ها، مالون دی آلدئید (MDA) و غلظت سدیم را افزایش داد. تیمارهای مختلف پرایمینگ سبب افزایش طول ساقه، سطح برگ، درصد پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم نسبت به تیمار بدون پرایم شدند. در تمامی سطوح تنش، تیمارهای مختلف پرایمینگ سبب کاهش میزان مالون دی آلدئید شدند در حالی‌که Fv/Fm و طول ریشه را افزایش دادند.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی نتایج نشان داد تنش قلیائیت رشد کنجد را کاهش می‌دهد و در شرایط تنش قلیائیت، هالوپرایمینگ بذر سبب کاهش خسارت غشاء (کاهش مالون دی آلدئید) و بهبود رشد گیاه کنجد گردید.

واژه‌های کلیدی: پرولین، جوانه‌زنی، کنجد، قلیائیت، هالوپرایمینگ

مقدمه

کنجد با نام علمی *Sesamum indicum* L. یکی از گیاهان دانه روغنی و خوراکی مهم در کشاورزی نواحی گرم به‌شمار می‌رود. از کنجد به‌دلیل داشتن درصد روغن و پروتئین بالا و مواد آنتی‌اکسیدان، در غذا، مکمل‌های غذایی، دارو و صنعت استفاده می‌شود (۲۳). عوامل محیطی مختلفی از جمله تنش‌های دمای بالا و پایین، شوری، قلیائیت، غلظت اکسیژن و آب، سرعت و درصد جوانه‌زنی بذر را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند، که شوری و قلیائیت از عوامل مهم و محدودکننده در هنگام جوانه‌زنی بذر بسیاری از گیاهان می‌باشند (۲٤). قلیائیت به‌عنوان غلظتی از نمک‌های محلول که دارای ظرفیت خنثی کردن اسیدها هستند، مشخص می‌شود (٦). بی‌کربنات یون اصلی است که باعث قلیائیت و افزایش قلیائیت خاک و آب شده و باعث توقف معنی‌دار در رشد گونه‌های حساس به pH بالا می‌شود (۳٦). تنش قلیائیت شامل تنش اسمزی، آسیب یونی و تنش pH بالا بوده که در محیط اطراف ریشه ساختار خاک، جذب یون و تعادل یونی در گیاه را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد و باعث کاهش رشد نیز می‌شود (۳۷). قلیائیت از طریق کاهش حلالیت مواد غذایی بر رشد گیاه اثر می‌گذارد. کاهش در حلالیت مواد در اثر افزایش pH که مربوط به افزایش در غلظت بی‌کربنات است، ایجاد می‌شود (۳۵). یکی از روش‌هایی که برای رفع این مشکل استفاده می‌شود پرایمینگ بذرها قبل از فرایند جوانه‌زنی می‌باشد. پرایمینگ عبارت است از جذب آب به مقدار لازم برای آغاز فرایندهای جوانه‌زنی بذر است که هدف آن افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، کوتاه شدن متوسط زمان جوانه‌زنی، بهبود رشد و بنیه گیاهچه در طیف وسیعی از شرایط محیطی می‌باشد. پیش‌تیمار بذر در گیاهانی مانند کلزا و کنجد موفقیت‌آمیز بوده است (۳۱).

هدف کلی پرایمینگ بذر، آبدهی جزئی آن‌ها می‌باشد به‌طوری‌که بذرها مرحله اول (جذب فیزیکی آب) و دوم (شروع فرآیندهای بیوشیمیایی و هیدرولیز قندها) جوانه‌زنی را پشت سر گذاشته ولی از ورود به مرحله سوم جوانه‌زنی (مصرف قند توسط جنین و رشد ریشه‌چه) باز می‌ماند (۹). اخیراً، روش‌های پرایمینگ متعددی توسعه‌یافته است مانند هیدروپرایمینگ (خیساندن بذر در آب)، هالوپرایمینگ (خیساندن بذر در محلول نمک‌های غیرآلی)، ترموپرایمینگ (تیمار بذر با دماهای پایین یا بالا) و بیوپرایمینگ (هیدراته کردن با ترکیبات زیستی) (٤ و ۱۸). هالوپرایمینگ جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه را در شرایط عادی (٤۱) و شرایط تنش افزایش می‌دهد. در بسیاری از نواحی کشاورزی آسیا، به‌ویژه ایران قلیائیت یک عامل مهم محدودکننده محصولات کشاورزی است و

همچنین ایران به‌عنوان یکی از مراکز اصلی گونه‌های زراعی از جمله کنجد شناخته شده است. کشت این گیاه روغنی اخیراً در کشور افزایش یافته و در راستای آن انجام تحقیقات روی این گیاه روغنی برای دستیابی به تولید بالا با کیفیت مطلوب حائز اهمیت است. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر هالوپرایمینگ با دو نمک کلرید سدیم و بی‌کربنات سدیم و هیدروپرایمینگ بر تخفیف تنش قلیائیت در گیاه کنجد رقم GL-13 انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر هالوپرایمینگ بر خصوصیات ریخت‌شناسی و زیست - شیمیایی گیاه کنجد تحت تنش قلیائیت، این پژوهش طی سه مرحله (دو مرحله در آزمایشگاه و یک مرحله نیز در گلخانه) در طی سال‌های ۹۱ و ۹۲ در دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان اجرا شد. آزمایش اول: به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، عامل آزمایشی شامل غلظت نمک کلرید سدیم در ٤ سطح (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) و زمان پرایمینگ در ٤ سطح (٦، ۱۲، ۱۸ و ۲٤ ساعت) بود. بذر کنجد رقم GL-13 توده بومی جیرفت با ارتفاع ۱۷۵-۱۵۰ سانتی‌متر است. این رقم در متحمل به خشکی بوده و مناسب کشت در مناطق گرم و خشک است. بذرهای این رقم در زمستان ۹۱ از بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان دریافت گردید به‌منظور اطمینان از برخورداری بذرها از قابلیت جوانه‌زنی کافی مورد آزمایش، درصد جوانه‌زنی آن‌ها طی ۲٤-۷۲ ساعت در داخل ژرمیناتور در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تعیین و نتیجه در محدوده ۹۰-۱۰۰ درصد به‌دست آمد. بذرها در محلول‌های مختلف نمک کلرید سدیم و آب مقطر در زمان‌های مختلف در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور شد. سپس بذرهای شسته شده و در دمای آزمایشگاه خشک گردید. برای تمام تیمارها در هر ۳ تکرار ۵۰ عدد از بذرهای تیمار شده، به ظرف‌های پتری استریل حاوی کاغذ صافی واتمن شماره ۱ انتقال یافت. به هر یک از ظرف‌های پتری ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و در ژرمیناتور با رطوبت نسبی ۹۰ درصد، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دوره نوری ۱۲ ساعت قرار گرفتند. خروج ریشه‌چه به طول ۱ میلی‌متر به‌عنوان معیار بذر جوانه‌زده در نظر گرفته شد شمارش بذرهای جوانه‌زده هر روز انجام شد و تا زمانی‌که در دو شمارش متوالی، افزایشی در تعداد بذر جوانه‌زده مشاهده نگردید، ادامه یافت. بر این اساس، آزمایش هشت روز به طول انجامید. در پایان آزمایش صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه اندازه‌گیری شد.

برای محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی از معادلات زیر استفاده شد (۳۰)

درصد جوانه‌زنی (D روز تا جوانه‌زده بذور تعداد / (۱۰۰ × تعداد کل بذرها

سرعت جوانه‌زنی = N1/D1+N2/D2+…+Ni/Di

که در آن Ni تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز Di می‌باشد.

آزمایش دوم: به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. عامل آزمایشی شامل غلظت‌های نمک بی‌کربنات سدیم در ٤ سطح (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌مولار) و زمان پرایمینگ در ٤ سطح (٦، ۱۲، ۱۸ و ۲٤ ساعت) بود. تمام مراحل این آزمایش مانند آزمایش قبل انجام شد. با توجه به نتایج دو آزمایش ذکرشده در بالا، آزمایش گلخانه (آزمایش سوم) در خردادماه ۱۳۹۲ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. تیمارهای این آزمایش شامل پرایمینگ (شاهد بدون پرایم، آب مقطر با زمان ۲٤ ساعت، نمک کلرید سدیم با غلظت ۵۰ میلی‌مولار و مدت ۲٤ ساعت و نمک بی‌کربنات سدیم با غلظت و مدت ۳۰ میلی‌مولار و ۱۸ ساعت بود) و تنش قلیائیت (۰، ۱۵، ۳۰ و ٤۵ میلی‌مولار) بود. بذرهای کنجد رقم GL-13 در غلظت مشخص‌شده دو نمک و آب مقطر در زمان به‌دست آمده و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس غوطه‌ور شد. سپس بذرهای شسته شده و در دمای آزمایشگاه خشک گردید. سپس ۱۰ بذر در گلدان‌های پر شده با پرلیت و کوکوپیت به نسبت ۱:۱ کشت شد. پس از ظهور برگ‌های لپه‌ای تعداد گیاهان به ٤ عدد تقلیل یافت. از مرحله ٤ برگی به بعد، برای اعمال تیمارهای قلیائیت، از نمک بی‌کربنات سدیم و محلول غذایی هوگلند با توجه به تیمار موردنظر استفاده گردید. غلظت‌های نمک موردنظر با استفاده از بی‌کربنات سدیم در محلول غذایی هوگلند تهیه و به گلدان‌ها اضافه شد. حدود ٤۵ روز بعد از اعمال بیشترین غلظت نمک (مرحله تشکیل کپسول) ویژگی‌هایی از قبیل سطح برگ، فلورسانس کلروفیل، طول ساقه و ریشه تعیین شد. برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل از دستگاه، کلروفیل فلورومتر[1] استفاده گردید. این دستگاه میزان فلورسانس کلروفیل را بر اساس پارامتر Fv/Fm ثبت نمود. همچنین پرولین (۷)، محتوی مالون‌دی‌آلدئید (۱۳) و هیدارت‌کربن‌های کل (۱۵) اندام هوایی اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری غلظت یون‌ها با استفاده از روش هضم سوزاندن نمونه خشک گیاهی، در کوره با دمای

1- Chlorophyll Fluorometer

۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٦ ساعت و واکنش با اسید کلریدریک ۲ مولار تعیین گردید. عناصر پتاسیم و سدیم به کمک دستگاه فلیم فتومتر (Model PFP7, Germany) اندازه‌گیری شدند.

برای تجزیه آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

آزمایش اول: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که درصد جوانه‌زنی تحت تأثیر پرایمینگ، زمان و اثر متقابل آن‌ها قرار نگرفت این در حالی بود که اثر تیمار پرایمینگ، زمان و اثر متقابل آن بر سرعت جوانه‌زنی بذرهای کنجد در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). حداکثر و حداقل سرعت جوانه‌زنی به‌ترتیب با کلرید سدیم ۵۰ میلی‌مولار با مدت پرایم ٢٤ ساعت و کلرید سدیم ۱۵۰ میلی‌مولار با مدت پرایم ۱۸ ساعت به‌دست آمد (شکل ۱). پرایمینگ بذر همیشه بر تمام گیاهان، اثرات مثبت و معنی‌داری ندارد البته تحت شرایط مختلف به‌عنوان مثال تغییر در نوع ماده جهت پرایمینگ، نتایج متفاوتی ممکن است حاصل شود (۲). گزارش شده است پرایمینگ با غلظت‌های پایین کلرید سدیم سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی در بذرهای گوجه‌فرنگی نسبت به تیمار هیدروپرایمینگ و بدون پرایمینگ شده است (۲۹). کاهش سرعت جوانه‌زنی در غلظت‌های بالای نمک کلرید سدیم ممکن است به‌این علت باشد که در غلظت‌ها بالای نمک، بذر یون Na^+ و یا Cl^- بیشتری را از محلول نمک جذب می‌کند و این امر سبب ایجاد اثرات سمی در بذر می‌گردد (۹).

نتایج تجزیه واریانس وزن خشک ساقه‌چه نشان داد که این صفت تحت تأثیر پرایمینگ با کلرید سدیم، زمان و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت. وزن خشک ریشه‌چه تنها تحت تأثیر تیمار پرایمینگ قرار گرفت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که وزن خشک ساقه‌چه در تیمار پرایمینگ با کلرید سدیم ۵۰ میلی‌مولار به‌مدت ٢٤ ساعت بیشترین مقدار بود. پرایمینگ بذر با تیمار کلرید سدیم ۱۵۰ میلی‌مولار در تمامی زمان‌ها سبب کاهش وزن خشک ساقه‌چه نسبت به سایر تیمارهای پرایمینگ گردید (شکل ۲). بیشترین وزن خشک ریشه‌چه در تیمار پرایمینگ با کلرید سدیم ۵۰ میلی‌مولار مشاهده گردید و کمترین آن مربوط به تیمار کلرید سدیم ۱۵۰ میلی‌مولار بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد و غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار نمک نداشت (شکل ۳).

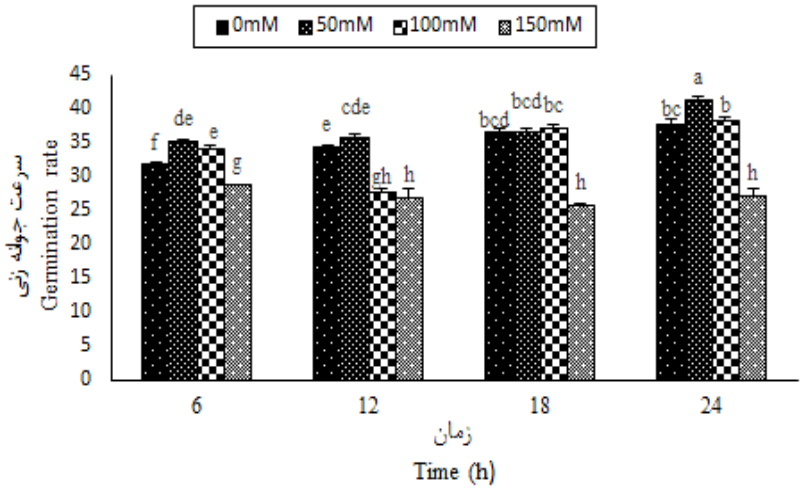
جدول ۱- تجزیه واریانس ویژگی‌های جوانه‌زنی کنجد تحت تأثیر تیمارهای پرایمینگ با سدیم کلرید و مدت پرایمینگ.

Table 1. Analysis of variance of germination characteristics of sesame under NaCl priming and priming time.

وزن خشک ریشه‌چه Root dry weight	وزن خشک ساقه‌چه Shoot dry weight	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
0.00015**	0.00087**	228.15**	0.47ns	3	پرایمینگ با کلرید سدیم (NaCl priming)
0.00003ns	0.00033**	54.54**	0.82ns	2	مدت پرایمینگ (Priming time)
0.00002ns	0.00002**	20.58**	2.09ns	9	پرایمینگ با کلرید سدیم × مدت پرایمینگ (NaCl priming× Priming time)
0.000001	0.00004	1.40	5.20	32	خطای آزمایشی (Error)
9.43	8.15	3.54	2.32	-	ضریب تغییرات (درصد) (C.V.)

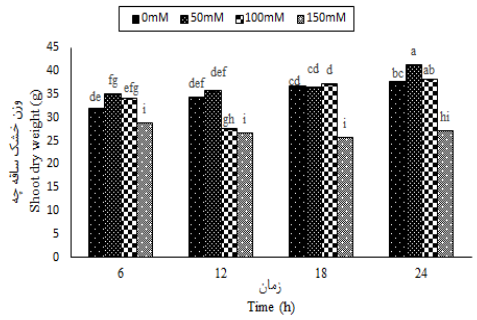
**، * در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد معنی‌دار، ns عدم تفاوت معنی‌دار

**, * Significant at 1% and 5% probability level, ns non significant difference



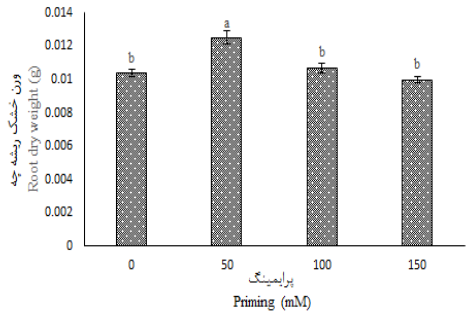
شکل ۱- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل پرایمینگ با کلرید سدیم × مدت پرایمینگ بر سرعت جوانه‌زنی بذر کنجد. (میانگین‌ها با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD (P<۰/۰۵) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.)

Figure 1.Mean comparison of the interaction effect of NaCl priming × Priming time on germination rate of sesame. (Means followed by the samer letter are not significantly different (P<0.05), using LSD test).



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل پرایمینگ با کلرید سدیم × مدت پرایمینگ بر وزن خشک ساقه‌چه کنجد

Figure 2. Mean comparison of the interaction effect of NaCl priming × Priming time on shoot dry weight of sesame.



شکل ۳- تأثیر پرایمینگ با کلرید سدیم بر وزن خشک ریشه-چه کنجد

Figure 3. Effect of NaCl priming on root dry weight of sesame.

(میانگین‌ها با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD (P<۰۰/۰۵) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.)

(Means followed by the samer letter are not significantly different (P<0.05), using LSD test)

در پژوهشی روی گیاه ذرت مشخص شد که هالوپرایمینگ سبب افزایش وزن‌تر و خشک گیاهچه‌ها می‌گردد (۵). پرایمینگ بذر با نمک کلرید سدیم می‌تواند هم اثر تحریک‌کننده مربوط به سازگاری نمک و هم یک اثر سمی به علت تنش ناشی از نمک داشته باشد. در سطوح پایین کلرید سدیم اثرات تحریک‌کنندگی نمک سبب تحریک جوانه‌زنی و رشد گیاهچه می‌گردد در حالی‌که در سطوح بالای کلرید سدیم، اثرات سمی نمک افزایش یافته و اثر تحریک‌کنندگی آن از بین می‌رود (۳۱). همچنین می‌توان بیان نمود که پرایمینگ به احتمال زیاد به‌دلیل سمیت ناشی از مواد اسمزی و یا مطلوب نبودن عوامل دخیل در پرایمینگ مثل شرایط محیطی هنگام پرایمینگ اثر منفی داشت (۳). به‌طورکلی از نتایج این آزمایش مشخص گردید که پرایمینگ با غلظت‌های پایین کلرید سدیم سبب افزایش سرعت جوانه-زنی، طول و وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه می‌گردد؛ بنابراین بهترین پرایمینگ برای اعمال هالوپرایمینگ در گیاه کنجد رقم GL-13 کلرید سدیم ۵۰ میلی‌مولار و زمان ۲٤ ساعت معرفی می‌گردد.

آزمایش دوم: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که پرایمینگ با بی‌کربنات سدیم، مدت پرایمینگ و اثر متقابل آن‌ها اثر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی نداشت در حالی‌که اثر پرایمینگ با بی‌کربنات سدیم، مدت پرایمینگ و اثر متقابل آن بر سرعت جوانه‌زنی بذرهای کنجد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه

میانگین نشان داد که حداکثر و حداقل سرعت جوانه‌زنی به‌ترتیب با بی‌کربنات سدیم ۳۰ میلی‌مولار بـا مدت پرایم ۱۸ ساعت و بی‌کربنات سدیم صفر میلی‌مولار با مدت پرایم ٦ ساعت به‌دست آمد (شکل ٤).

جدول ۲- تجزیه واریانس ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر کنجد تحت تأثیر تیمارهای پرایمینگ با بی‌کربنات سدیم و مدت پرایمینگ.

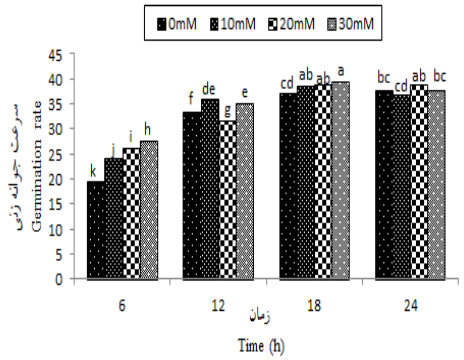
Table 2. Analysis of variance of germination characteristics of sesame under $NaHCO_3$ priming and priming time.

وزن خشک ریشه‌چه Root dry weight	وزن خشک ساقه‌چه Shoot dry weight	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
0.000005^{**}	0.00005^{ns}	27.41^{**}	0.13^{ns}	3	پرایمینگ با کلرید سدیم ($NaHCO_3$ priming)
0.000004^{**}	0.00007^{ns}	520.48^{**}	2.21^{ns}	3	مدت پرایمینگ (Priming time)
0.000008^{**}	0.00002^{ns}	9.40^{**}	8.23^{ns}	9	پرایمینگ با کلرید سدیم × مدت پرایمینگ (NaCl priming× Priming time)
0.000004	0.000005	0.76	6.25	32	خطای آزمایشی (Error)
11.61	5.98	2.59	2.56	-	ضریب تغییرات (درصد) (C.V.)

**، * در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد معنی‌دار، ns عدم تفاوت معنی‌دار

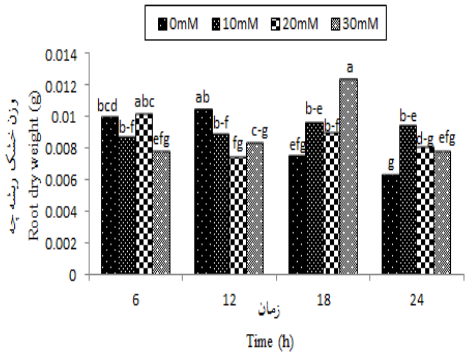
**, * Significant at 1% and 5% probability level, ns non significant difference

نتایج تجزیه واریانس وزن خشک ساقه‌چه نشان داد که این صفت تحت تأثیر تیمار پرایمینگ با بی‌کربنات سدیم، مدت پرایمینگ و اثر متقابل آن‌ها قرار نگرفت و همچنین تیمار پرایمینگ با بی‌کربنات سدیم، مدت پرایمینگ و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک ریشه‌چه معنی‌دار بود (جدول ۲). وزن خشک ریشه‌چه در تیمار پرایمینگ با بی‌کربنات سدیم ۳۰ میلی‌مولار به‌مدت ۱۸ ساعت بیشترین مقدار بود و کمترین آن مربوط به تیمار بی‌کربنات سدیم صفر میلی‌مولار به‌مدت ٢٤ ساعت بود (شکل ۵).



شکل ٤- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل پرایمینگ با بی‌کربنات سدیم × مدت پرایمینگ بر سرعت جوانه‌زنی بذر کنجد

Figure 4. Mean comparison of the interaction effect of $NaHCO_3$ priming × Priming time on germination rate of sesame.



شکل ٥- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل پرایمینگ با بی‌کربنات سدیم × مدت پرایمینگ بر وزن خشک ریشه‌چه بذر کنجد

Figure 5. Mean comparison of the interaction effect of $NaHCO_3$ priming × Priming time on root dry weight of sesame.

(میانگین‌ها با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD (P<0.05) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.)

(Means followed by the samer letter are not significantly different (P<0.05), using LSD test)

در پژوهشی بر گیاه ذرت مشخص شد که هالوپرایمینگ سبب افزایش وزن‌تر و خشک گیاهچه‌ها می‌گردد (٥). پرایمینگ بذر با نمک بی‌کربنات سدیم می‌تواند هم اثر تحریک‌کننده مربوط به سازگاری نمک و هم یک اثر سمی به علت تنش ناشی از نمک داشته باشد. در تحقیقی دیگر پرایمینگ بذر با کلرید سدیم منجربه افزایش وزن خشک گیاهچه‌های خربزه شد (۳۲). به‌نظر می‌رسد که نقش پرایمینگ در افزایش سرعت جوانه‌زنی موجب بهبود وزن خشک گیاهچه‌های بذرهای پرایم شده کنجد نسبت به شاهد شده است. به‌طورکلی نتایج این آزمایش نشان داد که پرایمینگ با غلظت‌های پایین بی‌کربنات سدیم سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی، طول و وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه می‌گردد؛ بنابراین بهترین پیش‌تیمار برای اعمال هالوپرایمینگ در گیاه کنجد رقم GL-13 بی‌کربنات سدیم ۳۰ میلی‌مولار و زمان ۱۸ ساعت بود.

آزمایش سوم (نتایج آزمایش گلخانه‌ای): نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات پرایمینگ و قلیائیت تأثیر معنی‌داری بر محتوای پرولین داشت و برهمکنش پرایمینگ و قلیائیت بر پرولین معنی‌دار نبود، این در حالی است که تنها قلیائیت بر میزان هیدرات کربن در سطح ٥ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). با افزایش میزان قلیائیت غلظت پرولین به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری که بیشترین میزان پرولین مربوط به بالاترین سطح قلیائیت (٤٥ میلی‌مولار) بود که نسبت به شاهد و سایر

تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد (صفر میلی‌مولار) بود (جدول ٤). همچنین قلیائیت باعث افزایش هیدرات کربن شد، بیشترین مقدار هیدرات کربن در سطح تنش قلیائیت ٤٥ میلی‌مولار مشاهده شد که نسبت به شاهد (صفر میلی‌مولار) ١٧/٤٤ درصد افزایش نشان داد (شکل ٦). تمامی تیمارهای پرایمینگ باعث کاهش محتوای پرولین در مقایسه با تیمار شاهد (بدون پرایمینگ) شد. به‌طوری کلی کمترین مقدار پرولین مربوط به تیمار پرایمینگ با نمک بی‌کربنات سدیم که با تیمار پرایمینگ با نمک کلرید سدیم اختلاف معنی‌داری نداشت و بیشترین آن مربوط به تیمار بدون پرایم (شاهد) بود (جدول ٤). گیاهان با روش‌های گوناگونی در برابر تنش‌های محیطی مقاومت می‌کنند. در شرایط تنش گیاه به‌منظور ادامه جذب آب، از طریق تجمع ترکیبات اسمزی از جمله پرولین و هیدرات کربن‌ها محلول برگ پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد و یا به‌عبارت دیگر تنظیم اسمزی صورت می‌گیرد. زمانی که گیاه تحت تنش قرار می‌گیرد، مقدار پرولین که یکی از اسمولیت‌های سازگار در گیاهان تحت تنش است، افزایش می‌یابد (٣٩). همچنین پرولین می‌تواند در برگ‌ها تجمع یابد و به بافت‌های مریستمی برای تنظیم اسمزی منتقل شود که در شرایط تنش پرولین به‌عنوان یک اسمولیت عمل کرده و پتانسیل اسمزی سلول را کاهش داده و یون‌های سمی را جذب می‌کند و نقش مهمی را در حفاظت گیاهان از تنش اسمزی بازی می‌کند (٢٢). مطابق با نتایج این پژوهش تنش قلیائیت باعث افزایش میزان پرولین در گندم (٣٩) و جو (٣٨) شد. در پژوهشی که به‌منظور بررسی مقایسه اثر تنش شوری و قلیائیت بر گیاه جو صورت گرفت مشخص شد که تنش شوری بر محتوای قندهای محلول اثری نداشت اما تحت شرایط قلیائیت میزان آن‌ها افزایش یافت (٣٨). تجمع مواد محلول سازگار مثل قندهای محلول و پرولین در شرایط تنش باعث محافظت غشاهای سلول در برابر غلظت بالای یون‌های معدنی و انواع اکسیژن واکنش‌گر می‌شود (١). با توجه به مزایای تجمع مواد محلول سازگار در گیاه به هنگام وقوع تنش و با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان بیان داشت که محتوای بالاتر مواد محلول سازگار نشان‌دهنده مقاومت بیشتر این گیاهان به تنش قلیائیت باشد.

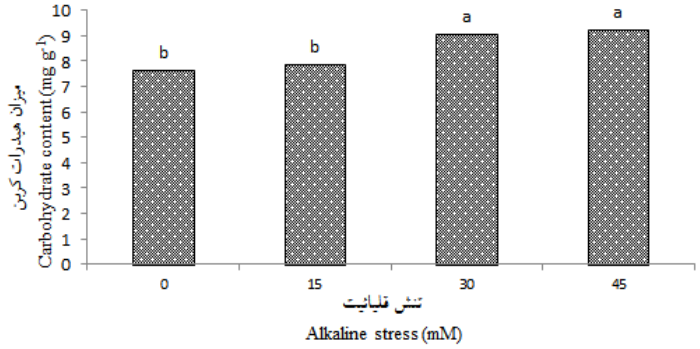
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر قلیائیت و پرایمینگ بر برخی ویژگی‌های کنجد.

Table 3. Analysis of variance of effect alkaline and priming on some characteristics of sesame.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میزان پرولین Proline	میزان هیدرات کربن Carbohydrate	میزان مالون دی آلدئید MDA	شاخص کارایی فتوسنتزی PI	Fv/Fm	سطح برگ Leaf area	طول ساقه Shoot length	طول ریشه Root length
تکرار (Replication)	2	0.020^{ns}	0.20^{ns}	0.035^{*}	0.36^{ns}	0.003^{ns}	50.83^{ns}	21.00^{ns}	1.28^{ns}
پرایمینگ (Priming)	3	0.036^{**}	1.72^{ns}	0.141^{**}	9.86^{**}	0.022^{**}	388.02^{**}	281.40^{*}	4.11^{*}
قلیائیت (Alkaline)	3	0.264^{**}	8.71^{*}	0.033^{*}	24.45^{**}	0.046^{**}	6044.36^{**}	425.90^{*}	11.88^{**}
پرایمینگ × قلیائیت (Priminig×Alkaline)	9	0.013^{ns}	1.84^{ns}	0.071^{**}	0.63^{ns}	0.006*	177.51^{ns}	183.37^{ns}	4.27^{**}
خطای آزمایشی (Error)	30	0.007	2.02	0.009	0.35	0.002	83.80	95.46	1.12
ضریب تغییرات (درصد) (C.V.)		19.04	16.79	17.67	13.37	7.19	13.46	11.06	14.65

**، * در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد معنی‌دار، ^{ns} عدم تفاوت معنی‌دار

**, * Significant at 1% and 5% probability level, ^{ns} non significant difference



شکل ٦- تأثیر تنش قلیائیت بر میزان هیدرات کربن گیاه کنجد.

Figure 6. Effect of alkaline stress on carbohydrate content of sesame.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات اصلی تنش قلیائیت و پرایمینگ برخی از ویژگی‌های کنجد.

Table 4. Mean comparison of main effects alkaline and priming on some characteristics of sesame.

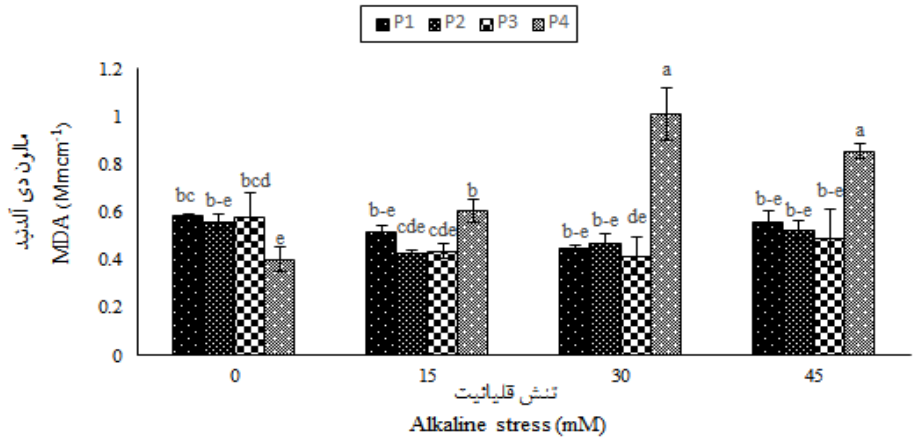
طول ساقه Shoot length (cm)	سطح برگ Leaf area (cm^2)	شاخص کارایی فتوسنتزی PI	میزان پرولین Proline (mg g^{-1}FW)	تنش قلیائیت (Alkaline stress) (mM)
95.00[a]	92.21[a]	6.45[a]	0.29[d]	0
88.75[ab]	79.8[b]	4.51[b]	0.38[c]	15
84.91[b]	58.10[c]	3.53[c]	0.51[b]	30
84.47[b]	41.81[d]	3.33[c]	0.63[a]	45
				پرایمینگ (Priming)
90.50[a]	72.94[a]	5.18[a]	0.39[b]	$NaHCO_3$
91.83[a]	69.79[a]	4.31[b]	0.43[b]	NaCl
90.50[a]	69.46[a]	5.10[a]	0.46[ab]	Hydro
79.41[b]	59.80[b]	3.23[c]	0.57[a]	شاهد (Control)

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means in each column followed by the samer letter are not significantly different at %5 probability level, using LSD test

در این آزمایش مالون‌دی‌آلدئید تحت تأثیر قلیائیت، پرایمینگ و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). با توجه به نتایج به‌دست آمده بیشترین میزان مالون‌دی‌آلدئید در سطح تنش قلیائیت ۳۰ میلی‌مولار و شرایط بدون پرایم مشاهده شد که با تیمار تنش ٤٥ میلی‌مولار و بدون پرایم تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۷) که این امر نشان دهنده افزایش پر اکسیداسیون لیپیدها غشاء در سطوح بالای تنش بوده است؛ اما کاربرد پرایمینگ در شرایط تنش باعث کاهش پر اکسیداسیون لیپیدهای غشا شده است. کمترین میزان مالون‌دی‌آلدئید غشایی در شرایط بدون تنش قلیائیت و تیمار بدون پرایمینگ وجود داشت. با افزایش قلیائیت، میزان مالون‌دی‌آلدئید افزایش یافت و با کاربرد پرایمینگ این میزان کاهش معنی‌داری پیدا کرد. در شرایط تنش به‌دلیل تولید انواع اکسیژن فعال (ROS[1]) میزان مالون‌دی‌آلدئید و تخریب غشای سلولی بالا می‌رود (۲۷). پرایمینگ یک روشی است که به‌واسطه افزایش فعالیت آنزیم-های آنتی‌اکسیدان می‌تواند از تخریب غشای سلولی جلوگیری کند. نتایج این آزمایش نشان داد که پراکسیداسیون بعد از پرایمینگ کاهش یافت که این امر نشان‌دهنده این است که سامانه آنزیمی در بذرهای پرایم شده بهبود یافته است کاهش تولید مالون‌دی‌آلدئید به‌واسطه استفاده از پیش تیمار هالوپرایمینگ با نیترات پتاسیم در *Pinus bungeana* نیز مشاهده شده است (١٦).

1- Reactive oxygen spicies

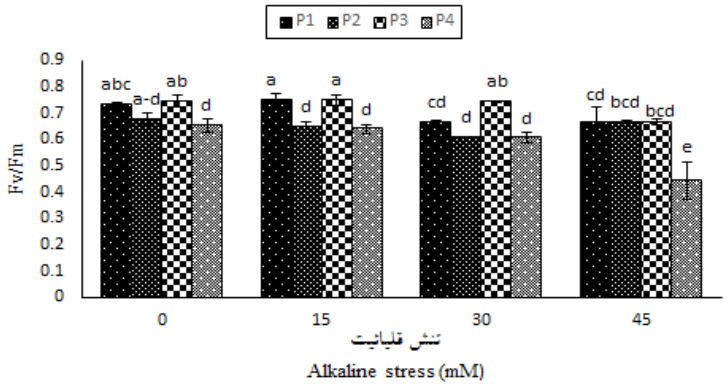


شکل ۷- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش قلیائیت × پرایمینگ بر میزان مالون دی‌آلدئید کنجدP1 پرایمینگ با بی‌کربنات سدیم، P2 پرایمینگ با کلرید سدیم، P3 هیدروپرایمینگ و P4 شاهد (میانگین‌ها با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD (P<۰/۰۵) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.)

Figure 7. Mean comparison of the interaction effect of alkaline stress × Priming on MDA of sesame. P1: $NaHCO_3$ priming, P2: NaCl priming, P3: Hydropriming, P4: control (Means followed by the samer letter are not significantly different (P<0.05), using LSD test)

نتایج به‌دست آمده از صفات پتانسیل عملکرد کوانتوم (Fv/Fm) و شاخص کارایی فتوسنتزی (PI) نشان داد که اثر قلیائیت و پرایمینگ بر هر دو صفت معنی‌دار است و تنها بر صفت Fv/Fm اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار شد (جدول ۳). متغیر Fv/Fm نشان‌دهنده حداکثر کارایی کوانتوم فتوسیستم II است و شاخص حساسی برای عملکرد فتوسنتزی گیاه می‌باشد (۲۲). در این آزمایش با افزایش تنش قلیائیت به ٤٥ میلی‌مولار نسبت Fv/Fm کاهش یافت (شکل ۸). فلورسانس کلروفیل یکی از راه‌های مصرف انرژی برانگیختگی در فتوسنتز می‌باشد که به‌طور گسترده‌ای در پژوهش‌های فتوسنتزی به‌کار گرفته می‌شود. همچنین از کلروفیل فلورسانس برای تعیین وضعیت فیزیولوژیکی گیاه و میزان آسیب وارده به دستگاه فتوسنتزی استفاده می‌شود (۱۷). تنش‌های محیطی که کارایی فتوسیستم ۲ را تحت تأثیر قرار می‌دهند باعث کاهش نسبت Fv/Fm می‌شوند (۱۰). در برخی از پژوهش‌ها بازداشتن فتوسنتز و به‌تأخیر انداختن رشد گیاه در اثر تنش قلیائیت گزارش‌شده است (۳۸). نتایج اثر متقابل قلیائیت و پرایمینگ نشان داد که با افزایش تنش قلیائیت، تیمارهای مختلف پرایمینگ سبب افزایش نسبت Fv/Fm در مقایسه با تیمار بدون پرایم شدند (شکل ۸). در تعدادی از گیاهان گزارش‌شده است که با

حفظ مقدار بالای عملکرد کوانتوم (Fv/Fm) در شرایط تنش می‌توان خسارت وارده به فتوسیستم ۲ را کاهش داد (۱۱)؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد پرایمینگ بذر در شرایط تنش با حفظ مقدار Fv/Fm اثرات مخرب تنش را بر کارایی شیمیایی فتوسیستم ۲ کاهش می‌دهد. نتایج همچنین نشان داد با افزایش تنش قلیائیت شاخص کارایی فتوسنتز کاهش یافت درحالی‌که تیمارهای مختلف پرایمینگ سبب افزایش این صفت شد (جدول ٤). بیشترین شاخص کارایی فتوسنتز مربوط به پرایمینگ با بی‌کربنات سدیم بود که با هیدروپرایمینگ اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین آن مربوط به شاهد (بدون پرایم) بود (جدول ٤). شاخص کارایی فتوسنتز یکی از شاخص‌های مهم فتوسنتزی می‌باشد که عملکرد هر دو سیستم ۱ و ۲ را بازتاب نموده و اطلاعات کمی (مقداری) در ارتباط با عملکرد گیاه تحت شرایط تنش به ما ارائه می‌دهد (۳۳). از سوی دیگر شاخص کارایی فتوسنتز یکی از متغیر حساس به تنش‌های محیطی می‌باشد (۲۱). دنگ و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که شاخص کارایی فتوسنتزی به‌تدریج با افزایش تنش شوری- قلیائیت کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که تحت تنش شوری- قلیائیت شدید میزان شاخص کارایی فتوسنتزی در مقایسه با شاهد کاهش قابل ملاحظه داشت (١٤).



شکل ۸- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش قلیائیت× پرایمینگ بر پتانسیل عملکرد کوانتوم (Fv/Fm) کنجد، P1 پرایمینگ با بی‌کربنات سدیم، P2 پرایمینگ با کلرید سدیم، P3 هیدروپرایمینگ و P4 شاهد (میانگین‌ها با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD (P<۰/۰۵) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.)

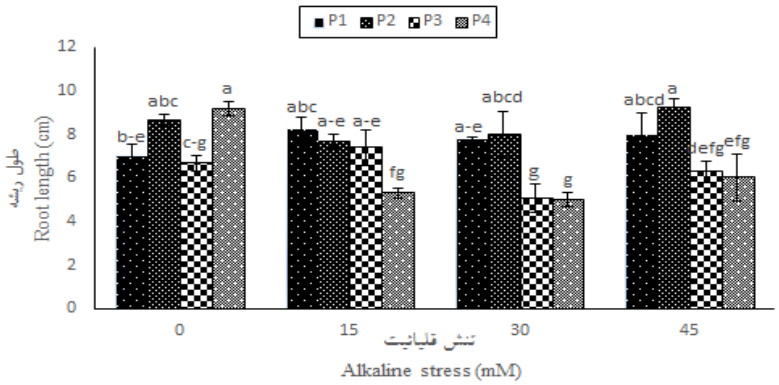
Figure 8. Mean comparison of the interaction effect of alkaline stress × Priming on Fv/Fm of sesame.
P1: $NaHCO_3$ priming, P2: NaCl priming, P3: Hydropriming, P4: control (Means followed by the samer letter are not significantly different (P<0.05), using LSD test)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که تیمار قلیائیت و پرایمینگ بر سطح برگ معنی‌دار می‌باشد و این صفت تحت تأثیر اثر متقابل آن‌ها قرار نگرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده تیمار بی‌کربنات سدیم در تمام سطوح نسبت به شاهد (صفر میلی‌مولار) باعث کاهش معنی‌دار میزان سطح برگ شد به‌طوری‌که بیشترین و کمترین میزان کاهش سطح برگ، در تیمار ٤٥ میلی‌مولار و شاهد (صفر میلی‌مولار) به‌دست آمد (جدول ٤). پرایمینگ باعث بهبود سطح برگ شد به‌طوری که پرایم با بی‌کربنات سدیم بهترین سطح برگ را دارا بود که با هیدرو پرایم و پرایم با کلرید سدیم از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین سطح برگ مربوط به تیمار بدون پرایم (شاهد) بود (جدول ٤). کاهش سطح برگ منجربه کاهش سرعت فتوسنتز خالص می‌شود در نتیجه مواد فتوسنتزی برای رشد گیاه کاهش می‌یابد. کاهش میزان سطح برگ تحت تأثیر تنش بی‌کربنات سدیم برای گیاهان متفاوتی از جمله ختمی زینتی، رز گزارش شده است (۳۸). تمام تیمارهای پرایمینگ باعث افزایش سطح برگ نسبت به تیمار شاهد شدند که یکی از دلایل آن را می‌توان تسریع در جوانه‌زنی، سبز شدن و استقرار گیاهچه‌های پرایم شده دانست که منجربه افزایش درصد پوشش سبز در گیاه می‌گردد (۲٦). مارتین و لارکو (۲۵) گزارش کردند که پرایمینگ باعث افزایش ۱۰ درصدی سطح برگ گیاه بنفشه نسبت به تیمار شاهد شده است.

طول ساقه و ریشه تحت تأثیر پرایمینگ بذر و تنش قلیائیت قرار گرفتند و اثر متقابل پرایمینگ و قلیائیت تنها بر طول ریشه معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش غلظت قلیائیت طول ساقه کنجد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. درصد کاهش طول ساقه در سطوح قلیائیت ۱۵، ۳۰ و ٤٥ میلی‌مولار نسبت به تیمار بدون تنش (صفر میلی‌مولار) به‌ترتیب ٦/٥٧، ۱۰/٦۲ و ۱۱/۰۳ بود (جدول ٤). این نتایج با نتایج والدز آگلار (۲۰۰۸) که مشاهده کردند که با افزایش قلیائیت، رشد گیاه لوبیا کاهش می‌یابد و دلیل این امر را افزایش pH و به هم خوردن توازن یونی در ریزوسفر توسط تنش قلیائیت می‌داند مطابقت داشت (۳٤). به‌طورکلی اغلب اثرات قلیائیت بر رشد گیاه از طریق کاهش در قابلیت حل عناصر به علت افزایش pH ایجاد می‌شود (۱۲). به‌علاوه کاهش رشد در شرایط تنش قلیائیت به‌سرعت پایین فتوسنتز که تحت غلظت بالای بی‌کربنات اتفاق می‌افتد نسبت داده می‌شود که با انتقال کم آهن و یا با غیرقابل حل کردن آهن در محلول محیط کشت که باعث صدمه به تولید کلروفیل می‌شود همراه است (۸).

در شرایط تنش قلیائیت، کلیه تیمارهای پرایمینگ سبب افزایش طول ریشه نسبت به تیمار بدون پرایم شدند. بلندترین طول ریشه در تیمار پرایمینگ با سدیم کلرید و سطح قلیائیت ٤٥ میلی‌مولار مشاهده گردید که با تیمار بدون پرایمینگ و سطح شوری صفر میلی‌مولار (بدون تنش) تفاوت

معنی‌داری نداشت و کمترین آن نیز مربوط به تیمار بدون پرایمینگ و قلیائیت ۳۰ میلی‌مولار بود (شکل ۹). اقبال و اشرف (۲۰۰۷) گزارش کردند که هالوپرایمینگ با کلرید سدیم و هیدروپرایمینگ سبب افزایش رشد گندم در شرایط تنش گردید (۱۹). بنابراین به نظر می‌رسد هالوپرایمینگ بذر گیاه کنجد با افزایش رشد ریشه در شرایط تنش قلیائیت توانسته به گیاه در تحمل به این تنش کمک کند.



شکل ۹- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش قلیائیت × پرایمینگ بر طول ریشه کنجد P1 پرایمینگ با بی‌کربنات سدیم، P2 پرایمینگ با کلرید سدیم، P3 هیدروپرایمینگ و P4 شاهد (میانگین‌ها با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD (P<۰/۰۵) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.)

Figure 9. Mean comparison of the interaction effect of alkaline stress × Priming on root length of sesame. P1: $NaHCO_3$ priming, P2: NaCl priming, P3: Hydropriming, P4: control (Means followed by the samer letter are not significantly different (P<0.05), using LSD test)

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده اثر معنی‌دار قلیائیت بر میزان پتاسیم، میزان سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی بود. پرایمینگ بذر نیز اثر معنی‌داری بر میزان پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم داشت. اثرات متقابل پرایمینگ و قلیائیت بر میزان پتاسیم، سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی معنی‌دار نبود (جدول ۵). افزایش قلیائیت سبب کاهش معنی‌دار میزان پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی گردید، درحالی‌که غلظت سدیم اندام هوایی را افزایش داد (جدول ٦ و شکل ۱۰). به‌طوری‌که در سطوح قلیائیت ۱۵، ۳۰ و ٤٥ میلی‌مولار غلظت پتاسیم در اندام هوایی به‌ترتیب ۱۵، ۱۷/۳۱ و ۲۲/۹۰ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد (جدول ٦). محتوای سدیم در سطوح قلیائیت ۱۵، ۳۰ و ٤٥ میلی‌مولار به‌ترتیب ۱٤، ٥۱ و ٤۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت هر چند که بین سطوح قلیائیت ۳۰ و ٤٥ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ٦). همچنین در سطوح قلیائیت ۱۵، ۳۰ و ٤٥ میلی‌مولار، نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی به‌ترتیب ۲٦، ٤٥ و ٤٥ درصد

نسبت به شاهد کاهش نشان داد (جدول ٦). گزارش شده است که با افزایش تنش قلیائیت میزان پتاسیم در ساقه‌های خلر کاهش می‌یابد درحالی‌که میزان سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم در آن‌ها افزایش می‌یابد (٤٠). یانگ و همکاران (۲۰۰۹) نیز مشاهده کردند که تنش قلیائیت سبب کاهش پتاسیم و نسبت پتاسیم و سدیم در ساقه‌های گندم می‌گردد و میزان سدیم را افزایش می‌دهد(۳۸). در شرایط تنش قلیائیت، کمبود پروتون‌های خارجی ممکن است فعالیت تبادلی ناقلین Na^+/H^+ را بر غشای پلاسما کاهش دهد که تجمع Na^+ را در بافت‌های زنده افزایش می‌دهد (۲۸).

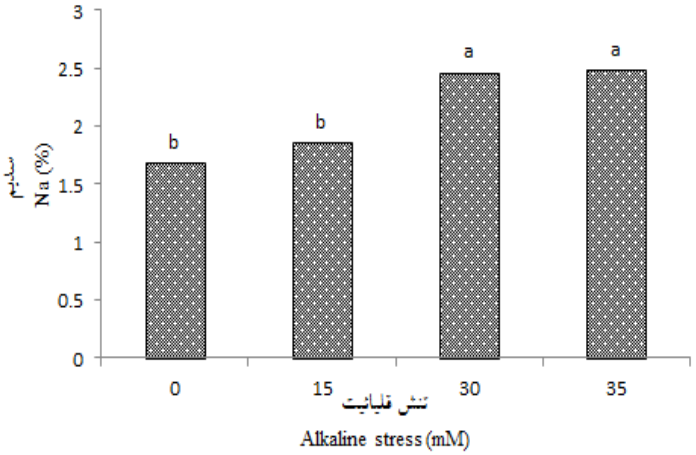
جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر قلیائیت و پرایمینگ بر محتوای یونی کنجد.

Table 3. Analysis of variance of effect alkaline and priming on the ion content of sesame.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	سدیم Na	پتاسیم K	نسبت پتاسیم به سدیم K/Na
تکرار (Replication)	2	0.060^{ns}	0.0100ns	0.004^{ns}
پرایمینگ (Priming)	3	0.097^{ns}	0.090^{*}	0.055^{*}
قلیائیت (Alkaline)	3	2.046^{**}	0.371^{**}	0.650^{**}
پرایمینگ×قلیائیت (Priminig×Alkaline)	9	0.097^{ns}	0.038^{ns}	0.021^{ns}
خطای آزمایشی (Error)	30	0.089	0.027	0.019
ضریب تغییرات (درصد) (C.V.)		14.08	10.70	17.93

**، * در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد معنی‌دار، ns عدم تفاوت معنی‌دار.

**, * Significant at 1% and 5% probability level, ns non significant difference



شکل ۱۰- تأثیر تنش قلیائیت بر میزان سدیم اندام هوایی کنجد.

Figure 10. Effect of alkaline stress on Na content of sesame.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات اصلی قلیائیت و پرایمینگ بر محتوای یونی کنجد.

Table 6. Mean comparison of main effects alkaline and priming on the ion content of sesame.

نسبت پتاسیم به سدیم	پتاسیم	تنش قلیائیت
K/Na	K (%)	(Alkaline stress) (mM)
1.08a	1.79a	0
0.83b	1.52b	15
0.61c	1.48bc	30
0.57c	1.38c	45
		پرایمینگ (Priming)
0.73b	1.53b	$NaHCO_3$
0.74b	1.50b	NaCl
0.87a	1.67a	Hydro
0.75b	1.48b	شاهد (Control)

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means in each column followed by the samer letter are not significantly different at %5 probability level, using LSD test

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش تنش قلیائیت طول ساقه و ریشه، سطح برگ، پتانسیل عملکرد کوانتوم (Fv/Fm)، شاخص کارایی‌فتوسنتز، درصد پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم کاهش و غلظت سدیم، پرولین و هیدرات کربن‌ها افزایش یافت. تیمارهای مختلف پرایمینگ سبب افزایش طول ریشه، Fv/Fm، درصد پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم نسبت به تیمار بدون پرایم شدند. همچنین نتایج اثر متقابل قلیائیت و پرایمینگ نشان داد که در تمامی سطوح تنش، تیمارهای مختلف پرایمینگ سبب کاهش میزان مالون دی‌آلدئید شدند در حالی‌که Fv/Fm و طول ریشه را افزایش دادند.

منابع

1. Ahmad, P., and Sharma, S. 2010. Physio-biochemical attributes in two cultivars of mulberry (*Morus alba* L.) under $NaHCO_3$ stress. Int. J. Plant Prod. 4(2): 79-86.
2. Argerich, C.A., Bradford, K.J., and Tarquis, A.M. 1989. The effects of priming and ageing on resistance to deterioration of tomato seeds. J. Exp. Bot. 40(5): 593-598.
3. Armstrong, H., and McDonald, M.B. 1992. Effects of osmo conditioning on water uptake and electrical conductivity in soybean seeds. Seed Sci. Technol. 20(3): 391-400.

4.Ashraf, M., and Rauf, H. 2001. Inducing salt tolerance in maize (*Zea mays* L.) through seed priming with chloridesalts: Growth and ion transport at early growth stages. Acta. Physiol. Plant. 23: 407-414.
5.Ashraf, M., Kausar, A., and Ashraf, M.Y. 2003. Alleviation of salt stress in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) through seed treatments. Agronomie. 23: 227–234.
6.Bailey, D.A. 1996. Alkalinity and Acidification. P 69-91. In: D. Wm. Reed, Water (eds), media and nutrition. Ball Publishing Batavia, IL.
7.Bates, L.S., Waldren, R.P., and Teare, F.D. 1973. Rapid determination of free proline from water stress studies. Plant Soil. 39: 205-207.
8.Bavaresco, L., Giachino, E., and Colla, R. 1999. Iron chlorosis paradox in grapevine. J. Plant. Nutr. 22: 1589-1597.
9.Bradford, K.J. 1995. Water relation in seed germination. P 351-396. In: J. Kigel and G. Galili (eds), seed development and germination Marcel Dakker, New York.
10.Calatayud, A., and Barreno, E. 2004. Response to ozone in two lettuce varieties on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments and lipid peroxidation. Plant Physiol. Biochem. 42(6): 549-555.
11.Cornic, G. 1994. Drought stress and high light effects on leaf photosynthesis. p. 297-313. In: N.R. Baker and J. Bowyer (Ed.) Photoinhibition of photosynthesis. Oxford, Bios Scientific Publishers.
12.De la Guardia, M.D., and Alcantara, E. 2002. Bicarbonate and low iron level increase root to total plant weight ratio in olive and peach rootstock. J. Plant Nutr. 25: 1021-1032.
13.De Vos, C., Schat, H., De, Waal M., Vooijs, R., and Ernst, W. 1991. Increased to copper-induced damage of the root plasma membrane in copper tolerant *silene cucubalus*, Plant Physiol. 82: 523-528.
14.Deng, C.N., Zhang, G.X., Pan, X.L., and Zhao, K.Y. 2010. Chlorophyll fluorescence and gas exchange responses of maize seedlings to saline-alkaline stress. Bulgarian J. Agric Sci. 16(1): 49-58.
15.Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Reber, P.A., and Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal Chem. 28: 350–356.
16.Gue, S.J., Wang, Y.C., and Wang, W.S. 2012. Effects of priming treatments on germination and biochemical characteristics of *Pinus bungeana* seeds. For. Stud. China. 14(3): 200-204.
17.Hakam, N., DeEll, J.R., Khanizadeh, S., and Richer, C. 2000. Assessing chilling tolerance in roses using chlorophyll fluorescence. Hort. Sci. 35(2): 184-186.
18.Harris, D., Pathan, A.K., Gothkar, P., Joshi, A.W.C., and Nyamudeza, P. 2001. On-farm seed priming: using participatory method to revive and refine a key technology. Agri. Syst. 69: 151-164.

19. Iqbal, M., and Ashraf, A.M. 2007. Seed Preconditioning Modulates Growth, Ionic Relations, and Photosynthetic Capacity in Adult Plants of Hexaploid Wheat under Salt Stress. J. Plant Nutr. 30(3): 381-396.
20. Jiang, C.D., Shi, L., Gao, H.Y., Schansker, G., Tóth, S.Z., and Strasser, R.J. 2006. Development of photosystems 2 and 1 during leaf growth in grapevine seedlings probed by chlorophyll a fluorescence transient and 820 nm transmission in vivo. Photosynthetica. 44(3): 454-463.
21. Johnson, G., Young, N., Scholes, J.D., and Horton, P. 1993. The dissipation of excess excitation energy in British plant species. Plant Cell Environ. 16(6): 673-679.
22. Khan, M.N., Siddiqui, M.H., Mohammad, F., Naeem, M., and Khan, M.M.A. 2010. Calcium chloride and gibberellic acid protect linseed (*Linum usitatissimum* L.) from NaCl stress by inducing antioxidative defence system and osmoprotectant accumulation. Acta Physiol Plant. 32: 121–132.
23. Koca, H., Bor, M., Ozdemir, F., and Turkan, I. 2007. The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. Environ Exp. Bot. 60: 344-351.
24. Li, C., Fang, B., Yang, C., Shi, D., and Wang, D. 2009. Effects of various salt-alkaline mixed stresses on the state of mineral elements in nutrient solutions and the growth of alkali resistant halophyte Chloris virgata. J. Plant Nutr. 32: 1137–1147.
25. Martin-Mex, R., and Larqué-Saavedra, A. 2001. Effect of salicylic acid in clitoria (*Clitoria ternatea* L.) bioproductivity in Yucatan, México. 28th Annual Meeting. Plant Growth Regulation Society of America. Miami Beach Florida, USA, July, 5-1.
26. McDonald, G.K., and Sutton, B.G. 1983. The effect of time of sowing on the grain yield of irrigated wheat in the Nomoi valley, New South Wales. Aust J. Agr. Sci. 34: 229-240.
27. Munns, R., and James, R.A. 2003. Screening methods for alkalinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. Plant Soil. 253: 201-218.
28. Munns, R., and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annu. Rev. Plant Biol. 59: 651–681.
29. Nawaz, A., Amjad, M., Aslam Pervez, M., and Afzal, I. 2011. Effect of halopriming on germination and seedling vigor of tomato. J. Agri. Res. 6(15): 3551-3559.
30. Ramana, S., Biswas, A.K., Kundu, S., Saha, J.K., and Yadava, R.B.R. 2002. Effect of distillery effluent on seed germination in some vegetable crops. Bioresour. Technol. 82: 273-275.
31. Rao, S., and Philipse, W. 1993. Effect of seed priming and soil residue on seedling emergence and forage production of Brassicas. J. Sustian. Agri. 3: 89-98.

32. Sivritepe, N., Sivritepe, H.O., and Eris, A. 2003. The Effects of NaCl priming on salt tolerance in melon seedlings grown under saline conditions. Hort. Sci. 97: 229-237.
33. Strauss, A.J., Krüger, G.H.J., Strasser, R.J., and Van Heerden, P.D.R. 2006. Ranking of dark chilling tolerance in soybean genotypes probed by the chlorophyll a fluorescence transient OJIP. Environ. Exp. Bot. 56(2): 147-157.
34. Valdez-Aguilar, L.A., and Reed, D.W. 2008. Influence of potassium substitution by rubidium and sodium on growth, ion accumulation, and ion partitioning in bean under high alkalinity. J. Plant Nutr. 31: 867–883.
35. Valdez-Aguilar, L.A. 2004. Effect of alkalinity in irrigation water on selected greenhouse crops. Ph.D. thesis. Texas A and M University.
36. Valdez-Aguilar, L.A., and Reed, D.W. 2010. Growth and nutrition of young bean plants under high alkalinity as affected by mixtures of ammonium potassium and sodium. J. Plant Nut. 33 (10): 1472-1488.
37. Yang, C., Chong, J., Kim, C., Li C., Shi, D., and Wang, D. 2007. Osmotic adjustment and ion balance traits of an alkaline resistant halophyte *Kochia sieversiana* during adaptation to saline and alkaline conditions. Plant Soil. 294: 263-276.
38. Yang, C., Xu, H.H., Wang, L., Liu, J., Shi, D.C., and Wang, D. 2009. Comparative effects of salt-stress and alkaline-stress on the growth, photosynthesis, solute accumulation, and ion balance of barley plants. Photosynthetica. 47: 79-86.
39. Yang, C.W. Wang, P., Li, C.Y., Shi, C., and Wang, D.L. 2008. Comparison of effects of salt and alkali stresses on the growth and photosynthesis of wheat. Photosynthetica. 46: 107–114.
40. Zhang, J.T., and Chun-Sheng, M.U. 2009. Effects of saline and alkaline stresses on the germination, growth, photosynthesis, ionic balance and anti-oxidant system in an alkali-tolerant leguminous forage *Lathyrus quinquenervius*. Soil Sci. Plant Nutr. 55: 685–697.
41. Zhu, J., and Wang, Q. 2008. Effects and timeliness of priming on welsh onion (*Allium fitulosum* L.) seeds. Seed. 27(5): 32-34.