

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: کشاورزی

رشته زراعت گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی

رساله دکتری

تأثیر پرایمینگ با امواج التراسونیک و کاربرد برگی متانول بر بهبود خصوصیات  
فیزیولوژیک و عملکرد کنگد

دانشجو:

حمید مقبلی

استاد راهنما:

دکتر احمد غلامی

اساتید مشاور:

دکتر محمدرضا عامریان

دکتر حمید عباس دخت

رساله دکتری جهت اخذ درجه دکتری

مهرماه ۱۳۹۷



تقدیم به همسر:

او که اسوه صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را برایم تسهیل نمود.

تقدیم به دخترم هلیا:

که وجودش شادی بخش لحظه‌های زندگی ماست.

شکر خدا که هر چه طلب کردم از خدا

بر منتهای همت خود کامران شدم

تشکر از والدینی که دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی

پر از فراز و نشیب آموختند.

تشکر از آموزگارانی که برایم زندگی، ایثار و انسان بودن را معنا کردند.

تشکر از تمام دوستانی که در این مسیر همراهم بوده‌اند.

# تعهد نامه

اینجانب حمید مقبلی دانشجوی دوره دکتری رشته زراعت گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده رساله تاثیر پرایمینگ با امواج التراسونیک و کاربرد برگی متانول بر بهبود خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد کنگد تحت راهنمایی جناب آقای دکتر احمد غلامی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این رساله توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در رساله تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی رساله تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این رساله ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافت‌های آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این رساله، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

## تاریخ

## امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## لیست مقالات مستخرج از رساله

- ارزیابی خصوصیات جوانه زنی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت تاثیر تیمار های مختلف امواج فراصوت - مجله پژوهش های گیاهی.
- تاثیر کاربرد برگی متانول بر عملکرد و شاخص های ریخت شناسی کنجد (*Sesamum indicum* L.). (L. نشریه علوم گیاهان زراعی ایران).
- غلامی، ا.، عامریان، م.، عباس دخت، ح. و مقبلی، ح. ۱۳۹۵. تاثیر کاربرد متانول بر خصوصیات زراعی کنجد رقم هلیل. همایش ملی گیاهان دارویی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.
- غلامی، ا.، عامریان، م.، عباس دخت، ح. و مقبلی، ح. ۱۳۹۵. تاثیر کاربرد امواج فراصوت بر خصوصیات جوانه زنی کنجد رقم هلیل. همایش ملی گیاهان دارویی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.

## چکیده

به منظور بررسی تاثیر امواج التراسونیک به عنوان عامل پرایمینگ و محلول پاشی متانول به عنوان منبع تامین کننده دی اکسید کربن در فرایند فتوسنتز جهت نیل به عملکرد بیشتر در کنگد رقم هلیل، چهار آزمایش شامل یک آزمایش در آزمایشگاه، یک آزمایش در گلخانه به صورت فاکتوریل و بر پایه طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار و همچنین دو آزمایش مزرعه ای در سال ۱۳۹۴ در جیرفت و جازموریان از توابع شهرستان رودبار جنوب به صورت فاکتوریل و بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید. عوامل مورد مطالعه در دو آزمایش انجام شده در آزمایشگاه و گلخانه شامل شدت امواج التراسونیک در سه سطح (۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوهرتز) و مدت زمان کاربرد امواج التراسونیک در چهار سطح (۲، ۴، ۶ و ۸ دقیقه) بودند. در آزمایش انجام شده در آزمایشگاه، اثر متقابل شدت و مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک سبب افزایش شاخص های جوانه زنی از جمله سرعت و درصد جوانه زنی گردید. پرایمینگ حاصل از امواج التراسونیک همچنین بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک کنگد از جمله ارتفاع بوته، قطر ساقه، میزان کلروفیل، میزان آنزیم های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز، سطح برگ، بنیه گیاهچه، طول ریشه و ساقه نیز تاثیر معنی داری نشان داد. ترکیب تیمار ۸ دقیقه پرایمینگ با شدت ۴۰ کیلوهرتز امواج التراسونیک، در اغلب صفات مورد مطالعه، بیشترین تاثیر را نشان داد. در آزمایش گلخانه ای، درصد سبز شدن، سرعت سبز شدن و شاخص های مورفولوژیکی شامل ارتفاع بوته، سطح برگ، طول ریشه، طول ساقه و بیوماس کل تحت تاثیر برهمکنش شدت و مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک قرار گرفت. بالاترین درصد سبز شدن کنگد در ترکیب تیماری پرایمینگ به مدت ۶ دقیقه با امواج التراسونیک با شدت ۳۰ کیلوهرتز بدست آمد. تیمار پرایمینگ با امواج التراسونیک به مدت ۸ دقیقه با شدت ۴۰ کیلوهرتز در صفات سرعت سبز شدن، سطح برگ، طول ریشه، طول ساقه و بیوماس کل نیز بیشترین میزان را نشان داد.

در آزمایشات مزرعه ای عامل زمان محلول پاشی متانول در دو سطح (قبل و بعد از گلدهی) و مدت زمان اعمال پرایمینگ با امواج التراسونیک در چهار سطح (۲، ۴، ۶ و ۸ دقیقه) و غلظت متانول در سه

سطح (۰، ۲۰ و ۴۰ درصد حجمی) و مکان آزمایش در دو سطح (جیرفت و جازموریان) مورد مطالعه قرار گرفتند. برهمکنش غلظت متانول و کاربرد امواج التراسونیک تاثیر معنی‌داری بر سطح برگ، تعداد ساقه فرعی، قطر ساقه، ارتفاع بوته، میزان کاروتنوئید، قندهای محلول، پرولین، آنتوسیانین، تعداد کپسول و وزن هزار دانه نشان داد. بیشترین مقدار صفات فیزیولوژیک قندهای محلول، کاروتنوئید، پرولین و آنتوسیانین نیز در ترکیب تیماری پرایمینگ با امواج التراسونیک به مدت ۶ دقیقه و محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی بدست آمد.

برهمکنش زمان محلول‌پاشی متانول و مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک تاثیر معنی‌داری بر تعداد ساقه فرعی و میزان آنتوسیانین نشان داد. تجزیه مرکب داده‌های آزمایش در دو مکان نشان داد تاثیر متقابل زمان محلول‌پاشی و غلظت متانول بر سطح برگ، تعداد ساقه فرعی، قطر ساقه، ارتفاع بوته، کلروفیل b، کلروفیل کل، تعداد کپسول، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، بیوماس کل، شاخص برداشت، قندهای محلول، پرولین، آنتوسیانین و محتوی آب نسبی برگ معنی‌دار گردید. بر اساس مقایسات میانگین، ترکیب تیماری محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد در مرحله قبل از گلدهی بیشترین میزان صفات فوق را نشان داد. در آزمایشات مزرعه‌ای با افزایش مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک و غلظت متانول، اغلب صفات مورد مطالعه روند افزایشی را نشان دادند. با توجه به اثرات متقابل مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک، غلظت و زمان محلول‌پاشی متانول، می‌توان بیشترین میزان عملکرد را در ترکیب تیمار پرایمینگ به مدت ۶ دقیقه و محلول‌پاشی با غلظت ۴۰ درصد در مرحله قبل از گلدهی بدست آورد.

**کلمات کلیدی:** الکل، جوانه‌زنی، تنفس نوری، دی‌اکسیدکربن، فتوسنتز.

## فهرست مطالب

عنوان .....	صفحه.....
فصل اول: مقدمه .....	۱.....
فصل دوم (بررسی منابع) .....	۷.....
۱-۲- تاریخچه و اهمیت دانه‌های روغنی.....	۸.....
۲-۲- کنجد .....	۸.....
۱-۲-۲- منشاء و تاریخچه کنجد.....	۹.....
۲-۲-۲- سطح زیر کشت کنجد در ایران و جهان .....	۹.....
۳-۲-۲- میزان تولید .....	۱۰.....
۴-۲-۲- خصوصیات گیاهشناسی کنجد.....	۱۱.....
۵-۲-۲- ترکیبات شیمیایی دانه کنجد.....	۱۳.....
۶-۲-۲- اسیدهای چرب دانه کنجد.....	۱۳.....
۷-۲-۲- شرایط اقلیمی کاشت کنجد.....	۱۳.....
۳-۲- اهمیت جوانه‌زنی.....	۱۴.....
۱-۳-۲- جوانه‌زنی بذر.....	۱۵.....
۴-۲- استقرار مناسب گیاهان زراعی.....	۱۸.....
۵-۲- پرایمینگ.....	۱۸.....
۱-۵-۲- مفهوم فیزیولوژیک و بیوشیمیایی پرایمینگ بذر.....	۱۹.....
۲-۵-۲- عوامل موثر بر پرایمینگ بذر.....	۲۱.....
۳-۵-۲- تأثیر پرایمینگ بذر بر جوانه‌زنی، استقرار و یکنواختی سبز شدن.....	۲۱.....
۴-۵-۲- تأثیر پرایمینگ بذر بر فعالیت‌های متابولیک بذر.....	۲۲.....
۵-۵-۲- تأثیر پرایمینگ بذر بر متابولیسم انرژی.....	۲۴.....

- ۲۴-۵-۶- تأثیر پرایمینگ بذر بر افزایش محصول دانه و بیوماس.....
- ۲۵-۵-۷- تأثیر پرایمینگ بذر بر زودرسی.....
- ۲۵-۵-۸- تأثیر پرایمینگ بذر بر بهبود کارایی مصرف آب.....
- ۲۶-۵-۹- تأثیر پرایمینگ بذر بر کاهش خسارات ناشی از عوامل بیماری‌زا.....
- ۲۶-۵-۱۰- تأثیر پرایمینگ بذر بر افزایش رقابت گیاه زراعی با علف‌های هرز.....
- ۲۷-۵-۱۱- تأثیر پرایمینگ بذر بر بهبود جذب مواد غذایی توسط گیاهان.....
- ۲۷-۶-۱- انواع پرایمینگ.....
- ۲۷-۶-۱- هیدرو پرایمینگ و هیدروترمال پرایمینگ.....
- ۲۸-۶-۲- درام پرایمینگ.....
- ۲۸-۶-۳- هاردنینگ پرایمینگ.....
- ۲۸-۶-۴- اسمو پرایمینگ.....
- ۲۹-۶-۵- هالو پرایمینگ.....
- ۲۹-۶-۶- ماتریک پرایمینگ.....
- ۳۰-۶-۷- ترموپرایمینگ.....
- ۳۰-۶-۸- هورمون پرایمینگ.....
- ۳۰-۶-۹- بیو پرایمینگ.....
- ۳۱-۶-۱۰- نوترینت پرایمینگ.....
- ۳۱-۶-۱۱- ویو پرایمینگ با پرتو گاما و امواج پلاسما.....
- ۳۲-۷- صوت و اثرات بیولوژیک آن.....
- ۳۲-۸- امواج التراسونیک.....
- ۳۲-۸-۱- تجهیزات تولید امواج التراسونیک.....
- ۳۳-۸-۲- اثرات اصلی امواج التراسونیک.....

- ۳۳.....۲-۸-۳- کاربرد امواج التراسونیک در کشاورزی.....
- ۳۴.....۲-۸-۴- تاثیر امواج التراسونیک بر جوانه‌زنی بذر.....
- ۳۷.....۲-۸-۵- تاثیر امواج التراسونیک بر رشد گیاهان.....
- ۳۷.....۲-۸-۶- تاثیر امواج التراسونیک بر عملکرد گیاهان.....
- ۳۷.....۲-۸-۷- تاثیر امواج التراسونیک بر گلدهی گیاهان.....
- ۳۸.....۲-۹-۹- اهمیت فتوسنتز.....
- ۳۸.....۲-۹-۱- نقش کربن در فتوسنتز.....
- ۳۹.....۲-۹-۲- میزان کربن در گیاهان.....
- ۳۹.....۲-۹-۳- دی‌اکسیدکربن در هوا.....
- ۳۹.....۲-۹-۴- فتوسنتز و تولید.....
- ۴۰.....۲-۹-۵- تثبیت دی‌اکسیدکربن و عوامل موثر بر گازهای فتوسنتز.....
- ۴۱.....۲-۹-۶- سیستم فتوسنتزی گیاهان سه کربنه و چهار کربنه.....
- ۴۲.....۲-۹-۷- چرخه اکسیداسیون کربن (تنفس نوری).....
- ۴۳.....۲-۹-۸- تاثیر غلظت‌های بالای دی‌اکسیدکربن بر رشد گیاهان سه کربنه.....
- ۴۴.....۲-۹-۹- اثر متقابل تغییر غلظت CO<sub>2</sub> و درجه حرارت.....
- ۴۵.....۲-۹-۱۰- تاثیر دما بر فتوسنتز.....
- ۴۷.....۲-۹-۱۱- اثر متقابل تغییر غلظت CO<sub>2</sub> و شدت تشعشع.....
- ۴۹.....۲-۹-۱۲- اثر افزایش غلظت CO<sub>2</sub> بر روابط آب در گیاهان.....
- ۵۲.....۲-۱۰- افزایش کربن در گیاهان.....
- ۵۲.....۲-۱۱- کاربرد ترکیبات کربن‌دار در گیاهان.....
- ۵۳.....۲-۱۲- کاربرد متانول به‌عنوان کود کربن در گیاهان.....
- ۵۳.....۲-۱۳- مکانیسم جذب دی‌اکسیدکربن و متانول در گیاهان.....

- ۱۴-۲- مسیره‌های متابولیسم متانول ..... ۵۴
- فصل سوم (مواد و روش‌ها) ..... ۵۹
- ۱-۳- آزمایش جوانه‌زنی کنجد در آزمایشگاه ..... ۶۰
- ۲-۳- اندازه‌گیری شاخص‌های جوانه‌زنی ..... ۶۰
- ۳-۳- نمونه برداری و اندازه‌گیری آنزیم‌های آنتی اکسیدان در آزمایشگاه ..... ۶۲
- ۱-۳-۳- استخراج آنزیم‌های آنتی اکسیدان ..... ۶۲
- ۲-۳-۳- سنجش آنزیم سوپرااکسیددیسموتاز ..... ۶۳
- ۳-۳-۳- سنجش آنزیم کاتالاز ..... ۶۳
- ۴-۳- تعیین صفات مورفولوژیک در آزمایش گلدانی ..... ۶۴
- ۵-۳- اندازه‌گیری شاخص‌های سبز شدن ..... ۶۵
- ۶-۳- اندازه‌گیری شاخص‌های مورفولوژیکی در کنجد ..... ۶۵
- ۷-۳- تجزیه و تحلیل آماری ..... ۶۶
- ۸-۳- آزمایشات مزرعه‌ای در ایستگاه جیرفت و جازموریان ..... ۶۶
- ۱-۸-۳- زمان و محل اجرای آزمایشات ..... ۶۶
- ۲-۸-۳- مختصات جغرافیایی محل‌های اجرای آزمایش ..... ۶۶
- ۳-۸-۳- شرایط آب و هوایی محل‌های انجام آزمایش ..... ۶۶
- ۴-۸-۳- خصوصیات خاک ایستگاه‌های اجرای آزمایش ..... ۶۷
- ۵-۸-۳- نقشه و طرح اجرای آزمایش‌های انجام شده در مزرعه ..... ۶۷
- ۹-۳- خصوصیات رقم مورد استفاده ..... ۶۸
- ۱۰-۳- اعمال تیمار امواج‌دهی و پرایمینگ بذر ..... ۶۸
- ۱۱-۳- آماده سازی زمین ..... ۶۸
- ۱۲-۳- کاشت کنجد ..... ۶۹

- ۳-۱۳- آبیاری و کوددهی..... ۶۹
- ۳-۱۴- محلول پاشی متانول..... ۶۹
- ۳-۱۵- نمونه برداری..... ۷۰
- ۳-۱۵-۱- سنجش کلروفیل a, b و کاروتنوئید..... ۷۰
- ۳-۱۵-۲- سنجش میزان آنتوسیانین..... ۷۱
- ۳-۱۵-۳- اندازه گیری قندهای محلول برگ..... ۷۱
- ۳-۱۵-۴- اندازه گیری پرولین..... ۷۲
- ۳-۱۵-۵- سنجش محتوی آب نسبی برگ..... ۷۳
- ۳-۱۵-۶- سنجش پروتئین دانه..... ۷۳
- ۳-۱۵-۷- سنجش درصد روغن و میزان اسیدهای چرب..... ۷۴
- ۳-۱۶- تجزیه و تحلیل داده های آزمایش..... ۷۴
- فصل چهارم (نتایج و بحث)..... ۷۷
- ۴-۱- نتایج آزمایشگاهی..... ۷۸
- ۴-۱-۱- درصد جوانه زنی..... ۷۸
- ۴-۱-۲- سرعت جوانه زنی..... ۸۰
- ۴-۱-۳- متوسط جوانه زنی روزانه..... ۸۱
- ۴-۱-۴- میانگین زمان لازم برای جوانه زنی..... ۸۲
- ۴-۱-۵- بنیه بذر..... ۸۳
- ۴-۱-۶- طول ریشه چه و ساقه چه..... ۸۵
- ۴-۱-۷- درصد جوانه های غیر طبیعی..... ۸۶
- ۴-۱-۸- ضریب یکنواختی جوانه زنی..... ۸۷
- ۴-۱-۹- آنزیم کاتالاز..... ۸۹

- ۹۲.....۱-۱-۱۰-۴-۱-۴ سوپراکسید دیسموتاز.....
- ۹۶.....۲-۴-۲- نتایج آزمایش در گلخانه (آزمایش گلدانی).....
- ۹۶.....۱-۲-۴-۱- درصد سبز شدن.....
- ۹۷.....۲-۲-۴-۲- سرعت سبز شدن.....
- ۹۸.....۳-۲-۴-۳- سطح برگ (LA).....
- ۹۹.....۴-۲-۴-۴- طول ساقه و ریشه.....
- ۱۰۱.....۵-۲-۴-۵- نسبت ریشه به ساقه.....
- ۱۰۲.....۶-۲-۴-۶- بیوماس کل.....
- ۱۰۴.....۳-۴-۳- نتایج آزمایشات مزرعه‌ای انجام شده در منطقه جیرفت و جازموریان.....
- ۱۰۴.....۱-۳-۴-۱- شاخص سطح برگ.....
- ۱۰۷.....۲-۳-۴-۲- تعداد شاخه‌های فرعی.....
- ۱۰۹.....۳-۳-۴-۳- قطر ساقه اصلی.....
- ۱۱۲.....۴-۳-۴-۴- ارتفاع بوته.....
- ۱۱۵.....۵-۳-۴-۵- کلروفیل a.....
- ۱۱۶.....۶-۳-۴-۶- کلروفیل b.....
- ۱۱۸.....۷-۳-۴-۷- کلروفیل کل.....
- ۱۲۰.....۸-۳-۴-۸- کاروتنوئید.....
- ۱۲۳.....۹-۳-۴-۹- آنتوسیانین.....
- ۱۲۶.....۱۰-۳-۴-۱۰- قندهای محلول.....
- ۱۲۹.....۱۱-۳-۴-۱۱- پرولین.....
- ۱۳۱.....۱۲-۳-۴-۱۲- میزان آب نسبی (RWC).....
- ۱۳۳.....۱۳-۳-۴-۱۳- تعداد کپسول.....

- ۱۳۵.....تعداد دانه در کیسول. ۱۴-۳-۴
- ۱۳۷.....وزن هزار دانه. ۱۵-۳-۴
- ۱۳۹.....عملکرد دانه. ۱۶-۳-۴
- ۱۴۱.....وزن خشک (بیوماس). ۱۷-۳-۴
- ۱۴۳.....شاخص برداشت. ۱۸-۳-۴
- ۱۴۵.....درصد روغن. ۱۹-۳-۴
- ۱۴۷.....درصد پروتئین. ۲۰-۳-۴
- ۱۴۸.....نسبت اسیدهای چرب در روغن کنجد. ۲۱-۳-۴
- ۱۴۹.....نتیجه گیری
- ۱۵۰.....پیشنهادها.
- ۱۵۱.....پیوست.
- ۱۶۳.....منابع
- ۱۸۶.....چکیده انگلیسی

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲- الگوی سه مرحله‌ای جذب آب به وسیله بذره‌های در حال جوانه‌زنی..... ۱۵
- شکل ۲-۲- واکنش فتوسنتز به افزایش غلظت دی‌اکسید کربن ..... ۴۴
- شکل ۳-۲- نمونه‌هایی از حداکثر پاسخ‌های سرعت فتوسنتز به درجه حرارت..... ۴۶
- شکل ۴-۲- تاثیر دما و غلظت‌های دی‌اکسید کربن بر فتوسنتز..... ۴۷
- شکل ۵-۲- تاثیر شدت نور و غلظت دی‌اکسید کربن..... ۴۸
- شکل ۶-۲- مسیر تبدیل متانول به دی‌اکسید کربن..... ۵۵
- شکل ۷-۲- مسیر ایجاد متانول از پکتین در گیاهان..... ۵۵
- شکل ۸-۲- مسیر تبدیل متانول به دی‌اکسید کربن و اسیدهای آمینه در گیاهان..... ۵۶
- شکل ۱-۳- فاصله و محل دو ایستگاه انجام آزمایشات مزرعه‌ای..... ۶۷
- شکل ۱-۴- مقایسه میانگین اثر مدت امواج التراسونیک بر درصد جوانه‌زنی کنجد در آزمایشگاه..... ۷۹
- شکل ۲-۴- مقایسه میانگین اثر شدت امواج التراسونیک بر درصد جوانه‌زنی کنجد در آزمایشگاه..... ۸۰
- شکل ۳-۴- اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر سرعت جوانه‌زنی کنجد..... ۸۱
- شکل ۴-۴- اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر متوسط جوانه‌زنی روزانه..... ۸۲
- شکل ۴-۵- اثر متقابل شدت و مدت استفاده از امواج التراسونیک بر میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی..... ۸۳
- شکل ۴-۶- مقایسه میانگین اثر متقابل شدت و مدت زمان کاربرد امواج التراسونیک بر بنیه گیاهچه..... ۸۴
- شکل ۴-۷- مقایسه میانگین اثر متقابل شدت و مدت زمان کاربرد امواج التراسونیک بر طول ریشه‌چه..... ۸۶
- شکل ۴-۸- اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر طول ساقه‌چه کنجد..... ۸۶

- شکل ۴-۹- اثر متقابل شدت و مدت زمان کاربرد التراسونیک بر درصد گیاهچه‌های غیرطبیعی.....۸۷
- شکل ۴-۱۰- اثر شدت امواج التراسونیک ، بر ضریب یکنواختی جوانه‌زنی.....۸۹
- شکل ۴-۱۱- اثر مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر ضریب یکنواختی جوانه‌زنی.....۸۹
- شکل ۴-۱۲- اثر مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر فعالیت آنزیم کاتالاز در فاز آبنوشی.....۹۱
- شکل ۴-۱۳- اثر مدت پرایمینگ با امواج التراسونیک بر فعالیت آنزیم کاتالاز در فاز جوانه‌زنی.....۹۱
- شکل ۴-۱۴- اثر شدت امواج التراسونیک بر فعالیت آنزیم کاتالاز در فاز آبنوشی بذر کنجد.....۹۲
- شکل ۴-۱۵- اثر شدت امواج التراسونیک بر فعالیت آنزیم کاتالاز در فاز جوانه‌زنی بذر کنجد.....۹۲
- شکل ۴-۱۶- اثر مدت زمان پرایمینگ بر فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در فاز آبنوشی بذر.....۹۴
- شکل ۴-۱۷- اثر مدت زمان پرایمینگ بر فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در فاز جوانه‌زنی بذر ....۹۴
- شکل ۴-۱۸- اثر شدت امواج التراسونیک بر فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در فاز آبنوشی بذر.....۹۵
- شکل ۴-۱۹- اثر شدت امواج التراسونیک بر فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در فاز جوانه‌زنی .....۹۵
- شکل ۴-۲۰- اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر درصد سبز شدن.....۹۷
- شکل ۴-۲۱- اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر سرعت سبز شدن.....۹۸
- شکل ۴-۲۲- اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر سطح کنجد.....۹۹
- شکل ۴-۲۳- اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر طول ریشه کنجد.....۱۰۰
- شکل ۴-۲۴- اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر طول ساقه کنجد.....۱۰۱
- شکل ۴-۲۵- اثر مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر نسبت ریشه به ساقه گیاه کنجد.....۱۰۲
- شکل ۴-۲۶- اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر وزن خشک گیاه .....۱۰۳
- شکل ۴-۲۷- اثر متقابل مکان و غلظت متانول بر سطح برگ کنجد.....۱۰۶
- شکل ۴-۲۸- اثر متقابل زمان محلول‌پاشی و غلظت متانول بر سطح برگ کنجد.....۱۰۶

- شکل ۴-۲۹- اثر متقابل مدت زمان پرایمینگ و غلظت متانول بر سطح برگ.....۱۰۷
- شکل ۴-۳۰- اثر متقابل زمان محلول پاشی و غلظت متانول بر تعداد شاخه‌های فرعی.....۱۰۸
- شکل ۴-۳۱- اثر متقابل زمان محلول پاشی و مدت زمان پرایمینگ بر تعداد شاخه‌های فرعی.....۱۰۹
- شکل ۴-۳۲- اثر متقابل غلظت متانول و مدت زمان پرایمینگ بر تعداد شاخه‌های فرعی.....۱۰۹
- شکل ۴-۳۳- اثر متقابل غلظت متانول و زمان محلول پاشی بر قطر ساقه اصلی کنجد.....۱۱۱
- شکل ۴-۳۴- اثر متقابل غلظت متانول و مدت زمان پرایمینگ بر قطر ساقه اصلی.....۱۱۲
- شکل ۴-۳۵- اثر متقابل غلظت متانول و زمان محلول پاشی متانول بر ارتفاع کنجد.....۱۱۴
- شکل ۴-۳۶- اثر متقابل غلظت متانول و مدت زمان پرایمینگ بر ارتفاع کنجد.....۱۱۴
- شکل ۴-۳۷- اثر متقابل غلظت متانول و مکان بر ارتفاع کنجد.....۱۱۵
- شکل ۴-۳۸- اثر متقابل غلظت متانول و مکان بر میزان کلروفیل a در برگ کنجد.....۱۱۶
- شکل ۴-۳۹- اثر مدت زمان پرایمینگ بر میزان کلروفیل a در برگ کنجد.....۱۱۶
- شکل ۴-۴۰- اثر متقابل زمان محلول پاشی و مکان بر میزان کلروفیل b در برگ کنجد.....۱۱۷
- شکل ۴-۴۱- اثر متقابل زمان محلول پاشی و غلظت متانول بر میزان کلروفیل b در برگ کنجد.....۱۱۸
- شکل ۴-۴۲- اثر متقابل زمان محلول پاشی و مکان بر میزان کلروفیل کل در برگ کنجد.....۱۱۹
- شکل ۴-۴۳- اثر متقابل زمان محلول پاشی و غلظت متانول بر میزان کلروفیل کل در برگ کنجد.....۱۲۰
- شکل ۴-۴۴- اثر متقابل غلظت متانول و مکان بر میزان کاروتنوئید در برگ کنجد.....۱۲۲
- شکل ۴-۴۵- اثر متقابل غلظت متانول و مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر کاروتنوئید.....۱۲۲
- شکل ۴-۴۶- اثر متقابل غلظت متانول در مدت زمان پرایمینگ بر میزان آنتوسیانین برگ .....۱۲۳
- شکل ۴-۴۷- اثر متقابل زمان محلول پاشی و مکان بر میزان آنتوسیانین برگ کنجد.....۱۲۵
- شکل ۴-۴۸- اثر متقابل غلظت متانول در زمان محلول پاشی متانول بر میزان آنتوسیانین برگ.....۱۲۵

- شکل ۴-۴۹- اثر متقابل زمان محلول پاشی و مدت زمان پرایمینگ بر میزان آنتوسیانین برگ ..... ۱۲۶
- شکل ۴-۵۰- اثر متقابل غلظت متانول در زمان محلول پاشی بر میزان قندهای محلول برگ ..... ۱۲۶
- شکل ۴-۵۱- اثر متقابل غلظت متانول در مدت زمان پرایمینگ بر میزان قندهای محلول برگ ..... ۱۲۸
- شکل ۴-۵۲- اثر متقابل غلظت متانول در زمان محلول پاشی متانول بر میزان پرولین در برگ ..... ۱۲۸
- شکل ۴-۵۳- اثر متقابل غلظت متانول در مدت زمان پرایمینگ بر میزان پرولین در برگ کنجد ..... ۱۳۰
- شکل ۴-۵۴- اثر متقابل غلظت متانول و زمان محلول پاشی بر محتوی آب نسبی برگ کنجد ..... ۱۳۱
- شکل ۴-۵۵- اثر متقابل غلظت متانول در مکان بر محتوی آب نسبی در برگ کنجد ..... ۱۳۲
- شکل ۴-۵۶- اثر متقابل غلظت متانول و زمان محلول پاشی بر تعداد کپسول کنجد ..... ۱۳۳
- شکل ۴-۵۷- اثر متقابل غلظت متانول و مدت زمان پرایمینگ بر تعداد کپسول کنجد ..... ۱۳۴
- شکل ۴-۵۸- اثر متقابل غلظت متانول و زمان محلول پاشی بر تعداد دانه در کپسول ..... ۱۳۵
- شکل ۴-۵۹- اثر متقابل مکان و زمان محلول پاشی بر تعداد دانه در کپسول ..... ۱۳۶
- شکل ۴-۶۰- اثر متقابل غلظت متانول و زمان محلول پاشی بر وزن هزار دانه کنجد ..... ۱۳۷
- شکل ۴-۶۱- اثر متقابل غلظت متانول و مدت زمان پرایمینگ بر وزن هزار دانه کنجد ..... ۱۳۹
- شکل ۴-۶۲- اثر متقابل غلظت متانول و مدت زمان پرایمینگ بر عملکرد دانه کنجد ..... ۱۳۹
- شکل ۴-۶۳- اثر متقابل غلظت متانول و زمان محلول پاشی بر بیوماس کنجد ..... ۱۴۰
- شکل ۴-۶۴- اثر متقابل غلظت متانول و زمان محلول پاشی بر شاخص برداشت کنجد ..... ۱۴۳
- شکل ۴-۶۵- اثر متقابل غلظت متانول و زمان محلول پاشی بر درصد روغن کنجد ..... ۱۴۳
- شکل ۴-۶۶- اثر متقابل غلظت متانول و زمان محلول پاشی بر شاخص برداشت کنجد ..... ۱۴۵
- شکل ۴-۶۷- اثر متقابل غلظت متانول و زمان محلول پاشی بر شاخص برداشت کنجد ..... ۱۴۵
- شکل ۴-۶۸- اثر ساده مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر شاخص برداشت در کنجد ..... ۱۴۷

شکل ۴-۶۹- اثر ساده مدت زمان محلول پاشی متانول بر درصد روغن کنجد.....۱۴۷

شکل ۴-۷۰- اثر ساده غلظت متانول بر درصد پروتئین کنجد.....۱۴۸

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۴-۱- همبستگی بین صفات آزمایشگاهی.....۹۵
- جدول ۴-۲- همبستگی بین صفات آزمایش در گلخانه.....۱۰۳
- جدول ۴-۳- همبستگی بین صفات آزمایش در مزرعه.....۱۴۹
- جدول پیوست ۱- توزیع سطح، تولید محصولات زراعی در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴.....۱۵۲
- جدول پیوست ۲- مراحل رشد و نمو کنجد.....۱۵۳
- جدول پیوست ۳- اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش جیرفت.....۱۵۳
- جدول پیوست ۴- اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش جازموریان.....۱۵۴
- جدول پیوست ۵- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک محل‌های اجرای آزمایش.....۱۵۴
- جدول پیوست ۶- میانگین مربعات جوانه‌زنی کنجد در شدت و مدت زمان‌های مختلف.....۱۵۴
- جدول پیوست ۷- میانگین مربعات جوانه‌زنی کنجد تحت تاثیر پرایمینگ با امواج التراسونیک .....۱۵۵
- جدول پیوست ۸- میانگین مربعات اثر مدت زمان و شدت امواج التراسونیک بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز در فاز آبنوشی و جوانه‌زنی.....۱۵۵
- جدول پیوست ۹- میانگین مربعات اثر مدت زمان و شدت امواج بر شاخص‌های رشد و مورفولوژیک کنجد .....۱۵۶
- جدول پیوست ۱۰- میانگین مربعات اثر امواج التراسونیک، غلظت و زمان کاربرد متانول بر صفات مورفولوژیک کنجد.....۱۵۷
- جدول پیوست ۱۱- میانگین مربعات تاثیر امواج التراسونیک، غلظت و زمان کاربرد متانول بر صفات فیزیولوژیک.....۱۵۸
- جدول پیوست ۱۲- میانگین مربعات تاثیر امواج التراسونیک، غلظت و زمان کاربرد متانول بر صفات فیزیولوژیک.....۱۵۹

جدول پیوست ۱۳- میانگین مربعات تاثیر امواج التراسونیک، غلظت و زمان کاربرد متانول بر عملکرد و اجزا عملکرد..... ۱۶۰

جدول پیوست ۱۴- میانگین مربعات تاثیر امواج التراسونیک، غلظت و زمان کاربرد متانول بر خصوصیات روغن..... ۱۶۱



# فصل اوّل: مقدّمه

امروزه استفاده از روغن به یک نیاز اساسی خانوارها تبدیل شده است، میانگین مصرف سرانه روغن نباتی در جهان ۱۲ کیلوگرم و در ایران نزدیک به ۲۰ کیلوگرم می‌باشد، از این میزان، فقط ۵٪ تولید مواد اولیه روغن‌ها داخلی بوده و ۹۵٪ وارداتی است (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۴). با توجه به آمار فائو (۲۰۱۵) ایران در حال حاضر یکی از بزرگترین وارد کنندگان دانه‌های روغنی (به‌صورت دانه‌های روغنی، روغن خام، روغن تصفیه شده) در دنیاست. با وجود تولید سالانه ۲۷۱ هزار تن دانه روغنی در کشور، بخش عمده‌ای از روغن مصرفی از منابع خارجی تامین می‌شود. بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی میزان واردات روغن و دانه‌های روغنی در سال ۱۳۹۳ در ایران ۱/۰۶۴/۹۷۰ تن بوده است و مبلغ واردات دانه‌های روغنی در این سال بیش از ۱/۸ میلیارد دلار برآورد شده است (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۳). بر اساس آمار جهاد کشاورزی در سال ۱۳۹۴ نیز میزان واردات روغن و دانه‌های روغنی ۱/۸۹۷/۹۶۲ تن و مبلغ واردات دانه‌های روغنی در این سال بیش از ۱/۹ میلیارد دلار برآورد شده است (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۴). با توجه به نیاز کشور به روغن‌های گیاهی، توسعه کشت دانه‌های روغنی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (نوری، ۱۳۸۲).

جوانه زنی اولین و حساس‌ترین مرحله رشد و نمو گیاهی است (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶). همچنین جوانه‌زنی سریع بذر و استقرار توده گیاهی، از عوامل ضروری برای تولید محصول در شرایط تنش است (هریس و همکاران، ۱۹۹۹؛ لپرینسی و همکاران، ۲۰۰۰). در کشورهای در حال توسعه، تنها در حدود ۱۰٪ از نیازهای بذری کشاورزان با شرایط قانونی سیستم بذر منطبق است و بیش از ۸۰٪ از بذر مصرفی برای کاشت محصولات اقتصادی، بذر ذخیره شده خود کشاورز است.

تاریخچه پرایمینگ بذر از دهه ۱۹۷۰ میلادی، آغاز می‌گردد. پرایمینگ بذر، روشی از هیدراتاسیون کنترل شده‌ای است که با خشک کردن مجدد همراه می‌گردد. به بیان دیگر، پرایمینگ بذر، جذب آب به‌منظور راه‌اندازی وقایع ابتدایی و آغازین جوانه‌زنی که با خشک کردن بذر دنبال می‌گردد، تعریف می‌شود. ولی، جذب آب آنقدر کافی نیست که بیرون زدن ریشه‌چه را امکان‌پذیر سازد (هیدکر و گیبینز، ۱۹۸۷). پرایمینگ بذر به یک روش رایج برای افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی و سبز

شدن بسیاری از گیاهان زراعی مهم در مزرعه تبدیل شده است (اشرف و فولاد، ۲۰۰۵؛ اشرف و همکاران، ۲۰۰۸؛ پاتادی و همکاران، ۲۰۰۹؛ چن و آرورا، ۲۰۱۳). پرایمینگ باعث افزایش درصد جوانه‌زنی، خروج سریع‌تر و یکنواخت‌تر گیاهچه‌ها، تسریع بلوغ، فراهم شدن بیشتر ATP، دامنه وسیع‌تر دمایی برای جوانه‌زنی، اصلاح سلول‌های آسیب دیده، رشد سریع جنین (داهال و بردفورد، ۱۹۹۰)، افزایش سنتز پروتئین، حذف خفتگی بذر، افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی هنگام کشت و افزایش قدرت نمو گیاه می‌شود (پاررا و کانتیلیف، ۱۹۹۴). جوانه‌زنی و سبز شدن کند یا پراکنده، به تولید گیاهان کمتر و کوچک‌تر منجر می‌شود که به تنش‌های زیستی و غیر زیستی مختلف، آسیب پذیرتر هستند. دوره طولانی سبز شدن ممکن است به نابودی بذر و افزایش فشردگی خاک منجر گردد که استقرار ضعیف توده گیاهی را موجب می‌شود (اشرف و فولاد، ۲۰۰۵). در گیاهان زراعی از جمله کنجد به دلیل کندی جوانه‌زنی و رشد به‌ویژه در یک چهارم ابتدایی دوره زندگی گیاه، توان رقابت با علف‌های هرز پایین بوده لذا جوانه‌زنی مطلوب بذر استقرار گیاه را افزایش داده و عملکرد نهایی گیاه را تضمین می‌کند. پس از استقرار مناسب گیاه بایستی عوامل دیگری مانند مواد غذایی، آب و دی‌اکسیدکربن و نور که بر فتوسنتز موثرند را مد نظر قرار داد.

اولین مرحله برای حصول عملکرد بالا در واحد سطح، تولید ماده خشک بیشتر است. CO<sub>2</sub> ماده اولیه اصلی در فتوسنتز است که اساس تولید ماده خشک و عملکرد در گیاهان زراعی است (فاویل و همکاران، ۱۹۹۹). بیش از ۹۰ درصد وزن خشک گیاهان، ترکیبات کربن‌دار حاصل آسیمیلاسیون CO<sub>2</sub> در فرایند فتوسنتز است. تحقیقات فراوانی در زمینه تامین و تغذیه با کربن انجام شده است. افزایش بیوماس و عملکرد گیاهان رابطه مستقیمی با میزان و کارایی فتوسنتز دارد لذا تامین کربن مورد نیاز گیاه به‌عنوان مهمترین ماده در تولیدات گیاهی از اهمیت فراوانی برخوردار است (نانامورا و بنسون، ۱۹۹۷؛ مخدوم و همکاران، ۲۰۰۲). افزایش سطح دی‌اکسیدکربن موجب افزایش میزان فتوسنتز، رشد زیست توده و عملکرد دانه برای تمامی محصولات غذایی سه کربنه مهم جهانی می‌شود (اکوک، ۱۹۹۰). در گیاهان سه کربنه ماده خشک تولید شده در واحد سطح، حاصل برآیند فتوسنتز

ناخالص، تنفس نوری و تنفس تاریکی است. این گیاهان به دلیل تنفس نوری مقدار قابل توجهی از مواد حاصل فتوسنتز خود را در طی چند ثانیه پس از تثبیت  $CO_2$  از دست می‌دهند و اگر در شرایطی قرار گیرند که از تنفس نوری آنها جلوگیری شود یا مقدار آن کاهش یابد، رشد این گیاهان ۲۵ تا ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت (فایبرت و همکاران، ۱۹۹۵؛ گات و همکاران، ۲۰۰۰). ترکیبات کربن‌دار زیادی از جمله اتانول، متانول، پروپانول، بوتانول و اسیدهای آمینه مانند گلايسين و آسپارات برای افزایش غلظت  $CO_2$  درون برگ‌ها و در نتیجه افزایش میزان و کارایی فتوسنتز گیاهان مورد استفاده قرار گرفته است (رامبرگ و همکاران، ۲۰۰۲). کارکرد اصلی این مواد در تولید  $CO_2$  بیشتر و برتری نسبت  $CO_2/O_2$  در رقابت برای جذب توسط آنزیم رابیسکو و در نتیجه کاهش تنفس نوری است (صفرزاده و بیشکایی، ۱۳۸۶؛ داوونی و همکاران، ۲۰۰۴).

مطالعات متعدد انجام شده بیانگر این است که رشد و عملکرد گیاهان سه کربنه ( $C_3$ ) با محلول پاشی متانول افزایش یافته و متانول می‌تواند به عنوان منبع کربن برای این گیاهان عمل کند (هانسون و راج، ۲۰۰۱؛ همینگ و همکاران، ۱۹۹۵؛ مخدوم و همکاران، ۲۰۰۲). اولین مطالعات تاثیر متانول بر گیاهان نشان داد که کاربرد برگ‌ها متانول با غلظت ۱۰ تا ۵۰ درصد حجمی می‌تواند سبب بهبود رشد و عملکرد در گیاهان زراعی سه کربنه شود. متانول با اکسید شدن به دی‌اکسیدکربن، ضمن کاهش هدر رفت کربن گیاه در فرایند تنفس نوری در شرایط گرما و نور شدید، سبب افزایش کارایی فتوسنتز و عملکرد می‌گردد (نانامورا و بنسون، ۱۹۹۲). در مسیر متابولیسم متانول به دی‌اکسیدکربن، ابتدا متانول به وسیله آنزیم متانول‌اکسیداز به فرمالدهید، آلدهید و فرمات (متانوئیک اسید) تبدیل شده و در نهایت با اکسیداسیون فرمات توسط آنزیم فرمات دهیدروژناز، به دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌شود. متابولیزه شدن متانول به دی‌اکسیدکربن با افزایش غلظت درون سلولی دی‌اکسیدکربن، سبب برتری  $CO_2$  در رقابت با  $O_2$  در اتصال به رابیسکو شده و در نهایت کاهش تنفس نوری و افزایش فتوسنتز و عملکرد را به همراه دارد (گیسه و همکاران، ۱۹۹۴؛ گات و همکاران، ۲۰۰۰). یکی از عوامل موثر در سرعت نفوذ مواد به داخل گیاه، وزن مولکولی یا اندازه

مولکولی ماده مورد نظر است. به دلیل کوچکتر بودن اندازه و وزن مولکولی متانول نسبت به دی‌اکسیدکربن، جذب آن توسط گیاه با سهولت بیشتری انجام می‌شود. (وزن مولکولی متانول ۳۲/۰۴ گرم بر مول و وزن مولکولی دی‌اکسیدکربن ۴۴/۰۰ گرم بر مول است). همچنین متانول حلالیت بسیار بالایی در مواد لیپیدی غشاء داشته که سبب افزایش سرعت ورود آن به سلول‌های گیاهی است. حلالیت متانول در مواد لیپیدی غشاء ۳۰ برابر بیشتر از اوره و سرعت ورود متانول به سلول‌های گیاهی حدود ۳۰۰ برابر اوره است (داونی و همکاران، ۲۰۰۴). نتایج مطالعات تاثیر متانول بر گیاهان مختلف نشان می‌دهد که تاثیر متانول بر گیاهان مورد مطالعه بستگی زیادی به غلظت، زمان استفاده، ریخت‌شناسی و گونه گیاه دارد.

ایران از جمله کشورهایی است که قدمتی طولانی در کشت و کار دانه‌های روغنی، بخصوص کنجد دارد (رضوانی مقدم و همکاران، ۲۰۰۵). کنجدگیاهی گرمادوست و سازگار با نواحی خشک و نیمه خشک دنیا است که طی دوره رشد نیاز به هوای آفتابی و صاف دارد. در این شرایط محیطی که گرما و نور فراوان وجود دارد، تنفس نوری در گیاه سه کربنه کنجد بالا رفته و این امر سبب هدر رفت کربن دریافتی گیاه در فرایند فتوسنتز می‌شود. با توجه به بحرانی بودن مرحله جوانه‌زنی و حساسیت به عواملی از جمله کمبود آب و کاهش استقرار گیاه در مزرعه و پایین بودن توان رقابت با علف‌های هرز به دلیل کندی جوانه‌زنی و رشد بویژه در یک چهارم ابتدایی دوره زندگی گیاه، توجه به مرحله جوانه‌زنی و تاثیر پرایمینگ بر آن حایز اهمیت است. از طرفی با توجه به شرایط محیطی زمان رشد و نمو کنجد و فراوانی گرما و شدت نور که سبب افزایش تنفس نوری و هدر رفت کربن در کنجد می‌شود، استفاده از متانول به‌عنوان عامل افزایش دهنده غلظت کربن درونی گیاه و کاهش دهنده تنفس نوری اهمیت زیادی دارد. با توجه به مطالب ارایه شده، اهداف این پژوهش بر این دو مهم استوار شده است: الف) بررسی کاربرد امواج التراسونیک به‌عنوان عامل پرایمینگ بذر بر فرایند جوانه‌زنی کنجد ب) بررسی تاثیر محلول‌پاشی متانول (متیل الکل) به‌عنوان کود کربن‌دار و منبع تامین کربن بر کارایی فتوسنتز و عملکرد در کنجد.



# فصل دوّم: بررسی منابع

## ۲-۱- تاریخچه و اهمیت دانه‌های روغنی

روغن‌های گیاهی از محصولات مختلفی نظیر کنجد، کلزا، سویا، آفتابگردان، پنبه دانه، نخل روغنی، بادام زمینی و ... به دست می‌آید. در ایران روغن به‌عنوان یکی از کالاهای مهم کشاورزی مورد نیاز مردم، از سال‌های دور مورد توجه بوده است. مصرف روغن حیوانی با تعدیل سرانه مصرف به تدریج کاهش یافت و به سهولت روغن گیاهی جایگزین آن شد. با احداث اولین کارخانه روغن‌کشی در سال ۱۳۱۷ ظرفیت تولید روغن گیاهی در ایران به سرعت افزایش یافت. توجه به توسعه کشت دانه‌های روغنی از سال ۱۳۴۰ با توسعه کشت پنبه آغاز گردیده و سپس در سال ۱۳۴۶ با ورود و کشت آفتابگردان و سویا برنامه توسعه کشت دانه‌های روغنی در کشور ادامه یافت. سطح کشت و تولید دانه‌های روغنی در سال‌های اولیه، افزایش محسوس و قابل توجهی داشت، لکن از آن سال تاکنون دچار نوسان‌های زیادی گردیده است. وجود مزیت نسبی در تولید دانه‌های روغنی، تنوع اقلیمی، دسترسی و معرفی ارقام جدید پر محصول و روش‌های کشت جدید حاکی از امیدواری برای افزایش قابل ملاحظه تولید دانه‌های روغنی در کشور می‌باشد (نوری، ۱۳۸۲).

## ۲-۲- کنجد

کنجد دارای بیشترین و مرغوب‌ترین روغن در میان کلیه گیاهان دانه روغنی است (صیادامین، ۱۳۸۷). قسمت اصلی مصرفی کنجد، دانه آن است که نزدیک به ۷۵ درصد آن از چربی و پروتئین تشکیل شده است. بقیه ۲۵ درصد دانه را املاح معدنی، هیدرات کربن و الیاف تشکیل می‌دهد. روغن کنجد نیز حاوی گلیسریدها، اسیدهای چرب عمده‌ای چون اسید اولئیک و لینولئیک، مقادیر کمی اسید استریک، پالمیتیک و آراشیدیک می‌باشد (کاراسلام و همکاران، ۲۰۰۷). روغن کنجد پایداری بالایی به اکسیداسیون در مقایسه با دیگر روغن‌های گیاهی دارد، که این امر به دلیل حضور سزامین، سزامولین، سزامینول، سزامول و گاما توکوفرول می‌باشد. بعلاوه پایداری اکسیداتیو روغن کنجد وابسته به دمای برشته شدن است (پاک‌ترمنی و همکاران، ۱۳۹۴).

## ۲-۲-۱- منشا و تاریخچه کنجد

کنجد (*Sesamum indicum* L) یکی از دانه‌های روغنی و خوراکی مهم در کشاورزی سنتی نواحی گرم به شمار می‌رود و احتمالاً قدیمی‌ترین دانه روغنی در جهان می‌باشد (کوکا و همکاران، ۲۰۰۷). کنجد همچنین ملکه دانه‌های روغنی شناخته می‌شود (بات و همکاران، ۱۹۹۹). شواهد نشان می‌دهد که کشت کنجد از ۵۵۰ سال قبل از میلاد در هند رواج داشته است (ویس، ۲۰۰۰ و آشری، ۲۰۰۷). سابقه کشت کنجد در بین‌النهرین، پاکستان و ایران به بیش از ۴۰۰۰ سال می‌رسد (خواجه‌پور، ۱۳۸۴). پراکندگی گونه‌های مختلف کنجد در آفریقا، ایران، افغانستان، هندوستان و استرالیا آنقدر زیاد است که در رابطه با محل دقیق اهلی شدن آن اتفاق نظر نیست. واویلف، هند را منشا کنجد دانسته است. به‌جز گونه *Sesamum prostratum* Retz، تمام گونه‌های وحشی کنجد در آفریقا وجود دارند (پارسیگلاو، ۱۹۷۷). تنوع وسیع انواع گونه‌های وحشی در آفریقا نشان می‌دهد که احتمالاً کنجد زراعی (*Sesamum indicum*) از گونه *Sesamum capense* در نواحی مرکزی قاره آفریقا و ظاهراً در اتیوپی منشا یافته است و به‌سرعت از طریق آفریقا در هند و چین گسترش یافته و این مناطق به مراکز ثانوی انتشار آن تبدیل شدند (خواجه‌پور، ۱۳۸۴).

## ۲-۲-۲- سطح زیر کشت کنجد در ایران و جهان

بر اساس گزارش فائو (۲۰۱۵) در سال ۱۳۹۶، قاره آفریقا با تولید ۵۳/۹ درصد کنجد بیشترین تولید را داشته است و قاره آسیا با ۴۳/۰ درصد در رتبه دوم و قاره آمریکا با ۳/۰ درصد در رتبه سوم تولید کنجد قرار گرفته‌اند. سطح زیر کشت کنجد در سال ۱۳۹۶ برابر با ۱۰۵۷۶۵۶۳ هکتار و میزان تولید برابر با ۶۱۱۱۵۴۸ تن بوده است.

ده کشور عمده تولید کننده کنجد در سال ۱۳۹۶ به‌ترتیب میزان تولید شامل تانزانیا، میانمار، هند، چین، سودان، میانمار، نیجریه، اتیوپی، بورکینافاسو، سودان جنوبی و چاد است (فائو، ۲۰۱۵). در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ مجموع سطح زیر کشت محصولات زراعی در ایران ۱۱/۷۷ میلیون هکتار بوده است.

سطح زیر کشت غلات ۷۱/۷۶ درصد، حبوبات ۶/۶۹ درصد، محصولات صنعتی ۴/۱۷ درصد، سبزیجات ۴/۵۱ درصد، محصولات جالیزی ۲/۷۷ درصد، نباتات علوفه‌ای ۸/۹۲ و سایر محصولات ۱/۱۹ درصد بوده است. بیشترین سطح زیر کشت مربوط به گندم با ۵۰/۳۹ درصد، جو با ۱۴/۹۶ درصد، یونجه با ۵/۵۵ درصد، شلتوک با ۵/۰۷ درصد، نخود با ۴/۲۵ درصد و ذرت علوفه‌ای با ۱/۹۲ درصد بوده است. به عبارت دیگر ۸۲/۱۳ درصد از سطح برداشت محصولات زراعی متعلق به ۶ محصول فوق می‌باشد (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۶). با نگاهی به سطح زیر کشت و تولید محصولات صنعتی در سنوات گذشته مشخص می‌شود که بین سه تا چهار درصد، متعلق به این گروه از محصولات است. بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی سهم دانه‌های روغنی از مجموع سطح زیر کشت محصولات زراعی ۲/۳۶ درصد بوده است. از این میزان کنجد با سطح زیر کشت ۴۲۵۰۳ هکتار، ۰/۳۶ درصد سطح زیر کشت گیاهان زراعی را به خود اختصاص داده است (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۵). کنجد در ایران بیشتر در جنوب کرمان، فارس، خوزستان، بلوچستان، یزد، اصفهان، اراک، همدان، نهاوند و مراغه کاشت می‌شود (خواججه‌پور، ۱۳۸۴). بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی رتبه نخست سطح زیر کشت و تولید کنجد در ایران متعلق به جنوب کرمان بوده و استان‌های فارس و خوزستان در رتبه دوم و سوم سطح کاشت و تولید قرار دارند. متوسط عملکرد کنجد در سال زراعی ۹۴-۹۵ در ایران ۸۶۸ کیلوگرم در هکتار بوده است (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۶). بر اساس آمار فائو (۲۰۱۵)، سطح زیر کشت کنجد در سال ۱۳۹۶ در ایران ۶۲۳۴۶ هکتار و میزان تولید آن ۵۶۱۷۶ تن بوده است.

## ۲-۲-۳- میزان تولید

در سال زراعی ۹۴-۹۵ قریب به ۸۳ میلیون تن از انواع محصولات زراعی تولید شده است که دانه‌های روغنی حدود ۰/۵۷ درصد از تولید محصولات سال زراعی را به خود اختصاص داده‌اند (جدول پیوست ۱). سهم کنجد از تولید محصولات زراعی ۰/۰۴ درصد گزارش شده است (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۶). تولید روغن کشور در سال ۱۳۴۰ حدود ۳۸ هزار تن بوده است که با ۱۲ هزار تن روغن وارداتی نیاز کشور تامین می‌گردید به عبارتی ۷۶/۱ درصد خود کفائی وجود داشته است. مصرف سرانه

روغن‌های نباتی از ۲/۵ کیلوگرم در این سال (با جمعیت ۲۰ میلیون نفری) با افزایش هشت برابری به ۲۰ کیلوگرم در سال ۱۳۹۵ رسیده است. به عبارتی سرانه مصرف روغن‌های نباتی ۱۰ برابر افزایش یافته است. میزان مصرف روغن نباتی از ۵۰ هزار تن در سال ۱۳۴۰ به ۱۶۰۰۰۰۰ تن در سال ۱۳۹۵ افزایش یافته و از این میزان کمتر از ۵ درصد در ایران تولید شده و ۹۵ درصد دانه‌های روغنی (بیش از ۱۵۰۰۰۰۰ تن) وارداتی است (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۶).

## ۲-۲-۴- خصوصیات گیاه‌شناسی کنجد

کنجد با نام علمی *Sesamum indicum* از خانواده Peadaleacea است و به اسامی Till، Simsim، Benni seed، Gingelly معروف می‌باشد. *Sesamum indicum* صدها نژاد و واریته دارد که از حیث اندازه و شکل، رنگ گل‌ها و اندازه و رنگ بذرها با هم تفاوت زیادی دارند (اسلام و همکاران، ۲۰۱۶). کنجد گیاهی است یکساله و گاه چند ساله و طول دوره رشد آن بسته به رقم و شرایط محیطی بین ۱۲۰ تا ۱۸۰ روز می‌باشد (خواجه‌پور، ۱۳۸۴). کنجد دارای ریشه مستقیم، قوی و بسیار توسعه یافته است که به‌طور متوسط حدود یک متر در خاک نفوذ می‌کند و پس (۲۰۰۰). در کنجدهای دیررس که به‌صورت کنجد چند ساله نیز می‌باشند سیستم ریشه به‌صورت گسترده و عمیق است ولی در کنجدهای زودرس، توسعه عمقی ریشه‌ها کمتر بوده و بیشتر سطحی می‌باشند. ویژگی مقاومت کنجد در مقابل خشکی نیز ناشی از سیستم گسترده ریشه آن در خاک است (خواجه‌پور، ۱۳۸۴).

ساقه کنجد راست و ارتفاع آن بین ۰/۵ تا ۲ متر متغیر است. با این حال، ارقام کنجد معمولاً ۱ تا ۱/۴ متر ارتفاع دارند (آشری ۲۰۰۷). مقطع عرضی ساقه معمولاً مربع شکل و گاه مستطیلی و پهن و دارای شیارهای عمودی است و ممکن است صاف، کمی کرکدار یا دارای کرک‌های زیادی باشد که مقدار کرک روی ساقه با مقاومت در برابر خشکی مربوط می‌باشد. رنگ ساقه از سبز روشن تا ارغوانی متغیر و معمولاً سبز تیره است. بر روی ساقه اصلی شاخه‌های فرعی بوجود می‌آیند (خواجه‌پور، ۱۳۸۴). در بعضی واریته‌ها از پایین‌ترین گره دو تا چهار عدد شاخه فرعی به موازات شاخه اصلی رشد می‌کنند که به آنها اصطلاحاً تک شاخه می‌گویند ولی در برخی ارقام از گره‌های مختلف، شش یا تعداد

بیشتری شاخه فرعی بوجود می‌آیند که آنها را چند شاخه می‌گویند. لاین‌های چند شاخه دارای گره‌های بیشتری در زیر اولین کپسول هستند و گره‌های کمتر در ساقه اصلی دارند (لانگهام، ۲۰۰۷). معمولاً ارقام زودرس ساقه کوتاه‌تر و ارقام بلند دیررس می‌باشند (رستگار، ۱۳۸۴).

گل در کنجد به‌صورت زنگوله مانند و به طول سه تا چهار سانتی‌متر در زاویه داخلی برگ‌ها به ظهور می‌رسد. تشکیل گلها حدود ۱/۵ تا ۲/۵ ماه بعد از سبز شدن از ناحیه پائینی بوته آغاز شده و به طرف بالا ادامه می‌یابد. بالاترین گره‌های ساقه به گل تبدیل نمی‌گردند و بدین لحاظ گیاه رشد نامحدود می‌باشد (لانگهام، ۲۰۰۷). کنجد گیاهی است خودگشن و حدود ۵ تا ۵۰ درصد دگرگشتی نیز ممکن است دیده شود هر چند در بعضی ارقام و شرایط تا بیش از ۵۰ درصد نیز دگرگشتی گزارش شده است. حداکثر دگرگشتی در شرایط اقلیمی نیمه خشک به‌میزان ۶۸٪ ثبت شده است. گرده‌افشانی معمولاً به‌وسیله حشرات انجام می‌شود. عمر دانه گرده که بلافاصله بعد از باز شدن گل‌ها می‌ریزد ۲۴ ساعت بوده و آمادگی کلالة برای پذیرش گرده دو روز می‌باشد (آشری، ۲۰۰۷).

میوه کنجد کپسول با مقطع مربع یا مستطیل شکل و شیاردار است. کپسول معمولاً ۲ تا ۸ سانتی‌متر طول داشته و قطر آن بین ۰/۵ تا ۲ سانتی‌متر است و تعداد حفره‌ها از ۴ تا ۱۲ عدد متغیر است (کفریتی و امپوندا، ۲۰۰۹). کپسول‌ها معمولاً کرک‌دار و معمولاً ابتدا کپسول‌های پایین و در آخر کپسول‌هایی که به نوک ساقه نزدیک‌ترند می‌رسند. در هر کپسول معمولاً حدود ۸۰ دانه وجود دارد (خواجه‌پور، ۱۳۸۴).

دانه کنجد کوچک، بیضوی و صاف، پهن و تخم مرغی شکل است. طول دانه کنجد ۳ تا ۳/۵ میلی‌متر و پهنای آن ۱/۵ تا ۲ میلی‌متر است. پوست دانه بیشتر به‌رنگ قهوه‌ای، سیاه و زرد بوده و مغز آن سفید می‌باشد. وزن هزار دانه آن بین ۲ تا ۵ گرم است. عملکرد کنجد از چند صد کیلو تا ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر است و به‌طور معمول در بسیاری از کشورها حدود ۲۰۰۰ کیلوگرم است (رستگار، ۱۳۸۴).

## ۲-۲-۵- ترکیبات شیمیایی دانه کنجد

دانه کنجد شامل مقادیر بالای چربی و پروتئین می‌باشد. ترکیب شیمیایی دانه کنجد بسته به واریته، منشأ، رنگ و اندازه دانه‌ها متفاوت می‌باشد. دانه‌های کنجد حاوی ۵۰-۶۰٪ روغن و ۱۹-۲۵٪ پروتئین هستند (آشاکوماری و همکاران، ۱۹۹۹).

## ۲-۲-۶- اسیدهای چرب دانه کنجد

روغن کنجد به گروه اولئیک-لینولئیک اسید تعلق دارد. این روغن شامل کمتر از ۲۰٪ اسیدهای چرب اشباع، عمدتاً پالمیتیک اسید (۱۲-۷/۹٪) و استئاریک اسید (۶/۱-۴/۸٪) می‌باشد. اولئیک اسید و لینولئیک اسید بیش از ۸۰٪ کل اسیدهای چرب را در روغن کنجد تشکیل می‌دهند. بر خلاف روغن‌های گیاهی دیگر در این گروه، درصد اولئیک اسید (۳/۳-۳۵/۹٪) و لینولئیک اسید (۹/۹-۴۷/۹-۴۱/۵٪) در کل اسیدهای چرب روغن کنجد به یکدیگر نزدیک می‌باشند (پاک‌ترمنی و همکاران، ۱۳۹۴). ترکیب اسید چرب بسته به گونه کنجد تغییر می‌کند. گونه‌های با میزان اولئیک اسید و لینولئیک اسید بالا اغلب برای کشت انتخاب می‌شوند. همچنین ترکیب اسید چرب گروه‌های لیپید مختلف در روغن کنجد تنوع نشان می‌دهند (دینی ترکمانی و ژیرایرکاراپتیان، ۱۳۸۶). در جدول ۳ پیوست نوع و مقدار اسیدهای چرب روغن کنجد نشان داده شده است.

## ۲-۲-۷- شرایط اقلیمی کاشت کنجد

کنجد در فاصله عرض جغرافیایی ۳۵ درجه جنوبی تا ۴۰ درجه شمالی و غالباً تا ارتفاع حدود ۱۷۰۰ متری از سطح دریا (بسته به رقم و عرض جغرافیایی) کاشته می‌شود. بیشترین گستردگی کنجد در عرض‌های ۲۵ درجه شمالی تا ۲۵ درجه جنوبی است. کاشت در نقاط مرتفع مقدار روغن را کاهش می‌دهد. به‌طور کلی کنجد در مناطق قابل کشت پنبه قابل کاشت است (ویس، ۲۰۰۰؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶). دمای ۲۰ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد در اوایل دوره رشد و دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد در دوران دانه‌بندی برای کنجد مناسب است. تولید کنجد مستلزم وجود یک دوره بدون یخبندان حداقل ۱۵۰ روزه می‌باشد. وقوع یخبندان در دوران رسیدگی موجب مرگ گیاه می‌شود،

کیفیت دانه و روغن را کاهش می‌دهد و بر اجزاء فرعی روغن مانند سسامولین<sup>۱</sup> و سسامین<sup>۲</sup> تاثیر نامطلوب می‌گذارد. کنگد برای تولید حداکثر بذر به شرایط بسیار گرم احتیاج دارد و حدود ۲۷۰۰ واحد گرما (درجه روز) نیاز دارد. تکمیل سیکل حیاتی ارقام زودرس کنگد (طول دوره ۱۰۰ تا ۱۲۰ روزه مستلزم تجمع حدود ۱۳۰۰ تا ۱۶۰۰ واحد حرارتی استاندارد ذرت می‌باشد (خواجه‌پور ۱۳۸۴). ارقام دیررس کنگد برای تولید حداکثر عملکرد به ۲۳۰۰ تا ۲۷۰۰ درجه روز رشد<sup>۳</sup> همراه با ۷۵۰ تا ۷۷۰ ساعت نور مستقیم خورشید نیاز دارد (بیچ، ۱۹۸۵).

کنجد گیاهی روز کوتاه و گرمادوست است و ارقام حساس به طول روز آن طی حدود ۴۲ تا ۴۵ روز تحت تاثیر طول روز ۱۰ ساعت به مرحله گل‌دهی می‌رسند اما بسیاری از ارقام نسبت به طول روز بی‌تفاوت می‌باشند (رستگار، ۱۳۸۴).

## ۲-۳- اهمیت جوانه‌زنی و پرایمینگ بذر در گیاهان زراعی

جوانه‌زنی بذر، مرحله پیچیده و پویایی از رشد گیاه است و از طریق اثراتی که بر استقرار گیاهچه دارد می‌تواند سبب بهبود عملکرد گیاهان شود (اشرف و فولاد، ۲۰۰۵). پایین بودن سرعت جوانه‌زنی و غیریکنواختی جوانه‌زنی در ابتدای فصل رشد سبب ایجاد گیاهچه‌های ضعیف، کاهش قدرت رقابت با علف‌های هرز و نهایتاً کاهش عملکرد در بسیاری از گیاهان می‌شود (وانگ و همکاران، ۲۰۱۲). یکی از عوامل دستیابی به عملکرد بالا در واحد سطح، افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها و استقرار گیاهچه‌های حاصل از بذور کشت شده می‌باشد. تنش خشکی، شوری، دماهای پایین و بالا در هنگام جوانه‌زنی، زمان نامناسب کاشت و آماده نبودن کامل بستر کاشت بذر از جمله عوامل محدود کننده استقرار گیاهچه در مزرعه به شمار می‌روند (مک‌دونالد، ۲۰۰۰). به‌طور طبیعی هرچه سرعت جوانه‌زنی و درصد بذور جوانه زده در مزرعه بیشتر باشد استفاده از منابع رشد نظیر نور، آب و عناصر

---

1 sesamollin

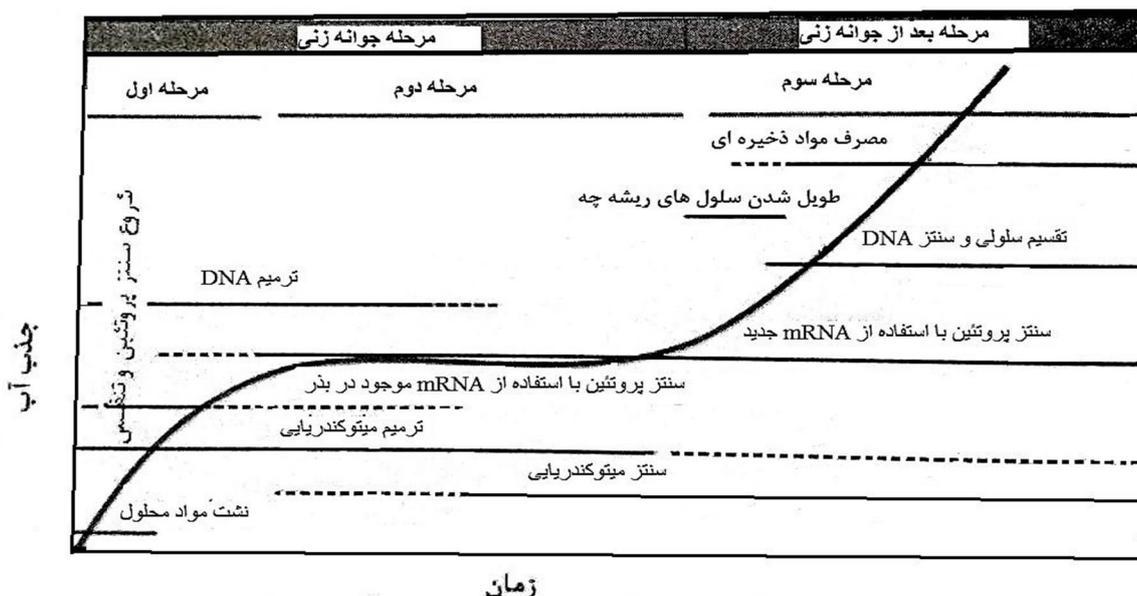
2 Sesamin

3 GDD: Growing degree day

غذایی بهتر خواهد بود (فوتی و همکاران، ۲۰۰۰). تاکنون محققین کوشش‌های فراوانی در جهت کمک به ارتقای جوانه‌زنی بذرها در شرایط مزرعه‌ای مصروف داشته‌اند.

### ۲-۳-۱- جوانه‌زنی بذر:

جوانه‌زنی بذر را می‌توان به سه مرحله جذب آب، انتقال و ظهور ریشه‌چه تقسیم کرد.



شکل ۲-۱- اتفاقات رخ داده طی آبیاری و الگوی سه مرحله‌ای جذب آب به‌وسیله بذرهای در حال جوانه‌زنی (اقتباس از بیولی، ۱۹۹۷).

مراحل اول و دوم هم در بذرهای زنده و هم در بذرهای مرده صورت می‌گیرد. مرحله اول، آبیاری بذر است. در این مرحله، جذب سریع آب از پتانسیل آب پایین دانه ناشی می‌شود. در طی این مرحله DNA و میتوکندری بازسازی و پروتئین‌ها با استفاده از mRNAهای موجود سنتز می‌شوند (اشمیت، ۲۰۰۷). مرحله دوم فقط با یک افزایش تدریجی در میزان آب دانه نمایان می‌شود. در این مرحله فعالیت‌های مربوط به جوانه‌زنی در آغاز راه هستند و سنتز میتوکندری و پروتئین‌های متکی به ترجمه از روی mRNAهای جدید را شامل می‌شوند. مراحل اول و دوم، فرایندهای جوانه‌زنی را آشکار می‌کنند. تکمیل جوانه‌زنی و شروع رشد گیاهک با ادامه رشد ریشه‌چه بیان می‌شود. این امر در طی مرحله سوم رخ می‌دهد و به‌وسیله افزایش سریع جذب آب مشخص می‌شود. این کار، تورژسانس لازم برای بزرگ شدن سلول‌های ریشه‌چه را ایجاد می‌کند (بیولی و همکاران، ۱۹۹۴).

## جذب آب

در دسترس بودن آب، هر یک از فازهای جوانه‌زنی را تعیین می‌کند. جذب آب (آبگیری بذری) فرایندی غیرفعال بوده و بر اساس پتانسیل ماتریک بذر استوار است. علت حرکت آب از یک نقطه به نقطه دیگر اختلاف پتانسیل آب بین دو مکان است. محتوای آب در یک بذر خشک کمتر از ۱۰٪ وزن تر بذر است که به مواد ذخیره‌ای درون بذر بستگی دارد. بذور غنی از لیپیدها معمولاً محتوای آب کمتری نسبت به بذور حاوی نشاسته دارند. به‌علت محتوای آب کم، معمولاً پتانسیل ماتریک بذرها بشدت پایین و در حدود ۵۰- تا ۱۰۰- مگاپاسکال است. این پتانسیل ماتریک، به‌وسیله بسیاری از سطوح آب دوست (ذرات پروتئین، نشاسته و سلولز دیواره سلولی) درون بذر ایجاد می‌گردد (بیولی و همکاران، ۱۹۹۴؛ سلطانی و فرجی، ۱۳۸۶؛ هاداس، ۱۹۸۲). در یک بذر بالغ خشک، پتانسیل آبی نسبت به لایه مجاور منفی‌تر است. پتانسیل آبی سلول یک بذر خشک در تماس با هوایی با رطوبت نسبی ۵۰٪ برابر با ۱۰۰- مگاپاسکال است. در یک خاک اشباع، غلظت یون‌ها بسیار کم و پتانسیل اسمزی در حدود ۰/۰۳- مگاپاسکال است. به هر حال، یک گرادیان قوی ایجاد شده و آب به درون بذر جریان خواهد یافت. این مرحله را فاز جذب آب می‌گویند که در بذور خواب و غیر خواب رخ می‌دهد (بیولی و همکاران، ۱۹۹۴). در مرحله نخست جذب آب اصلی‌ترین اجزای شرکت کننده در کاهش پتانسیل آب، پتانسیل ماتریک است. پس از جذب آب به‌وسیله بذر، پتانسیل ماتریک اهمیت کمی پیدا می‌کند و پتانسیل آبی بذر به‌شدت به پتانسیل اسمزی وابسته می‌گردد (سلطانی و فرجی، ۱۳۸۶). جذب آب به‌وسیله موانع مکانیکی از قبیل پوسته سخت، نزدیکی زیاد سلول‌ها در درون پوسته و اندازه بذر می‌تواند محدود شود. در زمان جذب آب تراوش پروتئین‌ها، آمینواسیدها، اسیدهای آلی، قندها، یون‌ها ( $k^+$ ) و هورمون‌ها رخ می‌دهد. بیشترین میزان تراوش در مراحل اولیه جذب رخ می‌دهد. تراوش مواد از دهیدراته شدن غشاهای سلولی درون بذر ناشی می‌شود. جذب آب به‌وسیله بذر موجب آبگیری مجدد این غشاها، استقرار آنها و کاهش تراوشات می‌گردد. حرکت آب به درون بذر فرایندی است که از حالت غیرفعال به فعال تغییر می‌یابد (هاداس، ۱۹۸۲).

## مرحله انتقال

فاز انتقال، دومین مرحله از مراحل جوانه‌زنی بذر است. انتقال مواد غذایی ذخیره شده و افزایش فعالیت متابولیسی از مشخصات این مرحله است (بیولی و همکاران، ۱۹۹۴). این مرحله به شدت به مرحله اول جذب آب وابسته است و به‌وسیله طول دوره و میزان فعالیت‌های فیزیولوژیک کنترل می‌شود. پتانسیل آب بذر در مرحله انتقال یکسان است و مدت زمان مرحله انتقال (گذار) از گونه‌ای به گونه دیگر متفاوت است، ولی این اختلاف در مورد محتوی آب بذر ناچیز است (برد فورد، ۱۹۸۶). پتانسیل آبی (مواد محلول) جنین در طول این مرحله معمولاً کمتر از کل بذر است. مراحل جوانه‌زنی به شدت تحت تاثیر محتوی آب و فشردگی خاک قرار می‌گیرد. این دو عامل موجب کاهش تورم بذر در انتهای مرحله انتقال می‌شود (هاداس، ۱۹۸۲). در مرحله انتقال فعالیت‌های متابولیسی افزایش می‌یابد. تجزیه قندها، پروتئین‌ها و لیپیدها به ترکیبات ساده‌تر و افزایش تنفس در زمان جذب آب، از ویژگی‌های مرحله انتقال محسوب می‌شود (برد فورد، ۱۹۸۶).

## فعالیت‌های آنزیمی

به مجرد جذب آب توسط بذر، تغییرات محسوسی در متابولیسم آن رخ می‌دهد. فعالیت آنزیم‌ها در طی مرحله اول و دوم جذب آب شروع می‌شود. به‌عنوان مثال فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز با جذب آب شدت می‌یابد (یاه و همکاران، ۲۰۰۵). فعالیت آنزیمی پس از جذب آب، ممکن است از آنزیم‌هایی شروع شود که هنگام رسیدن بذر به وجود آمده‌اند و یا از فعالیت آنزیم‌هایی ناشی شود که تازه ساخته شده‌اند. آنزیم‌هایی که قبلاً شکل گرفته‌اند بر دو نوع هستند. دسته اول آنزیم‌هایی هستند که برای فعال شدن، تنها به آبدگیری نیازمندند و با شروع آبدگیری توسط بذر فعالیت آنها آغاز می‌شود. دسته دوم آنزیم‌هایی هستند که برای فعال شدن به اثر یک هورمون یا یک آنزیم دیگر وابسته هستند (برد فورد، ۱۹۸۶).

فعال شدن آنزیم‌ها در مرحله دوم جذب آب، سبب تجزیه بافت‌های ذخیره‌ای می‌شوند. هدف از این تجزیه، انتقال مواد ذخیره‌ای از مناطق ذخیره‌ای در لپه‌ها یا آندوسپرم به نقاط رشد و آغازش

واکنش‌های شیمیایی است که بر اثر آن مواد جدید ساخته می‌شود (بیولی و بلک، ۱۹۹۴). اتفاقات رخ داده طی آبیگری و الگوی سه مرحله‌ای جذب آب به‌وسیله بذرهای در حال جوانه‌زنی در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.

### ظهور ریشه‌چه (پایان جوانه‌زنی)

ظهور ریشه‌چه را که با تقسیم سلولی همراه است، به‌عنوان پایان جوانه‌زنی بذر تعریف می‌کنند (هاداس، ۱۹۸۲). نخستین گواه جوانه‌زنی، خروج ریشه‌چه به‌میزان حداقل دو میلی‌متر است که بر اثر رشد طولی سلول‌ها و نه بر اثر تقسیم شدن آنها حاصل می‌شود (بیولی و بلک، ۱۹۹۴). این مرحله در بذرهای زنده و غیر خواب رخ می‌دهد و در ادامه آن فاز رشد آغاز می‌شود. آندوسپرم، مسئول کنترل پتانسیل آبی جنین است و افزایش پتانسیل آبی جنین و مواد محلول موجب ظهور ریشه‌چه می‌گردد (بیولی و بلک، ۱۹۹۴؛ برد فورد، ۱۹۸۶).

### ۲-۴- استقرار مناسب گیاهان زراعی

سالانه بیش از ۲/۳ میلیارد تن دانه در جهان تولید می‌گردد که به استثنای میوه و محصولات درختی و محصولاتی که به‌صورت غیرجنسی تکثیر می‌گردند، در حدود ۶۰٪ از کل محصولات غذایی را در بر می‌گیرد. مشاهدات و بررسی‌های انجام شده، بویژه در مناطق حاشیه‌ای و نیمه خشک، بیانگر استقرار ضعیف بذر محصولات کاشته شده در این مناطق است که اصلی‌ترین علت کاهش عملکرد در این مناطق را توجیه می‌کند. عملکرد پایین برخی از محصولات، بعلاوه کافی نبودن بذرهای جوانه‌زده، سبز شدن کند و سرانجام حساسیت گیاهان سبز شده در برابر خشکی، آفات و بیماری‌هاست. در چنین شرایطی کشاورزان می‌توانند به خوبی از پرایمینگ بذر برای بهبود استقرار و رشد و نمو محصولات استفاده کنند (هریس، ۱۹۹۶).

### ۲-۵- پرایمینگ

تاریخچه پرایمینگ بذر از دهه ۱۹۷۰ میلادی، یعنی از هنگامی که این واژه مصطلح شد، آغاز می‌گردد. پرایمینگ بذر، روش آبدی کنترل شده‌ای است که با خشک کردن مجدد همراه می‌گردد.

به بیان دیگر، پرایمینگ بذر، جذب آب به منظور راه‌اندازی وقایع ابتدایی و آغازین جوانه‌زنی که با خشک کردن بذر دنبال می‌گردد، تعریف می‌شود. ولی، جذب آب آن قدر کافی نیست که بیرون زدن ریشه‌چه را امکان‌پذیر سازد (هیدکر و گیبینز، ۱۹۸۷).

پرایمینگ بذر با مواد مختلف، از سال‌ها قبل شروع و تیمار بذر برای افزایش سرعت و یکنواختی سبز شدن در تعدادی از سبزیجات، گل‌ها و گیاهان زراعی مورد استفاده قرار گرفته است (اشرف و فولاد، ۲۰۰۵). پرایمینگ بذر دوره کاشت تا استقرار گیاهچه را کوتاه‌تر می‌کند و صدمات ناشی از قرارگیری بذر در شرایط محیطی نامساعد را کاهش می‌دهد (عباس‌دخت و بیگی، ۱۳۹۴). پرایمینگ با از بین بردن موانع جوانه‌زنی، جوانه‌زنی همزمان و سریع‌تر بذر را موجب می‌شود (هیدکر و گیبینز، ۱۹۸۷). این تکنیک بنیه بذر و سبز شدن هم‌زمان بذر را و در نتیجه استقرار گیاهان زراعی را در مزرعه افزایش می‌دهد (راش، ۱۹۹۱). اثرات غیر مستقیم پرایمینگ بر رشد و سرعت آن، بیش از اثرات مستقیم آن است. در زمان انجام پرایمینگ، بذر را نباید در درون آب جوانه بزیند و قبل از ظهور ریشه‌چه باید آنها را از آب خارج کرد، زیرا بذرهایی که در زمان عملیات پرایمینگ جوانه می‌زنند، پس از خشک شدن قادر به جوانه‌زنی نخواهند بود (هریس و همکاران، ۲۰۰۱ a، ۱۹۹۹).

شرایط مطلوب پرایمینگ، برای بذرهای مختلف متفاوت است. اثر سودمند پرایمینگ، پس از خشک کردن بذر نیز برای یک دوره زمانی باقی می‌ماند. ذخیره بذرهای فلفلی که پرایم شده بود، برای مدت یک سال تاثیر معنی‌داری را بر سرعت و درصد جوانه‌زنی در مقایسه با بذرهای شاهد نداشت. ولی، ذخیره سازی این بذرها به مدت دو سال یا بیشتر، پارامترهای ذکر شده را به صورت معنی‌داری افزایش داد (آرتون و فاروق، ۱۹۸۳). به هر حال، یکی از مهمترین سودمندی‌های بذرهای پرایم نسبت به بذرهای غیر پرایم، طول عمر بالاتر آنها است.

## ۲-۵-۱- مفهوم فیزیولوژیک و بیوشیمیایی پرایمینگ بذر

در بذرهایی که پرایم می‌شوند، برخی از تغییرات متابولیکی و بیوشیمیایی به نفع جوانه‌زنی تحقق می‌یابد. برای مثال، در این بذرها بخشی از پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها بر اثر آنزیم‌ها و واکنش‌های

هیدرولیزکننده پس از شکسته شدن آماده شرکت در جوانه‌زنی می‌شوند. این مساله می‌تواند توجیهی برای تسریع جوانه‌زنی و کاهش متوسط زمان جوانه‌زنی باشد.

در بذرهایی که پرایمینگ شده‌اند، نشت متابولیت‌ها کمتر است. تغییرات فیزیولوژیک نیز در بذرهایی پرایمینگ شده مشاهده شده است. به‌عنوان مثال، بخشی از آندوسپرم بذرها در طول پرایمینگ هیدرولیز می‌شود و رشد سریع‌تر جنین را موجب می‌گردد. همچنین در این روش، افزایش انعطاف‌پذیری دیواره سلول نیز گزارش شده است. اعتقاد بر این است که جذب آب توسط بذر تا مرحله دوم، نسخه برداری اولیه DNA، افزایش سنتز RNA و پروتئین (فو و همکاران، ۱۹۸۸) و قابلیت دسترسی بیشتر به ATP (مازور و همکاران، ۱۹۸۴) را موجب می‌گردد. همچنین، بررسی‌ها حاکی از آن است که ترمیم بخش‌های زوال یافته بذر، در طول فاز جذب آب، رخ می‌دهد. مهم این است که این تغییرات برگشت‌ناپذیر هستند و پس‌ابیدگی بعدی را که بعد از پرایمینگ رخ می‌دهد، تحمل می‌کنند (اکرم قادری و همکاران، ۱۳۹۰).

غلظت پروتئین‌ها در زمان پرایمینگ افزایش می‌یابد و میزان آنها پس از خشک شدن بذر نیز حفظ می‌شود (هریس و همکاران، ۲۰۰۱ a). افزایش میزان آمینواسیدها بر اثر پرایمینگ، ممکن است باعث آزاد شدن این آمینواسیدها از ذخایر پروتئینی باشد. افزایش سنتز پروتئین‌ها در شرایط پرایمینگ با افزایش جوانه‌زنی بذر پرایم شده افزایش می‌یابد. کمیت و کیفیت پروتئین‌های سنتز شده در زمان جوانه‌زنی بذرهایی پرایم و غیر پرایم متفاوت است. البته، در برخی از موارد نتایج متناقضی نیز گزارش شده است. در گیاه نخود فرنگی افزایش معنی‌داری در سنتز پروتئین در بذرهایی پرایم شده نسبت به بذرهایی غیر پرایم دیده نشد. در فرآیند پرایمینگ، غلظت اسیدهای نوکلئیک افزایش می‌یابد و مقدار آن پس از خشک کردن بذر نیز در سطح بالا باقی می‌ماند. همزمان با افزایش محتوای اسیدهای نوکلئیک، افزایش RNA بیش از DNA است. به هر حال، در زمان جوانه‌زنی، میزان و سرعت سنتز DNA در بذرهایی پرایم شده به‌طور معنی‌داری بیشتر از بذرهایی غیر پرایم بود (هریس و همکاران، ۲۰۰۱ a).

افزایش شماری از آنزیم‌ها طی فرآیند پرایمینگ ثابت شده است (عباس دخت، ۱۳۹۵). والترز و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که پرایمینگ کوچکتر شدن و پراکندگی چربی‌ها را در سیتوپلاسم کوتیلدون آفتابگردان موجب می‌شود. همچنین افزایش فعالیت هیدرولیزی تجزیه اسیدهای چرب در زمان پرایمینگ گزارش شده است. این آنزیم‌ها مسئول دگرگونی لیپیدها به اسیدهای چرب پالمیتیک، اولئیک و لینولئیک هستند. در زمان پرایمینگ، تمامی اسیدهای استری، غلظت بالای دارند (فرانسیس و کولبر، ۱۹۸۸). در کل، فعالیت آنزیم‌ها در فاز تاخیری جوانه‌زنی افزایش می‌یابد. افزایش این آنزیم‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک را در زمان پرایمینگ موجب می‌شوند تا رویدادهای مرتبط با جوانه‌زنی به‌طور نرمال و پی در پی صورت گیرد. افزایش فعالیت‌های تنفسی بذر و میزان سوپراکسیدازها، دیسموتاز، کاتالاز و گلوکاتیون ریدوکتاز به‌وسیله پرایمینگ بذر ثابت شده است

#### ۲-۵-۲- عوامل موثر بر پرایمینگ بذر

عواملی که بر پرایمینگ بذر مؤثر هستند، عبارتند از: ۱- شرایط محیط اطراف (دما و نور) در طول فرآیند آگیری، ۲- نوع (انواع) ماده به کار گرفته شده جهت پرایمینگ، ۳- قابلیت دسترسی به اکسیژن، ۴- مدت زمان تیمار، ۵- کنترل آلودگی میکروبی ۶- و چگونگی خشک شدن بذر (اکرم قادری و همکاران، ۱۳۹۰).

#### ۲-۵-۳- تأثیر پرایمینگ بذر بر جوانه‌زنی، استقرار و یکنواختی سبز شدن

گزارش‌های بسیار زیادی حاکی از بهبود رفتار جوانه‌زنی و شاخص‌های مربوط به آن، اعم از متوسط زمان جوانه‌زنی، بنیه بذر، طول ریشه، طول ساقچه، نرخ جوانه‌زنی و استقرار اولیه در بذرهای پرایم شده است (پارا و کانتلیف، ۱۹۹۴). از نتایج بسیار مثبت پرایمینگ، کاهش مدت زمان مورد نیاز برای جوانه‌زنی است. پرایمینگ بذر گندم، میانگین زمان جوانه‌زنی برای ۵۰٪ از بذر را از ۵۱ ساعت به ۲۷ ساعت (۴۷٪) کاهش داد (هریس و همکاران، ۲۰۰۱ b). بذرهای خشک شده پس از پرایمینگ، توانایی سبز شدن بالاتری نسبت به بذرهای غیر پرایم داشتند.

## ۲-۵-۴- تأثیر پرایمینگ بذر بر فعالیت‌های متابولیک بذر

اثرات مثبت پرایمینگ مانند افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، افزایش طول ریشه‌چه، کلئوپتیل و گیاهچه، به علت تغییرات متابولیک خاص القایی در بذر با شروع جذب آب است. جذب آب مجدد، فرآیندهای اصلی سلولی مانند سنتز اسیدهای نوکلئیک، تحریک فعالیت RNA و در نتیجه پروتئین سازی، ترمیم غشای سلولی و افزایش هورمون‌های محرک جوانه‌زنی، از جمله اتیلن، تولید ATP، تجمع استرول‌ها و فسفولیپیدها، فعال سازی ترمیم DNA و مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی (متابولیسم پیش جوانه‌زنی) را موجب می‌شود. مجموعه این عوامل مقدمات جوانه‌زنی را فراهم می‌آورند (لانتری و همکاران، ۱۹۹۴؛ بالسترزی و همکاران، ۲۰۱۱؛ کوردابا-کانرو و همکاران، ۲۰۱۴). پرایمینگ بذر گوجه فرنگی، بیان بتا-توبولین را تحریک می‌کند که نقش مهمی را در چرخه سلولی دارد (دی کاسترو و همکاران، ۱۹۹۵). در بذرهای گوجه فرنگی و فلفل، همبستگی مثبتی بین همانندسازی DNA و اثر مفید تیمار اسمزی یافت شد (لانتری و همکاران، ۱۹۹۴؛ ازبینگال و همکاران، ۱۹۹۸). پرایمینگ بذر نخود فرنگی مانع برخی از صدمات کروموزومی ناشی از پیری شده یا صدمات ژنتیکی ناشی از پیری را ترمیم می‌کند (سیوریتپ و دورادو، ۱۹۹۵). همه مسیرهای ترمیم DNA طی مرحله اولیه آبنوشی فعال می‌شوند تا یکپارچگی ژنوم را حفظ کنند (بالسترزی و همکاران، ۲۰۱۱؛ کوردابا-کانرو و همکاران، ۲۰۱۴). پرایمینگ، سنتز DNA هسته‌ای را در سلول‌های نوک ریشه‌چه گوجه فرنگی (لیو و همکاران، ۱۹۹۷) و چندین گونه دیگر مانند فلفل (لانتری و همکاران، ۱۹۹۳)، ذرت (گارسیا و همکاران، ۱۹۹۵) و تره فرنگی (اشرف و بری، ۱۹۹۳؛ کلارک و جیمز، ۱۹۹۱) تحریک کرد. آنزیم‌هایی مانند آمیلازها، پروتئازها و در بعضی موارد، لیپازها نقش حیاتی در رشد و نمو اولیه جنین ایفا می‌کنند. پرایمینگ، فعالیت این آنزیم‌ها را در بذر در حال جوانه‌زنی گونه‌های گیاهی مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد. تولید آلفا و بتا آمیلاز طی پرایمینگ، ممکن است استفاده از مواد ذخیره‌ای را برای مسیر تنفس و بیوسنتز ماکرومولکول‌ها تسهیل کنند (دی لسپینای و همکاران، ۲۰۱۰). علاوه بر آن، بعضی از آنزیم‌های واقع در غشای پلاسمای دخیل در انتقال یون (ATPase) یا

انتقال سیگنال برای جوانه‌زنی نیز طی پرایمینگ فعال می‌شوند (یانگ و وانگ، ۲۰۰۵؛ ژیو و همکاران، ۲۰۰۹). قرار گرفتن گیاهان در معرض تنش خشکی، اغلب به تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) منجر می‌شود (فاروق و همکاران، ۲۰۰۹). گونه‌های اکسیژن فعال از طریق پراکسیداسیون لیپید، تجزیه پروتئین و شکستن DNA به شدت به گیاه آسیب می‌رساند و در نهایت مرگ سلول را موجب می‌شود (بلیگنی و لاماتینا، ۱۹۹۹). با این حال، فعال کردن بهتر سیستم آنتی‌اکسیدانی، توانایی تحمل گیاه را در محیط‌های مستعد تنش فراهم می‌کند. در این سیستم چندین آنزیم مانند سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و گلووتاتیون ردوکتاز، غشاها را از اثرات مضر ROS حفاظت می‌کند (هاسگاوا و همکاران، ۲۰۰۰؛ فاضلی و همکاران، ۲۰۰۷) مهار بالاتر ROS طی مرحله اول آبنوشی ممکن است از سنتز mRNA در طول پرایمینگ با توجه به پروتئین‌های آن و یا سنتز آنزیم‌های مهار کننده ROS در طول آبنوشی بعدی ناشی شده باشد. فعالیت بذر از نظر مهار ROS به‌عنوان پتانسیل آنتی‌اکسیدانی بذر، یک نیاز حیاتی برای مقاومت در برابر تنش و بهبود جوانه‌زنی بیان می‌شود (لیو و همکاران، ۲۰۰۷). این کارکردهای محافظتی طی تیمار پرایمینگ فعال می‌شود و به بذر اجازه می‌دهد تا از طریق تغییرات اصلی فیزیولوژیک و متابولیک معمول مرحله قبل از جوانه‌زنی تا اولین تقسیم سلولی انجام گیرد و راه را برای افزایش جوانه‌زنی و سرعت رشد گیاهچه به هنگام کاشت بذر هموار کند. گزارش‌های متعددی وجود دارد که بر اساس آنها فعالیت این آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی توسط پرایمینگ افزایش می‌یابد (اقبال و اشرف، ۲۰۰۷؛ چن و آرورا، ۲۰۱۳). پرایمینگ به‌طور قابل توجهی مهار ROS را در طول اولین ساعت آبنوشی بهبود می‌بخشد. این سرعت پایین‌تر پراکسیداسیون، ممکن است به‌دلیل کارایی بالاتر سیستم آنتی‌اکسیدانی در بذرهای پرایمینگ شده باشد. برخی محققین گزارش کردند که پرایمینگ باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت از قبیل گلووتاتیون ریداکتاز و آسکوربات پراکسیداز در بذر می‌گردد که این آنزیم‌ها میزان پراکسیداسیون لیپید را در طی جوانه‌زنی کاهش می‌دهند و در نتیجه باعث افزایش درصد جوانه‌زنی می‌شوند (یاه و همکاران، ۲۰۰۵).

## ۲-۵-۵- تأثیر پرایمینگ بذر بر متابولیسم انرژی

فعال سازی تنفس و تولید سریع ATP به نظر می رسد که از رویدادهای اولیه متابولیک تحریک شده توسط جوانه زنی اولیه، ناشی می شود (ویتبر چت و همکاران، ۲۰۱۱). یک مبنای منطقی می تواند این باشد که پرایمینگ، توسعه کارآمد میتوکندری را آغاز می کند. دو نوع توسعه میتوکندری وجود دارد: ۱- ترمیم و فعال سازی مجدد میتوکندری هایی که از قبل موجود است و ۲- زیست زایی میتوکندری های جدید. هر دو نوع می تواند طی پرایمینگ تحریک شود. غشاهای داخلی و بیرونی بذرها پرایمینگ شده یکپارچگی بیشتری در مقایسه با بذرها شاهد داشتند. در پیاز تره کوهی مشاهده شد که جنین اسموپرایمینگ شده، دارای تعداد بیشتری میتوکندری است (بری، ۱۹۹۵). احتمال دارد که طولانی تر شدن مرحله دوم جذب آب، به دلیل پرایمینگ، توسعه کارآمد میتوکندری را از طریق توسعه متابولیسم انرژی بهبود بخشد. در نتیجه، بذرها اسموپرایم با مخزن ATP بیشتر و سیستم تولید ATP کارآمدتر، برای جوانه زنی بعد از پرایمینگ، بهتر مجهز می شوند (چن و آروا، ۲۰۱۳).

## ۲-۵-۶- تأثیر پرایمینگ بذر بر افزایش محصول دانه و بیوماس

بذرها پرایم شده پس از قرار گرفتن در بستر خود، زودتر جوانه می زنند و در پی آن، استقرار گیاهان حاصل از آنها سریع تر، بهتر و در عین حال یکنواخت تر انجام می پذیرد. گیاهان حاصل پرایمینگ در مقایسه با گیاهان حاصل از بذرها تیمار نشده در زمان کوتاه تری سیستم ریشه ای خود را گسترش می دهند و با جذب مطلوبتر آب و مواد غذایی و تولید بخش های سبز فتوسنتز کننده به مرحله اتوتروفی می رسند. تحقق این شرایط به لحاظ زیستی و اکولوژیک موقعیت ویژه ای را به گیاهان حاصل از بذرها پرایم شده می دهد. به طوری که این وضعیت، امکان بهره برداری مناسب تر از نهاده های محیطی مثل آب، نور و غیره را برای گیاه فراهم می کند. در این شرایط، ممکن است توانایی ذاتی گیاه جهت برتری در رقابت با گیاهان دیگر نیز به لحاظ ویژگی های اکولوژیک حاکم بر این روابط ارتقا یابد. برآیند این موارد در نهایت می تواند به افزایش مدت و سطح فتوسنتز کننده در این گیاهان

منجر گردد. متعاقب این امر، میزان تثبیت دی‌اکسیدکربن، آسیمیلات تولیدی و همین طور ذخیره هیدروکربن‌های غیر ساختاری در اندام‌های مختلف گیاه افزایش می‌یابد و در نتیجه، بیوماس تولیدی بیشتر می‌شود. از آنجایی که بین بیوماس و ذخایر غذایی موجود در پیکره گیاه با تخصیص و قدرت زایشی، ارتباط تنگاتنگی برقرار است، بنابراین، در گیاهان مورد بحث، به شرط عدم وجود محدودیت مخزن، محصول دانه در مقایسه با تیمار شاهد افزایش خواهد یافت (فینرتی و همکاران، ۱۹۹۲).

پرایمینگ بذر کلزا افزایش قابل ملاحظه تعداد غلاف‌های حاوی دانه را موجب گردید. همین طور، تأثیر پرایمینگ بر تعداد دانه در غلاف نیز معنی‌دار بود و سبب افزایش دانه در غلاف گردید. در مجموع عملکرد دانه و بیوماس به‌دست آمده از کاشت بذره‌های پرایم شده کلزا به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد (عباس‌دخت، ۱۳۹۵). کاربرد پرایمینگ بذر در ذرت علاوه بر افزایش عملکرد دانه و بیوماس، به بهبود کیفیت غذایی دانه نیز منجر می‌شود (عباس‌دخت و عدالت پیشه، ۱۳۸۷).

#### ۲-۵-۷- تأثیر پرایمینگ بذر بر زودرسی

یکی از نتایج بسیار متداولی که از پرایمینگ بذر حاصل می‌شود، زودرسی و یا پیش‌اندازی دوره‌های خاصی از چرخه حیاتی گیاه مثل شروع گلدهی، دانه‌بندی، پرشدن دانه‌ها، پنجه‌زنی و غیره است. ارقام دیررس ذرت تحت تأثیر پرایمینگ بذر، ۱۲ روز زودتر قابل برداشت می‌شوند (خان، ۱۹۹۲).

#### ۲-۵-۸- تأثیر پرایمینگ بذر بر بهبود کارایی مصرف آب

میزان رطوبت موجود در بستر بذر، به ویژه بذرهایی که در بهار جوانه می‌زنند در سطح بالایی قرار دارد. رطوبت خاک بیشتر از دو طریق تبخیر و تعرق تخلیه و به‌صورت بخار وارد اتمسفر می‌شود. در ابتدای فصل رشد، به علت تراکم کم پوشش گیاهی، مقدار تبخیر روزانه از سطح خاک در مقایسه با تعرق بسیار زیاد است. بنابراین، مقدار زیادی از رطوبت خاک، بدون اینکه توسط گیاه مورد استفاده قرار گیرد از دسترس خارج می‌شود. بر اثر کاربرد بذره‌های پرایم شده، مدت زمان جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. در پی آن، گسترش تاج پوشش گیاهی، در مزرعه

حاصل از کاشت بذره‌های پرایم شده سریع‌تر رخ می‌دهد. این امر، در کنار جوانه‌زنی یکنواخت‌تر موجب می‌شود تا سهم تعرق از تخلیه رطوبتی افزایش یابد. از آنجایی که برخلاف تبخیر، تعرق رابطه نزدیکی با تولید آسیمیلات و فتوسنتز دارد، بنابراین، این امر بهبود بهره‌برداری از رطوبت خاک توسط گیاهان استقرار یافته از بذره‌های پرایم شده را موجب می‌شود (چانگ و سونگ، ۱۹۹۸).

## ۲-۵-۹- تأثیر پرایمینگ بذر بر کاهش خسارات ناشی از عوامل بیماری‌زا

پرایمینگ بذر بر کاهش خسارات ناشی از عوامل بیماری‌زا تاثیر مثبتی دارد. بذره‌های پرایم شده زودتر جوانه می‌زنند و مراحل مختلف زیستی خود را نیز سریع‌تر طی می‌کنند. این امر، می‌تواند تطابق طبیعی عوامل زنده تنش‌زا را با مراحل فنولوژیک گیاه هدف تغییر دهد و در نتیجه به هنگام طغیان عوامل بیماری‌زا خسارت وارده به گیاهان استقرار یافته ناشی از بذره‌های پرایم شده کاهش یابد (هریس و همکاران، ۲۰۰۱ a,b). طی مطالعه دو ساله روی بذر پرایم شده نخود مشخص شد که پوسیدگی یقه و طوقه ریشه در گیاهان حاصل از کاشت بذره‌های پرایم شده، به‌طور معنی‌داری کمتر است (موسی و همکاران، ۲۰۰۱).

## ۲-۵-۱۰- تأثیر پرایمینگ بذر بر افزایش رقابت گیاه زراعی با علف‌های هرز

علف‌های هرز از عوامل خسارت‌زا در محیط‌های کشاورزی هستند که علاوه بر رقابت با محصولات کشاورزی و ایجاد آلودگی، پناهگاه و محل نشو و نمای آفات و بیماری‌های مختلف نیز محسوب می‌شوند. تاثیر رقابت علف‌های هرز در اوایل فصل رشد چشم‌گیرتر است، زیرا تاثیر بازدارنده مقادیر ناکافی آب و مواد غذایی در این مرحله، بر رشد بیشتر است. صفاتی که ارتباط نزدیکی با قدرت رقابت‌پذیری گیاه زراعی در برابر علف‌های هرز دارند سرعت رشد اولیه، ارتفاع، بیوماس اولیه گیاه زراعی (نی و همکاران، ۲۰۰۰) و بنیه اولیه را شامل می‌شود که از طریق جوانه‌زنی سریع‌تر و بالاتر بذره‌های پرایمینگ شده می‌تواند حاصل شود. بذره‌های پرایم شده، پس از قرار گرفتن در بستر خود، زودتر جوانه زده و استقرار بهتر و یکنواخت‌تری دارند. در واقع، چنین گیاهانی در مقایسه با گیاهان بوجود آمده از بذره‌های پرایم نشده، در زمان کوتاه‌تری سیستم ریشه‌ای خود را گسترش می‌دهند و با

جذب مطلوب‌تر آب و مواد غذایی و تولید بخش‌های سبز فتوسنتز کننده، سریع‌تر به مرحله اتوتروفی می‌رسند. تحقق این شرایط، به لحاظ زیستی و اکولوژیک، موقعیت ویژه‌ای را به گیاهان حاصل از بذرهای پرایم شده می‌دهد. به طوری که این وضعیت بهره‌برداری مناسب‌تر از نهاده‌های محیطی مثل آب، نور و غیره را ممکن می‌سازد.

انوار و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر مثبت پرایمینگ بذر بر قدرت رقابتی برنج در برابر علف‌های هرز را در شرایط کشت مستقیم مشاهده کردند. جوایمی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که پرایمینگ بذر، توانایی سرکوب علف‌های هرز و عملکرد برنج را بهبود بخشید به طوری که وزن خشک علف‌های هرز به علت پرایمینگ، ۲۲ تا ۲۷ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت.

## ۲-۵-۱۱- تأثیر پرایمینگ بذر بر بهبود جذب مواد غذایی توسط گیاهان

گیاهان حاصل از پرایمینگ به علت رشد اولیه سریع‌تر، نیتروژن بیشتری را از خاک جذب می‌کنند. پرایمینگ بذر با عناصر کم مصرفی مانند مولیبدن و روی، محتوای این عناصر را در بذرهای پرایم افزایش داد (فاروق و همکاران، ۲۰۱۲).

## ۲-۶- انواع پرایمینگ بذر

پرایمینگ بذر دارای انواع مختلفی است که از آن جمله، می‌توان به هیدروپرایمینگ، هیدروترمال پرایمینگ، درام پرایمینگ، هاردنینگ پرایمینگ، اسمو پرایمینگ، هالو پرایمینگ، ماتریک پرایمینگ، ترموپرایمینگ، هورمون پرایمینگ، بیوپرایمینگ، ویو پرایمینگ (ری پرایمینگ)، نوترینت پرایمینگ و... اشاره کرد.

## ۲-۶-۱- هیدرو پرایمینگ و هیدروترمال پرایمینگ

پرایمینگ بذر در مزرعه، دارای هزینه پایینی است که خیساندن بذر قبل از کاشت در آب را شامل می‌شود. این نوع تیمار بذر، به هیدرو پرایمینگ معروف است. این امر، اگر در دمای مشخصی و به منظور هدفی خاصی صورت گیرد، هیدروترمال پرایمینگ گفته می‌شود. هیدروپرایمینگ به دلیل کم هزینه بودن، به صورت وسیع‌تر و ساده‌تری قابل اجرا است. در هیدرو پرایمینگ، بذرها برای یک مدت

زمان از قبل مشخص شده، در آب مقطر قرار می‌گیرند و سپس تا حد برگشت به رطوبت اولیه خود خشک می‌شوند و برای استفاده تا زمان کاشت ذخیره گردند (مک‌دونالد و همکاران، ۲۰۰۵).  
هیدروترمال پرایمینگ، افزایش میزان DNA در سلول‌های مریستمی ریشه‌چه را نیز موجب می‌گردد (لانتری و همکاران، ۱۹۹۴).

#### ۲-۶-۲-۲- درام پرایمینگ

هیدرو پرایمینگ می‌تواند با چرخاندن دانه‌ها در یک محفظه با مقدار معینی آب انجام گیرد که رطوبت مناسبی را برای جذب آنها ایجاد می‌کند (وارن و همکاران، ۱۹۹۷). این فرآیند درام پرایمینگ (پرایمینگ بشکه‌ای) نامیده می‌شود که توسط راوس (۱۹۹۶)، ثبت شده است. درام پرایمینگ به سرعت در سرتاسر جهان مورد استقبال قرار گرفته است، زیرا به‌طور تجاری، حجم بالایی از بذرها را می‌توان به سرعت تیماردهی کرد (اشرف و فولاد، ۲۰۰۵).

#### ۲-۶-۲-۳- هاردنینگ پرایمینگ (مقاوم سازی به خشکی)

مقاوم‌سازی به خشکی شباهت زیادی به هیدرو پرایمینگ دارد. این نوع پرایمینگ نیز موجب می‌شود تا جذب آب به آهستگی صورت گیرد و صدمات ناشی از جذب سریع آب در بذر کاهش یابد. در این روش، خشک کردن مجدد بذر و برگرداندن وزن آن به ۳۰٪ تا ۷۰٪ وزن خشک اولیه، می‌تواند تاثیر بسزایی را در بهبود جوانه‌زنی و استقرار گیاه داشته باشد. هاردنینگ یا مقاوم سازی بذر، می‌تواند در محلول‌هایی با پتانسیل اسمزی پایین‌تر نیز انجام گیرد که با اضافه کردن نمک به آب حاصل می‌شود. در این صورت، به آن‌ها هاردنینگ گفته می‌شود (قائدی‌ارجنکی و همکاران، ۱۳۹۳).  
در هاردنینگ پرایمینگ، گیاهچه‌های حاصل از بذرها پرایم نسبت به بذرها غیر پرایم مقاومت به خشکی افزایش می‌یابد.

#### ۲-۶-۲-۴- اسمو پرایمینگ

اسمو پرایمینگ فرآیند خیساندن بذر در معرض هوا با استفاده از پتانسیل اسمزی پایین، به‌منظور کنترل مقدار آب جذب شده است. از جمله محلول‌های به کار رفته می‌توان به پلی اتیلن گلیکول،

اسید سیتریک، اسید فوماریک، اسید سوکسینیک، اسید مالیک، پورین‌ها و پریمیدین‌ها، کافئین، اوراسیل، گزانتین و یوریدین‌دی‌سولفات، قندها، سوربیتول، مانیتول و دیگر ترکیبات نمکی با وزن مولکولی بالاتر اشاره کرد (اوسبورن و شروس، ۱۹۸۹). پلی اتیلن گلیکول، مناسب‌ترین ترکیب اسموتیک است. مزیت مهم روش اسمو پرایمینگ این است که پایین‌تر بودن پتانسیل اسمزی در محلول‌های مورد استفاده، اجازه جذب سریع آب را به‌وسیله بذر نمی‌دهد و موجب می‌شود تا بذر به آهستگی آب را جذب کند و در نتیجه، صدمات ناشی از جذب سریع آب کاهش یابد (عباس‌دخت، ۱۳۹۵).

#### ۲-۶-۵- هالو پرایمینگ

. هالو پرایمینگ قرار دادن بذر در محلول‌های معدنی مثل نیترات پتاسیم، کلرید سدیم، کلرید پتاسیم، کلرید کلسیم، سولفات سدیم، سولفات منیزیم، تعریف می‌گردد. این نوع پرایمینگ، بویژه در زمانی که بذر در خاک‌های شور کشت می‌شود مورد استفاده قرار می‌گیرد. نیترات پتاسیم ( $KNO_3$ ) پر مصرف‌ترین ماده شیمیایی برای افزایش جوانه‌زنی بذرها است. استفاده از محلول ۰/۱ تا ۰/۲ درصد نیترات پتاسیم برای آزمایش‌های جوانه‌زنی بسیاری از گونه‌ها توصیه شده است.

#### ۲-۶-۶- ماتریک پرایمینگ

روش دیگری از پرایمینگ، استفاده از بسترهای جامد با پتانسیل ماتریکی پایین است. فرآیندی که ماتریک پرایمینگ نامیده می‌شود. این تیمار، استفاده از مخلوطی از مواد ماتریکس جامد، آب و بذر برای کنترل آب، اکسیژن و اثرات دمایی بر جوانه‌زنی را شامل می‌شود (اشرف و فولاد، ۲۰۰۵). از ترکیباتی که در ماتریک پرایمینگ کاربرد دارند، می‌توان به ورمیکولیت، شن، پیت، سلیت، ترکیب سیلیسی دیاتومه‌ها، سلیت میکروسول که از فرآورده‌های سیلیکات هستند، زغال سنگ، زغال چوب، خاک اره، مواد تجاری مانند اگرو-لیگا و نیز زونولیت که نوعی ورمیکولیت است اشاره کرد. ماتریک پرایمینگ، تقلیدی از فرآیند طبیعی آبنوشی دانه از ذرات خاک است. ماتریک پرایمینگ آبگیری بذر را به‌وسیله پتانسیل ماتریک ایجاد شده به‌وسیله سطوح جاذب و نیروی ادهیژن کنترل می‌کند

(هاداس، ۱۹۸۲). نتایج حاصل از بررسی‌های مختلف نشان می‌دهد که ماتریک پرایمینگ یک روش مفید برای بهبود کیفیت بذرهای پیر و فرسوده است (کیزینسکا و همکاران، ۲۰۰۳).

#### ۲-۶-۷- ترموپرایمینگ

جوانه‌زنی بذر، مانند سایر مراحل رشد و نمو گیاه، به‌صورت گسترده تحت تاثیر دما قرار می‌گیرد. تیمار بذر قبل از کاشت با دماهای پایین یا بالا، می‌تواند اثر مثبتی را بر سرعت و درصد نهایی جوانه‌زنی داشته باشد. بنابراین، ترموپرایمینگ بذر قبل از کاشت با دماهای پایین و بالا، بهبود جوانه‌زنی و سبز شدن را در شرایط محیطی مختلف موجب می‌گردد (عباس دخت، ۱۳۹۵). فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در جوانه‌زنی بذر، با خیساندن آن در آب گرم (۵۰ درجه سانتی‌گراد) افزایش می‌یابد (لین و سانگ، ۲۰۰۱).

#### ۲-۶-۸- هورمون پرایمینگ

خیساندن بذر در غلظت‌های مناسبی از هورمون‌های رشد گیاهی، بهبود جوانه‌زنی، رشد بهتر و عملکرد بیشتر در گونه‌های مختلف گیاهی را در شرایط محیطی نرمال و تنش موجب می‌شود. هورمون‌های رشد همچون سیتوکینین‌ها، اکسین‌ها، جیبرلین‌ها، کینین‌ها، اسید آبسزیک، اتیلن، اسید سالسیلیک، اسید اسکوربیک و ... به‌صورت معمول برای پرایمینگ بذر استفاده می‌شوند (هورلی و همکاران، ۱۹۹۱؛ لی و همکاران، ۱۹۹۸؛ اکرم قادری و همکاران، ۱۳۹۰).

#### ۲-۶-۹- بیوپرایمینگ

در این روش می‌توان قارچ‌ها یا باکتری‌ها مفید را قبل از کاشت به بذر اضافه کرد. وقتی که به‌طور عمدی میکروب‌ها به محلول پرایمینگ اضافه می‌شوند، واژه بیوپرایمینگ به کار برده می‌شود. استرین‌های عمده مورد استفاده برای بیوپرایمینگ، به جنس‌های تریکودراما، انتروباکتر، پسودوموناس و باسیلوس تعلق دارند (نیرانجان راج و همکاران، ۲۰۰۴). پوشش بذر یونجه با باکتری ریزوبیوم سبب گره‌زایی سریع‌تر در گیاهچه‌ها می‌گردد (هوریکاوا و اوتسوکا، ۱۹۹۵). باکتری‌های ریزوبیوم که افزایش گره‌بندی ریشه و تثبیت نیتروژن را سبب می‌شوند از دیرباز در قالب پوشش بذر استفاده شده‌اند. تاثیر

مثبت این باکتری‌ها همراه با باکتری‌های دیگر از قبیل باسیلوس و پseudomonas ها در یونجه به اثبات رسیده است و افزایش عملکرد را موجب می‌شود (عباس‌دخت و غلامی، ۲۰۱۰).

#### ۲-۶-۱۰- نوترینت پرایمینگ

برخی از بررسی‌ها نشان داده‌اند که پرایمینگ بذر با عناصر ماکروالمنت و میکروالمنت تاثیر مثبتی را بر بهبود جوانه‌زنی بذر دارند. نوترینت پرایمینگ تکنیکی است که به وسیله آن بذر گیاهان مختلف در محلول‌های حاوی عناصر غذایی به مدت مشخصی قرار می‌گیرند و پس از خارج کردن آنها از محلول عناصر غذایی، رطوبت آنها را به رطوبت اولیه می‌رسانند. کاربرد تکنیک نوترینت پرایمینگ، بهبود جوانه‌زنی و استقرار گیاهان و متعاقب آن بهبود وضعیت عناصر غذایی را در اندام‌های گیاه و عملکرد موجب می‌شود (هریس و همکاران، ۲۰۰۵).

#### ۲-۶-۱۱- ویو پرایمینگ با پرتو گاما و امواج پلاسما

پرتوهای گاما که از انواع پرتوهای الکترومغناطیسی به شمار می‌روند، به دلیل دارا بودن طول موج کوتاه‌تر، انرژی و نفوذپذیری بیشتری را نسبت به پرتو ایکس دارند (جامبرک و همکاران، ۲۰۰۸). پلاسما به گاز یونیزه شده‌ای اطلاق می‌شود که همه یا بخش قابل توجهی از اتم‌های آن یک یا چند الکترون از دست داده و به یون‌های مثبت تبدیل شده باشند. پلاسما می‌تواند شامل یون‌های مثبت، الکترون، اتم و یا مولکول‌های گاز خنثی، امواج فرابنفش، رادیکال‌های آزاد، اتم‌ها و مولکول‌های برانگیخته باشد (فرناندز و همکاران، ۲۰۱۰؛ فرناندز و همکاران، ۲۰۱۱). پیش تیمار بذر با پلاسما باعث ضد عفونی بذر و غیر فعال‌سازی میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا می‌گردد (سلکوک و همکاران، ۲۰۰۸؛ فیلاتووا و همکاران، ۲۰۰۹). جیانگ و همکاران (۲۰۱۴ a) گزارش کردند کاربرد پلاسمای سرد با توان ۸۰ وات به‌طور قابل توجهی جوانه‌زنی گندم را افزایش داد.

## ۲-۷- اثرات بیولوژیک آن

صدا انرژی آکوستیک است که به شکل یک موج فشار نوسانی است که از تحرک ذرات ماده بوجود می‌آید و هر نوع صوت دارای فرکانس خاصی می‌باشد (اوبرین، ۲۰۰۷؛ وایتینگهام و همکاران، ۲۰۰۷؛ روخین و همکاران، ۲۰۰۹). طیف امواج صوتی به صورت زیر تقسیم بندی می‌شوند:

الف)- امواج صوتی با فرکانس کمتر از ۲۰ هرتز را امواج مادون صوتی<sup>۱</sup> می‌نامند.

ب)- امواج صوتی با فرکانس بین ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز را امواج صوتی شنوایی می‌نامند.

ج)- امواج صوتی با فرکانس بیشتر از ۲۰ کیلوهرتز را امواج فراصوت<sup>۲</sup> می‌نامند.

فراصوت و مادون صوت می‌توانند با فرآیندهای حرارتی و مکانیک با بافت‌های بیولوژیکی اثر متقابل و فعل و انفعال داشته باشد (روخین و همکاران، ۲۰۰۹).

## ۲-۸- امواج التراسونیک (فراصوت)

امواج التراسونیک به امواجی گفته می‌شود که دارای فرکانسی بیشتر از بازه فرکانس شنوایی انسان هستند. بازه فرکانسی شنوایی افراد متفاوت است و با بالا رفتن سن، این بازه کاهش می‌یابد. در کل، بالاترین فرکانس شنوایی انسان در حدود ۲۰ و یا ۲۵ کیلوهرتز در نظر گرفته می‌شود. نقطه مقابل امواج مافوق صوت، امواج فروصوت یا مادون صوت هستند که دارای فرکانسی کمتر از حد پایین فرکانس شنوایی انسان (حدود ۲۰ هرتز) هستند (ماسون و پیترز، ۲۰۰۴).

## ۲-۸-۱- تجهیزات تولید امواج التراسونیک

به طور کلی، تجهیزات التراسونیک یکی از این سه نوع است: ۱- سیستم پروب یا میله‌ای (معمولا ۲۰ کیلوهرتز) ۲- حمام التراسونیک (حدود ۴۰ کیلوهرتز) ۳- مبدل التراسونیک نصب شده به یک راکتور شیشه‌ای (از ۳۰۰ تا ۱۱۰۰ کیلوهرتز). طبق تعریف به فرکانس‌های زیر ۱۰۰ کیلوهرتز، فرکانس پایین و به فرکانس‌های بیشتر از ۱۰۰ کیلوهرتز، فرکانس بالا می‌گویند. اغلب تحقیقات در فرکانس ۲۰ کیلوهرتز (سیستم میله‌ای) یا فرکانس ۴۰ کیلوهرتز (حمام التراسونیک) انجام شده است.

---

1 Infrasonic

2 ultrasound

## ۲-۸-۲- اثرات اصلی امواج التراسونیک

(الف) امواج التراسونیک، ایجاد پدیده حفرگی یا تشکیل حباب‌های بسیار ریز را موجب می‌شود. (ب) امواج التراسونیک انقباض و انبساط لحظه‌ای و نقطه‌ای را موجب می‌شود. (ج) امواج التراسونیک تولید حرارت و فشار فوق العاده زیاد را در محیط مایع موجب می‌شوند. (د) امواج التراسونیک، گرادیان فشار را در سطح گاز-مایع تحت تاثیر قرار می‌دهد. (ه) امواج التراسونیک با تولید حباب‌هایی در داخل مایعات و با ایجاد نقاط داغ، افزایش انتقال گرما و انهدام میکروارگانیسم‌ها را موجب می‌شود (ایشیموری و همکاران، ۱۹۸۱).

## ۲-۸-۳- کاربرد امواج التراسونیک در کشاورزی

این فناوری اغلب در صنایع کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد تا فرآیندهایی مانند خشک کردن، استخراج، امولسیون و ضدعفونی سازی را بهبود بخشد (ماسون و همکاران، ۲۰۰۴). امواج التراسونیک نه تنها در تیمارهای بذر، کاهش و حذف آفات و بیماری‌ها، بلکه در مهندسی ژنتیک و انتقال ژن نیز کاربرد دارند. تیمار التراسونیک، فعالیت آنزیم‌ها را موجب می‌شود (بارتون و همکاران، ۱۹۹۶). امواج التراسونیک با تولید حباب‌هایی در داخلی مایعات، نقاط داغی را ایجاد می‌کند و بدین ترتیب، افزایش انتقال گرما و انهدام میکروارگانیسم‌ها را موجب می‌شود (ساسلیک، ۱۹۹۰). بذر تربچه (*Raphanus sativus*) تیمار شده با امواج التراسونیک، افزایش سرعت جوانه‌زنی و همچنین افزایش ۱۳ الی ۱۶ درصدی طول ریشه‌چه را نسبت به شاهد نشان داد (شیمومورا، ۱۹۹۰). در مطالعه الوندیان و همکاران (۱۳۹۲)، افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی در گیاه دارویی مورد (*Myrtus communis*) با ویو پرایمینگ حاصل از امواج التراسونیک مشاهده شد. تاثیر مثبت ویو پرایمینگ با امواج التراسونیک به مدت ۲، ۴، ۶ و ۸ دقیقه بر عملکرد و اجزای عملکرد و برخی از صفات دیگر ذرت (*Zea mays*) به اثبات رسید (رجبیان و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین پرایمینگ فیزیکی با استفاده از امواج التراسونیک در تعداد زیادی از گیاهان زراعی از جمله ژوت (*Corchorus sp*) (بارتون و همکاران، ۱۹۹۶). ذرت (*Zea mays*) (هلبینگ و همکاران، ۱۹۹۵)، گندم (*Triticum aestivum*) (قیاسی و همکاران، ۲۰۰۸)،

جو (*Hordeum vulgare*) (یلداگرد و همکاران، ۲۰۰۷)، آفتابگردان (*Helianthus annuus*) (ماچیکووا و همکاران، ۲۰۱۳) و زیره سبز (*Cuminum cyminum*) (ملکی فراهانی و همکاران، ۲۰۱۵) گزارش شده است.

افزایش جذب آب و سرعت انتشار مواد (گوس و همکاران، ۲۰۱۰؛ اولسن و همکاران، ۱۹۹۵)، از بین رفتن میکروارگانیزم‌های عامل پوسیدگی بذر (اسکاتن و همکاران، ۲۰۰۲)، بالا رفتن سرعت واکنش‌های شیمیایی و افزایش فعال شدن آنزیم‌ها (یلداگرد و همکاران، ۲۰۰۷) از جمله تاثیر امواج التراسونیک می‌باشد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۲). مزیت پرایمینگ با امواج التراسونیک نسبت به سایر روش‌های متداول به دلیل کاربرد ارزان‌تر، ساده‌تر و سرعت بالاتر در اجرا و ایجاد اثرات متعدد فیزیکی و شیمیایی در بذرها در مدت زمان کوتاه کاربرد آن است. همچنین ماندگاری تاثیر پرایمینگ حاصل از آن بعد از مدت‌های زمان طولانی نسبت به سایر روش‌های پرایمینگ و تاثیر آن بر بذرها تولید شده در نسل بعدی از جمله مزیت‌های این روش برای بهبود جوانه‌زنی بذرهاست.

#### ۲-۸-۴- تاثیر امواج التراسونیک بر جوانه‌زنی بذر

در بیشتر گونه‌های گیاهی یک دوره زمانی پس از جدا شدن بذر از میوه وجود دارد که اگر بذر در شرایط معمول جوانه زدن هم قرار گیرد، جوانه‌زنی اتفاق نمی‌افتد. این دوره زمانی، دوره خواب پس از برداشت نامیده می‌شود که با بقای گونه‌ها در طی زمستان ارتباط دارد. استفاده از امواج التراسونیک در بعضی موارد و قبل از اینکه بذر خواب خود را از دست بدهد ممکن است مفید باشد. تیمارهای متعددی برای از بین بردن خواب بذر استفاده شده است و یکی از آنها التراسونیک است (هالستد و همکاران، ۱۹۶۹). گزارش‌های متعددی وجود دارد که در آنها افزایش تعداد جوانه‌زنی بذر توسط التراسونیک ذکر شده است، اما در هیچ کدام از اینها جوانه‌زنی ۱۰۰٪ حاصل نشده است. در بیشتر مطالعات، بهبود جوانه‌زنی بذور خشک در تیمارهایی که در معرض ۱۵ ثانیه تا ۱۶ دقیقه التراسونیک قرار گرفته بودند گزارش شده است.

آزمایش‌ها نشان می‌دهد که اثرات مفید التراسونیک بر جوانه‌زنی، مستقل از اثرات کاویتاسیون آن بوده و مربوط به تغییرات فرکانس از ۷۰-۱۰۰۰ کیلوهرتز است. در آزمایش‌هاستد و همکاران (۱۹۶۹)، تاثیر کاویتاسیون حاصل از کاربرد امواج التراسونیک بر جوانه‌زنی برنج وحشی مشاهده شد اما در برخی دیگر از بذور هیچ نشانه‌ای از تاثیر کاویتاسیون بر جوانه‌زنی گزارش نشد. تاثیر امواج التراسونیک در تحریک جوانه‌زنی، افزایش طول ریشه و ساقه در آفتابگردان در تیمارهای صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه و قدرت ۴۰ کیلوهرتز نشان می‌دهد که همه تیمارهای امواج التراسونیک بر روی جوانه‌زنی تاثیرگذار بوده‌اند و در بین این تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود داشته است به‌طوری‌که از شروع اعمال امواج التراسونیک، درصد جوانه‌زنی، طول ریشه و ساقه افزایش یافته و در تیمار ۱۰ دقیقه به اوج خود می‌رسد و پس از آن در تیمارهای ۱۵ و ۲۰ دقیقه شروع به کاهش نموده به‌طوری‌که در تیمار ۲۰ دقیقه به حداقل خود می‌رسد (ماچیکووا و همکاران، ۲۰۱۳). بررسی اثرات امواج التراسونیک بر قدرت و فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در جو نشان می‌دهد که اعمال التراسونیک با قدرت ۲۰ کیلوهرتز در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه بر فعالیت آلفا آمیلاز تاثیرگذار بوده است به‌طوری‌که در قدرت‌های کمتر باعث افزایش فعالیت این آنزیم شده و در قدرت‌های خیلی بالاتر و زمان‌های طولانی‌تر فعالیت آنزیم رو به کاهش گذارده است (یلداگرد و همکاران، ۲۰۰۷).

در بررسی تاثیر ربایش الکترومغناطیسی و امواج التراسونیک با قدرت ۴۲ کیلوهرتز بر جوانه‌زنی بذور کنگر فرنگی (*Cynara scolymus*) مشخص شد تیمار چهار دقیقه امواج التراسونیک بیشترین تاثیر و تیمار ۸ دقیقه امواج التراسونیک کمترین تاثیر و حتی تاثیر منفی بر سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه، طول ساقه و وزن خشک گیاهچه داشته‌اند (قاسمی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۱). امواج التراسونیک بر جوانه‌زنی گندم تاثیرگذار بوده و بذره‌های گندمی که به مدت ۴ دقیقه در معرض امواج التراسونیک قرار گرفته بودند، بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی را نشان دادند (الوندیان و همکاران، ۱۳۹۲). در مطالعه‌ی تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد و امواج التراسونیک در ارکیده (*Orchid sp*)، افزایش درصد جوانه‌زنی و تشکیل آغازی‌های جوانه‌زنی نیز گزارش شده است (شین و همکاران، ۲۰۱۱). در بررسی

تاثیر امواج التراسونیک و دما بر جوانه‌زنی نوعی گراس (*Panicum virgatum* L) توسط چین و همکاران (۲۰۱۲)، درصد جوانه‌زنی و بنیه بذر به ترتیب افزایش ۳۳/۵ و ۵۶/۷ درصد را نسبت به شاهد نشان داده است. در مطالعه فاریابی و همکاران (۱۳۸۷)، تاثیر امواج التراسونیک بر سرعت و درصد جوانه‌زنی بذور فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum*) و تربچه مورد آزمایش قرار گرفت. بذره‌های مورد مطالعه در مدت زمان‌های ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ دقیقه در معرض امواج التراسونیک با شدت ۴۲ کیلوهرتز قرار گرفتند. نتایج نشان داد که درصد و سرعت جوانه‌زنی فلفل دلمه‌ای در تیمار ۴ دقیقه نسبت به شاهد افزایش یافت. بهترین تیمار برای تربچه تیمار ۶ دقیقه بود و تاثیر تیمار ۸ دقیقه در بذور این گیاه، کاهش شدید جوانه‌زنی را نشان داد. مطالعه انجام شده در گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis*) نشان داد که درصد جوانه‌زنی بذور با کاربرد ۱، ۴ و ۶ دقیقه امواج التراسونیک به ترتیب نسبت به تیمار شاهد از ۸۴/۲۳ به ۸۸/۰۱، ۹۲/۲۶ و ۸۵/۸۲ درصد افزایش یافته است سرخی‌لله‌لو و همکاران (۱۳۸۸). با توجه به مشاهدات نوروزی و همکاران (۱۳۹۱)، زمان‌های مختلف قرار گرفتن بذور رازیانه (*Foeniculum vulgare*) در معرض امواج التراسونیک سبب افزایش درصد جوانه‌زنی شده است. در تحقیق مرغابی‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) امواج التراسونیک با شدت ۲۲ کیلوهرتز در مدت زمان‌های ۲ و ۵ دقیقه سبب بهبود جوانه‌زنی، بنیه بذر و عملکرد نهایی گیاه زنیان (*Trachyspermum ammi*) شد. نتایج مطالعه گوس و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد پرایمینگ با امواج التراسونیک سبب افزایش ۴۴ درصدی سرعت جوانه‌زنی نخود شده است. همچنین بهترین مدت زمان قرار گرفتن در معرض امواج التراسونیک برای افزایش جوانه‌زنی و بهبود شاخص‌های مرتبط با جوانه‌زنی در بذر جو، نخود، گندم و هندوانه به ترتیب ۱۵، ۴۵، ۳۰ و ۵ دقیقه گزارش شده است.

افزایش سرعت جوانه‌زنی بذر در فرکانس‌های ۲۳ تا ۱۲۵۰ کیلوهرتز گزارش شده و این نشان می‌دهد که اثر افزایش سرعت جوانه‌زنی مستقل از فرکانس است (هالستد و همکاران، ۱۹۶۹). تاثیر امواج التراسونیک به پارامترهای آن مانند شدت، و مدت زمان بستگی دارد. امواج التراسونیک با

شدت‌های ۱ تا ۴۲ کیلوهرتز و مدت زمان بین ۳ ثانیه تا ۶۰ دقیقه، بسته به گونه برای پرایمینگ مورد استفاده قرار گرفته است (بارتون و همکاران، ۱۹۹۶).

#### ۲-۸-۵- تاثیر امواج التراسونیک بر رشد گیاهان

تاثیر امواج التراسونیک بر روی بذرهایی که به‌طور قابل توجهی فرایند جوانه‌زنی در آنها انجام شده مورد بررسی قرار گرفته است. به‌طور کلی در شدت‌های کم این امواج، افزایش سرعت رشد مشاهده شد اما در فرکانس‌های بالاتر از محدوده ایجاد کاویتاسیون، سرعت رشد کم شد. در یک مطالعه مشخص شد، هر چند ریشه‌چه‌های اولیه در اثر امواج التراسونیک از بین رفتند، اما ریشه‌های ثانویه به سرعت رشد کردند (جانسون و همکاران، ۱۹۵۴).

#### ۲-۸-۶- تاثیر امواج التراسونیک بر عملکرد گیاهان

اگرچه گزارشات زیادی در مورد افزایش رشد در نتیجه کاربرد امواج التراسونیک وجود دارد، اما تعداد کمی از تحقیقات اثر امواج التراسونیک، تا مرحله حصول عملکرد ادامه پیدا کرده‌اند. از این تعداد تنها پنج گزارش افزایش قابل توجهی در محصول اقتصادی را نشان دادند. حداکثر افزایش عملکرد در مزرع چغندر قند ۳۸٪ و ۱۴٪ به‌ترتیب برای عملکرد ریشه و عملکرد قند، ۳۲٪ برای نخود فرنگی، ۴۵٪ برای سیب‌زمینی حاصل از بذرهایی حقیقی و ۱۵٪ برای سیب‌زمینی‌هایی که از غده‌ها تولید می‌شوند، گزارش شده‌است. همچنین تاثیر امواج التراسونیک بر افزایش عملکرد گندم گزارش شده است (وینبرگ و میسوریس، ۱۹۷۹).

#### ۲-۸-۷- تاثیر امواج التراسونیک بر گلدهی گیاهان

نتایج مطالعات درباره تاثیر امواج التراسونیک بر گلدهی بیانگر این است که در برخی از گیاهان از جمله ذرت و جو سبب گلدهی یا بلوغ سریع‌تر شده است (جانسون و همکاران، ۱۹۵۴).

## ۲-۹- اهمیت فتوسنتز

فتوسنتز اساس تولید ماده خشک و عملکرد در گیاهان زراعی است (فاویل و همکاران، ۱۹۹۹). بیش از ۹۰ درصد وزن خشک گیاهان، ترکیبات کربن دار حاصل آسیمیلاسیون دی‌اکسیدکربن در فرایند فتوسنتز بوده و افزایش بیوماس و عملکرد گیاهان رابطه مستقیمی با میزان و کارایی فتوسنتز دارد (نانامورا و بنسون، ۱۹۹۷؛ مخدوم و همکاران، ۲۰۰۲). فرایند فتوسنتز به وسیله تغییر شرایط محیطی از جمله شدت نور، میزان دی‌اکسیدکربن و مواد غذایی تحت تاثیر قرار می‌گیرد.

## ۲-۹-۱- نقش کربن در فتوسنتز

همه موجودات زنده از عناصر ساخته شده‌اند که فراوان‌ترین آنها اکسیژن، کربن، هیدروژن، نیتروژن، کلسیم و فسفر است. از این عناصر، کربن به‌طور خاص در ترکیب با سایر عناصر برای ایجاد ترکیبات لازم برای حیات مانند قندها، نشاسته‌ها، چربی‌ها و پروتئین‌ها می‌باشد. مجموع ترکیبات ساخته شده با کربن تقریباً ۹۰ درصد ماده خشک را در موجودات زنده تشکیل می‌دهند. امروزه دانشمندان پتانسیل افزایش عملکرد در محصولات زراعی را با افزایش ظرفیت تثبیت گازکربنیک در برگ‌ها از راه‌های شیمیایی یا ژنتیکی مورد ارزیابی قرار می‌دهند. موفقیت در این تحقیقات ممکن است راهگشای افزایش مستمر در عملکرد بالقوه محصولات زراعی باشد. فتوسنتز در بافت‌های دارای کلروفیل در گیاهان انجام شده و مواد اصلی برای دیگر فرایندهای حیاتی گیاه را فراهم می‌کند (پالاردی، ۲۰۰۳). مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که با تغییر در فرایند فتوسنتز یا تغییر در عوامل محیطی با کمک تکنیک‌های زراعی می‌توان عملکرد و رشد گیاهان زراعی را بهبود بخشید (پالاردی، ۲۰۰۰). توجه به اینکه برگ‌ها مهمترین اندام‌های متابولیک در گیاهان هستند، کاربرد بزرگی بهترین روش برای تاثیر بر افزایش رشد و نمو و متابولیسم در گیاهان بحساب می‌آید.

## ۲-۹-۲- میزان کربن در گیاهان

محتوای کربن پوشش‌های گیاهی به طرز شگفت‌آوری در انواع مختلف بافت‌ها و گونه‌ها ثابت است (اسکلیسنگر، ۱۹۹۱). مقدار کربن بیوماس (بر اساس ماده خشک) تقریباً همیشه بین ۴۵ تا ۵۰٪ وزن خشک گیاهان، مطابق با رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$C = 0.475 \times B \quad \text{رابطه ۱-۲}$$

C: محتوی کربن بر اساس توده

B: بیوماس خشک شده در آون

## ۲-۹-۳- دی‌اکسیدکربن در هوا

غلظت دی‌اکسیدکربن جو زمین در طول دوره‌های زمین‌شناسی متفاوت بوده است. از اطلاعات به‌دست آمده از حباب‌های گیر افتاده در یخ‌های قطب جنوب و گرینلند برای نشان دادن غلظت دی‌اکسیدکربن و متان جو در طول ۱۶۰ هزار سال گذشته استفاده شده است (لوریس و همکاران، ۱۹۹۰). میزان افزایش دی‌اکسیدکربن جو در حدود ۵/۰ درصد در سال است که به این معنی است که میزان دی‌اکسیدکربن با شتاب تغییر می‌یابد. تغییرات در دی‌اکسیدکربن جوی تأثیرات مهمی بر گیاهان و چرخه جهانی کربن و همچنین آب و هوا دارد. دی‌اکسیدکربن هوا ماده خام برای فتوسنتز گیاهان سبز بوده و اولین حلقه مولکولی در زنجیره غذایی کل زمین است (تایز و زایگر، ۲۰۰۲).

## ۲-۹-۴- فتوسنتز و تولید

۶۷ سال قبل اولین بار ملوین کالوین، جیمز باسهم و اندریو بنسون سیکل فتوسنتز را کشف کردند و از آن زمان تاکنون مطالعات زیادی در مورد فتوسنتز و روش‌های تأثیر بر کارایی و میزان آن انجام شده است. فتوسنتز فرایندی است که گیاهان سبز به‌وسیله آن قادرند انرژی تابشی خورشید را دریافت کرده و از آن در تولید قندها استفاده کنند. این فرایند بی‌نهایت پیچیده است و تا بحال به‌صورت آزمایشگاهی تکرار نشده است (تایز و زایگر، ۲۰۰۲). تخمین زده می‌شود که سالانه ۲۰۰ میلیارد تن

کربن (حدود ۱۳٪ از کربن موجود در اتمسفر) توسط فتوسنتز تثبیت شود ( بر اساس فرمول‌های تجربی معادل ۱۷۰ تا ۱۹۰ گیگاتن ماده خشک به صورت  $\text{CH}_2\text{O}$ ). این تولید زیاد با وجود غلظت کم گاز کربنیک (حدود ۳۲۵ پی پی ام) صورت می‌گیرد (عوض کوچکی، ۱۳۷۸). کلیه گیاهان اعم از پست و عالی، گاز کربنیک را از طریق مکانیسم یکسانی تحت عنوان چرخه احیای کربن<sup>۱</sup> به هیدرات‌های کربن احیا می‌کنند. این چرخه دارای دو مرحله روشنایی و تاریکی است. در مرحله روشنایی، آب توسط نور هیدرولیز شده و با استفاده از الکترون‌های حاصله،  $\text{ADP}$  و  $\text{NADP}$ ، به ترتیب به  $\text{ATP}$  و  $\text{NADPH}$  تبدیل می‌شوند. در مرحله تاریکی واکنش بیوشیمیایی احیا کننده دی‌اکسید کربن و تبدیل آن به هیدرات‌های کربن صورت می‌گیرد. تغییر غلظت گاز کربنیک اتمسفری باعث تغییر سرعت فتوسنتز در مرحله تاریکی می‌شود (تایز و زایگر، ۲۰۰۲).

## ۲-۹-۵- تثبیت دی‌اکسید کربن و عوامل موثر بر گازهای فتوسنتز

شناخت مکانیسم تثبیت دی‌اکسید کربن مستلزم اطلاع از فیزیولوژی و خصوصیات شیمیایی دی‌اکسید کربن خصوصا اثرات متقابل آن با آب است. مقدار هر یک از گازهای محلول در آب، متناسب با فشار جزئی ( $P_{\text{gas}}$ ) آن در محلول و ضریب جذب بنسون ( $\alpha$ ) است. ضریب جذب بنسون عبارت است از حجم گازی که به وسیله یک حجم از آب، در فشار یک اتمسفر جذب می‌شود و وابسته به درجه حرارت است، به طوری که با افزایش درجه حرارت، کم می‌شود. بنابراین میزان حلالیت یک گاز با افزایش درجه حرارت کم می‌شود. از این رو میزان حلالیت یک گاز در یک درجه حرارت معین، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\text{رابطه ۲-۲} \quad \text{حلالیت گاز} = (mM = P_{\text{gas}} \times \alpha \times 10^6 V_0)$$

در اینجا  $V_0$  حجم طبیعی یک گاز معمولی در درجه حرارت و فشار استاندارد است ( $V_0 = 22.4 \text{ L mol}^{-1}$ ).<sup>۱</sup> فشار جزئی گاز از حاصل ضرب کسر مولی گاز در فشار کل به دست می‌آید و کسر مولی گاز نیز از تقسیم حجم مولی بر حجم کل همه گازهای موجود، حاصل می‌شود. بنابراین کسر مولی

1 PCR: Photosynthetic carbon reduction

دی‌اکسیدکربن و اکسیژن در هوا به ترتیب ۰/۳۴۵٪ و ۲۰/۹۵٪ است. در سطح دریا، فشار اتمسفر در حدود یک بار است، بنابراین فشار جزیی دی‌اکسیدکربن و اکسیژن به ترتیب ۳/۴۵ میلی‌بار و ۲۰۹/۵ میلی‌بار است. با توجه به فشار جزیی دی‌اکسیدکربن و اکسیژن و ضریب جذب بنسون می‌توان از روی فرمول فوق غلظت محلول‌های دی‌اکسیدکربن و اکسیژن را محاسبه کرد (تایز و زایگر، ۲۰۰۲).

مقادیر فشار جزیی دی‌اکسیدکربن و اکسیژن اثرات قابل توجهی بر فرایند کربوکسیلاسیون دارد. رایسکو به‌عنوان یک کربوکسیلاز، باید بتواند حتی در غلظت‌های پایین دی‌اکسیدکربن نیز عمل کند. از آنجا که رایسکو در تنفس نوری به‌عنوان یک اکسیژناز عمل می‌کند، لذا غلظت محلول اکسیژن حائز اهمیت است. چون درجه حرارت اثر متفاوتی بر ضریب جذب بنسون مربوط به دی‌اکسیدکربن و اکسیژن می‌گذارد، بنابراین غلظت این دو گاز با درجه حرارت تغییر می‌کند و لذا نسبت  $CO_2/O_2$  با افزایش درجه حرارت کاهش می‌یابد. این تغییر از نظر بیولوژیکی حائز اهمیت است، زیرا با افزایش درجه حرارت، نسبت کربوکسیلاسیون به اکسیژناسیون کاهش و نسبت تنفس نوری به فتوسنتز افزایش می‌یابد (نانامورا و بنسون، ۱۹۹۲؛ تایز و زایگر، ۲۰۰۲).

#### ۲-۹-۶- سیستم فتوسنتزی گیاهان سه کربنه و چهار کربنه

گیاهان کربن را از دو مسیر به‌دست می‌آورند: ۱- مسیر تبدیل فسفوانینول پیرووات به اگزالواستیک اسید که گیاهان ۴ کربنه هستند (هتچ و اسلک، ۱۹۶۶) و ۲- در مسیر دوم کربن از طریق ۱ و ۵ بی‌فسفات به فسفوگلیسریک اسید تبدیل می‌شود که گیاهان سه کربنه هستند (تایز و زایگر، ۲۰۰۲).

در گیاهان سه کربنه آنزیم ریبولوز-کربوکسیلاز علاوه بر کاتالیز واکنش گازکربنیک با ریبولوز بی‌فسفات، کاتالیز واکنش ریبولوز بی‌فسفات با اکسیژن را نیز بر عهده دارد (تنفس نوری). به‌دلیل وجود تنفس نوری راندمان فتوسنتز در گیاهان سه کربنه پایین می‌آید. در غلظت معمولی گازکربونیک، دو چرخه تثبیت دی‌اکسیدکربن و اکسیژن همزمان عمل می‌کنند و نسبت ریبولوز بی‌فسفات-کربوکسیلاز به ریبولوز بی‌فسفات-اکسیژناز سه به یک است (تایز و زایگر، ۲۰۰۲). در گیاهان سه کربنه به‌دلیل وجود تنفس نوری، فتوسنتز در غلظت ۳۵-۴۵ پی‌پی‌ام گازکربنیک به نقطه

جبرانی می‌رسد در صورتی که در گیاهان چهار کربنه در غلظت ۵-۰ پی‌پی‌ام به نقطه جبرانی می‌رسد (فال و بنسون، ۱۹۹۶؛ فایبرت و همکاران، ۱۹۹۵). از طرفی گیاهان چهار کربنه در غلظت حدود ۴۰۰ پی‌پی‌ام به نقطه اشباع دی‌اکسیدکربن می‌رسند، حتی برخی از گیاهان چهار کربنه در غلظت فعلی نیز به اشباع می‌رسند در صورتی که گیاهان سه کربنه با دو برابر شدن غلظت فعلی دی‌اکسیدکربن نیز اشباع نمی‌شوند و باز هم به افزایش دی‌اکسیدکربن واکنش نشان می‌دهند (وتفلد و بتملی، ۱۹۸۳). با توجه به اینکه غلظت فعلی دی‌اکسیدکربن محیط کمتر از حد مطلوب است، می‌توان انتظار داشت که افزایش غلظت گازکربنیک باعث افزایش تولید در هر دو گروه گیاهان سه کربنه و چهار کربنه شود (فاویل و همکاران، ۱۹۹۹؛ گوت و همکاران، ۲۰۰۰). دلیل برتری گیاهان سه کربنه نسبت به گیاهان چهار کربنه در واکنش به افزایش گازکربنیک این است که بالا رفتن غلظت دی‌اکسیدکربن باعث افزایش شیب غلظت دی‌اکسیدکربن از هوا به برگ (افزایش دی‌اکسیدکربن اتاقک زیر روزنه) و کاهش تلفات دی‌اکسیدکربن ناشی از تنفس نوری در این گیاهان می‌شود (تایز و زایگر ۲۰۰۲؛ فاویل و همکاران، ۱۹۹۹).

## ۲-۹-۷- چرخه اکسیداسیون کربن (تنفس نوری)<sup>۱</sup>

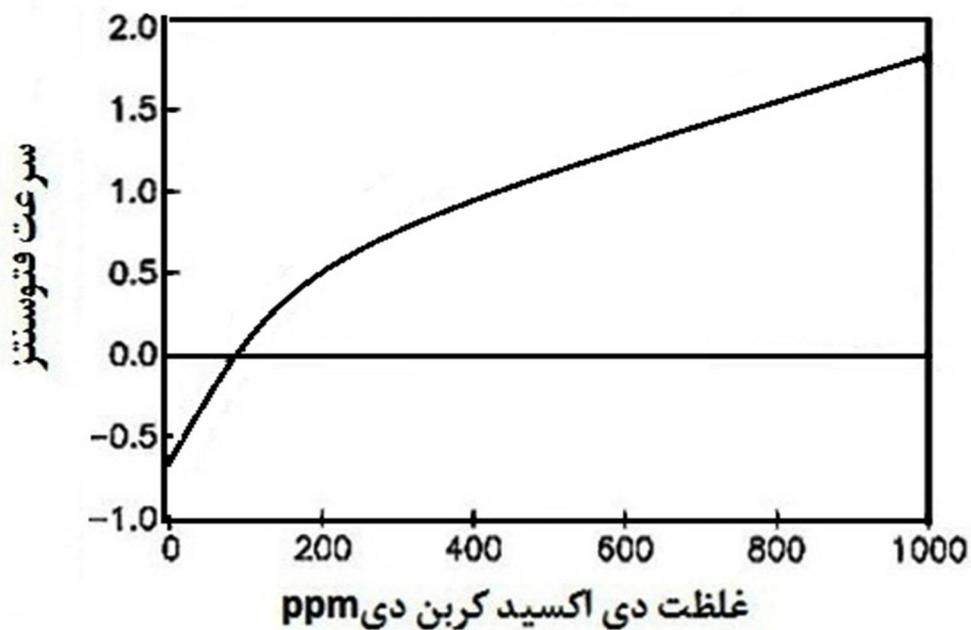
آنزیم رابیسکو نه تنها ریبولوز ۱ و ۵ بی‌فسفات را کربوکسیله می‌کند، بلکه آن را اکسید نیز می‌کند. اکسیداسیون، اولین واکنش فرایند تنفس نوری است. فتوسنتز و تنفس نوری در خلاف یکدیگر فعالیت می‌کنند، لذا تنفس نوری باعث اتلاف دی‌اکسیدکربن در سلول‌هایی می‌شود که همزمان از طریق چرخه احیای کربن به تثبیت دی‌اکسیدکربن مشغولند. دی‌اکسیدکربن و اکسیژن به‌عنوان مواد جایگزین برای واکنش با ریبولوز ۱ و ۵ بی‌فسفات با یکدیگر رقابت می‌کنند. این عمل به‌دلیل آنست که کربوکسیلاسیون و اکسیژناسیون هر دو در یک محل فعال از آنزیم اتفاق می‌افتند (تایز و زایگر، ۲۰۰۲). چنانچه غلظت یکسانی از دی‌اکسیدکربن و اکسیژن فراهم باشد، رابیسکوی نه‌اندانگان گازکربنیک را ۸۰ بار سریع‌تر از اکسیژن تثبیت می‌کند. در هوای آزاد نسبت

1 PCO: Photorespratio Carbon oxidation

کربوکسیلاسیون به اکسیژناسیون، ۳ به ۱ است. ارتباط بین کربوکسیلاسیون و اکسیژناسیون در برگ‌های سالم بستگی به پویایی رابیسکو، درجه حرارت و غلظت دی‌اکسیدکربن و اکسیژن دارد. هر چه حرارت بیشتر شود، غلظت دی‌اکسیدکربن بیشتر از اکسیژن کاهش می‌یابد. نتیجه اینکه با افزایش درجه حرارت، نسبت غلظت دی‌اکسیدکربن به اکسیژن کاهش می‌یابد. اثر درجه حرارت بر حلالیت نسبی دی‌اکسیدکربن و اکسیژن باعث می‌شود که با افزایش درجه حرارت، اکسیژناسیون (تنفس نوری) نسبت به کربوکسیلاسیون (فتوسنتز) بیشتر شود (کیو و ادوارد، ۱۹۷۸). با افزایش درجه حرارت، به تدریج تعادل بین چرخه‌های احیای کربن و تنفس نوری به نفع تنفس نوری تغییر می‌کند. بنابراین غلظت دی‌اکسیدکربن به‌عنوان عامل محدود کننده فتوسنتز بویژه در گیاهان سه کربنه است و این به دلیل وجود تنفس نوری در این گیاهان است. به‌طور کلی میزان تولید ماده خشک رابطه مستقیمی با کارایی فتوسنتز و همچنین مسیر تثبیت کربن در گیاه دارد (تایز و زایگر، ۲۰۰۲).

#### ۲-۹-۸- تاثیر غلظت‌های بالای دی‌اکسیدکربن بر رشد گیاهان سه کربنه

دی‌اکسیدکربن ماده اولیه اصلی در فتوسنتز است. افزایش سطح دی‌اکسیدکربن در جو زمین موجب افزایش میزان فتوسنتز، رشد زیست توده و عملکرد دانه برای تمامی محصولات غذایی سه کربنه مهم جهانی می‌شود (اکوک، ۱۹۹۰؛ اینوچ و کیمیل، ۱۹۸۵). شکل ۲-۲ نشان می‌دهد که با دو برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن، عملکرد دانه سویا و تولید زیست توده به ترتیب به میزان ۳۱ و ۴۱ درصد افزایش می‌یابد.



شکل ۲-۲- واکنش فتوسنتز به افزایش غلظت دی اکسید کربن. میزان جذب دی اکسید کربن در فرایند فتوسنتز توسط سویا در محدوده ۱۱۰ تا ۹۹۰ پی پی ام (وان کامرر، ۲۰۰۱؛ آلن و همکاران، ۱۹۸۸).

#### ۲-۹-۹- اثر متقابل تغییر غلظت دی اکسید کربن و درجه حرارت

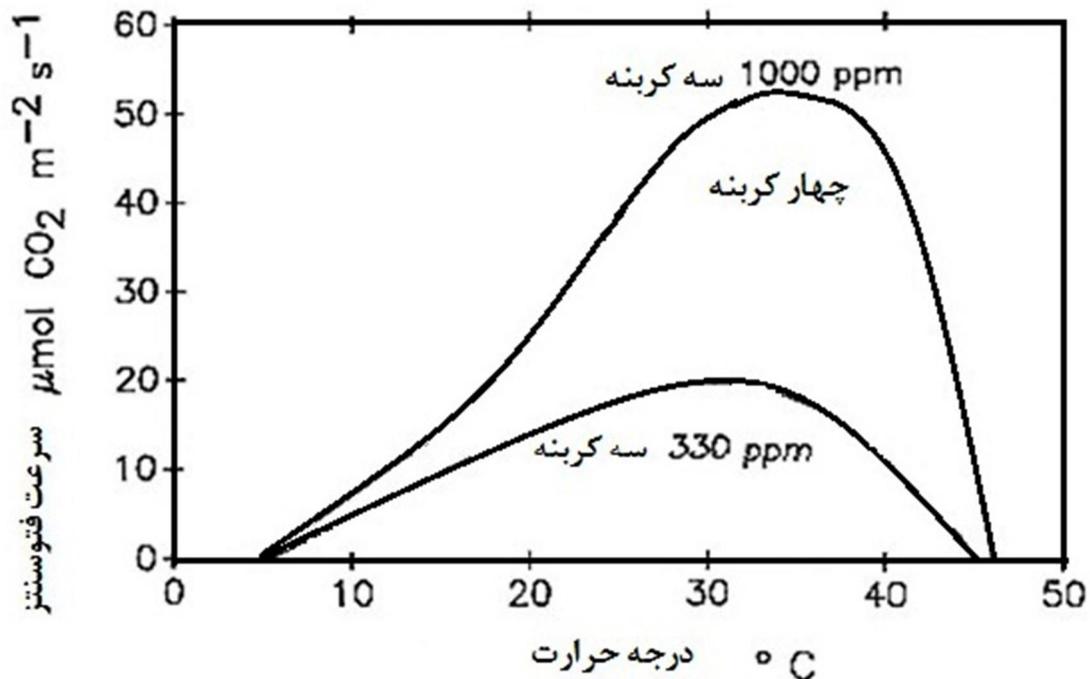
افزایش غلظت گاز کربنیک از طریق تشدید اثر گلخانه ای موجب افزایش درجه حرارت می شود. افزایش دما موجب کاهش حلالیت اکسیژن و دی اکسید کربن در آب شده و شدت این کاهش برای دی اکسید کربن بیش از اکسیژن می باشد. همچنین افزایش دما موجب کاهش میل ترکیبی رابیسکو با دی اکسید کربن شده و لذا در مجموع افزایش درجه حرارت سبب ازدیاد تنفس نوری گردیده و تاثیر بازدارندگی آن بر فتوسنتز افزایش می یابد. به همین دلیل، تاثیر مثبت افزایش دی اکسید کربن بر فتوسنتز در دمای بالا بیش از دمای پایین است (تایز وزایگر، ۲۰۰۲). در آزمایشی اثر افزایش غلظت دی اکسید کربن از ۳۳۰ پی پی ام به ۱۰۰۰ پی پی ام در سه دمای ۱۶، ۲۶ و ۴۸ درجه سانتی گراد بر فتوسنتز دو گونه سه کربنه بررسی شد و مشاهده شد که فتوسنتز خالص در دو گونه به ترتیب ۱۹، ۸۰ و ۱۹۴ درصد افزایش یافت (لیکی و همکاران، ۲۰۰۹). با توجه به مطالب یاد شده شاید بتوان گفت که تاثیر مثبت ازدیاد غلظت دی اکسید کربن بر گونه های سه کربنه مناطق گرمسیر بیشتر از سایر مناطق خواهد بود. لیکی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند افزایش درجه حرارت، بر عکس افزایش غلظت

دی‌اکسیدکربن، سبب افزایش نقطه جبرانی دی‌اکسیدکربن می‌شود. در یک مطالعه افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۳۵۰ به ۶۵۰ پی‌پی‌ام سبب شد تا نقطه جبرانی دی‌اکسیدکربن در دمای بالاتری (به‌میزان ۷ درجه سانتی‌گراد) ایجاد شود. همچنین با افزایش دما نقطه اشباع نوری افزایش خواهد یافت. درجه حرارت مطلوب برای اشباع نوری فتوسنتز، با ازدیاد غلظت دی‌اکسیدکربن از ۵۰۰ به ۶۵۰ پی‌پی‌ام، افزایش یافت. سرعت فتوسنتز در حالت اشباع نوری در درجه حرارت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۱۴، ۵۴ و ۷۳ درصد افزایش یافت (اندریو و همکاران، ۲۰۰۹). به‌طور کلی می‌توان گفت واکنش فتوسنتز به دما بسته به غلظت دی‌اکسیدکربن فرق می‌کند به‌طوری‌که در غلظت معمولی دی‌اکسیدکربن، فتوسنتز به‌وسیله رابیسکو محدود می‌شود. با افزایش دما در سرعت کربوکسیلاسیون افزایش ایجاد می‌شود ولی میل ترکیبی رابیسکو با دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد و در غلظت بالای دی‌اکسیدکربن، عرضه دی‌اکسیدکربن در محل کربوکسیلاسیون زیاد است. در این شرایط افزایش دما اثر زیادی بر سرعت فتوسنتز دارد و سرعت فتوسنتز به‌وسیله واکنش‌های بیوشیمیایی مرتبط با انتقال الکترون (بازسازی رابیسکو) محدود می‌شود (تایز و زایگر، ۲۰۰۲؛ لیکلی و همکاران، ۲۰۰۹).

## ۲-۹-۱۰- تاثیرات دما بر فتوسنتز

میزان فتوسنتز برگ نسبت به درجه حرارت حساس است. شکل ۲-۳ پاسخ‌های احتمالی میزان جذب دی‌اکسیدکربن فتوسنتزی برگ به دمای گیاهان سه کربنه (منحنی پایین) و گیاهان چهار کربنه (منحنی بالا) را هنگامی که در غلظت دی‌اکسیدکربن ۳۳۰ پی‌پی‌ام رشد کرده در معرض سطوح بالای نور نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که حداکثر میزان جذب دی‌اکسیدکربن فتوسنتزی گیاهان چهار کربنه بالاتر بوده و حداکثر دمای قابل رشد بالاتری از گیاهان سه کربنه دارند (پنینگ و ورایز، ۱۹۸۹). منحنی‌های ترسیم شده در شکل ۲-۳ می‌توانند برای دماهای بالاتر در گونه‌های سازگار با محیط‌های گرم و بیابانی (پیرسی و بجورکام، ۱۹۸۳) کشیده شده یا برای دماهای پایین برای گونه‌های سازگار با محیط‌های سرد فشرده شوند. با این وجود، از شکل ۲-۳ می‌توان نتیجه

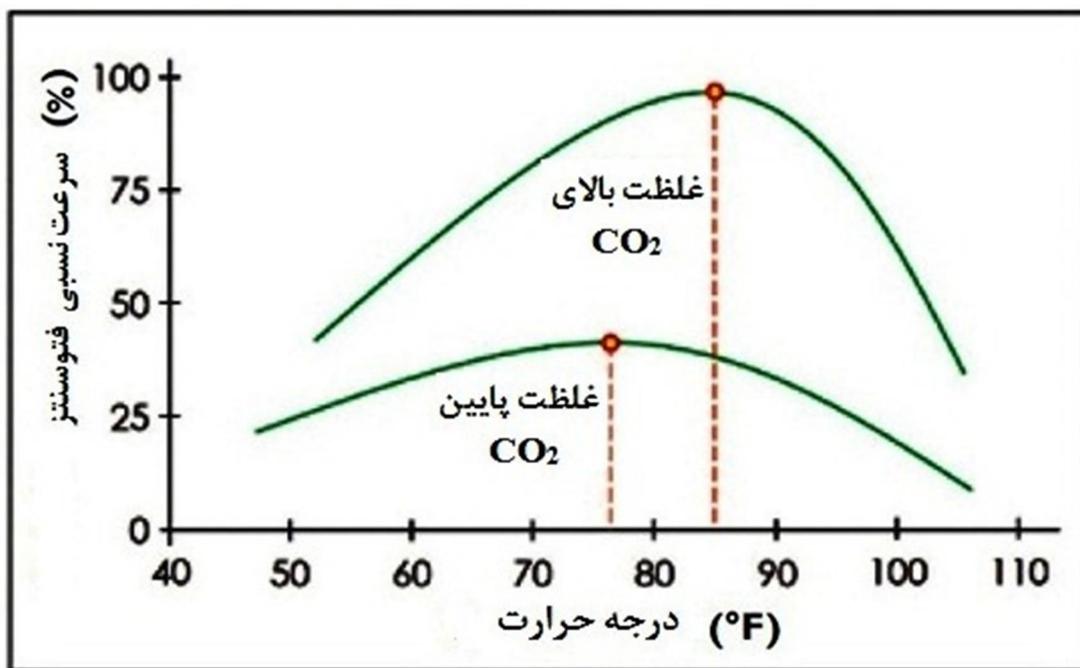
گرفت که گیاهان چهار کربنه می‌توانند بیشتر (یا حداقل در سطح) گیاهان سه کربنه از افزایش دما بهره ببرند.



شکل ۲-۳ حداکثر پاسخ‌های سرعت فتوسنتز به درجه حرارت برگ‌های جداگانه گیاهان سه کربنه در شرایط نور در معرض غلظت دی‌اکسیدکربن ۳۳۰ پی‌پی‌ام (منحنی پایین) و ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام یا بیشتر (منحنی بالایی). نمونه اصلاح و سازگار شده (ساگ و کوبین، ۲۰۰۷).

شکل ۲-۳ همچنین نشان می‌دهد که میزان فتوسنتز گیاهان سه کربنه در سطوح دی‌اکسیدکربن بالا ممکن است افزایش یابد و شبیه به میزان گیاهان چهار کربنه باشد اما میزان افزایش فتوسنتز در بین گونه‌های مختلف به شدت متفاوت خواهد بود. میزان فتوسنتز برگ‌های گیاه سه کربنه در سطوح دی‌اکسیدکربن بالا افزایش می‌یابد، زیرا مولکول‌های دی‌اکسیدکربن به‌طور موثر با اکسیژن برای اتصال به رابیسکو و آنزیم‌های کربوکسیلاسیون رقابت می‌کنند. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در دماهای بالاتر سبب افزایش بیشتری در میزان فتوسنتز می‌شود و با کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن، حداکثر سرعت فتوسنتز در دمای کمتری و به میزان کمتری به دست می‌آید (شکل ۲-۴). تفاوت نسبی

در میزان جذب دی‌اکسیدکربن در دماهای پایین‌تر بین گیاهان سه و چهار کربنه کمتر است (ساگ و کوبین، ۲۰۰۷).

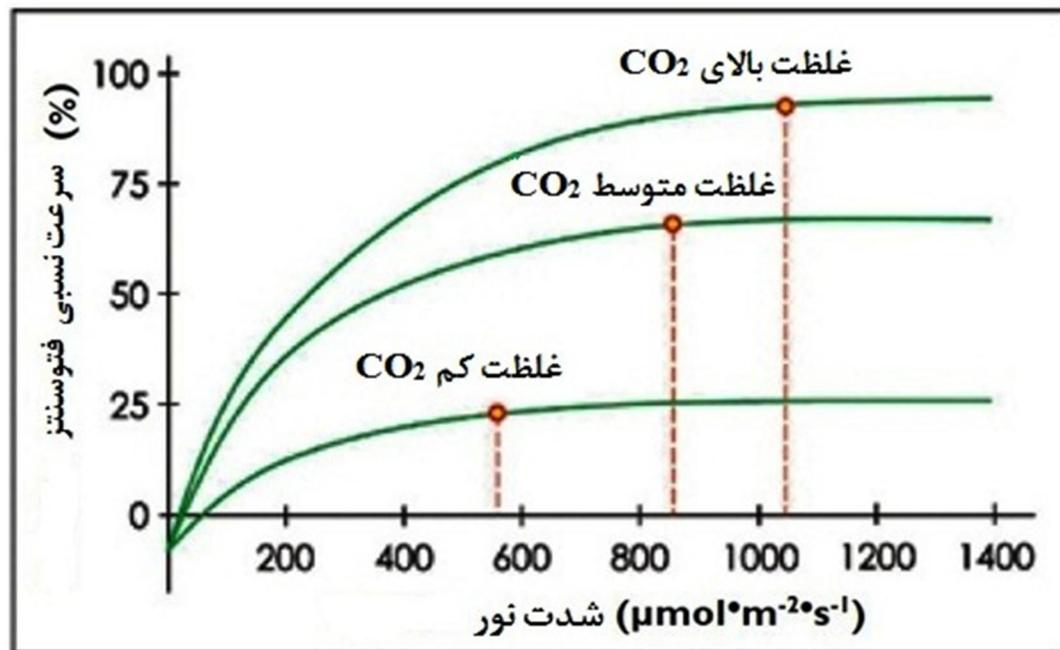


شکل ۲-۴- تاثیر دما و غلظت‌های دی‌اکسیدکربن بر فتوسنتز (اقتباس از ساگ و کوبین، ۲۰۰۷)

## ۲-۹-۱۱- اثر متقابل تغییر غلظت دی‌اکسیدکربن و شدت تشعشع

سرعت فتوسنتز نه تنها تحت تاثیر غلظت دی‌اکسیدکربن قرار می‌گیرد بلکه به افزایش شدت تشعشع نیز واکنش نشان می‌دهد. افزایش شدت تشعشع در غلظت‌های بالای گاز کربنیک، فتوسنتز را بیش از غلظت‌های پایین، افزایش می‌دهد، بعبارتی تاثیر مثبت افزایش غلظت گاز کربنیک در محیطی با تشعشع بالا بیش از محیطی است که تشعشع پایینی دارد (شکل ۲-۵) (پراموک و سونکل، ۲۰۰۵). در غلظت بالای دی‌اکسیدکربن، افزایش شدت تشعشع، فتوسنتز گیاهان سه کربنه را بیش از گیاهان چهار کربنه افزایش می‌دهد و برای اشباع شدن فتوسنتز در غلظت بالاتر دی‌اکسیدکربن شدت تشعشع بیشتری لازم است (شکل ۲-۳). مطالعات نشان می‌دهد که در گیاه سه کربنه سویا، افزایش شدت تشعشع به بیش از ۱۰۰۰ میکروانیشتن در مترمربع بر ثانیه در غلظت معمولی گاز کربنیک تاثیر زیادی بر افزایش آسیمیلاسیون نداشته است، ولی وقتی سویا و ارزن در معرض غلظت ۷۰۰ پی‌پی‌ام

گازکربنیک قرار گرفته، عملکرد ماده خشک در سویا به مراتب بیشتر از ارزن بود (میری و همکاران، ۱۳۹۰).



شکل ۲-۵- تاثیر شدت نور و غلظت دی‌اکسیدکربن بر فتوسنتز (اقتباس از پراموک و سونکل، ۲۰۰۵)

عقیده بر این است که در غلظت‌های پایین دی‌اکسیدکربن، محدودیت دی‌اکسیدکربن و در غلظت‌های بالاتر آن، بازسازی ریبولوز بی فسفات عامل محدود کننده فتوسنتز است. قابلیت تجدید و بازسازی ریبولوز بی فسفات خود متاثر از ظرفیت انتقال الکترون بوده و لذا مستقیماً از میزان نور جذب شده تاثیر می‌پذیرد. افزایش شدت نور سبب افزایش ریبولوز بی فسفات- کربوکسیلاز برای انجام واکنش با دی‌اکسیدکربن می‌شود. بنابراین افزایش دی‌اکسیدکربن در محیطی با تشعشع کم سبب تشدید محدودیت تشعشع در این محیط خواهد شد (ساگ و کوبین، ۲۰۰۷). بر اساس محاسبات انجام شده افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن هوا از ۳۵۰ به ۷۰۰ پی‌پی‌ام سبب افزایش محدودیت نور به میزان ۲۱٪ در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌شود. کمبود غلظت دی‌اکسید کربن سبب دو پیامد در پی دارد: ۱- کاهش فتوسنتز و ۲- کاهش نقطه اشباع نوری (لیکی و همکاران، ۲۰۰۹). در داخل یک کانوپی گیاهی، برگ‌های بالاتر بیشتر به افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن واکنش نشان می‌دهند زیرا این برگ‌ها

در حوالی نقطه اشباع نوری قرار دارند، در صورتی که برگ‌های پایینی بیشتر به افزایش شدت تشعشع واکنش نشان می‌دهند چون در حدود نقطه جبران نوری هستند. افزایش هر کدام از این دو فاکتور (دی‌اکسیدکربن و شدت تشعشع) فتوسنتز را در تمام کانوپی افزایش خواهد داد (پراموک و سونکل، ۲۰۰۵). احتمالاً در اکوسیستم‌های زراعی افزایش عملکرد ناشی از بالارفتن دی‌اکسیدکربن، قدرت نسبی رقابت با علف‌های هرز را در استفاده از نور تغییر دهد (میری و همکاران، ۱۳۹۰).

## ۲-۹-۱۲- اثر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر روابط آب در گیاهان

تأثیر غلظت دی‌اکسیدکربن بر مصرف آب در شرایط مزرعه در مطالعات زیادی مورد بحث بوده است. در گذشته، سطوح دی‌اکسیدکربن بالا به‌عنوان ضد تعرق ایده‌آل ذکر شده است زیرا سطوح بالای دی‌اکسیدکربن در آزمایش‌های متعدد باعث کاهش هدایت روزنه شده است. گیاهان از طریق تغییر قطر روزنه‌ها در واکنش به پارامترهای محیطی نظیر گازکربنیک یا میزان آب قابل دسترسی، ورود گاز کربنیک و خروج آب را کنترل می‌کنند (لیکی، ۲۰۰۹ و تایز و زایگر، ۲۰۰۲). یکی از امتیازات گیاهان چهار کربنه در دما و نور زیاد، برتری راندمان مصرف آب (گرم ماده خشک تولید شده به ازاء گرم آب تعرق یافته) است (میری و همکاران، ۱۳۹۰). به‌نظر می‌رسد که با افزایش غلظت کربن این مزیت گونه‌های چهار کربنه کم اهمیت شود زیرا با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن محیط<sup>۱</sup>، گیاهان سه کربنه نیازی به باز کردن زیاد روزنه‌های خود ندارند. اصولاً در مقاومت روزنه‌ای معین، خروج آب بیشتر از ورود دی‌اکسیدکربن است چون اولاً همیشه اختلاف غلظت بخار آب درون و بیرون گیاه بیشتر از اختلاف غلظت گاز کربنیک است، ثانیاً در مسیر خروج آب مقاومت کمتری نسبت به ورود گاز کربنیک وجود دارد (آلن و همکاران، ۲۰۱۱). مقاومت‌های مسیر ورود دی‌اکسیدکربن عبارتند از مقاومت لایه مرزی<sup>۲</sup>، مقاومت روزنه‌ای<sup>۳</sup> و مجموع مقاومت‌های مزوفیلی و کربوکسیلاسیون<sup>۴</sup> در صورتی که خروج آب

<sup>۱</sup> C<sub>a</sub>

<sup>۲</sup> R<sub>a</sub>

<sup>۳</sup> R<sub>s</sub>

<sup>۴</sup> R<sub>m</sub>

فقط با مقاومت روزنه‌ای و لایه مرزی مواجه است. ثالثاً مولکول گاز کربنیک بزرگتر از مولکول آب است (جرم مولکولی گاز کربنیک-۴۴ و جرم مولکولی آب-۱۸). در گیاهان چهار کربنه به دلیل میل ترکیبی بیشتر فسفواينول پيروات نسبت به ريبولوز بی فسفات با دی اکسید کربن، در مقایسه با گیاهان سه کربنه مقاومت مزوفیلی کمتر و برعکس مقاومت روزنه‌ای بیشتری دارند. مقاومت روزنه‌ای بیشتر احتمالاً به دلیل تعداد روزنه کمتر در واحد سطح و یا کوچکتر بودن قطر روزنه‌ها در گیاهان چهار کربنه است (گیاهان چهار کربنه برای به حداکثر رساندن قطر روزنه‌ها به نور بیشتری نیاز دارند) (تایز و زایگر، ۲۰۰۲). به همین دلیل در شرایط معمولی راندمان مصرف آب در گیاهان چهار کربنه بیشتر است. در طی فتوسنتز، بین دی اکسید کربن داخل برگ و بیرون آن شیب بوجود می‌آید و این شیب تا محل کربوکسیلاسیون ادامه دارد. در برگ نه تنها دی اکسید کربن از فضای بیرون برگ، بلکه دی اکسید کربن حاصل از تنفس میتوکندری<sup>۱</sup> و تنفس نوری<sup>۲</sup> نیز در فتوسنتز شرکت می‌کند. مقاومت‌های موجود در راه ورود دی اکسید کربن عبارتند از: مقاومت لایه مرزی، مقاومت روزنه‌ای، مقاومت مربوط به انتشار در درون سلول، مقاومت‌های مربوط به فرایندهای محلول شدن و انتقال دی اکسید کربن در فاز مایع دیواره سلولی و پروتوپلاسم، مقاومت کربوکسیلاسیون و مقاومت برانگیختگی. در گیاهان سه کربنه تحت شرایط تشعشع شدید، مقدار محلول شدن و انتقال دی اکسید کربن در فاز مایع بسیار بیشتر از مقاومت روزنه‌ای است در حالیکه در گیاهان چهار کربنه تا حدی کمتر است. علت کمتر بودن مقاومت کربوکسیلاسیون گیاهان چهار کربنه نسبت به گیاهان سه کربنه فعالیت بیشتر فسفواينول پيروات نسبت به ريبولوز بی فسفات است (زیسکا و همکاران، ۲۰۰۵).

گیاهان چهار کربنه نسبت به گیاهان سه کربنه از نظر کارایی مصرف آب<sup>۳</sup> برتری دارند. در یک مقدار مشخص فتوسنتز (مثلاً ۳۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه) هدایت روزنه‌ای گیاهان سه کربنه و در نهایت مقدار تعرق آن بیشتر از گیاه چهار کربنه است، زیرا گیاهان چهار کربنه به دلیل برخورداری

---

<sup>۱</sup> C<sub>Rm</sub>

<sup>۲</sup> C<sub>RL</sub>

<sup>۳</sup> WUE

از سیستم کرانز می‌توانند با هدایت روزنه‌ای کمتر (غلظت کمتر دی‌اکسیدکربن در سلول‌های مزوفیل) از فتوسنتز بالایی برخوردار باشند در صورتی که گیاهان سه کربنه برای افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در سلول‌های مزوفیل باید روزنه‌ها را بیشتر باز کنند بنابراین در شرایط محیطی یکسان از نسبت تعرق بیشتری برخوردارند (آلن و همکاران ۲۰۱۱). با افزایش غلظت گاز کربنیک محیط، هدایت روزنه‌ای در گیاهان سه کربنه کاهش می‌یابد (این گیاهان روزنه‌های خود را کمتر باز می‌کنند) و این امر اثر بازدارندگی بیشتری بر خروج آب دارد تا ورود دی‌اکسیدکربن (زیسکا، ۲۰۰۱). در شرایط معمولی ورود گاز کربنیک مشکل‌تر از خروج آب است بنابراین با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و کاهش هدایت روزنه‌ای حاصل از آن، خروج آب نسبت به ورود گاز کربنیک با مشکل بیشتری مواجه می‌شود و در نتیجه راندمان مصرف آب افزایش می‌یابد. افزایش فتوسنتز مخصوصاً در گیاهان سه کربنه موجب فراهمی بیشتر مواد پرورده شده که این امر توسعه سطح برگ (سطح تعرق کننده) و به دنبال آن افزایش تعرق را در پی دارد. از طرفی حرارت ناشی از افزایش گاز کربنیک منجر به ازدیاد دمای برگ و نیاز اتمسفری برای جذب رطوبت می‌شود. برخی محققین معتقدند که مجموع این دو عامل سبب ثبات میزان مصرف آب در دراز مدت شده و در نهایت سبب کم‌رنگ شدن اثر افزایش دی‌اکسیدکربن بر ازدیاد کارایی مصرف آب می‌شود (تایز و زایگر، ۲۰۰۲). اگرچه هدایت روزنه‌ای در غلظت دو برابری دی‌اکسیدکربن تقریباً ۴۰ درصد کاهش می‌یابد، اما مصرف آب توسط گیاهان سه کربنه در شرایط مزرعه احتمالاً تنها در حدود ۰ تا ۱۲ درصد کاهش می‌یابد. اگر افزایش سطح برگ با توجه به دو برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن کوچک باشد (یا بتواند کنترل شود)، کاهش تعرق می‌تواند معنی‌دار باشد. اگر افزایش سطح برگ به علت افزایش دو برابری غلظت دی‌اکسیدکربن بزرگ باشد، در این حالت نمی‌توان انتظار کاهش تعرق داشت بلکه افزایش در میزان تعرق نیز ممکن است دیده شود (موریسون، ۱۹۸۷).

## ۲-۱۰- افزایش کربن در گیاهان

فتوسنتز فرایندی پیچیده و حیاتی در تولید ترکیبات آلی است که به وسیله تغییرات محیطی مانند شدت نور، سطح دی‌اکسیدکربن و مواد غذایی تحت تاثیر قرار می‌گیرد. از این رو هر گونه تغییر در متابولیسم فتوسنتز به دلیل تغییرات محیطی یا فعالیت‌های کشاورزی سرانجام سبب تغییر رشد گیاه و قابلیت تولید آن خواهد شد (پالاردی و همکاران، ۲۰۰۳).

در گیاهان سه کربنه ماده خشک تولید شده در واحد سطح، حاصل برآیند فتوسنتز ناخالص، تنفس نوری و تنفس تاریکی است. غلظت دی‌اکسیدکربن به‌عنوان یک فاکتور محدود کننده برای فتوسنتز مخصوصاً در گیاهان سه کربنه به دلیل فرایند تنفس نوری است (ساگ و کوبین، ۲۰۰۷). یک همبستگی شدیدی بین نسبت دی‌اکسیدکربن به اکسیژن و فرایند تنفس نوری وجود دارد. همچنین یک رابطه خطی بین مقدار تولید ماده خشک و کارایی فتوسنتز گیاه و همچنین روش تثبیت کربن وجود دارد (حسین‌زاده و همکاران، ۲۰۱۲). گیاهان سه کربنه به دلیل تنفس نوری مقدار قابل توجهی از مواد حاصل فتوسنتز خود را در طی چند ثانیه پس از تثبیت دی‌اکسیدکربن از دست می‌دهند و اگر در شرایطی قرار گیرند که از تنفس نوری آنها جلوگیری شود یا مقدار آن کاهش یابد، رشد این گیاهان ۲۵ تا ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت (فایبرت و همکاران، ۱۹۹۵؛ گات و همکاران، ۲۰۰۰).

## ۲-۱۱- کاربرد ترکیبات کربن‌دار در گیاهان

کاربرد برگی مواد حامل کربن روش مناسبی برای افزایش آسیمیلاسیون دی‌اکسیدکربن در گیاهان سه کربنه است (حسین‌زاده و همکاران، ۲۰۱۲). ترکیبات کربن‌دار زیادی از جمله اتانول، متانول، پروپانول، بوتانول و اسیدهای آمینه مانند گلايسين و آسپارات برای افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن درون برگی و در نتیجه افزایش میزان و کارایی فتوسنتز گیاهان مورد استفاده قرار گرفته است (رامبرگ و همکاران، ۲۰۰۲). کارکرد اصلی این مواد در تولید دی‌اکسیدکربن بیشتر و برتری نسبت دی‌اکسیدکربن به اکسیژن در رقابت برای جذب توسط آنزیم رابیسکو و در نتیجه کاهش تنفس نوری است (داونی و همکاران، ۲۰۰۴؛ صفرزاده ویشکایی، ۱۳۸۶).

## ۲-۱۲- کاربرد متانول به عنوان کود کربن در گیاهان

مطالعات متعدد انجام شده بیانگر این است که رشد و عملکرد گیاهان سه کربنه با محلول پاشی متانول افزایش یافته و متانول می تواند به عنوان منبع کربن برای این گیاهان عمل کند (هانسون و راج، ۲۰۰۱؛ هیمینگ و همکاران، ۱۹۹۵؛ مخدوم و همکاران، ۲۰۰۲). اولین مطالعات تاثیر متانول بر گیاهان نشان داد اسپری کردن دوره ای ۱۰-۵۰٪ نسبت حجمی متانول می تواند ضمن افزایش تولید بیوماس تا ۱۰۰٪، سبب بهبود رشد و عملکرد در گیاهان زراعی سه کربنه شود (فال و بنسون، ۱۹۹۶؛ نانامورا و بنسون، ۱۹۹۲). متانول با اکسید شدن به دی اکسید کربن، ضمن کاهش هدر رفت کربن گیاه در فرایند تنفس نوری در شرایط گرما و نور شدید، سبب افزایش کارایی فتوسنتز و عملکرد می گردد (نانامورا و بنسون، ۱۹۹۲).

## ۲-۱۳- مکانیسم جذب دی اکسید کربن و متانول در گیاهان

سرعت انتشار دی اکسید کربن آهسته تر از سرعت انتشار بخار آب در هوا است زیرا مولکول دی اکسید کربن بزرگتر از مولکول آب بوده و دارای ضریب انتشار کوچکتری است. علاوه بر این مسیر انتشار دی اکسید کربن طولانی تر است و باید قبل از آنکه در کلروپلاست جذب شود، از غشای پلاسما، سیتوپلاسم و غشای کلروپلاست عبور کند. این غشاها به طور قابل توجهی مقاومت مسیر انتشار دی اکسید کربن را افزایش می دهند. جذب سریع متانول در گیاهان و متابولیزه شدن آن به دی اکسید کربن در بافت های گیاهی به دلیل اندازه کوچکتر متانول در مقایسه با دی اکسید کربن است (گات و همکاران، ۲۰۰۰). در مسیر ورود متانول به برگ و افزایش کربن درون سلولی، مقاومت مسیر کمتر بوده و جذب و تبدیل متانول در فضای درون سلولی با سهولت بیشتری انجام می شود. در حقیقت می توان مکانیسم تاثیر متانول را شبیه به سیستم تغلیظ دی اکسید کربن در گیاهان چهار کربنه فرض کرد که سبب برتری سرعت کربوکسیلاسیون نسبت به اکسیژناسیون می شود (احیایی و همکاران، ۱۳۸۹).

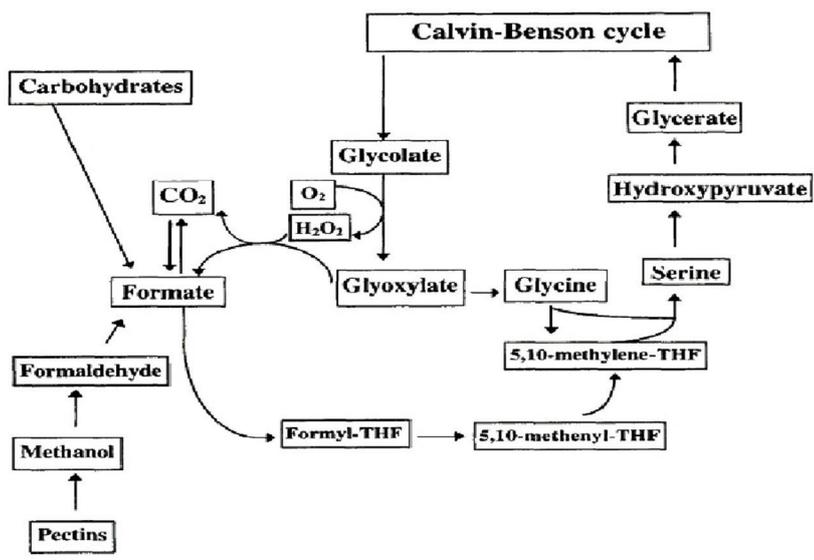
متانول، اتانول و دیگر الکل‌ها از مسیر غیرفعال و بواسطه انتشار ساده از غشاء، توسط سلول‌های گیاهان جذب می‌شوند. با این حال سرعت جذب مستقیماً به غلظت الکل بستگی دارد. همچنین مقدار واقعی جذب متانول به بافت‌های گیاه بستگی دارد (کوسین، ۱۹۸۰). مقداری از متانول در حضور نور اکسیده شده و ایجاد مقادیر زیادی آب و دی‌اکسیدکربن می‌کند (دلوین و همکاران، ۱۹۹۴). افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در برگ‌ها سبب افزایش فتوسنتز می‌گردد (احیایی و همکاران، ۱۳۸۹؛ داوونی و همکاران، ۲۰۰۴). در مسیر متابولیسم متانول به دی‌اکسیدکربن، ابتدا متانول به وسیله آنزیم متانول‌اکسیداز به فرمالدهید، آلدهید و فرمات (متانوئیک اسید) تبدیل شده و در نهایت با اکسیداسیون فرمات توسط آنزیم فرمات دهیدروژناز، به دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌شود. متابولیزه شدن متانول به دی‌اکسیدکربن با افزایش غلظت درون سلولی دی‌اکسیدکربن، سبب برتری دی‌اکسیدکربن در رقابت با اکسیژن در اتصال به رابیسکو شده و در نهایت کاهش تنفس نوری و افزایش فتوسنتز و عملکرد را به همراه دارد (گایسی و همکاران، ۱۹۹۴؛ گات و همکاران، ۲۰۰۰). یکی از عوامل موثر در سرعت نفوذ مواد به داخل گیاه، وزن مولکولی یا اندازه مولکولی ماده مورد نظر است. به دلیل کوچکتر بودن اندازه و وزن مولکولی متانول نسبت به دی‌اکسیدکربن، جذب آن توسط گیاه با سهولت بیشتری انجام می‌شود (وزن مولکولی متانول ۳۲/۰۴ گرم برمول و وزن مولکولی دی‌اکسیدکربن ۴۴/۰۰ گرم برمول است). همچنین متانول حلالیت بسیار بالایی در مواد لیپیدی غشاء داشته که سبب افزایش سرعت ورود آن به سلول‌های گیاهی است. حلالیت متانول در مواد لیپیدی غشاء ۳۰ برابر بیشتر از اوره بوده و سرعت ورود متانول به سلول‌های گیاهی حدود ۳۰۰ برابر اوره است (داوونی و همکاران، ۲۰۰۴).

## ۲-۱۴- مسیرهای متابولیسم متانول

از باکتری‌ها تا گیاهان عالی مکانیسم‌های مختلفی برای متابولیسم متانول وجود دارد. آزمایش با متانول حاوی کربن ۱۴ نشان داد که متابولیسم ممکن در گیاهان عالی یک مسیر ۳ مرحله‌ای با ترتیب تشکیل فرمالدهید- اسید فورمیک - دی‌اکسیدکربن است (کولاس و همکاران، ۱۹۹۳).

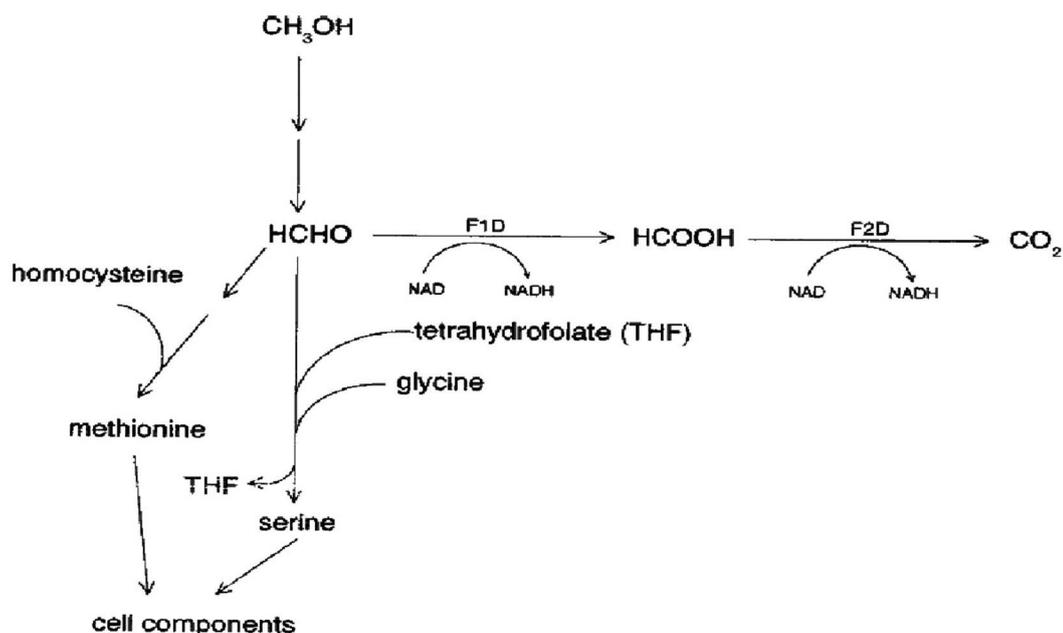


شکل ۲-۶- مسیر تبدیل متانول به دی‌اکسید کربن



شکل ۲-۷- مسیر ایجاد متانول از پکتین در گیاهان

تبدیل سریع متانول به دی‌اکسید کربن و آسیمیلاسیون دی‌اکسید کربن به وسیله سیکل فتوسنتز کلوین- بنسون نقش مثبت احتمالی متانول را در تولید بیوماس نشان می‌دهد (فال و بنسون، ۱۹۹۶). سمیت متانول برای موجودات به میزان دوز مصرفی و زمانی که در معرض آن قرار می‌گیرند بستگی دارد (کراپ، ۱۹۸۵).



شکل ۲-۸- مسیر تبدیل متانول به دی‌اکسیدکربن و اسیدهای آمینه در گیاهان

مطالعات زیادی در مورد تاثیر متانول بر گیاهان مختلف انجام شده است. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که تاثیر متانول بر گیاهان مورد مطالعه بستگی زیادی به غلظت متانول، زمان استفاده، ریخت‌شناسی و گونه گیاه دارد (دلوین و همکاران، ۱۹۹۴). نتایج کاربرد برگ‌گی متانول توسط (زبیک و همکاران، ۲۰۰۳) نشان داد که متانول با اکسیداسیون سریع به دی‌اکسیدکربن با افزایش غلظت کربن درونی گیاه، سبب بهبود کارایی فتوسنتز و در نهایت افزایش ۲۲-۱۶ درصدی عملکرد در سویا (*Glycine max*) شده است. این محققین علت افزایش فتوسنتز را کاهش تنفس نوری در گیاهان تیمار شده با متانول می‌دانند. رامیرز و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند محلول‌پاشی متانول سبب افزایش عملکرد در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum L*)، تنباکو (*Nicotiana tabacum L*) و آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana*) شده است. محلول‌پاشی متانول همراه با افزایش انباشت (ذخیره) کربن در گیاهان مورد مطالعه سبب توقف تنفس نوری در آنها شد (زبیک و همکاران، ۱۹۹۷). آنها همچنین گزارش کردند که استفاده از متانول سبب افزایش رشد در گیاهان مختلفی از قبیل سویا، چغندر قند، شلغم شد. در تحقیق دیگری کاربرد برگ‌گی متانول با نسبت حجمی ۲۰ درصد،

سبب افزایش شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه، کارایی فتوسنتز، پروتئین دانه، وزن هزار دانه، افزایش تعداد غلاف‌های رسیده و عملکرد دانه در بادام زمینی (*Arachis hypogaea*) شده است (بابائی و همکاران، ۲۰۱۴). نتایج تحقیقات هرناندز و همکاران (۲۰۰۰) بیانگر این است که محلول‌پاشی متانول سبب افزایش طول و وزن خشک ساقه و سطح برگ در آفتابگردان شده است. مطالعه میرآخوری و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد کاربرد ۱۴ تا ۲۱٪ متانول سبب افزایش عملکرد دانه، غلاف، وزن هزار دانه، شاخص سطح برگ و سرعت رشد گیاه در سویا شده است.

نتایج تحقیقات انجام شده در مورد تاثیر متانول در گیاهان بیانگر این است که افزایش گرما و نور شدید از یک طرف باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش ورود دی‌اکسیدکربن به برگ‌ها و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز شده و از طرفی با افزایش میزان تنفس نوری، سبب خروج دی‌اکسیدکربن و کاهش عملکرد در گیاهان سه کربنه شده است. محلول‌پاشی متانول با افزایش دی‌اکسیدکربن درون برگ و تاثیر بر نسبت دی‌اکسیدکربن به اکسیژن، موجب افزایش کارایی فتوسنتز و عملکرد در تعدادی از گیاهان سه کربنه شده است. در بررسی تاثیر کاربرد متانول و اتانول بر عملکرد گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea angustifolia*) مشخص شد که بیشترین عملکرد شاخص‌های مورفولوژیکی ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ در ساقه، طول برگ، عرض برگ، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، وزن تر بوته، وزن خشک بوته مربوط به محلول‌پاشی با محلول ۴۰ درصد متانول بود بیشترین میزان عملکرد قطر ریشه و وزن هزار دانه با محلول اتانول ۵۰ درصد به‌دست آمد و در نهایت بیشترین میزان تعداد گل مربوط به محلول‌پاشی با اتانول ۴۰ درصد می‌باشد. به‌طور کلی در این تحقیق می‌توان استنباط نمود که محلول‌پاشی الکل‌هایی نظیر متانول و اتانول به‌عنوان منبع کربنی و محرک زیستی می‌تواند باعث افزایش بیوماس و عملکرد گیاه دارویی سرخارگل شود (خسروی و همکاران، ۱۳۹۰). در بررسی اثر زمان و غلظت‌های محلول‌پاشی الکل متانول بر رشد و عملکرد ماش که در چهار سطح الکلی صفر و ۱۰، ۲۰، ۳۰، درصد حجمی متانول صورت گرفت مشخص شد که بین سطوح مختلف غلظت‌های محلول‌پاشی متانول از نظر تعداد دانه در غلاف، شاخص برداشت و عملکرد دانه اختلاف

معنی‌داری وجود داشت به طوری که بیشترین تعداد دانه در غلاف و شاخص برداشت متعلق به تیمار ۳۰ درصد حجمی متانول و بیشترین عملکرد دانه نیز مربوط به تیمار ۲۰ درصد حجمی متانول بود و از نظر زمان محلول‌پاشی نیز بین تیمارها اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید (نورحسینی نیاکی و همکاران، ۱۳۹۰). نتایج مطالعه تاثیر کاربرد متانول بر برخی خصوصیات مرتبط به رشد ریشه نخود تحت شرایط تنش خشکی نشان داد بین سطوح مختلف متانول اختلاف معنی‌داری از نظر وزن خشک ریشه، سطح و طول ریشه اصلی، مجموع طول ریشه‌ها، نسبت ریشه به اندام‌های هوایی و نسبت ریشه به سطح برگ وجود داشت. محلول‌پاشی با سطح ۲۵ درصد حجمی، موجب افزایش معنی‌داری در میزان وزن خشک ریشه، مجموع طول ریشه‌ها و نسبت ریشه به اندام‌های هوایی شد (حسین‌زاده و همکاران، ۲۰۱۲).

# فصل سوم

## مواد و روش‌ها

### ۳-۱- آزمایش جوانه‌زنی کنجد در آزمایشگاه

به منظور بررسی تاثیر امواج التراسونیک بر شاخص‌های مختلف جوانه‌زنی و تعیین مناسب‌ترین ترکیب شدت و مدت زمان برای اعمال تیمارهای پرایمینگ با امواج التراسونیک در آزمایشات مزرعه‌ای، عامل مدت زمان قرار دادن بذور در حمام التراسونیک و شدت‌های مختلف امواج التراسونیک در آزمایشگاه مورد ارزیابی و آزمایش قرار گرفت. این آزمایش در آزمایشگاه زراعت و تکنولوژی بذر دانشگاه جیرفت در سال ۱۳۹۴ اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ تیمار در چهار تکرار سازماندهی شد. عامل اول شامل سه سطح شدت امواج التراسونیک (۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوهرتز) و عامل دوم، مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک (۲، ۴، ۶ و ۸ دقیقه) بودند. قبل از انجام پرایمینگ با امواج التراسونیک، نمونه‌های ۱۰ گرمی بذر کنجد رقم هلیل (حدود ۳۰۰۰ بذر) انتخاب گردید. نمونه‌ها با محلول ۱۰ درصد هیپوکلریت سدیم ضدعفونی و در ادامه با آب مقطر شستشو شدند. تیمارهای پرایمینگ با قرار دادن بذور در مدت زمان‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ دقیقه و در شدت‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوهرتز، در محیط آبی حمام التراسونیک انجام گردید (فاریابی، ۱۳۷۸؛ یلداگرد و همکاران ۲۰۰۷). دستگاه مولد امواج التراسونیک مورد استفاده در این آزمایش با توان خروجی ۵۰۰ وات و تولید امواج با شدت قابل تنظیم ۱۰ تا ۴۰ کیلوهرتز بود. پس از قرار دادن نمونه‌ها در حمام التراسونیک و انجام ویوو پرایمینگ، تعداد ۱۰۰ بذر در هر تکرار برای اندازه‌گیری شاخص‌های جوانه‌زنی به صورت تصادفی انتخاب شد.

### ۳-۲- اندازه‌گیری شاخص‌های جوانه‌زنی

برای اندازه‌گیری شاخص‌های جوانه‌زنی، تعداد ۱۰۰ بذر پرایم شده برای هر تکرار انتخاب شد. کاشت بذرها در پتری‌دیش‌هایی با قطر ۱۲ سانتی‌متر و در فیلترهای کاغذی مرطوب انجام شد. بذرها در ادامه به ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۹۵٪ منتقل شدند (ایستا، ۲۰۰۹). خروج ریشه‌چه به طول دو میلی‌متر به عنوان معیار بذر جوانه زده در نظر گرفته شد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۱). شمارش بذرهاى جوانه زده به صورت روزانه و در ساعت ۸ صبح هر روز انجام شد و تا زمانی که

در دو شمارش متوالی، افزایشی در تعداد بذر جوانه زده مشاهده نگردید، ادامه یافت. در پایان روز هفتم (پایان آخرین جوانه زنی) گیاهچه‌های طبیعی و غیرطبیعی شمارش شد.

طبق تعریف گیاهچه‌های طبیعی، گیاهچه با ریشه و ساقه نمو یافته و بدون هیچ گونه ناهنجاری و گیاهچه‌های غیرطبیعی، هر گیاهچه‌ای که جزء گیاهچه‌های سالم طبقه‌بندی نشود در ردیف گیاهچه‌های غیرطبیعی قرار می‌گیرد. متخصصین جوانه‌زنی بذر، گیاهچه‌های غیر طبیعی را به دلایل مختلف مانند نداشتن ریشه‌چه، محور بالای لپه، شکل غیرمعمول و تاب خورده یا پیچیده، کاهش بسیار زیاد در رشد و قدرت گیاهچه جوان (مؤسسه آنالیز بذر، ۱۹۸۳)<sup>۱</sup> طبقه‌بندی می‌نمایند. برای اندازه‌گیری طول ریشه‌چه (RL<sup>۲</sup>) و ساقه‌چه (PL<sup>۳</sup>)، از کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر استفاده شد. همچنین سایر صفات مورد آزمایش بر اساس روابط زیر محاسبه گردید:

شاخص بنیه بذر (SVI<sup>۴</sup>) بر اساس رابطه ۱-۳ به صورت زیر محاسبه گردید (عبدالباقی و همکاران، ۱۹۷۳):

$$SVI = ((PL + RL) \times GP) / 100 \quad \text{رابطه ۱-۳}$$

درصد جوانه‌زنی (GP<sup>۵</sup>) از رابطه (۲-۳) محاسبه شد (اسکات و همکاران، ۱۹۸۴):

$$GP = \frac{\sum n}{N} \times 100 \quad \text{رابطه ۲-۳}$$

که در این رابطه n: تعداد بذره‌های جوانه‌زده در هر شمارش و N: تعداد کل بذرها در تیمار است.

سرعت جوانه‌زنی (SG) مطابق با رابطه ۳-۳ محاسبه شد (مگوایر، ۱۹۶۲):

$$SG = \frac{\sum ni}{Di} \quad \text{رابطه ۳-۳}$$

که در این رابطه ni: تعداد بذره‌های جوانه‌زده در هر شمارش و Di: تعداد روز پس از کاشت بذر می‌باشد.

1 Association of Official Seed Analysis

2 RL: Root Length

3 PL: Plumola Length

4 SVI: Seed Vigor Index

5 GP: Germination Percentage

متوسط زمان جوانه‌زنی<sup>۱</sup> (MGT) بر اساس رابطه ۳-۴ محاسبه گردید (خواجه‌حسینی و همکاران، ۲۰۰۹):

$$MGT = \frac{\sum nd}{\sum n} \quad \text{رابطه ۳-۴}$$

در این رابطه n: تعداد بذرهاى جوانه‌زده در هر روز و d: تعداد روزهای سپری شده از شروع آزمایش است.

متوسط جوانه‌زنی روزانه<sup>۲</sup> (MDG) طبق رابطه ۳-۵ محاسبه گردید (هانتر و همکاران، ۱۹۸۴):

$$MDG = \frac{FGP}{d} \quad \text{رابطه ۳-۵}$$

که FGP درصد جوانه‌زنی نهایی و d: شماره روز تا زمان حداکثر جوانه‌زنی می‌باشد. ضریب یکنواختی جوانه‌زنی<sup>۳</sup> (CUG) بر اساس رابطه ۳-۶ به صورت زیر محاسبه شد (بیولی و بلک، ۱۹۹۴):

$$CUG = \frac{\sum n}{\sum [D^- - Di]^2} \times ni \quad \text{رابطه ۳-۶}$$

که ni: تعداد بذرهاى جوانه‌زده در روز i ام و Di شماره روزهای شمارش شده از شروع کاشت و D<sup>-</sup> میانگین زمان جوانه‌زنی است.

### ۳-۳-۳- نمونه برداری و اندازه‌گیری آنزیم‌های آنتی اکسیدان در آزمایشگاه

#### ۳-۳-۳-۱- استخراج آنزیم‌های آنتی اکسیدان

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان در مرحله آبنوشی و در مرحله سه روز پس از جوانه‌زنی در بذرها انجام شد. برای اندازه‌گیری، ۰/۵ گرم از بذرها در مرحله آبنوشی (۴ ساعت پس از کشت) و مرحله جوانه‌زنی (۳۶ ساعت پس از کشت) برای استخراج آنزیم‌ها استفاده شد (میرشکاری و همکاران، ۲۰۱۵). جهت استخراج آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز از روش سایرام و همکاران (۲۰۰۱) و (۲۰۰۲) استفاده شد. ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه بذرها در ۵ میلی لیتر از محلول ۰/۱ مولار بافر فسفات

1: Mean Germination Time  
2: Mean daily Germination  
3: Coefficient Uniformity Germination

پتاسیم (pH= ۷/۵) و ۰/۵ میلی مول EDTA، به وسیله هاون سائیده و مخلوط حاصل از کاغذ صافی عبور داده شد. سپس این محلول داخل تیوپ‌های ۱/۵ میلی لیتری ریخته شد و با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه به وسیله سانتریفوژ یخچال دار و در دمای ۴ درجه سانتی گراد همگن شد. فاز بالایی عصاره (سوپرناتانت) به دست آمده، جهت تعیین میزان فعالیت آنتی اکسیدان‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز مورد استفاده قرار گرفت. عصاره آنزیمی از بذرها در فاز آبنوشی و فاز جوانه زنی به صورت جداگانه استخراج و اندازه گیری شدند (سایرام و همکاران، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲).

**۳-۳-۲- سنجش آنزیم سوپراکسید دیسموتاز:** جهت تعیین مقدار آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از روش سایرام و همکاران استفاده شد (۲۰۰۱). برای تهیه ترکیب واکنش از ۱۳ میلی مول متیونین، ۲۵ میکرومول نیتروبلوتترازولیموم (NBT)، ۶ میکرومول محلول ۰/۵ مولار EDTA، ۱/۵ میلی لیتر از محلول ۱ مولار فسفات بافر (pH= ۷/۸)، ۶۰ میکرومول ریبولوین یک میلی مولار و ۵۰ میلی مول سدیم بیکربنات استفاده شد. سپس ۲/۹ میلی لیتر از مخلوط حاصل را داخل تیوپ استریل ریخته، بلافاصله پس از افزودن دو میکرومول ریبولوین و ۰/۱ میلی لیتر عصاره آنزیمی، لوله‌های آزمایش به مدت ۱۵ دقیقه در فاصله ۳۰ سانتی متری زیر نور لامپ فلورسانس (دو لامپ ۱۵ وات) قرار داده شد و در این فاصله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۶۰ نانومتر و توسط محلول تاریکی به عنوان شاهد تنظیم شد. پس از ۱۵ دقیقه جذب نمونه‌ها در طول موج مذکور خوانده شد. در ادامه فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بر اساس واحد آنزیمی به ازای هر میلی گرم پروتئین برای تمام نمونه‌ها محاسبه گردید.

**۳-۳-۳- سنجش آنزیم کاتالاز:** میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) با بررسی کاهش مقدار پراکسید هیدروژن در طول موج ۲۴۰ نانومتر از روش سایرام و همکاران (۲۰۰۲) انجام شد. بدین ترتیب که ترکیبی از ۱۵ میکرولیتر پروکسید هیدروژن و ۰/۱ میلی لیتر عصاره آنزیمی برداشته و با استفاده از محلول ۰/۱ مولار بافر فسفات (pH= ۷) حجم محلول را به سه میلی لیتر رسانده شد. واکنش با افزودن عصاره آنزیمی آغاز گردید و تغییرات جذب محلول واکنش در طول موج ۲۴۰

نانومتر به مدت پنج دقیقه در فواصل زمانی پنج ثانیه ثبت شد. در ادامه فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه شده (ضریب خاموشی ۴۰ میلی مولار بر سانتی متر در دقیقه به ازای یک میلی گرم پروتئین) بیان گردید.

### ۳-۴- تعیین صفات مورفولوژیک در آزمایش گلدانی

به منظور بررسی اثرات امواج التراسونیک بر سبز شدن، شاخص‌های مورفولوژیک و رشد گیاه کنجد، آزمایش دوم در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه جیرفت در سال ۱۳۹۳ انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ تیمار در چهار تکرار سازماندهی شد. عامل اول شامل سه سطح شدت امواج التراسونیک (۲، ۴، ۶ و ۸ دقیقه) بودند. برای اعمال پرایمینگ با امواج التراسونیک، ابتدا بذرها با هیپوکلریت سدیم با غلظت ۱۰ درصد به مدت دو دقیقه ضدعفونی و در ادامه با آب مقطر شستشو شدند. سپس بذرها با توجه به مدت زمان و شدت امواج در معرض امواج التراسونیک قرار داده شدند. پس از پرایم نمودن بذور در حمام التراسونیک، بذرها در دمای معمولی اتاق به مدت ۲ روز خشک شده و در ادامه تعداد ۱۰ بذر در هر تکرار به صورت تصادفی انتخاب گردید. بذرها در عمق ۲ سانتی متر گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۱۵ و ارتفاع ۲۵ سانتی متر کاشت شدند. خاک مورد استفاده در آزمایش گلدانی از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه جیرفت انتخاب گردید. خصوصیات خاک ذکر شده در جدول ۱۰ پیوست نشان داده شده است. قبل از پر نمودن گلدان‌ها با خاک مزرعه، ابتدا بقایای گیاهی سال‌های قبل از سطح خاک برداشته شده و خاک مورد نظر از عمق حدود ۲۰ سانتی متری انتخاب شد. نیتروژن از منبع کود اوره به میزان ۱۲ گرم در متر مربع (معادل ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار)، مونو آمونیوم فسفات ۱۵ گرم (معادل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات آمونیوم به میزان ۱۰ گرم در متر مربع (معادل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) به خاک اضافه گردید و کاملاً با بیلچه مخلوط شد و در ادامه گلدان‌ها با خاک پر گردید. پس از کاشت بذر در عمق ۲ سانتی متری خاک، اولین آبیاری گلدان‌ها با آبپاش دستی انجام گردید و گلدان‌ها در شرایط طول روز ۱۳ ساعت و میانگین دمای ۲۶ درجه و

رطوبت حدود ۷۰ درصد نگهداری شدند. پس از سبز شدن، اندازه‌گیری شاخص‌های سبز شدن و مورفولوژیک کنگد به صورت روزانه انجام گردید. برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک، گلدان‌ها به مدت ۳۵ روز در گلخانه نگهداری شدند.

### ۳-۵- اندازه‌گیری شاخص‌های سبز شدن

پس از جوانه‌زنی و سبز شدن، شمارش تعداد گیاهچه‌های سبز شده به صورت روزانه انجام شد. در پایان روز هشتم (پایان سبز شدن)، شاخص‌های سرعت سبز شدن (SE) و درصد سبز شدن (EP) با استفاده از روابط زیر اندازه‌گیری شد (بادثورت و بیولی، ۱۹۸۱):

$$SE = \frac{\sum ni}{Di} \quad \text{رابطه ۳-۷}$$

$$EP = \frac{\sum ni}{\sum ni di} \times 100 \quad \text{رابطه ۳-۸}$$

ni: تعداد بذرهای سبز شده در هر شمارش.

Di: تعداد روز پس از کاشت بذر است.

### ۳-۶- اندازه‌گیری شاخص‌های مورفولوژیکی

پس از اندازه‌گیری شاخص‌های سبز شدن، با حذف بوته‌های اضافی، تعداد ۴ بوته به صورت تصادفی در هر گلدان انتخاب شد. شاخص‌های مورفولوژیکی شامل سطح برگ (LA)، طول ساقه (SH.L)، طول ریشه (R.L)، بیوماس کل (TDW) و نسبت ریشه به ساقه (SHL/RL) در پایان روز ۳۵-ام در گلخانه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ در روز ۳۵-ام از دستگاه (LAM) استفاده شد. از هر تکرار یک بوته از خاک خارج و پس از شستشوی خاک اطراف ریشه، طول ریشه اندازه‌گیری شد. پس از جدا کردن ریشه و ساقه، و قرار دادن در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم گرم توزین شدند. در ادامه بیوماس کل محاسبه گردید.

### ۳-۷- تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم افزار SAS (SAS v9.3) انجام شد. قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها آزمون بارتلت برای نرمال بودن داده‌ها استفاده گردید. همچنین برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده گردید. رسم نمودارها با نرم افزار Excel انجام گردید.

### ۳-۸- آزمایشات مزرعه‌ای در ایستگاه جیرفت و جازموریان

#### ۳-۸-۱- زمان و محل اجرای آزمایشات

به منظور بررسی اثر پرایمینگ با امواج التراسونیک، زمان و غلظت محلول پاشی متانول بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیک کنجد، دو آزمایش مزرعه‌ای در خرداد ماه سال ۱۳۹۴ در ایستگاه جیرفت و جازموریان از توابع شهرستان اسلام آباد جنوب انجام شد.

#### ۳-۸-۲- مختصات جغرافیایی محل‌های اجرای آزمایش

ایستگاه اول واقع در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه جیرفت با عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی در ارتفاع ۶۵۳ متری از سطح دریا بود و ایستگاه دوم در منطقه جازموریان با عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی با ارتفاع ۳۸۶ متری از سطح دریا انجام گردید (شکل ۳-۱).

#### ۳-۸-۳- شرایط آب و هوایی محل‌های انجام آزمایش

ایستگاه جیرفت دارای اقلیم گرم و مرطوب و میانگین بارندگی سالیانه منطقه جیرفت ۱۴۰ میلی‌متر و ایستگاه جازموریان دارای اقلیم گرم و خشک متأثر از بادهای ۱۲۰ روزه سیستان و میانگین ۱۰۲ میلی‌متر بارندگی سالیانه است. سایر مشخصات هواشناسی ایستگاه‌های انجام تحقیق در جدول پیوست ۳ و ۴ ارائه شده است.



شکل ۳-۱- موقعیت مکانی دو ایستگاه انجام آزمایشات مزرعه‌ای.

### ۳-۸-۴- خصوصیات خاک ایستگاه‌های اجرای آزمایش

ایستگاه جیرفت دارای خاک لومی‌شنی با اسیدیتته  $7/4$  و عصاره اشباع  $1/2$  دسی زیمنس بر متر و ایستگاه جازموریان دارای خاک لومی‌شنی با اسیدیتته  $7/6$  و عصاره اشباع  $1/2$  دسی زیمنس بر متر بود. سایر خصوصیات خاک‌های محل آزمایش در جدول پیوست ۵ ذکر شده است.

### ۳-۸-۵- نقشه و طرح اجرای آزمایش‌های انجام شده در مزرعه

آزمایشات مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار و ۲۴ تیمار در سال ۱۳۹۴ انجام گردید. در این آزمایشات عوامل مورد مطالعه عبارتند از: عامل اول، مدت زمان پرایم با استفاده از امواج التراسونیک (T) شامل (۰، ۲، ۴ و ۶ دقیقه قرار دادن بذور در معرض امواج التراسونیک) و عامل دوم غلظت محلول متانول (M) شامل (۰، ۲۰ و ۴۰ درصد حجمی) همچنین عامل سوم زمان کاربرد متانول در دو مرحله (S) شامل  $S_1$  (مرحله قبل از گلدهی) و  $S_2$  (مرحله پس از ۵۰٪ گلدهی).

### ۳-۹- خصوصیات رقم مورد استفاده

در این مطالعات از رقم کنجد اصلاح شده هلیل (*Sesamum indicum* L. cv. Halil)، که از توده بومی جیرفت به دست آمده استفاده شد. این رقم با متوسط ارتفاع ۱۱۰-۱۵۰ سانتی متر، دیررس با طول دوره رشد حدود ۱۵۰ روز، چند شاخه و رشد نامحدود است. بذر این رقم از مرکز تحقیقات کشاورزی شهید مقبل جیرفت تهیه شد.

### ۳-۱۰- اعمال تیمار امواج دهی و پرایمینگ بذر

در این آزمایشات برای پرایم نمودن بذرها از دستگاه مولد امواج التراسونیک با طول موج ۳۰ کیلوهرتز استفاده شد و بذرهای مورد مطالعه در تیمارهای زمانی مشخص (صفر)، ۲، ۴ و ۶ دقیقه، در حمام التراسونیک قرار داده شدند. بذرهای کنجد قبل از پرایم با امواج التراسونیک با محلول ۱۰ درصد هیپوکلریت سدیم به مدت ۲ دقیقه انجام شد. بذرهای هر تیمار زمانی التراسونیک به صورت مجزا بسته بندی شده و بعد از پرایم با امواج التراسونیک خشک شدند. برای حفاظت بذرها از پاتوژنهای خاکزی از قارچ کش ویتاواکس به نسبت دو در هزار در بذرها استفاده شد.

### ۳-۱۱- آماده سازی زمین

در این آزمایشات از آبیاری قطره‌ای استفاده شد و در زمین انجام آزمایش در جازموریان که فاقد سیستم آبیاری قطره‌ای بود پمپ برقی و سایر ملزومات آبیاری تحت فشار در محل نصب گردید. نمونه برداری خاک مزرعه برای آزمایش خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری انجام گردید (۱۷ خرداد). زمین محل آزمایش قبل از شخم و به منظور عملیات خاک‌ورزی مناسب، به صورت غرقاب آبیاری شدند. پس از ۲ روز خاک مزرعه به عمق ۳۰ سانتی متر شخم زده شد. برای شخم زمین از گاواهن برگردان‌دار استفاده شد. برای مبارزه با علف‌های هرز از علف‌کش ترفلان به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار قبل از شخم استفاده شد. ۵۰ کیلوگرم کود اوره و ۲۵۰ کیلوگرم دی‌آمونیم فسفات و ۱۵۰ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم (با ازاء هر هکتار) پس از شخم در سطح خاک به وسیله دست توزیع و در

ادامه با دیسک سبک با خاک مخلوط گردید. تسطیح و آماده سازی کرت‌ها با ادوات دستی متعاقباً انجام شد. پس از آماده سازی کرت‌ها در هر محل آزمایش، نوار تیپ در سطح کرت‌ها نصب گردید.

### ۳-۱۲- کاشت کنجد

با توجه به ریز بودن بذر کنجد و به‌منظور سهولت در کاشت، بذره‌های کنجد با مقداری خاک مخلوط شده و سپس در جویچه‌های ایجاد شده در عمق ۳ سانتی‌متری کاشت شدند. کاشت کنجد در منطقه جیرفت در تاریخ ۹ تیر و در جازموریان در تاریخ ۱۴ تیر انجام گردید. در هر منطقه مورد آزمایش، ۹۶ کرت به ابعاد ۴×۲ متر ایجاد شد و هر کرت شامل چهار ردیف کنجد با فاصله ۴۰ سانتی‌متری و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۸ سانتی‌متر بود.

### ۳-۱۳- آبیاری و کوددهی

اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت انجام و آبیاری‌های بعدی تا سبز شدن کنجد، به فاصله زمانی هر دو روز یک بار انجام گردید. سایر آبیاری‌ها براساس نیاز آبی گیاه و با توجه به شرایط محیطی از جمله دما، رطوبت نسبی هوا و وزش باد و به روش قطره‌ای انجام شد. تنک کردن بوته‌ها در مرحله چهار برگی و برای ایجاد فاصله حدود ۸ سانتی‌متری بین بوته‌های مجاور انجام گردید. در این آزمایشات کود نیتروژن به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به فرم اوره استفاده شد. کود اوره در سه قسمت، یک نوبت همزمان با کاشت و نوبت دوم پس از تنک کردن و استقرار کامل بوته‌ها در مرحله ۴-۶ برگی و نوبت بعدی نیز قبل از گلدهی مورد استفاده قرار گرفت.

### ۳-۱۴- محلول‌پاشی متانول

محلول‌پاشی متانول در دو مرحله زمانی در طی فصل رشد انجام شد. مرحله اول ۳۵ روز بعد از سبز شدن در مرحله رشد سریع و قبل از ظاهر شدن جوانه‌های گل انجام و مرحله دوم محلول‌پاشی پس از گلدهی انجام گردید. محلول‌پاشی در ساعات پایانی روز انجام و تا جاری شدن قطره‌های محلول در روی شاخ و برگ ادامه یافت. برای جلوگیری از تاثیر محلول‌پاشی هر کرت بر کرت‌های مجاور از حفاظ‌های نایلونی قابل حمل با ارتفاع دو متر در حد فاصل کرت‌های مجاور در زمان محلول‌پاشی

استفاده شد. در تیمار شاهد (غلظت صفر درصد متانول) برای محلول پاشی از آب مقطر به تنهایی استفاده شد. برای محلول پاشی سمپاش شارژی پشتی سولو مدل ۴۱۶ ساخت آلمان با ظرفیت ۲۰ لیتر و فشار پاششی ۴/۳ بار و دبی ۱/۴۲ لیتر در دقیقه مورد استفاده قرار گرفت. حجم محلول به کار رفته در هر تیمار (مجموع چهار تکرار) ۲۵/۶ لیتر بود که مقدار آب و متانول در تیمارهایی با غلظت صفر، ۲۵/۶ لیتر آب، در غلظت ۲۰ درصد حجمی، ۵/۱۲ لیتر متانول و در غلظت ۴۰ درصد حجمی، ۱۰/۲۴ لیتر متانول استفاده شد.

### ۳-۱۵- نمونه برداری

در هر کرت تعداد ۱۰ بوته در مراحل مختلف نمونه برداری به طور تصادفی انتخاب و نمونه برداری و اندازه گیری صفات انجام شد. اندازه گیری قطر ساقه (به وسیله کولیس)، سطح برگ (به وسیله leaf area meter مدل CI-203)، ارتفاع گیاه (خط کش)، میانگین طول شاخه های جانبی (خط کش)، تعداد دانه در کپسول (انتخاب تصادفی ۲۰ کپسول در هر بوته و شمارش تعداد بذر در آنها) انجام شد. میانگین به دست آمده از صفات فوق به عنوان شاخص آن کرت منظور شد. برداشت نهایی در ۵ و ۱۱ آذر (ایستگاه جازموریان و جیرفت به ترتیب) از دو ردیف وسط هر کرت و با حذف اثر حاشیه ای (۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر ردیف) و به تعداد ۷۵ بوته در هر واحد آزمایشی انجام شد. پس از برداشت شمارش هزار دانه انجام و توزین وزن هزار دانه و عملکرد دانه به وسیله ترازو با دقت یک هزارم گرم تعیین و شاخص برداشت نیز محاسبه شد. برای اندازه گیری وزن خشک اندام هوایی ۱۰ بوته از هر کدام از دو ردیف وسط (مجموعاً ۲۰ بوته) به صورت تصادفی انتخاب شده و پس از قطع کردن از سطح خاک تارسیدن به وزن ثابت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد قرار داده شدند.

### ۳-۱۵-۱- سنجش کلروفیل a ، b و کاروتنوئید

برای اندازه گیری رنگیته های فتوسنتزی از بالاترین برگ توسعه یافته کنجد در بوته استفاده شد. برای سنجش میزان کلروفیل و کاروتنوئید از روش لیچنتالر (۱۹۸۷) استفاده گردید. ابتدا ۰/۱ گرم برگ با ۴ میلی لیتر استن ۸۰٪ درهاون چینی سائیده و سپس محلول حاصل به مدت ۵ دقیقه در

۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد. در ادامه جذب محلول رویی جهت تعیین میزان کلروفیل و کارتنوئید توسط اسپکتروفتومتر مدل ۲۱۰۰ در طول موج‌های ۶۶۴، ۶۴۷ و ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید. جهت صفر کردن دستگاه از استن ۸۰٪ استفاده شد. غلظت رنگیزه‌های کلروفیل کل (Chl T) کلروفیل a (Chl a) و کلروفیل b (Chl b) و کارتنوئید (Carotenoides) از طریق رابطه‌های (۹-۳) تا (۱۲-۳) محاسبه گردید:

$Chl-a = 12/25 (A_{664}) - 2/79 (A_{647})$	رابطه ۹-۳
$Chl-b = 21/21 (A_{647}) - 5/1 (A_{664})$	رابطه ۱۰-۳
$Carotenoid = (1000 A_{470} - 1/8 Chla - 85/02 Chlb) / 198$	رابطه ۱۱-۳
$ChlT = Chla + Chlb$	رابطه ۱۲-۳

### ۳-۱۵-۲- سنجش میزان آنتوسیانین

دیسک‌های برگ تهیه شده از گیاه توسط پانچ به وزن ۵۰ گرم در هاون چینی و با مقداری متانول اسیدی به نسبت حجمی ۱:۹۹ میلی‌لیتر (متانول خالص ۹۹٪) و اسید کلریدریک خالص (۱٪) کاملاً ساییده و پس از ریختن عصاره در لوله‌های در دار به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و جذب روشن‌آور در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید (واگنر، ۱۹۷۹). برای محاسبه غلظت آنتوسیانین از رابطه ۱۳-۳ استفاده شد:

$$A = \varepsilon BC$$

رابطه ۱۳-۳

در این رابطه  $\varepsilon$ ، ضریب خاموشی ۳۳۰۰۰ سانتی‌متر بر مول در نظر گرفته شد. B، عرض کووت برابر با یک سانتی‌متر و C، غلظت کمپلکس بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر می‌باشد.

### ۳-۱۵-۳- اندازه‌گیری فندهای محلول برگ

میزان فندهای محلول به روش فنل سولفوریک و بر اساس هیدرولیز اسیدی فندهای محلول و ایجاد ترکیب فورفورال که با فنل تولید یک کمپلکس رنگی می‌کند، اندازه‌گیری شد (دابیسی و

همکاران، ۱۹۵۶). ۰/۵ گرم وزن تر گیاه از هر تیمار توزین و در داخل پنج میلی‌لیتر اتانول به‌وسیله هاون خوب له گردید. پس از عبور از کاغذ صافی، از عصاره حاصله دو میلی‌لیتر برداشته و روی آن یک میلی‌لیتر فنل پنج درصد ریخته شد. در نهایت به هر کدام از لوله‌ها سه میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸ درصد اضافه گردید. پس از حدود یک ساعت که رنگ لوله‌ها ظاهر و تثبیت شد، میزان جذب در ۴۸۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و با استفاده از منحنی استاندارد قند گلوکز، میزان قند بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

### ۳-۱۵-۴- اندازه‌گیری پرولین

مراحل تعیین میزان پرولین برگ به‌ترتیب زیر انجام شد: ۰/۵ گرم ماده‌تر گیاهی را با هاون خرد شده و درون یک تیوب ریخته شد، سپس ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالسیلیک اسید ۳٪ آماده شده را به آن اضافه نموده و نمونه را درون یخ قرار داده شد. تیوب را در ۱۵۰۰۰ دور به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ نموده تا مواد اضافی از محلول جدا گردید. مقدار دو میلی‌لیتر از عصاره صاف شده را درون تیوب جدید ریخته و دو میلی‌لیتر اسید ناین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن افزوده و سپس خوب مخلوط شد. همزمان مقدار دو میلی‌لیتر از محلول‌های استاندارد صفر، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر پرولین را درون تیوب‌های جدید ریخته و دو میلی‌لیتر اسید ناین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن‌ها افزوده و سپس خوب مخلوط شد. نمونه‌ها را در حمام آب گرم به مدت یک ساعت حرارت داده و سپس درون حمام یخ قرار داده شد. مقدار چهار میلی‌لیتر تولوئن به محلول اضافه نموده و آن را به مدت ۲۰ ثانیه با دستگاه ورتکس به هم زده شد. استانداردهای پرولین محلول در فاز تولوئن را به اندازه لازم در کووت دستگاه اسپکتروفتومتر ریخته و مقدار پرولین را در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت کرده و منحنی استاندارد رسم شد. سپس میزان جذب در نمونه‌های گیاهی را قرائت نموده و با قراردادن آن در معادله خط، مقدار پرولین بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر نمونه (بیتس و همکاران، ۱۹۷۳) محاسبه گردید.

### ۳-۱۵-۵- سنجش محتوی آب نسبی برگ (RWC)

جهت اندازه‌گیری محتوی رطوبت نسبی برگ در بوته‌های کنجد تیمار شده با محلول متانول و آب، از روش راینتج و همکاران (۱۹۹۰) استفاده شد. برای این منظور ۰/۵ گرم از جوان‌ترین برگ‌های توسعه یافته هر گیاه جدا و در آزمایشگاه وزن تازه آنها تعیین شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر در تاریکی و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد شناور شدند. پس از آبیگری، قطعات برگ بلافاصله توزین شدند تا وزن برگ‌ها در حالت تورژسانس به دست آید. در ادامه قطعات برگ در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند تا وزن خشک نمونه برگی به دست آید. برای محاسبه محتوی نسبی آب برگ‌ها از رابطه زیر استفاده شد:

$$\text{RWC} = 100 * [ (FW - DW) / (TW - DW) ] \quad \text{رابطه ۳-۱۴}$$

که در این رابطه: FW وزن تر نمونه برگی، TW: وزن برگ‌ها در حالت تورژسانس و DW: وزن خشک نمونه برگی است.

### ۳-۱۵-۶- سنجش پروتئین دانه

سنجش پروتئین کل با روش کج‌لدال با ۱۲ لوله پخت صورت گرفت. هر لوله پخت شامل یک گرم نمونه، پنج گرم از مخلوط سولفات‌ها (سولفات مس ۳/۵ گرم + سولفات پتاسیم ۰/۹۶ گرم + اکسید سلنیوم ۰/۵ گرم) + ۲۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ بود. برای عملیات هضم، دستگاه ۱۵ دقیقه در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم و ثابت ماند و بعد در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد، یعنی دمای شروع هضم قرار داده شد. مدت زمان لازم برای رسیدن به این دما ۹۰ دقیقه بود. بعد از طی ۱/۵ ساعت، لوله محتوی نمونه را برداشته و ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به هر لوله اضافه گردید و در قسمت تقطیر، در جایگاه مخصوص لوله‌ها قرار داده شد و در جایگاه ارلن، ارلن‌های حاوی اسید بوریک دو درصد + ۰/۱۶ گرم برموکروزول + ۱۰۰ میلی‌لیتر اتانول قرار گرفت. بعد از تغییر رنگ محلول از بنفش کم رنگ به سبز کم رنگ، تیتراسیون با اسید سولفوریک یک نرمال انجام شد. پس از تیتراسیون با استفاده ضریب تبدیل ۵/۳۰ (ساداسیوم و مانیام، ۲۰۰۵) میزان پروتئین محاسبه شد.

### ۳-۱۵-۷- سنجش درصد روغن و میزان اسیدهای چرب (سوکسله)

برای تعیین درصد روغن از روش استخراج گرم AOAC Official Method 972.28 و با استفاده از دستگاه سوکسله استفاده شد (گریاندلر و همکاران، ۲۰۰۶). جهت تعیین میزان اسیدهای چرب روغن باید استخراج روغن بدون قرار گرفتن در دمای بالا (جهت عدم تغییرات احتمالی در ترکیب اسیدهای چرب) انجام شود. از این رو، ۵۰ گرم بذر از هر یک از تیمارهای آزمایش پس از آسیاب کردن، به نسبت یک به چهار با هگزان مخلوط و به مدت ۴۸ ساعت روی دستگاه شیکر (۱۶۰ دور در دقیقه) قرار داده شد (فرهوش و همکاران، ۲۰۰۹). پس از جداسازی حلال از محلول حاصل، ۱۵ قطره از روغن هر یک از نمونه‌ها در یک لوله آزمایش ریخته و به آن هفت میلی‌لیتر پتاس متانولی دو مولار اضافه گردید. سپس لوله آزمایش در بن‌ماری ۵۵-۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از تکان دادن محلول، محتویات آن به یک لوله کوچک‌تر منتقل و در همان دمای بن‌ماری به مدت سه دقیقه قرار گرفت. پس از برداشت فاز روئی از محلول و عبور دادن از سولفات پتاسیم جهت رطوبت‌گیری و صاف کردن آن، هر یک از نمونه‌ها به دستگاه گاز کروماتوگرافی جرمی (GC/MASS) (Acme 6000, ) (YOUNG LIN, Korea) با ستونی به طول ۱۰۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه ۰/۲ میکرومتر از نوع CP-Sil Wcot Fused Silica تزریق شد. روش تزریق به دستگاه کروماتوگرافی به صورت Split 100:1 صورت گرفت. درجه حرارت محل تزریق ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، درجه حرارت آشکار ساز، ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت جریان گاز حامل هلیوم ۳۰ میلی‌لیتر در دقیقه و میزان تزریق ۰/۵ میکرولیتر بود. با مقایسه پیک نمونه‌ها با پیک استاندارد و بر اساس پیک‌های Relative Retention Time، نوع اسید چرب شناسایی و مقادیر هر یک از آنها از محاسبه سطح زیر منحنی پیک‌های حاصله تعیین شد.

### ۳-۱۶- تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش

آنالیز داده‌های آزمایش توسط نرم افزارهای SAS (SAS v 9.3) و MSTAT-C انجام شد. رسم نمودارها به وسیله نرم افزار Excel و مقایسات میانگین صفات مورد مطالعه به وسیله آزمون چند

دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام شد. قبل از آنالیز داده‌ها، تست یکنواختی داده‌های آزمایش

بر اساس روش بارتلت انجام شد.



# فصل چہارم

نتایج و بحث

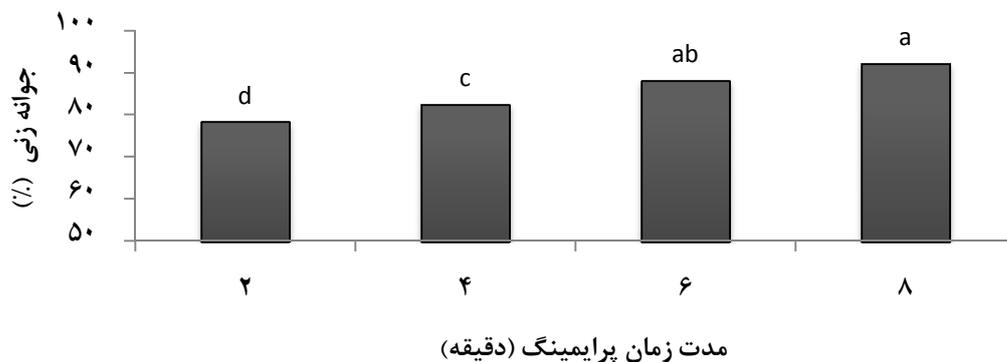
#### ۴-۱- نتایج آزمایشگاهی (آزمایش اول)

##### ۴-۱-۱- درصد جوانه‌زنی

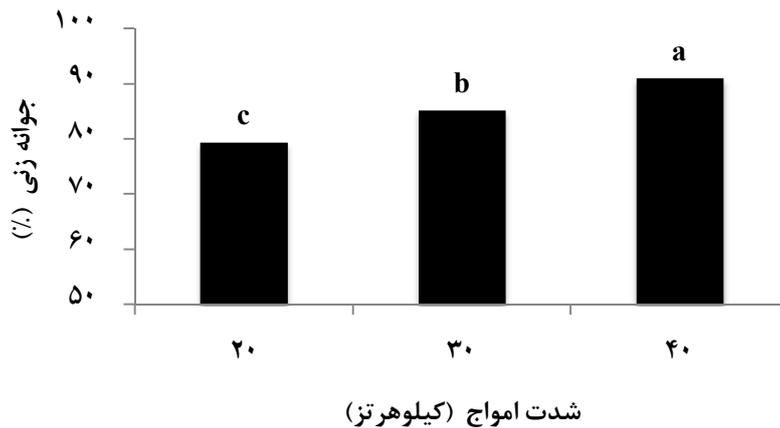
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل شدت و مدت زمان کاربرد امواج التراسونیک بر درصد جوانه‌زنی معنی‌دار نبود. اثر ساده شدت و مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر درصد جوانه‌زنی به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار شد (جدول پیوست ۶). مقایسه میانگین اثرات ساده شدت و مدت زمان کاربرد امواج نشان داد با افزایش شدت و مدت زمان قرار گرفتن بذر در معرض امواج التراسونیک، درصد جوانه‌زنی به صورت معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین درصد جوانه‌زنی در مدت زمان ۸ دقیقه قرار گرفتن بذور در معرض امواج به میزان ۹۲/۰۱٪ حاصل شد و با مدت زمان ۶ دقیقه تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۴-۱). با توجه به مقایسه میانگین‌ها ۸ دقیقه استفاده از امواج التراسونیک با مدت زمان کاربرد ۴ و ۲ دقیقه به ترتیب تفاوت ۹/۷۱٪ و ۱۳/۸۷٪ را نشان داد. نتایج مقایسه میانگین‌ها همچنین نشان داد بیشترین و کمترین درصد جوانه‌زنی به ترتیب در شدت ۴۰ و ۲۰ کیلوهرتز به دست آمد. بر این اساس شدت ۴۰ کیلوهرتز در مقایسه با شدت‌های ۳۰ و ۲۰ کیلوهرتز تفاوت ۵/۸۳ و ۱۱/۶۳٪ را نشان داد (شکل ۴-۲). اثر متقابل مدت و شدت امواج بر درصد جوانه‌زنی معنی‌دار نگردید (جدول پیوست ۶).

نتایج مطالعه سرخی‌لله‌لو و همکاران (۱۳۸۸) در گیاه دارویی همیشه بهار نشان داد با افزایش مدت زمان کاربرد امواج التراسونیک درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه در تیمارهای ۱ و ۴ دقیقه پرایم با امواج التراسونیک نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت و در تیمار ۶ و ۸ دقیقه کاهش معنی‌داری در صفات مورد مطالعه نسبت به شاهد دیده شد. مطابق با یافته‌های فاریابی و همکاران (۱۳۸۷)، ۶ دقیقه بهترین تیمار زمانی پرایمینگ با امواج التراسونیک برای تربچه بود و تاثیر تیمار ۸ دقیقه در بذور این گیاه، کاهش شدید جوانه‌زنی را نشان داد. در تحقیق ریسکا و همکاران (۲۰۰۷) افزایش ۴۰ درصدی جوانه‌زنی در بذر صنوبر در مدت زمان ۵۰ ثانیه استفاده از امواج التراسونیک گزارش شده است. نتایج این تحقیق همچنین بیانگر این

است که مدت زمان مناسب تیمار امواج التراسونیک برای پرایمینگ در بین ارقام و گونه‌ها بسیار متنوع است. یافته‌های الدجاجیان و همکاران (۲۰۰۷) تاثیر توام مدت زمان و شدت امواج التراسونیک را بر جوانه‌زنی گندم نشان می‌دهد و اینکه که تاثیر امواج التراسونیک بر جوانه‌زنی، به شدت امواج و مدت زمان قرار گرفتن بذر در معرض امواج التراسونیک بستگی دارد. برخی محققین گزارش کردند که پرایمینگ باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت از قبیل گلوکاتایون ریداکتاز و آسکوربات پراکسیداز در بذر می‌گردد که این آنزیم‌ها میزان پراکسیداسیون لیپید را در طی جوانه‌زنی کاهش می‌دهند و در نتیجه باعث افزایش درصد جوانه‌زنی می‌شوند (پاه و همکاران، ۲۰۰۵). همبستگی مثبت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز را می‌توان از جمله دلایل تاثیر مثبت این آنزیم‌ها بر جوانه‌زنی دانست. همچنین اثر کایتاسیون امواج التراسونیک سبب افزایش جذب آب و افزایش درصد جوانه‌زنی شده است.



شکل ۴-۱ اثر مدت امواج التراسونیک بر درصد جوانه‌زنی گیاه کنجد در شرایط آزمایشگاهی. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۲- اثر شدت امواج التراسونیک بر درصد جوانه‌زنی گیاه کنجد در شرایط آزمایشگاهی. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

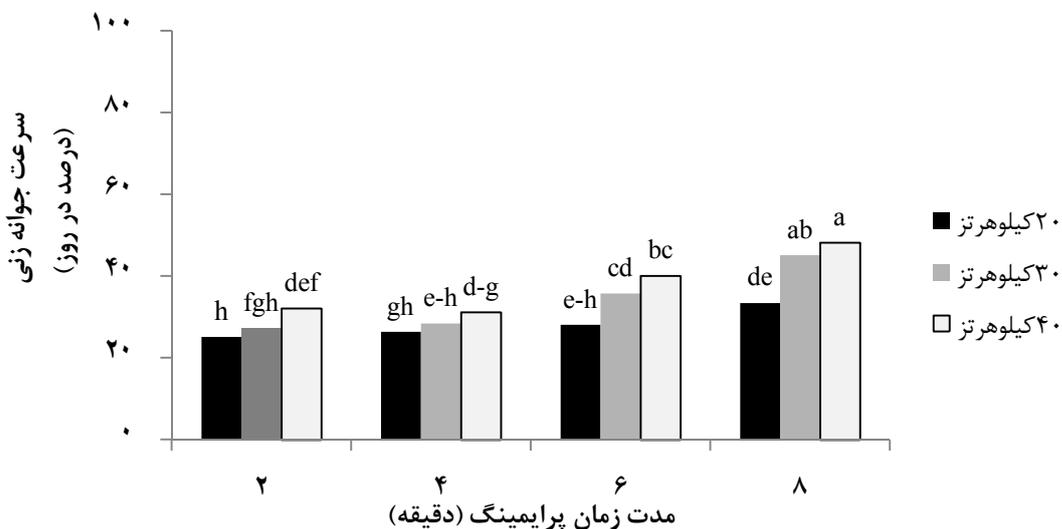
#### ۴-۱-۲- سرعت جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تاثیر شدت، مدت زمان و اثر متقابل آنها بر سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول پیوست ۶). مقایسه میانگین اثر متقابل مدت زمان در شدت امواج نشان داد بیشترین سرعت جوانه‌زنی مربوط به ترکیب تیماری ۸ دقیقه استفاده از امواج التراسونیک با شدت ۴۰ کیلوهرتز و کمترین سرعت جوانه‌زنی در ترکیب تیمار استفاده از امواج التراسونیک به مدت ۲ دقیقه و شدت ۲۰ کیلوهرتز به دست آمد (شکل ۴-۳). بیشترین و کمترین سرعت جوانه‌زنی به ترتیب در تیمار هشت دقیقه پرایمینگ با شدت ۴۰ کیلوهرتز و تیمار دو دقیقه پرایمینگ با شدت ۲۰ کیلوهرتز به دست آمد و تفاوت ۹۲/۱۲٪ را نشان داد. مقایسه میانگین همچنین نشان داد ترکیب تیماری کاربرد امواج التراسونیک با شدت ۲۰ کیلوهرتز در مدت زمان‌های ۲، ۴ و ۶ دقیقه و همچنین تیماری کاربرد امواج التراسونیک با شدت ۳۰ کیلوهرتز در مدت زمان‌های ۲ و ۴ دقیقه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند (شکل ۴-۳).

مطالعات فاروق و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد پرایمینگ باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های فاز جوانه‌زنی و افزایش سرعت جوانه‌زنی شده است. افزایش سرعت جوانه‌زنی در بذرهای پرایم شده احتمالاً نتیجه افزایش فعالیت درونی بذر و کوتاه‌تر شدن مرحله اول جوانه‌زنی (جذب آب) و مرحله دوم (فاز تأخیری) فرآیند جوانه‌زنی در نهایت ورود سریع بذر به فاز سوم جوانه‌زنی (خروج ریشه‌چه)

است. گوس و همکاران (۲۰۱۰)، گزارش نمودند که تغییرات آندوسپرم به وسیله امواج التراسونیک منجر به افزایش آنزیم‌های مرتبط با هیدرولیز و در نتیجه افزایش رشد جنین و سرعت جوانه‌زنی گندم شده است.

تاثیر آنزیم کاتالاز در فرایند تنفس گیاهان بوده و با هضم، تجزیه‌اندوسپرم و ذخایر مواد غذایی در لپه و سنتز برخی مواد ضروری برای تغذیه و رشد جنین ارتباط دارد. بهبود عملکرد جوانه‌زنی در بذره‌های پرایم شده کنگد به وضوح با فعالیت بالاتر آنزیم کاتالاز همراه بوده است. افزایش سرعت جوانه‌زنی را می‌توان به همبستگی مثبت آنزیم‌های جوانه‌زنی نسبت داد.



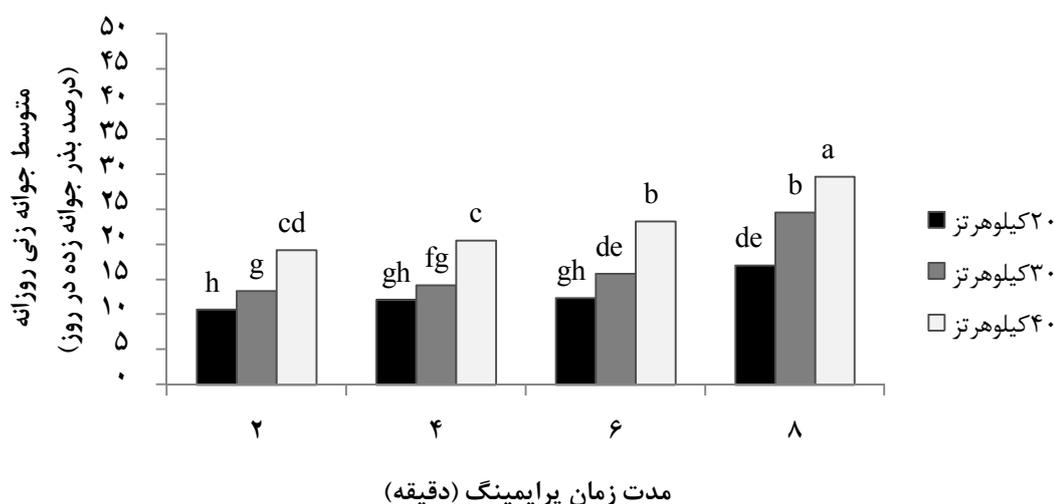
شکل ۳-۴- اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر سرعت جوانه‌زنی کنگد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۴-۱-۳- متوسط جوانه‌زنی روزانه

اثرات ساده و متقابل شدت در مدت زمان استفاده از امواج بر متوسط جوانه‌زنی روزانه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول پیوست ۶). مقایسات میانگین نشان داد که متوسط جوانه‌زنی روزانه در مدت زمان ۲ تا ۸ دقیقه و شدت ۲۰ تا ۴۰ کیلوهرتز روند افزایشی دارد. با افزایش شدت و مدت زمان کاربرد امواج التراسونیک، متوسط جوانه‌زنی روزانه با شیب بیشتری افزایش می‌یابد (شکل ۴-۴).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل مدت زمان در شدت امواج مورد استفاده نشان داد بیشترین متوسط جوانه‌زنی روزانه با ۲۹/۶۳ بذر جوانه زده در روز، در ترکیب تیمار پرایمینگ با امواج التراسونیک به مدت ۸ دقیقه و با شدت ۴۰ کیلوهرتز و کمترین متوسط جوانه‌زنی روزانه نیز در ترکیب تیمار پرایمینگ به مدت ۲ دقیقه و با شدت ۲۰ کیلوهرتز امواج التراسونیک با ۱۰/۷۱ بذر جوانه زده در روز به دست آمد (شکل ۴-۴).

ملکی فراهانی و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی تأثیر میدان الکترومغناطیس و امواج التراسونیک بر جوانه‌زنی بذر زیره سبز نیز نتایج مشابهی را در افزایش سرعت جوانه‌زنی، متوسط جوانه‌زنی روزانه، کاهش زمان لازم برای جوانه‌زنی و شاخص بنبه بذر گزارش کردند.



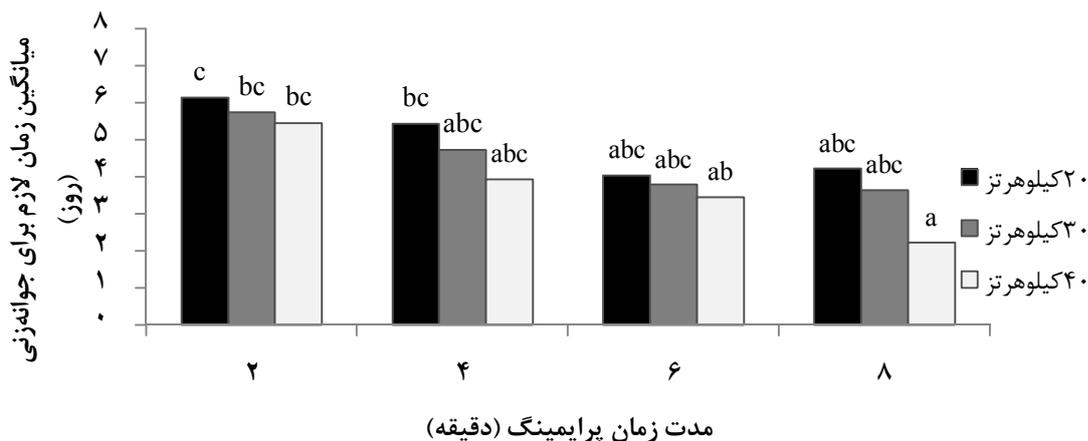
شکل ۴-۴- اثر متقابل شدت و مدت زمان کاربرد امواج التراسونیک بر متوسط جوانه‌زنی روزانه کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۴-۱-۴- میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل شدت در مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول پیوست ۶). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل مدت زمان استفاده از امواج در شدت امواج بیانگر این است که با افزایش مدت و شدت امواج التراسونیک، میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی کاهش معنی‌داری را نشان داد. با توجه

به مقایسه میانگین، بیشترین متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی با ۶/۱۵ روز مربوط به بذرهای پرایم شده در ترکیب تیماری ۲ دقیقه استفاده از امواج التراسونیک با شدت ۲۰ کیلوهرتز بود. کمترین متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی نیز در بذرهای پرایم شده با امواج التراسونیک در مدت ۸ دقیقه و با شدت ۴۰ کیلوهرتز با ۲/۲۳ روز مشاهده شد (شکل ۴-۵).

الیاسی‌راد و همکاران (۲۰۱۶) بیان نمودند که پرایمینگ بذر سبب افزایش شاخص بنیه بذر و کاهش مدت زمان جوانه‌زنی در انگوزه شده است. یافته‌های میرشکاری و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد امواج التراسونیک در مقایسه با امواج مغناطیسی و لیزر، مدت زمان سبز شدن بومادران را کاهش داد. به نظر می‌رسد بهبود شرایط فیزیولوژیکی از جمله توانایی جذب و نفوذ آب در بذرهای پرایم شده نقش مهمی در افزایش سرعت جوانه‌زنی و کاهش میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی دارد.



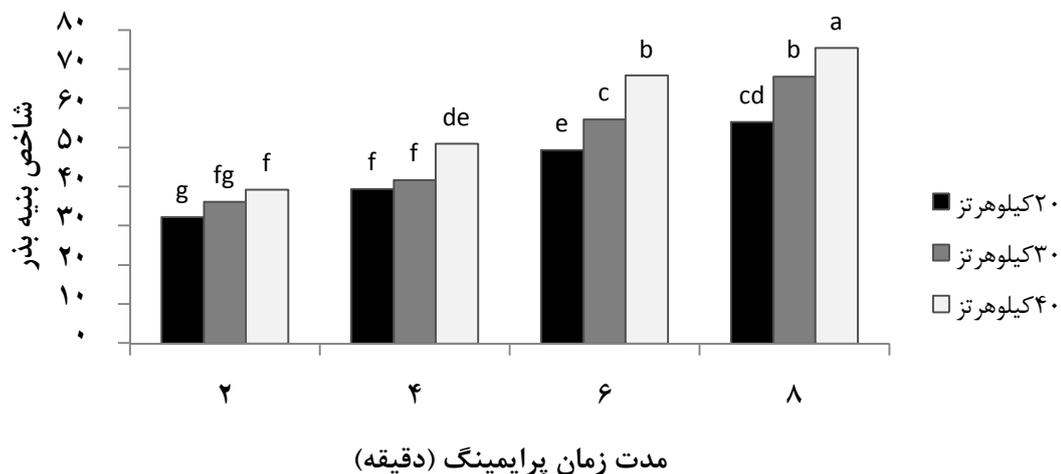
شکل ۴-۵- اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن است.

#### ۴-۱-۵- بنیه بذر

اثر ساده مدت زمان کاربرد امواج التراسونیک و اثر متقابل مدت زمان و شدت امواج استفاده شده در سطح احتمال یک درصد و اثر ساده شدت امواج در سطح احتمال پنج درصد بر بنیه بذر معنی‌دار بود (جدول پیوست ۷). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها با افزایش همزمان شدت و مدت زمان قرار گرفتن بذور در معرض امواج التراسونیک بنیه بذر افزایش یافت (شکل ۴-۶). مقایسات میانگین نشان داد بالاترین بنیه بذر در ترکیب تیمار پرایمینگ با امواج التراسونیک با شدت ۴۰ کیلوهرتز و در مدت

زمان ۸ دقیقه با شاخص ۷۵/۴۳ به دست آمد. کمترین بنیه بذر با شاخص ۳۲/۲۵ در ترکیب تیمار پرایمینگ بذر کنجد با امواج التراسونیک دارای شدت ۲۰ کیلوهرتز و در مدت ۲ دقیقه به دست آمد (شکل ۴-۶). با توجه با تاثیر مثبت پرایمینگ بر وزن و طول گیاهچه، افزایش بنیه بذر به دست آمد. در مطالعه جی و همکاران (۲۰۰۲)، افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز و افزایش سرعت تنفس در بذرهای پرایم شده چاودار وحشی، دلیل افزایش طول گیاهچه و در نتیجه افزایش شاخص بنیه بذر ذکر شده است. تاثیر پرایمینگ با امواج التراسونیک به مدت ۵ دقیقه بر شاخص بنیه در بومادران افزایش ۷۰ درصدی را نسبت به پرایمینگ با آب مقطر نشان داد (میرشکاری و همکاران، ۲۰۱۵). چین و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که امواج التراسونیک سبب افزایش ۵۶/۷ درصد بنیه بذر نوعی چمن نسبت به شاهد شده است. همچنین تاثیر پرایمینگ بذر بر افزایش درصد جوانه زنی و شاخص بنیه بذر آویشن گزارش شده است (اسعدی و همکاران، ۱۳۹۴).

با توجه به اینکه بنیه بذر تحت تاثیر دو عامل طول گیاهچه و درصد جوانه زنی است، لذا افزایش شاخص بنیه در تیمارهایی با درصد بالای جوانه زنی و میانگین طول گیاهچه در کنجد مرتبط است.

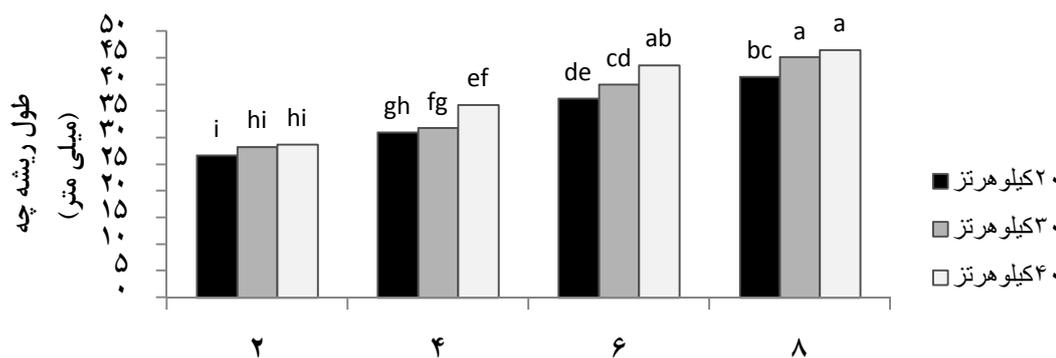


شکل ۴-۶- مقایسه میانگین اثر متقابل شدت و مدت زمان کاربرد امواج التراسونیک بر شاخص بنیه بذر. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن.

#### ۴-۱-۶- طول ریشه‌چه و ساقه‌چه

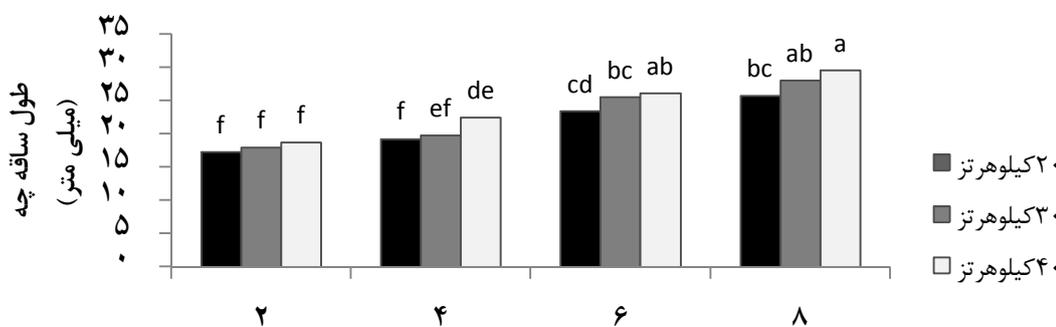
نتایج به دست آمده از جدول تجزیه واریانس، نشان داد که اثرات اصلی و اثر متقابل، شدت و مدت زمان قرار دادن بذور در معرض امواج التراسونیک بر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول پیوست ۷). با توجه به مقایسات میانگین بلندترین طول ریشه‌چه در ترکیب تیماری پرایمینگ با امواج التراسونیک به مدت ۸ دقیقه و با شدت ۴۰ کیلوهرتز به میزان ۴۶/۵۱ میلی‌متر به دست آمد و کوتاه‌ترین طول ریشه‌چه نیز با ۲۶/۷۵ میلی‌متر در تیمار پرایمینگ به مدت ۲ دقیقه با امواجی به شدت ۲۰ کیلوهرتز تفاوت ۷۳/۸۶٪ را با بلندترین طول ریشه‌چه نشان داد (شکل ۴-۷). بلندترین طول ساقه‌چه در ترکیب تیماری پرایمینگ با امواج التراسونیک به مدت ۸ دقیقه و با شدت ۴۰ کیلوهرتز به میزان ۲۹/۵۶ میلی‌متر به دست آمد و کوتاه‌ترین طول ساقه‌چه نیز با ۱۷/۲۶ میلی‌متر در ترکیب تیمار پرایمینگ به مدت ۲ دقیقه با امواجی به شدت ۲۰ کیلوهرتز مشاهده گردید (شکل ۴-۸).

در گزارش‌های متعددی بیان شده است که پرایمینگ باعث افزایش رشد گیاهچه‌ها می‌شود (یاگمور و کایدان ۲۰۰۸؛ جیشا و همکاران، ۲۰۱۳). مطالعات لیو و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد امواج التراسونیک بر سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه در فستوکا و چاودار وحشی معنی‌دار بود. همچنین بین درصد و سرعت جوانه‌زنی همبستگی مثبتی با طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در فستوکا گزارش شده است. افزایش طول گیاهچه‌های عدس تحت تاثیر امواج التراسونیک، توسط الدجاجیان و همکاران (۲۰۱۱) گزارش شده است. برخی محققین افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه ذرت را به افزایش سرعت جوانه‌زنی حاصل از پرایمینگ نسبت می‌دهند (هبلینگ و همکاران، ۱۹۹۵). در این آزمایش نیز مشخص شد که طول ریشه‌چه با افزایش سطوح شدت و مدت ویووپرایمینگ با امواج التراسونیک به میزان معنی‌دار افزایش پیدا کرده است. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه با درصد و سرعت جوانه‌زنی مشاهده گردید.



مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک (دقیقه)

شکل ۴-۷- مقایسه میانگین اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر طول ریشه چه گیاه کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک (دقیقه)

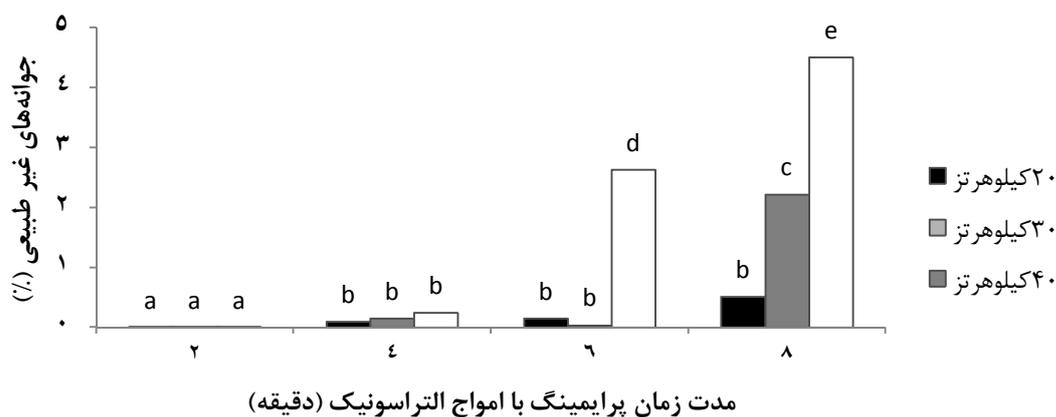
شکل ۴-۸- اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر طول ساقه چه گیاه کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۴-۱-۷- درصد جوانه‌های غیرطبیعی

تاثیر معنی دار اثرات ساده‌ی مدت و شدت امواج مورد استفاده بر درصد جوانه‌های غیرطبیعی در جدول پیوست ۷ نشان داده شده است. درصد گیاهچه‌های غیرطبیعی همچنین تحت تاثیر بسیار معنی دار اثر متقابل شدت و مدت زمان امواج مورد استفاده قرار گرفت (جدول پیوست ۷). نتایج مقایسه میانگین نشان داد با افزایش شدت و مدت زمان استفاده از امواج مورد استفاده برای پرایمینگ، درصد جوانه‌های غیرطبیعی افزایش یافت (شکل ۴-۹). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها بیشترین درصد جوانه‌های غیرطبیعی با ۴/۵۰٪ در ترکیب تیمار پرایمینگ با امواج التراسونیک با شدت ۴۰ کیلوهرتز و به مدت ۸ دقیقه به دست آمد. کمترین درصد جوانه‌های غیر طبیعی نیز در

ترکیب تیمار پرایمینگ به مدت ۲ دقیقه در شدت‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوهرتز به مقدار صفر درصد (۰٪) به دست آمد (شکل ۴-۹). به نظر می‌رسد افزایش شدت و مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک سبب بروز ناهنجاری‌های ژنتیکی و ساختاری در بذر و در نتیجه افزایش درصد جوانه‌های غیر طبیعی در کنگد شده است.

در مطالعه فاریابی و همکاران (۱۳۸۷) تاثیر منفی مدت زمان زیاد کاربرد امواج التراسونیک نیز به صورت کاهش شدید جوانه‌زنی در تربچه مشاهده شد. افزایش تعداد گیاهچه‌های غیر طبیعی به دلیل افزایش تخریب و آسیب به جنین در مطالعه گوس و همکاران (۲۰۱۰) در بذرهای فلفل گزارش شده است.



شکل ۴-۹- اثر متقابل شدت و مدت زمان کاربرد امواج التراسونیک بر درصد جوانه‌های غیر طبیعی. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

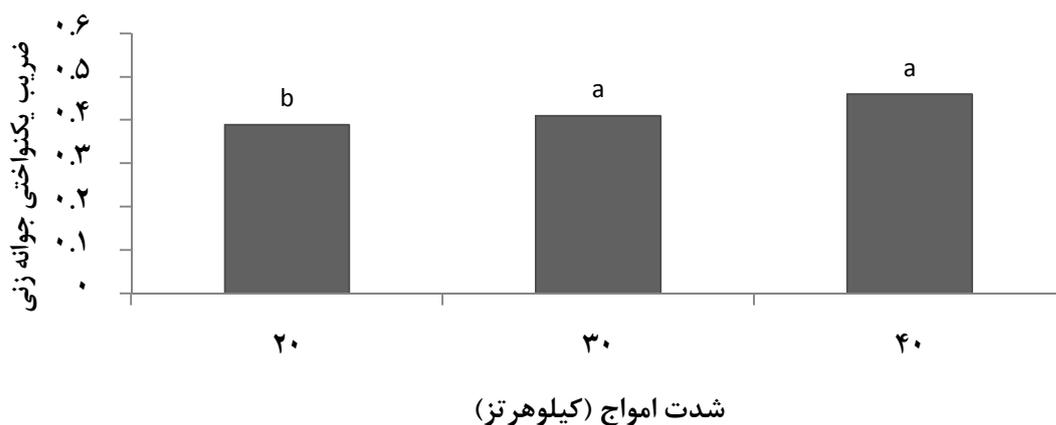
#### ۴-۱-۸- ضریب یکنواختی جوانه‌زنی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده‌ی مدت زمان و شدت امواج مورد استفاده در سطح یک درصد بر ضریب یکنواختی جوانه‌زنی معنی‌دار بود اما این صفت تحت تاثیر برهمکنش مدت زمان در شدت امواج مورد استفاده قرار نگرفت (جدول پیوست ۷). مقایسه میانگین نشان داد ضریب یکنواختی جوانه‌زنی با افزایش شدت امواج مورد استفاده در پرایمینگ، بهبود یافت (شکل ۴-۱۰).

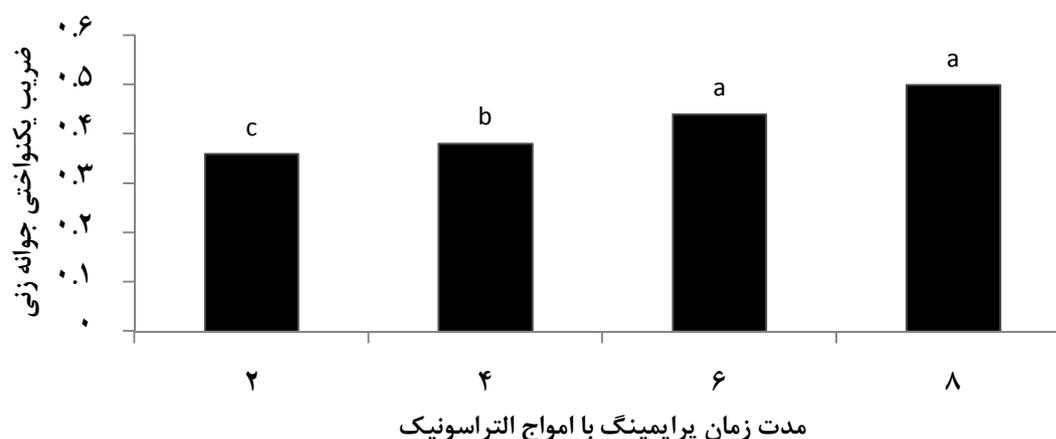
بهینه‌ترین ضریب یکنواختی جوانه‌زنی در پرایمینگ با شدت ۴۰ کیلوهرتز امواج التراسونیک به‌دست آمد و تفاوت ۱۷/۹۴٪ را با شدت ۲۰ کیلوهرتز امواج نشان داد.

مقایسه میانگین اثر مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر ضریب یکنواختی جوانه‌زنی نشان داد تیمار پرایمینگ به مدت ۸ دقیقه مناسب‌ترین ضریب جوانه‌زنی را ایجاد کرد. بیشترین و کمترین ضریب یکنواختی به ترتیب در مدت ۸ و ۲ دقیقه قرار گرفتن در معرض امواج التراسونیک، تفاوت ۳۸/۸۸٪ را با یکدیگر نشان داد (شکل ۴-۱۱). تاثیر امواج التراسونیک بر شاخص‌های جوانه‌زنی زنیان در مطالعه میرشکاری و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش شده است. نتایج این محققین نشان داد پرایمینگ با امواج التراسونیک سبب بهبود ضریب یکنواختی جوانه‌زنی در تمام تیمارها شد. در پژوهش حاضر پرایمینگ فیزیکی با امواج التراسونیک سبب افزایش بنیه گیاهچه کنجد شد. بنیه گیاهچه بیانگر قدرت بذر بوده و بر تمام شاخص‌های تعیین کننده توانایی بذر برای سبز شدن سریع بذر از جمله ضریب یکنواختی جوانه‌زنی و همچنین نمو طبیعی گیاهچه‌ها در طیف وسیعی از شرایط مزرعه تاثیر گذار است (الیاسی راد و همکاران، ۲۰۱۶).

ضریب یکنواختی جوانه‌زنی تنوع جوانه‌زنی را بین بذرهای از لحاظ میانگین زمان جوانه‌زنی نشان می‌دهد به طوری که ضریب یکنواختی جوانه‌زنی بزرگ‌تر نشان دهنده این است جوانه‌زنی بذر در یک محدوده زمانی کوتاه‌تر اتفاق افتاده است. تاثیر مثبت امواج التراسونیک بر درصد و سرعت جوانه‌زنی را می‌توان دلیل افزایش یکنواختی در جوانه‌زنی بذر دانست.



شکل ۴-۱۰- اثر شدت امواج التراسونیک بر ضرب یکنواختی جوانه زنی گیاه کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۱۱- اثر مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر ضرب یکنواختی جوانه زنی گیاه کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۹-۱-۴- آنزیم کاتالاز

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنها اثرات ساده شدت و مدت زمان کاربرد امواج التراسونیک بر فعالیت آنزیم کاتالاز در فاز آبنوشی و جوانه زنی کنجد در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول پیوست ۸). با افزایش همزمان شدت و مدت زمان قرار گرفتن بذر در معرض امواج التراسونیک، فعالیت آنزیم کاتالاز به صورت معنی داری افزایش یافت. مقایسه میانگین تاثیر مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر فعالیت آنزیم کاتالاز نشان داد بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در فازهای آبنوشی و جوانه زنی، در مدت زمان ۸ دقیقه قرار گرفتن بذر در معرض امواج

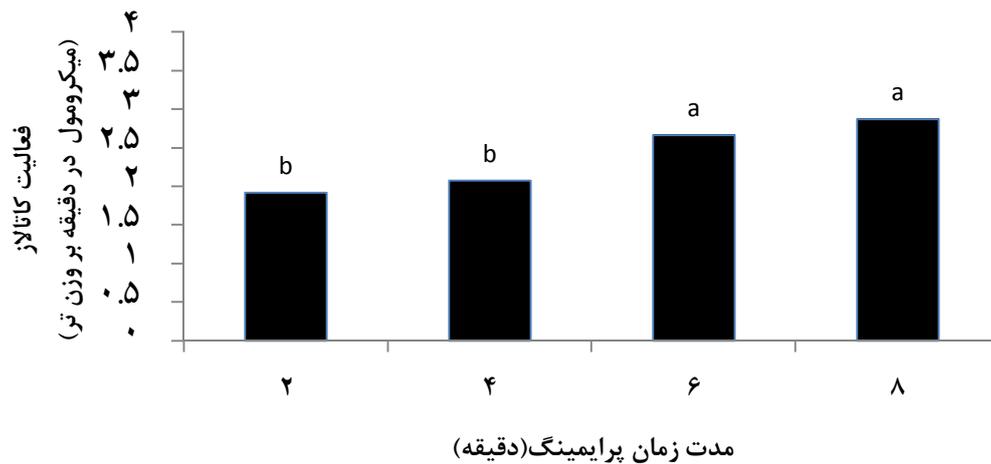
التراسونیک حاصل شد (شکل ۴-۱۲ و ۴-۱۳). فعالیت کاتالاز در مدت زمان ۸ دقیقه در مقایسه با مدت زمان ۴ و ۲ دقیقه به ترتیب افزایش ۳۷/۹۸٪ و ۴۹/۴۷٪ را در فاز آبنوشی و تفاوت ۱۸/۵۵٪ و ۳۰٪ را در فاز جوانه‌زنی بذر نشان داد. افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در مدت زمان ۸ و ۶ دقیقه تفاوت معنی‌داری را در هیچ‌کدام از فازهای آبنوشی و جوانه‌زنی نشان نداد (شکل ۴-۱۲ و ۴-۱۳).

در مقایسه میانگین اثر شدت امواج التراسونیک بر فعالیت آنزیم کاتالاز، بالاترین فعالیت این آنزیم در فاز آبنوشی و جوانه‌زنی، در شدت ۴۰ کیلوهرتز امواج التراسونیک مشاهده گردید. با این وجود فعالیت کاتالاز در فاز آبنوشی در شدت‌های ۴۰ و ۳۰ کیلوهرتز تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان نداد (شکل ۴-۱۴). در فاز آبنوشی بذر، فعالیت آنزیم در شدت ۴۰ کیلوهرتز امواج التراسونیک در مقایسه با شدت ۲۰ کیلوهرتز، افزایش ۱۹/۰۶٪ را نشان داد. همچنین در فاز آبنوشی بذر، تفاوت فعالیت آنزیم در شدت ۳۰ کیلوهرتز امواج التراسونیک تفاوت ۱۲/۸۹٪ را نسبت به شدت ۲۰ کیلوهرتز امواج التراسونیک نشان داد (شکل ۴-۱۴).

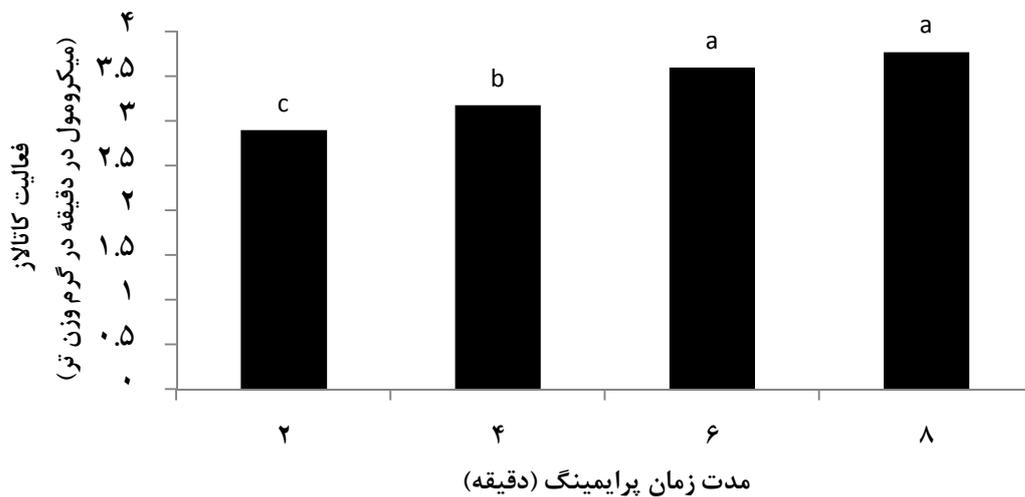
با توجه به مقایسات میانگین، فعالیت آنزیم کاتالاز در شدت ۴۰ کیلوهرتز در مقایسه با شدت ۳۰ و ۲۰ کیلوهرتز، به ترتیب تفاوت ۸/۱۳٪ و ۱۲/۸۹٪ را در فاز جوانه‌زنی نشان داد (شکل ۴-۱۵). علی‌رغم روند افزایشی در فعالیت کاتالاز همزمان با افزایش شدت امواج مورد استفاده، فعالیت این آنزیم در شدت‌های ۲۰ و ۳۰ کیلوهرتز امواج التراسونیک در فاز جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان نداد (شکل ۴-۱۵). بر اساس نتایج، اثر متقابل مدت زمان و شدت امواج التراسونیک بر فعالیت آنزیم کاتالاز در هیچ کدام از فازهای آبنوشی و جوانه‌زنی معنی‌دار نگردید (جدول پیوست ۸). مطالعات انجام شده توسط فاروق و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد پرایمینگ باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های فاز جوانه‌زنی و افزایش سرعت جوانه‌زنی شده است. افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در بذرهای پرایم شده آفتابگردان نیز توسط بایلی و همکاران (۲۰۰۰) گزارش شده است.

تاثیر آنزیم کاتالاز در فرایند تنفس گیاهان بوده و با هضم، تجزیه‌اندوسپرم و ذخایر مواد غذایی در لپه و سنتز برخی مواد ضروری برای تغذیه و رشد جنین ارتباط دارد و بهبود عملکرد جوانه‌زنی در

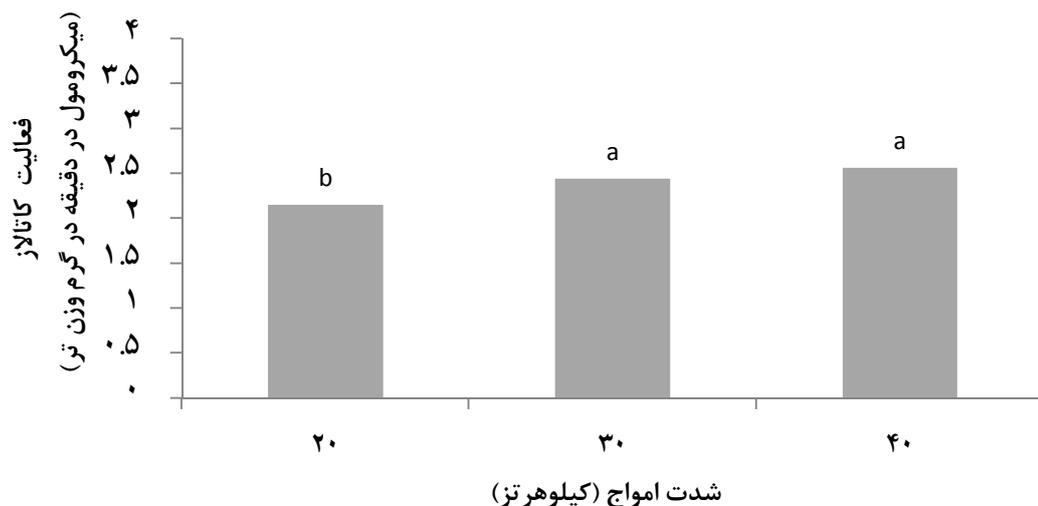
بذرهای پرایم شده به وضوح با فعالیت بالاتر آنزیم کاتالاز همراه بوده است. همچنین فعالیت بالاتر آنزیم کاتالاز را می‌توان مرتبط با انتقال بهتر ذخایر چربی و رشد سریع‌تر گیاهچه مرتبط دانست. همچنین آنزیم کاتالاز در حذف  $H_2O_2$  در فرایند  $\beta$ -اکسیداسیون اسید چرب در گلی‌اکسیزوم‌ها نقش کلیدی ایفا می‌کند.



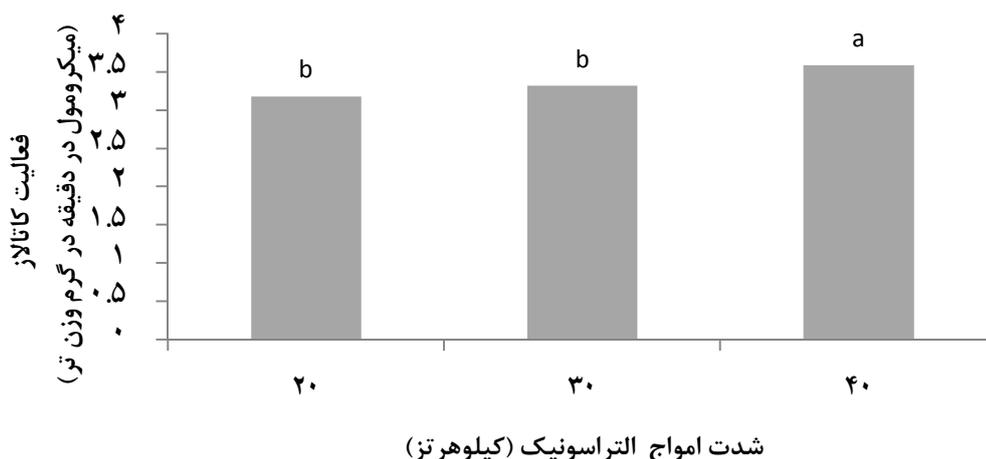
شکل ۴-۱۲- اثر مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر فعالیت آنزیم کاتالاز در فاز آبنوشی بذر. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۱۳- اثر مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر فعالیت آنزیم کاتالاز در فاز جوانه‌زنی بذر. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۱۴- اثر شدت امواج التراسونیک بر فعالیت آنزیم کاتالاز در فاز آبنوشی بذر کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۱۵- اثر شدت امواج التراسونیک بر فعالیت آنزیم کاتالاز در فاز جوانه‌زنی بذر کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۴-۱-۱۰- آنزیم سوپراکسیددیسموتاز

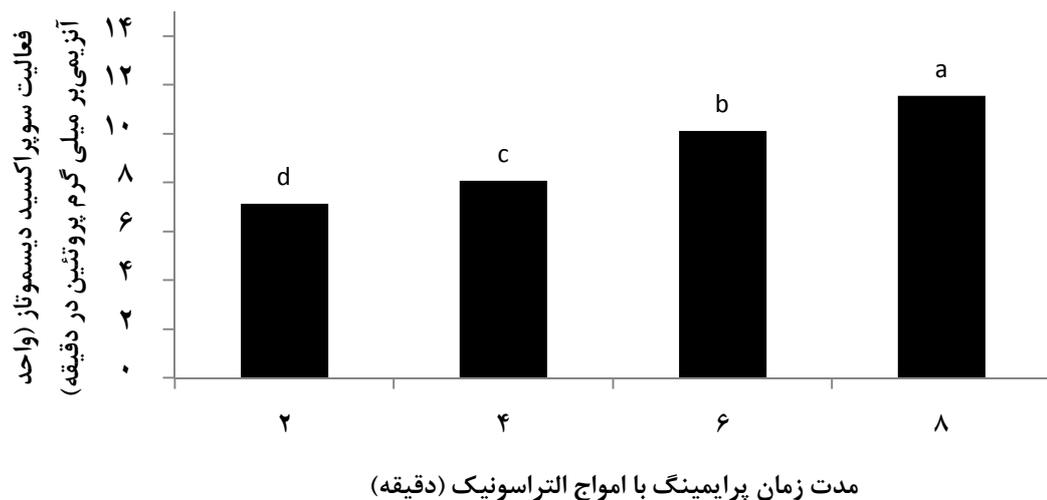
اثرات ساده شدت و مدت زمان کاربرد امواج التراسونیک بر فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در فاز آبنوشی و جوانه‌زنی کنجد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول پیوست ۸). بر اساس مقایسات میانگین، بیشترین فعالیت این آنزیم در فاز آبنوشی و جوانه‌زنی در مدت زمان ۸ دقیقه کاربرد امواج التراسونیک به‌دست آمد (شکل ۴-۱۶ و ۴-۱۷). در فاز آبنوشی بذر، فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در مدت زمان ۸ دقیقه در مقایسه با مدت زمان‌های ۶، ۴ و ۲ دقیقه، به‌ترتیب

افزایش ۱۴/۲۲٪ و ۴۳/۰۶٪ و ۶۱/۹۰٪ را نشان داد. همچنین در فاز جوانه‌زنی بذر، فعالیت آنزیم سوپراکسیددیس‌موتاز در مدت زمان ۸ دقیقه کاربرد امواج التراسونیک در مقایسه با مدت زمان ۴ و ۲ دقیقه، به ترتیب تفاوت ۳۴/۶۵ و ۷۱/۹۸٪ را نشان داد.

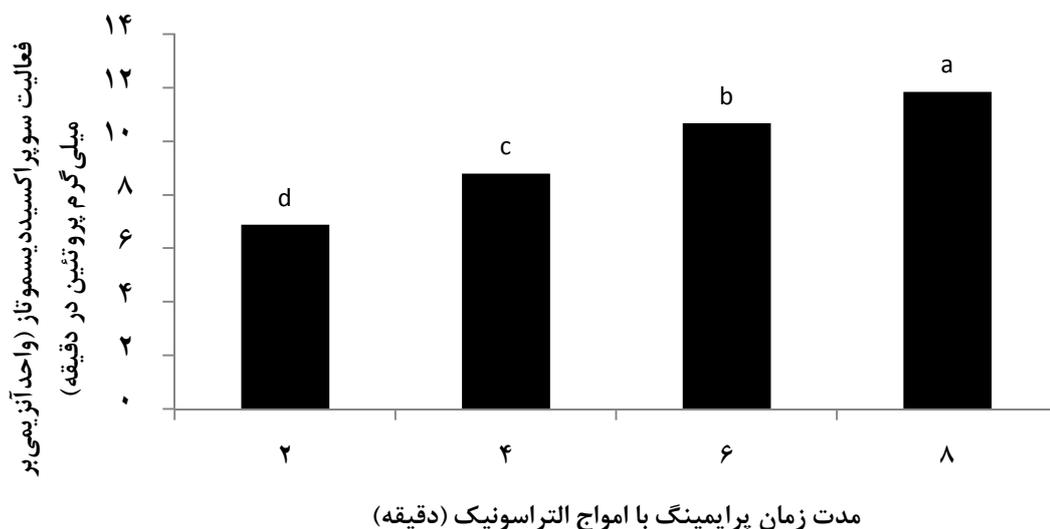
با توجه به مقایسات میانگین، بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسیددیس‌موتاز در شدت ۴۰ کیلوهرتز در فاز آبنوشی و جوانه‌زنی مشاهده شد. بر این اساس در فاز آبنوشی بذر، فعالیت آنزیم سوپراکسید-دیس‌موتاز در شدت ۴۰ کیلوهرتز، افزایش ۱۰/۶۹ و ۲۱/۱۴ درصدی را نسبت به شدت‌های ۳۰ و ۲۰ کیلوهرتز نشان داد. همچنین فعالیت این آنزیم در شدت ۲۰ و ۳۰ کیلوهرتز تفاوت ۹/۴۳٪ را در فاز جوانه‌زنی نشان داد (شکل ۴-۱۸). فعالیت آنزیم سوپراکسیددیس‌موتاز در فاز جوانه‌زنی بذر با استفاده از امواج التراسونیک با شدت ۴۰ کیلوهرتز، افزایش ۱۴/۰۷ و ۲۱/۵۱ درصدی را نسبت به شدت‌های ۳۰ و ۲۰ کیلوهرتز نشان داد. همچنین فعالیت این آنزیم در شدت ۲۰ و ۳۰ کیلوهرتز تفاوت معنی‌داری در فاز آبنوشی نشان نداد (شکل ۴-۱۹). بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر متقابل شدت و مدت زمان کاربرد امواج التراسونیک بر آنزیم سوپراکسیددیس‌موتاز معنی‌دار نگردید.

پرایمینگ بذر فعالیت‌های متابولیکی و بیوشیمیایی فاز دوم جوانه‌زنی یا فاز تأخیری را افزایش داده و به این ترتیب بذرها را برای وارد شدن به مرحله سوم جوانه‌زنی آماده‌تر می‌کند (رحیمی، ۲۰۱۳). بر اساس مطالعه چین و همکاران (۲۰۱۲)، ارتعاشات امواج التراسونیک سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و سوپراکسیددیس‌موتاز در گندم شده است. یافته‌های یاه و همکاران (۲۰۰۵) نیز نشان داد فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز و سوپراکسیددیس‌موتاز ارتباط تنگاتنگی با جوانه‌زنی و طول عمر انباری بذر دارد. در مطالعه دیگری پیش تیمار بذر سبب بهبود آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ماریتیغال شده و با کاهش تاثیر فرسودگی بذر سبب افزایش قدرت بذر شده است (عبادی و همکاران، ۱۳۹۵). در مطالعه ليو و همکاران (۲۰۱۶) افزایش میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیس‌موتاز در فستوکا و چاودار وحشی تحت تاثیر امواج التراسونیک گزارش شده است. در این مطالعه همبستگی مثبتی بین بنیه گیاهچه و جوانه‌زنی بذر گیاهان مورد مطالعه به‌دست آمد.

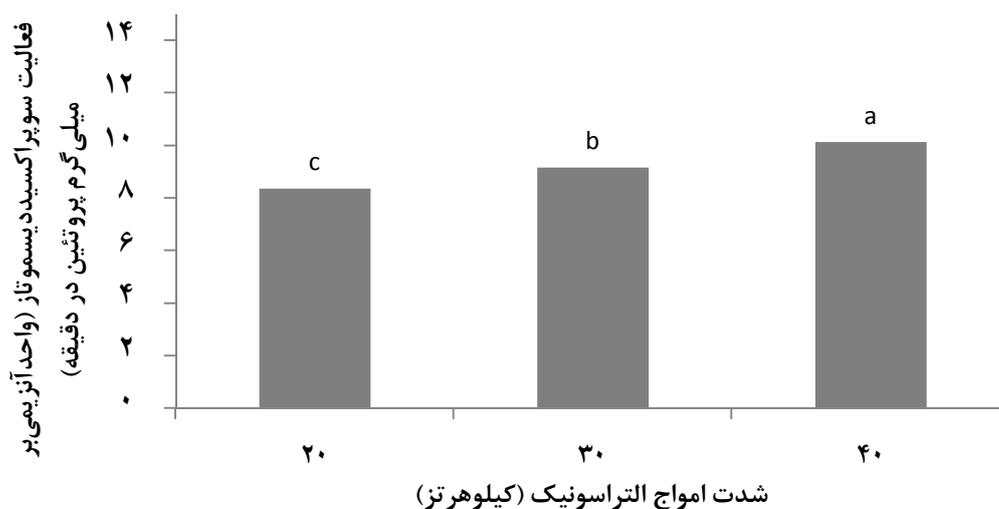
مطالعه تاثیر امواج التراسونیک بر جوانه‌زنی جو توسط یلداگرد و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که افزایش جوانه‌زنی در جو به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با جوانه‌زنی است. مطابق با یافته‌های هسو و همکاران (۲۰۰۳)، پرایمینگ با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان موجب بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی در کدوی تلخ شده است.



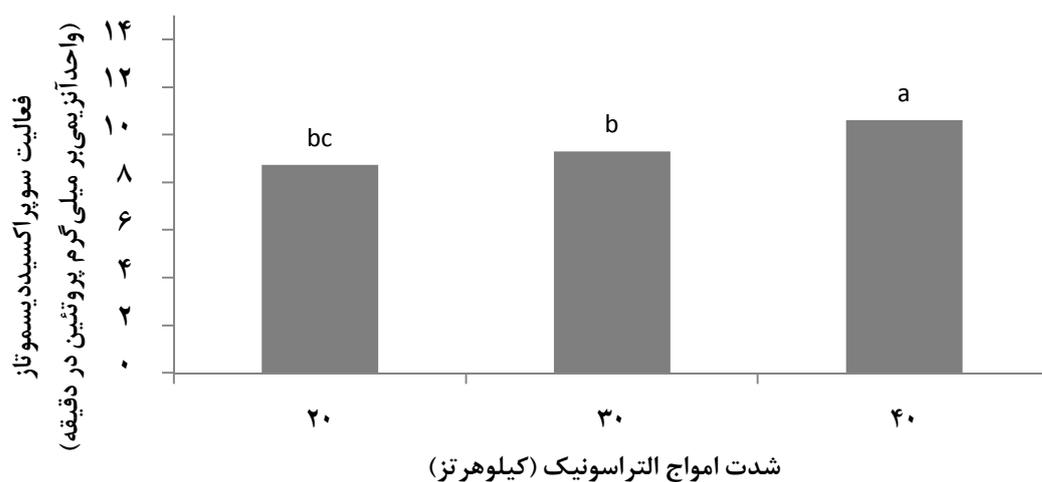
شکل ۴-۱۶- اثر مدت زمان پرایمینگ بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در فاز آنبوشی بذر کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۱۷- اثر مدت زمان پرایمینگ بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در فاز جوانه‌زنی بذر کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۱۸- اثر شدت امواج التراسونیک بر فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در فاز آبنوشی بذر. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۱۹- اثر شدت امواج التراسونیک بر فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در فاز جوانه‌زنی بذر. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

جدول ۴-۱- همبستگی بین صفات آزمایشگاهی

شاخص	آنزیم SOD	آنزیم CAT	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی
آنزیم SOD	۱	۰/۰۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۸۶ <sup>**</sup>	۰/۸۲ <sup>**</sup>
آنزیم CAT		۱	۰/۹۳ <sup>**</sup>	۰/۸۸ <sup>**</sup>
درصد جوانه‌زنی			۱	۰/۸۶ <sup>**</sup>
سرعت جوانه‌زنی				۱

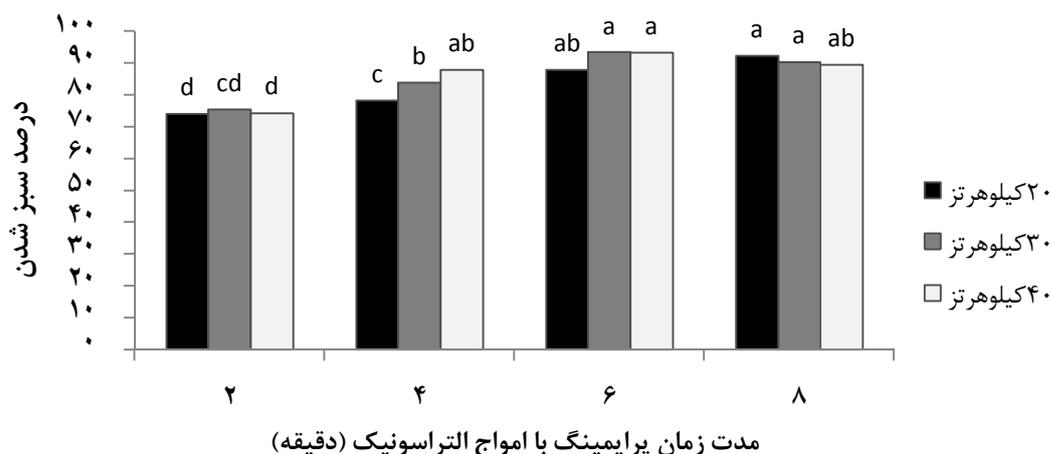
\*- معنی‌دار در سطح ۰/۰۵، \*\* معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ و NS- غیر معنی‌دار

#### ۴-۲- نتایج آزمایش در گلخانه (آزمایش گلدانی)

##### ۴-۲-۱- درصد سبز شدن

تجزیه واریانس داده‌های آزمایش در گلخانه نشان داد که اثر ساده و برهمکنش شدت و مدت زمان کاربرد امواج التراسونیک بر درصد سبز شدن کنگد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول پیوست ۹). مقایسه میانگین اثر متقابل شدت در مدت زمان کاربرد امواج التراسونیک نشان داد بیشترین درصد سبز شدن با ۹۳/۴۵٪ در ترکیب تیمار ۶ دقیقه استفاده از امواج التراسونیک با شدت ۳۰ کیلوهرتز امواج التراسونیک به دست آمد و با ترکیب تیماری پرایمینگ با امواج التراسونیک به مدت ۸ دقیقه در شدت‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوهرتز، ترکیب تیماری ۶ دقیقه استفاده از امواج التراسونیک با شدت‌های ۲۰ و ۴۰ کیلوهرتز و همچنین ترکیب تیماری ۴ دقیقه استفاده از امواج التراسونیک با شدت ۴۰ کیلوهرتز در یک گروه آماری قرار گرفت. کمترین درصد سبز شدن در ترکیب تیماری ۲ دقیقه و شدت‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوهرتز به دست آمد (شکل ۴-۲۰).

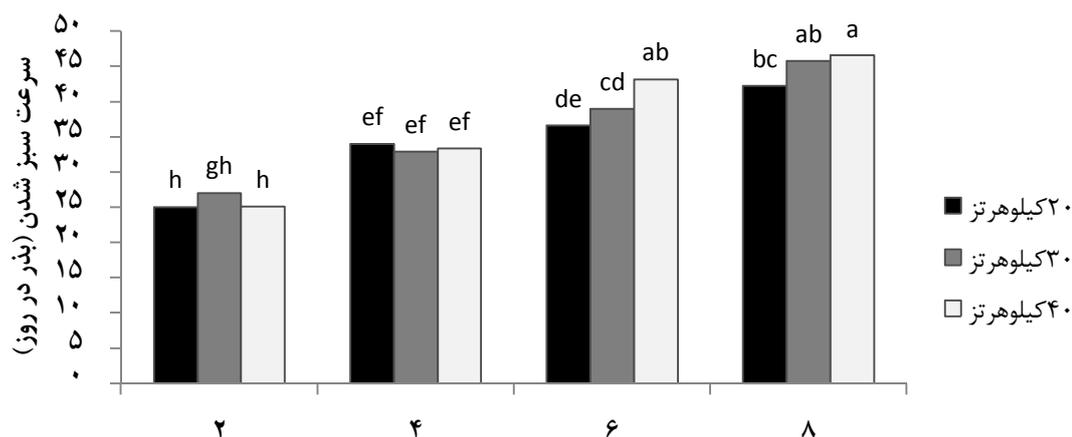
نتایج بررسی تاثیر پرایمینگ بذر با امواج التراسونیک بر درصد و سرعت سبز شدن بذور لوبیا چشم بلبلی توسط نصیری دهرخی و همکاران (۱۳۹۳) نشان داد کاربرد امواج التراسونیک سبب افزایش معنی‌دار درصد و سرعت سبز شدن در مزرعه گردید. نتایج مطالعه گوس و همکاران (۲۰۱۰)، افزایش سرعت و درصد جوانه‌زنی در گندم، نخود، هندوانه و فلفل با استفاده از امواج التراسونیک را نشان می‌دهد. افزایش درصد جوانه‌زنی و بنیه بذر نوعی گراس تیمار شده با امواج التراسونیک توسط چین و همکاران (۲۰۱۲) گزارش شده است. امواج التراسونیک با شدت‌های بین ۱-۴۲ کیلوهرتز و مدت زمان بین ۳ ثانیه تا ۶۰ دقیقه، بسته به گونه برای پرایمینگ مورد استفاده قرار گرفته است (باترون و همکاران، ۱۹۹۶). به نظر می‌رسد امواج التراسونیک با تاثیر بر جذب آب و افزایش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با جوانه‌زنی سبب افزایش درصد سبز شدن کنگد شده است. نتایج مطالعه همبستگی صفات نیز بیانگر این است که درصد جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز همبستگی مثبتی دارند (جدول ۴-۱).



شکل ۴-۲۰- اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر درصد سبز شدن کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۲-۲-۴- سرعت سبز شدن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر شدت امواج مورد استفاده، مدت زمان قرار دادن بذور در معرض امواج التراسونیک و برهمکنش متقابل آنها بر سرعت سبز شدن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول پیوست ۹). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین سرعت سبز شدن در روز در ترکیب تیمار پرایمینگ به مدت ۸ دقیقه و با شدت ۴۰ و ۳۰ کیلوهرتز و همچنین ترکیب تیمار پرایمینگ به مدت ۶ دقیقه و با شدت ۴۰ کیلوهرتز امواج التراسونیک به دست آمد و پایین‌ترین سرعت سبز شدن در روز نیز مربوط به بذور قرار گرفته در معرض امواج التراسونیک در مدت زمان ۲ دقیقه با شدت ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوهرتز امواج التراسونیک بود (شکل ۴-۲۱). در مطالعه گوردون و همکاران (۱۹۷۱) طیف بزرگی از انواع بذرها از جمله غلات، حبوبات، چغندر قند و غیره مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد امواج التراسونیک بر جوانه‌زنی این بذرها تاثیر مثبتی داشته است. براساس نتایج جدول همبستگی (جدول ۴-۱)، سرعت سبز شدن و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان دادند.

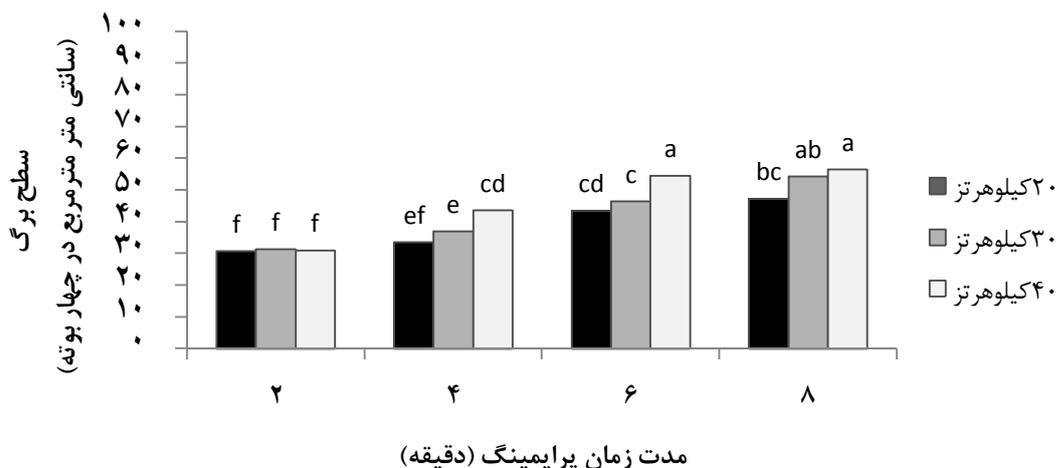


مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک (دقیقه)

شکل ۴-۲۱- اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر سرعت سبز شدن گندم. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۴-۲-۳- سطح برگ (LA)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تاثیر شدت، مدت زمان و اثر متقابل آنها بر سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول پیوست ۹). مقایسه میانگین اثر متقابل شدت و مدت زمان کاربرد امواج التراسونیک نشان داد بیشترین و کمترین سطح برگ به ترتیب با ۵۶/۵۱ سانتی مترمربع در چهار بوته و (۳۰/۷۴) سانتی مترمربع در چهار بوته مربوط به ترکیب تیماری ۸ دقیقه پرایمینگ با امواج التراسونیک با شدت ۴۰ کیلوهرتز و ترکیب تیماری ۴ دقیقه کاربرد امواج التراسونیک با شدت ۲۰ کیلوهرتز بود (شکل ۴-۲۲). بر این اساس بیشترین و کمترین سطح برگ تفاوت ۸۳/۸۳٪ را با یکدیگر نشان دادند. مقایسات میانگین همچنین نشان داد که ترکیب تیمار ۸ دقیقه کاربرد امواج التراسونیک با شدت‌های ۳۰ و ۴۰ کیلوهرتز و ترکیب تیمار ۶ دقیقه کاربرد امواج با شدت ۴۰ کیلوهرتز تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشته و در یک گروه آماری قرار گرفتند. همچنین ترکیب‌های تیماری ۲ دقیقه پرایمینگ با فرکانس‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوهرتز با ایجاد کمترین سطح برگ، در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۲۲). نتایج تحقیق گوس و همکاران (۲۰۱۰) بیانگر این است که استفاده از امواج التراسونیک به مدت ۵ تا ۶۰ دقیقه ضمن افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، سبب افزایش شاخص‌های رشد از جمله سطح برگ، طول ریشه و ساقه در هندوانه و گندم شده است.



شکل ۴-۲۲- اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر سطح برگ گیاه کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن است.

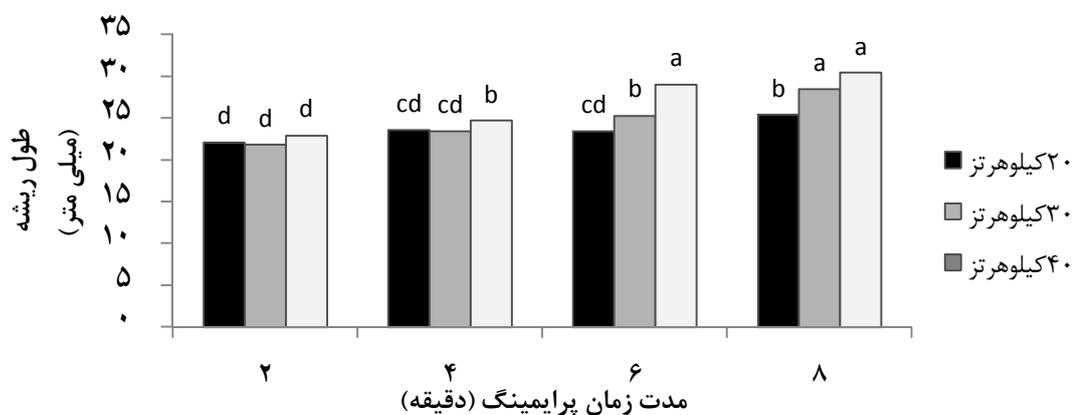
#### ۴-۲-۴- طول ساقه و ریشه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، طول ساقه در سطح احتمال یک درصد و طول ریشه در سطح احتمال پنج درصد تحت تاثیر اثر متقابل مدت زمان و شدت امواج التراسونیک استفاده قرار گرفت (جدول پیوست ۹). اثرات ساده مدت زمان و شدت امواج مورد استفاده نیز در سطح احتمال یک درصد بر طول ساقه و ریشه گیاه کنجد معنی‌دار شد. بالاترین طول ریشه در ترکیب تیمار مدت زمان ۸ دقیقه کاربرد امواج با شدت ۴۰ کیلوهرتز به میزان ۳۰/۴۶ سانتی‌متر به دست آمد و با ترکیب تیمار پرایمینگ به مدت ۸ دقیقه با شدت ۳۰ کیلوهرتز و همچنین ترکیب تیمار پرایمینگ به مدت ۶ دقیقه با شدت ۴۰ کیلوهرتز اختلاف معنی‌داری نشان نداد. کمترین طول ریشه نیز در ترکیب تیمار پرایمینگ به مدت ۲ دقیقه با استفاده از امواج التراسونیک با شدت ۳۰ کیلوهرتز به میزان ۲۱/۸۱ سانتی‌متر به دست آمد که با ترکیب‌های تیمار پرایمینگ به مدت ۲ دقیقه در شدت ۲۰ و ۴۰ کیلوهرتز امواج التراسونیک تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۴-۲۳).

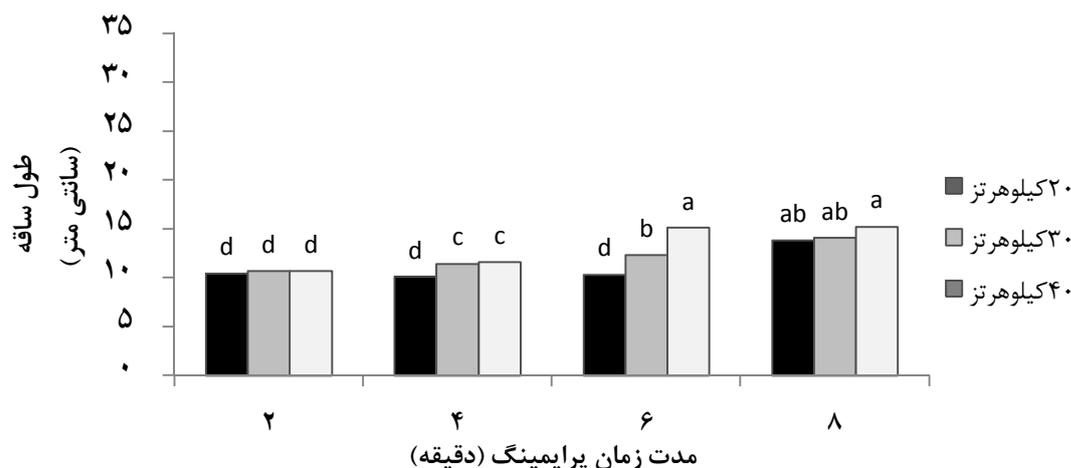
بر اساس مقایسات میانگین، بیشترین طول ساقه با ۱۵/۲۴ سانتی‌متر در ترکیب تیمار ۸ دقیقه کاربرد امواج التراسونیک با شدت ۴۰ کیلوهرتز به دست آمد. بیشترین طول ساقه با ترکیب تیماری ۸ دقیقه قرار دادن بذور در معرض امواج التراسونیک با شدت ۳۰ و ۲۰ کیلوهرتز و همچنین ترکیب

تیماری ۶ دقیقه قرار دادن بذور در معرض امواج التراسونیک با شدت ۴۰ کیلوهرتز تفاوت آماری معنی داری نداشت اما نسبت به سایر تیمارها به طور معنی داری بیشتر بود. کمترین طول ساقه نیز در ترکیب تیماری پرایمینگ به مدت ۴ دقیقه با شدت ۲۰ کیلوهرتز به میزان ۱۰/۰۸ سانتی متر به دست آمد و با تیمارهای پرایمینگ به مدت ۲ دقیقه با شدت ۳۰ و ۴۰ کیلوهرتز، پرایمینگ به مدت ۴ دقیقه با شدت های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوهرتز و تیمار پرایمینگ به مدت ۶ دقیقه با شدت ۲۰ کیلوهرتز در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۴-۲۴).

نتایج مطالعه سرخی للهو و همکاران (۱۳۸۸) در گیاه دارویی همیشه بهار نشان داد با افزایش مدت زمان کاربرد امواج التراسونیک درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی، طول ریشه چه، طول ساقه چه و وزن خشک گیاهچه در تیمارهای ۱ و ۴ دقیقه پرایم با امواج التراسونیک نسبت به شاهد به طور معنی داری افزایش یافت و در تیمار ۶ و ۸ دقیقه کاهش معنی داری در صفات مورد مطالعه نسبت به شاهد دیده شد. مطابق با یافته های فارابی و همکاران، ۶ دقیقه بهترین تیمار زمانی پرایمینگ با امواج التراسونیک برای تربچه بود و تاثیر تیمار ۸ دقیقه در بذور این گیاه، کاهش شدید جوانه زنی را نشان داد (فارابی و همکاران ۱۳۸۷). بر اساس یافته های ماشیکوا و همکاران، پیش تیمار بذر با امواج التراسونیک سبب افزایش شاخص های رشد گیاهچه های آفتابگردان شده است (ماچیکووا و همکاران، ۲۰۱۳).



شکل ۴-۲۳- اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر طول ریشه گیاه کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن است.



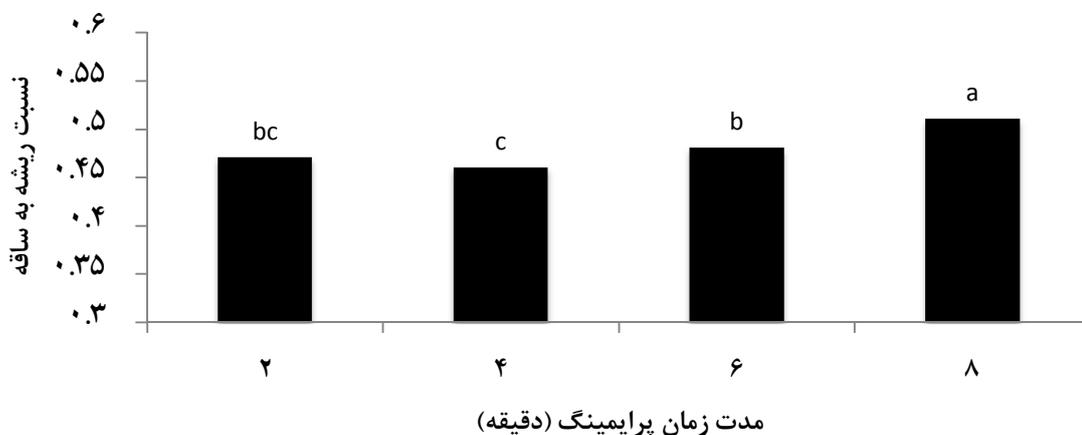
شکل ۴-۲۴- اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر طول ساقه گیاه کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۴-۲-۵- نسبت ریشه به ساقه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر ساده مدت زمان قرار دادن بذور در معرض امواج التراسونیک بر نسبت ریشه به ساقه تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد نشان داد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار اثر ساده شدت امواج مورد استفاده و اثر متقابل شدت و مدت زمان قرار دادن بذور در معرض امواج التراسونیک بر نسبت ریشه به ساقه بود (جدول پیوست ۹). با توجه به جدول مقایسه میانگین، بالاترین نسبت ریشه به ساقه در مدت زمان ۸ دقیقه قرار گرفتن بذور در معرض امواج التراسونیک به دست آمد که با سطح ۶ دقیقه کاربرد امواج التراسونیک در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۴-۲۵). با توجه به تاثیر امواج التراسونیک بر اندازه ریشه و ساقه، به نظر می‌رسد عدم تفاوت معنی‌دار اثر متقابل مدت و شدت امواج بر نسبت ریشه به ساقه به دلیل اثرات مشابه این فاکتورها بر ریشه و ساقه به صورت تقریباً یکنواخت باشد.

مطالعات لیو و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد امواج التراسونیک بر سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه در فستوکا و چاودار وحشی معنی‌دار بود. همچنین بین درصد و سرعت جوانه‌زنی همبستگی مثبتی با طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در فستوکا گزارش شده است. افزایش طول گیاهچه‌های عدس تحت تاثیر امواج التراسونیک، توسط الدجاجیان و همکاران (۲۰۱۱) گزارش شده

است. برخی محققین افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه ذرت را به افزایش سرعت جوانه‌زنی حاصل از پرایمینگ نسبت می‌دهند (هیلینگ و همکاران، ۱۹۹۵).

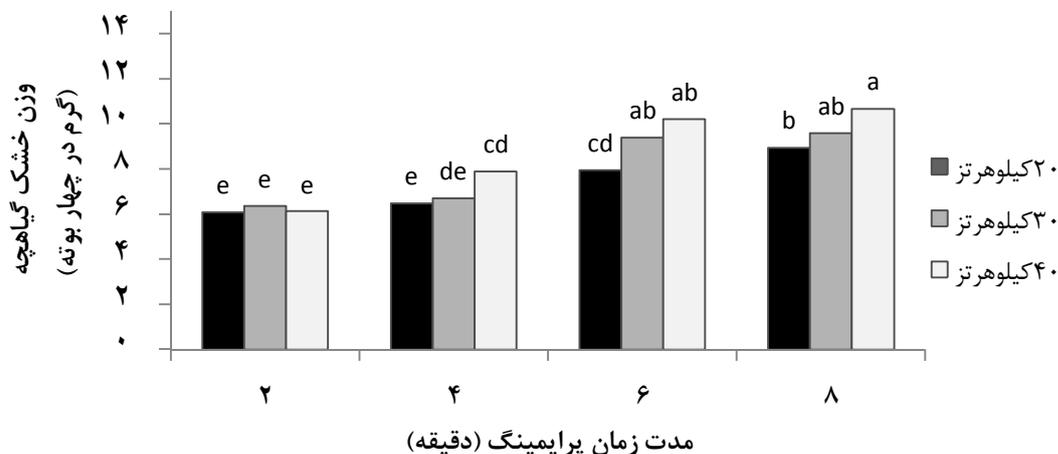


شکل ۴-۲۵- اثر مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر نسبت ریشه به ساقه گیاه کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۴-۲-۶- بیوماس کل

اثر شدت امواج و مدت زمان قرار دادن بذور در معرض امواج در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش متقابل آنها در سطح احتمال پنج درصد بر بیوماس کل معنی‌دار بود (جدول پیوست ۹). بر اساس مقایسات میانگین، بیشترین بیوماس به میزان ۱۰/۶۹ گرم در ترکیب تیماری ۸ دقیقه قرار دادن بذور معرض امواج التراسونیک با شدت ۴۰ کیلوهرتز، تفاوت ۷۵/۵۳ درصدی را با کمترین میزان بیوماس به میزان ۶/۰۹ گرم در ترکیب تیماری ۲ دقیقه قرار گرفتن بذور در شدت ۲۰ کیلوهرتز امواج نشان داد. ترکیب تیماری کمترین بیوماس با تیمارهای پرایمینگ به مدت ۲ دقیقه با شدت ۳۰ و ۴۰ کیلوهرتز و ترکیب تیماری پرایمینگ به مدت ۴ دقیقه با شدت ۲۰ کیلوهرتز تفاوت معنی‌داری نشان نداد. تیمار بیشترین بیوماس نیز با ترکیب تیماری پرایمینگ به مدت ۸ دقیقه با شدت ۳۰ کیلوهرتز و ترکیب تیماری پرایمینگ به مدت ۶ دقیقه با شدت ۳۰ و ۴۰ کیلوهرتز در یک گروه آماری قرار گرفت و با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان داد (شکل ۴-۲۶).

در مطالعه یوسفی تنها و همکاران (۱۳۹۵) افزایش وزن خشک ریشه‌چه در تیمارهای پرایمینگ بذر یونجه یکساله نیز گزارش شده است. تاثیر امواج التراسونیک بر افزایش وزن خشک گیاهچه‌های بومادران در مطالعه میرشکاری و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش شده است. به نظر می‌رسد افزایش فعالیت‌های بیوشیمیایی و متابولیسم کنگد قرار گرفته در معرض امواج التراسونیک سبب تسریع در بیوسنتز کلروفیل، پروتئین و نهایتاً افزایش رشد گیاهچه و بیوماس بالاتر شده است. افزایش طول ریشه و ساقه همبستگی مثبت و معنی‌داری با بیوماس تولید شده نشان داد (جدول ۴-۲).



شکل ۴-۲- اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج التراسونیک بر وزن خشک گیاه کنگد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

جدول ۴-۲- همبستگی بین صفات آزمایش در گلخانه

شاخص	سرعت سبز شدن	طول ریشه	طول ساقه	بیوماس	سطح برگ
سرعت سبز شدن	۱	۰/۵۳**	۰/۶۶**	۰/۸۱**	۰/۷۶**
طول ریشه	۱	۱	۰/۲۳ <sup>ns</sup>	۰/۲۱ <sup>ns</sup>	۰/۵۴**
طول ساقه	۱	۱	۱	۰/۶۸**	۰/۸۳**
بیوماس	۱	۱	۱	۱	۰/۶۴**
سطح برگ	۱	۱	۱	۱	۱

\*- معنی‌دار در سطح ۰/۰۵٪، \*\* معنی‌دار در سطح ۰/۰۱٪ و <sup>ns</sup> - غیر معنی‌دار

#### ۳-۴- نتایج آزمایشات مزرعه‌ای انجام شده در منطقه جیرفت و جازموریان

##### ۴-۳-۱- شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه مرکب داده‌های آزمایشات انجام شده در منطقه جیرفت و جازموریان نشان داد که اثرات ساده پرایمینگ با امواج التراسونیک، غلظت متانول، زمان محلول‌پاشی و اثر متقابل غلظت متانول در زمان محلول‌پاشی، اثر متقابل مکان در غلظت متانول و اثر متقابل غلظت متانول در مدت زمان پرایمینگ، بر شاخص سطح برگ در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول پیوست ۱۰). بر اساس مقایسات میانگین بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ به ترتیب با مقدار ۲/۴۶ و ۱/۶۹، تفاوت ۳۴/۳۱ درصدی را در ترکیب تیماری محلول‌پاشی با متانول ۴۰ درصد در ایستگاه جازموریان و ترکیب تیماری محلول‌پاشی با متانول صفر درصد در ایستگاه جیرفت نشان داد (شکل ۴-۲۷). کاربرد متانول با غلظت ۲۰ درصد اختلاف معنی‌داری در دو مکان آزمایش نشان نداد.

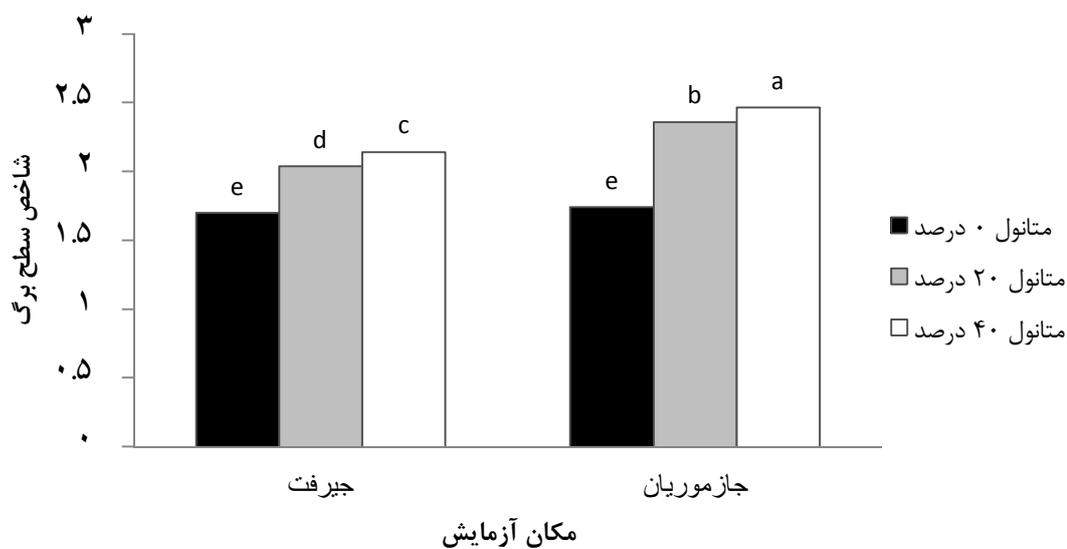
در مقایسه میانگین تاثیر متقابل زمان و غلظت متانول بر سطح برگ مشخص شد کمترین شاخص سطح برگ بدون اختلاف معنی‌دار در ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی متانول در مراحل قبل و بعد از گلدهی به دست آمد. بیشترین سطح برگ نیز در ترکیب تیماری محلول‌پاشی در مرحله بعد از گلدهی با متانول ۴۰ درصد با مقدار ۲/۴۱ به دست آمد و با ترکیب تیماری محلول‌پاشی متانول ۴۰ درصد در مرحله بعد از گلدهی و محلول‌پاشی با متانول ۲۰ درصد در مرحله قبل از گلدهی تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۴-۲۸).

مقایسه میانگین شاخص سطح برگ در تاثیر متقابل غلظت متانول و مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک نشان داد ترکیب تیماری ویوپرایمینگ با التراسونیک به مدت ۶ دقیقه و محلول‌پاشی با متانول ۴۰ درصد، بیشترین سطح برگ را به میزان ۲/۳۷ ایجاد کرده است و با ترکیب تیماری ویوپرایمینگ به مدت ۴ دقیقه و محلول‌پاشی با متانول ۴۰ درصد در یک سطح آماری قرار گرفت. همچنین تیمارهای پرایمینگ به مدت دو، چهار و شش دقیقه توأم با محلول‌پاشی متانول در غلظت ۲۰ درصد اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ۴-۳۲). کمترین سطح برگ در ترکیب تیماری عدم

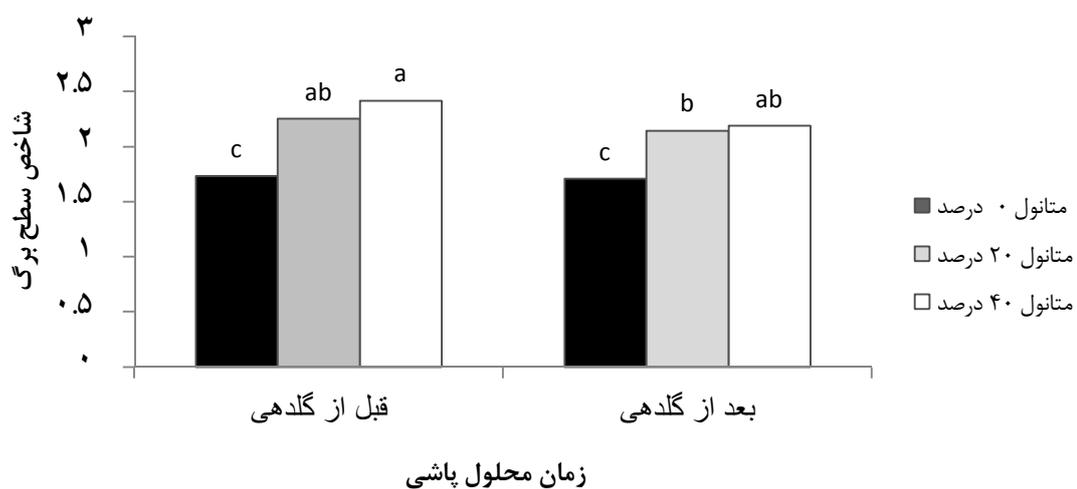
ویوپرایمینگ (مدت زمان صفر) و محلول پاشی با متانول صفر درصد حجمی (محلول پاشی با آب به تنهایی)، به میزان ۱/۶۸ به دست آمد که با ترکیب‌های تیماری عدم محلول پاشی متانول و ویوپرایمینگ به مدت ۲، ۴ و ۶ دقیقه تفاوت معنی داری نشان نداد (شکل ۴-۲۹).

در بررسی که بر روی نیشکر انجام شد، مشخص شد کاربرد متانول موجب افزایش محتوی سیتوکینین و افزایش سطح برگ شده است (مادهیان و همکاران، ۲۰۰۶). نتایج بررسی کاربرد برگی متانول در آفتابگردان بیانگر افزایش سطح برگ و ارتفاع بوته در این گیاه است (هرناندز و همکاران، ۲۰۰۰). افزایش شاخص سطح برگ و سرعت رشد گیاه در سویا با کاربرد برگی متانول نیز توسط میرآخوری و همکاران (۲۰۰۹) گزارش شده است. محلول پاشی متانول در سطح ۲۰ درصد حجمی در گیاه بادام زمینی سبب افزایش شاخص سطح برگ و تعداد برگ در بوته شد (صفرزاده ویشکایی و همکاران، ۱۳۸۶). نتایج مطالعه تاثیر امواج التراسونیک بر رشد و عملکرد لوبیا چشم بلبلی در شرایط تنش خشکی بیانگر تاثیر مثبت امواج التراسونیک بر شاخص سطح برگ است (محروقیان و همکاران، ۱۳۹۵). در مطالعه انجام شده در بادام زمینی، افزایش تعداد و سطح برگ در محلول پاشی متانول گزارش شده است (صفرزاده ویشکایی و همکاران، ۱۳۸۶). همچنین در مطالعه تاثیر متانول بر سویا، افزایش سطح، تعداد برگ و افزایش فتوسنتز گزارش شده است نادعلی و همکاران (۲۰۱۰).

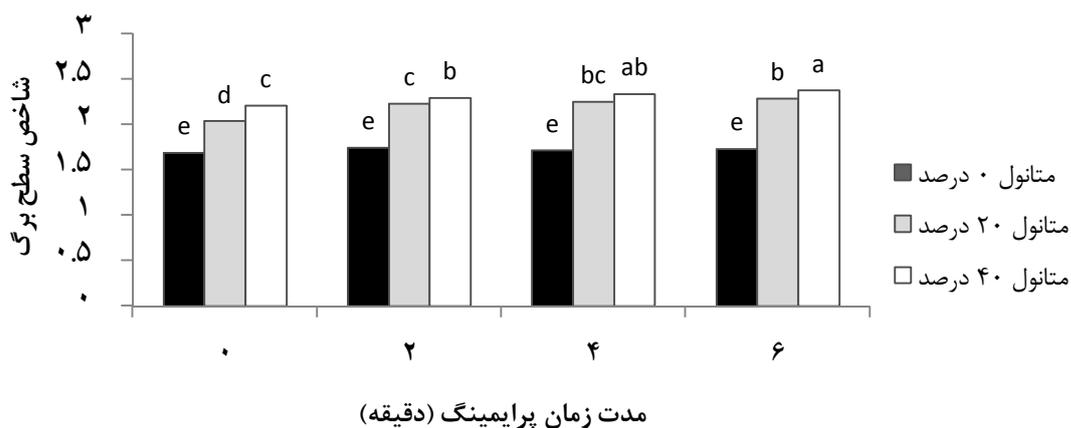
کنجد گیاهی رشد نامحدود بوده لذا افزایش شاخص سطح برگ را می‌توان به افزایش تعداد و سطح برگ ناشی از کاربرد برگی متانول نسبت داد. همچنین تاثیر متانول در تحریک و افزایش تولید هورمون‌های رشد از جمله سیتوکینین می‌تواند در افزایش سطح برگ موثر باشد. از طرفی کاربرد برگی متانول موجب تحریک ژن پکتین متیل استراز در برگ شده و این ژن با افزایش دسترسی گیاه به کلسیم، سبب افزایش سطح برگ در کنجد شده است.



شکل ۴-۲۷- اثر متقابل مکان و غلظت متانول بر سطح برگ کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۲۸- اثر متقابل زمان محلول پاشی و غلظت متانول بر سطح برگ کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۲۹- اثر متقابل مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک و غلظت متانول بر سطح برگ کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

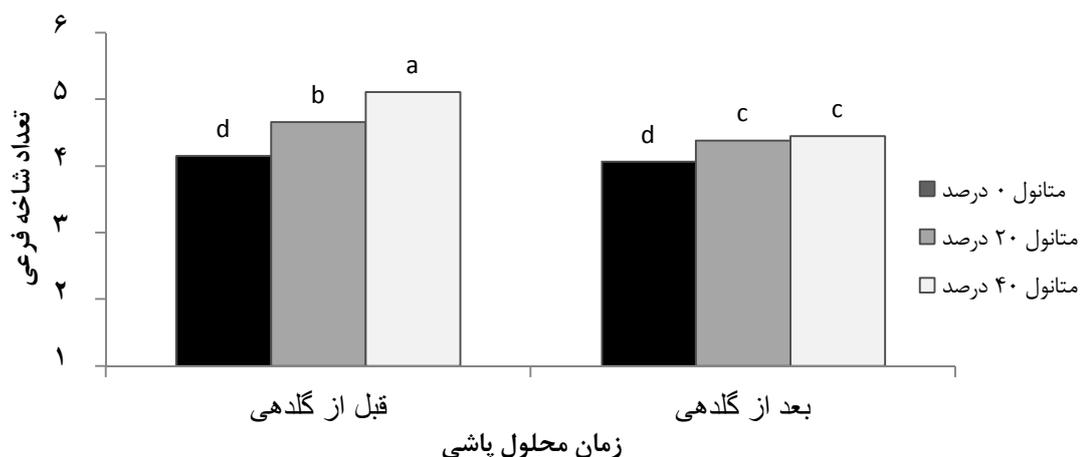
#### ۴-۳-۲- تعداد شاخه‌های فرعی

بر اساس نتایج تجزیه مرکب داده‌های آزمایشات انجام شده در جیرفت و جازموریان، مشخص شد که اثرات ساده پرایمینگ با امواج التراسونیک، غلظت متانول، زمان محلول‌پاشی و اثر متقابل زمان محلول‌پاشی در غلظت متانول، اثر متقابل زمان محلول‌پاشی متانول در مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک و اثر متقابل غلظت متانول در مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر تعداد شاخه‌های فرعی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول پیوست ۱۰). مقایسه میانگین اثر متقابل زمان محلول‌پاشی در غلظت متانول نشان داد بیشترین تعداد شاخه فرعی در ترکیب تیماری محلول‌پاشی در مرحله قبل از گلدهی با متانول ۴۰ درصد به میزان ۵/۱۱ به دست آمد. کمترین تعداد شاخه فرعی در ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی متانول (محلول‌پاشی با آب به تنهایی) به میزان ۴/۰۷ به دست آمد و با ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی متانول تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۴-۳۰).

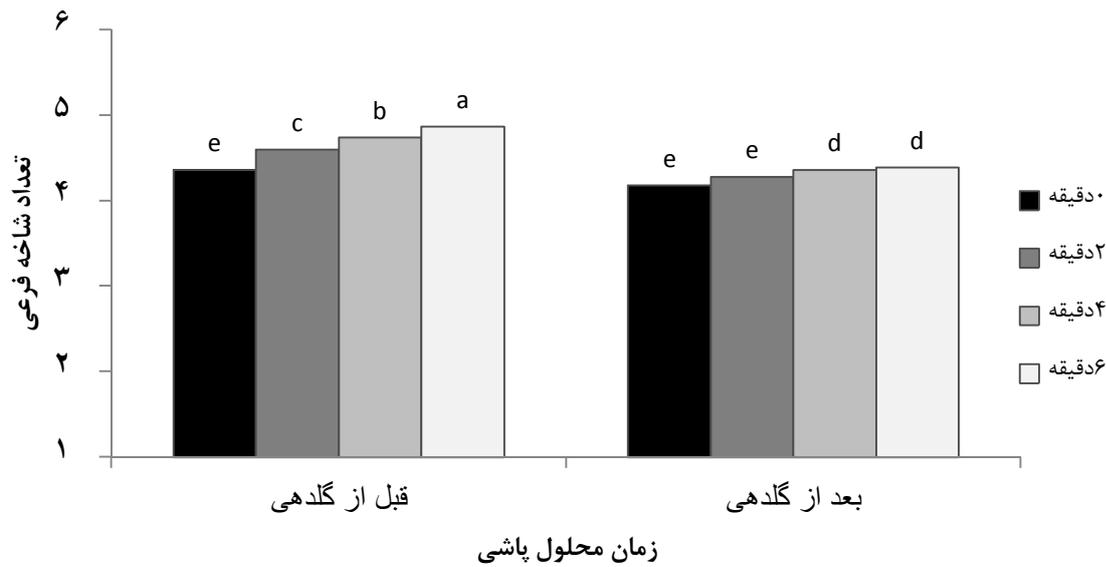
نتایج مقایسات میانگین نشان داد ترکیب تیماری پرایمینگ به مدت ۶ دقیقه با امواج التراسونیک و محلول‌پاشی متانول در مرحله قبل از گلدهی با ایجاد ۴/۸۷ شاخه، بیشترین تعداد شاخه را ایجاد کرده است. از طرفی کمترین تعداد شاخه فرعی در ترکیب تیماری عدم ویوپرایمینگ (صفر دقیقه قرار دادن در معرض امواج التراسونیک) و محلول‌پاشی متانول در مرحله قبل از گلدهی به میزان ۴/۱۸ ساقه به دست آمد (شکل ۴-۳۱).

بر اساس مقایسات میانگین بیشترین تعداد ساقه فرعی در ترکیب تیماری پرایمینگ به مدت ۶ دقیقه با امواج التراسونیک و کاربرد متانول با غلظت ۴۰ درصد به میزان ۵/۰۶ ساقه به دست آمد و با ترکیب تیماری پرایمینگ به مدت ۴ دقیقه با امواج التراسونیک و کاربرد متانول با غلظت ۴۰ درصد در یک سطح آماری قرار گرفت. کمترین تعداد ساقه فرعی در ترکیب تیماری عدم پرایمینگ با امواج التراسونیک و عدم کاربرد متانول ( محلول پاشی با آب به تنهایی) با ۴/۰۴ ساقه به دست آمد که با ترکیب‌های تیماری کاربرد متانول صفر درصد و پرایمینگ به مدت ۲، ۴ و ۶ دقیقه با امواج التراسونیک تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۴-۳۲). بر اساس مطالعات انجام شده محلول پاشی متانول سبب افزایش شاخه‌های جانبی در بادام زمینی (میرآخوری و همکاران، ۲۰۰۹) و نخود (احیایی و همکاران، ۱۳۸۹) شده است. مطالعه تاثیر متانول بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه لوبیا نشان داد غلظت ۱۰ و ۲۰ درصد متانول سبب افزایش تعداد شاخه‌های جانبی در لوبیا شده است (آرمند نظام و همکاران، ۱۳۹۴). افزایش تعداد شاخه‌های فرعی در کاربرد امواج التراسونیک در مطالعه انجام شده در لوبیا چشم بلبلی گزارش شده است (محروقیان، ۱۳۹۵).

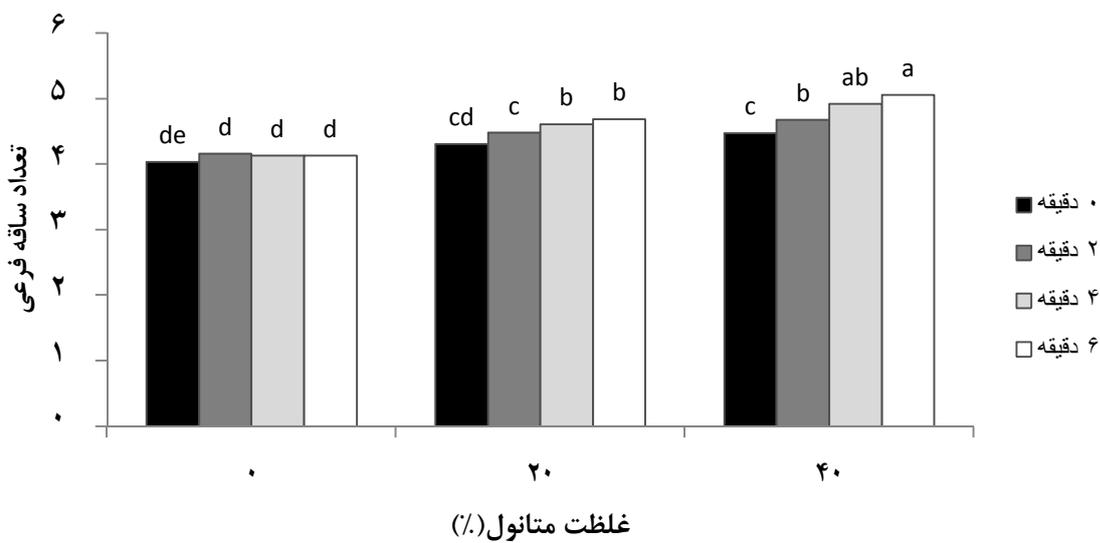
افزایش تعداد شاخه‌های فرعی ایجاد شده را می‌توان ناشی از اثرات هورمونی متانول از یک سو و افزایش ظرفیت تولید مواد فتوسنتزی گیاه در نتیجه کاربرد متانول از سویی دیگر دانست.



شکل ۴-۳۰- اثر متقابل زمان محلول پاشی و غلظت متانول بر تعداد شاخه‌های فرعی کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۳۱- اثر متقابل زمان محلول پاشی و مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر تعداد شاخه‌های فرعی کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۳۲- اثر متقابل غلظت متانول و مدت زمان ویوپرایمینگ بر تعداد شاخه‌های فرعی. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

### ۴-۳-۳- قطر ساقه اصلی

تجزیه مرکب داده‌های آزمایشات انجام شده در جیرفت و جازموربان نشان داد که اثرات ساده پرایمینگ با امواج التراسونیک، غلظت متانول و زمان محلول پاشی بر قطر ساقه اصلی معنی‌دار بود. همچنین اثرات متقابل زمان محلول پاشی در غلظت متانول و اثر متقابل غلظت متانول در مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر قطر ساقه اصلی در کنجد معنی‌دار گردید (جدول پیوست ۱۰).

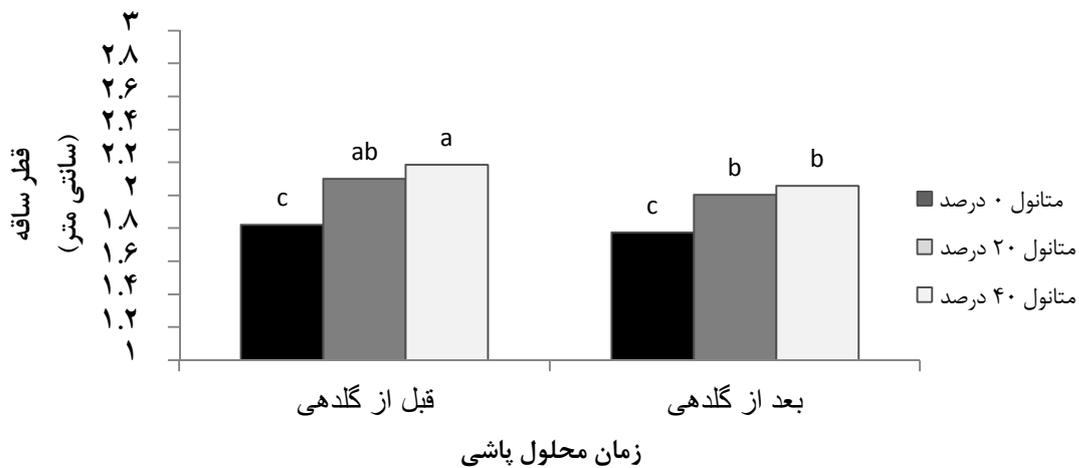
مقایسه میانگین قطر ساقه نشان داد که بیشترین قطر ساقه در ترکیب تیماری کاربرد متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی در مرحله قبل از گلدهی با ۲/۱۸ سانتی‌متر به‌دست آمد که با ترکیب تیماری کاربرد متانول با غلظت ۲۰ درصد حجمی در مرحله قبل از گلدهی در یک سطح آماری قرار گرفت. کمترین قطر ساقه نیز در ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی متانول در مرحله بعد از گلدهی به مقدار ۱/۷۷ سانتی‌متر به‌دست آمد که با ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی متانول در مرحله قبل از گلدهی تفاوت معنی‌داری نشان نداد. همچنین کاربرد متانول با غلظت ۲۰ درصد در مرحله بعد از گلدهی تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۴-۳۳).

مقایسه میانگین تاثیر مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک و غلظت متانول بیانگر این است که بیشترین قطر ساقه در تیمار پرایمینگ به‌مدت ۶ دقیقه و کاربرد متانول با غلظت ۴۰ درصد به‌میزان ۲/۱۵ سانتی‌متر به‌دست آمد و کمترین قطر ساقه نیز در تیمار شاهد (متانول صفر درصد و عدم ویوپرایمینگ) با ۱/۷۵ سانتی‌متر به‌دست آمد (شکل ۴-۳۴). با توجه به مقایسات میانگین، ترکیب تیماری پرایمینگ به‌مدت ۶ دقیقه و کاربرد متانول با غلظت ۴۰ درصد با ترکیب تیماری پرایمینگ به‌مدت ۶ دقیقه و کاربرد متانول با غلظت ۳۰ درصد، ترکیب‌های تیماری پرایمینگ به‌مدت ۴ دقیقه و کاربرد متانول با غلظت‌های ۳۰ و ۴۰ درصد و ترکیب تیماری پرایمینگ به‌مدت ۲ دقیقه و کاربرد متانول با غلظت ۴۰ درصد تفاوت آماری نشان نداد و در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۴-۳۴). تیمار کمترین قطر ساقه نیز با تیمارهای عدم کاربرد متانول همراه با پرایمینگ به‌مدت زمان‌های ۲، ۴ و ۶ دقیقه در یک گروه آماری قرار گرفت. همچنین تیمار پرایمینگ به‌مدت دو دقیقه همراه با محلول‌پاشی متانول با غلظت ۲۰ درصد و ترکیب تیمار عدم پرایمینگ توام با محلول‌پاشی ۴۰ درصد متانول نیز اختلاف معنی‌داری نشان ندادند (شکل ۴-۳۴).

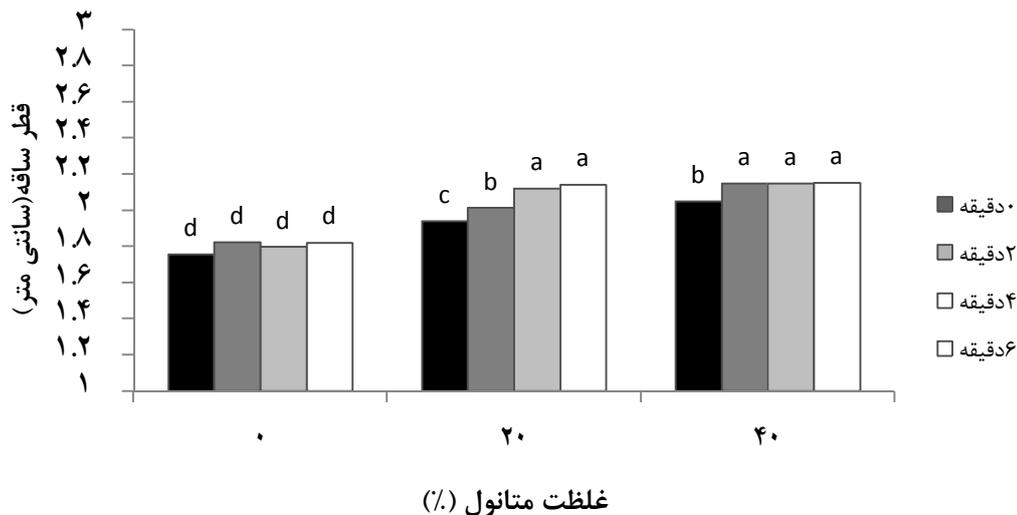
در مطالعه تاثیر امواج التراسونیک بر ذرت مشخص شد این امواج تاثیر مثبت و معنی‌داری بر قطر ساقه دارد (سالمی‌نسب و همکاران، ۱۳۹۵). افزایش میزان و کارایی فتوسنتز در کاربرد متانول

به‌عنوان یک منبع کربن در مطالعات متعددی گزارش شده است (زیبیک و همکاران، ۱۹۹۷؛ رامیرز و همکاران، ۲۰۰۶؛ اصلانی و همکاران، ۲۰۱۱).

متابولیسم متانول و تبدیل سریع آن به دی‌اکسید کربن در برگ، غلظت کربن درون سلولی را افزایش داده و این کربن اضافی با افزایش تولید آسیمیلات‌های حاصل از فتوسنتز منجر به افزایش شاخص‌های رشد از جمله قطر ساقه در گیاه شده است. در مرحله قبل از گلدهی ساقه اصلی مهم‌ترین مخزن و مقصد مواد فتوسنتزی بوده لذا افزایش مواد فتوسنتزی ناشی از کاربرد متانول بیشترین تاثیر را در این مرحله از رشد نشان داد. در مرحله پس از گلدهی به‌دلیل تقسیم و تسهیم مواد حاصل از فتوسنتز در مسیرها و مخزن‌های متعدد از جمله ساقه‌های جانبی و کپسول‌های ایجاد شده، سهم ساقه اصلی از این مواد کاهش یافته لذا افزایش قطر ساقه در مرحله بعد از گلدهی تفاوت معنی‌دار با مرحله قبل از گلدهی نشان می‌دهد.



شکل ۴-۳۳- اثر متقابل غلظت متانول و زمان محلول‌پاشی بر قطر ساقه اصلی کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۳۴- اثر متقابل غلظت متانول و مدت زمان ویوپرایمینگ بر قطر ساقه اصلی کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۴-۳-۴- ارتفاع بوته

تجزیه مرکب داده‌های آزمایشات انجام شده بیانگر این است که اثرات ساده پرایمینگ با امواج التراسونیک، غلظت متانول و زمان محلول‌پاشی بر ارتفاع بوته در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. نتایج تجزیه واریانس داده همچنین نشان داد اثرات متقابل زمان محلول‌پاشی در غلظت متانول، اثر متقابل مکان در غلظت متانول و اثر متقابل غلظت متانول در مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر ارتفاع بوته در کنجد معنی‌دار گردید (جدول پیوست ۱۰). مشاهده مقایسه میانگین ارتفاع بوته در برهمکنش زمان محلول‌پاشی و غلظت متانول نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در کاربرد متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی در مرحله قبل از گلدهی با ۱۴۳/۹۲ سانتی‌متر به دست آمد و با ترکیب تیماری محلول‌پاشی متانول با غلظت ۲۰ درصد حجمی در مرحله قبل از گلدهی در یک سطح آماری قرار گرفت. کمترین ارتفاع بوته نیز در عدم محلول‌پاشی متانول در مرحله بعد از گلدهی به میزان ۱۱۵/۳۹ سانتی‌متر به دست آمد و با ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی متانول در مرحله قبل از گلدهی تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۴-۳۵). همچنین ترکیب تیمار محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد در مرحله بعد از گلدهی با ترکیب تیمار محلول‌پاشی متانول با غلظت ۲۰ درصد

متانول در مرحله قبل و بعد از گلدهی نیز اختلاف معنی‌داری نشان نداد و در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۳۵).

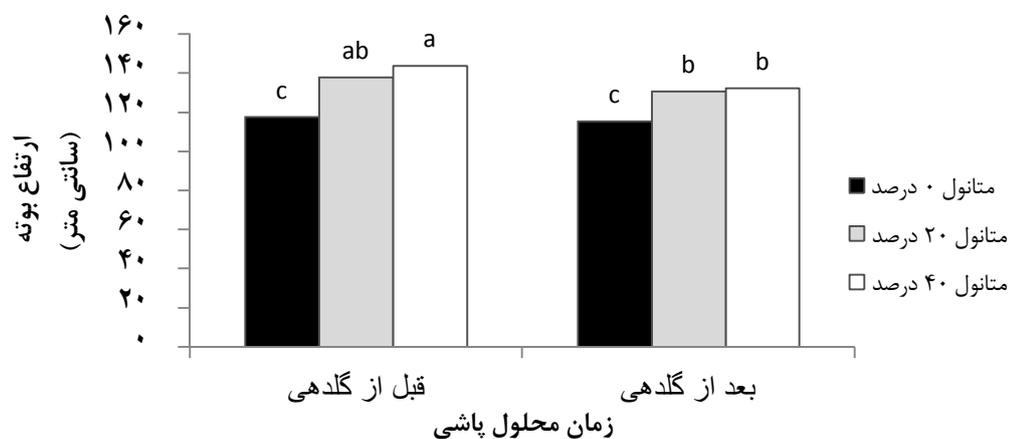
مقایسه میانگین تاثیر مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک و غلظت متانول بیانگر این است که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار پرایمینگ به مدت ۶ دقیقه و کاربرد متانول با غلظت ۴۰ درصد با ۱۴۱/۴۸ سانتی‌متر به دست آمد که با ترکیب‌های تیماری پرایمینگ به مدت ۶ دقیقه و کاربرد متانول با غلظت ۲۰ درصد، تیمار پرایمینگ به مدت ۴ دقیقه و کاربرد متانول با غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ درصد و پرایمینگ به مدت ۲ دقیقه و کاربرد متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی اختلاف معنی‌داری نداشت در یک گروه آماری قرار گرفت. کمترین ارتفاع بوته نیز در تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی متانول و ویوپرایمینگ به مدت صفر دقیقه) با ۱۱۴/۲۴ سانتی‌متر به دست آمد که با ترکیب‌های تیماری محلول‌پاشی صفر درصد متانول در ویوپرایمینگ به مدت ۲، ۴ و ۶ دقیقه تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۴-۳۶).

مقایسه میانگین تاثیر مکان و غلظت متانول بیانگر این است که بیشترین ارتفاع بوته در جازموریان و کاربرد متانول با غلظت ۴۰ درصد با ۱۴۰/۳۱ سانتی‌متر به دست آمد و با ترکیب تیماری کاربرد متانول ۲۰ درصد در جازموریان در یک سطح آماری قرار گرفت. کمترین ارتفاع بوته نیز در جازموریان و عدم کاربرد متانول (محلول‌پاشی با آب و غلظت صفر درصد متانول) به میزان ۱۱۵/۱۰ سانتی‌متر به دست آمد و با ترکیب تیماری عدم کاربرد متانول در ایستگاه جیرفت در یک سطح آماری قرار گرفت (شکل ۴-۳۷). همچنین ترکیب تیمار محلول‌پاشی متانول با غلظت ۲۰ درصد در منطقه جازموریان با ترکیب تیماری محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ و ۲۰ درصد در منطقه جیرفت اختلاف معنی‌داری نداشته و در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۳۷).

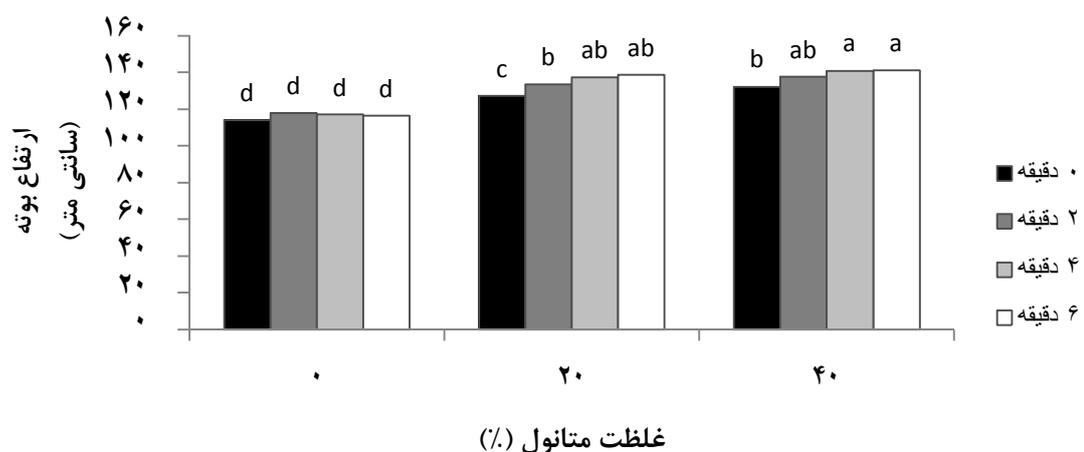
نتایج تحقیق میراخوری و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد محلول‌پاشی متانول بر ارتفاع سویا و عملکرد دانه، تاثیر مثبت دارد. در مطالعات تاثیر متانول بر شاخص‌های زراعی در گندم، گوجه فرنگی، توت فرنگی، پنبه و هندوانه، دلیل افزایش ارتفاع بوته، افزایش فتوسنتز و کاهش تنفس نوری گزارش شده

است (نانامورا و بنسون، ۱۹۹۲). در مطالعه دیگری دریافت متانول توسط باکتری‌های متیلوتروف موجود در سطح برگ‌ها و تولید هورمون‌های اکسین و سیتوکینین محرک رشد و تقسیم سلولی، دلیل افزایش طول ساقه گزارش شده است (ایوانوا و همکاران، ۲۰۰۱؛ لی و همکاران، ۱۹۹۵).

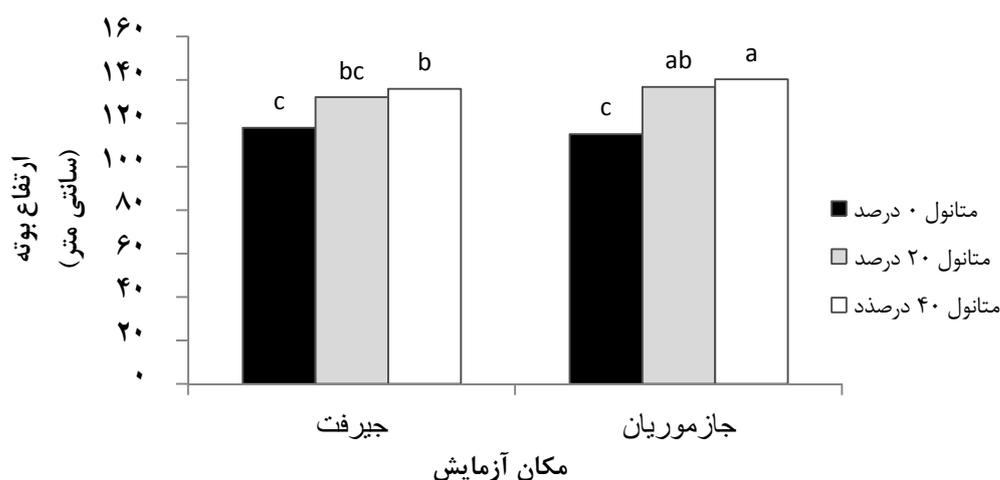
متابولیسم متانول و تبدیل سریع آن به دی‌اکسید کربن در برگ، غلظت کربن درون سلولی را افزایش داده و این کربن اضافی با افزایش تولید آسیمیلات‌های حاصل از فتوسنتز منجر به افزایش شاخص‌های رشد از جمله ارتفاع گیاه شده است. از طرفی متانول با تحریک تولید اکسین و سیتوکینین در برگ و افزایش تقسیم سلولی می‌تواند در افزایش ارتفاع بوته موثر باشد.



شکل ۴-۳۵- اثر متقابل غلظت متانول و زمان محلول پاشی متانول بر ارتفاع کنبه. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۳۶- اثر متقابل غلظت متانول و مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر ارتفاع کنبه. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



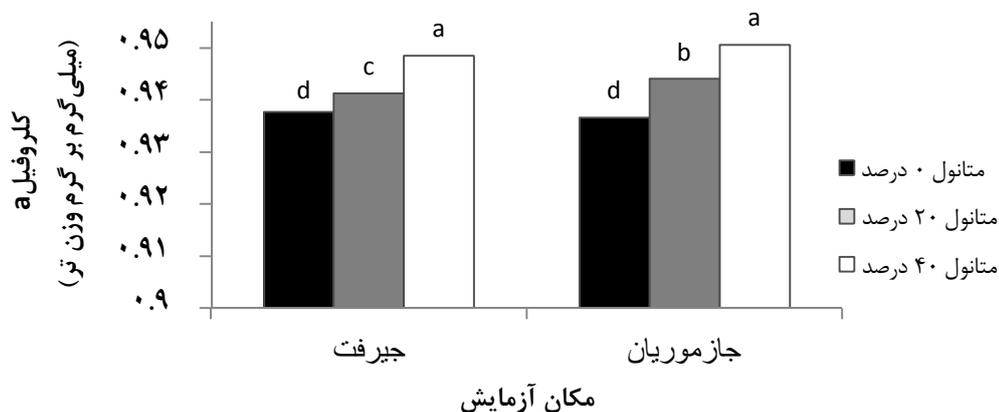
شکل ۴-۳۷- اثر متقابل غلظت متانول و مکان بر ارتفاع کنبجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۴-۳-۵- کلروفیل a

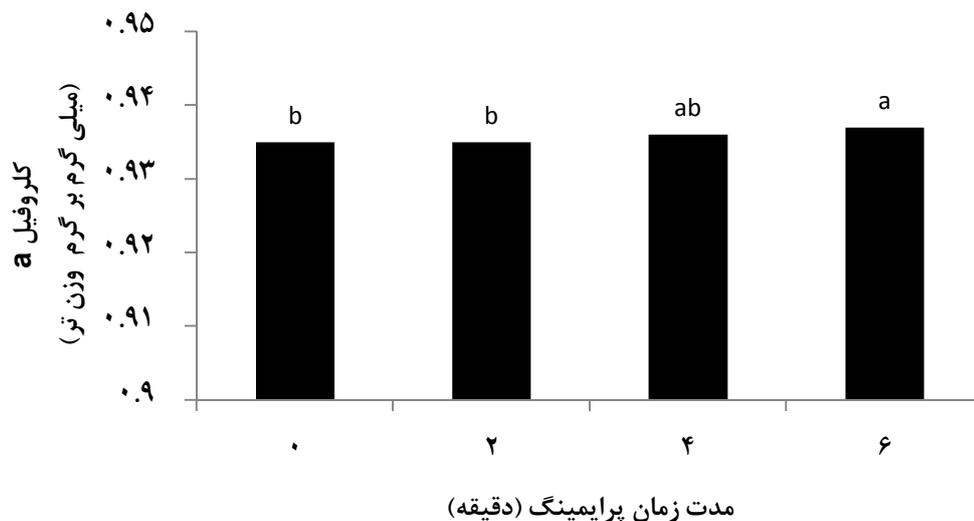
تجزیه مرکب داده‌های آزمایشات انجام شده بیانگر این است که اثر ساده پرایمینگ با امواج التراسونیک بر کلروفیل a در سطح آماری یک درصد معنی دار بود. نتایج تجزیه واریانس داده همچنین نشان داد اثر متقابل مکان در غلظت متانول بر میزان کلروفیل a در کنبجد معنی دار گردید (جدول پیوست ۱۱). مشاهده مقایسه میانگین کلروفیل a در برهمکنش مکان و غلظت متانول نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a در تیمار کاربرد متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی در جازموریان با ۰/۹۵۰ میلی گرم بر گرم وزن تر به دست آمد و با ترکیب تیماری کاربرد متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی در جیرفت در یک سطح آماری قرار گرفت. کمترین مقدار کلروفیل a نیز در تیمار عدم محلول پاشی متانول در جازموریان به میزان ۰/۹۳۶ میلی گرم بر گرم وزن تر به دست آمد که اختلاف معنی داری با تیمار عدم کاربرد متانول در جیرفت نداشت (شکل ۴-۳۸).

مقایسه میانگین همچنین نشان داد که تنها تیمار پرایمینگ به مدت ۶ دقیقه با سایر تیمارهای پرایمینگ تفاوت معنی دار آماری داشته و سایر مدت زمان‌های پرایمینگ در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۳۹).

در بررسی اثر متانول بر ویژگی‌های فیزیولوژیک نخود توسط حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) مشخص شد متانول بر میزان کلروفیل a و b و کلروفیل کل در نخود تاثیر معنی‌دار داشت. مطالعات راجلا و همکاران (۱۹۹۸) نیز افزایش مقدار کلروفیل در گندم و یولاف را بعد از محلول‌پاشی متانول نشان داد.



شکل ۴-۳۸- اثر متقابل غلظت متانول و مکان بر میزان کلروفیل a در برگ کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



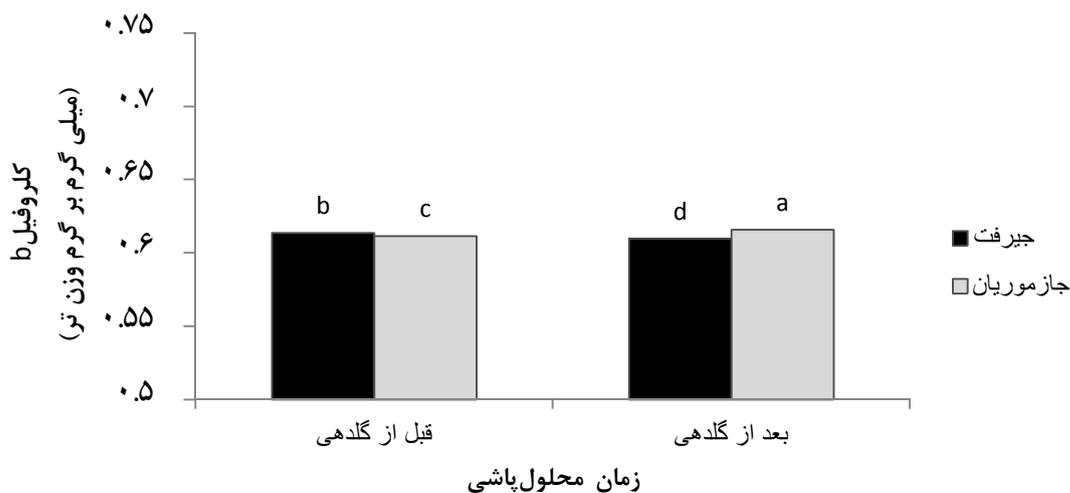
شکل ۴-۳۹- اثر مدت زمان پرایمینگ بر میزان کلروفیل a در برگ کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۴-۳-۶- کلروفیل b

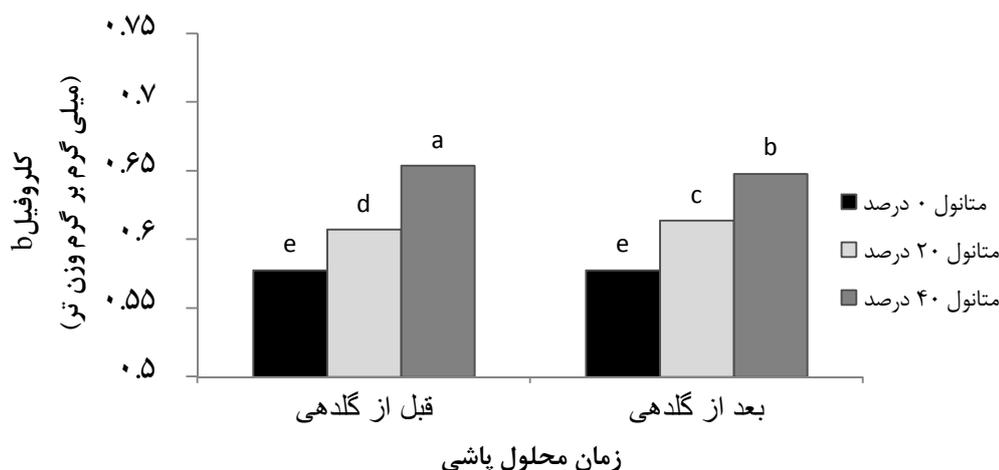
تجزیه مرکب داده‌های آزمایش بیانگر این است که اثرات ساده مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک و غلظت متانول بر ارتفاع بوته در سطح آماری یک درصد معنی‌دار گردید. نتایج تجزیه

واریانس داده همچنین نشان داد اثرات متقابل زمان محلول‌پاشی در مکان و اثر متقابل زمان محلول‌پاشی در غلظت متانول بر کلروفیل b در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول پیوست ۱۱). مقایسه میانگین تاثیر مکان و زمان محلول‌پاشی بیانگر این است که بیشترین کلروفیل b در تیمار محلول‌پاشی متانول در مرحله بعد از گلدهی و در ایستگاه جازموریان با ۰/۶۱۶۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و کمترین میزان کلروفیل b نیز در تیمار محلول‌پاشی متانول در مرحله بعد از گلدهی در ایستگاه جیرفت به میزان ۰/۶۱۰۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به دست آمد (شکل ۴-۴۰).

مقایسه میانگین اثر متقابل زمان محلول‌پاشی در غلظت متانول نشان داد ترکیب تیماری محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد متانول در مرحله قبل از گلدهی بیشترین کلروفیل b را به میزان ۰/۶۵۳۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر نشان داد. کمترین میزان کلروفیل b نیز در ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی متانول در مرحله قبل از گلدهی به مقدار ۰/۵۷۷۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به دست آمد (شکل ۴-۴۱). مطالعات انجام شده در گوجه فرنگی و فلفل بیانگر این است که محلول‌پاشی متانول به همراه گلیسین، مقدار کلروفیل برگ‌ها را افزایش داد (راو و همکاران، ۱۹۹۴). در مطالعه حسین‌زاده و همکاران (۲۰۱۱) نیز افزایش سطح کلروفیل a و b در محلول‌پاشی متانول در نخود گزارش شده است.



شکل ۴-۴۰- اثر متقابل زمان محلول‌پاشی و مکان بر میزان کلروفیل b در برگ کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۴۱- اثر متقابل زمان محلول پاشی و غلظت متانول بر میزان کلروفیل b در برگ کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۴-۳-۷- کلروفیل کل

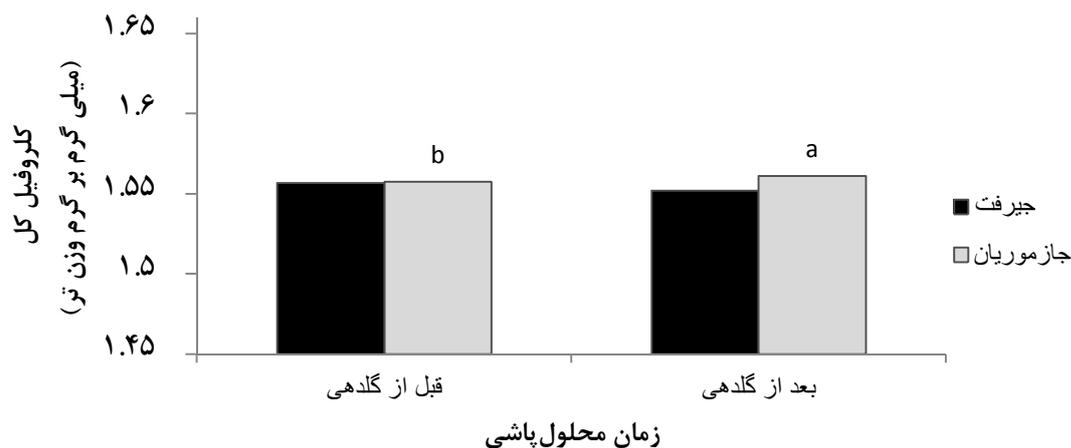
تجزیه مرکب داده‌های آزمایشات انجام شده بیانگر این است که اثرات ساده مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک و غلظت متانول بر ارتفاع بوته در سطح آماری یک درصد معنی دار بود. نتایج تجزیه واریانس داده همچنین نشان داد اثرات متقابل زمان محلول پاشی در مکان و اثر متقابل زمان محلول پاشی در غلظت متانول، بر کلروفیل کل در کنجد در سطح آماری پنج درصد معنی دار گردید (جدول پیوست ۱۱).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل زمان محلول پاشی در مکان نشان داد محلول پاشی متانول در مرحله بعد از گلدهی در ایستگاه جازموریان با ۱/۵۶۱۵ میلی گرم بر گرم وزن تر نشان دهنده بیشترین میزان کلروفیل کل بود. همچنین محلول پاشی متانول در مرحله بعد از گلدهی در ایستگاه جیرفت با ۱/۵۵۲۲ میلی گرم بر گرم وزن تر نشان دهنده کمترین میزان کلروفیل کل در کنجد بود (شکل ۴-۴۲).

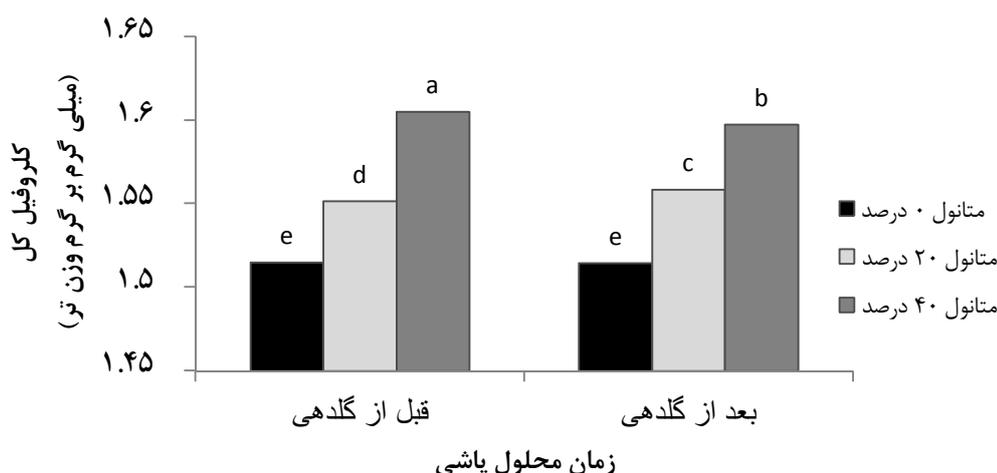
نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل زمان محلول پاشی در غلظت متانول نشان داد محلول پاشی با متانول ۴۰ درصد حجمی در مرحله قبل از گلدهی با ۱/۶۰۵۲ میلی گرم بر گرم وزن تر نشان دهنده بیشترین میزان کلروفیل کل بود. همچنین محلول پاشی بدون کاربرد متانول (محلول پاشی با آب به

تنهایی) در مرحله بعد از گلدهی با ۱/۵۱۴۶ میلی گرم بر گرم وزن تر نشان دهنده کمترین میزان کلروفیل کل در کنجد بود که با ترکیب تیماری عدم محلول پاشی متانول (محلول پاشی با آب به تنهایی) در مرحله قبل از گلدهی در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۴-۴۳). نتایج مطالعه تاثیر متانول در لوبیا و انگور نشان داد که کاربرد برگی متانول بر میزان کلروفیل کل در این گیاهان تاثیر مثبت داشته است (رامادنت و عمران، ۲۰۰۵). مطالعات انجام شده در گوجه فرنگی و فلفل بیانگر این است که محلول پاشی متانول به همراه گلیسین، مقدار کلروفیل برگها را افزایش داد (راو و همکاران، ۱۹۹۴).

در غلظت‌های بالای دی اکسید کربن ناشی از متابولیسم شدن متانول، بازسازی ریبولوز بی فسفات عامل محدود کننده فتوسنتز است. قابلیت تجدید و بازسازی ریبولوز بی فسفات خود متأثر از ظرفیت انتقال الکترون بوده و لذا مستقیماً از میزان نور جذب شده تاثیر می‌پذیرد. افزایش شدت نور سبب افزایش ریبولوز بی فسفات - کربوکسیلاز برای انجام واکنش با دی‌اکسید کربن می‌شود. بنابراین افزایش جذب نور توسط گیاه برای بازسازی ریبوکسیلاز در نتیجه افزایش میزان دی‌اکسید کربن را می‌توان از جمله دلایل افزایش رنگیته‌های فتوسنتزی پس از کاربرد متانول دانست.



شکل ۴-۴۲- اثر متقابل زمان محلول پاشی و مکان بر میزان کلروفیل کل در برگ کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۴۳- اثر متقابل زمان محلول پاشی و غلظت متانول بر میزان کلروفیل کل در برگ کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۴-۳-۸- کاروتنوئید

تجزیه مرکب داده‌های آزمایشات انجام شده بیانگر این است که اثر ساده غلظت متانول بر میزان کاروتنوئید در سطح آماری یک درصد معنی دار بود. تجزیه واریانس داده همچنین نشان داد اثر متقابل مکان انجام آزمایش در غلظت متانول در سطح آماری پنج درصد و اثر متقابل غلظت متانول در مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک در سطح آماری یک درصد بر میزان کاروتنوئید در برگ کنجد معنی دار گردید (جدول پیوست ۱۱). مقایسه میانگین میزان کاروتنوئید در برهمکنش مکان و غلظت متانول نشان داد که بیشترین میزان کاروتنوئید در تیمار کاربرد متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی در ایستگاه جازموریان با ۰/۴۱۶۰ میلی گرم بر گرم وزن تر به دست آمد. کمترین میزان کاروتنوئید نیز در عدم محلول پاشی متانول (استفاده از آب به تنهایی) در ایستگاه جیرفت به مقدار ۰/۳۸۳۳ میلی گرم بر گرم وزن تر به دست آمد (شکل ۴-۴۴).

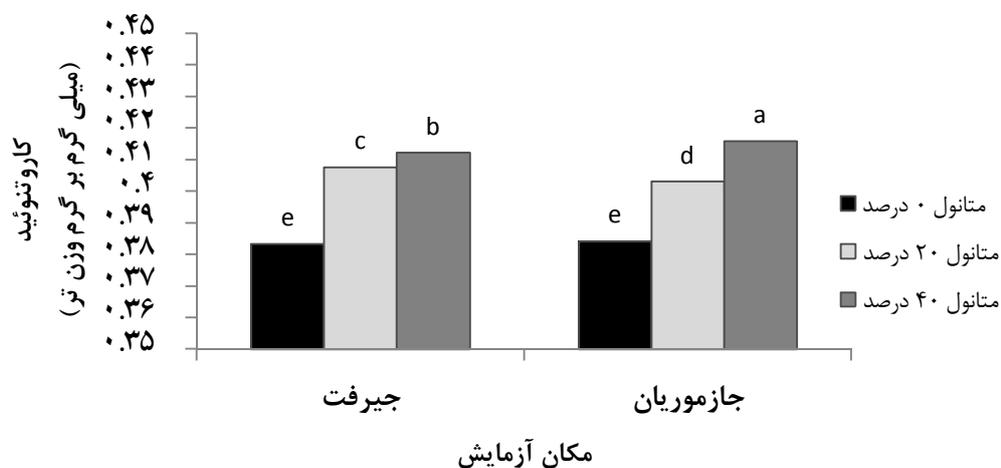
مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت متانول در مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک نشان داد بیشترین میزان کاروتنوئید در ترکیب تیماری پرایمینگ به مدت ۶ دقیقه و محلول پاشی با متانول ۴۰ درصد و ترکیب تیماری پرایمینگ به مدت ۴ دقیقه و محلول پاشی با متانول ۴۰ درصد به دست آمد و این دو تیمار در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین میزان کاروتنوئید نیز در ترکیب تیماری عدم

پرایمینگ با امواج التراسونیک و عدم محلول پاشی متانول به میزان ۰/۳۷۶۹ میلی گرم بر گرم وزن تر به دست آمد (شکل ۴-۴۵). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، تیمارهای محلول پاشی متانول با غلظت ۲۰ درصد همراه با پرایمینگ در مدت زمان های صفر، دو، چهار و شش دقیقه در یک گروه آماری قرار گرفتند. همچنین تیمار عدم پرایمینگ همراه با محلول پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد و تیمار پرایمینگ به مدت دو دقیقه توام با کاربرد متانول ۴۰ درصد نیز در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۴-۴۵).

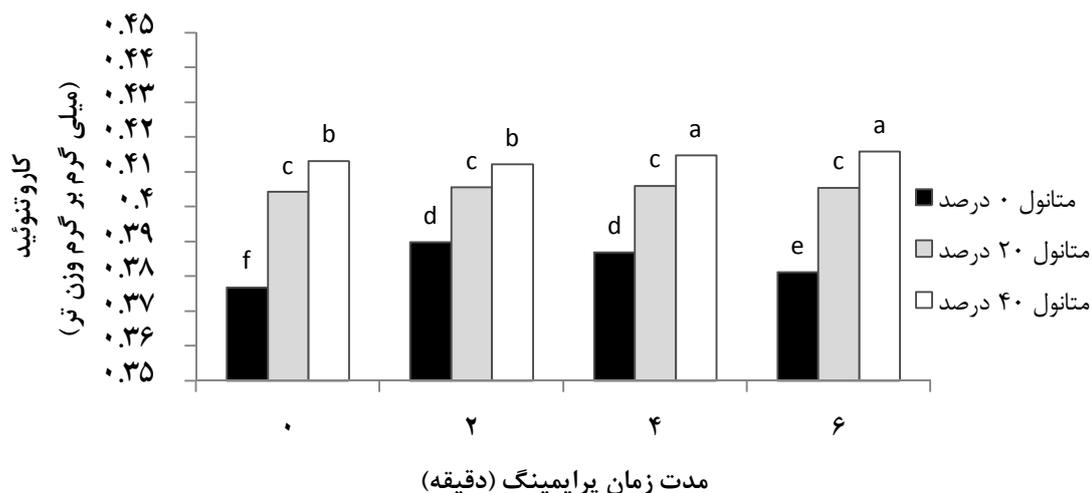
مقایسه میانگین برهمکنش سه جانبه مکان، زمان محلول پاشی و غلظت متانول نشان داد بیشترین میزان کاروتنوئید در ترکیب تیماری محلول پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی در مرحله قبل از گلدهی در ایستگاه جازموریان به مقدار ۰/۴۱۹ میلی گرم بر گرم وزن تر به دست آمد و با ترکیب تیماری محلول پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی در مرحله بعد از گلدهی در ایستگاه جیرفت تفاوت معنی داری نشان نداد. کمترین مقدار کاروتنوئید نیز در ترکیب تیماری محلول پاشی عدم متانول (محلول پاشی با آب به تنهایی) در مرحله بعد از گلدهی در ایستگاه جیرفت به مقدار ۰/۳۷۸۵ میلی گرم بر گرم وزن تر به دست آمد و با ترکیب تیماری عدم محلول پاشی متانول (محلول پاشی با آب به تنهایی) در مرحله بعد از گلدهی در ایستگاه جازموریان در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۴-۴۶).

در بررسی تاثیر متانول در لوبیا توسط رامادنت و عمران (۲۰۰۵)، مشخص شد که کاربرد برگی متانول بر میزان کاروتنوئید تاثیر مثبت داشته است. همچنین در بررسی اثر متانول بر ویژگی های فیزیولوژیک نخود مشخص شد متانول بر رنگیته های کاروتنوئید و کلروفیل تاثیر معنی دار داشت (حسین زاده و همکاران، ۲۰۱۱). در مطالعه تاثیر محلول پاشی متانول بر عملکرد کمی و کیفی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در تراکم های مختلف مشخص شد مقدار کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید و کلروفیل کل افزایش معنی داری داشته است (پارسایی مهر، ۱۳۹۳).

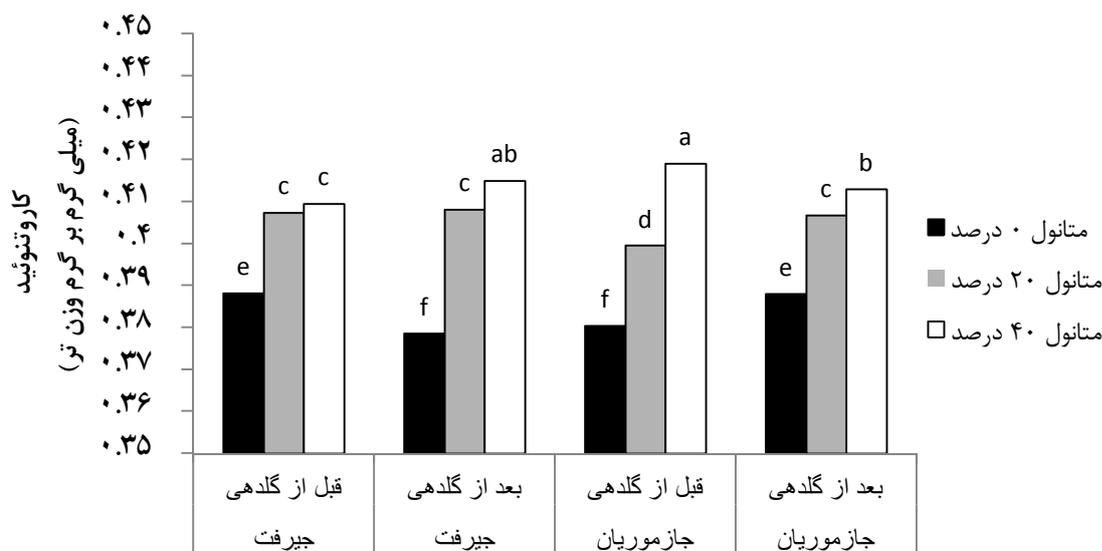
در غلظت‌های بالای دی اکسید کربن ناشی از متابولیته شدن متانول، بازسازی ریبولوز بی فسفات عامل محدود کننده فتوسنتز است. قابلیت تجدید و بازسازی ریبولوز بی فسفات خود متاثر از ظرفیت انتقال الکترون بوده و لذا مستقیماً از میزان نور جذب شده تاثیر می‌پذیرد. افزایش شدت نور سبب افزایش ریبولوز بی فسفات - کربوکسیلاز برای انجام واکنش با دی‌اکسیدکربن می‌شود. بنابراین افزایش نیاز به جذب نور توسط گیاه برای بازسازی رابیسکو در نتیجه افزایش میزان دی‌اکسید کربن را می‌توان از جمله دلایل افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی پس از کاربرد متانول دانست.



شکل ۴-۴۴- اثر متقابل غلظت متانول و مکان بر میزان کاروتنوئید در برگ کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۴۵- اثر متقابل غلظت متانول و مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک میزان کاروتنوئید. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۴۶- برهمکنش سه جانبه مکان، زمان محلول پاشی و غلظت متانول بر میزان کاروتنوئید. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۹-۳-۴- آنتوسیانین

تجزیه مرکب داده‌های آزمایشات انجام شده بیانگر این است که اثرات ساده پرایمینگ با امواج التراسونیک، غلظت متانول و زمان محلول پاشی بر میزان آنتوسیانین در سطح آماری یک درصد معنی دار بود. همچنین اثر متقابل مدت زمان پرایمینگ در غلظت متانول در سطح آماری پنج درصد و اثر متقابل مکان در زمان محلول پاشی، اثر متقابل غلظت متانول در زمان محلول پاشی و اثر متقابل مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک در زمان محلول پاشی در سطح آماری یک درصد بر میزان آنتوسیانین کنگد معنی دار گردید (جدول پیوست ۱۲). مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت متانول در مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر میزان آنتوسیانین کنگد نشان داد بیشترین میزان این صفت در تیمار پرایمینگ با امواج التراسونیک به مدت ۶ دقیقه و محلول پاشی با غلظت ۴۰ درصد متانول با ۶/۳۶ میلی گرم بر گرم وزن تر مشاهده گردید. همچنین تیمار شاهد (عدم محلول پاشی متانول و عدم پرایمینگ با امواج التراسونیک) کمترین میزان آنتوسیانین را به میزان ۵/۴۳ میلی گرم بر گرم وزن تر در کنگد نشان داد که با ترکیب تیمار پرایمینگ با امواج التراسونیک به مدت ۲ و ۴ دقیقه و عدم محلول پاشی متانول در یک سطح آماری قرار گرفت. بر اساس مقایسات میانگین سه ترکیب

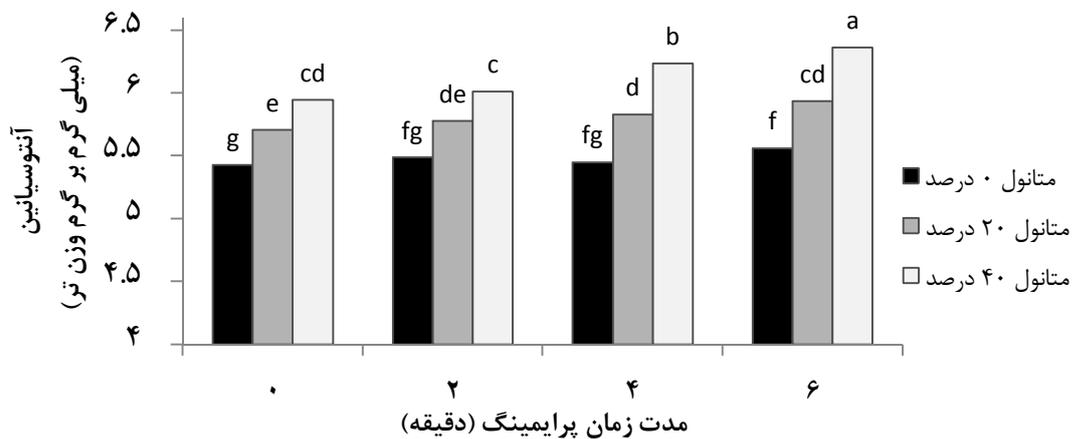
تیمار محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد همراه با پرایمینگ در مدت زمان‌های صفر، دو و چهار دقیقه نیز در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۴۷).

مقایسه میانگین نشان داد بالاترین میزان آنتوسیانین در تیمار محلول‌پاشی متانول در مرحله قبل از گلدهی در ایستگاه جازموریان به میزان ۵/۹۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به دست آمد و با ترکیب تیماری محلول‌پاشی متانول در مرحله بعد از گلدهی در ایستگاه جازموریان در یک گروه آماری قرار گرفت. کمترین میزان این صفت نیز در تیمار محلول‌پاشی متانول در مرحله بعد از گلدهی در ایستگاه جیرفت با ۵/۴۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مشاهده گردید (شکل ۴-۴۸).

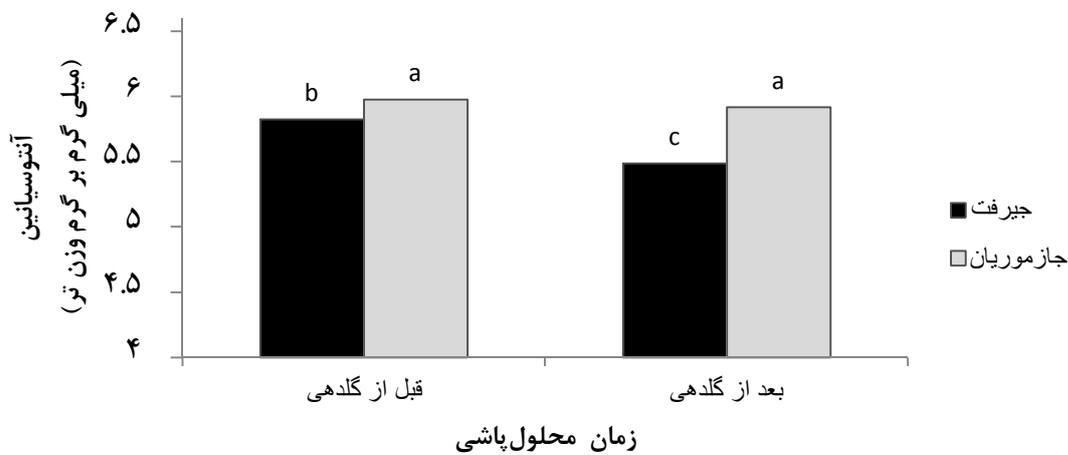
همچنین مقایسه میانگین اثر متقابل زمان محلول‌پاشی در غلظت متانول نشان داد بیشترین میزان آنتوسیانین در تیمار محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد در مرحله قبل از گلدهی با ۶/۳۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به دست آمد. ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی متانول (محلول‌پاشی با آب به تنهایی) در مرحله قبل از گلدهی نیز کمترین مقدار آنتوسیانین را به میزان ۵/۴۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر نشان داد که با ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی متانول (محلول‌پاشی با آب به تنهایی) در مرحله بعد از گلدهی تفاوت معنی‌داری نشان نداد. همچنین ترکیب تیماری محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی در مرحله بعد از گلدهی و ترکیب تیماری محلول‌پاشی متانول با غلظت ۲۰ درصد متانول در مرحله قبل از گلدهی نیز در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۴۹).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل زمان محلول‌پاشی در مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک نشان داد ترکیب تیماری پرایمینگ با امواج التراسونیک به مدت ۶ دقیقه و محلول‌پاشی متانول در مرحله قبل از گلدهی با ۶/۰۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بیشترین میزان آنتوسیانین را نشان داد. ترکیب تیماری پرایمینگ با امواج التراسونیک به مدت ۲ دقیقه و محلول‌پاشی متانول در مرحله بعد از گلدهی با ۵/۶۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر کمترین میزان آنتوسیانین را نشان داد که با ترکیب‌های تیماری ویوپرایمینگ به مدت ۲ و ۴ دقیقه و محلول‌پاشی متانول در مرحله بعد از گلدهی تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۴-۵۰). فیلد و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند متانول سبب افزایش آنتوسیانین‌ها

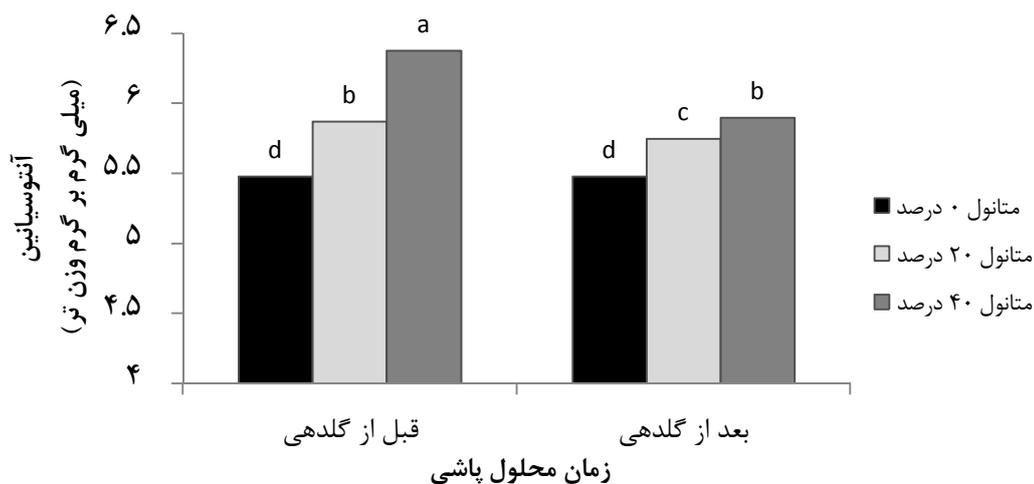
در زغال اخته (*Cornus Sericea*) شده است. در مطالعه تاثیر محلول پاشی متانول بر چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) مشخص شد مقدار رنگیزه‌های کلروفیل و آنتوسیانین افزایش معنی داری داشته است (پارسایی مهر، ۱۳۹۳).



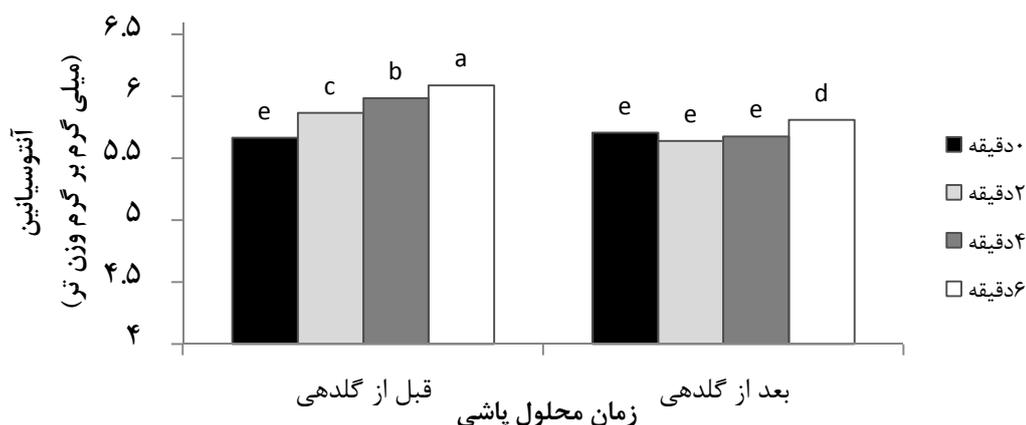
شکل ۴-۴۷- اثر متقابل غلظت متانول در مدت زمان پرایمینگ بر میزان آنتوسیانین برگ کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۴۸- اثر متقابل زمان محلول پاشی و مکان بر میزان آنتوسیانین برگ کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۴۹- اثر متقابل غلظت متانول در زمان محلول پاشی متانول بر میزان آنتوسیانین برگ کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۵۰- اثر متقابل زمان محلول پاشی و مدت زمان ویوپرایمینگ بر میزان آنتوسیانین. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۴-۳-۱۰- قندهای محلول

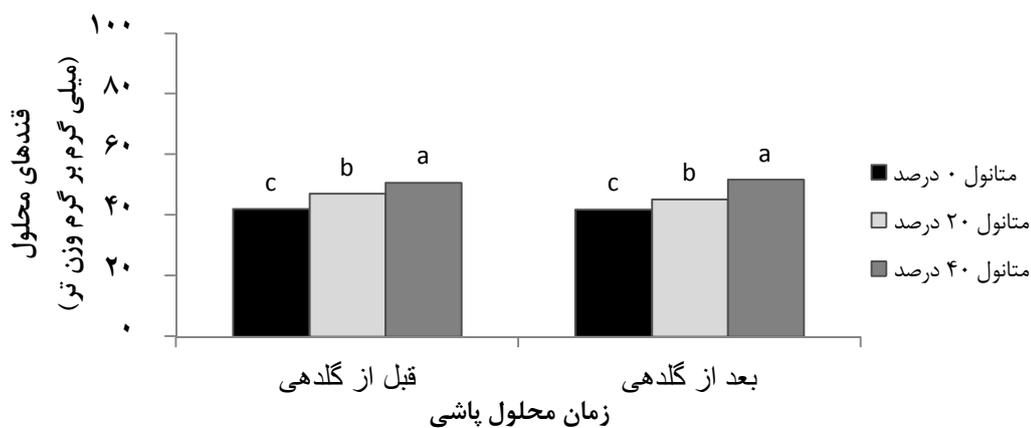
تجزیه مرکب داده‌های آزمایشات انجام شده بیانگر این است که اثرات ساده پرایمینگ با امواج التراسونیک و غلظت متانول بر میزان قندهای محلول برگ در سطح آماری یک درصد معنی دار بود. همچنین اثرات متقابل غلظت در زمان محلول پاشی متانول و غلظت متانول در مدت زمان پرایمینگ در سطح آماری یک درصد بر میزان قندهای محلول برگ کنجد معنی دار گردید (جدول پیوست ۱۲). مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت متانول در زمان محلول پاشی نشان داد که ترکیب تیماری

محلول پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی در مرحله بعد از گلدهی با میزان ۵۱/۷۳ میلی گرم در هر گرم وزن تر برگ، بیشترین میزان قندهای محلول برگ را نشان داد که با ترکیب تیماری محلول پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی در مرحله قبل از گلدهی تفاوت معنی داری نشان نداد. ترکیب تیماری عدم محلول پاشی متانول (محلول پاشی با آب به تنهایی) و در مرحله بعد از گلدهی نیز با میزان ۴۱/۹۰ میلی گرم در هر گرم وزن تر برگ، کمترین میزان قندهای محلول برگ را نشان داد و با ترکیب تیماری عدم محلول پاشی متانول در مرحله بعد از گلدهی تفاوت معنی داری نشان نداد (شکل ۴-۵۱).

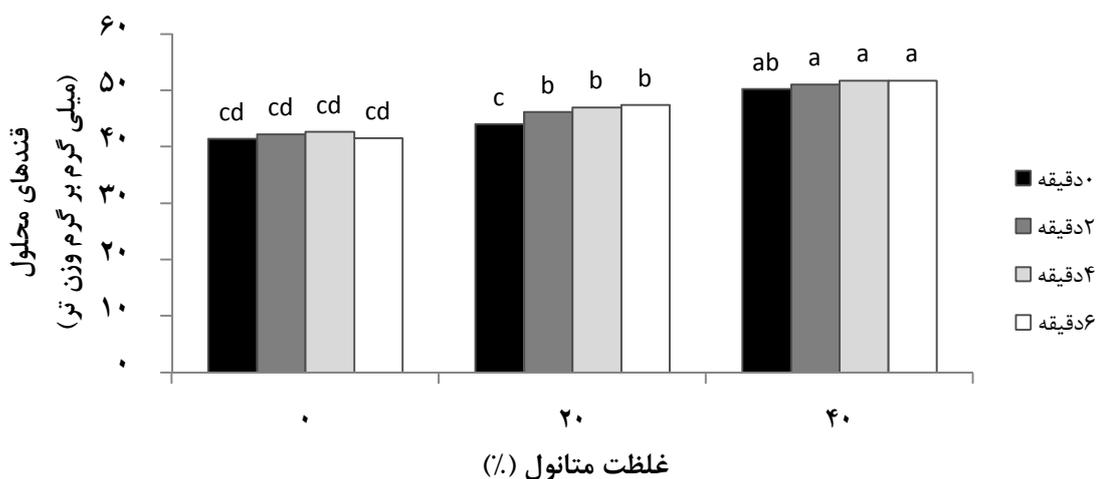
در بررسی تاثیر متقابل غلظت متانول و مدت زمان پرایمینگ، مشخص شد بیشترین میزان قندهای محلول برگ در ترکیب تیماری محلول پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد متانول و پرایمینگ به مدت ۶ دقیقه با امواج التراسونیک به میزان ۵۱/۸۱ میلی گرم در هر گرم وزن تر برگ به دست آمد که با ترکیب های تیماری پرایمینگ به مدت ۰، ۲ و ۴ دقیقه با امواج التراسونیک و محلول پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد متانول در یک سطح آماری قرار گرفت. کمترین میزان قندهای محلول نیز در ترکیب تیماری عدم ویوپرایمینگ و محلول پاشی با متانول صفر درصد به مقدار ۴۱/۴۷ میلی گرم در هر گرم وزن تر برگ به دست آمد که با ترکیب های تیماری ویوپرایمینگ به مدت ۲، ۴ و ۶ دقیقه و عدم محلول پاشی متانول در یک سطح آماری قرار گرفت (شکل ۴-۵۲).

افزایش دی اکسید کربن سبب افزایش کربوکسیلاسیون و کاهش اکسیژناسیون در گیاه می شود. با افزایش فتوسنتز در اثر کاربرد متانول، میزان قندهای محلول برگ افزایش می یابد (زببیک و همکاران، ۲۰۰۳). یکی از دلایل تاثیر متانول بر فتوسنتز و عملکرد گیاهان مربوط به ارتباط متابولیسم متانول با تنفس نوری است. آنزیم های رایبیسکو، گلیسین دکربوکسیلاز، کاتالاز و گلیکولات اکسیداز که بیشترین نقش را در چرخه تنفس نوری دارند، در متابولیسم و آسیمیلایسیون متانول در گیاهان نیز نقش اساسی دارند (نورافکن و همکاران، ۱۳۹۵).

از جمله دلایل اثرگذاری متانول بر مقدار قندهای محلول برگ این است که متانول از طریق تحت تاثیر قرار دادن متابولیسم گیاه سبب افزایش میزان قند می‌گردد. متانول به سرعت به آلدئید تبدیل شده و در ادامه به فروکتوز-۶-فسفات تبدیل می‌شود. این ترکیب با تبدیل به ساکاروز سبب افزایش قند در گیاه می‌شود. متانول همچنین از طریق تاثیر بر گروه متیل در پکتین، میزان قند در گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. نتایج نیز بیانگر این است که با افزایش غلظت متانول میزان قندهای تولید شده در کنجد روند افزایشی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۵۱- اثر متقابل غلظت متانول در زمان محلول پاشی بر میزان قندهای محلول برگ در کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۵۲- اثر متقابل غلظت متانول در مدت زمان پرایمینگ بر میزان قندهای محلول برگ در کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

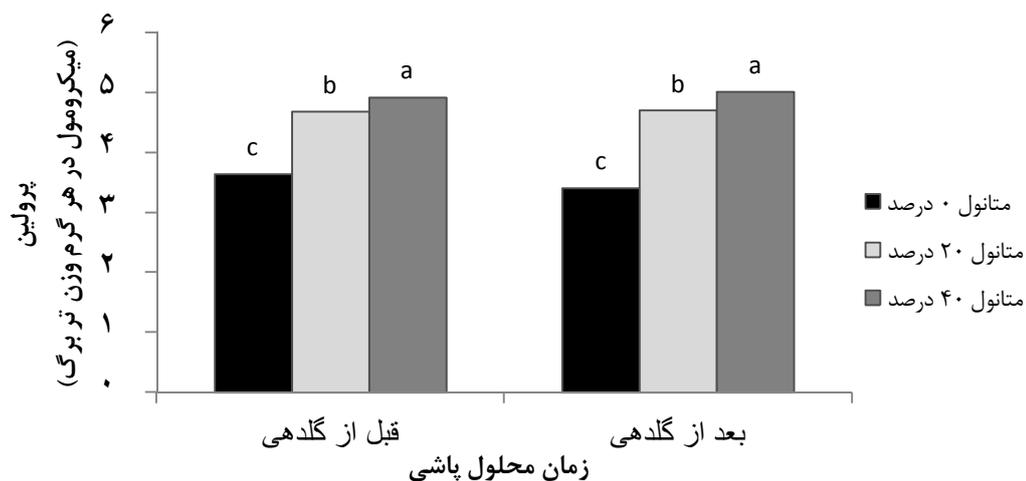
#### ۴-۳-۱۱- پرولین

تجزیه مرکب داده‌های آزمایشات انجام شده بیانگر این است که اثرات ساده مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک و غلظت متانول بر میزان پرولین برگ در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثرات متقابل غلظت متانول در زمان محلول‌پاشی و غلظت متانول در مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک در سطح آماری یک درصد بر میزان پرولین برگ کنجد معنی‌دار گردید (جدول پیوست ۱۲). مقایسه میانگین اثر متقابل زمان محلول‌پاشی در غلظت متانول نشان داد که ترکیب تیماری محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی در مرحله بعد از گلدهی، با میزان ۵/۰۱ میکرومول در هر گرم وزن تر برگ، بیشترین میزان پرولین برگ را نشان داد که با ترکیب تیماری محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی در مرحله قبل از گلدهی تفاوت معنی‌داری نشان نداد. ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی متانول (محلول‌پاشی با آب) در مرحله بعد از گلدهی، با ۳/۴۱ میکرومول در هر گرم وزن تر برگ، کمترین میزان پرولین برگ را نشان داد که با ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی متانول در مرحله قبل از گلدهی در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۴-۵۳). نتایج مقایسات میانگین نشان داد ترکیب تیمار محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد در مرحله قبل و بعد از گلدهی تفاوت معنی‌داری از نظر میزان پرولین نشان ندادند. همچنین ترکیب تیمار محلول‌پاشی با غلظت ۲۰ درصد متانول در مراحل قبل و بعد از گلدهی نیز در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۵۳).

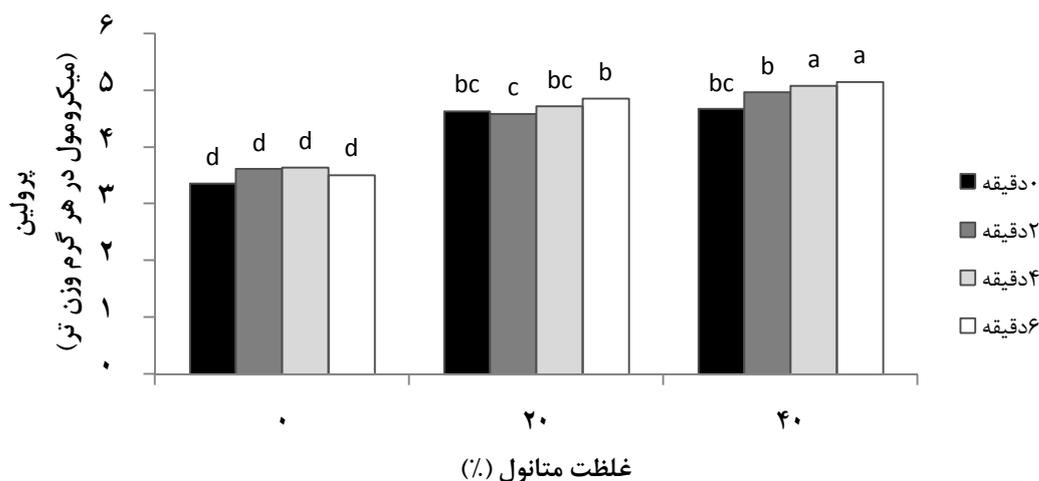
در بررسی تاثیر متقابل غلظت متانول و مدت زمان پرایمینگ، مشخص شد بیشترین میزان پرولین برگ به ترتیب در ترکیب تیماری محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد و پرایمینگ به مدت ۶ دقیقه به مقدار ۵/۱۵ میکرومول در هر گرم وزن تر برگ به دست آمد که با ترکیب‌های تیماری محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد و پرایمینگ در مدت زمان‌های صفر، ۲ و ۴ دقیقه تفاوت معنی‌داری نشان نداد. کمترین میزان پرولین نیز در ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی متانول و عدم پرتودهی با امواج التراسونیک به میزان ۳/۳۶ میکرومول در هر گرم وزن تر برگ به دست آمد و با ترکیب تیماری عدم

محلول پاشی متانول و ویوپرایمینگ در مدت زمان‌های ۲، ۴ و ۶ دقیقه در یک گروه قرار گرفت (شکل ۴-۵۴). تیمارهای پرایمینگ به مدت صفر، دو، چهار و شش دقیقه همراه با کاربرد ۴۰ درصد متانول نیز در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۵۴).

متانول توسط آنزیم متانول اکسیداز و با از دست دادن  $2H^+$  به فرمات تبدیل می‌شود. فرمات در مرحله بعد و توسط آنزیم فرمات دهیدروژناز تبدیل به  $CO_2$  و  $H^+$  می‌شود (نانامورا و بنسون، ۱۹۹۲). به نظر می‌رسد آنزیم پیرولین ۵-کربوکسیلات سنتتاز در شرایط اسیدی بیشترین فعالیت را دارد بنابراین متانول با کاهش در PH گیاه منجر به افزایش فعالیت آنزیم پیرولین ۵-کربوکسیلات سنتتاز شده و در نهایت تجمع پرولین در برگ را خواهیم داشت.



شکل ۴-۵۳- اثر متقابل غلظت متانول در زمان محلول پاشی متانول بر میزان پرولین در برگ کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۵۴- اثر متقابل غلظت متانول در مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر میزان پروتئین. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۴-۳-۱۲- محتوی آب نسبی برگ (RWC)

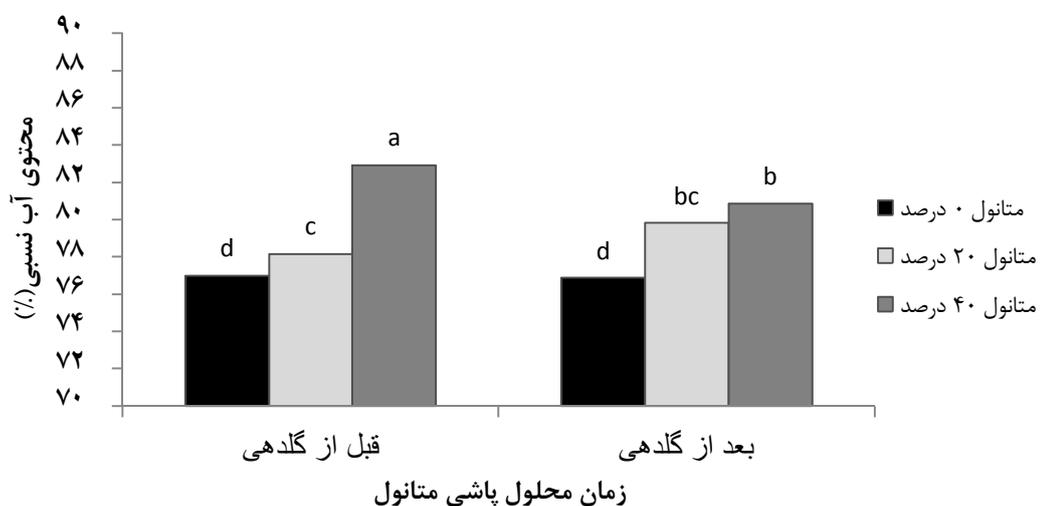
تجزیه مرکب داده‌های آزمایش بیانگر این است که اثرات ساده غلظت متانول و پرایمینگ با امواج التراسونیک بر محتوی آب نسبی برگ در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثرات متقابل غلظت در زمان محلول‌پاشی متانول و اثر متقابل مکان در غلظت متانول در سطح آماری یک درصد بر میزان پروتئین برگ کنجد معنی‌دار گردید (جدول پیوست ۱۲). همچنین کاربرد متانول با غلظت ۲۰ درصد در مرحله قبل و بعد از گلدهی تفاوت معنی‌داری نشان نداد. تیمار محلول‌پاشی متانول با غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ درصد در مرحله بعد از گلدهی نیز در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۵۵).

در بررسی تاثیر متقابل غلظت متانول و زمان محلول‌پاشی، مشخص شد بیشترین محتوی آب نسبی برگ در ترکیب تیماری محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد متانول در مرحله قبل از گلدهی با ۸۲/۹۴ درصد محتوی آب نسبی برگ و کمترین محتوی آب نسبی برگ در ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی متانول (محلول‌پاشی با آب به تنهایی) در مرحله پس از گلدهی با ۷۶/۸۸ درصد محتوی آب نسبی برگ به دست آمد که با ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی متانول (محلول‌پاشی با آب به تنهایی) در مرحله قبل از گلدهی در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۴-۵۵).

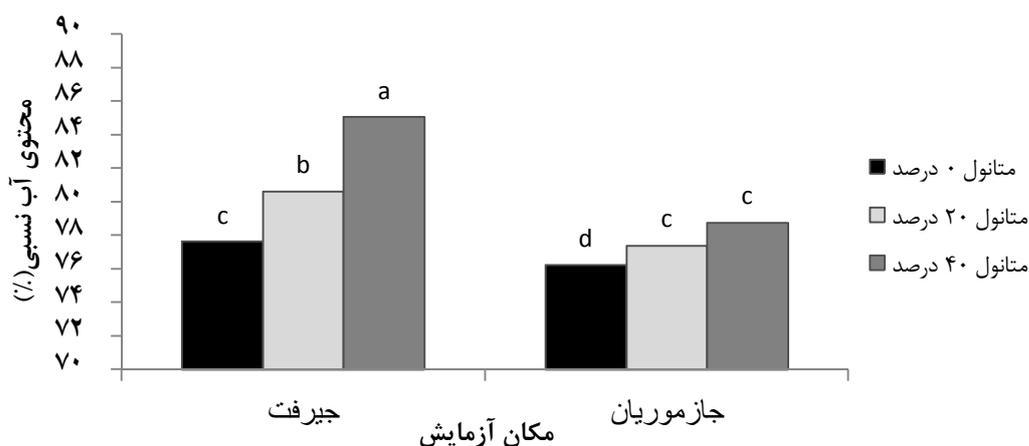
مقایسه میانگین اثر متقابل مکان در غلظت متانول نشان داد که ترکیب تیماری محلول پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی در ایستگاه جیرفت، با ۸۵/۰۶ درصد، بیشترین محتوی آب نسبی برگ را نشان داد. ترکیب تیماری عدم محلول پاشی متانول (محلول پاشی با آب) در ایستگاه جازموریان، با ۷۶/۲۵ درصد، کمترین میزان آب نسبی برگ را نشان داد و با ترکیب تیماری عدم محلول پاشی متانول در ایستگاه جیرفت و ترکیب تیماری محلول پاشی متانول با غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ درصد در ایستگاه جازموریان تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۴-۵۶).

نتایج بررسی میرآخوری و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که با افزایش غلظت متانول مورد استفاده، محتوای آب نسبی در گیاه سویا افزایش می‌یابد. صفرزاده‌ویشکایی و همکاران (۱۳۸۶) نیز نتایج مشابهی در بادام زمینی گزارش کردند.

افزایش تولید قند در نتیجه افزایش کارایی فتوسنتز ناشی از مصرف متانول می‌تواند سبب ایجاد پتانسیل منفی در برگ و در نتیجه افزایش جذب آب شود.



شکل ۴-۵۵- اثر متقابل غلظت متانول و زمان محلول پاشی بر محتوی آب نسبی برگ کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۵۶- اثر متقابل غلظت متانول در مکان بر محتوی آب نسبی در برگ کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۳-۳-۱۳- تعداد کپسول در بوته

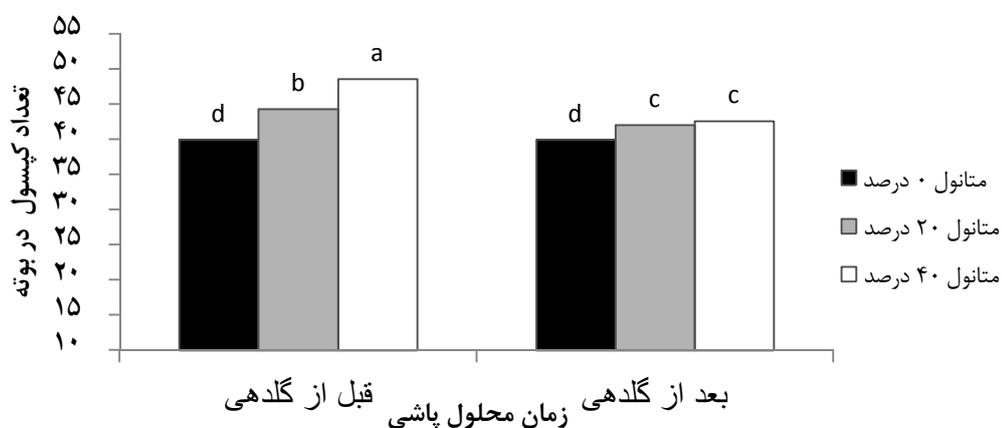
تجزیه مرکب داده‌های آزمایش نشان داد که اثرات ساده پرایمینگ با امواج التراسونیک و غلظت متانول بر تعداد کپسول در سطح آماری یک درصد معنی دار بود. همچنین اثر متقابل غلظت متانول در زمان محلول‌پاشی در سطح آماری یک درصد و اثر متقابل غلظت متانول در مدت زمان پرایمینگ در سطح آماری پنج درصد بر تعداد کپسول کنجد معنی دار گردید (جدول پیوست ۱۳). مقایسه میانگین اثر متقابل زمان در غلظت متانول نشان داد که بیشترین تعداد کپسول در ترکیب تیماری محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی در مرحله قبل از گلدهی با ۴۸/۵۴ کپسول مشاهده گردید. ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی متانول در مرحله قبل از گلدهی با ۳۹/۹۰ عدد، کمترین تعداد کپسول را نشان داد که با ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی متانول در مرحله بعد از گلدهی در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۴-۵۷).

در بررسی تاثیر متقابل غلظت متانول و مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک مشخص شد بیشترین تعداد کپسول در ترکیب تیماری محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد و پرایمینگ به مدت ۶ دقیقه با ۴۷/۱۸ کپسول به دست آمد که با ترکیب تیمار محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد و پرایمینگ به مدت ۴ دقیقه در یک سطح آماری قرار گرفت. کمترین تعداد کپسول نیز در ترکیب

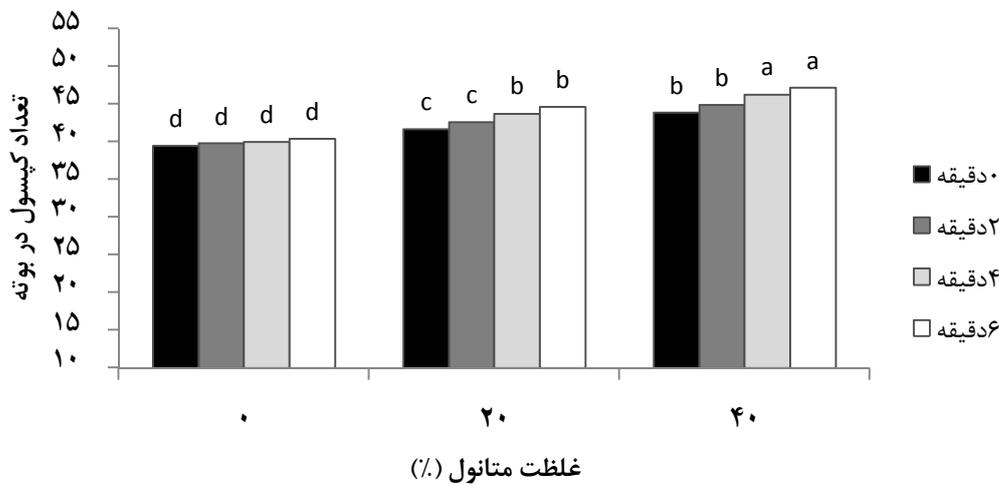
تیماری عدم محلول پاشی متانول و عدم پرتودهی با امواج التراسونیک با تعداد ۳۹/۴۸ کپسول به دست آمد که با ترکیب های تیماری عدم محلول پاشی متانول و پرایمینگ در مدت زمان های ۲، ۴ و ۶ دقیقه تفاوت معنی داری نشان نداد (شکل ۴-۵۸).

در مطالعات انجام شده، تاثیر متانول بر افزایش تعداد نیام در بادام زمینی (بابایی و همکاران، ۲۰۱۴) و لوبیا چیتی (عمارت پرداز و همکاران، ۱۳۹۳) گزارش شده است. در تحقیق دیگری افزایش تعداد کپسول در محلول پاشی متانول و اسید سالیسیلیک در کنجد گزارش شده است (انصار و همکاران، ۱۳۹۱). میرآخوری و همکاران (۲۰۰۹) دریافتند LAI، CGR، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و عملکرد نیام در سویا به وسیله اسپری متانول با غلظت های ۱۴ و ۲۱٪ افزایش داشته است. در مطالعه تاثیر امواج التراسونیک بر رشد و عملکرد لوبیا چشم بلبلی توسط محروقیان (۱۳۹۵)، افزایش تعداد غلاف گزارش شده است.

کاربرد متانول در مرحله قبل از گلدهی با افزایش تولید مواد حاصل از فتوسنتز، سبب افزایش رشد ساقه اصلی، شاخه های جانبی و تولید بیوماس بالاتر شد. افزایش این شاخص ها بر تعداد کپسول ایجاد شده تاثیر معنی داری نشان داد. اگرچه در مرحله بعد از گلدهی از شدت تاثیر متانول بر شاخص های رشد کاسته می شود اما محلول پاشی متانول در مرحله بعد از گلدهی نیز با تاثیر بر فتوسنتز و افزایش بیوماس تولید شده می تواند دلیل افزایش معنی داری تعداد کپسول در این مرحله بیان شود.



شکل ۴-۵۷- اثر متقابل غلظت متانول و زمان محلول پاشی بر تعداد کپسول کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن است.



شکل ۴-۵۸- اثر متقابل غلظت متانول و مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر تعداد کپسول. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۴-۳-۱۴- تعداد دانه در کپسول

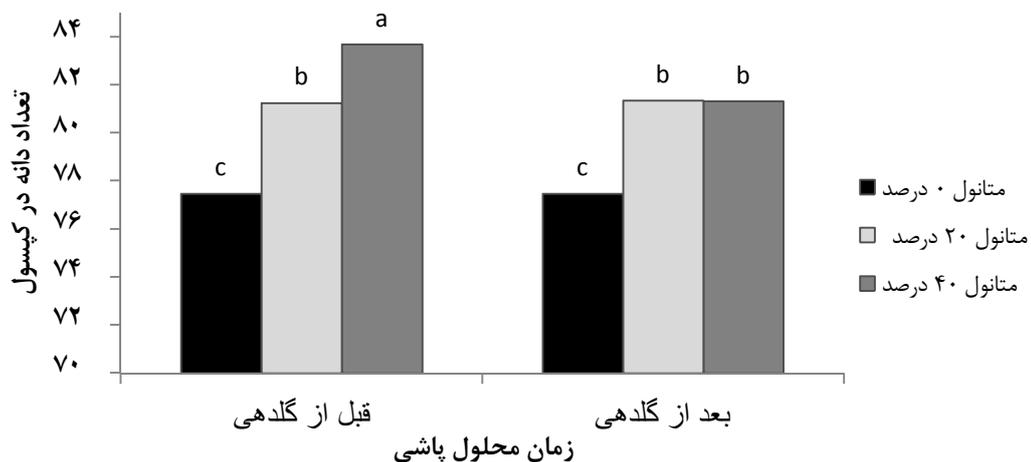
تجزیه مرکب داده‌های آزمایشات انجام شده بیانگر این است که اثرات ساده پرایمینگ با امواج التراسونیک، زمان محلول‌پاشی و غلظت متانول بر تعداد دانه در کپسول در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثرات متقابل زمان محلول‌پاشی در غلظت متانول در سطح آماری یک درصد و اثر متقابل مکان در زمان محلول‌پاشی در سطح آماری پنج درصد بر تعداد کپسول کنگد معنی‌دار گردید (جدول پیوست ۱۳).

مقایسه میانگین اثر متقابل زمان محلول‌پاشی در غلظت متانول نشان داد که بیشترین تعداد دانه در کپسول در ترکیب تیماری محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی در مرحله قبل از گلدهی با ۸۳/۶۸ دانه در کپسول مشاهده گردید. ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی متانول در مرحله بعد از گلدهی، با ۷۷/۴۶ عدد، کمترین تعداد دانه در کپسول را نشان داد که با ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی متانول در مرحله قبل از گلدهی در یک گروه آماری قرار گرفت. همچنین محلول‌پاشی متانول با غلظت ۲۰ درصد در مرحله قبل و بعد از گلدهی و تیمار محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد در مرحله بعد از گلدهی نیز در یک گروه آماری قرار گرفتند. (شکل ۴-۵۹).

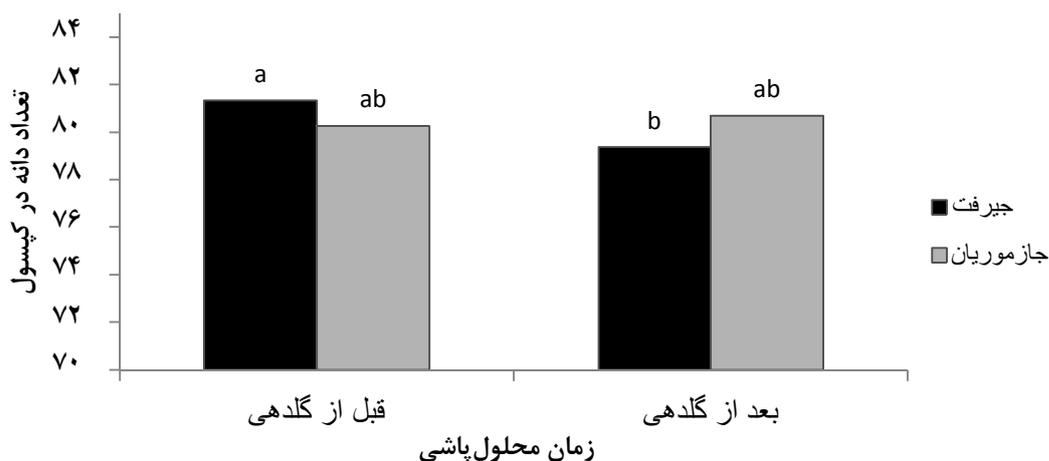
مقایسه میانگین اثر متقابل مکان در زمان محلول‌پاشی نشان داد که بیشترین تعداد دانه در کپسول با ۸۱/۳۳ دانه در ترکیب تیماری محلول‌پاشی متانول در ایستگاه جیرفت در مرحله قبل از گلدهی به دست آمد. کمترین تعداد دانه در کپسول نیز در ترکیب تیماری محلول‌پاشی متانول در ایستگاه جیرفت در مرحله بعد از گلدهی با ۷۹/۳۷ دانه به دست آمد (شکل ۴-۶۰).

تاثیر مثبت متانول بر تعداد دانه در کپسول در این تحقیق با یافته‌های صفرزاده و بیشکایی (۱۳۸۶) مطابقت دارد که نشان داد محلول‌پاشی متانول سبب افزایش تعداد دانه در غلاف‌های بادام‌زمینی شده است. نتایج مطالعه تاثیر امواج التراسونیک و میدان مغناطیسی در گیاه دارویی زنیان نشان داد امواج التراسونیک سبب افزایش تعداد چتر، تعداد چترک و دانه در چترک شده است (مرغابی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳).

افزایش تعداد دانه در کپسول را می‌توان از یک سو به دلیل تاثیر مثبت متانول بر رشد و نمو حاصل از تولید اکسین و سیتوکینین نسبت داد. از سوی دیگر افزایش تعداد دانه می‌تواند به دلیل افزایش اندازه کپسول ناشی از اثر بخشی متانول بر فتوسنتز و شاخص‌های رشد تفسیر شود.



شکل ۴-۵۹- اثر متقابل غلظت متانول و زمان محلول‌پاشی بر تعداد دانه در کپسول. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۶۰- اثر متقابل مکان و زمان محلول پاشی بر تعداد دانه در کپسول. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

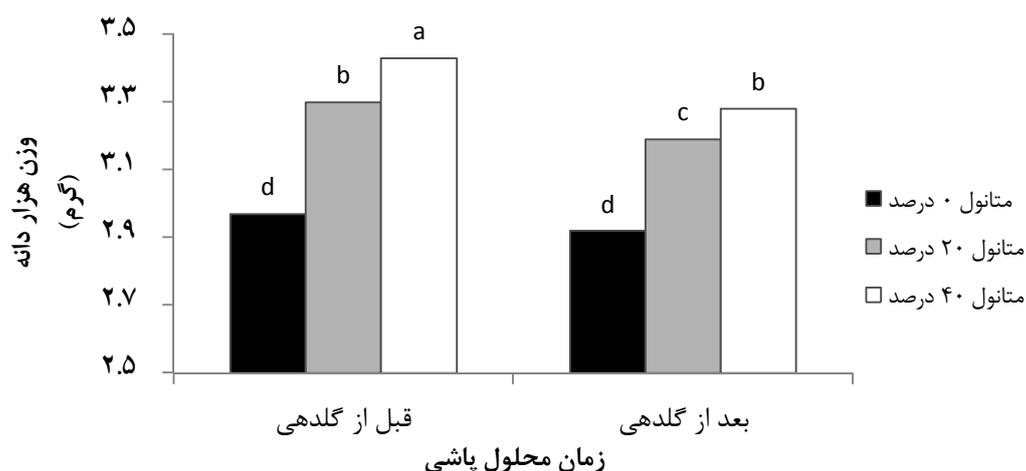
#### ۴-۳-۱۵- وزن هزار دانه

آنالیز داده‌های آزمایش بیانگر این است که اثرات ساده مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک، زمان محلول پاشی متانول و غلظت متانول بر وزن هزار دانه کنجد در سطح آماری یک درصد معنی دار شد. همچنین اثر متقابل غلظت در زمان محلول پاشی متانول در سطح آماری پنج درصد و اثر متقابل غلظت متانول در مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک در سطح آماری یک درصد بر وزن هزار دانه کنجد معنی دار گردید (جدول پیوست ۱۳). مقایسه میانگین اثر متقابل زمان در غلظت متانول نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه کنجد در ترکیب تیماری محلول پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی در مرحله قبل از گلدهی با ۳/۴۳ گرم مشاهده گردید. ترکیب تیماری عدم محلول پاشی متانول در مرحله بعد از گلدهی با ۲/۹۲ گرم، کمترین وزن هزار دانه را نشان داد که با ترکیب تیماری عدم محلول پاشی متانول در مرحله قبل از گلدهی تفاوت معنی داری نشان نداد (شکل ۴-۶۱).

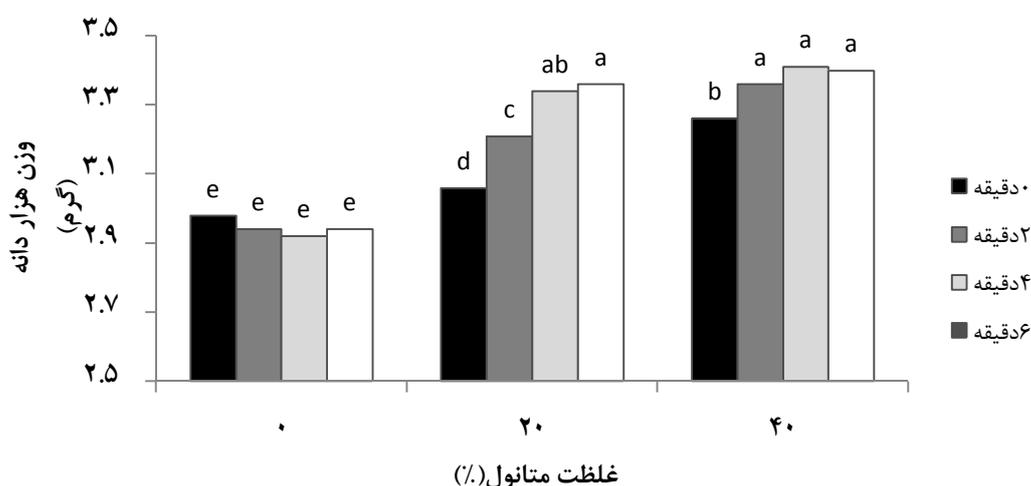
در بررسی تاثیر متقابل غلظت متانول و مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک مشخص شد بیشترین وزن هزار دانه در ترکیب تیماری ۴ دقیقه پرایمینگ با امواج التراسونیک و محلول پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد متانول به میزان ۳/۴۱ گرم به دست آمد که با ترکیب‌های تیمار ۲ و ۴ دقیقه پرایمینگ و محلول پاشی با متانول ۴۰ درصد و همچنین ترکیب تیماری ۶ دقیقه پرایمینگ با

امواج التراسونیک و محلول پاشی متانول با غلظت ۲۰ درصد متانول در یک سطح آماری قرار گرفت. کمترین وزن هزار دانه نیز در ترکیب تیماری ۴ دقیقه پرایمینگ با امواج التراسونیک و عدم محلول پاشی متانول به مقدار ۲/۹۲ گرم به دست آمد که با ترکیب های تیماری صفر، ۲ و ۶ دقیقه پرایمینگ با امواج التراسونیک و عدم محلول پاشی متانول تفاوت معنی داری نشان نداد (شکل ۴-۶۲). نتایج بررسی تاثیر امواج التراسونیک بر رشد و عملکرد لوبیا چشم بلبلی توسط محروقیان (۱۳۹۵) بیانگر تاثیر مثبت این امواج بر تعداد و وزن صدانه لوبیا چشم بلبلی بود. نتایج مطالعه اثرات محلول پاشی متانول و کود دامی بر عملکرد کمی و کیفی چای ترش نشان داد محلول پاشی متانول سبب افزایش تعداد میوه، تعداد شاخه جانبی در بوته، قطر بوته و وزن میوه شد (پارسایی مهر، ۱۳۹۳). لی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند متانول تاثیر مثبتی بر عملکرد دانه، وزن دانه و تعداد نیام در هر بوته سویا داشته است. در مطالعه عمارت پرداز و همکاران (۱۳۹۳) افزایش تثبیت دی اکسید کربن و فتوسنتز در لوبیا چیتی دلیل افزایش تعداد نیام، عملکرد و وزن صدانه ذکر شده است.

افزایش وزن هزار دانه می تواند به دلیل افزایش فتوسنتز ناشی اثر مصرف متانول و افزایش انتقال هیدرات های کربن به دانه باشد. همچنین افزایش وزن هزار دانه در غلظت های ۲۰ و ۴۰ درصد متانول را می توان ناشی از افزایش تخصیص تولیدات فتوسنتزی افزایش یافته از کاربرد متانول به مخزن دانه و کپسول های در حال توسعه دانست.



شکل ۴-۶۱- اثر متقابل غلظت متانول و زمان محلول پاشی بر وزن هزار دانه کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



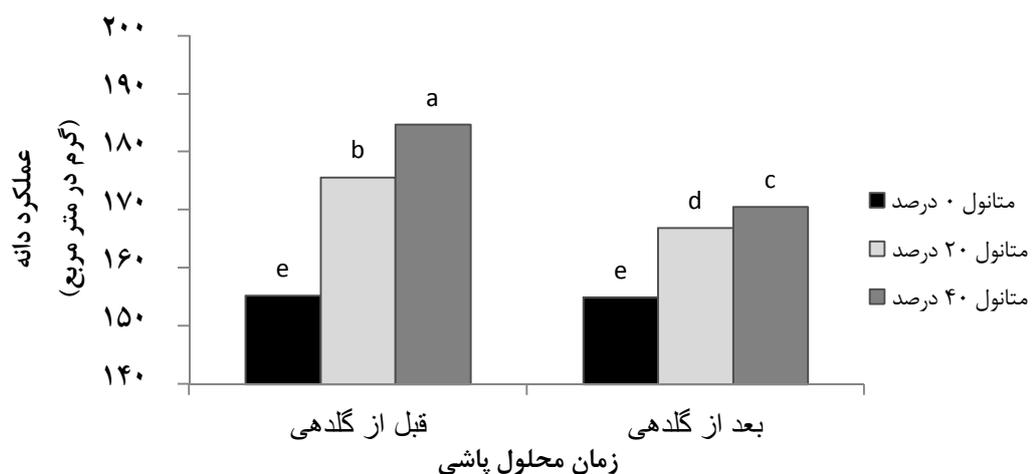
شکل ۴-۶۲- اثر متقابل غلظت متانول و مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر وزن هزار دانه. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

### ۴-۳-۱۶- عملکرد دانه

آنالیز داده‌های آزمایشات انجام شده بیانگر این است که اثرات ساده زمان محلول پاشی متانول و غلظت متانول بر عملکرد دانه کنجد در سطح آماری یک درصد معنی دار بود. همچنین اثرات متقابل غلظت متانول در زمان محلول پاشی در سطح آماری یک درصد بر عملکرد دانه کنجد معنی دار گردید (جدول پیوست ۱۳). مقایسه میانگین اثر متقابل زمان محلول پاشی در غلظت متانول نشان داد که بیشترین عملکرد دانه کنجد در ترکیب تیماری محلول پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی و در مرحله قبل از گلدهی با ۱۸۴/۷۱ گرم مشاهده گردید. ترکیب تیماری عدم محلول پاشی متانول در

مرحله بعد از گلدهی با ۱۵۴/۹۰ گرم، کمترین عملکرد دانه را نشان داد که با ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی متانول در مرحله قبل از گلدهی تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۴-۶۳).

تاثیر کاربرد متانول بر افزایش عملکرد دانه در مطالعات متعددی گزارش شده است (احیایی و همکاران، ۱۳۸۹؛ صفرزاده ویشکایی و همکاران، ۱۳۸۶؛ ملکی فراهانی و همکاران، ۲۰۱۵). نتایج مطالعه زبیک و همکاران (۲۰۰۳) نشان داد که کاربرد برگی غلظت‌های متفاوت متانول سبب افزایش عملکرد دانه سویا به میزان ۱۶-۲۲٪ شده است. نکته بسیار مهم از تاثیر متانول بر فتوسنتز و عملکرد گیاهان مربوط به ارتباط متابولیسم متانول با تنفس نوری است. آنزیم‌ها و برخی از ترکیبات شرکت کننده در سیکل تنفس نوری در متابولیسم متانول نیز نقش بسیار مهمی دارند. رایسکو در کلروپلاست، گلیسین دکربوکسیلاز در میتوکندری، کاتالاز و گلیکولات اکسیداز در پروکسی‌زوم که عمده‌ترین آنزیم‌های موجود در برگ‌های بالغ بوده و بیشترین نقش را در چرخه تنفس نوری دارند، در متابولیسم و آسیمیلایسیون متانول در گیاهان نیز نقش اساسی دارند (نورافکن و همکاران، ۱۳۹۵). افزایش عملکرد دانه کنجد را می‌توان به دلیل افزایش کارایی فتوسنتز و بالا بردن غلظت دی‌اکسیدکربن درونی گیاه و افزایش تخصیص مواد فتوسنتزی به سمت کپسول‌های در حال رشد و همچنین افزایش سرعت رشد کپسول‌ها به دلیل افزایش فتوسنتز حاصل کاربرد متانول دانست.



شکل ۴-۶۳- اثر متقابل غلظت متانول و زمان محلول‌پاشی متانول بر عملکرد دانه. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

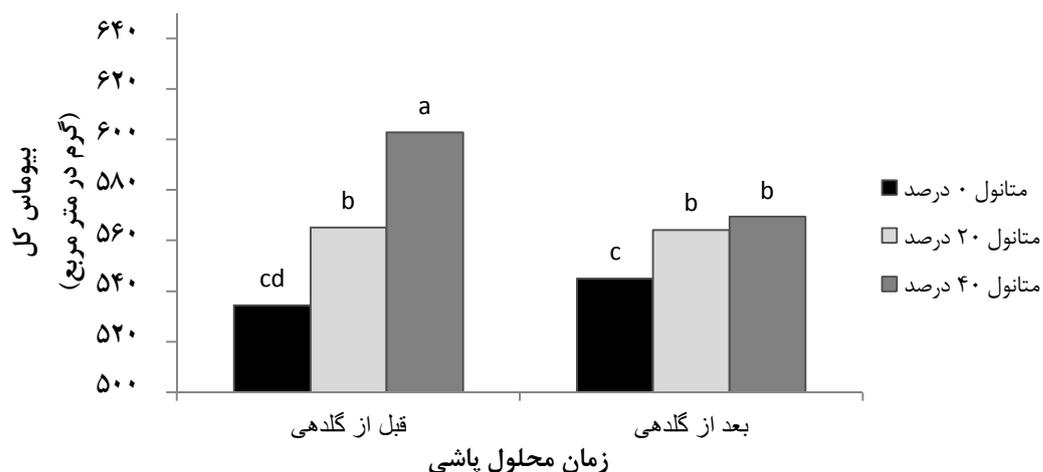
#### ۴-۳-۱۷- وزن خشک (بیوماس)

آنالیز داده‌های آزمایشات انجام شده بیانگر این است که اثرات ساده زمان محلول‌پاشی متانول و غلظت متانول در سطح آماری یک درصد و اثر مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر وزن خشک اندام‌های هوایی کنجد در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل غلظت در زمان محلول‌پاشی متانول در سطح آماری یک درصد بر بیوماس کنجد معنی‌دار گردید (جدول پیوست ۱۳). مقایسه میانگین اثر متقابل زمان محلول‌پاشی در غلظت متانول نشان داد که بیشترین بیوماس کنجد در ترکیب تیماری محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی در مرحله قبل از گلدهی با ۶۰۲/۹۳ گرم در متر مربع مشاهده گردید. ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی متانول در مرحله قبل از گلدهی نیز با وزن ۵۳۴/۴۶ گرم در متر مربع، کمترین بیوماس را نشان داد (شکل ۴-۶۴). دو تیمار محلول‌پاشی متانول با غلظت ۲۰ درصد در مرحله قبل و بعد از گلدهی و تیمار محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد در مرحله بعد از گلدهی نیز در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۶۴).

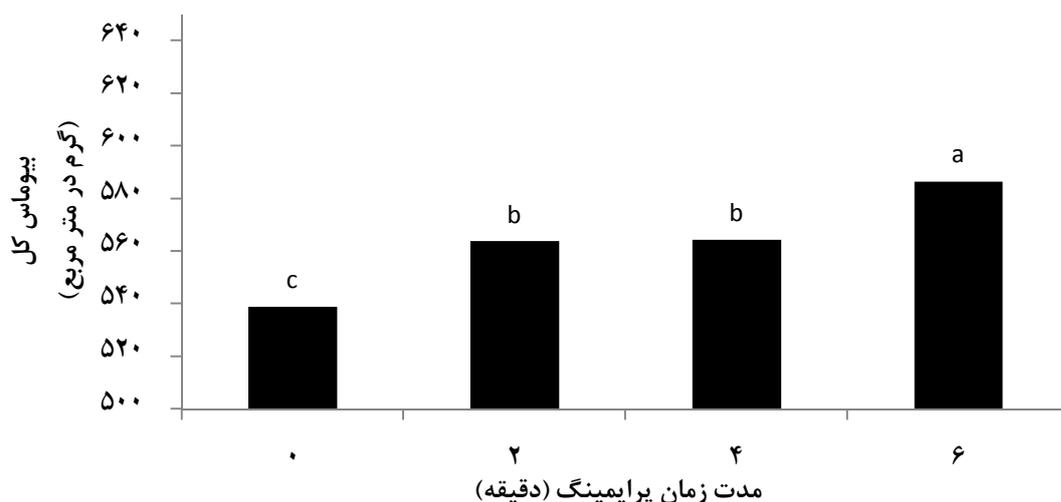
مقایسه میانگین اثر ساده مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک نشان داد که بیشترین بیوماس کنجد در تیمار ویوپرایمینگ به مدت ۶ دقیقه با ۵۸۶/۵۴ گرم در متر مربع مشاهده گردید. کمترین بیوماس کنجد در تیمار عدم ویوپرایمینگ با ۵۳۹/۰۰ گرم در متر مربع مشاهده گردید (شکل ۴-۶۵). در مطالعه چین و همکاران (۲۰۱۳)، تولید بیوماس بالاتر در گندم را به دلیل افزایش بیوسنتز کلروفیل و پروتئین ناشی از افزایش فعالیت‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی حاصل از کاربرد امواج التراسونیک گزارش کرده‌اند. نتایج مطالعه انجام شده توسط محروقیان (۱۳۹۵) بیانگر این است که امواج التراسونیک سبب افزایش ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه، تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف، وزن سددانه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه در لوبیا چشم بلبلی شده است. این نتایج همسو با نتایج مطالعه حاضر است. مطابق با یافته‌های نانامورا و بنسون (۱۹۹۲)، عملکرد در گیاهان سه کربنه می‌تواند به وسیله محلول‌پاشی متانول افزایش یابد. متانول می‌تواند تنفس نوری گیاه را کاهش دهد و سبب افزایش ۲۵ درصدی کربن در گیاه شود. با توجه به روند افزایشی تنفس نوری در هوای گرم،

محلول پاشی متانول می‌تواند افزایش بیش از ۲۵ درصدی کربن را برای گیاه فراهم سازد. این افزایش کربن به جذب سریع متانول در گیاهان و متابولیسم شدن آن به دی‌اکسیدکربن در بافت‌های گیاهی و کوچک‌تر بودن متانول نسبت به دی‌اکسیدکربن نسبت داده می‌شود. یافته‌های نانامورا و بنسون (۱۹۹۲) نشان داد که تیمار متانول سبب افزایش ۳۶ درصدی بیوماس در هندوانه، ۴۰ درصدی در گوجه فرنگی، ۶۰ درصدی در توت فرنگی، ۷۰ درصدی در پالم و ۱۰۰ درصدی در گندم شده است. نتایج تحقیق انجام شده در آفتابگردان بیانگر این است که افزایش فتوسنتز ناشی از افزایش کربن تثبیت شده با کاربرد متانول، سبب افزایش وزن خشک ساقه شده است هرناندز و همکاران (۲۰۰۰). به‌طور کلی افزایش وزن خشک (بیوماس) در تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات انجام شده توسط (میرآخوری و همکاران، ۲۰۰۹؛ جوشی، ۱۹۹۶؛ لی و همکاران، ۱۹۹۵) مطابقت دارد.

در مطالعه حاضر بیشترین تاثیر متانول در مرحله قبل از گلدهی به‌دست آمد. تاثیرگذاری بیشتر محلول پاشی متانول بر بیوماس کل در مرحله قبل از گلدهی به این دلیل است که کربن حاصل از متابولیسم متانول در مناسب‌ترین زمان که گیاه به سرعت در حال رشد است در اختیار گیاه قرار گرفته است. در صورت فراهم بودن سایر عوامل موثر بر فتوسنتز و رشد، دی‌اکسیدکربن اضافی آزاد شده از متابولیسم متانول می‌تواند به‌صورت کود کربنه، بر میزان و کارایی فتوسنتز تاثیر گذاشته و افزایش رشد و تولید بیوماس را توجیه کند. از این رو افزایش بیوماس در غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ درصد متانول در مرحله قبل از گلدهی با توجه به نقش مثبت متانول بر تولید بیوماس قابل تفسیر است.



شکل ۴-۶۴- اثر متقابل غلظت متانول و زمان محلول پاشی بر بیوماس کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴-۶۵- اثر ساده مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر بیوماس کل در کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

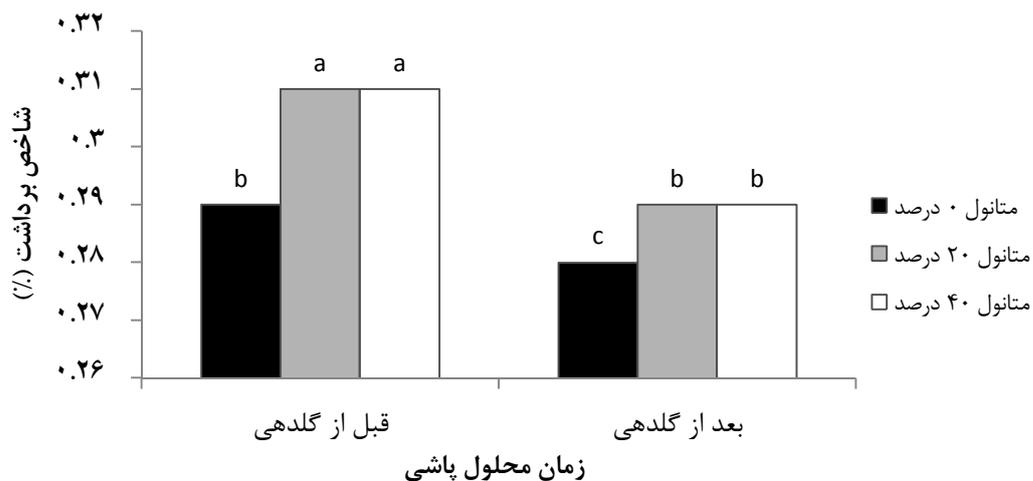
#### ۴-۳-۱۸- شاخص برداشت

آنالیز داده‌های آزمایشات انجام شده بیانگر این است که اثرات ساده زمان محلول پاشی متانول، غلظت متانول و اثر پرایمینگ با امواج التراسونیک بر شاخص برداشت کنجد در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل غلظت متانول در زمان محلول پاشی در سطح آماری یک درصد بر شاخص برداشت کنجد معنی‌دار گردید (جدول پیوست ۱۳). مقایسه میانگین اثر متقابل

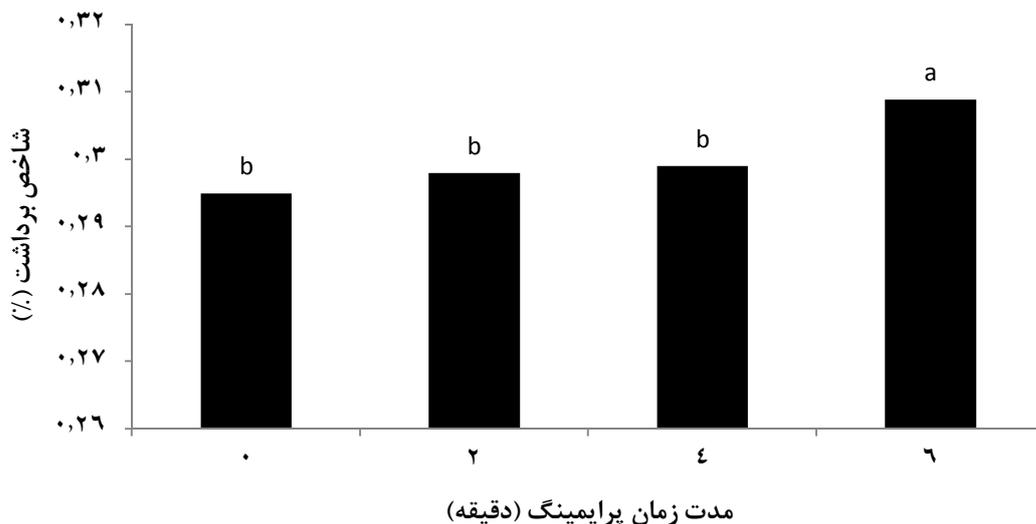
زمان در غلظت متانول نشان داد که بیشترین شاخص برداشت کنجد در ترکیب تیماری محلول پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی در مرحله قبل از گلدهی به مقدار ۰/۳۱ مشاهده گردید که با ترکیب تیماری محلول پاشی متانول با غلظت ۲۰ درصد حجمی در مرحله قبل از گلدهی در یک گروه آماری قرار گرفت. ترکیب تیماری عدم محلول پاشی متانول در مرحله بعد از گلدهی نیز با مقدار ۰/۲۸، کمترین شاخص برداشت را نشان داد (شکل ۴-۶۶).

مقایسه میانگین اثر ساده مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر شاخص برداشت نشان داد که تیمار پرایمینگ به مدت ۶ دقیقه با ۰/۳۰۸ بیشترین مقدار شاخص برداشت را داشت. کمترین مقدار شاخص برداشت در تیمار عدم پرایمینگ با امواج التراسونیک به مقدار ۰/۲۹۵ به دست آمد که با تیمار ۲ و ۴ دقیقه و یوپرایمینگ با امواج التراسونیک تفاوت معنی داری نشان نداد (شکل ۴-۶۷).

به نظر می رسد کاربرد متانول با افزایش غلظت دی اکسید کربن درون برگی، ضمن افزایش کارایی فتوسنتز و بالا بردن ظرفیت منبع، تاثیر زیادی بر سهم مواد فتوسنتزی انتقال یافته به دانه و افزایش شاخص برداشت داشته است. نتایج مطالعات مشابه نشان داد تاثیر مثبت متانول بر شاخص های رشد و عملکرد گیاهان در ارتباط با تاثیر متانول به عنوان بازدارنده تنفس نوری و افزایش راندمان فتوسنتزی است (نانامورا و بنسون، ۱۹۹۲؛ فال و بنسون، ۱۹۹۶). افزایش شاخص برداشت در نخود، یولاف، جو، کلزا و گندم (راجلا و همکاران، ۱۹۹۸) و سویا (میرآخوری و همکاران، ۲۰۰۹) به دلیل افزایش عملکرد دانه حاصل از انتقال مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن ایجاد شده است. نتایج مطالعه اسفینی فراهانی و همکاران (۱۳۹۱) بیانگر تاثیر مثبت متانول بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در آفتابگردان بود که در تایید نتایج تحقیق حاضر است.



شکل ۴-۶۶- اثر متقابل غلظت متانول و زمان محلول پاشی بر شاخص برداشت کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



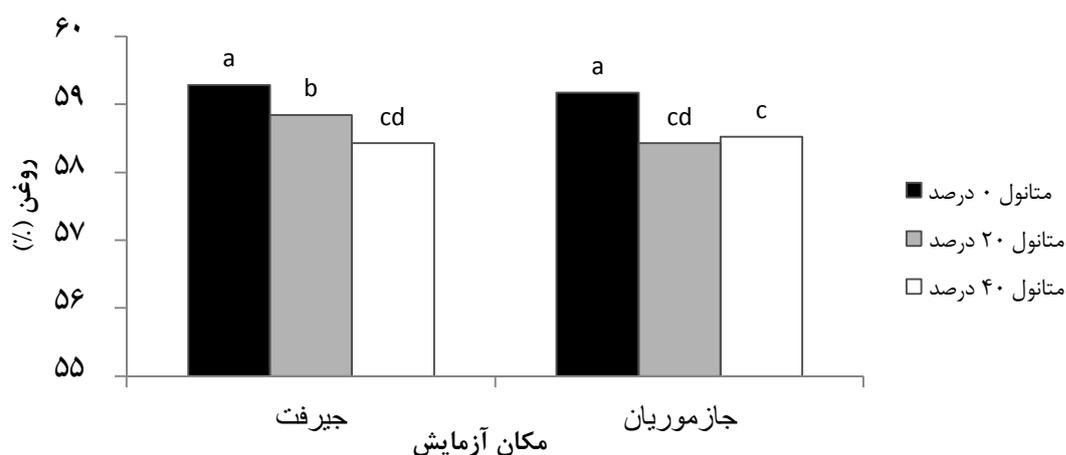
شکل ۴-۶۷- اثر ساده مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر شاخص برداشت در کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۴-۳-۱۹- درصد روغن

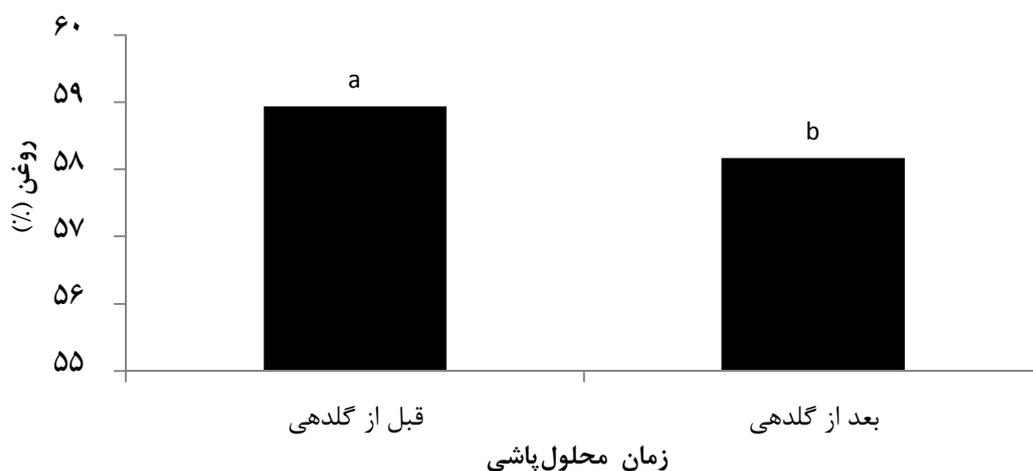
تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که اثرات ساده زمان محلول پاشی متانول در سطح آماری پنج درصد و غلظت متانول در سطح آماری یک درصد بر درصد روغن کنجد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل غلظت متانول در مکان انجام آزمایش در سطح آماری پنج درصد بر روغن کنجد معنی‌دار گردید (جدول پیوست ۱۴). مقایسه میانگین اثرات متقابل غلظت در مکان انجام آزمایش نشان داد که بیشترین درصد روغن کنجد در ترکیب تیماری عدم محلول پاشی متانول (غلظت صفر درصد متانول) و

در ایستگاه جیرفت با ۵۹/۲۹ درصد مشاهده گردید که با ترکیب تیماری عدم محلول پاشی در ایستگاه جازموریان تفاوت معنی داری نشان نداد. ترکیب تیماری محلول پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی در ایستگاه جیرفت نیز با مقدار ۵۸/۴۳ درصد، کمترین درصد روغن را نشان داد و با ترکیب تیماری محلول پاشی متانول با غلظت های ۲۰ و ۴۰ درصد در ایستگاه جازموریان در یک گروه آماری قرار گرفت. بر اساس مقایسات میانگین، دو ترکیب تیمار کاربرد متانول با غلظت ۲۰ و ۴۰ درصد در ایستگاه جازموریان و ترکیب تیمار محلول پاشی متانول با غلظت ۲ درصد در ایستگاه جیرفت تفاوت معنی داری نداشته و در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۴-۶۸).

مقایسه میانگین اثر ساده مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک بر درصد روغن نشان داد که بیشترین درصد روغن در محلول پاشی در مرحله قبل از گلدهی با ۵۸/۹۴٪ به دست آمد. کمترین درصد روغن در محلول پاشی در مرحله بعد از گلدهی به مقدار ۵۸/۱۷٪ به دست آمد (شکل ۴-۶۹). با افزایش غلظت متانول درصد روغن کاهش می یابد. با توجه به همبستگی منفی بین درصد روغن و پروتئین دانه می توان کاهش اخیر را تفسیر کرد. اکثر پژوهشگران وجود همبستگی منفی بین مقدار روغن و پروتئین دانه را گزارش نموده اند (جانسون و همکاران، ۱۹۹۵؛ حافظ و همکاران، ۱۹۸۳). در ارزیابی اثر تنش خشکی و محلول پاشی متانول بر مقدار پروتئین و روغن در سویا مشخص شد با افزایش غلظت متانول درصد روغن کاهش یافت (میرآخوری و همکاران، ۲۰۰۹).



شکل ۴-۶۸- اثر متقابل غلظت متانول و مکان بر درصد روغن کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

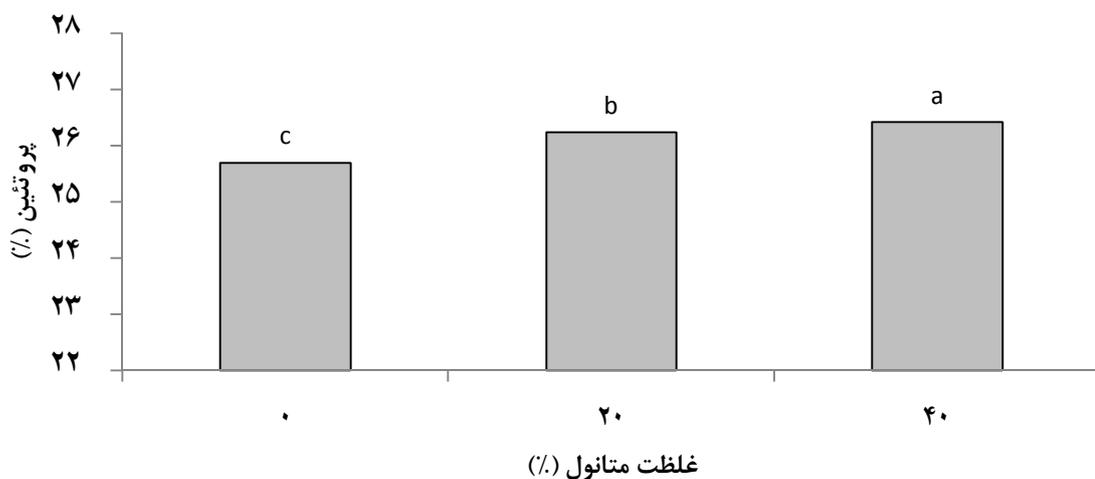


شکل ۴-۶۹- اثر ساده مدت زمان محلول‌پاشی متانول بر درصد روغن کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۴-۳-۲۰- درصد پروتئین

نتایج تجزیه مرکب داده‌های آزمایش نشان داد تنها اثر ساده غلظت متانول بر درصد پروتئین در سطح آماری یک درصد معنی دار شد. سایر اثرات ساده و چندگانه تاثیر معنی داری نشان نداد (جدول پیوست ۱۴). بر اساس مقایسه میانگین، تیمار کاربرد متانول با غلظت ۴۰ درصد با ۲۶/۴۲٪، بیشترین و تیمار عدم کاربرد متانول (غلظت صفر درصد متانول) با ۲۵/۷۰٪ کمترین میزان پروتئین را نشان داد. به نظر می‌رسد با افزایش غلظت متانول درصد پروتئین افزایش می‌یابد (شکل ۴-۷۰). همبستگی منفی درصد روغن و پروتئین سویا در مطالعه جانسون و همکاران (۱۹۹۵) گزارش شده است.

با توجه به همبستگی منفی بین درصد روغن و پروتئین دانه می‌توان افزایش درصد پروتئین را در مطالعات اخیر تفسیر کرد جدول (۳-۴). در مطالعه اثر تنش خشکی و محلول پاشی متانول بر مقدار پروتئین و روغن در سویا مشخص شد با افزایش غلظت متانول درصد پروتئین افزایش یافته و بیشترین پروتئین دانه در غلظت ۲۱٪ متانول گزارش شده است (میرآخوری و همکاران، ۲۰۰۹). صفرزاده ویشکاهی و همکاران (۱۳۸۶) در آزمایش محلول پاشی متانول در بادام زمینی گزارش کردند که با افزایش غلظت متانول، پروتئین دانه افزایش یافت.



شکل ۴-۷۰- اثر ساده غلظت متانول بر درصد پروتئین کنجد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

#### ۴-۳-۲۱- نسبت اسیدهای چرب در روغن کنجد

نتایج تجزیه مرکب داده‌های آزمایش نشان داد هیچکدام از اثرات ساده و متقابل فاکتورهای مورد مطالعه (مدت زمان پرایمینگ با امواج التراسونیک، زمان محلول پاشی و غلظت متانول) بر نسبت اسیدهای چرب دانه تاثیر معنی‌داری نشان نداد (جدول پیوست ۱۴). به نظر می‌رسد ترکیب اسیدهای چرب در کنجد و سایر دانه‌های روغنی بیشتر تحت کنترل ژن‌ها بوده و کمتر تحت تاثیر عوامل خارجی از جمله فاکتورهای مورد مطالعه قرار گیرد.

جدول ۴-۳- همبستگی بین صفات آزمایش در مزرعه

شاخص	ارتفاع بوته	عملکرد دانه	درصد روغن	درصد پروتئین	بیوماس
ارتفاع بوته	۱	۰/۴۷**	۰/۰۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۴۲ <sup>ns</sup>	۰/۶۸**
عملکرد دانه		۱	۰/۳۴*	۰/۲۱ <sup>ns</sup>	۰/۵۴**
درصد روغن			۱	۰-/۶۶**	۰/۰۱۷ <sup>ns</sup>
درصد پروتئین				۱	۰/۴۴*
بیوماس					۱

\*- معنی دار در سطح احتمال ۵٪، \*\* معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ns- غیر معنی دار

### نتیجه گیری

پرایمینگ بذر کنگد با امواج التراسونیک سبب افزایش شاخص‌های مورفولوژیکی، جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های دخیل در جوانه‌زنی کنگد شد. نتایج مطالعه اخیر نشان داد مدت و شدت امواج التراسونیک سبب بهبود صفات مرتبط با جوانه‌زنی در کنگد گردید. ترکیب تیمار ویوپرایمینگ با امواج التراسونیک به مدت ۸ دقیقه و شدت ۴۰ کیلوهرتز، بیشترین سرعت و درصد جوانه‌زنی را در آزمایشگاه نشان داد و با افزایش شدت و مدت زمان استفاده از امواج، علی‌رغم افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، جوانه‌های غیرطبیعی افزایش یافت که صفتی نامطلوب است. کمترین جوانه غیرطبیعی همراه با بالاترین سرعت و درصد جوانه‌زنی در بذره‌های پرایم شده به مدت زمان ۶ دقیقه در شدت ۴۰ کیلوهرتز امواج به دست آمد. نتایج آزمایش گلخانه ای ضمن تایید اثرات مثبت امواج التراسونیک بر جوانه‌زنی کنگد، نشان داد بالاترین درصد سبز شدن در ترکیب تیماری ۶ دقیقه کاربرد امواج التراسونیک با شدت ۳۰ کیلوهرتز به دست آمد. در سایر صفات، تیمار ۸ دقیقه کاربرد امواج التراسونیک با شدت ۴۰ کیلوهرتز بالاترین میانگین را نشان داد. با توجه به بیشتر بودن اهمیت و اولویت درصد سبز شدن بر تراکم بوته و عملکرد نهایی نسبت به سایر صفات، تیمار ۶ دقیقه کاربرد امواج التراسونیک با شدت ۳۰ کیلوهرتز مناسب‌ترین ترکیب تیماری برای پرایمینگ در کنگد پیشنهاد می‌شود. از طرفی در بررسی محلول‌پاشی متانول و کاربرد امواج التراسونیک در آزمایشات مزرعه‌ای مشخص شد محلول‌پاشی متانول و کاربرد امواج التراسونیک تاثیر مثبتی بر سطح برگ، میزان کلروفیل، افزایش کربوهیدرات‌های

محلول، پرولین، آنتوسیانین داشت و سبب بهبود رشد و عملکرد دانه و میزان روغن دانه گردید. با افزایش شدت امواج التراسونیک و غلظت متانول، اغلب صفات مورد مطالعه روند افزایشی را نشان دادند. در آزمایشات مزرعه‌ای غلظت ۲۰ و ۴۰ درصد متانول در مراحل قبل و بعد از گلدهی تاثیر معنی‌داری بر صفات مورد مطالعه نشان داد اما بیشترین میانگین در تیمار غلظت ۴۰ درصد و در مرحله قبل از گلدهی به دست آمد. مرحله قبل از گلدهی با تقسیم و تسهیم بهتر آسیمیلات‌های حاصل از فتوسنتز، باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد و سطح برگ، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد کپسول و وزن خشک اندام هوایی و در نهایت سبب افزایش عملکرد دانه در کنجد گردید. به‌طور کلی با استفاده از تاثیر مثبت متانول بر گیاهان سه کربنه مانند کنجد می‌توان عملکرد را به‌صورت معنی‌داری افزایش داد به نحوی که با افزایش راندمان استفاده از کربن و جلوگیری از هدر رفت آن به واسطه تنفس نوری، عملکرد گیاهان سه کربنه کنجد را ارتقا داد.

#### پیشنهادها:

- ۱- تاثیر محلول‌پاشی متانول در مراحل متعدد رشد و با غلظت و دفعات بیشتری بررسی شود.
- ۲- با توجه به تاثیر امواج التراسونیک بر ساختار شیمیایی بذر و همچنین تاثیر بر روند رشد گیاه، توصیه می‌شود تاثیر امواج التراسونیک بر جوانه‌زنی بذور حاصل از گیاهان پرایم شده با امواج التراسونیک نیز بررسی شود.
- ۳- آزمایش در ارقام بیشتری انجام شود.
- ۴- سایر آنزیم‌های مرتبط با جوانه‌زنی بررسی گردد.

# پیوست

جدول پیوست ۱- توزیع سطح، تولید محصولات زراعی و نسبت آنها در کل کشور به

تفکیک هر یک از محصولات در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴

تولید		سطح		نام محصول
درصد	مقدار (تن)	درصد	مقدار (هکتار)	
۱۷/۵۸	۱۴۵۹۲۰۰۳	۵۰/۳۹	۸۹۲۸۷۲۸	گندم
۴/۴۹	۳۷۲۴۳۹۸	۱۴/۹۶	۱۷۵۹۶۶۷	جو
۳/۵۲	۲۹۲۱۰۴۶	۵/۰۷	۵۹۶۰۳۵	شلتوک
۱/۴۱	۱۱۷۰۵۸۷	۱/۳۵	۱۵۸۵۳۴	ذرت دانه ای
۲۷/۰۰	۲۲۴۰۸۰۳۴	۷۱/۷۶	۸۴۴۲۹۶۴	جمع غلات
۰/۳۳	۲۷۱۵۷۵	۴/۲۵	۵۰۰۱۸۹	نخود
۰/۲۸	۲۲۹۹۴۱	۰/۹۱	۱۰۷۴۱۵	لوبیا
۰/۱۰	۸۲۶۴۲	۱/۱۲	۱۳۱۴۵۴	عدس
۰/۱۰	۸۶۴۶۲	۰/۴۱	۴۸۱۳۹	سایر حبوبات
۰/۸۱	۶۷۰۶۲۰	۶/۶۹	۷۸۷۱۹۷	جمع حبوبات
۰/۱۹	۱۶۱۱۶۳	۰/۶۰	۷۰۶۲۵	پنبه
۰/۰۳	۲۱۰۰۰	۰/۰۹	۱۰۹۵۰	توتون و تنباکو
۷/۱۹	۵۹۶۵۶۲۸	۰/۹۴	۱۱۰۲۰۴	چغندر قند
۰/۱۷	۱۳۹۳۲۵	۰/۴۵	۵۲۴۰۶	سویا
۰/۰۴	۳۶۹۱۲	۰/۳۶	۴۲۵۰۳	کنجد
۰/۰۱	۵۴۲۰	۰/۰۵	۶۴۴۶	گلرنگ
۰/۰۲	۱۳۳۶۹	۰/۱۰	۱۲۲۹۶	اقتابگردان روغنی
۰/۰۸	۶۸۲۸۰	۰/۴۴	۵۲۲۶۷	کلزا
۹/۰۱	۷۴۷۹۶۰۶	۰/۷۶	۸۹۵۶۵	نیشکر
۰/۰۸	۶۸۵۰۷	۰/۳۶	۴۲۹۰۱	سایر دانه‌های روغنی
۱۶/۸۲	۱۳۹۵۹۲۱۰	۴/۱۷	۴۹۰۱۶۳	جمع محصولات صنعتی
۶/۰۲	۴۹۹۵۳۲۷	۱/۳۵	۱۵۹۰۶۱	سیب زمینی
۲/۸۹	۲۴۰۰۵۸۵	۰/۵۳	۶۲۲۹۷	پیاز
۷/۰۲	۵۸۲۸۵۵۷	۱/۲۷	۱۴۹۲۳۵	گوجه فرنگی
۴/۵۷	۳۷۸۹۰۱۶	۱/۳۶	۱۵۹۶۴۶	سایر سبزیجات
۲۰/۵۰	۱۷۰۱۲۴۸۵	۴/۵۱	۵۳۰۲۳۹	جمع سبزیجات
۱/۸۰	۱۴۹۰۱۱۹	۰/۶۳	۷۴۰۳۸	خریزه
۴/۹۳	۴۰۹۳۴۶۰	۱/۱۷	۱۳۷۸۲۰	هندوانه
۲/۰۳	۱۶۸۱۷۸۴	۰/۶۲	۷۲۴۴۵	خیار
۰/۹۴	۷۸۲۶۷۱	۰/۳۵	۴۱۴۵۶	سایر محصولات جالیزی
۹/۷۰	۸۰۴۸۰۳۴	۲/۷۷	۳۲۵۷۵۹	جمع محصولات جالیزی
۷/۲۸	۶۰۴۱۹۰۲	۵/۵۵	۶۵۳۳۳۲	یونجه
۰/۶۰	۴۹۹۵۳۱	۰/۴۷	۵۵۷۳۶	شبدر
۱۳/۶۴	۱۱۳۱۶۰۲۰	۱/۹۲	۲۲۵۵۹۱	ذرت علوفه ای
۳/۴۳	۲۸۴۶۱۶۵	۰/۹۸	۱۱۵۱۷۹	سایر نباتات علوفه ای
۲۴/۹۵	۲۰۷۰۳۶۱۹	۸/۹۲	۱۰۴۹۸۳۸	جمع نباتات علوفه ای
۰/۲۳	۱۸۸۷۰۷	۱/۱۹	۱۴۰۰۲۷	سایر محصولات
۱۰۰	۸۲۹۹۱۷۰۹	۱۰۰	۱۱۷۶۶۱۸۷	کل محصولات

جدول پیوست ۲- مراحل رشد و نمو کنجد (لانگهام، ۲۰۰۷)

مرحله رشدی	پایان مرحله	روز پس از کاشت	طول دوره (هفته)
جوانه زنی	جوانه زنی	۰-۵	۱ >
سبز شدن	سه جفت برگ حقیقی	۶-۲۵	۳ >
جوانی	مشاهده اولین جوانه گل	۲۶-۳۷	۲ >
قبل از زایشی	۵۰٪ گل‌ها باز شوند	۳۸-۴۴	۱ >
<b>رشد زایشی</b>			
اوایل گل‌دهی	تشکیل کپسول در ۵ جفت گره	۴۵-۵۲	۱
اواسط گل‌دهی	اتمام گل‌دهی در شاخه‌های فرعی	۵۳-۸۱	۴
اواخر گل‌دهی	۹۰٪ گیاهان بدون گل	۸۲-۹۰	۱ <
رسیدگی	رسیدگی فیزیولوژیکی	۹۱-۱۰۶	۲ <
<b>خشک شدن</b>			
رسیدگی کامل	۹۰٪ تمام دانه‌ها کاملاً رسیده‌اند	۱۰۷-۱۱۲	۱ >
ابتدای خشک شدن	مشاهده اولین کپسول خشک شده	۱۱۳-۱۲۶	۲
انتهای خشک شدن	خشک شدن کامل کپسول‌ها	۱۲۷-۱۴۶	۳

جدول پیوست ۳- اطلاعات هواشناسی در سال ۱۳۹۴ در محل اجرای آزمایش جیرفت

تبخیر	بارش	رطوبت نسبی		دما		ماه
		بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	
۵۵۳/۵	۰/۰	۳۲	۱۲	۴۲/۸	۳۰/۲	تیر
۴۹۰/۲	۰/۰	۴۴	۱۲	۴۴/۰	۳۰/۵	مرداد
۴۵۷/۴	۰/۰	۳۹	۱۴	۴۳/۹	۳۱/۲	شهریور
۳۷۰/۲	۲/۴	۴۱	۱۹	۴۰/۶	۲۷/۹	مهر
۲۶۹/۲	۶/۰	۶۱	۲۴	۳۶/۳	۲۴/۱	آبان
۱۸۰/۹	۲/۹	۵۴	۲۵	۲۹/۱	۱۷/۰	آذر
۲۳۲۱/۴	۱۱/۳					جمع کل

جدول پیوست ۴- اطلاعات هواشناسی در سال ۱۳۹۴ در محل اجرای آزمایش جازموریان

ماه	دما		رطوبت نسبی		بارش میلیمتر	تبخیر میلیمتر
	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه		
تیر	۳۴/۷	۴۸/۰	۸	۲۰	۰/۰	۵۵۳/۵
مرداد	۳۵/۱	۴۸/۸	۱۱	۴۹	۰/۰	۴۹۰/۲
شهریور	۳۶/۷	۴۹/۸	۱۰	۲۸	۰/۰	۴۵۷/۴
مهر	۳۲/۱	۴۷/۱	۱۳	۳۰	۰/۰	۳۷۰/۲
آبان	۲۸/۶	۴۰/۱	۱۸	۳۸	۰/۰	۲۶۹/۲
آذر	۲۱/۲	۳۶/۶	۱۷	۴۵	۱/۴	۱۸۰/۹
جمع کل					۱/۴	۲۵۸۵/۱

جدول پیوست ۵- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک محل های اجرای آزمایش

EC	pH	Organic matter	Organic C	N	K	P	Sand	Silt	Clay	Texture
(dS.m <sup>-1</sup> )	-	(%)		(mg.kg <sup>-1</sup> )			(%)	(%)		

ایستگاه جیرفت

۱/۲	۷/۴	۰/۹	۰/۵۲	۰/۰۶۴	۲۰۲	۳/۷	۶۲	۲۶	۱۲	شنی لومی
-----	-----	-----	------	-------	-----	-----	----	----	----	----------

ایستگاه جازموریان

۱/۲	۷/۶	۰/۸۶	۰/۴۹	۰/۰۶۱	۲۱۲	۳/۳	۶۱	۲۸	۱۱	شنی لومی
-----	-----	------	------	-------	-----	-----	----	----	----	----------

جدول پیوست ۶- میانگین مربعات خصوصیات جوانه زنی کنجد در شدت و مدت زمان های

مختلف امواج التراسونیک در آزمایشگاه

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد جوانه زنی	سرعت جوانه زنی	متوسط جوانه زنی روزانه	میانگین زمان جوانه زنی
مدت زمان پرایمینگ	۳	۴۴۹/۹۶**	۵۲۳/۵۱**	۲۰۸/۱۶**	۱۳/۹۵**
شدت امواج	۲	۵۴۰/۶۸*	۳۷۹/۱۱**	۴۱۵/۷۵**	۵/۷۲**
مدت زمان × شدت امواج	۶	۱۳/۲۳ <sup>NS</sup>	۲۹/۴۶**	۷/۶۸**	۰/۵۱**
خطا	۳۶	۱۸/۴۱	۶/۷۱	۱/۳۴	۰/۱۲
ضریب تغییرات (%)	-	۵/۰۴	۷/۷۴	۶/۵۴	۸/۰۸

\*- معنی دار در سطح احتمال ۵٪، \*\* معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و NS- غیر معنی دار

جدول پیوست ۷- میانگین مربعات خصوصیات جوانه‌زنی کنگد تحت تاثیر پرایمینگ با امواج التراسونیک در آزمایشگاه

منابع تغییر	درجه آزادی	بنیه بذر	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	درصد جوانه غیرطبیعی	ضریب یکنواختی جوانه‌زنی
مدت زمان پرایمینگ	۳	۲۲۸۹/۶۳**	۵۰۶/۸۷**	۲۴۳/۴۷**	۱۴/۶۱۱**	۰/۰۴۸۱**
شدت امواج	۲	۷۸۸/۷۶*	۹۸/۹۰**	۵۶/۲۲**	۱۱/۵۴۰**	۰/۰۲۴۸**
مدت زمان × شدت امواج	۶	۴۲/۲۴**	۹/۵۴**	۶/۸۶**	۴/۲۲**	۰/۰۰۰۵ <sup>ns</sup>
خطا	۳۶	۸/۸۶	۱/۹۸	۱/۴۵	۰/۰۴۲	۰/۰۰۲۱
ضریب تغییرات (%)	-	۵/۸۱	۳/۹۰	۵/۲۳	۲۲/۸۲	۱۰/۸۱

\*- معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، \*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و <sup>ns</sup> - غیر معنی‌دار

جدول پیوست ۸- میانگین مربعات اثر مدت زمان و شدت امواج التراسونیک بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیس‌موتاز در فاز آبنوشی و جوانه‌زنی کنگد در آزمایشگاه

منابع تغییر	درجه آزادی	کاتالاز		سوپراکسیددیس‌موتاز	
		آبنوشی	جوانه‌زنی	آبنوشی	جوانه‌زنی
مدت زمان پرایمینگ	۳	۲/۴۵۵**	۱/۸۶۳*	۴۷/۶۶۰**	۵۶/۹۷۲**
شدت امواج	۲	۰/۶۹۸**	۰/۷۰۵**	۱۲/۴۷۷**	۱۴/۹۵۷**
مدت زمان × شدت امواج	۶	۰/۰۱۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۸۵ <sup>ns</sup>	۰/۷۹۴ <sup>ns</sup>	۱/۲۷۹ <sup>ns</sup>
خطا	۳۶	۰/۰۳۸	۰/۰۵۰	۱/۲۲	۱/۶۶۹
ضریب تغییرات (%)	-	۸/۲۶	۶/۶۸	۱۲/۰۱	۱۳/۵۱

\*- معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، \*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و <sup>ns</sup> - غیر معنی‌دار

جدول پیوست ۹- میانگین مربعات اثر مدت زمان و شدت امواج التراسونیک بر شاخص‌های رشد و مورفولوژیک کنجد در گلخانه

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد	سرعت	سطح	طول	طول	نسبت ریشه	وزن
		سبز شدن	سبز شدن	برگ	ساقه	ریشه	به ساقه	خشک
مدت زمان پرایمینگ	۳	۷۴۰/۹**	۸۱۴/۴**	۱۱۵۴/۲**	۷۶/۷۶**	۳۵/۲۳**	۰/۰۰۵*	۳۴/۶۲**
شدت امواج	۲	۴۵/۹۶**	۲۶/۹۹**	۲۳۵/۶**	۴۱/۴۲**	۱۶/۰۶**	۰/۰۰۱ <sup>NS</sup>	۷/۳۹**
زمان × شدت امواج	۶	۳۲/۷۱**	۱۴/۵۶**	۳۱/۲۵**	۷/۰۰**	۴/۱۷*	۰/۰۰۴**	۱/۰۷*
خطا	۳۶	۸/۸۶	۳/۰۷	۴/۲۹	۱/۶۸	۰/۸۲	۰/۰۰۱	۰/۴۱
ضریب تغییرات (%)	-	۳/۰۳	۴/۸۸	۴/۸۷	۵/۱۷	۷/۴۶	۷/۹۶	۸/۰۴

\*- معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵، \*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و NS- غیر معنی‌دار

جدول پیوست ۱۰- میانگین مربعات تاثیر امواج التراسونیک، غلظت متانول و زمان کاربرد آن بر صفات زراعی

منابع تغییرات	درجه آزادی	شاخص سطح برگ	تعداد شاخه فرعی	قطر ساقه	ارتفاع بوته
بلوک (R)	۳	۰/۰۱۵۶ <sup>ns</sup>	۰/۱۱۰۲*	۰/۰۲۹۱ <sup>ns</sup>	۱۷/۳۹۹ <sup>ns</sup>
مکان (L)	۱	۱/۳۸۴**	۰/۰۰۷۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۱۷ <sup>ns</sup>	۱۳۸/۶۹**
خطای مکان	۳	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۲۰۳	۵/۸۲
زمان محلول پاشی (T)	۱	۰/۶۹۲**	۵/۶۱**	۰/۳۸۷**	۲۳۳۱/۴۶**
غلظت متانول (M)	۲	۶/۲۰۳**	۷/۲۴**	۱/۸۶۸**	۸۵۳۰/۲۹**
التراسونیک (U)	۳	۰/۲۱۴**	۱/۱۵۲**	۰/۱۴۴**	۵۹۶/۶۲**
L×T	۱	۰/۰۱۸۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۱۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۸۳ <sup>ns</sup>	۲/۱۸ <sup>ns</sup>
L×M	۲	۰/۴۲۳**	۰/۰۰۳۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۳۹ <sup>ns</sup>	۲۹۷/۰۸۳**
L×U	۳	۰/۰۰۵۸۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۸۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۱۲۱ <sup>ns</sup>	۳/۰۹ <sup>ns</sup>
T×M	۲	۰/۱۶۸۱**	۱/۳۱۸**	۰/۰۲۷۸*	۳۳۰/۲۱**
T×U	۳	۰/۰۰۳۳ <sup>ns</sup>	۰/۱۹۶**	۰/۰۱۰۰ <sup>ns</sup>	۴/۱۹۰ <sup>ns</sup>
M×U	۶	۰/۰۳۶۳**	۰/۲۰۸۷**	۰/۰۲۸۵**	۷۷/۲۵**
L×T×M	۲	۰/۰۰۸۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۳۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۶۹ <sup>ns</sup>	۱۳/۳۷ <sup>ns</sup>
L×M×U	۶	۰/۰۱۲۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۱۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۳۹ <sup>ns</sup>	۵/۰۴۱ <sup>ns</sup>
L×T×U	۳	۰/۰۰۵۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۲۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۹۰ <sup>ns</sup>	۷/۸۹۱ <sup>ns</sup>
T×M×U	۶	۰/۰۰۵۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۴۳۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۱۸ <sup>ns</sup>	۱۵/۱۲۴ <sup>ns</sup>
L×T×M×U	۶	۰/۰۰۳۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۱۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۴۵ <sup>ns</sup>	۱/۵۶۸ <sup>ns</sup>
خطا	۶۶	۰/۰۰۹۴۸	۰/۰۰۳۱۴	۰/۰۱۴۹	۷/۴۴
ضریب تغییرات (%)	-	۴.۷۷	۴/۰۱	۶/۲۱	۲/۱۲

\*- معنی دار در سطح احتمال ۵٪، \*\* معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و NS- غیر معنی دار

جدول پیوست ۱۱- میانگین مربعات تاثیر امواج التراسونیک، غلظت متانول و زمان کاربرد آن بر رنگدانه‌های برگ

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
بلوک (R)	۳	۰/۰۰۰۰۱۹*	۰/۰۰۰۰۴۵*	۰/۰۰۰۰۴۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۲۷** <sup>ns</sup>
مکان (L)	۱	۰/۰۰۰۰۶۵**	۰/۰۰۰۰۱۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۸۵*	۰/۰۰۰۰۰۸۴ <sup>ns</sup>
خطای مکان	۳	۰/۰۰۰۰۰۴۶	۰/۰۰۰۰۰۳۶	۰/۰۰۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۰۰۱۶۱
زمان محلول پاشی (T)	۱	۰/۰۰۰۰۱۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۳۶ <sup>ns</sup>
غلظت متانول (M)	۲	۰/۰۰۰۰۲۴**	۰/۰۰۰۰۸۶۲**	۰/۱۲۰۰۲۴**	۰/۰۰۰۰۱۵۶۱**
التراسونیک (U)	۳	۰/۰۰۰۰۰۵۵**	۰/۰۰۰۰۸۹۴**	۰/۰۰۰۰۱۳۳**	۰/۰۰۰۰۰۲۱ <sup>ns</sup>
L×T	۱	۰/۰۰۰۰۰۰۸۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۷۵۲*	۰/۰۰۰۰۰۸۴۳*	۰/۰۰۰۰۰۱۹۶ <sup>ns</sup>
L×M	۲	۰/۰۰۰۰۰۷۰۷**	۰/۰۰۰۰۰۵۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۴۹۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۲۹۳*
L×U	۳	۰/۰۰۰۰۰۰۸۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۲۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۲۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۱۲ <sup>ns</sup>
T×M	۲	۰/۰۰۰۰۰۲۳۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۶۲۵*	۰/۰۰۰۰۰۸۶۸*	۰/۰۰۰۰۰۱۱۶ <sup>ns</sup>
T×U	۳	۰/۰۰۰۰۰۱۳۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۲۱۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۳۵۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۰۳۴ <sup>ns</sup>
M×U	۶	۰/۰۰۰۰۰۰۶۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۲۴۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۲۵۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۱۸۹**
L×T×M	۲	۰/۰۰۰۰۰۰۷۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۰۶۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۱۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۰۸۳۸**
L×M×U	۶	۰/۰۰۰۰۰۰۶۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۰۲۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۰۵۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۰۰۳۶ <sup>ns</sup>
L×T×U	۳	۰/۰۰۰۰۰۰۷۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۰۶۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۰۴۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۰۱۴۲ <sup>ns</sup>
T×M×U	۶	۰/۰۰۰۰۰۰۶۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۰۱۶۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۰۲۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۰۰۹۹ <sup>ns</sup>
L×T×M×U	۶	۰/۰۰۰۰۰۰۰۳۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۰۰۶۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۰۰۶۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۰۰۵۷ <sup>ns</sup>
خطا	۶۶	۰/۰۰۰۰۰۰۶۹	۰/۰۰۰۰۰۰۱۵۷	۰/۰۰۰۰۰۰۱۶۹	۰/۰۰۰۰۰۰۰۵۹
ضریب تغییرات (%)	-	۰.۲۷	۲/۰۵	۰/۸۳	۱/۹۲

\*- معنی دار در سطح احتمال ۰.۵، \*\* معنی دار در سطح احتمال ۰.۱ و <sup>ns</sup>- غیر معنی دار

جدول پیوست ۱۲- میانگین مربعات تاثیر امواج التراسونیک، غلظت متانول و زمان کاربرد آن بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیک کنگد

منابع تغییرات	درجه آزادی	آنتوسیانین	قندهای محلول	پرولین	محتوی آب نسبی
بلوک (R)	۳	۰/۱۰۹۷ <sup>NS</sup>	۳/۳۷۴ <sup>NS</sup>	۰/۱۲۶۲ <sup>NS</sup>	۱/۲۹۶ <sup>NS</sup>
مکان (L)	۱	۲/۴۵۴ <sup>**</sup>	۰/۳۸۸۲ <sup>NS</sup>	۰/۷۸۱۲ <sup>**</sup>	۳۱۴/۷۹ <sup>**</sup>
خطای مکان	۳	۰/۰۷۸۸	۰/۲۱۸۰	۰/۰۳۳۱	۳/۶۳۸
زمان محلول پاشی (T)	۱	۱/۸۹۰۱ <sup>**</sup>	۳/۸۶۳ <sup>NS</sup>	۰/۰۷۸۸ <sup>NS</sup>	۱/۵۴۰ <sup>NS</sup>
غلظت متانول (M)	۲	۶/۹۲۳۵ <sup>**</sup>	۱۳۷۴/۱۹ <sup>**</sup>	۳۷/۳۲۱ <sup>**</sup>	۳۹۷/۲۰۲ <sup>**</sup>
التراسونیک (U)	۳	۰/۵۹۵۷ <sup>**</sup>	۳۴/۳۷۳ <sup>**</sup>	۰/۷۸۰۸ <sup>**</sup>	۱۵/۶۷۷ <sup>**</sup>
L×T	۱	۰/۰۹۶۱۹ <sup>NS</sup>	۱/۳۷۲۷ <sup>NS</sup>	۰/۰۶۲۷ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۷۵ <sup>NS</sup>
L×M	۲	۰/۰۹۲۲ <sup>NS</sup>	۰/۹۱۹۲ <sup>NS</sup>	۰/۰۴۰۴ <sup>NS</sup>	۹۸/۶۲۳ <sup>**</sup>
L×U	۳	۰/۱۵۵۵ <sup>NS</sup>	۰/۷۳۳۲ <sup>NS</sup>	۰/۰۴۵۰ <sup>NS</sup>	۴/۳۶۶ <sup>NS</sup>
T×M	۲	۱/۰۱۰۴ <sup>**</sup>	۲۸/۷۶۵ <sup>**</sup>	۰/۴۶۴۷ <sup>**</sup>	۵۵/۴۳ <sup>**</sup>
T×U	۳	۰/۳۰۶۷ <sup>**</sup>	۱/۴۰۶۰ <sup>NS</sup>	۰/۰۴۴۷ <sup>NS</sup>	۵/۴۹۸ <sup>NS</sup>
M×U	۶	۰/۱۰۳۴ <sup>*</sup>	۷/۶۲۵ <sup>**</sup>	۰/۲۰۷۵ <sup>**</sup>	۳/۴۵۱ <sup>NS</sup>
L×T×M	۲	۰/۰۲۰۷ <sup>NS</sup>	۰/۱۲۲۲ <sup>NS</sup>	۰/۰۲۸۹ <sup>NS</sup>	۳/۹۷۵ <sup>NS</sup>
L×M×U	۶	۰/۰۳۷۸ <sup>NS</sup>	۰/۲۷۸۲ <sup>NS</sup>	۰/۰۲۶۸ <sup>NS</sup>	۰/۵۵۲۹ <sup>NS</sup>
L×T×U	۳	۰/۰۷۲۰ <sup>NS</sup>	۰/۴۰۱۰ <sup>NS</sup>	۰/۰۳۱۳ <sup>NS</sup>	۱/۷۰۰۹ <sup>NS</sup>
T×M×U	۶	۰/۰۸۷۶ <sup>NS</sup>	۴/۰۱۰ <sup>NS</sup>	۰/۱۲۶۵ <sup>NS</sup>	۳/۹۴۷۵ <sup>NS</sup>
L×T×M×U	۶	۰/۰۲۶۱ <sup>NS</sup>	۰/۵۷۵۴ <sup>NS</sup>	۰/۰۹۲۵ <sup>NS</sup>	۲/۱۴۱۹ <sup>NS</sup>
خطا	۶۶	۰/۰۴۶۹	۳/۶۵۱	۰/۰۴۷۳	۴/۶۹
ضریب تغییرات (/) -		۳/۷۵	۵/۰۰	۴/۱۳	۲/۷۲

\*- معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵، \*\* معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و NS- غیر معنی دار

جدول پیوست ۱۳- میانگین مربعات تاثیر امواج التراسونیک، غلظت متانول و زمان کاربرد متانول بر عملکرد و اجزای آن و صفات دیگر

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد کپسول	تعداد دانه در کپسول	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	بیوماس کل	شاخص برداشت
بلوک (R)	۳	۷/۱۴۷*	۲۵/۷۳۶**	۰/۰۳۹۶ <sup>ns</sup>	۳/۷۸ <sup>ns</sup>	۱۱۷/۹۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۵۴ <sup>ns</sup>
مکان (L)	۱	۰/۲۷۵۲ <sup>ns</sup>	۰/۱۶۶۶ <sup>ns</sup>	۰/۱۱ <sup>ns</sup>	۱۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۴۴/۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۱۷ <sup>ns</sup>
خطای مکان	۳	۲/۷۹۵۰	۰/۱۹۴۴	۰/۰۰۸۲	۱۶/۱۴	۲۴۳/۵۹	۰/۰۰۰۰۰۷۵
زمان محلول پاشی (T)	۱	۳۶۴/۲۹**	۲۷/۷۵۵**	۰/۵۲۶۵**	۲۸۹۰/۷**	۳۰۴/۰۴**	۰/۰۰۴۱**
غلظت متانول (M)	۲	۵۱۵/۴۲**	۴۴۱/۷۶**	۲/۹۱۳۸**	۸۶۳۶/۰۳**	۳۴۵۹۶/۹**	۰/۰۰۵۲**
التراسونیک (U)	۳	۵۲/۰۵**	۳۸/۹۷۷**	۰/۱۷۴۰**	۱۴/۸۹ <sup>ns</sup>	۵۰۸/۶۷*	۰/۰۰۰۰۳۳ <sup>ns</sup>
L×T	۱	۱/۹۴۲ <sup>ns</sup>	۶۸/۸۸*	۰/۰۳۷۴ <sup>ns</sup>	۲۲/۰۰۵ <sup>ns</sup>	۲۳/۳۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۱۰ <sup>ns</sup>
L×M	۲	۰/۸۶۸ <sup>ns</sup>	۰/۵۳۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۲۳۰ <sup>ns</sup>	۴/۰۳۶ <sup>ns</sup>	۲۴۶/۴۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۲۸ <sup>ns</sup>
L×U	۳	۰/۲۴۲ <sup>ns</sup>	۰/۲۹۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۳ <sup>ns</sup>	۵/۷۲۷ <sup>ns</sup>	۹۱/۴۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۱۴ <sup>ns</sup>
T×M	۲	۱۴۵/۲۱**	۳۱/۳۱**	۰/۰۳۹۱*	۷۷۴/۱۶**	۸۳۲۷/۳**	۰/۰۰۰۰۳۸۹**
T×U	۳	۳/۹۴۳ <sup>ns</sup>	۶/۷۲۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۲۲۸ <sup>ns</sup>	۳/۶۴۴ <sup>ns</sup>	۱۴/۹۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۱۱ <sup>ns</sup>
M×U	۶	۵/۵۴۳*	۵/۸۸۳ <sup>ns</sup>	۰/۱۰۶۸**	۱۶/۵۹۲ <sup>ns</sup>	۱۷۵/۰۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۶۳ <sup>ns</sup>
L×T×M	۲	۰/۱۸۹ <sup>ns</sup>	۳/۴۴۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۷۴ <sup>ns</sup>	۳۳/۷۲۳ <sup>ns</sup>	۴۷۷/۵۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۰۹ <sup>ns</sup>
L×M×U	۶	۰/۲۰۰۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۵۵۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۵۱ <sup>ns</sup>	۶/۹۲۵ <sup>ns</sup>	۲۶۱/۴۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۵۹ <sup>ns</sup>
L×T×U	۳	۰/۷۱۳۹ <sup>ns</sup>	۱/۰۱۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱۱ <sup>ns</sup>	۲/۸۳۸ <sup>ns</sup>	۴۶/۵۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۱۴ <sup>ns</sup>
T×M×U	۶	۱/۹۵۹۵ <sup>ns</sup>	۲/۶۸۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۹۳ <sup>ns</sup>	۲/۰۵۰ <sup>ns</sup>	۲۷۲/۱۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۹۸۸ <sup>ns</sup>
L×T×M×U	۶	۰/۶۲۳۹ <sup>ns</sup>	۲/۷۶۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۶۰ <sup>ns</sup>	۱/۱۴۰۶ <sup>ns</sup>	۵۹/۴۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۱۸۶ <sup>ns</sup>
خطا	۶۶	۲/۴۹۷	۵/۸۲۱	۰/۰۱۴۹	۱۱/۵۱	۲۱/۲۸	۰/۰۰۰۰۸۶۵
ضریب تغییرات (%)	-	۳/۷۱	۳/۰۱	۳/۸۶	۲/۰۲	۲/۶۰	۳/۱۳

\*- معنی دار در سطح احتمال ۰/۵، \*\* معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و <sup>ns</sup>- غیر معنی دار

جدول پیوست ۱۴- میانگین مربعات تاثیر امواج التراسونیک، غلظت متانول و زمان کاربرد متانول بر درصد روغن، پروتئین و نسبت اسیدهای چرب

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد روغن	درصد پروتئین	نسبت اسیدهای چرب
بلوک (R)	۳	۰/۱۸۴۴۰ <sup>NS</sup>	۰/۳۵۲۵ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۳۱۶ <sup>NS</sup>
مکان (L)	۱	۰/۹۲۲۳۷ <sup>NS</sup>	۰/۰۱۲۵ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۰۲۹۵ <sup>NS</sup>
خطای مکان	۳	۰/۷۷۲۷۳	۱/۳۱۹۷	۰/۰۰۰۹۵۹
زمان محلول پاشی (T)	۱	۱/۴۸۵۷*	۰/۱۸۷۶ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۲۵۷ <sup>NS</sup>
غلظت متانول (M)	۲	۱۰/۲۱۵**	۸/۸۱۸.**	۰/۰۰۶۱ <sup>NS</sup>
التراسونیک (U)	۳	۰/۴۶۶۵ <sup>NS</sup>	۰/۴۲۰۸ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۱۶۴ <sup>NS</sup>
L×T	۱	۰/۰۰۶۴ <sup>NS</sup>	۰/۰۲۵۲ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۰۰۰۱۶ <sup>NS</sup>
L×M	۲	۱/۰۷۶۴*	۰/۴۲۵ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۰۴۳۳ <sup>NS</sup>
L×U	۳	۰/۱۴۵۶ <sup>NS</sup>	۰/۰۳۲۶ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۰۳۸۳ <sup>NS</sup>
T×M	۲	۰/۷۸۷۴ <sup>NS</sup>	۰/۳۹۲۱ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۱۲۴ <sup>NS</sup>
T×U	۳	۰/۲۴۶۸ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۸۴ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۰۶۷ <sup>NS</sup>
M×U	۶	۰/۱۴۳۰ <sup>NS</sup>	۰/۱۸۱۸ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۲۱۶ <sup>NS</sup>
L×T×M	۲	۰/۰۶۰۵ <sup>NS</sup>	۰/۰۵۱۹ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۰۵۱ <sup>NS</sup>
L×M×U	۶	۰/۷۴۶۰ <sup>NS</sup>	۰/۰۵۲۶ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۰۵۱ <sup>NS</sup>
L×T×U	۳	۰/۱۰۹۷ <sup>NS</sup>	۰/۰۵۱۲ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۱۱۵ <sup>NS</sup>
T×M×U	۶	۰/۴۲۳۳ <sup>NS</sup>	۰/۳۵۸۶ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۱۴۳ <sup>NS</sup>
L×T×M×U	۶	۰/۲۸۴۱ <sup>NS</sup>	۰/۰۱۶۴ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۰۱۱۸ <sup>NS</sup>
خطا	۶۶	۰/۳۴۶	۰/۲۹۸	۰/۰۰۱۷۹
ضریب تغییرات (%)	-	۱/۰۰	۲/۰۹	۰/۵۶

\*- معنی دار در سطح احتمال ۰/۵، \*\* معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و NS- غیر معنی دار



# منابع

- ۱- احیایی، ح. پارسا، م. کافی، م. و نصیری محلاتی، م. ۱۳۸۹. اثر محلول پاشی متانول و دور آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم نخود (*Cicer arietinum L*)، پژوهش‌های حبوبات ایران. ۱ (۲): ۳۷-۴۸.
- ۲- اسفینی فراهانی، م. پاک نژاد، م. کاشانی، ع. اردکانی، م. ر. بختیاری مقدم، م و رضایی، م. ۱۳۹۱. تاثیر محلول پاشی متانول بر عملکرد و اجزاء عملکرد آفتابگردان (رقم آذرگل) تحت شرایط مختلف رطوبتی، مجله زراعت و اصلاح نباتات ایران. ۸ (۱): ۱۱۵-۱۲۶.
- ۳- اسعدی، ع و حشمتی، غ. ۱۳۹۴. اثر تیمارهای مختلف بر شکستن خواب و تحریک جوانه‌زنی بذر آویشن خراسانی (*Thymus transcaucasicus Ronn*) و آویشن شیرازی (*Zataria multiflora Boiss*) مجله پژوهش‌های گیاهی. ۲۸ (۱): ۱۲-۲۲.
- ۴- اکرم قادری، ف. کامکار، ب و سلطانی، ا. ۱۳۹۰. "علوم و تکنولوژی بذر" (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۵۱۲ ص.
- ۵- الوندیان، س. واحدی، ع و تقی زاده، ر. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر امواج فراصوت و سرمادهی بر جوانه‌زنی بذور گیاه دارویی مورد (*myrtus communis*)، تحقیقات بذر (علوم و تکنولوژی بذر). ۳۱ (۸): ۲۱-۳۱.
- ۶- انصار، ز. ۱۳۹۱. پایان‌نامه ارشد: "اثر تنش کم آبیاری و محلول پاشی با متانول و اسید سالیسیلیک بر خصوصیات کمی و کیفی کنجد". دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۷- بی‌نام، ۱۳۹۶، "آمارنامه کشاورزی". جلد اول محصولات زراعی سال ۹۵-۱۳۹۴. وزارت جهاد کشاورزی.
- ۸- بی‌نام، ۱۳۹۵، "آمارنامه کشاورزی". جلد اول محصولات زراعی سال ۹۴-۱۳۹۳. وزارت جهاد کشاورزی.
- ۹- بی‌نام، ۱۳۹۴، "آمارنامه کشاورزی". جلد اول محصولات زراعی سال ۹۳-۱۳۹۲. وزارت جهاد کشاورزی.

- ۱۰- پارسایی مهر، ن. ۱۳۹۳. پایان نامه ارشد: "اثرات محلول پاشی متانول و کود دامی بر عملکرد کمی و کیفی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در تراکم‌های مختلف". دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل .
- ۱۱- پاک‌ترمنی، م. قجریگی، پ و مولودی، ف. ۱۳۹۴. مقایسه پایداری حرارتی روغن کنجد بکر و روغن هسته انگور، دو ماهنامه علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه. ۱۹ (۵): ص ۲۶۱-۲۶۸.
- ۱۲- خواجه‌پور، م. ۱۳۸۴. "گیاهان صنعتی". چاپ اول انتشارات جهاد دانشگاهی اصفهان. ۵۸۲ ص.
- ۱۳- خسروی، الف. حاجی آقایی، ر. نقدی بادی، ح. مهرآفرین، ع. خسروی، م. ت. ۱۳۹۰. تاثیر کاربرد متانول و اتانول بر عملکرد گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L) در منطقه کرج، داروهای گیاهی. ۲(۲): ۱۲۱-۱۲۸.
- ۱۴- دینی ترکمانی، م و کاراپتیان، ژ. ۱۳۸۶. بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مهم دانه در ده رقم کنجد، مجله زیست شناسی ایران. ۲۰ (۴): ۳۲۷-۳۳۳.
- ۱۵- رستگار، م. ۱۳۸۴. "زراعت گیاهان صنعتی". چاپ اول انتشارات برهمند. تهران. ص ۴۶۹.
- ۱۶- رجبیان، س. ۱۳۹۱. پایان نامه ارشد: "اثر امواج اولتراسونیک و باکتری سودوموناس بر رشد و عملکرد ذرت." دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۱۷- سالمی‌نسب، م. قلی‌پور، م. مکاریان، ح و آریانی محمدی، ح. ۱۳۹۶. تاثیر امواج التراسونیک و تنش خشکی بر برخی صفات ذرت، مجله تحقیقات غلات (۷) ۲: ۲۷۵-۲۸۴.
- ۱۸- سرخی‌لله‌لو، ف. ۱۳۸۸. ارزیابی اثرات امواج فراصوت و میدان مغناطیسی بر جوانه‌زنی بذور گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L) ششمین کنگره علوم باغبانی ایران، رشت، دانشگاه گیلان.
- ۱۹- سلطانی، ا. و فرجی، ا. ۱۳۸۶. "رابطه آب، خاک و گیاه". انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ص ۲۵۲.

- ۲۰- صیادامین، پ. ۱۳۸۷. پایان نامه کارشناسی ارشد: "اثر سطوح کود نیتروژن دار بر مراحل نموی، عملکرد، کیفیت و تبادلات گازی ژنوتیپ‌های مختلف کنبج". دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۲۱- صفرزاده ویشکایی، م. ۱۳۸۶. رساله دکتری: "تاثیر متانول بر رشد و عملکرد بادام زمینی". دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد تهران واحد علوم و تحقیقات. ۲۳۲ص.
- ۲۲- صفرزاده ویشکایی، م. نورمحمدی، ق و مجیدی‌هروان، الف. ۱۳۸۶. اثر متانول بر رشد و عملکرد بادام زمینی. **مجله علوم کشاورزی**، ۱۳ (۱): ص ۸۷-۱۰۴
- ۲۳- عبادی، ع. پرمون، ق و جهانبخش، س. ۱۳۹۵. تاثیر پیش تیمار بذر بر شاخص‌های قدرت گیاهچه در بذور فرسوده ماریتیغال (*Silybum marianum*) **مجله پژوهش‌های گیاهی** ۲۹ (۳): ۵۵۳-۵۶۶.
- ۲۴- عبادی، ش. ۱۳۹۲. پایان نامه ارشد: "اثر امواج التراسونیک و کود بیولوژیک نیتروکسین بر رشد و عملکرد لوبیا چشم بلبلی (*Vigna sinensis*)" دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۲۵- عباس‌دخت، ح. ۱۳۹۵. "اکولوژی بذر (پرایمینگ)". چاپ اول. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود. شاهرود. ۱۹۴ ص.
- ۲۶- عباس‌دخت، ح و بیگی، م. ۱۳۹۴. تأثیر هیدرو پرایمینگ، تقسیط کود نیتروژن و عمق کاشت بذر بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه هیبرید دابل کراس ۳۷۰ ذرت در منطقه خشک، **مجله تولیدات گیاهی**. ۲۲. ۱۴۹-۱۷۲.
- ۲۷- عباس‌دخت، ح و عدالت‌پیشه، م. ر. ۱۳۸۷. پرایمینگ، انواع و نقش آن در زراعت (مقاله مروری). اولین همایش ملی علوم و تکنولوژی بذر ایران، گرگان.
- ۲۸- عمارت‌پرداز، ج. حامی طبری، ا. دواتی کاظم‌نیا، ح. ۱۳۹۳. تاثیر محلول‌پاشی متانول بر اجزای عملکرد لوبیا چیتی در شرایط تنش آبی. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۵: (۱ و ۲).
- ۲۹- فاریابی، ا. زارع‌منش، ح. کشوری، م و ابدالی، ن. ۱۳۸۷. بررسی تاثیر امواج فراصوت بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی تنزیدن بذور فلفل دلمه و تربچه. خلاصه مقالات اولین همایش ملی علوم و تکنولوژی بذر ایران. صفحه ۲۲.

۳۰- قاسمی نژاد، پژ. مهر آفرین، ع. حسینی، م و منصور، م. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر ربایش مغناطیسی و امواج فراصوت بر جوانه‌زنی بذور کنگر فرنگی (*Cynara scolymus*)، دومین همایش ملی علوم و تکنولوژی بذر، مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد.

۳۱- قاندری ارجنکی، م. عباس‌دخت، ح. عامریان، م. مکاریان، ح و اصغری، ح. ۱۳۹۳. بررسی تأثیر پرایم مضاعف ویو، هالوهاردنینگ پرایمینگ و سطوح تقسیط نیتروژن بر اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک ذرت زودرس. اولین کنگره بین‌المللی و سیزدهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات. تهران.

۳۲- کوچکی، ع. ۱۳۷۸. گیاهان چگونه به تغییر اقلیم واکنش نشان خواهند داد. دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم. سازمان هواشناسی کشور. ۱۳ و ۱۴ آبان ۱۳۷۸.

۳۳- محروقیان، س. س. ۱۳۹۵. پایان‌نامه ارشد: "تأثیر امواج التراسونیک بر رشد و عملکرد لوبیا چشم بلبلی در شرایط تنش خشکی". دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود.

۳۴- مرغابی‌زاده، غ. قرینه، م. ح. فتحی، ق. ا. ابدالی، ع و فرید، م. ۱۳۹۳. تأثیر امواج فراصوتی و میدان مغناطیسی بر جوانه‌زنی، شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه زنیان (*Carum copticum (L.) C. B.*) (Clarke) در شرایط آزمایشگاه و مزرعه. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۳۰ (۴): ۶۶، صفحه ۵۳۹-۵۶۰.

۳۵- یوسفی‌تنها، ا. فلاح، س. ا. ۱۳۹۵. اثر پرایمینگ بذر بر پارامترهای جوانه‌زنی بذر یونجه یکساله (*Medicago scutellata L.*) تحت شرایط تنش سرما. مجله پژوهش‌های گیاهی. ۲۹ (۳): ۶۵۹-۶۷۴.

۳۶- نصیری دهرسخی، ع. مکاریان، ح. قلی‌پور، م و عباس‌دخت، ح. ۱۳۹۳. تأثیر امواج اولتراسونیک و پرایمینگ بذر بر درصد و سرعت سبز شدن بذور لوبیا چشم بلبلی (*Vigna sinensis*). اولین همایش الکترونیکی یافته‌های نوین در محیط زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی ص ۷.

۳۷- نوری، ک. ۱۳۸۲. بررسی سیاست‌های حمایتی دولت در تولید دانه‌های روغنی در ایران. چهارمین کنفرانس دو سالانه اقتصاد کشاورزی ایران. تهران، دانشگاه تهران.

۳۸- نورافکن، ح و کلانتری، ز. ۱۳۹۵. اثر محلول پاشی با اتانول و متانول بر خصوصیات مورفولوژیکی نعنا فلفلی، فصلنامه بوم شناسی گیاهان زراعی. ۱۲ (۴): ۹-۱.

۳۹- نورحسینی نیاکی، س. ع.، م. ن. صفرزاده ویشکایی، ا. اصلانی، و ف. واله شیدا. ۱۳۹۰. اثر زمان و غلظت های محلول پاشی متانول بر رشد و عملکرد ماش. مجله پژوهش های به زراعی، ۳ (۳): ۲۹۵-۳۰۶.

۴۰- نوروزی، ح. فاتح، ا. فرید، م و نجفی بابادی، ک. ۱۳۹۱. اثر امواج فراصوت و آب مغناطیسی بر روی جوانه زنی رازیانه، دوازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.

41- Abbasdokht, H., and Edalatpishch, M. 2011. The effect of priming and salinity on physiological and chemical characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Desert**. 17:183-192.

42- Abbasdokht, H., and Gholami, A. 2010. The effect of seed inoculation (*Pseudomonas putida*+*Bacillus lentus*) and different levels of fertilizers on yield and yield components of Wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. **World Academy of Science, Engineering and Technology**. 68: 1308-1316.

43- Abdul – Baki, A. A. and Anderson, J. D. 1973. Vigor determination in soybean by multiple criteria. **Crop Science** 13: 630-633.

44- Acock, B. 1990. Effects of CO<sub>2</sub> on photosynthesis, plant growth and other processes. In: Kimball, B. A., Rosenberg, N. J. and Allen, L. H. (eds), Impact of CO<sub>2</sub>, trace gases, and climate change on global agriculture. **ASA Special publication**. 53: 45-60.

45- Aladjadjian, A. 2011. Ultrasonic stimulation of the development of lentils and wheat seedlings. **Romanian journal of biophysics** 21 (3): 179-187.

46- Aladjadjian, A. 2007. The use of physical methods for plant growing stimulation in bulgaria. **Journal of Central European Agriculture** 8 (3): 369-380.

47- Allen, S. G., S. B. Idso, B. A. Kimball, and M. G. Anderson. 1988. Interactive effects of CO<sub>2</sub> and environment on photosynthesis of *Azolla*. **Agric. For. Meteorol.** 42:209-217.

48- Allen L. H., Kakanib V. G., Joseph C.V., Booteb K. J. 2011. Elevated CO<sub>2</sub> increases water use efficiency by sustaining photosynthesis of water-limited maize and sorghum. **Journal of Plant Physiology** 168: 1909– 1918.

- 49- Andrew D. B. Leakey, Elizabeth A. Ainsworth, Carl J. Bernacchi, Alistair Rogers<sup>4,5</sup>, Stephen P. Long, and Donald R. Ort .2009. Elevated CO<sub>2</sub> effects on plant carbon, nitrogen, and water relations: six important lessons from FACE (REVIEW). **Journal of Experimental Botany**. 60 (10): 2859–2876.
- 50-Anwar, M. P., Jurajmi, A. S., Puteh, A., Selamat, A., Rahman, M. M., and Samedani, M. 2012. Seed priming influences weed competitiveness and productivity of aerobic rice. **Acta Agric Scandinavica**. 62: 499-509.
- 51- Ashakumary, Lakshmikuttyamma, Rouyer, I., Takahashi, Y., Ide, T., Fukuda, N., Aoyama, T., Hashimoto, T., Mizugaki, M. and Sugano, M. 1999. Sesamin, a Sesame Lignan, is a Potent Inducer of Hepatic Fatty Acid Oxidation in the Rat. **Metabolism: Clinical and Experimental**, 48 (10): 1303- 1313.
- 52- Ashraf, M., and Bray, C. M. 1993. DNA synthesis in osmoprimed leek (*Allium porrum L.*) seeds and evidence for repair and replication. **Seed Science Technology**. 3: 15-23.
- 53- Ashraf, M., and Foolad, M. R. 2005. Presowing seed treatment-a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non saline conditions. **Advances in Agronomy**. 88: 223-271.
- 54- Ashraf, M., Athar, H. R., Harris, P. J. C., and Kwon, T, R. 2008. Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. **Advances in Agronomy**. 97: 45-110.
- 55- Association of Official Seed Analysis (AOSA). 1983. **Seed Vigor Testing**. Springfield, II. 254p.
- 56- Ashri, A. 2007. **Sesame (*Sesamum indicum L.*)**. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 231-289.
- 57-Atherton, J. G., and Farooque, A, M. 1983. High temperature and germination in spinach. II. Effects of osmotic priming. **Scientia Horticulture**. 19: 221-227.
- 58-Babaei, F., Heydari shrifabad, H., Safarzadeh Vishekaei, M. N., Normohammadi, Gh. & Majidi Harvan, I. 2014. Effect of foliar application of methanol and ascorbic acid on physiological characteristics and yield of peanut (*Arachis hypogaea L.*). **Advances in Biology**. 8 (16): 280-285.
- 59- Bailly, C., Benamer, A., Corbineau, F. and Come, D. 2000. Antioxidant systems in sunflower (*Helianthus annuus L.*) seeds as affected by priming. **Seed Science Research**. 10 (1): 35-42.

- 60- Balestrazzi A., Confalonieri, M., Macovei, A., Dona, M., Carbonera, D. 2011. Genotoxic stress and DNA repair in plants: emerging functions and tools for improving crop productivity. **Plant Cell Reports**. 30: 287-295.
- 61- Barton, S., Bullock, C. and Weir, D. 1996. The effects of ultrasound on the activities of some glucosidase enzymes of industrial importance. **Enzyme and Microbial Technology**. 18 (3): 190-194.
- 62- Bates LS, Waldren RP, Teare ID .1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant Soil**. 39: 205-207.
- 63- Beech, D.F. 1985. **Sesame**: Research possibilities for yield improvement. p. 96–106. In: A. Ashri (ed.), Sesame and safflower status and potentials. FAO Plant Production and Protection Paper 66. Rome, Italy.
- 64- Beech, D.F. 1995. **Australian sesame industry**: An overview. p. 19–33. In: M.R. Bennett and I.M. Wood (eds.), Proc. First Australian Sesame Workshop, Darwin Katherine. 21–23.
- 65- Beligni, M. V., and Lamattina, L. 1999: Nitric oxide counteracts cytotoxic processes mediated by reactive oxygen species in plant tissues. **Planta**. 208: 337-344.
- 66- Bewley, J. D. and Black, M. 1994. “**Seeds: Physiology development and Germination**”. 2nd Edition. Plenum Press, New York.
- 67- Bhat, K.V., P.P. Babrekar and S. Lakhanpaul. 1999. Study of genetic diversity in Indian and exotic sesame (*Sesamum indicum L.*) germplasm using random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers. **Euphytica**. 110: 21-33.
- 68- Bradford, K. J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. **HortScience**. 21: 1105-1112.
- 69- Bray, C. M. 1995. Biochemical processes during the osmopriming of seeds. **Seed development and germination**. (Eds. J. Kigel and G. Galili) Marcel Dekker Inc, New York.
- 70- Bodsworth, S. and Bewley, J. D. 1981. Osmotic priming of seeds of crop species with polyethylene glycol as a means of enhancing early and synchronous germination at cool temperature. **Canadian Journal of Botany**. 59: 672-676.
- 71- Chang, S. M., and Sung, J. M. 1998. Deteriorative changes in primed sweet corn seed during storage. **Seed Science Technology**. 26: 613-626.
- 72- Chen, H. H., Chen, Y. K., and Chang, H. C. 2012. Evaluation of physicochemical properties of plasma treated brown rice. **Food Chemistry**. 135: 74-79.

- 73- Chen, K., and Arora, R. 2013. Priming memory invokes seed stress-tolerance. **Environmental and Experimental Botany**. 94: 33-45.
- 74- Chen, G., Wang, Q., Liu, Y., Li, Y., Cui, J., Liu, Y., Liu, H. and Zhang, Y. 2012. Modelling analysis for enhancing seed vigour of switch grass (*Panicum virgatum* L.) using an ultrasonic technique. **biomass and bioenergy**. 47: 426-435.
- 75- Chen, Y. P., Liu, Q., Yue, X. Z., Meng, Z. W. and Liang, J. 2013. Ultrasonic vibration seeds showed improved resistance to cadmium and lead in wheat seedling. **Environmental Science and Pollution Research**. 20 (7): 4807-4816.
- 76- Clark, N. A., and James, P. E. 1991. The effects of priming and accelerated aging upon the nucleic acid content of leek seeds and their embryos. **Journal of Experimental Botany**. 42: 261-268.
- 77- Cordoba-Canero, D., Roldan-Arjona, T., Arizam R. R. 2014. Arabidopsis ZDP DNA 30-phosphatase and ARP endonuclease function in 8-oxoG repair initiated by FPG and OGG1 DNA glycosylase. **Plant Journal**. 79:824-834.
- 78- Cossins, E. A. 1980. "The biochemistry of plants" One-carbon metabolism. In: Davies D.D. (ed.). 365-418.
- 79- Dabrowska, B., Suchorska-Tropilio, K., and Capecka, E. 2001. Presowing conditioning of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds and its results in a field growing. Part I. Effect on the vigor of seeds and seedling. **Annals of Warsaw university of life science**. Horticulture and landscape Architecture. 22: 3-7.
- 80- Dahal, P., and Bradford, K. 1990. Effects of priming and endosperm integrity on seed germination rates of tomato seeds: II. Germination at reduced water potential. **Journal of Experimental Botany**. 41:1441-1453.
- 81- De Castro, R. D., Zheng, X. Y., Bergeryoet, J. H. W., de Vos, C. H. R., and Bino, R. J. 1995. B tubulin accumulation and DNA replication in imbibing tomato seeds. **Plant Physiology**. 109: 499-504.
- 82- De Lespinay, A., Lequeux, H., Lambillotte, B., and Lutts, S. 2010. Protein synthesis is differentially required for germination in *Poa pratensis* and *Trifolium repens* in the absence or in the presence of cadmium. **Plant Growth Regulation**. 61: 205-214.
- 83- Demir, I., Mavi, K., and Oztokat, C. 2004. Changes in germination and potential longevity of watermelon (*Citrullus lanatis*) seeds during development. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**. 32: 139-145.

- 84- Demir, I., and Oztokat, C. 2003. Effect of salt priming on germination and seedling growth at low temperatures in water melon seeds during development. **Seed Science and Technology**. 31: 765-770.
- 85- Devlin, R. M., Bhowmik, P.C. & Karczmarczyk, S.J. 1994. Influence of methanol on plant growth. **Plant Growth Regulator Society of America**. 22 (4): 102-108.
- 86-Downie, A., Miyazaki, S., Bohnert, H., John, P., Coleman, J., Parry, M. & Haslam, R. 2004. Expression profiling of the response of arabis thaliana to methanol stimulation. **Photochemistry**. 65 (16): 2305-2316.
- 87- D. Ray Langham. 2007. “**Phenology of Sesame**” Reprinted from. Proceedings of the Second National Symposium new crops and new uses: Exploration, Research, Commercialization. pp:710. J. Janick and A. Whipkey (eds.). ASHS Press, Alexandria. pp: 144-182.
- 88- DuBois, M, Gilles KA, Hamilton, JK, Rebers, PA, and Smith, F 1956, 'Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances'. **Analytical Chemistry**. 28, (3):350-356.
- 89- Elyasirad, S., Mousavi, S. GH. and Sangari, Gh. 2016. Effects of Hydro and Osmoprimering on Germination and Emergence of Asafoetida (*Ferula assa-foetida* L.). **Journal of Seed Ecophysiology**. 1 (2): 165-179.
- 90- **F.A.O.** 2015. Available (online: [http// www.FAO.org](http://www.FAO.org)).
- 91- Fall, R., Benson, A.A., 1996. Leaf methanol- the simplest natural product from plants. Trends **Plant Science**. 1: 296-301.
- 92- Farooq, M., Basra, S. M. A., Wahid, A., Ahmad, N., and Saleem, B. A. 2009. Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid. **Journal of Agronomy and Crop Science**. 195: 237-246.
- 93- Farooq. M., Wahid, A., and Siddique, K.H.M. 2012. Micronutrient application through seed treatments- a review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. 12: 125-142.
- 94-Faville, M., Silvester, W., Green, T. and Jermyn, W. 1999. Photosynthetic characteristics of three asparagus cultivars differing in yield. **Crop Science**. 39 (4): 1070-1077.
- 95- Fazeli. E., Ghorbanli, M., and Niknam, V. 2007 Effect of drought on biomass, protein content. lipid peroxidation and antioxidant enzymes in two sesame cultivars. **Biologia Plantarum** 51: 98-103.

- 96- Feibert, E. B. G., James S. R., Rykbost K. A., Mitchell A. R. & Shock C.C. 1995. Potato yield and quality not changed by foliar-applied methanol. **HortScience**. 30 (3): 494- 495.
- 97- Fernandez, A., Thompson, A. 2011. The inactivation of salmonella by cold atmospheric plasma treatment. **Food Research International**. 45:678-684.
- 98- Fernandez-Gutierrez, S. A., Pedrow, P. D., Pitts, M. J., Powers, J. 2010. Cold atmospheric pressure Plasmas applied to active packaging of apples. **IEEE Transactions on Plasma Science**. 38 (4): 957-965.
- 99- Filatova, I., Azharonok, V., Gorodetskaya, E., Melnikova, L., Shedikova, O., and Shik, A. 2009. Plasma-radiowave stimulation of plant seeds germination and inactivation of pathogenic microorganisms. **Proceedings of the International Plasma Chemistry Society**. 19: 627-638.
- 100- Finnerty, T. L., Zajicek, J. M., and Hussey, M. A. 1992. Use of seed priming to bypass stratification requirements of three *Aquilegia* species. **HortScience**. 27: 310-313.
- 101- Francis, A., and Coolbar, P. 1988. Change in fatty acid content of the lipid fraction of tomato seeds induced by ageing and / or low temperature presowing treatment. **Seed Science Technology**. 16: 87-95.
- 102- Foti, S., Raccuia, S.A., Cavallaro, V., 2000. Morphologic, biologic, and productive characteristics of Sicilian population of wild cardoon (*Cynara cardunculus L. var. sylvestris Lam.*). Fourth International Congress on Artichoke, Valenzano, Bari, 17-21 October 2000, Acta Horticulturae, in press.
- 103- Fu, J.R., Lu, X. H., Chen, R. Z., Zhang, B. Z., Liu, Z. S., Li, Z. S., and Cai, D. Y. 1988. Osmoconditioning of peanut (*Arachis hypogaea L.*) seeds with PEG to improve vigour and some biochemical activities. **Seed Science Technology**. 16: 197-212.
- 104- Garcia, F. C., Jimenez, L. E., and Vezquez, R. J. M. 1995. Biochemical and cytological studies on osmoprimed maize seeds. **Seed Science Research**. 5: 15–23.
- 105- Ghassemi-Golezani K., and Mardfar, R. A. 2008. Effect of limited irrigation on growth and grain yield of common bean. **Journal of Plant Science**. 3: 230-235.
- 106- Ghiyasi, M., Seyahjam, A. A., Tajbakhs, M., Amirnia, R. and Salehzade, H. 2008. Effect of osmopriming with polyethylene glycol (8000) on germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum L.*) seeds under salt stress. **Journal of Biological Science**. 3 (10): 1249-1251.
- 107- Giese, M., Bauer-Doranth, U., Langebartels, C & Sandermann, H. J. R. 1994. Detoxification of formaldehyde by the spider plant (*Chlorophytum comosum L.*) and by

soybean (*Glycine max* L.) cell suspension cultures. **Journal of Plant Physiology**, 104, 1301-1309.

108- Gordon. A. a 1971. a review Beneficial effects of ultrasound on plants.9(2):81-84

109- Gout, E., Aubert, S., Bligny, R., Rebeille, F., Nonomura, A. R., Benson, A. A & Douce, R. 2000. Metabolism of methanol in plant cells. carbon-13 nuclear magnetic resonance studies. **Plant Physiology**. 123, 287-296.

110- Goussous, S. J., Samarah, N.H., Alqudah, A. M. and Othman, M.O. 2010. Enhancing seed germination of four crops species using an ultrasonic technique. **Experimental Agriculture**. 46: 231-242.

111- Gryndler, M., J. Larsen, H. Hrselova, V. Rezacova, H. Gryndlerova and J. Kubat. 2006. Organic and mineral fertilization, respectively, increase and decrease the development of external mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi in a long-term field experiment. **Mycorrhiza**, 16(3): 159–166.

112- Halstead, E. H., Vicario, B. T. 1969. Effect of ultrasound on the germination of wild rice (*Zizania aquatica*). **Canadian Journal of Botany**. 47:1638.

113- Hafez, Y.D., 1983. Nutrient composition of different varieties strains of soybean. **Nutrition reports international**. 28: 1197-1206.

114- Habdas, H., Szafirowska, A. and Sokolowska, A. 2000. Cytological and physiological effects of matricconditioning on low viable cucumber seed germination. **Acta Horticulturae**. 517: 113-120.

115- Hadas, A. 1982. Seed-soil contact and germination. In the physiology and biochemistry of seed development. **dormancy and germination**, A. A. Khan (ed.). Elsevier, Amsterdam. 5: 507-527.

116- Hanson, A. D. & Roje, S. 2001. One-carbon metabolism in higher plants. Annual Review of **Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. 52: 119-137.

117- Harris, D. 1996. The effects of manure, genotype, seed priming, depth and date of sowing on the emergence and early growth of *Sorghum bicolor* (L.) Moench in Semi-arid Botswana. **Soil and Tillage Research**. 40: 73-88.

118- Harris, D., Breese, W.A., and Kumar Rao, J. V. D. K. 2005. The improvement of crop yield in marginal environments using 'on-farm'. seed priming: Nodulation, nitrogen fixation and disease resistance. **Australian Journal of Agricultural Research**. 56: 1211-1218.

- 119- Harris, D., Joshi, A., Khan, P. A., Gothkar, P. and Sodhi, P. S. 1999. On-farm seed priming in semi-arid agriculture: Development and evaluation in maize, rice and chickpea in India using participatory methods. **Experimental Agriculture**. 35: 15–29.
- 120- Harris, D., Pathan, A. K., Gothkar, P., Joshi, A., Chivasa, W., and Nyamudeza, P. 2001a. On farm seed priming: Using participatory methods to review and refine a key technology. **Agricultural Systems**. 69 (2): 151-164
- 121- Harris, D., Raghuvanshi, B. S., Gangwar, J. S., Singh, S. C., Joshi, K. D., Rashid, A., and Hollington, P. A. 2001b. Participatory evaluation by farmers of onfarm' seed priming in wheat in India, Nepal and Pakistan. **Experimental Agriculture**. 37 (3): 403-415.
- 122- Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J. K., and Bohnert, H. J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annual Review of **Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. 51: 463-499.
- 123- Haung, Y. M., Wang, H., H., and Chen, K. H. 2002; Application of the seed priming treatments in spinach (*Spinacia oleraceae L.*) production. **Horticultural Science**. 48: 117-123.
- 124- Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., and Ahmad, A. 2010. Effect of salicylic acid under changing environment: A review. Environ. **Journal of Experimental Botany**. 68: 14-25.
- 125- Hemming, D. J. B., Criddle R.S. & Hansen L. D. 1995. Effects of methanol on plant respiration. **Journal of Plant Physiology**. 146 (3): 193-198.
- 126- Hebling, S. A. and Da silva, W. R. 1995. Effects low intensity ultrasound on the germination of corn seeds (*Zea mays L.*) under different water availabilities. **Scientia Agricola**. 52: 514–520.
- 127- Hernandez, L. F., Pellegrini, C. N. & Malla, L. M. 2000. Effect of foliar applications of methanol on growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus L.*). **Journal of Experimental Botany**. 66: 1-8.
- 128- Heydecker, W., and Gibbins, B. M. 1987. The priming of seeds. **Acta Horticultural**. 83: 213-215
- 129- Hosseinzadeh, S.R., Salimi, A., and Ganjeali, A. 2011. Effects of foliar application of methanol on morphological characteristics of chickpea (*Cicer arietinum L.*) under drought stress. **Environmental Stresses in Crop Science**. 4: 140-150.
- 130- Hosseinzadeh, S. R., Salimi, A., Ganjeali, A and Ahmadpour, R. 2012. Effects of foliar application of methanol on growth and root characteristics of chickpea (*Cicer*

*arietinum* L.) under drought stress. **European Journal of Experimental Biology**. 2 (5):1697-1702.

131- Horikawa, Y., and Ohtsuka, H. 1995. Effects of coating adhesive on the inoculation of *Rhizobium meliloti* to alfalfa (*Medicago sativa* L.) seeds for nodulation and seedling growth. **Grassland Science**. 41, 275-279.

132- Hsu, C. C., Chen, C. L., Chen, J. J. and Sung, J. M. 2003. Accelerated aging-enhanced lipid peroxidation in bitter melon seeds and effects of priming and hot water soaking treatments. **Scientia Horticulture**. 98: 201-212.

133- Hurly, R. E., Van Staden, J., and Smith, M. T., 1991. Improved germination in Seeds of guayule (*Parthenium argentatum* Gray) following polyethylene glycol and gibberellic acid pretreatment. **Annals of Applied Biology**. 118, 175-184.

134- Huard, S., Petit, H. V., Seoane, J. R. and Rioux, R. 1998. Effects of mechanical treatment of whole canola seeds on performance, diet digestibility and rumen parameters of lambs fed grass silage. **Canadian Journal of Animal Science**. 78: 657-664.

135- Hunter, E. A., Glasbey, C. A. and Naylor, R. E. L. 1984. The analysis of data from germination tests. **Journal of Agricultural Science**. 102: 207-231.

136- Hur, S. N. 1991. Effect of osmoconditioning on the productivity of Italian ryegrass and sorghum under suboptimal conditions. **Korean Journal of Animal Science and Technology**. 33: 101-105.

137- ICRISAT. 1986. Annual report. pp 83-85. **International crop research institute for the semi-arid tropical**, Patancheru, India.

138- Iqbal, M., and Ashraf, M. 2007. Seed treatment with auxins modulates growth and ion partitioning in salt-stressed wheat plants. **Journal of Integrative Plant Biology**. 49: 1003-1015.

139- Islam, F, Gill, R. A., Basharat, A., Farooq, M. A, Xu, L, Najeeb, U, Zhou, W. 2016. “**Breeding oilseed crops for sustainable production opportunities and constraints**”.pp 582.

140- ISTA. 2009. **International rules for seed testing**. The International Seed Testing Association (ISTA) Press, Switzerland.

141- Ivanova, E. G., Dornina N. V. & Trotsenko Y. A. 2001. Aerobic methyl bacteria are capable of synthesizing auxins. **Microbiology**. 70, 392-397.

- 142- Jambrak, A. R., Mason, T. J., Lelas, V., Herceg, Z., Hercberg, L. J. I. 2008. Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions. **Journal of Food Engineering**. 86(2): 281-287
- 143- Jiang, J. F., He, X., Li, L., Li, J. G., Shao, H. L., Xu, Q. L., Ye, H. R., and Dong, Y. H. 2014b. Effect of cold plasma treatment on seed germination and growth of wheat. **Plasma Science Technology**. 16: 54-58.
- 144- Jiang, J. F., Lu, Y. F., Li, J. G., Li, L., He, X., Shao, H. L., and Dong, Y. H. 2014a. Effect of seed treatment by cold plasma on the resistance of tomato to *Ralstonia solanacearum* (Bacterial wilt). **Plos One**. 9: 1-6.
- 145- Jie, L., Gongshe, L., Dongmei, Q., Fangfang, L. and Enhua W. 2002. Effects of PEG on germination and active oxygen metabolism in wild rye (*Leymus chinensis*) seeds. **Acta Prataculturae Sinica**. 11: 59-65.
- 146- Jisha, K.C., Vijayakumari, K., and Puthur, J.T. 2013. Seed priming for abiotic stress tolerance: An review. **Acta Physiologia Plantarum**. 35 (5): 1381-1396.
- 147- Joshi, J. (1996). Foliar applied methanol and nitrogen for increased productivity on leguminous Plant. **Plant Physiology**. 45, 197- 209.
- 148- Johnson, H.W., Robinson, H.F., Comstock, R.E., 1995. Genotypic and phenotypic correlations in soybean and their implications in selection. **Agronomy Journal**. 47: 477-483.
- 149- Johnston, A.M., Tanaka, D.L., Miller, P.R., Brandt, S.A., Nielsen, D.C., Lafond, G.P., and Riveland, N. R. 2002. Oilseed crops for semiarid cropping systems in the Northern Great Plains. **Agronomy Journal**. 94, 231-240.
- 150- Johnson, L. P. V., Obolensky, G. 1954. Note on the effect of ultrasonics on the development of barley. **Canadian Journal of Agricultural Science**. 34 (6): 651-652.
- 151- Juraimi, A. S., Anwar, Md. P., Selamat, A., Puteh, A., and Man, A. 2012. The influence of seed priming on weed suppression in aerobic rice. **Pakistan Journal of Weed Science Research**. 18: 257-264.
- 152- Karaaslan, D., Boydak, E., Gercek, S., and Simsek, M. 2007. Influence of irrigation intervals and rowspacing on some yield components of sesame grown in Harran region. **Asian Journal of Plant Sciences**. 6: 623-627.
- 153- Kafiriti, E. and O. Mponda. 2009. soil, plant and crop production. “**growth and production of sesame**”. Encyclopedia of Life Support System. (EOLSS).
- 154- Khan, A. A. 1992. Preplant physiological seed conditioning. “**Horticultural Reviews**”. 13: 131-181.

- 155- Khajeh-Hosseini, M., Lomholt, A. and Matthews, S. 2009. Mean germination time in the laboratory estimates the relative vigour and field performance of commercial seed lots of maize (*Zea mays* L.). **Seed Science and Technology**. 37: 446-456.
- 156- Kepczynska, E., Piekna-Grochala, J., and Kepczynski, J. 2003. Effect of matriconditioning on onion seed germination, seedling emergence and associated physical and metabolic events. **Plant Growth Regulature**. 41: 269-278.
- 157- 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. **Environmental and Experimental Botany**. 60: 344-351.
- 158- Langham, D. R. 2007. “**Phenology of Sesame**”. In: Janick, J. and Whipley, A. eds. *Issues in New Crops and New Uses.*, ASHS Press, Alexandria, pp: 144-182.
- 159- Lanteri, S., Nada, E., Belletti, P., Quagliotti, L., and Bino, R. J. 1993. Effects of controlled deterioration and osmoconditioning on germination and nuclear replication in seeds of pepper (*Capsicum annum* L.). **Annals of Botany**. 77: 591-597.
- 160- Lanteri, S., Saracco, F., Kraak, H. L., and Bino, R. J. 1994. The effects of priming on nuclear replication activity and germination of pepper (*Capsicum annum*) and tomato (*Lycopersicon esculentum*) seeds. **Seed Science Research**. 4: 81-87.
- 161- Leakey A. D. B., Xu, F., Gillespie, K. M., McGrath, J. M., Ainsworth, E. A., Ort, D. R. 2009. The genomic basis for stimulated respiratory carbon loss to the atmosphere by plants growing under elevated CO<sub>2</sub>. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. 106: 3597–3602.
- 162- Lee, S. S., Kim, J. H., Hong, S. B., Yuu, S. H., and Park, E. H, 1998. Priming effect of rice seeds on seedling establishment under adverse soil conditions. **Korean Journal Crop Science**. 43: 194-198.
- 163- Leprince, O., Harren, F. J. M., Buitink, J., Alberda, M., and Hoekstra, E. A. 2000. Metabolic dysfunction and unabated respiration precede the loss of membrane integrity during dehydration of germinating radicles. **Plant Physiology**. 122: 597-608.
- 164- Lichtenthaler, H. K. 1992. The Kaustky effect:60 years of chlorophyll fluorescence induction kinetics. **Photosynthetica**. 27: 45-55.
- 165- Li, Y., Gupta, J., Siyumbano, A.K., 1995. Effect of methanol on soybean photosynthesis and chlorophyll. **Journal of Plant Nutrition**. 18: 1875-1880.
- 166- Lin, J. M., and Sung, J. M. 2001. Pre-Sowing traetments for improving emergence of bitter gourd seedling under optimal and sub-optimal temperture. **Seed Science and Technology**. 29: 39-50.

- 167- Liu, J., Wang, Q., Karagic, D, Liu, X., Cui, J., Gui, J., Gu, M. and Gao, W. 2016 . Effects of ultrasonication on increased germination and improved seedling growth of aged grass seeds of tall fescue and Russian wild rye. **Scientific Reports**. 6: 224-233
- 168- Liu, Q., Hilhorst, H. W. M., Groot, S. P. C., and Bino, R. J. 1997. Amounts of nuclear DNA and internal morphology of gibberellin and abscisic acid-deficient tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) seeds during maturation, imbibition and germination. **Annals of Botany**. 79: 161-168.
- 169- Liu, X., Xing, D., Li, L., and Zhang, L. 2007. Rapid deterioration of seed vigour based on the level of superoxide generation during early imbibition. **Photochemical and Photobiological Sciences**. 6: 767-774.
- 170- Machikowa, T., Kulrattanarak, T. and Wonprasaid, S. 2013. Effects of Ultrasonic Treatment on Germination of Synthetic Sunflower Seeds. **International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering**. 7:13-16.
- 171- Madhaiyan, M., Poonguzhali, S., Sundaram, S.P., Sa, T.A. 2006. New insight into foliar applied methanol influencing phylloplane methylotrophic dynamics and growth promotion of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Journal of Environmental and Experimental Botany**. 57: 168-176.
- 172- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. **Crop Science**. 2: 176-177.
- 173- Maleki, F. S., Rezazadeh, A. and Aghighi Sh. M. 2015. Effects of Electromagnetic Field and Ultrasonic Waves on Seed Germination of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) **Iranian Journal of Seed Research**. 2 (1): 109 -118.
- 174- Makhdam, M. I., Malik, M. N. A., Din, S. U., Ahmad, F. & Chaudhry, F. I. 2002. Physiological response of cotton to methanol foliar application. **Journal of Research Science**. 13: 37-43.
- 175- Mason, T. J. and Peters, D. 2004. An introduction to the uses of power ultrasound in chemistry. “**Practical Sonochemistry**”. (eds. T.J. Mason and D. Peters). Pp: 1-48.
- 176- Mazor, L., Perl, M., and Negbi, M. 1984. Changes in some ATP-dependent activities in seeds during treatment with polyethylene glycol and during the redrying process. **Journal of Experimental Botany**. 35: 1119-1127.
- 177- McDonald, M. B, 2000 “**Seed Technology and its Biological Basis**”. Black, M. and Bewley, J. D. (Eds.). Sheffield Academic Press, Sheffield, UK. Pp 419.

- 178- McDonald, M. B., and Kwong, F. Y. 2005. "**Flower seeds: biology and technology**". CABI Publishing. pp: 372.
- 179- Mirakhori, M., Paknejad, F., Moradi, F., Ardakani, M. R., Zahedi, H & Nazeri, P. 2009. Effect of drought stress and methanol on yield and yield components of soybean (*Glycine max* L.). **American Journal of Biochemistry and Biotechnology**. 5 (4), 162-169.
- 180- Mirshekari, b. and Siyami, R. 2015. Effects of sowing date and pre-treatment methods on seed emergence and yield of yarrow (*Achillea santolina*). **ARP Journal of Agricultural and Biological Science**. 10 ( 2): 74-78.
- 181- Mirshekari, b., Farahvash, f., Siyami, R., Moghbeli, H. A. and Sotudeh, K. A. 2015. Ultrasonic irradiation could increase germination and seedling vigor of common yarrow (*Achillea millefolium*), as a medicinal plant. **Acta agriculturae slovenica**. 105 (2): 203-212.
- 182- Musa, A. M., Harris, D., Johnsen, C., and Kumar, J. 2001. Short duration chickpea to replace fallow after aman rice: The role of on-farm seed priming in the high Barind Tract of Bangladesh. **Experimental Agriculture**. 37 (4): 509-521.
- 183- Nadali, I., Paknejad, F., Moradi, F., Vazan, S., Tookalo, M., Jamialahmadi, M. & Pazoki, A. 2010. Effects of methanol on sugar beet (*Beta vulgaris*) .**Australian Journal of Crop Science**. 4 (6): 398-401.
- 184- Ni, H., Moody, K., Robles, R. P., Paller, E. C., and Lales, J. S. 2000. *Oryza sativa* plant traits conferring competitive ability against weeds. **Weed Science**. 48: 200-204.
- 185- Niranjana Raj, S., Shetty, N. P., and Shetty, H. S. 2004. Seed bio-priming with *Pseudomonas fluorescens* isolates enhances growth of pearl millet plants and induces resistance against downy mildew. **International Journal of Pest Management**. 50: 41-48.
- 186- Nonomura, A. M. and Benson, A. A 1992. The path of carbon in photosynthesis: improved crop yields with methanol. **Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America**. 89: 9794-9798.
- 187- Nonomura, A. M & Benson, A. A. 1997. Methods and compositions for enhancing carbon fixation in plants. **Journal of Cleaner Production**. 5 (3): 236-237.
- 188- O'Brien Jr W D. 2007. Ultrasound-biophysics mechanisms. **Progress in Biophysics and Molecular Biology**. 93, 212-255.

- 189- Olsen, L. J. and Harada, J. J. 1995. Peroxisomes and their assembly in higher plants. Annual Review of **Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. 46: 123-146.
- 190- Osburn, R. M., and Schroth, M. N. 1989. Effect of osmopriming suger beet seed on germination rate and incidence of *Pythium ultimum* damping-off. **Plant Disease**. 73: 21-24.
- 191- Ozbingöl, N., Corbineau, F. and Côme, D. 1998. Responses of tomato seeds to osmoconditioning as related to temperature and oxygen. **Seed Science Research**. 8: 377-384.
- 192- Palardy, S. G, Gibbins D. E, Rhoads J. L. 2003. Biomass production by tow year-old popolar clones on floodplain site in the lower midwest. USA. **Agroforest System**. 59:21-26.
- 193- Parera, C.A., Cantliffe, D.J., 1994. Presowing seed priming. **Horticultural Reviews**. 16: 109-141.
- 194- Patade, V. Y., Bhargava, S., and Suprasanna, P. 2009. Halopriming imparts tolerance to salt and PEG induced drought stress in sugarcane. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 134: 24-28.
- 195- Podlaski, S., Chrobak, Z., and Wyszowska, 2. 2003. Effect of parsley seed treatment on root yield. **Plant Cell and Environment**. 49: 213-217.
- 196- Pramuk L.A. and Runkle E. 2005. Modeling growth and development of celosia and impatiens in response to temperature and photosynthetic daily light integral. American society. **Horticulture Science**. 130 (6): 813-818.
- 197- Pursglove, J.W. 1977. "**Tropical Crops**": Dicotyledons. Longman Group, London, Third Edition, London. 719p.
- 198- Rahimi, A. 2013. Seed priming improves the germination performance of cumin (*Cuminum syminum* L.) under temperature and water stress. **Industrial Crops and Products**. 42: 454-460.
- 199- Rajala, A. J., Karkkainen, J., Peltonen & Peltonen-Sainio, P. 1998. Foliar applications of alcohols failed to enhance growth and yield of C3 crops. **Industrial Crops and Products**. 7 (2): 129-137.
- 200- Ramadant, T., and Omran, Y. 2005. The effects of foliar application of methanol on productivity and fruit quality of grapevine cv. flame seedlees. **Vitis Journal** 44: 11-16.

- 201- Ramberg, H. A., Olson, B. J. S. C., Nishio, J. N., Markwell, J. & Osterman, J. C. 2002. The role of methanol in promoting plant growth. An update review of **Plant Biochemistry and Biotechnology**. 1:113-126.
- 202- Ramirez, I., Dorta, F., Espinoza, V., Jimenez, E., Mercado, A. & Pen Cortes, A. 2006. Effects of foliar and root applications of methanol on the growth of arabidopsis, tobacco and tomato plants. **Journal of Plant Growth Regulation**. 25 (1): 30-44.
- 203- Rezvani Moghaddam, P., Norozpoor, Gh., Nabati, J., and Mohammad Abadi, A.A. 2005. Effect of different irrigation intervals and plant density on morphological characteristics, grain and oil yield of sesame (*Sesamum indicum*). **Iranian Journal of Agricultural Researches**. 3 (1): 57-68.
- 204- Risca, I. M., Fartais, L. and Stiuca, P. 2007. Ultrasound effects contributions on the Norway spruce seeds germination (*Picea abies* L. (Karsten)). **Genetics and Biological Molecules**. 3: 87-88.
- 205- Ritchie, S.W., Nguyen, H.T. and Holaday, A.S. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. **Crop science**. 30:105-111.
- 206- Rokhina EV, Lens P, Virkutyte J. 2009. A review of Low-frequency ultrasound in biotechnology: state of the art. **Trends in Biotechnology**. 27 (50): 28-39.
- 207- Rowe, R.N., Farr, D.J., and Richards, B.A.J. 1994. Effects of foliar and root applications of methanol or ethanol on the growth of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill). **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science** 22: 335-337.
- 208- Rowse, H. R. 1996. Drum priming: A non-osmotic method of seed priming. **Seed Science Technology**. 24: 281-294
- 209- Rush, C. M. 1991. Comparison of seed priming techniques with regard to seedling emergence and Pythium damping-off in sugar beet. **Phytopathology**. 81: 878-882.
- 210- Sadasivam S. and Manickam A. 2005. Biochemical methods, Vol. 1, 2nd Edition, New Age International (P) Ltd, Publishers New Delhi, pp 37.
- 211- Sage R. F. and Kubaien D. S. 2007. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. **Plant Cell and Environment**. 30: 1086–1106.
- 212- Sairam, R.K. and Srivastava, G. C. 2001. Water stress tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L): Variation in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotype. **Journal of Agronomy and Crop Science**. 186: 63-70.

- 213- Sairam, R. K. , Veerabhadra, R. K. and Srivastava, G. C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. **Plant Science**. 163: 1037-1046.
- 214- Salisbury, F., B., and Rose, C. W. 1992. "**Plant physiology**". Wadsworth publishing Company, Belmont, California.
- 215- SAS Institute. 1999. SAS/Stat User's Guide 'Version 9.3. SAS Institute 'Cary, NC.
- 216- Schlesinger, W.H. 1991. Biogeochemistry, an Analysis of Global Change. New York, USA, Academic Press. Shively, G.E., C.A. Zelek, D.J. Midmore and Nissen, T.M. 2004. Carbon sequestration in a tropical landsca.
- 217- Schmidt, L. H. 2007."**Tropical forest seed**". Springer-Verlag Heidelberg. P339.
- 218- Scott, S. J., Jones, R. A., and Williams, W. A. 1984. Review of data analysis method for seed germination. **Crop science**. 24:1192 -1199.
- 219- Scouten, A. J. and Beuchat, L. R. 2002. Combined effects of chemical, heat and ultrasound treatments to kill Salmonella and Escherichia coli O157: H7 on alfalfa seeds. **Journal of applied microbiology**. 92 (4): 668-674.
- 220- Selcuk, M., Oksuz, L. and Basaran, P. 2008. Decontamination of grains and legumes infected with Aspergillus spp. And Penicillium spp. By cold plasma treatment. **Bioresource Technology**. 99:5104-5109.
- 221- Shin, Y. K., Baque, M.A., Elghamedi, S., Lee, E.J. and Paek, K.Y. 2011. Effects of activated charcoal, plant growth regulators and ultrasonic pretreatments on in vitro germination and protocorm formation of Calanthe hybrids. **Australian Journal of Crop Science**. 5 (5): 582-588.
- 222- Sivritepe, H. O., and Dourado, A. M. 1995. The effect of priming treatments on the viability and accumulation of chromosomal damage in aged pea seeds. **Annual Botany**. 75: 165-171.
- 223- Soltani, A., E. Zeinali, S. Galeshi and N. Latifi. 2001. Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea Coast of Iran. **Seed Science and Technology**. 29: 653-662.
- 224- Soltani, A., Ghalipoor, M., and Zeinali, E. 2006. Seed reserve utilization and seedling of wheat as affected by drought and salinity. **Journal of Environmental and Experimental Botany**. 55: 195-200.
- 225- Taiz, L., and Zeiger, E. 2002. Nature and extent of agricultural salinity. In Agricultural Salinity Assessment and Management (K. K. Tangi, Ed.), pp: 1-13. AmSoc. Civil Engineers, New York.

- 226- Von Caemmerer, S., Ghannoum, O., Conroy J. P., Clark, H. and Newton P. C D. 2001. Photosynthetic responses of temperate species to free air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) in a grazed New Zealand pasture. **Australian Journal of Plant Physiology** 28: 439-450.
- 227- Walters, C., Landre, P., Hill, L., Corbineau, F., and Bailly, C, 2005. Organization of lipid reserves in cotyledons of primed and aged sunflower seeds. **Planta**. 222: 397-407.
- 228- Wang, Q., Chen, G., Yersaiyiti, H., Liu, Y., Cui, J., Wu, C., Zhang. and Y., He,X. 2012. modeling analysis on germination and seedling growth using ultrasound seed pretreatment in switchgrass. **plos one** 7 (10): 472-484.
- 229- Wang, H. Y., Chen, C. L., and Sung, J. M. 2003. Both warm water soaking and matricconditioning treatments enhance antioxidation of bitter gourd seeds germinated at suboptimal temperature. **Seed Science Technology**. 31: 47-56.
- 230- Wang, B. C., Chen, X., Wang, Z, Fu, Q, Z., Zhou, and Ran, H, L. 2003. Biological effect of sound field stimulation on paddy rice seeds. **Colloids and Surfaces (B: Biointerfaces)**. 32: 29-34.
- 231- Warren, J. E., and Bennett, M. A. 1997. Seed hydration using the drum priming system. **HortScience**. 32: 1220-1221.
- 232- Were, B. A., A. O. Onkware, S. Gudu, M. Welander and A. S. Carlsson. 2006. Seed oil content and fatty acid composition in East African sesame (*Sesamum indicum* L.) accessions evaluated over 3 years. **Field Crop Research**. 97: 254–260.
- 233- Weitbrecht, K., Müller, K., and Leubner-Metzger, G. 2011. First of the mark: early seed germination. **Journal of Experimental Botany**. 62: 3289-3309.
- 234- Weiss, E.A. 2000. “**Oilseed Crops**”. Blackwell Science Ltd., London. 364p.
- 235- Whittingham T A. 2007. Medical diagnostic applications and sources. **Progress in Biophysics and Molecular Biology**. 93: 84-110.
- 236- Yang, Y., and Wang, X. 2005. Changes of plasma membrane H<sup>+</sup>ATPase activities of glycine max seeds by PEG treatment. **Forestry Studies in China**. 7 (2):7-11.
- 237- Yaldagard, M., Mortazavi, S. A. and Tabatabaie, F. 2007. The effectiveness of ultrasound treatment on the germination stimulation of barley seed and its alpha-amylase activity. **Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology**. 1 (10): 489-492.

- 238- Yeh, Y.M., Chiu, K.Y., Chen, C. L. and Sung, J. M. 2005. Partial vacuum extends the longevity of primed bitter melon seeds by enhancing their anti-oxidative activities during storage. **Science Horticulture**. 104: 101-112.
- 239- Zbiec, I., Karczmarczyk, S. and Podsiado, C. 2003. Response of some cultivated plants to methanol as compared to supplemental irrigation. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*. 6: 1-7.
- 240- Zbiec, I. & Karczmarczyk, S. 1997. Effect of methanol on some plants. **Romanian Agricultural Research**. 7 (8): 45-49.
- 241- Zhang J. 2012. Application progress of plant audio control technology in modern agriculture. **Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology**. 53: 80-81.
- 242- Zhuo, J., Wang, W., Lu, Y., Sen, w., and Wang, X. 2009. Osmopriming regulated changes of plasma membrane composition and function were inhibited by phenylarsine oxide in soybean seeds. **Journal of Integrative Plant Biology**. 51: 858-867.

## **Abstract:**

In order to investigate the effect of ultrasonic waves as a priming factor and methanol foliar application as the source of carbon dioxide in the process of photosynthesis to achieve more yield in sesame, four experiments included a laboratory experiment, a greenhouse experiment, and two field experiments in 2015 In Jiroft and Jazmourian. The experiments were carried out in a factorial based on randomized complete block design with four replications. The factors studied in two laboratory and greenhouse experiments included ultrasonic waves intensity at three levels (20, 30 and 40 kHz) and duration at four levels (2, 4, 6 and 8 minutes).

Result indicated that in a laboratory experiment, the interaction of intensity and duration of priming with ultrasonic waves increased the germination speed, mean germination time, mean daily germination, percentage of abnormal seedling, seed vigor, root length and Plumule length. The main effect of frequency and duration of priming with ultrasonic waves showed a significant effect on germination percentage and germination uniformity. The ultrasound priming also showed a significant effect on morphological and physiological characteristics of sesame including plant height, stem diameter, chlorophyll content, catalase and superoxide dismutase enzymes, leaf area, seedling vigor, root length and stem length.

Interaction of duration and intensity of ultrasonic waves in the combination of 8-minute priming treatment with 40 kHz Ultrasonic waves showed the most effect in most of studied characteristics. The results of the laboratory test showed that with increasing the intensity and duration of priming with ultrasonic waves, the percentage of abnormal and deformed seedling also increased.

In the greenhouse experiment, the percentage of emergence, the rate of emergence and morphological indices including plant height, leaf area, root length, stem length and total biomass were affected by the interaction of intensity and duration of priming with ultrasonic waves. The highest percentage of sesame emergence in the priming treatment combination for 6 minutes with ultrasonic waves of 30 kHz was obtained. Priming treatment with ultrasonic waves for 40 minutes at 8 kHz showed the highest in leaf area, root length, stem length and total biomass.

In field experiments, the time of methanol spraying at two levels (before and after flowering) and the duration of priming with ultrasonic waves at four levels (2, 4, 6 and 8 minutes) and methanol concentration at three levels (0, 20 and 40 Volumetric percentages) and place of experiment in two levels (Jiroft and Jazmourian) were studied. The interaction of methanol concentration and the application of ultrasonic waves showed a significant effect on leaf area, number of stems, stem diameter, plant height, carotenoids, soluble sugars, proline, anthocyanin, capsule number and 1000-seed weight. The highest leaf area, number of stems, stem diameter, plant height and number of capsules in the priming treatment combination with ultrasonic waves for 6 minutes and methanol spraying with 40% volume concentration were obtained. The interaction of methanol foliar application and the duration of priming with ultrasonic waves showed a significant effect on the number of stems and anthocyanin levels.

Combined analysis of the experimental data in two locations showed that the interaction of time of spraying and methanol concentration on the leaf area, number of stems, stem diameter, plant height, chlorophyll b, chlorophylls, number of capsules, number of seeds per capsule, 1000 seed weight, grain yield, biomass Total, harvest index, soluble sugars, proline, anthocyanin and leaf relative water content were significant. methanol spraying with 40% concentration showed the highest of above characteristics in the pre-flowering stage. In field experiments by increasing the priming time and methanol concentration, Most characteristics showed an increasing trend. According to the interaction of duration of priming with ultrasonic, methanol concentration, and methanol foliar application time, The highest yield was obtained in the priming treatment for 6 minutes and methanol spraying with 40% concentration in the pre-flowering stage.

Keywords: alcohol, carbon dioxide, germination, photosynthesis, Photorespiration



**Shahrood University of Technology**  
**Faculty of Agriculture**

**Ph.D. Thesis**

Effects of seed priming with ultrasonic waves and foliar application of methanol on Improvement of physiological aspects and yield of sesame (*Sesamum indicum*)

Hamid Moghbeli

Supervisor:

Dr. Ahmad Gholami

Advisor:

Dr. Mohamadreza Amerian  
Dr. Hamid Abbasdokht

October 2018