

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه شاهرود

دانشکده کشاورزی

گروه زراعت

برهمکنش امواج آلتراسونیک و تنش خشکی بر روی گیاه نخود
(*Cicer arietinum* .L)

حمید ملازم الحسینی

استاد راهنما

دکتر منوچهر قلی پور

اساتید مشاور

دکتر حمید عباس دخت

دکتر مهدی برادران فیروزآبادی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تیر ۱۳۹۳

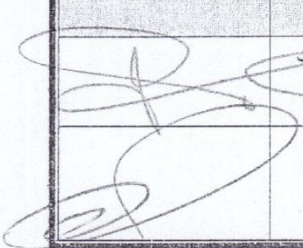
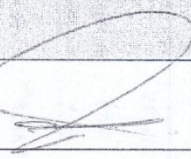
دانشگاه صنعتی شاهرود

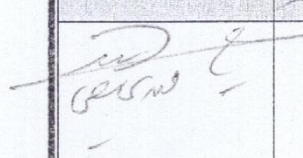
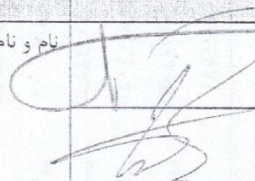
دانشکده کشاورزی
گروه زراعت

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای حمید ملازم الحسینی

تحت عنوان: برهمکنش امواج آلتراسونیک و تنش خشکی بر روی گیاه نخود

در تاریخ ۱۳۹۴/۴/۷ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
درجه مورد پذیرش قرار گرفت.
مورد ارزیابی و با

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : دکتر حمید عباس دخت		نام و نام خانوادگی : دکتر منوچهر قلی پور
	نام و نام خانوادگی : دکتر مهدی برادران فیروزآبادی		نام و نام خانوادگی : -

امضاء	نمایندة تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : مهندس مهدی رحیمی		نام و نام خانوادگی : دکتر حمیدرضا اصتری
			نام و نام خانوادگی : دکتر مصطفی حیدری
			نام و نام خانوادگی : -
			نام و نام خانوادگی : -

تقدیم بہ

بی بدیل ترین کنجینہ های ہستی

پدر عزیز و مادر گرامی

مشکر و قدردانی

پاس خدای را که اول و آخر وجود است، بی آنکه اولی بر او پیشی بگیرد یا آخری پس از او باشد؛ خدایی که دست هر چشمی از دامن دیدارش کوتاه است و فم هر کبوتر تو صیفکری از پرواز در آسمان و صفش عاجز

پاس خدای را که به قدرت بی متناهی دریای آفرینش را جاری کرد و به اراده ازلی اش همه خلق را صورت بخشید؛ هر کس را در سایه اراده اش به راهی راحر و کردانید و آتش عشق خود را در وجودشان برانگیخت؛ نه از آن سوی که پیش فرستادشان توان برگشت دارند و نه در این سوی که بازشان داشت توان سبقت

اکنون که به حول و قوه الهی و با استعانت از ذات باری تعالی و با کمک و مساعدت فریختگان عرصه علم و دانش این پایان نامه به اتمام رسید بر خود واجب دیدم از زحمات بی دریغ استادان، دوستان و عزیزانی که مراد تیه، نگارش و تنظیم این پایان نامه یاری نمودند مشکر و سپاسگذاری کنم.

استاد کرامت‌دور و فریخته جناب آقای دکتر منوچهر قلی پور که در تمام طول تحصیل و نیز تمام مراحل تیه پایان نامه یار و مددکار این حقیر بودند و مرابا راهنمایی های مجدانه و دلوزانه یاری نمودند و به پاس کمک های بی دریغ و پدرانه ایشان کمال مشکر و قدردانی را دارم و از خداوند متعال پیروزی و کامیابی در تمام مراحل زندگی را برایشان خواستارم.

از حضور استادان کرامت‌دور، دکتر حمید عباس دخت و دکتر مهدی برادران فیروز آبادی که با همکاری و راهنمایی ها و تذکرات سازنده ایشان مراد مراحل تیه و تنظیم پایان نامه یاری نمودند و وظیفه استاد مشاور مرابا عهده داشتند نیز کمال سپاسگذاری را دارم. در انتها از خانواده ام، به خصوص پدر و مادر عزیزم سپاسگزارم که در تمام مراحل زندگی پشتوانه ای گرم برای من بودند.

حمید ملازم الحسینی

تیرماه ۱۳۹۳

تعهد نامه

اینجانب حمید ملازم الحسینی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته کشاورزی گرایش زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بهمکنش امواج آلتراسونیک و تنش خشکی بر روی گیاه نخود، تحت راهنمایی دکتر منوچهر قلی پور متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه 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 پایان نامه 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 پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، 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 ۱۳۹۲،۴،۷

امضای دانشجو

حمید ملازم الحسینی

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 پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

چکیده

تنش خشکی یکی از مهمترین عوامل کاهش عملکرد گیاهان زراعی بشمار می‌رود. در بین گیاهان زراعی حبوبات نقش مهمی در تأمین نیازهای غذایی انسان ایفا می‌کنند، از اینرو جهت بررسی تأثیر امواج آلتراسونیک و تنش خشکی بر روی گیاه نخود، آزمایشی به صورت فاکتوریل و بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود در سال ۹۲ انجام گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل تنش خشکی در سه سطح شاهد (آبیاری کامل)، قطع آبیاری از مرحله خمیری دانه به بعد و قطع آبیاری از گلدهی به بعد به عنوان عامل اول و امواج آلتراسونیک، با طول موج ۴۲ کیلوهرتز، در پنج سطح شاهد (عدم پرتودهی)، ۲، ۴، ۶ و ۸ دقیقه به عنوان عامل دوم بودند. نتایج نشان داد تنش خشکی موجب کاهش وزن خشک گیاه، سطح برگ، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی اولیه و ثانویه، عملکرد دانه، وزن صد دانه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن خشک غلاف، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت شده است. بیشترین تأثیر منفی تنش از مرحله گلدهی به بعد بود. اعمال تنش خشکی در مرحله خمیری دانه به بعد موجب افزایش میزان پروتئین و روغن دانه گردید. در ضمن تنش از مرحله گلدهی به بعد کلروفیل برگ را افزایش داد. کاربرد امواج آلتراسونیک وزن خشک برگ، ساقه و اندام هوایی و همچنین سطح برگ گیاه اندازه‌گیری شده قبل از اعمال تنش را افزایش داد. امواج آلتراسونیک همچنین بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی اولیه و ثانویه، عملکرد دانه، وزن صد دانه، تعداد غلاف در بوته، وزن خشک غلاف، عملکرد بیولوژیک، پروتئین دانه و کلروفیل برگ تأثیر معنی‌داری داشت و موجب افزایش این صفات شد. بهترین عملکرد در این آزمایش از تیمار ۶ دقیقه‌ای امواج آلتراسونیک حاصل شد. اثر متقابل تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر میزان عملکرد بیولوژیک، تعداد شاخه فرعی ثانویه، تعداد غلاف در بوته، وزن خشک غلاف و کلروفیل برگ معنی‌دار شد. به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان عنوان کرد که کاربرد امواج آلتراسونیک به عنوان پیش تیمار بذر در این پژوهش نتایج قابل قبولی حاصل کرده است.

واژگان کلیدی: آلتراسونیک، تنش خشکی، نخود

مقالات مستخرج

۱. ملازم الحسینی، ح.، قلی پور، م.، عباس دخت، ح. و برادران فیروزآبادی، م. "برهمکنش امواج فراصوت و تنش خشکی بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی نخود زراعی (*Cicer arietinum L.*)"، همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی، سازمان نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، ۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۳
۲. ملازم الحسینی، ح.، قلی پور، م.، عباس دخت، ح. و برادران فیروزآبادی، م. "تاثیر امواج فراصوت بر خصوصیات مورفولوژیک گیاه نخود (*Cicer arietinum L.*)"، همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی، سازمان نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، ۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۳

فهرست مطالب

فصل اول - مقدمه	۱
مقدمه	۲
فصل دوم - بررسی منابع	۷
۱-۲- اهمیت و موارد مصرف	۸
۲-۲- تاریخچه و اهلی شدن	۱۰
۳-۲- گیاهشناسی و مورفولوژی	۱۱
۴-۲- شرایط لازم برای رشد گیاه	۱۴
۱-۴-۲- دما	۱۴
۲-۴-۲- خاک	۱۵
۳-۴-۲- رطوبت	۱۵
۵-۲- زمان کاشت نخود	۱۶
۶-۲- نیازهای غذایی نخود	۱۶
۷-۲- تنش خشکی	۱۸
۸-۲- اثرات تنش خشکی	۲۰
۹-۲- کارایی مصرف آب	۲۴
۱۰-۲- مکانیسم های مقاومت به خشکی	۲۵
۱۱-۲- اجزای عملکرد نخود	۳۷
۱۲-۲- آلتراسونیک (ULTRASOUND)	۳۸
۱۴-۲- کاربردهای امواج آلتراسونیک	۳۹
۱۵-۲- ضرورت استفاده از آلتراسونیک در کشاورزی	۴۲
۱۶-۲- اثرات مکانیکی و اصلی امواج آلتراسونیک	۴۲
۱۷-۲- سابقه و ضرورت انجام تحقیق بر روی آلتراسونیک	۴۴
۱۸-۲- اثرات مخرب امواج آلتراسونیک بر روی آنزیمها در شدت بالای پرتودهی	۴۵
فصل سوم - مواد و روشها	۴۹
۱-۳- زمان و محل اجرای آزمایش	۵۰
۲-۳- موقعیت جغرافیایی و مشخصات آب و هوایی محل اجرای آزمایش	۵۰
۳-۳- مشخصات خاک محل اجرای آزمایش	۵۰
۴-۳- مشخصات طرح آزمایش	۵۱
۵-۳- مشخصات پلات ها	۵۲
۶-۳- آماده سازی زمین	۵۲
۷-۳- پرتودهی بذور	۵۲

۵۲	۸-۳- کاشت بذر.....
۵۳	۹-۳- عملیات داشت و مبارزه با علفهای هرز و آفات.....
۵۳	۱۰-۳- آبیاری.....
۵۳	۱۱-۳- نمونه برداری.....
۵۳	۱-۱۱-۳- نمونه برداری شاخصهای زراعی و مورفولوژیک.....
۵۳	۱-۱۱-۱-۱- وزن خشک برگ، ساقه و اندام هوایی.....
۵۴	۲-۱-۱۱-۳- سطح برگ.....
۵۴	۲-۱۱-۳- اندازه گیری اجزای عملکرد.....
۵۵	۱۲-۳- اندازه گیری کلروفیل.....
۵۵	۱۳-۳- صفات کیفی.....
۵۶	۲-۱۳-۳- روغن دانه.....
۵۷	۱۴-۳- آنالیز داده ها.....
۵۹	فصل چهارم- نتایج و بحث.....
۶۰	۱-۴- تأثیر امواج آلتراسونیک بر وزن خشک ساقه، برگ، اندام هوایی و سطح برگ.....
۶۰	۱-۱-۴- وزن خشک ساقه.....
۶۱	۲-۱-۴- وزن خشک برگ.....
۶۲	۳-۱-۴- وزن خشک اندام هوایی.....
۶۳	۴-۱-۴- سطح برگ (تک بوته).....
۶۴	۲-۴- ارتفاع بوته.....
۶۶	۳-۴- تعداد شاخه فرعی اولیه.....
۶۹	۴-۴- تعداد شاخه فرعی ثانویه.....
۷۰	۵-۴- عملکرد و اجزای عملکرد.....
۷۰	۱-۵-۴- عملکرد دانه.....
۷۳	۲-۵-۴- وزن ۱۰۰ دانه.....
۷۵	۳-۵-۴- تعداد غلاف در بوته.....
۷۷	۴-۵-۴- تعداد دانه در غلاف.....
۷۸	۶-۴- وزن خشک غلاف.....
۸۰	۷-۴- عملکرد بیولوژیک.....
۸۱	۸-۴- شاخص برداشت.....
۸۳	۹-۴- کلروفیل برگ (SPAD).....
۸۴	۱۰-۴- صفات کیفی.....
۸۴	۱-۱۰-۴- پروتئین دانه.....
۸۷	۲-۱۰-۴- روغن دانه.....

۸۸	۱۱-۴- نتیجه گیری
۸۹	۱۲-۴- پیشنهادات
۹۰	منابع

فهرست جداول

۵۱	جدول ۳- ۱ خصوصیات خاک محل آزمایش
۶۰	جدول ۴- ۱ تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر وزن خشک ساقه
۶۱	جدول ۴- ۲ تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر وزن خشک برگ
۶۳	جدول ۴- ۳ تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر وزن خشک اندام هوایی
۶۴	جدول ۴- ۴ تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر سطح برگ گیاه
۶۵	جدول ۴- ۵ تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر ارتفاع بوته
۶۸	جدول ۴- ۶ تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر تعداد شاخه فرعی اولیه
۶۹	جدول ۴- ۷ تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر تعداد شاخه فرعی ثانویه
۷۲	جدول ۴- ۸ تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر عملکرد دانه
۷۴	جدول ۴- ۹ تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر وزن ۱۰۰ دانه
۷۶	جدول ۴- ۱۰ تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر تعداد غلاف در بوته
۷۸	جدول ۴- ۱۱ تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر تعداد دانه در غلاف
۷۹	جدول ۴- ۱۲ تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر وزن خشک غلاف
۸۱	جدول ۴- ۱۳ تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر عملکرد بیولوژیک
۸۲	جدول ۴- ۱۴ تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر شاخص برداشت
۸۴	جدول ۴- ۱۵ تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر میزان کلروفیل برگ
۸۶	جدول ۴- ۱۶ تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر میزان پروتئین دانه
۸۷	جدول ۴- ۱۷ تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر میزان روغن دانه

فهرست شکل‌ها

۵۱	شکل ۳- ۱ نقشه کاشت طرح آزمایشی مورد استفاده
۶۱	شکل ۴- ۱ مقایسه میانگین وزن خشک ساقه در شرایط پرتودهی بذر با امواج آلتراسونیک به مدت ۲ تا ۸ دقیقه

- شکل ۴-۲- مقایسه میانگین وزن خشک برگ در شرایط پرتودهی بذر با امواج آلتراسونیک به مدت ۲ تا ۸ دقیقه ۶۲
- شکل ۴-۳- مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی در شرایط پرتودهی بذر با امواج آلتراسونیک به مدت ۲ تا ۸ دقیقه ۶۳
- شکل ۴-۴- مقایسه میانگین سطح برگ گیاه نخود در شرایط پرتودهی بذر با امواج آلتراسونیک به مدت ۲ تا ۸ دقیقه ۶۴
- شکل ۴-۵- مقایسه میانگین ارتفاع بوته در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد و از مرحله خمیری شدن دانه به بعد) ۶۶
- شکل ۴-۶- مقایسه میانگین ارتفاع بوته در شرایط پرتودهی بذر با امواج آلتراسونیک به مدت ۲ تا ۸ دقیقه ۶۶
- شکل ۴-۷- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی اولیه در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد و از مرحله خمیری شدن دانه به بعد) ۶۸
- شکل ۴-۸- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی اولیه در شرایط پرتودهی بذر با امواج آلتراسونیک به مدت ۲ تا ۸ دقیقه ۶۸
- شکل ۴-۹- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی ثانویه برای ترکیبات تیماری سه سطح تنش خشکی و چهار مدت پرتودهی بذر با امواج آلتراسونیک ۷۰
- شکل ۴-۱۰- مقایسه میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد و از مرحله خمیری شدن دانه به بعد) ۷۲
- شکل ۴-۱۱- مقایسه میانگین عملکرد دانه در شرایط پرتودهی بذر با امواج آلتراسونیک به مدت ۲ تا ۸ دقیقه ۷۲
- شکل ۴-۱۲- مقایسه میانگین وزن ۱۰۰ دانه در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد و از مرحله خمیری شدن دانه به بعد) ۷۴
- شکل ۴-۱۳- مقایسه میانگین وزن ۱۰۰ دانه در شرایط پرتودهی بذر با امواج آلتراسونیک به مدت ۲ تا ۸ دقیقه ۷۵
- شکل ۴-۱۴- مقایسه میانگین تعداد غلاف در بوته برای ترکیبات تیماری سه سطح تنش خشکی و چهار مدت پرتودهی بذر با امواج آلتراسونیک ۷۷
- شکل ۴-۱۵- مقایسه میانگین تعداد دانه در غلاف در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد و از مرحله خمیری شدن دانه به بعد) ۷۸
- شکل ۴-۱۶- مقایسه میانگین وزن خشک غلاف برای ترکیبات تیماری سه سطح تنش خشکی و چهار مدت پرتودهی بذر با امواج آلتراسونیک ۷۹
- شکل ۴-۱۷- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک برای ترکیبات تیماری سه سطح تنش خشکی و چهار مدت پرتودهی بذر با امواج آلتراسونیک ۸۱

- شکل ۴- ۱۸- مقایسه میانگین شاخص برداشت در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد و از مرحله خمیری شدن دانه به بعد) ۸۲
- شکل ۴- ۱۹- مقایسه میانگین میزان کلروفیل برگ برای ترکیبات تیماری سه سطح تنش خشکی و چهار مدت پرتودهی بذر با امواج آلتراسونیک ۸۴
- شکل ۴- ۲۰- مقایسه میانگین میزان پروتئین دانه نخود در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد و از مرحله خمیری شدن دانه به بعد) ۸۶
- شکل ۴- ۲۱- مقایسه میانگین میزان پروتئین دانه نخود در شرایط پرتودهی بذر با امواج آلتراسونیک به مدت ۲ تا ۸ دقیقه ۸۶
- شکل ۴- ۲۲- مقایسه میانگین میزان روغن دانه در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد و از مرحله خمیری شدن دانه به بعد) ۸۸

فصل اول

مقدمه

مقدمه

حبوبات نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی جوامع بشری بویژه در کشورهای در حال توسعه آسیایی، آفریقایی و آمریکای لاتین دارند. حبوبات در حقیقت گوشت فقرا بوده و با کمبود پروتئین در جهان نقش این محصولات روشن تر می شود. در اکثر کشورهای که با کمبود مواد غذایی روبرو هستند، کیفیت و کمیت پروتئین مسأله اساسی تغذیه است (جلیلیان و همکاران، ۱۳۸۴) و یکی از مهمترین منابع سرشار از پروتئین به حبوبات تعلق دارد. این گیاهان همچنین از نظر حاصلخیزی خاک حائز اهمیت بوده و سالیانه مقادیر قابل توجهی ازت اتمسفری را تثبیت می کنند. در بین حبوبات نخود دومین محصول جهانی است که در ۴۸ کشور جهان با سطحی بیش از ۱۱ میلیون هکتار و تولیدی بیش از ۸ میلیون تن با درصد پروتئین بالا (۲۲-۲۴ درصد) کشت می شود (زراعی و همکاران، ۱۳۷۶). زراعت نخود در ایران از زمان های قدیم متداول بوده و در حال حاضر نیز در اکثر نقاط کشور، به استثنای نواحی مرطوب شمال، مرسوم است. در غرب کشور بویژه در استان های کرمانشاه، کردستان و زنجان نخود از زراعت های عمده به شمار می رود. نخود معمولاً به صورت دیم و بدون آبیاری کشت می شود (بنائیان و کوچکی، ۱۳۶۸).

بر اساس آمار گزارش شده از سوی فائو (۲۰۱۱) سطح زیر کشت نخود در ایران ۵۶۲ هزار هکتار و تولید سالانه ۲۹۰ هزار تن با متوسط عملکرد ۴۷۵ کیلوگرم در هکتار می باشد. پایین بودن عملکرد نخود در کشور غالباً به دلیل کشت ارقام کم محصول و حساسیت آن به تنش های محیطی مختلف بوده و تنش خشکی به عنوان مهمترین تنش غیر زنده در کاهش عملکرد این گیاه مطرح شده است (باقری و همکاران، ۱۳۸۰). بررسی ها نشان داده تنش خشکی به تنهایی علت کاهش ۵۰ درصد عملکرد نخود است (ساکسنا، ۲۰۰۳). تنش خشکی در مناطق غرب آسیا و شمال آفریقا یکی از عوامل اصلی کاهش عملکرد نخود بشمار می رود. نخود از جمله گیاهانی است که از لحاظ ساختار مورفوفیزیولوژیکی، دارای تنوع ژنتیکی غنی است که می توان از تنوع موجود در جهت انتخاب و اصلاح ارقام مقاوم به تنش های محیطی، بخصوص تنش خشکی سود جست و به ارقام متناسب با شرایط

محیطی منطقه و دارای عملکرد کمی و کیفی بالا دست یافت (مورگان و همکاران، ۱۹۹۱). با این وجود به دلیل حساسیت اغلب ارقام و ژنوتیپ‌های موجود به تنش‌های مختلف زیستی و غیر زیستی عملکرد آن کم و ناپایدار است، به نحوی که با وجود افزایش ۸ برابری تولید غلات در سه دهه گذشته، افزایش عملکرد این گیاهان محسوس نبوده است (باقری و همکاران، ۱۳۸۰).

در شرایط کمبود آب در گیاهان تغییرات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی رخ می‌دهد. بررسی این تغییرات از نظر شناخت چگونگی مقاومت گیاهان در مقابل تنش خشکی اهمیت دارد. آزمایشات زیادی در جهت تعیین تحمل به خشکی در نخود انجام شده است. بالدیو طی آزمایشی برای تعیین اثر یک یا دو آبیاری در نخود به این نتیجه رسید که آبیاری در حین پرشدن نیام، ۲۵ درصد عملکرد نخود را افزایش می‌دهد. این امر مبین آن است که محصول دانه نخود عمدتاً در اثر خشکی کاهش پیدا می‌کند (بالدیو، ۱۹۸۸).

برای افزایش تولید و بالابردن مقاومت گیاهان در مقابله با تنش خشکی از روش‌های گوناگون استفاده شده است، اما به کارگیری مستمر و زیاد این روش‌ها موجب تغییر در خواص فیزیکی و شیمیایی خاک شده است و در چند دهه اخیر مصرف نهاده‌های شیمیایی در اراضی کشاورزی موجب معضلات زیست محیطی عدیده‌ای از جمله آلودگی منابع آب، افت کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش حاصلخیزی خاک‌ها گردیده است (شارما، ۲۰۰۲). امروزه زیان‌های اقتصادی و زیست محیطی ناشی از استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی در کشاورزی در سطح جهانی شناخته شده و بدیهی است که باید جایگزین مناسبی برای این نوع کودها در نظر گرفته شود (ابوت و مورفی، ۲۰۰۷).

بر اساس گزارشات اندک منتشر شده یکی از تیمارهایی که انتظار می‌رود در شرایط خشکی بر رشد و تولید گیاه تأثیر مثبت داشته باشد، تیمار امواج آلتراسونیک (فراصوت) است. معمولاً بالاترین فرکانس شنوایی انسان حدود ۲۰ و یا ۲۵ کیلوهرتز در نظر گرفته می‌شود و امواج آلتراسونیک فرکانسی خارج از محدوده شنوایی انسان دارند. این امواج به عنوان یک فناوری پیشرفته، کاربردهای زیادی در علوم و صنایع مختلف از جمله کشاورزی و صنایع غذایی پیدا کرده است. اثرات مکانیکی

امواج آلتراسونیک و کاویتاسیون‌های تولید شده، تأثیرات بسزایی در خصوصیات کیفی و کمی گیاهان بجا خواهند گذاشت. مکانیسم اثر امواج آلتراسونیک با فرکانس پایین به طور کلی به علت ایجاد حباب‌های بسیار ریزی است که در اثر انقباض و انبساط لحظه‌ای و نقطه‌ای ناشی از حرارت و فشار فوق‌العاده زیاد در محیط مایع ایجاد می‌شوند (در زمانی معادل یک هزارم ثانیه دما به ۵۵۰۰ درجه سانتی‌گراد رسیده و فشار تا ۵×10^4 کیلو پاسکال افزایش می‌یابد). این وضعیت باعث تغییرات فیزیکی و شیمیایی مولکول‌های مجاور می‌شود.

کاربرد این امواج روی بذور جو افزایش ۳۰ الی ۴۵ درصدی جوانه زنی را در مقایسه با تیمار شاهد نشان داد (یلداگرد، ۲۰۰۸). همچنین استفاده از امواج فراصوت در تیمار بذر تربچه موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی و افزایش ۱۳ الی ۱۶ درصدی طول ریشه‌چه نسبت به شاهد گردید (شیمومورا، ۱۹۹۰). در پژوهشی دیگر امواج فراصوت، وزن صد دانه و راندمان بیولوژیک لوبیا چشم بلبلی را در مقایسه با تیمار شاهد به طور چشم‌گیری افزایش داد (عبادی، ۱۳۹۱). همچنین پژوهش سرخی لاله لو (۱۳۸۸) نشان داد جوانه زنی بذور گیاه همیشه بهار با افزایش پرتودهی بیش از ۶ دقیقه امواج فراصوت با کاهش روبرو می‌شود. پژوهش‌های میلانی و همکاران (۱۳۹۰) حاکی از اثر مثبت این امواج در استخراج اینولین از ریشه بابا آدم بوده است. هم چنین مسکوکی و مرتضوی (۱۳۸۶) استفاده از امواج فراصوت را به عنوان یک روش اقتصادی در افزایش بهره‌وری و کاهش زمان خشک کردن انگور در تهیه کشمش معرفی کردند. می‌توان از امواج فراصوت در درجه بندی میوه‌ها و سبزیجات از نظر رسیدگی استفاده نمود (میزارچ و گالیلی، ۱۹۹۶). تیمار امواج آلتراسونیک با تولید حباب‌هایی در داخل مایعات، نقاط داغی ایجاد کرده و بدین ترتیب باعث افزایش انتقال گرما و انهدام میکروارگانیزم‌ها می‌شود (ایشیموری و همکاران، ۱۹۸۱).

افزایش تقاضای روز افزون مصرف‌کنندگان برای استفاده از محصولات با کیفیت، منجر به استفاده از تکنولوژی‌های جدید و بدون عوارض مانند امواج آلتراسونیک شده است که به کیفیت محصولات

غذایی (ارزش غذایی و ترکیبات شیمیایی) آسیبی نمی‌رساند. هدف ما بررسی این موضوع در جهت استفاده از این تکنولوژی سالم و کاربردی در کشاورزی است.

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱- اهمیت و موارد مصرف

لگوم (Legume) کلمه‌ای لاتین به معنی بذرهای تشکیل شده درون غلاف یا نیام می‌باشد. لگوم خوراکی به غلاف‌های نارس حبوبات، بذرهای خشک و خوراکی گیاهان خانواده لگومینوز اطلاق می‌گردد (سامرفیلد و همکاران، ۱۹۸۰). حبوبات به عنوان یکی از مهمترین منابع گیاهی غنی از پروتئین بعد از غلات، دومین منبع مهم غذایی انسان به شمار می‌رود، این گیاهان با تثبیت نیتروژن ضمن بهبود حاصلخیزی خاک، به صورت گیاهان پوششی و یا در تناوب با بسیاری از گیاهان زراعی در جلوگیری از فرسایش خاک مؤثر بوده و نقش مهمی در پایداری نظام‌های کشاورزی ایفا می‌نمایند و برای تنوع بخشی به نظام‌های کشت مبتنی بر غلات به عنوان محصولات ممتاز در نظر گرفته می‌شوند. علاوه بر آن، گیاهانی کم توقع اند که برای کشت در نظام‌های زراعی کم نهاده مطلوب هستند و لذا از نظر اکولوژیکی و زیست محیطی، ارزش مهمی در جلوگیری از افزایش آلودگی اراضی دارند (پارسا و باقری، ۱۳۸۷). از دیگر نقش‌های حبوبات می‌توان به برقراری تعادل عناصر معدنی خاک در کشاورزی زیستی (پاتل و همکاران، ۲۰۰۶)، شخم بیولوژیکی خاک و توانایی دسترسی به منابع رطوبتی اعماق به کمک سیستم ریشه‌ای عمیق و استفاده بعنوان کود سبز در بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اشاره کرد.

مصرف سرانه حبوبات در کشور ایران ۴/۸ کیلوگرم است، اگرچه مصرف آن از متوسط جهانی (۶/۱ کیلوگرم) پایین تر است، ولی در عین حال نقش مهمی در تغذیه مردم ایفا می‌نماید (اهدایی، ۱۳۷۳). حبوبات در حقیقت گوشت فقرا بوده و با کمبود پروتئین در جهان نقش این محصولات روشن تر می‌شود. به طور متوسط دانه حبوبات دارای ۱۸-۳۲٪ پروتئین می‌باشند که ۲-۳ برابر پروتئین غلات و ۱۰-۲۰ برابر پروتئین گیاهان غده‌ای است. یکی از مهم ترین راه حل‌های رفع کمبود پروتئین در کشورهای در حال توسعه افزودن پروتئین حبوبات به عنوان برطرف کننده نقص پروتئین غلات بوده که در بین حبوبات، نخود بیشترین مقبولیت غذایی را دارد. حبوبات همچنین مقادیر کمی

ویتامین‌های کاروتئین، ریوفلاوین (پیش ماده ویتامین آ)، اسید اسکوربیک (ویتامین ث)، نیاسین و تیامین دارند و از نظر عناصر معدنی آهن و کلسیم نیز غنی می‌باشند.

سطح زیر کشت حبوبات حدود ۶۹/۳ میلیون هکتار با تولید ۳/۴ میلیون تن گزارش شده است. در این گزارش سطح زیر کشت نخود ۱۱/۹۸ میلیون هکتار با تولید حدود ۱۰/۸۹۳ میلیون تن و متوسط عملکرد ۹۰۹/۵ کیلوگرم در هکتار بیان شده است (فائو، ۲۰۱۰). در ایران سطح زیر کشت حبوبات ۸۶۸۷۵۶ هکتار معادل ۶/۹۹ درصد اراضی زیر کشت است که ۸۵/۴۱ درصد آن دیم و ۱۴/۵۹ درصد آبی می‌باشد. نخود با ۶۴/۴۸ درصد، عدس با ۲۱/۸۳ درصد و لوبیا با ۱۰/۸۱ درصد بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده اند. استان کرمانشاه با ۱۵/۹۵ درصد بیشترین و استان بوشهر با کمتر از ۰/۰۱ درصد کمترین سطح زیر کشت حبوبات را دارا می‌باشند. تولید حبوبات ایران معادل ۵۰۸ هزار تن است که ۴۴/۱۷ درصد آن مربوط به اراضی آبی و ۵۵/۸۳ درصد آن حاصل اراضی دیم است. نخود با ۴۱/۱۵ درصد و لوبیا با ۳۵/۷۲ درصد به ترتیب در رتبه اول و دوم تولید حبوبات کشور قرار دارند. متوسط عملکرد نخود کشور در کشت آبی ۱۱۱۱/۴۸ کیلوگرم و در کشت دیم ۳۵۶/۸۸ کیلوگرم در هکتار است (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۸۹). بدلیل محدودیت آب و میزان کم بارندگی، ۴۹/۷۸ درصد سطح زیر کشت محصولات زراعی کشور در شرایط دیم است (صباغ پور، ۱۳۸۲). ایران چهارمین رتبه را از نظر سطح زیر کشت نخود در جهان بعد از هند، پاکستان و ترکیه دارا است (صباغ پور و همکاران، ۲۰۰۳a؛ ۲۰۰۴). ۹۵٪ سطح زیر کشت نخود در شرایط دیم است. نخود در بین سایر حبوبات از نظر سطح زیر کشت و میزان تولید دارای رتبه اول است (صباغ پور، ۱۳۸۵). وجود نخود و عدس در ۷۰۰۰-۶۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح تأیید شده است. نخود از گیاهان مهم فصل خشک مناطق نیمه حاره شبه قاره هند و یکی از سه لگوم مهم غرب آسیا و شمال آفریقا است. این گیاه بومی آسیای غربی و احتمالاً از این منطقه به اروپا و هندوستان انتشار یافته است (موهل باور و تولو، ۱۹۹۷).

۲-۲- تاریخچه و اهلی شدن

نخود یک محصول قدیمی است که اولین ثبت تاریخ آن از خاورمیانه به سال ۶۲۵۰ قبل از میلاد بر می گردد. این محصول به کشورهای دیگر با شرایط آب و هوایی خشک، نیمه خشک و نیمه گرمسیری گسترش یافت. زمان تغذیه از نخود ممکن است به هفت تا هشت هزار سال قبل از میلاد همراه با گندم، جو و عدس بازگردد. بذور نخود در موارد نادری در مکان‌های ماقبل تاریخ در خاور نزدیک یافت شده است. بقایای بیشتری از عصر برنز از هزاره چهارم قبل از میلاد باقی مانده است. گفته می‌شود که اهلی شدن آن در هلال حاصلخیز شرق صورت گرفته است و از آنجا طی دوره‌ای بیش از ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح به ناحیه مدیترانه‌ای توسعه یافته است. نخود باستانی در دوره اولیه اهلی شدن با بذور بسیار کوچک شبیه به فرم‌های وحشی آن یافت شده است. احتمالاً انسان عامل انتخاب بذور درشت تر طی فرآیندهای بعدی اهلی شدن بوده است. در بین بوته‌های نخود تیپ‌های متفاوتی وجود دارد و در بین آن‌ها از تیپ اجداد وحشی *Creticulatum* تا تیپ رشدی ایستاده تر و تا حدی بذور و غلاف‌های درشت تر دیده می‌شود. در طول تکامل و اهلی شدن، گرایشی به سمت اشکال زراعی برای ژنوتیپ‌های گل سفید و دانه کرم با پوسته بذر صاف تر وجود داشته است. تشابه بین *C. reticulatum* و *C. arietinum* بیشتر در زمینه مورفولوژیک و سیتوژنتیک است و هیچ تلاقی طبیعی تاکنون گزارش نشده است. با این حال، به نظر می‌رسد که کمبودی در تنوع ژنتیکی داخل این گونه جهت تأمین مواد لازم برای یک برنامه اصلاحی به منظور ترکیب تیپ رشدی مناسب، سازگاری بالا، مقاومت خوب به آفات و بیماری‌ها، به علاوه عملکرد بالا وجود نداشته است (پارسا و همکاران، ۱۳۸۱).

جنس *Cicer* که در طایفه *Vicieae* طبقه بندی می‌شد، اخیراً در یک طایفه تک جنسی به نام *Cicereae* طبقه بندی شده است. این جنس متشکل از ۴۲ خویشاوند وحشی است که هشت مورد آن‌ها یکساله اند. تلاقی پذیری و باروری هیبریدها در تلاقی‌های بین گونه‌ای به عنوان مبنای طبقه‌بندی یکساله‌ها می‌باشند. از بین خویشاوندان وحشی نخود *C. reticulatum* تنها گونه‌ای است که

با گونه نخود زراعی یا *C.arietinum* تلاقی پذیری دارد و دو رگ کاملاً بارور با میوز عادی تولید می‌نماید. گونه وحشی *C.reticulatum* به عنوان یک نژاد وحشی نخود زراعی لحاظ شده و از این رو گاهی تحت عنوان زیرگونه‌ای از گونه *C.arietinum* به حساب می‌آید. به هر حال *C.reticulatum* به عنوان اولین اولویت خزانه ژنی نخود، *C.echinosp mum* دومین و گونه‌های *C.judacium*، *C.bijugum*، *C.pinnatifidum* و *C.cuneatum* به عنوان سومین خزانه ژنی به حساب می‌آیند (پارسا و همکاران، ۱۳۸۱).

۲-۳- گیاهشناسی و مورفولوژی

نخود زراعی یا معمولی با نام علمی *Cicer arietinum* L. متعلق به تیره Fabaceae و زیر رده Papilionaceae پروانه آساها می‌باشد (موهل باور و تولو، ۱۹۹۷). گیاهی دیپلوئید با $2n=2x=16$ کرموزوم و خودبارور است. نخود گیاهی مقاوم به خشکی است که نیاز به اقلیمی خشک و سرد دارد و دارای دو تیپ زمستانه و بهاره است. تیپ زمستانی آن دارای دانه‌های ریز بوده و بیشتر در ممالک شرقی آسیا و ایران کشت می‌شود. این دسته از گیاهان کوچک با گل‌های صورتی هستند. دانه‌های آن‌ها به رنگ‌های مختلف بوده و دارای رنگیزه آنتوسیانین می‌باشند. تیپ تابستانه آن دارای دانه‌های درشت و به رنگ کرم است. این تیپ نخود در کشورهای غرب آسیا و همچنین ایران کشت می‌شود. این دسته از گیاهان فاقد آنتوسیانین بوده و گل‌های آن‌ها سفید است. این تیپ نخود به تیپ مدیترانه‌ای هم مشهور می‌باشد. نخود نه تنها دمای بالا، بلکه دمای پائین را نیز به خوبی تحمل می‌کند. جوانه زنی بذرها در دمای ۲ تا ۵ درجه سانتی‌گراد آغاز می‌شود دمای مطلوب برای رشد آن ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد است (اشرف و صیادیان ۱۳۷۹).

نخود گیاهی یکساله با تیپ بوته ایستاده، نیمه ایستاده یا خوابیده به ارتفاع ۲۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر است و دارای ترک‌ها و پرزهای غده دار و بوته آن به رنگ سبز زیتونی تا سبز متمایل به آبی است. بوته نخود ممکن است دارای شاخه دهی کم یا زیاد باشد. سیستم ریشه‌ای نخود قوی و تا عمق

حداکثر ۲ متر می‌تواند ادامه یابد اما قسمت عمده آن در عمق ۶۰ سانتیمتری قرار دارد. برگ‌ها، شانه‌ای و متناوب و دارای ۸-۳ جفت برگچه و یک برگچه انتهایی هستند. برگچه‌ها بیضی شکل به طول ۰/۶ تا ۲ سانتی‌متر و به عرض ۰/۳ تا ۱/۴ سانتی‌متر و نوک تیز و ریشک دار هستند. برگ‌ها گوشواره دار، به رنگ سبز متمایل به زرد تا سبز تیره بوده و برگچه‌ها متناوب تا متقابل، بیضی شکل، چسبیده به محور برگ (بدون دم‌برگچه) و نوک تیز و بدون گوشواره هستند. گل آذین دارای یک و گاهی دو گل روی دمگل بلند و باریک بوده و دمگل‌ها هنگام رسیدگی یا پر شدن غلاف‌ها بر می‌گردند. گل‌ها پروانه ای شکل و به رنگ سفید صورتی تا ارغوانی (کم رنگ یا آبی) دیده می‌شوند. کاسه گل به طول ۷-۱۰ میلی‌متر، پنج قسمتی، نیمه منظم، زنگوله‌ای شکل پوشیده از کرک‌های غده‌ای و کاسبرگ‌ها نیز نیزه‌ای شکل و پایا هستند، اما جام گل فاقد کرک‌های غده دار است. هر گل دارای ۱۰ عدد پرچم به صورت دیا دلفوس^۱ (۱+۹) و تا حدی خمیده بوده و بساک‌ها در پایه به هم متصل و به شکل بیضی و زرد رنگ می‌باشد. تخمدان تقریباً بدون پایه بوده و خامه آن خمیده رو به بالا و دارای کلالة پهن می‌باشد. تخمدان متورم و کرک دار است. غلاف‌های نخود، متورم به شکل بیضوی یا لوزی، به ابعاد ۲۹-۲۴ میلی‌متر (طول) و ۲۰-۸ میلی‌متر (عرض) بوده و دارای ۲-۱ و گاهی ۳ دانه می‌باشد. روی پوست غلاف، کرک‌های غده ای و ترشحي وجود دارد. دانه‌ها کروی، گوشه دار با منقار کاملاً مشهود، به رنگ کرم تا قهوه‌ای، سبز یا سیاه بوده و سطح دانه نیز صاف یا چروکیده می‌باشد. رنگ پوسته بذر ممکن است با رنگ گل همبستگی داشته باشد. بدین صورت که ژنوتیپ‌های دارای بذور تیره تر (دسی^۲) دارای گل‌های رنگی (اغلب ارغوانی) و ژنوتیپ‌های با بذر سفید تا کرم دارای گل‌های سفید رنگ می‌باشد. گیاهچه‌ها بسته به شرایط، ۷-۱۰ روز پس از کشت سبز می‌شوند. جوانه زنی بذر نخود به صورت درون خاکی (هیپوجیل^۳) صورت می‌گیرد. دو برگ اولیه روی گیاهچه، ساده و متقابل هستند (باقری و همکاران، ۱۳۷۶).

^۱ -Diadelphus

^۲ -Desi

^۳ -Hypogel

نخود گیاهی با رشد نامحدود است که غلاف‌های آن به طور همزمان به مرحله بلوغ نمی‌رسند. هنگامی که دمای روز ۲۵ و دمای شب ۱۴ الی ۱۵ درجه سانتی‌گراد باشد این گیاه بهتر رشد کرده و به بلوغ می‌رسد. نخود گیاهی روز بلند است و اثر متقابل درجه حرارت و طول روز تاریخ گل دادن آن را کنترل می‌نماید. بین تعداد شاخه فرعی بوته و عملکرد گیاه رابطه مستقیم وجود دارد. تراکم بوته در واحد سطح، تعداد شاخه فرعی بوته و تعداد غلاف را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با افزایش تراکم و دور شدن از تراکم مطلوب، تعداد غلاف کاهش می‌یابد. از طرفی با کاهش تراکم و دور شدن از تراکم مطلوب نیز قادر به جبران کاهش محصول حتی با افزایش تولید بیشتر شاخه‌های فرعی نمی‌باشد. با بزرگ شدن غلاف، معمولاً تعداد گل و تعداد غلاف در بوته کاهش می‌یابد. غلاف نخود با توجه به داشتن کلروفیل و انجام عمل فتوسنتز، در مناطق خشک دارای اهمیت است (باقری و همکاران، ۱۳۷۹).

این گیاه در اکثر خاک‌ها، مخصوصاً بافت لوم که به اندازه کافی دارای آهک هستند رشد می‌کند. بافت‌های سنگین، رسی و مرطوب مناسب گیاه نیستند. نخود به شوری خاک بسیار حساس بوده و باعث کاهش جوانه زنی شده و در نتیجه منجر به عدم یکنواختی در سبز شدن آن می‌شود. دانه‌های نخود در خاک‌های شور پروتئین کمتری داشته و درصد جوانه زنی آن کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه نخود گیاهی سرما دوست است عمدتاً در فصل پائیز و اوایل تا اواسط زمستان به عنوان کشت پائیزه و انتظاری و در اواخر فصل زمستان و اوایل بهار (فروردین ماه) با توجه به بارندگی‌های فصل به صورت بهاره کشت می‌شود (باقری و همکاران، ۱۳۷۹).

تمام حبوبات در دوره جوانه زنی و سبز شدن نیاز زیادی به آب دارند. آبیاری به موقع و منظم یکی از عملیات لازم داشت نخود است. نخود همان قدر که از کم آبی صدمه می‌بیند (مرحله گرده افشانی)، زیادی آب نیز اثر منفی بر عملکرد آن دارد. آبیاری بیشترین اثر خود را در مرحله گلدهی گیاه نشان می‌دهد. گیاه نخود رشد زایشی خود را در حالی کامل می‌کند که تقاضای تبخیر اتمسفری روند افزایشی داشته و در نتیجه مراحل رسیدگی گیاه با کمبود رطوبت خاک همراه می‌شود (دورانت و

همکاران، ۱۹۹۳). نخود قادر است آب را از اعماق بیشتر از ۱۵۰ سانتی متر خاک جذب کند اما بیشترین جذب آب از عمق ۶۰ سانتی متری خاک که بیشتر ریشه ها در آنجا متمرکز شده اند انجام می پذیرد (کوچکی، ۱۳۶۴).

نخود در نیمکره شمالی بین مدار ۲۰ تا ۴۰ درجه عرض شمالی کشت می شود و در سطح محدودی نیز بین ۱۰ تا ۲۰ درجه عرض شمالی در ارتفاعات نسبتاً زیاد هندوستان و اتیوپی به کشت این گیاه اختصاص یافته است (باقری و همکاران، ۱۳۷۹).

۲-۴- شرایط لازم برای رشد گیاه

همانطور که قبلاً گفته شد، عمدتاً گیاه نخود در نیمکره شمالی و بین مدار ۲۰-۴۰ درجه عرض شمالی کشت می شود و ایران در عرض های جغرافیایی بین ۲۶ تا ۳۸ درجه قرار گرفته است. نخود نوع کابلی در مناطق معتدل بالای ۳۰ درجه عرض شمالی و نخود دسی در نواحی گرمسیری نیمه خشک، بیشتر بین مدار ۲۰-۳۰ درجه عرض شمالی رشد می کند (سینگ و دل سایت، ۱۹۹۲).

مهمترین عوامل محیطی مؤثر بر رشد نخود عبارتند از:

۲-۴-۱- دما

حرارت مناسب رشد و نمو آن بین ۲۰-۳۰ درجه سانتی گراد می باشد. حداقل دمای جوانه زنی برای نخود ۵-۶ درجه و مناسب ترین دما ۹-۱۲ درجه سانتی گراد است. با افزایش دما سرعت جوانه زدن بذر افزایش می یابد. حداقل درجه حرارت برای رشد اندام های رویشی ۵-۶ درجه و مناسب ترین دما ۱۷-۱۸ درجه سانتی گراد است. حرارت مناسب در مرحله زایشی ۱۷-۲۱ و برای دوره غلاف و بذردهی ۲۰-۲۴ درجه سانتی گراد می باشد. نخود تا حدود زیادی شرایط نامساعد محیطی مانند خشکی، گرما و سرما را تحمل می کند، بیشتر ارقام نخود زراعی سرمای ۱۰-۱۲ درجه سانتی گراد زیر صفر را به خوبی تحمل می کنند. در مناطق معتدله و سردسیر کشور بهتر است نخود در بهار زودتر کشت شود (وراکشت) تا از نزولات بهاره استفاده کامل را ببرد، سرمای اوایل بهار به بوته ها آسیبی نمی زند، اما

چنانچه در بهار دیرتر کاشته شود نه تنها میزان محصول به شدت کاهش می‌یابد بلکه میزان مواد غذایی موجود در بذر نیز کم می‌شود.

۲-۴-۲- خاک

گیاه نخود قادر است در دامنه وسیعی از خاک‌ها رشد نماید، نخود بیشتر از سایر حبوبات شوری خاک را تحمل می‌کند ولی در خاک‌های سنگین محصول خوبی نمی‌دهد زیرا به تهویه نامناسب و رطوبت زیاد خاک خیلی حساس است. در خاک‌هایی که زهکشی نامناسبی دارند ریشه نخود به خوبی رشد نمی‌کند و ممکن است بوته‌ها دچار بیماری پوسیدگی ریشه و طوقه شوند. خاک‌های شنی-رسی، لوم رسی با کمی آهک و عاری از نمک‌های محلول مناسب رشد نخود است. خاک‌هایی با اسیدیته ۵/۵-۸/۶ برای رشد آن مناسب می‌باشد (مجنون حسینی، ۱۳۸۷).

۲-۴-۳- رطوبت

در زراعت‌های دیم و یا در کوهپایه‌ها محصول نخود به کمک رطوبت ذخیره شده خاک و بارندگی‌های فصل کشت و کار می‌شود. کشت دیم نخود با ۶۰۰-۹۰۰ میلی‌متر بارندگی مناسب می‌باشد، ولی در مناطقی با کمتر از ۴۰۰ میلی‌متر بارندگی آبیاری تکمیلی در کشت نخود سودمند است (مجنون حسینی، ۱۳۸۷). به طور کلی نخود بین ۱۱۰ تا ۲۴۰ میلی‌متر آب مصرف می‌کند تا حدود ۹۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بذر تولید کند (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۸۶). در زراعت آبی، بلافاصله بعد از کاشت مزرعه را آبیاری می‌کنند و نوبت‌های بعدی آبیاری در صورت وجود بارندگی کافی تا هنگام به گل نشستن در فصل بهار ممکن است به تعویق افتد. ۳-۴ مرتبه آبیاری به فاصله هر ۷-۱۰ روز یک بار از شروع گلدهی تا رسیدن دانه‌ها لازم می‌باشد و آبیاری بیشترین اثر خود را در مرحله گلدهی نشان می‌دهد (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۸۶).

۲-۵- زمان کاشت نخود

فصل کاشت نخود در مناطق کم ارتفاع و عرض‌های جغرافیایی پایین، در پاییز (آبان ماه) یا اوایل زمستان (در کشت انتظاری) است. در کشت انتظاری با شروع فصل سرما (زمستان) کشت انجام می‌شود. در طول فصل زمستان به دلیل پایین بودن دمای خاک، بذر جوانه نزده و به مجرد گرم شدن هوا در اواخر زمستان بذور جوانه می‌زنند. از مشکلات اساسی در کشت انتظاری رقابت شدید علف‌های هرز هنگام گرم شدن هوا و سبز شدن محصول است که در این حالت نیاز به کنترل شیمیایی و مؤثر علف‌های هرز می‌باشد (باقری و همکاران، ۱۳۷۶). در عرض‌های جغرافیایی بالاتر مانند نواحی معتدل و مدیترانه‌ای کاشت نخود در اواخر زمستان (اسفند ماه) یا اوایل بهار انجام می‌شود (مجنون حسینی، ۱۳۸۷). نخود در ایران در فاصله بین ماه‌های اسفند و اردیبهشت کاشته می‌شود (کوچکی و بنیان اول، ۱۳۸۶). در این مواقع طول روز رو به افزایش است و به این ترتیب، سرعت رشد محصول (CGR)^۴ افزایش خواهد یافت.

۲-۶- نیازهای غذایی نخود

استفاده صحیح از کود می‌تواند باعث افزایش عملکرد شود. این گیاه اکثراً برای افزایش محصول نیاز به کودهای فسفره، پتاس‌دار و آهک دارد. مقدار کل نیتروژن، فسفر و پتاسیم جذب شده از خاک توسط نخود به ترتیب حدود ۲۰۰-۶۰، ۱۴-۸ و ۱۶۰-۶۰ کیلوگرم در هکتار بوده که با توجه به مقدار محصول متفاوت خواهد بود.

۲- نیتروژن

نخود نیازی به کودهای نیتروژن به مقدار زیاد ندارد زیرا قادر به تثبیت نیتروژن هوا و تأمین بخشی از نیتروژن مورد نیاز خود می‌باشد. اما چنانچه در زمین اولین بار کشت می‌شود باید قبل از کاشت بذرها به تلقیح و آلوده‌سازی آن‌ها با گونه ریزوبیوم مناسب اقدام شود. به طور کلی در موقع

⁴ Crop Growth Rate

کاشت نخود حدود ۲۵-۱۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مصرف می‌شود (مجنون حسینی، ۱۳۸۷). علائم کمبود نیتروژن در نخود شامل کلروزه شدن برگ‌های پیر می‌باشد. این علائم معمولاً زمانی در نخود ظاهر می‌شود که تثبیت بیولوژیک نخود دچار نقصان شده باشد یا میزان نیتروژن در خاک پایین باشد. دیگر علائم کمبود نیتروژن شامل ایجاد رنگدانه‌های زرد در ساقه‌ها و سطوح بالائی برگ‌های قدیمی است.

۲- فسفر

واکنش نخود به فسفر متغیر است، جایی که آب عامل محدودکننده‌ای برای رشد گیاه باشد معمولاً گیاه به فسفر واکنش نشان می‌دهد حتی اگر خاک از نظر فسفر در دسترس گیاه فقیر نباشد. آزمایشات در انستیتو تحقیقات زراعی در مناطق نیمه خشک حاره (ICRISAT) نشان داده است که نخود هنگامی که در خاک تنها ۲ ppm فسفر قابل دسترس وجود داشته باشد کمبودی نشان نمی‌دهد. به نظر می‌رسد یا نیاز به فسفر در این گیاه کم است یا جذب فسفر از خاک توسط نخود بسیار کارآمد است، به هر حال حدود ۹۰ کیلوگرم فسفر در هر هکتار بدون تماس بذر و در عمقی پایین‌تر از آن مصرف می‌شود (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۸۶). واکنش گیاه به مصرف کود فسفر به میزان فسفر موجود در خاک بستگی دارد، در شرایط طبیعی وجود ۵-۳ ppm فسفر در خاک برای تأمین نیاز نخود کافی است. کمبود این عنصر در خاک از تثبیت نیتروژن به طریق همزیستی جلوگیری می‌کند (مجنون حسینی، ۱۳۸۷) و علائم کمبود آن در نخود شامل سبز تیره شدن شاخ و برگ و ایجاد رنگدانه‌های قرمز مایل به ارغوانی در ساقه و سطوح بالایی برگچه و برگ‌های پایینی است، سپس برگ‌ها و برگچه‌ها به رنگ سبز متمایل به زرد در می‌آیند.

۳- پتاسیم

در مورد عکس العمل نخود به پتاسیم تلاش زیادی انجام نشده است. در مطالعات اولیه‌ای که ساکسنا و یاداو (۱۹۷۶) انجام دادند گیاه به پتاسیم عکس العمل نشان نداد، زیرا اصولاً وضعیت پتاسیم قابل دسترس اکثر خاک‌هایی که نخود در آنجا کشت می‌شود، در حد بالایی است. علائم

شاخص کمبود پتاسیم در نخود شامل کلروز حاشیه و نوک برگ‌های پیر، ایجاد رنگدانه‌های قرمز در برگچه‌ها و نکروزه شدن آن‌ها، که در نهایت تمام قسمت‌های برگچه‌ها به رنگ قهوه‌ای روشن درمی‌آید.

۴- سایر عناصر غذایی

برای دستیابی به حداکثر عملکرد نخود نیاز به مقدار کافی گوگرد است. بدون گوگرد نخود قادر به تثبیت ازت به میزان لازم نخواهد بود. پس از آزمایش خاک چنانچه مقدار گوگرد آن حدود ۱۰ ppm باشد بایستی حدود ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار مصرف کرد. واکنش نخود به عنصر روی بسیار کم است و در صورتی که مقدار آن در خاک کمتر از ۰/۶ ppm باشد بایستی به مقدار ۵ کیلوگرم روی در هکتار مصرف کرد. در صورت کمبود منگنز نیز حدود ۱۰ کیلوگرم از آن در هر هکتار استفاده می‌شود. چنانچه pH خاک کمتر از ۵/۵ باشد و یا نخود برای سومین سال در مزرعه کاشته شود ناچاراً باید مولیبدن مصرف کرد. تا به حال گزارشی در مورد واکنش نخود به کلر، مس و آهن اعلام نشده است (کوچکی و بنیان اول، ۱۳۸۶).

۷-۲- تنش خشکی

حدود ۴۰ درصد اراضی زراعی جهان در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارند. کشور ما نیز در مناطق خشک و نیمه خشک جهان قرار گرفته و خشکی، تغییرات شدید مقدار، شدت و پراکنش بارندگی و نوسانات دمای هوا از ویژگی‌های این مناطق است. معمولاً خشکی برنامه ریزی توسعه‌ای کشور را دچار رکود می‌نماید و بحران‌های گسترده سیاسی، اجتماعی و اقتصادی را در سطح منطقه، قاره و حتی دنیا به وجود می‌آورد. خشکی در سال‌های اخیر بر منابع آب، کشاورزی، تولیدات دامی، مراتع، مهاجرت دام‌ها، طغیان علف‌های هرز، آفات و بیماری‌های گیاهی، مهاجرت، بهداشت و درمان جوامع تأثیر سوء زیادی داشته است. برنامه اصلاحی حبوبات در شرایط دیم باید در جهت افزایش عملکرد، پایداری آن، اصلاح فیزیکی، شیمیایی خاک و فاکتورهای بیولوژیکی آن باشد. تنش خشکی رایج ترین عامل محدودیت تولیدات گیاهی در جهان می‌باشد (صباغ پور، ۱۳۸۵). تنش خشکی بعد از

بیماری‌ها در نخود دومین عامل محدودیت تولید عملکرد مناسب بشمار می‌رود (سینگ و همکاران، ۱۹۸۸). این تنش در بین سایر عوامل تقریباً تا ۵۰ درصد از عملکرد نخود را کاهش می‌دهد (ساکسنا، ۱۹۸۷). تنش خشکی زمانی که آب موجود در خاک کاهش می‌یابد و شرایط جوی به دفع آب از طریق تبخیر و تعرق کمک می‌کند اتفاق می‌افتد (چارلیز، ۱۹۹۷). تنش خشکی کمبود آب در گیاه است که بر اثر بیشتر شدن مقدار تعرق از میزان جذب آب صورت می‌گیرد (بری، ۱۹۹۷). گیاهان در معرض سه نوع تنش خشکی قرار دارند:

- خشکی فصلی^۵ برای تولید اقتصادی گیاه زراعی بارندگی ناکافی است و بصورت دوره‌ای در حاشیه مناطق نیمه خشک و خشک اتفاق می‌افتد.

- خشکی موقتی^۶ دوره‌های تنش موقتی در مراحل نمو گیاه در مناطق نیمه خشک حادث می‌شود.

- خشکی انتهایی^۷ بیشتر در مناطق مدیترانه‌ای اتفاق می‌افتد و از رسیدگی معمول بذر جلوگیری می‌کند (کاظمی، ۱۳۸۷). این نوع تنش از عوامل اصلی کاهش عملکرد نخود است (صدیق و همکاران، ۲۰۰۰؛ صباغ پور، ۲۰۰۴).

تعاریف مختلفی از خشکی، در منابع علمی ارائه شده است. خشکی زمانی اتفاق می‌افتد که ترکیبی از عوامل فیزیکی و محیطی باعث تنش در گیاه و کاهش تولید بدلیل تأخیر یا عدم استقرار گیاه، تضعیف یا تخریب گیاه استقرار یافته، تضعیف گیاه در برابر حمله آفات و امراض، تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در متابولیسم گیاه می‌شود (لارسون و استاین، ۱۹۷۱). خشکی یک اصطلاح هواشناسی است که در مدت زمانی مشخص، مقدار بارندگی کمتر از مقدار تبخیر و تعرق بالقوه می‌شود. خشکی بر اثر یک یا چند عامل آب و هوایی کاهنده میزان آب در گیاه، بوجود می‌آید و شرایط خاک و هوا و یا هر کدام را، جهت عدم دسترسی گیاه به آب کافی تغییر می‌دهد؛ ادامه این

^۵ Seasonal Drought

^۶ Transient Drought

^۷ Terminal Drought

وضع باعث از دست رفتن آب بافت‌های گیاه و خشکی می‌شود (لویت، ۱۹۸۰). بعضی وقت‌ها فیزیولوژیست‌ها آن را به اثر تنش آبی روی سلول بکار می‌برند که تنش آبی می‌تواند در کوتاه مدت هم روی دهد (حکمت شعار، ۱۳۷۲). به عبارت دیگر زمانی که تلفات آب از گیاه بر اثر تعلق، بیشتر از جذب آن شود، در گیاه کمبود آب حادث شده و گیاه دچار تنش خشکی می‌شود. وقوع خشکی ممکن است بصورت پیوسته که شدت آن دائما زیاد می‌شود یا در اوایل فصل و یا در اواخر فصل رویش و هم زمان با پر شدن دانه‌ها باشد (اهدایی، ۱۳۷۲). بر اساس گزارش بیکر (۱۹۹۴) زمانی که نسبت تبخیر و تعلق در گیاه کمتر از یک شود تنش کمبود آب حادث می‌شود.

از نظر علم کشاورزی خشکی زمانی که نزولات آسمانی، آب آبیاری و آب ذخیره در خاک طی فصل رشد با شرایط آب و هوایی معین، پاسخگوی نیاز گیاه برای حصول عملکرد مناسب نیست اتفاق می‌افتد. عدم توازن ذخیره آب داخل خاک و نیاز گیاه را خشکی می‌نامند (توماس، ۱۹۹۷). خشکی عدم وجود آب قابل دسترس از نظر کمیت و توزیع رطوبت در خاک طی دوره رشد و نمو گیاه است که باعث محدودیت بروز پتانسیل ژنتیکی عملکرد گیاه می‌شود (صبغ پور، ۱۳۸۵). زمانی که آب قابل دسترس خاک، آب مورد نیاز گیاه را تأمین نکند گیاه با تنش خشکی مواجه می‌شود و با توجه به شدت و طول دوره کمبود آب می‌تواند باعث آسیب به گیاه شود (سلطانی و فرجی، ۱۳۸۶).

۲-۸- اثرات تنش خشکی

نیلسن (۲۰۰۱) عقیده دارد واکنش‌های سازگاری در برابر کم آبی به شدت و مدت دوره کم آبی، مرحله تکاملی و پارامترهای مرفولوژیکی / آناتومیکی گیاه بستگی دارد. سلول‌های تمام جانداران دارای گیرنده‌ها، فرستنده‌ها و تنظیم کننده‌هایی برای محرک‌ها می‌باشند. دستگاه‌های پاسخ سلولی شامل: مواد انتقال دهنده^۸، محلول‌هایی مثل اکواپورین‌ها^۹، فعال کننده‌های رونویسی^{۱۰} یا رونوشت برداری،

^۸ Transporters

^۹ Aquaporins

^{۱۰} Transcriptional activators

آنزیم‌های سنتز کننده محلول‌های سازگار، تخریب کننده‌های اکسیژن فعال و پروتئین‌های محافظ می‌باشد.

دو مکانیسم مؤثر جهت زندگی و تجمع در آشیانه‌های اکولوژیک کم آبی سنتز مولکول‌های محافظ در مرحله آب کشیدگی برای جلوگیری از صدمه و فعال شدن مکانیسم جبرانی در طی جذب مجدد آب جهت خنثی سازی و جبران صدمات است (فیلیپس و همکاران، ۲۰۰۲). پیام دهنده‌های ویژه کلسیمی (پیام دهنده‌های ثانویه)، میزان کلسیم، سیگنال‌های فسفوریلاسیون، کانال‌های یونی ویژه و ترانسپورترها و نیز تشخیص زمان بسته شدن روزنه‌ها را تحت اثر القایی اسید آبسزیک (که خود به واسطه کاهش فشار تورگر سلول‌های محافظ صورت می‌گیرد) تنظیم می‌نمایند (شرودر و همکاران، ۲۰۰۱). واکنش گیاهان به تنش‌ها، با مدت و شدت تنش، ژنوتیپ، سن، مرحله نمو، اندام و نوع سلول گیاه در معرض تنش، رابطه دارد. اثرات متقابل گیرنده - لیگاند^{۱۱} و پروتئین-DNA و تغییر پروتئین‌ها از مکانیسم‌های کنترل تنش است. فسفوریلاسیون مکانیسم مؤثر و سریع برای تغییرات پس از ترجمه می‌باشد. سیگنال دهی کلسیم با افزایش موقتی غلظت یون‌های کلسیم در واکنش به یک سری از محرک‌های زنده و غیر زنده در گیاه مشاهده می‌شود (اوانز و همکاران، ۲۰۰۱). تغییر در سیالیت غشای سلولی باعث تغییر فعالیت کانال‌های یونی کلسیم و تغییر غلظت یون‌های کلسیم در سیتوزول (نفوذ از منابع خارجی یا ترشح واکوئلی) می‌شود. افزایش غلظت یون کلسیم در سیتوزول یکی از واکنش‌های اولیه به تنش خشکی است (ساندرز و همکاران، ۱۹۹۹). تجمع ساکارز در نتیجه آب کشیدگی با تحمل به خشکی ارتباط دارد. پاسخ گیاهان عالی به تنش خشکی پیچیده است که به اثرات تنش و پاسخ‌های گیاه در شرایط محیط بر می‌گردد. پاسخ‌های گیاهان به خشکی بصورت غیر مستقیم توسط فرآیندهای پاسخ به کمبود آب و فشارهای وابسته به آن (مثل گرمای برگ) در گیاه اتفاق می‌افتد (بلوم، ۱۹۹۶).

^{۱۱} لیگاندها اثرات بیولوژیکی را توسط ترکیب با گیرنده‌های خاص اعمال می‌کنند.

واکنش‌های گیاه به تنش آب در سطح سلول بصورت کاهش پتانسیل آب یا فعالیت سلولی، افت فشار تورژسانس سلول، تراکم مولکول‌های کوچک و درشت (حجم سلول در اثر افت تورژسانس کاهش می‌یابد)، به هم خوردن روابط فضای پلاسمایی، تونوپلاست و غشاهای ارگانی بر اثر تغییرات حجمی و تغییر در ساختمان و شکل ماکرومولکول‌ها (بر اثر حذف آب هیدراسیون یا از تغییر ساختمان آب پیوندی) مشاهده می‌گردد.

تنش خشکی سیستم اسیدهای نوکلئیک را که ارتباط نزدیکی با ساخت پروتئین دارند مختل می‌کند (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۸۶b). واکوئل‌ها به سرعت در برخورد با خشکی آب خود را از دست می‌دهند. آب سیتوپلاسم با ثبات تر از آب واکوئل است و کلروپلاست حداکثر قدرت حفظ آب را دارد (حیدری شریف آباد، ۲۰۰۸). در شرایط تنش کمبود آب، سلول و بافت گیاه آماس کامل ندارد (علیزاده، ۱۳۸۳). کاهش رشد بر اثر کاهش آماس سلولی از عمده ترین آسیب‌های وارده به گیاه بر اثر کمبود آب است که تا حدودی قابل برگشت می‌باشد. تقسیم و اندازه سلول به تنش خشکی حساس است. ولی تعداد سلول برگ در گیاهان تحت تنش و غیر تنش مشابه بوده است (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۸۶b). انتقال فسفر از برگ‌های مسن به ساقه و بافت‌های مریستمی از اولین علائم تنش خشکی است. جذب فسفر بعلا از بین رفتن ریشه‌ها در شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابد (فورد، ۱۹۷۲). تنش خشکی باعث کاهش پتانسیل آب برگ و وزن خشک دانه در ژنوتیپ‌های لوبیای معمولی می‌شود (سانتوز و همکاران، ۲۰۰۶). کاهش فتوسنتز بر اثر افت پتانسیل آب ناشی از کاهش هدایت روزنه‌ای برگ‌ها و افت میزان کلروفیل صورت می‌گیرد. تنش خشکی با ارسال پیام‌های ویژه‌ای باعث تبدیل فرم رویشی به زایشی در گیاه می‌شود که مراحل رشدی گیاه تسریع می‌گردد (دسکلاکس و همکاران، ۲۰۰۰). طول دوره رشد و تغییر مراحل رشد باعث تغییر اجزای عملکرد در شرایط مختلف رطوبتی گیاه می‌شود (رزالس سرنا و همکاران، ۲۰۰۴). معمولا در اثر تنش آب مقدار کل ریشه کاهش می‌یابد ولی نسبت ریشه به شاخه و برگ (در مورد باقلا) افزایش می‌یابد (سینگ، ۱۹۹۱). تاثیر مهم تنش خشکی در مرحله جوانه زنی و سبز شدن، کاهش تعداد بوته در واحد سطح است. با افزایش مقدار

رطوبت خاک، درصد سبز شدن افزایش یافته و زمان لازم تا رسیدن به ۵۰ درصد سبز شدن، کاهش می‌یابد. اهمیت کمبود آب، زمانی بیشتر است که آب کافی برای جوانه زنی وجود داشته باشد ولی رشد جوانه‌ها و گیاهچه‌های تازه استقرار یافته با کمبود آب مواجه گردد (فرجی، ۱۳۸۸). تنش رطوبت و کمبود مولیبدن باعث کاهش مقدار تثبیت نیتروژن می‌شوند (اسواراج، ۱۹۸۷).

خشکی با سه روش عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد: ۱- با کاهش سطح برگ که ناشی از پژمردگی و جمع شدن پهنک برگ در شرایط تنش شدید و در نهایت پیری زودرس برگ‌های گیاه می‌باشد جذب تشعشعات فعال فتوسنتزی توسط کانوپی کاهش می‌یابد (ایرل و دیویس، ۲۰۰۳). ۲- کارایی مصرف نور به ازای واحد نور جذب شده کاهش می‌یابد. این کاهش توسط سنجش میزان ماده خشک تجمع یافته به ازای واحد نور جذبی در یک دوره زمانی خاص بدست می‌آید (استون و همکاران، ۲۰۰۲). ۳- کاهش سریع گاز کربنیک تبدلی به ازای واحد نور جذب شده (کرامر، ۱۹۸۳). تنش خشکی در دوره پر شدن دانه کلزا باعث تسریع در پیر شدن برگ‌ها، کاهش سطح برگ، تولید ماده خشک، وزن دانه و عملکرد شد (بی نام، ۲۰۰۹). عملکرد دانه در نخود ۳۰ تا ۱۰۰ درصد بر اثر خشکی کاهش می‌یابد (توکر و کانسی، ۲۰۰۶). در تحقیق سه ساله‌ای که روی ارقام لوبیا صورت گرفت تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه، میزان تجمع بیوماس، سرعت تجمع ماده خشک و شاخص برداشت شد (پادیل-رامیرز و همکاران، ۲۰۰۵). فرجی (۱۳۸۸) گزارش نمود کمبود آب در دوره گلدهی کلزا، از طریق کاهش سطح برگ، دوام سطح برگ، تعرق، فتوسنتز و تولید ماده خشک، طول دوره گلدهی، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد غلاف، طول غلاف و تعداد دانه در غلاف باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود. تنش کمبود آب در طی مرحله رویشی ممکن است سبب تحریک و سرعت بخشیدن به رشد زایشی شود (فرجی، ۱۳۸۸). خشکی اغلب با درجه حرارت بالا و کمبود مواد غذایی، باعث افت شدید عملکرد گیاه می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۳). تنش خشکی از شرایط محیطی موثر بر تغییر مقدار تثبیت انرژی خورشید در نباتات است (وفابخش و همکاران، ۱۳۸۷).

۹-۲- کارایی مصرف آب

عملکرد اقتصادی گیاه به ازای هر واحد آب مصرفی را کارایی مصرف آب می‌گویند (علیزاده و کوچکی، ۱۳۷۰) که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$WUE = Y / ET \quad (۱-۲)$$

که در آن WUE کارایی مصرف آب، Y عملکرد اقتصادی، ET تبخیر و تعرق می‌باشد. کارایی مصرف آب از عوامل مهم در برنامه ریزی آبیاری مزرعه می‌باشد. این واژه و مقاومت به خشکی در برخی موارد بصورت مترادف بکار می‌روند درحالی‌که در اغلب مواقع با هم ارتباطی ندارند. عملکرد و کارایی مصرف آب می‌توانند با یکدیگر رابطه مستقیم داشته باشند. به صورتی که اگر میزان آب مصرف شده برای تبخیر و تعرق نوسان زیادی نداشته باشد. افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب به صورت توأم حادث می‌شود. ولی اگر افزایش عملکرد با افزایش مصرف بیش از حد آب همراه باشد رابطه بین کارایی مصرف آب و عملکرد دانه تغییر کرده و حتی معکوس می‌شود (نادوراوژن و همکاران، ۱۳۸۴). شیب رابطه خطی بین تولید ماده خشک و تبخیر و تعرق، میزان آب مورد استفاده را نشان می‌دهد (بویر، ۱۹۹۶). عملکرد بیشتر تحت تأثیر عوامل زراعی بوده و تبخیر و تعرق تابع عوامل اقلیمی است. کاربرد کودهای شیمیایی با افزایش عملکرد، باعث افزایش کارایی مصرف آب می‌شوند (اوتگول، ۱۹۹۷). کارایی مصرف آب، تعرق و آب هدر رفته بر اثر تبخیر از سطح خاک را شامل می‌شود (ایوانس و وایانس، ۱۹۹۳). تبخیر ۴۰-۷۵ درصد از کل آب از دست رفته را شامل می‌شود (ریچارد، ۱۹۹۱). در صورت پوشش سطح خاک و وجود رطوبت کافی تبخیر و تعرق به پوشش گیاهی وابسته نیست که عملاً این شرایط در مناطق خشک به ندرت اتفاق می‌افتد (علیزاده و کوچکی، ۱۳۷۰). در بررسی تنش کم آبی روی لوبیا، کاهش کارایی مصرف آب نسبت به تیمار بدون تنش مشاهده شده است (مانوز-پریا و همکاران، ۲۰۰۵).

در بعضی مواقع نیاز بالای اتمسفری و مکش زیاد اتمسفر و همچنین عدم توانایی گیاه در جذب آب سبب بروز پدیده "حفره سانی" یا ایجاد حباب‌های هوا در آوندهای چوبی گیاه شده که با بستن

آوندها عمل آن‌ها در انتقال آب و مواد غذایی مختل می‌شود (سلطانی و فرجی، ۱۳۸۶). در این ارتباط وجود آوندهای باریک می‌تواند نقش زیادی در افزایش تحمل آوندها نسبت به پدیده حفره سانی داشته باشد و در نتیجه انتخاب ارقام با قطر آوند چوبی کم می‌تواند در افزایش تحمل آن‌ها به تنش خشکی مفید باشد. ذکر این نکته ضروری است که کمتر بودن قطر آوندها با کاهش قابلیت هدایت هیدرولیکی آن‌ها همراه است و این مسأله می‌تواند تحت شرایط مناسب رطوبتی، از طریق کاهش توانایی انتقال آب و مواد غذایی، باعث کاهش عملکرد شود.

۲-۱۰- مکانیسم های مقاومت به خشکی

جهت اصلاح گیاه در مقابل خشکی نیاز به اطلاعات کاملی از مجموعه عوامل محیطی کاهنده بارندگی می‌باشد که این عوامل در هر منطقه، خاص آن منطقه می‌باشند (گوتو و همکاران، ۱۹۷۹). برخی محققین تنش گرما را برای انتخاب ارقام مقاوم به خشکی به علت کنترل آسان تر آن نسبت به خشکی، بکار می‌برند. دو روش مقاومت به خشکی، اجتناب از خشکی^{۱۲} و تحمل خشکی^{۱۳} توسط لویت (۱۹۸۰) بیان شده است. تحمل خشکی از نظر متخصصین مختلف موارد زیر را در بر می‌گیرد:

- بیولوژی سلولی: زنده ماندن سلول به تنهایی یا در موجود تک سلولی به کمک سازگاری تنظیم اسمری.

- بیوشیمی: تحمل بازدارندگی ساخت پروتئین و بقای mRNA در شرایط کمبود آب در موجود زنده.

- فیزیولوژی: ادامه رشد تحت شرایط تنش آب.

- زراعت: پایداری عملکرد گیاه در شرایط تنش رطوبت.

همبستگی بین صفات و مرفولوژی نشان می‌دهد که گیاه بیشتر مکانیسم فرار از خشکی را از طریق سرعت رشد، گلدهی زودتر و زودرسی ترجیح می‌دهد. در شرایط تنش خشکی شدید این حالت

¹² Drought Avoidance

¹³ Drought Tolerance

برعکس است. زیرا ممکن است بوته ها زنده باشند ولی بدلیل شدت خشکی نتوانند به مرحله زایشی بروند و عملکردی تولید نمایند (گوپتا و همکاران، ۱۹۹۵). دراین شرایط به عقیده ترنر (۱۹۷۹) اجتناب از خشکی اهمیت پیدا می کند. بدین صورت که گیاه با نگهداری حالت آماس توسط تغییر در سیستم ریشه یا تنظیم سطح برگ می تواند دوره خشکی را تحمل کند. در هر صورت ترکیبی از اجتناب و تحمل نیاز است (گوپتا و همکاران، ۱۹۹۵).

اصلاح برای خشکی در سویا (بویر، ۱۹۹۲)، گندم (هورد، ۱۹۷۶) از طریق اجتناب و در گندم (بویر، ۱۹۸۲) از طریق تحمل انجام شده است. اصلاح برای خشکی از طریق فرار برای گندم، جو، نخود و عدس که در شرایط رطوبت ذخیره شده رشد می کنند و ارقام زودرس قبل از مواجه شدن با تنش خشکی تولید بذر می کنند ساده است. گیاهان از سه طریق فرار از خشکی، اجتناب از پسابیدگی و تحمل به پسابیدگی به تنش خشکی سازگاری نشان می دهند (صباغ پور، ۱۳۸۵).

۲-۱۰-۱- فرار از خشکی

فرار از خشکی^{۱۴}، روشی مناسب جهت اصلاح فنولوژی گیاه در مناطق با فصل رشد کوتاه و تنش خشکی آخر فصل زراعی می باشد (ترنر، ۱۹۸۶). انتخاب واریته های زودرس برای این مناطق مطلوب است. فرار از تنش خشکی با کوتاه کردن یا تنظیم دوره زندگی گیاه یکی از موثرترین روش های سازگاری گیاه است (ایوانس و وایانس، ۱۹۹۳). واکنش شامل حفظ تعادل بین فعالیت های ریشه و ساقه می باشد که با ارسال پیام هایی، سرعت گسترش برگ و بسته شدن نسبی روزنه ها کنترل می شود. فرار از خشکی به کمک شناخت ارقام زودرس قابل اجرا است. زودرسی در مناطق مدیترانه بدلیل برخورد با درجه حرارت پایین و یخبندان در هنگام زود گلدهی دارای محدودیت است. زودرسی باعث می شود گیاه قبل از کاهش رطوبت خاک بتواند حداکثر ماده خشک ممکن را تولید کند. ژنوتیپ های زودرس با قابلیت جوانه زنی سریع در بستر بذر نسبتاً کم رطوبت، قدرت رشد اولیه زیاد، تیپ بوته گسترده جهت پوشش سریع سطح خاک برای کاهش تبخیر، باعث کاهش خسارت ناشی از

¹⁴ Drought Escape

تنش خشکی می‌شوند. در مناطق سردسیر (فصل رشد کوتاه) و وجود تنش خشکی آخر فصل، استراتژی فرار جهت اصلاح فنولوژی گیاه با اهمیت است (صباغ پور، ۱۳۸۵).

۲-۱۰-۲- اجتناب از پسبیدگی

گیاه به کمک ریشه عمیق و توسعه یافته، سطح سایه انداز، تغییر زاویه برگ و حرکت آن، ضخامت کوتیکول، تنظیم سطح برگ، بستن روزنه در ساعات گرم و خشک روز و تنظیم فشار اسمزی از اثرات تنش خشکی تا حد زیادی می‌تواند در امان باشد. اجتناب از پسبیدگی^{۱۵}، حاصل توانایی گیاه در حفظ آماس بالا در زمان تنش خشکی است که از طریق افزایش پتانسیل آب یا کاهش پتانسیل اسمزی، همراه با تنظیم اسمزی در سلول صورت می‌گیرد (ایوانس و وایانس، ۱۹۹۳). اجتناب از پسبیدگی، به قابلیت گیاه در نگهداری بیلان مناسب آب و آماس خود، حتی در شرایط بروز تنش می‌گویند که معمولاً توسط خصوصیات مرفولوژیکی و آناتومیکی گیاه شناخته می‌شود. این نیز نتیجه فرایندهای فیزیولوژیکی حاصل از تنش خشکی است (لویت، ۱۹۷۲). بیلان مناسب آب در شرایط خشکی از طریق ذخیره آب با کاهش تبخیر و تعرق در قبل یا آغاز بروز تنش و تسریع در جذب آب برای تأمین مجدد آب از دست رفته صورت می‌گیرد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۸۶a).

۲-۱۰-۳- تحمل پسبیدگی

تحمل پسبیدگی^{۱۶} عبارت از توانایی سلول به ادامه سوخت و ساز در شرایط پتانسیل آب کم می‌باشد. گیاه واجد این مکانیسم با تأمین رطوبت قادر است دوباره رشد کند. این مکانیسم روش اساسی حیات گیاهان پست و عالی در حال رکود می‌باشد. ضخیم شدن دیواره سلولی از سازگاری برگ به شرایط خشک است (کرامر، ۱۹۵۹). افزایش تحمل پسبیدگی در طی دوره خشکی متوسط و ملایم باعث ادامه رشد برگ‌ها و کاهش پیری شده و می‌تواند اثرات مثبتی در تولید کشاورزی داشته باشد. ۲۸ تا ۳۰ درصد آب سلول گیاهی برای حفظ فعالیت ساختمان غشاء بکار می‌رود (بلوم، ۱۹۸۸). املاح سازگار از جمله قندها، اسیدهای آمینه (پرولین)، ترکیبات آمونیوم (گلیسین بتائین) باعث

¹⁵ Dehydration Avoidance

¹⁶ Dehydration Tolerance

حفظ غشاء و آنزیم‌ها از خسارت پسابیدگی می‌شوند (هسیائو و همکاران، ۱۹۸۴). تحمل پسابیدگی به توانایی سلول جهت نگهداری غشاء خود در شرایط غیر نرمال و جلوگیری از تغییر ماهیت پروتئین آن بستگی دارد. تخریب غیر قابل برگشت دیواره سلولی را سیتورهایز^{۱۷} گویند که بر اثر آن مقدار بحرانی فشار منفی آماس، ایجاد می‌گردد. مواد محلول مثل قندها، اسیدهای آمینه، ترکیبات آمونیم و پروتئین‌های خانواده دهیدرین‌ها^{۱۸} می‌توانند باعث حفظ غشاء و آنزیم‌ها از خسارت پسابیدگی شوند. افزایش معنی‌داری در قابلیت نفوذ مواد قطبی و چگالی پروتوپلاسم گیاهان تحت تنش گزارش شده است (راسل، ۱۹۹۶). گیاه در این شرایط با پیچیدن برگ، زرد شدن و ریزش برگ خود را سازگار می‌نماید (بیلو و همکاران، ۱۹۸۱). مقاومت در برابر آب کشیدگی با تجمع محلول‌های سازگار که وزن مولکولی پایینی داشته و غیر سمی می‌باشند صورت می‌گیرد. موادی مثل بتائین‌ها (گلایسین بتائین)، اسیدهای آمینه (بویژه پرولین)، پلی‌ال‌ها، قندها (مانیتول، سوربیتول، ساکاروز یا تری‌هالوز) با افزایش تعداد ذرات در محلول، به نگهداری فشار تورگر در طی آب کشیدگی کمک می‌کنند و میزان سیالیت غشاء را کنترل می‌نمایند. پروتئین‌ها را به حالت هیدراته نگه داشته و باعث پایداری ساختمان آن‌ها می‌شوند (هوکسترا و همکاران، ۲۰۰۱). در نهایت قندها جایگزین مولکول آب شده و سیتوزول را اصطلاحاً به حالت "شیشه‌ای" در می‌آورند. پروتئین‌های نوع LEA و قند غیر احیاء، باعث شیشه‌ای شدن محیط و حفاظت سلول می‌شوند.

مواد محلول ممکن است بعنوان مولکول‌های پیام دهنده عمل کنند و سبب فعال شدن مسیرهای حفاظتی شوند یا بعنوان تخریب کننده انواع اکسیژن فعال^{۱۹} عمل نمایند. تحمل آب کشیدگی و خشکی با مقدار بالای الیگوساکاریدها و دی ساکاریدهای غیر احیاء در ارتباط است (فیلیپس و همکاران، ۲۰۰۲).

¹⁷ Cytorrhysis

¹⁸ LEA-D-11

¹⁹ Reactive oxygene species

از اهداف مهم اصلاح نخود، افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی می‌باشد. برای تعیین تحمل به خشکی در نخود برخی محققین، اقدام به اجرای آزمایش‌های جوانه زنی در رطوبت محدود یا شرایط پتانسیل اسمزی پایین می‌نمایند (امام جمعه، ۱۳۷۸). در آزمایشی، گوپتا و همکاران (۱۹۹۱) اثرات پلی اتیلن گلیکول (PEG) را در غلظت‌های مختلف روی جوانه‌زنی نخود بررسی کرده و روشی مؤثر برای انتخاب ارقام متحمل به خشکی معرفی نمودند. دوره‌هایی که آب خاک در شرایط ایده‌آل قرار داشته باشد معمولاً کوتاه و نامنظم است و این امر در نهایت منجر به کاهش تراکم گیاه می‌شود. صفات ریشه، درجه حرارت سایه انداز، وجود حالت مومی و تنظیم اسمزی تکنیک‌های مناسبی برای دستیابی به ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی است (ترنر، ۱۹۸۱).

۲-۱۰-۳-۱- آب کشیدگی

آب کشیدگی^{۲۰} واکنش حفاظتی جهت جلوگیری یا جبران خسارات وارده به سلول‌های گیاهی بر اثر تنش خشکی است و هورمون اسید آبسازیک نقش اساسی را ایفا می‌کند. آب کشیدگی در گیاه باعث افزایش اسید آبسازیک می‌شود که این امر سبب القای بیان ژن‌های چندگانه مسئول محافظت گیاه در برابر اثرات سوء کم آبی می‌شود. افزایش مقدار اسید آبسازیک نسبتاً به کندی صورت می‌گیرد که نشان می‌دهد ژن‌های القا شونده توسط اسید آبسازیک ممکن است با مکانیسم‌های عامل سازگاری در ارتباط باشد. مسیر بیوسنتزی اسید آبسازیک یک شاخه فرعی از مسیر کارتنوئیدی^{۲۱} بوده و فعالیت بسیاری از آنزیم‌های مسیر بیوسنتزی اسید آبسازیک، تحت تأثیر وقوع آب کشیدگی قرار می‌گیرد (سئو و کوشیبا، ۲۰۰۲). اسید آبسازیک باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تلفات آب در جریان تنفس می‌شود. سنتز سریع اسید آبسازیک در *Arabidopsis thaliana* در اثر آب کشیدگی بعد از ۲ ساعت قابل تشخیص بوده و پس از ۱۰ ساعت به حداکثر خود می‌رسد (کیوسو و همکاران، ۱۹۹۴). احساس تنش آبی حتی قبل از بروز علائمی مثل پژمردگی یا کاهش معنی‌دار مقدار نسبی آب، یک ساعت پس از شروع آب کشیدگی در گیاه بیابانی *Craterostigma* گما

²⁰ Dehydration

²¹ Carotenoid pathway

plantagineum و آرابیدوپسیس قابل تشخیص است (ناکاشیما و همکاران، ۱۹۹۷). از اسید آسبیزیک به عنوان هورمون تنش یاد می‌شود که هماهنگی فعالیت‌های متابولیکی و نمو گیاه را در شرایط محدودیت‌های محیطی اعمال شده به عهده دارد. بسته شدن روزنه‌ها (شرودر و همکاران، ۲۰۰۱)، تغییر میزان بیان ژن (سکی و همکاران، ۲۰۰۲)، کنترل جوانه زنی بذر (فیلیپس و همکاران، ۲۰۰۲) و رشد رویشی (هیمل باخ و همکاران، ۱۹۹۸) از واکنش‌های گیاه به مقادیر فراتر از سطح آستانه اسید آسبیزیک در مواجهه با تنش‌ها می‌باشد. هیستیدین کینازها در پاسخ اولیه به تنش اسمزی دخالت دارند و سبب اتوفسفوریلاسیون یک زنجیره هیستیدین و انتقال فسفات به زنجیره آسپارتیک موجود در مولکول گیرنده می‌شوند. هیستیدین کیناز در گیاهان، گیرنده^{۲۲} هورمون‌های اتیلن و سیتوکنین می‌باشد (اینوئه و همکاران، ۲۰۰۱). از پیامدهای تنش آب کشیدگی، افزایش غلظت واسطه‌های اکسیژن فعال (ROI)^{۲۳} است (میتلر، ۲۰۰۲). که باعث خسارت غیر قابل جبران به غشاءها، پروتئین‌ها، DNA و RNA می‌شوند. انباشت ROI توسط سیستم‌های آنتی اکسیدانت ویژه‌ای کنترل می‌شود که شامل عوامل تخریب کننده آنزیمی، نظیر سوپراکسید دسموتاز، پراکسیدازها و کاتالازها است. وجود رابطه منفی بین تنظیم اسمزی و عملکرد اقتصادی گیاه در شرایط تنش توسط سابارائو و همکاران (۱۹۹۵) بیان شد در حالی که مونز و کینگ (۱۹۸۸) عدم وجود رابطه بین تنظیم اسمزی و عملکرد اقتصادی را بیان کردند.

۲-۱۰-۳-۲- تنظیم اسمزی

تنظیم اسمزی^{۲۴} یکی از مکانیسم‌های مهم در گیاهان عالی برای نگهداری حالت آماس در برخورد با تنش خشکی است. در شرایط پتانسیل کم آب در خاک، ذخیره فعال محلول‌ها^{۲۵} مثل قندها، آمینو اسیدها، اسیدهای آلی، کلر، نترات و پتاسیم به خشکی واکنش نشان داده و باعث کاهش پتانسیل اسمزی و نگهداری سلول در حالت آماس می‌شوند (خاناچاپرا و همکاران، ۱۹۹۵). کاهش آماس نسبی

^{۲۲} Receptor

^{۲۳} Reactive Oxygen Intermediates

^{۲۴} Osmotic Adjustment

^{۲۵} Active Accumulation Solutes

سلول به زیر ۹۰ درصد باعث اندکی کاهش رشد گیاه شده و در محدوده ۸۳ تا ۸۵ درصد باعث کاهش رشد به نصف میزان رشد واقعی می‌گردد (میشل، ۱۹۷۰). با توجه به گونه گیاهی ذخیره فعال املاح، پتانسیل اسمزی گیاه را از ۰/۴- مگا پاسکال به ۲- مگا پاسکال کاهش می‌دهد (مورگان، ۱۹۸۴). معمولاً فشار اسمزی در اغلب گیاهان زراعی ۱۰ تا ۲۰ اتمسفر، در گیاهان خشکی پسند ۳۰ تا ۴۰ اتمسفر و در گیاهان نمک دوست به ۱۰۰ اتمسفر یا بیشتر می‌رسد (سرمندیا و کوچکی، ۱۳۸۶a). برای تحمل شرایط تنش شدید فرآیندهایی مثل تنظیم اسمزی (افت پتانسیل اسمزی سلول در پی تجمع مواد آلی و غیر آلی در آن) در سطح سلول صورت می‌گیرد (مالت و وایت سیت، ۱۹۹۶).

از مهمترین سازگاری‌های فیزیولوژیکی گیاه برای کاهش اثرات منفی تنش کمبود آب، حفظ فشار آماس سلول از طریق تنظیم اسمزی می‌باشد (مورگان، ۱۹۸۴). طبق مدل لوکارت (۱۹۶۵) این عمل به ادامه رشد تحت شرایط تنش کمک می‌کند ولی در اکثر مواقع این حالت برای رشد متوقف شده بر اثر کمبود آب کافی نیست. برای تنظیم اسمزی در شرایط تنش، مولکول‌های آلی نظیر پرولین، قندهای محلول، پلی‌ال‌ها، تری‌هالوز و ترکیبات آمونیومی چهار واحدی (QACs)^{۲۶} مثل گلیاسین بتائین، آلانین بتائین در سیتوپلاسم سلول تجمع می‌یابد. به طوری که این تجمع در مقادیر بالا به علت سازگاری آن‌ها، مانع فعالیت سلول نمی‌شوند. به این مواد "متابولیت‌های سازگار"^{۲۷} می‌گویند (سانچز و همکاران، ۲۰۰۱). این مواد وزن مولکولی کم و حلالیت بالایی دارند و با تنظیم اسمزی، خنثی کردن انواع فعال اکسیژن^{۲۸}، پایداری غشاء، ترکیبات پروتئینی و آنزیمی، در شرایط تنش از گیاه محافظت می‌کنند (بوهنرت و همکاران، ۱۹۹۵). بدلیل فعالیت برخی از این مواد در محافظت از اجزای سلول در برابر آب کشیدگی، به آن‌ها "محافظت کننده‌های اسمزی" هم می‌گویند (اشرف و فولاد، ۲۰۰۷).

²⁶ Quaternary Ammonium Compounds

²⁷ Compatible Metabolites

²⁸ Active Oxygen Species

تنظیم فشار اسمزی ممکن است به دنبال توقف رشد رخ دهد (مونز و کینگ، ۱۹۸۸). تنظیم اسمزی با کاهش سطح کشنده پتانسیل آب سلول، آب کشیدگی را به تأخیر می‌اندازد و این امر باعث افزایش آسیمیلات گیاه شده و طول دوره پر شدن دانه را زیاد می‌کند (سانچز و همکاران، ۲۰۰۱). تنظیم اسمزی، توزیع مجدد و انتقال کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای گیاه در مراحل قبل از گرده افشانی را به دانه‌ها تسهیل می‌بخشد (سابارائو و همکاران، ۱۹۹۵). تنظیم اسمزی با نگهداری آماس سلول در تغییرات پتانسیل آب، حفظ هدایت روزنه‌ای، انجام فتوسنتز، حفظ رشد، افزایش تحمل از دست دادن آب و افزایش جذب آب از خاک، در مقاومت به خشکی مؤثر است.

تجمع یون‌های غیر آلی پتاسیم، بیشتر از نیترات و کلر جهت تنظیم فشار اسمزی صورت می‌گیرد (مورگان، ۱۹۹۲). مقدار پروتئین دیواره سلول با طویل شدن اپی کوتیل همبستگی نشان می‌دهد (موناز و همکاران، ۱۹۹۳). مقدار اسید آمینه آزاد نخود تحت تنش آبی افزایش ولی مقدار پروتئین ریشه و میزان نیتروژن برگ، ساقه و ریشه‌ها کاهش می‌یابد (ناندول و همکاران، ۱۹۹۱). در بوته‌های تحت تنش آب طی از دست دادن آب، اسید مالیک با شدت بیشتر تجمع یافته و غلظت آن در برخورد با شرایط نرمال کاهش می‌یابد. اسید مالونیک نیز بیشتر تجمع می‌یابد و مجموع این دو اسید آمینه باعث کاهش پتانسیل اسمزی برگ نخود می‌شوند. مقدار اسید سوکسینیک و اسید سیتریک در وارپته‌های مختلف اختلاف معنی‌داری نشان می‌دهد (لکوئور و همکاران، ۱۹۹۲). در زمان تنش، مقدار کل املاح، قندها و فروکتوز در کوتیلدون، هیپوکوتیل و اپی کوتیل افزایش یافته و مقدار ساکارز کوتیلدون نخود کاهش می‌یابد (گوپتا و همکاران، ۱۹۹۳).

در شرایط تنش غلظت اسیدهای آمینه در قسمت‌های مختلف گیاه و کوتیلدون کاهش و غلظت پرولین در قسمت‌های مختلف گیاه افزایش و در کوتیلدون کاهش یافت (سینگ و کومار، ۱۹۹۲). در شرایط تنش نمک ذخیره شده در برگ‌ها افزایش یافته و میزان شبنم برگ‌ها کاهش یافته که در پتانسیل اسمزی نخود اثری ندارد (رانانگدال و همکاران، ۱۹۹۵). تنظیم فشار اسمزی باعث جذب آب

بیشتر و اصلاح راندمان جذب آب و یا رشد ریشه با فراهم کردن کربن اضافه می‌شود (مورگان و کاندون، ۱۹۸۶).

املاحی مثل قندها، نشاسته و اسیدهای آمینه همبستگی مثبتی با تحمل به تنش آب نشان می‌دهند (یاداو و همکاران، ۱۹۹۶). در نخود مقدار املاح از جمله قندها با عملکرد دانه همبستگی مثبت و قابل ملاحظه‌ای دارند. اگر تنش خشکی به آهستگی اتفاق افتد نخود قادر است زمانی که پتانسیل آب محیط کاهش می‌یابد میزان نسبی آب خودش را به کمک تنظیم فشار اسمزی، حفظ کند. سهم اسید مالیک در کاهش پتانسیل اسمزی نخود بیشتر از ۴۴ درصد می‌باشد. تجمع نیتريت و پرولین در شرایط تنش در نخود مشاهده نشده است. بنابراین اصلاح گران باید تنوع ژنتیکی در ارقام نخود را برای تنظیم فشار اسمزی در جهت اجتناب از هدر دادن آب ارزیابی نمایند (لکوئور و همکاران، ۱۹۹۲).

پتاسیم در تولید کل ماده خشک، تأثیر بر پتانسیل اسمزی برگ، پتانسیل آماس، اندازه سلول، ظرفیت آب برگ، راندمان بهره وری آب، تجمع مواد خشک، فعال کردن آنزیم‌ها، تسريع در انتقال مواد فتوسنتزی برگ به سایر اندام‌ها، باز و بسته شدن روزنه‌های برگ و تنظیم سرعت تعرق مؤثر است. پتاسیم سهم عمده‌ای در تنظیم فشار اسمزی برگ نخود دارد. با افزایش غلظت پتاسیم میزان محتوای نسبی آب برگ‌ها افزایش می‌یابد (سینگ و همکاران ۱۹۹۷). حبوبات با کاربرد ۷۵ کیلوگرم پتاسیم در هکتار بهترین عکس العمل را در شرایط دیم نشان می‌دهند؛ در صورتی که در شرایط آبی کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار بهترین عکس العمل را نشان می‌دهد (عاریف و همکاران، ۱۹۹۶).

انتقال مواد ذخیره‌ای (قندی) از ساقه در عملکرد سهم معنی‌داری نشان می‌دهد (کونستبل و هرن، ۱۹۷۸) ذخایر کربوهیدرات‌ها به عنوان یک بافر در فتوسنتز، مخصوصاً در مرحله پر شدن دانه عمل می‌کنند (اسچیندر، ۱۹۹۳). حرکت مجدد مواد ذخیره‌ای در تنظیم فشار اسمزی، ریزش غلاف یا رشد بذر و غلاف با اهمیت است و در سازگاری نخود به خشکی ارزش زیادی دارد (لپورت و همکاران، ۱۹۹۸a). در نخود نزدیک ۲۰-۱۵ درصد وزن کل دانه از حرکت مجدد کربوهیدرات‌های حاصل

می‌شود (ساکسنا، ۱۹۸۴؛ سینگ، ۱۹۹۱). اگر چه با ایجاد سطح بالاتر ذخیره کربوهیدرات‌های غیر ساختاری، قبل از گلدهی می‌توان باعث پایداری عملکرد در طی نوسانات رطوبت شد، ولی این ذخایر در صورت وجود رطوبت کافی با توجه به اندازه مخزن ممکن است غیر قابل استفاده باقی بماند یا در طول دوره پر شدن دانه باعث تضعیف ساقه و آمادگی آن برای آلودگی به بیماری‌های قارچی شوند (رزنو و همکاران، ۱۹۸۳).

در تنش متوسط یا شدید غلظت اسید آمینه پرولین نسبت به سایر اسید آمینه‌ها بیشتر می‌شود. پرولین به عنوان مخزن نیتروژن و یا ماده محلولی که پتانسیل اسمزی سیتوپلاسم را کاهش می‌دهد عمل می‌کند (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۸۶a). در تنش شدید (پتانسیل آب کمتر از ۱۵- بار) تنفس، جذب گاز کربنیک، انتقال مواد فتوسنتزی و مواد خام در آوند چوبی به سرعت کاهش یافته و فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز کننده زیاد می‌شود (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۸۶a). در بیشتر گیاهان اسید آمینه پرولین در شرایط طبیعی وجود دارد که غلظت آن بر اثر تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد.

پرولین به عنوان یک اسمولیت در تنظیم اسمزی سلول شرکت می‌نماید و حفاظت از غشاء، پروتئین‌ها و هضم رادیکال‌های آزاد را انجام می‌دهد. سنتز پرولین در شرایط تنش، با تولید آخرین ترکیب پذیرنده الکترون در زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی همراه است و از گیاه در برابر بازدارندگی نوری^{۲۹} محافظت می‌نماید. تجزیه سریع پرولین پس از تنش، شرایط فسفوریلاسیون اکسیداتیو میتوکندری و تولید ATP مورد نیاز برای جبران خسارت تنش و بازیافت ساختارهای آسیب دیده را فراهم می‌کند (هر و کرس، ۱۹۹۷). پیش ماده بیوسنتز پرولین در گیاه، L-گلوتامیک اسید است. دو آنزیم پیرولین-۵-کربوکسیلات سینتتاز (P5CS) و پیرولین-۵-کربوکسیلات ردوکتاز (P5CR) در بیوسنتز پرولین نقش اصلی را به عهده دارند. در رقمی از تنباکو با دستکاری P5CS، پرولین بیشتری تولید شد و مقاومت به شوری و خشکی در گیاه افزایش یافت (اشرف و فولاد، ۲۰۰۷).

²⁹ Photo Inhibition

تجمع پرولین از دو مسیر وابسته به اسید آبسزیک و مسیر غیر وابسته به آن در گیاه صورت می‌گیرد (زو، ۲۰۰۲). اسیدآبسزیک بصورت یک سیگنال واسط در سلول‌های گیاهی تحت تنش با تشدید بیان ژن‌های مرتبط با تنش، متابولیت‌های سازگار مثل پرولین را افزایش می‌دهد (کاوی کیشور و همکاران، ۲۰۰۵). بین بیان ژن P5CS به عنوان مهمترین عامل بیوسنتز پرولین و تجمع پرولین همبستگی وجود دارد. افزایش غلظت پرولین فقط به تجزیه پروتئین‌ها بستگی ندارد (یوشیبا و همکاران، ۱۹۹۷). افت فعالیت آنزیم پرولین اکسیداز در شرایط تنش از عوامل مطرح شده مؤثر بر تجمع پرولین در بافت‌های تحت تنش می‌باشد (ساندراسن و همکاران، ۱۹۹۵).

در برخی از گیاهان به هنگام مواجهه با تشعشع زیاد و کمبود آب، حرکت برگ‌ها به موازات حرکت خورشید مشاهده می‌شود که به آن پاراهلیوتروپیسم^{۳۰} گویند. ژنوتیپ‌های با قدرت رشد اولیه بالا زودرس بوده و توانایی تقلیل خسارت خشکی آخر فصل را دارند (صبغ پور و همکاران، ۲۰۰۳b). کاهش دریافت نور خورشید در مدت‌های کوتاه و کاهش تلفات آب، دلیل کاهش اثر تنش خشکی است. ساده ترین روش کاهش تشعشع دریافتی، کاهش سطح برگ و لوله‌ای شدن آن است. این موضوع باعث کاهش بار حرارتی گیاه و کاهش تلفات آب می‌شود. این صفت برای ارقامی که در شرایط وقوع خشکی موقت، ولی شدید، رشد می‌کنند صفت مفیدی به شمار می‌رود. کاهش سطح برگ باعث کاهش خروج رطوبت (تعرق) می‌گردد. تحت شرایط خشکی شدید ریزش برگ‌ها پای بوته، وجود برگ‌هایی با رنگ روشن تر، وجود کرک روی برگ جهت انعکاس بیشتر نور نیز می‌تواند مفید باشد. این مکانیسم‌ها مربوط به تحمل گیاه برای ادامه حیات است و تنها در شرایط گذر از دوره‌های تنش شدید و کوتاه مدت مفید است.

تحت شرایط رطوبتی مناسب این مکانیسم‌ها سبب کاهش تولید ماده خشک و در نتیجه کاهش عملکرد دانه می‌شوند. در شرایط رطوبتی مناسب، هدف اصلی زراعت گسترش سریع سطح برگ، افزایش دریافت تشعشع، تعرق، فتوسنتز، تولید ماده خشک و عملکرد دانه است (فرجی، ۱۳۸۸). در

³⁰ Paraheliotropism

تنش خشکی قبل از گلدهی، میزان نفوذ نور در سایه انداز و مقدار تولید ماده خشک، کمتر از تنش بعد از گلدهی است (سینگ، ۱۹۹۱). گیاه بدلیل تنش خشکی سرعت رشد، مقدار برگ و شاخه در بوته را کاهش داده و گلدهی را زودتر شروع می‌کند (گوپتا و همکاران، ۱۹۹۵). تنظیم سطح برگ در گیاه از طریق کاهش اندازه برگ و تعداد برگ صورت می‌گیرد (تورک و هال، ۱۹۸۰). در شرایط دیم تعداد برگچه در برگ افزایش ولی سطح برگ کاهش می‌یابد (گوپتا و همکاران، ۱۹۹۵).

بسیاری از لگوم‌ها دارای شاخص سطح برگ بحرانی (۹۵ درصد نور خورشید دریافت می‌شود) بالاتری می‌باشد که باعث عدم کارایی استفاده از آب و اشعه خورشید برای تولید ماده خشک و عملکرد دانه می‌شود (ویلیام و همکاران، ۱۹۸۶). در لگوم‌های با سطح برگ توسعه یافته، تغییر زاویه برگ (حرکت برگ) مکانیسم مهمی جهت تحمل به خشکی است (بگ، ۱۹۸۰). تقریباً همه لگوم‌ها با نورگرایی^{۳۱} به تشعشع خورشیدی و کمبود رطوبت عکس العمل نشان می‌دهند (موچو، ۱۹۸۵). کرک‌های سطح برگ باعث افزایش تثبیت کربن، مقاومت به درجه حرارت بالا، کاهش خروج آب و رشد طولانی تر گیاه در شرایط خشکی می‌شوند (الرینگر، ۱۹۸۰). گیاه دارای مکانیسم نگهداری آب می‌تواند حداکثر جذب آب را با اصلاح ظرفیت سیستم ریشه‌ای یا استفاده بهینه از آب جذب شده برای تولید ماده خشک انجام دهند. گیاه از طریق توسعه سیستم گسترده ریشه نسبت به خشکی سازگار می‌شود (شیلدز، ۱۹۵۸). جذب آب در اعماق مختلف توسط ریشه بصورت زیر می‌باشد (ناگسارائو و رایت، ۱۹۹۴).

- حدود ۴۰ درصد کل آب جذب شده توسط یک چهارم اولیه منطقه ریشه از سطح خاک است.
- حدود ۳۰ درصد کل آب جذب شده توسط یک چهارم دوم منطقه ریشه از سطح خاک است.
- حدود ۲۰ درصد کل آب جذب شده توسط یک چهارم سوم منطقه ریشه از سطح خاک است.
- حدود ۱۰ درصد کل آب جذب شده توسط یک چهارم آخر منطقه ریشه از سطح خاک است.

³¹ Paraheliotropism

رشد ریشه (عمق نفوذ) تحت تأثیر عوامل محیطی و ژنتیکی است (گولمن و تورنر، ۱۹۷۸). با حذف گل‌ها در نخود می‌توان باعث توسعه ریشه‌ها در اعماق بیشتر خاک شد (شلدراک و ساکسنا، ۱۹۷۹). رشد ریشه لگوم‌ها در زمان پر شدن غلاف ادامه نمی‌یابد. تراکم ریشه در سطح یا عمق با توجه به شرایط محیطی سودمند است. کاهش در مقدار هدایت هیدرولیکی ریشه به نگهداری ذخیره رطوبت خاک در اواخر فصل می‌تواند کمک نماید (پاسیئورا، ۱۹۷۲). سیستم ریشه‌ای توسعه یافته با افزایش جذب آب باعث افزایش تحمل خشکی می‌شود. البته وضعیت ریشه‌دهی و افزایش توسعه آن، با توجه به میزان آب موجود در خاک می‌تواند مفید یا بی‌فایده باشد. در شرایط وجود رطوبت در خاک و امکان جذب آن، توسعه ریشه و افزایش عمق آن می‌تواند سبب افزایش عملکرد محصول شود. درحالی‌که در شرایط عدم وجود آب در لایه‌های مختلف خاک، افزایش ریشه‌دهی بدون مزیت است (فرجی، ۱۳۸۸).

۲-۱۱- اجزای عملکرد نخود

تجزیه و تحلیل رشد گیاه وسیله‌ای برای شناخت فیزیولوژی، اکولوژی و اصلاح نبات است (پورتر و گارنیر، ۱۹۹۶). رشد و نمو رویشی و زایشی گیاه تحت تأثیر محیط می‌باشد که فرآیندهای مقدار زیست توده، توزیع و تجمع مواد در اندام‌های اقتصادی گیاه را متأثر می‌سازد (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۷۳). به کمک تجزیه رشد و معادلات ریاضی، اجزای رشد گیاه را می‌توان به صورت کمی تعیین نمود. پارامترهای مورد استفاده برای تعیین اجزای رشد به عنوان شاخص‌های رشد شناخته می‌شوند (وری، ۱۹۹۰). هدف اصلی از کاربرد معادلات رشد توضیح عکس العمل گیاه به شرایط محیط می‌باشد (بالوک و همکاران، ۱۹۸۸). رشد گیاه در مزرعه غالباً بر اساس میزان تجمع ماده خشک و سطح برگ تعیین می‌شود. کوچکی و بنایان اول (۱۳۷۳) رابطه اجزای عملکرد حبوبات را بشرح رابطه زیر بیان کردند:

$$Y = D \times P \times S \times T / 100000$$

(۲-۲)

Y عملکرد دانه (تن در هکتار)، D متوسط تعداد بوته در واحد سطح (متر مربع)، P متوسط تعداد

غلاف در بوته، S متوسط تعداد بذر در غلاف، T وزن هزار دانه (گرم)

تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه اجزای عملکرد نخود می‌باشند (خاناچوپرا و

سین ها، ۱۹۸۸).

۲-۱۲- آلتراسونیک (Ultrasound)

امواج آلتراسونیک به دسته‌ای از امواج مکانیکی گفته می‌شود که فرکانس نوسانشان بیش از محدوده شنوایی انسان باشد. بازه فرکانسی شنوایی افراد متفاوت است و با بالا رفتن سن این بازه کاهش می‌یابد، ولی معمولاً بالاترین فرکانس شنوایی انسان حدود ۲۰ و یا ۲۵ کیلوهرتز در نظر گرفته می‌شود (جامبارک و همکاران، ۲۰۰۸). نقطه مقابل امواج مافوق صوت^{۳۲}، امواج فروصوت یا مادون صوت هستند که دارای فرکانسی کمتر از حد پایین فرکانس شنوایی انسان (حدود ۲۰ کیلوهرتز) هستند (جامبارک و همکاران، ۲۰۰۸).

۲-۱۳- آزمون آلتراسونیک

آزمون آلتراسونیک یکی از روش‌های آزمون‌های غیر مخرب است. در این روش امواج آلتراسونیک با فرکانس بالا و با دامنه کم به داخل جسم فرستاده می‌شوند. این امواج پس از برخورد به هر گسستگی بازتابیده می‌شوند. از روی دامنه و زمان بازگشت این امواج می‌توان به مشخصه‌های این گسستگی پی برد. از کاربردهای این روش می‌توان به اندازه‌گیری ضخامت و تشخیص عیوب موجود در اجسام نام برد. یکی از امتیازات مهم این روش توانایی آن در تشخیص عیوب بسیار کوچک به علت فرکانس بالای این امواج و در نتیجه طول موج بسیار کوچک آن‌ها است.

^{۳۲} - Supersonic

۲-۱۴- کاربردهای امواج آلتراسونیک

۲-۱۴-۱- کاربردهای صنعتی

- اندازه‌گیری ضخامت و تشخیص عیوب موجود در قطعات
 - توانایی تشخیص عیوب بسیار کوچک به علت فرکانس بالا و طول موج بسیار کوچک
 - استفاده از امواج آلتراسونیک (فراصوت) برای آزمون فلزات
 - استفاده از امواج آلتراسونیک برای حذف رسوبات وسایل آزمایشگاهی
 - توانایی تشخیص صدمات شیمیایی که یکی از امتیازات امواج آلتراسونیک است
 - جوشکاری ترموپلاستیک (جوشکاری آلتراسونیک بسیار سریع است (کمتر از ۱ ثانیه)).
- صنایعی که این نوع جوشکاری در آن کاربرد دارد: صنعت بسته بندی، صنعت اتومبیل سازی، صنعت پزشکی، صنعت اسباب بازی

۲-۱۴-۲- کاربردهای امنیتی

در سامانه‌های امنیتی اماکن و خودروها از حسگر فراصوت برای تشخیص حرکت اشیاء به وفور استفاده می‌شود. پلیس از این سیستم برای کنترل سرعت خودروها استفاده می‌کند.

۲-۱۴-۳- رادار

در کشتی‌ها و زیر دریایی‌ها از این سیستم برای کنترل عمق دریا و پی بردن به وجود اشیاء داخل آب استفاده می‌شود. از رادارهای آلتراسونیک برای پی بردن به وجود پرنده‌های بدون سرنشین نیز استفاده می‌گردد.

۲-۱۴-۴- کاربردهای پزشکی، سونوگرافی

این امواج در سونوگرافی، مهندسی ژنتیک و انتقال ژن کاربرد دارد.

۲-۱۴-۵- کاربرد در صنایع غذایی

آلتراسونیک در صنایع غذایی از سال ۱۹۷۰ مورد استفاده قرار گرفته است (پوی و ویلکینسون، ۱۹۸۰). امواج آلتراسونیک به عنوان یک فناوری پیشرفته، کاربردهای زیادی در علوم و صنایع مختلف، از جمله صنایع غذایی پیدا کرده است. به طوری که از آن هم برای تشخیص و اندازه گیری و هم به عنوان کمک فرآیند با سایر فرآیندهای مواد غذایی استفاده می شود. محدوده استفاده از آلتراسونیک در صنایع غذایی به دو دامنه تقسیم می شود:

۱- فرکانس زیاد با طول موج کوتاه و انرژی بالا

۲- فرکانس کم با طول موج بلند و انرژی پایین

محدوده پایین به طور کلی به دلیل ایجاد پدیده حفرگی یا تشکیل حبابهای بسیار ریزی است که تحت اثر انقباض و انبساط به صورت لحظه ای و نقطه ای حرارت و فشار فوق العاده زیاد در محیط مایع ایجاد می شوند. بدین صورت که در زمانی به اندازه یک هزارم ثانیه دما تا ۵۵۰۰ درجه سانتی گراد و نیز فشار تا $10^4 \times 5$ کیلو پاسکال افزایش می یابد. لازم به ذکر است که این اثر انقباض و انبساط در محیط مایع به صورت دوره ای تکرار می شود. این وضعیت باعث اثرات فیزیکی و شیمیایی بر ملکولهای مجاور می شود. اثرات مکانیکی و شیمیایی پدیده حفرگی بسیار مهم است و کاربردهای آن نیز وسیع است (کاپلند و ساجین، ۲۰۰۳؛ سالو و بارگاس، ۱۹۹۶؛ چیستی، ۲۰۰۲؛ بریتباک و همکاران، ۲۰۰۲).

هم چنین نشان داده شده است که امواج آلتراسونیک سبب تخریب و افزایش قابلیت نفوذ سلولهای گیاهی و جانوری شده و ضمن افزایش نفوذ حرارت و خروج رطوبت، باعث کاهش زمان خشک کردن مواد غذایی می شود. امواج آلتراسونیک با مکانیسمهای مختلف ممکن است منجر به افزایش میزان خروج رطوبت از ماده غذایی در طی فرایند خشک کردن یا سایر عملیات واحد، مستلزم انتقال جرم شوند که از جمله آنها می توان به افزایش دما در لایه مرزی، تغییر فشار در اثر

کاویتاسیون، توسعه میکروکانال‌ها در اثر ایجاد ترک در نتیجه تنش برشی حاصل از کاویتاسیون، اغتشاش در لایه مرزی و ایجاد تغییرات ساختمانی در محیط اشاره کرد (گالگو و همکاران، ۲۰۰۳؛ شافیر رحمان، ۲۰۰۰).

تنش متغیر صوتی از طریق حفظ کانال‌های موجود یا ایجاد کانال‌های جدید سبب تسهیل خشک کردن می‌شود. هم‌چنین امواج آلتراسونیک، گرادیان فشار را در سطح گاز-مایع تحت تأثیر قرار می‌دهد و سبب تشدید تبخیر می‌شود. جنبش مولکولی در لایه مرزی که ناشی از متلاشی شدن حباب‌ها طی پدیده حفرگی است، ضمن کاهش ضخامت و افزایش دما، اختلاط بهتر را میسر می‌کند (چیستی، ۲۰۰۲).

امواج آلتراسونیک برای فرایند خشک کردن انگور به منظور حذف قلیا و تهیه کشمش استفاده می‌شود و امکان جایگزینی این فناوری به جای روش‌های سنتی وجود دارد (مسکوکی و همکاران، ۱۳۸۶). می‌توان از امواج فراصوت در درجه بندی میوه‌ها و سبزیجات از نظر رسیدگی نیز استفاده نمود (میزارچ و همکاران، ۱۹۹۶).

۲-۱۴-۶- کاربردهای کشاورزی

امواج آلتراسونیک کاربردهای فراوانی دارد، به طوری که نه تنها در تیمارهای بذر و کاهش و حذف آفات و بیماری‌ها کاربرد دارد، بلکه این امواج در مهندسی ژنتیک و انتقال ژن نیز کاربرد دارد. افزایش تقاضای روز افزون مصرف کنندگان برای استفاده از محصولات با کیفیت منجر به استفاده از تکنولوژی‌های جدید شده است. کیفیت محصول عمدتاً شامل ارزش غذایی، ترکیبات شیمیایی، خواص مکانیکی و عدم وجود نقص می‌باشد که هر یک به عنوان موضوعی برای بسیاری از مطالعات مد نظر قرار گرفته است. فناوری استفاده از امواج آلتراسونیک یکی از روش‌های صوتی استفاده شده در کشاورزی به خصوص در ارزیابی کیفیت و عملکرد محصولات زراعی است.

یکی دیگر از موارد استفاده امواج آلتراسونیک در کشاورزی، موضوع رسیدگی میوه‌ها است. بافت میوه در مراحل مختلف رشد و انبار داری تغییر کرده و می‌توان با بررسی خصوصیات آن به رحله رسیدگی میوه دست یافت. امواج فراصوت ضمن عبور از داخل بافت میوه، بسته به نوع بافت و تراکم آن تضعیف گردیده و سرعت آن نیز تغییر می‌کند. بنابراین می‌توان با محاسبه مقدار ضریب تضعیف و سرعت آن به صورت غیر مخرب، خصوصیات بافت و در نتیجه رسیدگی آن را تعیین کرد (نجف آبادی و همکاران، ۱۳۸۷). استفاده از امواج در فرآیند رسیدگی سیب زمینی موجب تسریع عمل و بهبود کیفیت این محصول گردید (پاوی و ویلکینسون، ۱۹۸۰). افزایش ضریب تضعیف امواج فراصوتی عبور کرده از میان بافت هندوانه با میزان رسیدگی آن گزارش شده است (کلارک و شاکلفورد، ۱۹۷۵)

۲-۱۵- ضرورت استفاده از آلتراسونیک در کشاورزی

۱. لزوم استفاده از تکنولوژی‌های جدید و غیر مخرب مانند آلتراسونیک
۲. آلتراسونیک به ارزش غذایی و ترکیبات شیمیایی آسیبی نمی‌رساند
۳. ارزیابی کیفیت محصول و افزایش عملکرد محصولات زراعی
۴. امواج آلتراسونیک به عنوان یکی از تیمارهای بذر و کاهش و حذف آفات و بیماری‌ها کاربرد

دارد

۵. اندازه‌گیری و تشخیص عیوب فیزیکی بسیار کوچک (ترک‌های میکروسکوپی) موجود در بذور

۲-۱۶- اثرات مکانیکی و اصلی امواج آلتراسونیک

اساساً در یک محیط با اعمال امواج آلتراسونیک یک سری انبساط و انقباض ایجاد می‌شود. در هنگام انقباض فاصله بین مولکول‌ها کم و در هنگام انبساط این فاصله زیاد می‌شود. در نتیجه شرایطی که در فاز انبساط رخ می‌دهد، فشار منفی ایجاد شده و فاصله بین مولکول‌ها تا حدی زیاد شده که بر نیروی چسبندگی مایع غلبه کرده و مایع شکسته شده و حفره‌هایی در آن به وجود می‌آید. این حفره‌ها را حباب‌های کاویتاسیون می‌نامند. در ادامه و در لحظه انقباض بعدی این حباب‌ها فشرده و

منقبض شده و حجمشان کاهش می‌یابد. این عمل انبساط و انقباض مکرراً ادامه می‌یابد تا حباب‌ها منفجر شده و اصطلاحاً فرو می‌ریزند. این فرو ریزی سبب ایجاد پیک‌های فشار و دما در مایع می‌شود، در واقع شوک ناشی از این فشار و دمای لحظه‌ای عامل ایجاد اثرات آلتراسونیک است (سیف زاده و همکاران، ۱۳۹۰).

سرعت کاویتاسیون و انقباض و انبساط متوالی بستگی به فرکانس آلتراسونیک دارد، به نحوی که هرچه این فرکانس بالاتر باشد حرارت و فشار نیز بیشتر می‌شود و در نتیجه موجب دفرمه شدن مواد جامد متخلخل (بخصوص پروتئین‌ها و آنزیم‌ها) و ایجاد کانال‌های میکرو شده و کاهش ضخامت لایه مرزی در آن بافت گیاهی را به دنبال دارد. تمام این موارد منجر به افزایش انتقال جرم در بافت گیاهی می‌گردد (علیپور و همکاران، ۱۳۹۰). تیمار آلتراسونیک با تولید حباب‌هایی در داخل مایعات ایجاد نقاط داغ کرده و باعث افزایش انتقال گرما و انهدام میکروارگانیسم‌ها می‌شود (ایشیموری و همکاران، ۱۹۸۱؛ ساسلیک، ۱۹۹۰).

دو پارامتر مهمی که در رابطه با امواج آلتراسونیک بوده و برای اندازه‌گیری خواص محصولات کشاورزی دارای اهمیت فراوانی می‌باشد، سرعت موج آلتراسونیک و ضریب تضعیف آن است. سرعت امواج آلتراسونیک (V) از طریق اندازه‌گیری زمان مورد نیاز (T) برای عبور موج آلتراسونیک از ضخامت مشخص مواد (L) مطابق رابطه ۲-۳ تعیین می‌گردد:

$$V = \frac{L}{T} \quad (3-2)$$

با داشتن دامنه موج آلتراسونیک فرستاده شده (A) و دریافت شده (A_0) و هم چنین فاصله بین پروب‌ها (L)، ضریب تضعیف امواج آلتراسونیک (α) مطابق رابطه ۲-۴ قابل محاسبه است (ذکی دیزجی و همکاران، ۱۳۸۷).

$$a_{dB} = \frac{-20}{L} \log\left(\frac{A}{A_0}\right) \quad (4-2)$$

موج آلتراسونیک فرستاده شده و گرفته شده، پس از پردازش در واحد پردازش سیگنال، برای نمایش به نرم افزار Oscilloscope TNM انتقال داده می‌شود.

امواج آلتراسونیک به عنوان یک فناوری پیشرفته، کاربردهای زیادی در علوم و صنایع مختلف، از جمله صنایع غذایی پیدا کرده است. به طوری که از آن هم برای تشخیص و اندازه گیری و هم به عنوان کمک فرآیند با سایر فرآیندهای مواد غذایی استفاده می شود.

۲-۱۷- سابقه و ضرورت انجام تحقیق بر روی آلتراسونیک

برخلاف کاربرد وسیع تکنیک آزمون آلتراسونیک در صنعت، در زمینه کیفیت سنجی محصولات کشاورزی کاربرد محدودی داشته است. اما در سال های اخیر، مطالعه و بکارگیری تکنیک آلتراسونیک در کشاورزی و صنایع غذایی رو به افزایش بوده است. پژوهش هایی درباره استخراج آنتوسیانین از میوه ها و بررسی پایداری آن در شرایط مختلف به وسیله امواج فراصوت انجام شده است (مسکوک و مرتضوی، ۱۳۸۰). هم چنین در عصاره گیری با امواج فراصوت هیچ گونه تغییر شیمیایی که سبب افت احتمالی ترکیبات شیمیایی آنتوسیانین تمشک قرمز شود وجود ندارد (چن و همکاران، ۲۰۰۶). علاوه بر آنتوسیانین ها، ترکیبات دیگری مثل پلی فنل ها، پلی ساکاریدها، ترکیبات آروماتیک و سایر رنگدانه ها را با استفاده از امواج آلتراسونیک در مدت زمانی کوتاه با کارایی بالا می توان استخراج نمود (ویلخو و همکاران، ۲۰۰۷). بذر تربچه تیمار شده با امواج فراصوت، افزایش سرعت جوانه زنی و هم چنین افزایش ۱۳ الی ۱۶ درصدی طول ریشه چه را نسبت به شاهد نشان داد (شیمومورا ۱۹۹۰). در پژوهشی به کاهش ۳۰ الی ۴۵ درصدی در زمان جوانه زنی در بذور جو و افزایش درصد جوانه زنی پس از تیمار بذور با امواج فراصوت اشاره شده است (یلداگرد و همکاران، ۲۰۰۸). در تحقیقی دیگر که روی بذور بادنجان، فلفل و خیار نشان داده شد که از لحاظ رشد تیمار بذور با امواج فراصوت ۴۲ الی ۵۹ کیلو هرتز، برتری بسیار بالای نسبت به تیمار شاهد دارد (بینا و رضایی، ۱۳۸۷).

می توان از تغییرات سرعت موج آلتراسونیک در میوه ها و سبزی ها، جهت درجه بندی رسیدگی آن ها استفاده نمود (میزارچ و همکاران، ۱۹۹۶). استفاده از امواج فراصوت به عنوان یک روش اقتصادی در افزایش بهره وری و کاهش زمان خشک کردن انگور در تهیه کشمش مؤثر است (مسکوک و

همکاران، ۱۳۸۶). امواج آلتراسونیک در مالت سازی برای افزایش میزان فعالیت آنزیم مربوطه مؤثر است (کریسوستو، ۱۹۹۶؛ اسکمیدت و همکاران، ۱۹۸۷). تیمار آلتراسونیک باعث فعالیت آنزیم‌ها می‌شود (بارتون و همکاران، ۱۹۹۶؛ زرر و همکاران، ۱۹۸۷). تیمار آلتراسونیک با تولید حباب‌هایی در داخل مایعات ایجاد نقاط داغ کرده و بدین ترتیب باعث افزایش انتقال گرما و انهدام میکروارگانیسم‌ها می‌شود (ایشیموری و همکاران، ۱۹۸۱ و ساسلیک، ۱۹۹۰). آلفا آمیلاز در جو، چه به صورت تثبیت شده و یا به صورت آزاد نه تنها در معرض تابش امواج فراصوت غیر فعال نشده بلکه فعال تر هم می‌شود (اسمیت و همکاران، ۱۹۸۵).

۲-۱۸- اثرات مخرب امواج آلتراسونیک بر روی آنزیم‌ها در شدت بالای پرتودهی

اثرات امواج فراصوت بر روی آنزیم‌ها اغلب با چندین فرآیند مکانیکی و سونوشیمیایی مرتبط است که به وسیله پدیده حفرگی ایجاد می‌شود. در شدت‌های بالای پرتودهی امواج آلتراسونیک میکروجت‌های مایع تولید شده به وسیله فروپاشی متقارن حباب‌های حفرگی، تنش‌های برشی در مایع پرتودهی شده و میکرو جریان‌هایی که معلول حباب‌های نوسان کننده پایدار می‌باشند قادر به رساندن آسیب مکانیکی به تمامیت ساختمان پروتئین می‌باشند و باعث افت فعالیت آنزیم می‌شوند. مکانیسم دیگری که در طی آن آنزیم‌های پرتودهی شده غیر فعال می‌شوند به واسطه تغییر و تحول و یا آسیب ساختار مولکولی آنزیم می‌باشد. رادیکال‌های آزاد که ذراتی با الکترون‌های جفت نشده و با فعالیت واکنش پذیری خیلی بالا هستند، توزیع بار بر روی سطح پروتئین را تغییر داده و باعث رساندن آسیب جدی به ناحیه فعال آنزیم شده بنابراین میل ترکیبی آنزیم با سوبسترا را از بین می‌برند.

طبق فرآیندهای فوق، گرادیان‌های فشار بالای بوجود آمده توسط امواج آلتراسونیک در درون مایع باعث پارگی و تکه تکه شدن مولکول‌های پروتئین و تغییر شکل ساختار آن می‌شوند، در حالی که گرادیان‌های دمای بالا منجر به غیرفعال سازی گرمایی یا پرولیز پیوندهای آن می‌شوند (اثرات مکانیکی صوت) و طبق مکانیسم اثرات سونوشیمیایی صوت، هر حباب حفرگی تولید شده به وسیله

امواج فراصوت به منزله میکرواکتور کوچکی عمل می‌کند که تولید نقاط داغ موضعی نموده و دما و فشار در داخل این حباب‌ها به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد (ساسلیک، ۱۹۹۰).

این دماها و فشارهای بالا ساختار فعال آنزیم را غیر فعال می‌نماید. اثرات سینرژیستی امواج آلتراسونیک و گرما بر روی آنزیم‌ها در دماهای بالا مسجل شده است (لوپز و همکاران، ۱۹۹۷) و این احتمالاً به دلیل افزایش فشار بخار مایع در اطراف حباب‌های حفرگی می‌باشد که منجر به کاهش فروپاشی حباب‌ها شده و باعث می‌شود که فروپاشی حباب‌ها کمتر صورت بگیرد (ساسلیک، ۱۹۸۸). ضمناً اثر امواج فراصوت بر روی آنزیم‌ها مشابه اثر آن بر آنزیم پکتین متیل است.

گزارش‌های مربوط به افزایش فعالیت آنزیم‌های آزاد در محیط آزمایشگاه در حضور امواج آلتراسونیک محدود می‌باشد. به طور غیر قابل انتظار در شدت‌های پرتودهی پایین، بعضی از آنزیم‌ها مانند گلوکوآمیلاز و آلفا آمیلاز تثبیت شده در خلل و فرج سلیکاژل و یا به صورت آزاد نه تنها در معرض تابش امواج فراصوت غیر فعال نشده بلکه فعال تر هم می‌شوند (اسکمیدت، ۱۹۸۸). از این رو میزان فعالیت آلتراسونیک نقش مهمی در فعال سازی یا غیر فعال سازی بیشتر آنزیم‌ها دارد. گزارش‌های زیادی توسط محققان مختلف در مورد افزایش فعالیت آنزیم‌های آزاد تحت شرایط تابش ملایم امواج فراصوت منتشر شده است که از جمله به افزایش فعالیت آلفا کیموتریپسین بر روی کازین در شدت‌های پایین، و از طرف دیگر کاهش فعالیت این آنزیم در شدت‌های بالا می‌توان اشاره کرد (ایشیموری و همکاران، ۱۹۸۱). فعالیت آنزیم‌ها به عنوان کلید واکنش‌های بیوشیمیایی با تنظیم خوب پرتو افکنی فراصوت افزایش می‌یابد (بارتون و همکاران، ۱۹۹۶؛ زرنر و همکاران، ۱۹۸۷؛ ایشیموری و همکاران، ۱۹۸۱؛ اسکمیدت، ۱۹۸۸).

مؤثر بودن امواج آلتراسونیک بر روی میزان غیر فعال سازی آنزیم نشان داد که با افزایش شدت پرتو صوت میزان فعالیت آنزیم کاهش می‌یابد از آنجا که فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در حرارت ۳۰ درجه از بین نمی‌رود، کاهش فعالیت آنزیم و در نتیجه کاهش میزان جذب صرفاً به واسطه اثرات امواج

فراصوت می‌باشد. غیر فعال سازی آنزیم آلفا آمیلاز جو باعث تولید رادیکال‌های آزاد و نیروهای برشی می‌شود که در نتیجه باعث تغییر و تحول و آسیب بیشتر به ساختار آلفا آمیلاز می‌شود و در نهایت منجر به غیر فعال سازی بیشتر خواهد شد.

فصل سوم

مواد و روش ها

۳-۱- زمان و محل اجرای آزمایش

این آزمایش در سال ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود، واقع در شهر بسطام، به اجرا درآمد.

۳-۲- موقعیت جغرافیایی و مشخصات آب و هوایی محل اجرای آزمایش

شهرستان شاهرود با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی دارای اقلیم سرد و خشک می‌باشد. ارتفاع مرکز شهرستان از سطح دریا ۱۳۶۷ متر و ارتفاع محل اجرای آزمایش ۱۳۴۹ متر است. مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود در ۷ کیلومتری این شهر و در نزدیکی بسطام واقع شده است که از نظر اقلیمی جزء مناطق گرم خشک و دارای زمستانی سرد می‌باشد. در زمستان برودت هوا به ۱۴- درجه سانتی‌گراد و گرمای هوا نیز در تابستان تا ۴۲ درجه بالای صفر می‌رسد. براساس اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی میانگین سالیانه دما در این منطقه ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالیانه ۱۶۰ میلی‌متر گزارش شده است.

۳-۳- مشخصات خاک محل اجرای آزمایش

به منظور تعیین بافت خاک، وضعیت عناصر غذایی به خصوص N-P-K و تشخیص خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش قبل از انجام عملیات آماده‌سازی و اجرای طرح، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری در ۳ نقطه مختلف هر تکرار نمونه‌گیری صورت گرفت، سپس خاک‌ها با هم مخلوط شده و نهایتاً یک نمونه یک کیلوگرمی که گویای تمام سطح مزرعه بود به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه نهایی مورد تجزیه قرار گرفت که نتایج حاصله در جدول ۱-۳ نشان داده شده است. مطابق اطلاعات به دست آمده بافت خاک شنی لومی تعیین شد.

جدول ۳- ۱ خصوصیات خاک محل آزمایش

واحد	مقدار	
-	۷/۷۹	pH
dS/m	۲/۵۶	EC
%	۰/۳۵	OC
%	۰/۰۲۴	N
ppm	۴/۸۹	P(AV)
ppm	۱۷۷	K (AV)
%	۵۵	Sand
%	۳۴	Silt
%	۱۱	Clay

تکرار I	S ₃ W ₁	S ₂ W ₂	S ₁ W ₅	S ₁ W ₄	S ₃ W ₅	S ₂ W ₄	S ₂ W ₅	S ₁ W ₃	S ₃ W ₄	S ₁ W ₂	S ₂ W ₁	S ₃ W ₂	S ₁ W ₁	S ₂ W ₃	S ₃ W ₃
تکرار II	S ₂ W ₁	S ₃ W ₃	S ₁ W ₄	S ₂ W ₂	S ₃ W ₂	S ₁ W ₅	S ₃ W ₁	S ₁ W ₃	S ₂ W ₃	S ₃ W ₄	S ₂ W ₄	S ₁ W ₂	S ₂ W ₅	S ₁ W ₁	S ₃ W ₅
تکرار III	S ₁ W ₄	S ₂ W ₁	S ₃ W ₃	S ₁ W ₃	S ₂ W ₂	S ₃ W ₄	S ₂ W ₃	S ₁ W ₅	S ₃ W ₅	S ₃ W ₂	S ₁ W ₁	S ₂ W ₄	S ₁ W ₂	S ₂ W ₅	S ₃ W ₁

شکل ۳- ۱- نقشه کاشت طرح آزمایشی مورد استفاده

۳-۴- مشخصات طرح آزمایش

آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل تنش خشکی در سه سطح S₁ (شاهد- آبیاری کامل)، S₂ (قطع آبیاری از مرحله خمیری دانه به بعد) و S₃ (قطع آبیاری از مرحله شروع گلدهی تا انتهای دوره رشد) به عنوان فاکتور اول و امواج آلتراسونیک (فراصوت) در پنج سطح W₁ (شاهد-عدم پرتودهی)، W₂ (۲ دقیقه)، W₃ (۴ دقیقه)، W₄ (۶ دقیقه) و W₅ (۸ دقیقه) به عنوان فاکتور دوم می‌باشد. نقشه کاشت در شکل

۳-۱ آورده شده است.

۳-۵- مشخصات پلات ها

طبق نقشه کاشت ۳ تکرار با فاصله ۳ متر از یکدیگر تعبیه شد. هر تکرار شامل ۱۵ پلات بود. طول هر پلات ۵ متر و عرض آن ۳/۲ متر در نظر گرفته شد. هر پلات نیز مشتمل بر چهار ردیف کاشت بود و یک ردیف نکاشت که به عنوان مرز بین هر دو پلات مجاور قرار گرفت. فاصله بین خطوط کاشت ۶۵ سانتی متر و فاصله بذور روی ردیف ۱۰ سانتی متر بود.

۳-۶- آماده سازی زمین

عملیات آماده سازی زمین با مساعد شدن شرایط آب و هوایی و گاورو شدن زمین در نیمه اول خرداد ماه ۱۳۹۲ صورت گرفت. در ابتدا زمین مورد نظر توسط گاواهن برگرداندار شخم زده شد. سپس اقدام به عمل تسطیح زمین گردید. در پایان به وسیله فارور، جوی و پشته‌هایی به فاصله ۶۵ سانتی متر در جهت شمال به جنوب ایجاد گردید و سپس جوی‌های آبیاری، یکی برای ورود آب به هر تکرار و دیگری برای خروج زه آب تعبیه شدند.

۳-۷- پرتودهی بذور

در این پژوهش از بذور رقم کرمانشاهی استفاده شد. بذور نخود بعد از ۶ ساعت هیدرو پرایمینگ نمودن در شرایط آزمایشگاه، جهت پرتودهی با امواج آلتراسونیک به آزمایشگاه فیزیک منتقل شده و در آنجا در یک بشر حاوی آب مقطر به روش مستقیم و با استفاده از دستگاه حمام آلتراسونیک (Digital ultrasonic مدل CD-۴۸۲۰ ساخت کشور ژاپن) در فرکانس ثابت ۴۲ کیلوهرتز امواج دهی شدند. بذور بلافاصله پس از پرتودهی جهت کاشت به مزرعه تحقیقاتی منتقل گردید.

۳-۸- کاشت بذور

کاشت بذور نخود به صورت دستی و طبق نقشه طرح، در تاریخ ۱۵ خرداد ۱۳۹۲ صورت گرفت. بذور در عمق ۴-۵ سانتی متری با فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی متر و بین ردیف ۶۵ سانتی متر روی پشته‌ها کشت گردید. قابل ذکر است که هیچ گونه کودی قبل از کاشت به زمین داده نشد.

۳-۹- عملیات داشت و مبارزه با علف‌های هرز و آفات

عملیات داشت در طی فصل رشد و تمام مراحل رشد گیاه به صورت مداوم انجام پذیرفت و امور مربوط به نمونه برداری نیز همزمان با آن صورت می‌گرفت.

وجین علف‌های هرز در کل دوره رشد گیاه به صورت دستی انجام شد و مزرعه تا پایان دوره رشد عاری از علف‌های هرز بود. مهمترین گونه‌های علف هرز مزرعه به ترتیب فراوانی آن‌ها در سطح زمین شامل: سوروف، پیچک صحرایی، خارشتر، خرفه و تاج ریزی بودند. هیچ گونه بیماری و حشره‌ای که آفت نخود باشد در مزرعه مشاهده نشد، بنابراین به مبارزه شیمیایی احتیاجی نبود.

۳-۱۰- آبیاری

آبیاری مزرعه به روش جوی و پشته انجام گرفت و اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام شد تا ردیف‌ها کاملاً مرطوب شوند. آبیاری‌های بعدی در ابتدای کار به فاصله هر پنج روز یکبار طی سه مرحله و سپس هر ۱۰ روز یکبار تا مرحله اعمال تنش ادامه یافت. برای اعمال تنش خشکی، با مشاهده ۵۰ درصد گلدهی در مزرعه، آبیاری پلات‌های مربوط به تنش در مرحله گلدهی قطع شد و تنها تیمارهای مرحله خمیری شدن دانه و شاهد آبیاری گردید. با شروع مرحله خمیری شدن دانه آبیاری در این پلات‌ها نیز متوقف و تنها در پلات‌های مربوط به بوته‌های شاهد آبیاری انجام شد.

۳-۱۱- نمونه برداری

۳-۱۱-۱- نمونه برداری شاخص‌های زراعی و مورفولوژیک

۳-۱۱-۱-۱- وزن خشک برگ، ساقه و اندام هوایی

جهت اندازه‌گیری وزن خشک صفات مورد نظر، نمونه برداری یک روز قبل از اعمال تنش در ابتدای مرحله گلدهی صورت پذیرفت. برای نمونه برداری دو ردیف کناری و ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر پلات به عنوان حاشیه حذف شدند. سپس ۳ بوته به نحوی انتخاب می‌شدند که بتوانند تا

حد زیادی خصوصیات پلات مربوطه را نشان دهند. بوته‌های مورد نظر از سطح خاک و از ناحیه طوقه قطع می‌شدند، سپس بوته‌ها جهت اندازه‌گیری صفات مورد نظر به دو بخش برگ و ساقه تقسیم می‌گردید. اجزا به صورت جداگانه در داخل پاکت شماره دار گذاشته شده و سپس به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گرفتند تا کاملاً خشک شوند. پس از خشک شدن با ترازوی حساس به دقت $\pm 0/001$ وزن شدند.

۳-۱۱-۱-۲- سطح برگ

اندازه‌گیری سطح برگ نیز در ابتدای مرحله گلدهی و یکروز قبل از اعمال تنش انجام شد. جهت سنجش سطح برگ‌ها از کاغذ میلیمتری استفاده شد بدین صورت که مساحت برگ‌های دو گیاه توسط کاغذ شطرنجی محاسبه گردید، سپس وزن خشک این برگ‌ها بدست آورده شد. با توجه به رابطه سطح برگ با وزن برگ، مساحت برگ برای هر پلات محاسبه گردید.

۳-۱۱-۲- اندازه‌گیری اجزای عملکرد

نمونه برداری جهت اندازه‌گیری اجزای عملکرد گیاه نیز در آخر فصل انجام شد. اجزای عملکرد در یک گیاه زراعی مؤلفه‌های میزان تولید نهایی گیاه بوده و در هر گیاه زراعی دارای اجزای خاص خود است. اجزای عملکرد در گیاه نخود شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه می‌باشند. این اجزا به همراه وزن کل بوته، وزن غلاف در بوته محاسبه گردید. به منظور اندازه‌گیری اجزای عملکرد، ۴ بوته از هر پلات از ناحیه طوقه بریده شد و سپس قسمت‌های برگ، ساقه، غلاف و دانه جدا گردید. جهت توزین وزن خشک غلاف از ترازوی حساس با دقت $\pm 0/001$ استفاده شد.

۳-۱۲- اندازه‌گیری کلروفیل

اندازه‌گیری کلروفیل جهت بررسی اثر متقابل تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر روی آن بعد از اعمال تنش خشکی و در اواخر مرحله دانه بندی که برگ‌های گیاه هنوز سبز بودند انجام شد. برای این امر از دستگاه کلروفیل سنج مدل (SPAD 502) استفاده شد. بدین صورت که برای هر پلات سه بوته و از هر بوته ۹ نقطه (سه نقطه زیر بوته سه نقطه وسط کانوپی و سه نقطه در بالای بوته) جهت اندازه‌گیری کلروفیل در نظر گرفته شد. ملاک برای هر بوته میانگین داده‌ها بود.

۳-۱۳- صفات کیفی

۳-۱۳-۱- اندازه‌گیری میزان نیتروژن و پروتئین دانه

پس از برداشت، نیتروژن‌گیری و پروتئین‌گیری دانه به روش کج‌لدال^{۳۳} و در آزمایشگاه گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود انجام شد. در این روش ابتدا نیتروژن دانه‌های نخود طی دو مرحله‌ی هضم کردن و تیتراسیون بدست می‌آید. برای عمل هضم یک گرم از بافت خوب پودر شده به بالن‌های مخصوص کج‌لدال منتقل گردید و یک قرص کاتالیزور شامل ۱/۵ گرم سولفات پتاسیم و ۰/۱۵ گرم سولفات مس به هر فلاسک اضافه گردید. برای انجام عمل هضم ۲۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ افزوده شد و بالن‌ها درون اجاق مخصوص قرار داده شدند. زمانی که محلول سیاه‌رنگ درون فلاسک‌ها تبدیل به محلول نسبتاً زلال به رنگ سبز بسیار کمرنگ شد، پایان عمل هضم مشخص گردید که معمولاً ۲ تا ۲/۵ ساعت زمان لازم داشت. میزان نیتروژن نمونه‌ها پس از سرد شدن در دمای آزمایشگاه توسط دستگاه کج‌لدال سنجیده شد. دستگاه دارای سه مخزن آب مقطر، سود سوز آور ۴۰ درصد و اسید بوریک ۱۰ درصد بود. پس از قرار گرفتن یک فلاسک در دستگاه به ترتیب ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۳۰ میلی‌لیتر سود سوز آور ۴۰ درصد به نمونه اضافه شده و با فشار بخار آب عمل تقطیر انجام گرفت. عمل تیتراسیون نیز توسط دستگاه صورت گرفت. در این مرحله از اسید

³³ Kjeldahl

کلریدریک ۰/۱ نرمال استفاده شد. مقدار نیتروژن موجود در نمونه بر اساس مقدار اسید کلریدریک مصرف شده در تیتراسیون توسط دستگاه مشخص گردید. به منظور تبدیل مقدار اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال مصرف شده در تیتراسیون به درصد نیتروژن نمونه و تبدیل آن به درصد پروتئین از روابط (۱-۳) و (۲-۳) استفاده شد. ضریب تبدیل پروتئین برای گیاه نخود ۵/۳ در نظر گرفته شد. برای محاسبه عملکرد پروتئین دانه از حاصلضرب عملکرد دانه در درصد پروتئین آن استفاده گردید.

$$\text{وزن نمونه (گرم)} / (A \times 0.14) = \text{درصد نیتروژن نمونه} \quad (1-3)$$

$$\text{ضریب تبدیل نیتروژن} \times \text{درصد نیتروژن} = \text{درصد پروتئین} \quad (2-3)$$

$$A = \text{حجم اسید کلریدریک } 0.1 \text{ نرمال مصرفی بر حسب میلی لیتر}$$

۳-۱۳-۲- روغن دانه

۲ گرم از نمونه آسیاب شده و خشک شده را داخل کاغذ صافی پیچیده مجدداً وزن می‌کنیم و سپس در داخل انگشتانه در وسط سوکسله می‌گذاریم و داخل بالن ته گرد که قبلاً با دقت وزن شده به مقدار ۳۰۰ سی سی اتر دوپترول ریخته به قسمت پایین سوکسله وصل می‌کنیم و مبرد را نیز به بالای دستگاه سوکسله وصل می‌نمائیم. در ادامه هیتر زیر بالن را روشن کرده به مدت ۴-۶ ساعت حرارت می‌دهیم. در انتهای کار بالن چربی دار شده را از سوکسله جدا کرده در داخل خشک کن قرار می‌دهیم تا اتر آن تبخیر شود و وزن آن را می‌گیریم و همچنین انگشتانه را از سوکسله خارج کرده و سپس کاغذ صافی را از انگشتانه در آورده و در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار می‌دهیم تا اتر آن متصاعد شود سپس کاغذ صافی را وزن می‌کنیم. اختلاف بین وزن اولیه کاغذ صافی با وزن ثانویه کاغذ صافی را بدست آورده در ۱۰۰ ضرب و بر وزن اولیه نمونه تقسیم می‌کنیم در نهایت درصد روغن به دست می‌آید.

$$\left[\begin{array}{l} A = \text{وزن اولیه کاغذ صافی پیچیده شده} \\ B = \text{وزن ثانویه کاغذ صافی پیچیده شده} \end{array} \right. \longrightarrow \left[\begin{array}{l} \text{وزن روغن در } 2 \text{ گرم نمونه } A-B=C \\ C=(X \times 100)/2 \text{ درصد روغن} \end{array} \right.$$

۳-۱۴- آنالیز داده‌ها

در این پژوهش برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزارهای SAS و MSTAT-C و هم چنین برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. برای رسم شکل‌ها نیز نرم افزار Excel 2010 بکار برده شد.

فصل چہارم

نتائج و بحث

۱-۴- تأثیر امواج آلتراسونیک بر وزن خشک ساقه، برگ، اندام هوایی و سطح برگ

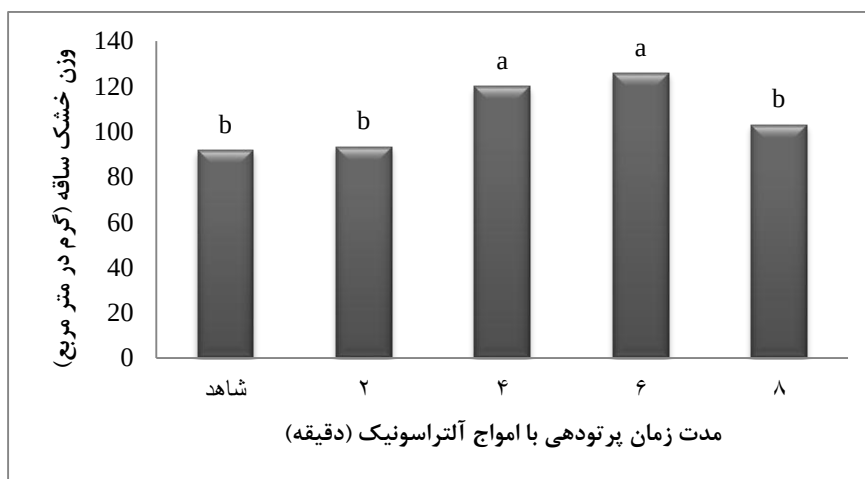
جهت بررسی اثر امواج آلتراسونیک بر صفات مورفولوژیک گیاه نخود، یک روز قبل از اعمال تنش در مرحله گلدهی به بعد (S_3)، یکبار نمونه برداری صورت گرفت. صفات مورفولوژیک مورد نظر شامل: وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، وزن خشک اندام هوایی و سطح برگ می‌باشد. در ادامه نتایج بدست آمده مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱-۴-۱- وزن خشک ساقه

کاربرد امواج آلتراسونیک، وزن خشک ساقه را در هنگام گلدهی گیاه در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱-۴). با توجه به نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱-۴) می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که استفاده از امواج آلتراسونیک موجب افزایش چشمگیر وزن خشک ساقه در بوته‌های پرتودهی شده نسبت به شاهد شده است. بوته‌های پرتودهی شده در سطوح زمانی ۶ و ۴ دقیقه توانستند بیشترین میانگین وزن خشک ساقه را بدست آورند و این در حالی است که کمترین میانگین به بوته‌های شاهد (عدم پرتودهی) و ۲ دقیقه پرتودهی تعلق داشت. شاهد نسبت به دو تیمار ۶ و ۴ دقیقه به ترتیب ۳۷/۲۷ و ۳۰/۹۶ درصد کاهش نشان داد. طی پژوهشی مشخص شد استفاده از این امواج می‌تواند به کاهش ۳۰ تا ۴۵ درصدی زمان تا جوانه زنی بذور جو و افزایش درصد جوانه زنی منجر گردد (یلداگرد و همکاران، ۲۰۰۸).

جدول ۱-۴- تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر وزن خشک ساقه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۲	۱۸۸/۴۰
امواج آلتراسونیک (w)	۴	۲۱۷۱/۳۶ **
خطا	۳۸	۲۱۵/۲۴
CV		۱۳/۷۴۰



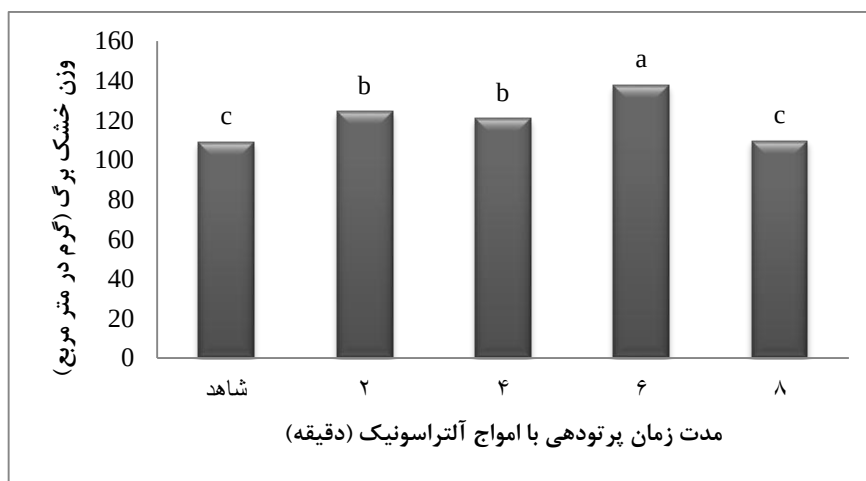
شکل ۴-۱- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه در شرایط پرتو دهی بذر با امواج آلتراسونیک به مدت ۲ تا ۸ دقیقه

۴-۱-۲- وزن خشک برگ

امواج آلتراسونیک تأثیر معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد بر وزن خشک برگ داشت (جدول ۴-۲). بیشترین افزایش وزن با ۱۳۷/۸۰ گرم در متر مربع به بوته های پرتو دهی شده در مدت زمان ۶ دقیقه اختصاص یافت که با سایر تیمارها و شاهد نیز اختلاف معنی داری داشت (شکل ۴-۲). همانطور که از نتایج بر می آید، افزایش مدت امواج دهی بیشتر از ۶ دقیقه موجب کاهش وزن خشک برگ شده است به نحوی که در پایین ترین سطح بین شاهد و تیمار ۸ دقیقه اختلاف معنی داری مشاهده نشد. طی تحقیقی که بر روی گیاهان مختلف پس از تیمار بذور با امواج آلتراسونیک KHz ۴۲ صورت پذیرفت، نتایج حاکی از برتری بالای تیمار آلتراسونیک نسبت به شاهد بود (بینا، ۱۳۸۷).

جدول ۴-۲- تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر وزن خشک برگ

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۲	۴۵/۱۲۳
امواج آلتراسونیک (w)	۴	۱۲۶۸/۴۴ **
خطا	۳۸	۱۷۴/۸۸
CV		۱۰/۹۸۱



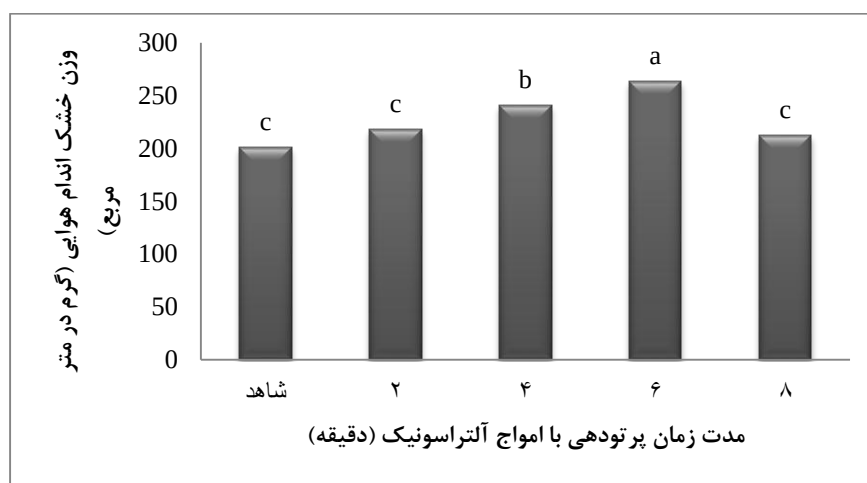
شکل ۴-۲- مقایسه میانگین وزن خشک برگ در شرایط پرتو دهی بذر با امواج آلتراسونیک به مدت ۲ تا ۸ دقیقه

۴-۱-۳- وزن خشک اندام هوایی

وزن خشک اندام هوایی مجموع وزن خشک ساقه و برگ را شامل می‌شد. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۳) مبین آن بود که کاربرد امواج آلتراسونیک بر وزن خشک اندام هوایی گیاه نخود در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است. مقایسه میانگین‌ها (شکل ۴-۳) نشان داد تیمار ۶ دقیقه با ۲۶۳/۶۶ گرم بالاترین میزان و در مقابل، شاهد (عدم پرتو دهی) با ۲۰۰/۷۳ گرم کمترین میزان وزن خشک اندام هوایی را داشتند. افزایش ماده خشک تولیدی یکی از راه‌های بهبود عملکرد اقتصادی نخود است (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶). برای بدست آوردن عملکرد اقتصادی بالا مواردی همچون میزان تجمع ماده خشک قبل از غلاف‌دهی، سهم اختصاص یافته به دانه‌ها و توانایی انتقال مجدد منابع ذخیره‌ای از ساقه یا برگ‌ها به دانه دارای اهمیت زیادی می‌باشد (لیپورت و همکاران، ۱۹۹۹). بنابراین افزایش وزن خشک تجمعی گیاه در مرحله گل‌دهی می‌تواند به افزایش عملکرد گیاه کمک کند. کاربرد این امواج روی بذور جو افزایش ۳۰ الی ۴۵ درصدی جوانه زنی را در مقایسه با تیمار شاهد نشان داد (یلداگرد، ۲۰۰۸).

جدول ۴-۳- تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر وزن خشک اندام هوایی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۲	۶۵/۲۴
امواج آلتراسونیک (w)	۴	۵۶۷۲/۴۲ **
خطا	۳۸	۴۳۹/۲۹
CV		۹/۲۲۵



شکل ۴-۳- مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی در شرایط پرتودهی بذر با امواج آلتراسونیک به مدت ۲ تا ۸ دقیقه

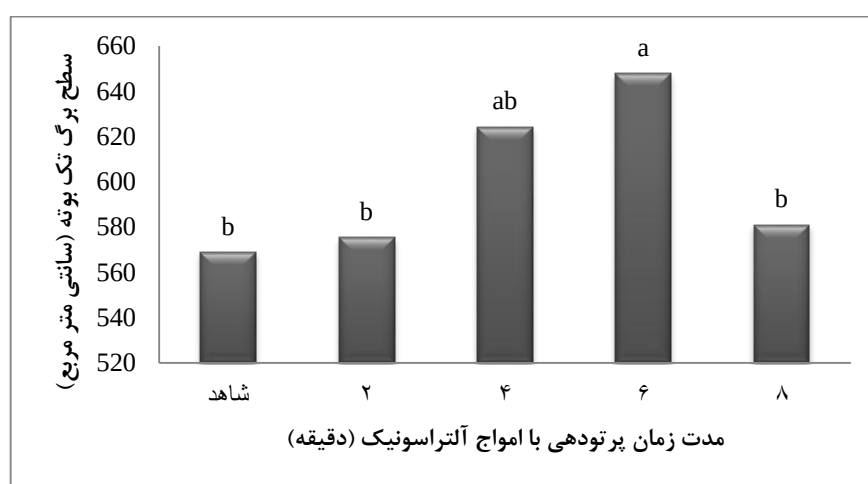
۴-۱-۴- سطح برگ (تک بوته)

بررسی نتایج تجزیه واریانس در این تحقیق نشان داد که اثر اصلی امواج آلتراسونیک بر سطح برگ گیاه نخود در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بوده است (جدول ۴-۴). امواج آلتراسونیک توانست میانگین سطح برگ تک بوته نخود را در تیمار ۶ دقیقه نسبت به شاهد (عدم پرتودهی) افزایش دهد. همانطور که در شکل ۴-۴ مشاهده می شود، دو تیمار ۶ و ۴ دقیقه بالاترین سطح برگ را دارند و نسبت به شاهد به ترتیب ۱۳/۸۵ و ۹/۷۱ درصد افزایش نشان دادند. سطح برگ یکی از شاخص های تعیین کننده رشد می باشد و همبستگی قوی بین سطح برگ در مرحله گرده افشانی با عملکرد بیولوژیک و دانه در بسیاری از مطالعات گزارش شده است (ساکسنا، ۱۹۹۰ و سینگ، ۱۹۹۷).

بنابراین می‌توان اینگونه اظهار کرد که تأثیر امواج آلتراسونیک بر سطح برگ می‌تواند به افزایش عملکرد گیاه کمک نماید.

جدول ۴-۴- تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر سطح برگ گیاه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۲	۴۶۹۶/۷۲
امواج آلتراسونیک (w)	۴	۱۰۷۹۸/۰۲ *
خطا	۳۸	۴۵۷۳/۹۲
CV		۱۱/۲۸۲



شکل ۴-۴- مقایسه میانگین سطح برگ گیاه نخود در شرایط پرتو دهی بذر با امواج آلتراسونیک به مدت ۲ تا ۸ دقیقه

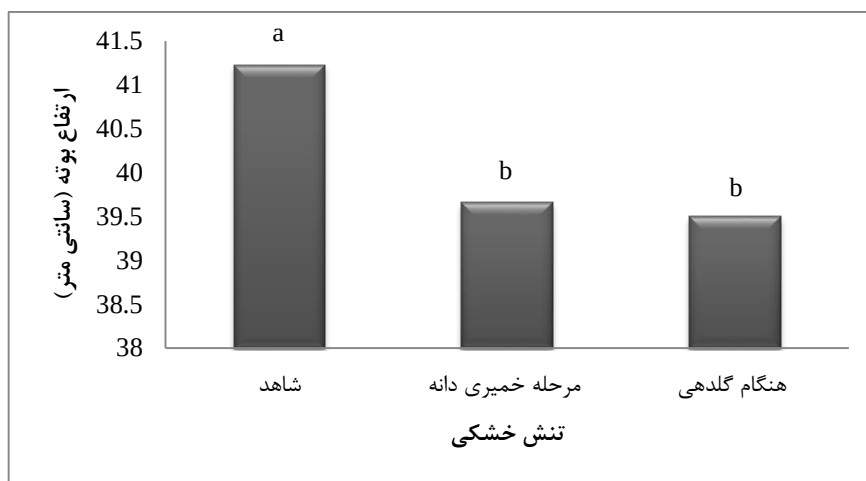
۴-۲- ارتفاع بوته

ارتفاع نهایی گیاه معمولاً تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است ولی محیط نیز ارتفاع بوته را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ارتفاع جزء مهمی در تعیین عملکرد نمی‌باشد ولی احتمالاً ارقام با ارتفاع بلندتر عملکرد ماده خشک بیشتری دارند (سلیمی، ۱۳۸۹). طبق نتایج بدست آمده اثر تنش خشکی بر ارتفاع بوته در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بدست آمد (جدول ۴-۵). بیشترین ارتفاع بوته به شاهد (آبیاری کامل) اختصاص یافت که اختلاف معنی‌داری با بوته‌های تنش داده شده در مرحله گلدهی و خمیری

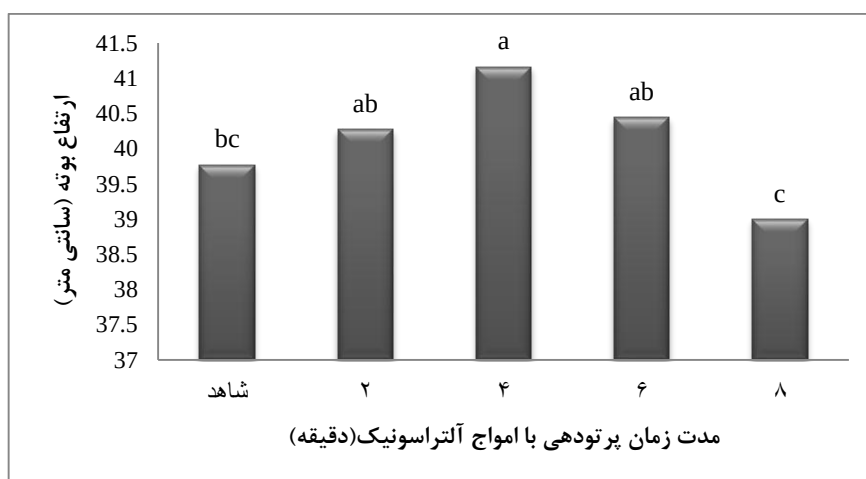
دانه به بعد داشت (شکل ۴-۵). حداکثر و حداقل ارتفاع بوته به ترتیب ۴۱/۲۳ سانتی‌متر (شرایط آبیاری کامل) و ۳۹/۵۰ سانتی‌متر (شرایط تنش در مرحله خمیری دانه) بود. کورت و همکاران (۱۹۹۳) در گیاه نخود گزارش کردند که کاهش آب قابل دسترس بویژه در اوایل دوره گلدهی ضمن کاهش سرعت رشد رویشی و کوتاه شدن دوره رشد زایشی تأثیر منفی بر ارتفاع بوته داشته است. بررسی‌های متعدد نشان می‌دهد که ارتفاع گیاه در اثر کمبود آب قابل استفاده کاهش می‌یابد. تأثیر سطوح مختلف امواج آلتراسونیک نیز بر ارتفاع بوته در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بدست آمد (جدول ۴-۵). به طوری‌که بیشترین ارتفاع بوته با ۴۱/۱۶ سانتی‌متر مربوط به تیمار ۴ دقیقه بود که اختلاف معنی‌داری با شاهد (عدم پرتودهی) داشت و کمترین ارتفاع با ۳۹ سانتی‌متر به تیمار ۸ دقیقه تعلق گرفت (شکل ۴-۶). البته تیمار ۶ دقیقه و ۲ دقیقه اختلاف معنی‌داری با تیمار ۴ دقیقه از نظر ارتفاع بوته نداشتند. بر این اساس اینگونه می‌توان نتیجه گرفت که افزایش پرتودهی امواج آلتراسونیک از ۴ دقیقه به بعد، کاهش ارتفاع گیاه را در پی خواهد داشت. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر ارتفاع بوته در هیچ یک از سطوح آماری معنی‌دار نشده است (جدول ۴-۵).

جدول ۴-۵- تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر ارتفاع بوته

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۲	۸/۵۱۶
تنش خشکی (s)	۲	۱۳/۷۱**
امواج آلتراسونیک (w)	۴	۵/۸۴**
s×w	۸	۲/۵۹ ^{ns}
خطا	۲۸	۱/۲۱
CV		۲/۷۵۱



شکل ۴-۵- مقایسه میانگین ارتفاع بوته در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد و از مرحله خمیری شدن دانه به بعد)



شکل ۴-۶- مقایسه میانگین ارتفاع بوته در شرایط پرتو دهی بذر با امواج آلتراسونیک به مدت ۲ تا ۸ دقیقه

۴-۳- تعداد شاخه فرعی اولیه

همانطور که می‌دانیم، بین تعداد شاخه‌های فرعی بوته و عملکرد گیاه رابطه‌ای مستقیم وجود دارد. طبق نتایج بدست آمده تعداد نهایی شاخه فرعی اولیه در بوته نخود تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت ($P < 0.01$) (جدول ۴-۶). تنش خشکی باعث شد که تعداد شاخه فرعی شاهد (آبیاری کامل) نسبت به شرایط تنش از کمیت بالاتری برخوردار باشد (شکل ۴-۷). البته بین شاهد و تنش در مرحله خمیری اختلاف معنی‌دار نبود. شاهد و تنش در مرحله خمیری به ترتیب با میانگین ۷/۷۴ و

۷/۰۷ بیشترین تعداد شاخه را داشتند و تیمار تنش از مرحله گلدهی به بعد با ۵/۹۵ دارای کمترین تعداد شاخه فرعی بود. یوسفی و همکاران (۱۳۷۶) نشان دادند که انجام آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه‌های جانبی نخود داشت و در این زمان رشد رویشی فعال بود. شاخه‌دهی در گیاه نخود به شدت تحت تأثیر شرایط محیطی به ویژه خصوصیات فیزیکی خاک و یا تنش خشکی قرار می‌گیرد، بنابراین شرایط محیطی می‌تواند سهم شاخه‌ها از عملکرد نهایی را تغییر دهد (گنجعلی و همکاران، ۱۳۷۶). در مطالعات نیلسن (۱۹۹۷) روی کلزا مشخص شد که تنش خشکی در مرحله رشد زایشی موجب می‌شود شاخه‌های فرعی کمتری نسبت به سایر مراحل رشد حاصل گردد.

نتایج تجزیه واریانس حاکی از تأثیر امواج آلتراسونیک در سطح احتمال ۵ درصد بر تعداد نهایی شاخه فرعی اولیه گیاه نخود بود (جدول ۴-۶). نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشانگر آن است که کاربرد امواج آلتراسونیک توانسته است در مدت زمان ۶ دقیقه با میانگین ۷/۷۸ شاخه فرعی در هر بوته، بالاترین کمیت را از این نظر کسب نماید، هرچند که با تیمار ۲ دقیقه (۷/۶۸ شاخه فرعی) اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۴-۸). تیمار ۶ دقیقه تعداد شاخه فرعی را نسبت به شاهد (عدم پرتودهی) ۲۹/۴۵ درصد افزایش داد. همانطور که در شکل ۴-۸ مشخص است، افزایش مدت زمان پرتودهی تا ۶ دقیقه این صفت را افزایش داده است و با بالارفتن مدت زمان پرتودهی، کاهش تعداد شاخه فرعی اولیه را شاهد بودیم. شیمومورا (۱۹۹۰) طی تحقیقی بر جوانه زنی بذور گیاه همیشه بهار دریافت که با افزایش زمان تیمار آلتراسونیک با فرکانس ۴۲ کیلوهرتز از ۲ دقیقه تا ۶ دقیقه درصد جوانه زنی، طول ریشه چه و ساقه چه و وزن خشک گیاهچه افزایش یافت و از ۶ دقیقه به ۸ دقیقه کاهش یافت.

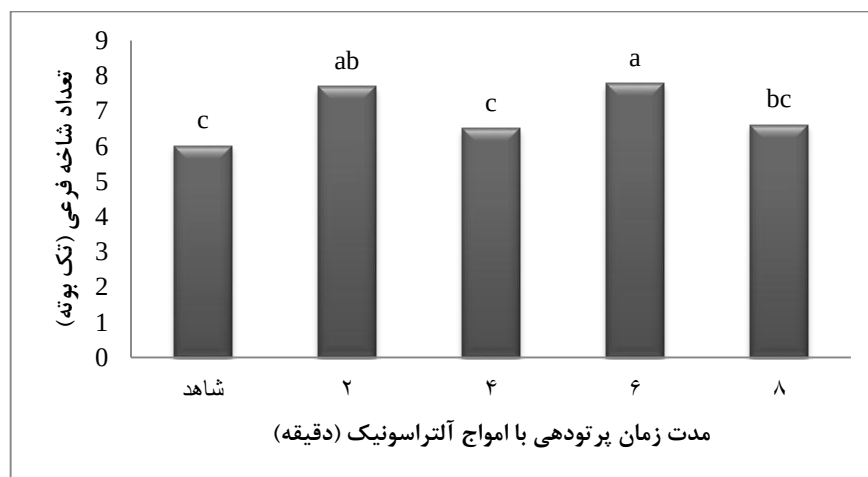
طبق نتایج بدست آمده، اثر متقابل تنش خشکی و امواج آلتراسونیک تعداد نهایی شاخه فرعی را در هیچ یک از سطوح آماری ۱ درصد و ۵ درصد متأثر ننمود (جدول ۴-۶).

جدول ۴-۶- تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر تعداد شاخه فرعی اولیه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۲	۰/۰۲
تنش خشکی (s)	۲	۱۲/۲۲**
امواج آلتراسونیک (w)	۴	۵/۴۷*
s×w	۸	۲/۵۴ ^{ns}
خطا	۲۸	۱/۴۴
CV		۱۷/۳۴۶



شکل ۴-۷- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی اولیه در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد و از مرحله خمیری شدن دانه به بعد)



شکل ۴-۸- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی اولیه در شرایط پرتو دهی بذر با امواج آلتراسونیک به مدت ۲ تا ۸ دقیقه

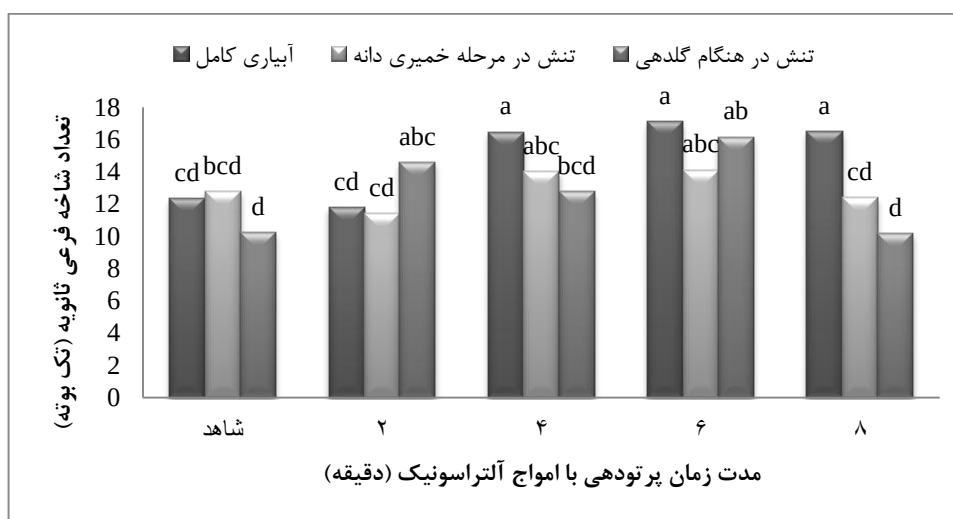
۴-۴- تعداد شاخه فرعی ثانویه

بر اساس مندرجات جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۷) اثر اصلی تنش خشکی و امواج آلتراسونیک و همچنین اثر متقابل این دو فاکتور بر تعداد نهایی شاخه فرعی ثانویه گیاه نخود تأثیر معنی داری داشتند. تعداد شاخه فرعی ثانویه در شرایط اعمال تنش خشکی کاهش یافت. در ضمن افزایش مدت زمان امواج دهی بر این صفت افزود. کیم و کرونستد (۱۹۸۱) بیان داشتند شاخه‌دهی زیاد گیاه تحت شرایط خشکی یک صفت نامطلوب به حساب می‌آید، زیرا باعث مصرف بیهوده رطوبت خاک و اتلاف آن می‌گردد.

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۷) اثر متقابل تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر تعداد شاخه فرعی ثانویه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. بیشترین تعداد شاخه فرعی ثانویه در شرایط آبیاری کامل و ۶ دقیقه پرتودهی (۱۷/۱۳۳) حاصل شد که البته با چند تیمار دیگر از این نظر اختلاف معنی‌داری نداشت. در مقابل کمترین تعداد شاخه را تیمار ۸ دقیقه در شرایط تنش هنگام گلدهی به خود اختصاص داد (شکل ۴-۹). به نظر می‌رسد گیاه در شرایط ایده آل رطوبتی و همچنین استفاده بهینه از امواج آلتراسونیک تولید مواد فتوسنتزی را صرف تولید بالاتر شاخه فرعی ثانویه نموده است، حال آنکه در شرایط تنش این امر مشاهده نشد و تعداد شاخه فرعی ثانویه کمتری در این حالت دیده شد. تعداد بالای شاخه فرعی اولیه و ثانویه، در صورت بارور بودن می‌تواند در افزایش عملکرد نیز سهم بسزایی داشته باشد.

جدول ۴-۷- تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر تعداد شاخه فرعی ثانویه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۲	۰/۳۵۳
تنش خشکی (S)	۲	۱۹/۵۶۶ *
امواج آلتراسونیک (W)	۴	۲۲/۸۹۰ **
S×W	۸	۱۰/۸۹۸ *
خطا	۲۸	۴/۶۷۷
CV		۱۵/۹۸۳



شکل ۴-۹- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی ثانویه برای ترکیبات تیماری سه سطح تنش خشکی و چهار مدت پرتودهی بذر با امواج آلتراسونیک.

۴-۵- عملکرد و اجزای عملکرد

۴-۵-۱- عملکرد دانه

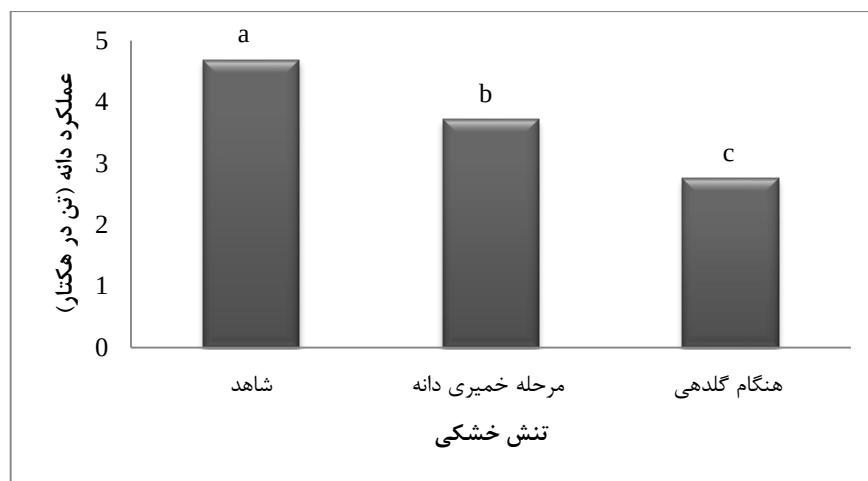
عملکرد دانه از مهمترین شاخص‌های اقتصادی در گیاهان دانه‌ای محسوب می‌گردد. نتایج جدول تجزیه واریانس حاکی از تاثیر معنی‌دار تیمارهای مورد بررسی بر عملکرد دانه می‌باشد (جدول ۴-۸). تنش خشکی در سطح احتمال ۱ درصد عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار داد و موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در مقایسه با شاهد شد (جدول ۴-۸ و شکل ۴-۱۰). نتایج گویای این مطلب است که آبیاری کامل عملکرد دانه را در نخود نسبت به دو سطح تنش دیده به طور معنی‌داری افزایش داده است. عملکرد در شرایط آبیاری کامل ۴/۶۸ تن در هکتار و در دو سطح دوم و سوم تنش به ترتیب ۳/۷۲ و ۲/۷۵ تن در هکتار بود (شکل ۴-۱۰). با توجه به رابطه خطی بین ماده خشک تولیدی و عملکرد اقتصادی گیاه نخود (سلطانی و همکاران، ۱۹۹۹)، کاهش عملکرد در شرایط تنش را می‌توان از جمله عوامل مؤثر بر این مسئله دانست. به نظر می‌رسد افزایش عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل به دلیل افزایش طول دوره رشد و فتوسنتز در گیاه، افزایش دوره پرشدن دانه و نیز بهبود قابل

ملاحظه دو جزء عملکرد یعنی تعداد غلاف در بوته و وزن صد دانه بوده است. بر عکس، تنش خشکی از طریق القای زودرسی، زمان لازم برای رشد بیشتر گیاه و انتقال بهینه تولیدات فتوسنتزی به دانه‌ها را محدود نموده و لذا پتانسیل عملکرد دانه کاهش می‌یابد (کومار و ابو، ۲۰۰۱). در آزمایشی بر روی لوبیای معمولی، لوبیای چشم بلبلی و نخود گزارش شد که مهمترین و اثرگذارترین مرحله بر کاهش عملکرد در هر سه گیاه مورد آزمایش، مرحله گلدهی و تشکیل غلاف می‌باشد (تزفای و همکاران، ۲۰۰۶). همچنین در بررسی عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه نخود، دوره رشد زایشی حساسترین مرحله، به اثرات تنش خشکی معرفی گردیده است (لپرت و همکاران، ۲۰۰۶). در این راستا دانشیان و همکاران (۱۳۸۱) گزارش نمودند که بر اثر تنش خشکی در سویا عملکرد دانه کاهش یافت که ناشی از کاهش تعداد دانه در گیاه و وزن هزار دانه بود.

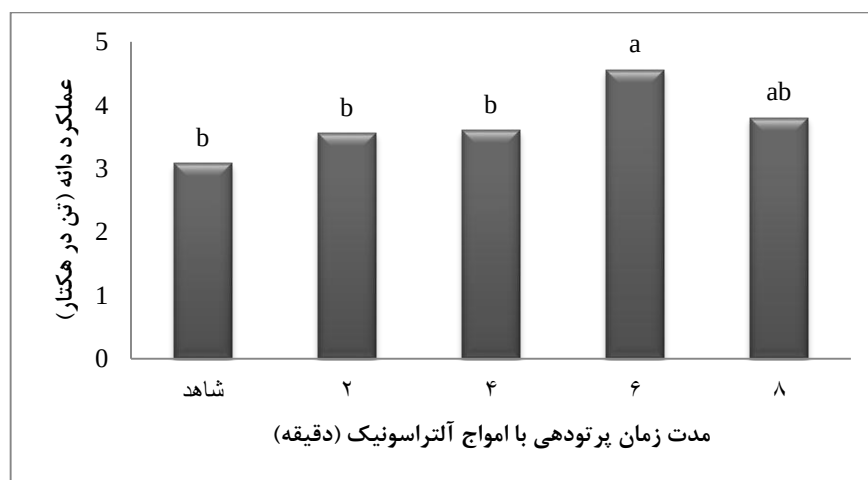
براساس نتایج بدست آمده در این بررسی، اثر اصلی امواج آلتراسونیک بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۴-۸). بیشترین عملکرد دانه مربوط می‌شد به تیمار ۶ دقیقه (۴/۵۶ تن در هکتار) که عملکرد دانه را به طور چشمگیری نسبت به شاهد (۳/۰۸ تن در هکتار) بهبود بخشید. با افزایش مدت زمان پرتودهی به ۸ دقیقه عملکرد به طور غیر معنی‌داری نسبت به تیمار ۶ دقیقه کاهش یافت (شکل ۴-۱۱). عبادی و همکاران (۱۳۹۱) نیز در پژوهش‌های خود بالاترین عملکرد دانه را در کاربرد ۶ دقیقه‌ای امواج آلتراسونیک در لوبیا چشم بلبلی حاصل کردند. نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس حاکی از آن است که اثر متقابل تنش خشکی و امواج آلتراسونیک عملکرد دانه را در هیچ یک از سطوح آماری متأثر ننموده است (جدول ۴-۸).

جدول ۴-۸- تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر عملکرد دانه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۲	۰/۸۱
تنش خشکی (s)	۲	۱۴/۰۰**
امواج آلتراسونیک (w)	۴	۲/۶۰**
s×w	۸	۰/۹۸ ^{ns}
خطا	۲۸	۰/۶۳
CV		۲۱/۳۶۸



شکل ۴-۱۰- مقایسه میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد و از مرحله خمیری شدن دانه به بعد)



شکل ۴-۱۱- مقایسه میانگین عملکرد دانه در شرایط پرتو دهی بذر با امواج آلتراسونیک به مدت ۲ تا ۸ دقیقه

۴-۵-۲- وزن ۱۰۰ دانه

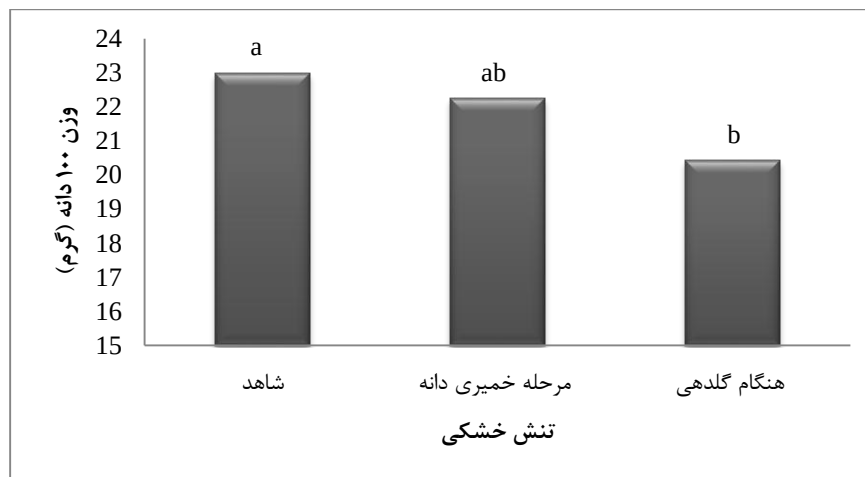
براساس نتایج بدست آمده تنش خشکی وزن صد دانه را در سطح آماری ۵ درصد متأثر نموده است (جدول ۴-۹)، به طوری که شاهد (آبیاری کامل) با ۲۲/۹۸ گرم بیشترین و تیمار تنش از مرحله گلدهی به بعد با ۲۰/۴۲ گرم کمترین وزن صد دانه را به خود اختصاص دادند (شکل ۴-۱۲). به نظر می‌رسد اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی و بخصوص در مرحله خمیری دانه‌ها موجب اختلال در فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی و همچنین انتقال مواد جهت پرکردن دانه‌ها می‌شود و از این طریق سبب کاهش وزن دانه می‌گردد. جلیلیان و خداینده (۱۳۷۷) دریافتند تحت شرایط تنش در مراحل گلدهی و پر شدن غلاف، اکثر صفات کاهش یافته که بیشترین خسارت وارده به عملکرد دانه را ناشی از ریزش گل‌ها عنوان کردند و پس از آن کاهش وزن صد دانه بر اثر تنش در مرحله پر شدن غلاف قابل ملاحظه بود. اولاه و همکاران (۲۰۰۲) با بررسی روی گیاه نخود نشان دادند که محدودیت رطوبت در زمان گلدهی و غلافدهی موجب کاهش انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه چروک شدن دانه می‌شود. فراهمی رطوبت در مرحله گلدهی باعث طولانی تر شدن دوره پر شدن دانه شده و در نتیجه مواد فتوسنتزی بیشتری برای اختصاص به دانه‌ها فراهم می‌شود. در پژوهش دیویس و همکاران (۱۹۹۹) نیز تنش خشکی وزن دانه را به طور معنی‌داری کاهش داد.

نتایج تجزیه واریانس در این بررسی هم چنین نشان داد که کاربرد امواج آلتراسونیک تأثیر معنی‌داری بر وزن صد دانه داشته است ($P < 0.05$) (جدول ۴-۹). با در نظر گرفتن مقایسه میانگین‌ها به روشنی می‌توان گفت که بالاترین وزن صد دانه مربوط است به تیمار ۶ دقیقه (۲۳/۴۷ گرم) که تفاوت معنی‌داری با شاهد (۲۰/۰۳ گرم) داشت و نسبت به آن ۱۷/۱۷ درصد افزایش از خود نشان داد (شکل ۴-۱۳). در پژوهش عبادی و همکاران (۱۳۹۱) نیز وزن صد دانه‌ی لوبیا چشم بلبلی با کاربرد امواج آلتراسونیک در مدت زمان ۶ دقیقه نسبت به شاهد افزایش یافت.

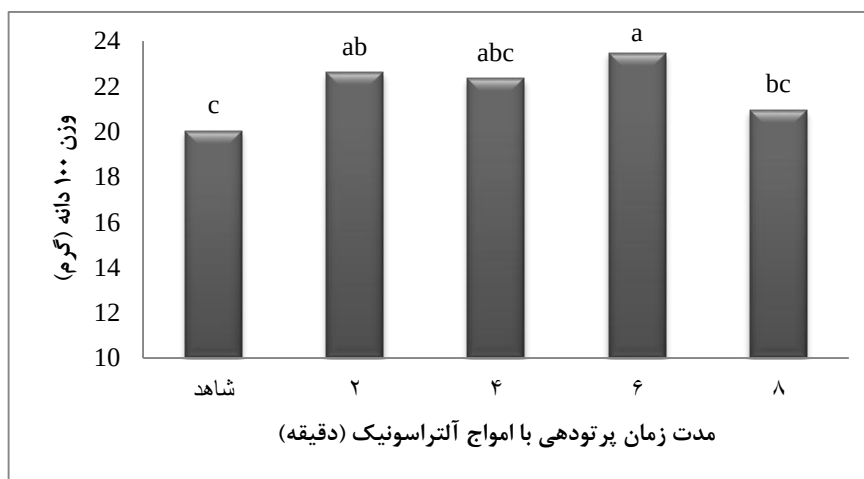
با در نظر گرفتن نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس می‌توان گفت، اثر متقابل تنش خشکی و امواج آلتراسونیک وزن صد دانه را در هیچ یک از سطوح آماری ۱ درصد و ۵ درصد تحت تأثیر قرار نداد (جدول ۴-۹).

جدول ۴-۹- تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر وزن ۱۰۰ دانه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۲	۵۸/۱۲
تنش خشکی (S)	۲	۲۵/۹۳ *
امواج آلتراسونیک (W)	۴	۱۶/۹۷ *
S×W	۸	۱۳/۰۶ ^{ns}
خطا	۲۸	۶/۰۸
CV		۱۱/۲۶۹



شکل ۴-۱۲- مقایسه میانگین وزن ۱۰۰ دانه در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد و از مرحله خمیری شدن دانه به بعد)



شکل ۴-۱۳- مقایسه میانگین وزن ۱۰۰ دانه در شرایط پرتودهی بذر با امواج آلتراسونیک به مدت ۲ تا ۸ دقیقه

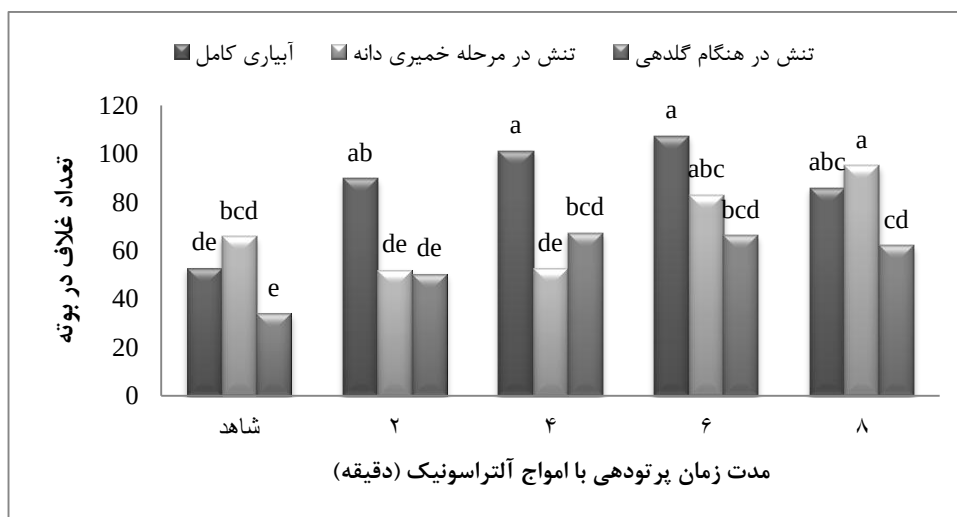
۴-۵-۳- تعداد غلاف در بوته

نتایج نشان می‌دهد اثر اصلی تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر تعداد غلاف در بوته در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۴-۱۰). اعمال تنش خشکی موجب شد تعداد غلاف در بوته‌های نخود کاهش یابد و در مقابل کاربرد امواج آلتراسونیک موجب افزایش این صفت گردید. براساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر متقابل تنش خشکی و امواج آلتراسونیک از نظر تعداد غلاف در بوته در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار بدست آمد (جدول ۴-۱۰). با مشاهده نمودار مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و امواج آلتراسونیک متوجه می‌شویم که بیشترین تعداد غلاف در تیمار ۶ دقیقه پرتودهی و آبیاری کامل (۱۰۷/۴ غلاف) حاصل شده است، این درحالی است که کمترین میزان مربوط می‌شود به تیمار عدم پرتودهی و قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد با ۳۴ غلاف در بوته (شکل ۴-۱۴). وقوع تنش در مرحله گلدهی باعث ریزش گل‌ها شده است که به تبع آن تعداد غلاف نیز کاهش یافته. اما تنش در مرحله خمیری دانه اثر کمتری را بر تعداد غلاف داشت، زیرا تأثیر تنش در این مرحله بر تعداد غلاف و تعداد دانه بسیار کم است و عمدتاً بر وزن دانه تأثیر می‌گذارد (گنجعلی و نظامی، ۱۳۸۷). تنش خشکی مهم‌ترین عامل کاهش عملکرد نخود است، این کاهش عمدتاً به ریزش غلاف‌ها مربوط می‌شود. در این مورد غلاف‌ها زمانی شروع به ریزش می‌کنند

که پیری برگ‌ها بدلیل تنش خشکی آغاز شده باشد (سیدپکو و همکاران، ۲۰۰۰). گزارشات اولاه‌ها و همکاران (۲۰۰۲) نشان می‌دهد که تنش خشکی تأثیر منفی بر تعداد غلاف در بوته نخود داشته و با آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و قبل از تشکیل غلاف می‌توان اثرات آن را تخفیف داد. همچنین باید به این نکته اشاره داشت که تحت تنش کمبود آب تعداد غلاف بیش از سایر اجزا عملکرد نخود را کاهش می‌دهد (یاداو و همکاران، ۱۹۹۴). همانطور که از نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل برمی‌آید، بذور پرتودهی شده با امواج آلتراسونیک در شرایط تنش خشکی تعداد غلاف در بوته بیشتری نسبت به شاهد تولید کرده‌اند. این افزایش در شرایط ایده آل آبیاری بسیار قابل توجه است. تأثیر مثبت امواج فراصوت بر خصوصیات جوانه زنی گندم مثل سرعت جوانه زنی، تست جوانه زنی، طول ریشه چه و ساقه چه و وزن گیاهچه نیز تأیید شده است (شرفی و همکاران، ۲۰۰۶).

جدول ۴-۱۰- تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر تعداد غلاف در بوته

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۲	۱/۶۶
تنش خشکی (s)	۲	۳۷۲۷/۶۷ **
امواج آلتراسونیک (w)	۴	۱۷۳۹/۸۲ **
s×w	۸	۶۳۵/۵۹ *
خطا	۲۸	۲۲۶/۹۴
CV		۲۱/۱۸۶



شکل ۴-۱۴- مقایسه میانگین تعداد غلاف در بوته برای ترکیبات تیماری سه سطح تنش خشکی و چهار مدت پرتو دهی بذر با امواج آلتراسونیک.

۴-۵-۴- تعداد دانه در غلاف

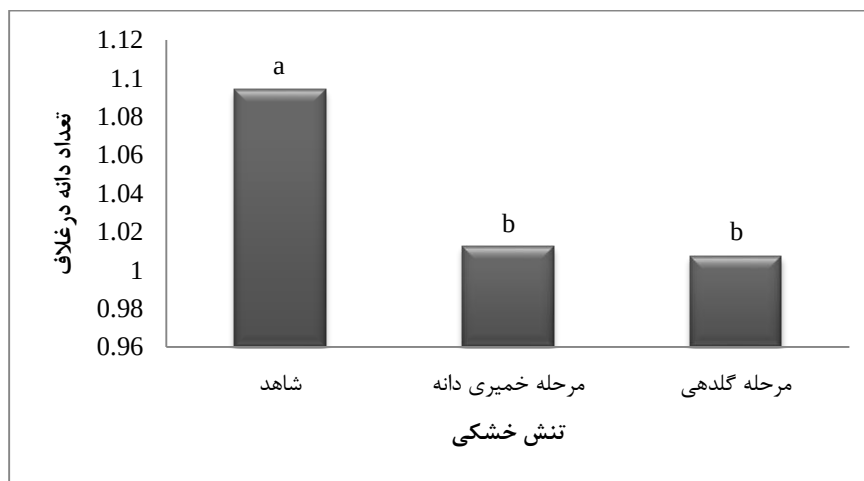
نتایج بدست آمده در این بررسی بیان گر آن است که تنش خشکی تعداد دانه در غلاف را در سطح آماری ۱ درصد تحت تأثیر قرار داده است (جدول ۴-۱۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی دار تعداد دانه در مقایسه با شاهد شده است و دو تیمار تنش در مرحله گلدهی و خمیری دانه، کاهشی به ترتیب ۷/۹۵ و ۷/۴۹ درصدی نسبت به شاهد (آبیاری کامل) از خود نشان دادند (شکل ۴-۱۵). نی و همکاران (۱۹۹۴) در مطالعات خود روی نخود به این نتیجه رسیدند که وقتی محدودیت مواد فتوسنتزی وجود داشته باشد دانه هایی که در بدو تشکیل هستند سقط می شوند و در نتیجه تعداد دانه در غلاف کاهش می یابد به طوری که ممکن است غلاف کاملاً پوک شود. بنابراین وجود تنش خشکی به ویژه در مرحله رشد زایشی می تواند از این طریق باعث کاهش میانگین تعداد دانه در غلاف شود. همچنین نتایج تحقیقات گان و همکاران (۲۰۰۳) نشان داد که در نخود زراعی تعداد دانه در غلاف علاوه بر آن که به صورت ژنتیکی کنترل می شود، تحت تأثیر عوامل محیطی مانند کمبود آب نیز قرار می گیرد.

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر اصلی امواج آلتراسونیک و همچنین اثر متقابل تنش

خشکی و امواج آلتراسونیک تأثیر معنی داری بر تعداد دانه در غلاف نداشتند (جدول ۴-۱۱).

جدول ۴-۱۱- تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر تعداد دانه در غلاف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۲	۰/۰۰۳
تنش خشکی (S)	۲	۰/۰۳۵ **
امواج آلتراسونیک (W)	۴	۰/۰۱۳ ^{ns}
S×W	۸	۰/۰۱۱ ^{ns}
خطا	۲۸	۰/۰۰۵
CV		۷/۰۶۲



شکل ۴-۱۵- مقایسه میانگین تعداد دانه در غلاف در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد و از مرحله خمیری شدن دانه به بعد)

۴-۶- وزن خشک غلاف

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی و اثر متقابل دو فاکتور تنش خشکی و امواج

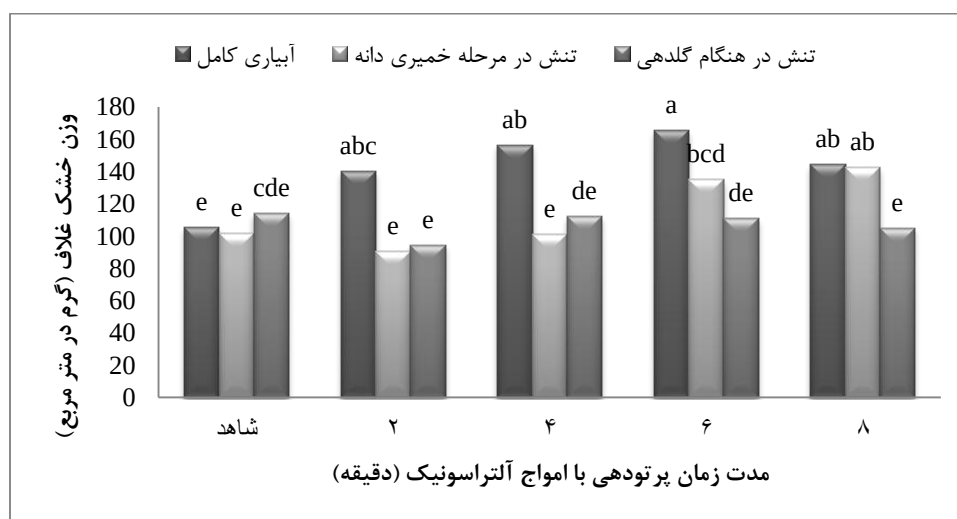
آلتراسونیک وزن خشک غلاف را در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر قرار داده اند (جدول ۴-۱۲).

نتایج گویای آن بود که تنش خشکی موجب کاهش وزن و امواج آلتراسونیک موجب افزایش وزن خشک غلاف در گیاه نخود شده اند.

بر اساس نتایج بدست آمده از مقایسه میانگین بر همکنش دو فاکتور تنش خشکی و امواج آلتراسونیک مشخص شد بیشترین وزن خشک غلاف در شرایط آبیاری کامل و کاربرد ۶ دقیقه‌ای امواج آلتراسونیک حاصل شده است و در مقابل کمترین وزن خشک غلاف نیز در شرایط تنش سطح دوم و کاربرد ۲ دقیقه‌ای امواج بدست آمد (شکل ۴-۱۶). در مورد وزن غلاف و روند نزولی آن تحت تنش خشکی گزارشاتی از سایر محققین وجود دارد (ساکسنا و همکاران، ۱۹۹۵).

جدول ۴-۱۲- تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر وزن خشک غلاف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۲	۱۰/۶۱
تنش خشکی (S)	۲	۵۱۳۲/۷۶**
امواج آلتراسونیک (W)	۴	۱۶۰۹/۷۳**
S×W	۸	۸۸۱/۳۷**
خطا	۲۸	۲۴۷/۲۷
CV		۱۲/۹۷۰



شکل ۴-۱۶- مقایسه میانگین وزن خشک غلاف برای ترکیبات تیماری سه سطح تنش خشکی و چهار مدت پرتو دهی بذر با امواج آلتراسونیک.

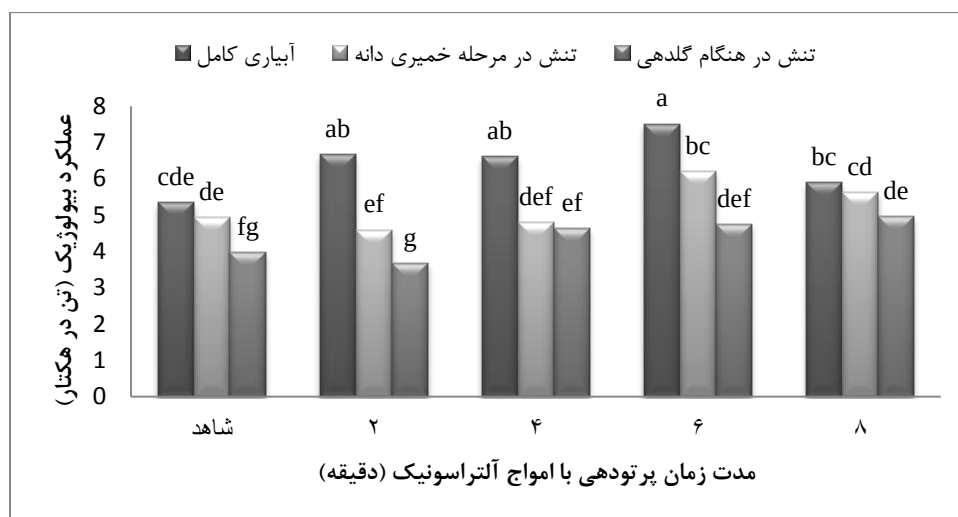
۴-۷- عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک مجموعی از وزن خشک برگ، ساقه و غلاف می‌باشد. طبق نتایج بدست آمده در این تحقیق، تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴-۱۳). نتایج بیانگر این مطلب است که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد بیولوژیک و در مقابل امواج آلتراسونیک باعث افزایش این صفت شده است.

در این بررسی اثر متقابل تنش خشکی و امواج بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴-۱۳). همانگونه که در شکل ۴-۱۷ مشاهده می‌شود، بالاترین عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری کامل و کاربرد امواج آلتراسونیک در مدت زمان ۶ دقیقه و کمترین آن نیز در شرایط تنش خشکی از مرحله گلدهی به بعد و کاربرد ۲ دقیقه‌ای امواج حاصل شد. وانگ و همکاران (۲۰۰۲) بیان کردند که امواج در یک فرکانس و شدت معین می‌تواند رشد و تقسیم سلول‌ها در گیاه هویج را افزایش دهد، ایشان نظریه رابطه بین تنش و رشد را مطرح نموده و بیان کردند که تحریک صوتی نه تنها به سلول‌ها صدمه نزده بلکه می‌تواند رشد سلول را نیز افزایش دهد، امواج صوتی قابلیت جذب مواد غذایی را افزایش داده، کالوس‌های گیاهی را در سطح بالاتری از متابولیسم و تقسیم سلولی قرار داده و رشد و در نهایت عملکرد را افزایش می‌دهد. به نظر می‌رسد آبیاری در زمان گلدهی و پر شدن غلاف‌های نخود به دلیل تأثیر مثبت بر توسعه تعداد شاخه‌های فرعی و ارتفاع بوته در افزایش عملکرد بیولوژیک مؤثر بوده است. تأثیر تنش خشکی بر کاهش تجمع ماده خشک و کاهش طول دوره رشد به خصوص گرده افشانی تا رسیدگی و نیز اثر آن بر کاهش سطح برگ به تأیید محققین رسیده است (اولد و همکاران، ۱۹۸۸ و داهییا و همکاران، ۱۹۹۳). در خصوص تأثیر امواج آلتراسونیک بر روی عملکرد بیولوژیک نخود می‌توان این‌گونه اظهار کرد که کاربرد این امواج از طریق بهبود میزان فتوسنتز و رشد موجب افزایش بیوماس گیاهی و در نهایت عملکرد بیولوژیک می‌گردد.

جدول ۴-۱۳- تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر عملکرد بیولوژیک

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۲	۰/۲۱
تنش خشکی (s)	۲	۱۵/۳۴ **
امواج آلتراسونیک (w)	۴	۲/۵۹ **
s×w	۸	۰/۸۱ *
خطا	۲۸	۰/۳۰
CV		۱۰/۴۰۸



شکل ۴-۱۷- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک برای ترکیبات تیماری سه سطح تنش خشکی و چهار مدت پرتو دهی بذر با امواج آلتراسونیک.

۴-۸- شاخص برداشت

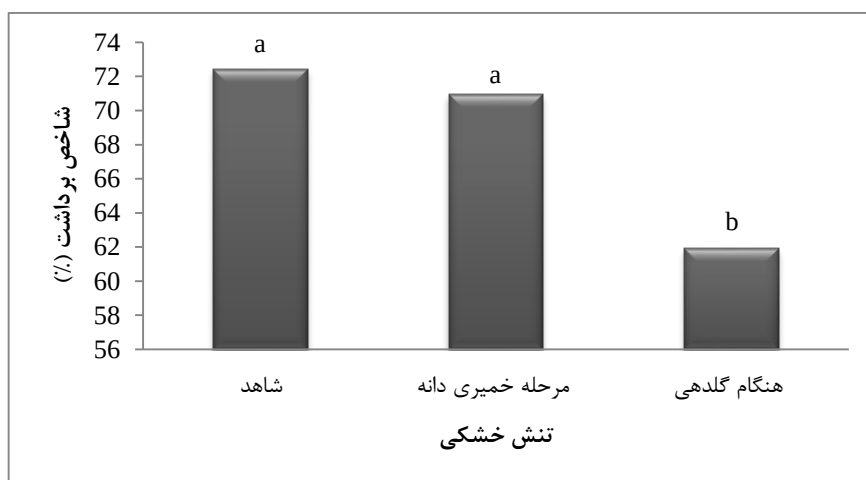
شاخص برداشت از نسبت عملکرد اقتصادی به بیوماس کل در گیاهان زراعی به دست می‌آید (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۰). در واقع شاخص برداشت بیان کننده نسبت توزیع مواد فتوسنتزی بین عملکرد اقتصادی و عملکرد کل می‌باشد. عملکرد یک گیاه را می‌توان از طریق افزایش کل ماده خشک تولید شده در مزرعه یا افزایش سهم عملکرد اقتصادی (شاخص برداشت) و یا هر دو بالا برد (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۷۷). در این بررسی نتایج تجزیه واریانس نشان داد که شاخص برداشت در

سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفته است (جدول ۴-۱۴) اعمال تنش خشکی در دو سطح دوم و سوم، شاخص برداشت را به ترتیب ۲/۰۷ و ۱۴/۵۶ درصد در مقایسه با شاهد (آبیاری کامل) کاهش داد. البته بین شاهد و سطح دوم تنش اختلاف معنی‌دار نبود (شکل ۴-۱۸). ساکسنا (۱۹۹۰) و سینگ (۱۹۹۷) نیز گزارش کردند که با افزایش رطوبت خاک، شاخص برداشت افزایش خواهد یافت.

در این بررسی اثر اصلی امواج آلتراسونیک و همچنین اثر متقابل دو فاکتور نتوانستند شاخص برداشت را تحت تأثیر قرار دهند (جدول ۴-۱۴).

جدول ۴-۱۴- تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر شاخص برداشت

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۲	۹۹/۸۶
تنش خشکی (s)	۲	۴۸۷/۹۵ **
امواج آلتراسونیک (w)	۴	۱۱۲/۵۶ ns
s×w	۸	۱۰۶/۴۱ ns
خطا	۲۸	۸۵/۹۴
CV		۱۳/۵۵۰



شکل ۴-۱۸- مقایسه میانگین شاخص برداشت در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد و از مرحله خمیری شدن دانه به بعد)

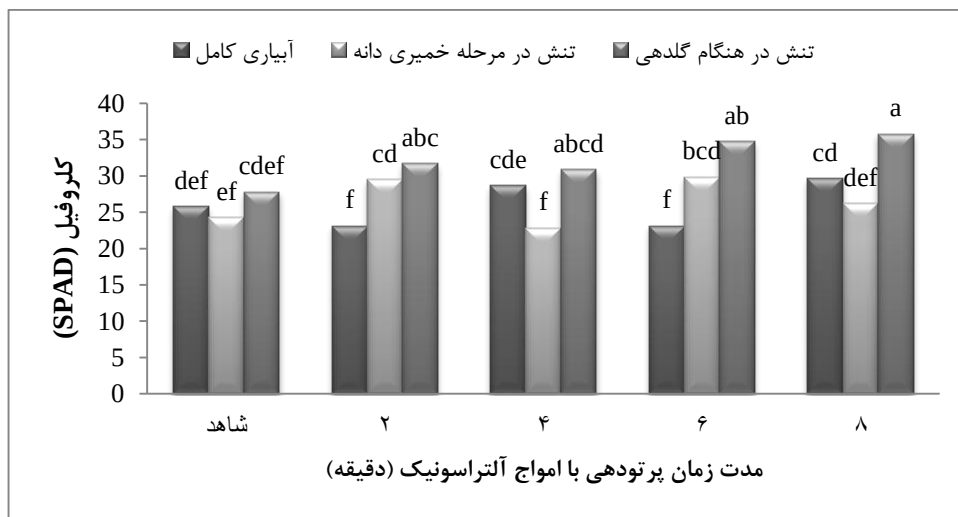
۴-۹- کلروفیل برگ (SPAD)

پایداری کلروفیل به عنوان یک معیار مقاومت به خشکی برای انتخاب ارقام مقاوم پیشنهاد شده است. با مراجعه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۵) مشاهده می‌شود که اثرات اصلی فاکتورها و همچنین اثر متقابل بین آن‌ها بر میزان کلروفیل برگ معنی‌دار شده است. تنش خشکی و امواج آلتراسونیک به ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد میزان کلروفیل برگ را تحت تأثیر قرار داده اند (جدول ۴-۱۵). تنش خشکی و همچنین امواج آلتراسونیک موجب افزایش کلروفیل برگ گیاه شد.

اثر متقابل دو فاکتور مورد مطالعه بر میزان کلروفیل برگ نیز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴-۱۵). همانطور که در شکل ۴-۱۹ مشاهده می‌شود، بالاترین میانگین کلروفیل در شرایط تنش از مرحله گلدهی به بعد و پرتودهی امواج آلتراسونیک در مدت زمان ۸ دقیقه حاصل شده است که البته با چند تیمار دیگر از این نظر اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۴-۱۹). در این پژوهش مشاهده شد، کلروفیل برگ گیاهان پیش تیمار شده با امواج آلتراسونیک در شرایط تنش خشکی بیشتر شده است. غلظت کلروفیل در گیاه از عوامل مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است. به نظر می‌رسد این امر توانسته به افزایش سوخت و ساز برگ‌های گیاه در شرایط تنش کمک کند و در ادامه به افزایش عملکرد منتهی شود. صالحی و همکاران (۱۳۸۲) در مطالعات خود روی میزان کلروفیل برگ به عنوان شاخصی از تنش خشکی در گندم دریافتند که با افزایش تنش خشکی، عدد کلروفیل متر (SPAD) بیشتر می‌شود. هم چنین در پژوهشی دیگر، آنتولین و یولر (۱۹۹۵) دریافتند که با افزایش تنش خشکی میزان کلروفیل برگ کاهش ولی نسبت کلروفیل a/b افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد افزایش نسبت کلروفیل a/b موجب تیره شدن برگ‌ها و افزایش عدد کلروفیل متر می‌گردد. احمدی و بیکر (۱۳۷۹) نیز اظهار داشتند که در اثر تنش خشکی نسبت کلروفیل a/b افزایش می‌یابد.

جدول ۴-۱۵- تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر میزان کلروفیل برگ

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۲	۵/۳۹
تنش خشکی (s)	۲	۱۷۴/۱۷**
امواج آلتراسونیک (w)	۴	۲۷/۵۵*
s×w	۸	۳۰/۱۷*
خطا	۲۸	۹/۴۰
CV		۱۰/۸۴۶



شکل ۴-۱۹- مقایسه میانگین میزان کلروفیل برگ برای ترکیبات تیماری سه سطح تنش خشکی و چهار مدت پرتودهی بذر با امواج آلتراسونیک.

۴-۱۰- صفات کیفی

۴-۱۰-۱- پروتئین دانه

همانطور که قبلاً ذکر شد، نخود یکی از حبوبات غنی از پروتئین است و پروتئین یکی از مهمترین صفات کیفی این گیاه بشمار می‌رود. در این پژوهش بین سطوح مختلف تنش خشکی از نظر درصد پروتئین دانه اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($P < 0.01$) (جدول ۴-۱۶). براساس مشاهدات، درصد پروتئین دانه در شرایط تنش نسبت به شرایط آبیاری کامل (شاهد) بالاتر بود، به طوری‌که بیشترین

پروتئین با ۲۳/۸۳ درصد به تیمار تنش در مرحله خمیری دانه مربوط می‌شد و کمترین میزان پروتئین را شاهد (آبیاری کامل) با ۱۷/۰۴ درصد به خود اختصاص داد (شکل ۴-۲۰). تنش در هر دو مرحله گلدهی و خمیری دانه به بعد به ترتیب ۳/۳ و ۶/۷۹ درصد پروتئین دانه را نسبت به شاهد افزایش داد. در شرایط تنش خشکی بخصوص در مرحله پر شدن غلاف به واسطه کاهش طول دوره پر شدن دانه، کاهش فتوسنتز خالص و به تبع آن تکمیل نشدن وزن بالقوه دانه که عمدتاً ناشی از کاهش نشاسته می‌باشد، نسبت پروتئین به نشاسته در دانه افزایش و در واقع درصد پروتئین در دانه افزایش می‌یابد (جلیلیان و همکاران، ۲۰۰۵).

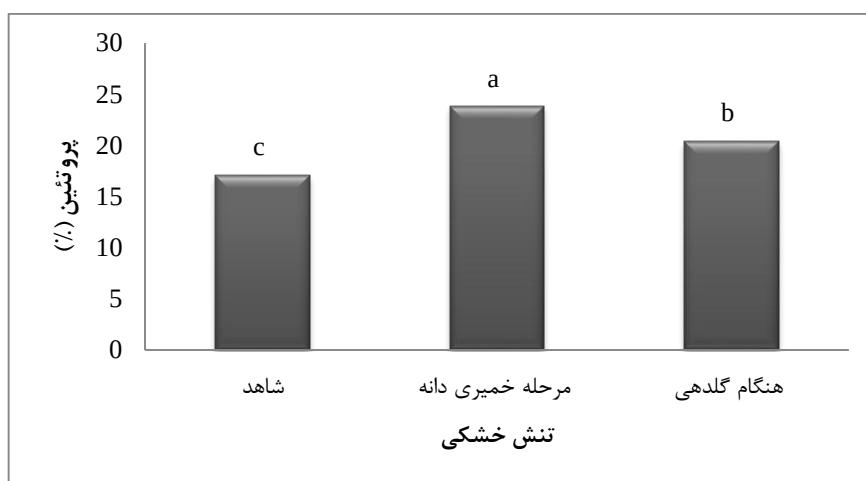
امواج آلتراسونیک توانست درصد پروتئین دانه را در سطح آماری ۱ درصد تحت تأثیر قرار دهد (جدول ۴-۱۶)، به طوری که نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین درصد پروتئین در تیمار ۸ دقیقه (۲۴/۵۴٪) و کمترین میزان آن به ترتیب، در تیمار ۲ دقیقه و شاهد (۱۷/۱۱٪ و ۱۹/۰۵٪) حاصل شده است (شکل ۴-۲۱). افزایش طول مدت پرتودهی موجب بهبود میزان پروتئین دانه گردید و نتایج گویای وجود یک رابطه مستقیم بین میزان پرتودهی و پروتئین دانه بود. طبق نظریه وانگ و همکاران (۲۰۰۲) امواج با فرکانس و شدت معین موجب افزایش بهبود صفات کیفی می‌گردد، در واقع امواج صوتی با فرکانس و شدت مشخص باعث افزایش در فتوسنتز، فعالیت و متابولیسم گیاه شده که در نتیجه آن مواد حاصل از این فعالیت‌ها چون میزان قند محلول، پروتئین و نشاسته افزایش یافته و به دنبال آن نیز رشد گیاه افزایش می‌یابد. امواج فراصوت در بهبود فرآیند استخراج اینولین از ریشه گیاه بابا آدم نیز کارایی مفیدی داشت (میلانی و همکاران، ۱۳۹۰)، همچنین در پژوهشی دیگر پرتودهی بذر ذرت به مدت چهار دقیقه توانسته است اثر مثبت امواج فراصوت بر استخراج آنتوسیانین از میوه‌ها و پایداری آن در شرایط مختلف را به دنبال داشته باشد (مسکوک و مرتضوی، ۱۳۸۰).

بر اساس نتایج بدست آمده پروتئین دانه تحت تأثیر برهمکنش تنش خشکی و امواج آلتراسونیک

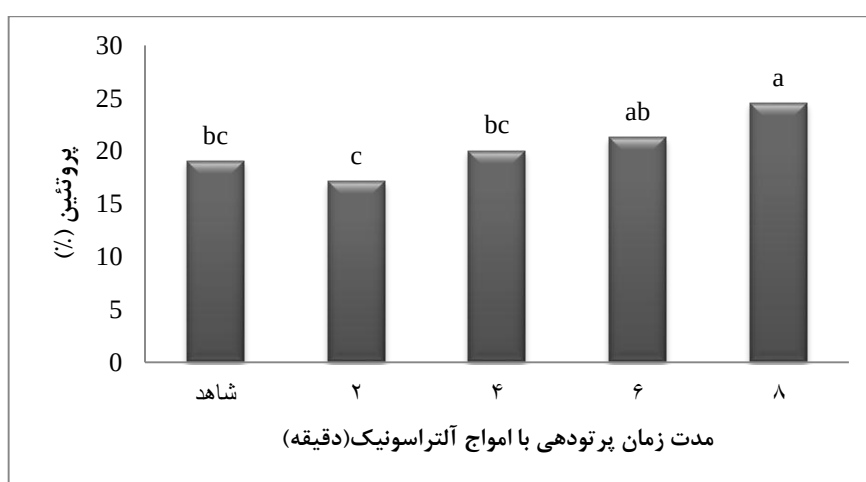
قرار نگرفت (جدول ۴-۱۶).

جدول ۴-۱۶- تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر میزان پروتئین دانه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۲	۹۵/۹۷
تنش خشکی (s)	۲	۱۷۲/۶۳**
امواج آلتراسونیک (w)	۴	۶۹/۲۰**
S×W	۸	۱۲/۰۰ ^{ns}
خطا	۲۸	۱۴/۸۷
CV		۱۸/۹۰۰



شکل ۴-۲۰- مقایسه میانگین میزان پروتئین دانه نخود در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد و از مرحله خمیری شدن دانه به بعد)



شکل ۴-۲۱- مقایسه میانگین میزان پروتئین دانه نخود در شرایط پرتودهی بذر با امواج آلتراسونیک به مدت ۲ تا ۸ دقیقه

۴-۱۰-۲- روغن دانه

همانطور که در جدول تجزیه واریانس مشاهده می‌شود، تنش خشکی در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان روغن دانه تأثیر گذار بود اما کاربرد امواج آلتراسونیک و همچنین اثر متقابل این دو فاکتور معنی‌دار نشد (جدول ۴-۱۷). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، میزان روغن دانه در هر دو سطح تنش نسبت به شاهد (آبیاری کامل) بالاتر بود. همانطور که مشاهده می‌شود، گیاهانی که آبیاری آن‌ها از مرحله خمیری شدن دانه و گلدهی به بعد قطع شده بود درصد روغن دانه بالاتری از گیاهان آبیاری شده (شاهد) داشتند (شکل ۴-۲۲). دانشیان و همکاران (۱۳۸۱) طی پژوهش خود روی گیاه سویا دریافتند که مقدار روغن دانه با تشدید تنش افزایش می‌یابد اما در نهایت به علت کاهش عملکرد، تنش تأثیر منفی در عملکرد روغن دانه داشت.

جدول ۴-۱۷- تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر میزان روغن دانه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۲	۰/۴۳۹
تنش خشکی (S)	۲	۰/۸۴۲ **
امواج آلتراسونیک (W)	۴	۰/۰۶۱ ^{NS}
S×W	۸	۰/۲۳۴ ^{NS}
خطا	۲۸	۰/۱۰۵
CV		۷/۷۳۶



شکل ۴-۲۲- مقایسه میانگین میزان روغن دانه در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد و از مرحله خمیری شدن دانه به بعد)

۴-۱۱- نتیجه گیری

این بررسی نشان داد که:

- ۱- تنش خشکی موجب کاهش در بیشتر صفات گردید، به طوری که وزن خشک گیاه، سطح برگ، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی اولیه و ثانویه، عملکرد دانه، وزن ۱۰۰ دانه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن خشک غلاف، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت را کاهش داد.
- ۲- در بین سطوح مختلف تنش خشکی اعمال شده، تنش از مرحله گلدهی به بعد بیشترین اثر منفی را بر رشد گیاه گذاشت، بنابراین آبیاری تکمیلی در این مرحله از رشد گیاه می تواند به افزایش عملکرد محصول منجر شود.
- ۳- میزان پروتئین و روغن دانه و همچنین میزان کلروفیل برگ با اعمال تنش افزایش یافت.
- ۴- پرایم بذور نخود با امواج آلتراسونیک توانست نتایج قابل قبولی حاصل کند.
- ۵- بهترین عملکرد را در اکثر صفات کاربرد ۶ دقیقه ای امواج آلتراسونیک به خود اختصاص داد.
- ۶- اثر متقابل تنش خشکی و امواج آلتراسونیک بر میزان عملکرد بیولوژیک، تعداد شاخه فرعی ثانویه، تعداد غلاف در بوته، وزن خشک غلاف و کلروفیل برگ معنی دار شد.

۴-۱۲- پیشنهادات

با توجه به نتایج حاصله از این پژوهش جهت انجام بهتر و دقیق‌تر این چنین آزمایشاتی

پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد:

- ۱- این آزمایش در شرایط و مناطق مختلف آب و هوایی تکرار گردد.
- ۲- اثر متقابل تنش‌های مختلف و امواج آلتراسونیک بر روی سایر حبوبات نیز مورد بررسی قرار گیرد.
- ۳- خصوصیات فیزیولوژیکی گیاهان مختلف تحت تأثیر امواج آلتراسونیک مورد ارزیابی قرار گیرد.
- ۴- کاربرد امواج آلتراسونیک بر روی سایر بذور گیاهان زراعی نیز مورد آزمون قرار گیرد.

منابع

احمدی، ع. و بیکر، د.آ. (۱۳۷۹). عوامل روزنه ای و غیر روزنه ای محدود کننده فتوسنتز در گندم در شرایط تنش خشکی. مجله علوم کشاورزی ایران . ج ۳۱. ش ۴. ص ۸۱۳-۸۲۵

اشرف طلیعی، ع. و ک. صیادیان. (۱۳۷۹). تاثیر آبیاری تکمیلی تعیین نیاز غذایی در زراعت دیم نخود. مجله علوم زراعی ایران، ۲، ص ۶۳-۷۰.

امام جمعه، ع. (۱۳۷۸). پایان نامه ارشد، تعیین فاصله ژنتیکی توسط RAPD-PCR، ارزیابی شاخص های مقاومت به خشکی و تحلیل سازگاری در نخود ایرانی. دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی کرمانشاه.

اهدایی، ب. (۱۳۷۲). انتخاب برای مقاومت به خشکی در گندم. مقالات کلیدی اولین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، انتشارات دانشکده کشاورزی تهران، کرج، ص ۳۶.

اهدایی، ب. (۱۳۷۳). اصلاح نباتات . انتشارات بارثاوا.

باقری، ع. نظامی، ا. گنجعلی، ع. و پارسا، م. (۱۳۷۶). زراعت و اصلاح نخود. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ص ۱۵۷.

باقری، ع. نظامی، ا. و سلطانی، م. (۱۳۸۰). اصلاح حبوبات سرمادوست برای تحمل به سرما. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

باقری، ع. نظامی، ا. و سلطانی، م. (۱۳۷۹). اصلاح حبوبات سرما دوست برای تحمل به تنش ها. انتشارات سازمان تحقیقات ، آموزش و ترویج کشاورزی ص ۴۴۵.

بینا، ف. رضایی، آ. و آقایی زاده، م. (۱۳۸۷). بررسی تأثیر امواج مافوق صوت بر فرآیند فیزیولوژی و مرفولوژی تنزیدن بذر. اولین همایش ملی زیست شناسی گیاهی.

پارسا، ح. باقری، ع. محمد آبادی، ع. و لنگری، م. (۱۳۸۱). بررسی امکان کاشت پاییزه و زمستانه نخود در شرایط دیم

پارسا، م. و باقری، ع. (۱۳۸۷). حبوبات جهاد دانشگاهی مشهد، ص ۵۵۲

جلیلیان، ع. و خدابنده، ن. (۱۳۷۷). بررسی اثرات تنش خشکی در مراحل رشد زایشی بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا. چکیده مقالات پنجمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران . کرج ، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج.

جلیلیان، ج. س. ع. م. مدرس ثانوی و س. ح. صباغ پور. (۱۳۸۴). اثر تراکم بوته و آبیاری تکمیلی بر عملکرد و اجزای عملکرد و میزان پروتئین چهار رقم نخود در شرایط دیم. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲، ص ۹-۱.

حکمت شعار، ح. (۱۳۷۲). فیزیولوژی گیاهان در شرایط دشوار (ترجمه)، انتشارات نیکنام، تبریز، ص ۳۷۸. دانشیان، ج. نورمحمدی، ق. و جنوبی، پ. (۱۳۸۱). بررسی واکنش سویا به تنش خشکی و مقادیر مختلف فسفر. چکیده مقالات هفتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. کرج. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر.

دفتر آمار و فناوری اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی. (۱۳۸۹). آمارنامه کشاورزی، جلد اول، محصولات زراعی سال زراعی ۱۳۸۷-۸۸، دفتر آمار و فناوری اطلاعات، ص ۱۱۴.

ذکی دیزجی، ح. مینایی، س. توکلی هشتجین، ت. مختاری دیزجی، م. و منتظر، ع. (۱۳۸۷). کیفیت سنج فراصوتی برای محصولات کشاورزی، مجموعه مقالات پنجمین کنگره مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران سال ۱۳۸۷، کرج، صفات مورد نظر رسیدگی و اندازه محصول.

زراعی، ب. یوسفی، ح. کاظمی اربط، ا. رحیم زاده خویی، ف. و مقدم، م. (۱۳۷۶). بررسی ارقام نخود زراعی در دو سطح رطوبتی و تجزیه علیت صفات.

سرخی لکه لو، ف. (۱۳۸۸). ارزیابی اثرات امواج فراصوت و میدان مغناطیسی بر جوانه زنی بذور گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.). مجموعه مقالات ششمین کنگره علوم باغبانی ایران. ص ۱۱۶۵-۱۱۶۱

سرمدنیا، غ. ح. و کوچکی، ع. ر. (۱۳۸۶a). جنبه های فیزیولوژی زراعت دیم، (ترجمه)، چاپ دوم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ص ۴۲۴.

سرمدنیا، غ. ح. و کوچکی، ع. ر. (۱۳۸۶b). فیزیولوژی گیاهان زراعی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ص ۴۰۰.

سلطانی، ا. و فرجی، ا. (۱۳۸۶). رابطه آب خاک و گیاه، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ص ۲۴۶.

سلیمی، ح. (۱۳۸۹). پایان نامه ارشد، بررسی اثرات پرایمینگ، باکتری ریزوبیوم و کود آلی بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود. دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

سیف زاده، ن. مجذوبی، م. فرحناکی، ع. و مصباحی، غ. ر. (۱۳۹۰). بررسی تأثیر امواج فراصوت بر نشاسته گندم، بیستمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی. کد مقاله: 1894-NFC (R2)

صالحی، م. کوچکی، ع. نصیری محلاتی، م. (۱۳۸۲). میزان نیتروژن و کلروفیل برگ به عنوان شاخصی از تنش خشکی در گندم. مجله پژوهشهای زراعی ایران. ج. ۱۰. ش. ۲۰. ص. ۱۹۹-۲۰۵

صباغ پور، س. ح. (۱۳۸۲). ساز و کارهای تحمل به خشکی در گیاهان، فصلنامه خشکی و خشکسالی کشاورزی، زمستان ۸۲، ص ۳۲-۲۱.

صباغ پور، س. ح. (۱۳۸۵). شاخص ها و مکانیزم های مقاومت به تنش خشکی در گیاهان، چاپ اول، کمیته ملی خشکی و خشکسالی معاونت زراعت وزارت جهاد کشاورزی، ص ۱۵۲.

طوبلی، ع. جعفری، م. حیدری شریف آبادی، ح. و ارزانی، ح. (۱۳۷۹). بررسی مقاومت به خشکی در سه گونه مرتعی *Stipa barbata*, *Agropyron cristatum* و *Agropyron desertorum*، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۳، شماره ۳

عبادی قهرمانی، ش. قلی پور، م. و غلامی، ا. (۱۳۹۱) اثر امواج آلتراسونیک و کود بیولوژیک نیتروکسین بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چشم بلبلی. دومین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست سالم. ص ۱۳-۱

علیپور نجمی، م. یوسفی، ق. و علیپور نجمی، ج. (۱۳۹۰). بررسی سینتیک استخراج پلی فنول های هسته انگور و تأثیر اولتراسونیک بر میزان استخراج. همایش ملی صنایع غذایی، ۱۰-۹ اسفند ۱۳۹۰

علیزاده، ا. (۱۳۸۳). رابطه آب، خاک و گیاه. دانشگاه امام رضا (ع)، ص ۴۷۰.

علیزاده، ا. و کوچکی، ع. (۱۳۷۰). اصول زراعت در مناطق خشک. (ترجمه)، جلد اول، انتشارات آستان قدس رضوی، ص ۲۶۰.

فرجی، ا. (۱۳۸۸). مبانی کاربردی تاثیر تنش خشکی در کلزا. نشر مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، ص ۲۶.

- کاظمی، ح.ا. (۱۳۸۷). اصول دیمکاری، چاپ دوم، دانشگاه تبریز، ص ۵۰۷.
- کوچکی، ع. (۱۳۶۴). زراعت در مناطق خشک. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- کوچکی، ع. و بنایان اول، م. (۱۳۷۳). فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ص ۲۸۷.
- کوچکی، ع. و بنایان اول، م. (۱۳۸۶). زراعت حبوبات. چاپ هشتم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ص ۲۳۶.
- کوچکی، ع. و سرمدنیا، غ. (۱۳۷۷). فیزیولوژی گیاهان زراعی. ترجمه، چاپ هفتم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۴۰۰ صفحه.
- گنجعلی، ع.، پارسا، م. و صباغ پور، س. (۱۳۸۷). زراعت و نظام های زراعی حبوبات، در: حبوبات، پارسا، م. و باقری، ع. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد.
- گنجعلی، ع. و نظامی، ا. (۱۳۸۷). اکوفیزیولوژی و محدود کننده های عملکرد حبوبات، در: حبوبات، پارسا، م. و باقری، ع. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد.
- مجنون حسینی، ن. (۱۳۸۷). زراعت و تولید حبوبات. چاپ چهارم، سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی شعبه واحد تهران، ۲۸۳ ص.
- مسکوک، ع.م. و مرتضوی، ع. (۱۳۸۰). تولید، تبدیل و توزیع زرشک بی دانه، انتشارات معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد ص ۴۵.
- مسکوک، ع.م. و مرتضوی، ع. و مسکوک، آ. (۱۳۸۶). بررسی توام فراصوت و قلیا در کاهش زمان خشک کردن انگور و تولید کشمش. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران.
- میلانی، ا.، کدخدایی، ر.، گلی موحد، غ.، حسینی، ف. (۱۳۹۰). بهینه سازی استخراج اینولین از ریشه بابا آدم توسط امواج فراصوت با استفاده از روش سطح پاسخ. فصلنامه گیاهان دارویی.
- نادرآواژن، ر. اردکانی، م.ر. نورمحمدی، ق. و نجفی، ا. (۱۳۸۴). بررسی اثر چهار سطح مختلف آبیاری قطره ای، نواری بر کارایی مصرف آب و صفات مورفولوژیک ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۰). زراعت و اصلاح نباتات ایران، ۱(۱)، ص ۶۳-۷۳.

نجف آبادی، ر. و همکاران. (۱۳۸۷). تعیین پارامترهای رسیدگی هلو با استفاده از امواج فراصوت. نشریه پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران، جلد ۵، شماره ۱۰، ص ۶۳-۷۴.

نورمحمدی، ق. سیادت، ع. و کاشانی، ع. (۱۳۸۰). زراعت غلات. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. ۴۴۶ ص.

وفابخش، ج. نصیری محلاتی، م. و کوچکی، ع. (۱۳۸۷). اثر تنش خشکی بر عملکرد و کارایی مصرف نور در ارقام کلزا. مجله پژوهش های زراعی ایران، ۶(۱)، ص ۱۹۳-۲۰۴.

یوسفی، ب. کاظمی اریط، ح. رحیم زاده خویی، ف. و مقدم، م. (۱۳۷۶). تجزیه ی علیت و بررسی ژنتیکی ارقام نخود زراعی تحت دو سطح. رطوبت. مجله علوم کشاورزی ایران. ۲۸(۴)، ص ۱۴۷-۱۶۱

Anonymous. (2009). "Effect of moisture on canola growth". [http://www.Canola Council of Canada](http://www.CanolaCouncilofCanada).

Antolin, M. and J. Yoller (1995). "Effects of temporary drought on nitrate-fed and nitrogen-fixing alfalfa plants". Plant Science 107:159-165.

Arif, L., Samiuliah., M.M.R.K, Afridi., S, Umar. (1996). "Potassium nutrition under different irrigation levels in selected crops". Journal of potassium Research 12(2):186-193.

Ashraf, M., and Foolad, M. R. (2007). "Roles of glycine betaine and praline in improving plant abiotic stress resistance". Environ. Exp. Bot. 59:206-216.

Auld D.L., Crock J.E., and Kephart K.D. (1988). "Planting date and temperature effect on germination, emergence and seed yield of chickpea". Agron. J. 80:909-914.

Baker, R. J. (1994). "Breeding methods and selection indices for improved tolerance to biotic and abiotic stresses in cool season food legumes". Euphytica. 73:67-72.

Baldev, b. (1988). "Cropping patterns of pulses". In: H.K.Jain, b.baldev and S.Ramanujam. Pulse Crops. Oxford pub Co. New Dehli, Hndia.pp:513-561.

Barton, S., Bullock, C., and Weir, D. (1996). "The effects of ultrasound on the activities of som glycosidase enzymes of industrial importance, Enzyme and Microb". Technol. 18:190-194.

Begg, J.E. (1980). "Morphological adaptations of Leaves to water stress. In: Adaptations of Plants to Water and High Temperature Stress". Turner, N. C. and P. J. Kramer, Eds., Wiley, New Yourk. pp:33-42

- Below, F.E., Christensen, L. E., Reed, A. J and Hagmane, R. H. (1981).** *"Availability of reduced N and carbohydrate for ear development of maize"*. Plant Physiol. 68:1186-1190.
- Blum, A. (1988).** *"Plant Breeding For Stress Environments"*. CRC press, Boca Raton, FL. pp:38-78.
- Blum, A. (1996).** *"Crop responses to drought and the interpretation of adaptation"*. Plant Growth Regulation. 20:135-148.
- Bohnert, H.J., Nelson, D.E., and Jensen, R.G. (1995).** *"Adaptations to environmental stress"*. Plant Cell. 7:1099-1111.
- Boyer, J.S. (1982).** *"Plant Productivity and environments"*. Science 218:443-447.
- Boyer, J.S. (1992).** *"Mechanisms for obtaining water use efficiency and drought resistance"*. In: Plant Breeding in the 1990s. Stalker, H. T. and J. P. Murphy, Eds., CAB International, U. K. pp:181-200
- Boyer, J.S. (1996).** *"Advances in drought tolerance in plant"*. Adv. Agron. 56:187-217.
- Bray, A.E. (1997).** *"Plant responses to water deficit"*. Trends in Plant Sc. 2:45-54.
- Breitbart, M.D., Bathen, T., and Schmidt, F. (2002).** *"Desorption of a fixed bed adsorber by ultrasound Ultrasonic"*. Anal Botany, 40:679-682
- Bullock, D.G., Niesen, R.L., and Nyquist, W.E. (1988).** *"A Growth analysis comparision of corn growth conventional and equidistant plant spaciny"*. Crop Sci. 24:1187-1191.
- Charlies, S. (1997).** *"Localization of Hydrogen Proxide Accumulation during the hypersensitive syrinage PV phaseolicale the plant cell"*. American Society of Plant Physiologists. 9:209-221.
- Chen, F., sun, Y., Zhao, G., Liao, X., Hu, X., Wu, J., and Wang, Z. (2006).** *"Optimization of ultrasound – assisted extraction of anthocyanins in red raspberries and identification of anthocyanins in extract using HPLC–MS, Ultrasonics Sonochemistry"*. 14(2007):767-778.
- Chisti, Y. (2002).** Sonobioreactores: *"Using ultrasound for enhanced microbial productivity. Trends in biotech"*.; 21 (3):89-93.
- Clark, R.L., and P.S. Shackelford. (1975).** *"Methods for Testing the Dynamic Mechanical Response of Solid Foods"*. Transactions of the ASAE. 16 (6):1140.
- Clements, H.F., (1964).** *"Interaction of factors affecting yield"*. Annu. Rev. Plant Physiol. 15:409-420.

- Constable, G.A., and Hearn, A.B. (1978).** *"Agronomic and physiological responses of soybean and sorghum crop to water deficits.I. Growth, development and yield"*. Aust. J. Plant Physiol. 5:159-167.
- Coupland, J., and Saggin, N.R. (2003).** *"Ultrasonic sensors for the food industry"*. Advances in food and nut. Res. 45:102-166.
- Crisosto, C. (1996).** *"Optimum procedures for ripening stone fruit"*. Management of Ripening Fruit (Univ. of California, Davis). Postharvest Horticulture Series, 9: 28-30.
- Czerner, R., Millner, R., Roenfeld, E., Schellenberger, A., and Schmidt, P. (1987).** *"Theoretical and experimental studies on the influence of ultrasound on immobilized enzymes"* , Biotechnol Bioengin. 30:928-935
- Dahiya, S., Singh, M., and Singh, R.B. (1993).** *"Economic and water use efficiency of chickpea as effected by genotypes, irrigation and fertilizer application"*. Crop Reasearch. Hisar. 6:532-534.
- Desclaux, D., Huynh, T.T., and Roumet, P. (2000).** *"Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress"*. Crop Sci. 40:716-722.
- Durrant, M.J., S.J. Mash and K.W. Jaggard. (1993).** *"Effects of seed advancement and sowing date on establishment•bolting and yield of sugar beet"*. J. Agric. Sci. Combridge. 121:333-341
- Earl, H.J., and Davis, R.F. (2003).** *"Effect of drought stress on Leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of Maize"*. Agron. J. 95:688-696.
- Ehleringer, J. (1980).** *"Leaf morphology and reflectance in relation to water and temperature stress"*. In: Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress. Turner, N. C. and P. J. Kramer, Eds., Wiley, New York. pp:295-308.
- Evans, B., and Waians, J.G. (1993).** *"Variation in water use efficiency and its component in wheat"*. Crop Sci. 33:294-299.
- Evans, N.H., McAinsh. M.R., Hetherington. A.M. (2001).** *"Calcium oscillations in higher plants"*. Plant Biol. 4:415-420
- FAO.(2011).***"The global pulse markets :recent trends and outlook"*.
- FAO. (2010).** *"Production Year Book. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)"*, Rome Italy, <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx>.
- Ford, S.C.M. (1972).** *"Effect of Dry Season on Uptake of Radioactive Phosphorus by Surface Root of the Sugar Beet"*. Agron.J.64:622-623.

- Gallego, J.A.L., Elvira, S., and Rodriguez, G. (2003).** "A power ultrasonic technology for deliquoring". *Ultrasonic*; 4:255-259
- Gotoh, K., Chang, T.T., OToole, J. C., Riley, R., and Murty, B.R. (1979).** "Crop adaptation. In: *Plant breeding perspectives*". Eds. J. Sneep and A. J. T. Hendriksen, Centre for Agricultural Publication and Documentation, Wageningen, pp:234-261.
- Goldani, M., and Rezvani, P. (2007).** "The effects of different irrigation regimes and planting dates on phenology and growth indices of three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars in mashhad". *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 14: 229-242. (In Persian with English Summary).
- Gulman, S.L., and Turner, N.C. (1978).** "Differences in root and shoot development of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) varieties across contrasting soil environments". *Plant Soil.* 49:127-136.
- Gupta, A.K., Singh, J., Kaur, N., and Singh, R. (1991).** "Effect of polyethylene-glycol induced water deficit on germination of chickpea cultivars differing in drought tolerance". *Inter. Chick. News.* 24:38-39.
- Gupta, A.K., Singh, J., Kaur, N., and Singh, R. (1993).** "Effect of polyethylene glycol-induce water stress on germination and reserve carbohydrate metabolism in chickpea cultivars differing in tolerance to water deficit". *Plant physiology and Biochemistry.* 31(3):369-378.
- Gupta, S.N., Dahiya, B.S., Malik, B.P.S., and Bishnoi, N.R. (1995).** "Response of chickpea to water deficits and drought stress". *Haryana Agriculture university journal of Research.* 25(1/2):11-19.
- Hare, P.D. and Cress, W.A. (1997).** "Metabolic implications of stress induced proline accumulation in plants". *Journal of Plant Growth Regulation.* 21:79-102.
- Heidari Sharifabad, H. (2008).** "Drought mitigation strategies for the agriculture sector". The 10th Iranian Congress of Crop Sci, 18-20 Aug. 2008, SPII, Karaj, Iran.
- Himmelbach, A., Iten, M., Grill, E. (1998).** "Signaling of abscisic acid to regulate plant growth". *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 353:1439-1444.
- Hoekstra, F.A., Golovina, E.A., Buitink, J. (2001).** "Mechanisms of plant desiccation tolerance". *Trends Plant Sci.* 6:431-438.
- Hoogenboon, G., Huck, M.G., Peterson, C.M., (1987).** "Root growth rate of soybean as affected by drought stress". *Agron. J.* 79:609-614.

- Hosseinpour, T., A. Siadat and M. Rafiee. (2000).** "Evaluation some of effects morphological effective on yield and yield components of wheat genotypes under irrigated conditions". *Iranian Journal of Crop Science* 5:23-36.(In Farsi).
- Hsiao, T.C., OToole, J.C., Yambao, E.B., and Turner, N.C. (1984).** "Influence of osmotic adjustment on leaf rilling and tissue death in rice (*Oryza sativa* L.)". *Plant Physiol.* 75:338-341.
- Hurd, E.A. (1976).** "Plant Breeding for drought resistance". in Water deficits and plant growth. Volume 4 (Kozlowski, T. T., ed.). New York, USA: Academic Press. pp:317-353
- Hussain, M.M., Reid, J.B., Othman, H., Gallagher, Y.N., (1990).** "Growth and water use of faba beans (*Vicia faba*) in a sub humid climate". I. Root and shoot adaptation to drought stress. *Field Crop Res.* 23:1-17.
- Ishimori, Y., Karube, I., & Suzuki, S. (1981).** "Acceleration of immobilized alpha-chymotrypsin activitywith ultrasonic irradiation". *J.Mol Catal.* 12:253-259
- Inoue, T., Higuchi, M., Hashimoto, Y., Seki, M., Kobayashi, M., Kato, T., Tabata, S., Shinozaki, K., and Kakimoto, T. (2001).** "Identification of CRE1 as a cytokinin receptor from *Arabidopsis*". *Nature.* 409:1060-1063
- Ishimori, Y., Karube, I., & Suzuki, S. (1981).** "Acceleration of immobilized alpha-chymotrypsin activity with ultrasonic irradiation". *J.Mol Catal.* 12:253-259
- Jambrak, A.R., Mason, T.J., Lelas, V., Herceg, Z., Herceg, 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.
- Kavikishor, P.B., Sangam, S.R.N., Amrutha, P.S., Laxmi, K.R., Naidu, K.R.S.S., Rao, S., Rao Reddy, K.J., Theriappan, P., and N. Sreenivasulu. (2005).** "Regulation of praline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance". *Curr Sci.* 88:424-438.
- Keim, D.L. and Kronstad, W.E., (1981).** "Drought response of winter wheat cultivars grown under field stress conditions". *Crop Science*, 21(1):11-15.
- Khanna–Chopra, R., and Sinha, S.K. (1988).** "What limits the yield of pulses? Plant process or plant type". pp:68-278.
- Khanna-Chopra, R., Moinuddin., Vasudev, S., Maheswari, M., Srivastava, A., and Bahukhandi, D. (1995).** "K⁺, Osmoregulation and Drought-an overview". *Proceeding of the Indian National Science Academy. Part. B, Biological Science* 61(1):51-56.

- Kiyosue, T., Yamaguchi-Shinozaki, K., and Shinozaki, K. (1994).** "Cloning of cDNAs for genes that are early-responsive to dehydration stress (ERDs) in (*Arabidopsis thaliana* L), identification of three ERDs as HSP cognate genes". *Plant Mol Biol.* 25:791-798
- Korte, L.L., Williams, J.H. Specht T.E. and Sorensen. R.C. (1993).** "Irrigation of soybean genotypes during reproductive ontogeny. I. Agronomic responses". *Crop Sci.* 28:521-530
- Kramer, P.J. (1959).** "Transpiration and the water economy of plants", In: *Pl. Physiol.* Vol. II. Steward, F. G. (ed), Academic Press, New York. pp:607-726.
- Kramer, P.J. (1983).** "Water relations of plants". Academic Press. P:342-415.
- Larson, K.L., and Eastin, J.D. (Eds). (1971).** "Drought injury and resistance in crops". CSSA Special Publication No. 2 Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Lecoeur, J., Wery, J., and Turc, O. (1992).** "Osmotic adjustment as a mechanism of dehydration postponement in chickpea (*Cicer arietinum* L.) leaves". *Plant and soil* 144:177-189.
- Lecoeur, J., and Sinclair, T.R. (1996).** "Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits". *Crop Sci.* 36:331-335.
- Leport, L., Turner, N.C., Davies, S.L., and Siddique, K.H.M. (2006).** "Variation in pod production and abortion among chickpea cultivars under terminal drought". *European Journal of Agronomy* 24:236-246
- Leport, L., Turner, N.C., French, R.J., Tennant, D., Thomson, B.D., Siddique, K.H.M. (1998a).** "Water relations, gas exchange and growth of cool-season grain legumes in a Mediterranean-type environment". *European journal of Agronomy* 9(4):295-303.
- Leport, L., Turner, N.C., French, R.J., Barr, M.D., Duda, R., Davies, S.L., Tennant, D., and Siddique, K.H.M. (1999).** "Physiological response of chickpea genotypes to terminal drought in a Mediterranean-type environment". *European Journal of Agronomy* 11:279-291.
- Levitt, J. (1972).** "Responses of Plants to Environmental Stresses". Academic Press, New York.
- Levitt, J. (1980).** "Response of plants to environmental stresses. II. Water, radiation, salt and other stresses". Academic Press. New York. pp:187-211.

- Lockhart, J.A. (1965).** "An analysis of irreversible plant cell elongation". *Journal of Theoretical Biology*. 8:264-275.
- Lopez, P., Sa´nchez, A.C., Vercet, A., & Burgos, J. (1997).** "Thermal resistance of tomato polygalacturonase and pectinmethylesterase at physiological pH". *Zeitschrift fu¨ r lebensmitteluntersuchungund-forschung*, 204:146-150.
- Mitchell, R.L. (1970).** "*Crop Growth and Culture*". The Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- Mittler, R. (2002).** "Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance". *Trends Plant Sci.* 7:405-410.
- Mizrach, A., Galili, N., Ganmor, S., Flitsanov, U., and Prigozin, I. (1996).** "Models of ultrasonic parameters to assess avocado properties and shelf life". *Journal of Agricultural Engineering Research*, 65:261-267.
- Morgane, J.M., B.Rodriguez-Maribona, and E.J. Knights. (1991).** "Adaptation to water-deficit in chickpea breeding lines by osmoregulation: relationship to grain yields in the field". *Field Crops Research*. 27:61-70
- Morgan, J.M. (1984).** "Osmoregulation and water stress in higher plants". *Annul Rev. Plant physiol.* 35:299-319.
- Morgan, J.M. (1992).** "Osmotic components and proportion associated with genotypic differences in osmoregulation in wheat". *Aust. J. Plant Physiol.* 19:67-76.
- Morgan, J.M., and Condon, A.G. (1986).** "Water use, grain yield and osmorregulation in wheat". *Aust. J. Plant Physiol.* 13:523-532.
- Muchow, R.C. (1985).** "Stomatal behavior in grain legumes grown under different soil water regimes in a semi-arid tropical environment". *Field Crops Res.* 11:291-307.
- Muehlbauer, F.J., and Tullu, A. (1997).** "New crop fact sheet: chickpea (*Cicer arietinum* L.)". New York Times 18 November. Available at:
<http://hort.purdue.edu/newcrop/crops/cropfactsheets/chickpea.html>
- Munoz, F.J., E. Labrador., and B. Dopico. (1993).** "Effect of osmotic stress on the growth of epicotyls of *Cicer arietinum* in relation to changes in the autolytic process and glycanhyrolytic cell wall enzymes". *Physiologia plantarum* 87(4):544-551.
- Munoz-Perea, C.G., Wright, R.A.J., Westermann, D., Teran, H., Dennis, M., Hayes, R., and Singh, S.P. (2005).** "Drought resistance, water use efficiency and nutrientuptake by old and new dry bean cultivars". *Bean Improvement Cooperative*, New York, 48:144-145.

- Munns, R., and King, R.W. (1988).** "Absciscic acid is not the only inhibitor in the transpiration stream of wheat plant". *Plant Physiol.* 88:703-708.
- Mullet, J.E., and Whitsitt, M.S. (1996).** "Plant cellular responses to water deficit". *Journal of Plant Growth Regulation.* 20:119-124.
- Nageswara Rao, R.C., and Wright, G.C. (1994).** "Stability of the relationship between specific leaf area and carbon isotope discrimination across environments in peanut". *Crop Sci.* 34(1):98-103.
- Nakashima, K., Kiyosue, T., Yamaguchi-Shinozaki, K., and Shinozaki, K. (1997).** "A nuclear gene, *erl1* encoding a chloroplast-targeted Clp protease regulatory subunit homolog is not only induced by water stress but also developmentally upregulated during senescence in *Arabidopsis thaliana*". *Plant J.* 12:851-861.
- Nandwal, A.S., Bharti, S., Kuhad, M.S., and Singh, J. (1991).** "Nitrogen status of Pigeonpea (*Canjanus cajan*) under water deficit". *Indian journal of Experimental Biology* 29(9):879-880.
- Neumann, P.M. (1995).** "The role of cell wall adjustment in plant resistance to water deficits". *Crop Science.* 35:1258-1266.
- Nielsen, D.C. (1997).** "Water use and yield of canola under dry land conditions in the Central Great Plains" *J. Prod. Agric.* 10(2):307-313.
- Nielsen, D.C. (2001).** "Production function for chickpea, field pea, and lentil in the central great plains". *Agronomy journal.* 93:563-569.
- Otegu, M.E. (1997).** "Kernel set and flowers synchrony within the ear of maize. II. Plant population effects". *Crop Sci.* 37:44.
- Padilla-Ramirez, K.S., Acosta-Gallegos, K.A., Acosta- Diaz, E., Mayek-Perez, N., and Kelly, J.D. (2005).** "Partitioning and partitioning rate to seed yield in drought stressed and non stressed dry bean genotypes". *Bean Improvement Cooperative.* New York, 48:153-153.
- Patel, B.D., Patel, V. J., Patel, J.B., and Patel, R.B. (2006).** "Effect of fertilizers and weed management practices on weed control in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under middle Gujarat conditions". *Indian Journal of Crop Science* 1(1-2):180-183.
- Passioura, J.B. (1972).** "The effect of root geometry on the yield of wheat growing on stored water". *Aust. J. Agric. Res.* 23:745-752.

Phillips, J.R., Oliver. M.J. and Bartels. D. (2002). *"Molecular genetics of desiccation and tolerant systems"*. In: Black. M. Pritchard. H. W. (Eds). *Desiccation and survival in plants: Drying without dying* CAB International.

Poldlensy, D., Pietruszewski, S., and Poldensa, A. (2005). *"Influence of magnetic stimulation of seeds on the formation of morphological features and yielding of the pea"*.19.

Povey, M.J.W., and Wilkinson, J.M. (1980). *"Application of ultrasonic pulse-echo techniques to eggalbumin quality testing a preliminary report"*. *British Poultry Science*, 21:489-495.

Poorter, H., and Garnier, E. (1996). *"Plant growth analysis: an evaluation of experimental design and computational methods"*. *J. Exp. Bot.* 47:1343-1351.

Rahangdale, S.L., Dhopte, A.M., and Wanjar, K.B. (1994). *"Evaluation of chickpea genotypes for yield stability under moisture deficit"*. *Annals of plant physiology* 8 (2):179-184.

Richard, R.A. (1991). *"Crop improvement for temperate Australia"*. *Future opportunities. Field Crop Res.* 26:141-169.

Rosales – Serna, Kohashi – Shibata, R. J., Acosta – Gallegos, J. A., Trejo – Lopez, C., Ortiz – Cereceres, J., and Kelly, J. D. (2004). *"Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought – stressed common bean cultivars"*. *Field Crop Res.* 85:203-211.

Rosenow, D.T., Quisenberry, J.E., Wendt, C.W., and Clark, L.E. (1983). *"Drought tolerant sorghum and cotton germplasm"*. *Agric. Water Manage.* 7:207-222.

Russel, M.B. (1996). *"Water and its relation to soil crop"*. Academic Press Inc, New York, London. pp:445.

Sabaghpour, S.H., Kumar, J. and Rao, T.N. (2003b). *"Inheritance of growth vigour and its association with other characters in chickpea"*. *Plant Breeding Journal*, 122:542-544.

Sabaghpour, S.H., Sadeghi, E., and R.S. Malhotra. (2003a). *"Present status and future prospects of chickpea cultivation in Iran"*. In proceeding of International chickpea Conference. 20-22 jan, 2003, Raipur, India.

Sabaghpour, S.H., Safikhani, M., Sarker, A., Gaffri, A. and Ketata, H. (2004). *"Present status and future prospects of lentil cultivation in Iran"*. In proceeding of 5th European Conference on Grain Legume. 7-11 June 2004. Parise. France.

- Sala, F.j. and Borgos, J. (1996).** "Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes". In: Gold GW(ed). In New Methods of Food Perseveration. An Aspen Publication:176-202.
- Sanchez, F.J., Manzanares, M., Deandres, E.F., and et al. (2001).** "Residual transpiration rate, epicuticular wax load and leaf colour of pea plants in drought conditions". *Influence on harvest index and canopy temperature*". Eur J Agron 15:57-70
- Sanders, D., Brownlee. C., and Harper. J.F. (1999).** "Communicating with calcium". Plant Cell. 11:691-706.
- Santos, M.G., Ribeiro, R.V., Oliverira, R.F., Machado, E.C., and Pimetel, C. (2006).**"The role of inorganic phosphate on photosynthesis recovery of common bean after a mild water deficit". Plant Sci. 170:659-664.
- Saxena M.C. and Yadav D.S. (1976).** "Some agronomic considerations of pigeon peas and chickpea", In: Proceedings of the International Workshop on Grain Legumes, Hyderabad, India. pp:31-62
- Saxena M.C. (1990).** "Problems and Potential of chickpea prouction in the nineties". In: Chickpea in the Nineties. proe. of the second International work shop on Chickpea Improvement, 4-8 Dec. 1989, ICRISAT. Potancheru Indica. PP:13-25.
- Saxena, N.P. (1984).** "Chickpea". The chickpea. In: the physiology of Tropical Field Crops (P. R. Goldsworthy and N. M. Fisher Eds,). New York, USA: Wiley. pp:419-452.
- Saxena, N.P. (2003).** Management of Agriculture Drought "Agronomic and Genetic Options". Science PublishersInc, NH, USA.
- Saxena, N.P., and Chauhan, Y.S. (1995).** "Strategies for improving drought resistance in grain legumes". Critical Reviews in Plant Sci. 14:469-523.
- Saxena N.P., S.C. Sethi, L. Krishnamurthy and M.P. Haware (1995).** "Physiological approaches to genetic enhancement of drought resistance in chickpea". In: International congress on integrated studies on drought tolerance of higher plants. Interdrought, Aug. 1995. Montpellier, France.
- Saxena, N.P. (1987).** "Screening for adaptation to drought: case studies with chickpea and Pigeonpea". in "Adaptation of Chickpea and pigeonpea to abiotic stresses". Proceeding of the Consultants Workshop, 19-21 Dec, 1984, ICRISAT Asia Center. India. Patancheru 502-524, A. P., India: ICRISAT. pp:63-76

- Schmidt, P., Rosenfeld, E., Millner, R., and Schellenberger, A. (1987).** Effects of ultrasound on the catalytic activity of matrix-bound glucoamylase, *Ultrasonics*, 25:295-299.
- Schnyder, H. (1993).** *"The role of carbohydrate storage and redistribution in the source-sink relations of wheat and barley during grain filling a review"*. *New Phytol.* 123:233-245.
- Schroeder, J.I., Allen. G. J., Hugouvieux. V., Kwak. J.M., and Waner. D. (2001).** *"Guard cell signal transduction"*. *Annal Rev Plant Physiol Plant Mol Biol.* 52:627-658.
- Seki, M., Ishida. J., Narusaka. M., Fujita. M., Nanjo. T., Umezawa. T., Kamiya. A., Nakajima. M., Enju. A., Sakurai. T., Satou. M., Akiyama. K., Yamaguchi-shinozaki. K., Carninci. P., Kawai. J., Hayashizaki. Y., and Shinozaki. K. (2002).** *"Monitoring the expression pattern of around 7000 Arabidopsis genes under ABA treatments using a full-length cDNA microarray"*. *Funct Integr Genomics.* 2:282-291.
- Seo, M., and Koshiba. T. (2002).** *"Complex regulation of ABA biosynthesis in plants"*. *Trends Plant Sci.* 7:41-48
- Shabiri, S., Ghasemi golazani, K., Golchin, A., and Saba, J. (2007).** *"Effect of limit water on growth and yield three chickpea cultivars in Zanjan"*. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 14:34-47.
- ShafiurRahman, M. (2000).** *"Light and sound in food preservation"*. *Horticulture and food research. J. Institute of New Zealand,* 3:669-685
- Sharafi, S., Gholipoor, M., Ghassemi, S., and Sharafi. A. (2006).** *"Effect of magnetic field on seed germination of two wheat cultivars"*. *African Journal(publishing).*
- Sheldrake, A.R., and Saxena, N.P. (1979).** *"Growth and development of chickpeas under progressive moisture stress"*. In *Stress Physiology in Crop Plants* (H. Mussell and R. Staples, Eds). New York, USA: Wily (2). pp:466-483.
- Shields, L.M. (1958).** *"Morphology in relation to xerophytism"*, In: *Bioecology of the Arid and Semiarid Landsof the South-west*, Lora, M. S. and L. J. Gardner (Eds), New Mexico Highlands Univ. Bull. Pp:15-22.
- Shimomura, S. (1990).** *"The effects of ultrasonic irradiation on sprouting radish seed"*. *Ultrasonic Symposium Proceedings.* 3:1665-1667.
- Siddique, A., Hamide, A., and Islam, M.S. (2000).** *"Drought stress effects on water relations of wheat"*. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 41:35-39.

- Siddique, K.H.M., Sedegly, R.H and Marshal, C. (2000).** *"Effects of plant density on growth and harvest index of branches in chickpea (Cicer arietinum L.)"*. Field Crop Research. 31:193-203.
- Singh, G., Sekhon, H.S., Kolar, J.S., (2005).** Pulses. Agrotech Publishing Academy, Udaipur, India.
- Singh, N.B., Dube, P.S., and Singh, A.K. (1988).** *"Genetic variability in root characteristics in chickpea"*. International chickpea Newsletter. 18:35-37.
- Singh, N., Chhokar, V., Sharma, K.D., and Kuhad, M.S. (1997).** *"Effect of potassium on water relations, Co₂ exchange and plant Physiol"*, Vol. 2 No. 3:202-206.
- Singh, P. (1991).** *"Influence of water deficits on phenology, growth and dry matter allocation in chickpea (Cicer arietinum)"*. Field Crops Res. 28:1-15.
- Singh, R., and Kumar, A.P. (1992).** *"Effects of water stress and hardening on metabolic changes in chickpea (Cicer arietinum L.)"*. Indian Journal of Plant Physiology 35(3):252-257.
- Singh S.P. (1997).** *"Chickpea (Cicer arietinum L.)"*. Field Crops Res. 53:161-170.
- Singh V.K. and Dlxite R.S. (1992).** *"Effect of moisture regime and sowing date on chickpea"* Indian J. Agron., 37:739.
- Smith, P.K., Krohn, R.I., Hermanson, G.T., Mallia, A.K., Gartner, F.H., Provenzano, M.D., Fujimoto, E.K., Goeke, N.M., Olson, B.J., Klenk, D.C. (1985).** *"Measurement of protein using bicinchoninic acid"*. Analytical Biochemistry 150:70-76.
- Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., and Sarparast, R. (2006).** *"Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth"*. Agric. For. Meteorol. 138:156-167.
- Stone, L.R., Goodrum, D.E., Jaafar, M.N., and Khan, A.H. (2002).** *"Rooting Front and water depletion depths in grain sorghum and sunflower"*. Agronomy Journal 93:1105-1110.
- Subarao, G.V., Johanson, C., Slinkard, A.E., Nageswara rao, R.C., Summerfield, R.J., Minchin, F.R., Roberts, E.H., and Hadley, P. (1980).** *"The effects of photoperiod and air temperature on growth and yield of chickpea (Cicer arietinum L.)"*. In: Proc. Int. workshop, Chickpea Improvement, 28 February 2 March 1979, ICRISAT, Patancheru, India, pp:121-149.

- Sundaresan, S. and Sudhakaran, P.R. (1995).** "Water stress induced alternations in the praline metabolism of drought susceptible and tolerant cassava cultivars". *Plant Physiology*. 94:635-642.
- Suslick, K.S. (Ed.). (1988).** "Ultrasound: Its physical, chemical and biological effects", VCH, New York.
- Suslick, K.S. (1990).** *Sonochemistry Science*. 247:1439-1445.
- Swaraj, K. (1987).** "Environmental stress and symbiotic N₂ fixation in legume". *Plant Physiol. Biochem.* 14:117-130
- Tavakoli, H., Karimi, M., and Mosavi, S.F. (1989).** "Effect of irrigation regimes on vegetative and reproductive components of corn". *Iranian J. Agric. Sci.* 22:35-46.
- Tesfaye, K., Walker, S., and Tsubo, M. (2006).** "Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment". *European Journal of Agronomy* 25:60-70.
- Thomas, H. (1997).** "Drought resistance in Plants". In: Basra, S. A and Basra, R. K. (Eds), *Mechanisms of environmental stress resistance in Plants*. IPH Publishers, New Delhi, India. pp:1-42.
- Toker, C., and Canci, H. (2006).** "Selection for drought and heat resistance in chickpea under terminal drought conditions". 4th International Food Legumes Research Conference: Food Legumes for Nutritional Security and Sustainable Agriculture. 18–22 October 2005. New Delhi, India, (in press).
- Turk, K.J., and Hall, A.E. (1980a).** "Drought adaptation of cowpea. II. Influence of drought on water use and relations with growth and seed yield". *Agron. J.* 72:428-433.
- Turner, N.C. (1979).** "Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants". In: *Stress Physiology in Crop Plants*. mussel, H. and Staples, R. C. (Eds). Wiley Interscience, New York. pp:343-372
- Turner, N.C. (1981).** "Designing crop for dryland Australia. Can the desert help us?" *J. Aust. Inst. Agri. Sci.* 47:29-34
- Turner, N.C. (1986).** "Crop water deficits: A decade of progress". *Advances in Agronomy* 39:1-51
- Ullah, A., Bakht, J. Shafi, M. and Islam, W.A. (2002).** "Effect of various irrigations levels on different chickpea varieties". *Asian Journal of Plant Science*. 4:355-357.

- Vilkhu, K., Mawson, R., Simons, L., and Bates, D. (2007).** *"Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry"* - A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9(2008):161-169
- Wang. X., B. Wang , Y. Jia, Ch. Duan and S. Akio. (2002).** *"Effect of sound wave on the synthesis of nucleic acid and protein in chrysanthemum"*. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 29:99-102.
- Wery, J. (1990).** *"adaption to frost and drought stress in chickpea and implication in plant breeding"*. In saxena, M.C., Cubero, J.I. and Wery, J. (Eds) *Present Status and Future Prospect of Chickpea Crop Production and Improvement in the Mediterranean Countries. Options Mediterraneennes. Serie A: Seminaires Mediterraneens: No. 9.* Zaragoza, Spain: CIHEAM.
- Williams, J. H., Rao, R. C. N., Matthews, R., and Harris, D. (1986).** *"Responses of groundnut genotypes to drought. In: Agrometeorology of Groundnut"*. pp:99-106, Sivakumar, M. V. K. and S. M. Virmani, Eds., ICRISAT, Patancheru, India.
- Yadav, V.K., Yadav, N., Singh, R.D. (1996).** *"Metabolic changes and their impact on yield in chickpea under water stress"*. *Plant Physiology and Biochemistry* 23(1):49-52.
- Yaldagard, M., Mortazavi, S.A., and Tabatabaie.F. (2008).** *"Application of ultrasonic waves as a priming technique for accelerating and enhancing the germination of barely seed: optimization of method by the Taguchi approach"*. The Institute of Brewing & Distilling.
- Yoshida, Y., Kiyosue, T., Yamaguchi-Shinozaki, K. and et al. (1997).** *"Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress"*. *Plant Cell Physiology*. 38:1095-1102.
- Zhu, J. K. (2002).** *"Salt and water stress signal transduction in plant"*. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 53:247-273.

Abstract

Drought stress is one of the most important causes of yield loss in Crop plants. Among the Crop plants, Legumes, especially chickpea, play an important role in providing foods for human. In this regard, a field research consisting the factorial arrangement of factors based on randomized complete block design with three replications was conducted in research farm of Shahrood University to evaluate the effect ultrasonic waves and drought stress on chickpea in 2013. Factors were three levels of drought stress: control (full irrigation), no irrigation at grain dough stage onward and no irrigation in flowering stage onward As the first factor, and ultrasonic waves, with a wavelength of 42 kHz, in the five levels of control (no irradiation), 2, 4, 6 and 8 minutes exposure As for the second factor. Results showed that drought stress negatively affected dry matter, leaf area, plant height, number of primary and secondary sub branch, seed yield, seed weight, number of pods per plant, seeds per pod, pod dry weight, biological yield and harvest index decreased. The most negative impact of stress in the flowering stage onwards. Drought stress after the dough stage of grain increased seed protein and oil contents. Drought stress after the flowering stage increased chlorophyll content. The application of ultrasonic wave increased dry weight of leaves, stems and shoots and also leaf area measured before imposing stress. Ultrasonic waves positively affected plant height, number of primary and secondary branches, seed yield, seed weight, number of pods per plant, pod weight, biological yield, grain protein content and chlorophyll content. The best performance in this test was obtained by treating 6-minute ultrasonic waves. Interactive effects of drought stress and ultrasonic waves were significant on biological yield, number of secondary branches, number of pods per plant, pod dry weight and chlorophyll. As a general conclusion it can be said that the use of ultrasonic waves as seed priming in this study was achieved acceptable results.

Key words: Ultrasound, Drought stress, Chickpea