دانشکده فنی و مهندسی

گروه بیوتکنولوژی کشاورزی

# مطالعه اثرات سیلیکون در ارقام جو تحت تنش خشکی

پایان‌نامه‌برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته بیوتکنولوژی کشاورزی

نگارش:

زهرا مشیری

استاد راهنما:

دکتر رحیم حداد

استاد مشاور:

دکتر رامین حسینی

مهر ماه ۱۳۸۸

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به:

مهربانان بی همتا، پدر و مادر خوبم

و

محمد عزیزم

**تشکر و قدر دانی:**

خداوند مهربان را سپاسگذارم که در پناه الطاف بیکرانش توانستم مرحله ای دیگر از کسب علم و دانش را با راهنمایی استاد گرانقدر جناب آقای دکتر رحیم حداد به پایان برسانم. از زحمات بی دریغ ایشان در مسیر اجرای این تحقیق صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

همچنین از جناب آقای دکتر رامین حسینی، که زحمت مشاوره پایان نامه را بر عهده داشتند، جناب آقای دکتر قاسمعلی گروسی و سرکار خانم دکتر فائزه فاضلی که زحمت داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند و نیز از اساتید محترم جناب آقای دکتر جعفر احمدی و جناب آقای دکتر امیر حسین بیکی که حق استادی بر این جانب دارند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از پدر و مادر عزیزم که همواره یاورم بودند و همسر بزرگوارم قدردانی می نمایم.

از آقای مهندس ولی الله سلیمانی و خانم دکتر مریم قناد نیا، کارشناسان آزمایشگاه تشکر می نمایم.

## تأییدیه‌ی هیأت داوران جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه/رساله

نام دانشکده: فنی مهندسی

نام دانشجو: زهرا مشیری

عنوان پایان‌نامه یا رساله: مطالعه اثرات سیلیکون در ارقام جو تحت تنش خشکی

تاریخ دفاع: ۸۸/۷/۱۵

رشته: بیوتکنولوژی

گرایش: کشاورزی

| ردیف | سمت | نام و نام خانوادگی | مرتبه‌ی دانشگاهی | دانشگاه یا مؤسسه | امضا |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | استاد راهنما | دکتر رحیم حداد | استاد یار | دانشگاه بین المللی امام خمینی | |
| ۲ | استاد مشاور | دکتر رامین حسینی | استاد یار | دانشگاه بین المللی امام خمینی | |
| ۳ | داور خارجی | دکتر فائزه فاضلی | استاد یار | دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی | |
| ۴ | داور داخلی | دکتر قاسمعلی گروسی | استاد یار | دانشگاه بین المللی امام خمینی | |
| ۵ | نماینده تحصیلات تکمیلی | دکتر جعفر احمدی | استاد یار | دانشگاه بین المللی امام خمینی | |

## چکیده

خشکی، از جمله بزرگترین تنش های محیطی است که گیاهان در سراسر جهان با آن روبرو هستند. غلات، از جمله گیاهانی هستند که محصولات آنها در اثر تنش های غیر زیستی مورد تهدید قرار می گیرد و با توجه به نقش آنها در تغذیه انسان، می بایست به این موضوع توجه ویژه داشت. سیلیکون، عنصری فراوان در پوسته ی زمین است که نقش آن در افزایش تحمل گیاهان به تنش های محیطی اثبات شده است. بنابراین به بررسی اثر سیلیکون در ارقام جو ایرانی تحت تنش خشکی پرداختیم تا در صورت اثبات نقش مثبت آن در افزایش تحمل به خشکی، بتوانیم از این عنصر در شرایط مزرعه ای نیز استفاده کنیم.

در تحقیق حاضر، اثر سیلیکات سدیم بر فعالیت آنزیم های ضد اکسنده (کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POX)، آسکوربات پراکسیداز (APX) و سوپراکساید دیسموتاز (SOD))، محتوای پرولین و گلایسین بتائین، میزان پروتئین محلول کل و میزان رطوبت نسبی در تنش اکسیداتیو القا شده به وسیله ی خشکی در دو رقم جو (*Hordeum vulgare* L.) با تحمل متفاوت به خشکی با نام های کویر (متحمل) و جنوب (حساس) در مراحل مختلف رشدی بررسی شد.

نتایج نشان دادند که فعالیت آنزیم های ضد اکسنده، همچنین محتوای اسمولیت ها با کاربرد سیلیکون در مقایسه با تیمارهای شاهد و خشکی افزایش می یابند. کاربرد سیلیکون وضعیت آبی گیاهان تنش خشکی دیده را بهبود بخشید. فعالیت آنزیم های ضد اکسنده و اسمولیت های اندازه گیری شده در رقم مقاوم بالاتر از رقم حساس بود. در این آزمایش مشخص شد که اثرات سیلیکون وابسته به زمان بوده و با ادامه ی زندگی گیاه اثرات آن افزایش می یابند. از آنجا که آنزیم های ضد اکسنده در برابر گونه های اکسیژن فعال تولید گردید و تجمع اسمولیت ها نیز در پاسخ به تنش اتفاق افتاد تا از بافت های گیاهی در مقابل تنش اکسیداتیو محافظت کند، لذا می توان استنتاج کرد که سیلیکون تحمل به تنش را در هر دو رقم افزایش داده و بنابراین می توان از کاربرد سیلیکون خارجی در راستای رسیدن به محصول بیشتر استفاده کرد.

## فهرست مطالب


**فصل اول: کلیات** ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- مبدا و تاریخچه ی پیدایش جو ۳

۱-۳- موارد استفاده ی گیاه جو ٤

۱-۴- مشخصات گیاه شناسی ٥

۱-۵- طبقه بندی جو ٥

۱-۶- طبقه بندی زراعی جو ٦

۱-۷- آب و هوا ٦

۱-۸- خاک مناسب برای کاشت جو ۷

۱-۹- تنش خشکی ۸

۱-۱۰- واکنش های سلولی گیاه به کمبود آب ۸

۱-۱۱- مفهوم مقاومت به خشکی ۹

۱-۱۲- مکانیزم های مقاومت به خشکی ۹

۱-۱۲-۱- اجتناب از پسابیدگی ۹

۱-۱۲-۲- تحمل پسابیدگی ۱۰

۱-۱۲-۳- فرار از خشکی ۱۰

۱-۱۳-تنش اکسیداتیو ۱۱

۱-۱۴- گونه های اکسیژن فعال ۱۱

۱-۱۵- واکنش های بیولوژیکی رادیکال های اکسیژن ۱۳

۱-۱۵-۱- خسارت اکسید شدن لیپیدها ۱۳

۱-۱۵-۲- خسارت اکسیده شدن پروتئین ها ۱٤

۱-۱۵-۳- خسارت اکسید شدن DNA ۱٤

۱-۱۶- مکان های تولید گونه های اکسیژن فعال در مکان های داخل سلولی ۱٥

۱-۱۶-۱-کلروپلاست ۱٥

۱-۱۶-۲- میتوکندری ۱٦

۱-۱۶-۳- شبکه آندوپلاسمی ..... ۱۶
۱-۱۶-۴- ریز اندام ها ..... ۱۶
۱-۱۶-۵- غشای پلاسمایی ..... ۱۷
۱-۱۷- سیستم های دفاعی ضد اکسنده ..... ۱۷
۱-۱۷-۱-آنزیم های ضد اکسنده ..... ۱۷
۱-۱۷-۱-۱- آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) ..... ۱۷
۱-۱۷-۱-۲- آنزیم کاتالاز (CAT) ..... ۱۸
۱-۱۷-۱-۳- آنزیم پراکسیداز (POX) ..... ۲۰
۱-۱۷-۱-۴- آنزیم آسکوربات پراکسیداز(APX) ..... ۲۱
۱-۱۷-۱-۵- آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز (GR) ..... ۲۲
۱-۱۷-۲- ضد اکسنده های غیر آنزیمی ..... ۲۲
۱-۱۷-۲-۱- آسکوربیک اسید ..... ۲۲
۱-۱۷-۲-۲- گلوتاتیون ..... ۲۳
۱-۱۷-۲-۳- توکوفرول ها ..... ۲۴
۱-۱۷-۲-۴- ترکیبات فنولیک ..... ۲۵
۱-۱۷-۲-۵- کاروتنوئیدها ..... ۲۶
۱-۱۸- تنظیم اسمزی ..... ۲۷
۱-۱۸-۱- گلایسین بتائین ..... ۲۸
۱-۱۸-۲- پرولین ..... ۲۹
۱-۱۹- سیلیکون ..... ۳۱
۱-۱۹-۱- مکانیزم های کاهش سمیت فلزی به واسطه سیلیکون ..... ۳۲
۱-۱۹-۲- مکانیزم های افزایش تحمل به سمیت شوری به واسطه سیلیکون ..... ۳۴
**فصل دوم: بررسی منابع** ..... ۳۵
۲-۱- روابط آبی گیاه ..... ۳۵
۲-۲- تغییرات غلظت کلروفیل در شرایط تنش ..... ۳۸
۲-۳- تغییرات پروتئین محلول کل تحت تاثیر تنش ..... ۳۹
۲-۴- اثرات تنشهای گوناگون بر سیستمهای ضد اکسندهی گیاهان ..... ۴۰
**فصل سوم: مواد و روشها** ..... ۴۶
۳-۱- مواد گیاهی ..... ۴۷

۳-۲- بررسی اثرات سیلیکون در مرحله جوانه‌زنی..... ٤٧
۳-۳- بررسی اثرات سیلیکون در شرایط گلخانه..... ٤٩
۳-۳-۱- نحوه‌ی کشت و اعمال تنش ..... ٤٩
۳-۳-۲- روش کار گذاشتن و کالیبره کردن بلوک گچی ..... ٤٩
۳-۳-۳- نمونه‌برداری..... ٤٩
۳-۳-۴- محتوای نسبی آب برگ ..... ٥٠
۳-۳-۵- استخراج پروتئین محلول کل..... ٥٠
۳-۳-۶- تعیین غلظت کلروفیل برگی..... ٥١
۳-۳-۷- سنجش پروتئین محلول کل ..... ٥٢
۳-۳-۸- سنجش آنزیم‌های ضداکسنده..... ٥٣
۳-۳-۸-۱- کاتالاز (CAT) ..... ٥٤
۳-۳-۸-۱-۱- محاسبه ی فعالیت ویژه ی آنزیم کاتالاز (CAT) ..... ٥٥
۳-۳-۸-۲- پراکسیداز ..... ٥٦
۳-۳-۸-۲-۱- محاسبه میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز ..... ٥٧
۳-۳-۸-۳- آسکوربات پراکسیداز (APX) ..... ٥٨
۳-۳-۸-۳-۱- محاسبه‌ی میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز ..... ٥٩
۳-۳-۸-۴- سوپراکساید دیسموتاز..... ٦٠
۳-۳-۸-۴-۱- محاسبه ی فعالیت آنزیم سوپراکساید دیسموتاز ..... ٦١
۳-۳-۹- الکترو فورز پروتئین کل (SDS – PAGE)..... ٦٢
۳-۳-۹-۱- بافرهای لازم جهت آماده‌سازی نمونه‌های پروتئینی ..... ٦٣
۳-۳-۹-۲- ژل جداکننده‌ی ۱۲/۵٪..... ٦٣
۳-۳-۹-۳- ژل متراکم کننده (۴/۵ درصد) ..... ٦٤
۳-۳-۹-۴- آماده سازی ژل SDS-PAGE ..... ٦٤
۳-۳-۹-۵- آماده سازی نمونه های پروتئینی برای آنالیز SDS-PAGE..... ٦٤
۳-۳-۹-۶- الکتروفورز ..... ٦٥
۳-۳-۹-۷- رنگ آمیزی کوماسی آبی ..... ٦٥
۳-۳-۱۰- الکتروفورز ژل بومی..... ٦٦
۳-۳-۱۰-۱- الکتروفورز ژل بومی آنزیم کاتالاز ..... ٦٦
۳-۳-۱۰-۱-۱- ژل جدا کننده (۶٪)..... ٦٧

۳-۳-۱۰-۱-۲- ژل متراکم کننده (۴٪) ..... ٦٧
۳-۳-۱۰-۱-۳- الکتروفورز ..... ۶۸
۳-۳-۱۰-۱-۴- رنگ‌آمیزی اختصاصی آنزیم کاتالاز ..... ٦٨
۳-۳-۱۰-۲- الکتروفورز ژل بومی آنزیم سوپراکساید دیسموتاز ..... ٦٩
۳-۳-۱۰-۲-۱- ژل جداکننده ۱۰٪ ..... ۶۹
۳-۳-۱۰-۲-۲- ژل متراکم کننده ۴٪ ..... ۷۰
۳-۳-۱۰-۲-۳- رنگ‌آمیزی اختصاصی آنزیم سوپراکساید دیسموتاز ..... ۷۰
۳-۳-۱۰-۳- الکتروفورز ژل بومی آنزیم آسکوربات پراکسیداز ..... ۷۱
۳-۳-۱۰-۳-۱- رنگ‌آمیزی اختصاصی آنزیم آسکوربات پراکسیداز ..... ۷۲
۳-۳-۱۰-۴- الکتروفورز ژل بومی آنزیم پراکسیداز ..... ۷۳
۳-۳-۱۰-۴-۱- رنگ‌آمیزی اختصاصی آنزیم پراکسیداز ..... ۷۳
۳-۳-۱۱- سنجش میزان اسمولیت‌ها ..... ۷۳
۳-۳-۱۱-۱- اندازه‌گیری میزان پرولین ..... ۷۳
۳-۳-۱۱-۲- اندازه‌گیری میزان گلایسین بتائین ..... ۷٤
۳-۱۴- آنالیز آماری ..... ۷۵
**فصل چهارم: نتایج و بحث** ..... ۷۷
۴-۱- بخش اول: بررسی اثرات سیلیکون بر جوانه زنی بذور جو تحت تنش ..... ۷۸
۴-۱-۱- نتایج تجزیه ی واریانس شاخص های مرتبط با جوانه زنی ..... ۷۸
۴-۱-۲- جمع بندی اثرات سیلیکون بر جوانه زنی بذور ..... ۷۹
۴-۲- بخش دوم: اثر عوامل پراکندگی در صفات مورد مطالعه در مراحل رویشی گیاه جو ..... ۸۳
۴-۲-۱- نتایج تجزیه ی واریانس کل آزمایش ..... ۸۳
۴-۲-۲- اثر تیمارهای شاهد، خشکی و سیلیکون- خشکی بر صفات مورد مطالعه ..... ۸٦
۴-۲-۲-۱- میزان آب نسبی برگ ..... ۸٦
۴-۲-۲-۲- میزان پروتئین محلول کل ..... ۸٦
۴-۲-۲-۳- میزان کلروفیل های a، b و کل ..... ۸۷
۴-۲-۲-۴- فعالیت ویژه ی آنزیم کاتالاز ..... ۸۸
۴-۲-۲-۵- فعالیت ویژه ی آنزیم سوپراکساید دیسموتاز ..... ۸۹
۴-۲-۲-۶- فعالیت ویژه ی آنزیم پر اکسیداز ..... ۹۰
۴-۲-۲-۷- فعالیت ویژه ی آنزیم آسکوربات پراکسیداز ..... ۹۰

۴-۲-۳- اثر تیمار های شاهد، خشکی و سیلیکون - خشکی در مراحل مختلف رویشی به تفکیک ارقام مقاوم و حساس ..... ۹۱
۴-۲-۳-۱- میزان آب نسبی برگ ..... ۹۱
۴-۲-۳-۲- میزان پروتئین محلول کل ..... ۹۲
۴-۲-۳-۳- میزان کلروفیل ..... ۹٤
۴-۲-۳-۴- فعالیت ویژه ی آنزیم کاتالاز ..... ۹۷
۴-۲-۳-۵- فعالیت ویژه ی آنزیم سوپراکساید دیسموتاز ..... ۹۸
۴-۲-۳-۶ - فعالیت ویژه ی آنزیم پراکسیداز ..... ۱۰۰
۴-۳-۷ میزان فعالیت ویژه ی آنزیم آسکوربات پراکسیداز ..... ۱۰۱
۴-۲-۴ بررسی میزان تنظیم کننده ها ی اسمز ..... ۱۰۳
۴-۲-۴-۱- میزان گلایسین بتائین ..... ۱۰۳
۴-۲-۴-۲- میزان پرولین ..... ۱۰٤
۴-۲-۵- همبستگی میان صفات ..... ۱۰۷
۴-۲-۶- بحث ..... ۱۰۹
۴-۲-۷- جمع بندی کلی ..... ۱۱٦
پیشنهادها ..... ۱۱۸
منابع ..... ۱۱۹
چکیده ی انگلیسی ..... ۱۳۳

# فهرست تصاویر


شکل ۳-۱- منحنی استاندارد غلظت پروتئین محلول کل ..... ۵۳

شکل ۳-۲- منحنی فعالیت آنزیم کاتالاز ..... ۵۵

شکل ۳-۳- منحنی فعالیت آنزیم پراکسیداز ..... ۵۷

شکل ۳-۴- منحنی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز ..... ۵۹

شکل ۳-۵- منحنی فعالیت بازدارندگی آنزیم سوپراکساید دیسموتاز ..... ۶۱

شکل ۴-۱- تغییرات زمان مورد نیز برای جوانه زنی ۱۰٪ و ۵۰٪ بذور ..... ۸۲

شکل ۴-۲- تغییرات درصد جوانه زنی در اثر تیمار سیلیکون و خشکی (۰، ۶- و ۹- بار) ..... ۸۲

شکل ۴-۳- تغییرات سرعت جوانه زنی در اثر تیمار سیلیکون و خشکی (۰، ۶- و ۹- بار) ..... ۸۳

شکل ۴-۴- تغییرات محتوای نسبی آب برگ در تیمارهای شاهد، خشکی و سیلیکون ..... ۸۶

شکل ۴-۵- تغییرات میزان پروتئین محلول کل در تیمارهای شاهد، خشکی و سیلیکون ..... ۸۷

شکل ۴-۶- تغییرات میزان کلروفیل های a، b و کل در تیمارهای شاهد، خشکی و سیلیکون ..... ۸۸

شکل ۴-۷- تغییرات فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمارهای شاهد، خشکی و سیلیکون ..... ۸۹

شکل ۴-۸- تغییرات فعالیت آنزیم سوپراکساید دیسموتاز در تیمارهای شاهد، خشکی و سیلیکون ..... ۸۹

شکل ۴-۹- تغییرات فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمارهای شاهد، خشکی و سیلیکون ..... ۹۰

شکل ۴-۱۰- تغییرات فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در تیمارهای شاهد، خشکی و سیلیکون ..... ۹۱

شکل ۴-۱۱- تاثیر تیمارهای متفاوت بر تغییرات میزان آب نسبی برگ در مراحل مختلف رشد رقم مقاوم ..... ۹۱

شکل ۴-۱۲- تاثیر تیمارهای متفاوت بر تغییرات میزان آب نسبی برگ در مراحل مختلف رشد رقم حساس ..... ۹۲

شکل ۴-۱۳- تاثیر تیمارهای متفاوت بر تغییرات میزان پروتئین محلول کل در مراحل مختلف رشد رقم مقاوم ..... ۹۳

شکل ۴-۱۴- تاثیر تیمارهای متفاوت بر تغییرات میزان پروتئین محلول کل در مراحل مختلف رشد رقم حساس ..... ۹۳

شکل ۴-۱۵- تاثیر تیمارهای متفاوت بر تغییرات میزان کلروفیل a، b و کل در مراحل مختلف رشد رقم مقاوم ..... ۹۵

شکل ۴-۱۶- تاثیر تیمارهای متفاوت بر تغییرات میزان کلروفیل a، b و کل در مراحل مختلف رشد رقم حساس ..... ۹۶

شکل ۴-۱۷- تاثیر تیمارهای متفاوت بر تغییرات میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در مراحل مختلف رشد رقم مقاوم.....۹۷

شکل ۴-۱۸- تاثیر تیمارهای متفاوت بر تغییرات میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در مراحل مختلف رشد رقم حساس.....۹۸

شکل ۴-۱۹- تاثیر تیمارهای متفاوت بر تغییرات میزان فعالیت آنزیم سوپراکساید دیسموتاز در مراحل مختلف رشد رقم مقاوم.....۹۹

شکل ۴-۲۰- تاثیر تیمارهای متفاوت بر تغییرات میزان فعالیت آنزیم سوپراکساید دیسموتاز در مراحل مختلف رشد رقم حساس.....۹۹

شکل ۴-۲۱- تاثیر تیمارهای متفاوت بر تغییرات میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در مراحل مختلف رشد رقم مقاوم .....۱۰۰

شکل ۴-۲۲- تاثیر تیمارهای متفاوت بر تغییرات میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در مراحل مختلف رشد رقم حساس .....۱۰۱

شکل ۴-۲۳- تاثیر تیمارهای متفاوت بر تغییرات میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در مراحل مختلف رشد رقم مقاوم .....۱۰۲

شکل ۴-۲۴- تاثیر تیمارهای متفاوت بر تغییرات میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در مراحل مختلف رشد رقم حساس .....۱۰۲

شکل ۴-۲۵- تاثیر تیمارهای متفاوت بر تغییرات میزان گلایسین بتائین در مراحل مختلف رشد رقم مقاوم.....۱۰۳

شکل ۴-۲۶- تاثیر تیمارهای متفاوت بر تغییرات میزان گلایسین بتائین در مراحل مختلف رشد رقم حساس.....۱۰۳

شکل ۴-۲۷- تاثیر تیمارهای متفاوت بر تغییرات میزان پرولین در مراحل مختلف رشد رقم مقاوم.....۱۰۴

شکل ۴-۲۸- تاثیر تیمارهای متفاوت بر تغییرات میزان پرولین در مراحل مختلف رشد رقم حساس.....۱۰۴

## فهرست جداول

جدول ۱-۱- درصد مواد تشکیل دهنده ی دانه ی جو ..... ۴
جدول ۴-۱- میانگین مربعات صفات مورد بررسی در آزمایش جوانه زنی ..... ۷۹
جدول ۴-۲- میانگین مربعات تجزیه واریانس صفات پراکندگی مورد مطالعه..... ۸۵
جدول ۴-۳- مقایسه میانگین صفات مختلف توسط آزمون دانکن ..... ۱۰۵
جدول ۴-۴- همبستگی بین صفات اندازه گیری شده در تیمار شاهد ..... ۱۰۷
جدول ۴-۵- همبستگی بین صفات اندازه گیری شده در تیمار خشکی..... ۱۰۸
جدول ۴-۶- همبستگی بین صفات اندازه گیری شده در تیمار سیلیکون – خشکی ..... ۱۰۸

# فصل اول: کلیات

## ۱-۱- مقدمه

تنش خشکی، یکی از تنش های محیطی بسیار مؤثر بر روی تولید محصول و رشد گیاه است. این تنش از فتوسنتز گیاهان جلوگیری کرده و باعث تغییراتی در میزان کلروفیل و خسارت به دستگاه فتوسنتزی می شود. همچنین خشکی از فعالیت های فتوشیمیایی جلوگیری کرده و فعالیت آنزیم ها در چرخه کالوین را کاهش می دهد. یکی از مهم ترین دلایلی که تنش های محیطی از رشد و توانایی های فتوسنتزی گیاهان جلوگیری می کنند، شکستن تعادل میان تولید گونه های اکسیژن فعال (ROS) و دفاع ضد اکسندگی است (گانگ[1] و همکاران، ۲۰۰۵). تجمع گونه های اکسیژن فعال، سبب وارد آمدن تنش اکسیداتیو به لیپید های غشاء، پروتئین ها و دیگر اجزای سلولی می شوند. گیاه جو، یکی از غلات مهم و قدیمی می باشد که سطح کشت وسیعی را در جهان به خود اختصاص داده است. دانه ی این گیاه در تغذیه ی انسان و پرندگان و پرورش دام ها کاربرد داشته، در صنعت و داروسازی نیز از مالت آن استفاده می شود (خدابنده، ۱۳۸۴). با توجه به محدودیت وسعت زمین های زراعی، سعی بر آن است تا با افزایش میزان تحمل گیاهان به شرایط تنش، میزان تولید در واحد سطح را افزایش داده و از این طریق پاسخگوی تقاضای روز افزون مواد غذایی باشیم. تحمل به تنش های غیر زیستی در سطح سلول و کل گیاه بسیار پیچیده است (اشرف و هریس[2]، ۲۰۰۴). این امر تا حدی به خاطر پیچیدگی اثرات متقابل میان عوامل تنش و وقایع مولکولی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی است که رشد و نمو گیاه را تحت تاثیر قرار می دهند (زو[3]، ۲۰۰۲). به هر حال، توسعه ی تحمل گیاهان زراعی به تنش های محیطی به عنوان یک راه امید بخش مورد توجه قرار گرفته است که ممکن است به مرتفع کردن تقاضای در حال رشد غذا در کشور های در حال توسعه و توسعه نیافته کمک کند. با توجه به مطالعات وسیع صورت گرفته توسط محققین مختلف، درگیاهان متفاوت، مشخص شده است که سیلیکون در زمینه ی افزایش تحمل به تنش مؤثر است. آگاری[4] و همکاران (۱۹۹۸) گزارش دادند که سیلیکون می‌تواند نرخ تعرق و نفوذپذیری غشای برنج را تحت کمبود آب القا شده به وسیله ی پلی اتیلن گلیکول، کاهش دهد. در سورگوم (*Sorghum bicolor*)، گیاهان رشد یافته در گلدان ها با کاربرد سیلیکون،

1. Gong *et al.*
2. Ashraf & Harris
3. Zhu
4. Agari *et al*.

میزان آب نسبی بالاتر و ماده ی خشک بیشتری دارند (هاتوری[1] و همکاران، ۲۰۰۱). لوکس[2] و همکاران (۲۰۰۲) معتقدند که سیلیسی شدن بیشتر اندودرم ریشه، ممکن است با مقاومت بالاتر به خشکی در سورگوم مرتبط باشد. البته خود گیاهان نیز مکانیزم های حفاظتی متفاوتی دارند که از جمله ی آن ها باید به سیستم های دفاعی ضد اکسنده ی آنزیمی و غیر آنزیمی و همچنین تجمع متابولیت هایی با وزن مولکولی پایین (محلول های سازگار) اشاره کرد (بوهنرت[3] و همکاران، ۱۹۹۵). متابولیت هایی که به عنوان محلول های سازگار عمل می کنند میان گونه های گیاهی، متفاوت هستند و شامل الکل های قندی پلی هیدروکسیله، اسیدهای آمینه و مشتقات آن، ترکیبات سولوفونیوم سه تایی و ترکیبات آمونیوم چهارتایی هستند (بوهنرت و جنسن[4]، ۱۹۹۶). نقش عمده ی این متابولیت ها، عمل کردن به عنوان اسمولیت با خواص سازگاری در غلظت بالاست. چنین اسمولیت هایی، توانایی سلول ها را برای نگه داشتن آب افزایش می دهند، بدون اینکه عملکردهای طبیعی سلول مختل شود (یانسی[5] و همکاران، ۱۹۸۲). مهندسی ژنتیک برای افزایش سطوح چنین محلول های سازگاری مانند پرولین و گلایسین بتائین، سعی در افزایش توانایی گیاهان برای تحمل تنش های محیطی دارند. در این تحقیق، اثرات سیلیکون بر تنش اکسیداتیو در گیاهان جو رشد یافته تحت تنش خشکی بررسی شد که ممکن است مکانیزم های فیزیولوژیکی سیلیکون در بهبود تحمل به خشکی در گیاهان را روشن کند.

## ۱-۲- مبدا و تاریخچه‌ی پیدایش جو

جو زراعی (*Hordeum vulgare* L.) یکی از مهم ترین محصولات غله ی جهان است و از میان ۱۰ گیاه زراعی که به طور وسیع در دنیا کشت می شوند، جو مقام چهارم را پس از گندم، برنج و ذرت به خود اختصاص داده است (آکار[6] و همکاران، ۲۰۰۸). مبدا جو را برخی گیاه شناسان از آفریقا و عده ای نیز از آسیا بخصوص سوریه می دانند. جو تا چند قرن قبل غله منحصر به فرد بود تا این که رفته رفته گندم و چاودار جانشین آن شدند. در حال حاضر اهمیت جو در دنیا تقریبا

1. Hattori *et al.*
2. Lux *et al.*
3. Bohnert *et al.*
4. Bohnert & Jensen
5. Yancey *et al.*
6. Akar *et al*.

برابر گندم بوده، ولی تولید آن حدود نصف تولید گندم می باشد (خدابنده، ۱۳۸۴). در سال ۲۰۰۸ تولید جهانی جو، ۱۵۳ میلیون تن تخمین زده شده است که ۱۵٪ نسبت به سال ۲۰۰۷ بیشتر می باشد. در میان کشورهای تولید کننده جو، ۲۷ کشور اروپایی ۴۳٪ تولید جهانی را به خود اختصاص داده اند و رتبه های بعدی متعلق به روسیه (۱۴٪) و کانادا (۷٪ )می باشند (فائو[1]، ۲۰۰۸).

## ۱-۳- موارد استفاده ی گیاه جو

زراعت جو در اکثر کشور های تولید کننده آن سابقه ی بسیار طولانی دارد و از زمان های خیلی گذشته دانه آن علاوه بر اینکه در تغذیه ی انسان مورد مصرف داشته، در قنادی ها نیز کاربرد داشته است. از مالت جو نیز در صنعت، داروسازی و کارخانجات نشاسته سازی استفاده می شده است. در حال حاضر اغلب کشورها از جو، نوشابه های الکلی و غیر الکلی تولید کرده و همچنین در تغذیه گاوهای شیری و گوساله های پرواری و حتی پرندگان نیز به مقدار زیاد به کار می رود. این گیاه دارای مقادیر زیادی ویتامین بخصوص از نوع A، E، $B_1$، $B_2$ و $B_{12}$ بوده و نیز از نظر مواد معدنی مانند کلسیم، فسفر، مس، سدیم، منگنز و کبالت غنی می باشد. کاه این گیاه در غذای حیوانات و تهیه بستر آنها بکار رفته و حتی علوفه سبز آن غذای مناسبی برای دام ها می باشد. از ساقه ی جو نیز در کاغذ سازی استفاده می شود (خدابنده، ۱۳۸۴). مطابق بررسی های انجام شده توسط کان و بوسینالت [2]در سال ۱۹۹۵ درصد مواد تشکیل دهنده دانه ی جو بشرح جدول زیر می باشد:

**جدول (۱-۱)** درصد مواد تشکیل دهنده ی دانه ی جو

| نوع ماده | دانه | ساقه |
|---|---|---|
| **رطوبت** | ۱۲ -۱۵ | ۱۲-۱۵ |
| **پروتئین** | ۸ -۱۰ | ۱-۱/۹ |
| **لیپید** | ۲ -۲/۳ | ۱ -۱/۷ |
| **نشاسته** | ۶۰ -۶۴/۱ | ۴۰ – ۴۳/۸ |
| **سلولز** | ۷ – ۷/۱ | ۳۴ – ۳۴/۴ |
| **مواد معدنی** | ۱/۵ – ۲ | ۳ – ۴ |

1 ·FAO (Food and Agriculture Organization)
2. Kuhn & Boussingault

## ۱-۴- مشخصات گیاه شناسی

جو مانند گندم یکی از گیاهان مهم تیره غلات (Graminaceae) بوده، گیاهی از جنس *Hordeum* و گونه *sativum* یا *vulgare* می باشد. ریشه جو مانند سایر غلات افشان و سطحی است. حدود ۶۱ درصد ریشه آن در عمق ۲۵ سانتی متری اول خاک گسترش یافته و به ندرت ریشه ی جو تا عمق ۱۲۰ سانتی متری خاک فرو می رود. ساقه ی جو ماشوره ای، شبیه ساقه گندم و گره دار است. برگ های جو باریک و به رنگ سبز روشن و دارای انتهای گرد (مدور) است، در صورتی که انتهای برگ های گندم تیز می باشد. از محل هر گره ساقه یک برگ خارج شده و نیام هر برگ قسمتی از ساقه را در بر می گیرد. در محل برخورد برگ به ساقه دو زایده بزرگ به نام گوشوارک (استیپول Stipule) و یک زایده ی بی رنگ و نیمه کروی به طول ۲ تا ۳ میلیمتر به نام زبانک (لیگول Ligule) وجود دارد. زبانک در جو بلند تر از گندم است (خدابنده،۱۳۸۴). جو گیاهی است یک پایه و دارای گل آذین سنبله ای مرکب که طول سنبله یا محور اصلی آن حدود ۷ تا ۱۵ سانتی متر می باشد. هر سنبله از سنبلک ها تشکیل شده و هر سنبلک دارای سه گل می باشد که در بعضی انواع یک گل بارور می شود و این نوع جو ها دو ردیفه نام دارند. در برخی نیز دو گل بارور شده و جوهای چهار ردیفه را به وجود می آورند. در بعضی از انواع نیز هر سه گل بارور شده و شامل جو های شش ردیفه می باشند. دانه ی جو به صورت گندمه است. بیشتر انواع جو ریشکدار می باشند. طول یا اندازه دانه جو به طور متوسط ۸ تا ۱۱ و ضخامت آن ۳ تا ۳/۵ میلیمتر است (خدابنده، ۱۳۸۴).

## ۱-۵- طبقه بندی جو

اکثر گونه های جو بویژه جو های زراعتی که در نقاط مختلف جهان برای تولید دانه کشت می شوند، از گونه *vulgare* هستند. بقیه ی گونه هایی که در نقاط مختلف و تحت شرایط متفاوت پراکنده می باشند شامل انواع وحشی بوده و قابل کشت نیستند. جنس *Hordeum* شامل دو گونه می باشد: ۱- گونه جوهای دانه درشت که تماما یکساله بوده و دارای $2n = 14$ کروموزوم می باشند و عبارتند از: *H. spontaneum Koch – H.vulgare (H. sativum)* و *H. agriochrithon*. این

جو ها دارای محور اصلی شکننده و قابل کشت می باشند. ۲- گونه ی جو های دانه ریز که تماما وحشی بوده، تعدادی از آن ها یکساله و برخی جزء گیاهان دائمی هستند

مهم ترین انواع یکساله که دارای 2n = 14 کروموزوم می باشند، شامل *H. maritimum* و *H. murinum* L. می باشند (خدابنده، ۱۳۸۴).

## ۱-۶- طبقه بندی زراعی جو

جو هایی که در مناطق مختلف جهان کشت می شوند از نظر زراعتی به انواع بهاره و پائیزه تقسیم می گردند.

**جوهای بهاره:** طول دوره ی زندگی جو های بهاره کمتر از انواع پائیزه بوده و حدود ۱۰۰ تا ۱۲۰ روز است، به همان نسبت احتیاجات آنها از نظر گرما، نور، مواد غذایی کمتر بوده، ریشه آنها ضعیف تر و مقدار محصول آنها نیز کمتر از جو های پائیزه می باشد. این جوها اکثرا به مصارف صنعتی و تهیه نوشابه می رسند و اغلب از نوع دو ردیفه هستند.

**جو های پائیزه:** ریشه ی آنها قطورتر و طویل تر از انواع بهاره، مقدار محصول آنها بیشتر و دوره ی زندگی طولانی تری دارند، همچنین اغلب از نوع شش ردیفه می باشند (خدابنده، ۱۳۸۴).

## ۱-۷- آب و هوا

جو در مناطق مختلف که دارای شرایط آب و هوایی متفاوت می باشند رشد کرده و محصول می دهد. هرگاه رطوبت یک عامل محدود کننده در مناطق خشک و نیمه خشک باشد، جو از سایر غلات سردسیری در شرایط مشابه، محصول بیشتری تولید می کند. جو برای سبز شدن احتیاج به رطوبت کمتری نسبت به گندم دارد. این گیاه برای تولید یک گرم ماده خشک به حدود ۵۰۰ گرم آب نیازمند است، از اینرو نسبت به گندم استقامت بیشتری به خشکی دارد. گیاه جو درجه حرارت های بالاتر از ۳۲ درجه سانتیگراد را در شرایط هوای خشک تحمل می کند، لیکن در درجه حرارت زیاد و هوای مرطوب کمتر بردبار است. این گیاه در مقابل سرما نسبت به گندم