مدیریت تحصیلات تکمیلی
**دانشکده کشاورزی**
**گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی**

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته اصلاح نباتات

# شناسایی QTLهای کنترل کننده صفات مورفولوژیک جو تحت شرایط تنش بور

**استاد راهنما**

**دکتر محمود سلوکی**

**استاد مشاور**

**دکتر براتعلی فاخری**

**نگارش**

**حسن مسلمی**

**مهرماه ۱۳۹۳**

## سپاسگزاری

سپاس بی‌نهایت **خدای** را که دریای بی‌منتهای بخشش است و بال فضل، بر کائنات گشوده و سایه لطف بر بندگان گسترده و با منت خود، مرا به زینت ایمان آراسته و در خیمه لطف منزل داده است. چگونه شکر او را گویم که منت را بر من تمام کرده و از سر رحمت خود، مرا در زمره جویندگان علم و دانش قرار داده است. من چگونه نوای لک الحمد سر دهم که این نوای ارادت، خود از بی‌شمار نعمت‌های اوست و محتاج لک الحمدی دیگر. تمام مباهات من در طول تحصیل، نه دست یابیدن به درجه‌ای از دانش، بلکه فراسوی آن تلمذ در نزد استادانی بوده است که خود دریایی از معرفت بودند و سهم من پرتوی از تشعشع معرفت ایشان بر اندیشه بوده است.

در این رهگذر، به رسم ادب خود را ملزم می‌دانم که از صمیم قلب تشکر و سپاس خالصانه خود را از استاد راهنمای گرانقدرم آقای **دکتر محمود سلوکی** و همچنین از استاد مشاور ارجمندم آقای **براتعلی فاخری** که طی انجام این پژوهش یاری‌ام دادند، ابراز دارم.

همچنین از داور پایان نامه سرکار خانم دکتر **نفیسه مهدی نژاد** و نماینده تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر **محمدرضا اصغری پور چمن** کمال تشکر را دارم.

از خانواده عزیزم، **پدر، مادر، برادرها و خواهر بزرگوارم** که مشوق و پشتیبان مراحل زندگی و تحصیلم بودند، تشکر می کنم.

در پایان هم تقدیم می کنم به **همسر صبور و دلسوزم** که در تمامی لحظات زندگی و در طی انجام این تحقیق، قدم به قدم تنهایم نگذاشت، برای تمام روزهایی که گذشت و برای تحمل تمام دغدغه ها و نگرانی هایم از صمیم قلب سپاسگزارم.

**و تقدیم به پسر عزیزم پرهام**

که وجودش برایم همه مهر،

و بر نگاهم لبخند زد و صفحه خالی روحم را با مهر و عشق جدیدی آشنا نمود.

**حسن مسلمی**

**مهرماه هزار و سیصد و نود و سه**

## چکیده

در این مطالعه ۷۲ لاین دابل هاپلوئید جو به همراه دو والد مورد مطالعه قرار گرفتند. این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار و در دو شرایط بدون تنش (شاهد) و تنش بور، در محیط کشت هیدروپونیک در سال ۱۳۹۲در دانشگاه زابل به اجرا درآمد. برخی از صفات مورد مطالعه شامل صفات وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی و نسبت آنها، طول ریشه و ساقه و نسبت آنها، طول بلندترین برگ، طول کل گیاه، تراکم کلروفیل، ضریب پایداری غشاء و درصد رطوبت نسبی برگ (RWC) بود. تجزیه‌های آماری برای بررسی‌های فنوتیپی صفات شامل تجزیه واریانس، مقایسه میانگین، محاسبه همبستگی‌های فنوتیپی بین صفات، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و تجزیه عامل‌ها انجام گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد، که تفاوت معنی‌داری بین لاین‌ها برای اکثر صفات مورد بررسی وجود دارد. در شرایط شاهد و تنش بور حداکثر همبستگی بین صفت طول ریشه با طول کل گیاه (۰/۹۲۵ و ۰/۹۳۴) مشاهده شد. در تجزیه به مولفه‌های اصلی در شرایط شاهد ۴ مولفه در مجموع ۶۲ درصد و در شرایط تنش بور، ۵ مولفه ۶۷ درصد از تنوع را توجیه کردند. نتایج تجزیه به عامل‌ها چندین عامل پنهانی را هم در شرایط شاهد و هم شرایط تنش بور استخراج کرد که به ترتیب بیش از ۷۱ و ۷۵درصد از واریانس کل را توجیه کردند. تجزیه **QTL** با استفاده از نقشه پیوستگی ژنتیکی حاصل از نشانگرهای مولکولی بدست آمده از ۳۲۷ مارکر**AFLP** و نرم افزار **QTL cartographer** به روش مکان‌یابی فاصله‌ای مرکب (**CIM**) انجام شد. برای صفات مورد بررسی در مجموع ۴۰ عدد **QTL** (۲۴ تا برای شرایط شاهد و ۱۶تا برای شرایط تنش) بدست آمد که واریانس فنوتیپی توجیه شده به وسیله این **QTL**ها از ۷۱/۷۴-۱۰ درصد متغیر بود. بیشترین و کمترین واریانس فنوتیپی به ترتیب برای صفات درصد رطوبت نسبی و نسبت طول ریشه به ساقه در شرایط تنش بدست آمد. **LOD** در دامنه ۱۵/۳۱-۲/۵۱ قرار داشت. بیشترین و کمترین **LOD** به ترتیب مربوط به **QTL**های درصد رطوبت نسبی و وزن تر اندام هوایی بود. در این تحقیق فقط یک جایگاه واجد **QTL** در یک مکان قرار داشت و پایدار بود (طول برگ **3H**).



**واژه‌های کلیدی:** جو، محیط کشت هیدروپونیک، تنش بور، مکان ژن‌های صفات کمی

## فهرست مطالب

### فصل اول


۱-۱مقدمه ..... ۲
۱-۲ فرضیات ..... ۵
۱-۳ اهداف ..... ۵


### فصل دوم


۲-۱ طبقه بندی و منشأ جو ..... ۷
۲-۲ نقش بور در گیاهان ..... ۷
۲-۳ سمیت بور در گیاهان ..... ۷
۲-۳-۱ عوامل مؤثر در زیادی مقدار بور در خاک ..... ۹
۲-۴ طبقه بندی گیاهان نسبت به میزان بور ..... ۱۰
۲-۴-۱ طبقه بندی جو نسبت به میزان بور ..... ۱۰
۲-۵ روش‌های اصلاح سمیت بور ..... ۱۰
۲-۶ کشت هیدروپونیک ..... ۱۲
۲-۶-۱ مزایای کشت هیدروپونیک ..... ۱۲
۲-۶-۲ نکات مورد توجه در کشت هیدروپونیک ..... ۱۳
۲-۷ لزوم انجام مطالعات QTL ..... ۱۴
۲-۸ تعریف QTL ..... ۱۴
۲-۹- تجزیه QTL ..... ۱۵
۲-۹-۱ مراحل انجام تجزیه QTL ..... ۱۵
۲-۱۰ نقشه پیوستگی یا لینکاژی ..... ۱۶
۲-۱۰-۱ جمعیت‌های نقشه‌یابی ..... ۱۶
۲-۱۰-۲ تشخیص پلی مورفیسم با استفاده از نشانگرهای مولکولی ..... ۱۷
۲-۱۰-۳ آنالیز لینکاژی نشانگرها ..... ۱۸
۲-۱۰-۴ مفهوم فاصله ژنتیکی ..... ۱۸
۲-۱۱ روش‌های آماری مورد استفاده در تجزیه QTL ..... ۱۹
۲-۱۱-۱ روش تک نشانگری (SMA) ..... ۱۹
۲-۱۱-۲ روش دو نشانگری یا روش مکان‌یابی به کمک نشانگرهای مجاور (IM) ..... ۱۹
۲-۱۱-۳ روش مکان‌یابی فاصله‌ای مرکب (CIM) ..... ۲۰
۲-۱۱-۴ روش مکان‌یابی فاصله‌ای چندگانه (MIM) ..... ۲۰
۲-۱۲ مفهوم QTLهای بزرگ و کوچک ..... ۲۱
۲-۱۳ عوامل مؤثر در تشخیص QTL ..... ۲۱
۲-۱۴ مطالعات انجام شده در زمینه نقشه‌یابی QTL در گیاهان زراعی ..... ۲۲

## فهرست مطالب

### فصل سوم


۳-۱ زمان و مکان اجرای طرح ۲۵
۳-۲ مواد گیاهی ۲۵
۳-۳ وسایل مورد نیاز ۲۵
۳-۴ کشت بذور ۲۶
۳-۵ سیستم کشت هیدروپونیک استفاده شده در این تحقیق ۲۶
۳-۶ ترکیبات محیط کشت هوگلند ۲۷
۳-۷ محلول‌های ذخیره‌ای و چگونگی تهیه آن‌ها ۲۷
۳-۷-۱ محلول ذخیره عناصر ماکرو ۲۷
۳-۷-۲ محلول ذخیره عناصر میکرو ۲۷
۳-۷-۳ محلول ذخیره آهن ۲۸
۳-۷-۴ محلول ذخیره اسید بوریک ۲۸
۳-۸ اعمال تنش بور ۲۸
۳-۹ صفات اندازه‌گیری شده در این تحقیق ۲۸
۳-۹-۱ میزان رطوبت نسبی (RWC) ۲۹
۳-۹-۲ ضریب پایداری غشاء (CMS) ۲۹
۳-۱۰ تجزیه و تحلیل‌های آماری ۳۰


### فصل چهارم


۴-۱ تجزیه واریانس صفات ۳۳
۴-۱-۱ نتایج تجزیه واریانس برای شرایط شاهد ۳۳
۴-۱-۲ نتایج تجزیه واریانس برای شرایط تنش بور ۳۳
۴-۱-۳ نتایج تجزیه واریانس مرکب برای شرایط شاهد و تنش بور ۳۴
۴-۲ مقایسه میانگین ۳۴
۴-۲-۱ نتایج مقایسه میانگین برای شرایط شاهد ۳۴
۴-۲-۲ نتایج مقایسه میانگین برای شرایط تنش بور ۳۵
۴-۳ همبستگی صفات ۳۶
۴-۳-۱ نتایج همبستگی صفات برای شرایط شاهد ۳۶
۴-۳-۲ نتایج همبستگی صفات برای شرایط تنش بور ۳۶
۴-۴ تجزیه خوشه‌ای صفات ۳۸
۴-۴-۱ نتایج تجزیه خوشه‌ای برای شرایط شاهد ۳۸
۴-۴-۲ نتایج تجزیه خوشه‌ای برای شرایط تنش بور ۳۸
۴-۵ تجزیه به مولفه‌های اصلی ۳۹
۴-۵-۱ نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی برای شرایط شاهد ۳۹
۴-۲-۲ نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی برای شرایط تنش بور ۴۰
۴-۶ تجزیه به عامل‌ها ۴۱

## فهرست مطالب


۴-۶-۱ تجزیه به عامل‌های صفات مورد بررسی برای شرایط شاهد ..... ۴۱
۴-۶-۲ تجزیه به عامل‌های صفات مورد بررسی برای شرایط تنش بور ..... ۴۲
۴-۷ تجزیه QTL ..... ۴۴
۴-۷-۱ تجزیه QTL در شرایط شاهد ..... ۴۴
۴-۷-۲ تجزیه QTL در شرایط تنش ..... ۴۷
**۴-۸ بحث و نتیجه‌گیری کلی** ..... ۵۰
**۴-۹ پیشنهادات** ..... ۵۳
منابع ..... ۵۴
ضمائم ..... ۶۳

# فهرست جدول‌ها


جدول ۳-۱. ترکیب محیط غذایی محلول هوگلند تغییر یافته برای کشت هیدروپونیک ..... ۶۴
جدول۴-۱. نتایج تجزیه واریانس صفات در شرایط شاهد ..... ۶۵
جدول۴-۲. نتایج تجزیه واریانس صفات در شرایط تنش بور ..... ۶۶
جدول۴-۳. نتایج تجزیه واریانس مرکب ..... ۶۷
جدول۴-۴. نتایج ضریب همبستگی بین کلیه صفات در شرایط شاهد ..... ۶۸
جدول۴-۵. نتایج ضریب همبستگی بین کلیه صفات در شرایط تنش بور ..... ۶۹
جدول۴-۶. بردارهای ویژه، واریانس‌های نسبی و تجمعی تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در شرایط شاهد ..... ۷۲
جدول ۴-۷. همبستگی برای چهار مؤلفه اصلی حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی در شرایط شاهد ..... ۷۲
جدول۴-۸. بردارهای ویژه، واریانس‌های نسبی و تجمعی تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در شرایط تنش بور ..... ۷۳
جدول ۴-۹. همبستگی برای پنج مؤلفه اصلی حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی در شرایط تنش بور ..... ۷۳
جدول ۴-۱۰. نتایج تجزیه عاملی، مقادیر ویژه و میزان واریانس در شرایط شاهد ..... ۷۶
جدول ۴-۱۱. نتایج تجزیه عاملی، مقادیر ویژه و میزان واریانس در شرایط تنش بور ..... ۷۷
جدول ۴-۱۲. QTLهای شناسایی شده برای صفات در شرایط شاهد ..... ۷۸
ادامه جدول ۴-۱۲. QTLهای شناسایی شده برای صفات در شرایط شاهد ..... ۷۹
جدول ۴-۱۳. QTLهای شناسایی شده برای صفات در شرایط تنش ..... ۸۰
ادامه جدول ۴-۱۳. QTLهای شناسایی شده برای صفات در شرایط تنش ..... ۸۱

# فهرست شکل‌ها

شکل۴-۱. دندروگرام کلی حاصل از تجزیه خوشه‌ای در شرایط شاهد ۷۰
شکل ۴-۲. دندروگرام کلی حاصل از تجزیه خوشه‌ای در شرایط تنش بور ۷۱
شکل۴-۳. دسته‌بندی خوشه‌ای بر مبنای مؤلفه‌های اول و دوم در شرایط شاهد ۷۴
شکل ۴-۴. نمودار چگالی سه‌بعدی خوشه‌ای بر مبنای مؤلفه‌های اول و دوم در شرایط شاهد ۷۴
شکل۴-۵. دسته‌بندی خوشه‌ای بر مبنای مؤلفه‌های اول و دوم در شرایط تنش بور ۷۵
شکل ۴-۶. نمودار چگالی سه‌بعدی خوشه‌ای بر مبنای مؤلفه‌های اول و دوم در شرایط تنش بور ۷۵
شکل۴-۷. QTLهای شناسایی شده برای وزن خشک ریشه در شرایط شاهد ۸۲
شکل۴-۸. QTLهای شناسایی شده برای وزن خشک ریشه در شرایط تنش بور ۸۲

# فصل اول
# مقدمه و کلیات

## ۱-۱ مقدمه

افزایش جمعیت جهان و نیاز روز افزون به فرآورده‌های غذایی برای مردم جهان از یک سو و سرعت فوق‌العاده زیاد توسعه علمی و ورود صنایع و تکنولوژی صنعتی و استفاده از سوخت‌های فسیلی از سوی دیگر، زمینه پیدایش انواع تنش برای گیاهان را فراهم نموده است. تنش به مفهوم تغییر شرایط طبیعی و بهینه فیزیولوژی گیاه است که باعث کاهش رشد و نمو می‌گردد. گیاهان همانند سایر موجودات زنده تحت تنش‌های مختلف قرار می‌گیرند (موسوی نیک و مبصر، ۱۳۸۶). به عبارت دیگر تنش عبارت است از هر گونه تغییر در عوامل طبیعی نسبت به شرایط بهینه رشد گیاه که رشد و نمو را کاهش و یا به طور نامطلوب تغییر داده و موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه گردد. در بیشتر موارد تنش به عنوان دور شدن از شرایط معمول زندگی و ایجاد تغییرات و واکنش‌هایی در کلیه سطوح عملکرد در نظر گرفته شده است، این تغییرات قابل برگشت بوده و یا ممکن است پایدار باقی بماند. هر چه طول دوره تنش افزوده می‌گردد گیاه ضعیف‌تر شده از قدرت حیاتی آن کاسته می‌شود. هنگامی که از قدرت سازگاری گیاه کاسته می‌شود دامنه آسیب‌های وارده بر گیاه افزایش می‌یابد به طوری که ممکن است این آسیب‌ها به صورت تغییر ناپذیر (پایدار) درآیند. تنش‌ها به طور معمول بر روی هم اثر متقابل داشته و به وجود آمدن یک تنش محیطی با ایجاد یک تنش دیگر همراه است. به عنوان مثال تنش حرارتی منجر به تنش آبی یا خشکی می‌شود.

تنش‌ها می‌توانند زیستی (Biotic Stress) و غیر زیستی (Abiotic Stress) باشند. تنش غیر زیستی مانند تنش‌های شیمیایی (شوری، مسمومیت یونی، آلودگی محیط، علف‌کش‌ها و آفت کش‌ها)، حرارت (سرما و گرما)، آب (خشکی و غرقابی)، تشعشع (مادون قرمز، ماوراء بنفش) و تنش زیستی شامل علف‌های هرز، حشرات، نماتدها و ارگانیزم‌های بیماریزا و آفات می‌باشد. تنش‌های محیطی غیرزنده، از عوامل محدود کننده رشد و عملکرد محصولات زراعی بوده و نقش مهمی در توزیع و پراکنش اکولوژیکی گیاهان دارند. موجودات در برابر یک تنش خاص به طور متفاوتی واکنش نشان می‌دهند که این واکنش بسته به ژنتیک این موجودات و اصل واکنش تعیین می‌شود. علاوه بر این واکنش گیاه نسبت به یک عامل تنش‌زا بسته به سن، قدرت سازگاری، فصل و یا دوره فعالیت موجود و دیگر عوامل ممکن است به طور چشمگیر متفاوت باشد (احمدی‌خواه، ۱۳۸۸).

تحمل یک تنش عبارت از ظرفیت یک گیاه برای زنده ماندن و رشد است حتی اگر تحت تأثیر یک محیط نامناسب قرار گیرد. گیاه می‌تواند به مدت طولانی اثرات تنش را بدون آنکه بمیرد و یا از آسیب غیر قابل ترمیم لطمه ببیند تحمل نماید. یک چنین تحمل یا مقاومت ممکن است رشد و نمو گیاه را تغییر دهد. بنابراین، در مرحله‌ای از نمو گیاه ممکن است از تنش آسیب ببیند، در صورتی که در مرحله دیگر نسبت به آن به طور کامل مقاوم باشد. گیاهان با توجه به اینکه قدرت جابجایی ندارند، در شرایط تنش، پاسخ‌های متعددی در سطوح مولکولی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی بروز داده و بدین وسیله ثبات خود را حفظ می‌کنند سازگاری تحت شرایط معمولی و تنش در ژنوتیپ‌ها و حتی بین گونه‌های گیاهی متفاوت بوده و نیاز به برنامه‌ریزی مجدد تظاهر ژن دارد که تنظیم آن بخشی وابسته به تغییرات اپی‌ژنتیکی و یا در همکاری با تغییرات ژنتیکی باشد (احمدی‌خواه، ۱۳۸۸).

بور عنصری است که حد سمیت و کمبودش خیلی به هم نزدیک می‌باشد یعنی وقتی که غلظت آن پایین است کمبود آن وجود دارد و چنانچه مقداری در گیاه افزایش پیدا کند برای گیاه ایجاد مسمومیت می‌کند. علت اصلی بروز مسمومیت زیادی بور، در آب آبیاری است. همگام با کمبود بور، سمیت این عنصر نیز موجب کاهش عملکرد محصولات کشاورزی در نواحی مختلف جهان می‌شود (Chatzissavvidis *et al*., 2008). فیزیولوژی پویایی بور به طور چشمگیری بین گونه‌های مختلف گیاهی متفاوت است، به طوری که بور در برخی از گیاهان به عنوان عنصری متحرک و در برخی دیگر به عنوان عنصری غیر متحرک شناخته می‌شود (Brown and Hu, 1998).

غلات یکی از مهم‌ترین منابع تولید مواد غذایی بشر است. در بین گیاهان متعلق به غلات، ۴ غله اصلی یعنی گندم، برنج، ذرت و جو در تأمین نیازهای انسان مهم‌تر هستند (نور محمدی و همکاران، ۱۳۷۷). دانه جو هم در تغذیه انسان و هم در تغذیه دام بکار می‌رود (امام، ۱۳۸۲). جو به صورت مواد غذایی مالت‌دار مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به خواص و اهمیت غذایی مالت و فرآورده‌های حاصل از آن در پزشکی، صنایع داروسازی، شیرینی پزی، نانوایی، صنعت نوشیدنی و نیز تهیه انواع الکل و غیره حائز اهمیت است (تاج بخش و پور میرزا، ۱۳۸۲). به طور کلی غلات نسبت به مقادیر متوسط و زیاد بور حساس هستند (Sims and Johnson, 1991).

اصلاح‌گران نبات در روش‌های مرسوم اصلاح نباتات، بدون اطلاع از تعداد، نحوه اثر و محل ژن‌های کنترل‌کننده صفات و فقط با استفاده از اطلاعات فنوتیپی موجود، با استفاده از روش‌هایی نظیر تلاقی، گزینش و غیره به دنبال جمع‌آوری ژن‌های کنترل‌کننده صفات زراعی مطلوب در یک رقم هستند و این روش‌ها فقط زمانی که فنوتیپ به خوبی معرف ژنوتیپ باشد (صفت مورد مطالعه وراثت‌پذیری بالایی داشته باشد)، کارایی لازم را دارد. بدیهی است که داشتن اطلاعات راجع به تعداد، نحوه اثر و مکان ژن‌های کنترل‌کننده صفات کمی QTL (Quantitative Trait Loci) می‌تواند روند اصلاح این صفات را تسریع و تسهیل نماید. علی‌رغم این‌که اصول مکان‌یابی صفات کمی از سال‌ها پیش توسط متخصصان آمار و ژنتیک توسعه داده شده است، اما از این روش‌ها تا زمان روی کار آمدن نشانگرهای مولکولی و برنامه‌های کامپیوتری مختص این تجزیه‌ها، استفاده عملی گسترده‌ای نشده است. اکنون بیش از سه دهه است که محققان در سراسر جهان با استفاده از نقشه‌های ژنتیکی حاصل از نشانگرهای مولکولی و روش‌های آماری توسعه داده شده در این زمینه، تحقیقات گسترده‌ای را در مورد مکان‌یابی ژن‌های کنترل کننده صفات کمی صفات مختلف، در گیاهان و حیوانات اهلی انجام داده‌اند (Ramagosa *et al*., 1996).

با پیشرفت تکنولوژی و ابداع روش‌های مارکر مولکولی، به تدریج دانشمندان قادر شدند تا قسمت‌های مختلف ژنوم را علامت گذاری و نشانه گذاری کنند. هم زمان با بیشتر شدن تعداد این نقطه‌ها، به تدریج بین آنها لینکاژ دیده شده و راه برای تهیه نقشه‌های لینکاژی فراهم شد. دانشمندان از این فرصت جدید برای مکان‌یابی ژن‌های نسبتاً کوچک اثر استفاده کردند (امین‌فر، ۱۳۸۷).

## ۱-۲ فرضیات

۱- QTLهای کنترل کننده صفات مورفولوژی جو در محیط تنش بور مکان‌یابی می‌شوند.

۲- QTLهای کنترل کننده صفات مورفولوژی جو، تحت تأثیر محیط می‌باشند.

## ۱-۳ اهداف

- بررسی تنوع صفات مورد مطالعه بین لاین‌های مورد بررسی

- مکان‌یابی QTLهای کنترل کننده صفات مورفولوژی جو در شرایط تنش بور

- شناسایی نشانگرهای پیوسته با صفات مورفولوژی مرتبط با تنش بور در جو به منظور استفاده در گزینش به کمک نشانگر

# فصل دوم

# بررسی منابع

## ۲-۱ طبقه بندی جو

جو متعلق به جنس *Hordeum* بوده و گیاه علفی یک ساله یا چند ساله است. ۳۱ گونه از *Hordeum* وجود دارد که یکی از آن‌ها جو یک ساله زراعی (*Hordeum vulgare*) می‌باشد (Nilan and Ullrich, 1993). حدود سه چهارم گونه‌های *Hordeum* چند ساله هستند (Bothmer *et al.*, 1995). جو زراعی شباهت‌های زیادی به ژنوتیپ‌های وحشی *Hordeum spontaneum* دارد. *Hordeum spontaneum* را می‌توان به صورت *Hordeum vulgare* L. زیر گونه *Spontaneaus* طبقه بندی نمود. *Hordeum spontaneum* قادر به تلاقی با جو زراعی است و یک ساله بوده، ساقه اصلی آن‌ها شکننده است. این جوها دو ردیفه، دیپلوئید (2n=14) و خودگشن هستند. جوهای وحشی دیگر ممکن است تتراپلوئید یا هگزاپلوئید باشند. جوهای زراعی دو ردیفه یا شش ردیفه دیپلوئید بوده و ساقه محوری آن‌ها شکننده نمی‌باشند (امین‌فر، ۱۳۸۷).

## ۲-۲ نقش بور در گیاهان

بور از عناصر ضروری کم نیاز برای رشد گیاهان است. نقش بور در گیاه در فرآیندهایی مثل متابولیسم اسیدهای نوکلئیک، تقسیم سلولی، بیوسنتز و انتقال قند می‌باشد. تغییرات ساختاری جزئی ناشی از پیوند بور با کورآنزیم‌های نوکلئوتیدی ($NAD^+$)، ATP، RNA و چندین قند باعث کاهش عملکرد یا تغییر فعالیت آنزیم‌ها می‌شود (Ralston and Hunt, 2000). بور در گلدهی و میوه‌دهی نیز نقش ایفاء می‌کند (Ayers *et al.*, 1985; Brown *et al.*, 1995). بر اساس تحقیقات صورت گرفته، کاهش رشد رویشی و عملکرد در شرایط سمیت بور در بسیاری از گیاهان به اثبات رسیده است (Gunes *et al.*, 2006).

## ۲-۳ سمیت بور در گیاهان

هر چند که بور یک عنصر کم مصرف ضروری محسوب می‌شود، ولی مقادیر بیش از حد آن در محیط رشد، مسمومیت گیاه را در پی خواهد داشت (Eraslan *et al.*, 2007). کمبود بور در خاک‌های سبک مناطق مرطوب شایع است، در حالی که در مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل سطوح بالای بور در خاک و آب آبیاری، سمیت آن بیشتر حائز اهمیت است و فقدان زهکشی مناسب در خاک‌های شور، غلظت بالای بور را می‌تواند باعث شود (Ayers *et al.*, 1985).

اسید بوریک و بورات‌ها به طور وسیعی در تعدادی زیادی از کارخانجات صنعتی مثل صنایع شیشه و چینی، تولید چرم، موکت، مواد شیمیایی عکاسی و کودهای شیمیایی به کار می‌رود. با این وجود مصرف عمده بور به صورت پربورات سدیم به عنوان عامل سفید کننده در پاک کننده‌های صنعتی و خانگی است. بنابراین چنانچه طی مراحل تولید و یا در انتهای استفاده از مواد پاک کننده، پربورات سدیم در محیط تخلیه شود، منجر به تجمع بور در فاضلاب و در نتیجه در آب زیرزمینی و سیستم‌های طبیعی آب خواهد شد. این مسأله به ویژه در شمال کشور، با توجه به بالا بودن آب زیر زمینی، حائز اهمیت است. همچنین مصرف کودهای شیمیایی حاوی بور با توجه به اثرات باقیمانده زیاد بور درخاک، نباید از مقدار توصیه شده بیشتر باشد.

دامنه حد کفایت و مسمومیت بور، بر خلاف سایر عناصر غذایی دیگر، بسیار کم است و در صورتی که خاک شور و یا آب آبیاری دارای بور فراوانی بوده باشد و یا در مصرف کودهای محتوی بور، به ویژه اسید بوریک زیاده‌روی گردد، گیاه دچار علایم مسمومیت شدید خواهد شد، که معمولاً با سوختگی از حاشیه برگ‌ها شروع می‌شود. تحرک بور چه در خاک و چه در گیاه در مقایسه با سایر عناصر ریزمغذی بسیار بیشتر بوده و لازم است در مقدار و نحوه مصرف آن نهایت دقت را به کار برند. اختلاف در تحرک بور منجر به تفاوت در محل بروز علایم سمیت این عنصر در گیاه می‌شود. در گیاهانی که بور به صورت غیر متحرک می‌باشد، همیشه در نوک و حاشیه برگ‌های پیر تجمع می‌یابد، لذا علایم مسمومیت بور به صورت نوک سوختگی و لب سوختگی مشاهده می‌شود. از طرف دیگر در گیاهانی که بور در آن‌ها متحرک است، به جای سوختگی حاشیه برگ‌ها، علایم سمیت بور به صورت مرگ سرشاخه‌ها در اندام‌های هوایی جوان، چسبندگی زیاد در زاویه سطح فوقانی دمبرگ با ساقه و زخم‌های قهوه‌ای و چوب پنبه‌ای در طول ساقه و دمبرگ ظاهر می‌شود. سرخشکیدگی در درختان سیب، زردآلو، گیلاس، هلو، گلابی، گوجه سبز و آلو در اثر سمیت بور نیز گزارش شده است. به طور خلاصه در گونه‌های گیاهی که بور در آن‌ها غیر پویاست، علایم به صورت نوک سوختگی و لب سوختگی در برگ‌های پیر ظاهر می‌شود در حالی که در گیاهانی که بور در آن‌ها پویاست، این علایم به صورت مرگ سرشاخه‌های مریستمی ظاهر می‌شود. به طور کلی نیاز گیاهان به بور متفاوت است، به طوری که حتی امکان دارد سطوح کمبود و سمیت بور به وسیله یک گیاه در یک فصل مشاهده شود (Brown and Hu, 1998; Tanaka and Toru, 2008; Nable *et al*., 1997).

### ۲-۳-۱ عوامل مؤثر در زیادی مقدار بور در خاک

به منظور مطالعه و بررسی اثرات سمیت بور، شناخت منابع و عوامل تأثیر گذار بر افزایش این عنصر در خاک و راه‌های تشخیص این عارضه در خاک و گیاه ضروری است. اثرات سمیت بور به علت مصرف زیاد کودهای دارای بور و یا در خاک‌های سرشار از بور مانند خاک‌های حاصل از رسوبات دریایی و همچنین به علت کیفیت نامطلوب آب آبیاری بروز می‌کند. نظر به اینکه سمیت بور عارضه‌ای است که در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک گسترش بیشتری دارد، بنابراین وقوع آن به خصوص در مناطق شور و کم آب که آب آن‌ها نیز شور است و نیز در مناطقی کویری و حاشیه کویری کشور نظیر اردکان، جهرم و جیرفت محتمل است. از بین تمامی منابع آلوده کننده، آب آبیاری مهم‌ترین عامل افزایش بور در خاک است. سمیت بور در خاک‌های خشک عمدتاً به دلیل بالا بودن غلظت بور در آب آبیاری است. اگر غلظت بور در آب آبیاری زیاد باشد، بور در خاک تجمع پیدا کرده و بر اثر جذب زیاد توسط گیاه، ایجاد مسمومیت می‌کند (Chatzissavvidis *et al*., 2008).

معمولاً سمیت بور همراه با خاک و آب شور مشاهده می‌شود. توجه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در بررسی سمیت بور ضروری است به طوری که مقدار بور موجود در محلول خاک به دلیل ظرفیت متفاوت جذب خاک، می‌تواند مختلف باشد. خاکی که ظرفیت جذب آن بیشتر است، مقدار بور موجود در محلول خاک آن نیز کمتر خواهد بود. بنابراین خسارات ناشی از سمیت بور در روی گیاهان در خاک‌هایی با بافت سبک نسبت به خاک‌های دارای بافت سنگین، در صورتی که با آب دارای غلظت بالای بور آبیاری شوند، بیشتر خواهد بود. مقدار بور موجود در محلول خاک که گیاه قادر به تحمل آن است، به عنوان معیاری برای غلظت مجاز بور در آب آبیاری شناخته می‌شود. ممکن است آبیاری با آبی که مقدار بور آن متوسط است، هیچ نوع علایم مسمومیتی را در گیاه موجب نگردد، ولی بعد از چند آبیاری، به دلیل جذب اندک بور توسط گیاه و همچنین آب‌شویی اندک آن، غلظت بور در محلول خاک فزونی یافته تا حدی که موجب مسمومیت گیاه شود. این مسأله در مناطقی که بارندگی اندک بوده و میزان آب‌شویی بور درخاک کم می‌باشد، به خصوص در مواقع خشکسالی حادتر است. گاهی خاکستر به عنوان اصلاح کننده خواص فیزیکی و شیمیایی خاک در زمین‌های کشاورزی استفاده می‌شود. از آنجایی که بخش زیادی از بور موجود در خاکستر به شکل محلول می‌باشد، ممکن است مصرف آن در مقادیر زیاد، سبب آلودگی خاک و در نتیجه مسمومیت گیاه شود. شکل غالب بور در خاکستر به صورت بورات‌ها و بروسلیکات‌های کم محلول می‌باشد. شرایط آهکی، حلالیت بور در خاکستر را کاهش داده در حالی که شرایط خنثی و اسیدی حلالیت آن را افزایش می‌دهد و تحت این شرایط بور به شکل محلول آزاد می‌شود.

### ۲-۴ طبقه بندی گیاهان نسبت به میزان بور

نیاز گیاهان به بور متفاوت است همچنین حساسیت گیاهان نسبت به بور همانند شوری متفاوت است. گیاهان از نظر تحمل نسبی در برابر بور به دسته‌های خیلی حساس، حساس، نسبتاً حساس، نسبتاً متحمل، متحمل و خیلی متحمل تقسیم بندی می‌شوند و حداکثر غلظت‌های تحمل شده در سیستم آب-خاک بدون کاهش عملکرد یا کاهش رشد رویشی برای این دسته‌ها را به ترتیب کمتر از ۰/۵، ۱-۰/۵، ۲-۱، ۴-۲، ۶-۴ و ۱۵-۶ میلی‌گرم در لیتر عنوان شده است. حداکثر غلظت در آب آبیاری نیز مساوی یا قدری کمتر از این ارقام می‌تواند در نظر گرفته شود (Ayers *et al*., 1985).

### ۲-۴-۱ طبقه بندی جو نسبت به میزان بور

بر اساس طبقه بندی محدوده تحمل گیاهان به میزان بور موجود در محلول خاک (میلی‌گرم بر لیتر)، جو جزء گیاهان نسبتاً متحمل (۴-۲ میلی‌گرم بر لیتر) قرار دارد. که در این محدوده گیاهان متحمل علائم مسمومیت را نشان نمی‌دهند (Nable *et al*., 1997). تحقیقات متعدد نشان داده است که ارقام نقش مهمی در مقاومت به غلظت‌های بالای بور دارند.

### ۲-۵ روش‌های اصلاح سمیت بور

اگر میزان بور در عصاره اشباع خاک بیش از یک میلی‌گرم در لیتر باشد، برای گیاهان حساس مسمومیت ایجاد می‌کند. آگاهی از تحرک نسبی بور در گیاهان به تشخیص علایم مسمومیت این عنصر در گیاه کمک می‌کند. در گیاهانی که بور غیر متحرک است، علایم مسمومیت به صورت نوک سوختگی و لب سوختگی مشاهده می‌شود ولی در گیاهانی که بور در آن‌ها متحرک است، به جای سوختگی حاشیه برگ‌ها، علایم سمیت بور به صورت مرگ سرشاخه‌ها در اندام‌های هوایی جوان ظاهر می‌شود. در گیاهانی که بور غیر متحرک است، برگ‌های پیر شاخص معتبرتری می‌باشند. در شرایط خاک و آب شور، نباید از کودهای محتوی بور استفاده کرد.

در باغ‌ها و مزارعی که غلظت بور در خاک و یا آب آبیاری آن‌ها بالاست، بایستی ضمن رعایت مدیریت مطلوب زراعی و استفاده از ارقام مقاوم به بور، به مصرف متعادل و بهینه کود به خصوص سولفات پتاسیم و سولفات روی توجه بیشتر مبذول شود، تحت چنین شرایطی از شدت مسمومیت بور کاسته می‌شود. در بسیاری از موارد انتخاب گیاهان مقاوم راه حل بسیار عملی در برابر مشکل سمیت می‌باشد. به طور کلی برای مقابله با سمیت بور راه‌های متفاوتی مانند آب‌شویی، مصرف بعضی از عناصر غذایی ضروری و انتخاب ارقام و ژنوتیپ‌هایی که نسبت به غلظت زیاد بور در خاک از مقاومت نسبی برخوردار باشد، پیشنهاد می‌شود. از آنجایی که تجمع بور معمولاً در لایه‌های عمیق‌تر خاک به علت آب‌شویی آن اتفاق می‌افتد و اصلاح خاک در این شرایط مشکل می‌باشد. بنابراین انتخاب محصولاتی با درجه تحمل بیشتر یک راه حل پیشنهادی عملی برای مسئله سمیت بور می‌باشد (Nable *et al.*, 1997).

امروزه بهبود و افزایش عملکرد گیاهان زراعی به واسطه دستکاری غیر مستقیم جایگاه‌های صفات کمی (QTLها)، ممکن شده است. شناسایی و درک ژنتیکی مکانیزم‌های فیزیولوژیکی درگیر در تولید بیوماس و اجزای آن و تحمل به تنش‌های محیطی، می‌تواند موجب تسریع این فرآیند گردد و به فهم اساس ژنتیک عملکرد گیاهان زراعی تحت شرایط محیطی مختلف، کمک کند و در نتیجه آزاد سازی ارقام زراعی با توانایی بیشتر به تحمل تنش‌های غیر زیستی را تسریع بخشد. عملکرد گیاهان زراعی نتیجه عمل هزاران ژن و اثر متقابل آن‌ها با شرایط محیطی است. تغییرات آب و هوایی و افزایش تنش‌های غیر زیستی موجب کاهش عملکرد گیاهان زراعی است. با افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی و کاهش قابلیت استفاده زمین‌های کشاورزی، نیاز به موشکافی ژنتیکی صفات کمی است که پاسخ سازشی گیاهان زراعی به تنش‌های غیر زیستی را کنترل می‌کند (Lander and Botestin, 1989; Paterson, 1998).

## ۲-۶ کشت هیدروپونیک

کشت هیدروپونیک شیوه کشت بدون خاک می‌باشد، در این نوع کشت متخصصان نیازهای غذایی گیاه را اندازه‌گیری کرده و به جای خاک با استفاده از آبی که به گیاه داده می‌شود با افزودن عناصر ماکرو و میکرو و نگه داشتن گیاه توسط مواد نگهدارنده بی‌اثر مانند پرلیت، عملاً نیاز به خاک منتفی می‌شود. اساس سیستم کشت هیدروپونیک آب است، پس این سیستم می‌تواند کاملاً اتوماتیک باشد، مزیت اتوماتیک بودن سیستم این است که اگر باغبان برای مدت زیادی در گلخانه حاضر نباشد، گیاه از کمبود آب و مواد غذایی تلف نخواهد شد. در این نوع کشت مهم‌ترین اندام مهم گیاهی ریشه آن می‌باشد که به عنوان مهم‌ترین قسمت در جذب مواد مورد نیاز گیاه نقش دارد (ابراهیم‌زاده، ۱۳۷۳).

### ۲-۶-۱ مزایای کشت هیدروپونیک

کشت هیدروپونیک این امکان را به کشاورز می‌دهد که در زمان کوتاه‌تر و با زحمت کمتر محصولی با راندمان بیشتر را تولید نماید. هر گیاهی را می‌توان به صورت هیدروپونیک کشت کرد ولی کشت هیدروپونیک برای گیاهانی مثل گوجه‌فرنگی، خیار، فلفل و گیاهان برگی مثل کاهو و گیاهانی که رشد سریع دارند ایده‌آل است. کشت هیدروپونیک دارای مزایای متعددی می‌باشد که در زیر به تعدادی از آنها اشاره شده است:

۱- صرفه‌جویی زمانی و نیاز به نیروی کار کمتر.

۲- بیماری‌های خاک‌زاد یا آسیب نماتد وجود ندارد.

۳- امکان کشت مداوم وجود دارد.

۴- تولید خارج از فصل امکان دارد.

۵- مصرف آب بهینه است زیرا هیچ آبی به هدر نمی‌رود و علف هرزی وجود ندارد که از آب استفاده کند.

۶- کنترل شرایط محیطی مانند نور، دما، رطوبت و ترکیب هوا بسیار ساده‌تر است.

۷- امکان پرورش گیاهان در تمام نقاط وجود دارد.

۸- در جایی که خاک مناسب وجود ندارد یا خاک دچار بعضی بیماری‌ها است استفاده می‌شود.