دانشکده کشاورزی

گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته اصلاح نباتات

عنوان

تجزیه پایداری لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم

استاد راهنما

دکتر سعید اهری‌زاد

استادان مشاور

دکتر محمد مقدم واحد **دکتر ابوالقاسم محمدی**

پژوهشگر

معصومه خلیل‌زاده

شماره پایان‌نامه: ۵ **مرداد ماه ۱۳۹۳**

نام خانوادگی دانشجو: خلیل‌زاده نام: معصومه

عنوان پایان‌نامه: تجزیه پایداری لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم

استاد راهنما: دکتر سعید اهری‌زاد

استادان مشاور: دکتر محمد مقدم واحد – دکتر سید ابوالقاسم محمدی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی کشاورزی گرایش: اصلاح نباتات

دانشگاه: تبریز دانشکده: کشاورزی تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۹۳/۰۵/۲۸ تعدادصفحات: ۷۶

کلید واژه: اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، تجزیه پایداری، گندم نان، لاین‌های اینبرد نوترکیب

چکیده

به‌منظور شناسایی لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم پرمحصول و مقاوم به کم‌آبی و مقایسه این لاین‌ها در محیط‌های مختلف و جهت مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و تعیین ارقام پایدار، آزمایش مزرعه ای روی ۳۸ لاین اینبرد نوترکیب گندم نان به همراه والدین زاگرس (تیپ رشدی بینابین، زودرس و مقاوم به خشکی) و نورستار (تیپ رشدی پاییزه، دیررس و مقاوم به سرما) در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز طی سه سال زراعی اجرا شد. در دو سال اول، ارزیابی لاین‌ها فقط در شرایط آبیاری مطلوب انجام شد ولی در سال سوم علاوه بر آبیاری مطلوب، لاین ها در شرایط تنش کمبود آب (قطع آبیاری از مرحله گلدهی) نیز ارزیابی شدند. بنابراین در سال‌های اول و دوم از طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در سال سوم از طرح کرت‌های خرد شده برمبنای بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار استفاده شد. تجزیه واریانس مرکب نشان داد که بین محیط‌ها از نظر تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در متر مربع و وزن هزار دانه اختلاف معنی داری وجود دارد. بین لاین‌ها نیز از نظر تمامی صفات مورد ارزیابی، در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی داری مشاهده شد. اثر متقابل لاین × محیط از لحاظ تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در متر مربع معنی‌دار بود. لاین‌های ۵۱، ۵۸، ۳۰۰، ۲۹۶، ۱۸۲، ۸۶، ۹۴ و ۲۸۱، از نظر تعداد دانه در سنبله، لاین‌های ۳۲۸، ۲۸، ۲۷ و ۱۰۲، از نظر تعداد سنبله در متر مربع، لاین های ۹۳، ۱۴۵ و ۱۵۹، از نظر وزن هزار دانه و لاین های ۲۸، ۲۸۱، ۲۳، ۹۳، ۳۲۸، ۱۵۹، ۱۹۵ و ۲۳۹، از نظر عملکرد

دانه به‌عنوان لاین های برتر شناسایی شدند . لاین‌های ۸، ۲۸، ۹۳، ۲۳ و ۱۹۵ بر اساس واریانس و ضریب تغییرات محیطی و لاین‌های ۲۸۱، ۸٦، ۱٤۳، ۱۹۵، ٦۳ و زاگرس بر اساس روش‌های رتبه‌ای کتاتا و اکووالانس ریک، به عنوان لاین‌های پایدار از نظر عملکرد دانه محسوب شدند . بر اساس تمام‌ی پارامترهای پایداری مورد استفاده لاین ۱۹۵ به عنوان پایدارترین و برترین لاین از لحاظ عملکرد دانه شناسایی شد. لاین ۲۲۵ از نظر تعداد دانه در سنبله، لاین ۳۲۸ از نظر تعداد سنبله در متر مربع و لاین ۲۹۳ از نظر وزن هزار دانه به عنوان پایدارترین لاین‌ها شناسایی شدند.

مقدمه.....۱

فصل اول: بررسی منابع

۱-۱- گندم و اهمیت آن ٤

۱-۲- لاین‌ها اینبرد نوترکیب.....۵

۱-۳- تنش کم‌آبی.....٦

۱- ۳-۱- اثر تنش کم‌آبی بر گندم.....۷

۱- ۳-۲- تأثیر تنش کم‌آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد.....۹

۱- ۳-۲-۱- تعداد دانه در سنبله.....۹

۱- ۳-۲-۲- وزن هزار دانه.....۱۰

۱-۳-۲-۳- تعداد سنبله در متر مربع.....۱۱

۱-۳-۲-٤- عملکرد دانه..... ۱۲

۱-٤- اثر متقابل ژنوتیپ × محیط.....۱٤

۱-۵- تجزیه پایداری.....۱۷

۱-۵-۱- مفهوم پایداری.....۱۸

۱-۵-۲- روش‌های برآورد پایداری.....۱۹

۱-۵-۲-۱- روش‌های پارامتریک.....۲۰

۱-۵-۲-۲- روش‌های غیر پارامتریک.....۲۵

۱-۵-۳- برخی از مطالعات مرتبط با آماره‌های پایداری.....۲۶
۱-٦- اهداف پژوهش.....۲۷

فصل دوم: مواد وروش‌ها

۲-۱- مواد گیاهی.....۲۸
۲-۲- مشخصات محل اجرای طرح.....۲۸
۲-۳- طرح آزمایشی و عملیات زراع.....۲۹
۲-٤- صفات مورد ارزیابی.....۲۹
۲- ۵- محاسبات آماری.....۳۰

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱- تجزیه واریانس.....۳۲
۳-۱-۱- تجزیه واریانس مرکب.....۳۲
۳-۲- مقایسه میانگین‌ها.....۳٤
۳-۲-۱- مقایسه میانگین‌ها از نظر عملکرد در متوسط محیط‌ها.....۳٤
۳-۲-۲- مقایسه میانگین‌ها از نظر وزن هزار دانه در متوسط محیط‌ها.....۳٤
۳-۲-۳- مقایسه میانگین‌ها از نظر تعداد دانه در سنبله.....۳۸
۳-۲-٤- مقایسه میانگین‌ها از نظر تعداد سنبله در متر مربع.....۳۹
۳-۳- تجزیه پایداری.....٤۳
۳-۳-۱- تعداد دانه در سنبله.....٤۳

۳- ۳- ۲- تعداد سنبله در متر مربع.....٤٧

۳- ۳- ۳- وزن هزار دانه.....٥١

۳- ۳- ٤- عملکرد دانه.....٥٥

۳- ٤- نتیجه‌گیری کلی.....٦٠

۳- ٥- پشنهادات.....٦٢

منابع مورد استفاده.....٦٣

فهرست جداول

جدول ۳- ۱- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد ارزیابی در لاین های اینبرد نوترکیب حاصل از تلاقی ارقام زاگرس و نورستار در متوسط محیطها..... ۳۳

جدول ۳- ۲- مقایسه میانگین لاین های مورد مطالعه از نظر عملکرد و وزن هزار دانه در متوسط محیطها ۳٦

جدول ۳- ۳- مقایسه میانگین لاین های مورد مطالعه از نظر صفات تعداد دانه در سنبله و تعدادسنبله در مترمربع..... ٤١

جدول ۳- ٤- مقادیر پارامترهای مختلف پایداری برای تعداد دانه در سنبله لاین های اینبرد نوترکیب گندم نان حاصل از تلاقی زاگرس و نورستار..... ٤٥

جدول ۳- ٥- مقادیر پارامترهای مختلف پایداری برای تعداد سنبله در مترمربع لاین های اینبرد نوترکیب گندم نان حاصل از تلاقی زاگرس و نورستار ٥١

جدول ۳- ٦- مقادیر پارامترهای مختلف پایداری برای وزن هزار دانه لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم نان حاصل از تلاقی زاگرس و نورستار.....٥۳

جدول ۳- ۷- مقادیر پارامترهای مختلف پایداری برای عملکرد دانه لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم نان حاصل از تلاقی زاگرس و نورستار..... ...٥۷

فهرست شکل‌ها

شکل ۳- ۱- نمودار روش رتبه بندی کتاتا از نظر تعداد دانه در سنبله برای لاین های اینبرد نوترکیب گندم نان حاصل از تلاقی ارقام زاگرس و نورستار..... ٤٧

شکل ۳- ۲- نمودار روش رتبه بندی کتاتا از نظر تعداد سنبله در متر مربع برای لاین های اینبرد نوترکیب گندم نان حاصل از تلاقی ارقام زاگرس و نورستار..... ٥١

شکل ۳- ۳- نمودار روش رتبه بندی کتاتا از نظر وزن هزار دانه برای لاین های اینبرد نوترکیب گندم نان حاصل از تلاقی ارقام زاگرس و نورستار..... ٥٥

شکل ۳- ٤- نمودار روش رتبه بندی کتاتا از نظر عملکرد دانه برای لاین های اینبرد نوترکیب گندم نان حاصل از تلاقی ارقام زاگرس و نورستار..... ٥٩

مقدمه

مقدمه

مبدأ اصلی گندم به‌عنوان مهم‌ترین غله ایران و جهان در جنوب غربی آسیا بوده و ۱۰ تا ۱۵ هزار سال قبل از میلاد مسیح از این گیاه در تغذیه انسان ها استفاده می‌شد (ارزانی، ۱۳۸۰). گندم اگرچه دارای گونه‌های متعددی است ولی بیشترین سطح زیر کشت (حدود ۹۰٪) و بالاترین میزان تولید (حدود ۹٤٪ تولید جهانی) مربوط به گونه *Triticum aestivum* (گندم نان) است (امام، ۱۳۸۳). سطح زیر کشت گندم در سال ۲۰۱۲ میلادی در جهان ۲۱٦۹۷٤٦۸۳ و در ایران ۷۰۳۵۰ هکتار و میزان تولید آن در جهان و ایران به ترتیب بالغ بر ٦٦۱ و ۱۳ میلیون تن بوده است (فائو، ۲۰۱۲). گندم رتبه اول را در جهان از لحاظ سطح زیر کشت دارا است (کورتیس، ۲۰۰۲). رشد روز افزون جمعیت جهان و قرار داشتن بخش های زیادی از نواحی کشت گندم در اقلیم‌های نامساعد و پرتنش، لزوم بهبود تولید و کشت ارقام پرمحصول مقاوم را بیشتر کرده است. مقایسه میانگین عملکرد گندم آبی و دیم کشور با میانگین عملکرد جهانی گندم نیز نشان می‌دهد که میانگین عملکرد گندم کشور با میانگین جهانی آن فاصله دارد و پایین بودن میانگین عملکرد گندم هنوز مهم‌ترین نقطه ضعف تولید گندم در ایران به‌شمار می‌آید (اسمعیل‌زاده مقدم و همکاران، ۱۳۹۰).

مناطق خشک و نیمه خشک جهان تقریباً ٤۰ درصد اراضی جهان را شامل گردیده و بالغ بر ۷۰۰ میلیون نفر از جمعیت دنیا در این مناطق سکونت دارند که حدود ٦۰ درصد از این اراضی در کشورهای در حال توسعه واقع شده است (هاشمی نیا، ۱۳۷۸). خشک‌سالی و تنش ناشی از آن، مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش محیطی است که تولیدات کشاورزی را در جهان با محدودیت روبرو ساخته است (سانی و آسپینال،۱۹۸۱). کمبود آب در بسیاری از نقاط دنیا به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده است که لزوم ایجاد و استفاده از ژنوتیپ‌های سازگار به شرایط خشکی را بدیهی ساخته است. بدین منظور شناسایی صفات مرتبط با تحمل به خشکی و نحوه کنترل ژنتیکی

این صفات می‌تواند در گزینش ژنوتیپ‌های سازگار به کار گرفته شود (گل‌آبادی، ۱۳۸۷). با توجه به محدودیت زمینهای قابل کشت، تولید ارقام پرمحصول راه‌کار اصلی افزایش تولید گندم است. در این راستا از صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک به‌علت وجود تنوع ژنتیکی بالای آن‌ها در جمعیت‌های مختلف، همبستگی با عملکرد دانه و وراثت پذیری بالا می‌توان به‌عنوان شاخص‌های گزینش در کنار روش‌های نوین مولکولی در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر استفاده کرد (پیبر و همکاران، ۲۰۱۰). یکی از راه‌های به‌نژادی برای بهبود عملکرد، ایجاد ارقام نوترکیب مقاوم به کم‌آبی است (ایچ و همکاران، ۲۰۰۷).

پترسون و همکاران (۱۹۹۷) بیان داشتند، هرگاه دو یا چند ژنوتیپ در محیط‌های مختلف کشت شوند، ممکن است تفاوت‌هایی در کارآیی آن‌ها مشاهده گردد، که این پدیده را اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نامند. اثر متقابل ژنوتیپ و محیط یکی از مسائل مهم و پیچیده برنامه‌های به‌نژادی برای تهیه ارقام پر محصول و سازگار به‌شمار می‌رود (لیانگ و فیشر، ۱۹۷۷). در مقابل بحث اثر متقابل ژنوتیپ × محیط مفهوم سازگاری و پایداری عملکرد مطرح می‌شود. به‌طور کلی سازگاری مفهوم پیچیده‌ای دارد، اما در تعریفی خلاصه می‌توان گفت که سازگاری عبارت از ظرفیت ژنتیکی یک رقم برای ظهور عملکرد بالا و پایدار در محیط‌های متفاوت است. در برنامه‌های معرفی ارقام اصلاح شده، استفاده از عملکرد ارقام به‌تنهایی معیاری مناسب برای انتخاب نیست. بلکه میزان سازگاری و پایداری نیز نقش مهمی را ایفاء می‌کند. بدین منظور آزمایش‌های مقایسه عملکرد در مناطق و سال‌های مختلف انجام می‌شود (فرشادفر، ۱۳۷۸). یک ژنوتیپ زمانی پایدار است که عملکرد آن از میانگین عملکرد یک گروه از ژنوتیپ‌های استاندارد در محیط‌های مختلف انحراف نداشته باشد (گانکیلز و همکاران، ۲۰۰۳). زمانی که اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی‌دار است، پژوهش‌گران معمولاً علاقه‌مند به دانستن نوع اثر متقابل، به منظور پیش‌بینی دقیق عملکرد ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مختلف هستند. درک پاسخ‌های ژنوتیپی به هر

کدام از عوامل می‌تواند در تفسیر و بهره‌بردای از اثر متقابل ژنوتیپ × محیط کمک کند. تفاوت در میزان پاسخ ژنوتیپ‌ها در سطح پایین تر از بهینه منعکس کننده تفاوت کارآیی است و تفاوت در میزان پاسخ ژنوتیپ ها در سطح بالاتر از بهینه انعکاس دهنده تفاوت در تحمل است (بکر، ۱۹۸۸). تشخیص اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در آزمایش‌ها و تمایل اصلاح کنندگان برای کنترل مناسب این اثرهای متقابل منجر به ایجاد روش هایی شده که عموماً تجزیه پایداری نامیده می شوند. روش‌های پایداری متعددی که در دسترس اصلاح کنندگان نباتات و کشاورزان قرار گرفته اند، راهبردها و رویکردهای متفاوتی را برای مدیریت اثر متقابل ژنوتیپ × محیط فراهم ساخته‌اند (مقدم و همکاران، ۱۳۹۱). هدف از این پژوهش نیز نیز ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و تجزیه پایداری در لاین های اینبرد نوترکیب گندم نان پاییزه و شناسایی ژنوتیپ های پایدار توسط روش های پایداری است.

فصل اول

بررسی منابع

۱- بررسی منابع

۱-۱- گندم و اهمیت آن

گندم از قدیمی‌ترین و پرمصرف‌ترین گیاهان زراعی جهان بوده و مهم‌ترین منبع غذایی بشر محسوب می‌شود. اهمیت گندم بیشتر مربوط به خواص فیزیکی و شیمیایی موادی است که دانه آن را تشکیل می‌دهند. سطح زیر کشت و میزان تولید گندم، اهمیت این گیاه زراعی در جهان را مشخص می‌سازد. طبق آمارهای مختلف بیش از ۷۰ درصد سطح زیر کشت گیاهان زراعی در جهان به کشت غلات اختصاص دارد که از این مقدار، ۲۲ درصد آن به گندم متعلق است (کریمی، ۱۳۷۱). با توجه به رشد جمعیت و نیاز روز افزون به محصولات کشاورزی به‌ویژه گندم می‌بایست تولید آن را در کشور افزایش یابد. افزایش سطح زیر کشت و افزایش میزان تولید در واحد سطح، دو راه افزایش تولید محصولات زراعی به‌شمار می‌رود. به‌علت محدود بودن سطح زمین‌های قابل کشت، راه حل افزایش تولید گندم عبارت از افزایش عملکرد در واحد سطح است. افزایش عملکرد در واحد سطح به دو روش قابل حصول است. یکی اعمال روش‌های زراعی پیشرفته و دیگری تولید ارقام پرمحصول می باشد تولید ارقام پرمحصول می‌تواند از طریق تولید ارقام مقاوم به تنش‌های زیستی و غیرزیستی باشد (اهدایی، ۱۳۸۸). بر اساس آمارهای اعلام شده سطح زیر کشت و میزان تولید گندم در جهان در سال ۲۰۱۲ به ترتیب برابر با ۲۱٦۹۷٤٦۸۳ هکتار و ٦٦۱ میلیون تن بوده است. در ایران نیز سطح زیر کشت این گیاه برابر با ۷۰۳۵۰۲۰ هکتار با میزان تولید ۱۳/۸ میلیون تن بوده است (فائو، ۲۰۱۲).

گندم منبع اصلی کربوهیدرات جمعیت جهان را تشکیل می دهد و دانه آن حاوی درصد بالایی از مواد معدنی، ویتامین، چربی و پروتئین است (کورتیس، ۲۰۰۲). گندم اگرچه گیاه مناطق معتدل است، ولی به‌دلیل دارا بودن

ویژگی‌های ژنتیکی متفاوت در مناطق مختلف آب و هوایی جهان کشت می‌شود. این گیاه همچنین در مقابل تغییرات ارتفاع از سطح دریا مقاومت زیادی دارد. گندم به‌دلیل این که دارای ریشه‌های افشان بوده و این ریشه‌ها در سطح خاک پراکنده هستند به‌خوبی خاک را نگهداری و از فرسایش آن جلوگیری می‌نماید. گندم یک پیش کشت بسیار عالی برای اکثر گیاهان زراعی است زیرا خیلی زود برداشت شده و فرصت کافی برای آماده کردن زمین برای کشت بعدی به‌وجود می‌آورد (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۸٦).

۱-۲- لاین‌ها اینبرد نوترکیب

لاین‌های اینبرد نوترکیب (*RIL*)[1]، لاین‌های خالصی هستند که از راه انتخاب تک بذری از جمعیت F_2 به‌دست می‌آیند. انتخاب تک بذری برای چند نسل ادامه یافته و در نهایت لاین‌هایی که بسیاری از وقایع نوترکیب در آن‌ها تثبیت شده، حاصل می‌شوند. از طریق لاین‌های اینبرد نوترکیب می‌توان اثر افزایشی ژن‌ها را برآورد کرد (نقوی و همکاران، ۱۳۸٦). با توجه به کاهش تنوع ژنتیکی در مواد اصلاح شده، انجام تلاقی بین ژنوتیپ‌هایی با خصوصیات مکمل از روش‌های متداول برای تولید جمعیت‌های در حال تفرق و ایجاد نوترکیبی‌های جدید برای رسیدن به صفات مطلوب و عملکرد بالا است. جمعیت لاین‌های اینبرد نوترکیب که از طریق خودگشنی گیاهان $F_۲$ حاصل از تلاقی دو لاین طی چندین نسل تولید می‌شود. افراد این جمعیت به علت پشت سر گذاشتن چند چرخه میوزی قبل از رسیدن به هموزیگوتی، دارای ترکیبات متفاوت از ژن‌های والدینی بوده و از نظر صفات مختلف ممکن است نسبت به والدین خود برتر باشند. بنابراین، جمعیت لاین‌های اینبرد نوترکیب دارای کاربردهای مختلف از قبیل ایجاد تنوع برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر، تهیه

[1] -Recombnent Inbred Line

نقشه‌های ژنتیکی و مکان‌یابی ژن های کنترل کننده صفات مختلف می‌باشند. این لاین‌ها را می‌توان در آزمایشات تکراردار استفاده کرد (یانگ، ۲۰۰۰).

۱-۳- تنش کم‌آبی

تنش کم‌آبی بیشتر از هر عامل محیطی دیگری رشد گیاهان را محدود می‌کند (ه‌انگ، ۲۰۰۰) و وقتی حادث می‌شود که خروج آب از گیاه به واسطه‌ی فرآیند تبخیر و تعرق بیشتر از جذب آن از طریق ریشه باشد (شفرد و همکاران، ۲۰۰۲). میزان کاهش محصول ناشی از تنش آبی ایجاد شده در گیاهان توسط سه عامل مهم شدت کمبود آب، مدت زمان تنش و مرحله‌ای از رشد گیاه که با تنش آبی هم‌زمان می‌شود، تعیین می‌گردد (لولر و کورنیک، ۲۰۰۲). با تشدید تنش خشکی، آب موجود در بافت‌ها و سلول‌های گیاهی به‌تدریج از دست رفته و در متابولیسم طبیعی بافت‌ها و سلول‌ها اختلال به‌وجود می‌آید و در نتیجه عملکرد به‌شدت کاهش می‌یابد (کرامر، ۱۹٦۹). تقریبا ۳۲ درصد از مناطق کشت گندم در کشورهای در حال توسعه، انواع مختلفی از تنش را در طول فصل رشد تجربه می‌کنند (موریس و همکاران، ۱۹۹۱). مناطق تحت تنش به نواحی گفته می شود که میزان بارندگی سالیانه‌ی آن‌ها کمتر از ۵۰۰ میلی متر باشد (راجارم و همکاران، ۱۹۹٤). به‌طور کلی در نواحی مهم کشت گندم در جهان سه نوع تنش خشکی وجود دارد (ون گینکل و همکاران، ۱۹۹۸):

الف) تنش کم‌آبی ابتدایی که در اوایل فصل رشد رخ می‌دهد

ب) تنش کم‌آبی پیوسته که شدت آن در طول فصل رشد مرتباً افزایش می‌یابد

ج) تنش کم‌آبی انتهایی که در اواخر فصل رشد و مصادف با دوران دانه‌بندی رخ می‌دهد

مقاومت به خشکی عبارت است از توانمندی گیاه در به‌دست آوردن و نگهداری آب و ادامه فعالیت متابولیکی در بافت‌هایی است که در یک دورهٔ خشکی و تحت پتانسیل آب پایین قرار گرفته باشند. و نیز به

توانایی گیاهان از نظر سازگار شدن به اثرات خشکی و تکمیل رشد، نمو و تولید مثل در شرایط خشکی به واسطه دارا بودن ویژگی‌هایی که در طی تکامل خود تحت تأثیر شرایط محیطی و گزینش طبیعی کسب کرده‌اند مقاومت به خشکی گویند (هنکل، ۱۹٦٤).

۱- ۳-۱- اثر تنش کم‌آبی **بر گندم**

تنش آب بر کلیه اندام‌های گیاهی به‌طور یکسان اثر نمی‌گذارد، به عنوان یک قاعده، در اثر تنش آب نسبت برگ به ساقه کاهش می‌یابد. با افزایش تنش کم‌آبی، رشد ریشه کاهش می‌یابد، اما رشد ریشه کمتر از رشد بخش‌های هوایی تحت تأثیر کمبود آب واقع می‌شود به طوری که نسبت تاج به ریشه کاهش می یابد (اسکوز، ۱۹۸۸). نتایج تحقیقات بسیاری از محققان نشان می‌دهد که تنش رطوبتی در مراحل مختلف نمو گندم باعث کاهش معنی‌دار عملکرد کل ماده خشک (بیوماس) و عملکرد دانه گندم شده است. همچنین اثر تنش رطوبتی با توجه به شدت تنش و مرحله نمو گندم متفاوت بوده است (منیری و همکاران، ۲۰۰۷؛ همام، ۲۰۰۸). تنش خشکی می‌تواند در مراحل رشد رویشی گیاه، تشکیل آغازه‌های گل، مرحله نمو گامتوفیتی، مرحله گرده‌افشانی و باروری دانه و نهایتاً مرحله‌ی پر شدن دانه رخ دهد. خسارت ناشی از تنش وارده در مرحله زایشی گیاه بسیار شدیدتر بوده و کاهش زیاد عملکرد به لحاظ حساسیت گیاه در این مرحله و ترکیبی از عوامل کاهش رطوبت خاک و تبخیر بالای آب به همراه کمبود منابع آبی آخر فصل و تنش گرما را در پی دارد (بلوم، ۱۹۸۸). تنش کم‌آبی در مرحله تشکیل سنبله می‌تواند باعث کاهش تعداد سنبلچه و گلچه در سنبله گندم شود. تنش‌های شدید ممکن است منجر به چروکیدگی دانه و یا در مواقعی منجر به عقیمی کامل یا نسبی دانه گرده گندم شود. در بسیاری از محیط‌های نیمه خشک رطوبت نسبی در ابتدای فصل رشد در بالاترین حد بوده و بعداً با افزایش دما و قطع بارندگی‌ها مقدار آن کاهش می‌یابد. در این مناطق عموماً دوره پر شدن دانه گندم مصادف با کم‌آبی و

افزایش تبخیر از سطح خاک می‌شود و در نتیجه عملکرد کاهش می‌یابد، بنابراین در ارقام زودرس کارایی مصرف آب بیشتر خواهد بود. البته در شرایطی که تنش کم‌آبی در اوایل فصل رشد بروز کند و تا قبل از گل‌دهی خاتمه یابد، ارقام دیررس عملکرد بالاتری نسبت به ارقام زودرس خواهند داشت (نجفی میرک و شیخی گرجانی، ۱۳۸٤). وینکل (۱۹۸۹) دریافت که در غلات حساس‌ترین مرحله به تنش کم‌آبی حد فاصل سنبله رفتن تا گل‌دهی است و واریته‌هایی که قبل از گل‌دهی بتوانند بیوماس بالایی تولید و ذخیره اسیمیلات در ساقه را افزایش دهند جزو واریته‌های متحمل به خشکی محسوب می‌شوند. جانستون و فاولر (۱۹۹۲) ابراز عقیده کردند که حساس‌ترین مرحله نمو گندم به تنش خشکی مرحله گل‌دهی است. طول دوره‌ی گل‌دهی گیاهانی که در این دوره در معرض تنش کم‌آبی قرار می‌گیرند، کاهش می‌یابد. اعمال تنش خشکی در مراحل بعدی نمو موجب تسریع پیری و کاهش دوره‌ی پر شدن دانه می‌گردد (امام و نیک‌نژاد، ۱۳۷۳؛ دایسن و فریمن، ۱۹۷٤). روبینز و دومینگو (۱۹٦۲) در تأیید این موضوع در گندم بهاره گزارش نمودند که تنش رطوبتی قبل از مرحله سنبله‌دهی به طور نسبی عملکرد دانه را کاهش نمی‌دهد، در حالی که از این مرحله به بعد به‌طور معنی‌داری عملکرد کاهش یافته و بیشترین کاهش عملکرد در صورت وقوع تنش در طول دوره‌ی سنبله‌دهی و متعاقب آن رخ می‌دهد. مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه‌ها جزو بحرانی‌ترین مراحل نمو گندم نسبت به تنش رطوبتی معرفی شده و دوره‌ای است که گندم نسبت به کمبود آب بیشترین حساسیت را نشان می‌دهد. همچنین گزارش شده گیاهان دانه ای از جمله گندم دو هفته قبل از گرده‌افشانی نسبت به خشکی حساس می‌باشند (هاشمی دزفولی و همکاران، ۱۳۷۵؛ ریچارد و همکاران، ۲۰۰۱).

۱- ۳-۲- تأثیر تنش کم‌آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد

۱- ۳-۲-۱- تعداد دانه در سنبله

فیشر و مور (۱۹۷۸) اظهار داشتند که کاهش عملکرد ارقام گندم ناشی از تنش کم‌آبی بیشتر از طریق کاهش تعداد دانه در سنبله ایجاد شود و همبستگی مثبت تعداد دانه با عملکرد گزارش شده است. تنش کم‌آبی شدید در مراحل قبل از گرده‌افشانی باعث کاهش تعداد دانه در متر مربع می‌شود (ون گینکل و همکاران، ۱۹۸۸). آسپینال (۱۹۸٤) گزارش کرد که حساسیت به کمبود آب در این مراحل ممکن است به‌عنوان وسیله‌ای برای محدود کردن تعداد دانه عمل کند، به گونه‌ای که علی‌رغم کمبود آب در طی دوره پر شدن دانه اندازه دانه حفظ شود. برخی خصوصیات سنبله مانند تعداد سنبلچه در سنبله رابطه مستقیم با تعداد دانه در سنبله دارد. محدودیت آب در زمان گرده‌افشانی ممکن است با کاهش تعداد سنبلچه یا کاهش باروری سنبلچه‌ها عملکرد گندم را کاهش دهد. بنابراین، گزینش برای تعداد دانه پرمحصول، موثر خواهد بود (مورال و همکاران، ۲۰۰۳). هر چند که تعداد سنبلچه در افزایش عملکرد دانه نقش دارد ولی همه گلچه‌ها بارور نیستند و تعداد گلچه‌های بارور سنبلچه رابطه مستقیم و معنی‌داری با عوامل اکولوژیک و ژنوتیپ دارد. عقیمی سنبله تحت تاثیر شرایط محیطی و تغذیه گیاه قرار می‌گیرد. زمانی که گندم در شرایط تنش قرار می‌گیرد، تغذیه نامناسب موجب ضعف گلچه‌های و عقیمی آن‌ها می‌شود. در یک سنبله، سنبلچه‌های پایینی و بالائی اغلب عقیم هستند و در خود سنبلچه هم گلچه‌های سوم و چهارم معمولاً عقیم است (ایورت و هونرمایر، ۱۹۹۹). کمبود آب پس از گل‌دهی (گرده‌افشانی) احتمالا از طریق آسیب رساندن به فوآیند باروری دانه می‌تواند تعداد دانه در سنبله را کاهش دهد (ایوانس و دانستون، ۱۹۷۰؛ واردلاو، ۱۹۷۱). فیشر و همکاران (۱۹۷۷) نشان دادند که اگر تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی یا کمی قبل از گرده‌افشانی اتفاق افتد، تعداد دانه در سنبله کاهش می‌یابد. تعداد دانه در