دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد
در رشته‌ی کشاورزی اصلاح نباتات

بررسی الگوی بیان ژن رمزکننده‌ی NAC transcription factor 2a (NAC2a) در آجیلوپس و برخی گونه‌های دیپلوییید، تتراپلوییید و هگزاپلوییید گندم

به کوشش
طیبه مشکانی

اساتید راهنما
دکتر حسن پاک‌نیت
دکتر عباس عالم‌زاده

اسفند ۱۳۹۲

به نام خدا

اظهار نامه

اینجانب طیبه مشکانی دانشجوی رشته‌ی مهندسی کشاورزی گرایش اصلاح نباتات دانشکده‌ی کشاورزی اظهار می‌کنم که این پایان‌نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظهار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان‌نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه، دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین‌نامه مالکیت فکری و معنوی، متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: طیبه مشکانی

تاریخ و امضا:

به نام خدا

بررسی الگوی بیان ژن رمزکننده‌ی آنزیم NAC transcription factor 2a (NAC2a) در آجیلوپس و برخی گونه‌های دیپلوئید، تتراپلوئید و هگزاپلوئید گندم

به کوشش

طیبه مشکانی

پایان‌نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به عنوان بخشی

از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی

مهندسی کشاورزی گرایش اصلاح نباتات

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی کمیته‌ی پایان‌نامه، با درجه‌ی: عالی

دکتر حسن پاک‌نیت، دانشیار بخش زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه شیراز (استاد راهنما).....

دکتر عباس عالم‌زاده، استادیار بخش زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه شیراز (استاد راهنما).....

دکتر الهه توکل، استادیار بخش زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه شیراز (استاد مشاور).....

دکتر بهرام حیدری، استادیار بخش زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه شیراز (داور متخصص داخلی).....

اسفند ۱۳۹۲

تقدیم به:

دو آیه مهر خداوندی؛

وجود پدر عزیزم

و مهربان مادرم

مهربان فرشتگانی که ناتوان شدند تا من به توانایی برسم

مو سپید کردند تا من رو سفید شوم

وقامتشان خمیده شد تا من سر بلند بمانم

برادرانم، علی رضا و علی اصغر عزیزم، بهاطفی زیبای زندگیم

خواهرم، همسر مهربان زندگیم، طاهره نازنینم

حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم آنان...

سپاسگزاری

سپاس بی‌کران پروردگار یکتا را که هستی‌مان بخشید.
بر حسب وظیفه سپاسگزارم از اساتید فرهیخته و بزرگوارم؛ جناب آقای دکتر **حسن پاک‌نیت** و جناب آقای دکتر **عباس عالم‌زاده** که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و با دلسوزی و نکته سنجی‌هایشان موجب دلگرمی من برای تداوم این راه بودند و زحمت راهنمایی این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند.
از استاد شایسته و گرانقدرم، سرکار خانم دکتر **الهه توکل**، که زحمت مشاوره این رساله را متقبل شدند.
از سایر اساتید بزرگواری که افتخار شاگردیشان را داشتم و از محضر پر فیض تدریسشان بهره‌ها بردم: جناب آقای دکتر **هومن راضی**، جناب آقای دکتر **بهرام حیدری**، جناب آقای دکتر **علی دادخدایی** و جناب آقای دکتر **اسماعیل ابراهیمی** کمال تشکر را دارم.
سپاس بی‌دریغ از زحمات کارمندان عزیز بخش زراعت و اصلاح نباتات: سرکار خانم حسنلی، آقای مهندس محمد رضا متقی، آقای مهندس محمود ایزدی، آقای نوری و آقای شفیعی.
بسی شایسته است از تلاش‌های همه‌ی همکلاسی‌ها و دوستان عزیزم خانم‌ها مهندس زهرا زکی‌پور، مینا سیفایی، آیدا آزاد، عادله غریبی، پریوش راسخ، زهرا کلباسی، اعظم صف شکن، نجمه برخورداری، مونس شمس الدینی، شهربانو استادی‌پور، حدیثه باقری، زینتی، سارا اسماعیلی، شهرزاد گمرک، فریبا پیرویان، کتایون حمیدی، مهسا محمودپور، فتانه یوسفی، معصومه آزادی، نگار محمدزاده، فریناز ایزدخواه و آقایان مهندس هادی نجفی، حبیب طلابی، ابراهیم بهروزی، محسن جم، محمود احمدی، روح ا... شاملو، آرمین ساعد، علی محمد طالع، محمد فاضل سلطانی، علیرضا میرزایی، محمد مجرد و علی شکری‌نسب که در مراحل مختلف امور پایان نامه همکاری داشتند نهایت سپاس را داشته باشم.
و در آخر سپاس بی‌پایان از پدر و مادر عزیزتر از جانم که گرمای حمایتشان را در لحظه لحظه-ی زندگیم حس کردم. پدر جان و مادر جان: امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما. ره آوردی گران سنگ‌تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نسیم‌گونه غبار خستگیتان را بزداید. بوسه بر دستان پرمهرتان.
سپاس از بهانه‌های زیبای زندگیم، برادرانم علی‌رضا و علی‌اصغر عزیز که وجودشان شادی بخش و صفایشان مایه آرامش من است و همواره در طول تحصیل متحمل زحماتم بودند و تکیه‌گاه من در مواجهه با مشکلات می‌باشند.
و همچنین سپاس از خواهر عزیزم به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودش که دراین سردترین روزگاران بهترین همراهم بود. قلبم لبریز از عشق به شماست و خوشبختی‌تان منتهای آرزویم.

چکیده

بررسی الگوی بیان ژن رمزکننده‌ی NAC transcription factor 2a (NAC2a) در آجیلوپس و برخی گونه‌های دیپلوییید، تتراپلوییید و هگزاپلوییید گندم

به کوشش

طیبه مشکانی

به منظور بررسی بیان ژن *NAC2a* در برگ‌های گندم نان و سه گونه خویشاوند آن بذر گونه‌های *Triticum aestivum*، *Triticum turgidum*، *Triticum boeticum* و *Aegilops crass* در گلدان‌های ۲ کیلویی کشت شده و گلدان‌ها در قالب یک طرح کاملاً تصادفی چیده شدند. از برگ‌ها دی‌ان‌ای ژنومی و آران‌ای کل استخراج و سپس cDNAs ساخته شد. با استفاده از نانودراپ غلظت‌های cDNAها و دی‌ان‌اها تعیین شد. آغازگرهای اختصاصی به ترتیب برای تکثیر قطعه‌ای از ژن‌های رمز کننده اکتین (شماره دسترسی: AB181991)، به عنوان ژن مرجع، و NAC2a (شماره دسترسی: HM027577.1) در گندم نان طراحی شد. با استفاده از نرم افزار TotalLab شدت باندهای تکثیر شده کمی شده و با هم مقایسه شدند. داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه تحلیل آماری قرار گرفتند. قطعات ۴۸۰ و ۱۶۷ جفت بازی از ژن‌های رمز کننده اکتین و NAC2a از ژنوم چهار گونه تکثیر شد. نتایج نشان دادند که ایزوفرم NAC2a در هر چهار ژنوم A، B، D و M وجود دارد و تعداد نسخه‌های این ژن در ژنوم *T. aestivum* (AABBDD) و *A. crassa* (DDMM) با هم برابر و از *T. turgidum* (AABB) بیشتر است و تعداد نسخه‌های این ژن در *T. boeticum* (AA) از سه گونه دیگر کمتر است. با وجود تفاوت در تعداد نسخه‌ها، میزان بیان این ژن در بین چهار گونه تفاوت معنی‌داری نداشت که نشان‌دهنده وجود مکانیزم‌های خاصی برای تعدیل میزان بیان این ژن در چهار گونه می‌باشد. همچنین در ادامه‌ی پژوهش بیان ژن *NAC2a* در برگ، ریشه و ساقه گندم نان (*T. aestivum*) و گندم دوروم (*T. turgidum*) بررسی شد. بر اساس مقایسه میانگین انجام شده میزان بیان این ژن در هر سه بافت برگ، ریشه، ساقه تفاوت معنی‌داری وجود دارد که میزان بیان این ژن در هر دو گونه، در بافت برگ بیشتر از ساقه و در ساقه بیشتر از ریشه است.

واژه‌های کلیدی: گندم، بیان ژن، NAC2a

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱-گندم ۱
۱-۲-اهمیت گندم و خویشاوندان وحشی آن ۳
۱-۳- گروه گندم‌های دیپلوئید (Diploid)..... ۴
۱-۴-گروه گندم‌های تتراپلوئید (Tetraploid) ۵
۱-۵- گروه گندم‌های هگزاپلوئید (Hexaploid) ۵
۱-۶- ارزش و اهمیت غذایی گندم ۵
۱-۷- گندم و تکامل آن ۶
۱-۸- تاریخچه کشت گندم ۷
۱-۹- تولید و مصرف جهانی گندم ۸
۱-۱۰- اهمیت مطالعه گندم ۸
۱-۱۱- گندم و اهمیت اقتصادی آن ۹
۱-۱۲- اهمیت مطالعه ژن‌های NAC در گندم ۱۰
۱-۱۳- عوامل رونویسی ۱۱
۱-۱۴- ژن رمزکننده NAC transcription factor 2a (NAC2a) ۱۱
۱-۱۴-۱- معرفی خانواده‌ی فاکتور رونویسی NAC ۱۲
۱-۱۴-۲- نامگذاری خانواده پروتئینی NAC ۱۳
۱-۱۴-۳- بررسی ساختار کلی پروتئین‌های خانواده NAC ۱۳
۱-۱۴-۳-۱- مشخصات N-terminal پروتئین‌های NAC ۱۴
۱-۱۴-۳-۲- مشخصات C-terminal پروتئین‌های NAC ۱۵
۱-۱۴-۴- نقش‌های خانواده پروتئینی NAC ۱۶
۱-۱۵- اهداف پژوهش ۱۶

عنوان **صفحه**

فصل دوم: مروری بر پژوهش‌های پیشین

۲-۱- پیشینه پژوهش روی انواع ژن‌های *TaNAC* در گندم نان ۱۸
۲-۲- بررسی شبکه‌ی ژنی NAC ۲۰
۲-۳- بررسی cis-acting elementهای NAC در ژن‌های هدف پایین دست ۲۱
۲-۴- نقش پروتئین NAC در مقاومت به تنش‌های زیستی ۲۲
۲-۵- نقش پروتئین NAC در مقاومت به تنش‌های غیرزیستی ۲۲
۲-۶- بررسی پاسخ مولکولی و فیزیولوژیک گیاهان به تنش‌های غیرزیستی ۲۳
۲-۷- مکانیسم‌های تحمل گیاه به تنش‌های غیرزیستی ۲۴
۲-۸- هورمون آبسیزیک اسید(ABA) ۲۵
۲-۹- مسیرهای ژن‌های کنترل‌کننده تنش‌های غیرزیستی ۲۵
۲-۹-۱- مسیرهای مستقل از اسید آبسیزیک ۲۶
۲-۹-۱-۱- DREB ۲۶
۲-۹-۱-۲- ZF-HD و NAC ۲۷
۲-۹-۲- مسیرهای وابسته به اسید آبسیزیک ۲۷
۲-۹-۲-۱- AREB/ABF ۲۷
۲-۹-۲-۲- MYB و MYC ۲۸

فصل سوم: مواد و روش تحقیق

۳-۱- طرح و اجرای آزمایش ۳۱
۳-۱-۱- انتخاب ژنوتیپ‌های مورد بررسی ۳۱
۳-۱-۲- کاشت بذرها ۳۱
۳-۱-۳- نمونه‌گیری از برگ ۳۱
۳-۲- طراحی آغازگرهای اختصاصی ۳۱
۳-۲-۱- تهیه‌ی محلول ذخیره و مورد استفاده آغازگر ۳۲
۳-۳- بررسی الگوی بیان ژن رمزکننده NAC transcription factor 2a (NAC2a) در گندم .. ۳۲
۳-۳-۱- پروتکل استخراج آرانا کل ۳۳
۳-۳-۲- تهیه ژل آگارز و انجام الکتروفورز برای بررسی کیفیت آرانای استخراج شده ۳۵
۳-۳-۳- تیمار DNase ۳۵
۳-۳-۴- سنتز cDNA ۳۸

عنوان **صفحه**

۳-۳-۵- تکثیر cDNAهای سنتز شده با استفاده از آغازگرهای NAC ۳۸
۳-۳-۶- تهیه ژل آگارز و انجام الکتروفورز ۳۹
۳-۴- تعیین منشأ ژن رمز کننده *NAC2a* در گندم نان ۴۰
۳-۴-۱- استخراج دی‌ان‌ا ۴۰

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱- بررسی بیان ژن رمزکننده *NAC2a* ۵۲
۴-۱-۱- استخراج آران‌ا ۵۲
۴-۱-۲- ساخت سی‌دی‌ان‌ا ۵۳
۴-۱-۳- تعیین غلظت سی‌دی‌ان‌های ساخته شده ۵۴
۴-۱-۴- نتیجه واکنش زنجیره ای پلیمراز ۵۵
۴-۱-۵- تعیین شدت باند ۵۶
۴-۲- تعیین منشأ ژن رمزکننده *NAC2a* ۵۸
۴-۲-۱- استخراج دی‌ان‌ا ۵۸
۴-۲-۲- تعیین غلظت دی‌ان‌های استخراج شده ۵۹
۴-۲-۳- واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز ۶۰
۴-۲-۴- تعیین شدت قطعه تکثیر شده ۶۱
۴-۳- بررسی بیان ژن *NAC2a* در برگ، ریشه و ساقه گندم نان و گندم دوروم ۶۳
نتیجه‌گیری ۶۸
پیشنهادت ۶۸

فهرست منابع

منابع فارسی ۶۹
منابع انگلیسی ۶۹

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱- آغازگرهای طراحی شده برای تکثیر انتهای ′ ۳ و ′ ۵ ژن‌ها ۳۲
جدول ۳-۲- چرخه گرمایی استفاده شده در واکنش پی‌سی‌آر ۳۳
جدول ۳-۳- ترکیب شیمیایی بافر TBE (۵۰x) ۳۵
جدول ۳-۴- مواد مورد نیاز برای تیمار DNase ۳۶
جدول ۳-۵- مواد مورد استفاده در واکنش پی‌سی‌آر ۳۷
جدول ۳-۶- چرخه گرمایی استفاده شده در واکنش پی‌سی‌آر ۳۷
جدول ۳-۷- مواد مورد نیاز برای سنتز cDNA ۳۸
جدول ۳-۸- مواد مورد نیاز در هر واکنش PCR ۳۹
جدول ۳-۹- چرخه حرارتی واکنش زنجیره ای پلیمراز ۳۹
جدول ۴-۱- غلظت‌های سی‌دی‌ان‌اهای تهیه شده بر حسب ng/µl ۵۴
جدول ۴-۲- شدت باندهای بدست آمده برای چهار گیاه و سه تکرار ۵۶
جدول ۴-۳- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به بیان ژن NAC2a در گندم نان و خویشاوندان وحشی آن ۵۷
جدول ۴-۴- تعیین غلظت دی‌ان‌ا ساخته شده ۵۹
جدول ۴-۵- شدت باندهای مربوط به قطعات تکثیر شده از ژن *NAC2a* ۶۱
جدول ۴-۶- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به تعداد نسخه‌های ژن NAC2a در گندم نان و خویشاوندان وحشی آن ۶۲
جدول ۴-۷- غلظت‌های سی‌دی‌ان‌اهای تهیه شده در بافت‌های مختلف گندم نان ۶۳
جدول ۴-۸- غلظت‌های سی‌دی‌ان‌اهای تهیه شده در بافت‌های مختلف گندم دوروم ۶۴
جدول ۴-۹- شدت باندهای بدست آمده از قطعات تکثیر شده از ژن *NAC2a* نسبت به اکتین در بافت برگ، ریشه و ساقه‌ی گندم نان ۶۵
جدول ۴-۱۰- شدت باندهای بدست آمده از قطعات تکثیر شده از ژن *NAC2a* نسبت به اکتین در بافت برگ، ریشه و ساقه‌ی گندم دوروم ۶۵
جدول ۴-۱۱- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به بیان ژن *NAC2a* در بافت‌های مختلف گندم نان ۶۶
جدول ۴-۱۲- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به بیان ژن *NAC2a* در بافت‌های مختلف گندم دوروم ۶۶

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- رابطه‌ی تکاملی خویشاوندان وحشی گندم ۷
شکل ۱-۲- نمایی کلی از ساختار یک پروتئین NAC..... ۱۴
شکل ۲-۱- شبکه تنظیم بیان ژن در پاسخ به تنش‌های خشکی، شوری و سرما، اختصاصی بودن و تداخل شبکه‌های ژنی ۲۶
شکل ۴-۱- آران‌اهای استخراج شده از چهار گیاه ۵۳
شکل ۴-۲- قطعات تکثیر شده از ژن *NAC2a* با استفاده از آران‌ا و سی‌دی‌ان‌ا به عنوان الگو ... ۵۴
شکل ۴-۳- قطعات تکثیر شده از ژن رمز کننده اکتین در گندم نان و خویشاوندان آن..... ۵۵
شکل ۴-۴- قطعات تکثیر شده از ژن رمز کننده *NAC2a* در گندم نان و خویشاوندان آن ۵۵
شکل ۴-۵- بررسی نرمال بودن داده‌ها..... ۵۶
شکل ۴-۶- مقایسه میزان بیان ژن *NAC2a* در گندم نان و خویشاوندان آن..... ۵۸
شکل ۴-۷- دی‌ان‌اهای استخراج شده از چهار گیاه گندم نان و خویشاوندان وحشی آن ۵۹
شکل ۴-۸- قطعات تکثیر شده از ژن رمز کننده اکتین در گندم نان و خویشاوندان آن..... ۶۰
شکل ۴-۹- قطعات تکثیر شده از ژن *NAC2a* در گندم نان و خویشاوندان آن..... ۶۰
شکل ۴-۱۰- بررسی نرمال بودن داده‌ها..... ۶۱
شکل ۴-۱۱- مقایسه میزان دی‌ان‌ا تکثیر شده‌ی *NAC2a* نسبت به اکتین در گندم نان و خویشاوندان آن ۶۳
شکل ۴-۱۲- قطعات تکثیر شده از ژن *NAC2a* در بافت‌های مختلف گندم نان..... ۶۴
شکل ۴-۱۳- قطعات تکثیر شده از ژن *NAC2a* در بافت‌های مختلف گندم دوروم..... ۶۵
شکل ۴-۱۴- قطعات تکثیر شده از ژن رمزکننده اکتین در بافت‌های مختلف گندم نان..... ۶۵
شکل ۴-۱۵- قطعات تکثیر شده از ژن رمزکننده اکتین در بافت‌های مختلف گندم دوروم..... ۶۶
شکل ۴-۱۶- مقایسه میزان بیان ژن *NAC2a* در بافت‌های مختلف گندم نان..... ۶۸
شکل ۴-۱۷- مقایسه میزان بیان ژن *NAC2a* در بافت‌های مختلف گندم دوروم..... ۶۸

فصل اول

مقدمه

۱-۱-گندم

گندم مهمترین گیاه زراعی جهان به شمار می‌رود و تأمین کننده‌ی بخش وسیعی از نیاز غذایی مردم جهان می‌باشد. کشور ما نیز از این قاعده مستثنی نبوده و بخش وسیعی از نیاز غذایی مردم کشور ما از طریق دو گونه‌ی مهم گندم، شامل گندم نان *(Triticum aestivum)* و گندم ماکارونی *(Triticum durum)* تأمین می‌گردد. گندم یکی از مهمترین غلات و غذای اصلی مردم دنیا بوده و با ۲۵۰ میلیون هکتار بیشترین سطح زیر کشت جهانی را دارد (یزدی صمدی، ۱۳۸۳).

گندم *(Triticum aestivum L.)* گیاهی تک‌لپه‌ای (Monocotiloeden) از خانواده گرامینه (Gramineae) یا پوآسه (poaceae)، از طایفه هوردیه (Hordeae) و از جنس تریتیکوم (*Triticum*) است. دارای ساقه ماشوره‌ای و ساده که دارای متوسط ۵ تا ۷ گره است. طول آن به ۶۰ تا ۱۸۰ سانتی‌متر می‌رسد. هر ساقه بارور گندم دارای یک تک سنبله است که شامل محور اصلی سنبله است و در طرفین این محور اصلی سنبلچه‌های فرعی گندم قرار دارند. برگ در غلات از غلاف، پهنک، لیگول وگوشواره تشکیل شده است. ریشه آن معمولاً تا عمق ۱/۵-۱ متری نفوذ می‌کند و در ارقام مقاوم به خشکی متراکم‌تر وگسترده‌تر از ارقام حساس می‌باشد.

۱-۲-اهمیت گندم و خویشاوندان وحشی آن

گندم زراعی فعلی از آمیزش اجداد وحشی دیپلوییید و تتراپلوییید ایجاد شده است (یزدی صمدی، ۱۳۸۳). جنس گندم بر اساس طبقه بندی فلکس برگر در سال ۱۹۳۹ به سه گروه طبیعی از نظر تعداد کروموزوم تقسیم می‌گردد که شامل دیپلوییید (2x=14)، تتراپلوییید (4x=28) و هگزاپلوییید (6x=42) می‌باشد، به گونه‌ای که گندم امر (*Triticum turgidum ssp. Dicoccum*) با ژنوتیپ AABB به عنوان گندم غالب، برای مدت چند هزار سال در خاورمیانه کشت و زرع می‌شده است. گفتنی است که ژنوم D گندم نان از گونه‌های *Aegilops* و ژنوم A آن از *T. monococcum* منشأ گرفته است (یزدی صمدی، ۱۳۸۳). گونه‌های *Aegilops* از مقاومترین گونه‌ها در تنش خشکی در Triticeae می‌باشند (Ashraf *et al*., 2009) و بالاترین مقاومت را به سرما و گرما دارند (Ashraf *et al*., 2009).

اجداد گندم به ویژه گونه‌های جنس *Aegilops* و گونه‌ی *T. boeticum* منابع ژنتیکی ارزشمندی از لحاظ ژن‌های مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی هستند (Munns and Richards, 2007). به طور کلی گونه‌های دیپلوییید Triticeae مثل *T. monococcum* و *T. boeticum* به بیماری‌ها و آفات مثل زنگ بسیار مقاوم هستند (Farooq *et al*. 2001) و اثبات شده است که مقاومت به قارچ فوزاریوم ارتباط بسیار نزدیکی با ژنوم A دارد (Farooq *et al*., 2001).

گندم، زراعت اقلیم‌های معتدل و خنک می‌باشد (۳۰ تا ۶۰ درجه شمالی و ۲۰ تا ۴۰ درجه جنوبی). گونه‌های مختلف آن بسته به میزان مقاومت‌شان به شرایط خشکی، در مناطقی با دامنه‌ی بارندگی بین ۱۷۵ تا ۲۵۰ میلی‌متر قدرت رشد و تولید مثل را دارند. این محصول یکی از مهمترین محصولات زراعی جهان بوده و ۱۷ درصد (۱/۶) از اراضی زیر کشت محصولات زراعی را شامل می‌شود (Gupta *et al*., 2008). با توجه به نیمه خشک بودن اغلب نواحی تحت کشت گندم در کشور ما تنش خشکی در بسیاری از موارد منجر به کاهش کمیت و کیفیت محصول گندم می‌گردد. میزان خسارت وارده به گیاه در اثر خشکی، بسته به طول مدت خشکی، زمان وقوع تنش، فراوانی وقوع تنش، نوع گیاه و خصوصیات ذاتی خاک متفاوت است. همین مسئله اهمیت مطالعه‌ی ساز و کار مقاومت به خشکی، به ویژه مقاومت ژنتیکی در ارقام

مقاوم را بیان می‌دارد، چرا که تولید ارقام گندم مقاوم به خشکی از طریق علوم زیست فناوری و اصلاح نباتات، می‌تواند تاثیر مستقیم بر افزایش کمیت و کیفیت محصول گندم داشته باشد.

گندم غذای نزدیک به نیمی از جمعیت جهان را تامین می‌کند. این محصول حاوی ۲۰ درصد از کل کالری و پروتئین مصرفی در جیره غذایی انسان می‌باشد. با توجه به تقاضای روز افزون مردم جهان، باید طی یک برنامه هدفمند میزان تولید گندم را سالانه ۲ درصد افزایش داد. از این رو شناخت و آگاهی از ساختار و عملکرد ژنوم گندم ضروری به نظر می‌رسد (Gupta *et al*., 2008).

گندم نان با نام علمی *Triticum aestivum* مهم‌ترین عضو تیره Poaceae بوده و از نظر اقتصادی اهمیت بسزایی دارد. این گیاه به صورت زراعی و مرتعی غذای اصلی انسان و دام می‌باشد. گندم نان یکی از دو محصول کشاورزی بسیار مهم در جهان است (Mohammadi *et al*., 2007). این گیاه مهم غله‌ای، حاوی بیش از نصف کالری مورد مصرف جهان می‌باشد (FAO, 2004).

شناسایی ژنوم گندم از بیشتر محصولات دیگر دشوارتر است زیرا برخی از گونه‌های گندم دیپلوئید هستند و دو نسخه کروموزوم دارند در حالی که بسیاری از گونه‌های دیگر گندم پلی‌پلوئید هستند و چهار نسخه (تتراپلوئید) یا شش نسخه کروموزوم (هگزاپلوئید) دارند (Martin *et al*., 1976). کلیه گندم‌های موجود در نقاط مختلف دنیا که جهت برداشت دانه کشت می‌شوند و یا به صورت خودرو رشد و نمو می‌نمایند، از لحاظ تعداد کروموزم در سلول‌ها به سه دسته‌ی زیر طبقه بندی می‌شوند:

۱-۳- گروه گندم‌های دیپلوئید (Diploid)

گندم‌های این گروه شامل گونه‌هائی با ۱۴ کروموزوم (2n=14) بوده و شامل نوع وحشی و زراعی پوشینه‌دار می‌باشند و فاقد نوع زراعی لخت است. این گندم‌ها به گندم‌های یک دانه‌ای معروفند، چون که در هر سنبلچه در محور سنبله‌ها فقط یک دانه وجود دارد. ژنوم آنها AA می باشد. *T. boeticom* یکی از مهمترین گونه‌های این گروه است (پورمیرزا، ۱۳۸۲; امام، ۱۳۹۰).

۱-۴-گروه گندم‌های تتراپلوئید (Tetraploid)

دارای ۲۸ کروموزوم (2n=28) هستند و به گندم‌های دو دانه‌ای معروفند. گندم‌های این گروه دارای ژنوم AABB و از انواع وحشی و زراعی پوشینه‌دار و سخت تشکیل شده است. از گندم های این گروه می‌توان به *T. turgidum* و *T. dicoccum* اشاره کرد.

۱-۵- گروه گندم‌های هگزاپلوئید (Hexaploid)

دارای ۴۲ کروموزم (2n=42) بوده و ژنوم AABBDD دارند. و مهمترین گونه این گنـــدم ها، *T. aestivum* می‌باشد که از نظر کیفیت بهتر و برتر از سایر گندم‌ها بوده و از نظر زراعت در دنیا بیش از سایر گندم‌ها کشت می‌شود. این گندم دارای چند هزار واریته است و حدود ۹۵ تا ۹۷ درصد گندم‌های ایران از نژادهای این گونه است. مسیر تکامل این گندم در شکل ۱ آمده است (پورمیرزا، ۱۳۸۲; امام، ۱۳۹۰).

۱-۶- ارزش واهمیت غذایی گندم

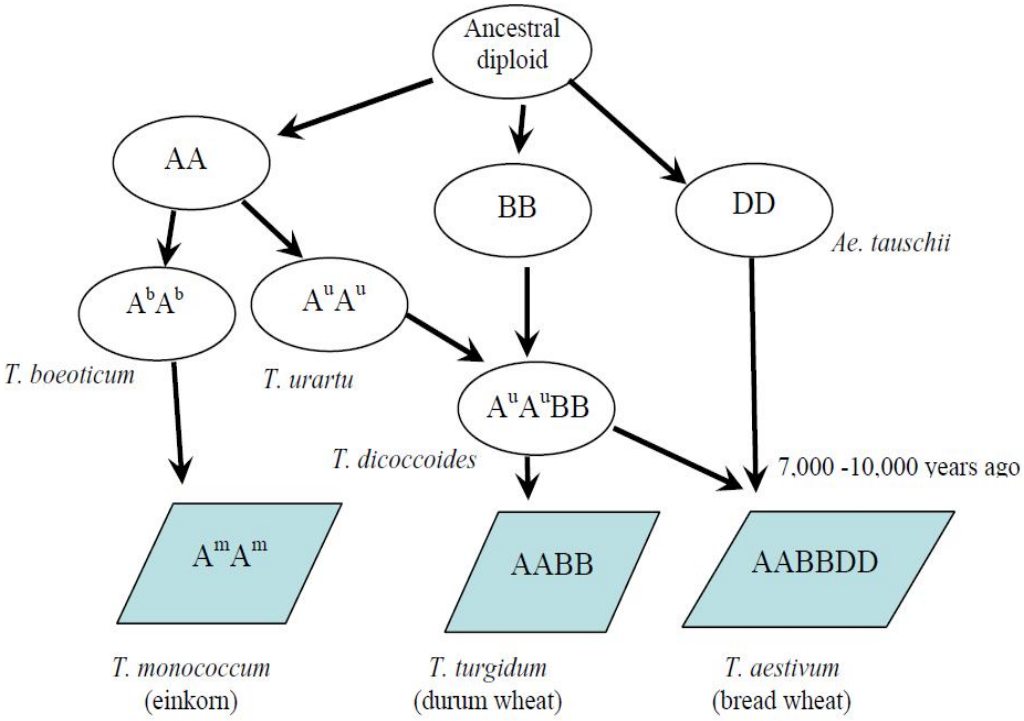
گندم از قدیمی‌ترین و پرمصرف‌ترین گیاهان زراعی جهان می‌باشد بطوریکه از سالیان بسیار دور و قبل از آنکه بشر به موارد مصرف سایر گیاهان از نظر تغذیه پی ببرد مهمترین منبع غذایی برای آنان بوده است. اهمیت گندم بیشتر مربوط به خواص فیزیکی و شیمیایی موادی است که دانه آن را تشکیل می‌دهد. پروتئین گندم از لحاظ غذایی فوق‌العاده پر انرژی است بخصوص سبوس آن که دارای پروتئین زیادی است و نیز شامل ویتامین‌های مختلفی از جمله ویتامین-های گروه B- E- C-A می‌باشد.

۱-۷- گندم و تکامل آن

گندم از مهمترین گیاهان زراعی است و گیاه زراعی اصلی ایران به شمار می‌رود؛ بدین جهت داشتن اطلاعات کافی در مورد ژنتیک این گیاه و ساز و کار مقاومت این گیاه در برابر تنش‌ها بسیار حائز اهمیت خواهد بود. گندم و برنج از خانواده گرامینه (Gramminea) بوده که دارای حدود ۱۰۰۰۰ گونه می‌باشند شامل گونه‌هایی همچون جو، ذرت، سورگوم و یولاف هستند. برنج دیپلوئید بوده (2n=2x=24) و ژنوم به نسبت کوچکی دارد، در حالی‌که گندم نان هگزاپلوئید (2n=6x=42) بوده و دارای ژنوم بزرگی می‌باشد (یزدی صمدی ۱۳۸۳).

در سال ۱۹۱۸، با روشن شدن این مسئله که سه گروه طبیعی گندم با ۱۴، ۲۸ و ۴۲ کروموزوم وجود دارد، نقش پلی‌پلوئیدی در تکامل گندم مشخص شد (یزدی صمدی ۱۳۸۳). سپس فرمول‌های ژنومی AA، AABB و AABBDD به ترتیب به سه گروه فوق اختصاص داده شد. تحقیقات بعدی مشخص کرد که ژنوم A گونه *T. monococcum* است. در سال ۱۹۴۴، مشخص شد که گونه دیپلوئید *Aegilops squarrosa* ژنوم D را تشکیل می‌دهد؛ که هم در ایجاد گندم هگزاپلوئید و هم در بوجود آمدن گونه دیگری از گندم تتراپلوئید به نام *Triticum cylindricum* نقش دارد (یزدی صمدی ۱۳۸۳). منشأ ژنوم B گونه *Aegilops speltoides* است. این گونه، ویژگی‌های مورفولوژیک مناسبی برای انتقال از وضعیت دیپلوئیدی گندم‌های Einkorn (AA) به وضعیت تتراپلوئیدی گندم‌های امر (AABB) داشت. از آنجا که دو رگ آمفی دیپلوئیدی حاصل از تلاقی *Triticum monococcum* با *A. Speltoides* از قبل وجود داشت؛ پس آمیزش با گندم امر نتایج یکنواخت و قطعی بدست نمی‌داد، بنابراین گونه *A. speltoides* با اتفاق نظر به عنوان منبع ژنوم B پذیرفته نشد. ژنتیک‌دانان تاکنون موفق نشده‌اند که میزان قرابت کروموزوم‌های ژنوم B در گندم‌های تتراپلوئید و هگزاپلوئید را با ژنوم B در *A. speltoides* تعیین کنند. بنابراین، گفته می‌شود منشأ ژنوم B گونه‌ای است ناشناخته که احتمالاً از بین رفته است (Morris *et al*., 1967). از میان گندم‌های تتراپلوئید، اولین گونه *Triticum turgidum* ssp. Dicoccum و فرم‌های وحشی *Triticum timopheevii* است (یزدی صمدی ۱۳۸۳). این که آیا این گونه‌ها منشأ مشترک دارند یا به طور مجزا به عنوان

آمفی‌پلوئیدی مختلف بوجود آمده‌اند، به طور یقین مشخص نشده است (یزدی صمدی ۱۳۸۳). رابطه تکاملی گندم زراعی فعلی با خویشاوندان وحشی آن در شکل ۱- ۱ مشاهده می‌شود.



شکل ۱- ۱ رابطه‌ی تکاملی خویشاوندان وحشی گندم. گندم‌های زراعی تترا و هگزاپلوئیدی فعلی ژنوم خود را از تلاقی بین اجداد دیپلوئید بدست آورده‌اند (Lindsay *et al*., 2004).

۱-۸- تاریخچه کشت گندم

از حفاری‌های باستان‌شناسی چنین استنباط می‌شود که منشاء کشت گندم یا در سوریه و فلسطین یا کمی دورتر به سمت شمال در امتداد بخش جنوبی آناتولی بوده است. کشت گندم از فلسطین به مصر و از شمال بین‌النهرین به ایران گسترش یافت. در ایران گندم نان برای نخستین بار تکامل یافت. گندم نان از ایران به همه سو، به جنوب بین‌النهرین، هندوستان، ترکمنستان روسیه و از آنجا به چین و جنوب روسیه گسترش یافت. در مصر باستان ۲۶۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ کیلومتر مربع زیر کشت گندم بوده است (خدابنده، ۱۳۸۴).