تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد ششم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۳، ص ۲۴۰-۲۲۳

مقاله پژوهشی

اثر تنش خشکی بر صفات وابسته به کیفیت نانوایی دو رقم گندم نان (*Triticum aestivum* L.)

راحیل گلفام[۱]، خدیجه کیا رستمی[۲*]، تهمینه لهراسبی[۳]، شبنم هسراک[۴]، خدیجه رضوی[۵]

۱- دانشجوی دکتری زیست شناسی-فیزیولوژی گیاهی، گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهرا، ونک، تهران، ایران

۲- گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهرا، ونک، تهران، ایران

۳- گروه بیوتکنولوژی گیاهی، پژوهشکده بیوتکنولوژی گیاهی، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری، تهران، ایران

۴- محقق پسا دکتری گروه بیوتکنولوژی گیاهی، پژوهشکده بیوتکنولوژی گیاهی، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری، تهران، ایران

۵- گروه زیست فناوری مولکولی گیاهی، پژوهشکده بیوتکنولوژی گیاهی، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری، تهران، ایران

* مسئول مکاتبه: kh.kiarostami@alzahra.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۳ **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.427004.1381**

چکیده

تنش خشکی مهمترین محدودیت محیطی است که بر میزان بهره‌وری و کیفیت محصول تأثیر داشته است. هدف از این تحقیق مطالعه اثر تنش خشکی بر کیفیت نانوایی گندم است. در این پژوهش دو رقم گندم نان ایرانی انتخاب و آزمایش به صورت مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل بدون تنش خشکی و تنش خشکی در هر دو رقم بود. بر اساس نتایج بدست آمده تنش خشکی باعث کاهش نشاسته و افزایش گلوتن مرطوب، درصد پروتئین دانه، درصد حجم رسوب زلنی و درصد جذب آب آرد در هر دو رقم شد. همچنین در رقم نوید باعث کاهش شاخص گلوتن، حجم نان و رطوبت آرد به ترتیب به میزان ۷/۶۴، ۳۱/۶۷ و ۰/۳۴ درصد شد؛ اما در رقم پیشتاز موجب افزایش سختی دانه به میزان ۴ درصد شد. مقایسه دو رقم در شرایط بدون تنش و تنش خشکی نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش پروتئین دانه در رقم نوید نسبت به پیشتاز به میزان ۱/۵۷ درصد شد. به طور کلی تأثیر تنش خشکی با توجه به کاهش نشاسته و افزایش درصد گلوتن مرطوب، پروتئین دانه و جذب آب، باعث کاهش کیفت نانوایی در هر دو رقم گندم شد؛ اما در رقم نوید (با کیفیت نانوایی متوسط تا ضعیف) کاهش تراکم و دانسیته گرانول های نشاسته بر اثر خشکی محسوس‌تر بود که نشان از آسیب پذیرتر بودن رقم نوید در کیفیت نانوایی نسبت به رقم پیشتاز در برابر تنش خشکی بود.

واژه‌های کلیدی: حجم نان، گرانول، گلوتن، نشاسته گندم

مقدمه

تنش‌های غیرزیستی مانند تنش‌های شوری و خشکی به‌عنوان محدودیت‌های اصلی برای رشد بهینه گیاهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک شناخته می‌شوند (Cheraghi *et al.*, 2023). درک بهتر اثرات دمای بالا و تنش خشکی مهم است زیرا با توجه به پیش‌بینی‌های انجام شده و تغییرات فصلی دما، خشکسالی را پیش رو داریم.

تقریباً نیمی از کل نیازهای غذایی انسان‌ها به ویژه در آسیا به طور مستقیم از غلات تأمین می‌شود. توسعه غلات به شدت تحت تأثیر تنش‌های محیطی است (Abid *et al.*, 2018). گندم از سازگارترین گونه‌های غلات در شرایط آب و هوایی متفاوت می‌باشد. نشاسته و پروتئین‌ها اجزای اصلی در اندوسپرم گندم هستند که بر کیفیت محصول نهایی آن تأثیر می‌گذارند. تجارت جهانی آن، بیش از سایر محصولات کشاورزی است و حدود ۷۰ درصد از اراضی زیر کشت آن، در مناطق خشک و نیمه خشک قرار گرفته است (Yan and Shi, 2013). گندم در برابر خشکی مقاومت زیادی ندارد اما می‌تواند تا حدودی با شرایط خشک تطبیق داده شود. از آنجایی که گندم مهمترین محصول در سراسر جهان است، تحمل تنش نقش مهمی در امنیت غذایی ایفا می‌کند (Cheraghi *et al.*, 2023) و باید اولویت مقابله با چالش‌های امنیت غذایی جهانی در نظر گرفته شود (Razzaq *et al.*, 2023).

نشاسته مهمترین محصول نهایی رشد و نمو گندم است (Shevkani *et al.*, 2017). نشاسته ۶۳ تا ۷۷ درصد از وزن کل دانه خشک گندم را به خود اختصاص داده است و به شدت تحت تأثیر عوامل محیطی است. ترکیب نشاسته در گندم تأثیر تعیین کننده‌ای بر کیفیت دانه، فرآوری آرد و عملکرد دارد (Kumar *et al.*, 2019). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و

کاربرد نهایی نشاسته گندم با ساختار گرانول‌های نشاسته و توزیع آمیلوز و آمیلوپکتین ارتباط تنگاتنگی دارد. خصوصیاتی مانند محتوای آمیلوز و توزیع اندازه گرانول نشاسته بر درجه تخریب نشاسته، میزان جذب آب، گسترش حجم، ویژگی‌های هضمی، رفتار چسبندگی و دمای ژلاتینه تأثیر می‌گذارد (Zhang (a) *et al.*, 2016). در نشاسته گندم دو نوع گرانول A و B و به مقدار کم گرانول نوع C وجود دارد (Zhang (b) *et al.*, 2016). ساختار داخلی گرانول A و B از لحاظ ترکیبات، اندازه، دمای ژلاتینه شدن، خواص فیزیکی و شیمیایی و عملکردی تا حدی با یکدیگر متفاوت هستند که منجر به تغییراتی در قدرت تورم، ژلاتینه شدن و خواص چسبندگی می شود (Li *et al.*, 2016).

وضعیت آب خاک به ویژه در طول توسعه دانه، احتمالاً مهمترین عامل محیطی مؤثر بر عملکرد و کیفیت دلنه در غلات باشد (Lu *et al.*, 2019). نتایج نشان دادند که افزایش یک درجه سانتی‌گراد به دمای متوسط جهانی، باعث کاهش حدود ۶ درصدی تولید بذر گندم می‌شود (Asseng *et al.*, 2015). گندم برای تمام طول دوره رشد نیاز به آب دارد، اما در بعضی مراحل کمبود آب موجب آسیب بیشتر و کاهش قابل ملاحظه عملکرد می‌شود (Mahpara *et al.*, 2014). تغییرات قابل اندازه‌گیری در اواخر پر شدن دانه‌ها می‌تواند اثر انباشته شده از مراحل اولیه باشد (Ambardekar *et al.*, 2011). تنش آب، در غیر از مراحل بحرانی رشد (مراحل ساقه‌دهی، سنبله‌دهی و مراحل اولیه تشکیل دانه)، تأثیر کمی بر عملکرد دانه گندم نسبت به رشد کلی گیاه دارد. تنش در مرحله پر شدن دانه ممکن است تأثیر بیشتری بر گندم بگذارد، زیرا باعث کاهش مدت زمان پر شدن دانه و تسریع رسیدگی شود (Altenbach *et al.*, 2003) که منجر به تغییرات اساسی در اندازه دانه و توزیع گرانول‌های نشاسته و همچنین عملکرد محصول شود.

در برخی موارد، تغییرات سال به سال در آب و هوا، تغییر در فصول کاشت یا رشد در مکان‌های مختلف، ممکن است گاهی اوقات تأثیر بیشتری بر عملکرد نشاسته نسبت به تفاوت ژنوتیپی داشته باشد. تنش خشکی باعث تغییر در ترکیب و ساختار نشاسته شده و باعث کمتر شدن اندازه دانه می‌شود (Thitisaksakul *et al.*, 2012). کاهش رطوبت نسبی (کمتر از ۴۰ درصد) و مدت زمان محسوس معمولاً با کاهش کیفیت نانوایی همراه است. معیارهای ارزیابی کیفیت نانوایی شامل خصوصیات ظاهری (شکل، پر بودن، درصد رطوبت و ....) و خصوصیات درونی دانه (درصد پروتئین، سختی دانه، درصد جذب آب و حجم نان) می‌شود. نشاسته به عنوان یک مولکول کلیدی در پاسخ گیاه به تنش‌هایی مانند خشکی شناخته شده است. از طرفی قابلیت هضم نشاسته به اندازه گرانول، محتوای آمیلوز و آمیلوپکتین و مقاومت نشاسته بستگی دارد. اندازه ذرات آرد می‌تولند بر میزان نفوذ آب، کیفیت خمیر و در نهایت بافت نان مؤثر باشند. در صورت آسیب به نشاسته آرد گندم از ایجاد یک شبکه گلوتن مناسب در خمیر جلوگیری کرده و به عنوان عوامل کاهش کیفیت تولید نان در نظر گرفته می‌شوند (Santiago *et al.*, 2015).

شناخت ویژگی‌های مربوط به تحمل گیاه در مقابله با تنش ها و نیز افزایش عملکرد از اهمیت ویژه‌ای برای اصلاح و معرفی ارقام پر محصول و متحمل به تنش برخوردار است. کیفیت نانوایی آرد گندم محصول نهایی تعامل میان اجزاء مهم اندوسپرم یعنی نشاسته، پروتئین، لیپید، آب و ... است. پروتئین و نشاسته نه تنها به‌طور مستقیم بلکه بطور غیر مستقیم از طریق ایجاد پیوندها و اثر بر واکنش‌های مختلف می‌توانند بر کیفیت نانوایی اثر چشمگیری داشته باشند. به همین دلایل شناخت و بررسی آن در طی بروز تنش خشکی به عنوان مهمترین ساختار زیستی گندم از دیدگاه اقتصاد کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بررسی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیکوشیمیایی گرانول‌های نشاسته در انواع گندم تحت تنش خشکی ممکن است بینشی در مورد مکانیسم‌ها و تنظیم بیوسنتز نشاسته گندم فراهم کند و به طور بالقوه می‌تواند اطلاعات مفیدی برای پرورش انواع گندم مقاوم به خشکی با خواص نشاسته خوب و پتاسیل عملکرد بالا را ارائه دهد. هدف از این پژوهش تأثیر تنش خشکی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بذر دو رقم گندم نان ایرانی با کیفیت‌های نانوایی بالا و پایین و مقایسه آنها بر شاخص‌های کیفی محصولات نانوایی و معرفی رقم برتر در شرایط خشک‌سالی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

دو رقم گندم در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شاهد تهران (طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۸ دقیقه شمالی،

عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا ۱۱۹۰ متر و میانگین بارندگی ۲۱۶ میلی‌متر) در آبان ماه سال ۱۳۹۸کشت شد و هر تکرار شامل دو ردیف محصول به طول ۲/۵ متر و فاصله ۲۵ سانتی‌متر بود. رقم‌های گندم نان با نام نوید با کیفیت نانوایی متوسط تا ضعیف و پیشتاز با کیفیت نانوایی بالا انتخاب شدند. رقم نوید با شجره (Kirkpinar 79) 63-112/66-2×7C، مبدأ ترکیه و آمریکا و رقم پیشتاز با شجره Alvand//Aldan/Ias58، مبدأ الوند × لاین برزیلی است (موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، ۱۳۹۴). هر دو رقم دارای شرایط بدون تنش خشکی با آبیاری هفته‌ای یک‌بار و تیمار تنش خشکی با قطع آبیاری در مرحله به خوشه رفتن و پیش از مرحله تشکیل دانه بود (معیار خشکی معادل پتانسیل اسمزی خاک برابر منفی ۱۲/۷ بار[1] بود). ۳۵ روز بعد از گرده افشانی، برداشت بذرهای هر گیاه بطور جداگانه از دو سوم میانی سنبله انجام گردید.

برای تعیین میزان نشاسته کل، ۱۰۰ گرم از تمام تیمارها به طور جداگانه در آب قرار داده شد، آب آنها هر روز عوض می‌شد. بعد از ۴ روز که دانه‌ها نرم شدند، آنها را در دستمال تمیزی گذاشته و با فشار زیاد، آب شیری رنگ را از آن خارج شد. آب شیری را در محل ثابتی قرار داده شد تا نشاسته ته نشین شود. مایع رویی با پیپت پاستور خارج و نشاسته ته نشین شده در سایه قرار داده شد تا کاملا خشک شود (and Olson's, 1984 Knight). درصد گلوتن مرطوب و شاخص گلوتن با دستگاه گلوتن‌شوی[2] (Perten- GM 2200, Sweden) و سانتریفیوژ مخصوص آن (Perten-CF2015, Sweden) با ۱۰ گرم آرد انجام شد. برای جداسازی گرانول‌های A و B ابتدا ۱۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر استریل به ازای هر گرم نشاسته (استخراج شده در مرحله قبل) به لوله فالکون‌های ۵۰ میلی‌لیتری اضافه شد. سپس به مدت ۵ دقیقه با ۱۳×g سانتریفیوژ گردید. پس از انجام سانتریفیوژ، مایع رویی که حاوی گرانول‌های کوچکتر است جدا و به لوله فالکون دیگری منتقل شدند. این کار حداقل باید ۲۰ مرتبه تکرار شود. رسوب نهایی دارای گرانول‌های A نشاسته می‌باشد. کلیه مایع‌های رویی در این ۲۰ تکرار که داری گرانول‌های B بودند در یک‌جا جمع شدند (Naguleswaran *et al.*, 2012). مقدار گلوتن مرطوب بنا بر استاندارد شماره ۱۳۷ انجمن بین المللی شیمی غلات (International Association for Cereal Chemistry = ICC) با استفاده از رابطه های شماره (۱) بدست آمد.

1 (ICC = International Association for Cereal Chemistry)

$$\text{Glu (t)} = \text{Glu (s)} + \text{Glu (w)}$$

$$\text{Glu (i)} = \left(\frac{Glu\,(s)}{Glu\,(t)}\right) \times 100$$

Glu (t)، Glu (s)، Glu (w) و Glu (i) به ترتیب گلوتن کل، گلوتن قوی، گلوتن ضعیف و شاخص گلوتن.

از کلیه نمونه‌ها را به آرد تبدیل شده و ۱۰ گرم از هر تکرار در دستگاه طیف سنج مادون قرمز (NIR-Near Infrared Spectroscopy) مدل PERTEN INFRAMATIC 8600 قرار گرفت و درصد پروتئین دانه، حجم رسوب زلنی، حجم نان، رطوبت آرد، شاخص سختی و جذب آب در آرد در آزمایشگاه واحد شیمی و تکنولوژی بخش تحقیقات غلات موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج مطابق با استانداردهای انجمن بین‌المللی علوم و تکنولوژی غلات (ICC) اندازه‌گیری شد. در نهایت بررسی نشاسته کل و گرانول‌های تفکیک شده با دستگاه طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (Fourier-spectroscopy transform infrared) FT-IR مدل Bruker Tensor 27 انجام شد. نمونه‌ها با وضوح ۰/۴۴ ثبت شدند و قبل از استفاده با KBr آبدار (۱ به ۱۰۰) (w/w) رقیق شد و مقدار پس زمینه از KBr خالص قبل از اسکن نمونه به دست آمد (Koksel *et al.*, 2008). این روش یک روش حساس، سریع و غیر مخرب است که با شناسایی گروه‌های عاملی ترکیبات، به یافتن ساختار یک ترکیب کمک می‌کند و شدت طیف‌های مرتبط با ترکیب مولکولی یا محتوای گروه شیمیایی را تعیین می‌کند. به منظور تعیین بیشتر ساختار نشاسته گندم از FT-IR استفاده شد. نمودارها در منطقه ۵۰۰ تا ۴۰۰۰ cm^{-1} (منطقه مادون قرمز متوسط) قرار داده شد. پیوندها حداکثر در ۷ قله اصلی ۳۵۰۰، ۳۰۰۰، ۱۶۰۰، ۱۴۰۰، ۱۰۰۰، ۸۰۰ و ۵۰۰ cm^{-1} نشان داده شدند (Koksel *et al.*, 2008). قله ۳۴۰۵ cm^{-1} مربوط به کشش پیوند O–H، قله ۲۹۳۰ cm^{-1} مربوط به کشش پیوند C–H، باندهای ۱۶۷۰ ~ ۱۶۰۰ cm^{-1} به ارتعاشات خمشی H_2O، قله‌های ۱۴۲۰ cm^{-1} و ۱۳۶۶ cm^{-1} مربوط به حالت خمشی H-C-H، C-H و O-H، قله‌های محدوده ۱۳۰۰ ~

[1] Bar

[2] Gluten Washer

۱۰۰۰ cm^{-1} مربوط به کشش C-O-H، قله‌های ۱۱۵۵، ۱۰۹۷ و ۱۰۱۹ cm^{-1} به عنوان کشش پیوند C-O و قله های ۸۰۰ تا ۱۳۰۰ cm^{-1} عمدتاً مربوط به ارتعاشات کششی C-O و C-C است و به تغییرات ساختار پلیمر و هیدراته شدن نشاسته حساس است (Htoon *et al.*, 2009). قله ۱۰۲۲ cm^{-1} بخش‌های بی‌شکل و قله‌های در ۱۰۲۲ ~ ۱۰۴۸ cm^{-1} بخش‌های بلوری را نشان می‌دهند.

آنالیزهای آماری با نرم‌افزار SAS (نسخه ۹.۴) و مقایسه میانگین‌ها با آزمون t tests در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

درصد نشاسته کل

بر اساس نتایج این آزمایش در هر دو رقم گندم مورد مطالعه در شرایط تنش خشکی درصد نشاسته کل به صورت معنی‌داری کمتر از شرایط بدون تنش بود. در رقم پیشتاز با کاهش ۱/۵۶ درصدی و در رقم نوید با کاهش ۲/۰۸ درصدی بود (جدول ۱). همچنین بین دو رقم در دو شرایط بدون تنش خشکی و تنش خشکی میزان نشاسته در رقم نوید با اختلاف معنی‌داری کمتر بود.

نشاسته از اجزای اصلی اندوسپرم گندم و بر کیفیت محصول نهایی تأثیرگذار است (Kumar *et al.*, 2016). در واقع نشاسته مهمترین محصول نهایی رشد و نمو گندم است (Thitisaksakul *et al.*, 2012) و تغییر در محتوای نشاسته شاخص انواع فرآیندهای رشد گیاه است. در شرایط تنش نشاسته ذخیره شده انرژی و کربن مورد نیاز گیاه را تأمین می‌کند. تغییرات رطوبت خاک، مکان رشد، الگوهای بارندگی و رطوبت هوا نشان داده شده است که بر عملکرد نشاسته تأثیر می‌گذارد. محیط‌های تنش‌زا از جمله خشکی به صورت پایدار یا دوره‌ای می‌توانند بیوسنتز و تجمع نشاسته را در اندوسپرم غلات تغییر دهند (Dang and Copeland, 2004). در واقع خواص اسمزی خاک می‌تواند نشاسته دانه را تحت تأثیر قرار دهد (Brennan *et al.*, 2012). یکی از اولین آنزیم های سنتز نشاسته، گلوکز۱ فسفات آدنیلیل ترانسفراز است که فعالیت آن در شرایط تنشی به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Majoul *et al.*, 2003). ثابت شده است که تنش خشکی با تنظیم فعالیت آنزیم‌های بیوسنتز نشاسته، مانند GBSS[1]، SSS[2] و AGPase[3] بر سنتز نشاسته تأثیر می‌گذارد (Zhang *et al.*, 2012). در شرایط تنش خشکی شدید از دست رفتن فعالیت AGPase منجر به توقف زودرس تجمع نشاسته می‌شود (Ahmadi and Baker, 2001).

در پژوهشی نشان دادند هر چه زمان بین گلدهی و رسیدگی دانه کمتر باشد، دانه‌ها کوچکتر شده و مواد نشاسته‌ای کمتری دارند و بلوغ زودتر نسبت به شرایط بدون تنش خشکی داشتند (Ratnayake and Jackson, 2008). کاهش در میزان تجمع نشاسته و پایان زودرس تجمع نشاسته مسلماً رسوب نشاسته را محدود کرده و منجر به کاهش محتوای نشاسته می‌شود. به دلیل تداخل فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سلول‌های حساس در استقرار اندام و فعالیت بیوسنتز نشاسته، تنش خشکی زمان شروع و پر شدن دانه را تسریع نموده و تجمع نشاسته را کاهش داده که موجب تغییر بهره‌وری تولید گندم می‌شود (He *et al.*, 2012). تنش خشکی باعث کمتر شدن محتوای آمیلوز و اندازه دانه می‌شود. آنزیم‌های بیوسنتز نشاسته در ژنوتیپ‌های مختلف با تغییر در شرایط محیطی متفاوت تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Thitisaksakul *et al.*, 2012). پژوهش‌های دیگری نیز به نتیجه مشابهی دست یافتند و نشان دادند تنش خشکی باعث کاهش محتوای نشاسته گندم می‌شود (Chen *et al.*, 2021; Yu *et al.*, 2016).

درصد گلوتن مرطوب

در این آزمایش (جدول ۱ و ۲) در هر دو رقم تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار گلوتن مرطوب نسبت به شرایط بدون تنش شد که برای رقم پیشتاز این اختلاف با افزایش ۱۱ درصدی و برای رقم نوید در سطح ۵ درصد با افزایش ۲/۶۶ درصدی بود. همچنین در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی رقم نوید با اختلاف معنی‌داری دارای گلوتن بیشتری به ترتیب ۱۳ درصد و ۴/۶۶ درصد نسبت به پیشتاز بود. نتایج نشان دادند هر چه زمان بین گلدهی و رسیدگی دانه کمتر باشد، دانه‌ها کوچکتر شده و درصد گلوتن آن افزایش خواهد یافت.

[1] Granule Bound Starch Synthase
[2] Soluble Starch Synthase
[3] ADP-glucose pyrophosphorylase

جدول ۱- تجزیه واریانس برخی از صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی

Table 1- Analysis of variance of some morphological and physiological traits

ارقام Cultivars	تیمار Treatments	درجه آزادی df	میانگین مربع Mean Square		
			نشاسته کل Total starch (%)	گلوتن مرطوب Wet Gluten (%)	شاخص گلوتن Gluten Index
P.	(C. & D.)	1	366.607 *	181.500 *	1.540 ns
	Error	4	92.212	1.00	1.025
N.	(C. & D.)	1	653.126 *	10.667 *	87.631 *
	Error	4	33.746	0.667	0.985
(P. & N.)	C.	1	840.167 *	253.500 *	1897.837 *
	Error	4	9.542	1	1.015
(P. & N.)	D.	1	1252.815 *	32.667 *	2933.997 *
	Error	4	35.083	0.667	0.995

* و ns به ترتیب نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد و عدم معنی‌دار بودن هستند.

(رقم پیشتاز = .P، رقم نوید = .N، بدون تنش = .C، تنش خشکی= .D)

ns and * no significant and of significant at the 5% levels of probability respectively

(D. = Drought stress, C. = Without stress, N. =Navid cultivar, P. =Pishtaz cultivar)

جدول ۲- مقایسه میانگین برخی از صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی

Table 2- Average comparison of some morphological and physiological traits

ارقام Cultivars	تیمار Treatments	نشاسته کل Total starch (%)	گلوتن مرطوب Wet Gluten (%)	شاخص گلوتن Gluten Index
P.	C.	44.94 a	29 b	96.54 a
P.	D.	43.38 b	40 a	97.56 a
N.	C.	42.58 a	42 b	60.97 a
N.	D.	40.49 b	44.66 a	53.33 b

(رقم پیشتاز = .P، رقم نوید = .N، بدون تنش = .C، تنش خشکی= .D)

(D. = Drought stress, C. = Without stress, N. =Navid cultivar, P. =Pishtaz cultivar)

گلوتن مهمترین ماده پروتئینی در گندم است و ۸۰ درصد آن را گلیادین[1] و گلوتنین[2] تشکیل داده‌اند و هر دو در آب نامحلول هستند. گلوتنین‌ها پروتئین‌های پلی‌مری با بلندهای دی سولفیدی بین و درون ملکولی هستند. پروتئین‌های گلیادین نیز به چهار گروه طبقه‌بندی می‌شوند. گلیادین‌ها قابلیت کشسانی خمیر را افزایش می‌دهند. این ماده بسیار مهم و حیاتی در گندم با پروتئین سایر غلات فرق داشته و چون حالت الاستیکی دارد خاصیت نانوایی با کیفیت بالا را می‌دهد. گلوتن گندم صفت پیچیده‌ای است که تحت تأثیر تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد. ذخیره پروتئین‌های گلیادین در اثر وجود پروتئین‌های شوک حرارتی (که به واسطه تنش افزایش یافته‌اند) که در بالادست ژن‌های کنترل کننده گلیادین قرار دارند انجام می‌گیرد. کاهش نسبت گلوتنین به گلیادین موجب ضعیف شدن خمیر و افت کیفیت نان خواهد شد. همچنین در تحقیق نیز افزایش درصد گلوتن را در شرایط تنش گزارش کردند (Ozturk and Ydin, 2004). تحقیقات نشان داده است که انواع گندم با کیفیت بالا حاوی گلوتن مرطوب کمتری هستند (Hu and Shang, 2007).

شاخص گلوتن

در این آزمایش (جدول ۱ و ۲) خشکی بر روی رقم پیشتاز تأثیری نداشت اما روی رقم نوید تأثیرگذار بود و باعث کاهش معنی‌دار شاخص گلوتن از ۶۰/۹۷ به ۵۳/۳۳ شد. همچنین در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی شاخص گلوتن به طور معنی‌داری در رقم پیشتاز بالاتر بود. به‌طوری‌که رقم پیشتاز در شرایط بدون تنش به میزان ۳۵/۵۷ و در شرایط تنش خشکی به میزان ۴۴/۲۳ افزایش داشت.

شاخص گلوتن یکی از معیارهای سنجش پروتئین گندم

[1] Gliadin

[2] Glutenin

اســـت که به طور همزمان امکان ارزیابی کمی و کیفی گلوتن را فراهم می‌کند (Bonfil and Posner, 2012). این شـــاخص به صـــورت نســـبت گلوتن مرطوب باقی‌مانده در یک غربال پس از ســـانتریفیوژ به کل گلوتن مرطوب بیان می‌شـود. این شـاخص با ارزیابی اســـتحکام گلوتن ارتباط داشـــته و با ســـدیم دودوســـیل ســولفات همبســتگی دارد. شـاخص گلوتن نشـان دهنده نسـبت گلوتن مرغوب بـه گلوتن نـامرغوب و در واقع گویـای کیفیـت گلوتن اســت (Aja *et al*., 2004) و ارزش نانوایی ارقام مختلف گنـدم بـه مقـدار و نوع گلوتن موجود در بـذر اســـت. از عوامـل اساسی مؤثر در بهبود کیفیت نان و بازه اقتصادی شاخص گلوتن می‌باشـد. برخی محققین نشـان دادند که انواع گندم با کیفیت بالا حاوی شـاخص گلوتن بالاتری هســتند (Hu and Shang, 2007). در تحقیقی دیگر نیز کاهش شاخص گلوتن را در شرایط خشکی گزارش کردند (Eivazi *et al*., 2006).

درصد پروتئین دانه

در این آزمایش (جدول ۳ و ۴) تنش خشـکی در هر دو رقم به طور معنی‌داری باعث افزایش پروتئین دلنه شـــد. به‌طوری‌که رقم پیشتاز از ۱۳/۷ درصد به ۱۶/۹ درصد و رقم نوید از ۱۴/۰۳ درصـد به ۱۵/۳۳ رسـید. همچنین در شـرایط بدون تنش بین میزان درصـــد پروتئین دو رقم تفاوتی وجود نداشـــت اما تنش خشـــکی باعث افزایش معنی‌دار درصـــد پروتئین دانه به میزان ۱/۵۷ درصـدی در رقم نوید نسـبت به پیشـتاز شـد. ثابت شـده است کاهش نشاسته در شرایط تنش باعث به هم خوردن نسبت پروتئین به نشـــاســـته و افزایش میزان پروتئین در واحد حجم می‌شود (Isvand *et al*., 2005).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات سنجش شده با دستگاه NIR

Table 3- Variance analysis of traits measured with NIR device

ارقام Cultivars	تیمار Treatments	درجه آزادی df	میانگین مربع Mean Square					
			پروتئین Protein (%)	رسوب زلنی ZEL(%)	حجم نان RMT (%) (ml)	رطوبت آرد Moisture (%)	شاخص سختی H.I(%)	جذب آب در آرد F.W.A(%)
P.	(C. & D.)	1	15.360 *	48.167 *	4.167 ns	0.201 ns	24 *	5.415 *
	Error	4	0.110	0.167	489.333	0.122	1.5	0.028
N.	(C. & D.)	1	2.535 *	6 *	1504.167 *	0.167 *	0.667 ns	2.2817 *
	Error	4	0.013	0.5	23.667	0.003	0.167	0.033
(P. & N.)	C.	1	0.167 ns	1.5 ns	16748.1667 *	6.202 *	204.167 *	18.375 *
	Error	4	0.107	0.5	463.667	0.029	1.667	0.058
(P. & N.)	D.	1	3.682 *	32.667 *	8588.1667 *	2.667 *	322.667 *	26.042 *
	Error	4	0.0167	0.167	49.333	0.097	0.1667	0.003

* و ns به ترتیب نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ و عدم معنی‌دار بودن هستند.

(رقم پیشتاز = .P، رقم نوید = .N، بدون تنش = .C، تنش خشکی= .D)

ns and * no significant and of significant at the 5% levels of probability respectively

(D. = Drought stress, C. = Without stress, N. =Navid cultivar, P. =Pishtaz cultivar)

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات سنجش شده با دستگاه NIR

Table 4- Comparison of average traits measured with NIR device

ارقام Cultivars	تیمار Treatment	پروتئین Protein (%)	رسوب زلنی ZEL (%)	حجم نان B.V. (%)(ml)	رطوبت آرد Moisture (%)	شاخص سختی H.I. (%)	جذب آب در آرد F.W.A. (%)
P.	C.	13.70 b	28 b	462.33 a	6.23 a	54 b	67.13 b
P.	D.	16.90 a	33.66 a	460.67 a	6.60 a	58 a	69.03 a
N.	C.	14.03 b	27 b	568 a	8.27 a	42.33 a	63.63 b
N.	D.	15.33 a	29 a	536.33 b	7.93 b	43 a	64.87 a

(رقم پیشتاز = .P، رقم نوید = .N، بدون تنش = .C، تنش خشکی= .D)

(D. = Drought stress, C. = Without stress, N. =Navid cultivar, P. =Pishtaz cultivar)

(ZEL= Zeleny Sedimentation, B.V.= Bread Volume, H.I.= Hardness Index, F.W.A.= Water Absorption in Flour)

ارقام متنوع گندم از نظر درصد پروتئین و ارزش غذایی با هم متفاوت هستند و کیفیت هیچکدام با دیگری برابر نیست و این میزان بین ۷ تا ۱۸ درصد متغیر است (Cervantes-Pahm *et al*., 2014). میزان پروتئین دانه بیشتر تحت تأثیر عوامل و شرایط محیطی مانند رطوبت قابل دسترس در طول فصل زراعی مخصوصاً در مرحله تشکیل و پرشدن دانه می‌باشد (Belderok *et al*., 2000). البته لازم به ذکر است معمولاً اندازه‌گیری مقدار پروتئین گندم، کیفیت گندم و به تبع آن کیفیت نان را پیش‌بینی نمی‌کند، زیرا گندم‌هایی وجود دارند که درصد پروتئین بالایی دارند اما کیفیت نانوایی مطلوبی ندارند. در تحقیقی نشان داده شد خشکی باعث افزایش میزان پروتئین دانه می‌شود (Eivazi *et al*., 2006). در پژوهشی دیگر نیز گزارش کردند تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه باعث افزایش میانگین محتوای پروتئین دانه شد (Pierre *et al*., 2008). در مطالعاتی علت افزایش میزان پروتئین دانه در تنش خشکی را ناشی از تأثیر کمتر تنش بر شاخص برداشت نیتروژن در مقایسه با شاخص برداشت ماده خشک می‌دانند. یکی دیگر از دلایل افزایش درصد پروتئین در شرایط تنش، انباشت پروتئین های شوک حرارتی می‌تواند باشد. غلظت پروتئین در مقایسه با ترکیب پروتئین اثر بیشتری بر کیفیت آرد دارد. بنابراین تغییرات محیطی مانند تنش خشکی که غلظت پروتئین را افزایش می‌دهند به علت تغییر در نسبت اسیدآمینه‌های لندوخته شده، موجب کاهش کیفیت گندم می‌شوند (Gooding *et al*., 2003). در پژوهشی نشان دادند تنش خشکی بر افزایش تجمع پروتئین آندوسپرم تأثیر گذاشت (Chen *et al*., 2021).

درصد حجم رسوب زلنی

در سنجش درصد حجم رسوب زلنی (جدول ۳ و ۴) در شرایط تنش خشکی در هر دو رقم افزایش را شاهد بودیم که در رقم پیشتاز با اختلاف معنی‌دار از ۲۸ به ۳۳/۶۶ درصد و در رقم نوید با اختلاف معنی‌دار از ۲۷ به ۲۹ درصد بود. در شرایط بدون تنش اختلاف معنی‌داری در درصد رسوب زلنی مشاهده نشد اما در شرایط تنش خشکی با اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد، افزایش درصد حجم رسوب زلنی در رقم پیشتاز به میزان ۴/۶۶ درصد را شاهد بودیم.

یکی از مهمترین صفات مرتبط با کیفت نهایی دلنه گندم درصد حجم رسوب زلنی است (Haghparast *et al*., 2009). در این سنجش پروتئین گلوتن آرد گندم متورم شده و به شکل رسوب در مدت زمان معینی ته نشین می‌شود، هر چه محتوای گلوتن بیشتر و کیفیت بهتر گلوتن باعث رسوب آهسته‌تر و افزایش عدد زلنی می‌شود. هر چه این عدد بالاتر باشد کیفت نان بهتری خواهد داشت. در پژوهشی نیز حجم رسوب زلنی بیشتری را در شرایط خشکی برای گندم دوروم گزارش کردند (Barić *et al*., 2006). اما در پژوهشی دیگر بر خلاف این نتایج نشان دادند که خشکی باعث کاهش ۲/۸ درصدی رسوب زلنی در گندم نان می‌شود (Tatar *et al*., 2020). همچنین در تحقیق دیگری اثر معنی‌دار خشکی بر رسوب زلنی دانه گندم مشاهده نکردند (Barutcular *et al*., 2016).

درصد حجم نان

در سنجش درصد حجم نان (جدول ۳ و ۴) خشکی تأثیر معنی‌داری در رقم پیشتاز نداشت اما در رقم نوید تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار درصد حجم نان شد. همچنین در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی رقم نوید به طور معنی‌داری دارای درصد حجم نان بالاتری بود. بر خلاف این تحقیق در پژوهشی دیگر نشان داده شد خشکی با حجم نان همبستگی مثبت دارد و همراه با افزایش گلیادین و گلوتنین بودند (Rekowski *et al*., 2021). در پژوهشی نشان دادند در شرایط خشکسالی بیشترین تأثیر منفی بر عملکرد خمیر حجم نان است (Tsenov *et al*., 2015). همچنین اثر کاهشی تنش خشکی بر حجم نان در پژوهشی دیگر گزارش شد (Li *et al*., 2013). در پژوهشی دیگر بالا بودن وراثت پذیری صفت حجم نان و پایین بودن اثرات محیطی مطرح شد (Pezeshkpour and Afkar, 2018).

درصد رطوبت آرد

در سنجش درصد رطوبت آرد (جدول ۳ و ۴) در رقم پیشتاز تنش خشکی تأثیر معنی‌داری نداشت. اما در رقم نوید خشکی با کاهش ۰/۳۴ درصدی به طور معنی‌داری باعث کاهش رطوبت دانه شد. در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی رقم نوید نسبت به رقم پیشتاز از رطوبت بالاتری با اختلاف معنی‌داری

برخوردار بود. به طوری که در شرایط بدون تنش افزایش رطوبت دانه ۲/۰۴ و در شرایط تنش خشکی ۱/۳۳ درصد بود. درصد رطوبت آرد از عامل‌های تأثیر گذار در کیفیت آرد مصرفی نانوایی می‌باشد. پایین یا بالا بودن رطوبت می‌تواند باعث افزایش خسارات به محصول در زمان برداشت و انبارداری شده و از طرفی می‌تواند تا حدودی هزینه‌های فرآیندهای پس از برداشت را زیادتر کند. به‌طوری‌که انبار گندم با میزان رطوبت بیشتر از ۱۳ تا ۱۴ درصد، باعث تشدید واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی شده و کیفیت آرد را پایین می‌آورد.

درصد شاخص سختی

در سنجش درصد شاخص سختی (جدول ۳ و ۴) در رقم پیشتاز در شرایط تنش خشکی با اختلاف معنی‌داری از ۵۴ درصد به ۵۸ درصد افزایش یافت. اما در رقم نوید تنش خشکی تأثیر معنی‌داری نداشت. در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی رقم پیشتاز دارای افزایش معنی‌داری نسبت به رقم نوید داشت. به‌طوری‌که در شرایط بدون تنش این افزایش ۱۱/۶۷ درصد و در شرایط تنش خشکی این افزایش معادل ۱۴/۶۷ درصد بود.

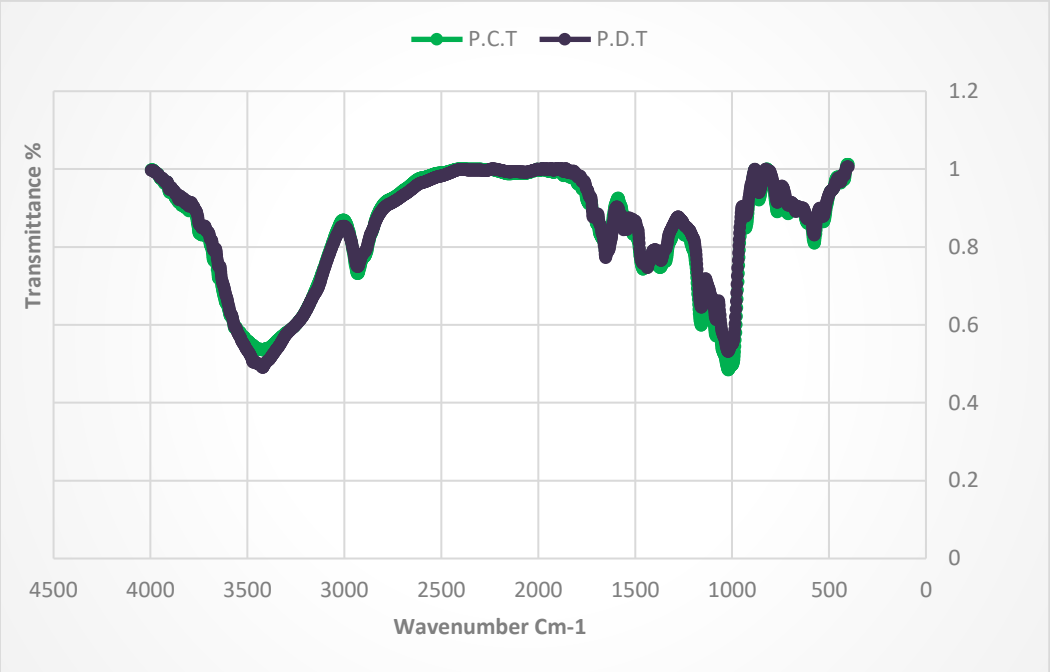
سختی گندم یکی از مهمترین عوامل در کیفیت و حجم نان است. همبستگی بسیار بالایی بین شاخص سختی و خواص رئولوژیکی خمیر و کیفیت گلوتن دیده شده است. همچنین سختی دانه گندم معیار خوبی برای تعیین کاربرد آرد حاصل از آن است. از طرفی سختی دانه نشان دهنده برخی خصوصیات مانند مقاومت در برابر حشرات و در برابر خرد شدن در طی حمل و نقل نیز می‌باشد. اکثر گندم‌هایی که پروتئین بالاتری دارند، سختی بالایی هم دارند (Arzani, 2002). با این استدلال که با افزایش سهم پروتئین دانه، فضاهای خالی بین سلول های اندوسپرم کم شده و در نتیجه سختی دانه افزایش می‌یابد. صفت شاخص سختی در کیفیت آسیاب نیز تأثیر می‌گذارد و دانه‌های سخت به نیروی بیشتری جهت آرد شدن نیاز دارند و خسارت نشاسته‌ای بیشتری خواهند داشت و برای خمیر شدن نیز به آب بیشتری نیاز دارند. البته شاخص سختی دانه از خواص فیزیکی صفات کیفی و با قابلیت توارث بالا بوده و کمتر تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرد. در تحقیقی نیز گزارش شد که در تنش خشکی و شوری شاخص سختی دانه در گندم افزایش یافت (Eivazi *et al*., 2006).

درصد جذب آب در آرد

در شرایط تنش خشکی در رقم پیشتاز درصد جذب آب در آرد به صورت معنی‌داری افزایش یافت و از ۶۷/۱۳ درصد به ۶۹/۰۳ درصد رسید (جدول ۳ و ۴). مشابه این نتایج در رقم نوید نیز مشاهده شد و از ۶۳/۶۳ درصد به ۶۴/۸۷ درصد رسید. همچنین در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی رقم پیشتاز دارای درصد جذب آب آرد بیشتری نسبت به رقم نوید بود، به‌طوری‌که در هر دو شرایط بدون تنش ۳/۵ درصد و در شرایط خشکی ۴/۱۶ درصد افزایش جذب آب در آرد را داشت. در پژوهشی نیز گزارش شد که در تنش خشکی درصد جذب آب در گندم افزایش یافت (Eivazi *et al*., 2006). در تحقیقی دیگر تنش خشکی حداقل تاثیر را بر صفات درصد جذب آب توسط آرد داشت (Guttieri *et al*., 2001). نسبت بالاتر گلوتنین به گلیادین تحت شرایط تنش خشکی ممکن است باعث استحکام بیشتر گلوتن و خمیر شود و همین امر همراه با افزایش جذب آب توسط آرد باشد (Rakszegi *et al*., 2019). افزایش جذب آب توسط آرد خواص رئولوژیکی خمیر اصلاح و توانایی آن برای نگهداری گاز و در نتیجه و در نتیجه افزایش حجم نان بهبود می‌یابد (Mis, 2003).

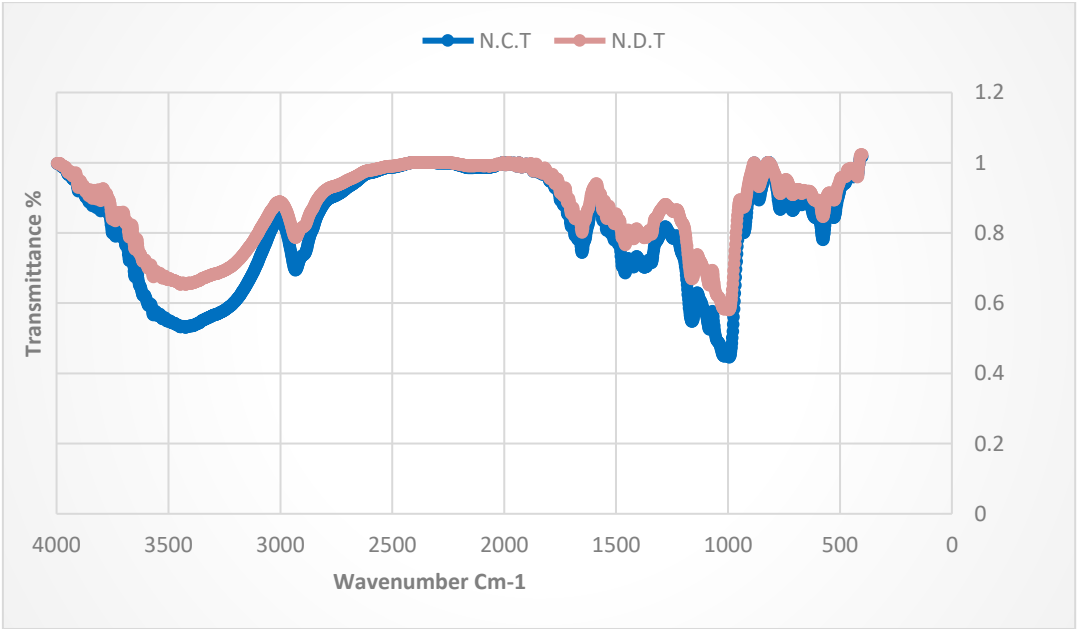
تحلیل ساختار نشاسته کل و گرانول A و B

در این پژوهش ساختار نشاسته کل و گرانول A و B توسط دستگاه FT-IR در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی در هر دو رقم بررسی شد. طیف‌سنجی FT-IR برهمکنش‌ها را با تمایز باندهای نماینده گروه‌های شیمیایی محاسبه می‌کند. بنابراین، این یک روش مفید برای بررسی فعل و انفعالات بین مولکولی نشاسته است. FT-IR به ساختارهای مرتبه کوتاه برد مارپیچ دوگانه حساس است. طیف‌سنجی FT-IR در این پژوهش نشان داده شد که نشاسته به خوبی استخراج شده است و آسیب ندیده است. برای نشاسته کل، گرانول A و B در رقم پیشتاز در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی همانطور که در اشکال ۱، ۳ و ۵ نشان داده می‌شود موقعیت قله‌ها هیچگونه تغییری را نشان ندادند. پس تنش خشکی در رقم پیشتاز عامل تغییرات مولکولی نشده و ساختار مولکولی همچنان ثابت باقی ماندند.



شکل ۱- مقایسه نمودارهای حاصل از دستگاه FT-IR نشاسته کل رقم پیشتاز در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی
(رقم پیشتاز = P.، نشاسته کل = T.، بدون تنش = C.، تنش خشکی= D.)

Figure 1- Comparison of the graphs obtained from the FT-IR device of the total starch of Pishtaz cultivar in two conditions without stress and drought stress
(D. = Drought Stress, C. = without stress, T. = Total Starch, P. =Pishtaz cultivar)

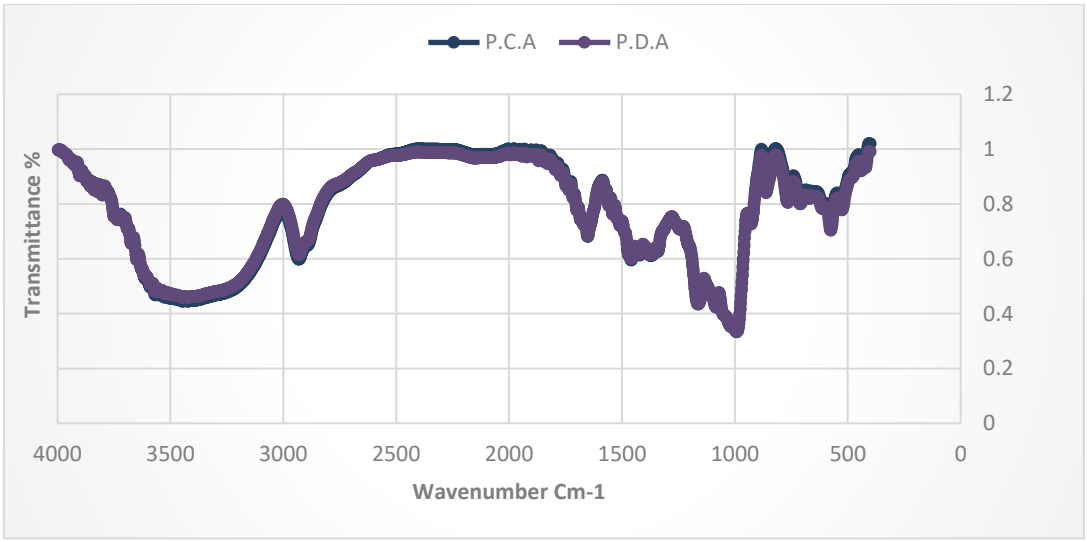


شکل ۲- مقایسه نمودارهای حاصل از دستگاه FT-IR نشاسته کل رقم نوید در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی
(رقم نوید = N.، نشاسته کل = T.، بدون تنش = C.، تنش خشکی= D.)

Figure 2- Comparison of the graphs obtained from the FT-IR device of the total starch of Navid cultivar in two conditions without stress and drought stress
(D. = Drought Stress, C. = without stress, T. = Total Starch, N. =Navid cultivar)

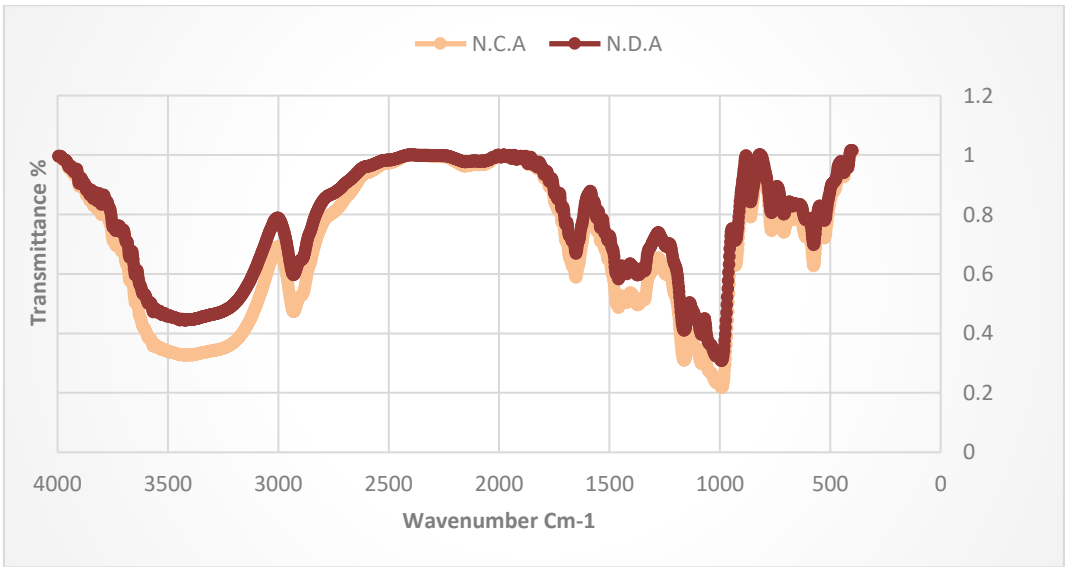
در رقم نوید نیز برای نشـــاســـته کل، گرانول A و B در دو شـرایط بدون تنش و تنش خشـکی همانطور که در اشـکال ۲، ۴ و ۶ نشـــان داده می‌شـــود، موقعیت قله‌ها هیچگونه تغییری نداشـــتند اما شـدت و دامنه یکی از پیک‌ها در محدوده کشـش

پیوند O–H (قله ۳۴۰۵ cm−1) در شـــرایط تنش خشـــکی کاهش نشـان دادند به‌طوری‌که در نشـاسـته کل از ۳۳ درصـد جذب به ۲۵ درصـد جذب رسـید، برای گرانول B باعث کاهش جزئی از ۸۸ درصد به ۸۰ درصد و برای گرانول A از ۶۸ درصد به ۵۵ درصد جذب رسید. همچنین در نشاسته کل و گرانول A رقم نوید به میزان کمی در قله مربوط به حالت خمشـــی C-H و H-C (قله‌های ۱۴۲۰ cm−1) کاهش صـــورت گرفت که برای گرانول A محسـوس تر بود و از ۵۰ درصـد به ۴۵ درصـد جذب رسـید. تغییرات ثبت شـده برای رقم نوید در شـرایط تنش خشـــکی می‌تواند به علت اثر تنش بر کاهش تراکم و دانســـیته گرانول‌های نشاسته توجیه کرد.



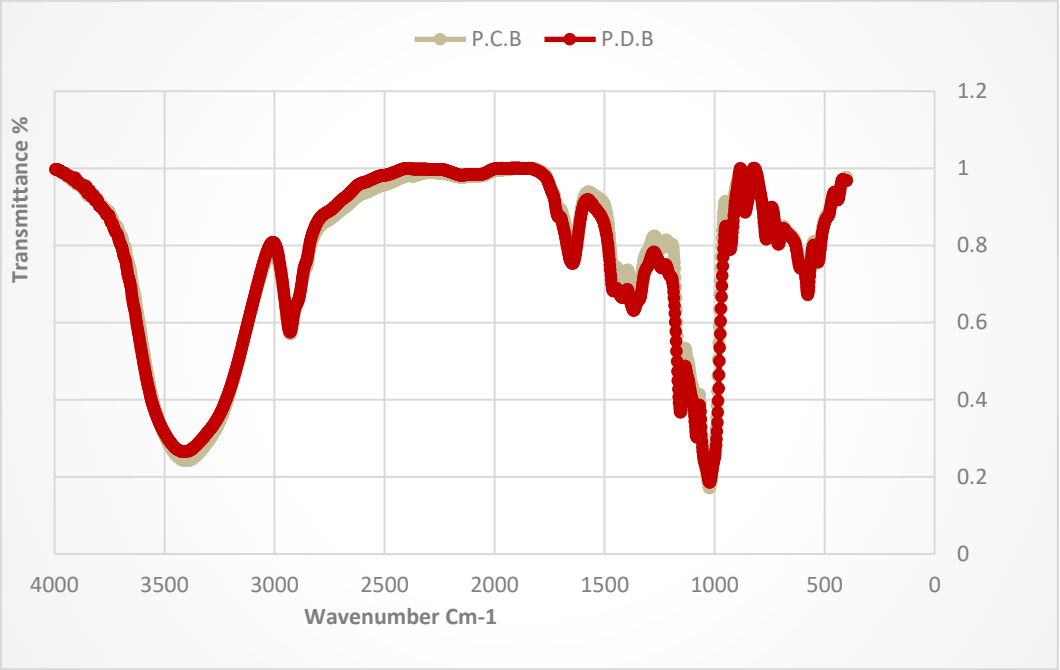
شکل ۳- مقایسه نمودارهای حاصل از دستگاه FT-IR گرانول A رقم پیشتاز در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی
(رقم پیشتاز = P.، گرانول A = A.، بدون تنش = C.، تنش خشکی= D.)

Figure 3- Comparison of the graphs obtained from the FT-IR device of the A granule of Pishtaz cultivar in two conditions without stress and drought stress
(D. = Drought Stress, C. = without stress, A. = A granule, P. = Pishtaz cultivar)



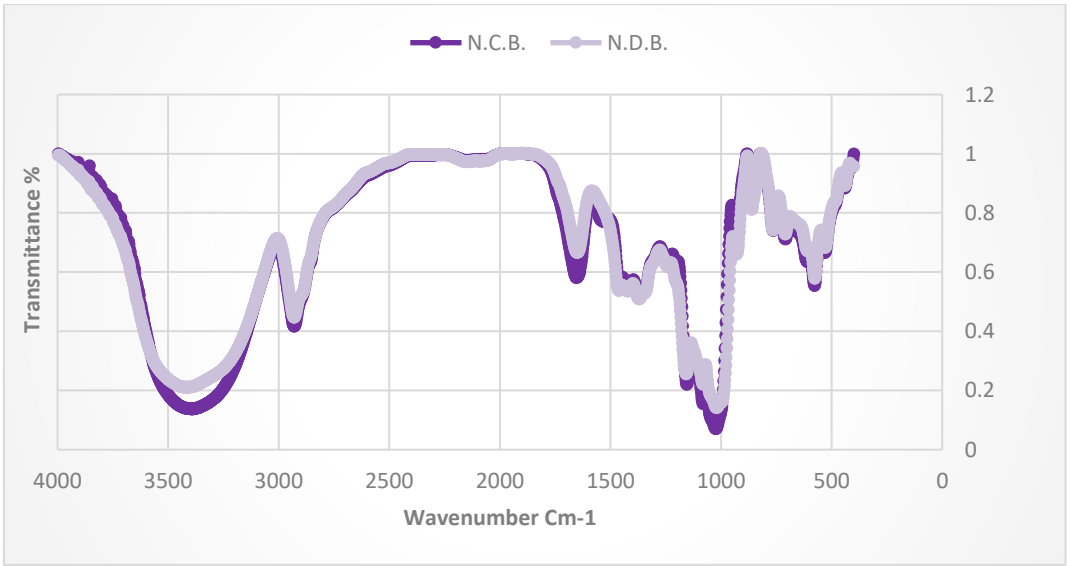
شکل ۴- مقایسه نمودارهای حاصل از دستگاه FT-IR گرانول A رقم نوید در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی
(رقم نوید = N.، گرانول A = A.، بدون تنش = C.، تنش خشکی= D.)

Figure 4- Comparison of the graphs obtained from the FT-IR device of the A granule of Navid cultivar in two conditions without stress and drought stress
(D. = Drought Stress, C. = without stress, A. = A granule, N. = Navid cultivar)



شکل ۵- مقایسه نمودارهای حاصل از دستگاه FT-IR گرانول B رقم پیشتاز در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی
(رقم پیشتاز = P.، گرانول B = B.، بدون تنش = C.، تنش خشکی= D.)

Figure 5- Comparison of the graphs obtained from the FT-IR device of the B granule of Pishtaz cultivar in two conditions without stress and drought stress
(D. = Drought Stress, C. = without stress, B. = B granule, P. = Pishtaz cultivar)



شکل ۶- مقایسه نمودارهای حاصل از دستگاه FT-IR گرانول B رقم نوید در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی
(رقم نوید = N.، گرانول B = B.، بدون تنش = C.، تنش خشکی= D.)

Figure 6- Comparison of the graphs obtained from the FT-IR device of the B granule of Navid cultivar in two conditions without stress and drought stress
(D. = Drought Stress, C. = without stress, B. = B granule, N. = Navid cultivar)

نتیجه‌گیری کلی

تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار نشاسته و افزایش گلوتن مرطوب و درصد پروتئین در هر دو رقم گندم شد. زیرا هر چه زمان بین گلدهی و رسیدگی دانه کمتر باشد درصد گلوتن آن افزایش خواهد یافت و خشکی باعث کوتاه شدن زمان بین گلدهی و رسیدگی دانه می‌شود. تنش خشکی روی شاخص

گلوتن رقم پیشـــتاز بی‌تأثیر اما باعث کاهش در رقم نوید شـــد. عدد این شاخص هر چه بالاتر باشد کیفت پخت بهتری را شاهد خواهیم بود. در مقایسه دو رقم در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی دیده شد که خشکی باعث افزایش درصد پروتئین دانه در رقم نوید نسبت به پیشتاز شد. هر چه درصد حجم رسوب زلنی بیشتر باشد کیفت پخت بهتر است و در هر دو رقم تنش خشـــکی باعث افزایش این درصـــد شـــد و این افزایش در رقم پیشتاز بیشتر از نوید بود. خشکی روی درصد حجم نان و درصد رطوبت آرد در رقم پیشـــتاز بی‌تأثیر بود اما در رقم نوید باعث کاهش شد. درصد سختی دانه که با پروتئین دانه ارتباط دارد در رقم پیشتاز خشکی باعث افزایش سختی دانه شد اما در رقم نوید بی تأثیر بود. در هر دو رقم، خشـــکی باعث افزایش درصـــد جذب آب آرد شد. در تحلیل ساختار نشاسته توسط دستگاه FT-IR نشـــان داده شـــد تنش خشـــکی در رقم پیشـــتاز عامل تغییرات مولکولی نشده است و ساختار مولکولی همچنان ثابت باقی ماند اما در رقم نوید شدت پیک‌ها در قله مربوط به کشش پیوند O–H در شرایط تنش خشکی کاهش یافت. به طور کلی تأثیر تنش خشـــکی باعث کاهش عملکرد و کیفت نانوایی هر دو رقم گندم شـــد؛ البته در رقم نوید با کیفیت نانوایی متوســـط تا ضعیف بیشتر بود که نشان از آسیب پذیرتر بودن این رقم نسبت به رقم پیشـــتاز در برابر تنش خشـــکی بود. همچنین نتایج این پژوهش می‌تواند بینشی را در مورد تأثیر مکانیسم‌های بالقوه از طریق خشک‌سالی بر فراساختارها و خواص فیزیکی و شیمیایی گندم ارائه دهد.

سپاسگزاری

بدین وســـیله از حمایت دانشـــگاه الزهرا و پژوهشـــگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری برای انجام این پژوهش تقدیر می گردد.

تعارض منافع

نویسندگان اظهار می‌نمایند که هیچ‌گونه تعارض منافعی در رابطه با نشر این مقاله وجود ندارد.

References

Abid, M., Tian, Z., Zahoor, R., Ata-Ul-Karim, S.T., Daryl, C., Snider, J.L. and Dai, T., 2018. Pre-drought priming: A key drought tolerance engine in support of grain development in wheat. *Advances in Agronomy*, *152*, pp.51-85. **doi: 10.1016/bs.agron.2018.06.001.**

Ahmadi, A. and Baker, D.A., 2001. The effect of water stress on the activities of key regulatory enzymes of the sucrose to starch pathway in wheat. *Plant Growth Regulation*, *35*, pp.81–91. **doi: 10.1023/A:1013827600528.**

Aja, S., Perez, G. and Rosell, C.M., 2004. Wheat damage by Aelia spp. and Eurygaster spp. Effects on gluten and water-soluble compounds released by gluten hydrolysis. *Journal of Cereal Science, 39*, pp.187-193. **doi: 10.1016/j.jcs.2003.10.001.**

Albuquerque, M.C.D. and Carvalho, N.D., 2003. Effect of the type of environmental stress on the emergence of sunflower (*Helianthus annus* L.), soybean (*Glycine max* (L.) Merril) and maize (*Zea mays* L.) seeds with different levels of vigor. *Seed Science and Technology*, pp.465-479.

Altenbach, S.B., DuPont, F.M., Kothari, K.M., Chan, R., Johnson, E.L. and Lieu, D., 2003. Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in a US spring wheat. *Journal of Cereal Science*, *37*, pp.9–20. **doi: 10.1006/jcrs.2002.0483**

Ambardekar, A.A., Siebenmorgen, T.J., Counce, P.A., Lanning, S.B. and Mauromoustakos, A., 2011. Impact of field-scale nighttime air temperatures during kernel development on rice milling quality. *Field Crops Research*, *122*, pp.179–185. **doi: 10.1016/j.fcr.2011.03.012.**

Arzani, A., 2002. Grain quality of durum wheat germplasm as affected by heat and drought stress at grain filling period. *Wheat Information Service, 94*, pp.9-13.

Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rötter, R.P., Lobell, D., Cammarano, D., Kimball, B., Ottman, M., Wall, G. and White, J.W., 2015. Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change*, 5, 143. **doi: 10.1038/nclimate2470.**

Barić, M., Kereša, S., Šarčević, H., Jerčić, I.H., Horvat, D. and Drezner, G., 2006. Influence of drought during the grain filling period to the yield and quality of winter wheat (*T. aestivum* L.). *In Proceedings of 3rd International Congress' Flour-Bread 05'and 5th Croatian Congress of Cereal Technologists, Opatija*, 26-29 October 2005 (pp. 19-24). Faculty of Food Technology, University of Josip Juraj Strossmayer.

Barutcular, C., Yildirim, M., Koc, M., Dizlek, H., Akinci, C., El Sabagh, A., Saneoka, H., Ueda, A., Islam, M., Toptas, I. and Albayrak, O., 2016. Quality traits performance of bread wheat genotypes under drought and heat stress conditions. *Fresenius Environmental Bulletin*, *25*(12a), pp.6159-6165.

Belderok, B., Mesdag, H. and Donner, D.A., 2000. Bread-Making Quality of Wheat. *Springer, New York*, 256.

Bonfil, D.J. and Posner, E.S., 2012. Can bread wheat quality be determined by gluten index?. *Journal of Cereal Science*, *56*, pp.115-118. **doi: 10.1016/j.jcs.2012.07.003.**

Brennan, C.S., Samaan, J. and El-Khayat, G.H., 2012. The effect of genotype and environmental conditions on grain physiochemical properties of Syrian durum wheat cultivars. *International Journal of Food Science & Technology*, *47*(12), pp.2627–2635. **doi: 10.1111/j.1365-2621.2012.03145.x.**

Cervantes-Pahm, S.K., Liu, Y. and Stein, H.H., 2014. Digestible indispensable amino acid score and digestible amino acids in eight cereal grains. *British Journal of Nutrition*, *111*(9), pp.1663-1672. **doi: 10.1017/S0007114513004273.**

Chen, X., Zhu, Y., Ding, Y., Pan, R., Shen, W., Yu, X. and Xiong, F., 2021. The relationship between characteristics of root morphology and grain filling in wheat under drought stress. *Peer Journal, 9,* e12015. **doi: 10.7717/peerj.12015.**

Cheraghi, M., Motesharezadeh, B., Mousavi, S.M., Ma, Q. and Ahmadabadi, Z., 2023. Silicon (Si): a regulator nutrient for optimum growth of wheat under salinity and drought stresses-a review. *Journal of Plant Growth Regulation*, pp.1-25. **doi: 10.1007/s00344-023-10959-4**

Dang, J.M.C. and Copeland, L., 2004. Genotype and environmental influences on pasting properties of rice flour. *Cereal Chemistry*, *81*, pp.486–489. **doi: 10.1094/CCHEM.2004.81.4.486.**

Eivazi, A., Abdollahi, S., Salekdeh, H., Majidi, I., Mohamadi, A. and Pirayeshfar, B., 2006. Effect of drought and salinity stress on quality related traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *7*, pp.252-267. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.15625540.1384.7.3.6.2**

Gooding, M.J., Ellis, R.H., Shewry, P.R. and Schofield, J.D., 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. *Journal of Cereal Science*, *37*(3), pp.295-309. **doi: 10.1006/jcrs.2002.0501.**

Guttieri, M.J., Stark, J.C., O'Brien, K. and Souza, E., 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and

quality parameters to moisture deficit. *Crop Science*, *41*, pp.327-335. **doi: 10.2135/cropsci2001.412327x**.

Haghparast, R., Rajabi, R., Najafian, G., Rashmekarim, K. and Aghaee Sarbarze, M., 2009. Evaluation of indices related to grain quality in advanced bread wheat genotypes under rainfed conditions. *Seed and Plant Improvement Journal*, *25*(2), pp.315-328. [In Persian].

He, J-F., Goyal, R., Laroche, A., Zhao, M-L. and Lu, Z-X., 2012. Water stress during grain development affects starch synthesis, composition and physicochemical properties in triticale. *Journal of Cereal Science*, *56*, pp.552–560. **doi: 10.1016/j.jcs.2012.07.011.**

Htoon, A., Shrestha, A.K., Flanagan, B.M., Lopez-Rubio, A., Bird, A.R., Gilbertd, E.P. and Gidley, M.J., 2009. Effects of processing high-amylose maize starches under controlled conditions on structural organisation and amylase digestibility. *Carbohydrates Polymer*, *75*, pp.236–245. **doi: 10.1016/j.carbpol.2008.06.016.**

Hu, X.Z. and Shang, Y.N., 2007. A new testing method for vital gluten swelling index. *Journal Science of Food Agriculture*, *87*, pp.1778-1782. **doi: 10.1002/jsfa.2925.**

Isvand, H.R., Ahmadi, A., Shah Nejat Bushehri, A.A., Postini, K. and Jahan Soz, M.R, 2005. Effect of drought stress and timing of nitrogen fertilizer application on nitrogen transfer, baking quality and band pattern of storage proteins of wheat grain. *Agricultural Sciences of Iran*, *36*(6), pp.1489-1497.

Knight, JW. and Olson, RM., 1984. Wheat starch: production, modification, and uses. InStarch: *Chemistry and technology*, pp.491-506. *Academic Press*. **doi: 10.1016/B978-0-12-746270-7.50021-5.**

Koksel, H., Masatcioglu, T., Kahraman, K., Ozturk, S. and Basman, A., 2008. Improving effect of lyophilization on functional properties of resistant starch preparations formed by acid hydrolysis and heat treatment. *Journal of Cereal Science*, *47*, pp.275-282. **doi: 10.1016/j.jcs.2007.04.007.**

Kumar, R., Singh, V., Pawar, S.K., Singh, P.K., Kaur, A. and Sharma, D., 2019. Abiotic stress and wheat grain quality: A comprehensive review. *Wheat Production in Changing Environments: Responses, Adaptation and Tolerance*, pp.63-87. **doi: 10.1007/978-981-13-6883-7_3.**

Kumar, R., Kumar, A., Sharma, N.K., Kaur, N., Chunduri, V., Chawla, M., Sharma, S., Singh, K. and Garg, M., 2016. Soft and hard textured wheat differ in starch properties as indicated by trimodal distribution, morphology, thermal and crystalline properties. *PLoS One*, *11*(1), e0147622. **doi: 10.1371/journal.pone.0147622**

Li, Y., Wu, Y., Hernandez-Espinosa, N. and Peña, R.J., 2013. The influence of drought and heat stress on the expression of end-use quality parameters of common wheat. *Journal of Cereal Science*, *57*(1), pp.73-78. **doi: 10.1016/j.jcs.2012.09.014.**

Li, W., Wu, G., Luo, Q., Jiang, H., Zheng, J., Ouyang, S. and Zhang, G., 2016. Effects of removal of surface proteins on physicochemical and structural properties of A-and B-starch isolated from normal and waxy wheat. *Journal of Food Science and Technology*, *53*, pp.2673-2685. **doi: 10.1007/s13197-016-2239-3.**

Lu, H., Hu, Y., Wang, C., Liu, W., Ma, G., Han, Q. and Ma, D., 2019. Effects of High Temperature and Drought Stress on the Expression of Gene Encoding Enzymes and the Activity of Key Enzymes Involved in Starch Biosynthesis in Wheat Grains. *Frontiers in Plant Science*, *10*, **doi: 10.3389/fpls.2019.01414.**

Mahpara, S., Hussain, S. and Farooq, J., 2014. Drought Tolerance Studies in Wheat (*Triticum Aestivum* L.).

Cercetari Agronomice in Moldova, *47*, pp.133-140.

Majoul, T., Bancel, E., Triboï, E., Ben Hamida, J. and Branlard, G., 2003. Proteomic analysis of the effect of heat stress on hexaploid wheat grain: Characterization of heat-responsive proteins from total endosperm. *Proteomics*, *3*(2), pp.175-183. **doi: 10.1002/pmic.200300570.**

Mis, A., 2003. Influence of the storage of wheat flour on the physical properties of gluten. *International Agrophysics*, *17*(2).

Naguleswaran, S., Li, J., Vasanthan, T., Bressler, D. and Hoover, R., 2012. Amylolysis of large and small granules of native triticale, wheat and corn starches using a mixture of α-amylase and glucoamylase. *Carbohydrate Polymers*, *88*(3), pp.864-874. **doi: 10.1016/j.carbpol.2012.01.027.**

Ozturk, A. and Aydin, F., 2004. Effect of water stress at various growth stages on some quality characteristics of winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 190, pp.93-98. **doi. org/10.1046/j.1439-037x.2003.00080.x.**

Pezeshkpour, P. and Afkar, S., 2018. The study of genetic diversity, heritability and genetic advance of morphological traits, yield and yield components in different chickpea (*Cicer arietinum*) genotypes. *Journal of Crop Breeding*, *9*(24), pp.61-68. **doi: 10.29252/jcb.9.24.61.**

Pierre, C.S., Petersona, J., Rossa, A., Ohma, J., Verhoevena, M., Larsona, M. and Hoefera, B., 2008. White wheat grain quality changes with genotype, nitrogen fertilization, and water stress. *Agronomy Journal*, *100*, pp.414-420. **doi: 10.2134/agronj2007.0166.**

Rakszegi, M., Darkó, É., Lovegrove, A., Molnár, I., Láng, L., Bedő, Z., ... and Shewry, P., 2019. Drought stress affects the protein and dietary fiber content of wholemeal wheat flour in wheat/Aegilops addition lines. *PLoS One*, *14*(2), e0211892. **doi: 10.1371/journal.pone.0211892.**

Ratnayake, W.S. and Jackson, D.S., 2008. Starch gelatinization. *Advances in Food and Nutrition Research*, *55*, pp.221-268. **doi: 10.1016/s1043-4526(08)00405-1.**

Razzaq, A., Noman, M.U., Azhar, S., Saleem, F., Gahlaut, V. and Wani, S.H., 2023. Drought stress tolerance in wheat: Recent QTL mapping advances. *In QTL Mapping in Crop Improvement*, pp.149-161. Academic Press. **doi: 10.1016/b978-0-323-85243-2.00015-5.**

Rekowski, A., Wimmer, M.A., Tahmasebi, S., Dier, M., Kalmbach, S., Hitzmann, B. and Zörb, C., 2021. Drought Stress during Anthesis Alters Grain Protein Composition and Improves Bread Quality in Field-Grown Iranian and German Wheat Genotypes. *Applied Sciences*, *11*(21), 9782. **doi: 10.3390/app11219782.**

Santiago, DM., Matsushita, K., Noda, T., Tsuboi, K., Yamada, D., Murayama, D., Koaze, H. and Yamauchi, H., 2015. Effect of purple sweet potato powder substitution and enzymatic treatments on bread making quality. *Food Science Technology Research,* 21, pp.159–165. **doi: 10.3136/fstr.21.159.**

Shevkani, K., Singh, N., Bajaj, R. and Kaur, A, 2017. Wheat starch production, structure, functionality and applications—a review. *International Journal of Food Science & Technology*, *52*(1), pp.38-58. **doi. org/10.1111/ijfs.13266.**

Tatar, O., Cakalogullari, U., TONK, F.A., Istipliler, D. and Karakoc, R., 2020. Effect of drought stress on yield

and quality traits of common wheat during grain filling stage. *Turkish Journal of Field Crops*, *25*(2), pp.236-244. **doi: 10.17557/tjfc.834392.**

Thitisaksakul, M., Jimenez, R.C., Arias, M.C. and Beckles, D.M., 2012. Effects of environmental factors on cereal starch biosynthesis and composition. *Journal of Cereal Science*, *56*(1), pp.67–80. **doi: 10.1016/j.jcs.2012.04.002.**

Tsenov, N., Atanasova, D., Stoeva, I. and Tsenova, E., 2015. Effects of drought on grain productivity and quality in winter bread wheat. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *21*(3), pp.592-598.

Yan, L. and Shi, Y., 2013. Effect of drought stress on growth and development in winter wheat with aquasorb-fertilizer. *Advance Journal of Food Science and Technology*, *5*(11), pp.1502-1504. **doi: 10.19026/ajfst.5.3374.**

Yu, X., Li, B., Wang, L., Chen, X., Wang, W., Gu, Y., Wang, Zh. and Xiong, F., 2016. Effect of drought stress on the development of endosperm starch granules and the composition and physicochemical properties of starches from soft and hard wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *96* (8), pp.2746-2754**. doi: 10.1002/jsfa.7439.**

Zhang, C., Zhou, L., Zhu, Z., Lu, H., Zhou, X., Qian, Y., Lu, Y., Gu, M. and Liu, Q., 2016. Characterization of grain quality and starch fine structure of two japonica rice (*Oryza sativa*) cultivars with good sensory properties at different temperatures during the filling stage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *64*(20), pp.4048-4057. **doi: 10.1021/acs.jafc.6b00083.**

Zhang (a), H., Li, H., Yuan, L., Wang, Z., Yang, J. and Zhang, J., 2012. Post-anthesis alternate wetting and moderate soil drying enhances activities of key enzymes in sucrose-to-starch conversion in inferior spikelets of rice. *Journal of Experimental Botany*, *63*(1), pp.215-227. **doi**: **10.1093/jxb/err263.**

Zhang (b), Y., Qi, G.U.O., Nan, F.E.N.G., Wang, J.R., Wang, S.J. and He, Z.H., 2016. Characterization of A-and B-type starch granules in Chinese wheat cultivars. *Journal of Integrative Agriculture*, *15*(10), pp.2203-2214. **doi. org/10.1016/s2095-3119(15)61305-3.**

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 6, Issue 4, Winter 2024, P. 223-240

Effect of drought stress on properties related to bakery quality of two cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.)

Rahil Golfam[1], Khadijeh Kiarostami[2*], Tahmineh Lohrasebi[3], Shabnam Hasrak[4], Khadijeh Razavi[5]

[1] Ph.D Student of Plant Physiology, Department of Plant Science, Faculty of Biological Sciences, Alzahra University, Vanak, Tehran, Iran
[2] Department of Plant Science, Faculty of Biological Sciences, Alzahra University, Vanak, Tehran, Iran
[3] Department of Plant Biotechnology, National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology, Tehran, Iran
[4] Postdoctoral Researcher, Department of Plant Biotechnology, National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology, Tehran, Iran
[5] Department of Plant Molecular Biotechnology, National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology, Tehran, Iran
[*]Corresponding Author: kh.kiarostami@alzahra.ac.ir

Received: 27 November 2023 Accepted: 2 February 2024 **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.427004.1381**

Abstract

Introduction: Among environmental stresses, drought stress is the most critical ecological constraint that has could affect yield and product quality. It is important better to understand the effects of high temperatures and drought stress because, according to the forecasts made and seasonal temperature changes, we are facing a drought. Almost half of all human food needs, especially in Asia, are met directly from cereals. Wheat is one of the most adaptable cereals in different climatic conditions. Starch and proteins are the main components in wheat endosperm that affect the quality of the final product. Starch composition in wheat has a decisive effect on seed quality, flour processing, and yield. Physicochemical properties and final application of wheat starch are closely related to the structure of starch granules and the distribution of amylose and amylopectin. The internal structure of A and B-granules are somewhat different in composition, size, gelatinization temperature, and physicochemical and functional properties that lead to changes in swelling strength, gelatinization, and adhesion properties. Protein and starch, not only directly but also indirectly through the creation of bonds and effects on various reactions, can have a significant impact on the quality of the bakery. For these reasons, its recognition and investigation during drought stress as the most critical biological structure of wheat from the point of view of agricultural economics is of particular importance.

Materials and Methods: Two bread wheat cultivars named Navid, with medium to poor baking quality, and Pishtaz, with high baking quality, were used in this study. Two wheat cultivars were cultivated in three replications in the research farm of Shahed University of Tehran in November 2019. Irrigation once a week was used as a normal treatment and stopped irrigation at the bolting stage for drought treatment (The criterion of drought stress is 30% of the maximum field capacity). Each replication consisted of two rows of cultivation with a length of 2.5 m and distances of 25 cm. At 35 days post-anthesis, the seeds of each plant were harvested from the middle two third of the spike. Traits such as total starch, wet gluten, gluten index, grain protein percentage, Zeleny sedimentation volume, bread volume, flour moisture, hardness index, and water absorption in flour were measured. Also, total starch and granules are separated was analyzed by by FT-IR. Statistical analyses were performed with SAS software (version 9.4) and Average Comparison with t-tests at the level of 0.05. and 0.01.

Results and Discussion: In both wheat cultivars, drought stress showed a significant decrease in total starch content. Also, between the two cultivars under normal and drought stress conditions, the amount of starch in the Navid cultivar decreased significantly. Under drought stress, loss of AGPase activity leads to premature cessation of starch accumulation. In both cultivars, drought stress caused a significant increase in wet gluten compared to the normal. The results showed that the shorter the

time between flowering and seed ripening, the smaller the seeds and the higher the gluten content. Drought had no effect on the Pishtaz cultivar but was influential on the Navid cultivar and caused a significant decrease in gluten index. Also, in both normal and drought stress, the gluten index was significantly higher in the Pishtaz cultivar. some researchers have shown that high-quality wheat cultivars have a higher gluten index. Drought stress in both cultivars significantly increased seed protein. It has been proven that reducing starch under stress conditions disturbs the protein ratio to starch and increases the amount of protein per unit volume. In both cultivars, we saw an increase in the percentage of Zeleny sedimentation volume. The higher the gluten content and the better the gluten quality, the slower the deposition and the increased the Zeleny sedimentation volume. in measuring the percentage of bread volume, the drought did not have a significant effect in the Pishtaz cultivar. But, in the Navid cultivar, drought stress caused a significant decrease. Drought stress in the Pishtaz cultivar had no significant effect on wheat seed moisture. However, in the Navid cultivar, drought stress with a decrease significantly reduced the grain moisture. Low or high humidity can increase crop damage during harvesting and storage, increasing the cost of post-harvest processes to some extent. The Percentage of hardness index in the Pishtaz cultivar in drought stress conditions with a significant difference increased. But in the Navid cultivar, drought stress had no significant effect on the hardness index. A very strong correlation has been observed between the hardness index and the rheological properties of the dough, and the quality of gluten. Both wheat cultivars, drought stress significantly increased the water uptake percentage of flour. Higher Glutenin to Gliadin ratio under drought stress conditions may make gluten and dough more robust, and This is accompanied by an increase in water absorption by flour. Drought stress in the Pishtaz cultivar did not cause molecular changes, and the molecular structure remained constant. In the Navid cultivar, for total starch, A-granules, and B-granules in both normal and drought stress in the positions of the peaks did not change. However, the intensity of one of the peaks in the range of O-H bond tension showed a decrease in the condition of drought stress.

Conclusion: Investigating the mechanisms that enable plants to adapt to drought stress and maintain their growth in these conditions ultimately helps select stress-resistant plants for cultivation in dry and semi-arid soil. In general, drought stress reduced the yield and baking quality of both wheat cultivars; of course, it was more in the Navid cultivar with medium to poor baking quality, which indicated that this cultivar is more vulnerable to drought stress than the Pishtaz cultivar. The results of this research can provide insight into the impact of potential mechanisms through drought on the ultrastructures and physicochemical properties of wheat starch and its relationship with baking quality.

Keywords: Bread volume, Gluten, Granules, Wheat starch