بررسی تاثیر سرعت بارگذاری و محتوای رطوبت دانه بر ضریب کشسانی ظاهری گندم سن‌زده و سالم

زهرا بساطی[1*]، منصور راسخ[2]، یوسف عباسپور گیلانده[3]

۱- دانشجوی دکتری رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده فنآوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده فنآوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۳- استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده فنآوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

* ایمیل نویسنده مسئول: zbasati2015@gmail.com

چکیده

با توجه به اینکه وجود گندم سن‌زده در توده گندم باعث کاهش کیفیت آرد و نان تولیدی می‌شود لذا شناسایی گندم سن‌زده از گندم سالم با روش‌های علمی به منظور استفاده در جداسازی گندم سن‌زده از سالم ضروری به نظر می‌رسد. به همین منظور می‌توان از خواص مکانیکی برای شناسایی دقیق‌تر بافت دانه‌های سن‌زده از گندم سالم استفاده کرد. در تحقیق حاضر ضریب کشسانی ظاهری، تحت بارگذاری فشاری به کمک دستگاه آزمون کشش-فشار مدل *STM-20* ساخت شرکت طراحی مهندسی سنتام با سه عامل، چهار سرعت بارگذاری (۵، ۱۵، ۲۵و ۳۵ میلی‌متر بر دقیقه)، چهار محتوای رطوبت (۹، ۱۱/۵، ۱۴ و ۱۶/۵٪ بر پایه وزن تر) و دو نوع گندم سالم و سن‌زده رقم متداول آذر تعیین شد. نتایج نشان داد عوامل رطوبت و نوع گندم تاثیر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱٪) بر ضریب کشسانی ظاهری دارد. اما اثر سرعت بارگذاری معنی‌دار نشد. همچنین با توجه به مقدار میانگین ضریب کشسانی ظاهری دانه‌های سن‌زده (۷۴/۷۷۹مگاپاسکال) و میانگین ضریب کشسانی ظاهری دانه‌های سالم (۲۸۹/۰۷۱مگاپاسکال) می‌توان از این پارامتر بعنوان مناسب‌ترین عامل در تشخیص نمونه‌های سن‌زده از گندم سالم استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: خواص مکانیکی، گندم، سن‌زده، ضریب کشسانی ظاهری

مقدمه

گندم یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی است که در جیره غذایی سه چهارم مردم جهان قرار دارد. به همین علت در طول بیش از هفت دهه، تحقیقات بسیاری با هدف تولید بیشتر و فرآوری بهتر این محصول انجام شده است. در این میان، تعیین خصوصیات کیفی گندم، به ویژه به دلیل تاثیر آن بر کیفیت محصول نهایی (مخصوصا نان) از جایگاه خاصی برخوردار بوده است (راسخ و همکاران، ۱۳۸۶). اصلی‌ترین فرآورده تولیدی از گندم نان است. ترکیب عمده‌ای که گندم را از سایر غلات متمایز می-

نماید، بخش گلوتن است که دلیل اصلی رفتار ویسکوالاستیک خمیر و نان می‌باشد. عوامل مختلفی می‌توانند بر خصوصیات گلوتن گندم تاثیر گذاشته و آن را از وضعیت متعادل خارج ساخته و خواص کاربردی آن را مختل نمایند (علامه و همکاران، ۱۳۸۶). آفات از مهم‌ترین عواملی هستند که منجر به کاهش عملکرد و کیفیت نانوایی گندم می‌شوند. سن گندم یکی از قدیمی‌ترین و مهم‌ترین آفات گندم موجود در ایران و بسیاری از کشورهای دیگر می‌باشد (شیخ الاسلامی و همکاران، ۱۳۸۸). سن گندم هم بصورت کمی (خشک کردن جوانه مرکزی، خشک کردن و سفید کردن سنبله‌ها) و هم بصورت کیفی (سن زدگی دانه‌ها) به گندم خسارت وارد می‌کند، که مورد اخیر از اهمیت بیشتری برخوردار است. شکل ظاهری دانه‌های آسیب دیده و سن زده لاغر، چروکیده و وجود یک نقطه تیره جای نیش با یک ناحیه کمرنگ در اطراف می‌باشد (راسخ و همکاران، ۱۳۸۶ ; Every *et al.*, 1990). روش‌هایی که برای بهبود و اصلاح خسارت حاصل از سن گندم وجود دارد مبتنی بر تشخیص و جداسازی گندم‌های آسیب دیده از سالم است (راسخ و همکاران (۱۳۸۶)؛ شیخ الاسلامی و همکاران (۱۳۸۸)؛ علامه و همکاران (۱۳۸۶)؛ نجفی میرک و همکاران (۱۳۹۲)). از آنجا که تشخیص خصوصیات کیفی آنها از طریق روش‌های دستی (رنگ، شکل و خصوصیات ظاهری) امکان‌پذیر نیست برای این منظور لازم است روش‌های تشخیص ویژگی‌های تک دانه جایگزین روش‌های بررسی توده دانه گردد. برای ارائه معیاری جهت جداسازی و ساخت دستگاه‌های تفکیک‌کننده گندم سن زده از سالم شناخت خواص مکانیکی دانه‌های سن زده و سالم لازم و ضروری می‌باشد. بین روش‌های مختلف شناسایی ویژگی‌های محصولات دانه‌ای، روش‌های مکانیکی به عنوان یکی از ساده‌ترین و مطمئن‌ترین روش‌ها شناخته می‌شود. خواص مکانیکی مواد به عنوان هر خاصیتی که رفتار مواد را تحت اثر نیروهای وارده بیان کند، تعریف می‌شود. بطور کلی از آزمون فشاری تک محوری " تنش- کرنش" برای تعیین و توصیف ویژگی‌های رفتار مکانیکی استفاده می‌شود (Mohsenin, 1986). راسخ و همکاران، ۱۳۸۶ برخی خواص فیزیکی و مکانیکی گندم سن زده و سالم رقم سرداری را تعیین کرده و نشان دادند که با تعیین خصوصیات هندسی گندم، نظیر ابعاد، کرویت و نیز خصوصیات مکانیکی نظیر بیشینه نیروی لازم برای گسیختگی، شیب منحنی نیرو، تغییر شکل از مبدأ و چغرمگی می‌توان گندم سالم را از سن‌زده تشخیص داد. نتیجه این تحقیق نشان داد از بین خواص مکانیکی که از آزمون بارگذاری فشاری حاصل می‌گردد، پارامتر چغرمگی بهترین ویژگی در تمایز بین دانه‌های سالم و سن‌زده می‌باشد. Afkari-sayah and Minayie (2004) رفتار دانه گندم تحت بارگذاری شبه استاتیک و رابطه آن با سختی دانه را مورد مطالعه قرار دادند. آزمایش‌ها بر روی ۵ رقم گندم در ۲ سطح محتوای رطوبتی انجام شد. آنها دریافتند که براساس تئوری هرتز و با انجام یک سری آزمون‌های فشاری روی دانه‌های سالم گندم، مدول الاستیسیته در محدوده‌ای بین ۰/۴۷ Gpa (در دادنه‌های گندم نرم و تیمار مرطوب) و ۱/۶۳ Gpa (در دانه‌های گندم سخت و تیمار خشک) قرار گرفت. علاوه بر این، نتایج نشان داد که هندسه دانه، شکل و وزن آن اثر قابل توجهی بر روی سختی دانه دارند. به خصوص وقتی که نمونه‌ها در حالت افقی و مسطح قرار داشتند. همچنین تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که محتوای رطوبت اثر قابل توجهی روی فاکتورهای مکانیکی دارد در حالیکه جهت قرار گیری دانه‌ها اثر قابل توجهی روی پارامترهای مکانیکی نداشت. علی‌رغم کوشش-های بسیاری که برای استخراج خواص مکانیکی محصولات دانه‌ای صورت گرفته است از جمله (افکاری سیاح و همکاران (۱۳۹۰)،

برای دانه جو; کرمانی و همکاران (۱۳۸۵)، برای دانه برنج; عالمی و همکاران (۱۳۸۶)، برای دانه سویا; Bargale *et al* (1995) برای دانه گندم و کلزا; Voicu *et al* (2013) برای دانه گندم; Molenda and Stasiak (2002) برای جو; Zareiforoush *et al* (2010) برای دانه شلتوک) اما به واسطه ساختمان خاص مواد زیستی، این ویژگی‌ها تحت شرایط مختلف (رطوبت، دما و تفاوت در رقم) تغییر کرده و لذا همچنان به جمع آوری اطلاعات بیشتر در این زمینه نیاز است (Afkari sayah and Minaie, 2004). با توجه به پژوهش‌های پیشین انجام شده، اندازه گیری ضریب کشسانی ظاهری از طریق روش استاندارد در گندم سن‌زده و سالم و بررسی تاثیر رطوبت، سرعت بارگذاری و نوع گندم (سن‌زده یا سالم) بر آنها از اهداف اصلی این تحقیق می‌باشد. همچنین امید است با تبیین خواص مکانیکی گندم سن‌زده و گندم سالم ملاک معتبر و علمی برای تشخیص گندم سن‌زده از گندم سالم ارائه گردد. درصورتیکه بتوان گندم سن‌زده از گندم سالم را به طور دقیق و علمی تشخیص داد می‌توان از آن در طراحی و ساخت دستگاه‌های جداسازی گندم سن‌زده از گندم سالم استفاده کرد تا گندم تولیدی فاقد گندم سن‌زده باشد و کیفیت آرد تولیدی نیز افزایش یابد و چنانچه از گندم برای تهیه بذر استفاده شود، گندم تولیدی دارای درجه خلوص بالاتری خواهد بود. همچنین از نتایج تحقیق حاضر می‌توان در سیلوهای گندم برای تشخیص گندم سن‌زده از گندم سالم و تعیین درصد سن‌زدگی توده گندم با نمونه-گیری استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق پس از تهیه دانه گندم رقم آذر، نمونه به آزمایشگاه خواص بیوفیزیک گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه محقق اردبیلی منتقل شد. محتوای رطوبت اولیه دانه‌های گندم که با روش آون شامل دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس و مدت زمان ۱۹ ساعت بر پایه روش استاندارد (ASAE Standards, 1999b) اندازه‌گیری شد، ۹ درصد بر پایه وزن تر بود. آزمایش‌ها در ۴ سطح رطوبتی ۹، ۱۱/۵، ۱۴ و ۱۶/۵ درصد بر پایه وزن تر انجام شد. برای رساندن رطوبت نمونه‌های گندم به مقادیر رطوبت سطوح بالاتر ، مقدار آب مورد نیاز برای اضافه کردن به توده اولیه گندم از رابطه زیر محاسبه گردید (Mohsenin, 1986).

$$Q = \frac{W(M_f - M_i)}{100 - M_f}$$ (رابطه ۱)

که در رابطه ۱:

Q:مقدار آب لازم برای رساندن نمونه به سطح رطوبتی مورد نظر (برحسب گرم).

M_f: رطوبت مورد نیاز بر پایه تر (بر حسب درصد).

M_i: رطوبت اولیه نمونه بر پایه تر (بر حسب درصد).

W: وزن اولیه نمونه (بر حسب گرم).

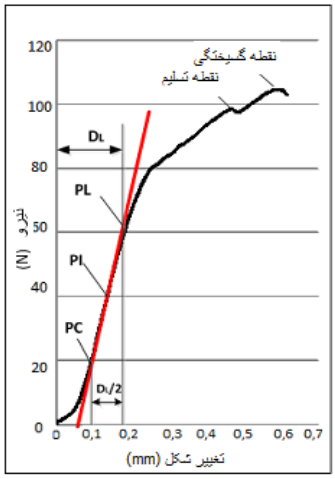
بعد از اضافه کردن مقدار آب محاسبه شده توسط آب افشان به نمونه‌ها و رساندن رطوبت آن‌ها به سطوح اشاره شده، برای انجام آزمون فشاری از دستگاه آزمایش کشش- فشار[1] مدل *STM-20* ساخت شرکت طراحی مهندسی سنتام[2] استفاده شد. دستگاه آزمون کشش- فشار مورد استفاده در این تحقیق مجهز با بارسنج *BONGSHIN* مدل *DBBP-1OO* با ظرفیت ۱۰۰*kgf* بود. آزمون فشاری بدین ترتیب انجام شد که دانه گندم در پایدارترین حالت بین دو فک دستگاه قرار داده شد و دستور شروع آزمایش توسط رایانه‌ای که به دستگاه مرتبط بود صادر می‌شد. هر دو فک به صورت صفحه تخت بوده و فک پایینی ثابت و فک بالایی متحرک بود. فشار تا جایی بر نمونه‌ها وارد می‌شد که همراه با شنیدن صدای شکست نمونه (بویژه در سطوح رطوبتی پایین) و یا کاهش نیروی گسیختگی در نمودار نیرو-تغییر شکل حادث می‌شد. با توجه به اثر سرعت بارگذاری بر بازده و کارایی مطلوب دستگاه‌های فراوری، چهار سرعت بارگذاری متفاوت و با فاصله یکنواخت ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵میلی‌متر بر دقیقه در نظر گرفته شد. پس از انجام هر آزمایش نمودار نیرو- تغییر شکل بارگذاری و داده‌های متناظر نیرو و تغییر شکل در نرم افزار اکسل ذخیره شدند. در نقطه‌ای که گسیختگی در آن ایجاد می‌شد، نیروی گسیختگی و تغییر شکل در نقطه گسیختگی مستقیما با استفاده از نمودار نیرو- تغییر شکل و داده‌های متناظر نیرو- تغییر شکل ذخیره شده در برنامه اکسل تعیین گردید. بر اساس روش استاندارد (ASAE Standards, 2008) برای محاسبه ضریب کشسانی دانه گندم (E) (برحسب پاسکال) از رابطه ۲ استفاده شد (Bargale *et al.*, 1995).

$$E = \frac{0.338\,K^{3/2}F\left(1-\vartheta^2\right)}{D^{3/2}}\left[\frac{1}{R'}+\frac{1}{R_1'}\right]^{1/2} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

که در رابطه ۲، F، نیرو بر حسب نیوتن، D، تغییر شکل بر حسب متر، R'، شعاع انحنای مینیمم برحسب متر، R_1'، شعاع انحنای ماکزیمم بر حسب متر، ϑ، ضریب پواسن و K، ضریب ثابت می‌باشد. بر اساس استاندارد (ASAE Standards, 2008) در رابطه ۲ نیروی F و تغییر شکل D ، مربوط به نقطه‌ای از منحنی نیرو-تغییرشکل بر روی بخش خطی منحنی است (PC در شکل ۱). تغییر شکل D معادل $D_L/2$ می‌باشد که D_L میزان تغییر شکل دانه از ابتدای منحنی تا حد خطی است (Voicu *et al.*, 2013).

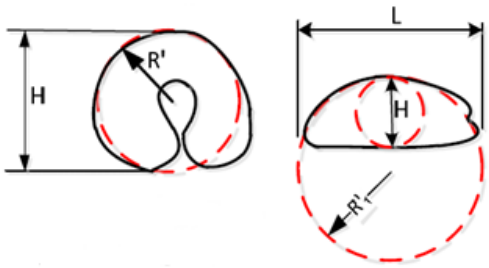
در حالت کلی D نقطه‌ای در محدوده کشسان است که الزاما باید پایین‌تر از نقطه تسلیم منحنی باشد (Afkari-sayah and Minayie., 2004).

1. Tensile - compression Apparatus
2. SANTAM



شکل ۱. نمودار نیرو – تغییر شکل برای گندم PL: حد تناسب، PI: نقطه عطف، PC: نقطه محاسبه شده(Voicu et al., 2013)

برای محاسبه مقادیر R' شعاع انحنای مینیمم و R'_1 شعاع انحنای ماکزیمم دانه‌های گندم (شکل ۲) به ترتیب از روابط ۳و ۴ استفاده شد (Bargale *et al.*, 1995 ; Afkari-sayah and Minayie, 2004 ; Voicu *et al.*, 2013 ; Mohsenin, 1986).



شکل ۲. R' شعاع انحنای مینیمم و R'_1 شعاع انحنای ماکزیمم

$$R' \cong \frac{H}{2} \qquad \text{(رابطه۳)}$$

$$R'_1 \cong \frac{H^2 + \frac{L^2}{4}}{2H} \qquad \text{(رابطه۴)}$$

که در رابطه ۳ و ۴ ، L: قطر بزرگ دانه (بر حسب متر) و H: میانگین قطر کوچک و متوسط دانه (بر حسب متر) می‌باشد. در این تحقیق مقدار ضریب پواسون (ϑ) برای گندم۰/۳ در نظر گرفته شد (Bargale *et al.*, 1995 ; Afkari sayah and Minaie, 2004 ; Voicu *et al.*, 2013). برای محاسبه K ابتدا طبق رابطه ۵، $Cos\theta$ محاسبه شد (Bargale *et al.*, 1995 ; Afkari

sayah and Minayie, 2004). سپس با استفاده از مقدار بدست آمده برای $Cos\theta$ مقدار k از روی جدول محاسبه شد(Mohsenin, 1986).

$$cos\theta = \frac{\frac{1}{R'} - \frac{1}{R'_1}}{\frac{1}{R'} + \frac{1}{R'_1}}$$ (رابطه۵)

تجزیه واریانس نتایج با آزمایش فاکتوریل در طرح پایه کاملا تصادفی شامل ۴ محتوای رطوبتی (۹، ۱۱/۵، ۱۴ و ۱۶/۵ ٪ بر پایه وزن تر)، ۴ سرعت بارگذاری (۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ میلی متر بر دقیقه) و دو نوع گندم سالم و سن زده با ۸ تکرار انجام شد و مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی یا متقابل معنی‌دار شده با آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن و با استفاده از نرم افزار MSTAT-C انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مربوط به بررسی اثر نوع گندم، محتوای رطوبت دانه و سرعت بارگذاری بر خواص مکانیکی دانه گندم در جدول (۱) آمده است. .

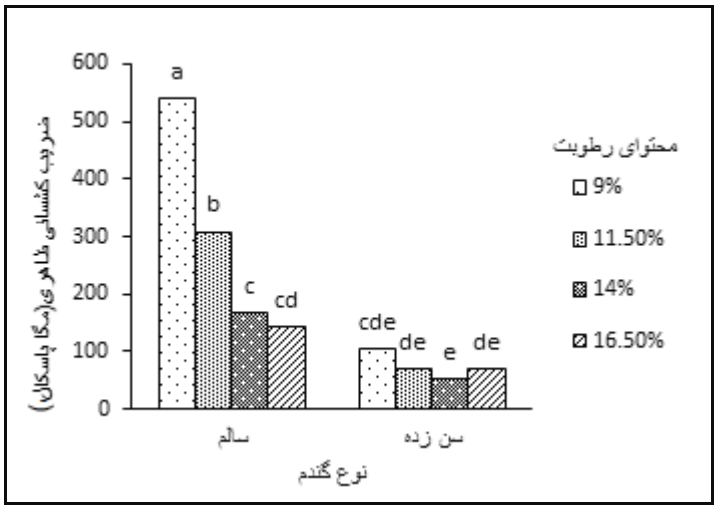
جدول ۱ . نتایج تجزیه واریانس ضریب کشسانی ظاهری دانه گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
رطوبت دانه	۳	۶۴۵۰۱۳/۷۳۲**
سرعت بارگذاری	۳	۵۲۵۷۵/۵۰۵^{ns}
رطوبت دانه × سرعت بارگذاری	۹	۲۸۴۹۱/۶۸۷^{ns}
نوع گندم	۱	۲۹۳۸۹۳۸/۰۸۴**
رطوبت دانه× نوع گندم	۳	۴۲۵۸۹۲/۶۵۲**
سرعت بارگذاری × نوع گندم	۳	۷۰۰۷۲/۰۵۵*
رطوبت دانه × سرعت بارگذاری × نوع گندم	۹	۲۷۹۴۷/۹۵۵^{ns}
خطا	۲۲۴	۲۴۷۳۹/۰۳۲
کل	۲۵۵	

**: وجود اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، *: وجود اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و $^{n.s}$: عدم وجود اثر معنی‌دار

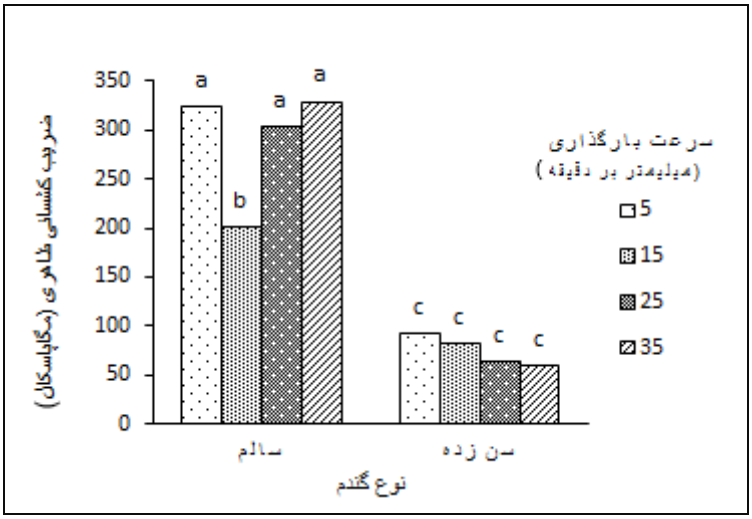
نتایج حاصل از تجزیه واریانس ضریب کشسانی ظاهری نشان می‌دهد که دو نوع گندم سالم و سن زده (در سطح احتمال ۱٪) با هم اختلاف معنی‌دار دارند. همچنین تحلیل‌ها نشان می‌دهد که رطوبت دانه بر ضریب کشسانی ظاهری در سطح احتمال ۱٪ اثر معنی‌داری دارد. در حالیکه اثر اصلی سرعت بارگذاری بر آن معنی‌دار نشده است. همچنین اثر متقابل رطوبت دانه و نوع گندم بر ضریب کشسانی ظاهری در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شده است و اثر متقابل سرعت بارگذاری و نوع گندم بر ضریب کشسانی ظاهری در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شده است.

در شکل ۳ نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوتایی محتوای رطوبت دانه و نوع گندم بر ضریب کشسانی ظاهری نشان داده شده است. همانطور که از شکل ۳ مشخص است ضریب کشسانی ظاهری گندم سالم با افزایش محتوای رطوبت از ۹ به ۱۶/۵ درصد از ۵۳۸/۵ به ۱۴۲ مگاپاسکال بطور معنی‌داری کاهش یافته است که این نتایج با نتایج محققین دیگر نیز کاملا مطابقت دارد (Afkari sayah and Minayie, 2004 ; Voicu *et al.*, 2013 ; Bargale *et al.*, 1995). Bargale *et al.*, (1995) نشان دادند که ضریب کشسانی گندم با افزایش رطوبت از ۵/۴ به ۲۵/۵ درصد از ۲۲۳ به ۱۵۷ مگاپاسکال کاهش نشان داده است. از آنجا که ضریب کشسانی ظاهری معرف سختی ماده در بخش سطحی جسم است (افکاری و همکاران، ۱۳۹۰) و دانه سالم سخت‌تر از دانه سن‌زده می‌باشد میانگین ضریب کشسانی ظاهری گندم سالم در هرچهار سطح محتوای رطوبتی بیشتر از گندم سن‌زده می‌باشد. با افزایش محتوای رطوبت از ۹ به ۱۴ درصد، ضریب کشسانی ظاهری در گندم سن‌زده از ۱۰۳/۹ مگاپاسکال به ۵۳/۲۶ مگاپاسکال بطور معنی‌داری کاهش یافته است و از رطوبت ۱۴ تا ۱۶/۵ درصد، ضریب کشسانی ظاهری افزایش یافته است.



شکل ۳. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوتایی محتوای رطوبت دانه و نوع گندم بر ضریب کشسانی ظاهری (LSD=77.4)

در شکل ۴ نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوتایی سرعت بارگذاری و نوع گندم بر ضریب کشسانی ظاهری نشان داده شده است. میانگین ضریب کشسانی ظاهری در هر چهار سرعت بارگذاری برای دانه سالم بیشتر از دانه سن‌زده می‌باشد. کمترین مقدار ضریب کشسانی (۶۴/۳ مگاپاسکال) در سرعت بارگذاری ۳۵ میلیمتر بر دقیقه و برای دانه سن‌زده و بیشترین مقدار ضریب کشسانی (۳۲۸/۸ مگاپاسکال) در سرعت بارگذاری ۳۵ میلیمتر بر دقیقه و برای دانه سالم می‌باشد.



شکل ٤. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوتایی سرعت بارگذاری و نوع گندم بر ضریب کشسانی ظاهری (LSD=77.46)

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که دانه‌های سن‌زده و سالم در ضریب کشسانی ظاهری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند. پس تشخیص و تمایز گندم‌های سن‌زده و سالم بر اساس فاکتور ضریب کشسانی ظاهری امکان‌پذیر خواهد بود. با توجه به اختلاف بارز مقدار میانگین ضریب کشسانی ظاهری دانه‌های سن‌زده (۷۴/۷۷۹مگاپاسکال) و دانه‌های سالم (۲۸۹/۰۷۱مگاپاسکال) می‌توان از این پارامتر بعنوان عاملی در تشخیص نمونه‌های سن‌زده از گندم سالم استفاده کرد. با افزایش محتوای رطوبت ضریب کشسانی ظاهری دانه‌های سالم کاهش می‌یابد و در دانه‌های سن‌زده تا رطوبت ۱۴ درصد کاهش و از رطوبت ۱۴ تا ۱۶/۵ درصد افزایش می‌یابد. پس بهتر است در تشخیص و تمایز دانه‌های سالم و سن‌زده رطوبت مناسبی انتخاب گردد که موجب افزایش دقت و بهبود عملکرد شود و با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق و رفتار متفاوت دانه سن‌زده در رطوبت‌های بالاتر از ۱۴٪ برای گندم رقم آذر، پیشنهاد می‌شود که محدوده رطوبت‌های ۱۱/۵ تا ۱۴٪ بعنوان بهترین سطح رطوبت در تشخیص نمونه‌های سن‌زده از گندم سالم استفاده گردد.

منابع

افکاری سیاح، ا.ح. گلمحمدی، ع. راسخ، م. (۱۳۹۰) بررسی اثر رقم، اندازه و رطوبت دانه بر ضریب کشسانی و بیشینه تنش تماسی دانه جو. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۱۲، شماره ۲، ص ۱۲۶-۱۱۵.

راسخ، م. فیروزآبادی، ب. مینایی، س. افکاری سیاح، ا.ح. اصغری، ع. (۱۳۸۶) مقایسه برخی خواص فیزیکی و مکانیکی گندم سن زده و سالم رقم سرداری، مجله علوم و صنایع غذایی ایران، دوره ۴ شماره ۱۴، ص ۳۰-۲۱.

شیخ الاسلامی، ز. پورآذرنگ، ه. مرتضوی، س. ع. نصیری، م. (۱۳۸۸). تاثیر صمغ گوارا و اسید اسکوربیک بر خواص رئولوژیک و پخت آرد گندم سن زده. مجله الکترونیک فرآوری و نگهداری مواد غذایی. جلد ۱، شماره ۳: ۸۲-۶۵.

عالمی، ه. خوش تقاضا، م. ه. مینایی، س. (۱۳۸۸). تعیین خواص مکانیکی دانه سویا در بارگذاری شبه استاتیک، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۶ (۲)، ص ۱۲۴:۱۳۰.

علامه، آ. کدیور، م. شاهدی، م. (۱۳۸۶). بررسی تاثیر پروتئاز سن بر زیر واحدهای گلوتن و چگونگی بهبود آرد حاصل از این نوع گندم. هفدهمین کنگره ملی صنایع غذایی ایران- دانشگاه ارومیه.

کرمانی، ع. م. توکلی هشجین. ت. مینایی، س. خوش تقاضا، م. ه. (۱۳۸۵). تعیین خواص مکانیکی دانه برنج و بررسی اثر سرعت بارگذاری فشاری. مجله علوم و صنایع غذایی ایران، دوره ۳، شماره ۴.ص ۹-۱.

نجفی میرک، ت. نجفیان، گ. خرسندی، ه. معین نمینی، س. شرفی، گ. (۱۳۹۲). اثر سن زدگی دانه بر کیفیت نانوایی ارقام گندم نان. مجله به زراعی نهال و بذر. جلد ۲-۲۹، شماره ۴: ۴۲۷-۴۱۳.

Afkari sayyah, A.H., Minaei, S. 2004. Behavior of wheat kernels under Quasi-static loading and its relation to grain hardness. journal of Agricultural science and Technology, vol. 6:11-19.

ASAE Standards 1999b. Moisture Measurement for Unground Grains and Seeds. American Society of Agricultural Engineers, S352.2.

ASAE Standards 2008. Compression Test of Food Materials of Convex Shape. American Society of Agricultural and Biological Engineers,S368.4.

Bargale, P. C., Irudayaraj, J., Marquist, B. 1995. Studies on rheological behavior of canola and wheat. Journal of Agricultural Engineering Research. 61, 267-274.

Every, D., Farrell, J.A.K., Stufkens, M.W. 1990. Wheat-bug damage in New Zealand wheats: The feeding mechanism of Nysius huttoni and its effect on the morphological and physiological development of wheat, Jornal of Science of Food and [1] Agriculture, 50: 297-309.

Mohsenin, N. N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publisher, New York.

Molenda, M., Stasiak, M. 2002. Determination of the elastic constants of cereal grains in a uniaxial compression test. International Agrophysics. 16, 61-65.

Voicu, GH., Tuosie, E.M., Ungureanu, N., Constantin, G.A. 2013. Some Mechanical Characteristics OF Wheat Seeds Obtained by Uniaxial Compression Tests. UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering. Vol 75(4):265-277.

Zareiforoush, H., Komarizadeh, M. H., Alizadeh, M.R. 2010. Mechanical properties of paddy grain under Quasi-static compressive loading. New York science journal, 3(7).