مجله علوم کشاورزی ایران
جلد ۳۵، شماره ۳، سال ۱۳۸۳ (۵۷۱-۵۶۱)

بررسی ویژگی های مکانیکی و رئولوژیکی دانه های گندم و برنج به منظور طبقه بندی کیفی

امیر حسین افکاری سیاح[۱] و سعید مینایی[۲]
۱، عضو هیات علمی دانشگاه محقق اردبیلی ۲، عضو هیات علمی دانشگاه تربیت مدرس
تاریخ پذیرش مقاله ۸۲/۱۱/۱

خلاصه

به منظور استخراج برخی خصوصیات کیفی دانه های گندم و برنج که می تواند در پیش بینی کیفیت محصول نهایی آنها بکار روند، آزمایش‌های تنش آسایی و آزمون فشاری محوری (به عنوان دو آزمون ساده مکانیکی) به ترتیب بر روی دانه های گندم و برنج انجام پذیرفت. در این آزمایش ها، تاثیر رطوبت، سطح کرنش و نوع عامل بارگذاری بر برخی از ویژگی های مکانیکی دو نوع دانه غله بررسی شد. در هر دو آزمایش تنش آسایی و آزمون فشاری محوری، همراه با اندازه گیری عوامل مکانیکی، ضرایب دو معادله چند جمله ای برازش شده بر داده ها نیز بعنوان شاخص های شکل منحنی، استخراج گردیدند. بر اساس نتایج حاصله، مقادیر میانگین نسبت کاهش نیرو، بعنوان عاملی از منحنی تنش آسایی، عامل نیرو و ضرایب c1 و d2 (از معادلات چند جمله ای) رابطه ای خطی با سختی گندم (شاخصی از کیفیت آسیابی گندم) داشتند. در این ارتباط، رطوبت تاثیری بحرانی بر نتایج داشت. تاثیر سطح کرنش اولیه بر نتایج نیز نشان دهنده تغییرات قابل ملاحظه خواص مکانیکی با افزایش سطح کرنش می باشد. درعین حال، بر اساس نتایج آزمون فشاری و استخراج خواص مقاومتی دانه برنج (منحنی نیرو- تغییرشکل)، مشخص شد که می توان ارقام برنج را بر اساس پارامترهای مکانیکی اندازه گیری شده، از یکدیگر تفکیک نمود. نتایج کاربرد دو نوع عامل بارگذاری نشان میدهد که با استفاده از هر عامل بارگذاری، خصوصیات معینی از بافت دانه برنج قابل استخراج می باشد.

واژه های کلیدی: **خواص مکانیکی و رئولوژیکی، گندم، برنج، تنش آسایی، آزمون فشاری**

مقدمه

تعیین آن دسته از ویژگی‌های محصول، که منجر به کسب اطلاعاتی از خصوصیات محصول نهایی[۱] گردد، می‌تواند سبب افزایش کیفیت فرآورده نهایی آن پس از فرآوری شود که خود تاثیر عمده‌ای بر کاهش ضایعات و افزایش ارزش افزوده محصول خواهد داشت. در این رابطه، استفاده از ویژگی‌های فیزیکی و بطور اخص مکانیکی، بویژه در محصولات دانه‌ای، جهت تشخیص کیفیت دانه و طبقه‌بندی آن می‌تواند بسیار مفید باشد. کاربرد روش‌های فیزیکی، در مقایسه با دیگر روش‌های تعیین کیفیت محصول خام (همچون روش‌های شیمیایی) هر چند از دقت کمتری برخوردار است، اما قابلیت‌های مهم آن بعنوان یک روش ابزاری سبب شده است که امروزه بیش از قبل به آن توجه گردد. در این رابطه، امروزه به استفاده همزمان از دو روش مکانیکی و نوری (همچون NIR[۲]) توجه خاصی شده است (۱۰). اما از بین روش‌های مختلف فیزیکی، روش مکانیکی بعنوان یکی از ساده‌ترین روش‌ها شناخته می‌شود. در اینجا منظور از خواص مکانیکی، آن دسته از پارامترهایی است که معرف عکس‌العمل دانه نسبت به نیروی اعمال شده بر آن می‌باشند (۱۴). مانند میزان تغییر شکل محصول و یا سرعت برگشت بافت له شده به حالت اولیه. امروزه از این روش، به ویژه

مکاتبه کننده: سعید مینایی

1. End-use property assessment

2 . Near infrared

در میوه‌ها (نظیر سیب) به منظور تعیین کیفیت آن از لحاظ رسیدگی[1] استفاده می‌شود (۳). اعمال فشار بر میوه‌ها، به دلیل بافت نرم آنها، حتی بصورت دستی هم امکان پذیر است (با فشردن انگشت شصت). اما در دانه‌ها به دلیل بافت سخت این عمل بسهولت امکان پذیر نبوده و نیاز به وسایل اندازه‌گیری دقیق دارد (بطور عمده برای تعیین نیروی اعمال شده و تغییر شکل حاصله). در عین حال بواسطه تعداد قابل ملاحظه دانه در یک نمونه، وجود یک روش مکانیزه الزامی است.

در محصولات دانه‌ای، نظیر غلات، که بخش عمده‌ای از غذای مردم را تشکیل می‌دهند، تعیین خصوصیات یک مخلوط دانه (اختلاط ناخواسته از ارقام مختلف)، بویژه در مورد گندم و در مرحله آسیاب، از اهمیت برخوردار است. این مسئله از آنجا ناشی می‌گردد که برخی از ویژگی‌های کیفی دانه حتی در یک رقم خالص نیز می‌تواند از پراکندگی قابل ملاحظه‌ای برخوردار باشد. نکته دیگر عرضه ارقام جدیدی است که غالبا تشخیص خصوصیات کیفی آنها از طریق روش‌های دستی (رنگ، شکل و خصوصیات ظاهری) امکان پذیر نیست. بطور مشابه، در مورد برنج ارائه روش‌هایی که بتوانند کیفیت دانه را، بالاخص از لحاظ پخت، مشخص سازد می‌تواند در کیفیت محصول نهایی تاثیر گذار باشد. برای این منظور لازم است که روش‌های تشخیص ویژگی‌های تک دانه[2] جایگزین روش‌های بررسی توده دانه گردد (۱۰، ۱۵). این ویژگی ها عمدتا شامل اندازه، وزن، رطوبت و نیز شاخصی از خصوصیت کیفی بعنوان مشخصه بافت (آندوسپرم) دانه می‌گردد. امروزه با اینکه دانش کافی برای تعیین سریع مولفه‌های اندازه، وزن و رطوبت وجود دارد، اما هنوز اطلاعات کافی برای تشخیص سریع کیفیت بافت محصول خام، بویژه محصولات دانه‌ای، وجود ندارد. لذا در این مقاله با استفاده از بارگذاری مکانیکی، اقدام به تشخیص ویژگی‌های تک دانه‌های گندم و برنج می‌گردد.

تا به حال مطالعات گسترده‌ای در زمینه خواص مکانیکی محصولات کشاورزی صورت گرفته است، اما این مطالعات عمدتا با هدف استخراج خواص مهندسی انجام شده و کمتر با بررسی ویژگی‌های کیفی مرتبط بوده است. در اینجا منظور از خواص مهندسی، ویژگی‌هایی از محصول است که در طراحی ماشین آلات تولید یا فرآوری کاربرد دارد. در حالیکه، خواص کیفی ویژگی‌هایی می‌باشند که در کیفیت محصول نهایی حاصل از فرآوری مؤثرند. در این رابطه تحقیقات انگشت شماری در داخل کشور انجام گرفته است (۱، ۲). به منظور استخراج ویژگی‌های مکانیکی دانه غلات یکی از ساده‌ترین آزمایش‌ها، آزمون فشاری بر روی دانه دست نخورده می‌باشد که می‌توان با کمک یک دستگاه اندازه‌گیری مناسب، منحنی نیرو-تغییرشکل و منحنی نیرو-زمان را از آن بدست آورد. هر چند برای استخراج فاکتورهای مکانیکی رسم منحنی تنش-کرنش مورد نیاز می‌باشد، اما بدلیل برخی ملاحظات از جمله مشکلاتی که در تهیه نمونه استاندارد وجود دارد و نیز عدم تناسب این روش در مقایسه ارقام، در بسیاری از تحقیقات تنها نتایج آزمایش روی دانه کامل ملاک قرار گرفته است. در این رابطه تحقیقات راهبردی آرنولد و روبرت (۱۹۶۹) و آرنولد و محسنین (۱۹۷۱) منجر به ارائه روش استانداردی شد (۷)، که بر اساس آن می‌توان برخی فاکتورهای اصلی همچون ضریب کشسانی و تنش تماسی را بطور مستقیم از بارگذاری روی دانه کامل بدست آورد. همچنین در تحقیقی دیگر که اخیرا انجام پذیرفت، پس از اندازه‌گیری ضریب کشسانی و بیشینه تنش تماسی و دیگر پارامترهای حاصل از منحنی نیرو-تغییرشکل مشخص شد که ضریب کشسانی ظاهری را می‌توان در دو سطح رطوبتی خشک (۸٪) و مرطوب (۱۶٪) بعنوان شاخصی از سختی گندم[3] در نظر گرفت (۱). در اینجا، منظور از سختی گندم خصوصیتی کیفی از گندم می‌باشد که عمدتا در تعیین ویژگی‌های آسیابی گندم و نیز ارتباط آن با محصول نهایی موثر است. به عنوان مثال، گندم سخت برای تولید نان مناسب است، در حالیکه از گندم‌های نرم ترجیحا برای تولید انواع بیسکویت، شیرینی و .... استفاده می‌شود و این ناشی از تاثیر بارز عامل سختی بر کیفیت آرد گندم است. در عین حال، مشخص شده است که خواص مکانیکی محصولات دانه‌ای اساسا وابسته به زمان می‌باشند(۱۶). بنابراین در شناسایی این خواص لازم است که اصول ویسکوالاستیسیته نیز مورد توجه قرار گیرد. در این رابطه، یکی از آزمایشاتی که در راستای آزمون فشاری می‌تواند منجر به

1. Firmness
2. Single Kernel Characterization
3. Wheat Hardness

استخراج خصوصیات ویسکوالاستیک جسم گردد، رسم منحنی تنش آسایی[1] می‌باشد(۱۳). تنش آسایی عبارت است از کاهش تدریجی تنش هنگامی که ماده در کرنش ثابتی قرار می‌گیرد (شکل ۲). در این رابطه هیچ نوع تحقیقی با هدف بررسی رفتار تنش آسایی دانه گندم و ارتباط آن با کیفت دانه (از جمله سختی) یافت نشد. در رابطه با برنج، تحقیقات انجام شده عمدتا دلالت بر تعیین شرایطی دارند که از شکست دانه، به ویژه در مرحله پوست کنی، جلوگیری شود (۱۲) و تحقیقات با هدف تعیین کیفیت دانه معدود بوده است.

بر اساس آنچه ذکر شد، هدف از تحقیق حاضر که بطور مجزا بر روی دو نوع محصول غله (گندم و برنج) انجام می پذیرد عبارت است از بررسی امکان استفاده از آزمون فشاری بر روی تک دانه، به عنوان یک آزمون ساده مکانیکی، به منظور جداسازی ارقام بر اساس خصوصیات کیفی و تعیین محدودیت‌ها در این نوع آزمایش. در مورد گندم این جداسازی بر مبنای ویژگی کیفی سختی انجام می‌پذیرد. افزون بر آن، تاثیر برخی شرایط مرزی همچون رطوبت دانه، سطح کرنش و نوع ابزار بارگذاری بر خواص مکانیکی دانه، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش ها

آماده سازی نمونه ها و اندازه گیری سختی توده

دو نوع محصول غله شامل گندم و برنج بترتیب در آزمایش تنش آسایی و آزمون فشاری تک محوری مورد بررسی قرار گرفتند. دانه‌های گندم شامل پنج رقم قدس، بزوستایا، روشن، الموت و مهدوی بترتیب از نوع خیلی سخت تا نرم، که میزان سختی در هر رقم با استفاده از روش توزیع اندازه ذرات(PSI) [2] بدست آمد (۴)، و دانه‌های برنج شامل سه رقم هاشمی ، بینام و سپیدرود مورد بررسی قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری شاخص سختی PSI، ابتدا نمونه‌های توده با آسیاب آزمایشگاهی آسیاب شده و آرد حاصله از الک شماره ۷ (سری Tyler) عبور داده می‌شوند. میزان آرد باقی مانده به مقدار اولیه (بصورت درصد) معرف سختی نمونه خواهد بود. نمونه‌های گندم در سه سطح رطوبت ۱۰-۹، ۱۳-۱۲ و ۱۶-۱۵ درصد و نمونه‌های برنج در سطح رطوبت ۹-۸ درصد (بر پایه تر) مورد بررسی قرارگرفتند. برای رساندن نمونه‌های گندم به مقادیر رطوبت مورد نظر، با اضافه نمودن مقادیر محاسبه شده آب به هریک از نمونه‌ها در ظروف آب بندی شده شیشه‌ای، رطوبت تعادلی پس از ۲۴ ساعت بدست آمد. مقدار معینی از نمونه‌ها درست پیش از آزمایش، درون اجاق خشک کن قرار گرفته و بر اساس روش وزنی استاندارد (۸) مقادیر رطوبت هریک اندازه‌گیری شد. میانگین رطوبت نمونه‌های گندم (در هر پنج رقم) پس از این عملیات عبارت بودند از: ۹، ۱۲/۲ و ۱۵/۴ درصد و در برنج رطوبت میانگین ۸/۷ درصد بدست آمد. یکی از عوامل موثر بر خواص مکانیکی دانه اندازه دانه می‌باشد، لذا بر اساس توصیه منابع، با انتخاب دانه‌های درشت (با قطر بزرگتر از ۲/۸ میلیمتر) این فاکتور تا حدی تحت کنترل قرار گرفت (۱۷). از آنجاکه در تحقیق قبل تاثیر جهت قرارگیری دانه بر خواص مکانیکی معنی دار تشخیص داده نشد (۱)، لذا کلیه نمونه‌ها در جهت شکمی (پایدارترین حالت) مورد آزمایش قرار گرفتند. همچنین به منظور امکان استخراج جزئیات بیشتر از شکل منحنی‌ها، دو معادله چندجمله‌ای درجه ۲ و ۳، با میانگین ضریب تعیین، بترتیب معادل ۰/۹۴ و ۰/۹۸، بر داده‌های بدست آمده برازش شده و از میانگین ضرایب حاصله بعنوان پارامترهای تجربی در مقایسه ارقام استفاده گردید.

شکل کلی این معادلات عبارتند از:

$$F_1 = a_1 x^2 + b_1 x + c_1 \qquad (1)$$

$$F_2 = a_2 x^3 + b_2 x^2 + c_2 x + d_2 \qquad (2)$$

در معادلات فوق F عبارت است از نیرو، به نیوتن، X تغییرشکل به میلیمتر (در آزمون تنش آسایی معرف زمان و بر حسب ثانیه) و پارامترهای $a1$ تا $d2$ ضرایب معادلات می‌باشند.

آزمایش فشاری تک محوری[3] روی دانه برنج

در آزمایش فشاری ساده، دانه کامل و دست نخورده گندم (Intact Kernel) بین دو صفحه فولادی (در حالت دوم بین صفحه و گوه) تحت بارگذاری با سرعت کم، معادل ۷mm/min، قرار گرفته و بارگذاری تا مرحله گسیختگی کامل در دانه ادامه یافت. با کمک دستگاه بارگذاری TMU (۲) در هر آزمون مقادیر نیرو (نیوتن) و تغییر شکل دانه (میلیمتر) همزمان با

1 . Stress Relaxation

2 . Particle Size Index

3. Uniaxial Compression Test

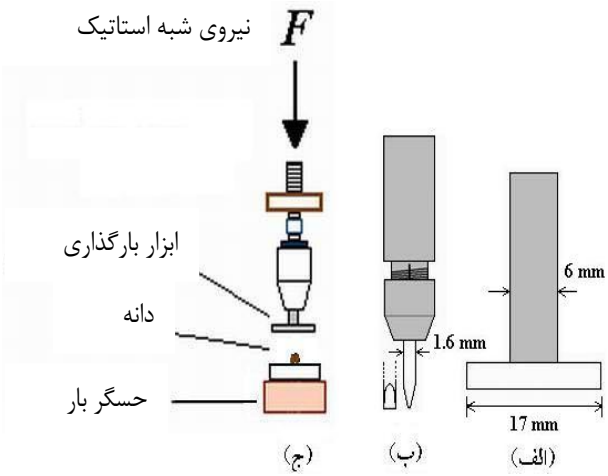
رسم منحنی بر روی صفحه نمایشگر رایانه در حافظه رایانه ذخیره گردید. داده‌های بدست آمده از آزمون، که مجموعا منحنی نیرو تغییر شکل دانه را ایجاد میکرد، با کمک برنامه EXCEL دسته‌بندی شده و سپس مقادیر فاکتورهای مکانیکی از هر منحنی بطور مجزا استخراج گردیدند. این فاکتورها عبارت بودند از نیرو، کرنش و سطح زیر منحنی تا نقطه گسیختگی، نیرو نسبت به هر یک از ابعاد سه گانه و نیز نسبت به حجم دانه و ضرایب معادلات درجه ۲ و ۳ برازش شده بر داده‌ها. در اینجا حجم دانه با استفاده از ابعاد سه گانه دانه و بر مبنای حجم بیضیگون[1] دانه تخمین زده شد (رابطه ۳).

$$V = (4/3)\pi\, abc \qquad 1$$

که در آن V حجم دانه بر حسب میلیمتر مکعب و a ، b و c معادل نصف اقطار دانه و بر حسب میلیمتر می‌باشند. این آزمایش جمعا شامل ۶۰ آزمون فشاری بود (۳رقم× ۲ نوع عامل بارگذاری×۱۰ تکرار) که بعنوان یک آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی انجام پذیرفت. یکی از فاکتورهای مورد بررسی در این آزمایش نوع ابزار بارگذاری بود که در دو حالت صفحه فشاری و گوه بارگذاری تاثیر آن بر خواص مکانیکی بررسی شد. شکل ۱ نمایی از دو عامل بارگذاری و ابعاد آنها را نشان می‌دهد.

آزمایش تنش آسایی روی دانه گندم

در این آزمایش با انجام ۱۵۰ آزمون تنش آسایی که با استفاده از دستگاه بارگذاری TMU انجام گرفت، تاثیر رقم (در ۵ سطح)، کرنش اولیه (در دو سطح) و رطوبت دانه (در سه سطح) بر ویژگی‌های منحنی تنش آسایی، بعنوان مشخصه‌ای از ویژگی‌های ویسکوالاستیک گندم مورد بررسی قرار گرفت. این ویژگی‌ها با کمک پارامترهای نسبت کاهش نیرو[2] (معادل درصد کاهش نیرو پس از ۷۰ ثانیه به نیروی اولیه) و عامل نیرو[3] (بیشینه نیرویی که سبب کرنش ۱۰ یا ۲۰٪ در جسم گردد) بیان میگردند. لازم به ذکر است که در این آزمایش پارامتر نسبت کاهش نیرو مهمترین مشخصه از منحنی تنش آسایی می‌باشد، زیرا درصورتیکه در چنین آزمایشی مدت زمان آسایش تا حدی ادامه یابد که میزان نیرو به ۳۷٪ نیروی اولیه برسد[4] مدت زمان طی شده همان فاکتور زمان آسایش[5] جسم خواهد بود (۱۳). اما در محصولات دانه ای که عمدتا از رطوبت کمی برخوردارند این زمان بسیار طولانی بوده بطوریکه اندازه گیری آن بویژه در کاربردهای مقایسه ارقام مناسب نخواهد بود.



شکل ۱ـ (الف)- عامل بارگذاری صفحه ای، (ب)- عامل بارگذاری گوه (ج)- نمایی کلی از قرار گیری دانه و بارگذاری روی آن در هر دو آزمایش فشاری محوری و تنش آسایی

کرنش اولیه (تغییر شکل دانه در راستای بارگذاری نسبت به اندازه اولیه) نیز در دو سطح ۱۰ و ۲۰٪ لحاظ گردید. برای رسیدن به سطوح کرنش مورد نظر، از آنجاکه دانه‌ها در حالت شکمی مورد آزمایش قرار گرفتند لذا قطر کوچک دانه، با میانگین ۳/۲ میلیمتر مد نظر قرار گرفت. بنابراین، در هنگام آزمایش، بارگذاری در تغییرشکل‌های ۰/۳ و ۰/۶ میلیمتر (که از طریق مانیتور رایانه دستگاه بارگذاری قابل مشاهده بود) متوقف و بطور خودکار تغییرات نیرو نسبت به زمان ثبت گردید.

نتایج

نتایج آزمایش توزیع اندازه ذرات

بر اساس آزمایش توزیع اندازه ذرات (شاخص سختی توده گندم) ارقام گندم مورد استفاده از لحاظ کیفیت سختی در محدوده خیلی سخت تا نرم می‌باشند (جدول شماره ۱).

1. Triaxial Ellipsoid Volume
2. Force Decay Ratio
3. Force Factor

٤ . بصورت یک تعریف در رئولوژی و معادل 1/e نیروی اولیه

5. Time of Relaxation

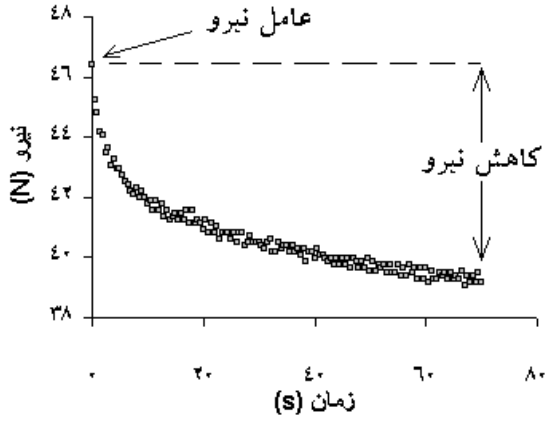
همانگونه که ملاحظه می‌گردد، با توجه به نوع آزمایش (که در بخش قبل شرح داده شد) ارقام سخت‌تر مقادیر کمتری را به خود اختصاص می‌دهند. به عنوان مثال ارقام قدس و بزوستایا پس از آسیاب شدن تولید آردی با دانه‌های درشت می‌کنند و لذا آرد حاصله براحتی از روزنه‌های الک جریان می‌یابد. بر همین اساس ارقام مهدوی و الموت به عنوان گندم‌های نرم شناخته می‌شوند که تولید آردی با ذرات بسیار ریز نموده و به دلیل چسبیدن به یکدیگر براحتی از الک عبور نمی‌کنند.

جدول ۱ – مقادیر شاخص سختی و متعاقب آن سختی نسبی برای ارقام گندم مورد مطالعه(۴)

	قدس	بزوستایا	روشن	الموت	مهدوی
شاخص سختی (PSI)	۱۱/۹	۱۲/۲	۱۸/۱	۲۳	۲۹/۲
شاخص نسبی سختی	خیلی‌سخت	خیلی‌سخت	نیمه‌سخت	نیمه‌نرم	نرم

نتایج آزمایش تنش آسایی بر روی دانه گندم

شکل ۲ نمونه ای از منحنی تنش آسایی دانه گندم (رقم الموت) را در سطح کرنش اولیه ۱۰٪ و مدت زمان آسایش ۷۰ ثانیه نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد در مدت زمان ۷۰ ثانیه منحنی تنش آسایی به خوبی شکل گرفته و بر اساس نتایج حاصله می‌تواند برخی از ویژگی‌های مکانیکی (وابسته به زمان) دانه را ارائه دهد.



شکل ۲- منحنی تنش‌آسایی دانه گندم (رقم الموت) در سطح کرنش اولیه ۱۰٪ و در مدت زمان آسایش ۷۰ ثانیه

در جدول شماره ۲، ویژگی‌های فیزیکی دانه‌های گندم شامل ابعاد سه گانه و حجم تقریبی دانه آورده شده‌اند. در این رابطه نتایج تجزیه واریانس تفاوت معنی‌داری بین مولفه‌های فیزیکی در ارقام مختلف نشان نداد.

جدول ۲- میانگین پارامترهای فیزیکی دانه گندم در ارقام مختلف

	قدس	بزوستایا	روشن	الموت	مهدوی
قطر بزرگ (میلیمتر)	۶/۹۱	۷/۳۶	۷/۴۰	۷/۲۸	۷/۴۵
قطر متوسط (میلیمتر)	۳/۶۶	۳/۵۴	۳/۶۵	۳/۵۰	۳/۵۸
قطر کوچک (میلیمتر)	۲/۹۹	۳/۳۰	۳/۳۴	۲/۹۷	۳/۱۷
حجم بیضیگون(میلیمتر مکعب)	۳۹/۵۹	۴۵/۰۲	۴۷/۴۲	۳۹/۵۴	۴۴/۵۴

همچنین جدول شماره ۳ مقادیر میانگین فاکتورهای مکانیکی اندازه‌گیری شده را در سه سطح رطوبتی و به عنوان نمونه برای ارقام نرم (مهدوی)، نیمه سخت (روشن) و خیلی سخت(بزوستایا) نشان می‌دهد. در سطح کرنش ۲۰٪ و رطوبت ۹٪، عامل نیرو تقریبا بر بار حد گسیختگی منطبق گردید، لذا عملا کلیه نمونه‌ها در شرایط ذکر شده با نزدیک شدن به حد گسیختگی از دست رفت. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که در آزمایش تنش آسایی روی ارقام مختلف گندم (بویژه در نمونه‌های خشک) سطح کرنش ۱۰٪ عملا برای انجام این نوع آزمون مناسب است، چرا که در کرنش‌های بالاتر، بویژه تا حد ۲۰٪، احتمال تخریب اولیه[1] و درنتیجه از دست رفتن نمونه تحت آزمایش افزایش می‌یابد.

از بررسی نتایج بدست آمده در سطوح مختلف رطوبتی و البته بر اساس آنالیز واریانس مشخص گردید که فاکتور رطوبت تاثیر بسیار معنی‌داری (در سطح احتمال۰/۰۱) بر خواص ویسکوالاستیک دانه دارد. هر چند این پدیده پیش از این بوسیله محققین مختلف بیان شده است (۹، ۱۶)، اما آنچه در این مرحله اهمیت دارد نحوه تاثیر رطوبت بر آندسته از خصوصیات مکانیکی دانه گندم است که می‌توانند معیاری از کیفیت بافت دانه گندم باشند. درواقع تاثیر بحرانی رطوبت بر بافت دانه گندم (۱۸) مورد تایید قرار می‌گیرد. شکل‌های ۳ و ۴ نحوه تغییرات حاصله در دو ویژگی مکانیکی دانه گندم را در رطوبت‌های مختلف نشان می‌دهند. با اینکه بر اساس شکل‌های ۳ و ۴ دو عامل نیرو و نسبت کاهش نیرو متناسب با افزایش

1. Bioyield

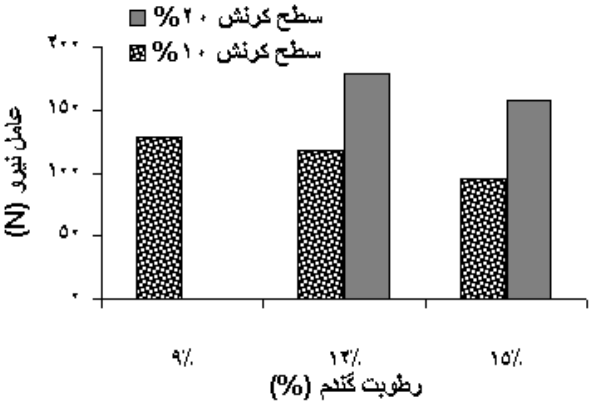
جدول ۳- میانگین پارامترهای مکانیکی دانه گندم حاصل از آزمون تنش آسایی در سه رقم گندم، سه سطح رطوبتی و دو سطح کرنش

	رطوبت ۹٪			رطوبت ۱۲/۲٪			رطوبت ۱۵/۴٪			
	B	R	M	B	R	M	B	R	M	
عامل نیرو (N)	۱۴۷/۳	۱۳۶/۵	۱۲۲/۱	۱۲۸/۳	۱۱۷/۱	۱۰۳/۶	۹۴/۰	۹۳/۳	۱۰۶/۱	سطح کرنش
نسبت کاهش نیرو (%)	۵/۹	۳/۹	۶/۸	۸/۰	۱۱/۲	۱۵/۴	۲۳/۰	۲۲/۰	۱۴/۸	٪۱۰
عامل نیرو (%)	×××	×××	×××	۲۲۶/۲	۱۶۷/۴	۱۸۱/۷	۱۵۵/۳	۱۳۸/۲	۱۵۸/۵	سطح کرنش
نسبت کاهش نیرو (%)	×××	×××	×××	۱۶/۱	۱۷/۴	۱۸/۶	۱۸/۷	۲۰/۰	۱۶/۰	٪۲۰

M = رقم مهدوی (نرم)، R = رقم روشن (نیمه سخت) و B = رقم بزوستایا (سخت)

× × × شکست نمونه‌های خشک پیش از رسیدن به سطح کرنش ٪۲۰

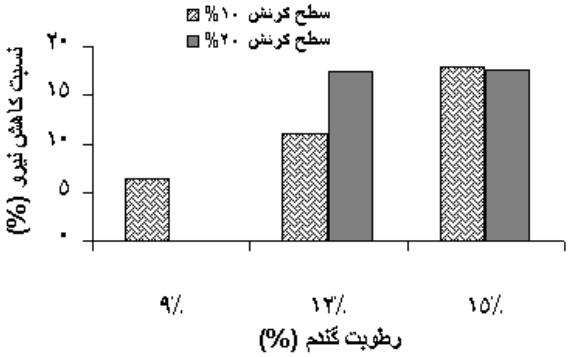
رطوبت تغییر می کنند و بر اساس نتایج تجزیه واریانس این تغییرات بترتیب در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ احتمال آماری معنی‌دار می باشند، اما تنها در مورد نسبت کاهش نیرو، تغییرات میانگین ارقام پنجگانه از یک رگرسیون خطی (r^2 = ۰/۹۹) پیروی می‌کند.



شکل ۳- تغییرات عامل نیرو در سطح کرنش ۱۰٪ با افزایش رطوبت گندم

همچنین در بررسی ارقام بطور مجزا، ارقام سخت تر، از تغییرات کمتری برخوردارند. بر اساس نتایج بدست آمده، در کنار فاکتورهای عامل نیرو و نسبت کاهش نیرو، پارامترهای c1 و d2 بیش از دیگر پارامترها در جداسازی ارقام بر اساس سختی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. نتایج آنالیز واریانس نشاندهنده تفاوت بین ارقام بر اساس این پارامترها، حداقل در سطح احتمال ۰/۰۵ می باشد.

در بررسی ارتباط بین مشخصه‌های دانه گندم حاصل از منحنی تنش آسایی و سختی گندم در سطح رطوبت ۱۳-۱۲ درصد و در سطوح مختلف احتمال آماری، ارتباط رگرسیونی خطی بین میانگین پارامترهای مختلف و کیفیت آسیابی گندم بطور معنی‌دار مشاهده می‌شود (جدول شماره ۴). اما رابطه خطی معنی داری بطور مشابه در دو سطح رطوبت ۱۰-۹ و ۱۶-۱۵ درصد مشاهده نشد.

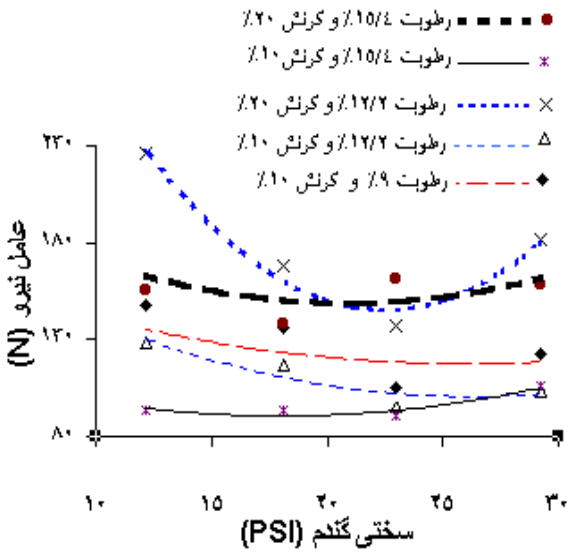


شکل ۴ - تغییرات نسبت کاهش نیرو در سطح کرنش ۱۰٪ و ۲۰٪ با افزایش رطوبت گندم

جدول ۴- مقادیر P- سطح احتمال و ضریب تبیین در رابطه خطی بین سختی توده گندم و خصوصیات ویسکوالاستیک دانه گندم در سطح رطوبت ۱۲/۲٪

	ضریب تبیین	P – سطح احتمال
قطر بزرگ	۰/۹۲	۰/۰۱
قطر متوسط	ns	ns
قطر کوچک	ns	ns
عامل نیرو	۰/۷۴	۰/۰۵
نسبت کاهش تنش	۰/۹۲	۰/۰۱
a1	ns	ns
b1	ns	ns
c1	۰/۷۸	۰/۰۵
a2	ns	ns
b2	ns	ns
c2	ns	ns
d2	۰/۷۲	۰/۰۵

بر اساس نتایج حاصل از انجام آزمایش ها مشخص گردید که با افزایش سطح کرنش اولیه از ۱۰ به ۲۰٪ ، هر دو متغیر عامل نیرو و نسبت کاهش نیرو نیز افزایش می‌یابند. بطوریکه بر اساس نتایج آزمون-t اختلاف مقادیر میانگین دو متغیر ذکر شده بر مبنای دو سطح کرنش اولیه در سطح ۰/۰۱ احتمال آماری معنی‌دار می‌باشد. تنها استثنا مربوط به سطح رطوبت ۱۵/۴٪ می باشد که در آن مقادیر نسبت کاهش نیرو از لحاظ آماری تفاوتی با یکدیگر ندارند. شکل ۵ شرایط فوق را برای فاکتور عامل نیرو نشان می‌دهد. باید توجه نمود که با افزایش رطوبت از ۱۲ به ۱۵٪ خواص الاستیک دانه کاهش و خواص ویسکوز آن افزایش می‌یابد (۹). در همین حال، به نظر می‌رسد که با افزایش سطح کرنش از ۱۰ به ۲۰٪ (با نزدیک شدن به نقطه گسیختگی) پراکندگی در خواص مکانیکی نیز افزایش می‌یابد که البته در سطوح مختلف رطوبت میزان این تغییرات نیز متفاوت می‌باشد. با اینهمه، برای رسیدن به نتایج مطمئن نیاز به تحقیقات بیشتر احساس می‌شود.



شکل ۵- تغییرات عامل نیرو متناسب با سختی گندم در سه سطح رطوبتی و دو سطح از کرنش اولیه با توجه به اینکه در رطوبت ۹٪ امکان رسیدن به کرنش ۲۰٪ عملا وجود نداشت.

اما در مقایسه نتایج بدست آمده نسبت به آزمون فشاری (۱)، داده‌های حاصل از آزمون تنش آسایی (تحقیق جاری) از میزان پراکندگی به مراتب کمتری برخوردارند. به نحوی که بطورمتوسط میزان پارامتر آماری ضریب تغییرات در آزمون تنش آسایی حدود ۱۶٪ بود درحالیکه همین پارامتر در آزمون فشاری بیش از ۲۰٪ گزارش شده است (۱). این نکته از آن جهت حایز اهمیت است که به عقیده صاحب نظران، در حال حاضر مهمترین نقطه ضعف آزمون‌های مکانیکی مساله پراکندگی گسترده داده‌های حاصل از آزمایش می‌باشد (۱۱).

نتایج آزمایش فشاری تک محوری روی دانه برنج

جدول شماره ۵ مقادیر میانگین پارامترهای استخراج شده از منحنی نیرو- تغییرشکل دانه برنج را در سه رقم مورد بررسی و بر مبنای دو نوع ابزار بارگذاری (صفحه تخت و گوه بارگذاری) بصورت شبه استاتیک، نشان می‌دهد. بخشی از این پارامترها شامل مولفه‌های نیرو، تغییرشکل دانه و سطح زیر منحنی تا نقطه گسیختگی متناسب با ابعاد و شکل دانه بوده و بخش دیگر منعکس کننده ویژگی‌های جزئی‌تر منحنی حاصل از استخراج ضرایب معادلات برازش شده بر داده‌ها می‌باشند.

همانطور که از جدول شماره ۵ مشاهده می‌گردد تفاوت آشکاری بین میانگین مقادیر بدست آمده از دو روش بارگذاری در هر رقم وجود دارد. نتایج آزمون ـ t نیز اختلاف معنی دار در سطح آماری ۰/۰۱ را در مورد برخی پارامترها، بویژه بار بیشینه (نیروی گسیختگی) و سطح زیر منحنی در مقایسه دو نوع ابزار بارگذاری نشان می‌دهد. اهمیت این اختلاف زمانی روشن شد که نتایج آنالیز واریانس و آزمون چند دامنه‌ای دانکن نیز دلالت بر تفاوت معنی‌دار بین داده‌های استخراج شده در دو روش بارگذاری داشت. بطوریکه در بارگذاری بوسیله صفحه تخت تنها رقم هاشمی از دو رقم دیگر قابل تمایز می‌باشد، درحالیکه در بارگذاری از طریق گوه می‌توان در محدوده گسترده‌تری عمدتا به جداسازی دو رقم بینام و سپیدرود، هر یک به تنهایی از دو رقم دیگر پرداخت. با این همه، در مقایسه دو روش بارگذاری اختلاف معنی‌داری در تغییرشکل نقطه گسیختگی مشاهده نشد. همچنین به منظور امکان بررسی تاثیر اندازه دانه بر نتایج رگرسیونی، پارامترهایی به شکل F/D_{min} ، F/D_{int} ، F/D_{max} و F/Vol تعریف شدند که در آنها، F، نیرو ، Vol، حجم بیضی گون و D_{min} ، D_{int} ، D_{max} بترتیب اقطار کوچک، متوسط و بزرگ دانه می‌باشند (جدول ۶).

جدول ۵- مقادیر میانگین ابعاد و پارامترهای استخراج شده از منحنی نیرو- تغییرشکل دانه برنج در ارقام سه گانه و تحت دو نوع ابزار بارگذاری

	سپید رود		بینام		هاشمی	
	عامل گوه	صفحه تخت	عامل گوه	صفحه تخت	عامل گوه	صفحه تخت
کرنش ناگسیختگی	۰/۰۹۶	۰/۱۵۵	۰/۱۲۱	۰/۱۶۴	۰/۴۴	۰/۱۱۲
عامل نیرو(N)	۴۰/۷	۱۱۸/۸	۵۱/۸	۱۲۹/۹	۳۸/۲	۱۳۴/۹
سطح زیر منحنی($mm\text{-}N/mm^3$)	۰/۲۵۷	۱/۱۵۱	۰/۳۷۲	۱/۲۵۲	۰/۴۰۹	۰/۸۰۸
قطر بزرگ	۷/۰۷	۶/۹۳	۶/۵۲	۶/۴۴	۶/۷۸	۷/۳۵
قطر متوسط	۲/۰۶	۲/۰۱	۲/۲۶	۲/۲۹	۱/۸۵	۱/۸۹
قطر کوچک	۱/۷۱	۱/۷۱	۱/۶۸	۱/۷۶	۱/۶۵	۱/۶۱

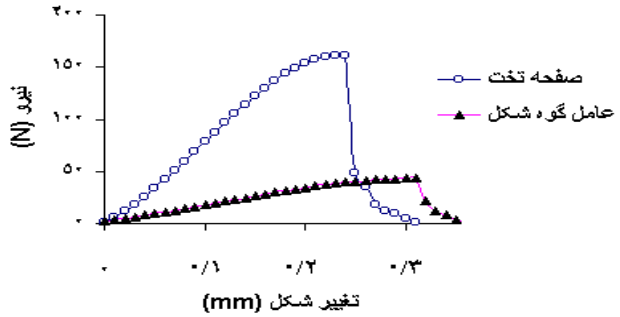
جدول ۶- مقادیر P - سطح احتمال و متعاقب آن نتایج آزمون دانکن در جداسازی ارقام، بر اساس پارامترهای مورد بررسی

	بارگذاری توسط گوه		بارگذاری توسط صفحه تخت	
	آزمون دانکن در سطح ۵٪	نتایج تجزیه واریانس p-value	آزمون دانکن در سطح ۵٪	نتایج تجزیه واریانس p-value
کرنش تا گسیختگی	——	n.s.	——	n.s
بار پیشینه	BS	۰/۰۵	——	n.s
F/Dmin	BS, BH	۰/۰۵	——	n.s
F/Dint	——	n.s.	HS, HB	۰/۰۵
F/Dmaj	BS, BH	۰/۰۲	——	n.s
F/Vol.	——	n.s.	HS, HB	۰/۰۵
سطح زیر منحنی	——	n.s.	——	n.s
a1	HB, HS	۰/۰۷	HS, HB*	۰/۰۱
a2	SH, SB	۰/۰۵	——	n.s
b2	SH , SB	۰/۰۵	——	n.s
c2	BH	۰/۰۵	——	n.s

در جدول فوق: * معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ S, B, H به ترتیب به معنای ارقام هاشمی، بینام و سپیدرود می‌باشند.

HB به معنای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین دو رقم هاشمی و بینام

همانگونه که از جدول شماره ۶ ملاحظه می‌گردد، با استفاده از عامل گوه بطور گسترده‌تری امکان جداسازی ارقام فراهم می‌گردد. اما در همین حال، با کمک عامل بارگذاری صفحه تخت می‌توان رقم هاشمی را از دو رقم دیگر شناسایی نمود. شکل ۶ دو نمونه منحنی حاصل از بارگذاری دانه برنج، در سطح رطوبت ۸/۷٪ ، بوسیله صفحه تخت و عامل گوه شکل را نشان می‌دهد. چنانکه مشاهده می‌شود، منحنی حاصل از روش گوه بسیار کوچک‌تر از منحنی صفحه تخت می‌باشد. با این همه به نظر می‌رسد که در روش گوه مشکلات کمتری در دست یابی به اطلاعاتی یکدست از بافت دانه وجود دارد، زیرا عملا با تعداد کمتری از آزمایش‌های مردود (نمونه‌های از دست رفته) مواجه گردید. بر اساس شکل ۶، از لحاظ سطح کرنش تفاوت مشخصی بین دو روش مشاهده نمی‌شود، اما در پارامترهایی مانند مولفه نیرو در نقطه گسیختگی، شیب متوسط و سطح زیر منحنی تفاوت کاملا آشکار است.



شکل ۶- منحنی نیرو ـ تغییر شکل دانه برنج (رقم هاشمی) تحت بارگذاری با صفحه تخت و عامل گوه شکل

بحث

۱- از بررسی ویژگی‌های ویسکوالاستیک دانه گندم مشخص گردید که می‌توان ارقام مختلف گندم را بر اساس ویژگی‌های مکانیکی از یکدیگر تفکیک نمود. این تفکیک در سطح رطوبتی ۱۳-۱۲ درصد امکان‌پذیر است، که بویژه برای شناسایی خصوصیات آسیابی گندم در زمان آسیاب عملا قابل استفاده خواهد بود. همچنین در مقایسه با آزمون فشاری نتایج آزمون تنش آسایی از پراکندگی کمتری برخوردار است. در عین حال، رطوبت دانه تاثیری کاملا معنی‌دار و بعضا غیریکنواخت بر پارامترهای مکانیکی مورد بحث دارد. بر اساس نتایج آزمون بر روی دانه‌های گندم، با افزایش سطح کرنش اولیه (در آزمایش تنش آسایی)، عامل نیرو در هر سه سطح رطوبتی افزایش می‌یابد درحالیکه در مورد نسبت کاهش نیرو، این افزایش تنها در رطوبت ۱۲/۲٪ معنی‌دار بود. در کل، به نظر می‌رسد که برای دستیابی به اطلاعات حاصل از بافت دانه گندم بر مبنای سختی باید بررسی در رطوبتی معین انجام گیرد که تعیین دقیق این رطوبت بحرانی به انجام آزمایش‌های بیشتری نیاز دارد. اما در مورد سطح کرنش به نظر می‌رسد که با نزدیک شدن به نقطه گسیختگی (ورود به محدوده الاستو پلاستیک) اغتشاش در خواص مکانیکی دانه، بر مبنای سختی افزایش می‌یابد.

۲- در مورد ارقام سه گانه برنج نیز می‌توان این ارقام را بر اساس پارامترهای (الاستیک) استخراج شده از منحنی نیرو-تغییرشکل، حاصل از آزمون ساده فشاری، از یکدیگر تفکیک نمود. نتایج استفاده از دو نوع عامل بارگذاری نشان می‌دهد که در استفاده از هر عامل بارگذاری، خصوصیات معینی از بافت محصول تحت تاثیر قرار می‌گیرد. این پدیده افزون بر اطلاعاتی که برای تفکیک و طبقه‌بندی ارقام بدست می‌دهد، وجود تفاوت در طبیعت مکانیکی دانه‌های ارقام مختلف یک غله را نشان داده و افق تحقیقات بیشتر را پدیدار می سازد.

۳- باید توجه نمود که برای تعیین یک شاخص کیفی مطمئن از بافت دانه، نیاز به انجام آزمایشاتی با تکرار زیاد (بین ۳۰۰تا ۱۰۰۰ عدد) و مقایسه منحنی‌های نرمال حاصله می‌باشد. نتایج حاصل از دو آزمایش فوق، همراه با تحقیقات پیشین (۲)، شرایط را برای انجام چنین تحقیقاتی در آینده فراهم آورده است.

مراجع مورد استفاده

REFERENCES

۱. افکاری سیاح، ا. ح. و س. مینایی. ۱۳۸۱. بررسی برخی از خواص مکانیکی دانه گندم و ارتباط آن با سختی گندم. مجموعه خلاصه مقالات دومین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون، کرج.

۲. مینایی، س و ا. ح. افکاری سیاح. ۱۳۸۱. طراحی، ساخت و آزمایش دستگاه بارگذاری رایانه ای برای مطالعه رفتار مکانیکی محصولات دانه ای. ارسال شده برای مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی.

3. Abbott, J. A. & R. Lu. 1996. Anisotropic mechanical properties of apple. Transactions of the ASAE, 39(4):1451-1459.
4. American Association of Cereal Chemists. 1996. Approved methods of the AACC. Method 55-30. The Association:St, Paul, MN.
5. Arnold, P.C. & A.W. Robert. 1969. Fundamental aspects of load-deformation behavior of wheat grains. Transactions of the ASAE, 12:104-108.
6. Arnold, P.C. & N. N. Mohsenin. 1971. Proposed techniques for axial compression tests on intact agricultural products of convex shape. TRANS. ASAE, 14:78-84.
7. ASAE Standards. 1999a. Compression test of food materials of convex shape. American Society of Agricultural Engineers. S368.3.

8. ASAE Standards. 1999b. Moisture measurement - unground grain and seeds. American Society of Agricultural Engineers, SAE. S352.2.
9. Bargale, P.C., J. Irudayaraj, & B. Marquist. 1995 .Studies on rheological behaviour of Canola and Wheat. Journal of Agricultural Engineering Research. 61: 267 - 274.
10. Dowell, F., C. Martin, J. Steele, & D. Vacant. 1997. Objective grading and end-use property assessment of single kernels and bulk grain samples. USDA Projects, available at: http://www.usda.org.
11. Hoseney, R. C. & J. M. Faubion. 1992. Physical properties of cereal grains. In: Storage of Cereal Grains and Their Products. 4th edn. American Association Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, M.N
12. Husain, A., K. K. Agrawal, T. P. Ojha, & N. G. Bhole. 1971. Viscoelastic behavior of rough rice. Transactions of the ASAE, 10: 313-314 and 318.
13. Lakes, R. S. 1999. Viscoelastic solids. 1st edn., CRC Press, 476 p. Boca raton, Florida.
14. Lewis, M. J. 1990. Physical properties of food and food processing systems. 1st edn. Chichester. Ellis Horwood, UK.
15. Massie, D , D. Slaughter, J. Abbott, & W. Haruschka. 1993. Acoustic, single-kernel wheat hardness. Transactions of the ASAE, 36: 1393-1398 .
16. Mohsenin, N. N. 1978. Physical properties of plant and animal materials. 1st edn. Gordon and Breach, New York, N.Y.
17. Ohm, J. B., O. K. Chung, & C. W. Deyoe. 1998. Single -kernel characteristics of hard winter wheat in relation to milling and baking quality. Cereal Chemistry. 75:156 - 161.
18. Yamazaki, W.T. & J. R. Donelson. 1983. Kernel hardness of some U.S. wheats. Cereal Chemistry, 60(5): 344-350.

An Investigation of Mechanical and Rheological Properties of Wheat and Rice Kernels for Quality Classification

A. H. AFKARI SAYYAH[1] AND S. MINAEI[2]
1, Scientific Member, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili,
2, Scientific Member, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares,
Tehran, Iran
Accepted, Jan. 21, 2004

SUMMARY

In order to obtain some quality properties of wheat and rice kernels, which may be utilized for end–use property assessment, stress relaxation and uniaxial compression tests were conducted on wheat and rice kernels. In these tests, the effects of moisture content, strain level, and type of loading probe were investigated on mechanical properties of the two cereal grains. Along with measurement of mechanical parameters, stress relaxation tests were also carried out on wheat grains. Using these tests, the coefficients of two fitted polynomial equations were extracted from the curves as the indices of shape of curve. Based on the results, a linear relationship was defined relating the ratio of force decay, as a factor of stress relaxation curve, the force factor and c1 and d2 coefficients (of polynomial eq.'s), to the wheat hardness (an index of wheat milling quality). It was found that, wheat moisture content had a critical effect on the results. The effect of strain level on the results shows the considerable variations in mechanical properties, due to increase in strain level. According to the results of uniaxial compression tests and the strength properties of rice grain (extracted from the force – deformation curve), it was found that different varieties of rice can be classified based on measured parameters. In addition, use of two types of loading probes showed that for each kind of probe, a specific characteristic of grain tissue can be assessed.

Key words: Mechanical and rheological properties, Wheat, Rice, Stress relaxation, Compression test.