طراحی و ساخت دستگاه بارگذاری ضربه‌ای برای مطالعه رفتار مکانیکی محصولات کشاورزی و آزمایش آن با گندم

امیر حسین افکاری سیاح[1]، دکتر سعید مینایی[2*]

۱- استادیار دانشگاه محقق اردبیلی

۲- استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

چکیده

به منظور انجام آزمایشات بارگذاری ضربه‌ای روی محصولات کشاورزی، یک دستگاه تست ضربه طراحی و ساخته شد. این دستگاه که از نوع آونگی می باشد از یک شاسی وزین و بدون لرزش، بازو و وزنه بارگذاری، صفحه مدرج، یک پتانسیومتر و سیستم داده برداری تشکیل شده است. مشخصات فنی و ابعاد دستگاه بگونه‌ای است که امکان بررسی خصوصیات مکانیکی انواع محصولات کشاورزی از جمله محصولات دانه‌ای را طی یک بارگذاری ضربه‌ای در حالت دست نخورده فراهم میکند. با کمک این دستگاه، امکان اندازه گیری میزان انرژی برای تخریب دانه، انرژی کرنشی منتقل شده به دانه، ضریب بازگشت و انرژی ویژه فراهم می‌گردد. به منظور بررسی خصوصیات فنی دستگاه، دانه‌های پنج رقم مختلف گندم در دو سطح رطوبتی تحت آزمون ضربه قرار گرفتند. نتایج حاصل از بررسی اثر رطوبت بر پارامترهای بدست آمده، نشان دهنده تاثیر معنی دار رطوبت بر ضریب بازگشت و انرژی کرنشی بوده، درحالیکه با اعمال ابعاد دانه در فاکتورهای مورد نظر (تحت عنوان انرژی ویژه و انرژی مخصوص) تاثیر رطوبت بسیار کاهش می‌یابد. با استفاده از داده‌های بدست آمده، انرژی سینتیک کمینه لازم برای گسیختگی دردانه‌های خشک (۶/۵٪ رطوبت بر پایه تر) و مرطوب (۱۵٪ بر پایه تر) به ترتیب معادل ۳۳ و ۷۲ میلی ژول تعیین گردید. بر مبنای نتایج این آزمایش، مشخص شد که میتوان ارقام مختلف گندم را بر اساس پارامترهای مکانیکی استخراج شده، از یکدیگر متمایز نمود. همچنین مشخص شد که میزان پراکندگی داده در این نوع تست کمتر از تست فشاری است.

کلیدواژگان: گندم، بارگذاری ضربه ای، خواص مکانیکی، ضریب بازگشت، انرژی کرنشی

۱- مقدمه

محصولات کشاورزی در مراحل برداشت، حمل و نقل، نگهداری و فرآوری، تحت تاثیر نیروهای استاتیک و دینامیک قرار می‌گیرند. در بسیاری از موارد این نیروها میتوانند موجب آسیب دیدگی مکانیکی محصول گردند. این آسیب دیدگی هر چند کوچک (ایجاد ترک یا شکاف در داخل یا سطح محصول) می‌تواند شرایط را برای فساد محصول فراهم نموده و یا آن را آماده تخریب کامل نماید. لذا آگاهی از این ویژگیها که به عنوان خواص مکانیکی محصولات کشاورزی و مواد غذایی شناخته می‌شوند، از اهمیت زیادی برخوردار بوده و در طراحی و ساخت ماشین آلات فرآوری و نیز در بهینه سازی انواع ماشینها و تجهیزات کشاورزی به ویژه در مراحل پس از برداشت و به منظور کاهش ضایعات کاربرد دارد. در بسیاری از این موارد، آسیب دیدگی، بواسطه اعمال

* مسؤول مکاتبات: E-mail: minaee7@hotmail.com

بارهای ضربه‌ای رخ میدهد. یکی از راه‌های اصولی برای جلوگیری از بروز صدمات در چنین حالتی، شناخت خصوصیات مقاومتی محصول تحت شرایط مختلف است.

یکی از روشهایی که از طریق آن می توان به ویژگی‌ی مقاومتی یک ماده (در اینجا یک محصول کشاورزی) پی برد بکارگیری آزمون ضربه است. در این روش، نیرو به صورت لحظه ای (کسری از ثانیه) بر جسم اعمال می گردد. از آنجاکه مواد بیولوژیک دارای ماهیتی ویسکوالاستیک می باشند، لذا پیش بینی عکس العمل این مواد نسبت به بار اعمال شده به سهولت امکان پذیر نیست. به ویژه آنکه با افزایش سرعت بارگذاری، عموما ماده تحت ضربه (حتی در مواد مهندسی) خصوصیات تردی[1] بیشتری از خود نشان می دهد. از لحاظ نظری و بر مبنای پیش بینی رفتار مواد به کمک مدلهای مکانیکی، این پدیده ناشی از یک تکه شدن و به عبارتی عمل نکردن جزء ضربه گیر[2] می باشد[۱].

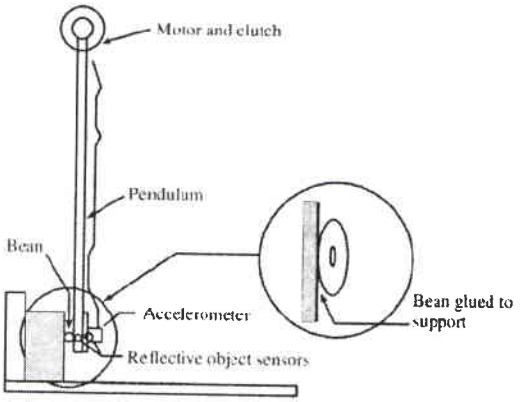
آزمایش بارگذاری ضربه ای، در شرایطی که فاکتور آهنگ بارگذاری[3] اهمیت داشته باشد، اطلاعات مفیدی به دست می‌دهد. در حال حاضر روش استانداردی برای انجام آزمون ضربه در مواد غذایی وجود ندارد و روشهای مشابه در مواد مهندسی (نظیر آزمون آیزود یا تست شارپی[4]) نیز دارای مکانیسمی کاملا متفاوت بوده و در بررسی مواد کشاورزی کاربرد ندارند. لذا در مطالعات مختلف از روشهای متفاوت بارگذاری ضربه ای استفاده شده است.

هدف عمده در اغلب آزمایشاتی که بر این اساس انجام گرفته اند، مطالعه بر روی محصولات کشاورزی از نظر ضایعات مستقیم و غیر مستقیم ناشی از پدیده ضربه و کسب اطلاعات لازم در طراحی و بهینه سازی ماشینهای برداشت و فرآوری بوده است [۲، ۳، ٤، ٥]. بیلانسکی[۷،٦]، به منظور برآورد شرایط واقعی اعمال بار در عملیات برداشت و فرآوری، پنج نوع دانه غله شامل سویا، ذرت، گندم پاییزه، جو و یولاف را تحت سه نوع آهنگ بارگذاری (فشاری تدریجی[5]، ضربه با سرعت کم[6] و ضربه با سرعت زیاد[7]) و سطوح مختلف رطوبتی قرار داد. برای اعمال ضربه با سرعت کم، از یک دستگاه آونگی استفاده شد که در آن هر بار یک دانه بوسیله چسب بر روی سندان قرار می گرفت . وزن آونگ معادل ۱۹۰ گرم و ارتفاع حرکت مرکز ثقل آن بیش از ۷ سانتی متر بود. نتایج این تحقیق نشان داد که به طور کلی، اندازه دانه، میزان رطوبت و جهت قرارگیری دانه بر مقاومت به آسیب دیدگی غلات تاثیر می‌گذارند.

در تحقیقی یک دستگاه ضربه آونگی طراحی و پس از ساخت مورد آزمایش قرار گرفت. با کمک این دستگاه خصوصیات مقاومت به ضربه، شامل سختی دینامیک و انرژی جذب شده برای شکست در میوه سیب و دانه ذرت مورد بررسی قرار گرفت[۸].

درخلال مراحل پس از برداشت، محصولات کشاورزی تحت بارهای ضربه ای پی در پی قرار می گیرند که اگر این ضربات محدود نگردند به ضایعات مستقیم و غیر مستقیم محصول می انجامد. تعیین این محدودیت از طریق اندازه گیری خواص مقاومت به ضربه محصول امکان پذیر است. در این راستا، در تحقیقی با کمک دستگاه آزمون ضربه آونگی (شکل ۱) خواص دینامیکی دانه لوبیا چشم بلبلی (با رطوبت ۱۱٪ بر پایه تر و سرعت بارگذاری ۳/ متر بر ثانیه) مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه ابتدا منحنیهای نیرو، سرعت و جابجایی نسبت به زمان استخراج شده سپس بر مبنای آنها میزان انرژی جذب شده و انرژی آزاد شده توسط لوبیا پس از ضربه محاسبه گردید [۹].

1- Brittleness
2- Dashpot or damper
3- Loading rate
4- Izod Test and Charpy Test
5- Gradually applied load
6- Low velocity impact
7- High velocity impact



شکل۱ مکانیسم دستگاه آزمایش ضربه در تحقیق آلن و واتز (۱۹۹۷)

برخی مطالعات نیز با هدف مقایسه مواد ضربه گیر[1] که در مراحل پس از برداشت به کار می‌روند انجام شده است. در تحقیقی که در این زمینه انجام شد، مشخص گردید که می توان عکس العمل دینامیکی مواد پلی اتیلن را که عموما به عنوان مواد ضربه گیر در ماشین آلات و در مراحل برداشت و جابجایی به کار می روند، از طریق یک مدل رئولوژیکی معروف به مدل *کلوین*[2] بطور موثری پیش بینی نمود [۱۰].

اما در رابطه با انواع میوه و سبزی، محققین تحقیقات دامنه داری را با هدف تعیین آستانه کوفتگی[3] ناشی از ضربه و نحوه تاثیر شرایط مرزی، عمدتا دما و فشار ترگر[4] محصول انجام داده‌اند [۱۲].

درحالیکه کشور ما یکی از بزرگترین تولید کنندگان محصولات کشاورزی و به ویژه انواع غله در منطقه بوده و درعین حال با مقادیر قابل ملاحظه ای از ضایعات در مرحله تولید روبرو است، اما تاکنون تحقیقات بسیار محدودی در زمینه مبانی ضایعات مکانیکی در کشور انجام شده است. در این رابطه نگارندگان هیچ گونه سابقه ای از بررسی خواص مقاومت به ضربه محصولات کشاورزی و به ویژه غلات در کشور نیافتند. بر این مبنا، هدف از مطالعه حاضر عبارت است از طراحی و ساخت دستگاهی به منظور اندازه گیری پارامترهای مکانیکی محصولات کشاورزی تحت بارگذاری ضربه‌ای و آزمایش دستگاه طی یک طرح آزمایش فاکتوریل. در این آزمایش تاثیر رطوبت بر ویژگیهای مکانیکی دانه گندم تحت آزمون ضربه مورد بررسی قرار گرفت.

1- Cushioning materials
2- Viogt-Kelvin
3- Bruise thershold
4- Fruit turgor

۲- مواد و روشها

۲-۱- مبانی استخراج برخی پارامترهای مکانیکی با کمک تست ضربه

با اعمال ضربه از طریق یک جسم صلب با جرم معین بر دانه کامل[5]، با کمک معادله تعادل انرژی (رابطه ۱)، پارامترهای مختلفی را می توان از یک تست ضربه استخراج نمود.

$$W_i = W_R + W_p + W_L \qquad (۱)$$

که در آن :

$$W_i = \tfrac{1}{2} m V^2 \qquad (۲)$$

پارامترهای معادله فوق عبارتند از: W_i انرژی ضربه (یا همان انرژی سینتیک)، W_L انرژی تلف شده که در طی وقوع ضربه هدر می‌رود (مثلا به صورت ایجاد ارتعاش یا حرارت)، W_p ، انرژی کرنشی که در مواد نرم دلالت بر ایجاد تغییر شکل دائم و در مواد ترد حکایت از ایجاد یا گسترش ترک در جسم دارد؛ m جرم وزنه و V سرعت وزنه در لحظه برخورد می باشد.

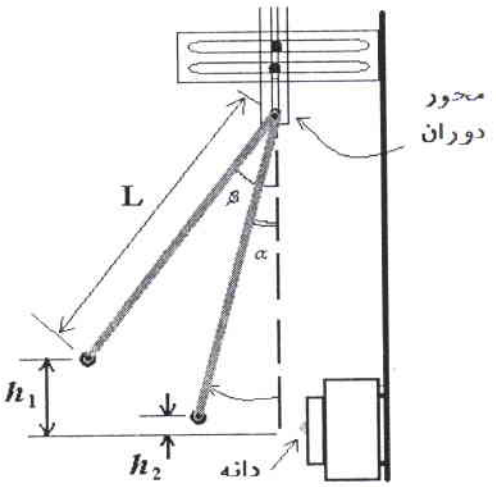
همچنین W_R انرژی جهش[6] یا بازگشت می باشد که تا حدی می تواند مبین خصوصیات کشسانی یا الاستیک ماده باشد. به سادگی مشخص می‌گردد که با اندازه گیری مقادیر انرژی کل (انرژی ضربه) و انرژی جهش، و تخمین انرژی تلف شده میتوان انرژی کرنشی را محاسبه نمود. برای رسیدن به یک مبنای نظری جهت استخراج پارامترهای دیگری که بتوانند معرف خصوصیات الاستوپلاستیک محصول باشند، می‌توان از فرض الاستیک

5- Whole kernel
6- Rebound energy

بودن دانه گندم با دقت قابل قبولی استفاده نمود[۱] . در بدو امر، مقدار W_p به عنوان میزان انرژی کرنشی، که از رابطه ۳ قابل محاسبه است، نخستین پارامتر مکانیکی قابل دست یابی خواهد بود (شکل ۲).

$$W_p = mg\,(h_1 - h_2) - W_L \qquad (۳)$$

که در آن m جرم وزنه، g شتاب ثقل و h_1 و h_2 به ترتیب ارتفاع سقوط و جهش وزنه و W_L انرژی تلف شده می‌باشند.



شکل ۲ مکانیسم سیستم آونگی آزمون ضربه و پارامترهای قابل اندازه گیری در آن

به واسطه عدم استفاده از قطعات با اندازه استاندارد و نیاز به اعمال اثر اندازه دانه بر نتایج آزمایش دو پارامتر انرژی ویژه و انرژی مخصوص به ترتیب در واحد انرژی در واحد حجم (بیضیگون) و انرژی در واحد سطح رویه دانه تعریف می شوند. پارامتر دیگری که می‌تواند به عنوان معیاری از مقاومت بافت محصول اندازه گیری شده و مورد بررسی قرار گیرد، پارامتر ضریب بازگشت[1] است. این ضریب که یکی از مهمترین مشخصه‌های مکانیکی جسم تحت ضربه می‌باشد [۱۲] بیان کننده میزان پلاستیک بودن برخورد است و معمولا بر اساس نسبت سرعت نسبی نهایی به سرعت نسبی اولیه اجسام برخورد کننده در جهت عمود بر سطح تماس (رابطه ٤) تعریف می‌شود [۱۳].

$$e = (V_2 - V_1)/(U_2 - U_1) \qquad (٤)$$

در این رابطه، U سرعت پیش از برخورد و V سرعت پس از برخورد می‌باشد و اندیسهای ۱ و ۲ دلالت بر برخورد دو جسم دارند. طبیعتا اگر یکی از اجسام ثابت باشد، مقدار این ضریب به شکل $e = V_1/U_1$ خواهد بود. درصورتیکه بخواهیم ضریب بازگشت را از طریق یک آزمون ضربه تعیین کنیم، می‌توان رابطه ٥ را به کار گرفت [١٤].

$$e = \sin(\beta/2)/\sin(\alpha/2) \qquad (٥)$$

در اینجا α و β به ترتیب زاویه اولیه و زاویه پس از جهش آونگ می‌باشند (شکل ۲). مقدار e برای اجسام مطلقا الاستیک برابر با واحد بوده و برای اجسام غیر الاستیک کوچک تر از یک است [۱٥].

۲-۲- طراحی و ساخت دستگاه آزمون ضربه

به منظور ایجاد امکان اندازه گیری پارامترهای مکانیکی که در بخش پیشین بدانها اشاره شد، دستگاه بارگذاری ضربه‌ای از نوع آونگی طراحی و ساخته شد(شکل ۳). در روش آونگی (در مقایسه با روش سقوط آزاد) کنترل بیشتری بر بار اعمالی و محصول مورد آزمایش در لحظه وقوع ضربه و پس از آن وجود دارد. این امر همراه با ساده تر بودن ابزار اندازه گیری مورد نیاز به افزایش دقت می‌انجامد، بطوریکه تابحال اغلب محققین از این روش بارگذاری استفاده نموده‌اند [۱٦،۱۲۸]. در طراحی دستگاه بارگذاری ضربه‌ای مورد نظر اندازه گیری دقیق فاکتورهای مورد بررسی از اولویت برخوردار بود. در عین حال، برای این منظور به نوع

1- Coefficient of restitution

آزمایش (به عنوان یک آزمایش عینی) و محدودیتهای موجود در انجام آزمایش توجه گردید. کوچک بودن محصول مورد آزمایش و سرعت بالا از جمله این محدودیتها می باشند. در واقع آنچه در طراحی دستگاه اهمیت داشت، این بود که بتوان تا حد امکان مقدار دقیق و قابل اندازه گیری از انرژی را به شکل ضربه‌ای بر دانه اعمال نموده و در عین حال بتوان میزان جهش آونگ را (به عنوان معیاری از رفتار الاستو پلاستیک جسم) اندازه گیری نمود. همچنین به عنوان یک آزمایش عینی باید کلیه شرایط در هنگام آزمایش ثابت باقی بماند. لذا فرض می‌شود که با توجه به روش اعمال ضربه و اندک بودن موانع اصطکاکی، فاکتور مهم آهنگ بارگذاری در طول آزمایش و نیز در آزمایشهای مکرر بدون تغییر خواهد ماند.

همچنین نکته مهم دیگر، کمینه نمودن ارتعاش دستگاه پس از اعمال ضربه می‌باشد. بر این اساس، برای انجام تست ضربه و اندازه گیری فاکتورهای ذکر شده، دستگاه اندازه گیری مورد نظر دارای خصوصیاتی به شرح زیر است (شکلهای ۳ و ٤):

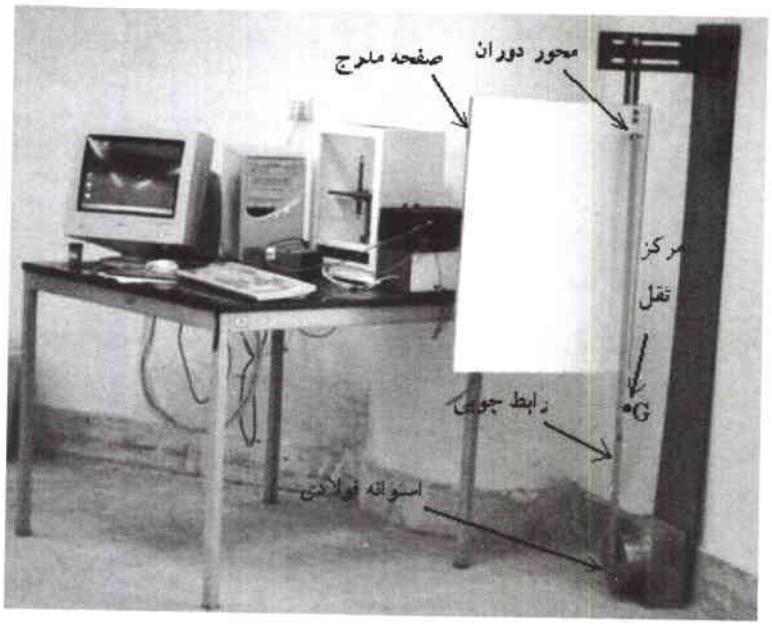
۱- قابلیت ایجاد ضربه در محدوده گسترده‌ای از انرژی ضربه‌ای از طریق تغییر اندازه وزنه و ارتفاع سقوط آونگ؛

۲- عدم لرزش بدنه به علت جرم زیاد آن و نیز داشتن قابلیت نصب بر روی دیوار؛

۳- قابلیت آزمایش انواع دانه، میوه و سبزی به دلیل داشتن سطح وسیع تکیه گاهی؛

٤- قابلیت اندازه گیری جهش آونگ پس از برخورد؛

۵- استفاده از نوعی پتانسیومتر با اصطکاک بسیار کم روی محور دوران و یک مجموعه الکترونیکی داده برداری برای اندازه گیری زوایا بطور دیجیتال.

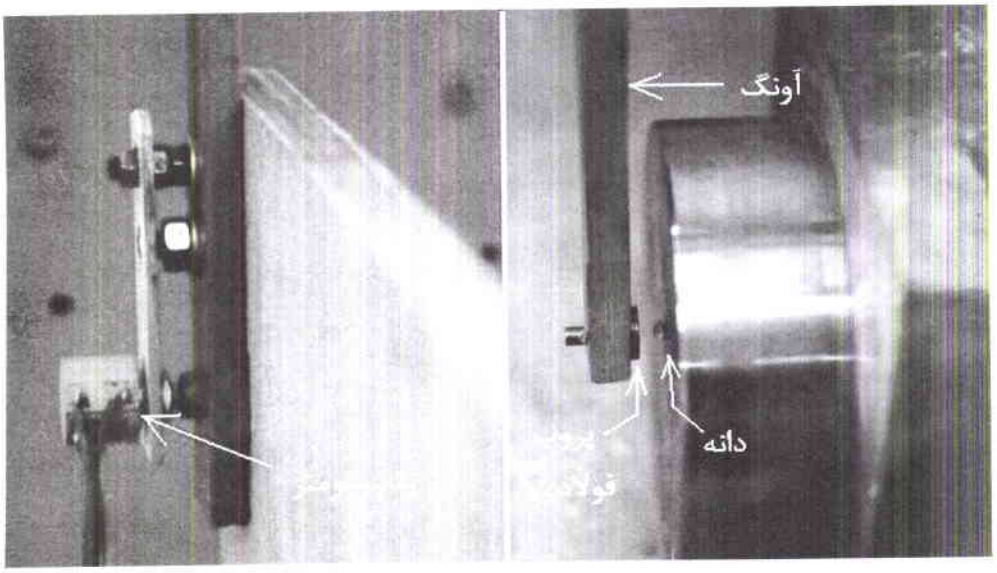


شکل ۳ دستگاه تست ضربه و امکان اندازه گیری زوایای برخورد و جهش آونگ

شکل ۳ نمایی از مکانیسم دستگاه تست ضربه را نشان می‌دهد که قطعات اصلی در آن نامگذاری شده اند. سطح تکیه گاه از یک استوانه فولادی سنگین تشکیل گردیده که در داخل یک بلوک آهنی چگال جایگذاری شده است. فولاد از دو مزیت ضریب کشسانی بالا و قابلیت پرداخت سطحی خوب برخوردار است که در انتخاب آن به عنوان یک سطح ضربه زننده موثر بود. وزنه (۱۰ تا ۲۰۰ گرمی) به آونگی به طول ۱۱۱ سانتی متر متصل شده که در امتداد مرکز استوانه

فولادی به یک یاتاقان ساچمه‌ای در ارتفاع ۱/٤ متری متصل میگردد. موقعیت نقطه اتصال آونگ به یاتاقان در هر سه جهت عمودی، افقی و جانبی قابل تنظیم.می‌باشد (از طریق مکانیسم نشان داده شده در قسمت بالای شکل ۲).

محور دورانی آونگ از اصطکاک اندکی برخوردار بوده و به نوعی طراحی شده است که امکان نصب هر نوع حسگر دورانی در سمت دیگر آن وجود دارد. در بخش بالایی دستگاه از صفحه مقیاسی به شکل ربع دایره به عنوان شاخص اندازه گیری زاویه آونگ استفاده میگردد. همچنین اندازه گیری میزان جهش وزنه از طریق یک سیستم دیجیتال و از طریق پتانسیومتر انجام می‌پذیرد (شکل ٤).



شکل ٤ راست نحوه قرارگیری دانه بر روی استوانه فولادی با کمک اندکی چسب

چپ استفاده از پتانسیومتر روی محور دوران برای اندازه گیری الکترونیکی جهش آونگ

فرض میکنیم که وزنه آونگ از ارتفاعی معادل h1 سقوط میکند بطوریکه داریم:

$$h1 = L - L.\cos\alpha$$

(٦الف)

که در آن L طول رابط آونگ از محل دوران تا انتهای بازو بوده و α زاویه رها سازی آونگ می‌باشد (شکل ۲). پس از برخورد وزنه به بلوک، آونگ تا ارتفاعی معادل (h2) بازگشت میکند و مانند معادله ٦ الف داریم:

$$h2 = L - L.\cos\beta$$

(٦ب)

که در آن β معادل زاویه بازگشت آونگ است. از آنجاکه داریم :

$(\frac{1}{2}mV^2)$ در زمان برخورد = $(mgh1)$در بالا

لذا سرعت وزنه در زمان برخورد به بلوک در پایین ترین نقطه نوسان، معادل ($\sqrt{2gh}$) مقداری معلوم خواهد بود. از لحاظ نظری میزان انرژی پتانسیل در ارتفاع h معادل انرژی سینتیک در زمان برخورد آونگ به دانه می باشد، اما از آنجاکه آونگ مورد نظر به دلیل استفاده از بازو (بجای رشته سیم) به نوعی آونگ مرکب تبدیل می شود، لذا عملا بین این دو وضعیت اختلاف مختصری وجود دارد. بنابراین لازم است که ابتدا جرم موثر[1] آونگ مشخص شده و سپس انرژی سینتیک بر اساس آن محاسبه گردد [١٦]. برای این منظور ابتدا پریود آونگ از طریق نوسان آونگ در حالت آزاد و اندازه گیری مدت زمان یک نوسان کامل با استفاده از

1- Effective mass of pendulum

داده‌های پتانسیومتر، برابر با ۱/۹ ثانیه برآورد گردید. سپس از رابطه (۷) ممان اینرسی[1] آونگ نسبت به محور دوران محاسبه شد [۱۷].

$$I0 = Mgrg (T/2\pi)2 \quad (۷)$$

در این رابطه، I0 ممان اینرسی بر حسب M ،kg.m2 جرم کل آونگ به g ،kg شتاب ثقل بر حسب rg ،m/s2 فاصله محور دوران تا مرکز ثقل آونگ به m و T پریود آونگ به ثانیه می باشند. در این صورت جرم موثر آونگ (Me) از رابطه ۸ حاصل می گردد :

$$Me = I0 / r2 \quad (۸)$$

که در آن r طول آونگ به متر است. لذا انرژی سینتیک حاصل از ضربه عبارت است از :

$$EK = ½ Me.V2 \quad (۹)$$

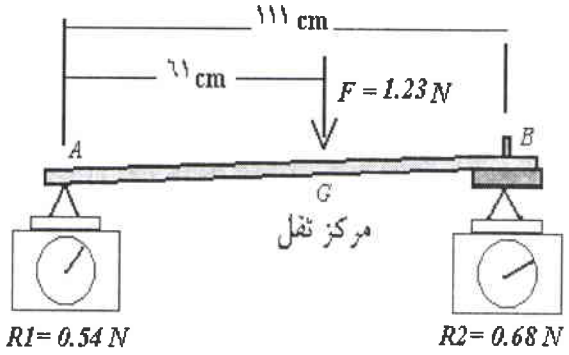
که در آن EK معادل انرژی سینتیک بر حسب ژول و V سرعت آونگ بلافاصله پیش از برخورد (بر حسب متر بر ثانیه) می باشند. در تحقیق حاضر مقادیر اندازه گیری شده برای تست دانه گندم تماما بر مبنای انرژی سینتیک و بر اساس روش ذکر شده محاسبه گردید.

برای اندازه گیری میزان انرژی سینتیک و انرژی حاصل از جهش، لازم بود که موقعیت گرانیگاه آونگ به عنوان یک جسم مرکب تعیین گردد. برای این کار دو روش توزین[2] و تعلیق[3] بکار گرفته شد [۱۷]. بدین منظور، مطابق شکل ۵ مجموعه وزنه و بازو از دو سمت بر روی دو ترازوی دقیق قرار گرفت. مقادیر خوانده شده در دو سمت به عنوان نیروی عکس العمل دو سمت آونگ در نظر گرفته شده و سپس با گشتاورگیری نسبت به یکی از نقاط تکیه گاهی و با اطلاع از فاصله دو تکیه گاه، موقعیت طولی گرانیگاه به صورت زیر اندازه گیری شد (شکل ۵):

$$\Sigma MA = ۰$$

$$lAG . (۱/۲۳ N) = (۱۱۱ cm).(۰/٦۸ N)$$

$$lAG = ٦۱ cm$$



شکل ۵ نحوه تعیین گرانیگاه آونگ به روش توزین

همچنین برای تعیین موقعیت عرضی گرانیگاه نیز روش آویختن آونگ (از محور دوران) بکار گرفته شد. بر این اساس گرانیگاه آونگ در نقطه‌ای مجازی قرار گرفت. برای تعیین میزان انرژی، آنچه اهمیت داشت اطلاع از فاصله گرانیگاه از محور دوران و جرم آن بود که به ترتیب برابر با ٦۱ سانتی متر و ۱۲۲ گرم (یا معادل نیروی ۱/۲۳ نیوتن) بدست آمد.

۲-۳- آماده سازی نمونه‌ها و انجام آزمایش

به منظور بررسی کارایی و قابلیتهای دستگاه تست ضربه، آزمایشی با هدف استخراج برخی پارامترهای مکانیکی دانه گندم تحت بارگذاری ضربه‌ای انجام پذیرفت. دانه‌های گندم شامل پنج رقم قدس، بزوستایا، روشن، الموت و مهدوی، بترتیب از نوع خیلی سخت تا نرم و در دو سطح رطوبت ٦/۵ و ۱۵٪ بر پایه تر مورد بررسی قرارگرفتند. یکی از مهمترین شاخصهای کیفیت آسیابی گندم، سختی گندم است که در این تحقیق بر مبنای شاخص توزیع اندازه ذرات[4] (PSI) براساس روش استاندارد [۱۸] در ارقام مختلف اندازه گیری شد.

1- Moment of inertia
2- Scale Method
3- Suspension Method
4- Particle Size Index

برای رسیدن به رطوبت ۱۵٪ با اضافه نمودن مقادیر محاسبه شده آب به هریک از نمونه‌ها در ظروف درزبندی شده شیشه ای، رطوبت تعادلی پس از ۷۲ ساعت در دمای ٤ درجه سانتی گراد ساعت بدست آمد. رطوبت ٦/٥٪ نتیجه استفاده از دانه در شرایط محیطی آزمایشگاه بود که بدون هرگونه تغییر عمدی در رطوبت دانه حاصل شد. مقدار معینی از نمونه‌ها درست پیش از آزمایش، درون اجاق خشک کن قرارگرفته و بر اساس روش وزنی استاندارد [۱۹] مقادیر رطوبت هریک اندازه گیری شد. دانه‌های مرطوب بلافاصله پس از خروج از بطری در سطح صفحه تکیه گاه با کمک اندکی چسب مایع چسبانده شده و آزمونهای ضربه با شرایط مندرج در جدول ۱ بر روی هر یک از دانه‌ها انجام پذیرفت. پس از انجام آزمون‌ها، تحلیل داده‌ها شامل تجزیه واریانس بر روی داده‌های جمع آوری شده انجام گرفت.

۳- یافته‌ها

۳-۱- نتایج عینی

بخش قابل ملاحظه‌ای از مدت زمانی که برای طراحی و راه اندازی دستگاه گذشت، عمدتا صرف آزمایشهای اولیه با انواع سیم و رابطهای مختلف برای آونگ شد. از لحاظ نظری، استفاده از سیم (کابل انعطاف پذیر) بهترین گزینه برای انتخاب می‌باشد. زیرا در این وضعیت ارتعاش کمی در عامل ضربه (وزنه) ایجاد می گردد. در دستگاههای مشابه برای انجام تست ضربه از چنین سامانه‌ای استفاده شده است [۱۲]. برای این منظور در تحقیق حاضر از انواع سیم فولادی نازک (سیم موسیقی) و الیاف پلاستیکی (سیم ماهی گیری) استفاده شد. هرچند در استفاده از این روش (آونگ با اتصال سیم)، ارتعاش بسیار کم بود اما عملا، حتی با استفاده از دو رشته سیم موازی، کنترل آونگ در برخورد دقیق وزنه به دانه امکان پذیر نبود. این مسئله به ویژه در زوایای بیشتر از ۱۵ درجه کاملا بارز بود. به عبارت دیگر، در تست محصولات بزرگتری همچون انواع میوه، سبزیجات و گیاهان غده ای (محصولات غیر دانه ای) استفاده از روش سیمی امکان پذیر است ولی برای محصولات دانه ای باید نوعی رابط به کار رود که صلبیت آن موجب حرکت بدون اعوجاج شود. در بررسیهای انجام شده و مقایسه رابطهای فولادی، برنجی و چوبی، در نهایت از یک بازوی چوبی با وزن کم به عنوان آونگ استفاده شد. به ویژه آنکه از لحاظ نظری چوب نسبت به مواد دیگر کمترین ارتعاش را از خود نشان می دهد.

همچنین بخش دیگری از آزمایشهای اولیه صرف تعیین سطح انرژی مناسب برای تست ضربه شد. یکی از محدودیتهای تست ضربه پایین بودن میزان حساسیت سامانه اندازه گیری می‌باشد. برای افزایش حساسیت، لازم است که دامنه تغییرات فاکتورهای مورد بررسی افزایش یابد. لذا لازم بود که بیشینه انرژی ضربه‌ای به کار برده شود که در عین حال سبب تخریب دانه نگردد. برای این منظور، یک سری آزمایش اولیه در هر دو سطح از دانه‌های خشک و مرطوب با زاویه سقوط وزنه در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۲۵ درجه، هریک در ۱۰ تکرار انجام پذیرفت. نتایج آزمایش در نمونه‌های خشک به این ترتیب بود که در زاویه ۱۰ درجه (با انرژی ضربه‌ای معادل ۹/۲۵ میلی ژول)، در هیچ یک از ۱۰ تکرار تخریب مشاهده نشد. درحالیکه در زوایای ۲۰ و ۲۵ درجه (به ترتیب با انرژی ضربه‌ای معادل۳٦/۷ و ۵۷/۱ میلی ژول) به ترتیب در ۲۰ و ۸۰ درصد موارد، تخریب دانه به صورت شکستگی کامل مشاهده گردید. بر این اساس مجددا آزمایش بر روی ۱۰ دانه گندم در زاویه سقوط ۱۸ درجه تکرار شد که نتیجه آن عدم مشاهده هر نوع گسیختگی (شکست) در دانه‌های مورد آزمایش بود. بر این مبنا، زاویه ۱۸ درجه برای سقوط آونگ با انرژی کل معادل ۲۹/۸ میلی ژول، معادل ارتفاع سقوط ۳ سانتی متری وزنه، برای تست دانه‌های خشک انتخاب شد.

جدول ۱ مشخصات دستگاه از لحاظ مولفه‌های فنی برای انجام محاسبات (انرژی و ...)

پریود آونگ	ممان اینرسی آونگ	زوایه دوران	سرعت در زمان برخورد	عامل بارگذاری	جرم کل آونگ	طول مرکز ثقل	طول آونگ	ارتفاع سقوط آونگ	کل انرژی ضربه‌ای
(S)	($kg.m^2$)	(rad)	(m/s)	–	(kg)	(m)	(m)	(m)	(mJ)
۱/۹۲	۰/۰٦۹	۰/۳۱٤	۱/۰۳	صفحه فولادی	۰/۱۲۲	۰/٦۱۳	۱/۱۱	۰/۰۳	۲۹/۸

از آنجاکه یکی از اهداف مطالعه حاضر بررسی تاثیر رطوبت بر خواص مکانیکی بود، از سطح انرژی مشابه برای دانه‌های مرطوب استفاده شد. در آزمایشهای اولیه بر روی نمونه‌های خشک، دانه‌هایی که در زوایای ۱۸ درجه و یا بالاتر از آن تحت ضربه قرار گرفتند و دچار گسیختگی نشدند، مجددا تحت همان میزان انرژی ضربه قرار داده شدند. نتایج عینی نشان داد که در بیش از ۹۰٪ موارد (٤٦ مورد از ۵۰ تست)، دومین بارگذاری ضربه‌ای منجر به تخریب دانه گردید[1]. این نتیجه مشخص نمود که در اولین بارگذاری، هر چند با انرژی کرنشی اعمال شده به دانه تحت ضربه هیچگونه شکست ظاهری در دانه مشاهده نشد، اما احتمالا این انرژی عامل ایجاد تعدادی ترک و شکاف جدید در بافت دانه بوده و یا اینکه ترک و شکافهای موجود در دانه را بطور مشخص گسترش داده است. به طور مشابه در دانه‌های مرطوب ۳۰ تست ضربه در سه سطح انرژی ٦۰، ٦۸ و ۷۵ میلی ژول انجام پذیرفت. میزان دانه‌های تخریب شده در سه سطح ذکر شده به ترتیب معادل صفر، ۱۷ و ۱۰۰ درصد بود. بنابراین کمینه انرژی لازم برای تخریب دانه‌های با رطوبت ۱۵٪ حدود ۷۲ میلی ژول تعیین گردید. این میزان انرژی در مقابل انرژی مورد نیاز برای شکست یک دانه خشک (۳۳ میلی ژول) به مراتب بیشتر می‌باشد و نشان دهنده این واقعیت است که با افزایش رطوبت دانه، مقاومت آن به ضربه افزایش می‌یابد. این نتیجه، یافته‌های مطالعات پیشین در این زمینه را تایید می‌کند [۵و۲۰].

۳-۲- میانگین پارامترهای مکانیکی

جدول شماره ۲، مقادیر میانگین پارامترهای استخراج شده از تست ضربه بر روی دانه‌های گندم را در دو سطح رطوبتی نشان میدهند. با توجه به مطالعات محدودی که با هدف اندازه گیری خصوصیات مکانیکی دانه گندم با کمک تست ضربه انجام پذیرفته است، مقایسه نتایج بسختی صورت می‌گیرد. با این همه نتایج حاصل از انرژی کرنشی بدست آمده نشان دهنده آن است که در دانه‌های مرطوب، در شرایط معادل، انرژی بیشتری توسط دانه جذب می‌گردد که این نتیجه مشابه نتایجی است که در مورد ذرت، لوبیا، باقلا و لوبیا چشم بلبلی بدست آمده است [۵و۲۰و۹]. در تحقیقی مقادیر انرژی جذب شده، آزاد شده و نیز انرژی مورد نیاز برای شکست دانه لوبیا چشم بلبلی تحت بار ضربه ای با سرعت ۰/۳ متر بر ثانیه و در رطوبت ۱۱٪ (بر پایه تر) را به ترتیب معادل ۲٤، ۷ و ٤٦ میلی ژول برآورد کردند. همچنین این محققین نشان دادند که با افزایش رطوبت به سطح ۱۵٪، میزان انرژی جذب شده نیز افزایش می یابد. این نتیجه با یافته‌های تحقیق جاری مطابقت می‌کند. در عین حال، با توجه به تفاوت در نوع بافت دانه، مقایسه نتایج بسختی امکان پذیر است[۹].

۱- در اینجا منظور از تخریب دانه عبارت است از ایجاد هر نوع شکست یا ترک در سطح دانه که در ضربات شدید تر ممکن است به دو یا چند تکه شدن دانه بیانجامد.

جدول ۲ مقادیر میانگین پارامترهای استخراج شده از تست ضربه در دو سطح رطوبتی و ارقام پنجگانه گندم

رقم	انرژی مخصوص $m.J/mm^2$	انرژی ویژه $m.J/mm^3$	انرژی کرنشی m.J	ضریب بازگشت (٪)	رطوبت (Wb)
مهدوی	۰/۱۰۷	۰/۱۵۹	۷/۲۱۳	۰/۸۷۰	۱۵٪
الموت	۰/۱۲۸	۰/۲۰۵	۷/۸۸۳	۰/۸۵۸	
روشن	۰/۱۲۱	۰/۱۸٤	۷/٦۱۰	۰/۸۳٦	
بزوستایا	۰/۱۱٤	۰/۱۷٦	۷/۰٤۸	۰/۸۷٤	
قدس	۰/۱۲۸	۰/۲۰۰	۷/٦۱۸	۰/۸٦۳	
مهدوی	۰/۱۲۲	۰/۱۹۱	۷/٤۷۷	۰/۸٦٥	٦/٥٪
الموت	۰/۱۲۷	۰/۲۱٤	٦/۹۰۲	۰/۸۷٦	
روشن	۰/۱۱۸	۰/۱۸۷	٦/۹٤٦	۰/۸۷٦	
بزوستایا	۰/۱۰۸	۰/۱٦۷	٦/۷۳٥	۰/۸۸۰	
قدس	۰/۱۳۲	۰/۲۲۱	٦/۹۹٥	۰/۸۷٥	

۳-۳- شاخص توزیع اندازه ذرات

مقادیر میانگین این شاخص همراه با شاخص نسبی، برای ارقام پنجگانه مورد بررسی در این مطالعه به شرح زیر گزارش می گردند (جدول ۳).

جدول ۳ مقادیر میانگین شاخص سختی توزیع اندازه ذرات در ارقام پنجگانه در سه تکرار

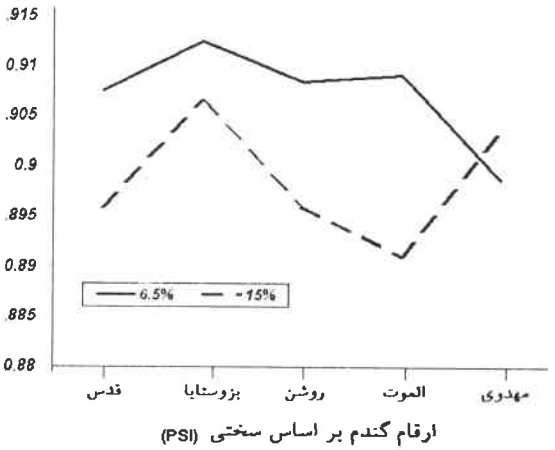
	قدس	بزوستایا	روشن	الموت	مهدوی
شاخص سختی PSI	۱۱/۹	۱۲/۲	۱۸/۱	۲۳	۲۹/۲
شاخص سختی نسبی	خیلی سخت	خیلی سخت	نیمه سخت	نرم	نرم

همان گونه که از جدول ۳ مشاهده می گردد کل محدوده سختی گندم در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت.

۳-٤- تاثیر شرایط مرزی بر پارامترهای تست ضربه

تأثیر رطوبت بر فاکتورهای مکانیکی به خوبی در شکل‌های ۷، ۸ و ۹ ملاحظه می‌شود. این نتیجه با کمک آزمون t مورد بررسی و تایید قرار گرفت. به طور مشخص در نمونه‌های مرطوب، انرژی کرنشی بیشتری از طریق بارگذاری ضربه‌ای به دانه منتقل می‌شود. آزمایشات اولیه نیز نشان داده بود که برای تخریب دانه‌های مرطوب، به سطح انرژی بالاتری نیاز است. ضمنا، همانطور که در بخش نتایج عینی نیز اشاره شد، بیشتر دانه‌های خشک در دومین بارگذاری (در همان سطح از میزان انرژی سینتیک) دچار گسیختگی شدند، درحالیکه این حالت در نمونه‌های مرطوب اساسا مشاهده نگردید. نتایج آزمون t نیز دلالت برتفاوت معنی دار در فاکتورهای ضریب بازگشت و انرژی کرنشی در اثر تیمار رطوبت دارد. اما آنچه اهمیت دارد آن است که این نتیجه در مورد انرژی در واحد حجم و سطح دانه (انرژی ویژه و انرژی مخصوص)، که مقادیر آنها اساسا تحت تاثیر ابعاد دانه می‌باشند، صادق نبود. به عبارت روشن تر، خصوصیات الاستوپلاستیک دانه‌های گندم تحت بارگذاری ضربه ای، حتی با وجود اختلاف قابل ملاحظه در سطوح

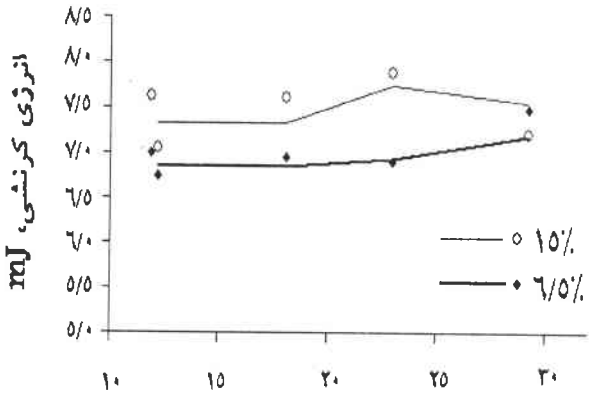
رطوبتی(٦/٥ تا ١٥ درصد)، به طور معنی داری تحت تاثیر رطوبت دانه قرار ندارد.



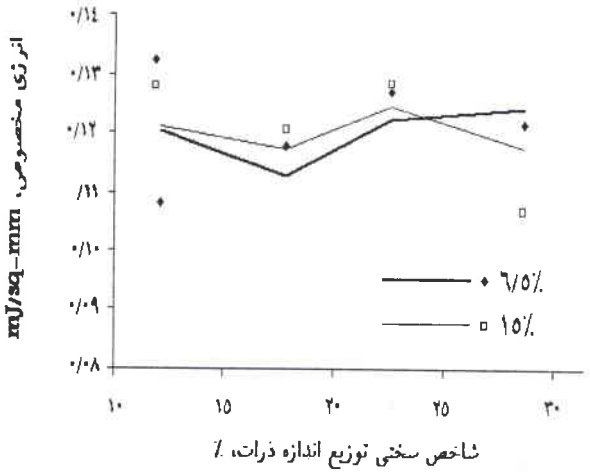
شکل۷ نحوه تاثیر عامل رطوبت بر پارامتر ضریب بازگشت در ارقام گندم با سختی متفاوت

از آن جهت که در روشهای تشخیص کیفی تک دانه رطوبت همواره تاثیری غیر قابل اجتناب بر بافت دانه داشته است، دست‌یابی به شاخصهایی از بافت دانه که مستقل از رطوبت باشند، به ویژه در کاربردهای SKCS[1] حایز اهمیت است. این نتیجه را می توان به ماهیت آزمون ضربه نسبت داد که در آن اختلاف قابل ملاحظه ای از لحاظ سرعت بارگذاری با دیگر روشهای معمول تشخیص مکانیکی بافت (مانند آزمون فشاری ساده) وجود دارد. توجیه دقیق تر این نتیجه به انجام تحقیقات بیشتر وابسته است.

یکی از ویژگیهای کار با مواد طبیعی (بیولوژیک)، وجود تنوع ذاتی در نمونه‌های مختلف یک ماده واحد یا به عبارت دیگر نمونه‌های یک رقم محصول است که منجر به بروز پراکندگی زیاد در داده‌های اندازه گیری می شود. در این آزمایشات از لحاظ میزان پراکندگی داده‌ها همانگونه که در جدول ۲ ملاحظه میگردد، مقادیر ضریب تغییرات به ویژه در مقایسه با تست‌های استاتیک بسیار کمتر است. نکته جالب اینکه در مقایسه دو سطح رطوبتی نیز ملاحظه میگردد که این پراکندگی در نمونه‌های خشک، کمتر از نمونه‌های مرطوب است. در تحقیقی مشابه که هدف آن استخراج فاکتورهای مکانیکی حاصل از تست ضربه بود، مقادیر ضریب تغییرات بطور متوسط بیش از ۳۰ درصد گزارش شد [۳]، درحالیکه در تحقیق حاضر ضریب تغییرات برای پارامترهای مورد نظر بطور متوسط ١٦ درصد بوده است که دلالت بر دقت مناسب در اندازه گیری دارد. پراکندگی به ویژه در مورد پارامتر ضریب بازگشت بسیار کم و در حدود ۲ درصد می‌باشد (جدول ٤).



شکل ۸ تاثیر رطوبت بر میزان انرژی کرنشی جذب شده توسط دانه در ارقام مختلف گندم



1- Single Kernel Characterization System

شکل ۹ نحوه تاثیر رطوبت بر میزان انرژی مخصوص در ارقام مختلف گندم

جدول ٤- مقادیر میانگین فاکتورهای مکانیکی حاصل از تست ضربه و میزان پراکندکی در دو سطح رطوبتی

	انرژی مخصوص $m.J/mm^2$	انرژی ویژه $m.J/mm^3$	انرژی کرنشی m.J	ضریب بازگشت
نمونه خشک (٦/٥٪)	۰/۱۲۱	۰/۱۹٦	۷/۰۱۱	۰/۸۷٤
ضریب تغییرات	۱۸٪	۲۲٪	۱۳٪	۱٪
نمونه مرطوب (۱۵٪)	۰/۱۲۰	۰/۱۸۵	۷/٤۷٤	۰/۸٦٥
ضریب تغییرات	۲۲٪	۲۷٪	۱۹٪	۲٪

٤- نتیجه‌گیری

بطور خلاصه می توان نتایج برجسته این تحقیق را به شرح زیر بیان نمود:

۱- کمینه میانگین انرژی ضربه ای مورد نیاز برای شکست دانه خشک گندم (٦/٥٪ بر پایه تر) حدود ۳۷ میلی ژول و در دانه‌های مرطوب (۱۵٪ بر پایه تر) بین ٦۰ تا ٦۸ میلی ژول اندازه گیری شد.

بیشینه انرژی ضربه ای که سبب تخریب دانه نمی‌شود، در دانه‌های خشک ۳۰ میلی ژول و در دانه‌های مرطوب کمتر از ٦۰ میلی ژول برآورد گردید.

در سطح انرژی ۳۰ میلی ژول، در۹۰٪ موارد، دومین بارگذاری منجر به گسیختگی دانه‌های خشک می شود که این امر نشان دهنده ایجاد ترکهای ریز و یا گسترش آن در نخستین بارگذاری است. نتایج فوق در طراحی دستگاهها و تجهیزات جابجایی و فرآوری محصول کاربرد دارد.

دستگاه تست ضربه‌ای را که در این پژوهش ساخته شده، می توان برای اندازه گیری فاکتورهای مکانیکی شامل پارامترهای انرژی مخصوص (m.J/mm2)، انرژی کرنشی (m.J)، انرژی ویژه (m.J/mm3) و ضریب بازگشت در محصولات کشاورزی، از جمله محصولات دانه ای استفاده نمود. با توجه به نوع آزمون ضربه به عنوان یک آزمون عینی، از این پارامترها می توان در استخراج اطلاعات کیفی از بافت دانه و ساختمان آندوسپرم استفاده نمود.

با اعمال انرژی سینتیک معادل mJ ۳۰ بر دانه گندم (آستانه انرژی ضربه ای لازم برای شکست دانه گندم) بطور متوسط mJ ٦-۷/٦ از این انرژی جذب دانه می شود که در نمونه‌های مرطوب بطور معنی داری انرژی کرنشی بیشتری به دانه منتقل می گردد. همچنین بر اساس آزمون t رطوبت، تاثیر معنی داری بر ضریب بازگشت دانه گندم دارد.

هیچ نوع رابطه خطی بین فاکتورهای مکانیکی دانه حاصل از آزمون ضربه و شاخص سختی توده گندم (PSI) مشاهده نشد. با این همه، نتایج نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در ارقام مختلف از لحاظ مقاومت به ضربه می باشد که خود بیانگر تفاوت در ترکیب ساختمانی بافت آندوسپرم گندم در ارقام مختلف است.

٥- منابع

[1] Sitkei, G. 1986. Mechanics of Agricultural Materials.1st edn., Elsevier Science Pub. Co. 483p. New York, N.Y.

[2] Mathew, R. and Hyde, G. M. 1997. Potato impact damage theresholds, Transactions of the ASAE, Vol., 40(3): 705-709.

[3] Srivastava, A. K.; Herum, F. L. and Stevens, K. K. 1976. Impact parameters related to physical damage to corn kernel, Transactions of the ASAE, 19(2): 1147-1151.

[4] Mohsenin, N.N. and Gohlich, H. 1962. Techniques for determination of mechanical properties of fruits and vegetables as related to design and development of harvesting and processing machinery, J. of Agric. Engng. Res. 7 : 300.

[5] Ajayi, O. A. and Clarke, B. 1997. High velocity impact of maize kernels. J. agric. Engng Res. 67, 97-104.

[6] Bilanski, W. K. 1964. Breaking strength of seed grain. Transactions of the ASAE, Vol., 7(1): 21-24.

[7] Bilanski, W. K. 1966. Damage resistance of seed grains. Transactions of the ASAE, Vol., 9(3): 360-363.

[8] Jindal, V. K. and Mohsenin, N. N. 1976. Analysis of a simple pendulum impacting device for determining dynamic strength of selected food materials. Transactions of the ASAE, Vol., 19(3): 766-770.

[9] Allen, A. W. and Watts, K. C. 1997. Properties of cowpeas. J. agric. Engng Res., 68: 159-167.

[10] Kennish, W. J. and Henderson, J. M. 1978. Formulation of models for cushion materials for impact application. Transactions of the ASAE, 21(3) : 793-796.

[11] Baritelle, A. L. and Hyde, G. M. 2001. Commodity conditioning to reduce impact bruising. Postharvest Biology and Technology. (21), 331-339.

[12] Bajema, R; Hyde, G. M. and Peterson, K. 1998. Instrumentation design for dynamic axial compression of cylindrical tissue samples. Transactions of the ASAE, Vol., 41(3): 747-754.

[۱۳] شاکری، م. و درویزه، ا. (۱۳۷٦). مکانیک ضربه. چاپ اول، ۳۱۷ص، انتشارات دانشگاه گیلان.

[14] Mohsenin , N. N. 1978 . Physical Properties of Plant and Animal Materials . 1st edn. Gordon and Breach , New York , USA .

[15] Bueche, F. J. and Hecht, E. 1997. College Physics. 9th edn. McGraw-Hill Companies Inc. New york, NY.

[16] Baheri, M. and DeBaerdemaeker, J. D. 1996. Pendulum impactor: A device for studying the impact behavior of some agricultural materials. EuroAgEng. Conf. Madrid, Paper 96F-015.

[17] Martins, G. H. 1982. Kinematics and Dynamics of Machines. 2nd. edn. McGraw-Hill Book Co. New York, NY.

[18] American Association of Cereal Chemists. 1996. Approved methods of the AACC. Method 55-30. The Association: St, Paul, MN.

[19] ASAE. 1999. ASAE Standards: Moisture measurement - unground grains and seeds. American Society of Agricultural Engineers, S352.2 .

[20] Chawla, K. K.; Tabil, L. G. and Likhyani, S. 1998. Impact damage to peas and beans during free fall. Paper No. 98-312, presented to the CSAE/SCGR meetings, Vancouver, canada.

Instrumentation design and development of an impact testing apparatus for investigation of mechanical behavior of agricultural materials and its evaluation using wheat

Amir Hosein Afkari Sayyah[1], Saeid Minaei[2*]

1- Ph.D , university lecturer, Agricultural Engineering Dept. University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2- Assist Professor, Agricultural Engineering Dept. of Tarbiat Modarres Univ., Tehran, Iran

In order to conduct impact loading test on agricultural materials, a frictionless instrumented pendulum was developed. The apparatus consists of a heavy anvil, with minimum vibration, a pendulum arm with impact weight, graduated plate (scale), a potentiometer and an electronic data acquisition unit. Technical specifications and dimensions of the apparatus are suitable for testing of various agricultural commodities, including small grains, by impact loading. This apparatus can be utilized to determine: strain energy, kinetic energy to rupture, coefficient of restitution and specific energy. In order to investigate the capacity and technical specifications of the instrumented pendulum, single kernels of five wheat varieties at two levels of moisture content (6.5 and 15%), w.b) were tested. The pendulum was used successfully for rupture energy measurement and related parameters. According to the results, wheat moisture content had a significant effect in coefficient of restitution and strain energy. However, taking into account the grain dimensions (in the form of specific energy), its effect was reduced. The minimum kinetic energy required for causing failure in the dry and moist samples was determined to de 33 and 72 mJ, respectively. Results indicate that it is possible to distinguish wheat varieties based on strength properties extracted from pendulum impact loading test and that obtained data scatter is less than observed in staticcompression tests.

Keywords: wheat, Impact loading, mechanical properties, restitution, strain energy

* Corresponding author E-mail: minaee7@hotmail.com