ویژگی های فیزیکی و سفتی هلو رقم زعفرانی (۵۸)

علی اسحق بیگی[۱] ، مرضیه أردفروشان[۲]

چکیده

دراین تحقیق برخی ویژگی های فیزیکی و سفتی هلوی زعفرانی شهرکرد، مرکز استان چهارمحال و بختیاری مورد بررسی قرار گرفت. جرم، حجم، سه قطر عمود بر هم، قطر متوسط هندسی، وزن مخصوص، درصد کرویت نمونه های هلو از جمله خصوصیات فیزیکی مورد بررسی بود. ناچیز بودن انحراف استاندارد وزن مخصوص نمونه ها حاکی از یکنواختی مطلوب رقم از نقطه نظر این ویژگی بود. از نظر شکل، هلوی زعفرانی شبیه بیضی بود. از آنجا که ضریب همبستگی ما بین جرم وحجم، جرم و قطر های متقاطع همچنین حجم و قطرهای متقاطع بالاتر از ۹۰ درصد بود، روابط رگرسیونی مربوطه تعیین و ارایه گردید. مقاومت هلوی زعفرانی با میانگین جرم ۱۵۳/۶ گرم در برابر نیروی فشاری مابین دو صفحه تخت فولادی با بارگذاری یکنواخت تک محوری، بیانگر انرژی گسیختگی ۱/۸۲±۲/۰۶ میلی ژول در تغییر شکل پنج میلی متر و مدول الاستیسیته مماسی از مبدا ۰/۰۶±۱/۵۳ مگا پاسکال بود. اندازه گیری مقاومت به نفوذ فشارنده فولادی توسط نفوذسنج میوه، در هلوی زعفرانی ۱/۴۶ مگاپاسکال در نفوذ ۲۷/۳ میلی متر فشارنده بود.

کلیدواژه: سفتی، سنبه، فشار، فیزیکی، هلو زعفرانی

۱- استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، پست الکترونیک: aeshagh@yahoo.com
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

مقدمه

سالانه ۱۱۳۲۲ هزار تن هلو در جهان تولید می شود که در این میان ایران مقام نهم را به خود اختصاص داده است. محصول هلو در استان چهار محال و بختیاری از مرغوبترین نوع هلو در کشور است. میزان متوسط برداشت از باغات این استان ۲۰ تن در هکتار و هلوی زعفرانی در بین سایر ارقام مانند کاردی، انجیری، قلعه شاهی و شلیل قابلیت صادرات بهتری دارد(۱). هلـوی زعفرانـی بـا داشتن رنگ و بوی خوب و همچنین جدا شدن هسته از گوشت میوه، بازار پسندی بهتری داشته و آن را می تـوان تـا دو هفتـه در انبار نگه داشت. بیشترین سطح باغات هلو در استان چهارمحال و بختیاری مربوط به شهرستان شهرکرد است که هر ساله به دلیـل نبود صنایع تبدیلی بخشی از محصول هلو از بین می رود. بدیهی است در صورت مـدیریت صـحیح و اسـتفاده مناسـب از منـابع و امکانات موجود در جهت صادرات هر چه بیشتر این محصول، می توان از آن به عنوان یکی از منابع بزرگ درآمد کشور نام برد.

تعیین خصوصیات فیزیکی محصولات کشاورزی در طراحی ماشین های جداکننده، بالابر ها، شستـشو دهنـده و فـرآوری کـاربرد فراوان دارد(۱۶و۲۰). روشهای مکانیکی و خودکار متعددی در تعیین و اندازه گیری ویژگـی هـای فیزیکـی محـصولات کـشاورزی تدوین شده است. در این میان روش های بینایی سنجی و ویدیویی از تازه ترین روش ها بشمار می روند(۱۹). تعیین ابعاد، حجـم و چگالی نقش مهمی در فرایند نگهداری، طراحی سیلو ها، و مخازن، درجه بندی و جدا نمودن مواد خارجی داشته و در این خـصوص تحقیقات متعددی صورت گرفته است(۷، ۱۰و۱۲).

بمنظور تعیین مقاومت بافت میوه ها روشهای مختلفی وجود رد. سقوط جسمی سنگین بر روی میوه(۵) یا تعیین نیروی مقاومت به نفوذ استوانه ای۸ میلی متری با نرخ ۲۰ میلی متر بر دقیقه (روشMT)۱ از جمله روشهای مخرب می باشند(۱۸). در این میـان روشهای غیر مخرب از نظر سرعت و دقت از مزیت نسبی بیشتری برخوردارند(۲۱). ترکیب روش غیر مخرب تماسی و بازتابش نور در دو طول موج مرعی ۴۵۰ و ۶۸۰ نانومتر برای تعیین مقاومت بافت هلو دقیق تر گزارش شده اسـت(۱۷). مرکـز فنـی تخصـصی میوه و سبزی فرانسه۲، توسط نفوذ سنج میوه، مقاومت زیر ۱۷ نیوتن برای هلو را بهترین مرحله رسیدگی برای مصرف آن مشخص کرده است(۱۵). برخی کارشناسان نیروی مقاومت ۱۰تا۱۵ نیوتن را جهت نفوذ استوانه یا سنبه به قطر ۸ میلـی متـر (روشMT) را بیانگر رسیدگی مناسب هلو بیان کرده اند(۶). در آزمون سنبه، نیروی نفوذ فشارنده فولادی مبین مقاومت بافت میوه نسبت به برش و پارگی است و تحقیقات قبلی نشان داده که این نیرو ارتباطی با خصوصیات الاستیکی بافت ندارد(۲۴). امـا ضـریب سـفتی۳ مـی تواند بعنوان معیاری از خصوصیات الاستیکی بافت میوه محسوب شود(۹). ضـریب سـفتی تـابعی از جـرم میـوه و دامنـه فرکـانس تشدید۴ در آزمون غیر مخرب می باشد. در آزمایش نفوذ محصور۵ در قالب، مدول تغییر شـکل۶ بـرای هرنقطـه از منحنـی نیـرو- تغییرمکان بر اساس تئوری تنش تماسی هرتز۷ در محدوده الاستیک از رابطه(۱) تعیین می شـود(۱۳). در ایـن رابطـه Ed مـدول تغییر شکل، D میزان نفوذ فشارنده با انتهایی گرد در حد الاستیک، μ ضریب پوآسون، F نیروی اعمالی در حد الاستیک و r شعاع انحنای نوک فشارنده می باشد. مطابق استاندارد انجمن مهندسی کشاورزی آمریکا، مدول الاستیسیته ظاهری۸ در آزمون فشار کـه میوه بین دو صفحه تخت فولادی محصور شده توسط

$$E_d = \frac{0.531F}{D^{3/2}}\left(2/r\right)^{1/2}(1-\propto^2) \quad (۱)$$

رابطه(۲) تخمین زده می شود. در این رابطه E مدول الاستیک ظاهری، D میـزان تغییـر شـکل، μ ضـریب پوآسـون، F نیـروی اعمالی Ru و R'u شعاع های انحنای حداقل و حداکثر میوه در قسمت فوقانی، RL و R'L شعاع های انحنای حداقل و حـداکثر میوه در قسمت تحتانی تماس بوده و ثابت های Ku و Kl از جداول خاصی تعیین می گردند(۳).

1- Magness-Taylor penetration force
2- Center Technique Interprofessionel
3- Stiffness coefficient
4- Dominant resonant frequency
5- Die-loadind test
6- Modulus of deformability
7- Hertz contact stress
8- Apparent modulus of elasticity

$$E = \frac{0.338F}{D^{3/2}}(1-\propto^2)\left[K_u\left(1/R_u + 1/R'_u\right)^{1/3} + K_l\left(1/R_l + 1/R'_l\right)^{1/3}\right]^{3/2} \quad (۲)$$

سفتی۱ هلو با آنالیز فرکانس تشدید دینامیکی۲ حاصل از ضربه پاندول نیز قابل بررسی است. تحقیقات در این زمینه نشان داده که با افزایش سفتی هلو و وزن میوه، دامنه فرکانس۳ پاسخ افزایش می یابد. این درحالی است که جهت ضربه، سرعت ضربه و جنس ضربه زننده بر دامنه فرکانس پاسخ تاثیر معنی داری ندارد(۲۴). استفاده از روش صوتی و ضربه نیز در تعیین میزان رسیدگی و سفتی هلو مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج تحقیقی نشان داده که ترکیب دو روش فوق تخمین دقیق تری از نیروی لازم برای نفوذ یک کره به عمق دو میلی متر به دنبال داشت(۸). بطور کلی هدف از انجام آزمایش ضربه و فشار، مطالعه ضایعات مستقیم و غیر مستقیم ناشی از تنش های مکانیکی بر روی محصولات کشاورزی بوده تا در طراحی و بهینه سازی ماشینهای برداشت و فرآوری مد نظر قرار گیرد(۲، ۱۴و۲۲). از آنجا که عکس العمل محصولات کشاورزی که ماهیتی ویسکوالاستیک دارند، نسبت به بار اعمال شده تحت تاثیر سرعت بارگذاری قرار می گیرد، لذا آزمون ضربه و فشار با هدف بررسی نیروی عکس العملی در ساختمان ماشینهای برداشت و فرآوری نیز انجام می شود(۴و۱۱).

واد و روش ها

در این تحقیق برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی هلو رقم زعفرانی اندازه گیری شد. تعداد ۴۴۵ نمونه هلوی زعفرانی از صندوق هایی که هیچ گونه عملیات جدایش روی آنها انجام نشده بود، در تابستان ۱۳۸۵ از باغات شهرکرد به صورت تصادفی انتخاب شد و جهت بررسی خواص فیزیکی در سردخانه نگهداری مواد غذایی دانشگاه اصفهان در دمای دو درجه سانتی گراد و به مدت پنج روز تا زمان آزمایش انبار شدند. پس از طی این مدت نمونه ها به آزمایشگاه منتقل گردید و در دمای محیط به مدت ۱۲ ساعت نگهداری شد تا با محیط هم دما شوند. ابتدا وزن هر میوه با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد. سه قطر عمود بر هم هر میوه به کمک کولیس با دقت ۰/۰۵ میلی متر اندازه گیری و با محاسبه ریشه سوم حاصلضرب سه قطر، قطر متوسط هندسی میوه ها محاسبه شد. با تقسیم قطر متوسط هندسی هر میوه بر بزرگترین قطر میوه ضربدر صد، درصد کرویت نمونه ها تعیین گردید. حجم هر نمونه با استفاده از اندازه گیری وزن سیال جابجا شده نمونه غوطه ور محاسبه شد. ابتدا وزن نمونه مورد نظر در هوا توسط ترازو اندازه گیری شد، سپس نمونه درون آب مقطر در حالی که کل مجموعه توسط ترازو توزین می شد، به حالت غوطه ور قرار گرفت. حجم میوه به روش تشابه اشکال هندسی نیز تعیین گردید. معیارتشریح شکل و اندازه با شکل های استاندارد جهت توصیف میوه ها وسبزی ها استفاده می شود(۱۳و۲۳). میزان نزدیکی حجم اندازه گیری شده نمونه های هلو با روش محاسباتی با حجم تخمینی توسط کره بسط یافته و کره دو سرپهن توسط روابط(۳)و(۴) مقایسه گردید. کره بسط یافته۴ از دوران یک بیضی حول محور اصلی خود بوجود آمده وکره دو سر پهن۵ از دوران یک بیضی حول محور کوچک خود بوجود می آید. a وb نصف محور های اصلی می باشد. جهت مقایسه آماری داده ها از نرم افزارهای آماری مرسوم۶ استفاده شد.

$$V = 4/3\,\pi a^2 b \quad (۳)$$

$$V = 4/3\,\pi a b^2 \quad (۴)$$

بمنظور تعیین میزان سفتی و مقاومت هلو رقم زعفرانی در محدوده جرمی ۱۵۳/۶ گرم بعد از سه روز چیده شدن از درخت، از دو آزمون نفوذسنجی۷ و فشار تک محوری بهره گرفته شد. برای انجام آزمایش بارگذاری فشاری تک محوری از یک دستگاه

1- Stiffness
2- Dynamic resonance frequency
3- Dominant frequency
1- Prolate Spheroid
2- Oblate Spheroid
6- Spss, Mstatc, Excel
7- Penetration test

کشش-فشار مجهز به موتور الکتریکی۵/۵ کیلووات سه فاز شرکت زیمنس آلمان و مبدل دور۱ هیوندای خت کره(برای تغییر دور موتور) انجام گرفت. نقطه تسلیم۲ در محصولات کشاورزی، نقطه ای از نمودار نیرو تغییر مکان است که در آن با افزایش جابجایی، مقدار نیرو کاهش یافته یا تغییری نمی کند و حد الاستیک ۵۰ درصد حد تسلیم در نظر گرفته می شود(۳و۱۳). مطابق روش ارایه شده توسط انجمن مهندسی کشاورزی آمریکا، نمونه های هلوی زعفرانی بین دو صفحه تخت فولادی در دستگاه قرار گرفت و حداکثر جابجایی محوری پنج میلی متر بطور یکسان برای کلیه نمونه ها اعمال گردید. با شروع بارگذاری فشاری، در هر ثانیه ۱۰ قرائت از نیرو در رایانه ذخیره می گردید. نیرو سنج بکار گرفته شده مدل EK6000i کمپانی A&D کره با دقت ۰/۱گرم بود که توسط کابل رابط به درگاه پرسرعت کامپیوتر وصل شد. آهنگ بارگذاری در این آزمایش معادل۳۰ میلی متر بر دقیقه توسط مبدل دور ثابت نگه داشته شد. تغییر فرم جانبی هلو توسط دو کرنش سنج عقربه ای با دقت ۰/۰۱ میلی متر در دو طرف هلو اندازه گیری شد. پس از رسم منحنی نیرو-تغییر مکان در آزمایش بارگذاری فشاری، سطح زیر منحنی از مبدا مختصات تا نقطه تسلیم که معادل انرژی گسیختگی می باشد، توسط نرم افزار ریاضی۳ محاسبه شد. از آنجا که در میوه و سبزی تازه، شیب اولیه منحنی بارگذاری مستقل از سرعت انجام آزمون می باشد لذا مدول الاستیسیته مماسی از مبدا نمونه های هلو محاسبه شد(۱۳).

بمنظور تعیین مقاومت به برش و پارگی بافت داخلی هلوی زعفرانی توسط آزمایش سنبه مگنس-تیلور۴، از یک نفوذسنج میوه مدلFT327 با فشارنده فولادی به قطر ۸ میلی متر و شعاع انحنای نوک ۶/۷ میلی متر ساخت ایتالیا۵ بهره گرفته شد(روشMT). ابتدا دو نقطه متقارن در دو طرف هلو انتخاب شد. سپس لایه نازکی از پوست در این نقاط با تیغه مخصوص نفوذسنج برداشته شد. میزان نفوذ فشارنده در داخل بافت ۲۷/۳ میلی متر در نظر گرفته شد و حداکثر نیروی لازم برای نفوذ فشارنده ثبت گردید. آزمایش سنبه بر روی۵۰ عدد هلو انجام گرفت و میانگین صد قرائت در دو طرف هلو، بعنوان مقاومت به نفوذ فـ نده در هلوی زعفرانی ارایه گردید.

نتایج

در تحقیق حاضر جرم، حجم، سه قطر عمود بر هم، قطر متوسط هندسی، وزن مخصوص و درصد کرویت میوه ها مطابق جدول(۱) تعیین شدند. ناچیز بودن انحراف استاندارد وزن مخصوص میوه ها حاکی از یکنواختی مطلوب رقم می باشد. با توجه به وجود ضریب همبستگی بالاتر از ۹۰ درصد بین برخی از ویژگی های فیزیکی هلو، روابط زیر بصورت جدول(۲) ارایه گ دید. نظر به اهمیت تعیین حجم میوه، رابطه بین قطر های متقاطع وحجم مختلف بطور جداگانه در جدول(۳) ارایه شده است. از آنجا که همبستگی مقادیر حجم واقعی با حجم تخمینی بیضی گون مطابق جدول(۴) بیشتر از تشابه با دیگر اشکال بود، بنابراین هلو از نظر شکل بیشتر مشابه بیضی است. به عبارت دیگر حجم تخمینی توسط بیضی بالاترین همبستگی وکمترین انحراف استاندارد را نسبت به حجم تخمینی توسط کره بسط یافته و کره دو سر پهن داشت.

میانگین مدول الاستیسیته مماس از مبدا در تکرارهای مختلف آزمون فشار محوری هلوی زعفرانی در محدوده جرمی ۱۵۳/۶ گرم برابر ۰/۰۶±۱/۵۳ مگا پاسکال و انرژی گسیختگی ۱/۸۲±۲/۰۶ میلی ژول تعیین گردید. یکنواختی مدول الاستیسیته مماس از مبدا در تکرارهای مختلف بسیار بیشتر از انرژی گسیختگی بود. از آنجا که قرائت تغییر شکل جانبی و شعاع انحنای فوقانی و تحتانی هلو در حین بارگذاری از دقت کافی برخوردار نبود، تعیین دقیق ضریب پوآسون با مشکل مواجه شد. در غیر اینصورت این امکان وجود داشت که میزان نزدیکی مدول الاستیسیته ظاهری (ابطه۲) با مدول الاستیسیته مماس از مبدا نیز مورد بررسی قرار گیرد. اندازه گیری مقاومت به نفوذ فشارنده فولادی توسط نفوذسنج میوه، در هلوی زع رانی ۱/۴۶ مگاپاسکال در نفوذ ۲۷/۳ میلی متری فشارنده بود که با نتایج تحقیقات مشابه همخوانی داشت(۲۴). همانگونه که قبلا بیان گردید، در آزمون سنبه، نیروی نفوذ فشارنده فولادی مبین مقاومت بافت میوه نسبت به برش و پارگی است و تحقیقات قبلی نشان داده که این نیرو ارتباطی با خصوصیات الاستیکی بافت میوه ندارد(۲۴). پیشنهاد می شود اثر میزان رسیدگی هلوی زعفرانی با تاخیر در زمان برداشت و یا اثر

1- Inverter
2- Bioyield point
3- Curve expert 1.3
4- MT-Stiffness
5- Nieuwkoop BV SN 01717

مدت زمان انبارداری بر مقاومت بافت میوه نیز مورد بررسی قرار گیرد. در این صورت می توان بهترین زمان برداشت محصول یا مدت زمان نگهداری آن در انبار را با حداقل میزان صدمات مکانیکی تعیین نمود.

جدول۱- ویژگی های فیزیکی هلو رقم زعفرانی(میانگین ٤٤٥ نمونه)

ویژگی فیزیکی	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد
جرم، g	۶۳/۸	۲۸۳/۴۲	۱۷۴/۰۸	۳۶/۹
قطر بزرگ، mm	۵۳/۷	۸۲/۵	۶۹/۶۶	۴/۹۸
قطر متوسط، mm	۵۳	۷۹/۳	۶۷/۲۲	۴/۹۱
قطر کوچک، mm	۴۵/۶	۷۳/۲	۶۰/۴۸	۴/۳۸
درصد کرویت	۸۷/۰۶	۹۹/۸۷	۹۵/۰۰۳	۵/۰۷۶
وزن مخصوص، g/cm^3	۰/۸۵	۱/۰۳	۱/۰۰۱	۰/۰۰۲۶
قطر متوسط هندسی، mm	۵۲/۴۳	۷۶/۶۴	۶۵/۶۴	۴/۳۶
حجم، cm^3	۸۷/۲۵	۲۸۴/۱۴	۱۷۴/۳۵	۳۶/۵۹

جدول۲- رابطه خطی بین ویژگی های مختلف هلو رقم زعفرانی

رگرسیون خطی	خطای استاندارد	R^2
M= −۰/۸۱+۱/۰۰۳ V	۳/۷۲	۹۹
M= −۳۲۷/۸۲+۴/۰۳ a +۲/۸۶۹ b+ ۰/۴۷ C	۱۱/۸۲	۹۹
V= −۳۲۷/۰۷+۳/۸۸۵ a +۲/۹۳ b+ ۰/۵۵c	۱۱/۲۳	۹۱

M جرم، V حجم، GM قطر متوسط هندسی، S مساحت رویه و c, b, a به ترتیب طول، عرض و ارتفاع غده می باشد

جدول۳- رابطه بین حجم وسه قطر عمود برهم هلو رقم زعفرانی

ضرایب ثابت	a	b_1	B_2	b_3
$Ln\ V= a+b_1\ Lna+b_2\ Lnb+b_3\ Lnc$	۷/۰۲۶	۱/۵۵۵	۱/۱۴۴	۰/۱۸۲

جدول٤- مقایسه حجم واقعی با حجم تخمینی توسط تشابه اشکال

تشابه شکل	ضریب همبستگی، ٪	خطای استاندارد	انحراف استاندارد
کره بسط یافته	۸۵	۲۷/۰۶	۱۹/۶۸
کره دو سر پهن	۹۳	۳۰/۹۸	۱۳/۳۴
بیضی	۹۴	۲۹/۸	۱۳/۰۲

منابع مورد استفاده

۱- بی نام. ۱۳۸۴. آمار نامه کشاورزی. اداره کل آمار و اطلاعات، معاونت طرح و برنامه وزارت کشاورزی.

2- Ajayi OA and Clarke B (1997) High velocity impact of maize kernels. J. of Agric. Eng. Res. 67, 97-104.

3- Anonymous. (2000) ASAE standard. Compression of food materials of convex shape. ASAE S368.3 MAR 95.

4- Bajema R Hyde GM and Peterson K (1998) Instrumentation design for dynamic axial compression of cylindrical tissue samples. Transactions of the ASAE Vol. 41(3): 747-754.

5- Chen P Ruiz-Altisent M and Barreiro P (1996) Effect of impacting mass on firmness sensing of fruits. Transactions of the ASAE 39(3): 1019–1023.

6- Crisosto C (1996) Optimum procedures for ripening stone fruit. Management of Ripening Fruit (Univ. of California, Davis). Postharvest Horticulture Series 9: 28–30.

7-Datta SK Nema VK and Bhardwaj RK (1988) Physical properties of grain. J. of Agric. Eng. Res. 35(4): 277-234.

8- Diezma-Iglesias B Valero C Garcia-Ramos FJ and Ruiz-Altisent M (2006) Monitoring of firmness evolution of peaches during storage by combining acoustic and impact methods. Journal of Food Engineering 77: 926–935.

9- Duprat F Grotte E Pietri E and Loonis D (1997) The acoustic impulse response method for measuring the overall firmness of fruit. J. of Agric. Eng. Res. 66(1), 251-259.

10-Fraeser BM Verma SS and Muir WE (1978) Some physical properties of Paba bean. J. of Agric. Eng. Res. 23: 53-57.

11- Kennish WJ and Henderson JM (1978) Formulation of models for cushion materials for impact application. Transactions of the ASAE 21(3): 793-796.

12- Marvin JP Hyde GM and Cavalieri RP (1987) Modeling potato tuber mass with tuber dimensions. Transactions of the ASAE 30(4): 1154-1159.

13- Mohsenin NN (1986) Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers.

14- Mohsenin NN 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. Eng. Res. 7: 300-315.

15- Moras P (1995) Peach elements d_un matrisse de la qualite après recolte. Infos-centre technique interprofessionel des fruits et le´gumes (Ctifl). 112: 34–37.

16- Peleg K (1985) Produce handling, packaging and distribution. The AVI Publishing Company Inc. Westport, Connecticut, 55-95.

17- Ruiz-Altisent M Lleo L and Riquelme F (2006) Instrumental quality assessment of peaches: Fusion of optical and mechanical parameters. Journal of Food Engineering 74: 490–499.

18- Shmulevich I (1998) A reviews firmness quality measurements in fruits and vegetables. In Proceedings from the international workshop on sensing quality of agricultural products, Montpellier, France, February 23–27 pp. 291–322.

19- Sistler FE Wright ME and Watson RM (1983) Measurement of physical properties of biological products with a video electronics applications. Transactions of the ASAE 27(2): 646–651.

20- Sitkei G (1986) Mechanics of Agricultural Materials.1st ed. Elsevier Science Pub. Co. 483p. New York, N.Y.

21- Slaugthe DC (1995) Nondestructive determination of internal quality in peaches and nectarines. Transactions of the ASAE 38(2): 617–623.

22- Srivastava AK Herum FL and Stevens KK (1976) Impact parameters related to physical damage to corn kernel. Transactions of the ASAE 19(2): 1147-1151.