تعیین برخی خواص مکانیکی ۹ رقم دانه گلرنگ

مهدی کسرایی[۱]، مصطفی بی آبادی[۲]، عارف نورمحمدی[۳*]

۱- عضو هیئت علمی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

* ایمیل نویسنده مسئول:a_nourmohammadi@yahoo.com

چکیده

هدف از این پژوهش تعیین خواص مکانیکی نه رقم مختلف دانه ی گلرنگ می باشد. آگاهی از خواص مکانیکی محصولات کشاورزی و مواد غذایی در طراحی و ساخت ماشین‌آلات 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 این پژوهش ۹ رقم گلرنگ (آسنتریا، اصفهان ۱۴، پدیده، سینا۴۱۱، فرامال، گلدشت، گلدشت پاییز، محلی اصفهان و ورامین) مورد آزمایش قرار گرفت و پارامتر های تعیین مقاومت به ضربه، تعیین سختی، آزمون فشاری و تعیین نقطه ی روغن دهی هر رقم اندازه گیری شد. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که ارقام مختلف دارای خواص مکانیکی متفاوتی هستند. ارقام گلدشت و فرامال از نظر سختی، سخت ترین ارقام و از نظر چقرمگی بیشترین چقرمگی را دارا بودند و رقم اصفهان ۱۴ نیز نرم ترین رقم و دارای کمترین مقاومت به ضربه بود. همچنین رقم گلدشت بیشترین نیرو را برای روغن دهی نیاز داشت.

واژه‌های کلیدی: گلرنگ، خواص مکانیکی، چقرمگی

مقدمه

گلرنگ یا کافشه از گیاهان دنیای قدیم است که در منطقه وسیعی از ژاپن تا شرق آفریقا کاشت می‌شده است. گلرنگ یک ساله گیاهی از تیره مرکبه با نام علمی *(Carthamus Tinctorius L.)* می‌باشد. تعیین آن دسته از ویژگی‌های محصول، که منجر به کسب اطلاعاتی از ویژگی‌های محصول نهایی[1] گردد، میتواند سبب افزایش کیفیت فرآورده نهایی آن پس از فرآوری شود که خود تأثیر عمده‌ای بر کاهش ضایعات و افزایش ارزش افزوده محصول خواهد داشت. در این رابطه، استفاده از ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی، به ویژه در محصولات دانه‌ای، برای تشخیص کیفیت دانه و طبقه‌بندی آن می‌تواند بسیار مفید باشد. قابلیت‌های مهم روش‌های فیزیکی، به عنوان یک روش ابزاری برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی محصول سبب شده است که امروزه بیش‌تر از قبل به این روش‌ها توجه گردد. در این رابطه، امروزه به استفاده هم زمان از دو روش مکانیکی و نوری توجه خاصی شده است (Chung *et al.*, 1975). اما از بین روش‌های مختلف شناسایی ویژگی‌های محصولات دانه‌ای، روش‌های مکانیکی به عنوان یکی از پارامترهایی است که معرف عکس‌العمل دانه نسبت به نیروی اعمال شده بر آن می‌باشند *(*Lewis, 1990). امروزه از روش تعیین خواص مکانیکی به ویژه در میوه‌ها (نظیر سیب) به منظور تعیین کیفیت میوه از لحاظ رسیدگی استفاده می‌شود. اعمال فشار بر میوه‌ها، به دلیل بافت نرم آنها، حتی به صورت دستی هم امکان پذیر است (مثلاً با فشردن انگشت شصت) اما در دانه‌ها به دلیل بافت سخت آن‌ها این عمل به سهولت امکان پذیر نمی‌باشد و برای تعیین نیروی اعمال شده و تغییر شکل حاصله نیاز به وسایل اندازه‌گیری دقیق می‌باشد. همچنین به دلیل تعداد قابل ملاحظه دانه در یک نمونه، وجود یک روش مکانیزه الزامی است *(*Abbott and Lu, 1996).

گوپتاو داس[2](۲۰۰۰) مقاومت در برابر شکست، دانه آفتابگردان در دو حالت با پوست و بدون پوست را در دو وضعیت بارگذاری افقی و عمودی بررسی کردند. در حالت افقی نیروی کم‌تری نسبت به حالت عمودی مشاهده شد. انرژی شکست با افزایش رطوبت و در حالت بارگذاری عمودی بیشتر از حالت افقی بدست آمد.

لی‌یوا[3] و همکاران (۱۹۹۰) خواص مکانیکی سویا را در حالت با پوست و بدون پوست با هم مقایسه کردند. در این بررسی ضریب آسایش تنش و تنش نهایی فشاری با استفاده از آزمون آسایش تنش، آزمون فشار و خمش محاسبه شد. تنش نهایی و ضریب آسایش با افزایش رطوبت کاهش یافت. شاخص‌های جابه‌جایی رطوبتی و دما نیز تعیین شد. رفتار سویا در دو حالت مانند یک نمونه ترموهیدرورئولوژیک بود.

---

[1] . End-use property assessment
[2]. Guptaand Das
[3]. Liu

پالسن[1](۱۹۷۸) گزارش داد که نیرو و انرژی شکست می‌تواند معیار مناسبی برای طراحی ماشین‌های مرتبط با عملیات فرآوری باشد. او نشان داد که دانه‌های با نیروی مقاومتی شکست زیاد، کمتر آسیب می‌بینند. افزایش نیروی شکست دانه تحت بارگذاری شبه استاتیک باعث کاهش در صد دانه‌های صدمه دیده در جریان عملیات فرآوری شامل حمل و نقل، فرآوری و انبارداری می‌شود.

اریکا[2] و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی دانه گلرنگ در شش سطح رطوبتی پرداختند. آن‌ها در این آزمایش گلرنگ را به دو صورت عمودی و افقی تحت بار قرار دادند و منحنی نیرو–تغییر شکل آن را برای رطوبت‌های مختلف به دست آورند.

ناگاتو[3] و همکاران (۱۹۶۴) گزارش کرده‌اند که بین سختی دانه برنج و مقدار رطوبت دانه یک رابطه خطی برقرار است (Nagato *et al.*, 1964) . به منظور استخراج ویژگی‌های مکانیکی دانه غلات یکی ازساده‌ترین آزمایش‌ها، آزمون فشاری بر روی دانه دست نخورده می‌باشد که می‌توان با کمک یک دستگاه اندازه‌گیری مناسب، منحنی نیرو–تغییر شکل و منحنی تنش آسایی[4] را از آن به دست آورد. در این رابطه تحقیقات راهبردی آرنولد و روبرت[5](۱۹۶۹) و آرنولد و محسنین[6](۱۹۷۱) منجر به ارائه روش استانداردی شد (Anderson, 1996). که براساس آن می‌توان برخی فاکتورهای اصلی همچون ضریب کشسانی و تنش تماسی را بطور مستقیم از بارگذاری روی دانه کامل بدست آورد. در تحقیق دیگری محسنین (۱۹۹۶) به این نتیجه رسید که خواص مکانیکی محصولات دانه‌ای وابسته به زمان می‌باشند (Mohsenin, 1996). به طور کلی هدف از انجام این تحقیق مشخص نمودن خواص مکانیکی ۹ رقم دانه ی گلرنگ و مقایسه کردن آن ها با هم می باشد.

مواد و روش ها

تعیین رطوبت محصول

میزان رطوبت اولیه هر رقم گلرنگ با استفاده از کوره آزمایشگاهی[7] اندازه‌گیری شد. به این منظور از هر نمونه حدود ۱۰ گرم به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و رطوبت آن به روش وزنی تعیین گردید. میزان رطوبت نمونه‌ها گلرنگ از رابطه ۱ تعیین شد (Anonymous, 2001).

---

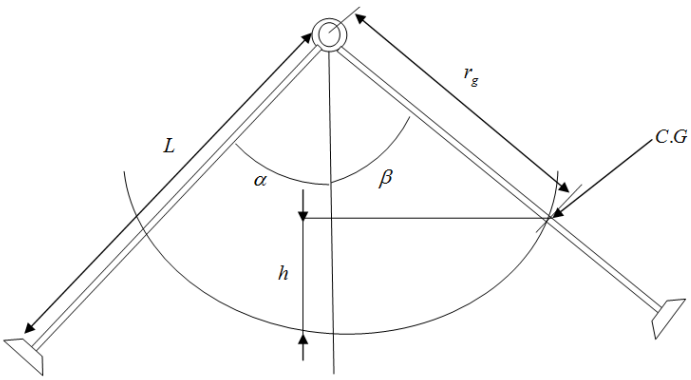
[1] . Paulsen
[2] . Erica
[3] . Nagato
[4] . Stress Relaxation
[5] . Arnold and Robert
[6] . Arnold and Mohsenin
[7] . Oven

$$M.C. = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \qquad (1)$$

در این رابطه M.C. درصد رطوبت نمونه‌ها بر پایه خشک[1] m_1 و m_2 به ترتیب جرم اولیه و نهایی نمونه بر حسب گرم است. برای توزین نمونه‌ها از یک ترازوی دیجیتالی مدل GF-600 با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. کوره مورد استفاده مدل BF-55 بود.

تعیین مقاومت به ضربه

از آنجایی که تعیین مقاومت به ضربه دانه‌ها در زمانی که در جابجایی مکانیکی و فرآوری و سایر شرایط بارگذاری دینامیکی مانند خرمن کوبی و آسیاب کردن تحت ضربه قرار می‌گیرند مورد نظر بوده، تعیین مقاومت دینامیکی در اثر آزمایش ضربه نیز در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. برای بدست آوردن میزان مقاومت به ضربه[2] دانه گلرنگ از دستگاه اندازه‌گیری مقاومت به ضربه غلات که در بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی ساخته شده است استفاده شد (قبادپور، ۱۳۸۸).



شکل ۱ – ابعاد آونگ و نحوه اتصال میله آونگ به محور دوران(محور افقی)

برای ارزیابی مقاومت دانه‌های گلرنگ که توسط دستگاه آزمون ضربه آونگی تحت ضربه قرار گرفتند از تک دانه استفاده شد و مقدار انرژی جذب شده برای هر دانه محاسبه گردید و در نهایت شاخص مقاومت به ضربه دانه تعیین شد. برای انجام آزمایش ضربه، ابتدا آونگ به اندازه معین h_1 بالا برده می‌شد و توسط نگهدارنده مغناطیسی ثابت می‌گردید، سپس آونگ رها می‌شد و پس از شکست نمونه در طرف مخالف در ارتفاع h_2 قرار می‌گرفت. این ارتفاع که بیش‌ترین مقدار صعود آونگ نسبت به خط عمودی مبنا

[1]. Dry Basis Moisture Content
[2] . Impact Resistance

بود با استفاده از کد کننده نوری[1] و مدار الکترونیکی ثبت می‌گردید تا مقدار انرژی صرف شده برای شکست دانه محاسبه گردد. نسبت انرژی مصرف شده برای شکستن نمونه، تقسیم بر سطح مقطع شکست (A) مشخص کننده مقاومت در برابر ضربه نمونه می باشد.

$$I_r = \frac{E_p}{A} = \frac{mg(h_1 - h_2)}{A} \quad (2)$$

$$h_1 = r_g(1 - \cos\alpha) \quad (3)$$

$$h_2 = r_g(1 - \cos\beta) \quad (4)$$

α زاویه اولیه آونگ (زاویه سقوط) با محور قائم در ابتدای حرکت بر حسب درجه و β زاویه آونگ با محور قائم بعد از شکستن نمونه بر حسب درجه می‌باشد. همچنین h_1 ارتفاع اولیه و h_2 ارتفاع نهایی آونگ در راستای محور عمودی بر حسب میلی‌متر می-باشد و r_g طول مرکز ثقل آونگ است.

چون اندازه‌گیری زوایای α وβ (۲) ساده تر از اندازه گیری ارتفاع h_1 و h_2 بود، به کمک روابط مثلثاتی (۳) و (۴) می‌توان فرمول (۲) را به صورت رابطه (۵) نوشت:

$$I_r = \frac{mgr_g(\cos\beta - \cos\alpha)}{A} \quad (5)$$

E_P انرژی برای شکستن نمونه بر حسب (mJ)، m جرم آونگ بر حسب (g) و A سطح مقطع شکستگی نمونه بر حسب (mm^2) می‌باشند که مقدار A از رابطه (۶) تعیین شد (Zhang et al, 2005).

$$A = \frac{\pi bc}{4} \quad (6)$$

که b عرض دانه و c ضخامت آن بر حسب (mm) می‌باشند.

با توجه به واحدهای فوق، واحد مقاومت به ضربه[2](I_r)، $\frac{mJ}{mm^2}$ خواهد بود که به عنوان انرژی شکست ویژه[3] در نظر گرفتیم.

---

[1]. Incremental Rotary Encoder
[2] . Impact Resistance
[3]. Specific Breakage Energy

همچنین مقدار چقرمگی[1] از نسبت انرژی شکست به حجم دانه (رابطه ۷) محاسبه شد:

$$U = \frac{E_p}{V}$$

(7)

تعیین سختی

سختی دانه یکی از مهم‌ترین خصوصیات کیفی دانه محسوب می‌شود و در فرآوری محصول نقش مهمی ایفا می‌کند. در این تحقیق میزان سختی دانه گلرنگ با استفاده از توزیع اندازه ذرات (PSI[2]) و مطابق با استاندارد AACC 55-30 به دست آمد (Anonymous, 2000).

برای به دست آوردن شاخص سختی اندازه ذرات (PSI) ابتدا از گلرنگ‌ها به میزان ۱۰۰ گرم با استفاده از آسیاب آزمایشگاهی، مدل GOG705 نمونه‌ها را با شرایط یکسان، آسیاب کرده و هر رقم را روی الک شماره ۳۵ (سری Tyler) ریخته و زیر الک یک ظرف گذاشته و به مدت ۵ دقیقه هر نمونه توسط شیکر[3] تکان داده شد. به این ترتیب بسته به مقدار سختی گلرنگ، مقداری از گلرنگ-های آسیاب شده از سوراخ‌های الک عبور کرده و در ظرفی که زیر آن قرار داده شده بود ریخته می‌شد، با وزن کردن گلرنگ‌های آسیاب شدهٔ موجود در ظرف، شاخص اندازهٔ ذرات (PSI) از رابطهٔ (۸) تعیین شد(anonymous, 2000).

$$PSI(\%) = \frac{W_2}{W_1} \times ۱۰۰$$

(8)

که در این رابطه:

PSI شاخص اندازهٔ ذرات بر حسب درصد

W_1 وزن گلرنگ‌های آسیاب شدهٔ ریخته شده روی الک (g)

W_2 وزن گلرنگ‌های آسیاب شدهٔ عبور کرده از الک(g)

آزمون فشاری

[1]. Toughness
[2] . Particle Size Index
[3].Shaker

به منظور تعیین برخی متغیرهای مکانیکی دانه‌ها نظیر، بار بیشینه در نقطه گسیختگی، تغییر شکل در بار بیشینه و چقرمگی (بر مبنای سطح زیر منحنی تا نقطه گسیختگی) از دستگاه اینستران (Santam STM-20) که دارای نیرو سنجی با مشخصه (Bongshin DBBP-50) و ظرفیت ۵۰kgf و ساخت کشور تایوان بود استفاده شد. نرم افزار این دستگاه STM-CONTROLLER و محیط این نرم افزار شامل TOOLBAR، صفحه کلید مجازی و منوهای نرم افزار بود. آزمایش‌های فشاری به صورت افقی انجام گرفت، در این آزمایش دانه‌ها در جهت استراحت[1] (پایدارترین وضعیت) تحت آزمون قرار گرفتند به این صورت که دانه گلرنگ روی فک پایینی دستگاه قرار داده شد و گزینه START انتخاب شد. در این حالت فک بالای دستگاه شامل پروب دستگاه با سرعت ثابت، پایین می‌آمد و دانه گلرنگ را تحت فشار قرار می‌داد تا دانه گلرنگ گسیخته می‌شد، در این زمان گزینه STOP انتخاب شد. در هر آزمون، مقادیر نیرو (نیوتن) و تغییر شکل دانه (میلی‌متر) هم زمان با رسم منحنی نیرو- تغییر شکل، بر روی صفحه نمایشگر رایانه، در حافظه رایانه ذخیره می‌گردید.

داده‌های به دست آمده از آزمون، که در مجموع منحنی نیرو- تغییر شکل دانه را ایجاد می‌کرد، با کمک نرم‌افزارEXCEL دسته بندی شد و سپس مقادیر فاکتورهای مکانیکی از هر منحنی به طور مجزا استخراج گردید.

تعیین نقطه روغن دهی

در این آزمایش با استفاده از دستگاه اینستران که دارای نیروسنجی(BONGSHIN DBBP-2 t) با ظرفیت ۲۰۰۰kgf و استفاده از یک سیلندر پیستون به دستگاه اینستران متصل شده‌اند دانه‌های هر رقم گلرنگ تحت فشار قرار داده شدند و با استفاده از رابطه (۱۰) تغییر حجم برای به دست آوردن دانسیته ظاهری در نقاط مختلف محاسبه شد و در لحظه‌ای که دانسیته محاسبه شده از رابطه (۹) به دانسیته واقعی نزدیک شد، نیرو و جابجایی از نمودار نیرو به جابجایی یادداشت می‌شود. به این ترتیب با توجه به ارتفاع اولیه سیلندر ۳۰ میلی‌متر و قطر آن ۳۹ میلی‌متر امکان تعیین حجم و دانسیته توده در هر لحظه بود (Raji and Favier, 2003).

$$\rho = \frac{W}{V} \quad (9)$$

V=(حجم جابجا شده)-(حجم اولیه) (10)

W، وزن دانه‌های داخل سیلندر

[1]. Rest

نتایج با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. از آزمون F برای تعیین سطح معنی‌داری تیمارهای مختلف استفاده شد. میانگین تیمارهای معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن مورد بررسی قرار گرفته و همچنین برای ترسیم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده گردید

نتایج و بحث

میانگین رطوبت اولیه دانه‌های ارقام آسنتریا، اصفهان۱۴، پدیده، سینا۴۱۱، فرامال، گلدشت، گلدشت‌پاییز، محلی‌اصفهان و ورامین به ترتیب ۴/۱، ۴/۵، ۴/۲، ۴/۶، ۴/۷، ۴/۱، ۴/۸، ۴/۲ و ۴/۸ (بر حسب درصد) بر پایه خشک بود.

پارامترهای مقاومت به ضربه که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند، یک معیار کمی می‌باشندکه قابلیت آسیب‌پذیری دانه را در برابر ضربه مشخص می‌کند. اگر چه این شاخص‌ها نمی‌توانند میزان دقیق صدمه وارده به دانه را به صورت کمی بیان نمایند، اما در شرایط یکسان، می‌توانند معیار خوبی برای مقایسه تیمارهای مختلف از نظر مقاومت به ضربه باشند. مقادیر بزرگتر، نشان دهنده مقاومت به ضربه بیش‌تر، می‌باشد. مقادیر میانگین پارامترهای مکانیکی حاصل از آزمایش ضربه برای نمونه‌های گلرنگ برای ارقام مورد مطالعه در جدول (1) آورده شده است.

جدول ۱ - میانگین پارامترهای حاصل از آزمایش ضربه

رقم	خواص مکانیکی		
	انرژی شکست (J)	انرژی ویژه شکست (J/mm^2)	چقرمگی دینامیکی (J/mm^3)
آسنتریا	۲۷/۵۴±۰/۱۶۵	۲/۷۰±۰/۰۵۲	۰/۵۵±۰/۰۱۲
اصفهان ۱۴	۲۲/۶۹±۱/۰۹۴	۲/۶۲±۰/۱۳۳	۰/۵۱±۰/۰۳۶
پدیده	۲۷/۵۶±۰/۱۴۹	۲/۶۸±۰/۰۲۲	۰/۵۴±۰/۰۱۵
سینا۴۱۱	۳۷/۹۷±۰/۲۷۰	۲/۹۴±۰/۰۰۸	۰/۵۶±۰/۰۰۴
فرامال	۴۲/۱۷±۰/۳۹۸	۳/۳۳±۰/۰۶۰	۰/۵۹±۰/۰۱۹
گلدشت	۴۳/۸۱±۰/۶۴۴	۳/۵۶±۰/۱۱۳	۰/۵۹±۰/۰۰۹
گلدشت پاییز	۳۲/۰۱±۰/۲۲۳	۲/۷۹±۰/۰۵۶	۰/۵۴±۰/۰۰۷
محلی اصفهان	۲۳/۵۸±۰/۲۹۲	۲/۵۷±۰/۰۲۵	۰/۵۲±۰/۰۰۸
ورامین	۲۲/۵۰±۰/۱۶۰	۲/۴۷±۰/۰۳۶	۰/۵۲±۰/۰۱۷

خلاصه نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول های ۲ تا ۴) آزمایش بارگذاری ضربه‌ای نشان داد که رقم اثر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱٪) بر میزان انرژی جذب شده، انرژی ویژهٔ شکست و چقرمگی دینامیکی دانهٔ گلرنگ دارد. این نتایج اهمیت رقم بر بافت دانه، از نظر قابلیت آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد. نتایج فوق نشان می‌دهد ارقام گلرنگ در خواص مقاومت به ضربه با هم متفاوت هستند. در بین ارقام مورد استفاده، رقم گلدشت دارای بیشترین انرژی شکست نسبت به ورامین که کمینه‌ی انرژی شکست را داشت، ۵۰/۹۶ درصد بیشتر بود (جدول ۱). همچنین این ارقام در انرژی ویژه شکست با یکدیگر تفاوت معنی داری (در سطح احتمال ۱٪) داشتند که بیش‌ترین میانگین انرژی ویژه شکست مربوط به رقم گلدشت و کمترین آن مربوط به ورامین می‌باشد. همچنین از لحاظ چقرمگی دینامیکی رقم اصفهان۱۴ حساس‌ترین رقم نسبت به بارگذاری ضربه‌ای می‌باشد و از لحاظ چقرمگی

دینامیکی رقم فرامال و گلدشت بیش‌ترین چقرمگی دینامیکی را نسبت به اصفهان ۱۴ داشتند. چقرمگی دینامیکی رقم فرامال وگلدشت ۱۳/۵۵٪ بیش‌تر از رقم اصفهان۱۴ می‌باشد و لذا می‌توان آن را چقرمه‌تر (مقاوم‌تر به ضربه) از ارقام دیگر دانست. دلیل آن را می‌توان در ترکیب ساختمانی بافت (فیبر، پروتئین، چربی) و خصوصیات فیزیکی دانه بیان نمود.

جدول۲- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به انرژی جذب شده دانه

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
رقم	۸	۵۷۶۱/۳۹۳	۷۲۰/۱۷۴	۳۰۸/۳۷۷**
خطای آزمایش	۲۶۱	۱۹۳/۸۳۶	۲/۳۳۵	
کل	۲۶۹	۵۹۵۵/۲۲۸		

جدول۳- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به انرژی ویژه شکست دانه

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
رقم	۸	۱۱/۲۷۹	۱/۴۱۰	۲۸/۰۷۶**
خطای آزمایش	۲۶۱	۴/۱۶۸	۰/۰۵۰	
کل	۲۶۹	۱۵/۴۴۷		

جدول٤- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به چقرمگی دینامیکی دانه

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
رقم	۸	۰/۰۷۱	۰/۰۰۹	۲/۹۸۷**
خطای آزمایش	۲۶۱	۰/۲۴۶	۰/۰۰۳	
کل	۲۶۹	۰/۳۱۷		

در این پژوهش با استفاده از بارگذاری فشاری با استفاده از دستگاه اینسترن اقدام به تشخیص برخی ویژگی‌های تک دانه‌ای گلرنگ گردید. پارامترهای مکانیکی استخراج شده در این آزمایش، بار بیشینه در نقطه گسیختگی دانه و چقرمگی استاتیکی (بر مبنای سطح زیر منحنی تا نقطهٔ گسیختگی) برای حالت بارگذاری افقی می‌باشد که میانگین این پارامترها برای هر رقم در جدول ۵ آورده شده است.

جدول۵- میانگین پارامترهای حاصل از بارگذاری افقی

رقم	خواص مکانیکی	
	بیشینه نیرو (N)	چقرمگی استاتیکی (mJ/mm^3)
آسنتریا	۷۱/۹۶±۲/۶۵۷	۰/۳۶±۰/۰۱۳
اصفهان ۱۴	۴۹/۶۰±۲/۵۳۰	۰/۲۳±۰/۰۰۷
پدیده	۷۲/۳۹±۳/۸۸۰	۰/۳۸±۰/۰۳۲
سینا۴۱۱	۹۵/۹۷±۳/۸۴۱	۰/۴۵±۰/۰۱۴
فرامال	۱۰۴/۲۰±۳/۷۶۵	۰/۴۹±۰/۰۱۸
گلدشت	۱۰۳/۷۷±۳/۱۳۸	۰/۵۱±۰/۰۲۰
گلدشت پاییز	۷۷/۰۴±۲/۵۴۳	۰/۳۸±۰/۰۱۱

محلی اصفهان	۶۱/۵۷±۱/۶۵۳	۰/۲۹±۰/۰۱۶
ورامین	۵۶/۷۴±۲/۰۰۴	۰/۳۰±۰/۰۱۶

نتایج حاصل از تجزیه واریانس آزمایش فشاری (جداول ۶ و ۷) نشان داد که رقم اثر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱٪) بر میزان نیروی لازم برای گسیختگی دانه و چقرمگی استاتیکی دارد. این نتایج اهمیت رقم را بر بافت دانه، از نظر قابلیت آسیب پذیری نشان می‌دهد.

جدول٦- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به بیشینه نیرو

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
رقم	۸	۴۹۰۴۱/۹۷	۶۱۳۰/۲۴	۴۵/۸۹**
خطای آزمایش	۲۶۱	۱۶۸۳۰/۳۵	۱۳۳/۵۷	
کل	۲۶۹	۶۵۸۷۲/۳۲		

جدول۷- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به چقرمگی استاتیکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
رقم	۸	۱/۰۱	۰/۱۲	۲۶/۳۶**
خطای آزمایش	۲۶۱	۰/۶۰	۰/۰۰۵	
کل	۲۶۹	۱/۶۲		

با توجه به جدول ۵ رقم گلدشت بیشترین مقدار چقرمگی استاتیکی را داشت، رقم گلدشت نسبت به میانگین کمینه آن (رقم اصفهان۱۴) افزایشی ۵۴/۹ درصدی داشت (جدول ۵). نتایج تحقیق دیگری بر روی دانه گلرنگ در رطوبت‌های مختلف نشان داده است که چقرمگی استاتیکی بین ۰/۳ تا ۰/۴ میلی ژول بر میلی‌متر مکعب دارند (Erica *et al*., 2006). طی این پژوهش رقم گلدشت و فرامال بیش‌ترین انرژی و نیرو را برای گسیختگی دانه لازم داشت، بنابراین علاوه بر، مقاوم‌ترین رقم در برابر آسیب‌های ناشی از ضربه، مقاوم‌ترین رقم در برابر آسیب‌های ناشی از نیروهای فشاری نیز تعیین شد.

بر اساس استاندارد (AACC 50-33) آزمایش سختی انجام گرفت و شاخص سختی (PSI) نمونه‌ها با استفاده از رابطه (۷) محاسبه گردید. که نتایج آن در جدول ۸ آورده شده است.

جدول ۸- میانگین مقادیر شاخص سختی

رقم	شاخص سختی(PSI) (٪)
آسنتریا	۱۶/۶۲±۰/۵۲
اصفهان ۱۴	۳۲/۶۱±۰/۶۰
پدیده	۱۴/۵۷±۰/۴۷
سینا۴۱۱	۵/۵۸±۰/۶۵
فرامال	۰/۴۳±۰/۰۲

گلدشت	۰/۳۴±۰/۰۳
گلدشت پاییز	۱۷/۴۱±۰/۵۹
محلی اصفهان	۲۰/۸۷±۰/۴۹
ورامین	۲۳/۶۳±۰/۴۹

نتایج حاصل از تجزیه واریانس آزمایش سختی (جدول۹) نشان داد که رقم اثر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱٪) بر شاخص سختی دانه گلرنگ دارد. این نتایج اهمیت رقم را بر بافت دانه، از نظر قابلیت آسیب پذیری نشان می‌دهد.

جدول۹- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص سختی(PSI)

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
رقم	۸	۲۸۲۸/۱۴	۳۵۳/۵۱	۴۹۳/۰۲**
خطای آزمایش	۱۸	۱۲/۹۰	۰/۷۱	
کل	۲۷	۲۸۴۱/۰۵		

با توجه به جدول ۸، از بین ارقام مورد استفاده در این پژوهش، فرامال و گلدشت از نظر کیفیت سختی جزء سخت‌ترین ارقام و رقم اصفهان۱۴ نرم‌ترین رقم بودند.تفاوت در ژنتیک ارقام مورد استفاده و شرایط رشد محصول را می‌توان از فاکتورهای مؤثر بر سختی دانه بیان نمود (Arzani, 2002). همانطور که به دلیل فصل کشت و شرایط رشد دو رقم گلدشت و گلدشت پائیز از نظر سختی با یکدیگر تفاوت دارند.

مقادیر میانگین پارامترهای نیرو و کرنش حجمی حاصل از آزمایش نقطه روغن‌دهی برای نمونه‌های گلرنگ برای ارقام مورد مطالعه در جدول۱۰ آمده است.

جدول۱۰- میانگین پارامترهای حاصل از آزمایش نقطه روغن‌دهی شامل نیرو و کرنش حجمی

رقم	نقطه روغن گیری	
	نیرو(N)	کرنش حجمی
آسنتریا	۸۷۰۰/۶۶±۵۲/۰۵۵	۰/۳۹±۰/۰۰۷
اصفهان ۱۴	۶۱۸۴/۶۶±۲۱۲/۷۴۸	۰/۵۵±۰/۰۱۰
پدیده	۸۵۰۳/۰۰±۱۸۰/۹۷	۰/۳۴±۰/۰۰۴
سینا۴۱۱	۹۴۵۹/۳۳±۲۶/۸۴۷	۰/۴۳±۰/۰۱۱
فرامال	۱۰۴۱۹/۳۳±۱۲۷/۸۸	۰/۳۷±۰/۰۰۲
گلدشت	۱۱۱۵۸/۳۳±۳۴۴/۰۸۲	۰/۳۸±۰/۰۱۴
گلدشت پاییز	۹۹۲۶/۰۰±۱۰۳/۷۳۲	۰/۴۵±۰/۰۰۹
محلی اصفهان	۶۸۹۱/۶۶±۱۵۹/۱۸۹	۰/۳۷±۰/۰۰۳
ورامین	۷۳۳۸/۶۶±۹۵/۳۴	۰/۳۱±۰/۰۰۳

نتایج حاصل از تجزیه واریانس آزمایش نقطه روغن‌دهی (جداول ۱۱ و ۱۲) نشان داد که رقم اثر معنی‌داری (در سطح احتمال۱٪) بر میزان نیروی لازم برای شروع نقطه روغن دهی دارد. این نتایج اهمیت رقم را بر بافت دانه، در مقدار نیروی مصرفی برای روغن دهی نشان می‌دهد.

جدول۱۱- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به نیروی مورد نیاز در آزمایش نقطه روغن‌دهی دانه

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
رقم	۸	$۶/۷۶\times۱۰^{۷}$	۸۴۵۹۷۶/۶۲	۹۷/۰۹**
خطای آزمایش	۲۷	$۰/۱۵\times۱۰^{۷}$	۸۷۱۲۸/۱۴	
کل	۳۵	$۶/۹۲\times۱۰^{۷}$		

جدول۱۲- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به کرنش حجمی در آزمایش نقطه روغن‌دهی دانه

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
رقم	۸	۰/۱۲۲	۰/۰۱	۷۱/۹۴**
خطای آزمایش	۲۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	
کل	۳۵	۰/۱۲۶		

نتایج نشان داد ارقام در نیروی مورد نیاز برای شروع روغن دهی با یکدیگر تفاوت دارند. با توجه به جدول ۱۰ رقم گلدشت بیشترین میانگین نیرو برای استخراج روغن نیاز داشت که نسبت به کمینه میانگین‌ها (مربوط به اصفهان ۱۴) افزایشی معادل ۴۴/۵۷ درصد مشاهده شد. همچنین بیشترین کرنش حجمی مربوط به رقم اصفهان۱۴ و کمینه آن مربوط به رقم ورامین بود.

نتیجه گیری کلی

محصولات کشاورزی طی عملیات برداشت، حمل و نقل و فرآوری در اثر نیروهای فشاری، آسیب زیادی می‌بینند، بنابراین می‌توان با استفاده از یک رقم مقاوم در منطقه، این ضایعات را کاهش داد. در این پژوهش تلاش شد تا با تعیین خواص مکانیکی دانه ی گلرنگ، به کمتر شدن ضایعات پس از برداشت محصول کمک شود. بر این اساس به طور کلی می توان گفت که اگر از ارقام گلدشت و فرمال استفاده شود به دلیل مقاومت به ضربه ی بیشتری که این ارقام نسبت به ارقام دیگر داشتند، می توان انتظار داشت که ضایعات پس از برداشت کاهش یابد. همچنین ارقام گلدشت و گلدشت پاییز برای شروع روغن دهی نیازمند بیش ترین نیرو بودند در حالی که رقم اصفهان ۱۴ برای نقطه ی روغن دهی کمترین نیرو را نیاز داشت.

فهرست منابع

قبادپور، ا. (۱۳۸۸). طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه مقاومت به ضربه غلات. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.

Abbott, J.A. and Lu, R. (1996). Anisotropic mechanical properties of apple. Transactions of the ASAE, 39(4): 1451-1459.

Anderson, D. (1996). A primer on oils processing technology. New York: JohnWiley & Sons, Inc. 4: 10-17.

Anonymous, (2000). AACC Method. Approved Methods of the AACC, (10th ed). Methods 55-33. American Association of Cereal Chemists, st. paul, Minnesota, USA.

Arzani, A. (2002). Grain quality of durum wheat germplasm as affected by heat and drought stress at grain filling period. Wheat Information Service. 94: 9-14.

Chung, C. j., Clark, s. J. C., McGinty, R. J. and Watson, C. A. (1975). The pearlograph technique for measuring wheat hardness, Transactions of The ASAE, 17: 185-189.

Erica Baumler, A., Adela Cuniberti, B., Susana, M. Nolasco, A. and Isabel, C. R. (2006). Moisture dependent physical and compression properties of safflower seed. Journal of Food Engineering. 75: 134-140.

Gupta R. K. and Das S. K. (2000). Fracture resistance of sunflower seed and kernel to compressive loading. Journal of food Engineering. 46: 1-8.

Lewis, M.J. (1990). Physical Properties of Food and Food Processing System. 1st ed. Chichester. Ellis Horwood, UK.

Liu, M., Haghighi, K., Stroshine, R. L. and Ting, E. C. (1990). Mechanical properties of the soybean cotyledon and failure strength soybean kernels. Transaction of ASAE. 32(2): 559-566.

Mohsenin, N. N. (1996). Physical Properties of Plant and Animal Materials. 3rd edition. New York: Gordon and Breach.

Nagato, K., Ebta, M. and Ishikawa. M. (1964). On the formation of cracks in rice kernels during wetting and drying of paddies. Nippon Sakumotsu Gakki Kiji. 33: 82-99.

Paulsen, M. R. (1978) . Fracture resistance of soybeans to compressive loading. Transcations of the ASAE. 21(6): 1210-1216.

Raji, A. O. and Favier, J. F. (2003). Model for the deformation in agricultural and food particulate materials under bulk compressive loading using discrete element method. II: Compression of oilseeds. Journal of Food Engineering. 64: 373–380.

Zhang, Q., Yang, W. and Sun, Z. (2005). Mechanical properties of sound and fissured rice kernels and their implications for rice breakage. Journal of Food Engineering. 68: 65-67.