

مقاله پژوهشی

ارزیابی تأثیر سامانه‌های جعبه ضربه‌گیر و پلکان سقوط بسته بر شکستگی ذرت با ارتفاع‌های سقوط و رطوبت‌های مختلف دانه

رضا شهبازی^۱ و فیض‌الله شهبازی^{۲*}

چکیده

ذرت یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی است که نقش مهمی در تغذیه انسان دارد. دانه ذرت به دلیل داشتن اندازه و جرم بالا، حساسیت زیادی در برابر صدمات مکانیکی دارد. هدف از این تحقیق ارزیابی تأثیر استفاده از جعبه ضربه‌گیر و پلکان سقوط بسته در کاهش صدمات مکانیکی دانه‌های ذرت در اثر سقوط آزاد است. دانه‌های ذرت از رقم KSC705 در سه روش مختلف سقوط (سقوط آزاد بدون مانع)، استفاده از جعبه ضربه‌گیر و استفاده از پلکان سقوط بسته، در سطوح مختلف رطوبت (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد) و در سه ارتفاع سقوط (۲، ۴ و ۶ متر) مورد آزمایش قرار گرفتند و میزان صدمات آنها به صورت درصد شکستگی اندازه‌گیری و مقایسه شد. نتایج به دست آمده نشان داد که استفاده از جعبه ضربه‌گیر و پلکان سقوط بسته به صورت معنی‌داری باعث کاهش میزان صدمات دانه‌های ذرت می‌شود. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار شکستگی دانه‌ها برابر ۳/۹۷ و ۸/۸۵ درصد بود که به ترتیب در استفاده از سیستم پلکان سقوط بسته و سقوط آزاد (بدون مانع) مشاهده شد. مقدار متوسط شکستگی دانه‌ها ۶/۳۸ درصد بود که در استفاده از جعبه ضربه‌گیر مشاهده شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که هر سه فاکتور، روش سقوط، ارتفاع سقوط و رطوبت دانه و اثرات متقابل آنها تأثیر معنی‌داری را در سطح یک درصد ($P < 0.01$) بر درصد شکستگی دانه‌های ذرت داشتند.

واژه‌های کلیدی: دانه ذرت، صدمات مکانیکی، سقوط آزاد، رطوبت دانه، جعبه ضربه‌گیر، پلکان سقوط بسته.

ارجاع: شهبازی ر. و شهبازی ف. ۱۴۰۱. ارزیابی تأثیر سامانه‌های جعبه ضربه‌گیر و پلکان سقوط بسته بر شکستگی ذرت با ارتفاع‌های سقوط و رطوبت‌های مختلف دانه. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۴: ۱۵-۲۶. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10050.519>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه لرستان.

۲- استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه لرستان.

* نویسنده مسئول: shahbazi.f@lu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰

مقدمه

از مهم‌ترین عواملی که روی کیفیت محصولات کشاورزی دانه‌ای اثر نامطلوب می‌گذارد و باعث تولید دانه‌های صدمه دیده و بی‌کیفیت می‌شود، صدمات مکانیکی وارد شده به دانه‌ها است. صدمات مکانیکی ممکن است از هر نوع ضایعه فیزیکی و مکانیکی به وجود آید، اما صدمات ناشی از ضربه قسمت‌های متحرک ماشین‌ها در طی برداشت و فرآوری پس از برداشت، جدی‌ترین آنهاست (Shahbazi, 2011). دانه محصولات کشاورزی از لحظه درو تا انتقال به کوبنده و سپس در واحدهای تمیز کن و جداکن، و مراحل انتقال به انبار کمباین یا سیلوهای ذخیره محصول و همچنین مرحله کاشت، دائماً تحت نیروهای ضربه‌ای ماشین‌ها قرار می‌گیرد. طراحی و کارایی نامناسب ماشین‌ها در هر یک از این مراحل باعث صدمه دیدن دانه و بروز صدمات مکانیکی می‌گردد. صدماتی که در طی این فرآیندها در اثر ضربه به دانه (بذر) وارد می‌شود، مشکلی اساسی در صنعت بذر است. علائم صدمات مکانیکی بر دانه محصولات کشاورزی، ممکن است به چندین شکل مختلف باشد (Shahbazi, 2021): ۱- صدمات ممکن است به نحوی باشد که به‌راحتی قابل مشاهده باشد (صدمات آشکار) نظیر شکستگی و ترک خوردن بذر (دانه) ۲- صدمات داخلی (نهانی) نظیر ایجاد ترک‌های داخلی دانه، شکاف‌های میکروسکوپی و صدمات وارده به جنین بذر. مجموع این صدمات باعث کاهش ارزش محصول، کاهش قابلیت نگهداری محصول، ایجاد مشکلات بهداشتی، افزایش هزینه‌های تولید و فرآوری، کاهش بازده استخراج مواد مغذی از دانه و کاهش درصد جوانه‌زنی و قدرت رویشی بذر می‌شود. به‌طوری که صدمات ناشی از عملیات مکانیکی بر روی دانه‌ها (بذر)، بخش عمده‌ای از ضایعات کلی محصولات دانه‌ای طی برداشت و فرآیندهای پس از برداشت را تشکیل می‌دهد.

سقوط آزاد یکی از مراحل مهمی است که در آن صدمه به دانه‌ها در اثر ضربه رخ می‌دهد. بسته به نوع عملیات، دانه محصولات کشاورزی ممکن است تحت تأثیر سقوط آزاد از چند متر در مزرعه در هنگام تخلیه توسط کمباین و بارگیری مخزن کامیون حمل‌کننده، تا ارتفاع بیش از ۵۰ متر در هنگام تخلیه و بارگیری در مخازن سیلوه‌ها و پایانه‌های حمل و صادرات دانه، قرار گیرد. در طی مراحل

مختلف مانند بارگیری دانه در داخل مخزن کامیون توسط کمباین، تخلیه دانه‌ها از مخزن ماشین‌های حمل‌کننده و یا تخلیه و پر کردن مخازن و سیلوهای نگهداری دانه و دیگر فرآیندها، دانه‌ها تحت نیروی ضربه ناشی از سقوط آزاد قرار می‌گیرند (Shahbazi, 2021). در این مراحل دانه‌ها از ارتفاع مختلف سقوط کرده که به آنها ضربه وارد شده و دچار صدمه می‌شوند. صدمه وارده در این حالت نیز مانند سایر مراحل ایجاد ضربه بر روی دانه، بستگی به عوامل مختلفی دارد که از مهم‌ترین آنها می‌توان به ارتفاع سقوط، شرایط دانه (اندازه، جرم حجمی دانه، درجه حرارت دانه و رطوبت دانه) و جنس و زاویه سطحی که دانه بر روی آن سقوط می‌کند، اشاره کرد (Delfan, 2020). یکی از مواردی که در اثر انتقال دانه و سقوط و برخورد آنها با اجسام سخت باعث صدمه دانه‌ها می‌شود، انتقال و جابجایی دانه‌ها توسط لوله‌های فلزی است. دانه‌ها، با استفاده از لوله‌های عمودی و یا شیب‌دار، در سیلوه‌ها و دیگر سامانه‌های انتقال و یا فرآوری، به دلیل داشتن شیب زیاد، با سرعت بالا جابجا شده و در نقاط مختلف تخلیه می‌شوند. همچنین هنگام تخلیه و بارگیری دانه‌ها توسط نقاله‌های نیوماتیکی، به دلیل سرعت زیاد، ضربات شدیدی به دانه‌ها وارد شده که باعث صدمه به آنها می‌شود (Ghafari et al., 2011).

ذرت (*Zea mays* L.) به عنوان پشورترین محصول غلات در جهان، نقش بسزایی در غذاهای انسان دارد. دانه ذرت به دلیل داشتن اندازه و جرم بالا از حساسیت بالایی در برابر صدمات مکانیکی برخوردار است (Guo, 2015). برای کاهش صدمات مکانیکی دانه‌ها در اثر سقوط آزاد، باید وضعیت دانه‌ها و شرایط سقوط آنها را طوری تنظیم کرد که در حد امکان، از شدت ضربه کاسته شده و صدمه کمتری به آنها وارد شود.

با توجه به این‌که در هنگام جابجایی و سقوط، شرایط دانه‌ها تا حدودی قابل کنترل نیست، در این حالات تنها موردی که می‌تواند تحت مدیریت و کنترل قرار گیرد شرایط سقوط دانه‌ها است. در این مورد باید در حد امکان سعی شود که ارتفاع و سرعت سقوط دانه‌ها کاهش یابد و نیز از سقوط و برخورد آنها بر روی سطوح سخت و برنده جلوگیری شود. به منظور کاهش ارتفاع و سرعت سقوط دانه‌ها هنگام خروج از نقاله‌ها به و برای تخلیه و یا بارگیری دانه‌ها، باید از سیستم‌های سقوط پلکانی در

مورد دانه ذرت نشان داده است که دانه‌های ذرت در محدوده رطوبت کمتر از ۱۸ درصد، حساسیت زیادی به صدمات مکانیکی به صورت شکستگی دارند (Shahbazi & Shahbazi, 2019).

میزان رطوبت اطمینان بخش به منظور برداشت و کوبیدن دو رقم ذرت از نوع Dent و Flint، به منظور تولید بذر با درصد جوانه‌زنی بالا، به ترتیب برابر ۱۵ و ۱۸ درصد به دست آمده است (Guo, 2015).

علاوه بر موارد بالا نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که میزان سختی و حساسیت به صدمات مکانیکی دانه‌ها با کاربرد کودها و در نتیجه حاصل خیزی خاک تحت تأثیر قرار گرفته است (Shahbazi et al., 2015a; Shahbazi et al., 2015 b).

در پژوهشی، (Delfan (2020 از آزمون هدایت الکتریکی برای بررسی صدمات وارد به دانه‌های نخود در اثر سقوط آزاد استفاده کرده و گزارش نموده است. گزارش شده است که بین افزایش هدایت الکتریکی دانه‌ها و ارتفاع سقوط آنها رابطه خطی وجود داشته است. در مطالعه‌ای توسط Kordi & Shahbazi (2020 اثر رطوبت در زمان برداشت (رطوبت دانه در ۲۰، ۳۰، و ۴۰ درصد) و روش خشک کردن دانه (خشک کردن به صورت طبیعی و مصنوعی) بر خصوصیات مکانیکی دانه‌های چهار هیبرید ذرت (Jeta 600، Konsur 580.NS 640 و SC 704)، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج مطالعه فوق نشان داده است که رطوبت دانه‌ها در زمان برداشت در هر دو شیوه خشک کردن اثر معنی‌داری بر خواص مکانیکی دانه‌های همه هیبریدهای مورد مطالعه داشته است.

طبق بررسی‌های انجام گرفته تاکنون تحقیقی در مورد صدمات مکانیکی وارد به دانه ذرت در اثر سقوط آزاد در داخل لوله‌های انتقال و تأثیر سامانه‌های ضربه‌گیر بر آن گزارش نشده است. با توجه به اهمیت محصول ذرت، لازم است اقدامات لازم در جهت کاهش صدمات و در نتیجه کاهش ضایعات این محصول استراتژیک صورت گیرد، بنابراین هدف این تحقیق، طراحی و ساخت دو نوع سیستم کاهنده سرعت دانه‌ها در داخل لوله‌های انتقال، شامل جعبه ضربه‌گیر و پلکان سقوط بسته و ارزیابی تأثیر استفاده از آنها در کاهش صدمات مکانیکی دانه‌های ذرت در شرایط مختلف رطوبت دانه و ارتفاع سقوط است.

انتهای مسیر انتقال استفاده کرد. همچنین از سیستم کاهنده سرعت دانه‌ها درون لوله‌های انتقال دانه، که به نام جعبه ضربه‌گیر^۱ و یا پلکان سقوط بسته^۲ معروف هستند، می‌توان استفاده کرد که سرعت و ارتفاع سقوط دانه‌ها و در نهایت، شدت ضربه در داخل لوله‌های انتقال را کاهش می‌دهند.

این نوع تجهیزات در مرکز مخازن سلیوی نگهداری دانه‌ها و به منظور پر کردن مخزن از دانه‌های مورد نظر در حالت ایمن و بدون صدمات، نصب می‌شوند (Gregg & Billups, 2016).

در مورد اثر ضربه بر میزان صدمات دانه (بذر) محصولات کشاورزی تحقیقات مختلفی انجام گرفته است.

صدمات مکانیکی وارد بر تعدادی از دانه‌های محصولات کشاورزی (ذرت، سویا و لوبیا) در اثر ضربه ناشی از روش‌های مختلف حمل و نقل و تخلیه دانه‌ها مورد مطالعه قرار گرفته و گزارش شده است که صدمات وارد به دانه محصولات در اثر سقوط از ارتفاع بیش از ۱۳ متر بیش‌تر از حالتی بوده که از نقاله برای پایین آوردن دانه‌ها استفاده شده است. در پژوهش فوق همچنین نتیجه‌گیری شده است که میزان شکستگی دانه‌ها هنگامی که از دریچه‌های تخلیه با قطر ۲۰۰ میلی‌متر استفاده شود، خیلی بیشتر از حالتی است که اندازه قطر دریچه ۳۰۰ میلی‌متر باشد (Fiscus et al., 1971). در مطالعه‌ای در مورد صدمات نخود و عدس ناشی از سقوط آزاد، مشاهده شده است که با افزایش ارتفاع سقوط دانه‌های مورد بررسی بر روی هر سه سطح فولادی، تخته چوبی سه لایه و بتنی، میزان صدمات دانه‌ها حالت افزایشی داشته است و دانه‌های با سطوح رطوبت کمتر، دچار صدمه بیشتری شده‌اند (Bergen et al., 1993). نتیجه بررسی میزان صدمات وارد به دانه‌های عدس از دو رقم با دانه‌های سبز و قرمز نشان داده است که میزان صدمه وارد به دانه‌ها در هر دو رقم مورد مطالعه با افزایش رطوبت، حالت کاهشی داشته و رطوبت بهینه برای دانه‌های سبز در حدود ۱۷ درصد و برای دانه‌های قرمز در حدود ۱۵ درصد، وجود داشته و در آنها میزان صدمات وارده به دانه‌ها کمترین مقدار خود را داشته است (Shahbazi et al., 2017). نتیجه تحقیق انجام گرفته در

1- Cushion boxes

2- Closed let-down ladder

مواد و روش‌ها

در این مطالعه تأثیر روش سقوط دانه‌های ذرت در سه سطح (سقوط آزاد، جعبه ضربه‌گیر و پلکان سقوط بسته) رطوبت دانه‌ها در پنج سطح (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد) و ارتفاع سقوط در سه سطح (۲، ۴ و ۶ متر) بر میزان صدمات ظاهری (درصد شکستگی) دانه‌های ذرت مورد مطالعه قرار گرفت. برای اجرای تحقیق از ذرت هیبرید KSC 705 استفاده شد. دانه‌های مورد نیاز، در سال ۱۳۹۹ از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه و تا زمان اجرای آزمایش در یخچال با دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند.

برای جداسازی دانه‌های شکسته شده اولیه از توده دانه‌های مورد آزمایش، مطابق استاندارد USDA، کل توده دانه‌های مورد نظر، از غربال دارای سوراخ‌های گرد با قطر ۴/۷۶ میلی‌متر عبور داده شدند، تا مطابق استاندارد فوق دانه‌های شکسته شده از سوراخ‌های غربال عبور کرده و فقط دانه‌های سالم باقی بمانند (USDA, 2013). همچنین با استفاده از یک ذره بین، دانه‌های نیم شکسته و ترک‌دار نیز به صورت دستی از توده دانه‌ها جدا گردیدند.

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی در صدمه‌پذیری محصولات دانه‌ای تأثیرگذار است. به همین دلیل، خواص فیزیکی (رطوبت، ابعاد هندسی، ضریب کرویت و وزن هزار دانه) و خواص مکانیکی دانه‌ها (نیروی شکست و میزان جابجایی در نقطه شکست) اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری درصد رطوبت دانه‌ها با استفاده از آون و در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت انجام شد (ASABE, S352. 2). با توجه به این که رطوبت دانه‌ها حدود ۱۰ درصد بود، اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی دانه‌ها در رطوبت استاندارد که برای ذرت ۱۵ درصد است (Shahbazi, 2021) انجام شد. برای تنظیم رطوبت دانه‌ها در ۱۵ درصد و رطوبت‌های بیشتر از آن، از محاسبه و اضافه نمودن میزان آب مقطر مورد نیاز، استفاده شد. سپس دانه‌ها به مدت ۱۰ روز در دمای ۴ درجه سلسیوس قرار داده شدند که رطوبت آنها یکنواخت شود. خواص فیزیکی دانه ذرت شامل ابعاد هندسی، قطر معادل، ضریب کرویت و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری ابعاد دانه‌ها تعداد ۵۰ عدد دانه ذرت به صورت تصادفی از هر تیمار انتخاب شد و با استفاده از

کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر، سه بعد محوری دانه ذرت شامل طول (L)، عرض (W) و ضخامت (T) اندازه‌گیری شد. قطر میانگین هندسی یا قطر معادل (D_g) با جایگذاری ابعاد به دست آمده در معادله (۱) محاسبه شد (Mohsenin, 1986):

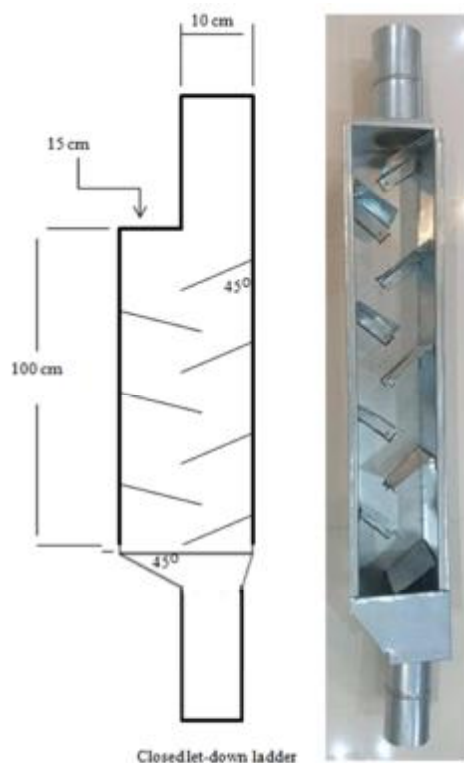
$$D_g = (LWT)^{1/3} \quad (1)$$

ضریب کرویت (ϕ) از معادله زیر محاسبه شد (Mohsenin, 1986):

$$j = \frac{(LWT)^{1/3}}{L} \quad (2)$$

جرم هزار دانه با استفاده از شمارنده و وزن کردن ۱۰۰۰ دانه ذرت با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۲ گرم اندازه‌گیری شد. خواص مکانیکی دانه ذرت شامل نیروی شکست و میزان جابجایی در نقطه شکست اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی دانه از ماشین آزمون کشش- فشار (Santam-1) استفاده شد. بدین منظور، دانه ذرت در بین صفحات تخت متصل به فک‌های ماشین در حالت بارگذاری افقی و سرعت بارگذاری ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه قرار گرفت. سپس با استفاده از نرم افزار ماشین و رایانه متصل به آن، نمودار نیرو - تغییر شکل ترسیم و از روی نمودار، خواص مکانیکی دانه ذرت (نیروی شکست و میزان جابجایی در نقطه شکست) استخراج گردید.

در شکل ۱ طرح‌واره سامانه کاهنده سرعت دانه‌ها از نوع جعبه ضربه‌گیر و نمونه سامانه ساخته شده در این پژوهش، مشاهده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، ساختمان این سیستم شامل یک جعبه مکعبی شکل به طول ۱ متر و عرض حدود دو برابر بزرگ‌تر از قطر لوله انتقال دانه‌ها (۲۰ سانتی‌متر) است. درون جعبه دو پره با زاویه ۴۵ درجه و در جهت خلاف هم قرار گرفته‌اند. دانه‌ها با ورود به داخل جعبه و برخورد به پره‌ها از سرعتشان کاسته شده و از طرف آزاد پره‌ها فرو می‌ریزند. با توجه به طول انتقال دانه‌ها، جعبه‌های ضربه‌گیر در فواصل مختلف در طول لوله نصب می‌گردند که نتیجه آن کاهش سرعت انتقال دانه‌ها در طول لوله و نیز خروج با سرعت پایین از قسمت تخلیه لوله است. این عمل شدت ضربه وارد به دانه‌ها را کاهش داده و از صدمات مکانیکی آنها جلوگیری می‌کند. برای ساخت دستگاه فوق از ورق آهن گالوانیزه با ضخامت ۷ میلی‌متر

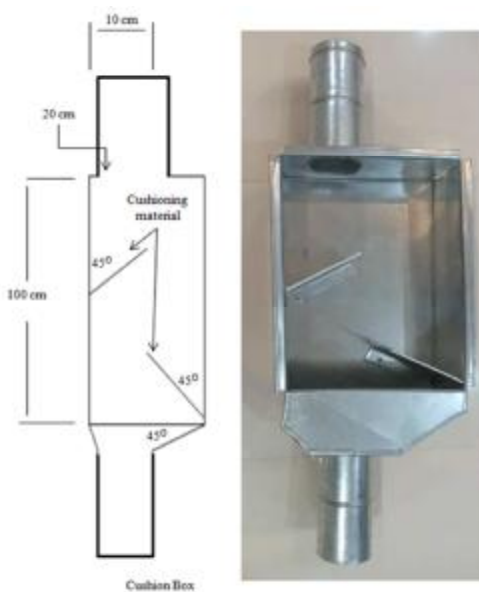


شکل ۲- سیستم پلکان سقوط بسته و نحوه حرکت دانه‌ها درون آن

همچنین یک سری نمونه از دانه‌ها با استفاده از لوله (با قطر ۱۰ سانتی‌متر) بدون ضربه‌گیر (سقوط آزاد) به عنوان شاهد مورد آزمایش قرار گرفت و در نتیجه تأثیر هریک از سیستم‌های فوق در مقایسه با لوله سقوط آزاد، بر روی میزان صدمات دانه‌ها مشخص گردید. دانه‌های ذرت با سطوح مختلف رطوبت (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد بر پایه تر) با استفاده از دو نوع دستگاه ساخته شده و سقوط آزاد (بدون مانع)، در ارتفاع مختلف سقوط (۲، ۴ و ۶ متر) تحت تأثیر سقوط آزاد قرار گرفتند و میزان صدمات آنها اندازه‌گیری شد. محل قرارگیری سامانه‌های جعبه ضربه‌گیر و پلکان سقوط بسته، در وسط سیستم سقوط بود و برای ایجاد ارتفاع مختلف سقوط، از اتصال لوله‌های با طول مختلف به دو انتهای دو دستگاه (طول دستگاه‌ها ۱ متر است) استفاده شد. دانه‌ها توسط یک دریچه قابل تنظیم و با قطر ۳۰۰ میلی‌متر به درون سیستم‌های مورد نظر تخلیه می‌شدند. به منظور جلوگیری از پراکندگی دانه‌ها در انتهای لوله سقوط، یک اتاقک چوبی که کف آن برای شبیه‌سازی سقوط آزاد در حالت واقعی، نسبت به افق در زاویه ۴۵ درجه بود نصب شد تا هنگام سقوط،

استفاده شد. در شکل ۲ طرح‌واره سیستم پلکان سقوط بسته و تصویر نمونه ساخته شده در این پژوهش نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲، ساختمان این سیستم شامل یک جعبه مکعبی شکل به طول ۱ متر و عرض حدود ۱/۵ برابر بزرگ‌تر از قطر لوله انتقال دانه‌ها (۱۵ سانتی‌متر) است. جعبه دارای صفحات شیب‌دار پشت سر هم است که در زاویه ۴۵ نسبت به دیواره جعبه نصب شده‌اند. توده دانه پس از ورود به جعبه وارد سطح رویی پره اولیه شده و با تخلیه از آن به پره بعدی می‌رسد. به این ترتیب توده دانه با خروج از یک پره، وارد پره بعدی شده و با سطح شیب‌دار آن برخورد می‌کند و این روند ادامه دارد تا دانه‌ها به کف مخزن و یا محل مورد نظر انتقال یابند. در این سیستم نیز ضمن کاهش ارتفاع سقوط آزاد دانه‌ها، سرعت خروج و برخورد آن‌ها با سطح مورد نظر کاهش می‌یابد، که در نتیجه آن از شدت ضربه وارد به دانه‌ها کاسته شده و از صدمات مکانیکی آن‌ها جلوگیری می‌کند. این نوع سیستم می‌تواند به انتهای سیستم‌های بارگیری و تخلیه دانه‌ها وصل شده و میزان صدمات مکانیکی دانه‌ها را کاهش دهد.

پس از طراحی و ساخت دستگاه‌های کاهنده سرعت، دانه‌های مورد نظر در سطوح مختلف رطوبت و ارتفاع سقوط مورد آزمایش قرار گرفتند و میزان صدمات آنها به صورت صدمات ظاهری (درصد شکستگی دانه‌ها) اندازه‌گیری و ارزیابی شد.



شکل ۳- سیستم جعبه ضربه‌گیر

دانه‌ها به آن برخورد کنند و شبیه‌سازی سقوط آزاد و برخورد آنها به سطوح با جنس‌های مختلف نزدیک به واقعیت باشد. در این مطالعه کف اتاقک از جنس سیمان انتخاب شد.

برای تعیین صدمات ظاهری دانه‌ها^۱ از روش بیان شده در استانداردهای USDA^۲ (۲۰۱۳) استفاده شد. با توجه به این‌که یکی از شایع‌ترین نوع صدمات ظاهری دانه‌ها به‌صورت شکستگی است، استانداردهای USDA روش استفاده از غربال را برای تعیین دانه‌های شکسته، پیشنهاد کرده است و دانه‌های شکسته برای هر محصول خاص را دانه‌هایی تعریف کرده است که از سوراخ‌های یک غربال با اندازه سوراخ‌های مشخص عبور کنند. در استاندارد مربوط به ذرت، نوع غربال تعیین شده دارای سوراخ‌های گرد با قطر سوراخ برابر ۴/۷۶ میلی‌متر است که از ورق فولادی با ضخامت ۰/۸ میلی‌متر ساخته شده و فاصله مرکز به مرکز سوراخ‌های آن برابر ۶/۳۵ میلی‌متر باشد. در روش استفاده از غربال، دانه‌های مورد نظر را از غربال تعیین شده عبور داده و وزن مقداری از محصول که از غربال عبور کرده است (دانه‌های شکسته شده)، بر اساس وزن دانه‌های شکسته (اختلاف وزن دانه‌های عبور کرده از غربال و باقی مانده بر روی آن) اندازه‌گیری می‌شود. نسبت وزن دانه‌های شکسته شده به وزن نمونه اولیه، قابلیت شکست نمونه دانه‌ها (درصد صدمات ظاهری دانه‌ها) به‌صورت درصد، با معادله (۳) محاسبه می‌شود (USDA, 2013):

$$S_b = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \quad (3)$$

در معادله بالا:

S_b : درصد دانه‌های شکسته شده (قابلیت شکست).

W_i : وزن اولیه نمونه مورد آزمایش.

W_f : وزن دانه‌های باقی مانده بر روی غربال است.

اثر عامل‌های مورد بررسی در تحقیق حاضر در قالب آزمایش‌های چندعاملی بر اساس طرح کاملاً تصادفی آزمون شدند. متغیرهای مستقل شامل نوع سیستم سقوط، رطوبت دانه‌ها و ارتفاع سقوط بودند و متغیر وابسته شامل: درصد صدمات ظاهری دانه‌ها بود. تعداد تکرارهای بکار رفته ۳ تکرار به ازای هر ترکیب از پارامترهای

آزمایشی بود. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام شد و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (Alpha = 0.05) صورت گرفت.

نتایج و بحث

در جدول ۱ خواص فیزیکی و مکانیکی دانه‌های مورد مطالعه بیان شده است. اندازه‌گیری خواص فوق در رطوبت استاندارد ۱۵ درصد صورت گرفت. نتایج بررسی داده‌ها نشان داد که میانگین صدمات ظاهری دانه‌های ذرت به صورت درصد دانه‌های شکسته در شرایط مختلف ترکیب متغیرهای روش سقوط دانه‌ها، رطوبت دانه‌ها و ارتفاع سقوط، معادل ۶/۳۹ درصد محاسبه شد که کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب ۰/۲۵ و ۲۱/۰۵ درصد بود. در جدول ۲، نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به درصد شکستگی دانه‌های ذرت (صدمات ظاهری دانه‌ها) در اثر ضربه ناشی از سقوط و اثر متغیرهای مستقل بر آن ارائه شده است. با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود که هر سه عامل، روش سقوط، ارتفاع سقوط و رطوبت دانه اثر معنی‌داری را در سطح احتمال ۱ درصد ($P < 0.01$) بر درصد شکستگی دانه‌های ذرت داشته‌اند. همچنین مشاهده می‌شود که اثرات متقابل سیستم سقوط×ارتفاع سقوط، سیستم سقوط×رطوبت دانه و ارتفاع سقوط×رطوبت دانه بر روی این نوع صدمات دانه‌ها در سطح احتمال ۱ درصد ($P < 0.01$) معنی‌دار است. همچنین ملاحظه می‌شود که اثر سه‌گانه سیستم سقوط×ارتفاع سقوط×رطوبت دانه بر روی صدمات وارد بر دانه‌ها، به صورت درصد شکستگی دانه‌های ذرت در سطح احتمال ۱ درصد ($P < 0.01$) معنی‌دار بوده است.

در جدول ۳، نتیجه مقایسه میانگین صدمات ظاهری (درصد شکستگی) دانه‌های ذرت در سطوح مختلف متغیرهای مستقل بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ارائه شده است. در این جدول، میانگین شکستگی دانه‌های ذرت در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شده‌اند (Alpha = 0.05). در ادامه در مورد اثرات سیستم سقوط، رطوبت دانه، و ارتفاع سقوط بر روی صدمات وارد به دانه‌ها به صورت مجزا بحث می‌شود.

1- USDA-FGIS (USDA Federal Grains Inspection Service)

2- United States Department of Agriculture

جدول ۱- خواص فیزیکی و مکانیکی دانه‌های ذرت هیبرید KSC 705

خواص فیزیکی و مکانیکی دانه‌های ذرت هیبرید KSC 705	طول (mm)	عرض (mm)	ضخامت (mm)	میانگین قطر هندسی (mm)	ضریب کرویت (%)	نسبت (g)	نیروی شکست (N)	جایابی در نقطه شکست (mm)
میانگین	۱۰/۱۴	۷/۶۴	۵/۱۷	۷/۳۳	۱۳/۱۴	۰/۲۹	۴۵/۱۳	۰/۳۶
انحراف معیار	۱/۰۵	۰/۵۲	۰/۸۲	۰/۳۳	۲/۰۹	۰/۰۳	۸/۵۰	۰/۱۲

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به درصد شکستگی دانه‌های ذرت در اثر سقوط درون لوله

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F
روش سقوط	۲	۵۳۵/۴۹۷	۲۶۷/۷۴۸	۴۶۰/۱۷۳**
ارتفاع سقوط	۲	۳۹۷/۲۰۴	۷۱۹۸/۶۰۲	۴۷۴/۸۴۸**
روش سقوط × ارتفاع سقوط	۴	۵۹/۵۷۳	۱۴/۸۹۳	۳۵/۶۰۹**
رطوبت دانه	۴	۱۸۰۸/۷۲۳	۴۵۲/۱۸۱	۱۰۸۱/۱۴۳**
روش سقوط × رطوبت دانه	۸	۶۰/۷۰۶	۷/۵۸۸	۱۸/۱۴۳**
ارتفاع سقوط × رطوبت دانه	۸	۵۲/۵۱۳	۶/۵۶۴	۱۵/۶۹۵**
روش سقوط × ارتفاع سقوط × رطوبت دانه	۱۶	۲۴/۹۸۱	۱/۵۶۱	۳/۷۳۳**
خطای آزمایش	۹۰	۳۷/۴۶۲	۰/۴۱۸	
کل	۱۳۴	۸۵۰۰/۰۴۴		

** - معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

تأثیر نوع سیستم سقوط بر صدمات ظاهری دانه‌ها

طبق نتایج بررسی واریانس داده‌ها (جدول ۲) تأثیر نوع سیستم سقوط دانه بر روی درصد شکستگی دانه‌های ذرت در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) مشاهده می‌شود که استفاده از سیستم‌های مختلف کاهش سرعت دانه‌ها درون لوله، باعث تغییر و کاهش در اندازه صدمات وارد به دانه‌های ذرت در اثر سقوط شده است. با توجه به داده‌های جدول ۳ مشاهده می‌شود که بین میانگین صدمات وارد به دانه‌ها به صورت درصد شکستگی در سطوح مختلف سیستم سقوط دانه درون لوله اختلاف معنی‌دار وجود دارد (در سطح ۵ درصد) و میانگین‌ها در سه گروه؛ a، b و c تقسیم‌بندی شده‌اند.

در شرایط مختلف آزمایش از جمله در سطوح مختلف رطوبت دانه‌ها و ارتفاع سقوط، کمترین صدمه‌دیدگی دانه‌ها در استفاده از سیستم پلکان بسته ایجاد شده است (۳/۹۷ درصد). در استفاده از جعبه ضربه‌گیر، میزان صدمات وارد به دانه‌ها برابر ۶/۳۸ درصد است که به اندازه ۱/۶ برابر (به اندازه ۳۷/۵۹ درصد)، نسبت به استفاده از

سیستم پلکان سقوط افزایش یافته است. در حالت استفاده از لوله با سقوط آزاد بیشترین صدمه بر دانه‌ها ایجاد و این روش بحرانی‌ترین روش از لحاظ صدمه‌دیده‌گی دانه‌ها بوده است. صدمه و شکستگی دانه‌ها در این روش برابر ۸/۸۵ درصد بود که نسبت به استفاده از سیستم جعبه ضربه‌گیر، در حدود ۱/۴ برابر (۲۸/۰۷ درصد) و نسبت به استفاده از سیستم پلکان بسته، حدود ۲/۲۲ برابر (۵۵/۱۷ درصد)، افزایش یافته است. طبق بررسی‌های انجام گرفته تاکنون اطلاعاتی در زمینه تأثیر استفاده از سیستم‌های کاهش سرعت سقوط دانه‌ها بر کاهش میزان صدمات دانه‌های ذرت منتشر نشده است که با نتایج تحقیق حاضر مقایسه شود.

(Shah et al. (2001) گزارش کرده‌اند که استفاده از پلکان سقوط در پر کردن مخازن ذخیره لوبیا باعث کاهش معنی‌داری در صدمات مکانیکی دانه‌های محصول فوق شده و باعث شده است که دانه‌های تخلیه شده در مخزن با استفاده از آن دارای سطح بالاتری از کیفیت در جوانه‌زنی در مقایسه با دانه‌های تخلیه شده بدون این سیستم باشند.

جدول ۳- مقایسه میانگین صدمات ظاهری دانه‌های ذرت در هریک از متغیرهای مستقل بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن

متغیر مستقل	درصد دانه‌های شکسته
روش سقوط	
سقوط آزاد (بدون مانع)	۸/۸۵ ^{a*}
جعبه ضربه‌گیر بسته	۶/۳۷ ^b
پلکان سقوط بسته	۳/۹۷ ^c
ارتفاع سقوط (متر):	
۲	۴/۲۱ ^c
۴	۶/۵۸ ^b
۶	۸/۴۰ ^a
رطوبت دانه (%):	
۱۰	۱۲/۲۲ ^a
۱۵	۸/۶۸ ^b
۲۰	۵/۶۲ ^c
۲۵	۳/۱۸ ^d
۳۰	۲/۲۹ ^d

* برای هر صفت اعدادی که دارای یک حرف مشترک باشند، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر، ملاحظه می‌شود که استفاده از سیستم‌های کاهش سرعت سقوط دانه‌ها به صورت مؤثر و معنی‌دار باعث کاهش صدمات دانه‌های ذرت (شکستگی دانه‌ها) شده است؛ بخصوص استفاده از سیستم پلکان سقوط بسته که در مقایسه با سقوط آزاد باعث شده که میزان صدمات به حدود نصف (۵۵/۱۷ درصد) کاهش یابد و به صورت مؤثری باعث جلوگیری از صدمات دانه‌ها و کاهش ضایعات ناشی از آن شده است. بنابراین می‌توان این سیستم را به صورت صنعتی در سیستم‌های انتقال دانه‌ها پیشنهاد کرد. علاوه بر آن اختلاف معنی‌دار بین نوع جعبه ضربه‌گیر و پلکان سقوط بسته وجود دارد. به نظر می‌رسد در سیستم جعبه ضربه‌گیر به دلیل وضعیت قرار گیری پره‌های داخلی آن، که در جهت خلاف جریان دانه‌ها قرار دارند، نوعی ضربه ایجاد شده که خود باعث گردیده است که صدمات وارد به دانه‌ها در آن نسبت به نوع پلکان سقوط بسته بیشتر شود.

تأثیر ارتفاع سقوط بر صدمات ظاهری دانه‌ها

طبق نتایج بررسی واریانس داده‌ها (جدول ۲) تأثیر ارتفاع سقوط بر روی درصد شکستگی دانه‌های ذرت در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. افزایش ارتفاع سقوط باعث افزایش درصد شکستگی دانه‌های محصول ذرت شده است. با

توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) مشاهده می‌شود که بین میانگین صدمات وارد به دانه‌ها به صورت درصد شکستگی در سطوح مختلف ارتفاع سقوط اختلاف معنی‌دار وجود دارد (در سطح ۵ درصد).

در شرایط مختلف آزمایش از جمله استفاده از روش‌های مختلف سقوط دانه‌ها و در سطوح مختلف رطوبت دانه‌ها، کمترین صدمه دیدگی دانه‌ها در ارتفاع سقوط ۲ متر (۴/۲۱ درصد) ایجاد داده است. در ارتفاع سقوط ۴ متر، میزان صدمات وارد به دانه‌ها به اندازه ۱/۵ برابر (به اندازه ۳۵/۹۹ درصد بیشتر)، نسبت به ارتفاع سقوط ۲ متر افزایش یافته است و از ۴/۲۱ به ۶/۵۸ درصد، افزایش یافته است. در ارتفاع سقوط ۶ متر بیشترین صدمه دیدگی دانه‌ها ایجاد شده است و صدمه ناشی از شکستگی دانه‌ها در این ارتفاع برابر ۸/۴۰ درصد است که نسبت به ارتفاع سقوط ۲ متر، در حدود ۴۹/۸۷ درصد نسبت به ارتفاع سقوط ۴ متر، حدود ۲۱/۶۸ درصد، افزایش یافته است. قابل پیش‌بینی است که با افزایش ارتفاع سقوط، میزان انرژی ضربه وارد به دانه‌ها مطابق رابطه معروف انرژی ($E=mgh$) بیشتر باشد و در نتیجه میزان صدمات نیز افزایش یابد. بنابراین لازم است که در حد امکان ارتفاع سقوط دانه‌ها کاهش یابد و یکی از راه‌های این کار استفاده از سیستم‌های کاهش سرعت سقوط دانه‌ها است. همچنین سایر محققین افزایش میزان صدمات به دانه‌ها با افزایش ارتفاع سقوط را گزارش کرده‌اند. در پژوهشی، Perry & Hall (1966) صدمات مکانیکی دانه‌های لوبیا و نخود را در اثر سقوط آزاد مورد ارزیابی قرار داده و اثر ارتفاع سقوط، دمای دانه و رطوبت دانه را بر روی صدمات مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند که با افزایش ارتفاع سقوط، کاهش رطوبت و کاهش دمای دانه‌ها میزان صدمات افزایش یافته است. در پژوهشی دیگر، Tabil et al. (1988) اثرات رطوبت، درجه حرارت و ارتفاع سقوط بر صدمات وارد به دانه لوبیا و نخود را مورد مطالعه قرار داده و گزارش کردند که با افزایش رطوبت از ۱۲ به ۲۰ درصد، میزان صدمات کاهش یافته است. همچنین با افزایش ارتفاع سقوط دانه، میزان شکستگی دانه‌ها افزایش و درصد جوانه‌زنی آنها کاهش یافته بود. نتایج مشابهی توسط Fiscus et al. (1971) در مورد صدمات مکانیکی وارد بر دانه‌های ذرت، سویا و لوبیا گزارش شده است. همچنین Gatongi (1982) گزارش کرده است که صدمات مکانیکی

کمتر از رطوبت ۱۰ درصد است. در رطوبت ۲۰ درصد نسبت به دو سطح قبل، کمترین صدمه پدید آمده و میانگین شکستگی دانه‌ها در این رطوبت ۵/۶۲ درصد بوده که حدود ۵۳ درصد کمتر از رطوبت ۱۰ درصد بوده است. در رطوبت‌های ۲۵ و ۳۰ درصد نسبت به دیگر سطوح کمترین صدمه به صورت شکستگی دانه‌ها ایجاد شده و میزان صدمات دانه‌ها در این دو رطوبت به ترتیب برابر ۳/۱۸ و ۲/۲۸ درصد بوده است. به‌طوری که میزان شکستگی دانه‌ها در این رطوبت‌ها نسبت به رطوبت ۱۰ درصد به ترتیب حدود ۳/۸ و ۵/۳ برابر کمتر بوده است. این موضوع نشان می‌دهد که رطوبت دانه ذرت عامل مهمی در میزان شکستگی آن و در نتیجه میزان ضایعات محصول است که باید هنگام برداشت و دیگر فرآیندهایی که در آن ضربه ایجاد می‌شود، در نظر گرفته شوند و در حد امکان سعی شود که عملیات در رطوبت بالا صورت گیرد (Shahbazi et al., 2012; Guo, 2015).

اثر متقابل سیستم سقوط و ارتفاع سقوط بر صدمات ظاهری دانه‌ها

طبق نتایج بررسی واریانس داده‌ها (جدول ۲) اثر متقابل سیستم سقوط و ارتفاع سقوط بر روی درصد شکستگی دانه‌های ذرت در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. شکل ۳ اثر متقابل سیستم سقوط و ارتفاع سقوط بر میزان صدمات ظاهری دانه‌های ذرت به صورت درصد شکستگی را نشان می‌دهد. در این شکل کمترین میانگین درصد شکستگی دانه‌ها برابر ۲/۸۱ درصد است که در حالت استفاده از پلکان سقوط بسته و ارتفاع سقوط ۲ متر (پایین‌ترین ارتفاع سقوط) ایجاد شده است. بیشترین مقدار درصد شکستگی دانه‌ها برابر ۱۱/۷۱ درصد است که در حالت استفاده از سامانه شاهد (بدون مانع) و ارتفاع سقوط شش متر (بالا‌ترین ارتفاع سقوط) ایجاد شده است. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که در تمامی ارتفاعات سقوط، کم‌ترین میزان صدمات در حالت استفاده از پلکان سقوط بسته ایجاد و بیشترین مقدار نیز در حالت سقوط آزاد (بدون مانع) ایجاد شده است. همچنین در ارتفاعات مختلف سقوط دانه‌ها، مقدار متوسط صدمات مربوط به حالت استفاده از جعبه ضربه‌گیر بوده است. در کلیه سیستم‌هایی که برای سقوط دانه‌ها استفاده شده است، میزان صدمات با افزایش ارتفاع سقوط حالت افزایشی

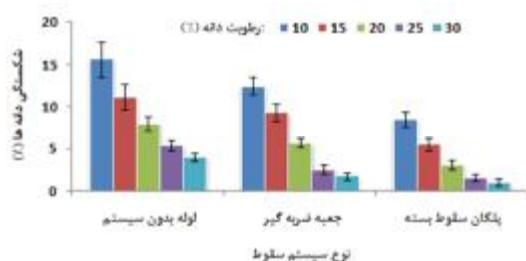
هنگام فراوری دانه ذرت، تحت تأثیر ارتفاع سقوط، تعداد مراحل سقوط و محتوای رطوبت دانه قرار داشته است. کاهش شدید درصد جوانه‌زنی بذره‌های ذرت با افزایش ارتفاع سقوط بر روی سطوح سخت، توسط Asiedu (1986) گزارش شده است. همچنین Bergen et al. (1993) در مطالعه‌ای در مورد نخود و عدس مشاهده کردند که با افزایش ارتفاع سقوط در هر دو محصول میزان آسیب به دانه‌ها در هر سه نوع سطح سقوط فولادی، تخته سه‌لا و بتنی، افزایش یافته است. آنها گزارش کردند که در حالت سقوط آزاد، دانه‌های با رطوبت کمتر خسارت بیشتری متحمل شده‌اند. با این حال، آن‌ها تغییر قابل توجهی در درصد جوانه‌زنی دانه‌ها مشاهده نکرده‌اند.

تأثیر رطوبت بر صدمات ظاهری دانه‌ها

طبق نتایج بررسی واریانس داده‌ها (جدول ۲) رطوبت بیشترین تأثیر را بر روی میزان صدمات وارد به دانه‌ها، به صورت شکستگی داشت ($F=10.81/14$) و تأثیر آن بر روی درصد شکستگی دانه‌های ذرت در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) مشاهده می‌شود که بین میانگین صدمات وارد به دانه‌ها به صورت درصد شکستگی در سطوح مختلف رطوبت دانه اختلاف معنی‌دار وجود دارد. داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهند که با افزایش رطوبت دانه‌های ذرت، میزان صدمات وارد به آن‌ها (درصد شکستگی) کاهش یافته است. نتیجه به دست آمده در این مورد شبیه نتایج گزارش شده توسط Bartsch et al. (1986) در مورد سویا و در مورد لوبیا و نخود است. با توجه به این که رطوبت بر روی خواص الاستیسیته محصولات کشاورزی از جمله دانه‌ها تأثیر می‌گذارد، هر اندازه که میزان رطوبت بیشتر باشد خاصیت الاستیسیته و انعطاف پذیری دانه افزایش می‌یابد و در نتیجه در برابر نیروهای ضربه مقاومت بیشتری را از خود نشان می‌دهد.

با توجه به داده‌های جدول ۳ مشاهده می‌شود که در شرایط مختلف آزمایش از جمله سه حالت سقوط دانه‌ها در ارتفاعات مختلف سقوط و در رطوبت ۱۰ درصد، بیشترین صدمه دیدگی دانه‌ها ایجاد شده است (۱۲/۲۲ درصد). در رطوبت ۱۵ درصد، در مقایسه با ۱۰ درصد، صدمه کمتری به دانه‌ها وارد شده و میانگین شکستگی دانه‌ها در این رطوبت ۸/۶۸ درصد، که حدود ۲۸ درصد

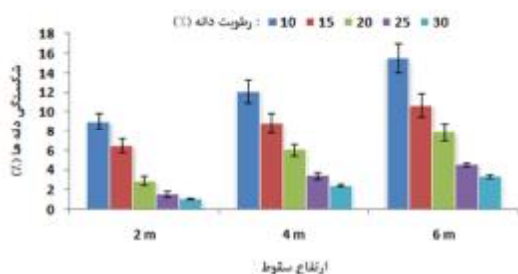
درصد، ایجاد شده است که این موضوع نشان می‌دهد که هنگامی که رطوبت دانه ذرت پایین باشد حتی در استفاده از سیستم‌های کاهنده سرعت صدمه به دانه‌ها افزایش می‌یابد، اما استفاده از این سامانه پلکان سقوط باعث شده است که اثر نامطلوب کاهش رطوبت دانه‌ها تاحدودی کاهش یافته و از صدمه دیدن دانه‌ها جلوگیری شود.



شکل ۴- اثر متقابل سیستم سقوط و رطوبت دانه بر صدمات ظاهری (درصد شکستگی) دانه‌ها

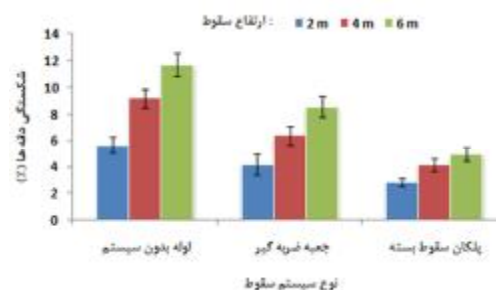
اثر متقابل ارتفاع سقوط و رطوبت بر صدمات ظاهری دانه‌ها

شکل ۵ اثر متقابل ارتفاع سقوط رطوبت دانه بر میزان درصد شکستگی دانه‌های ذرت را نشان می‌دهد. در این شکل کمترین مقدار درصد شکستگی دانه‌ها برابر ۱/۰۹ درصد است که در حالت ترکیب رطوبت ۳۰ درصد (بالاترین سطح رطوبت) و ارتفاع سقوط ۲ متر (پایین ترین ارتفاع سقوط) ایجاد شده است. بیشترین مقدار درصد شکستگی دانه‌ها برابر ۱۵/۵۴ درصد است که در حالت ترکیب رطوبت ۱۰ درصد (کمترین رطوبت) و ارتفاع سقوط ۶ متر (بالاترین سطح انرژی) ایجاد است. این موضوع نشان می‌دهد که هنگامی که رطوبت دانه‌های ذرت پایین باشد، باید شدت و انرژی ضربه وارد به دانه‌ها کم باشد که از شکستگی آن‌ها جلوگیری شود.



شکل ۵- اثر متقابل ارتفاع سقوط و رطوبت دانه بر صدمات ظاهری (درصد شکستگی) دانه‌ها

داشته و در حالت استفاده از پلکان سقوط بسته این اختلاف کمتر بوده است. استفاده از این سامانه باعث گردیده که اثر نامطلوب افزایش ارتفاع سقوط تاحدودی کاهش یافته و از صدمه دیدن دانه‌ها جلوگیری شود.



شکل ۳- اثر متقابل سیستم سقوط و ارتفاع سقوط بر صدمات ظاهری (درصد شکستگی) دانه‌ها

اثر متقابل سیستم سقوط و رطوبت بر صدمات ظاهری دانه‌ها

طبق نتایج بررسی واریانس داده‌ها اثر متقابل سیستم سقوط و رطوبت دانه بر روی درصد شکستگی دانه‌های ذرت در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در شکل ۴ داده‌های مربوط به اثر متقابل سیستم سقوط و رطوبت دانه بر میزان صدمات ظاهری دانه‌های ذرت به صورت درصد شکستگی نشان داده شده است. در این شکل کمترین مقدار درصد شکستگی دانه‌ها برابر ۱/۰۵ درصد است که در حالت استفاده از پلکان سقوط بسته و رطوبت ۳۰ درصد (بیشترین میزان رطوبت) ایجاد شده است. بیشترین مقدار درصد شکستگی دانه‌ها برابر ۱۵/۶۲ درصد است که در حالت ترکیب سقوط آزاد (بدون مانع) و رطوبت ۱۰ درصد دانه‌ها (کمترین میزان رطوبت) ایجاد شده است. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که در کلیه سطوح رطوبت دانه‌ها، کمترین میزان صدمات در حالت استفاده از پلکان سقوط بسته ایجاد و بیشترین مقدار نیز در حالت سقوط آزاد (بدون مانع) ایجاد شده است. در کلیه سطوح رطوبت دانه‌ها مقدار متوسط صدمات مربوط به حالت استفاده از جعبه ضربه‌گیر بوده است. ملاحظه می‌شود که در کلیه سامانه‌های مورد آزمایش برای سقوط دانه‌ها، با افزایش رطوبت دانه میزان صدمات کاهش یافته است. در کلیه سامانه‌های سقوط بیشترین صدمه در رطوبت ۱۰ درصد و کمترین مقدار آن در رطوبت ۳۰

نتیجه‌گیری

استفاده از سیستم‌های کاهش سرعت دانه‌ها درون لوله، تأثیر معنی‌داری بر کاهش میزان صدمات دانه ذرت به صورت صدمات ظاهری (شکستگی دانه‌ها) داشت به طوری که در شرایط مختلف آزمایش از جمله در سطوح مختلف رطوبت دانه‌ها و ارتفاع سقوط، باعث کاهش میزان شکستگی دانه‌های ذرت در اثر سقوط درون لوله شده بود. بنابراین با استفاده از این گونه سیستم‌ها می‌توان از صدمات دانه‌ها در اثر ضربه ناشی از سقوط جلوگیری کرد. در حالت استفاده از لوله مستقیم (سقوط آزاد) بیشترین صدمه ناشی از شکستگی دانه‌ها با میانگین برابر ۸/۸۵ درصد ایجاد شده بود. کمترین شکستگی دانه‌ها در استفاده از سیستم پلکان سقوط بسته ایجاد شده بود (۳/۹۷ درصد)، به طوری که در استفاده از این سیستم میزان صدمات نسبت به لوله مستقیم حدود ۲/۲۲ برابر (۵۵/۱۷ درصد)، کاهش یافته بود. در استفاده از جعبه ضربه‌گیر، میزان صدمات وارد به دانه‌ها برابر ۶/۳۸ درصد بود که نسبت به سقوط آزاد (بدون مانع) در حدود ۱/۴ برابر (۲۸/۰۷ درصد) کاهش، اما نسبت به استفاده از سیستم پلکان سقوط بسته به اندازه ۱/۶ برابر (به اندازه ۳۷/۵۹ درصد) افزایش یافته بود. ارتفاع سقوط تأثیر معنی‌داری را بر صدمه‌پذیری دانه‌های ذرت به صورت صدمات ظاهری داشت. با افزایش ارتفاع سقوط، میزان شکستگی دانه‌ها افزایش یافت به طوری که در ارتفاع سقوط شش متر، بیشترین صدمه دانه‌ها ایجاد شده و صدمه ناشی از شکستگی دانه‌ها در این ارتفاع برابر ۸/۴۰ درصد بود که نسبت به ارتفاع سقوط دو متر در حدود ۴۹/۸۷ درصد و نسبت به ارتفاع سقوط چهار متر، حدود ۲۱/۶۸ درصد، افزایش یافت. محتوای رطوبت دانه‌های ذرت تأثیر معنی‌داری بر صدمه‌پذیری آنها در برابر ضربه ناشی از سقوط، به صورت صدمات ظاهری داشت. با افزایش رطوبت دانه‌های ذرت، میزان صدمات وارد به آنها به صورت درصد شکستگی کاهش یافت. در رطوبت ۱۰ درصد، بیشترین درصد شکستگی ایجاد شد (۱۲/۲۲ درصد) اما در رطوبت‌های ۲۵ و ۳۰ درصد نسبت به دیگر سطوح کمترین صدمات به صورت شکستگی دانه‌ها ایجاد شده بود و میزان صدمات دانه‌ها در این دو رطوبت به ترتیب برابر ۳/۱۸ و ۲/۲۸ درصد بوده است به طوری که میزان شکستگی دانه‌ها در این رطوبت‌ها نسبت به رطوبت ۱۰ درصد به ترتیب حدود ۳/۸ و ۵/۳ برابر کمتر بود.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت‌های فنی و مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه لرستان انجام شده است که بدینوسیله قدردانی می‌شود.

منابع

- ASABE Standards. 2008. S368.3: Compression test of food materials of convex shape. *American Society of Agricultural and Biological Engineers, Michigan*. St. Joseph, MI: ASABE.
- Asiedu, E. A. (1986). Influence of delayed harvest, chilling and mechanical injury on quality of stored seed corn (*Zea mays* L.) *M.S. Thesis, Mississippi State University, Mississippi State*.
- Bartsch, J. A., Haugh, C. G., Athow, K. L., & Peart, R. M. (1986). Impact damage to soybean seed. *Transactions of the ASAE*, 29(2): 582-0586.
- Bergen, G. A., Jayas, D. S., & White, N. D. G. (1993). Physical damage to peas and lentils due to. *Canadian Agricultural Engineering*, 35(2): 151.
- Delfan, F. (2020). Investigation of mechanical damage to chickpea seeds due to free fall using electrical conductivity tests, accelerated aging and storage capacity changes. *M.S. Thesis, Faculty of Agriculture, Lorestan university, Khoram abbad, Iran* (in Persian).
- Fiscus, D. E., Foster, G. H., & Kaufmami, H. H. (1971). Physical damage of grain caused by various handling techniques. *Transactions of the ASAE*, 14(3): 480-0485.
- Gatongi, I. N. (1982). Effects of mechanical injury upon corn (*Zea mays* L.) seed quality. *M.S. Thesis, Mississippi State University, Mississippi State*.
- Ghafori, H., Hemmat, A., Borghaee, A. M. & Minaei, S (2011). Physical properties and conveying characteristics of corn and barley seeds using a suction-type pneumatic conveying system. *African Journal of Agricultural Research*. 6(27): 5972-5977.
- Gregg, B., & Billups, G. (2016). Seed Conditioning, Volume 2: Technology--Parts A & B. *CRC Press*.
- Guo, D. (2015). Kernel and bulk density changes due to moisture content, mechanical damage, and insect damage. *Doctoral dissertation, Purdue University*.
- Kordi, S., & Shahbazi, F. (2020). Effects of Moisture Contents on Harvesting time and Drying Methods on Mechanical Properties and Electrical Conductivity of Corn

- Hybrids. *Nutrition and Food Sciences Research*, 7(3): 33-40.
- Mohsenin, N. N. (1986). Physical properties of plant and animal materials. *Gordon and Breach Science Publishers! New York*.
- Perry, J. S., Hall, C. W., 1966. Evaluating and reducing mechanical-handling damage to pea beans. *Transactions of the ASAE*, 9(5): 696-0701.
- Shah, F. S., Watson, C. E., Meredith, N. D., Bohn, P. A., & Martin, B. (2001). Effect of bean ladder usage on mechanical damage during soybean seed conditioning. *Seed Technology*, 92-97.
- Shahbazi, F. (2011). Impact damage to chickpea seeds as affected by moisture content and impact velocity. *Applied Engineering in Agriculture*, 27(5): 771-775.
- Shahbazi, F. (2021). Mechanical damage to grains (causes and solutions). *Lorestan University, khoram abbad, Iran* (in Persian).
- Shahbazi, F., & Shahbazi, R. (2019). Mechanical damage to corn seeds...*Cercetari Agronomice in Moldova* 51(3): 1-12.
- Shahbazi, F., Dowlatshah, A., & Valizadeh, S. (2012). Breakage susceptibility of wheat and triticale seeds related to moisture content and impact energy. *Cercetari agronomice in Moldova*, 3(151): 5-13.
- Shahbazi, F., Sharafi, R., Moomevandi, S. J., & Daneshvar, M. (2015 a). Influence of foliar iron fertilization rate on the breakage susceptibility of wheat seeds. *Journal of Plant Nutrition*, 38(14): 2204-2216.
- Shahbazi, F., Sharafi, R., Moomevandi, S. J., & Daneshvar, M. (2015b). Mechanical damage to wheat seeds as affected by phosphorus and iron fertilisation rate. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 7(3): 385-391.
- Shahbazi, F., Valizade, S., & Dowlatshah, A. (2017). Mechanical damage to green and red lentil seeds. *Food science & nutrition*, 5(4): 943-947.
- Tabil. L. G., K. K. Chawla & Likhani, S. (1988). Impact damage to pea and beans during free fall. *CSAE/SCGR Paper* No. 98-312.
- USDA. (2013). Grain inspection handbook: Book II. *Washington, DC: USDA-GIPSA*.