

Research Article

Evaluation of mechanical damages to chickpeas due to free fall during handling under electrical conductivity and accelerated aging testsFarza Delfan¹, Feizollah Shahbazi^{2*}, Hamidreza Esvand³**Extended abstract**

Introduction: The seeds of agricultural products are constantly subjected to impact forces from machines from the moment they are harvested to the time they are transferred into storage. Improper design and performance of machines in each of these stages can cause mechanical damage to seeds. Mechanical damage caused by free fall on the seed of agricultural products, which occurs during different stages of harvesting, transportation and other processes, causes a decrease in their quality and an increase in waste. This study aimed to evaluate the amount of mechanical damage caused to chickpea seeds due to the impact of free fall.

Materials and methods: The experiment was conducted as a factorial in the form of a completely randomized design with three replications. The factors included drop height (3, 6, 9 and 12 m), the contact surface (concrete, plywood, metal (iron) and seed-on-seed) and seed moisture content (10, 15, 20 and 25 %). The studied traits or the amount of damage to the seeds included the measurement of seed deterioration by the accelerated aging method (loss in germination percentage in the accelerated aging test) and the measurement of electrical conductivity.

Results: The results of the analysis of variance showed that all three factors (drop height, the contact surface and moisture content) had significant effects at $p < 0.01$ on the loss in germination percentage in the accelerated aging test and changes in electrical conductivity of chickpea seeds. In terms of loss in germination percentage, the highest damage to seeds occurred in the metal contact (41.96%) and the least in the seed-on-seed treatments (29.71%). Also, the highest amount of electrical conductivity was related to the seeds dropped on the metal ($36.09 \mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$) and the lowest was related to seed-on-seed contact ($21.68 \mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$). As the drop height rose from 3 to 12 m, the loss in germination and electrical conductivity of seeds increased from 27.74 to 48.08% and from 18.72 to $40.47 \mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$, respectively. Increasing the moisture content of chickpea seeds from 10 to 25% causes a decrease in the amount of damage to the seeds in terms of electrical conductivity (from 38.40 to $21.18 \mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$). However, the damage was in the form of loss in germination percentage during the accelerated aging test (from 29.22 to 42.88 %).

Conclusion: The findings of this study revealed that the movement of chickpea seeds and the subsequent free fall had a notable impact on their latent damage, leading to a decrease in germination rate and alterations in electrical conductivity. Therefore, it is recommended to minimize fall height and prevent seeds from hitting hard surfaces during seed processing and transportation to mitigate the damage.

Keywords: Chickpea seed, Displacement, Drop height, Impact surface, Seed decay, Seed moisture

Highlights:

- 1- Seed deterioration tests using accelerated aging and electrical conductivity can be used as appropriate criteria to measure the mechanical damage to chickpea seeds.
- 2- When designing machines that come into contact with the seeds, it is important to choose surfaces made of soft materials to minimize the destructive effects of the seeds falling from greater heights.
- 3- The moisture content during the processing and transportation of the seeds should be at an optimal level of around 15%.

¹ M.Sc. Student, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Lorestan University, Khoram abbad, Iran.

² Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Lorestan University, Khoram abbad, Iran.

³ Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, Lorestan University, Khoram abbad, Iran.

*Corresponding author, E-mail: shahbazi.f@lu.ac.ir

DOR:

[DOI: 10.61186/yujs.10.2.119](https://doi.org/10.61186/yujs.10.2.119)

CrossMark

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Received: 23.8.2023; Revised: 26.2.2024;
Accepted: 5.3.2024; Online Published: 17.3.2024

مقاله پژوهشی

ارزیابی صدمات مکانیکی وارده به نخود ناشی از سقوط آزاد تحت آزمون‌های هدایت الکتریکی و پیری زودرس

فرزاد دلفان^۱، فیض‌الله شهبازی^{۲*}، حمیدرضا عیسوند^۳

چکیده مبسوط

مقدمه: بذر محصولات کشاورزی از لحظه برداشت تا زمان انتقال به انبار بطور دایم در معرض نیروهای ضربه‌ای ماشین‌ها قرار می‌گیرد. طراحی و عملکرد نامناسب ماشین‌های مورد استفاده در هر یک از این مراحل می‌تواند باعث آسیب مکانیکی بذرها شود. آسیب‌های مکانیکی ناشی از سقوط آزاد بر بذر محصولات کشاورزی که در مراحل مختلف برداشت، حمل و نقل و سایر فرایندها رخ می‌دهد، باعث کاهش کیفیت آنها و افزایش ضایعات بذری می‌شود. این مطالعه با هدف ارزیابی میزان صدمات مکانیکی وارده به بذر نخود در اثر ضربه ناشی از سقوط آزاد انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل ارتفاع سقوط بذر (۳، ۶، ۹ و ۱۲ متر)، جنس سطح برخورد (سیمان، چوب، فلز (آهن) و بذر با بذر) و رطوبت بذر (۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد) بودند. صفات مورد بررسی یا میزان صدمات وارده به بذرها که شامل اندازه‌گیری زوال بذر به روش پیری زودرس (کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس) و اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی بودند.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که هر سه فاکتور (ارتفاع سقوط، جنس سطح برخورد و رطوبت بذر) تأثیر معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد بر کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس و تغییرات هدایت الکتریکی بذر نخود داشتند. در آزمون پیری زودرس، بیشترین صدمه‌دیدگی بذرها در سطح برخورد فلز (۴۱/۹۶ درصد کاهش درصد جوانه‌زنی) و کمترین آن در سطح برخورد بذر با بذر (۲۹/۷۱ درصد) رخ داده بود. همچنین بیشترین میزان هدایت الکتریکی مربوط به حالت سقوط بذرهای روی فلز (۳۶/۰۹ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم) و کمترین آن مربوط به برخورد بذر با بذر (۲۱/۶۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم) بود. با افزایش ارتفاع سقوط بذرهای ۳ به ۱۲ متر، میزان کاهش جوانه‌زنی و هدایت الکتریکی بذرهای به ترتیب از ۲۷/۷۴ به ۴۸/۰۸ درصد و از ۱۸/۷۲ به ۴۰/۴۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم افزایش یافته بود. افزایش رطوبت بذرهای نخود از ۱۰ به ۲۵ درصد، باعث کاهش میزان صدمات بذرهای به‌صورت تغییر هدایت الکتریکی (از ۳۸/۴۰ به ۲۱/۱۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم)، اما افزایش صدمات به‌صورت کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس (از ۲۹/۲۲ به ۴۲/۸۸ درصد) شده بود.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که جابه‌جایی بذرهای نخود و سقوط آزاد ناشی از آن تأثیر قابل توجهی بر میزان صدمات نهانی آنها از جمله کاهش درصد جوانه‌زنی و تغییرات هدایت الکتریکی داشت. بنابراین، در طول فراوری و حمل و نقل بذرهای باید ارتفاع سقوط را تا حد ممکن کاهش یابد و از برخورد بذرهای با سطوح سخت جلوگیری شود.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع سقوط، بذر نخود، جابه‌جایی، رطوبت بذر، زوال بذر، سطح برخورد

جنبه‌های نوآوری:

- ۱- آزمون‌های زوال بذر به روش پیری زودرس و هدایت الکتریکی می‌توانند به عنوان معیارهایی مناسبی برای سنجش آسیب‌های مکانیکی بذر نخود مورد استفاده قرار گیرند.
- ۲- در طراحی ماشین‌های باید سعی شود سطوحی که با بذرهای تماس هستند و به آنها ضربه می‌زنند از جنس مواد نرم انتخاب شوند تا اثر مخرب افزایش ارتفاع سقوط بذرهای را کاهش داد.
- ۳- باید در طول فراوری و حمل و نقل، میزان رطوبت در حد بهینه حدود ۱۵ درصد باشد.

^۱دانشجوی، کارشناسی ارشد، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی،

دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

^۲هیئت‌علمی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان،

خرم‌آباد، ایران.

^۳هیئت‌علمی، گروه مهندسی تولید ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی

دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

*رایانامه نویسنده مسئول: shahbazi.f@lu.ac.ir

DOR:

[DOI: 10.61186/yujs.10.2.119](https://doi.org/10.61186/yujs.10.2.119)

CrossMark

شاپا: ۲۳۸۳-۱۴۸۰ (برخط): ۲۳۸۳-۱۲۵۱ (چاپی)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۱؛ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۲/۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۲/۱۲/۲۷

مقدمه

کیفیت بذر محصولات کشاورزی تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد که یکی از مهم‌ترین آنها آسیب‌های مکانیکی است که در اثر ضربه ناشی از قسمت‌های متحرک ماشین‌های مربوطه طی فرایندهای مختلف طی برداشت و فرایندهای پس از برداشت، به آنها وارد می‌شود (شهبازی^۱، ۲۰۲۱).

طراحی و کارایی نامناسب ماشین‌ها در هر یک از این مراحل باعث صدمه دیدن بذر و بروز آسیب‌های مکانیکی می‌گردد. همچنین هنگام تخلیه و بارگیری بذرها توسط نقاله‌های نیوماتیکی، به دلیل سرعت زیاد، ضربه با شدت بالا به بذرها وارد شده که باعث صدمه به آنها می‌شود (غفوری^۲ و همکاران، ۲۰۱۱).

آسیب‌های مکانیکی در طی فرایندهای مختلف مشکلی اساسی در صنعت بذر است که صورت‌های مختلف مانند آسیب‌های ظاهری مانند شکستگی و گسیختگی بذر و یا آسیب‌های نهانی مانند ایجاد ترک‌های مویی در داخل بذر و یا صدمات وارده به جوانه بذر، باشد (شهبازی، ۲۰۲۱). مجموع این آسیب‌ها باعث کاهش ارزش اقتصادی بذر، کاهش قابلیت نگهداری، کاهش درصد جوانه‌زنی، ایجاد مشکلات بهداشتی و افزایش هزینه‌های تولید و فراوری محصول می‌شود. نوع داخلی صدمه که به آن "ترک‌های تنشی"^۳ می‌گویند، ترک‌ها یا شکاف‌های کوچکی هستند که در اثر تنش‌های فشاری یا کششی بیش از حد، در حین یا بعد از خشک‌شدن، خنک‌شدن، آبیگری مجدد^۴، یا به دلیل اعمال ضربه با سرعت بالا، در داخل بذر ایجاد می‌شوند (شهبازی و شهبازی، الف و ب ۲۰۲۲). اگرچه ایجاد ترک در داخل بذرها، صدمه مستقیمی را به آنها وارد نمی‌کند، اما بذرهایی که دارای ترک‌های تنشی زیاد هستند، در طی فرایندهای بعدی مانند فراوری و جابه‌جایی مستعد شکسته‌شدن هستند. علاوه بر این، چنین بذرهایی دارای درصد جوانه‌زنی پایین، در صورت استفاده برای کشت هستند (اکوف و پاولسون^۵، ۲۰۱۲).

یکی از راه‌های آزمایش کیفیت بذر آزمون هدایت الکتریکی مواد نشت یافته از بذر می‌باشد. بذور سالم به دلیل تکامل ساختارهای ضروری مواد کمتری را به بیرون نشت می‌دهند. آزمون هدایت الکتریکی رسانایی محلول ناشی از نشت مواد درونی مواد مانند بذرها را اندازه‌گیری می‌کند که خود نشان‌دهنده کیفیت پایین بذر است. در اثر آسیب‌های مکانیکی و در نتیجه ایجاد ترک‌های داخلی در بذر نشت مواد درونی بیشتر می‌شود، در نتیجه با استفاده از این آزمون می‌توان به صورت غیرمستقیم آسیب وارده به غشای سلولی بذرها را اندازه‌گیری کرد (کردی و شهبازی^۶، ۲۰۲۰). یکی دیگر از روش‌های آزمایش کیفیت بذر آزمون پیری زودرس است (صادقی^۷ و همکاران، ۲۰۱۴)، که در مدت‌زمان کوتاهی اطلاعات مفیدی را در باره تخمین طول عمر زنده‌مانی و بنیه بذرها در طی انبارمانی را ارائه می‌دهد و بدین منظور توسط تعداد زیادی از محققین مورد استفاده قرار گرفته است (برگین^۸ و همکاران، ۱۹۹۳). در این آزمون تغییرات سلولی صورت گرفته در بذر و در طی نگهداری بلندمدت، از طریق نگهداری کوتاه‌مدت بذر در دمای بالا (۴۵-۴۰ درجه سلسیوس) همراه با رطوبت زیاد (رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد) قابل شبیه‌سازی است (برگین و همکاران، ۱۹۹۳). یکی از مراحل مختلفی که در طی آن ضربه و در نتیجه آسیب مکانیکی به بذر محصولات کشاورزی وارد می‌شود جابه‌جایی آنها بین واحدهای مختلف و سقوط آزاد ناشی از آن، است. بذرها در طی مراحل مختلف از جمله در مزرعه هنگام برداشت و تخلیه توسط کمباین در مخزن کامیون حمل‌کننده و یا هنگام بارگیری و تخلیه از سیلوهای نگهدارنده، ممکن است سقوط آزاد از ارتفاعات مختلف را تجربه کنند. سقوط آزاد بذرها باعث واردشدن ضربه با انرژی زیاد و در نتیجه آسیب مکانیکی می‌شود (شهبازی و شهبازی، ب ۲۰۲۲). نوع و میزان آسیب وارده به محصول در اثر سقوط آزاد بستگی به عوامل مختلفی دارد که از مهم‌ترین آنها می‌توان به شرایط بذر (خواص فیزیکی و خواص مکانیکی بذر، درجه حرارت و رطوبت بذر) و

¹ Shahbazi² Ghafari³ Stress cracks⁴-Rehydration⁵ Eckhoff and Paulsen⁶ Kordi and Shahbazi⁷ Sadeghi⁸ Bergen

شرایط سقوط (ارتفاع سقوط، جنس سطح برخورد بذر و زاویه سطح برخورد بذر)، اشاره کرد که بعضی از آنها قابل کنترل و مدیریت هستند و می‌توان بر پایه انجام تحقیقات علمی شرايطی را ایجاد نمود که آسیب کمتری به محصول وارد شود (چن^۱ و همکاران، ۲۰۲۰).

نخود (*Cicer arietinum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده بقولات است که از اهمیت غذایی بالایی برخوردار است و می‌تواند منبع مهمی در تأمین پروتئین موردنیاز بخصوص در جوامع فقیر و کمتر توسعه‌یافته باشد (شهبازی، ۲۰۱۱). بذر نخود به دلیل داشتن اندازه و جرم زیاد و نیز حالت دولپه بودن از حساسیت بالایی در برابر صدمات مکانیکی برخوردار است. گسترش روزافزون جمعیت در طی سال‌های اخیر باعث محدودیت شدید در تأمین مواد غذایی شده است. حبوبات به‌ویژه نخود یکی از منابع مهم در تأمین مواد غذایی بشر به شمار می‌روند. علاوه بر اهمیت نخود به‌عنوان یک منبع غذایی مهم برای تغذیه انسان و دام، این گیاه می‌تواند در حاصلخیزی خاک، به‌ویژه در مناطق خشک مؤثر باشد. باتوجه‌به اینکه گیاه نخود نسبت به سایر حبوبات، سازگاری بیشتری با شرایط اقلیمی ایران دارد و می‌تواند بخشی از نیازهای پروتئینی ایران را تأمین کند، باید بیشتر مورد توجه کشاورزان و مسئولان ایران قرار گیرد. کشور ما پتانسیل بالایی از لحاظ تولید نخود دارد و در صورتی که برنامه‌ریزی دقیقی در تولید و فراوری این محصول صورت گیرد، صادرات آن می‌تواند ارزش قابل‌ملاحظه‌ای را نصیب کشور کند.

بخش اعظم محصولات کشاورزی از جمله نخود که با صرف هزینه، انرژی و فشار بر محیط‌زیست تولید می‌شود، به دلایل متعدد از بین می‌رود. یکی از عوامل ایجاد ضایعات نخود ضربه ناشی از عوامل متعدد مانند سقوط آزاد در طی مراحل مختلف برداشت جابه‌جایی و فراوری پس از برداشت است که طی آن بذرها باتوجه به ماهیت فرایند، از ارتفاعات مختلف سقوط می‌کنند که باعث صدمه و افزایش ضایعات می‌گردد (خزایی^۲ و همکاران، ۲۰۰۸).

ضایعات ناشی از آسیب ضربه و دیگر عوامل مکانیکی روی بذر و دیگر محصولات کشاورزی در ایران به دلیل عدم رعایت یک‌سری اصول و نیز پایین بودن سطح فناوری تجهیزات، بالاتر از حد طبیعی بوده و باعث هدررفت منابع مالی می‌شود. از این‌رو تلاش برای کاهش ضایعات از تلاش برای افزایش تولید محصول مهم‌تر و کم‌هزینه‌تر است؛ بنابراین برای کاهش و مهار ضایعات باید تحقیقات تخصصی انجام شود تا با شناخت عوامل مؤثر بر ضایعات نسبت به زوایای مشکل موجود شناخت علمی پیدا کرد و برای آن راهکار ارائه داد (شهبازی، ۲۰۲۱).

در مورد اثر ضربه ناشی از سقوط آزاد بر میزان صدمات بذر تعدادی از محصولات کشاورزی مانند ذرت، سویا و گندم تحقیقاتی انجام‌گرفته است (فیسکوس^۳ و همکاران، ۱۹۹۹؛ فوستر و هولمان^۴، ۱۹۹۹؛ شاه^۵ و همکاران، ۲۰۰۱؛ بارتکویاک^۶ و همکاران، ۲۰۱۹؛ شهبازی و شهبازی، ۲۰۲۳)، که نتایج آنها نشان داده است که میزان صدمات با افزایش ارتفاع سقوط، افزایش یافته است. فیسکوس و همکاران (۱۹۹۹) آسیب مکانیکی ناشی از حمل و جابه‌جایی بذر تعدادی از محصولات مانند ذرت، لوبیا و سویا را مورد بررسی قرار داده و گزارش کرده‌اند که در حالتی ارتفاع سقوط بذرها بیشتر از ۱۳ متر بوده است، آسیب‌های وارده بسیار بیشتر از حالتی بوده است که از نقاله برای انتقال بذرها استفاده شده است. در مورد صدمات ناشی از سقوط آزاد بذر محصولات نخود و عدس روی سه نوع سطح برخورد تخته چوبی سه‌لایه، فولاد و سیمان، برگین و همکاران (۱۹۹۳) گزارش کرده‌اند که میزان صدمات در سطح برخورد فولاد بیشتر از بقیه سطوح بوده و بذرها با سطوح رطوبت بیشتر، آسیب کمتری دیده‌اند.

شهبازی و شهبازی (الف ۲۰۲۲) در یک تحقیق تأثیر استفاده از جعبه ضربه‌گیر و پلکان سقوط بسته در کاهش صدمات مکانیکی بذرها ذرت در اثر سقوط آزاد در ارتفاع‌های سقوط و سطوح مختلف رطوبت بذر را مورد ارزیابی قرار داده و گزارش کرده‌اند که استفاده از

³ Fiscus

⁴ Foster and Holman

⁵ Shah

⁶ Bartkowiak

¹ Chen

² Khazaei

میزان آسیب مکانیکی آنها تأثیر می‌گذارد، برخی خواص فیزیکی (ابعاد هندسی، ضریب کرویت و جرم هزار دانه)، خواص مکانیکی بذر (نیروی شکست و میزان جابه‌جایی در نقطه شکست) و درصد جوانه‌زنی بذر اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری درصد رطوبت بذر بر مبنای تر با استفاده از آون و در دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت انجام شد (استاندارد^۲ ASABE، ۲۰۰۶). رطوبت اولیه بذر حدود ۱۰ درصد بود. برای تنظیم رطوبت بذر در مقادیر بالاتر مانند ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد از روش اضافه نمودن آب مقطر به بذر استفاده شد. برای محاسبه جرم آب مورد نیاز جهت اضافه شدن به بذر جهت رسیدن رطوبت آنها به سطوح مورد نظر، از رابطه ۱، استفاده شد (جان^۳ و همکاران، ۲۰۱۹):

$$Q = \frac{A(b-a)}{(100-b)} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن: Q: جرم آب اضافه شده (kg)، A: جرم اولیه نمونه (kg)، a: رطوبت اولیه نمونه (%) و b: میزان رطوبت مورد نظر (%).

پس از اضافه شدن میزان آب مقطر مورد نیاز، بذر در دمای چهار درجه سلسیوس و به مدت ۱۰ روز در یخچال نگهداری شدند تا رطوبت به طور کامل جذب شود (کوناک^۴ و همکاران، ۲۰۰۲).

برای اندازه‌گیری خواص فیزیکی بذرهای نخود ۵۰ عدد بذر به صورت تصادفی انتخاب و ابعاد هندسی آنها شامل طول (L)، عرض (W) و ضخامت (T) با استفاده از میکرومتر بادقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. قطر میانگین هندسی یا قطر معادل (D_g) و ضریب کرویت (ϕ) با جاگذاری ابعاد به دست آمده به ترتیب در روابط ۲ و ۳ محاسبه شدند (محسنین^۵، ۱۹۸۶):

$$D_g = (LWT)^{1/3} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\phi = \frac{(LWT)^{1/3}}{L} \quad \text{رابطه ۳}$$

جعبه ضربه‌گیر و پلکان سقوط بسته به صورت معنی‌داری باعث کاهش میزان صدمات بذرهای ذرت به صورت درصد شکستگی، شده است. همچنین ادامه تحقیق فوق (شهبازی و شهبازی، ب ۲۰۲۲) نشان داده است که نمونه بذرهای ذرت که به صورت آزاد سقوط کرده‌اند به طور قابل توجهی دارای میانگین شاخص ترک‌های تنش^۱ نسبتاً بالا و برابر ۱۴۴/۸ بوده‌اند. در استفاده از جعبه ضربه‌گیر میانگین شاخص ترک‌های تنش ۱۰۳/۳ محاسبه شده است که نسبت به سقوط آزاد حدود ۲۹ درصد کاهش داشته است. نمونه بذرهایی که با پلکان سقوط بسته سقوط داده شده بودند دارای میانگین شاخص ترک‌های تنش کمتری و برابر با ۵۱/۶ بوده‌اند که نشان داده است که پلکان سقوط بسته به طور قابل توجهی به کاهش آسیب مکانیکی وارده به بذرهای ذرت تا حدود ۶۴ درصد در مقایسه با سقوط آزاد و حدود ۵۰ درصد نسبت به جعبه ضربه‌گیر کمک کرده است. با افزایش ارتفاع سقوط و کاهش رطوبت، میزان آسیب دیدگی بذر به طور قابل توجهی افزایش یافته بود، اما استفاده از جعبه ضربه‌گیر و پلکان سقوط بسته تا حدودی تأثیرات نامطلوب عوامل فوق را کاهش داده بود. در مورد آسیب‌های مکانیکی بذر نخود ناشی از سقوط آزاد اطلاعات کافی در دسترس نمی‌باشد، بنابراین هدف از این تحقیق بررسی صدمات مکانیکی وارد شده به بذر نخود در اثر سقوط آزاد و بررسی تأثیرات رطوبت بذر، ارتفاع سقوط و جنس سطح برخورد روی میزان صدمات بذر نخود ناشی از سقوط آزاد، تحت آزمون‌های پیری زودرس و هدایت الکتریکی بود. این داده‌ها در طراحی ماشین‌های برداشت و فراوری محصول از اهمیت زیادی برخوردار هستند.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق صدمات وارد شده به بذرهای نخود ناشی از سقوط آزاد مورد بررسی قرار گرفت. بذرهای مورد نیاز برای آزمایش از رقم آزاد پس از رسیدگی کامل با دست برداشت شدند تا قبل از انجام آزمایش‌ها هیچ‌گونه صدمه‌ای به آنها وارد نشود. باتوجه به اینکه خواص بذر از جمله خواص فیزیکی و مکانیکی بر روی

² American Society of Agricultural and Biological Engineers

³ Jan

⁴ Konak

⁵ Mohsenin

¹ Cracks index

جرم بذرها با ترازوی دقیق و بادقت ۰/۰۲ گرم اندازه‌گیری شد. خواص مکانیکی بذر نخود شامل: نیروی گسیختگی (شکست) و میزان جابه‌جایی در نقطه گسیختگی با استفاده از دستگاه استاندارد آزمایش فشار و کشش و با سرعت بارگذاری ۱/۲۵ میلی‌متر بر دقیقه اندازه‌گیری شد ((استاندارد ASABE, ۲۰۰۸). با استفاده از نرم‌افزار ماشین و رایانه متصل به آن، منحنی نیرو - تغییر شکل ترسیم و از روی منحنی نیز خواص مکانیکی بذرها (نیروی شکست و میزان جابه‌جایی در نقطه شکست) استخراج گردید.

به‌منظور انجام آزمایش‌های ضربه ناشی از سقوط آزاد، از یک لوله از جنس پی‌وی‌سی با قطر ۱۰ سانتی متر استفاده شد که طول لوله باتوجه به ارتفاع مدنظر برای آزمایش می‌توانست کوتاه یا بلند شود (اتصال قطعات به هم). در ابتدای لوله و در ارتفاع مدنظر یک دریچه قابل تنظیم و با قطر ۳۰۰ میلی‌متر نصب شده بود که با استفاده از آن میزان ریزش بذرها به داخل لوله در اندازه موردنظر تنظیم می‌شد (۰/۲۵ کیلوگرم در ثانیه). در انتهای لوله سقوط یک اتاقک که دیواره‌های آن از مواد نرم پوشانده شده بود قرار گرفت تا از پراکندگی بذرها جلوگیری شود. کف اتاقک از جنس‌های مختلف مانند فلز (آهن)، سیمان، چوب و بذر روی بذر (چسباندن بذرها با همان سطح رطوبت بر روی کف) متناسب با ابعاد آن، انتخاب گردید تا اثر جنس سطح برخورد بر میزان صدمات بررسی شود. کف اتاقک در زاویه ۴۵ درجه نصب شد تا تمام بذرها هنگام سقوط به آن برخورد داشته باشند.

به‌منظور انجام آزمایش‌های سقوط آزاد از یک ساختمان چهار طبقه واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان استفاده گردید. هرکدام از طبقات ساختمان ارتفاعی در حدود سه متر داشت و شامل چهار طبقه بود که برای ارتفاعات ۳، ۶، ۹ و ۱۲ متر از آنها استفاده شد. بذرهاي مورد آزمایش شامل نمونه‌های ۱۰۰ گرمی نخود در چهار سطح رطوبت (۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد) بودند. با توجه به ارتفاع سقوط، سطح برخورد و رطوبت موردنظر، بذرها درون لوله سقوط ریخته شده و پس از سقوط آزاد، جمع‌آوری و برای مراحل بعدی آزمایش استفاده شدند.

همان‌طور که قبلاً بیان شد صدمات وارده به بذرها در اثر ضربه به دو صورت صدمات ظاهری و نهانی است. برای تعیین صدمات ظاهری بذرها، پس از انجام آزمایش‌های سقوط آزاد، در حد دید چشم بذرهاي شکسته، ترک برداشته و خراش برداشته را از توده نمونه‌های مورد آزمایش جدا نموده و وزن آنها به‌صورت درصدی از وزن نمونه اولیه بیان شد و درصد صدمه‌دیدگی ظاهری بذرها محاسبه شد که نتایج آن در یک مقاله جداگانه ارائه شده است (دلفان^۱ و همکاران، ۲۰۲۳). برای تشخیص و تعیین صدمات نهانی بذرها، از روش اندازه‌گیری زوال بذر به روش پیری زودرس (پیری تسریع شده) و نیز اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی بذرها استفاده شد. برای انجام آزمون پیری زودرس، ۱۰۰ گرم بذر نخود از نمونه‌های مختلف (نمونه‌های شاهد و نمونه‌های مورد آزمایش سقوط آزاد)، پس از اندازه‌گیری جرم به مدت ۷۲ ساعت در رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد و در دمای ۴۱ درجه سلسیوس درون اتاقک دستگاه آزمون پیری زودرس قرار داده شدند و پس از خروج بذرها از دستگاه بعد از گذشت یک ساعت، تحت آزمایش جوانه‌زنی استاندارد قرار گرفتند (سانتوس^۲ و همکاران، ۲۰۲۳). آزمون جوانه‌زنی استاندارد بر اساس معیارهای انجمن بین‌المللی آزمون بذر (ایستا^۳، ۲۰۰۹) انجام گرفت. بدین منظور تعداد ۱۰۰ عدد بذر از هر یک از تیمارهای مختلف (تیمارهای شاهد و تیمارهای مختلف تحت ضربه ناشی از سقوط آزاد در شرایط مختلف) به طور تصادفی برای کشت به روش کشت در پتری بین کاغذ انتخاب شدند. ابتدا بذرها توسط محلول هیپوکلریت سدیم ۵۰ درصد ضدعفونی و با آب مقطر شسته شدند. هر واحد آزمایشی شامل ۲۵ عدد بذر بود که در بین ۳ لایه کاغذ مرطوب (دولایه در زیر و یک لایه در رو) قرار داده شدند. در داخل هر ظرف ۲۰۰ سانتی متر مکعب آب مقطر ریخته شد، سپس ظرف‌ها در ژرمیناتور با دمای ۲۰ درجه سلسیوس به مدت هشت روز قرار گرفتند. شمارش تعداد بذرهاي جوانه زده به طور روزانه در هشت روز متوالی ارزیابی و یادداشت

¹ Delfan² Santos³ ISTA -International Seed Testing Association

و مکانیکی بذرهای مورد مطالعه بیان شده است. اندازه‌گیری خواص فوق در رطوبت استاندارد ۱۵ درصد صورت گرفته است. در جدول ۲، نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) داده‌های مربوط به کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس و هدایت الکتریکی بذرهای نخود در اثر ضربه ناشی از سقوط آزاد و اثر متغیرهای مستقل بر آنها ارائه شده است. باتوجه به داده‌های جدول ۲ مشاهده می‌شود که هر سه عامل، ارتفاع سقوط، سطح برخورد و رطوبت بذر اثر معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) بر کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس و هدایت الکتریکی بذرهای نخود داشته‌اند، اما تأثیرات ارتفاع سقوط بر هر دو نوع صدمه بیشتر از سطح برخورد و رطوبت بذر بوده است (میانگین مربعات بیشتر) همچنین مشاهده می‌شود که برهمکنش سطح برخورد $\times$ رطوبت بذر بر کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است. علاوه بر آن اثرات متقابل ارتفاع سقوط $\times$ سطح برخورد و ارتفاع سقوط $\times$ رطوبت بذر در سطح احتمال یک درصد تأثیر سطح برخورد $\times$ رطوبت بذر در سطح احتمال پنج درصد بر هدایت الکتریکی بذرهای نخود معنی‌دار بوده است. همچنین ملاحظه می‌شود که اثر سه‌گانه ارتفاع سقوط $\times$ سطح برخورد $\times$ رطوبت بذر در سطح احتمال یک درصد روی هدایت الکتریکی بذرهای نخود معنی‌دار بوده است.

نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که میانگین کاهش درصد جوانه‌زنی بذرهای نخود در آزمون پیری زودرس در شرایط مختلف ترکیب متغیرهای مستقل شامل ارتفاع سقوط، سطح برخورد و رطوبت بذر، معادل ۳۶/۸۶ درصد محاسبه شد که کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب ۱۵/۰۱ و ۶۰/۴۸ درصد بودند. همچنین میانگین هدایت الکتریکی بذرهای نخود در شرایط مختلف ترکیب متغیرهای مستقل، معادل ۲۹/۷۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم محاسبه شد که کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب ۵/۵۱ و ۶۵/۹۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم بودند.

گردید. ظهور ریشه‌چه به‌اندازه دو الی سه میلیمتر به‌عنوان بذر جوانه‌زده در نظر گرفته شد. میزان صدمه وارده به‌صورت کاهش درصد جوانه‌زنی از اختلاف درصد جوانه‌زنی نمونه‌های شاهد و نمونه‌های مورد آزمایش، محاسبه شد (سانتوس و همکاران، ۲۰۲۳).

برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی نمونه بذرهای مورد آزمایش از هر تیمار به‌صورت تصادفی چهار نمونه ۵۰ عددی پس از اندازه‌گیری جرم، انتخاب و در ظروف حاوی ۲۵۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه شده قرار داده شدند. همچنین تعدادی ظرف حاوی آب دیونیزه شده و بدون بذر انتخاب شدند. همه ظروف پس از پوشش با فویل آلومینیومی به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. در پایان، میزان هدایت الکتریکی ظروف اندازه‌گیری شد. با کسرکردن میزان هدایت الکتریکی ظروف بدون بذر از میزان هدایت الکتریکی نمونه بذرهای مورد آزمایش تعیین گردید (با واحد میکروزیمنس بر سانتیمتر بر گرم).

اثر عوامل مورد بررسی در تحقیق حاضر در قالب آزمایش‌های چندعاملی بر اساس طرح کاملاً تصادفی آزمون شدند. متغیرهای مستقل شامل: ارتفاع سقوط بذر (۳، ۶، ۹ و ۱۲ متر) جنس سطح برخورد (سیمان، چوب، فلز (آهن) و بذر روی بذر) و رطوبت بذر (۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد) و متغیرهای وابسته عبارت بودند از میزان صدماتی که به بذرها وارد شده بود که شامل اندازه‌گیری زوال بذر به روش پیری زودرس (جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس) و اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی بود. آزمایش‌ها در سه تکرار در ترکیب هریک از متغیرهای آزمایش بود. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($\alpha = 0.05$) صورت گرفت.

نتایج و بحث

در این مطالعه صدمات وارده به نخود رقم آزاد در اثر سقوط آزاد و تأثیر عواملی مانند ارتفاع سقوط، جنس سطح برخورد و رطوبت بذر، روی میزان صدمات مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. در جدول ۱ خواص فیزیکی

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بذر نخود مورد مطالعه

Table 1. Some physical and mechanical properties of the studied chickpea seeds

Measured properties				خصوصیات اندازه‌گیری شده			
طول Length (mm)	عرض Width (mm)	ضخامت Thickness (mm)	میانگین قطر هندسی Geometric mean diameter (mm)	میانگین درصد جوانه زنی Germination (%)	جرم Mass (g)	نیروی شکست Rupture force (N)	جابه‌جایی در نقطه شکست Deformation (mm)
8.42 (1.05)*	6.95 (0.52)	6.70 (0.82)	7.32 (0.33)	97.05 (12.09)	0.25 (0.03)	230.52 (80.52)	0.35 (0.13)

*- Standard deviation.

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته

Table 2. Analyses of variance (Mean Square) for the effects of independent variables on dependent variables.

متغیر مستقل Independent variables	درجه آزادی Degree of freedom	متغیر وابسته (میانگین مربعات) Dependent variable (Mean Square)	
		هدایت الکتریکی Electrical conductivity	کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس Loss in the accelerated aging test germination
Drop height (H) ارتفاع سقوط	3	4117.52**	3724.984**
Impact surface (S) سطح برخورد	3	1998.24**	1462.016**
H×S	9	25.08**	0.005 ^{ns}
Moisture content رطوبت بذر (M)	3	2711.25**	1689.575**
H×M	9	36.54**	0.005 ^{ns}
S×M	9	17.98*	32.340**
H×S×M	27	18.25**	0.005 ^{ns}
Error خطای آزمایش	128	7.77	4.54

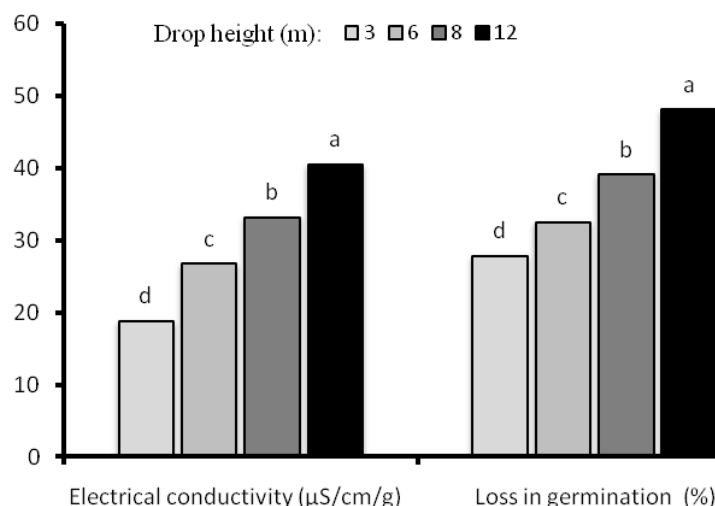
ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** indicate non- significant and significant $p<0.05$ and $p<0.01$, respectively

تأثیرات ارتفاع سقوط بر صدمات بذر

با توجه نتایج حاصل از تجزیه واریانس مشخص شد که تأثیر ارتفاع سقوط بذرهای نخود بر کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داده که با افزایش ارتفاع سقوط بذرهای نخود میزان آسیب وارده به آنها به‌صورت زوال بذر و در نتیجه کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس، افزایش یافته است و اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد بین میانگین آسیب‌های از این نوع در ارتفاعات مختلف سقوط وجود دارد (شکل ۱).

در شکل‌های ۱، ۲ و ۳، نتیجه مقایسه میانگین‌های کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس و هدایت الکتریکی بذرهای نخود در اثر ضربه ناشی از سقوط آزاد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد، در سطوح مختلف متغیرهای مستقل شامل به ترتیب ارتفاع سقوط، سطح برخورد و رطوبت بذرها بیان شده است. در ادامه در مورد اثرات هریک از متغیرهای مستقل (ارتفاع سقوط، سطح برخورد و رطوبت بذر) بر متغیرهای وابسته (آسیب‌های بذر) به‌صورت مجزا بحث می‌شود.



شکل ۱. مقایسه میانگین کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس و هدایت الکتریکی بذرهای نخود در اثر ضربه ناشی از سقوط آزاد در سطوح مختلف ارتفاع سقوط بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن. برای هر صفت، ستون‌های با حروف مشترک دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند.

Fig.1. The means comparison of the loss in germination percentage and electrical conductivity of chickpea seeds at different levels of drop heights based on Duncan's multiple range tests. For each trait, columns with common letters do not have significant differences ($P < 0.05$).

آزمون پیری زودرس تحت تأثیر دمای بالا و رطوبت زیاد که جزء شرایط سخت محسوب می‌شوند، قرار می‌گیرند، بذرهای بدون آسیب مکانیکی این شرایط سخت را بهتر تحمل می‌کنند، در نتیجه دارای درصد جوانه‌زنی بالاتری نسبت به بذرهای دارای آسیب هستند که با نتایج گزارش شده در این مورد توسط سایر محققین هم‌خوانی دارد (رحمان^۱ و همکاران، ۲۰۰۴)؛ بنابراین مشاهده می‌شود که با افزایش ارتفاع سقوط بذرهای نخود، این نوع آسیب‌ها افزایش یافته‌اند که نشان می‌دهد ضربه ناشی از سقوط آزاد باعث زوال بذرهای نخود و کاهش جوانه‌زنی آنها حتی کمتر از محدوده استاندارد (۸۰ درصد) برای تأیید بذر گواهی شده است و اگر این بذرهای برای کشت مورد استفاده قرار گیرند، عملکرد محصول کاهش خواهد یافت.

نتایج مقایسه میانگین‌های هدایت الکتریکی مربوط بذرهای نخود در ارتفاعات مختلف سقوط نیز تفاوت معنی‌داری را در سطح پنج درصد نشان داد (شکل ۱). افزایش ارتفاع سقوط باعث افزایش هدایت الکتریکی

در شرایط مختلف آزمایش از جمله در انواع مختلف سطح برخورد هنگام سقوط بذرها و در سطوح مختلف رطوبت، کمترین صدمه دیدگی بذرها در ارتفاع سقوط سه متر (۲۷/۷۴ درصد کاهش جوانه‌زنی) ایجاد داده است. در ارتفاع سقوط شش متر، میزان صدمات وارده به بذرها به اندازه ۱/۱۷ برابر (به اندازه ۱۷/۲۳ درصد بیشتر)، نسبت به ارتفاع سقوط سه متر افزایش یافته است و میزان کاهش درصد جوانه‌زنی از ۲۷/۷۴ به ۳۲/۵۲ درصد، افزایش یافته است. در ارتفاع سقوط نه متر صدمه ناشی از زوال بذرها و در نتیجه کاهش درصد جوانه‌زنی آنها، برابر ۳۹/۰۸ درصد است که نسبت به ارتفاع سقوط سه متر، ۴۰/۸۷ درصد و نسبت به ارتفاع سقوط شش متر ۲۰/۱۷ درصد، افزایش یافته است. در ارتفاع سقوط ۱۲ متر بیشترین صدمه دیدگی بذرها به صورت کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس ایجاد شده است و میزان این نوع صدمه برابر ۴۸/۰۸ درصد است که نشان می‌دهد که صدمه شدیدی به بذرها وارده شده و در حدود ۵۰ درصد آنها را دچار زوال و در نتیجه پیری زودرس کرده است. هنگامی که بذرها در طی

¹ Rahman

بذرهای نخود شده است، به طوری که بیشترین مقدار میزان هدایت الکتریکی ۴۰/۴۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم مربوط به ارتفاع سقوط ۱۲ متر و کمترین مقدار آن ۱۸/۷۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم، مربوط به ارتفاع سقوط سه متر بوده است (شکل ۱). مقادیر متوسط ۲۶/۷۳ و ۳۳/۱۶ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم به ترتیب مربوط به بذرهایی بوده است که از ارتفاعات شش و نه متر سقوط داده شده‌اند که نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع سقوط میزان هدایت الکتریکی، به دلیل افزایش صدمات مکانیکی، افزایش یافته است.

به دلیل آسیب مکانیکی وارده به بذر و در نتیجه آسیب به پوسته خارجی و ایجاد ترک‌های داخلی مواد داخلی بذر اجازه نشت پیدا می‌کنند که در نتیجه آن افزایش رسانایی و هدایت الکتریکی محلول متناسب با میزان آسیب بیشتر می‌شود. نتایج مشابهی در این مورد توسط محققان مختلف گزارش شده است (واراسیلا^۱ و همکاران، ۲۰۰۱؛ رحمان و همکاران، ۲۰۰۴). باتوجه به محدوده‌های مشخص شده توسط انجمن بین‌المللی آزمون بذر (ایستا، ۲۰۰۹) برای هدایت الکتریکی بذرهای، اگر این عدد کمتر از ۲۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم باشد، بذرهای موردنظر دارای بنیه و کیفیت قوی هستند. اگر عدد موردنظر بین ۲۵ تا ۲۹ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم باشد، بذرهای دارای کیفیت خوب هستند؛ اما مناسب کشت در اوایل فصل کشت بوده و در صورت مواجه شدن با شرایط سخت با خطر عدم جوانه‌زنی همراه هستند. در صورت وجود مقدار هدایت الکتریکی بذرهای در محدوده ۳۰ تا ۴۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم آنها دارای بنیه به نسبت ضعیف بوده و برای کشت در شرایط نامساعد، مطلوب نیستند و اگر این عدد بیشتر از ۴۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم باشد، بذرهای به طور کلی برای کشت مناسب نیستند (صادقی و همکاران، ۲۰۱۴). باتوجه به این تقسیم‌بندی، بذرهایی که از ارتفاع بیشتر از نه متر سقوط کرده‌اند دارای هدایت الکتریکی بیشتر از ۳۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم هستند که در نتیجه آن دارای بنیه به نسبت ضعیف بوده و برای کاشت مناسب نیستند.

باتوجه به این که با افزایش ارتفاع سقوط میزان انرژی ضربه وارده به بذرهای افزایش می‌یابد که نتیجه آن افزایش آسیب‌های وارده است؛ بنابراین لازم است در این مورد هنگام انتقال و فراوری بذرهای نخود در حد امکان ارتفاع سقوط کاهش یابد که یکی از راه‌های این کار استفاده از سامانه‌های کاهش سرعت و ارتفاع سقوط بذرهای است که توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته‌اند (شهبازی و شهبازی، الف، ب ۲۰۲۲). نتایج مشابهی در مورد افزایش صدمات بذر نخود به صورت شکستگی بذرهای با افزایش ارتفاع توسط دلفان و همکاران (۲۰۲۳) گزارش شده است. آنها گزارش کرده‌اند که با افزایش ارتفاع سقوط بذرهای نخود از ۳ به ۱۲ متر میزان شکستگی بذرهای به صورت معنی داری از ۷/۲۰ درصد به ۱۵/۵۷ درصد افزایش یافته است. همچنین نتایج مشابهی در مورد محصول سویا توسط شاه و همکاران (۲۰۰۱) و در مورد محصول ذرت توسط محققین مختلف گزارش شده است (بارتکویاک و همکاران، ۲۰۱۹).

تأثیرات جنس سطح برخورد بر صدمات بذرهای

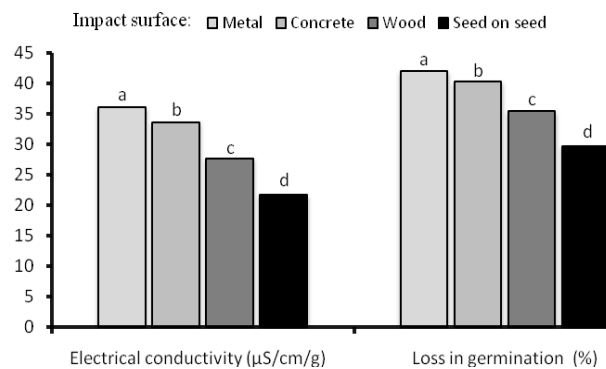
طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) تأثیر جنس سطح برخورد بر کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس و هدایت الکتریکی بذرهای نخود در سطح یک درصد معنی‌دار بود. باتوجه به داده‌های شکل ۲ ملاحظه می‌شود هر دو نوع صدمه وارده به بذرهای نخود در سطوح مختلف سطح برخورد، تفاوت معنی‌داری را در سطح پنج درصد نشان می‌دهند ($p < 0.05$). باتوجه به داده‌های شکل ۲ ملاحظه می‌شود که هر دو نوع صدمه در سطح برخورد بذرهای با فلز و سیمان بیشترین مقدار خود را دارا هستند و بعد از آنها بیشترین مقدار صدمات به ترتیب مربوط به سطوح برخورد چوب و بذر با بذر است (شکل ۲). نتایج مشابهی در این مورد توسط ایوانس^۲ و همکاران (۱۹۹۰) در مورد محصول سویا گزارش شده است. در شرایط مختلف آزمایش که شامل سطوح مختلف رطوبت بذر و ارتفاع سقوط بود، نمونه بذرهای سقوط یافته روی فلز دارای بالاترین میانگین کاهش درصد جوانه‌زنی ۴۱/۹۶ درصد بودند. در مورد بذرهایی که روی سیمان سقوط کرده‌اند، میزان

² Evans

¹ Vearasilpa

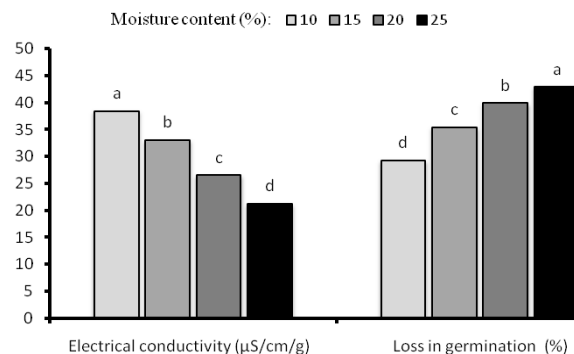
است که به ترتیب حدود ۲۹، ۲۶ و ۱۶ درصد کمتر از سطوح برخورد فلز، سیمان و چوب بوده است. از نظر هدایت الکتریکی بذرهای نخود، بیشترین میانگین برابر ۳۶/۰۹ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم محاسبه شده است که مربوط به سطح برخورد فلز بوده است. همچنین میانگین این خصوصیت بذرهای دیگر

این نوع صدمه ۴۰/۳۴ درصد بوده است که نسبت به سیمان حدود چهار درصد کاهش داشته است. نمونه بذرهایی که روی سطح چوبی سقوط داده شده‌اند دارای میانگین ۳۵/۴۱ درصد کاهش در میزان جوانه‌زنی بوده‌اند که این میزان حدود ۱۵ درصد کمتر از فلز و حدود پنج درصد کمتر از سیمان بوده است. در حالت سقوط بذر روی بذر، میانگین کاهش درصد جوانه‌زنی ناشی از ضربه سقوط آزاد ۲۹/۷۱ درصد محاسبه شده



شکل ۲. مقایسه میانگین کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس و هدایت الکتریکی بذرهای نخود در اثر ضربه ناشی از سقوط آزاد در سطوح مختلف سطح برخورد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن. برای هر صفت، ستون‌های با حروف مشترک دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند.

Fig.2. The means comparison of the loss in germination percentage and electrical conductivity of chickpea seeds in different levels of impact surfaces based on Duncan's multiple range tests. For each trait, columns with common letters do not have significant differences ($P < 0.05$).



شکل ۳. مقایسه میانگین کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری و هدایت الکتریکی بذرهای نخود در اثر ضربه ناشی از سقوط آزاد در سطوح مختلف رطوبت بذر بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن. برای هر صفت، ستون‌های با حروف مشترک دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند.

Fig.3. The means comparison of the loss in germination percentage and electrical conductivity of chickpea seeds in different levels of moisture contents based on Duncan's multiple range tests. For each trait, columns with common letters do not have significant differences ($P < 0.05$).

سطوح برخورد، سیمان، چوب و بذر با بذر، به ترتیب ۳۳/۶۴، ۲۷/۶۷ و ۲۱/۶۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم بوده است (شکل ۲). باتوجه به نتایج بالا ملاحظه می‌شود که برخورد بذرها به سطوح سخت باعث افزایش صدمات آنها شده است، بنابراین در این مورد باید در هنگام جابه‌جایی و فراوری بذرها از برخورد آنها با سطوح سخت و خشن جلوگیری شود. یکی از این راهکارها پوشش سطوح سخت با مواد نرم و انعطاف‌پذیر است که انرژی ضربه را جذب نموده و از صدمه دیدن بذرها جلوگیری شود (شهبازی، ۲۰۲۱).

تأثیرات رطوبت بر صدمات بذرها

تأثیرات رطوبت بذر بر کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس و هدایت الکتریکی بذرهاى نخود در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). داده‌های شکل ۳ نشان می‌دهند که با افزایش رطوبت بذرهاى نخود میزان صدمات وارده به آنها به‌صورت کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس افزایش، اما میزان صدمات وارده از نظر هدایت الکتریکی کاهش یافته است. باتوجه به این که رطوبت روی خواص الاستیک محصولات کشاورزی از جمله بذرها تأثیر می‌گذارد، واکنش بذرها از نظر نوع صدمه متفاوت بوده است. ملاحظه می‌شود که میانگین‌های هر دو نوع صدمه وارده به بذرهاى نخود در سطوح مختلف رطوبت بذر، تفاوت معنی‌داری را در سطح پنج درصد نشان می‌دهند ($p < 0.05$). با افزایش میزان رطوبت بذرها از ۱۰ به ۲۵ درصد، میانگین کاهش درصد جوانه‌زنی آنها در آزمون پیری زودرس از ۲۹/۲۲ به ۴۲/۸۸ درصد افزایش یافته است. همچنین مقادیر متوسط میانگین کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس مربوط به سطوح رطوبت ۱۵ و ۲۰ درصد به ترتیب ۳۵/۴۶ و ۳۹/۸۶ درصد بوده است که این نتیجه نشان می‌دهد که بذرهاى نخود که رطوبت کمتری داشته‌اند نسبت به آنهایی که رطوبت بالاتری داشته‌اند، توانسته‌اند صدمات فیزیولوژیکی (کاهش درصد جوانه‌زنی) را بهتر تحمل کنند. نتایج تحقیقات گذشته مؤید این مطلب است (خزایی و همکاران، ۲۰۰۸؛ شهبازی، ۲۰۲۱). ممکن

است رطوبت بالاتر باعث انعطاف‌پذیری بافت‌های بذر و در نتیجه انتقال انرژی ضربه به جنین و در نتیجه صدمه دیدن آن و کاهش درصد جوانه‌زنی شده باشد. شهبازی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کرده‌اند که با افزایش رطوبت بذرهاى لوبیا از ۹/۲۵ به ۱۷/۵۰ درصد، میانگین کاهش درصد جوانه‌زنی بذرهاى محصول فوق در اثر ضربه، از ۰/۵۳ به ۱۵/۳۰ درصد افزایش یافته است.

نتایج مقایسه میانگین داده‌های مربوط به هدایت الکتریکی در شکل ۳ نشان می‌دهد که با کاهش رطوبت بذرهاى نخود، میزان صدمه وارده آنها به‌صورت تغییر در اندازه هدایت الکتریکی، حالت افزایشی داشته است. بر اساس این اصل که رطوبت بر انعطاف‌پذیری محصولات کشاورزی مانند بذرها مؤثر است، باتوجه به افزایش میزان رطوبت این انعطاف بیشتر بوده و اندام‌های محصول می‌توانند مقاومت بیشتری در برابر ضربه داشته و کمتر دچار صدمات مختلف مانند ایجاد ترک‌های داخلی شوند که نتیجه آن کاهش نشت مواد درونی بذر به داخل محلول و کاهش هدایت الکتریکی است. نتایج مشابهی در مورد تأثیر رطوبت بر میزان صدمات ناشی از سقوط آزاد توسط برگین و همکاران (۱۹۹۳) و ایوانس و همکاران (۱۹۹۰) به ترتیب در مورد محصولات عدس و ذرت گزارش شده است. سایر محققین نیز در مورد محصول نخود گزارش کرده‌اند که صدمات فیزیکی مانند شکستگی ناشی از ضربه بر محصول فوق با افزایش رطوبت، حالا کاهشی داشته است (شهبازی، ۲۰۱۱).

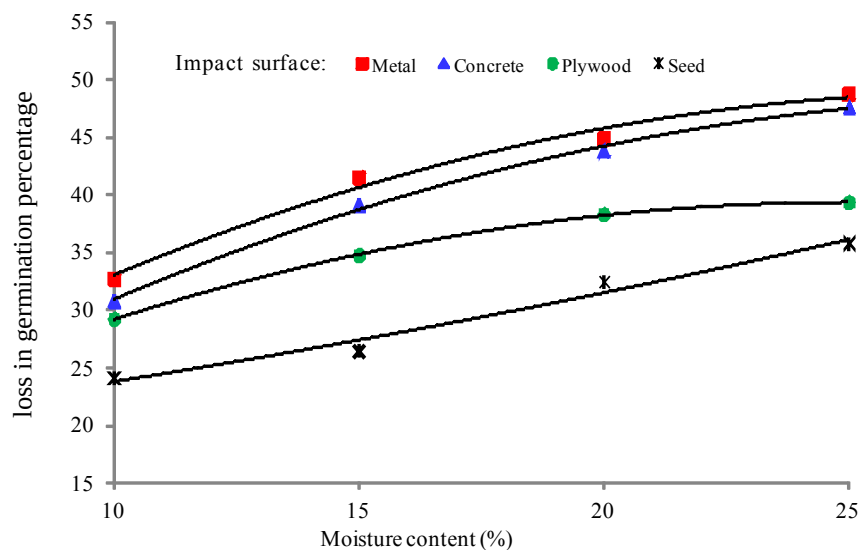
باتوجه به نتیجه مقایسه میانگین هدایت الکتریکی بذرهاى نخود در سطوح مختلف رطوبت (شکل ۳) ملاحظه می‌شود که در رطوبت ۱۰ درصد بیشترین میانگین هدایت الکتریکی بذرها ایجاد داده است و مقدار این خاصیت بذرها در این رطوبت برابر ۳۸/۴۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم بوده است که در مقایسه با عدد ۲۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم برای حالت بذرهاى باکیفیت مطلوب، عددی بزرگ‌تر است. در سطح بالاتر رطوبت یعنی ۱۵ درصد، آسیب کمتری به بذرها وارد شده است و میانگین هدایت الکتریکی در این رطوبت برابر ۳۳/۰۱ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم است که باز بالاتر از حد طبیعی است، اما حدود ۱۴ درصد کمتر از رطوبت ۱۰ درصد بوده

است. در رطوبت ۲۰ درصد نسبت به دو سطح قبل کمترین صدمه پدیدآمده است و میانگین هدایت الکتریکی بذرها در این رطوبت ۲۶/۴۹ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم بوده است که تا حدودی در حد طبیعی (۲۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم) و حدود ۳۱ درصد کمتر از رطوبت ۱۰ درصد بوده است. در رطوبت ۲۵ درصد نسبت به دیگر سطوح کمترین صدمات به‌صورت افزایش هدایت الکتریکی بذرها ایجاد داده است و میانگین هدایت الکتریکی بذرها در این رطوبت برابر ۲۱/۲۱ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم بوده است که عددی کمتر از ۲۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم و در حد مطلوب است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که میزان رطوبت بذر نخود خاصیت مهمی است که بر میزان صدمه پذیری آن مؤثر است و باید به آن توجه ویژه شود. البته اگر قرار باشد که محصول به‌عنوان بذر استفاده شود و یا به‌عنوان محصول خوراکی مصرف شود، موضوع متفاوت است. از طرفی با افزایش رطوبت میزان صدمات فیزیولوژیکی یعنی زوال بذر کاهش‌یافته، اما افزایش آن باعث کاهش صدمات فیزیکی یعنی ترک‌های داخلی و پوسته بذر و در نتیجه نشت بیشتر مواد به بیرون شده است. این موضوع نشان می‌دهد که نیاز به تحقیقات بیشتری در این مورد از جمله تأثیر ضربه بر انبارمانی بذرها و تغییرات مواد شیمیایی مانند میزان پروتئین و حتی رنگ، در رطوبت‌های مختلف است.

اثرات متقابل سطح برخورد و رطوبت بذر بر صدمات

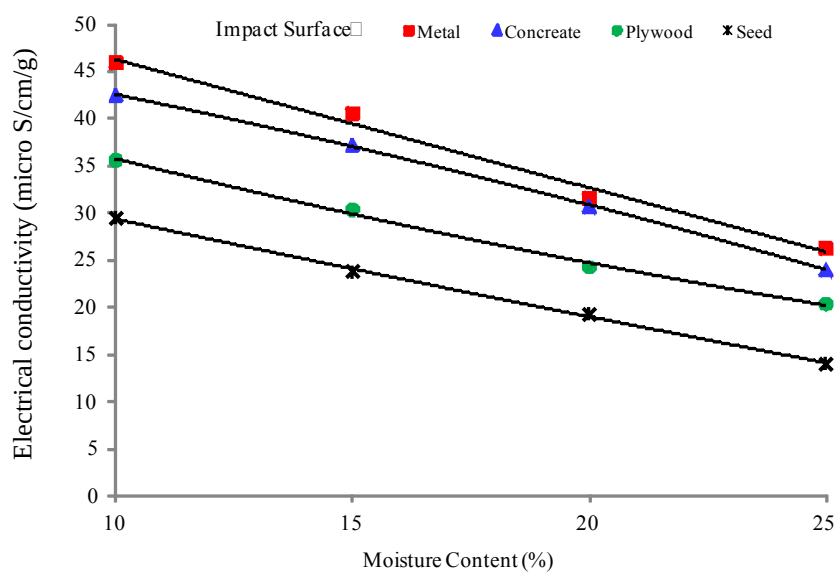
طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، برهمکنش سطح برخورد و رطوبت بذر بر کاهش درصد جوانه‌زنی و تغییرات هدایت الکتریکی بذرهاي نخود در آزمون پیری زودرس در سطح یک درصد معنی‌دار بود. در شکل ۴ داده‌های مربوط به برهمکنش سطح برخورد و رطوبت بذر بر میزان صدمات نهانی بذرهاي نخود به‌صورت

کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس نشان‌داده‌شده است. در این شکل کمترین مقدار کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس برابر ۲۴/۱۳ درصد است که در حالت ترکیب سقوط بذرها بر روی هم و رطوبت ۱۰ درصد (کمترین میزان رطوبت) ایجاد شده است. بیشترین مقدار آن برابر ۴۸/۷۶ درصد است که در حالت ترکیب سقوط بذرها بر سطح فولادی و رطوبت ۲۵ درصد بذرها (بیشترین میزان رطوبت) ایجاد شده است. باتوجه‌به شکل ملاحظه می‌شود که در کلیه سطوح رطوبت بذرها، کمترین میزان صدمات در حالت استفاده از سقوط بذر روی بذر ایجاد شده‌اند و بیشترین مقدار نیز در حالت سقوط بذر روی فلز (فولاد) و سیمان ایجاد شده‌اند. همچنین در کلیه سطوح رطوبت بذرها مقدار متوسط صدمات، مربوط به حالت سقوط بذرها روی سطح چوبی بوده است. در شکل ۵ داده‌های مربوط به برهمکنش سطح برخورد و رطوبت بذر بر میزان هدایت الکتریکی بذرهاي نخود نشان‌داده‌شده است. در این شکل کمترین مقدار هدایت الکتریکی برابر ۱۴/۰۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم است که در حالت ترکیب سقوط بذرها بر روی هم و رطوبت ۲۵ درصد (بیشترین میزان رطوبت) ایجاد شده است. بیشترین مقدار آن برابر ۴۵/۹۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم است که در حالت ترکیب سقوط بذرها بر سطح فولادی و رطوبت ۱۰ درصد (کمترین میزان رطوبت) ایجاد شده است. باتوجه‌به شکل ۵ ملاحظه می‌شود که در کلیه سطوح رطوبت بذرها، کمترین میزان صدمات در حالت استفاده از سقوط بذر روی بذر ایجاد شده‌اند و بیشترین مقدار نیز در حالت سقوط بذر روی فلز (فولاد) و سیمان ایجاد شده‌اند. همچنین در کلیه سطوح رطوبت بذرها مقدار متوسط صدمات، مربوط به حالت سقوط بذرها روی سطح چوبی بوده است.



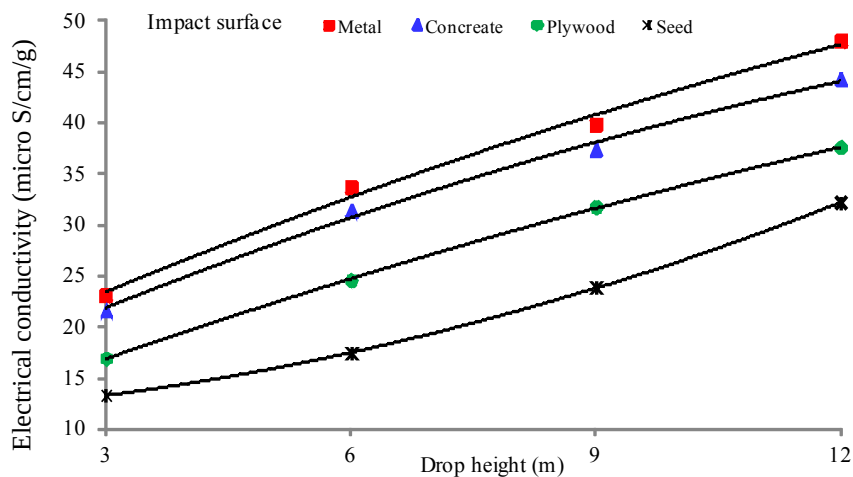
شکل ۴. برهمکنش جنس سطح برخورد و رطوبت بذر بر کاهش درصد جوانه‌زنی نخود در آزمون پیری زودرس

Fig. 4. Interaction effect of surface and moisture content on the loss in germination percentage of chickpea seeds during accelerated aging test



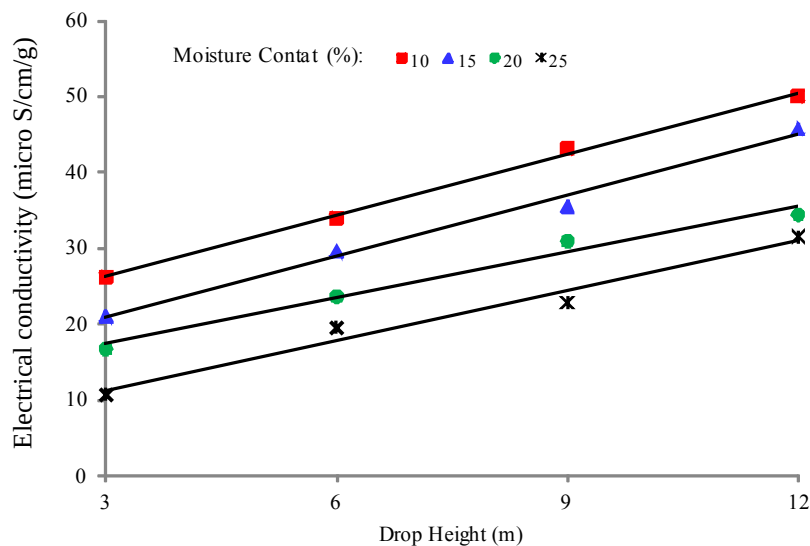
شکل ۵. برهمکنش جنس سطح برخورد و رطوبت بذر بر هدایت الکتریکی بذرهای نخود

Fig. 5. Interaction effect of surface and moisture content on the electrical conductivity of chickpea seeds



شکل ۶. برهمکنش ارتفاع سقوط و جنس سطح برخورد بر هدایت الکتریکی بذرهای نخود

Fig. 6. Interaction effect of drop height and surface on the electrical conductivity of chickpea seeds



شکل ۷. برهمکنش ارتفاع سقوط و رطوبت بذر بر هدایت الکتریکی بذرهای نخود

Fig. 7. Interaction effect of drop height and moisture content on the electrical conductivity of chickpea seeds

بود. در شکل ۶ برهمکنش ارتفاع سقوط و سطح برخورد بر میزان صدمات نهانی بذرهای نخود به صورت تغییرات هدایت الکتریکی بیان شده است. در این برهمکنش کمترین میزان هدایت الکتریکی برابر ۳۳/۰۱ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم است که در

برهمکنش ارتفاع سقوط و سطح برخورد بر تغییرات هدایت الکتریکی

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) برهمکنش ارتفاع سقوط و سطح برخورد بر روی هدایت الکتریکی بذرهای نخود در سطح یک درصد معنی‌دار

(کمترین مقدار رطوبت) و سقوط از ارتفاع ۱۲ (بیشترین ارتفاع) ایجاد شده است که نتیجه حاصله نشان‌دهنده این موضوع است که در حالت خشک و کم‌بودن رطوبت باید با ملایمت بیشتری بذرها فراوری شده و شدت ضربه وارده به بذرها کم باشد که از ایجاد ترک‌های داخلی در آنها جلوگیری شود.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد که جابه‌جایی بذر نخود و سقوط آزاد ناشی از آن، تأثیر معنی‌داری بر میزان صدمات آن به‌صورت نهانی از جمله زوال بذر (کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس) و تغییرات میزان هدایت الکتریکی داشت. مهم‌ترین عوامل مؤثر بر صدمات بذرها عبارت بودند از ارتفاع سقوط بذر، جنس سطح برخورد بذر و رطوبت بذر. ارتفاع سقوط تأثیر معنی‌داری را بر صدمه‌پذیری بذرها نداشت. با افزایش ارتفاع سقوط، میزان صدمات نهانی بذرها حالت افزایش داشت به‌طوری‌که در ارتفاع سقوط ۱۲ متر بیشترین صدمه بذرها از لحاظ کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس ایجاد شده بود و میزان کاهش جوانه‌زنی بذرها در این ارتفاع به اندازه‌ای بود که نشان می‌داد که صدمه شدیدی به بذرها وارده شده و در حدود ۵۰ درصد آنها را دچار زوال و در نتیجه پیری زودرس کرده است. علاوه‌بر آن افزایش ارتفاع سقوط باعث افزایش هدایت الکتریکی بذرها نداشت. شده بود به‌طوری‌که بیشترین مقدار میزان هدایت الکتریکی مربوط به ارتفاع سقوط ۱۲ متر و کمترین میزان آن مربوط به ارتفاع سقوط سه متر بود. جنس سطح برخورد تأثیر معنی‌داری بر میزان صدمات بذرها نداشت و نتایج نشان داد که با انتخاب سطح برخورد مناسب می‌توان اثر مخرب افزایش ارتفاع سقوط بذرها تا حدودی کاهش داد. بیشترین صدمات در سطوح برخورد فلز و سیمان و کمترین آنها در سطوح برخورد چوب و بذر روی بذر ایجاد شده بودند. محتوی رطوبت بذرها نداشت تأثیر معنی‌داری بر صدمه‌پذیری آنها در برابر ضربه ناشی از سقوط آزاد، به‌صورت کاهش درصد جوانه‌زنی در آزمون پیری زودرس و تغییرات میزان هدایت الکتریکی داشت. با کاهش رطوبت بذرها نداشت

برهمکنش سه متر (کمترین ارتفاع سقوط) و سطح برخورد بذر با بذر ایجاد شده است. در این برهمکنش بیشترین مقدار هدایت الکتریکی بذرها برابر ۴۷/۹۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم است که در حالت ترکیب سطح برخورد فلز و ارتفاع سقوط ۱۲ متر (بیشترین ارتفاع سقوط) ایجاد شده است. باتوجه‌به داده‌های شکل فوق ملاحظه می‌شود که در کلیه ارتفاعات سقوط بذرها کمترین میزان هدایت الکتریکی و در نتیجه کمترین میزان آسیب مربوط به حالت سقوط بذرها روی هم (بذر روی بذر) ایجاد شده‌اند و بیشتر مقادیر این نوع صدمه در حالت برخورد بذر با فلز یا سیمان ایجاد شده‌اند. باتوجه‌به شکل مشاهده می‌شود که استفاده از سطح برخورد مناسب هنگام سقوط بذرها باعث شده است که اثر مخرب افزایش ارتفاع سقوط تا حدودی کاهش یابد، به‌طوری‌که در ارتفاع سقوط ۱۲ متر که بیشترین هدایت الکتریکی بذرها ایجاد شده بود در صورتی‌که در همین ارتفاع، در استفاده از سطح برخورد بذر با بذر میزان هدایت الکتریکی بذرها برابر با ۳۲/۱۶ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم ایجاد شده است. در شکل ۶ مقادیر میانه مربوط به سقوط بذرها بر سطح چوبین بوده است. علاوه‌بر آن ملاحظه می‌شود که تمامی سطوح برخورد بذرها، با افزایش ارتفاع سقوط میزان صدمه حالت صعودی داشته است؛ اما در حالت استفاده از سطوح برخورد بذر روی بذر یا برخورد با سطح چوبی اختلاف کمتری بین صدمه در ارتفاعات مختلف وجود دارد.

برهمکنش ارتفاع سقوط و رطوبت بذر بر تغییرات هدایت الکتریکی

میزان تغییرات هدایت الکتریکی بذرها نداشت در برهمکنش ارتفاع سقوط و میزان رطوبت بذرها در شکل ۷ نشان داده شده است. در این شکل کمترین مقدار هدایت الکتریکی بذرها برابر ۱۰/۷۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم بوده است که در برهمکنش رطوبت ۲۵ درصد بذرها (بیشترین مقدار رطوبت) و سقوط از ارتفاع سه متر (کمترین مقدار ارتفاع سقوط) ایجاد شده است. در این شکل بیشترین مقدار هدایت الکتریکی بذرها برابر ۵۰/۰۶ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم بوده است که در برهمکنش رطوبت ۱۰ درصد بذرها

میزان صدمه وارده به آنها به صورت تغییرات میزان هدایت الکتریکی حالت افزایشی اما میزان صدمه به صورت کاهش درصد جوانه زنی حالت افزایشی داشت به صورتی که در رطوبت ۱۰ درصد، بیشترین میزان افزایش هدایت الکتریکی و کمترین کاهش در جوانه زنی ایجاد شده بود، بالاین حال، استفاده از سطوح مختلف برخورد بذرها باعث شده بود که اثر نامطلوب رطوبت تا حدودی کاهش یابد.

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.
- ASABE, Standards. 2006. S352. 2 Moisture measurement-Unground Grain and Seeds. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Michigan. St. Joseph, MI: ASABE.
- Bartkowiak, A., Gracz, W. Marcinkowski, D., Skrzypek, D. and Wojtaszyk, S. 2019. Research on quality of maize grain as a result of the application of an innovative system for storing grain under operating Conditions. *Agricultural Engineering*, 23(3):15-28. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2019-0022>
- Bergen, G.A., Jayas, D.S. and White, N.D.G. 1993. Physical damage to peas and lentils due to free fall. *Canadian Agricultural Engineering*, 35(2): 151-159.
- Chen, Z., Wassgren, C. and Ambrose, K. 2020. A review of grain kernel damage: mechanisms, modeling, and testing procedures. *Transactions of the ASABE*, 63(2):455-475. <https://doi.org/10.13031/trans.13643>
- Delfan, F., Shahbazi, F. Esvand, H.R. 2023. Impact damage to chickpea seeds during free fall. *International Agrophysics*, 37(1): 41-49. <https://doi.org/10.31545/intagr/156049>
- Eckhoff, S.R. and Paulsen, M.R. 2012. Maize, in *Cereal Grain Quality*, Ed by Herny RJ and Kettlewell PS, Springer Science & Business Media. Chapman and Hall, London, pp 77-112. https://doi.org/10.1007/978-94-009-1513-8_3
- Evans, M.D., Holmes, R.G. and McDonald, M.B. 1990. Impact damage to soybean seed as affected by surface hardness and seed orientation. *Transactions of the ASABE*, 33(1): 234-0240. <https://doi.org/10.13031/2013.31321>
- Fiscus, D.E., Foster, G.H. and Kaufmami, H.H. 1999. Physical damage of grain caused by various handling techniques. *Transactions of the ASAE*, 14(3): 480-0485. <https://doi.org/10.13031/2013.38319>
- Foster G.H. and Holman L.E. 1999. Grain breakage caused by commercial handling methods. Marketing Research Report No. 968. Washington, DC: USDA-ARS.
- Ghafori, H., Hemmat, A. Borghae, A.M. and 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 <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1098>
- ISTA. 2009. International Seed Testing Association. Handbook on seedling evaluation (3rd ed) with amendment. Bassersdorf, Switzerland
- Jan, K.N., Panesar, P.S. and Singh S. 2019. Effect of moisture content on the physical and mechanical properties of quinoa seeds. *International Agrophysics*, 33(1): 41-48. <https://doi.org/10.31545/intagr/104374>
- Khazaei J., Shahbazi F., Massah J., Nikraves M. and Kianmehr M.H. 2008. Evaluation and modeling of physical and physiological damage to wheat seeds under successive impact loadings: mathematical and neural networks modeling. *Crop Science*, 48(4): 1532-1544. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.04.0187>

- Konak, M., K. Carman and Aydin, C. 2002. Physical properties of chickpea seeds. *Biosystem Engineering*, 82(1): 73-78. <https://doi.org/10.1006/bioe.2002.0053>
- Kordi, S. and 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. <https://doi.org/10.29252/nfsr.7.3.33>
- Mohsenin, N. N. 1986. *Physical properties of plant and animal materials*. New York: Gordon and Breach Science Publishers.
- Rahman, M.M., Hampton, J.G. and Hill, M.J. 2004. Effect of seed moisture content following hand harvest and machine threshing on seed quality of cool tolerant soybean. *Seed Science and Technology*, 32: 149-158. <https://doi.org/10.15258/sst.2004.32.1.15>
- Sadeghi, H., Mirshekarnejad, B., Sheidaei, S. and Oskouei, B. 2014. Evaluation of germination traits and mechanical damage to soybean seed during processing, under standard germination, electrical conductivity and accelerated aging tests. *Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture)* 15(3): 187-199. [In Persian with English Summary].
- Santos, S.G.F.D., Araujo, E.F., Araujo, R.F., Kohl, S., Coelho, A.P.D.F. and Nascimento, W.M., 2023. Processing on the physical and physiological quality of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds. *Journal of Seed Science*, 45: p.e202345025. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v45268779>
- Shah, F. S. Watson, C. E. Meredith, N.D. Bohn, P. A. and Martin, B. 2001. Effect of bean ladder usage on mechanical damage during soybean seed conditioning. *Seed Technology*, 23(1): 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. <https://doi.org/10.13031/2013.39557>
- Shahbazi, F. 2021. *Mechanical damage to agricultural grains (Causes and Solutions)*. Lorestan University, Press. Khoram abbad, Iran [In Persian].
- Shahbazi, F., Saffar, A. and Analooei, M. 2011. Mechanical damage to pinto beans as affected by moisture content and impact energy. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 13(2):1-8.
- Shahbazi, R, and Shahbazi, F. 2023. Effects of cushion box and closed let-down ladder usage on impact damage to corn kernel during handling. *Food Science & Nutrition*, 11(5): 2243-2253. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3137>
- Shahbazi, R. and Shahbazi, F., 2022 a. Effects of cushion box and closed let-down ladder usage on damage to corn during handling: Physiological deterioration. *Plant Methods*, 18(1), p.142. <https://doi.org/10.1186/s13007-022-00975-y>
- Shahbazi, R. and Shahbazi, F. 2022 b. Effects of cushion box and closed let-down ladder usage on mechanical damage during corn kernel handling: Cracking. *Journal of Stored Products Research*, 99(1): p.102006. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2022.102006>
- Vearasilpa, S., Somchai, P., Nattasak, K., Sanguansak, T., Sangtiwa, S. and Elke P. 2001. Assessment of post harvest soybean seed quality loss. Conference on International Agricultural Research for Development Institute for Agricultural Chemistry, Georg-August University, Göttingen, 37075 Germany.