مجله پژوهش‌های پنبه ایران
جلد هشتم، شماره اول، ۱۳۹۹
۱۷-۳٤
www.jcri.ir

مقایسه رفتار دانه پنبه تحت تاثیر بارهای مکانیکی مختلف در حالت کرک‌دار و بدون‌کرک رقم لطیف

رمضان ساوری[۱]، محسن آزادبخت[۲]، شهرام نوروزیه[۳*]، علی متولی[۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
[۲] دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
[۳] دانشیار موسسه تحقیقات پنبه کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
[۴] استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۱۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۵

چکیده[۱]

در این تحقیق برخی خواص مکانیکی بذر پنبه رقم لطیف تحت بارگذاری شبه استاتیک با استفاده از دستگاه اینسترون سنتام شامل نیروی شکست، انرژی شکست، کرنش و چغرمگی در سه جهت بارگذاری طول، عرض و ضخامت، سه سرعت بارگذاری ۷ و ۵، ۳ میلی‌متر بر دقیقه و در دو حالت کرک‌دار و بدون کرک (کرک‌زدایی با اسید سولفوریک) برطبق آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در ۹ تکرار مورد بررسی قرارگرفت. نتایج نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین نیروی شکست در حالت بدون کرک در سرعت بارگذاری ۳ و ۷ میلی‌متر بر دقیقه به‌ترتیب به‌میزان ۸۷/۸۶ و ۵۱/۵ نیوتن می‌باشد. همچنین بیشینه و کمینه انرژی شکست در حالت کرک‌دار بترتیب در جهت بارگذاری طولی و ضخامت ۵۸/۷۶ و ۲۹/۱۶ میلی ژول است. بیش‌ترین انرژی شکست در حالت بدون کرک در سرعت بارگذاری ۳ میلی‌متر بر دقیقه بمقدار ۶۰ میلی ژول و کم‌ترین آن در حالت کرک‌دار، در سرعت بارگذاری ۷ میلی‌متر بر دقیقه به میزان ۳۲/۴۷ میلی ژول است. بیشینه و کمینه مقدار چغرمگی در در حالت بدون کرک در جهت بارگذاری عرضی (۰/۵۵ میلی ژول بر میلی‌متر مکعب) و در حالت کرک‌دار در بارگذاری در راستای ضخامت (۰/۲۴ میلی ژول بر میلی‌متر مکعب) مشاهده شد. بالاترین مقدار چغرمگی در حالت بدون‌کرک در سرعت بارگذاری ۳ میلی‌متر بر دقیقه به مقدار ۰/۵۳ میلی ژول بر میلی‌متر مکعب و پایین ترین مقدار آن در حالت کرک‌دار ۰/۳ میلی‌ژول بر میلی‌متر مکعب مربوط به سرعت ۷ میلی‌متر بر دقیقه بود. بیش‌ترین کرنش بذر پنبه در حالت کرک‌دار، در جهت بارگذاری عرضی، ۰/۲۲۷ و کم‌ترین کرنش در

*نویسنده مسئول: s.nowrozieh@areeo.ac.ir

حالت بدون‌کرک و در جهت بارگذاری طولی ۰/۱۰۴ بدست آمد. همچنین بیشینه کرنش در سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه به مقدار ۰/۲۱۷ بود.

واژه‌های کلیدی: بذر پنبه، کرک، رقم لطیف، خواص مکانیکی

مقدمه

پنبه یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی- صنعتی و مهم‌ترین گیاه لیفی است که از زمان‌های دور در نقاط مختلف دنیا کشت وکار می‌شده است، و پیشینه کشت آن به منظور تهیه پارچه و لباس به ۵۰۰۰ سال قبل می‌رسد. مهم‌ترین محصول تولید شده از گیاه پنبه، الیاف آن بوده و بهترین ارقام پنبه، الیاف نرم، محکم و طویل تولید می‌کنند. حدود ۳۵-۴۵ درصد از کل وش، الیاف بوده و۵۰ درصد نیز، بذر است که به نوبه خود ارزش اقتصادی بالایی دارد. بعد از تصفیه و جداسازی الیاف، بذر باقی‌مانده شامل ۵۰ درصد مغز، ۱۲ درصد الیاف کرک و ۳۸ درصد پوسته می‌باشد (خادی وهمکاران، ۲۰۱۰).

رقم جدید پنبه CRI-NNC (لطیف) به اختصارNNC، حاصل از تلاقی دو ژنوتیپ خارجی از گونه *G-hirsutum* است. عمل تلاقی بین دورقم NO:200 (ژنوتیپ وارداتی از کشور یونان) ورقم Nazily-80 (ژنوتیپ وارداتی از کشور ترکیه) در سال ۱۳۷۸ انجام شد. زودرسی، رشد محدود، پتانسیل غوزه‌دهی مناسب، عملکرد مطلوب، در صد کیل مناسب، تحمل بیماری پژمردگی و ورتیسیلیومی و برخی آفات پنبه از جمله صفات شاخص این رقم محسوب می شوند (عالیشاه، ۱۳۹۳). همچنین این رقم قابلیت کشت در استان گلستان، مازندران، خراسان رضوی، استان تهران و مناطق مرکزی ایران را دارد.

بذر نقشی اساسی و غیرقابل انکار در کشاورزی دارد و آن را می‌توان مهمترین نهاده تولید و نقطه آغاز فعالیت کشاورزی بشر قلمداد کرد (گودینگ و همکاران، ۲۰۰۰). بذر پنبه تخم مرغی شکل و تا حدی نوک تیز و به رنگ قهوه‌ای تیره است که الیاف از پوسته آن خارج شده است. بذر پنبه دارای پوسته (تستا)، یک جنین با دو لپه توسعه یافته و بقایای آندوسپرم است. جنین دارای لپه‌ها به همراه محور اولیه متصل به آن شامل؛ یک ریشه‌چه، هیپوکوتیل، اپی‌کوتیل کمتر توسعه‌یافته وجوانه‌ای از سلول‌های مریستمی است. لپه‌ها در نهایت اولین برگ حقیقی را تشکیل خواهند داد، اما درابتدا مواد مغذی ذخیره‌ای را انباشته می‌کنند تا انرژی لازم برای جوانه‌زنی و نمو اولیه فراهم شود (اوسترهیوئیس و جرنستد، ۱۹۹۹؛ هاپر و مک دانیل، ۱۹۹۹). در حال حاضر در اغلب کشورهای جهان بذر پنبه را به صورت کرک‌زدایی شده مصرف می‌کنند، با این وجود در ایران به علت عدم استفاده از روش‌های مناسب کرک‌زدایی، کمتر از ۱۰ درصد بذرها به صورت کرک‌زدایی شده تولید و مورد استفاده قرار می‌گیرند (حمیدی، ۲۰۱۱).

بذرهای پنبه کرک‌دار با استفاده از روش مکانیکی یا اسید کرک‌زدایی می‌شوند که برای کشت و روغن‌کشی استفاده می شوند. استخراج اسید معمولا با استفاده از شستشوی الکلی و خنثی‌سازی صورت می‌گیرد. برای روغن‌کشی، بذر پنبه کرک‌دار نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد،

که در این حالت بایستی عمل فیلتراسیون و تصفیه انجام شود. بذر پنبه کرک‌دار هم‌چنین برای تغذیه گاوهای شـــیری به منظور افزایش چربی و نگه‌داری پایداری شـــیر اســـتفاده می‌گردد (مانیمه‌هالایی و ویسواناتان، ۲۰۰۶).

خواص مکانیکی به خواص مربوط به رفتار یک ماده تحت تاثیر بار یا نیرو[1]اطلاق می‌شـــود. با این تعریف، خواصی از قبیل تنش- کرنش[2] یک ماده تحت بار استاتیکی یا دینامیکی و خصوصیات جریان ماده در آب یا هوا به عنوان خواص مکانیکی طبقه‌بندی می‌شوند. (رضوی واکبری، ۱۳۹۱). واکنش مواد در مقابل پدیده‌های خارجی (به ویژه نیروهای وارده) در شـــرایط و موقعیت‌های مختلف، نیز خواص مکانیکی مواد نامیده می‌شـــود (محســـنین، ۱۹۸۶). خواص مکانیکی، رفتار گیاه در برابر نیروی‌های مختلف وارده به گیاه می‌باشد (آزادبخت وهمکاران، ۲۰۱۴).

از جمله بارگذاری های معمول برای بررســـی رفتار مکانیکی و تعیین خواص مکانیکی آن ها، بارگذاری‌های فشاری روی محصول کامل است. این نوع بارگذاری، گذشته از پیچیدگی‌های محصول و عدم دسترسی به نحوه توزیع تنش بیشینه و کرنش، به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا مواد خام در حین عملیات کشاورزی و فرآوری به شکل دست نخورده و نه در قطعات بریده شده تحت تنش بیشینه مکانیکی قرار می‌گیرند (افکاری سیاح و مینایی، ۲۰۰۹).

تحقیقات بســـیار زیادی در زمینه تعیین خواص مکانیکی محصـــولات کشـــاورزی تحت اثر نیروهای استاتیک و شبه استاتیکی انجام شده است. در همین زمینه ، تحقیقات آیدین (۲۰۰۲،۲۰۰۳) بر روی فندق و بادام، کوبیلای و فاروک (۲۰۰۴) بر روی هســـته ی زرد آلو، کیلیکان و گونر (۲۰۰۸) بر روی زیتون و عالمی و همکاران (۱۳۸۸) برروی سویا انجام شده است. همچنین در مورد تعیین نیرو و انرژی لازم برای شکست بذر، تحقیقات بسیاری صورت گرفته است، ازجمله فوتز و همکاران (۱۹۹۳) معتقد بودند که مقاومت مکانیکی بذر به ترکیبات ســـلولزی دیواره ســـلول و مواد مرکبی که ســـلول‌ها را به هم پیوند می‌دهند، بستگی دارد. نیروی شکست بذر تحت تأثیر نیروهای استاتیک و شبه استاتیک، معیار مناسبی برای طراحی ادوات می‌باشد، که از آن می‌توان به عنوان اصول اولیه و اساسی در طراحی و تنظیم قســـمت‌های مختلف ماشـــین‌هایی که با بذر در ارتباط می‌باشـــند، اســـتفاده نمود (بارگال و آیروداياراج ،۱۹۹۵). در تحقیق دیگری اکینسی و همکاران (۲۰۱۰) تاثیر مقدار رطوبت و نحوه بارگذاری بر خواص مکانیکی (نیروی گسیختگی، نیروی تسلیم، تغییر شکل، مدول الاسیسیته و نیروی شکست) غلاف خرنوب (*Ceratonia siliqua*) را بررسی کردند.

1. Load or force
2. Stress-strain

با توجه به اینکه نیاز به داشـــتن اطلاعات جامع در مورد خواص مکانیکی محصـــولات کشـــاورزی و علوفه‌ای ضـــروری می‌باشـــد، این تحقیق به تعیین پارامترهای فشـــاری بذر پنبه (کرک‌دار و بدون کرک) تحت تاثیر عوامل مختلف ازجمله سرعت و جهت بارگذاری می پردازد که به منظور طراحی ماشین‌های برداشـــت با راندمان بالاتر و با کم‌ترین میزان مصـــرف انرژی، همچنین کاهش صـــدمات وارده به گیاه در حین برداشت کاربرد دارد.

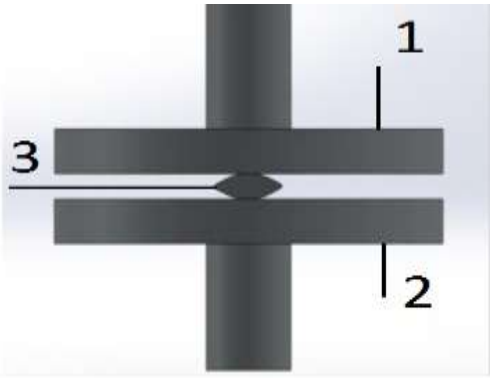
مواد و روش‌ها

این تحقیق با همکاری موسسه تحقیقات پنبه و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۱۳۹۵ انجام شد. بذر پنبه طبقه الیت رقم لطیف که در سال قبل توسط موسسه تحقیقات پنبه کشور تولید شده بود برای این تحقیق در نظر گرفته شد. آزمایشات مکانیک بذر در آزمایشگاه خواص فیزیکی و مکانیکی گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه انجام شد.

آماده سازی نمونه‌ها: در ابتدا بذور چروکیده و شکسته جدا شد. سپس نیمی از بذور تمیز شده داخل سطل پلاستیکی ریخته شد. با اضافه کردن اسید سولفوریک غلیظ با غلظت ۹۸ درصد (در دمای محیط $25C^{\circ}$) و بهم زدن مخلوط اســـید و بذرپنبه بوســـیله یک میله فلزی در مدت زمان کم‌تر از یک دقیقه، کرک از بذر پنبه جدا شده و بلافاصله محتویات سطل به داخل آبکش پلاستیکی ریخته شد. با پاشیدن آب بر روی بذر پنبه کرک‌زدایی شده، عمل شستشو انجام گرفت و در زمان ۲۴ ساعت در هوای آزاد بذرها خشک شدند. در مرحله بعدی به‌منظور تعیین رطوبت بذرهای پنبه، سه نمونه بذر کرک‌دار و سه نمونه بذر بدون‌کرک پس از توزین با ترازوی با دقت ۰/۰۱گرم، به مدت ۱۷ ســـاعت در دمای $103^{\circ}c$ در دستگاه آون قرار داده شد (قادری‌فر و سلطانی، ۲۰۱۰؛ ISTA[1]، ۲۰۰۹). مقدار رطوبت اولیه بذر پنبه رقم مورد مطالعه در حالت کرک‌دار و بدون کرک بترتیب ۷/۸ و ۵/۳ درصد در پایه خشک بدست آمد.

تعیین خواص مکانیکی: برای انجام آزمون مکانیکی از دستگاه اینسترون سنتام Santam-STM5 با لود سل ۵۰ نیوتنی استفاده شد. یک فک فشاری مطابق شکل ۱ به اینسترون متصل شد. بذرهای پنبه در ۳ جهت بارگذاری (طول، عرض و ضخامت)، ۳ سطح سرعت بارگذاری (۳، ۵ و ۷ میلی‌متر بر دقیقه) و در دو حالت کرک‌دار و بدون کرک تحت آزمون فشـــار قرار گرفتند. آزمون فشـــار با قراردادن بذر پنبه میان دو فک پایینی و بالائی دستگاه آغاز و برای هر بذر پنبه تا زمان گسیختگی کامل به طول انجامید (شکل ۱). پس از دریافت اطلاعات از رایانه متصل به دستگاه اینسترون سنتام داده‌های مورد نیاز از نمودار نیرو – تغییرشکل به‌دست آمد. این آزمون برای هر تیمار ۹ بار تکرار شد.

1. International Seed Testing Association

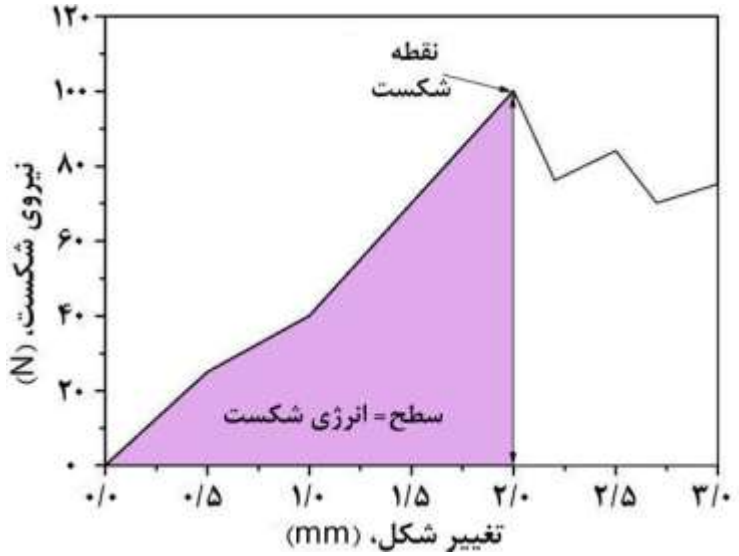


شکل ۱- قرار گیری بذر پنبه در زیر فک های اینسترون

۱-فک متحرک ۲- فک ثابت ۳- بذر پنبه

نیروی شکست: نیرو به بذر قرارگرفته بین دو فک دستگاه، تا شکسته شدن بذراعمال گردید و همزمان نمودار نیرو – تغییر شکل تا لحظه شکست (شکل ۲)، توسط رایانه متصل به دستگاه اینسترون ترسیم و از روی این نمودار حداکثر نیروی شکست و تغییرات جابه‌جایی محاسبه شد (خزایی و همکاران، ۱۳۸۰).

تعیین انرژی شکست: انرژی گسیختگی بذر با محاسبه مساحت زیر منحنی نیرو تغییر شکل (شکل ۲) از نقطه شروع بارگذاری تا نقطه گسیختگی بذر محاسبه شد (کاراج و مولر، ۲۰۱۰).



شکل ۲ – نمودار نیرو- تغییرشکل و سطح زیر نمودار استفاده شده برای محاسبه انرژی

تعیین چغرمگی[1]: چغرمگی انرژی مورد نیاز در واحد حجم برای تخریب مواد می‌باشد و بر حسب میلی‌ژول بر میلی‌متر مکعب یا ژول بر سانتی‌متر مکعب بیان می‌گردد. چغرمگی از تقسیم مساحت زیر منحنی نیرو- تغییر شکل ماده بر حجم ماده به دست می‌آید (سیتکی، ۱۹۸۶). چغرمگی از رابطه ۱ محاسبه شد (هیراک و همکاران، ۲۰۱۲).

$$e = \frac{E}{V} \qquad (۱)$$

که در این رابطه E انرژی شکست (mJ) ؛ V حجم بذر (mm^3) و e چغرمگی (mJ/mm^3) می‌باشد.

حجم بذر پنبه از روش جابه‌جایی مایع، با استفاده از مایع تولوئن ($C_6H_5CH_3$) و قرائت حجم روی بورت مدرج بد ست آمد. بدین ترتیب که ابتدا مقدار معینی تولوئن را درون بورت مدرج ریخته و حجم ا شغال شده بورت ثبت شد. سپس تعدادی بذر پنبه (یک بذر یا چند بذر با وزن مشخص) در بورت مدرج انداخته شد. با تکان دادن بورت مدرج حباب‌های موجود در اطراف بذر خارج شده، با قرائت سطح تولوئن بالا آمده در بورت، حجم بذر تعیین شد.

تعیین کرنش[2]: کرنش در واقع به تغییر واحد یک جسم در اندازه یا حجم در اثر اعمال نیرو نسبت به اندازه یا حجم اولیه آن گفته می شود. برای به د ست آوردن کرنش از فرمول (۲) ا ستفاده شد (ر ضوی واکبری، ۱۳۹۱).

$$\varepsilon_c = \int_{l_0}^{l} \frac{dl}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \qquad (۲)$$

در این رابطه L اندازه اولیه بعد بذر تحت بارگذاری و ΔL اندازه تغییر شکل تا نقطه شکست در جهت بارگذاری بر حسب میلی‌متر می‌باشد. در نهایت، با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی و نرم افزار SAS داده‌ها تجزیه و تحلیل و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

بر طبق جدول ۱ تغییرات پوشش، جهت بارگذاری، سرعت بارگذاری و نیز اثر متقابل پوشش در سرعت بر نیروی شکست در سطح احتمال یک در صد معنی‌دار بود (جدول ۱). سایر صفات مکانیکی شامل انرژی شکست، چغرمگی و کرنش بذر پنبه، به طور معنی‌داری (در سطح آماری یک درصد) تحت تاثیر تغییرات پوشش (بجز در انرژی شکست)، جهت و سرعت بارگذاری و نیز اثرات متقابل پوشش در جهت؛ پوشش در سرعت و جهت در سرعت قرار گرفتند (جدول ۱).

1. Toughness
2. Strain

جدول ۱. تجزیه میانگین مربعات برخی خواص مکانیکی بذر پنبه رقم لطیف تحت بارگذاری فشاری

منابع	درجه آزادی	نیروی شکست	انرژی شکست	چغرمگی	کرنش
پوشش	۱	۳۲۷۰/۶**	۲۰۷/۱۹ ns	۰/۱۸۶**	۰/۰۰۳**
جهت بارگذاری	۲	۱۷۹/۵ ns	۵۰۷۰/۴۷**	۰/۳۸**	۰/۱۱**
پوشش × جهت	۲	۶۵۹/۲۲ns	۳۴۸۴/۹**	۰/۲۸**	۰/۰۲۶**
سرعت بارگذاری	۲	۵۷۱۵/۸**	۳۸۵۴/۱۳**	۰/۱۹**	۰/۰۲۱**
پوشش × سرعت	۲	۳۷۹۳/۷**	۵۴۴۳/۳۴**	۰/۱۸**	۰/۰۲**
جهت × سرعت	۴	۱۵۱/۹ns	۱۹۴۲/۶۳**	۰/۱۳**	۰/۰۱۲**
پوشش × جهت × سرعت	۴	۴۰۰ns	۱۹۸۵/۰۷**	۰/۱۴**	۰/۰۰۶**
خطا	۹۲	۲۱۹/۹۶	۱۰۰/۲	۰/۰۰۵	۰

**و* به ترتیب نشان دهنده اختلاف در سطح ۱ و ۵ درصد و ns نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است.

جدول ۲ مقایسه میانگین صفات انرژی شکست، چغرمگی و کرنش را که در اثر متقابل تیمارها، معنی دار شده را نشان می‌دهد. باتوجه به جدول ۲ بیشترین انرژی شکست در سرعت ۵ میلی‌متر بر دقیقه و در جهت بارگذاری طول بذر در حالت کرک‌دار به میزان ۹۹/۸۴ میلی‌ژول بدست آمد. بعد از این مقدار، بیشترین انرژی شکست در حالی بدون کرک در سرعت ۳ و ۵ میلی‌متر بر دقیقه به ترتیب در جهت عرض و ضخامت اندازه‌گیری شد. این سه مقدار ماکزیمم انرژی شکست با هیچ تیمار دیگری هم‌گروه نیست. کمترین انرژی شکشت نیز در حالت کرک دار در جهت بارگذاری ضخامت و در سرعت ۷ میلی‌متر بر دقیقه به میزان ۲۰/۸۵ میلی‌ژول دیده شد. بر اساس جدول ۲ بیشترین چغرمگی بذر در حالت کرک‌دار در جهت طول و در سرعت ۵ میلی‌متر بر دقیقه و در حالت بدون کرک در جهت بارگذاری عرض و در سرعت ۳ میلی‌متر بر دقیقه به میزان ۰/۷ میلی ژول بر میلی‌متر مکعب بدست آمد. کمترین چغرمگی نیز در حالت بذرکرک‌دار در جهت بارگذاری ضخامت و در سرعت ۷ میلیمتر بر دقیقه به میزان ۰/۱۷۹ اندازه‌گیری شد. بنا به جدول ۲ بیشترین انرژی شکست بعد از ۹۹/۸۴ میلی‌ژول، بیشترین چغرمگی و بیشترین کرنش را بذر رقم لطیف در حالت بدون کرک در جهت بارگذاری عرض و در سرعت ۳ میلی‌متر بر دقیقه نشان داده است.

جدول۲- مقایسه میانگین انرژی شکست ، چغرمگی و کرنش در اثر متقابل تیمار پوشش، جهت و سرعت

نوع پوشش	جهت بارگذاری	سرعت بارگذاری (میلی‌متر/دقیقه)	انرژی شکست (میلی‌ژول)	چغرمگی (میلی‌ژول/میلی‌مترمکعب)	کرنش
کرک دار	طول	۳	۳۷/۳۲^{EFGHIJ}	۰/۳۱۱ ^{GHIJ}	۰/۱۲۹^{N}
کرک دار	طول	۵	۹۹/۸۴^{A}	۰/۷۶۷ ^{A}	۰/۲۱۶^{E}
کرک دار	طول	۷	۳۹/۱۳^{DEFGHI}	۰/۳۶۵^{EFGH}	۰/۱۳۰^{M}
کرک دار	عرض	۳	۴۵/۷۳^{CDEF}	۰/۴۵۸ ^{CD}	۰/۲۲۴^{D}
کرک دار	عرض	۵	۴۶/۸۹^{CDE}	۰/۳۸۱^{DEFG}	۰/۲۳۱^{B}
کرک دار	عرض	۷	۳۷/۴۴^{EFGHIJ}	۰/۳۴۹^{FGHI}	۰/۲۲۵^{C}
کرک دار	ضخامت	۳	۳۵/۱۸^{FGHIJ}	۰/۲۹۱^{HIJ}	۰/۰۶۱^{R}
کرک دار	ضخامت	۵	۳۱/۳۰^{IJK}	۰/۲۶۰^{J}	۰/۲۰۳^{H}
کرک دار	ضخامت	۷	۲۰/۸۵^{K}	۰/۱۷۹^{K}	۰/۱۸۳^{K}
بدون کرک	طول	۳	۴۹/۷۵^{CD}	۰/۴۰۲ ^{CDEF}	۰/۱۰۳^{P}
بدون کرک	طول	۵	۳۴/۹۱^{GHIJ}	۰/۳۱۲ ^{GHIJ}	۰/۰۹۹^{Q}
بدون کرک	طول	۷	۴۳/۳۲^{DEFG}	۰/۴۳۳^{CDE}	۰/۱۱۰^{O}
بدون کرک	عرض	۳	۷۴/۷۹^{B}	۰/۷۰۷^{A}	۰/۲۳۴^{A}
بدون کرک	عرض	۵	۵۴/۴۰^{C}	۰/۵۴۴^{B}	۰/۲۱۴^{F}
بدون کرک	عرض	۷	۴۲/۰۷^{DEFGH}	۰/۴۲۰ ^{CDEF}	۰/۲۱۰^{G}
بدون کرک	ضخامت	۳	۵۵/۶۶^{C}	۰/۴۸۲^{BC}	۰/۱۷۰^{L}
بدون کرک	ضخامت	۵	۳۱/۲۴^{HIJ}	۰/۳۹۴^{DEF}	۰/۱۹۷^{I}
بدون کرک	ضخامت	۷	۲۷/۹۰^{JK}	۰/۲۷۹^{IJ}	۰/۱۸۷^{J}

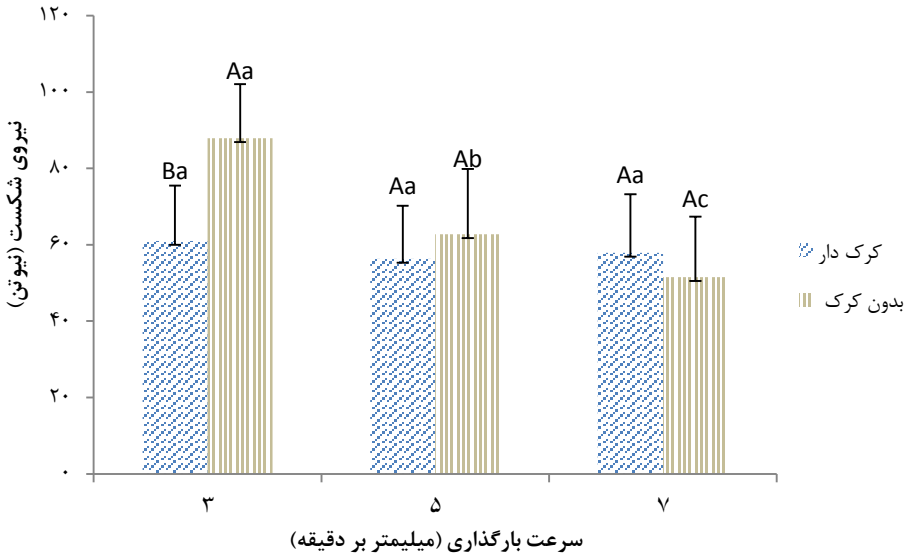
حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ است.

با توجه به جدول ۱ انرژی شکست، چغرمگی و کرنش در اثر متقابل دو به دوی پوشش، جهت و سرعت نیز معنی‌دار هستند و تحلیل آنها در این حالت ملموس‌تر است. لذا در ادامه بحث این صفات، در اثر متقابل دو به دوی پوشش، جهت و سرعت بررسی می‌گردند.

نیروی شکست

اثرمتقابل پو شش و سرعت بارگذاری بر نیروی شک ست بذر پنبه لطیف: همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود بین میزان نیروی شکست بذر پنبه کرک‌دار در سه سرعت بارگذاری ۳، ۵ و ۷ میلی‌متر بر دقیقه تفاوت معنی‌داری وجود ندا شت. اما این نیروی شک ست در بذر پنبه بدون کرک در ۳ سرعت بارگذاری ۳، ۵ و ۷ میلی‌متر بر دقیقه تفاوت معنی‌داری داشته و نیروی شکست بذر پنبه با افزایش سرعت بارگذاری کاهش یافت (بیش‌ترین و کم‌ترین نیروی شکست بترتیب در سرعت بارگذاری ۳ و ۷ میلی‌متر بر دقیقه، ۸۷/۸۶ و ۵۱/۵ نیوتن می‌باشد). معنی‌دار شدن اختلاف نیروی شکست در سه

سرعت بارگذاری در حالت بدون کرک ممکن است بدلیل تاثیرات اسید مورد استفاده در عمل کرک‌زدایی بر روی دیواره و ترکیبات لایه‌های زیرین پوسته بذر پنبه باشد. کرک‌زدایی، شستشو و خشک کردن بذور می‌تواند تغییراتی در ساختار پوسته ایجاد کرده باشد که سبب افزایش مقاومت پوسته بذر شده است. همچنین در سرعت بارگذاری ۳ میلی‌متر بر دقیقه بین مقدار نیروی شکست در حالت کرک‌دار و بدون کرک اختلاف معنی‌داری وجود داشت. کاهش تدریجی نیروی لازم برای شکست بذر پنبه متناسب با افزایش سرعت بارگذاری (کاهش مدت زمان بارگذاری)، به‌علت برخورد سریع‌تر فک متحرک دستگاه به بذر بود. اسدزاده و همکاران (۱۳۹۰) نیز در بررسی برخی خواص مکانیکی بذر پنبه رقم ورامین تحت تاثیر چهار سرعت بارگذاری ۳، ۵، ۷ و ۹ میلی‌متر بر دقیقه در دو جهت بارگذاری عرض و ضخامت نتیجه مشابهی را بدست آوردند. همچنین گزارش خزایی و همکاران (۱۳۸۰) بر روی بادام درختی، توکلی و همکاران (۲۰۰۹) بر روی جو، نیز کاهش نیرو برای شکست بذر را در اثر افزایش سرعت بارگذاری تائید می‌کند.



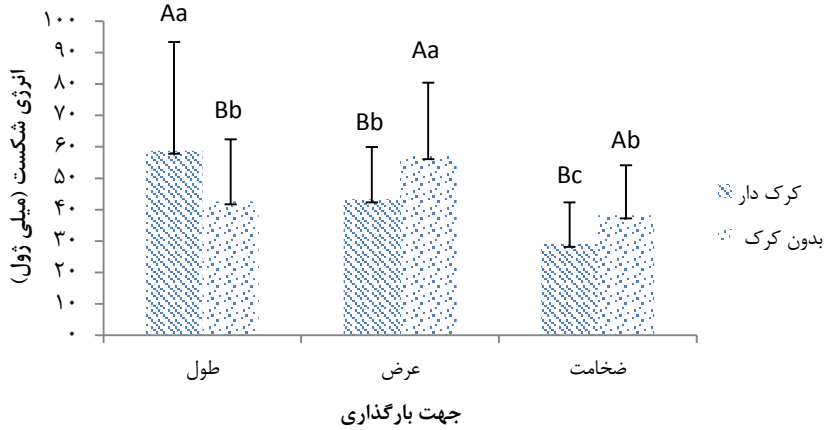
شکل ۳- اثرمتقابل پوشش و سرعت بارگذاری بر نیروی شکست بذر پنبه(N)

حروف کوچک مشابه در سرعت بارگذاری و حروف بزرگ مشابه در نوع پوشش نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است.

انرژی شکست

اثرمتقابل پوشش و جهت بارگذاری بر انرژی شکست بذر پنبه: طبق شکل ۴ مقدار انرژی شکست بذر پنبه کرک‌دار لطیف بترتیب در سه جهت بارگذاری طولی، عرضی و ضخامت، تفاوت معنی‌داری داشته و با تغییر جهت بارگذاری، روند کاهشی دارد. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار انرژی شکست به‌ترتیب در جهت

بارگذاری طولی (۵۸/۷۶ میلی‌ژول) و ضخامت (۲۹/۱۶ میلی‌ژول) است. بیش‌ترین مقدار انرژی شکست بذر پنبه بدون کرک (۵۷/۱ میلی‌ژول) مربوط به جهت بارگذاری عرضی بوده که با میزان انرژی شکست بدست آمده در دو جهت بارگذاری دیگر تفاوت معنی‌داری داشت (کمترین انرژی شکست در جهت بارگذاری ضخامت بمقدار ۳۸/۲۷ میلی‌ژول می‌باشد). همچنین با مقایسه انرژی شکست بذر پنبه در دو حالت کرک‌دار و بدون کرک مشخص شد که بین انرژی شکست در هر سه جهت بارگذاری، تفاوت معنی‌دار است. تفاوت معنی‌داری که در میزان انرژی شکست بذر پنبه در دو حالت کرک‌دار و بدون کرک در سه جهت بارگذاری طولی و ضخامت مشاهده شد ناشی از مقاومت اولیه‌ای است که کرک روی بذر، در مقابل نیروی وارده در سطوح درگیر، درهر یک از جهات بارگذاری از خود نشان می‌دهد. یعنی مقداری از انرژی مصرف شده در حالت کرک‌دار مربوط به پوشش کرک است که با جمع شدن با انرژی شکست بذر در حالت بدون کرک، این تفاوت توجیه می‌گردد. مقدار انرژی بیش‌تر بدست آمده در جهت بارگذاری عرضی و ضخامت بذر پنبه بدون کرک نیز می‌تواند به علت استقرار بهتر بذر در این حالت نسبت به بذر کرک‌دار در دستگاه آزمون مکانیکی باشد که در نتیجه بذر در مقابل اعمال نیرو و تنش ایجاد شده، مدت زمان بیشتری مقاومت کرده و انرژی بیش‌تری برای شکست بذر، صرف شده است.



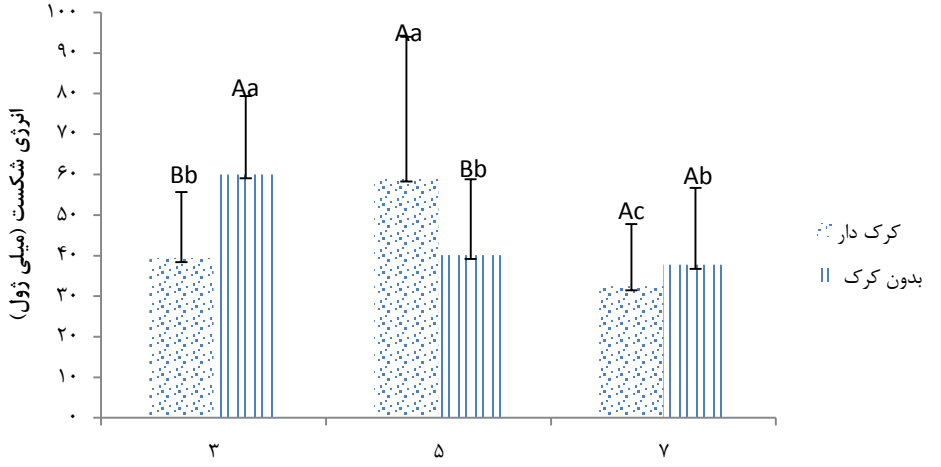
شکل۴- اثرمتقابل پوشش و جهت بارگذاری بر انرژی شکست بذر پنبه (mJ)

حروف کوچک مشابه درجهت بارگذاری و حروف بزرگ مشابه در نوع پوشش نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است.

اثرمتقابل پوشش و سرعت بارگذاری بر انرژی شکست بذر پنبه: همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود بین میزان انرژی شکست بذر پنبه کرک‌دار، در سه سرعت بارگذاری ۳، ۵ و ۷ میلی‌متر بر دقیقه، تفاوت معنی‌داری وجود دارد. بیش‌ترین و کم‌ترین انرژی شکست در سرعت بارگذاری ۵ و ۷ میلی‌متر بر دقیقه، به‌ترتیب ۵۹/۳۴ و ۳۲/۴۷ میلی‌ژول اندازه گیری شد. همچنین میزان انرژی شکست

بذر پنبه بدون کرک در سرعت بارگذاری ۳ میلی‌متر بر دقیقه، به صورت معنی‌داری با دو سرعت بارگذاری ۵ و ۷ متفاوت است. با افزایش سرعت بارگذاری از ۳ به ۷ میلی‌متر بر دقیقه، میزان انرژی شکست کاهش می‌یابد(به ترتیب ۶۰ و ۳۷/۷۷ میلی‌ژول). با مقایسه میزان‌انرژی شکست بذر پنبه در دو حالت کرک‌دار و بدون کرک، مقدار انرژی شکست بذر پنبه بدون کرک در سرعت بارگذاری ۳ و ۷ میلی‌متر بر دقیقه، بیش‌تر و در سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه، کم‌تر از حالت کرک‌دار می‌باشد.

تفاوت مقدار انرژی شکست بذر پنبه در حالت کرک‌دار و بدون کرک، در سه سرعت بارگذاری، به دلیل اختلاف مقدار نیروی شکست و مقدار جابجایی (تغییرشکل) بذر پنبه تحت تاثیر سه سرعت بارگذاری می‌باشد. مقدار انرژی مصرفی برای شکست بذر، تحت تأثیر دو عامل نیرو و تغییرشکل بذر تا نقطه شکست قرار می‌گیرد (سعیدی راد، ۱۳۸۷).



شکل ۵- اثرمتقابل پوشش و سرعت بارگذاری بر انرژی شکست بذر پنبه(mJ)

حروف کوچک مشابه در سرعت بارگذاری و حروف بزرگ مشابه در نوع پوشش نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است

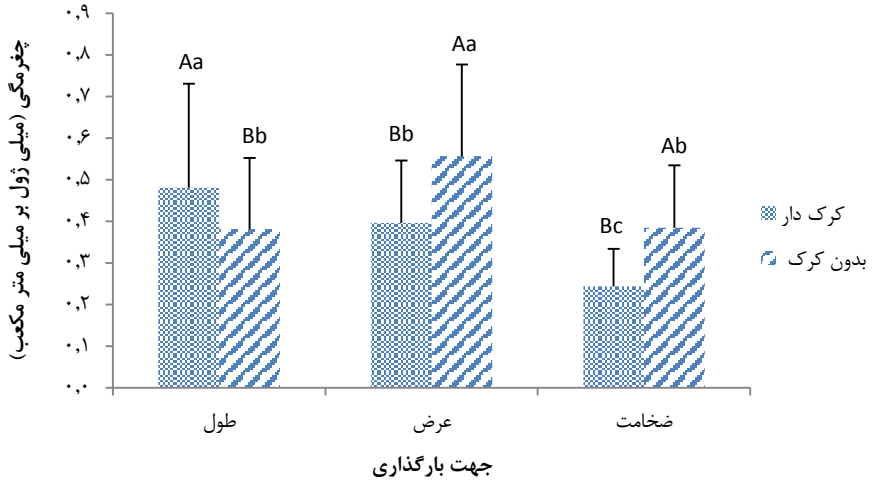
چغرمگی[1]

اثرمتقابل پو شش و جهت بارگذاری بر چغرمگی بذر پنبه: مطابق شکل۶ مقدار چغرمگی بذر پنبه رقم لطیف در حالت کرک‌دار در سه جهت بارگذاری طول، عرض و ضخامت تفاوت معنی‌داری دارند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار چغرمگی در جهت بارگذاری طول و ضخامت، بترتیب ۰/۴۸ و ۰/۲۴ میلی‌ژول بر میلی‌مترمکعب است. همچنین در بذر پنبه بدون کرک، بیش‌ترین مقدار چغرمگی در جهت

1. Toughness

بارگذاری عرضی بمقدار ۰/۵۵ میلی‌ژول بر میلی‌مترمکعب بدست آمد که این مقدار دارای تفاوت معنی‌داری با چغرمگی در دو جهت بارگذاری طول و ضخامت دارد.

مقایسه میزان چغرمگی بذر پنبه در دو حالت کرک‌دار و بدون کرک نشان می‌دهد که چغرمگی بذر پنبه کرک‌دار، حاصل از بارگذاری در جهت طول، بطور معنی‌داری از حالت بدون‌کرک بیش‌تر است. مقدار چغرمگی بذر پنبه بدون‌کرک در جهات بارگذاری عرض و ضخامت، بیش‌تر از حالت کرک‌دار است. چون چغرمگی ارتباط مستقیم با انرژی لازم برای گسیختگی دارد، در هر دو حالت کرک‌دار و بدون‌کرک، میزان چغرمگی متناسب با مقدار انرژی شکست بدست آمده است (انرژی شکست بیشتر، چغرمگی بیشتر و بالعکس). با عمل کرک‌زدایی با اسید سولفوریک میانگین نیروی لازم برای شکست بذر پنبه (بجز جهت طول) افزایش یافته است. احتمالا استفاده در کرک‌زدایی موجب تغییراتی در پوسته بذر شده است که سبب افزایش سختی پوسته بذر پنبه شده است. بدیهی است با افزایش نیرو و انرژی شکست، چغرمگی بذر پنبه در حالت بدون کرک در دو جهت عرضی و ضخامت بیشتر از بذر کرک‌دار پنبه باشد.

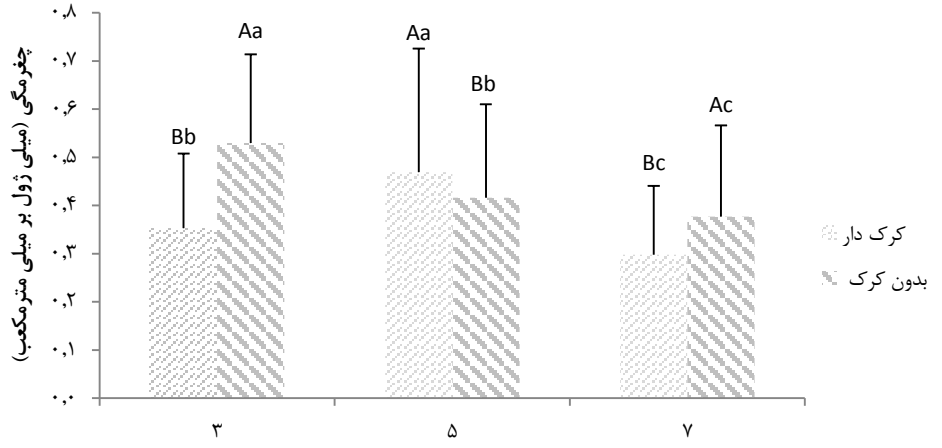


شکل ۶- اثرمتقابل پوشش و جهت بارگذاری بر چغرمگی بذر پنبه(mJ/mm3)

حروف کوچک مشابه در جهت بارگذاری و حروف بزرگ مشابه در نوع پوشش نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است.

اثرمتقابل پوشش و سرعت بارگذاری بر چغرمگی بذر پنبه: مطابق شکل ۷ بین مقادیر چغرمگی بذر پنبه کرک‌دار در سه سرعت بارگذاری ۳، ۵ و ۷ میلی‌متر بر دقیقه تفاوت معنی‌داری مشاهده می شود. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان چغرمگی بترتیب در سرعت بارگذاری ۵ و ۷ میلی‌متر بر دقیقه ۰/۴۷ و ۰/۳ میلی‌ژول بر میلی‌مترمکعب است. همچنین میزان چغرمگی بذر پنبه بدون کرک در سه سرعت

بارگذاری نیز تفاوت معنی‌داری با هم دارند. بیش‌ترین و کم‌ترین چغرمگی بترتیب در سرعت بارگذاری ۳ و ۷ میلی‌متر بر دقیقه بمقدار ۰/۵۳ و ۰/۳۷ میلی‌ژول بر میلی‌مترمکعب است. با مقایسه مقدار چغرمگی بذر پنبه کرک‌دار و بدون کرک تحت تاثیر سرعت بارگذاری، مشخص شد که مقدار چغرمگی بذر پنبه بدون کرک در دو سرعت بارگذاری ۳ و ۷ میلی‌متر بر دقیقه، بیش‌تر و در سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه کم‌تر از حالت کرک‌دار می‌باشد. بجز در سرعت بارگذاری ۳ میلی‌متر بر دقیقه، با افزایش سرعت بارگذاری، میزان چغرمگی کاهش یافته است که با بسیاری از تحقیقات انجام شده مطابقت دارد از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به گزارشات آزاد بخت و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی باقلا و راسخ و مجدی (۱۳۹۱) در خواص مکانیکی سیر اشاره کرد.



شکل۷- اثرمتقابل پوشش و سرعت بارگذاری بر چغرمگی بذر پنبه (mJ/mm3)

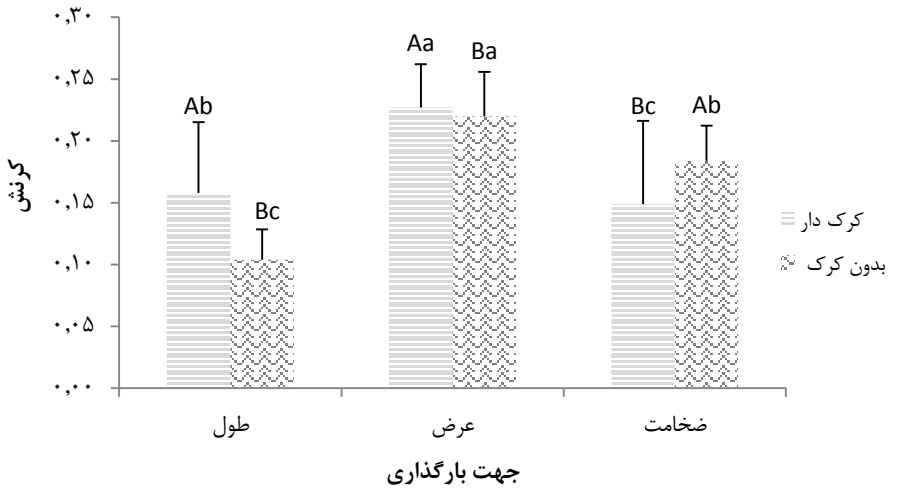
حروف کوچک مشابه در سرعت بارگذاری و حروف بزرگ مشابه در نوع پوشش نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است

کرنش[1]

اثرمتقابل پو شش و جهت بارگذاری بر کرنش بذر پنبه: طبق شکل ۸ مقدار کرنش بذر پنبه کرک‌دار و بدون‌کرک در سه جهت بارگذاری طول، عرض و ضخامت اختلاف معنی‌داری دارند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار کرنش بذر پنبه کرک‌دار در جهت بارگذاری عر ضی و ضخامت به ترتیب ۰/۲۲۷ و ۱/۱۴۹ ا ست. کرنش بذر پنبه‌ی بدون کرک در جهت بارگذاری عرضی و طولی به ترتیب ۰/۲۲ و ۰/۱۰۴ می‌باشد. با

1. Strain

مقایسه میزان کرنش بذر پنبه در دو حالت کرک‌دار و بدون کرک مشخص شد که میزان کرنش بذر پنبه کرک‌دار در دو جهت بارگذاری طولی و عرضی بصورت معنی‌داری از بذر پنبه بدون کرک بیش‌تر و در جهت بارگذاری ضخامت، مقدار کرنش بذر پنبه بدون‌کرک بیش‌تر است. با توجه به شکل۸ می توان نتیجه گرفت که تغییر شکل بذر پنبه تا قبل از شکستن، در جهت عرضی بیش‌تر از ابعاد دیگر بذر پنبه می‌باشد. تفاوت معنی‌دار مشاهده شده بین کرنش حاصل از دو حالت کرک‌دار و بدون کرک، ممکن ا ست نا شی از بی شتر بودن خواص فیزیکی بذر کرک‌دار از جمله م ساحت سطح رویی، ن سبت به بذر بدون‌کرک باشد. در زمان انجام آزمون مکانیکی، در بذر کرک‌دار سطح بیش‌تری نسبت به بذر بدون کرک، بین دو فک ثابت و متحرک د ستگاه اینسترون سنتام قرارمی‌گیرد. بطوری که کرنش اولیه‌ایی در سطح کرک‌های بذر ایجاد می شود که به کرنش ا صلی بذر پنبه در حالت بدون کرک ا ضافه می‌گردد. بعبارتی تغییر شکل بیش‌تر بذر کرک‌دار ن سبت به بذر پنبه بدون کرک، موجب معنی‌دار شدن کرنش در دوحالت کرک دار و بدون کرک در بذر پنبه شده است).

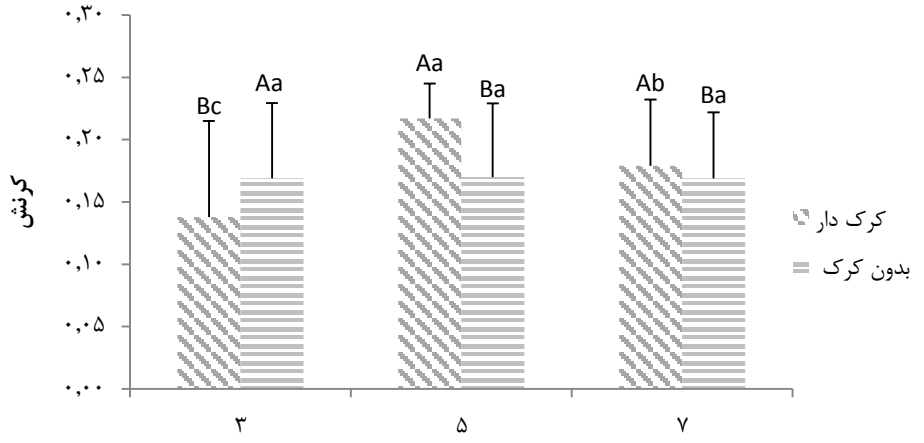


شکل ۸- اثرمتقابل پوشش و جهت بارگذاری بر کرنش بذر پنبه

حروف کوچک مشابه در جهت بارگذاری و حروف بزرگ مشابه در نوع پوشش نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است.

اثر متقابل پوشش و سرعت بارگذاری بر کرنش: براساس نتایج مقایسه میانگین (شکل ۹)، بین مقادیر کرنش بذر پنبه کرک‌دار در سه سرعت بارگذاری ۳، ۵ و ۷ میلی‌متر بر دقیقه، تفاوت معنی‌داری وجود دارد. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار کرنش در سرعت بارگذاری ۵ و ۳ میلی‌متر بر دقیقه بترتیب ۰/۲۱۷ و ۰/۱۳۸ است. همچنین بین میزان کرنش بذر پنبه بدون کرک در سه سرعت بارگذاری، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. با مقایسه میزان کرنش بذر پنبه در دو حالت کرک‌دار و بدون کرک مشخص

شد که میزان کرنش بذر پنبه کرک‌دار بجز در سرعت بارگذاری ۳، از حالت بدون کرک بیشتر است. کرنش از حاصل تقسیم مقدار تغییر شکل بذر پنبه بر طول اولیه پنبه می‌باشد. چون مساحت سطح رویه بذر پنبه در حالت کرک‌دار بیشتر از حالت بدون کرک است. لذا در زمان بارگذاری نیرو بر بذر کرک‌دار، مقداری از تغییر شکل مربوط به کرک سطح بذر است که سبب بیشتر شدن کرنش در بذر کرک‌دار شده است.



شکل ۹- اثرمتقابل پوشش و سرعت بارگذاری بر کرنش

حروف کوچک مشابه در سرعت بارگذاری و حروف بزرگ مشابه در نوع پوشش نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است.

نتیجه گیری

۱- نیروی شکست، انرژی شکست و چغرمگی در بذر پنبه رقم لطیف در حالت بدون کرک با افزایش سرعت بارگذاری کاهش می‌یابد اما در حالت کرک دار این روند در بعضی سرعت ها رعایت نمی‌شود که علت آن می‌تواند دخالت کرک روی سطح بذر در تغییرات فیزیکی پوسته بذر باشد. لذا در صورت نیاز به مطالعه رفتار مکانیکی بذر بهتر است از بذور بدون کرک استفاده شود. براساس میانگین اثرات متقابل، بیشترین انرژی شکست در سرعت ۵ میلیمتر بر دقیقه و در جهت بارگذاری طول بذر در حالت کرک‌دار به میزان ۹۹/۸۴ میلی ژول بدست آمد. کمترین انرژی شکست نیز در حالت کرک‌دار در جهت بارگذاری ضخامت و در سرعت ۷ میلی‌متر بر دقیقه به میزان ۲۰/۸۵ میلی ژول دیده شد.

۲- چغرمگی بذر پنبه بدون کرک در جهت بارگذاری عرض و ضخامت و در سرعت بارگذاری ۳ و ۷ میلی‌متر بر دقیقه بیش‌تر از حالت کرک‌دار است که علت آن بالاتر بودن انرژی شکست در این شرایط می‌باشد. براساس اثرات متقابل تیمارها، بیشترین چغرمگی بذر در حالت کرک‌دار در جهت

طول و در سرعت ۵ میلی‌متر بر دقیقه و در حالت بدون کرک در جهت بارگذاری عرض و در سرعت ۳ میلی‌متر بر دقیقه به میزان ۰/۷ میلی ژول بر میلی‌متر مکعب بدست آمد.

۳- کرنش بذر پنبه کرک‌دار در جهت بارگذاری عرضی و طولی، در سرعت بارگذاری ۵ و ۷ میلی‌متر بر دقیقه، بیش از حالت بی‌کرک بود. بعبارتی می‌توان گفت تحمل تغییر شکل بذر، قبل از شکستن در جهت بارگذاری عرضی و طولی، در بذر کرک دار بیشتر از بذر بدون کرک است.

۴- بذر رقم لطیف بیشترین انرژی شکست، بیشترین چغرمگی و بیشترین کرنش را در حالت بدون کرک در جهت بارگذاری عرض و در سرعت ۳ میلی‌متر بر دقیقه از خود نشان داده است.

۵- چون کم‌ترین انرژی شکست بذر پنبه در دو حالت کرک‌دار و بدون کرک در جهت بارگذاری ضخامت بود، بهتر است برای جلوگیری از آسیب بذر در طراحی دستگاه‌هایی که به بذر نیرو اعمال می‌کنند مانند دستگاه‌های کارنده مکانیکی بذر پنبه، جهت بارگذاری ضخامت بذر پنبه مد نظر باشد. از سوی دیگر اگر نیاز به شکستن بذر می‌باشد، شکستن بذر در این جهت با انرژی کمتر انجام می‌شود و بهتر است بذر در این جهت وارد دستگاه شده و تحت اعمال تنش قرار گیرد. به طورمثال در فرایند روغن‌کشی، بذور در این جهت زیر پرس قرار گیرند تا انرژی کمتری برای شکستن بذر استفاده گردد.

۶- با توجه به کاهش مقدار نیرو، انرژی شکست و چغرمگی بذر پنبه بدون کرک با افزایش سرعت بارگذاری، می‌توان در بکارگیری تجهیزات برای کارخانجات روغن‌کشی، با افزایش سرعت بارگذاری مقدار انرژی مصرفی برای تولید و استحصال روغن از بذر پنبه را کاهش داد.

۷- با توجه به اثرگذاری فرایند کرک‌زدایی بر روی خواص مکانیکی بذر پنبه، بهتر است مطالعات تکمیلی در ارقام دیگر پنبه و ساختار فیزیکی و شیمیایی پوسته پنبه انجام شود.

منابع

Afkari Sayyah, A.H., and Minaei, S. 2009. Fundamentals of mechanical-damage based losses of agricultural crops. The 1st edition, University Jihad Organization in Ardebi. 183 p.

Alami, H., Khoshtaghaza, M.H. and Minaei, S. 2009. Determination of mechanical properties of soybean. Iranian Journal of Food Science and Technology, 6(2): 113-124 (In Persian).

Alishah, O. 2014. Report on selection, introducing and release of new cultivar of cotton zero-type CRI-NNC (Latif) to grow in high densities. The final report of Cotton Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran.

Altuntaş, E., and Yildiz, M. 2007. Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba been (*Vicia faba* L.) grains. Journal of Food Engineering. 78:174-183.

Asadzade, A.H. 2011. Determination of some physical and mechanical properties of cotton seed. M. Sc. thesis, Faculty of Agriculture. University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil, Iran (In Persian).

Asadzade, A H. 2011. Determining Physical and mechanical properties of cottonseed. M.Sc. Thesis Mohaghegh Ardabili. (In Persian).

Aydin, C. 2002. Physical properties of hazel nuts. Journal of Biological Engineering. 82: 297-303.

Aydin, C. 2003. Physical properties of almond nut and kernel. Journal of Food Engineering. 60: 315-320.

Azadbakht, M., Esmaeilzadeh, E.M., and Esmaeili-Shayan. 2014. Energy consumption during impact cutting of canola stalk as a function of moisture content and cutting height. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 14(2); 147-152. (In Persian).

Azadbakht, M., Ghajarjazi, E., Abdi-Gaol, F., and Amiri, E. 2015. Determination of some physical and mechanical properties of Barkat variety of broad bean. Agric Eng Int: CIGR Journal Open access at http://www.cigrjournal.org. 17(3). (In Persian).

Bargale, P.C., and Irudayaraj, J. 1995. Mechanical strength and rheological behavior of barley kernels. Journal of Food Science and Technology. 30:609-623.

Ekinci, K., Yilmaz, D., and Ertekin, C. 2010. Effects of moisture content and compression positions on mechanical properties of carob pod (Ceratonia siliqua L.), African Journal of Agricultural Research, 5(10): 1015-1021.

Foutz, T.L., Thompson, S.A., and Evans, M.D. 1993. Comparison loading response of packed grain and individual kernels. Transactions of the ASAE. 36(2):569-576.

Ghaderi-Far, F., Soltani, A. 2010. Control and certification of seed. Mashhad University of Jahad publications. 200 p. (In Persian).

Gooding, M.J., Murdoch, A.J., and Elis, R.H. 2000. The value of seeds. In: Seed technology and biological basis, By: Black, M. and Bewely, J.D. 3-41. CRC Press.

Hammidi, A. 2011. Cotton seed processing. Seed and plant Certification and Registration Research Institute. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran. (In Persian).

Hopper, N.W., and McDaniel, R.G. 1999. The cotton seed. In: Cotton, origin, history, technology and production, 289-317, Wayne Smith, C. and Cothren, J.T. (eds.), John Wiley and Sons, Inc.

ISTA. 2009. International rules for seed testing. The International Seed Testing Association (ISTA).

Karaj, S., and Müller, J. 2010. Determination of physical, mechanical and chemical properties of seeds and kernels of Jatropha curcas L. Ind. Crops Prod.: 1-10.

Kazaei, J., Borghei, A.M., and Rasekh, M. 2003. Determining the physical and mechanical properties of almond and its kernel. Journal of Agricultural Sciences. 9(3): 11-33. (In Persian).

Khadi, B.M., Santhy, V., and Yadav, M.S. 2010. Cotton: an introduction. In: Cotton, Biotechnological Advances, pp: 1-14, By: Zehr, U.B. (Ed.), Springer.

Khazaei, J. 2008. Characteristics of mechanical strength and water absorption in almond and its kernel. Cercetări Agronomic în Moldova. 1(133).

Kilickan, A., Guner, M. 2008. Physical properties and mechanical behavior of olive fruits (*Olea europaea* L.) under compression loading. Journal of Food Engineering. 87: 222-228.

Kubilay, V., and Faruk, O. 2004. Mechanical behavior of apricot pit under compression loading. Journal of Food Engineering. 65: 255-261.

Manimehalai, N., and Viswanathan, R. 2006. Physical properties of fuzzy cottonseeds. Biosystem Engineering. 95(2): 207-217.

Mohsenin, N.N. 1984. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon Science Publishers

Oosterhuis, D.M., and Jernstedt, J. 1999. Morpholoy and anatomy of cotton plant, *in*: Cotton, origin, technology and production, PP: 175-206, By: Wayne Smith, C. and Cothren, J.T. (eds), John Wiley and Sons, Inc.

Rasekh, M., and Majdi, R. 2012. Some mechanical properties of garlic. Journal of Food Science and Technology. 9(34): 53-63.

Razavi, S. M. A., and Akbari, R. 2012. Biophysical Properties of Agricultural and Food Materials. Ferdowsi University of Mashhad press. Fifth Edition.118-119. (In Persian).

Saiedirad, M.H., Tabatabaeefar, A., and Badii, F. 2008. Contributing factors to the mechanical strength of cumin seed under Quasi-Static Loading. Journal of Agricultural Engineering Research 9(3): 23-34.

Sitkei, G. 1986. Mechanics of agricultural materials. Translated by S. Bars. Elsevier Science Publishers, New York.

Tabatabaeefar, A., Saiedirad, M.H., Borghei, A., Mirsalehi, M., Badii, F. Ghasemi and varnamkhasti, M. 2008. Effect of moisture content, seed size, loading rate and seed orientation on force and energy required for fracturing cumin seed (*Cuminum cyminum* Linn.) under quasi-static loading. Journal of Food Engineering. 86: 565-572.

Tavakoli, H., Mohtasebi, S.S., Rajabipour, A., and Tavakoli, M. 2009. Effect of moisture content, loading rate, and grain orientation on fracture resistance of barley grain. Research Agricultural Engineering, 55 (3): 85-93.