تعیین خواص مکانیکی کرچک در بارگذاری شبه استاتیک

محمد صفی‌الدین اردبیلی[۱]، برات قبادیان[۲]، تیمور توکلی هشجین[۳]، محمدهادی خوش‌تقاضا[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲و۴- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

۳- استاد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

safieddin62@gmail.com

چکیده

در این تحقیق اثر رقم و سرعت بارگذاری بر خواص مکانیکی دانه کرچک شامل نیرو و انرژی شکست، نیروی تسلیم بیولوژیکی، ضریب الاستیسیته ظاهری و چقرمگی مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش‌ها تحت بارگذاری شبه استاتیک به کمک دستگاه آزمون مواد اندازه‌گیری شد. در این تحقیق از پنج توده بذر (دزفول، ایذه، باغملک، شوشتر و ارومیه) و چهار سطح سرعت (۵، ۱۵، ۲۵، ۳۵mm/min) استفاده گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم بر روی نیرو، ضریب الاستسیته ظاهری و نیروی نقطه تسلیم بیولوژیکی و انرژی شکست معنی‌دار بود. بیشترین نیروی شکست مربوط به توده بذر ایذه و کمترین میزان نیروی شکست مربوط به توده بذر دزفول و شوشتر می‌باشد. توده بذر ایذه و باغملک با میانگین نیروی شکست ۷۵/۱۱ N و ۶۸/۲۱ N بیشترین و توده بذر باغملک، دزفول و شوشتر کمترین مقدار نیروی شکست را داشته‌اند. تاثیر سرعت بر میزان نیروی نقطه تسلیم بیولوژیکی اثر معنی‌دار داشت. تاثیر متقابل رقم در سرعت برای مدول الاستیسیته و انرژی شکست معنی‌دار بود. ضریب کشسانی در توده بذری باغملک با افزایش سرعت از ۱۴۴ به ۶۵/۵ به صورت معنی‌داری کاهش پیدا کرده است. میانگین ضریب کشسانی توده‌های دزفول، ایذه، شوشتر به ترتیب برابر با ۸۷/۴۴ ، ۸۰/۹ و ۹۱/۱۸MPa بدست آمد.

کلیدواژه: کرچک، انرژی شکست، ضریب الاستیسیته ظاهری، چقرمگی، نقطه تسلیم بیولوژیکی.

۱- مقدمه

کرچک با نام علمی (Ricinus communis.L) گیاه روغنی و دارویی از خانواده فرفیون (Euphorbiacea) می‌باشد که به طور عمده در مناطق گرمسیری رشد می‌کند شکل(۱). مهمترین ماده تشکیل دهنده دانه کرچک روغن آن است که در واریته‌های تجاری مقدار آن بین ٤٠-٥٥ درصد می‌باشد. در شرایط مطلوب از هر هکتار ٤-٥ تن کرچک برداشت می‌شود و تولید روغن بالقوه به طور میانگین در جهان ٤٦٠ کیلوگرم در هکتار است [Franke, 1994; Volkhard and Nogueria, 2008].

شکل ۱: گیاه کرچک.

کشورهای هندوستان، چین و برزیل از جمله کشورهایی هستند که بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند که به ترتیب ترتیب با تولید ۸۷۰، ۲٦۰و۱۷۰ میلیون تن در مقام اول تا سوم جهان قرار دارند. سهم سایر کشورها در تولید کرچک ۱۱۰ میلیون تن می‌باشد [Fao, 2008]. کرچک به طور عمده به خاطر روغن آن کشت می‌گردد. روغن کرچک با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی آن موارد استعمال فراوانی در صنعت، داروسازی و تولید سوخت بیودیزل دارد [Ogunniyi, 2006]. شناخت خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی همچنین مدلسازی مهندسی آن‌ها در طراحی ماشین‌ها و ادوات کشاورزی مرتبط با آن محصول از جایگاه مهمی برخوردار است. در مرحله پس از برداشت و فراوری محصول و انتقال آن تعیین خواص مکانیکی از جمله ضریب کشسانی در کاهش صدمات مکانیکی، افزایش بازده فراوری و بهینه‌سازی ماشین‌های فراوری موثر می‌باشد [توکلی هشجین، ۱۳۸۳; Porazarang, 2002]. در مورد تعیین نیرو و انرژی لازم برای شکست دانه تحقیقات بسیاری صورت گرفته است، از جمله Foutz و همکاران (۱۹۹۳) معتقد بودند که مقاومت مکانیکی دانه به ترکیبات سلولزی دیوارره سلول و مواد مرکبی که سلول و مواد مرکبی که سلول‌ها را به هم پیوند می‌دهند دارد. نیروی شکست دانه تحت تاثیر نیروهای استاتیک و شبه استاتیک معیار مناسبی برای طراحی ادوات با کارایی و کیفیت کار بالاتر می-باشد، که از آن می‌توان به عنوان اصول اولیه و اساسی در طراحی و تنظیم قسمت‌های مختلف ماشین‌هایی که با دانه در ارتباط می‌باشند، استفاده نمود [Bargale and Irudayaraj, 1995].

از آنجایی‌که آزمایش بارگذاری شبه استاتیک معمولا بیانگر ویژگی‌های مقاومتی و خواص مکانیکی نمونه مورد آزمایش خواهد بود می‌تواند در طراحی و بهینه‌سازی ماشین‌های فرآوری، همچون ماشین‌هایی که در فرآیند

استخراج روغن از دانه کرچک استفاده می‌شود، مورد بهره‌برداری قرار گیرد. هدف این تحقیق بررسی اثر رقم، سرعت بارگذاری بر خواص مکانیکی دانه کرچک، شامل نیرو و انرژی شکست، نیروی نقطه تسلیم بیولوژیکی، ضریب الاستیسیته ظاهری و چقرمگی می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ آماده سازی نمونه‌ها

برای انجام آزمایشات پنج نمونه توده بذر کرچک از مناطق ارومیه، دزفول، ایذه، باغملک وشوشتر تهیه گردید. کلیه دانه‌ها به طور دستی تمیز و دانه‌های شکسته از آن جدا شده و دانه‌های یک دست و سالم برای انجام آزمایشات باقی ماندند شکل(۲). مقدار معینی از نمونه‌ها را برای مدت ۷۲ ساعت در دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس درون آون قرار گرفته و براساس روش استاندارد وزنی مقادیر رطوبت اولیه هر یک از ارقام اندازه‌گیری شد[ASAE, 200] .

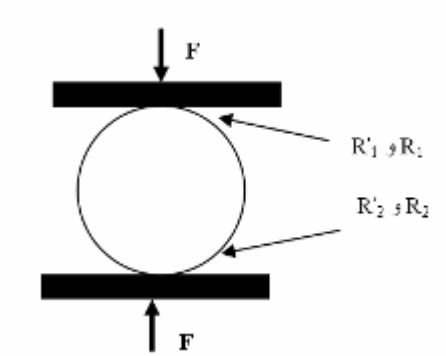
شکل ۲: دانه کرچک.

۲-۲ روش آزمایش

برای تعیین خواص مکانیکی از ماشین آزمون مواد (مدل H50K-S، مارک Hounsfield و ساخت کشور انگلستان) با لود سل N ۵۰ استفاده شد شکل(۳). در این تحقیق برای بررسی اثر سرعت اعمال نیرو بر روی میزان نیروی شکست، دانه کرچک تحت بار با سرعت‌های ثابت ۳۵mm/min، ۲۵، ۱۵، ۵ قرار گرفت. نحوه بارگذاری نمونه‌ها در بین دو صفحه موازی در شکل (٤) نشان داده شده است.

تعداد ۱۰ دانه در هر سطح آزمایش در نظر گرفته شد. دانه بین دو صفحه تخت ثابت و متحرک دستگاه آزمون مواد قرار گرفت و نمودار نیرو- تغییر شکل دانه به طور پیوسته ترسیم گشت و بارگذاری تا لحظه ای که نیرو به بیشترین مقدار خود می‌رسید، ادامه یافت. میزان تغییر شکل و نیرو در نقطه شکست برای دانه کرچک مستقیما از نمودار استخراج شدند.

شکل۳: دستگاه آزمون مواد.



شکل ٤: نحوه بارگذاری نمونه‌ها در بین دو صفحه موازی [ASAE, 2004].

انرژی مصرفی برای شکست دانه کرچک نیز با محاسبه سطح زیر منحنی نیرو- تغییر شکل، به روش ذوزنقه-ای از نرم افزار Excel بدست آمد :

$$E = \left(\frac{F_r . D_r}{2} \right) \qquad (۱)$$

که در این رابطه، E انرژی (N.mm)، F_r نیروی شکست (N) و D_r تغییر شکل (mm) تا نقطه شکست می-باشد[Braga et al., 1999]. چقرمگی[1] عبارت از مقدار کاری است که بر واحد حجم جسم وارد می‌شود تا شکستگی حاصل شود. با توجه به اینکه سطح زیر منحنی معرف کار انجام شده برای شکست دانه نیز می‌باشد، لذا با توجه به تخمین حجم دانه با توجه به شکل بیضوی دانه کرچک، مقدار چقرمگی ظاهری برای دانه کرچک محاسبه شد. طی تحقیقی با بارگذاری تک محوری بر روی دانه‌های دست نخورده، مقدار ضریب الاستیسیته ظاهری دانه بر مبنای تئوری هرتز برای سطوح محدب تعیین گردید.

[1] Toughness

بنابراین در این تحقیق با استفاده از تئوری هرتز و روش فشردن دانه بین بین دو صفحه موازی، ضریب الاستیسیته دانه در شرایط مختلف محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از پارامترهایی که از منحنی نیرو- تغییر شکل آزمون بارگذاری بدست آمده و از رابطه (۲) مقدار ضریب الاستیسیته ظاهری برای دانه کرچک محاسبه شد.

$$E = \frac{0.338K^{3/2}F\left(1-\mu^2\right)}{D^{3/2}}\left[\left(\frac{1}{R_{\min 1}}+\frac{1}{R_{\max 1}}\right)^{1/3}+\left(\frac{1}{R_{\min 2}}+\frac{1}{R_{\max 2}}\right)^{1/3}\right]^{3/2} \qquad (۲)$$

در معادله بالا E ضریب کشسانی ظاهری بر حسب MPa، F نیروی فشاری بر حسب N، D تغییر شکل دانه بر حسب mm و بالاخره μ ضریب بی بعد پواسن می‌باشد، که با توجه به نسبت سایر دانه‌ها ۰/٤ فرض می‌شود [Misra and Yong, 1981]. در حالیکه R_{min1} و R_{max1} به ترتیب کمینه و بیشینه شعاع انحناء نمونه‌های منحنی شکل در نقطه تماس با صفحه بالایی و R_{min2} و R_{max2} به ترتیب کمینه و بیشینه شعاع انحنا نمونه‌ها منحنی شکل در نقطه تماس با صفحه پایینی می‌باشد. همچنین در رابطه فوق K عامل بدون بعد است که به خصوصیات هندسی دو جسم تحت تماس بستگی داشته و بصورت تابعی از $\cos\theta$ که در رابطه (۳) بیان شده است و با استفاده از جدول موجود استاندارد تعیین می‌گردد [Porazarang, 2002; ASAE, 2004].

$$\cos\ \theta = \frac{\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_1'}\right)+\left(\frac{1}{R_2}-\frac{1}{R_2'}\right)}{\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_1'}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_2'}\right)} \qquad (۳)$$

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS16 انجام شد. برای مقایسه میانگین از روش LSD نرم افزار MSTATC استفاده شد، همچنین برای رسم نمودارها از نرم افزارExcel 2007 استفاده گردید.

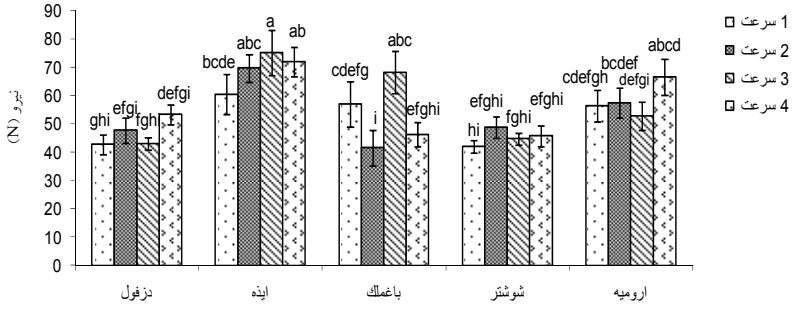
۳- نتایج و بحث

نتایج اولیه این آزمایش نشان داد که منحنی نیرو- تغییر شکل دانه کرچک تحت بارگذاری شبه استاتیک همانند دیگر مواد بیولوژیک بوده و در اغلب موارد می‌توان در بخش اولیه و در محدوده قبل از نقطه عطف، محدوده‌ای را به صورت خطی در آن در نظر گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل رقم در سرعت در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد.

۳-۱ میزان نیروی شکست دانه

نتایج مقایسه میانگین ارقام مختلف نشان داد که توده بذر ایذه و باغملک در سرعت ۳۵ mm/min با میانگن نیروی شکست ۷۵/۱۱ N و ٦٨/٢١ N بیشترین مقدار نیرو و در سرعت ۲۵ mm/min توده بذر باغملک، دزفول و شوشتر کمترین مقدار نیرو را داشته‌اند.

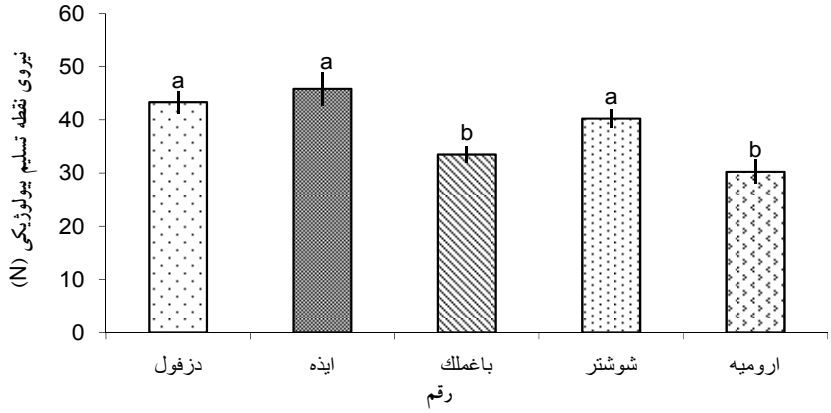
یکی از دلایل بیشتر بودن مقدار نیروی شکست در توده بذر ایذه نسبت به ارقام دیگر می‌تواند چگالی دانه باشد که مقدار این پارامتر در رقم ایذه نسبت به ارقام دیگر، بیشتر می‌باشد. گرچه در سرعت‌های بارگذاری شده بین توده‌های بذر دزفول، باغملک و شوشتر در سرعت mm/min ۲۵ مقدار نیرو کمتر بوده، اما توده بذر باغملک در این سرعت دارای کمترین میانگین می‌باشد. در توده‌های بذر شوشتر، دزفول و ارومیه در سرعت‌های مختلف تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد شکل(۵).



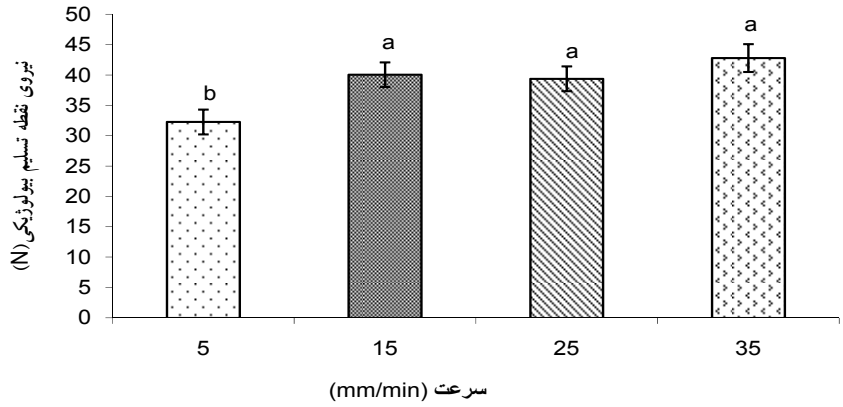
شکل ۵: اثر متقابل رقم در سرعت بر ماکزیمم نیروی شکست دانه کرچک.

۳-۲ میزان نیروی نقطه تسلیم بیولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم و اثر سرعت بر روی ماکزیمم نیروی نقطه تسلیم بیولوژیکی معنی دار (در سطح ۵ درصد) بوده و توده بذر ایذه و شوشتر و دزفول به ترتیب دارای بیشترین مقدیر نیرو و توده بذر ارومیه و باغملک دارای کمترین میزان نیرو می‌باشند شکل(٦و٧). سرعت mm/min ۵ دارای کمترین نیروی لازم برای تسلیم بیولوژیکی را دارا می‌باشد که احتمالا به علت کاهش اثر بارگذاری استاتیکی می‌باشد زیرا در سرعت-های بالاتر بیشتر حالت دینامیکی مطرح می‌باشد. بیشتر بودن چگالی توده بذر ایذه نسبت به سایر توده‌ها یکی از دلایل این تفاوت می‌باشد.



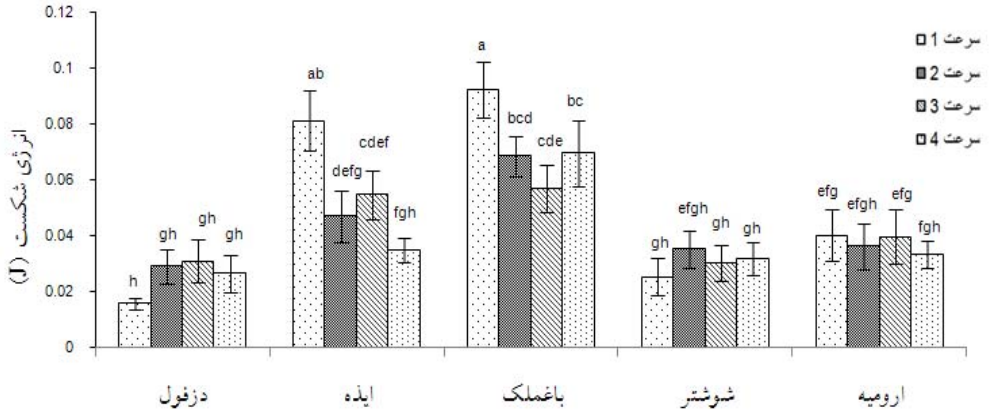
شکل٦: اثر رقم بر نیروی تسلیم بیولوژیکی.



شکل۷: اثر سرعت بر نیروی نقطه تسلیم بیولوژیکی دانه کرچک.

۳-۳ میزان انرژی برای شکست دانه

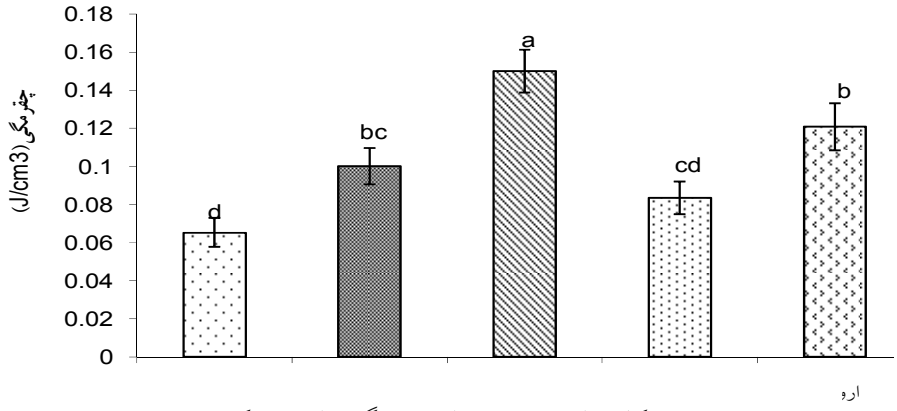
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل رقم در سرعت بر روی انرژی معنی‌دار(در سطح ۵ درصد) بوده است. اثر سرعت بر روی توده‌های بذری دزفول، شوشتر و ارومیه معنی‌دار نبوده و بر روی توده بذر ایذه و بهبهان معنی‌دار بوده است. بیشترین میزان انرژی را توده بذری باغملک و کمترین را توده بذری دزفول به خود اختصاص داده‌اند. در هر سرعت اثر رقم بر روی انرژی معنی‌دار بوده است. با توجه به اینکه مقدار انرژی با محاسبه سطح زیر منحنی نیرو- تغییر شکل تا نقطه شکست می‌باشد، هر چند نیروی شکست توده بذر ایذه بیشتر از سایر توده‌های بذر بود، ولی به دلیل تغییر شکل کمتر تا نقطه شکست، مقدار انرژی شکست در این توده کمتر از توده بذر باغملک بدست آمد شکل(۸).



شکل۸: اثر متقابل رقم در سرعت بر میزان انرژی دانه کرچک.

۳-٤ میزان چقرمگی ظاهری دانه

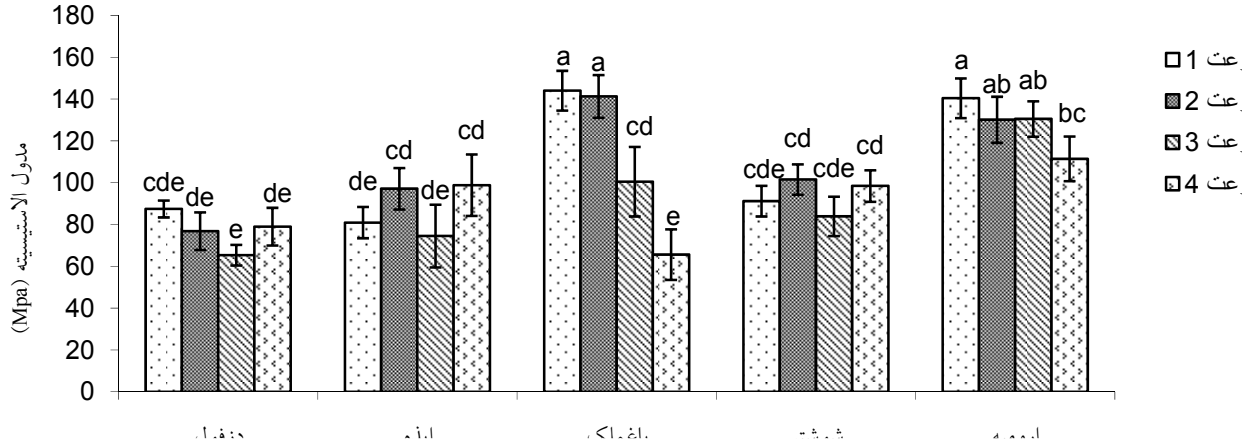
نتایج تجزیه آماری مربوط به اثر فاکتورهای رقم، سرعت بارگذاری بر میزان چقرمگی نشان داد که فاکتور رقم تاثیر معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) بر میزان چقرمگی دارد شکل(۹). نتایج مقایسه میانگین‌ها برای اثر رقم بر چقرمگی نشان داد که توده بذر باغملک بیشترین میزان چقرمگی را داشته توده بذر دزفول و شوشتر نسبت به سایر توده‌ها دارای کمترین میزان چقرمگی می‌باشد. با توجه به اینکه مقدار چقرمگی دانه رابطه مستقیم با سطح زیر منحنی داشته، و رطوبت‌های بالا (به دلیل تغییر شکل بیشتر تا نقطه شکست دانه)، سطح زیر منحنی مذکور بیشتر می‌باشد لذا چقرمگی دانه نیز بیشتر است. حداکثر فشاری که بعد از آن دیگر نیاز به فشار اضافی نیست و بافت دائماً تغییر شکل پیدا می‌کند، نقطه شکست میکروسکوپی بافت یا نقطه تسلیم بیولوژیکی می‌نامند که نشان‌دهنده پارگی اولیه سلول در ساختار سلولی ماده است.



شکل۹: اثر رقم بر میزان چقرمگی دانه کرچک.

۳-۵ ضریب الاستیسیته ظاهری دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل رقم در سرعت برای مدول الاستیسیته ظاهری معنی دار(در سطح ۵ درصد) بود. بیشترین میزان ضریب کشسانی را توده بذری ارومیه و باغملک به ترتیب با مقادیر متوسط ١٤٤ و ١٤٠/٤ MPa به خود اختصاص داده‌اند. توده بذری ارومیه با افزایش سرعت از ١٤٠/٤ به ١١١/٣ کاهش پیدا کرده است. ضریب کشسانی در توده بذری باغملک با افزایش سرعت از ١٤٤ به MPa ٦٥/٥ به صورت معنی داری کاهش پیدا کرده است. میانگین ضریب کشسانی توده بذری دزفول در سرعت‌های مختلف از ارقام دیگر کمتر بوده است. میانگین ضریب کشسانی توده‌های دزفول، ایذه، شوشتر به ترتیب برابر با ٨٧/٤٤، ٩/ ٨٠، ٩١/١٨MPa بدست آمد. با افزایش سرعت بار گذاری ضریب کشسانی در توده بذر باغملک کاهش پیدا می‌کند که این به علت کاهش اثر بارگذاری استاتیکی می‌باشد زیرا در سرعت های بالاتر بیشتر حالت دینامیکی مطرح می‌باشد.



شکل ۱۰ : اثر متقابل رقم در سرعت ضریب الاستیسیته ظاهری دانه کرچک در ارقام مختلف.

٤- منابع

۱- توکلی هشجین، ت. (۱۳۸۳). مکانیک محصولات کشاورزی (تالیف سیتکی، ج). انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

2- ASAE. (2001), ASAE, Standard unground grain and seeds. In: ASAE Standards 2001, ASAE, St. Joseph, MI.

3-ASAE, (2004). ASAE standard, S368.4, Compression test of Food Material of Convex Shape . American Society of Agricultural Engineering, page 580-592.

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

5- Braga, G. C.,Couto, S. M., Hara., and Neto, J. T. P. A.(1999). Mechanical behaviour of macadamia nut under compression loading. Journal of Agricultural Engineering Research,72, 239-245

6- FAO online < http:\\faostat.fao.org >, 2008.

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

8- Franke G. Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen. Bd. 2. Deutschland: Leipzig; 1994.

9- Misra, R. N. and Yong, J. H. (1981). A mode for predicting the effect of moisture content on the modulus of elasticity of soybean. Transactions of the ASAE. 34(5):2135-2138.

10- Ogunniyi, D. S. (2006). Castor Oil: A Vital Industrial Raw Material. Journal of Bioresource Technology, 97: 1086-1091.

11- Por Azarang, H. (2002). Unit Operation in Agricultural Material Processing. 1st end. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Mashhad, Iran.

12- Volkhard, S., Nogueria, J. (2008). Prospects and Risks of The Use of Castor Oil as A Fuel. Journal of Biomass & Bioenergy, 32: 95-100.

Abstract

This study was carried out to determine the effect of seed growing regions and loading speed on some mechanical properties of Castor seed. These properties are used for design and improve related machines such as Expeller that are used for extraction of oil from Castor seed. Mechanical properties of Castor seed were expressed in terms of rupture force and energy, bio-yield force, modulus of elasticity and toughness using material testing machine. Factorial test with Randomize Block design was used to study the effect of velocity (4 levels: 5, 15, 25, 35 mm/min) and seed growing region (Izeh, Dezfoul, Baghmalek, Shoushtar and Urmia). The results showed that the effect of seed growing regions on force, modulus of elasticity, bio-yield force and rupture energy was significant. Izeh seed had maximum rupture force and Dezfoul and Shoushtar seed had minimum amount of rupture force. Also loading speed had a significant effect on modulus of elasticity and rupture Energy. With the increase of loading speed elasticity modulus for Baghmalek seed significantly decreased from 144 MPa to 65.5 MPa. Finally, interaction effect of seed growing region and loading speed was significant for most properties.

Keywords: Castor Seed, Rupture Energy, Modulus of Elasticity, Toughness, Bio-yield Point.