

بررسی برخی خواص فیزیکی لیموترش جهرمی

محمد هادی موحدنژاد^۱، محمد هادی خوش تقاضا^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۸۸/۷/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۰/۵/۲۳)

چکیده

در این تحقیق برخی خواص فیزیکی لیموترش جهرمی مورد مطالعه قرار گرفت. خواص فیزیکی شامل جرم، قطرهای اصلی، حجم، چگالی، ضریب کرویت، قطر هندسی و میزان مقاومت بود. برای تعیین میزان مقاومت لیموترش، آزمون فشار با دستگاه ماشین آزمون مواد با استفاده از دو فک تخت انجام گرفت. آزمایشها در سه سطح جرمی ($m > 23 \text{ g}$ ، $m < 23 \text{ g}$ و $18 \text{ g} < m < 18 \text{ g}$)، در سه سرعت بارگذاری (۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ میلی‌متر بر دقیقه) و در دو جهت بارگذاری عمودی (درجهت قطر بزرگ) و افقی (درجهت قطر متوسط) انجام شدند. پارامترهای بدست آمده شامل نیرو و انرژی شکست، چغرمگی و مدول الاستیسیته بودند. نتایج خواص فیزیکی نشان داد که میانگین جرم، حجم، چگالی، ضریب کرویت و قطر هندسی لیموترش‌ها به ترتیب 21.48 g ، 21.24 cm^3 ، 1.012 g/cm^3 و 0.90 بودند. همچنین نتایج حاکی از معنادار شدن اثرات اصلی جهت بارگذاری، سرعت بارگذاری و اندازه در شاخص مدول الاستیسیته ($p < 0.01$) و اثر متقابل سرعت بارگذاری و اندازه در انرژی شکست ($p < 0.01$) و چغرمگی ($p < 0.05$) بود. اما هیچ یک از شاخص‌ها در نیروی شکست معنادار نشد. علاوه بر آن نتایج نشان داد که سرعت بارگذاری رابطه عکس با انرژی شکست و رابطه مستقیم با چغرمگی و مدول الاستیسیته داشته است. در مقابل، اندازه، تاثیر زیادی روی انرژی شکست و چغرمگی نداشته ولی مدول الاستیسیته رابطه معکوسی با اندازه از خود نشان داد.

کلید واژگان: خواص فیزیکی؛ دستگاه آزمون مواد؛ چغرمگی؛ مدول الاستیسیته

۱- مقدمه

اصلی تولید آن در جنوب جیرفت، کهنوج، میناب، بلوچستان و جهرم قرار دارد [۲]. لیموترش با سطح زیر کشت ۵۵,۰۰۰ هکتار، ۲۳/۶ درصد سطح زیر کشت مرکبات ایران و ۶/۸ درصد سطح زیر کشت لیموترش جهان را شامل می‌شود. این محصول با تولید سالانه ۱,۱۰۰,۰۰۰ تن و با عملکردی برابر ۲۰,۰۰۰ کیلوگرم در هکتار ۲۸/۷ درصد تولید داخلی مرکبات و ۸/۷ درصد تولید لیموترش جهان را به خود اختصاص داده است [۳]. به منظور بهینه‌سازی ماشین برداشت تکانه‌دهنده^۱ گریپ فروت، خواص فیزیکی گریپ‌فروت مورد بررسی قرار گرفت. در

لایم (*Citrus aurantifolia L.*) از گونه‌های اولیه مرکبات است و دارای دو نوع میوه‌ی اسیدی و غیر اسیدی می‌باشد. از ارقام غیر اسیدی می‌توان به لیموشیرین اشاره کرد. ارقام اسیدی نیز شامل میوه‌های بزرگ (مانند: Tahiti Lime, Persian Lime, Bearss) و کوچک (مانند: Mexican Lime, Key lime) است. ارقام کوچک معروف به West Indian بوده و دارای برگهای کوچک و گرد و میوه‌های کوچک می‌باشد [۱]. در ایران رقم Mexican Lime به نام های آب شیراز، لیمو شیشه، لیمو عمانی، لیمو شیرازی و لیمو جهرمی نامیده می‌شود. مراکز

* مسئول مکاتبات: khoshtag@modares.ac.ir

دستگاهها و افزایش تلفات و ضایعات در فراوری می‌شود. هدف از این تحقیق بررسی خواص فیزیکی شامل مشخصه های ابعادی، جرم و حجم و همچنین خواص مکانیکی شامل نیروی فشردگی لیموترش جهرمی به منظور استفاده آنها در فرایند آبگیری بوده است.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- تهیه نمونه

لیموترش مورد استفاده در این تحقیق از نوع لایم مکزیکایی بوده که در شهرستان جهرم تولید و در هفته اول شهریور ماه ۸۴ برداشت شدند. میزان رسیدگی آن بر حسب بریکس به طور میانگین ۸ درصد و رطوبت اولیه لیموترشها بر پایه تر به طور میانگین حدود ۸۵٪ بود. محصول تا زمان آزمایش (هفته دوم شهریور) در دمای ۱۰°C و رطوبت نسبی حدود ۸۰٪ در سردخانه نگهداری گردید.

۲-۲- خواص فیزیکی

خواص فیزیکی اندازه‌گیری شده شامل جرم، سه قطر اصلی (قطر بزرگ، متوسط و کوچک)، حجم، چگالی، ضریب کرویت و قطر هندسی بود. ضریب کرویت و قطر هندسی طبق رابطه‌های زیر بدست آورده شد [۱۰]. قطرهای اصلی با استفاده از کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۲ mm اندازه‌گیری شدند.

$$d_e = (a \times b \times c)^{1/3} \quad (1)$$

$$\psi = d_e / a \quad (2)$$

در این روابط، d_e قطر هندسی (mm)، a ، b و c به ترتیب قطر بزرگ، قطر متوسط، قطر کوچک (mm) و ψ ضریب کرویت می‌باشند.

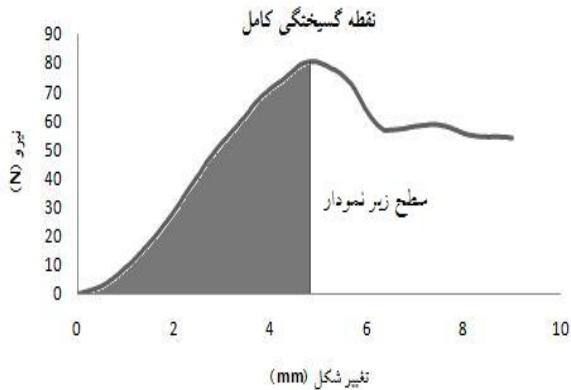
با توجه به ارتباط بیشتر میزان آب لیموترش با جرم آن (که همان اندازه می‌باشد)، در این مطالعه کلیه خواص فیزیکی در سه اندازه بزرگ، متوسط و کوچک که به ترتیب در سه دسته جرمی $23g < m < 23g$ ، $18g < m < 18g$ ایجاد گردید، اندازه‌گیری شد. در هر دسته جرمی تعداد ۹۰ نمونه انتخاب گردید. جرم با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت اندازه‌گیری ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. با استفاده از خاصیت ارشمیدس،

ارتباط با خواص فیزیکی، قطرهای بزرگ، کوچک و متوسط و جرم نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج این تحقیق میزان نیروی عمودی $73/44 N$ برای جدا کردن میوه بدست آمد [۴]. همچنین در تحقیقی فیدلیبوس و همکاران خواص مکانیکی پوست و میوه پرتقال را تحت تاثیر هورمون اسید جیبرلیک مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق آزمون فشار و برشی میوه مورد مطالعه قرار گرفت. نتیجه نشان داد که این تیمار اثر قابل توجهی روی خواص فیزیکی میوه کامل نداشت. میزان مدول الاستیسیته برای پرتقال حدود $586 kPa$ بدست آمد [۵]. میلر نیز خواص فیزیکی مرکبات که مرتبط با عملیات پس از برداشت بوده را بررسی نمود. در این پژوهش شاخص تنش^۱، ضریب الاستیسیته^۲ و نیروی گسیختگی^۳ در میوه کامل مورد بررسی قرار گرفت و میزان مدول الاستیسیته بدست آمده ۲ تا ۳ برابر مقدار بدست آمده در تحقیق فیدلیبوس و همکاران [۵] بود [۶]. در تحقیقی ضریب پواسون مرکبات برابر با ۰/۳۳ بدست آمد [۷]. همچنین در تحقیق دیگری خواص فیزیکی و پوست و میوه پرتقال در مرحله پس از برداشت مورد مطالعه قرار گرفت [۸]. در این پژوهش خواصی چون مقاومت کششی و انرژی برشی پوست، نقطه تسلیم، سختی و انرژی برش پرتقال اندازه‌گیری شد. میزان نیروی تسلیم در بارگذاری افقی و عمودی به ترتیب از $134/8 N$ و $153/3 N$ بود. در تحقیقی دیگر خواص فیزیکی و غذایی چهار واریته پرتقال مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش خواصی چون قطرهای اصلی، قطر هندسی، ضریب کرویت، جرم، چگالی توده و حقیقی و حجم اندازه‌گیری شد. نتایج حاکی از معنادار بودن تفاوت در خواص فیزیکی و غذایی بر اساس واریته بود [۹].

به منظور طراحی و ساخت دستگاههای فراوری، بسته بندی و درجه بندی لیمو ترش، اطلاع از خواص فیزیکی و مکانیکی این محصول مورد نیاز می‌باشد. برای مثال، خواص مکانیکی در محاسبه انرژی مورد نیاز برای آبگیری لیمو ترش، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در دستگاههای بسته بندی و درجه بندی مشخصه های ابعادی محصول باید توجه قرار گیرد. عدم توجه به این خواص موجب صرف هزینه‌های زیاد در ساخت

1. Stress
2. Elasticity Module
3. Rupture Force

قبل از انجام آزمون فشار، خواص فیزیکی مانند حجم (با استفاده از روش ارشمیدس)، جرم و قطرهای تمام نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند. به کمک دستگاه آزمون مواد نمودار نیرو-جابجایی در طی فشردگی لیموترش تا مرحله گسیختگی کامل رسم و اطلاعات مربوط به نیرو، جابجایی و انرژی لهیدگی حاصل گردید (شکل ۲).



شکل ۲ منحنی فشرده‌گی نیرو-جابجایی لیموترش

برای محاسبه‌ی انرژی از سطح زیر نمودار استفاده شد. محاسبه‌ی چگرمگی^۲ از نسبت انرژی لهیدگی بر حجم نمونه‌ها بدست آمد. همچنین برای محاسبه مدول الاستیسیته از رابطه زیر استفاده شد [۵].

$$E = \frac{0.531 \times (1 - \mu^2) \times F}{D^{3/2}} \times \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1'} \right)^{1/2} \quad (3)$$

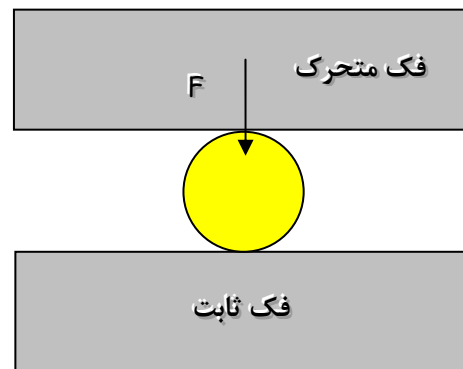
در این رابطه، R و R' شعاع انحنا پیشینه و کمینه در نقطه تماس با صفحه بارگذاری (mm) [که با استفاده از دستگاه انحنا سنج بدست آمد]، H قطر عمودی، L قطر افقی (mm)، F و D نیرو (N) و جابجایی (mm) در محدوده الاستیک (میزان جابجایی ۸ mm)، μ ضریب پواسون ($\mu=0.33$) و E مدول الاستیسیته (Pa) است.

برای انجام آنالیز آماری از آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی استفاده گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک نرم افزارهای SPSS نسخه ۹ انجام شد.

حجم نمونه‌ها با تغییر میزان حجم آب جابجا شده، اندازه‌گیری شد [۱۰] با داشتن حجم و جرم هر نمونه چگالی ظاهری آن محاسبه گردید.

۲-۳- آزمون فشار

برای تعیین خواص فیزیکی، آزمون فشار^۱ با دستگاه آزمون مواد (Hunsfield مدل H50 K-S ساخت انگلستان) با استفاده از دو فک تخت تا مرحله لهیدگی نمونه‌ها انجام گرفت (شکل ۱).



شکل ۱ دو فک مربوط به آزمون فشار

آزمون فشار در سه سطح جرمی ($m < 23 \text{ g}$, $m = 23 \text{ g}$, $m > 23 \text{ g}$)، در سه سرعت بارگذاری (۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۱۸ g و $m < 18 \text{ g}$)، در سه جهت بارگذاری عمودی (در جهت قطر بزرگ) و افقی (در جهت قطر متوسط)، در سه تکرار روی نمونه کامل انجام شدند. در هر تکرار یک نمونه‌ی لیموترش مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به پایین بودن ضریب تغییرات سه تکرار از دقت کافی برخوردار بود. با توجه به نقش جرم در راندمان آبی لیموترش در این آزمایش نیز سطوح جرمی مد نظر قرار گرفت. همچنین برای بررسی رفتار لیموترش در محدوده شبه استاتیکی و شبیه سازی فرایند آبیگیری (مانند روش FMC) سطوح سرعت بارگذاری انتخاب شدند. به دلیل شکل بیضوی لیموترش، قطرهای کوچک و متوسط تقریباً یکسان بوده در نتیجه بارگذاری در دو جهت قطر بزرگ و قطر متوسط صورت گرفت تا مشخص شود در چه حالتی انرژی و نیروی بیشتری مصرف می‌شود.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خواص فیزیکی

جدول ۱ میانگین و انحراف معیار خواص فیزیکی نمونه‌های لیموترش در سه سطح جرمی را نشان می‌دهد. همچنین رابطه‌ی بین تمام قطرهای سه‌گانه (قطرهای بزرگ و متوسط و کوچک) لیموترش با جرم و حجم به صورت زیر می‌باشند:

$$m = 0,760a - 0,26b + 0,29R^2 = c, 0,97 \quad (4)$$

$$v = 0,58a - 0,27b + 0,30R^2 = c, 0,97 \quad (5)$$

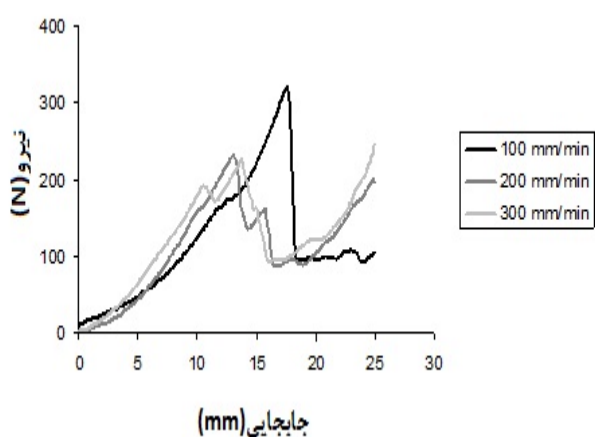
در این روابط، a ، b و c به ترتیب قطرهای بزرگ و متوسط و کوچک (mm)، m جرم (g) و v حجم (cm^3) می‌باشند. بر اساس نتایج تجزیه واریانس فقط تاثیر جرم بر پارامتر قطر هندسی معنادار نبود. با توجه به جدول ۱ قطرهای اصلی، جرم، حجم، قطر هندسی و ضریب کرویت رابطه‌ی مستقیم و چگالی رابطه‌ی معکوسی با اندازه جرمی داشت. یعنی با افزایش جرم، چگالی مقدار کمی کاهش یافته است. این امر به دلیل رسیدگی میوه و افزایش آب موجود در لیموترش می‌باشد.

۳-۲- آزمون فشار

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی فاکتورها بر مدول الاستیسیته در سطح ۹۹٪ معنادار شده در مقابل هیچ یک از اثرات متقابل برای مدول الاستیسیته معنادار نگردید. اثر متقابل سرعت بارگذاری و اندازه فقط برای انرژی لهیدگی در سطح ۹۹٪ و چگرمگی در سطح ۹۵٪ معنادار شده و اثر متقابل سه گانه سرعت بارگذاری و اندازه و جهت بارگذاری برای هیچ یک از خواص معنادار نشد (جدول ۲). همچنین هیچکدام از فاکتورها برای نیروی لهیدگی معنادار نبود. بر این اساس هر زمان اثر متقابل معنادار شود، اثرات اصلی فاقد اعتبار لازم می‌شود. در نتیجه می‌بایست اثرات متقابل را مورد بررسی قرار داد. همچنین در جایی که اثر متقابل سه گانه معنادار شود، اثرات دوگانه نیز مورد بررسی قرار نخواهد گرفت [۱۱، ۱۲].

۳-۳- انرژی لهیدگی

اثر ساده سرعت بارگذاری در اندازه: با توجه به روند تغییرات و جدول مقایسه میانگین مشاهده شد که با افزایش سرعت بارگذاری انرژی لهیدگی کاهش یافت (جدول ۳). با توجه به وابستگی انرژی لهیدگی به نیرو و جابجایی نقطه لهیدگی و به علت کاهش میزان جابجایی نقطه لهیدگی در سرعت‌های بالا (شکل ۳) و همچنین به خاطر نبود تفاوت قابل توجه بین نیروهای لهیدگی در سرعت‌های مختلف بارگذاری (معنادار نبودن سرعت بارگذاری بر اساس نتایج تجزیه واریانس) این روند توجیه می‌شود.



شکل ۳ منحنی نیرو-تغییر شکل در اندازه بزرگ و جهت بارگذاری عمودی

اثر اندازه لیموترش بر انرژی لهیدگی در سطوح سرعت بارگذاری: با توجه به نتایج مقایسه میانگین مشاهده شد که اندازه تاثیر چندانی بر انرژی لهیدگی نداشته است (جدول ۳). در دو سرعت ۱۰۰ و ۲۰۰ mm/min اندازه لیموترش تاثیری بر انرژی لهیدگی نداشت. ولی در سرعت ۳۰۰ mm/min روند تغییر کرده و میزان انرژی لهیدگی در اندازه بزرگ نسبت به دو اندازه دیگر کاهش یافته است. به دلیل کاهش تغییر شکل نقطه لهیدگی در سرعت ۳۰۰ mm/min میزان انرژی لهیدگی کاهش پیدا می‌کند. همچنین مقدار انرژی شکست به طور میانگین بین ۱/۲ تا ۱/۷ ژول تغییر می‌کند.

جدول ۱ نتایج خواص فیزیکی لیموترش در سه سطح جرمی

سطوح جرمی (g)			خواص فیزیکی
m < ۱۸ (کوچک)	۱۸ < m < ۲۳ (متوسط)	m > ۲۳ (بزرگ)	
۳۳,۸۵ ± ۲,۶ ^c	۳۷,۷۷ ± ۲,۴۴ ^b	۴۲,۲۷ ± ۲,۹۹ ^a	قطر بزرگ (mm)
۲۹,۲۷ ± ۲,۰۳ ^c	۳۲,۲۲ ± ۰,۸۹ ^b	۳۵,۶ ± ۱,۸۸ ^a	قطر متوسط (mm)
۲۹,۱۹ ± ۱,۴۸ ^c	۳۱,۹۸ ± ۱,۲۶ ^b	۳۵,۵۸ ± ۱,۹۶ ^a	قطر کوچک (mm)
۰,۸۹ ± ۰,۰۴ ^a	۰,۹۰ ± ۰,۰۴ ^a	۰,۹۱ ± ۰,۰۴ ^a	ضریب کرویت
۳۰,۶۸ ± ۱,۷ ^c	۳۳,۸۷ ± ۱,۰۷ ^b	۳۷,۶۷ ± ۱,۸۶ ^a	قطر هندسی (mm)
۱۵,۳۲ ± ۲,۱۹ ^c	۲۰,۹۸ ± ۱,۹۶ ^b	۲۸,۱۴ ± ۳,۹۸ ^a	جرم (g)
۱۵,۰۷ ± ۲,۱۷ ^c	۲۰,۷۳ ± ۱,۹۵ ^b	۲۷,۹۲ ± ۴,۰۵ ^a	حجم (cm ³)
۱/۰۱۷ ± ۰/۰۰۸ ^a	۱/۰۱۲ ± ۰/۰۰۷ ^b	۱/۰۰۹ ± ۰/۰۰۸ ^c	چگالی (g/cm ³)

میانگین ها دارای حروف مشترک، از نظر آماری معنی دار نمی باشند

جدول ۲ تجزیه واریانس خواص مکانیکی بر اساس فاکتورهای سرعت، اندازه و جهت بارگذاری

میانگین مربعات (MS)					
فاکتورها	درجه آزادی	نیروی لهدگی (N)	انرژی لهدگی (J)	چغرمگی (J/cm ³)	مدول الاستیسیته (Pa)
سرعت	۲	۴۵۸۷,۶۶۸ ^{ns}	۱,۳۶۹ ^{**}	۰,۰۰۱ ^{**}	۱۳۱۷۳۶,۹۲۵ ^{**}
اندازه	۲	۴۹۶۳,۵۰۹ ^{ns}	۰,۰۵۲ ^{ns}	۰,۰۰۱ ^{**}	۱۰۹۷۴۴,۲۲۹ ^{**}
سرعت × اندازه	۴	۳۲۵۷,۹۸۰ ^{ns}	۰,۲۷۳ ^{**}	۰,۰۰۱ [*]	۱۳۵۹۲,۳۶۱ ^{ns}
جهت	۱	۳۳۹,۰۰۲ ^{ns}	۰,۰۰۴ ^{ns}	۰,۰۰۰۰۰۳ ^{ns}	۶۳۷۶۱,۱۹۸ ^{**}
× جهت سرعت	۲	۳۳۸۶,۴۰۹ ^{ns}	۰,۰۸۶ ^{ns}	۰,۰۰۰۵ ^{ns}	۳۵۸۷,۵۶۴ ^{ns}
اندازه × جهت	۲	۳۱۸۰,۸۷۵ ^{ns}	۰,۱۴۸ ^{ns}	۰,۰۰۰۱ ^{ns}	۳۶۹۲۷,۰۴۱ ^{ns}
سرعت × اندازه × جهت	۴	۲۰۷۱,۶۳۲ ^{ns}	۰,۰۹۳ ^{ns}	۰,۰۰۰۰۶ ^{ns}	۱۰۷۹۹,۸۷۳ ^{ns}
خطا	۳۶	۱۷۷۵,۲۴۱	۰,۰۷۰	۰,۰۰۰۲	۱۳۹۳۷,۹۴
ضریب تغییرات	-	۱۴,۷۶	۱۷,۸۵	۱۹,۲۷	۱۳,۰۲

در سطح ۵٪ معنادار است، ** در سطح ۱٪ معنادار است، ns معنادار نیست

جدول ۳ مقایسه میانگین اثر متقابل اندازه میوه و سرعت بارگذاری بر انرژی لهدگی (J)

سرعت	۱۰۰ mm/min	۲۰۰ mm/min	۳۰۰ mm/min
بزرگ	۱,۹۱۴ ^{Aa}	۱,۴۴ ^{Ab}	۰,۸۹ ^{Bc}
متوسط	۱,۶۹۵ ^{Aa}	۱,۴۴ ^{Aa}	۱,۳۸ ^{Aa}
کوچک	۱,۶۳ ^{Aa}	۱,۵۹ ^{Aa}	۱,۳۱ ^{Aa}

حروف بزرگ: مقایسه میانگین سطوح اندازه حروف کوچک: مقایسه میانگین سطوح سرعت بارگذاری

جدول ۴ مقایسه میانگین اثر متقابل اندازه میوه و سرعت بارگذاری بر چغرمگی (J/cm^3)

			سرعت
۳۰۰mm/min	۲۰۰mm/min	۱۰۰mm/min	اندازه میوه
۰٫۰۶۱ ^{Ba}	۰٫۰۶۵ ^{Aa}	۰٫۰۶۴ ^{Aa}	بزرگ
۰٫۰۹ ^{Aa}	۰٫۰۷۳ ^{Ab}	۰٫۰۶۶ ^{Ab}	متوسط
۰٫۰۹۴ ^{Aa}	۰٫۰۷۳ ^{Aab}	۰٫۰۶۲ ^{Ab}	کوچک

حروف بزرگ: مقایسه میانگین سطوح اندازه حروف کوچک: مقایسه میانگین سطوح سرعت بارگذاری

۳-۴- چغرمگی

اثر سرعت بارگذاری بر چغرمگی در سطوح اندازه لیموترش: با توجه به مقایسه میانگین در دو اندازه متوسط و کوچک با افزایش سرعت بارگذاری میزان چغرمگی افزایش یافته است (جدول ۴). دلیل این امر به خاطر حذف اثر حجم می باشد. به عبارت دیگر انرژی در واحد حجم با افزایش سرعت بارگذاری افزایش می یابد. دلیل اصلی تفاوت در روند چغرمگی با انرژی لهیدگی به خاطر حجم نمونه می باشد.

اثر اندازه لیموترش بر چغرمگی در سطوح سرعت بارگذاری: مانند نتایج مربوط به انرژی لهیدگی، فاکتور چغرمگی نیز در دو سرعت ۱۰۰ و ۲۰۰ mm/min روند ثابتی را نشان می دهد و فقط در سرعت ۳۰۰ mm/min میزبان چغرمگی در اندازه بزرگ کاهش می یابد (جدول ۴). مقایسه با استفاده از داده های چغرمگی میزان آن بین ۰/۰۶ تا ۰/۰۸ J/cm^3 تغییر کرد. با استفاده از این بازه و داشتن انرژی در واحد حجم می توان در فرآوری لیموترش استفاده نموده و انرژی مصرفی را حدوداً پیش بینی کرد.

۳-۵- مدول الاستیسیته

با توجه به نتایج حاصله از مقایسه میانگین ها با افزایش اندازه میوه، مدول الاستیسیته کاهش می یابد (جدول ۵). دلیل این امر

به خاطر افزایش شعاع های تماسی بین لیمو و فک می باشد و به دلیل نارس بودن و رطوبت کمتر نمونه های کوچک نیز رفتار سخت تر آنها نسبت به اندازه های بزرگتر توجیه می شود. در مورد سرعت های بارگذاری با افزایش سرعت میزان آن نیز افزایش یافته است (جدول ۵). این روند در شکل ۳ قابل مشاهده است به طوری که با افزایش سرعت بارگذاری میزان شیب منحنی نیز افزایش یافته است. در کل این رفتار نشان دهنده افزایش سختی لیموترش در سرعت های بالاتر است. همچنین این رفتار در مواد دیگر ویسکوالاستیک نیز وجود دارد [۱۰]. با افزایش سرعت با توجه به مقاومت مواد نسبت به خروج مایع داخلی، میزان مقاومت افزایش می یابد. البته در سرعت های ۲۰۰ و ۳۰۰ mm/min مدول الاستیسیته تفاوتی با هم ندارند. با توجه به جدول مقایسه میانگین نشان می دهد که لیموترش در جهت بارگذاری افقی رفتاری سخت تر نسبت به جهت بارگذاری عمودی از خود نشان می دهد. در تحقیق Sing نیز این نتیجه مشاهده شد [۸]. میزان مدول الاستیسیته بدست آمده برای لیموترش حدوداً بین ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ kPa تغییر می کند. مدول الاستیسیته برای پرتقال حدود ۵۸۶ kPa بدست آمد [۵]. در تحقیق دیگر این شاخص برای پرتقال حدود ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ kPa تعیین شد [۶].

جدول ۵ مقایسه میانگین اثرات اصلی اندازه میوه، سرعت و جهت بارگذاری بر مدول الاستیسیته

اندازه میوه	مدول الاستیسیته (kPa)	سرعت (mm/min)	مدول الاستیسیته (kPa)	جهت	مدول الاستیسیته (kPa)
بزرگ	۸۳۱٫۵ ^b	۱۰۰	۸۱۰٫ ^b	عمودی	۷۹۸٫۴۱۱ ^b
متوسط	۹۰۲٫۳ ^b	۲۰۰	۹۷۱٫۳ ^a	افقی	۱۰۱۵٫۷۴۹ ^a
کوچک	۹۸۷٫۵ ^a	۳۰۰	۹۴۰٫ ^a		

میانگین ها دارای حروف مشترک، از نظر آماری معنی دار نمی باشند

- [3] Anonymous (2006). Agriculture Database of FAO-STAT. Available on the <http://faostat.fao.org/faostat/form?collection=Production.Crops.Primary&Domain=Production&servlet=1&hasbulk=0&version=ext&language=EN>
- [4] Llanes, O., Martinez, A., Leyva, I. and Morales, A. (1997). Determination of physical-mechanical properties of the grapefruit marsh. Center of mechanization agriculture (CEMA)-UNAH LA Habana. Available on the <http://www.siam.info.ve/revista/1999/numero2/articulo2.html>.
- [5] Fidelibus, M. W., Teixeira, A. A., Davies, F. S. (2002). Mechanical properties of orange peel and fruit treated pre-harvest with Gibberellic Acid. Transaction of the ASAE, 45(4): 1057-1062.
- [6] Miller, W. M. (1986). Physical properties data for post harvest handling of Florida citrus. Application of agriculture engineering, 3(1): 123-128.
- [7] Gyasi, S. R., Friedly, B., and Chen, P. (1981). Elastic and viscoelastic Poisson's ratio determination for selected citrus fruit. Transaction of ASAE, 24(3): 747-750.
- [8] Singh, K. K., Reddy, B. S. (2006). Post-harvest physico-mechanical properties of orange peel and fruit. Journal of Food Engineering, 73: 112-120.
- [9] Topuz, A., Topakci M., Canakci, M., Akinci I. and Ozdemir, F. (2005). Physical and nutritional properties of four orange varieties. Journal of Food Engineering. 66 : 519-523
- [10] Mohsenin, N. N. (1986). Physical Properties of Plant and Animals Materials. New York: Gordon and Beach Science.
- [11] Yazdi samadi, B., Rezaee, A., and Valizade, M. (2005). Statistical Designs in Agriculture Research. Tehran University.
- [12] Valizadeh, M. and Moghadam, M. (2004). Experimental Designs In Agriculture. Parivar, Tabriz.

۴- نتیجه گیری

- ۱- تاثیر جرم بر تمام پارامترها به غیر از قطر هندسی معنادار بود. همچنین حجم، قطر هندسی و ضریب کرویت رابطه‌ی مستقیم و چگالی رابطه‌ی معکوسی با اندازه جرمی داشتند.
- ۲- هیچ یک از شاخص‌های اندازه، سرعت بارگذاری و جهت قرارگیری تاثیر معناداری بر نیروی لهیدگی نداشته است. میزان نیروی لهیدگی نیز بین ۲۷۴ تا ۲۹۷ N تغییر می‌کند (با احتمال ۹۵٪).
- ۳- سرعت بارگذاری با انرژی لهیدگی رابطه معکوس دارد. این روند تقریباً در تمام اندازه‌ها مشاهده شد. به طور میانگین در سرعت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ به ترتیب ۱/۱۹۵، ۱/۴۹ و ۱/۷۴ بدست آمد.
- ۴- سرعت بارگذاری با چگرمگی رابطه مستقیمی داشت. البته در اندازه بزرگ مقدار با تغییرات سرعت تغییراتی نداشت. میزان چگرمگی در سرعت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ mm/min به ترتیب ۰/۰۶۴۱، ۰/۰۷۱ و ۰/۰۸۱۶ J/cm³ بدست آمد.
- ۵- شاخص اندازه تاثیر زیادی بر انرژی لهیدگی و چگرمگی نداشته است و تنها در سرعت ۳۰۰ mm/min مقداری متفاوت شد و میزان انرژی و چگرمگی در اندازه بزرگ نسبت به دو حالت دیگر کاهش یافت.
- ۶- تمام شاخص‌ها روی مدول الاستیسیته تاثیر داشتند. شاخص اندازه با آن رابطه معکوس داشته و میزان آن به ترتیب از بزرگ به کوچک ۸۳۱/۵، ۹۰۲/۲ و ۹۷۸/۴ kPa بودند. همچنین میزان مدول در سرعت ۱۰۰ mm/min نسبت به دو سرعت دیگر کمتر شد. در ضمن میزان آن در حالت افقی (۱۰۱۵/۷ kPa) بیشتر از حالت عمودی (۷۹۸/۴ kPa) شد.

۵- منابع

- [1] Fotoohi Ghazvini, R. (1998). Citrus Growing in Iran. Gilan University.
- [2] Azimi Tabrizi, M. (1990). Citrus, Planting and Nutrition. (by Delfez Fezits, W.). Hahid Chamran University.

Evaluation of some physical properties of jahromi lime

Movahednejad, M. H.¹, Khoshtaghaza, M. H.^{2*}

1- PhD. Student, Agricultural Machinery Engineering Department, Tarbiat Modares University

2- Associate Professor, Agricultural Machinery Engineering Department, Tarbiat Modares University

(Received:88/7/23 Accepted: 90/5/23)

In this study, some physical properties of Jahromi lime fruits were investigated. Physical properties such as mass, main diameters, volume, density, sphericity and geometric mean diameter were measured. Material testing machine was used to measure mechanical strength by using two plates compression test. The experiments were carried out at three mass levels ($m > 23$ g, $18 \text{ g} < m < 23$ g, $m < 18$ g), three loading speeds (100, 200 and 300 mm/min) and two loading directions [vertical (in maximum diameter direction) and horizontal (in medium diameter direction)]. Strength properties such as failure force and energy, toughness and elasticity module were determined. Result of physical properties of limes showed that the averages of mass, volume, density, sphericity and geometric mean diameter were 21.48 ± 5.98 g, 21.24 ± 6.00 cm³, 1.012 ± 0.008 g/cm³, 0.90 ± 0.04 and 34.07 ± 3.27 cm, respectively. Also, results showed that loading direction, loading speed and size factors had significant effect on elasticity module ($p < 0.01$). Interaction effect of loading speed and the size had significant effect on the failure energy ($p < 0.01$) and toughness ($p < 0.05$). But none of them have significant effect on the failure force. Moreover, the result showed that the loading speeds have indirect relation with failure energy and direct relation with toughness and elasticity module. Therefore, size had no effect on failure energy and toughness but size and elasticity module had indirect relation.

Key words: Physical properties; Material testing machine; Toughness; Elasticity module

* Corresponding author E-mail address: khoshtag@modares.ac.ir