مطالعه رفتار میوه خرمالو تحت بارگذاری(۶۳۹)

سعید مینایی[۱]، عیسی حزباوی[۲]، برات قبادیان [۱]، شهلا کاظمی[۳]

چکیده

ویژگی های فیزیکی و مکانیکی میوه خرمالو (Diospyrus kaki L) در این تحقیق ارائه شده است. این ویژگی‌ها برای طراحی تجهیزات درو، فرآوری و حمل و نقل، دسته بندی و بسته بندی مورد نیاز می‌باشند. ویژگی‌هایی مانند طول و قطر میوه، جرم، حجم، قطر میانگین هندسی، ضریب کرویت، چگالی توده، چگالی جامد، تخلخل، مساحت سطح، مساحت تصویر در دو جهت محورهای مختصات، ضریب اصطکاک، نیروی شکست، تغییر شکل، چقرمگی و انرژی شکست در نقطه شکست در رطوبت ٪ ۷۵/۲۱ تعیین شدند. میانگین طول، قطر، جرم، قطر میانگین هندسی و ضریب کرویت برای میوه خرمالو بترتیب برابر با mm ۶۳/۰۹ ، ۴۱/۸۴ mm، ۵۴/۹۶ g و ۱۰۳/۸۷ و ۰/۸۷ به دست آمد. میانگین حجم، چگالی جامد، چگالی توده و تخلخل برای میوه خرمالو بترتیب برابر با ۱۰۳/۸۷ cm^3، ۱۰۳۲/۲ kgm^{-3} ، ۴۹۲/۳۵ kgm^{-3} و ٪ ۵۲ محاسبه شد. نتایج نشان داد که مساحت سطح، سطح تصویر در جهت محور X ها و در جهت محور Yها بترتیب برابر با ۹۵/۵۶ cm^2، ۳۰/۱۷ cm^2 و ۲۴/۱ cm^2 می‌باشد. مطالعه ضریب اصطکاک میوه خرمالو بر روی برخی مواد مانند چوب چند لایه، ورق گالوانیزه، فولاد و آلومینیوم نشان داد که ضریب اصطکاک ایستا از ۰/۴۱ روی سطح آلومینیوم تا ۰/۵۹ بر سطح چوب چند لایه متغیر بود. علاوه بر آن نیروی شکست، تغییر شکل، انرژی شکست و چغرمگی در نقطه شکست برای خرمالوی نرم بترتیب برابر با ۲۷/۱ N، ۷/۳۲ mm، ۰/۰۹۲ J و ۰/۸۸ kJm^{-3} و برای میوه سفت بترتیب برابر با ۵۰/۷ N، ۹/۵۲ mm، ۲/۱۱ J و ۲/۰۳ kJm^{-3} تعیین شد.

کلیدواژه: ویژگی‌های مکانیکی، ویژگی‌های فیزیکی، میوه خرمالو

۱- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، پست الکترونیک: sminaee@gmail.com
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم باغبانی، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی

۱- مقدمه

محصولات کشاورزی معمولا از زمان برداشت تا زمان مصرف تحت تاثیر عوامل و فرآیندهای مختلفی قرار می‌گیرند. این فرآیندها می‌توانند عملیات ساده‌ای مانند تمیزکردن، جداکردن، شستشو، جابجایی و توزین باشند و یا اینکه فرآیندهای تکمیلی یا تبدیلی باشند که به نوعی ویژگی‌های محصول را تحت تاثیر قرار می‌دهند. بنابراین شناخت ویژگی‌های مختلف فیزیکی، مکانیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آنها و نحوه حفظ و یا تغییر آنها در جهت اهداف مورد نظر فرآیند می‌تواند در حفظ کمی و کیفی محصول تأثیر بسزایی داشته باشد [۱]. اولین گام درجهت تدوین استانداردهای کیفی برای محصولات کشاورزی و باغی و همچنین بهبود خطوط مختلف فرآوری آنها، دانستن ویژگی‌های متنوع محصولات و تغییرات آنها در اثر عوامل گوناگون است. اصولا ویژگی‌ها، حلقه اتصال ساختار بنیادی محصول (اتصالات اتمی، ساختار کریستالی، عیوب و ...) و پاسخ آن (تنش، فعالیت شیمیایی، فعالیت بیولوژیکی و ...) می‌باشند که شامل ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی، گرمایی، الکتریکی، نوری، صوتی، شیمیایی، جریانی، اصطکاکی، آیرودینامیکی، هیدرودینامیکی، الکترومغناطیسی و غیره می‌باشند. ویژگی‌های مکانیکی به کلیه پارامترهایی گفته می‌شود که به رفتار نیرو- تغییر شکل مواد مربوط می‌شوند [۱۶].

از جمله گیاهانی که در قرن حاضر توسط گیاه‌شناسان کشف و معرفی شده است، گیاه خرمالو می‌باشد. از آنجاییکه خرمالو یک محصول فصلی است، برای اینکه بتوان طی چندین ماه آن را نگهداری کرد، باید میوه را در سردخانه قرار داد تا در ماههای مختلف روانه بازار یا خطوط فرآوری گردند. از طرفی در اثر نگهداری در انبار، ویژگی‌های مختلف میوه تغییر می‌کند [۱۸]. از این رو، دانستن پارامترهای مختلف فیزیکی و مکانیکی میوهٔ خرمالو به منظور بهبود کیفیت میوه در بسته بندی، حمل و نقل و صادرات، مفید می‌باشد.

در بررسی منابع مشخص شد که هیچگونه تحقیقی در زمینه تعیین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی میوه خرمالو، چه در ایران و چه در خارج از کشور صورت نگرفته است. لذا هدف از این تحقیق تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی میوه خرمالو می‌باشد.

از آنجا که عوامل مختلفی از قبیل عوامل بیولوژیکی، زیست-محیطی، شرایط و روش کاشت، داشت، برداشت و نوع انبارداری بر ویژگی‌های مختلف محصول تولیدی تأثیر می‌گذارند و همچنین به منظور طراحی بهینه ادوات فرآوری، انبارداری، حمل و نقل و سهولت کار انبارداری، تعیین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی میوه خرمالو مفید می‌باشد. بر این اساس در مرحله نخست، برخی ویژگی‌های فیزیکی میوه خرمالو که عبارتند از: ابعاد (طول، عرض و ارتفاع)، میزان رطوبت، چگالی[1](توده و جامد)، حجم، وزن، ضریب کرویت و ... و همچنین ویژگی‌های مکانیکی مانند نیروی شکست، تغییر شکل، انرژی شکست و چغرمگی[2] اندازه‌گیری می‌شود.

خرمالو[3] با نام لمی Diospyros kaki و از خانواده Ebenaceae، یکی از محصولات عمده تولیدی کشور است و ایران رتبه هشتم تولید در جهان را دارد. از این رو طرح مسایل مربوط به آن از اهمیت اقتصادی برخوردار است. درخت خرمالو که در ایران درخت مشهوری است، در اصل بومی چین و ژاپن است. این درخت از گذشته‌ای نسبتا دور وارد ایران شده و امروزه در بیشتر نقاط کشور کاشته و تکثیر می‌شود. میزان تولید این میوه در کشور ۱۰۰۰ تن است. خرمالو در ایران دارای واریته‌های مختلف است. در برخی از واریته‌ها میوه کاملا کروی و در برخی دیگر نسبتا کشیده است. بخش گوشت‌دار میوه محتوی مقدار زیادی مواد قندی، تانن و ویتامین است. میوه بسیاری از گونه‌های خرمالو خی می‌باشد. رنگ آنها از نارنجی و زرد وشن تا نجی و قرمز تیره متفاوت است و قطر آنها بنا بر گونه بین ۲ تا ۸ سانتیمتر است. شکل خرمالو بر اساس گونه آن ممکن است کروی یا شبیه بلوط باشد. آنها دو گونه گس و غیر گس دارند [۴]. مراحل رشد میوه خرمالو شامل خرمالوی سبز، زرد، قرمز سفت و قرمز نرم رسیده می‌باشد که در این تحقیق از میوه خرمالوی قرمز رسیده نرم و همچنین میوه خرمالوی قرمز نارس سفت استفاده شده است.

1. Density
2. Toughness
3. Persimmon

۲- مواد و روشها

۲-۱- مواد

برای آزمایشات این تحقیق، حدود ۱۰۰ کیلو گرم میوه خرمالوی رقم ژاپنی، Diospyros kaki، در اواخر تابستان ۸۶ تهیه و بلافاصله به آزمایشگاه مربوطه منتقل شد. سپس خرمالوهای خراب، کال و صدمه دیده جدا شده و میوه‌های سالم رسیده به دو دسته خرمالوهای سفت و نرم تقسیم شدند. به منظور تعیین میزان رطوبت میوه خرمالو، تعداد ۲۰ عدد میوه و از هر یک دو قطعه به ضخامت mm ۳ جدا گردید و در اجاق آزمایشگاهی، در دمای ۶۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و میزان رطوبت بصورت وزنی تعیین گردید در نتیجه میزان رطوبت میوه خرمالو ٪ ۷۵/۲۱ بر پایه تر محاسبه شد [۱۲].

۲-۲- روش اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی

با استفاده از کولیس دیجیتال[1] با دقت اندازه‌گیری mm ۰/۰۱، قطر بزرگ(a) و قطر کوچک(c) خرمالو اندازه‌گیری شدند. بدلیل دایره‌ای بودن مقطع عرضی خرمالو، قطر متوسط که تقریبا برابر با قطر بزرگ است اندازه گیری نشد.
میانگین قطر هندسی میوه‌ها (Dg) از رابطه زیر به دست می‌آید [۱۳]:

$$D_g = (abc)^{1/3} = (a^2 c)^{1/3} \qquad (۱۸)$$

که در آن a، قطر بزرگ و b، قطر متوسط و c، قطر کوچک نمونه بر حسب mm می باشند (شکل۱).

فهرست علائم

چگالی جامد (kgm^{-3})	p_t	قطر بزرگ (mm)	a
چگالی توده (kgm^{-3})	p_b	قطر متوسط (mm)	b
ضریب کرویت (decimal)	$Ø$	قطر کوچک (mm)	c
جرم جامد (g)	m_t	قطر میانگین هندسی (mm)	D_g
جرم توده (g)	m_b	مساحت سطح (cm^2)	S
حجم جامد (cm^3)	V_t	مساحت تصویر در جهت محور Z- (cm^2)	P_{x-y}
حجم توده (cm^3)	V_b	مساحت تصویر در جهت محور X- (cm^2)	P_{y-z}
میزان رطوبت(٪w.b.)	M_C	ضریب اصطکاک ایستایی	μ_s
تخلخل (٪)	ε		

معیاری که عموماً برای توصیف شکل میوه، مورد استفاده قرار می‌گیرد ضریب کرویت است که از رابطه ۲ محاسبه می‌گردد [۱۳]:

$$\phi = \frac{(D_g)}{a} \cdot 100 \qquad (۱۹)$$

مساحت سطح[2] با رابطه (۳) محاسبه می‌شود [۱۳]:

$$S = \pi D_g^{\,2} \qquad (۲۰)$$

سطح تصویر میوه ها (P) با دستگاه مساحت سنج اندازه گیری شد (شکل ۲).

1. ساخت کشور ژاپن Mitutoyo
2. Surface Area

به منظور محاسبه حجم میوه برای تعیین چگالی میوه یا چگالی جامد(P_t) از روش جابه‌جایی مایع(آب) طبق رابطه زیر استفاده شده است [۲].

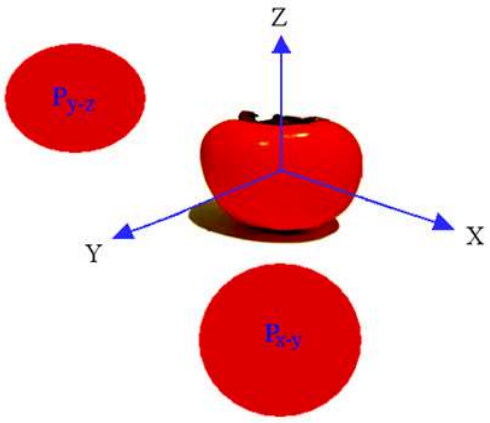
$$\rho_t = \frac{m_t}{V_t} \qquad (۲۱)$$

که در این رابطه، m_t= جرم نمونه، بر حسب گرم، V_t= حجم آب (مایع) جابجا شده، برحسب سانتیمتر مکعب است.
برای اندازه گیری چگالی توده(P_b)، یک جعبه خالی با حجم معین را پر از میوه خرمالو شده و از تقسیم جرم توده میوه بر حجم توده، میزان چگالی توده به دست آمد [۱۴]:

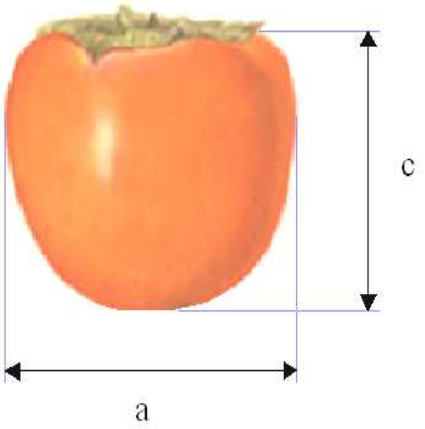
$$\rho_b = \frac{m_b}{V_b} \qquad (۲۲)$$

که در این رابطه، m_b برحسب g ، جرم توده و V_b بر حسب cm^3، حجم توده (حجم استوانه) می‌باشد.
درصد تخلخل توده میوه (ε) با استفاده از چگالی توده و چگالی میوه از رابطه ۶ محاسبه می‌گردد [۸]:

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_t}\right) \cdot 100 \qquad (۲۳)$$



شکل ۲- سطح تصویر خرمالو در دو بعد



) میوه c) و قطر کوچک(aشکل ۱- قطر بزرگ(

۲-۳- روش اندازه گیری ویژگی‌های مکانیکی

برای تعیین ویژگی‌های مکانیکی میوه خرمالو از دستگاه آزمون مواد[1] با Load cell 200 N طی آزمون فشاری تک محوری استفاده شد. به دلیل شکل خاص، میوه خرمالو در حالت طبیعی اکثرا طوری روی سطح افق قرار می‌گیرد که قطر کوچک آن عمود بر سطح افق می‌باشد. لذا بارگذاری در جهت قطر کوچک صورت گرفت [۲۱].

هدف از آزمون فشار تک محوری، رسم منحنی‌های نیرو- تغییرشکل میوه دست نخورده بین دو صفحه موازی (شکل ۳) و با سرعت ۵ mm/min می‌باشد [۵، ۷، ۱۱، ۱۷]. در هر آزمایش با توجه به نمودار نیرو- تغییرشکل، نقطه شکست، تعیین و نیروی شکست نمونه قرائت شد. انرژی مصرفی(بر حسب ژول) برای شکست نمونه نیز با محاسبه سطح زیر منحنی نیرو- تغییرشکل، بدست آمد و با تقسیم میزان انرژی شکست بر حجم هر نمونه، مقدار چغرمگی (kJ/m^3) محاسبه گردید.

ضریب اصطکاک ایستا (μ_s) با اندازه گیری زاویه‌ای که محصول در آستانه حرکت بر روی سطوح مواد مختلف مانند چوب، ورق گالوانیزه، ورق آلومینیومی و ورق استیل است محاسبه می‌شود. برای اندازه گیری این پارامتر، میوه‌ها داخل یک بسته که با سطح هیچ گونه تماسی ندارند، بر روی هر سطح قرار داده می‌شوند. سپس سطح با سرعت یکنواخت شروع به حرکت دورانی حول یک محور لولایی نموده، تانژانت زاویه‌ای که میوه بر روی آن در آستانهٔ شروع به حرکت قرار می‌گیرد، برابر با ضریب اصطکاک ایستا می‌باشد [۱۹]:

$$\mu_s = \tan(\alpha) \qquad (۲۴)$$

شکل ۳- دستگاه تست مواد در حین بارگذاری میوه خرمالو

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ویژگی‌های فیزیکی

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود میانگین طول (قطر بزرگ)، ضخامت (قطرکوچک) و قطر میانگین هندسی میوه خرمالو بترتیب برابر با ۶۳/۰۹ mm، ۴۱/۸۴ mm و ۵۴/۹۶ mm بدست آمد که کمتر از طول میوه انار (۶۵/۵ mm) در رطوبت ٪ ۵۷/۵۱ بر پایه تر، میوه انبه (۶۶/۸ mm)، میوه پرتقال (۶۹/۲۱ mm) در رطوبت ٪ ۸۹ بر پایه تر و میوه گلابی (۷۱/۹۳ mm) ولی بیشتر از طول میوه هلو (۴۵/۰۲ mm و کمتر از قطر میانگین هندسی پرتقال (۷۰/۷۶ mm) ولی بیشتر از ضخامت میوه انار (۳۵/۴ mm) و میوه هلو (۴۰/۸۵ mm) می‌باشد [۳، ۶، ۹، ۱۰]. جرم، حجم، چگالی توده، چگالی جامد، ضریب کرویت و تخلخل بترتیب برابر با g ۱۰۶/۷۱، cm^3 ۱۰۳/۸۷، kgm^{-3} ۴۹۲/۳۵، kgm^{-3} ۱۰۳۲/۲، ۰/۸۷ و ٪ ۵۲، همچنین مساحت سطح، مساحت تصویر در جهت

1. H50 K-S ساخت شرکت هانسفیلد

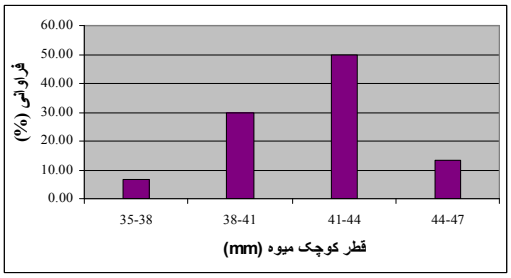
محور-Z و در جهت محور -X برای میوه خرمالو به ترتیب برابر با $5/56\ cm^2$، $30/17\ cm^2$، $24/10\ cm^2$ در رطوبت ٪ ۷۵/۲۱ بر پایه تر بدست آمد که کمتر از حجم میوه انار ($126/74\ cm^3$) و میوه پرتقال ($206/68\ cm^3$) ولی بیشتر از حجم میوه گلابی ($89/96\ cm^3$)، کمتر از جرم میوه انار (۱۶۳/۵۱ g)، میوه پرتقال (۱۷۵/۷۱ g) و میوه گلابی (۱۰۹/۵۷ g)، کمتر از چگالی جامد میوه انار ($1290\ kgm^{-3}$) و میوه گلابی ($1224/3\ kgm^{-3}$) ولی بیشتر از چگالی جامد میوه پرتقال ($865/5\ kgm^{-3}$) می‌باشد. چگالی توده، تخلخل، ضریب کرویت، مساحت سطح، مساحت تصویر در جهت محور -X و مساحت تصویر در جهت محور -Z برای میوه گلابی بترتیب برابر با $641/74\ kgm^{-3}$، ٪ ۴۶/۹، $0/831\ cm^2$، $111/92\ cm^2$، $20/2\ cm^2$ و $15/57\ cm^2$ و برای میوه پرتقال بترتیب برابر با $527/8\ kgm$، ٪ ۴۰/۲، $1/024\ cm^2$، $162/2\ cm^2$، $49/14\ cm^2$ و $47/48\ cm^2$ بوده است [۳، ۶، ۹، ۱۰، ۲۰].

با توجه به نتایجلی که ارائه شد، قطر بزرگ، قطر کوچک، جرم، حجم و قطر هندسی رابطه مستقیم و چگالی رابطه معکوسی با اندازه میوه خرمالو داشت. یعنی با بزرگ شدن اندازه میوه، چگالی کاهش یافته است. این امر به دلیل رسیدگی میوه و افزایش آب موجود در خرمالو می‌باشد.

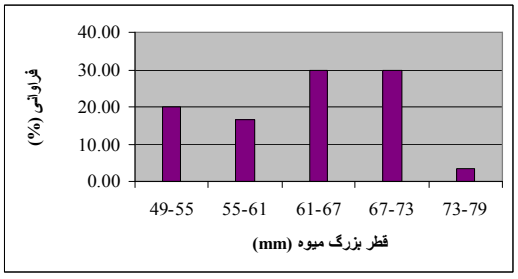
منحنی توزیع فراوانی میانگین مقادیر ابعاد میوه نشان می‌دهد که ٪ ۶۰ از میوه‌ها دارای طول (قطر بزرگ) در محدوده ۶۱ تا mm ۷۳ (شکل ۴)، ٪ ۸۰ میوه‌ها دارای ارتفاع(قطر کوچک) در محدوده ۳۸ تا mm ۴۴ (شکل ۵)، حدود ٪ ۷۰ میوه‌ها دارای جرم ۸۳ تا g ۱۴۳ (شکل ۶)، حدود٪ ۹۰ میوه‌ها دارای حجم ۷۰ تا cm^3 ۱۳۰ (شکل ۷)، حدود ٪ ۹۶ میوه‌ها دارای چگالی جامد ۰/۹۳ تا $1/15\ kgm^{-3}$ (شکل ۸) بودند همچنین حدود ٪ ۷۶ میوه‌ها دارای ضریب کرویت ۰/۸۳ تا ٪ ۰/۸۹ (شکل ۹)، حدود ٪ ۷۶ میوه‌ها دارای مساحت سطح ۸۷/۳۸ تا $125/33\ cm^2$ (شکل ۱۰) و حدود ٪ ۷۰ دارای مساحت تصویر ۲۴ تا $39\ cm^2$ در جهت محور -Z (شکل ۱۱) و ٪ ۷۰ درای مساحت تصویر ۲۰ تا $29\ cm^2$ در جهت محور -X (شکل ۱۲) و همچنین حدود ٪ ۶۷ از میوه ها دارای قطر میانگین هندسی بین ۵۲ تا mm ۶۰ (شکل ۱۳) می‌باشند.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی میوه خرمالو در رطوبت٪ ۷۵/۲۱ بر پایه تر

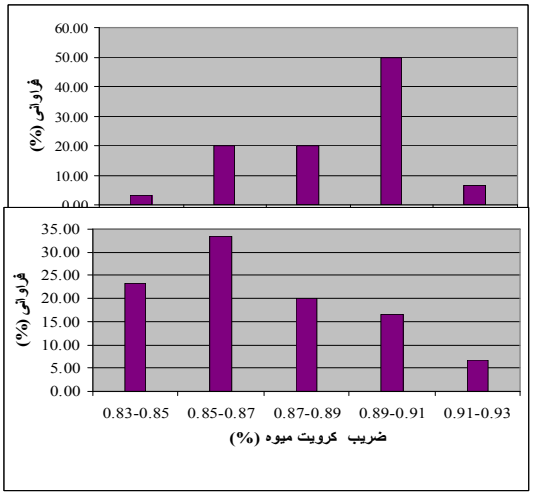
ویژگی	مقدار
ارتفاع، b (mm)	۴۱/۸۴ ± ۲/۳
قطر متوسط، a (mm)	۶۳/۰۹ ± ۶/۸۹
قطر میانگین هندسی، D_g (mm)	۵۴/۹۶ ± ۴/۶۵
جرم، m (g)	۱۰۶/۷۱ ± ۲۵/۸۲
ضریب کرویت، Ø (%)	۸۷/۳۷ ± ۰/۰۳
حجم، V (cm^3)	۱۰۳/۸۷ ± ۲۶/۳۷
چگالی جامد، P_t (kgm^{-3})	۱۰۳۲/۲۸ ± ۶/۲۴
چگالی توده، P_b (kgm^{-3})	۴۹۲/۳۵ ± ۱/۵۲
تخلخل، ε (%)	۰/۵۲ ± ۰/۰۱
سطح تصویر، P_{x-y} (cm^2)	۳۰/۱۷ ± ۶/۵۲
سطح تصویر، P_{y-z} (cm^2)	۲۴/۱ ± ۳/۵۲
مساحت سطح، S (cm^2)	۹۵/۵۶ ± ۱۵/۸۲



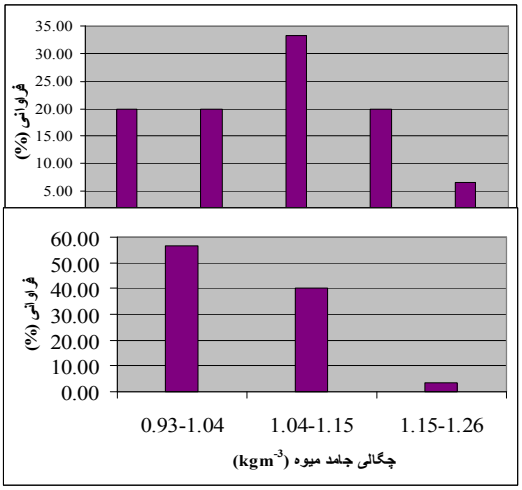
شکل ۵- نمودار توزیع فراوانی قطر کوچک میوه خرمالو



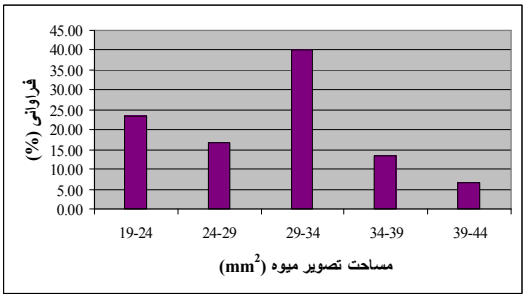
شکل ۴- نمودار توزیع فَراوانی طول (قطر بزرگ) میوه خرمالو



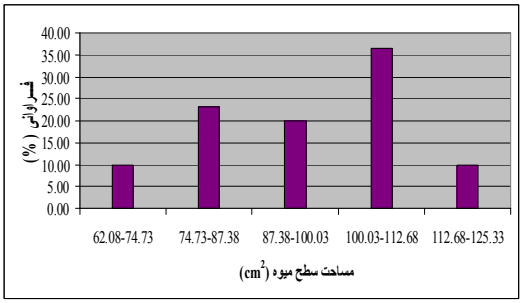
شکل ۹- نمودار توزیع فراوانی ضریب کرویت میوه خرمالو



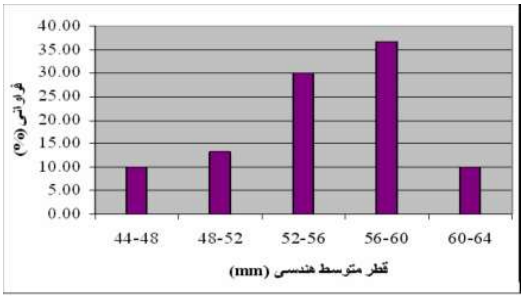
شکل ۸- نمودار توزیع فراوانی چگالی جامد میوه خرمالو



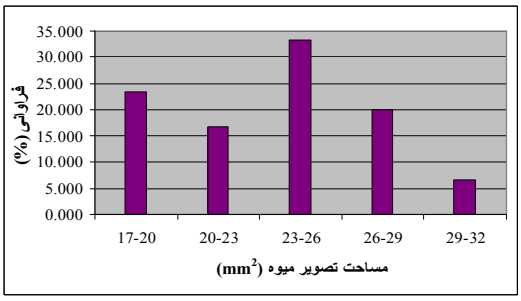
شکل ۱۱- نمودار توزیع فراوانی مساحت تصویر در صفحه x-y



شکل ۱۰- نمودار توزیع فراوانی مساحت سطح میوه خرمالو



شکل ۱۳- نمودار توزیع فراوانی قطر میانگین هندسی میوه



شکل ۱۲- نمودار توزیع فراوانی مساحت تصویر در صفحه y-z

۳-۲- ویژگی‌های مکانیکی

ضریب اصطکاک ایستایی برای چهار سطح با جنس‌های ورق گالوانیزه، فولاد، چوب چند لایه و آلومینیومی محاسبه شد. میانگین ضریب اصطکاک ایستا روی سطح چوب چند لایه برابر با ۰/۵۹، بر سطح ورق فولادی برابر با ۰/۵۱۷، روی سطح گالوانیزه برابر با ۰/۴۷۳ و روی سطح آلومینیومی ۰/۴۱ اندازه‌گیری شد. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین ضریب اصطکاک ایستا روی سطح چوب چند لایه و برابر با ۰/۵۹ و کمترین آن روی سطح آل مینیومی و برابر ۰/۴۱ محاسبه شد که کاملا منطقی است چون سطح چوب چند لایه، زبرتر از بقیه و سطح آلومینیومی از بقیه صاف‌تر است (جدول ۲) که این مقادیر بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده

برای میوه پرتقال بر سطح آهن گالوانیزه (۰/۲۴۷)، و روی سطح چوب (۰/۲۵۸) و همچنین بیشتر از ضریب اصطکاک ایستایی میوه گلابی بر روی سطح گالوانیزه (۰/۲۴۳) و بر روی سطح چوب (۰/۲۶۱) می‌باشد [۱۰ و ۲۰].

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود میانگین نیروی شکست (سختی) میوه خرمالوی سفت ٪ ۸۷ بیشتر از نیروی شکست میوه خرمالوی نرم می‌باشد. میانگین نیروی شکست برای خرمالوی نرم در سرعت بار گذاری ۵ mm/min برابر با ۲۷/۱ N و برای خرمالوی سفت برابر با ۵۰/۷ N بدست آمد، همچ ین میانگین تغییر شکل در نقطه شکست برای میوه خرمالوی سفت ٪ ۳۰ بیشتر از تغییر شکل میوه خرمالوی نرم است. میانگین میزان تغییر شکل در نقطه شکست برای خرمالوی نرم برابر با ۷/۳۲ mm و برای خرمالوی سفت برابر با ۹/۵۲ mm حاصل شد. بعلاوه میانگین انرژی شکست برای خرمای سفت ٪ ۱۹۰ بیشتر از انرژی شکست برای خرمالوی نرم می‌باشد. میانگین انرژی لازم برای شکست میوه خرمالوی نرم برابر با ۰/۰۹۲ J و خرمالوی سفت برابر با J ۰/۲۱۱ تعیین گردید. میانگین چغرمگی برای خرمالوی سفت ۱/۳ برابر بیشتر از میانگین چغرمگی خرمالوی نرم است. میانگین چغرمگی برای میوه خرمالوی نرم برابر با kJm^{-3} ۰/۸۸ و میانگین چغرمگی برای میوه خرمالوی سفت kJm^{-3} ۲/۰۳ حاصل شد. مقدار نیروی شکست برا ی میوه خرمالوی سفت بیشتر از مقدار گزارش شده برای میوه انبه (۳۲/۹۶ N) ولی کمتر از میوه هلو (۵۹/۶ N) می‌باشد. مقدار نیروی شکست برای میوه خرمالوی نرم کمتر از مقدار میوه سیب رسیده (۳۳ N) ولی بیشتر از مقداری است که برای میوه انبه رسیده (۲۲/۳۹ N) گزارش شده است [۶، ۹، ۱۵].

جدول ۲- ضریب اصطکاک ایستایی میوه خرمالو در محتوای رطوبت ٪ ۷۵/۲۱ بر پایه تر روی سطوح مواد مختلف

سطح	ضریب اصطکاک ایستایی
ورق گالوانیزه	۰/۴۷۳ ± ۰/۰۲۵
ورق فولادی	۰/۵۱۷ ± ۰/۰۲۱
ورق آلومینیومی	۰/۴۱ ± ۰/۰۱۸
چوب چند لایه	۰/۵۹ ± ۰/۰۲۷

جدول ۳- ویژگی‌های مکانیکی میوه خرمالو در محتوای رطوبت ٪ ۷۵/۲۱ بر پایه تر

ویژگی	نمونه		sig %
	خرمالوی سفت	خرمالوی نرم	(0.05) α
نیروی شکست (N)	۵۰/۷	۲۷/۱	*
تغییر مکان (mm)	۹/۵۲	۷/۳۲	ns
انرژی شکست (J)	۰/۲۱۱	۰/۰۹۲	*
چغرمگی (KJ/m^3)	۲/۰۳	۰/۸۸	*

* در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است. ** در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. ns در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار نیست.

۴- نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این تحقیق می‌توان نتایج زیر را کسب کرد:

۱. ضریب کرویت بر اساس اندازه میوه، تغییر اندکی دارد چون شکل ظاهری میوه تغییر چندانی نمی‌کند.

۲. بیشترین ضریب اصطکاک ایستایی روی سطح چوب چند لایه و برابر با ۰/۵۹ و کمترین آن روی سطح آلا مینیومی و برابر ۰/۴۱ محاسبه شد که کاملا منطقی است چون سطح چوب چند لایه، زبرتر از بقیه و سطح آلومینیومی از بقیه صاف‌تر است.

۳. میانگین نیروی شکست (سختی) میوه خرمالوی سفت برابر با ۵۰/۷ N محاسبه شد که ٪ ۸۷ بیشتر از نیروی شکست میوه خرمالوی نرم (۲۷/۱ N) می‌باشد.

۴. میانگین تغییر شکل در نقطه شکست برای میوه خرمالوی سفت برابر با ۹/۵۲ mm محاسبه د که ٪ ۳۰ بیشتر از تغییر شکل میوه خرمالوی نرم (۷/۳۲ mm) است.

۵. میانگین انرژی شکست برای خرمای سفت برابر با ۰/۲۱۱ J نتیجه شد که ٪ ۱۹۰ بیشتر از انرژی شکست برای خرمالوی نرم (۰/۰۹۲ J) می‌باشد.

۶. میانگین چغرمگی برای خرمالوی سفت kJ/m^3 ۲/۰۳ بدست آمد که ۱/۳ برابر بیشتر از میانگین چغرمگی خرمالوی نرم است.

۷. بجز تغییر شکل در دیگر ویژگی های مکانیکی اختلاف معنی داری بین خرمالوهای سفت و نرم مشاهده شد که مربوط به اختلاف بافت میوه رسیده و کال می باشد.

پیشنهادها

- تعیین ویژگی‌های مکانیکی خرمالو متاثر از سرعت بارگذاری

سپاس گزاری

نویسندگان این مقاله از همکاری آقای دکتر خوش تقاضا مدیر گروه و مهندس رضایی‌کیا کارشناس گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران و همچنین از دانشگاه تربیت مدرس بخاطر کمک مالی و در اختیار گذاشتن وسایل و آزمایشگاه نهایت تشکر و سپاس‌گزاری را دارند.

منابع

۱- آذرخش، ن و امام جمعه، ز. (۱۳۸۳). اثر استفاده از فرآیند اسمز در شاخص‌های کیفی خلال سیب‌زمینی منجمد. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۳۵، شماره ۴، صفحات۹۵۵-۹۶۳.

۲- توکلی هشجین، ت. (۱۳۸۳). مکانیک محصولات کشاورزی. (تالیف سیتکی، ج). انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۵۳۰ ص.

3- Al-Maiman S. A., Dilshad A. 2002. Changes in physical and chemical properties during pomegranate (Punica granatum L.) fruit maturation. Food Chemistry 76 (2002) 437–441.

4- Anonymous(2007). Available at: http://daneshnameh.roshd.ir/mavara/mavara- index.

5- Arazuri. S., Jaren. C., Arana. J. I., Perez. D. C. J. J. (2007). Influence of mechanical harvest on the physical properties of processing tomato (Lycopersicon esculentum Mill.). Journal of Food Engineering 80: 190–198.

6- Bovi M. L. A., Spiering S. H. 2002. Estimating peach palm fruit surface area using allometric relationships. Scientia Agricola, v.59, n.4, p.717-721, out./dez. 2002.

7- GOLIÁŠ. J., BEJČEK. L., GRÄTZ. P., KLUSÁČEK. S. (2003). Mechanical resonance method for evaluation of peach fruit firmness: HORT. SCI. (PRAGUE), 30, (1):1–6.

8- Jain, R. K., & Bal, S. (1997). Properties of pearl millet. Journal of AER, 66, 55–91.

9- Jha S. N., Kingsly A. R. P., Chopra S. 2006. Physical and mechanical properties of mango during growth and storage for determination of maturity. Journal of Food Engineering 72 (2006) 73–76.

10- Kabas O., Ozmerzi A., Akinci I. 2006. Physical properties of cactus pear (Opuntia ficus india L.) grown wild in Turkey. Journal of Food Engineering 73 (2006) 198–202.

11- Kubilay. V., Faruk .Z.V. 2003. Determining the Strength Properties of the Dixired Peach Variety.: Turk J Agric For 27 : 155-160.

12- McGlone, V.A., Jordan, R.B., Seelye, R. and Martinsen, P.J. (2002). Comparing density and NIR methods for measurement of Kiwifruit dry matter and soluble solids content. Journal of the Postharvest Biology and Technology, 26:191–198.

13- Mohsenin, N. N. (1978). Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon and Breach.

14- Owolarafe, O. K., Olabige, M. T., Faborode, M. O. (2006). Physical and mechanical properties of two varieties of fresh oil palm fruit. Journal of Food Engineering 78 (2007) 1228–1232.

15- Puchalski C., Brusewitz G.H., Dobrzañski B., Rybczynski R. 2002. Relative humidity and wetting affect friction between apple and flat surfaces. Int. Agrophysics, 2002, 16, 67-71.

16- Puri, V.M. (1995). Mechanical Properties of Agricultural Materials. A Teaching Manual. AGE 453. Department of Agricultural and Biological Engineering. The Pennsylvania state university.

17- RoJas, A. M., Delbon, M., Marangoni, A. G. and Gersehenson, L. N. (2002). Contribution of cellular to the Large and Small Deformation Rhological Behavior of Kiwifruit. Journal of the Food Science, 67: 2143-2148..

18- Sawada, T., Seo, Y., Morishima, H., Imou, K. and Kawogoe, Y. (1992). Studies on Storage and Ripening of Kiwifruit. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 54: 61-67.

19- Singh, K. K., Goswami, T. K. (1996). Physical properties of cumin seed. Journal of Agricultural Engineering Research, 64(2), 93–98.

20- Topuz A., Topakci M., Canakci M., Akinci I., Ozdemir F. 2005. Physical and nutritional properties of four orange varieties. Journal of Food Engineering 66 (2005) 519–523.

21- White, A., Silva, H. N. D., RequeJo-Tapia, C., Harker, F. R. (2005). Evaluation of softening characteristics of fruit from 14 species of Actinidia. Postharvest Biology and Technology. Available online at www.sciencedirect.com.