

## اثر سرعت بارگذاری و اندازه میوه بر ویژگیهای مکانیکی دو رقم میوه خرماي استان خوزستان (ارقام استعمران و زاهدی)

يعقوب منصوري<sup>۱</sup> و سعيد مينايي<sup>۲</sup>

### چکیده

اهمیت اطلاع از خواص فیزیکی و مکانیکی میوه‌ها در طراحی و بهینه سازی سیستم‌های مرتبط با تولید، فرآوری و بسته‌بندی این محصولات بر کسی پوشیده نیست. در بیانی عام، اکثر مواد کشاورزی جزء مواد ویسکوالاستیک طبقه‌بندی می‌شوند. اگر چه وابستگی رفتار مواد ویسکوالاستیک به سرعت بارگذاری، از ویژگی‌های این دسته از مواد است لکن چند و چون تاثیر سرعت بارگذاری بر خواص مکانیکی محصولات کشاورزی منوط به بررسی دقیق و موردی این محصولات است. از سوی دیگر، وابستگی خواص مکانیکی به اندازه میوه به عنوان خاصیتی فیزیکی، برای بسیاری از میوه‌ها شناخته شده نیست. اهمیت میوه خرما و فقدان اطلاعات زیربنایی و اساسی در زمینه رفتار مکانیکی آن انگیزه این تحقیق است. در این مقاله خواص مکانیکی میوه دو رقم خرماي صادراتی زاهدی و استعمران شامل نیرو، انرژی مورد نیاز برای تغییرشکل، انرژی بر واحد حجم اولیه میوه در تغییرشکل‌های ویژه ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد و نیز در نقطه ظهور اولین ترک قابل رویت و مدول اولیه (اولین شیب غیر صفر مماس بر منحنی نیرو- تغییرشکل) اندازه‌گیری و محاسبه شدند. سرعت بارگذاری در پنج سطح (۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر بر دقیقه) و اندازه نمونه در سه سطح (بزرگ، متوسط و کوچک) تیمارهای مورد نظر در این تحقیق بوده‌اند. در حالیکه سرعت بر اکثر خواص نیرو، انرژی و انرژی بر واحد حجم مربوط به تغییرشکل‌های نسبی مختلف خرماي زاهدی اثر معنی‌داری نداشته است، اثر این عامل بر خواص فوق‌الذکر مربوط به رقم استعمران بسیار معنی‌دار بوده است. اثر سرعت بارگذاری بر مدول اولیه، نیرو، انرژی و انرژی بر واحد حجم مربوط به لحظه گسیختگی هر دو رقم معنی‌دار بود. به طور کلی می‌توان پذیرفت که اندازه نمونه در هر دو رقم بر خواص مکانیکی میوه - به استثناء انرژی بر واحد حجم - اثر معنی‌داری ندارد. معنی‌دار شدن اثر این عامل با توجه به تعریف انرژی بر واحد حجم کاملاً منطقی است.

**واژه‌های کلیدی:** سرعت بارگذاری، اندازه میوه، خرما، خوزستان، استعمران، زاهدی

### مقدمه

و ساخت ماشینهای مناسب ارقام مهم کشور اهمیت بسزایی دارد، برای کاربرد صحیح و بهینه سازی ماشینهای وارداتی و تطبیق آنها با ویژگی‌های خاص ارقام اصلی کشور نیز مهم است. اساس تصمیمات و انتخابها در طراحی ابزار یا سیستم‌های برداشت، بسته‌بندی و یا فرآوری که به نحوی در ارتباط مستقیم با میوه هستند، خصوصیات آن میوه است.<sup>۱</sup> تا زمانی که میوه موردنظر از طریق ویژگی‌هایش تعریف نشده باشد، نمی‌توان در مورد بهترین روش

شناخت ویژگیهای مکانیکی میوه خرماي تولیدی کشور از دو دیدگاه اهمیت دارد. دیدگاه مهندسی صنایع غذایی این خواص را برای کنترل و بهینه‌سازی کیفیت میوه یا فرآورده‌های آن مورد توجه قرار می‌دهد زیرا احساس خوشایند حاصل از تناول میوه، گذشته از رنگ و طعم، تا حدود زیادی به مقاومت مکانیکی بافت آن در زیر دندانها وابسته است. از دیدگاه مهندسی ماشینهای کشاورزی، دانستن این ویژگی‌ها علاوه بر آن که در طراحی

۲۰۱- بترتیب دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک و استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۸۳/۳/۲۳

تاریخ پذیرش: ۸۳/۱۱/۳

مطالعه خواص مکانیکی محصولات کشاورزی از دیرباز موضوع بحث و نقد محافل علمی بوده و توجه بسیاری از محققان را به خود جلب نموده است. محسنین (۸) مجموعه‌ای از مقالات مربوط به دهه‌های ۶۰ و قبل از آن تا دهه ۸۰ را در کتاب خود آورده است که تا به امروز نیز یکی از مراجع مهم در این زمینه تحقیقاتی است. روند این‌گونه پژوهش‌ها با گذشت زمان و پیشرفت ابزار همچنان رو به رشد بوده است به گونه‌ای که همه ساله حجم بسیاری از مقالات منتشره را به خود اختصاص داده است. لازم به ذکر است که بعضی از تحقیقات انجام شده در گذشته دور به لحاظ ارزش محتوایی و علمی، منحصر به فرد و غیر قابل قیاس با بسیاری از پژوهش‌های جدید است. در زیر به تعدادی از آنها اشاره شده است.

فلیشر و همکاران (۶) وابستگی رفتار مکانیکی بعضی از میوه‌ها و سبزیجات (سیب، هلو، گلابی و سیب‌زمینی) به سرعت بارگذاری را مورد مطالعه قرار دادند. آنها به دنبال یافتن نوعی رابطه بین خواص مکانیکی اندازه‌گیری شده در سرعت‌های بارگذاری مختلف بودند به گونه‌ای که به توان به عنوان مثال رفتار محصول در برابر ضربه را از نتایج حاصل از بارگذاری با سرعت کم و (توسط ماشین آزمون فشاری) تخمین زد. آنها گزارش کردند که نیروی لازم برای سوراخ کردن پوست نمونه با افزایش سرعت بارگذاری افزایش و سپس کاهش یافت. محل وقوع نقطه بحرانی (نقطه تغییر جهت اثر سرعت بارگذاری بر مقاومت به نفوذ) بسته به رقم و مرحله بلوغ نمونه تغییر می‌کرد. علاوه بر این، نقطه تسلیم در دامنه سرعت بارگذاری بین محدوده شبه استاتیکی تا نقطه بحرانی وجود داشت و در بارگذاری سریع قابل مشاهده نبود. در بارگذاری سریع میله ابزار با چنان سرعتی وارد نمونه می‌شد که گسیختگی اولیه سلول در اثر لهیدگی که معرف نقطه تسلیم است از گسیختگی کامل آن در اثر

مواجهه با آن تصمیم گرفت. در کلیه عملیات ماشینی این امکان وجود دارد که محصول در معرض نیروهای مکانیکی قرار گیرد. نیروی وارده، تغییر شکلی ایجاد می‌کند که بسته به شرایط و اهداف، یا باید به اندازه کافی بزرگ باشد که باعث گسیختگی یا فشردگی مورد نظر در محصول گردد (کاربرد اول) و یا باید به اندازه‌ای کم باشد که به محصول آسیب نرساند (کاربرد دوم). وضعیت اول هنگام طراحی مکانیزمها و ماشینهای فرآوری محصول و وضعیت دوم در برداشت، جمع‌آوری، تمیز کردن، بسته‌بندی و حمل و نقل محصول پیش می‌آید. به هر حال در هر دو صورت، آگاهی از مقاومت مکانیکی محصول در برابر انواع مختلف بارها نقش مهم و اساسی ایفا می‌کند.

اکثر محصولات کشاورزی ویسکوالاستیک هستند و بنابراین رفتار بسیار پیچیده‌ای در برابر بارگذاری‌های مختلف از خود نشان می‌دهند. به علاوه، نوع بارهای وارده بر محصول نیز گستره وسیعی را شامل می‌شود که خود مساله را پیچیده‌تر می‌کند. علیرغم این دشواریها، تحقیق در این مورد اجتناب ناپذیر است زیرا نتایج آن از طریق کنترل آسیب‌های ناشی از ماشینی کردن عملیات می‌تواند منجر به توسعه مکانیزاسیون در عرصه تولید محصولات کشاورزی، کاهش هزینه‌های تولید، کاهش ضایعات و ارتقاء بازارپسندی محصول شده، در نهایت امکان رقابت در عرصه تجارت جهانی را فراهم آورد.

در این تحقیق پس از بررسی تعدادی از پژوهش‌های علمی - کاربردی انجام شده در این زمینه، اثر سرعت بارگذاری و اندازه میوه بر برخی ویژگی‌های مکانیکی میوه خرما تحت بارگذاری شبه‌استاتیک بررسی شده است. این مقاله بخشی از تحقیق گسترده‌ای است که در قالب طرح پژوهشی در حال انجام است.

طراحی دستگاهی برای شکستن میوه درخت روغن قلم<sup>۲</sup> در سیکل فرآوری، انگیزه پژوهشی بود که اولانیان (۹) روی بعضی خواص مکانیکی این محصول حین بارگذاری به روش شبه استاتیک انجام داد. در این تحقیق، نیروی شکست، تغییر شکل، چغرمگی<sup>۳</sup> و سفتی در لحظه گسیختگی در دما، رطوبت و راستاهای مختلف بارگذاری تعیین شدند.

آیدین و همکاران (۲) نیروی گسیختگی میوه بنه را تحت بارگذاری شبه استاتیکی به عنوان بخشی از خواص فیزیکی - مکانیکی این محصول اندازه گیری کردند. آنها دریافتند که افزایش رطوبت باعث کاهش مقاومت به گسیختگی می گردد.

گونر و همکاران (۷) خواص مکانیکی فندق<sup>۴</sup> را تحت بارگذاری فشاری بررسی کردند. این تحقیق با هدف تعیین تغییر شکل ویژه<sup>۵</sup>، نیرو و انرژی مورد نیاز برای شروع گسیختگی پوسته و دانه بر روی چهار رقم فندق و در چهار سطح رطوبتی انجام گرفت. نمونه ها در سه راستای بارگذاری (محور طولی، قطر بزرگ و قطر کوچک) با دو سرعت بارگذاری ۰/۵۲ و ۰/۹۱ میلی متر بر ثانیه، بین دو صفحه موازی تحت فشار قرار گرفتند. در کنار تعیین رفتار مکانیکی، خواص فیزیکی فندق و مغز آن نظیر جرم، ابعاد، قطر متوسط هندسی و کرویت نیز تعیین شد. از این تحقیق آشکار شد که تغییر شکل ویژه و انرژی گسیختگی پوسته عموماً با افزایش رطوبت افزایش می یابد حال آنکه نیروی گسیختگی در حالت بار گذاری محور طولی و محور قطر بزرگ کاهش پیدا می کند. بیشترین تغییر شکل ویژه، نیروی گسیختگی و انرژی گسیختگی پوسته برای رقم آسی فیندیک<sup>۶</sup>، در راستای بارگذاری محور قطر

تمرکز تنش در زیر میله ابزار تمییزپذیر نبود در نتیجه نقطه تسلیم قابل تشخیص نبود.

مطالعه دیگری که رایت و اسپلینتر (۱۱) بر رفتار مکانیکی سیب زمینی شیرین تحت بارگذاری کند و بارگذاری سریع (ضربه ای) انجام دادند نشان داد که انرژی گسیختگی تحت بارگذاری سریع تقریباً ۲۰٪ این کمیت برای حالت بارگذاری کند (۵/۱ میلی متر بر دقیقه) بود.

اگر چه تعیین خواص مکانیکی محصولات مختلف کشاورزی تحت بارگذاری شبه استاتیک موضوع بسیاری از تحقیقات اخیر بوده است، اثر سرعت بارگذاری به ندرت مورد بررسی قرار گرفته است.

براگا و همکاران (۴) رفتار مکانیکی ماکادامیا<sup>۱</sup> را تحت بارگذاری شبه استاتیک با هدف تعیین فرآیند بهینه شکستن محصول بررسی کردند. در این تحقیق نیرو، تغییر شکل و انرژی مورد نیاز برای آغاز شکست پوسته محصول به صورت تابعی از رطوبت، اندازه و راستای بارگذاری فشاری به روش تجربی بررسی شد. از نتایج این تحقیق، انتخاب بارگذاری در راستای محور طولی به عنوان بهترین راستای بارگذاری بود.

باریچ (۳) میوه آووکادو را توسط دو صفحه موازی تحت بارگذاری شبه استاتیکی قرار داد و خواص مکانیکی آن را در فواصل زمانی مختلف پس از تاریخ برداشت بررسی کرد. او دریافت که با گذشت زمان، از تحمل میوه در برابر بار وارده کاسته شده، تعداد لایه های مجاز برای چیدن آنها روی هم کمتر می شود. وی توصیه کرد که اکثر عملیات انتقال و انبار کردن محصول در هفته اول پس از برداشت که هنوز مقاومت مکانیکی میوه به طور قابل ملاحظه ای افت نکرده است، انجام شود.

2- Shea Nut

3-Toughness

4- Hazelnut

5- Specific deformation

6- Aci Findik

1- Macademia Nut

شده، اثر اندازه خرما بر خواص مکانیکی آن بررسی نشده است.

از آنجا که علی‌رغم جایگاه جهانی ایران از نظر تولید خرما، پژوهشی در زمینه خواص میوه خرما در کشور انجام نشده است، در تحقیق حاضر به این موضوع پرداخته می‌شود.

### مواد و روشها

همزمان با فصل برداشت خرما، نمونه‌هایی از دو رقم استعمران و زاهدی از سه نخلستان واقع در اهواز، آبادان و شادگان تهیه شده، پس از جداسازی میوه‌های سالم و بسته‌بندی، به آزمایشگاه انتقال داده شدند. نمونه‌ها تا روز آزمون در دمای  $4^{\circ}\text{C}$  درون یخچال نگهداری شدند. در برداشت نمونه‌ها حداکثر احتیاط به عمل آمد تا به میوه‌ها نیروی نامتعارفی که منجر به ایجاد خطا در نتایج گردد وارد نیاید. برای انتقال نمونه‌ها، از بسته‌های پلی‌اتیلنی فشرده دردار استفاده شد. نمونه‌ها تنها در دو لایه چیده شده و با لایه‌ای از اسفنج پوشانده شدند. سپس در جعبه‌ها بسته شده، مجدداً به صورت گروهی بسته‌بندی گردیده به آزمایشگاه منتقل شدند.

نمونه‌های مورد نیاز برای آزمون بر اساس درشتی (وزن میوه) تفکیک و شماره گذاری شدند. در این تحقیق از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی برای دو رقم به طور جداگانه استفاده شده است که شهرها، بلوک‌های آزمایش و ترکیب سه اندازه و پنج سرعت بارگذاری ۱۵ تیمار آن را تشکیل می‌داد. برای هر بلوک و در هر تیمار ۵ نمونه (جمعاً ۳۷۵ نمونه) برای تعیین میانگین خواص، مورد آزمایش واقع شدند. با توجه به اینکه نمونه‌های خرماي رقم زاهدی اهواز فاقد اندازه بزرگ (به عنوان یکی از سه سطح عامل اندازه) بود، آزمایش مربوط به این رقم با استفاده از نمونه‌های دو شهر انجام گرفت. پس از اندازه‌گیری

کوچک و در سرعت بارگذاری  $0/52$  میلی‌متر بر ثانیه بدست آمد. دانه‌های ارقام تامبول<sup>۱</sup> و گنی کراسی<sup>۲</sup> به ترتیب بیشترین نیرو و انرژی گسیختگی را نشان دادند.

متاسفانه تحقیقات انجام شده در مورد خواص مکانیکی میوه خرما، به طور عام، نادر است. ساخت جداساز خلأی<sup>۳</sup> میوه خرما بر اساس میزان رطوبت محصول اولین انگیزه برای تعیین مقاومت در برابر تغییر شکل میوه خرما (رقم دگلت نور) توسط چسان و همکاران (۵) بود. محققین در این پژوهش از طریق آزمون اولیه نمونه‌ها، بار بیش از  $7/4$  نیوتن را غیر مجاز و منشاء پارگی پوست شناخته، در طراحی دستگاه تدبیری اندیشیدند که بار وارد بر هر میوه از مقدار مجاز بالاتر نرود.

شمیلوویچ و همکاران (۱۰) از خاصیت مکانیکی «سفتی میوه» در ساخت نوعی دستگاه درجه‌بندی<sup>۴</sup> میوه خرماي دگلت نور استفاده کردند. اساس این تحقیق بر فشردن میوه بین دو صفحه ثابت و متحرک استوار است. موقعیت دو صفحه نسبت به هم، نیروی وارده و میزان تغییر شکل میوه خرما اساس محاسبه سفتی میوه و کنترل مکانیزم جداکننده است که توسط یک کامپیوتر انجام می‌شود.

خوشبختانه در سال‌های اخیر با رشد عمومی تحقیقات خرما در کشورهای تولید کننده نظیر کشورهای حوزه خلیج فارس، شاهد پژوهشهایی در زمینه خواص مکانیکی میوه خرما هستیم. الحمدان و همکاران (۱) خواص مکانیکی مختلف هشت رقم میوه خرماي عربستان را در طول مراحل رشد و تکامل آن در قالب طرحی تحقیقاتی مطالعه نمودند. در این تحقیق سرعت بارگذاری ثابت نگه داشته

- 1-Tombul
- 2- Guney karasi
- 3- Vaccum separator
- 4- Sorting

جدول ۱- طبقه‌بندی اندازه میوه‌های خرما بر اساس تعداد میوه در ۵۰۰ گرم

رقم	اندازه	کوچک	متوسط	بزرگ
استمران	بیش از ۸۶	۷۶-۸۵	۷۵ و کمتر	
زاهدی	بیش از ۷۷	۷۰-۷۵	۶۵ و کمتر	

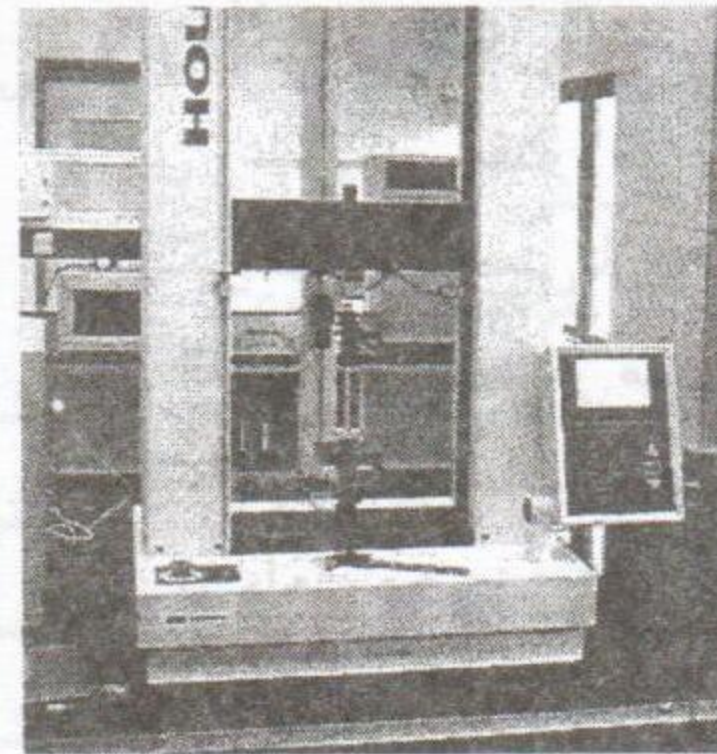
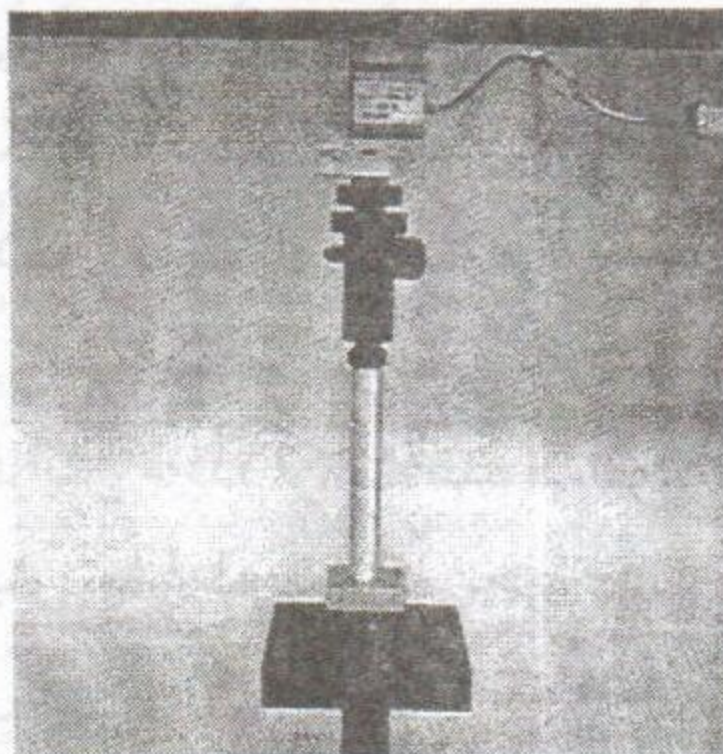
جدول ۲- رطوبت نمونه‌ها به تفکیک رقم و شهر

رقم	شهر	اهواز	آبادان	شادگان
استمران		٪۱۰/۸۱	٪۸	٪۱۲
زاهدی		٪۹/۷۲	٪۱۵/۹	٪۱۱/۸۸

میلی‌متر منجر به تماس صفحه بارگذاری با هسته خرما و عکس‌العمل نیرویی آن می‌شد که مورد نظر این تحقیق نبود. میوه‌ها در راستای قطر کوچک تحت بارگذاری قرار گرفتند. منحنی نیرو- تغییر شکل هر نمونه با استفاده از نرم‌افزارهای پشتیبان دستگاه ثبت شد. در کنار ثبت منحنی نیرو- تغییر شکل، فرآیند تغییر شکل میوه به صورت چشمی تعقیب و لحظه شروع ترک قابل رؤیت به وسیله کرومومتر ثبت شد. برای استخراج خواص مهم از منحنی نیرو- تغییر شکل، داده‌های خام حاصل از دستگاه آزمون کشش- فشار به نرم‌افزار Excel منتقل شده و مفصلاً مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۱) ابزار مورد استفاده و نمونه خرما را نشان می‌دهد.

رطوبت سه نمونه (سه عدد میوه) از هر رقم مربوط به هر شهر (جمعاً ۱۸ نمونه)، نمونه‌های مورد آزمون در فاصله زمانی ۲۴ ساعت قبل از انجام آزمایش از درون یخچال به محیط آزمایشگاه انتقال داده شدند تا با محیط به تعادل برسند.

پس از اندازه‌گیری ابعاد و وزن، تک‌تک نمونه‌ها توسط دستگاه آزمون کشش- فشار ( Hounsfield H50K-S) تحت بارگذاری قرار گرفت. برای این منظور، از بارگذاری با صفحه تخت به همراه لودسلی با ظرفیت ۵۰۰ نیوتن استفاده شد. سرعت‌های بارگذاری ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر بر دقیقه بوده و حداکثر تغییر شکل به ۱۰ میلی‌متر محدود شد. تغییر شکل بیش از ۱۰



شکل ۱- الف- دستگاه آزمون کشش-فشار ب- نمونه حین بارگذاری

میوه) بوده و مرحله جداگانه‌ای به شکل ترک برداشتن پوست به طور مشخص در آن دیده نمی‌شود. در حالی که در رقم استعمران اولین علایم گسیختگی با ترکهای جانبی (عمود بر محور طولی میوه) روی پوست و جدا شدن آن از گوشت آغاز می‌شد که در ادامه با افزایش تغییر شکل، به پارگی بافت گوشتی آن منجر می‌شد. از سوی دیگر در این دامنه تغییر شکل ۱۰ میلیمتری در نمونه‌های استعمران در مقایسه با نمونه‌های زاهدی، نشانه‌های له شدگی نسبت به پارگی آشکارتر بود. به عبارت دیگر، بافت استعمران در واکنش نسبت به بار، بیشتر جریان می‌یابد. جریان یافتن بافت گوشتی درونی میوه، باعث وارد شدن تنش کششی به پوست می‌شود و در نتیجه پوست به طور جداگانه از ضعیف‌ترین محل شروع به گسیختن می‌کند. این پدیده به دلیل بافت نرم رقم استعمران رخ می‌دهد.

### ب) تجزیه و تحلیل آماری

جدول‌های (۳) تا (۸) و شکل‌های (۴) و (۵) نتایج حاصل از مقایسه میانگین خواص مکانیکی را نشان می‌دهد. بحث و نتیجه‌گیری در پی بررسی اجمالی نتایج در زیر آورده شده است.

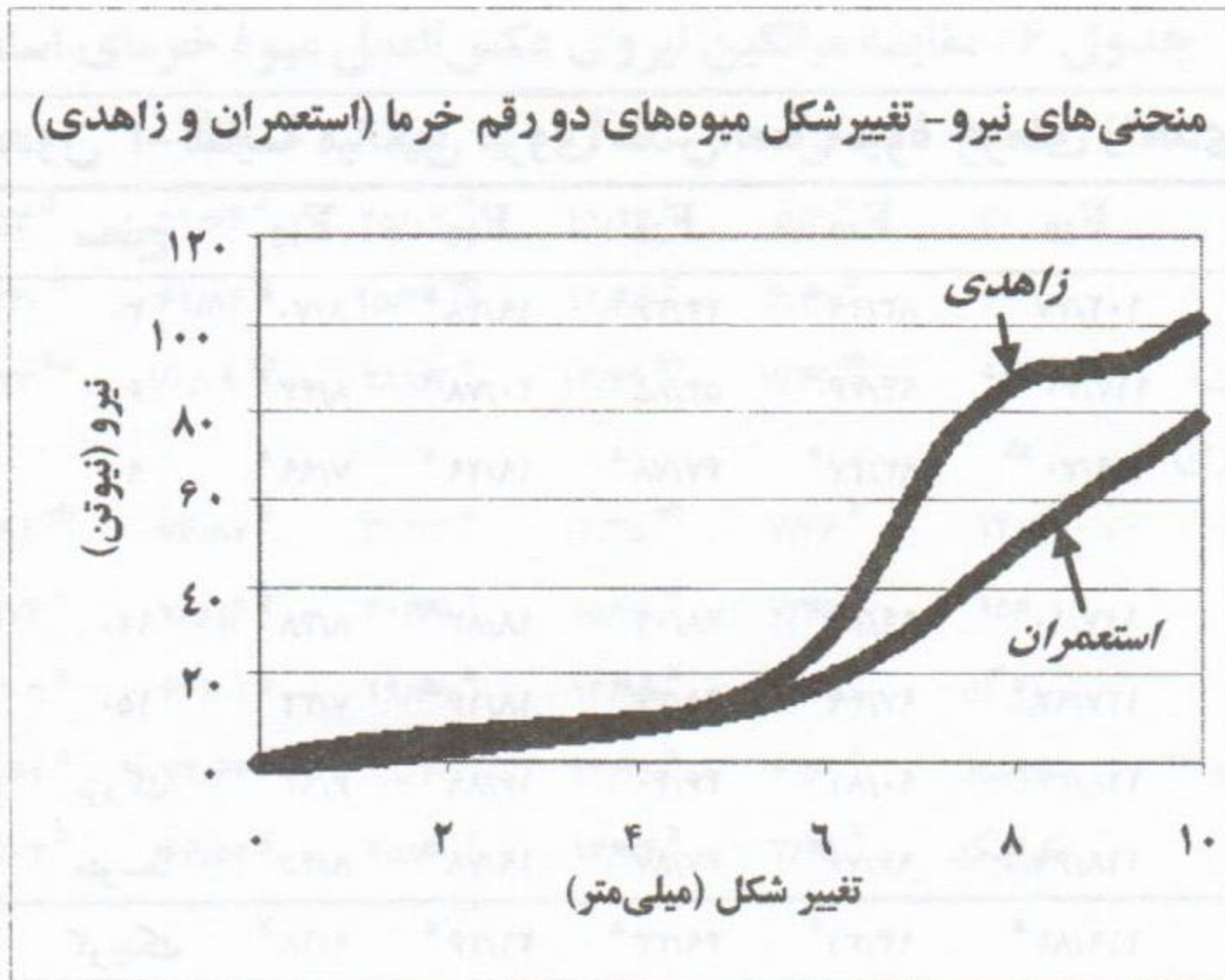
رقم زاهدی: همان گونه که از جدول (۳) بر می‌آید، سرعت بارگذاری تنها بر  $F_{50}$  و  $F_T$  یعنی نیرو در ۵۰٪ تغییر شکل نسبی و نیرو در لحظه گسیختگی اثر معنی‌داری داشته است و اثر آن بر نیرو در دیگر تغییر شکل‌های نسبی معنی‌دار نیست. اثر این عامل بر مقدار انرژی مورد نیاز برای گسیختگی نمونه نیز معنی‌دار بوده و در دیگر سطوح انرژی اندازه‌گیری شده اثر معنی‌داری نداشته است (جدول ۴). از نتیجه اخیر منطقی است که مقدار انرژی بر واحد حجم نیز تنها در لحظه گسیختگی به طور معنی‌داری از سرعت تاثیر پذیر باشد (جدول ۵). اثر سرعت بارگذاری بر مدول اولیه نیز معنی‌دار بوده است (شکل ۴).

در این تحقیق نیرو با  $F$ ، انرژی با  $E$ ، انرژی بر واحد حجم با  $EV$  و مدول اولیه<sup>۱</sup> - اولین شیب غیر صفر مماس بر منحنی- با  $IM$  نشان داده شده است. اندیس‌های عددی ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ به درصد تغییر شکل نسبی متناظر کمیت اندازه‌گیری شده دلالت دارند. اندیس  $T$  برای نشان دادن نقطه شکست به کار برده شده است. با این نامگذاری،  $EV_T$  همان چغرمگی ظاهری است. پس از آنکه خواص مکانیکی هر یک از نمونه‌ها تعیین شد، اطلاعات بدست آمده توسط نرم‌افزار Minitab از نظر نرمال بودن و برابری واریانس خطا مورد آزمون قرار گرفته، تبدیل مناسب بر روی داده‌ها انجام شد. در تجزیه واریانس، رطوبت نمونه‌ها به عنوان کوواریت در نظر گرفته شد و از نرم‌افزار SAS برای تجزیه کوواریانس و مقایسه میانگین‌های صفات از طریق آزمون دانکن ( $\alpha = 5\%$ ) استفاده شد.

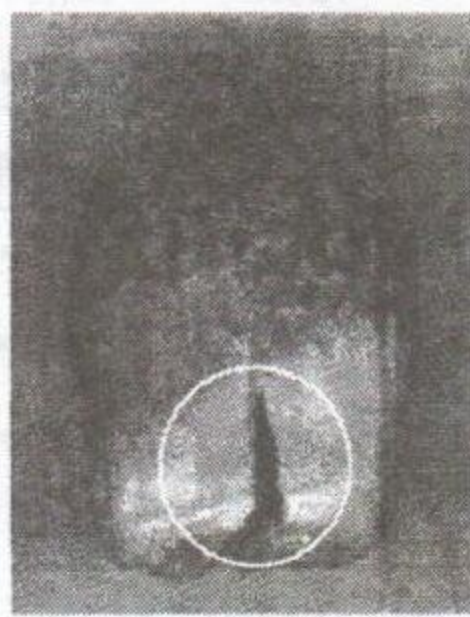
### یافته‌ها و بحث

#### الف) مشاهدات عینی

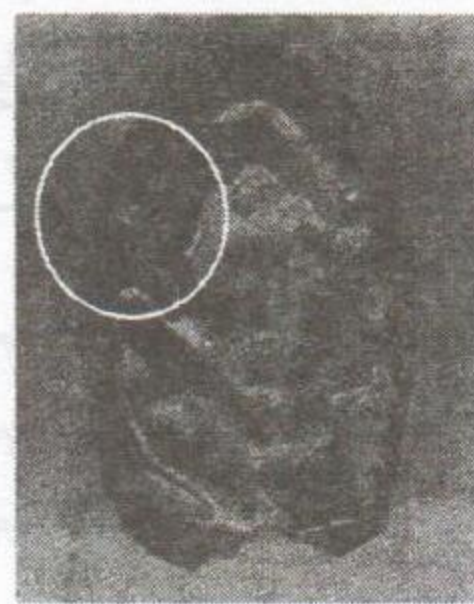
دو نمونه از منحنی‌های نیرو- تغییر شکل در شکل (۲) آورده شده‌اند. همان گونه که مشاهده می‌شود، روند تغییرات نیرو نسبت به تغییر شکل در دو رقم تفاوت محسوسی دارد. با افزایش تغییر شکل، نمونه‌های استعمران عموماً روند رو به افزایش در نیرو را بدون کاهش محسوسی تا انتهای آزمایش نشان می‌دهند که شیب این تغییرات با افزایش تغییر شکل به طور فزاینده‌ای افزایش می‌یابد. بر خلاف نمونه‌های استعمران، در نمونه‌های زاهدی عموماً نقطه مشخصی به شکل افت بار و سپس افزایش مجدد آن مشاهده می‌شود. در طول آزمایش مشاهده شد که نحوه ظهور ترک و گسیختگی در دو رقم متفاوت است (شکل ۳). در میوه‌های رقم زاهدی عموماً ترک در راستای محور طولی (خط واصل محل کلاهک به نوک



شکل ۲- نمونه منحنی‌های نیرو-تغییر شکل دو رقم خرما استعمران و زاهدی



(ب) زاهدی



(الف) استعمران

شکل ۳- محل وقوع ترک در نمونه‌های دو رقم خرما

انرژی مورد نیاز برای تغییر شکل نمونه‌ها و مدول اولیه نداشته است (جدول ۶ و ۷ و شکل ۵). لکن بر ویژگی انرژی مورد نیاز برای تغییر شکل واحد حجم نمونه به اندازه ۱۰، ۲۰ و ۵۰ درصد قطر اولیه اثر معنی‌داری داشته است (جدول ۸).

در حالی که سرعت عموماً بر خواص نیرو، انرژی و انرژی بر واحد حجم خرما زاهدی در تغییر شکل‌های نسبی مختلف اثر معنی‌داری نداشته است، اثر این عامل بر خواص فوق‌الذکر مربوط به رقم استعمران بسیار معنی‌دار بوده است. تاثیر پذیری شدید خواص مکانیکی نمونه‌های میوه خرما رقم استعمران از سرعت بارگذاری، به نوعی غالب بودن اثر عامل ویسکوز را در پاسخ به نیروی وارده نشان

از بین صفات اندازه‌گیری شده، تنها انرژی لازم برای تغییر شکل واحد حجم به طور معنی‌داری از اندازه نمونه تاثیر پذیرفته است (جدول ۵) که با توجه به تعریف این صفت، نتیجه‌ای کاملاً منطقی است.

**رقم استعمران:** تجزیه واریانس کمیت‌های اندازه‌گیری شده نشان داد که اثر سرعت بارگذاری بر کلیه خواص مکانیکی میوه خرما استعمران «بسیار معنی‌دار» بوده است (در سطح ۱٪). افزایش مقدار سرعت بارگذاری، به افزایش نیروی عکس‌العمل و انرژی مورد نیاز برای تغییر شکل نمونه انجامیده است (جدول ۶ و ۷). عامل دیگر یعنی اندازه نمونه نیز عموماً اثر معنی‌داری بر نیرو،

جدول ۳- مقایسه میانگین نیروی عکس‌العمل میوه خرماي زاهدي

F <sub>T</sub>	F <sub>50</sub>	F <sub>40</sub>	F <sub>30</sub>	F <sub>20</sub>	F <sub>10</sub>	سطح	تیمار
۶۰/۱۶ <sup>c</sup>	۱۰۲/۴۷ <sup>b</sup>	۸۳/۲۹ <sup>a</sup>	۴۴/۳۶ <sup>a</sup>	۱۹/۴۸ <sup>a</sup>	۸/۷۰ <sup>a</sup>	۳۰	سرعت بارگذاري
۷۰/۹۲ <sup>b</sup>	۱۱۷/۶۰ <sup>ab</sup>	۹۴/۴۶ <sup>a</sup>	۵۳/۸۵ <sup>a</sup>	۲۰/۷۸ <sup>a</sup>	۸/۴۳ <sup>a</sup>	۶۰	
۸۴/۸۶ <sup>ab</sup>	۱۱۹/۷۰ <sup>ab</sup>	۹۳/۴۷ <sup>a</sup>	۴۷/۷۸ <sup>a</sup>	۱۹/۲۹ <sup>a</sup>	۷/۹۹ <sup>a</sup>	۹۰	
۹۰/۱۲ <sup>ab</sup>	۱۲۷/۱۰ <sup>a</sup>	۹۹/۴۲ <sup>a</sup>	۴۸/۰۲ <sup>a</sup>	۱۸/۸۳ <sup>a</sup>	۸/۴۸ <sup>a</sup>	۱۲۰	اندازه
۹۷/۵۲ <sup>a</sup>	۱۲۷/۹۳ <sup>a</sup>	۹۷/۴۹ <sup>a</sup>	۴۵/۳۴ <sup>a</sup>	۱۸/۱۶ <sup>a</sup>	۷/۳۲ <sup>a</sup>	۱۵۰	
۸۳/۴۴ <sup>a</sup>	۱۱۸/۳۶ <sup>a</sup>	۹۰/۸۱ <sup>a</sup>	۴۶/۴۰ <sup>a</sup>	۱۶/۸۹ <sup>a</sup>	۶/۹۳ <sup>a</sup>	بزرگ	
۸۳/۱۷ <sup>a</sup>	۱۱۸/۶۹ <sup>a</sup>	۹۶/۷۶ <sup>a</sup>	۴۷/۸۷ <sup>a</sup>	۱۹/۷۸ <sup>a</sup>	۸/۴۵ <sup>a</sup>	متوسط	
۷۵/۵۴ <sup>a</sup>	۱۱۹/۸۲ <sup>a</sup>	۹۳/۳۱ <sup>a</sup>	۴۹/۳۳ <sup>a</sup>	۲۱/۲۶ <sup>a</sup>	۹/۱۸ <sup>a</sup>	کوچک	

جدول ۴- مقایسه میانگین انرژی لازم برای تغییر شکل میوه خرماي زاهدي

E <sub>T</sub>	E <sub>50</sub>	E <sub>40</sub>	E <sub>30</sub>	E <sub>20</sub>	E <sub>10</sub>	سطح	تیمار
۱۴۷/۶۸ <sup>c</sup>	۳۹۴/۶۵ <sup>a</sup>	۲۱۵/۸۰ <sup>a</sup>	۹۰/۴۱ <sup>a</sup>	۳۳/۸۷ <sup>a</sup>	۷/۸۵ <sup>a</sup>	۳۰	سرعت بارگذاري
۱۶۴/۴۹ <sup>bc</sup>	۴۵۰/۷۷ <sup>a</sup>	۲۴۳/۷۳ <sup>a</sup>	۱۰۱/۱۵ <sup>a</sup>	۳۴/۲۹ <sup>a</sup>	۷/۵۴ <sup>a</sup>	۶۰	
۱۹۹/۸۵ <sup>ab</sup>	۴۳۳/۳۱ <sup>a</sup>	۲۲۹/۵۰ <sup>a</sup>	۹۰/۰۷ <sup>a</sup>	۳۲/۲۱ <sup>a</sup>	۶/۷۵ <sup>a</sup>	۹۰	
۲۲۶/۰۵ <sup>a</sup>	۴۵۰/۲۷ <sup>a</sup>	۲۳۳/۴۲ <sup>a</sup>	۹۰/۱۵ <sup>a</sup>	۳۲/۷۲ <sup>a</sup>	۷/۲۴ <sup>a</sup>	۱۲۰	اندازه
۲۳۲/۸۹ <sup>a</sup>	۴۲۹/۳۸ <sup>a</sup>	۲۱۶/۴۰ <sup>a</sup>	۸۳/۳۷ <sup>a</sup>	۲۸/۹۹ <sup>a</sup>	۵/۹۷ <sup>a</sup>	۱۵۰	
۲۰۷/۴۹ <sup>a</sup>	۴۳۰/۸۶ <sup>a</sup>	۲۲۱/۷۶ <sup>a</sup>	۸۵/۳۴ <sup>a</sup>	۲۸/۴۷ <sup>a</sup>	۶/۲۴ <sup>a</sup>	بزرگ	
۲۰۵/۳۷ <sup>a</sup>	۴۳۷/۵۳ <sup>a</sup>	۲۳۱/۴۷ <sup>a</sup>	۹۲/۴۵ <sup>a</sup>	۳۳/۷۴ <sup>a</sup>	۷/۱۸ <sup>a</sup>	متوسط	
۱۷۲/۷۱ <sup>a</sup>	۴۲۶/۶۴ <sup>a</sup>	۲۳۰/۰۸ <sup>a</sup>	۹۵/۳۰ <sup>a</sup>	۳۵/۰۴ <sup>a</sup>	۷/۷۹ <sup>a</sup>	کوچک	

جدول ۵- مقایسه میانگین انرژی لازم برای تغییر شکل واحد حجم میوه خرماي زاهدي

EV <sub>T</sub>	EV <sub>50</sub>	EV <sub>40</sub>	EV <sub>30</sub>	EV <sub>20</sub>	EV <sub>10</sub>	سطح	تیمار
۰/۰۲۲۰۴۹ <sup>c</sup>	۰/۰۵۸۵۰۵ <sup>a</sup>	۰/۰۳۱۹۷۱ <sup>a</sup>	۰/۰۱۳۴۳۷ <sup>a</sup>	۰/۰۰۴۹۷۰۵ <sup>a</sup>	۰/۰۰۱۱۶۸ <sup>a</sup>	۳۰	سرعت بارگذاري
۰/۰۲۴۷۷ <sup>bc</sup>	۰/۰۶۷۲۳۴ <sup>a</sup>	۰/۰۳۶۵۶۱ <sup>a</sup>	۰/۰۱۵۲۳۹ <sup>a</sup>	۰/۰۰۴۹۷۲۸ <sup>a</sup>	۰/۰۰۱۱۳۶۸ <sup>a</sup>	۶۰	
۰/۰۳۰۵۳ <sup>ab</sup>	۰/۰۶۵۴۳۷ <sup>a</sup>	۰/۰۳۳۶۴۷ <sup>a</sup>	۰/۰۱۳۵۵۶ <sup>a</sup>	۰/۰۰۴۵۷۱۳ <sup>a</sup>	۰/۰۰۰۹۷۵۲ <sup>a</sup>	۹۰	
۰/۰۳۴۳۵۲ <sup>a</sup>	۰/۰۶۸۲۲۰ <sup>a</sup>	۰/۰۳۵۳۷۵ <sup>a</sup>	۰/۰۱۳۶۷۲ <sup>a</sup>	۰/۰۰۴۷۴۷۸ <sup>a</sup>	۰/۰۰۱۰۹۶۷ <sup>a</sup>	۱۲۰	اندازه
۰/۰۳۶۱۹۴ <sup>a</sup>	۰/۰۶۶۹۴۸ <sup>a</sup>	۰/۰۳۳۷۹۹ <sup>a</sup>	۰/۰۱۳۰۱۵ <sup>a</sup>	۰/۰۰۴۵۱۹۸ <sup>a</sup>	۰/۰۰۰۹۳۰۵ <sup>a</sup>	۱۵۰	
۰/۰۲۷۴۸۸ <sup>a</sup>	۰/۰۵۷۰۵۴ <sup>b</sup>	۰/۰۲۸۷۸۶ <sup>b</sup>	۰/۰۱۱۲۷۹ <sup>b</sup>	۰/۰۰۳۵۵۶۹ <sup>b</sup>	۰/۰۰۰۸۱۷۲ <sup>b</sup>	بزرگ	
۰/۰۳۱۴۷۰ <sup>a</sup>	۰/۰۶۶۵۲۹ <sup>ab</sup>	۰/۰۳۵۱۵۴ <sup>ab</sup>	۰/۰۱۴۰۱۶ <sup>ab</sup>	۰/۰۰۴۸۴۸ <sup>ab</sup>	۰/۰۰۱۰۶۹۸ <sup>ab</sup>	متوسط	
۰/۰۲۹۷۷۹ <sup>a</sup>	۰/۰۷۲۲۲۳ <sup>a</sup>	۰/۰۳۸۸۷۲ <sup>a</sup>	۰/۰۱۶۰۵۶ <sup>a</sup>	۰/۰۰۵۸۶۳۵ <sup>a</sup>	۰/۰۰۱۲۹۷۳ <sup>a</sup>	کوچک	



جدول ۶- مقایسه میانگین نیروی عکس العمل میوه خرماي استعمران

تیمار	سطح	F <sub>10</sub>	F <sub>20</sub>	F <sub>30</sub>	F <sub>40</sub>	F <sub>50</sub>	F <sub>T</sub>
سرعت بارگذاری	۳۰	۵/۴ <sup>c</sup>	۱۱/۲۴ <sup>c</sup>	۲۵/۰۲ <sup>b</sup>	۵۱/۶۴ <sup>c</sup>	۹۱/۵۳ <sup>d</sup>	۷۲/۱۰ <sup>d</sup>
	۶۰	۶/۳۹ <sup>b</sup>	۱۲/۸۶ <sup>b</sup>	۲۵/۳۰ <sup>ab</sup>	۶۱/۸۴ <sup>b</sup>	۱۲۳/۴۰ <sup>c</sup>	۱۰۸/۶۰ <sup>c</sup>
	۹۰	۷/۲۲ <sup>ab</sup>	۱۳/۷۹ <sup>ab</sup>	۲۸/۵۳ <sup>a</sup>	۷۰/۰۹ <sup>ab</sup>	۱۳۳/۲۳ <sup>bc</sup>	۱۲۲/۸۷ <sup>bc</sup>
اندازه	۱۲۰	۷/۳۶ <sup>a</sup>	۱۴/۳۵ <sup>ab</sup>	۳۰/۱۳ <sup>a</sup>	۷۶/۸۷ <sup>a</sup>	۱۴۴/۹۱ <sup>ab</sup>	۱۵۷/۰۴ <sup>ab</sup>
	۱۵۰	۷/۷۵ <sup>a</sup>	۱۵/۶۵ <sup>a</sup>	۳۰/۳۶ <sup>a</sup>	۷۸/۱۶ <sup>a</sup>	۱۵۴/۷۴ <sup>a</sup>	۱۶۸/۱۲ <sup>a</sup>
	بزرگ	۶/۷۲ <sup>a</sup>	۱۳/۸۹ <sup>a</sup>	۲۹/۶۸ <sup>a</sup>	۶۴/۰۱ <sup>a</sup>	۱۲۰/۰۵ <sup>a</sup>	۱۱۸/۲۵ <sup>a</sup>
	متوسط	۶/۵۰ <sup>a</sup>	۱۳/۲۰ <sup>a</sup>	۲۸/۱۳ <sup>a</sup>	۷۲/۶۴ <sup>a</sup>	۱۳۱/۶۲ <sup>a</sup>	۱۳۲/۷۸ <sup>a</sup>
	کوچک	۷/۲۵ <sup>a</sup>	۱۳/۶۴ <sup>a</sup>	۲۵/۸۰ <sup>a</sup>	۶۶/۵۲ <sup>a</sup>	۱۳۷/۰۲ <sup>b</sup>	۱۲۶/۲۱ <sup>a</sup>

جدول ۷- مقایسه میانگین انرژی لازم برای تغییر شکل میوه خرماي استعمران

تیمار	سطح	E <sub>10</sub>	E <sub>20</sub>	E <sub>30</sub>	E <sub>40</sub>	E <sub>50</sub>	E <sub>T</sub>
سرعت بارگذاری	۳۰	۴/۹۵ <sup>b</sup>	۱۸/۷۷ <sup>c</sup>	۴۸/۵۲ <sup>c</sup>	۱۱۲/۰۳ <sup>c</sup>	۲۳۴/۰۶ <sup>c</sup>	۱۶۱/۷۰ <sup>c</sup>
	۶۰	۵/۵۷ <sup>a</sup>	۲۲/۲۰ <sup>b</sup>	۵۲/۷۶ <sup>b</sup>	۱۲۲/۸۸ <sup>b</sup>	۲۸۰/۴۲ <sup>b</sup>	۲۴۰/۰۶ <sup>b</sup>
	۹۰	۶/۱۸ <sup>a</sup>	۲۳/۹۳ <sup>ab</sup>	۵۷/۵۶ <sup>ab</sup>	۱۳۴/۹۵ <sup>ab</sup>	۳۰۶/۳۹ <sup>ab</sup>	۲۶۲/۹۴ <sup>b</sup>
اندازه	۱۲۰	۶/۳۲ <sup>a</sup>	۲۴/۳۵ <sup>ab</sup>	۵۹/۲۷ <sup>ab</sup>	۱۴۴/۷۶ <sup>ab</sup>	۳۱۹/۴۰ <sup>a</sup>	۳۴۴/۲۹ <sup>a</sup>
	۱۵۰	۶/۳۵ <sup>a</sup>	۲۶/۰۸ <sup>a</sup>	۶۳/۲۴ <sup>a</sup>	۱۴۷/۹۰ <sup>a</sup>	۳۴۶/۲۳ <sup>a</sup>	۳۶۶/۰۷ <sup>a</sup>
	بزرگ	۵/۹۵ <sup>ab</sup>	۲۳/۶۴ <sup>a</sup>	۵۹/۷۴ <sup>a</sup>	۱۳۸/۳۰ <sup>a</sup>	۲۹۶/۷۵ <sup>a</sup>	۲۷۵/۸۸ <sup>a</sup>
	متوسط	۵/۵۴ <sup>b</sup>	۲۲/۰۳ <sup>a</sup>	۵۴/۷۱ <sup>a</sup>	۱۳۴/۷۲ <sup>a</sup>	۳۰۱/۳۰ <sup>a</sup>	۲۸۵/۴۸ <sup>a</sup>
	کوچک	۶/۱۳ <sup>a</sup>	۲۳/۵۴ <sup>a</sup>	۵۴/۳۶ <sup>a</sup>	۱۲۵/۰۹ <sup>a</sup>	۲۹۳/۸۵ <sup>a</sup>	۲۶۳/۶۸ <sup>a</sup>

توجه: میانگین های دارای حروف متفاوت، در سطح  $\alpha = 0,05$  اختلاف معنی دار دارند.

جدول ۸- مقایسه میانگین انرژی لازم برای تغییر شکل واحد حجم میوه خرماي استعمران

تیمار	سطح	EV <sub>10</sub>	EV <sub>20</sub>	EV <sub>30</sub>	EV <sub>40</sub>	EV <sub>50</sub>	EV <sub>T</sub>
سرعت بارگذاری	۳۰	۰/۰۰۰۸۶۵۵۶ <sup>b</sup>	۰/۰۰۳۳۱۴۶ <sup>c</sup>	۰/۰۰۸۵۷۴۷ <sup>c</sup>	۰/۰۱۹۷۰۳ <sup>c</sup>	۰/۰۴۰۹۲۰ <sup>c</sup>	۰/۰۲۸۷۱۷ <sup>d</sup>
	۶۰	۰/۰۰۰۹۲۳۳۳ <sup>b</sup>	۰/۰۰۳۶۹۸۷ <sup>b</sup>	۰/۰۰۸۷۹۶۰ <sup>bc</sup>	۰/۰۲۰۵۰۶ <sup>b</sup>	۰/۰۴۶۵۸۹ <sup>b</sup>	۰/۰۳۹۹۳۶ <sup>c</sup>
	۹۰	۰/۰۰۱۰۵۵۵۶ <sup>a</sup>	۰/۰۰۴۰۳۳۱ <sup>b</sup>	۰/۰۰۹۷۷۳۰ <sup>ab</sup>	۰/۰۲۳۱۲۱ <sup>ab</sup>	۰/۰۵۱۹۳۱ <sup>ab</sup>	۰/۰۴۴۸۵۰ <sup>bc</sup>
اندازه	۱۲۰	۰/۰۰۰۷۱۱۱ <sup>a</sup>	۰/۰۰۴۱۹۲۳ <sup>ab</sup>	۰/۰۱۰۲۱۵۰ <sup>a</sup>	۰/۰۲۴۹۳۴ <sup>ab</sup>	۰/۰۵۴۷۹۰ <sup>ab</sup>	۰/۰۵۸۵۶۹ <sup>ab</sup>
	۱۵۰	۰/۰۰۱۰۹۷۷۸ <sup>a</sup>	۰/۰۰۴۵۵۰۰ <sup>a</sup>	۰/۰۱۱۰۱۰۷ <sup>a</sup>	۰/۰۲۵۷۸۲ <sup>a</sup>	۰/۰۶۰۵۳۴ <sup>a</sup>	۰/۰۶۳۶۱۴ <sup>a</sup>
	بزرگ	۰/۰۰۰۰۹۲ <sup>b</sup>	۰/۰۰۳۶۸۵۲ <sup>b</sup>	۰/۰۰۹۲۶۳۱ <sup>a</sup>	۰/۰۲۱۷۶۲ <sup>a</sup>	۰/۰۴۶۲۲۵ <sup>b</sup>	۰/۰۴۲۶۳۴ <sup>a</sup>
	متوسط	۰/۰۰۰۹۲۶۶۸ <sup>b</sup>	۰/۰۰۳۷۱۸۸ <sup>b</sup>	۰/۰۰۹۳۹۷۷ <sup>a</sup>	۰/۰۲۲۷۸۲ <sup>a</sup>	۰/۰۵۰۵۹۱ <sup>ab</sup>	۰/۰۴۸۹۳۲ <sup>a</sup>
	کوچک	۰/۰۰۱۱۶۱۳۳ <sup>a</sup>	۰/۰۰۴۴۷۵۲ <sup>a</sup>	۰/۰۱۰۳۶۰۹ <sup>a</sup>	۰/۰۲۳۸۸۴ <sup>a</sup>	۰/۰۵۶۰۴۲ <sup>a</sup>	۰/۰۴۹۹۴۷ <sup>a</sup>

می‌دهد. در خرمای زاهدی اثر عامل ویسکوز ناچیز است و عامل الاستیک سهم بیشتری را در پاسخ نهایی دارد که در حالت ایده‌آل وابسته به سرعت نیست. به عبارت دیگر اگرچه میوه خرما به دلیل تعلق داشتن به مجموعه محصولات کشاورزی در دسته مواد ویسکوالاستیک طبقه‌بندی می‌شود، در رقم استعمران رفتار ویسکوز و در رقم زاهدی رفتار الاستیک غالب‌تر است. این نکته در طراحی بهینه سیستم‌های فراوری که در آنها میوه در محدوده شبه استاتیک فشرده می‌گردد - نظیر دستگاه تهیه قالب‌های فشرده خرما - اهمیت می‌یابد.

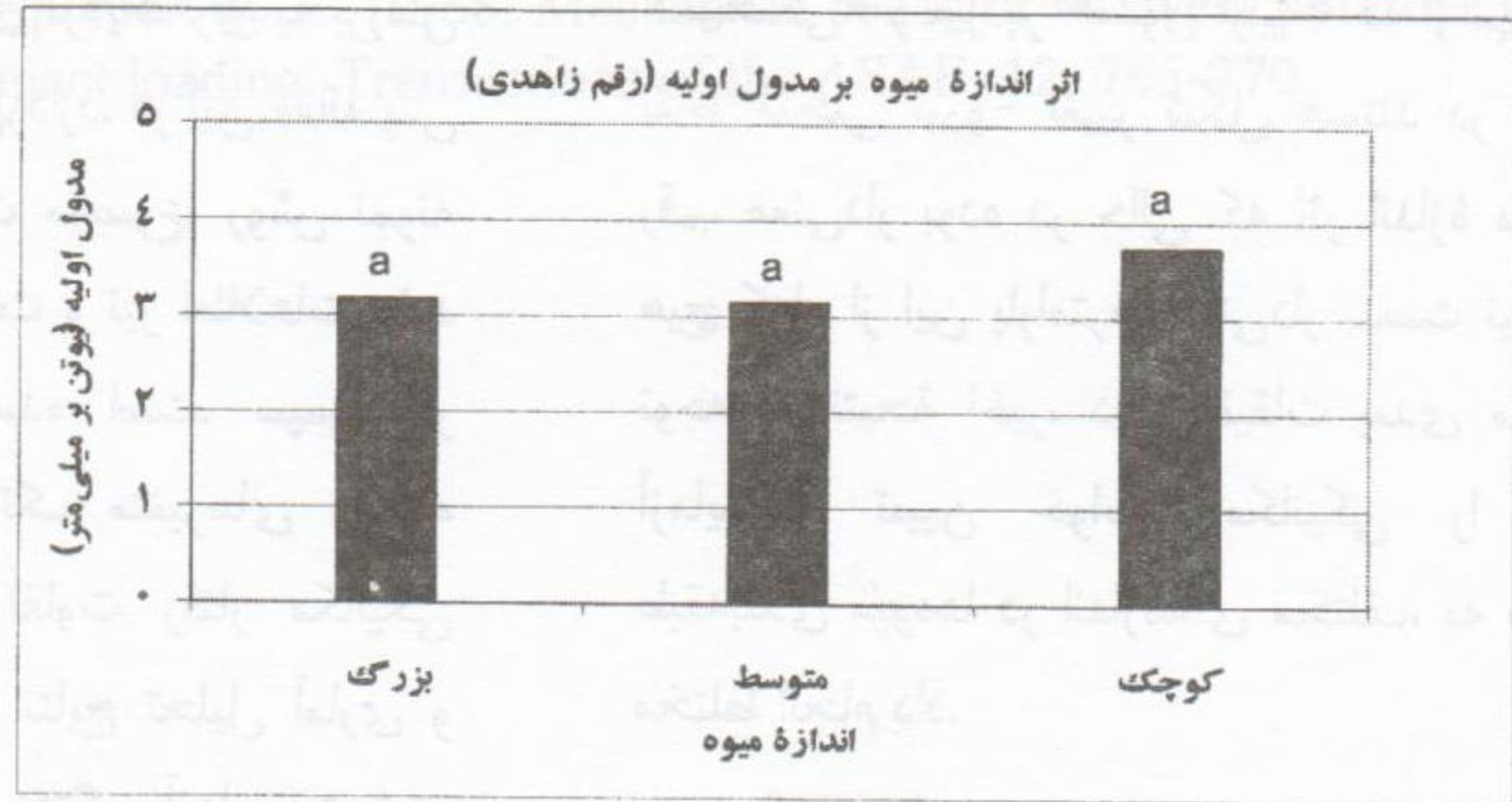
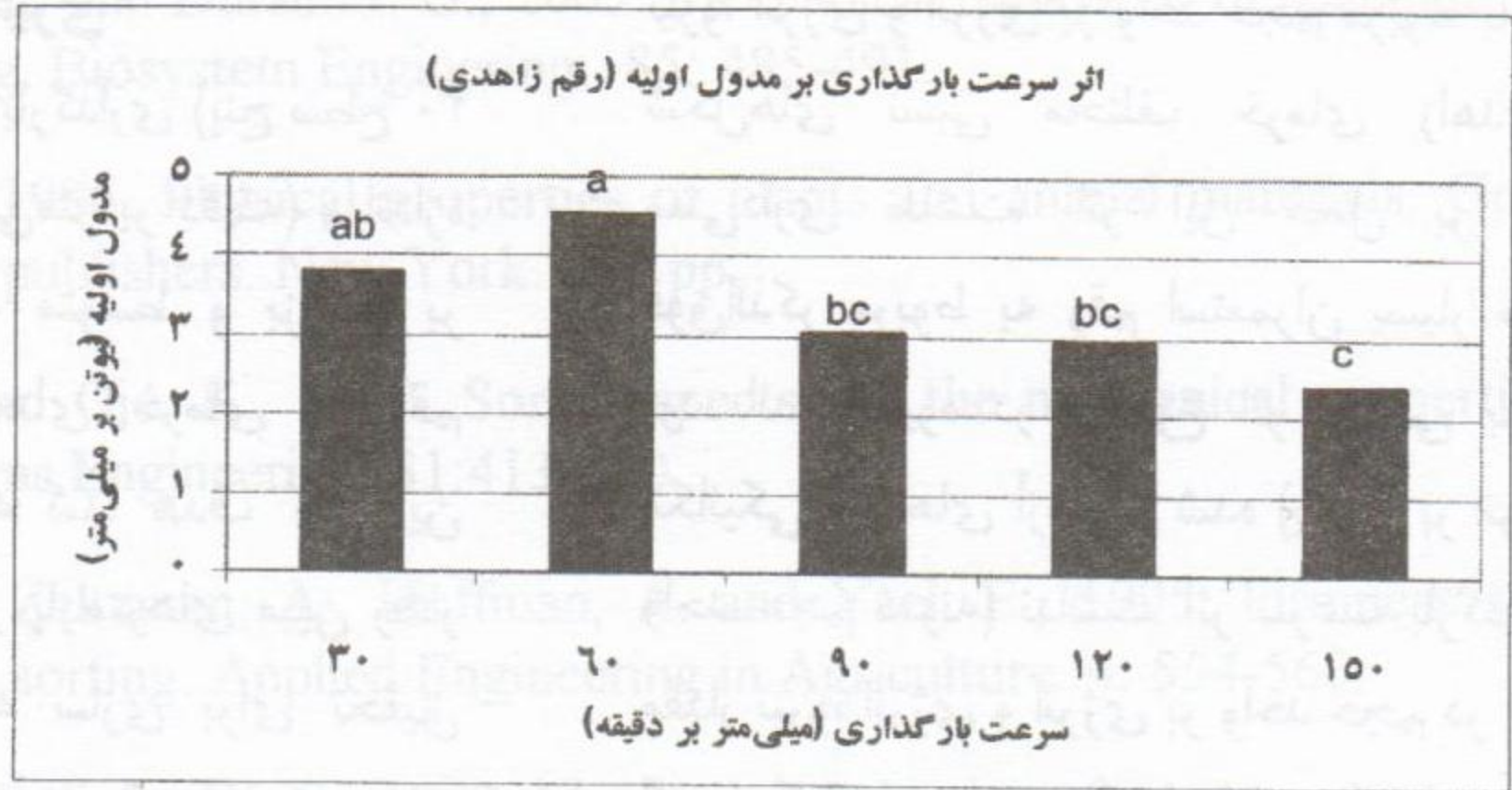
به طور کلی می‌توان پذیرفت که اندازه نمونه در هر دو رقم بر خواص مکانیکی میوه - به استثناء انرژی بر واحد حجم - اثر معنی‌داری ندارد.

نکته جالبی که از مقایسه نظیر به نظیر اعداد مندرج در جداول مقایسه میانگین‌های صفات مربوط به دو رقم آشکار می‌شود، این است که اگر چه مقدار عددی اکثر صفات در تغییر شکل‌های نسبی برابر برای رقم زاهدی بزرگ‌تر است، مقدار آنها در لحظه گسیختگی برای رقم استعمران بیشتر است. این بدان معنی است که تغییر شکل نظیر نقطه گسیختگی قابل رؤیت در نمونه‌های خرمای رقم استعمران در فاصله دور تری از مبدا مختصات قرار دارد. به بیان دیگر، گسیختگی نمونه‌های خرمای زاهدی در تغییر شکل نسبی کوچک‌تری اتفاق می‌افتد. این پدیده را می‌توان به این طریق نیز بیان کرد که از دیدگاه گسیختگی بافت، نمونه‌های رقم زاهدی نسبت به تغییر شکل نسبی حساس‌تر هستند و قابلیت تغییر شکل نسبی زیاد را بدون گسیخته شدن ندارند. در عوض نمونه‌های رقم استعمران می‌توانند تا حد بیشتری تحت بار تغییر شکل یابند بی‌آنکه بافت آنها گسیخته شود. در نتیجه برخلاف نمونه‌های زاهدی، می‌توان نمونه‌های استعمرانی تا حد زیاد «له‌شده» داشت که هیچ علامتی از ترک روی سطح خارجی نشان ندهند. بنابراین روش

بارگذاری فشاری توسط دو صفحه موازی برای کاربردهایی که گسیختن بافت نمونه‌های خرمای استعمران مورد نظر و مطلوب است از نقطه نظر استفاده بهینه از انرژی توصیه نمی‌شود.

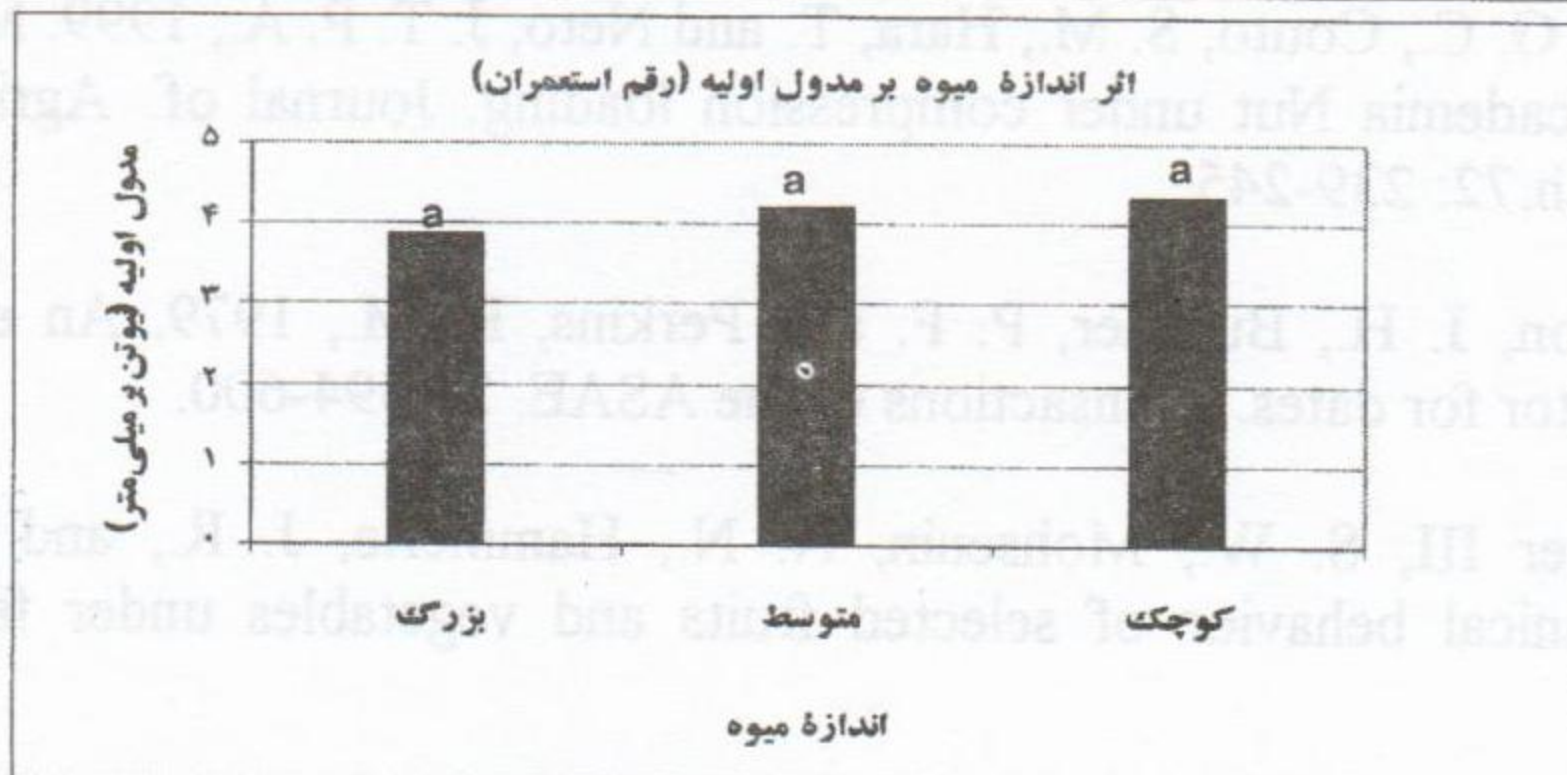
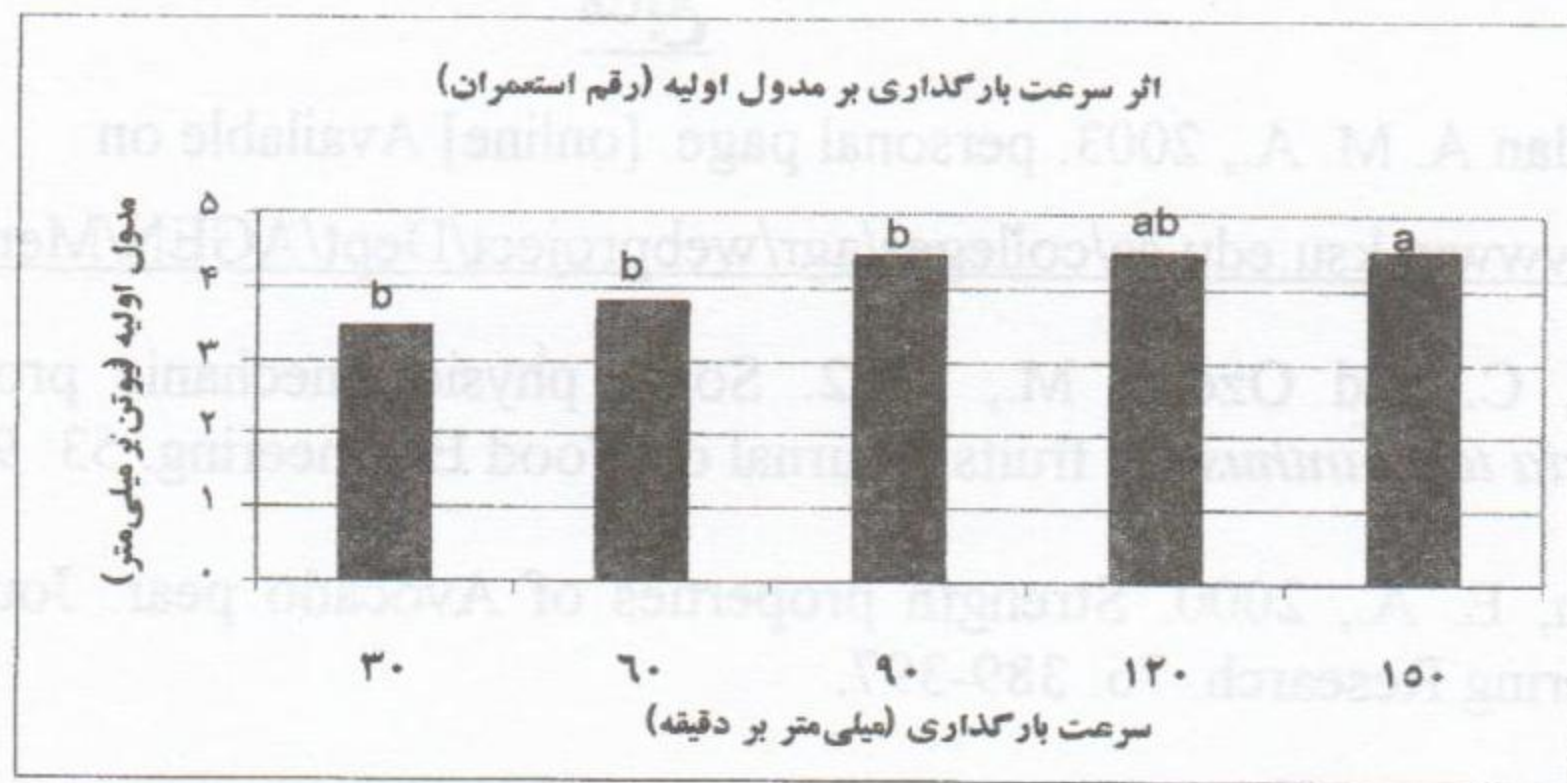
نکته جالب دیگری که از بررسی میانگین‌های انرژی و انرژی بر واحد حجم نمونه‌های دو رقم مشاهده می‌شود آن است که اگر چه در هر رقم مقدار عددی انرژی در هر یک از سطوح تغییر شکل نسبی با تغییر اندازه میوه هم راستا نیست و نمی‌توان به عنوان مثال به صراحت گفت که با کوچک شدن اندازه میوه انرژی مورد نیاز برای تغییر شکل آن افزایش می‌یابد، مقدار عددی انرژی مورد نیاز بر واحد حجم میوه همواره با کوچک شدن اندازه آن افزایش یافته است. این بیان در مورد هر دو رقم، حتی در سطوحی از تغییر شکل که اثر اندازه بر مقدار انرژی بر واحد حجم معنی‌دار نبوده است، صادق است.

با بررسی دقیق ارتباط روند تغییرات مدول اولیه دو رقم در اثر تغییرات سرعت بارگذاری و اندازه میوه (شکل‌های ۴ و ۵) مشخص می‌شود که در مورد نمونه‌های رقم زاهدی روند معینی وجود ندارد و نمی‌توان با اطمینان، افزایشی یا کاهشی بودن تغییرات مدول اولیه در اثر تغییر سرعت بارگذاری یا اندازه میوه را بیان داشت، در حالی که در نمونه‌های رقم استعمران، افزایش سرعت باعث افزایش مدول اولیه شده است. روند مشابهی در مورد اثر کوچک شدن نمونه نیز مشاهده می‌شود. توضیح اینکه اگر چه اندازه میوه اثر معنی‌داری بر مدول اولیه نمونه‌های هیچ یک از دو رقم نداشته است لکن مقادیر عددی مدول اولیه برای رقم استعمران با کوچک‌تر شدن میوه افزایش یافته در حالی که چنین روندی در مورد نمونه‌های رقم زاهدی دیده نمی‌شود. این مشاهدات به نوعی منعکس‌کننده اثر غالب جزء ویسکوز و مکانیزم مستهلک کردن نیروی وارده در نمونه‌های خرمای استعمران است.



شکل ۴- نمودار مقایسه میانگین مدول اولیه میوه خرماي زاهدی در تیمارهای مختلف

توجه: میانگین‌های دارای حروف متفاوت، در سطح  $\alpha = 0.05$  اختلاف معنی دار دارند.



شکل ۵- نمودار مقایسه میانگین مدول اولیه میوه خرماي استعمران در تیمارهای مختلف

### نتیجه گیری

در این مقاله اثر سرعت بارگذاری (پنج سطح ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی متر بر دقیقه) و اندازه نمونه (سه سطح کوچک، متوسط و بزرگ) بر ویژگی‌های مکانیکی میوه‌های خرما دو رقم استعمران و زاهدی مطالعه شد. هدف کلی این تحقیق ضمن آرایه برخی از پارامترهای مبین رفتار مکانیکی میوه خرما، زمینه سازی برای تحقیق گسترده‌تری است که از نمای نزدیک‌تری به بررسی رفتار مکانیکی این میوه می‌پردازد. در این مقاله پس از اشاره به مبانی و اهمیت موضوع، روش نمونه برداری، شیوه انجام آزمایشات و نیز اطلاعات مفید حاصل از داده‌ها آرایه شده است. سپس اثر متغیرهای مستقل بر تک‌تک متغیرهای وابسته بررسی شده و در انتها تفاوت رفتار مکانیکی میوه‌های دو رقم بر مبنای نتایج تحلیل آماری و مشاهدات مستقیم نحوه گسیختگی آنها بحث شده است. در حالی که سرعت بارگذاری بر اکثر خواص

نیرو، انرژی و انرژی بر واحد حجم مربوط به تغییر شکل‌های نسبی مختلف خرما زاهدی اثر معنی‌داری نداشت، اثر این عامل بر خواص فوق‌الذکر مربوط به رقم استعمران بسیار معنی‌دار بود. اندازه میوه در مجموع اثر چندانی بر رفتار مکانیکی میوه‌های آزمایش شده (به جز بر انرژی بر واحد حجم نمونه) نداشت. اثر سرعت بارگذاری بر مقدار نیرو، انرژی و انرژی بر واحد حجم در «لحظه گسیختگی» و نیز بر «مدول اولیه» که از مهمترین نقاط منحنی نیرو- تغییر شکل هستند در هر دو رقم، معنی‌دار بوده در حالی که اثر اندازه میوه بر هیچ کدام از این پارامترها معنی‌دار بدست نیامد. با توجه به نتیجه اخیر، در تحقیقات بعدی می‌توان آزمایشات تعیین خواص مکانیکی را بدون طبقه‌بندی میوه‌ها در اندازه‌های مختلف، به صورت مختلط انجام داد.

### منابع

- 1- Alhamdan A. M. A., 2003. personal page. [online] Available on <http://www.ksu.edu.sa/colleges/agr/webproject/Dept/AGEN/Member/a>
- 2- Aydin, C. and Ozcan, M., 2002. Some physico-mechanic properties of terebinth (*Pistacia terebinthus* L.) fruits. Journal of Food Engineering. 53: 97-101.
- 3- Barych, E. A., 2000. Strength properties of Avocado pear. Journal of Agricultural Engineering Research. 76: 389-397.
- 4- Braga, G. C., Couto, S. M., Hara, T. and Neto, J. T. P. A., 1999. Mechanical behaviour of Macademia Nut under compression loading. Journal of Agricultural Engineering Research. 72: 239-245.
- 5- Chesson, J. H., Burkner, P. F. and Perkins, R. M., 1979. An experimental vacuum separator for dates. Transactions of the ASAE. 21:594-600.
- 6- Fletcher III, S. W., Mohsenin, N. N., Hammerle, J. R., and Tukey L. D. 1965. Mechanical behavior of selected fruits and vegetables under fast rates of loading.

7- Guner, M, Dursun, E. and Dursun I. G., 2003. Mechanical behaviour of hazelnut under compression loading. Biosystem Engineering. 85: 485-491.

8- Mohsenin, N. N., 1986. Physical properties of plants and animal materials. Gordon and Breach science publishers. New York. 891 pp.

9- Olaniyan, A. M. and Oje, K., 2002. Some aspects of the mechanical properties of Shea Nut. Biosystems Engineering. 81:413-420.

10- Schmilovitch, Z.; Zaltzman, A., Hoffman, A. and Yael, E., 1995. Firmness sensor and system for date sorting. Applied Engineering in Agriculture. 4: 554-560.

11- Wright, F. S. and Splinter W. E., 1968. Mechanical behavior of sweet potatoes under slow loading and impact loading. Transactions of the ASAE. 12: 765-770.

در آزمایش تنش بر اساس مدل ماس-کولمب در لایه‌های مختلف و تغییرات تنش از مرحله ۸-۶ برای اتصال شد. اندازه بارهای مختلف مورد اندازه‌گیری در هر دو شرایط نشان داد که بین (تولیدها اختلاف معنی‌داری در مرحله ۸) برای کلیه صفات وجود دارد. برای مطالعه قابلیت ترکیب پذیری از روش تجزیه لاین ۲ تستر کمپوز (۱۹۹۱) و سینگ و چرکاری (۱۹۸۳) استفاده شد. میانگین‌ها برای صفات نظیر طول مدت پر شدن دانه و تعداد روز تا شروع و پایان گشایی و میانگین موم‌هاست تستر برای صفاتی نظیر طول مدت پر شدن دانه و تعداد روز تا رسیدن به مرحله‌ای که در هر دو شرایط معیار قرار گرفتند که پارامتر افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد. همچنین میانگین مدت‌ها لاین ۲ تستر برای صفاتی چون طول مدت پر شدن دانه، تعداد روز تا شروع و پایان گشایی و تعداد روز تا رسیدن به مرحله‌ای که در هر دو شرایط معنی‌داری بود که پارامتر افزایش معنی‌داری می‌باشد. در مورد صفات نظیر با توجه به نسبت پارامتر قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) به قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) نشان می‌دهد که پارامتر افزایش نسبت به پارامتر افزایش عمومی در مورد گردید.

پارامترهای ارزیابی قابلیت‌ها در صفات تولیدی، ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی

مقدمه

گشایی میوه‌ها تولیدات آسانی و همچنین برداشت آسان آن در طول دوره رشد گیاهان زراعی در درخت‌ها و در مناطق خشک کشور باعث شده و لزوم یافتن راه‌های جدید برای این مشکل را همواره گوشه‌مان می‌آید. از طرف دیگر اهمیت بالایی روش‌ها و روش‌های گشایی حاصل از آن از جمله گشایی آسان و حتی توسط آب سرد و جریان‌های سرد و درخت آن از سوی دیگر نیاز به عزم‌های زیاد از زمان بهشت از پیش روشن می‌سازد طبق گزارش فاکو (۲) تولید آسان‌ترین در جهان در

مجموعه‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۰ به ترتیب ۲۲۸۵۱ و ۲۰۲۶۵ میلیون تن و متوسط تولید ایران در این دو سال ۲۰۰۰ تن بوده است. همین ترکیب پذیری و انفراد پارامتر آنتونی یکی از ضابطه‌های اصلی در هر برنامه به‌ترتیب توزیع‌گیری می‌باشد. در این بین بیشتر تحقیقات انجام شده بر اساس طرح تلافی‌های دنبال بوده است و این در حالی است که در بیشتر مواقع تحقیقات زراعی

## The Effect of Loading Speed and Fruit Size on the Mechanical Properties of Two Date Fruit Varieties (Estamaran and Zahidi) in Khuzestan

Y. Mansoori<sup>1</sup> and S. Minaei<sup>2</sup>

### Abstract

Physical and mechanical properties of fruits are undoubtedly of great importance in design and improvement of fruit production, processing, and packing systems. Most of the agricultural products are generally classified as viscoelastic materials. Although time-dependency is one of the basic characteristics of the viscoelastic materials' behavior, the effect of loading speed on the mechanical properties of agricultural crops necessitates individual subtle studies on each of them. On the other hand, the relation between mechanical properties and fruit size as a physical property is unknown. The Importance of Date fruits and lack of fundamental data about their mechanical behavior is the motive for this study. Mechanical properties of two date fruit varieties, namely Zahidi and Estamaran including force and energy needed to deform the fruit, and the energy per unit volume of the fruit and the initial modulus (the first non-zero tangential modulus) needed to be determined. The force, energy and energy per unit volume were determined at 10%, 20%, 30%, 40%, 50% specific deformations and at the point where the first crack in the fruit became visible. Independent variables included loading speed (30, 60, 90, 120, 150 mm/min) and fruit size (small, medium, large). Although the effect of loading speed on most force, energy and energy per unit volume values under different specific deformations was not significant for Zahidi variety, its effect was very significant for Estamaran dates. For both varieties, the initial modulus, force, energy and energy per volume at the rupture point were significantly affected by loading speeds. Fruit size did not affect mechanical properties of the dates except for the energy per unit volume which is quite logical given its very definition.

**Keywords:** Loading speed, Fruit size, Dates, khuzestan, Estamaran, Zahidi

---

1- Ph. D. student of Agricultural Machinery, in Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- Assistant Professor of Agricultural Machinery Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran