دانشکده کشاورزی

گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی

رساله برای دریافت درجه‌ی دکتری در رشته‌ی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

ارزیابی و آنالیز خواص فیزیکی و مکانیکی انگور سفید بیدانه قبل و پس از برداشت

اساتید راهنما:

دکتر اسعد مدرس مطلق

دکتر محسن اسمعیلی

دکتر علاءالدین رحمانی دیدار

تنظیم و نگارش:

علی حسن پور

آذر ۱۳۹۰

مجوز حق طبع و نشر برای دانشگاه ارومیه محفوظ است

تقدیم به دو گل زیبای زندگی‌ام:

معصومه

و

پریسا

تشکر و قدردانی

خداوندا، ای کریم، ای بخشنده، ای سزاوار نیایش و ستایش، تـو را بـه خـاطر نعمـت‌هـای بی‌شمارت، لطف بی‌کرانت و بندگان بزرگوارت که در مسیر زندگی‌ام قرار دادی، سپاس‌گزارم.

از الهی نامه‌ی علامه حسن‌زاده‌ی آملی است:

«الهی، بدان بر ما حق بسیار دارند، چه رسد به خوبان»

از تمامی عزیزان، بزرگواران و خوبانی کـه در تهیّـه‌ی رسـاله‌ی حاضـر بنـده‌ی حقیـر را یـاری نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم. حقّ برخی از این عزیزان بر من به قدری گران است کـه خودم را از جبران حتی، بخشی از الطاف ایشان کاملا ناتوان می‌یابم.

از اساتید راهنمای خودم آقایان دکتر اسعد مدرس‌مطلق و دکتر علاءالدین رحمـانی‌دیـدار کـه بنده افتخار شـاگردی ایشـان را از دوره‌ی کارشناسـی دارم بـه خـاطر راهنمـایی‌هـا، دقـت نظـر در شکل‌بندی رساله و ارائه‌ی نقطه نظـرات مفیـد و سـازنده، از آقـای دکتـر محسـن اسـمعیلی اسـتاد راهنمای دوم که حق معلمی و استادی را بر من تمام کردند و در انجام مراحل مختلـف ایـن رسـاله، تمام انرژی و وقت‌شان را علاوه بر ساعات اداری در بسیاری اوقات، خارج از وقت اداری و حتی برخی از ایام تعطیل نیز در اختیار بنده قـرار دادنـد قـدردانی مـی‌نمـایم و همچنـین بـه خـاطر همـین از خانواده‌ی ارجمند ایشان نیز کمال تشکر را دارم.

زحمات داوران محترم خارجی این رساله، جنـاب آقـای دکتـر حمیدرضـا قاسـم‌زاده کـه بنـده افتخار شاگردی در محضر ایشان را در دوره‌ی کارشناسی ارشد کسب کـرده‌ام و جنـاب آقـای دکتـر شمس‌ا... عبدا... پور شایسته‌ی قدردانی است.

مراتب امتنان خود را از داوران محترم داخلی، جناب آقای دکتـر محمـدعلی حـداد درفشـی از اساتید دوره‌ی کارشناسی و دکتری اینجانب و جناب آقای دکتـر علـی محمـدنیکبخـت، سرپرسـت محترم تحصیلات تکمیلی دانشکده، اعلام می‌دارم.

ارائه‌ی نظرات مشاوره‌ای و آماری از طرف جناب آقای دکتر ایرج برنوسی با علاقمنـدی تمـام و بدون هیچ‌گونه چشم‌داشت، شایسته‌ی تقدیر است.

از تمامی عزیزان و بزرگواران و بخش‌های مختلف دانشگاه ارومیه که به طرق مختلف این‌جانب را مورد لطف قرار دادند و باعث تسهیل درکارهای این‌جانب شدند تشکر می‌کنم:

- ریاست محترم دانشکده‌ی کشاورزی جناب آقای دکتر رضایی و جنـاب آقـای دکتـر رضـازاد (ریاست محترم قبلی).

- مدیریت محترم گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی آقای دکتر عارف مردانـی، آقایـان دکتـر سیدمحمدحسن کماریزاده و دکتر سید کاظم شهیدی (مدیران محترم قبلی گروه و اساتید اینجانـب در دوره‌های کارشناسی و دکتری).

- اساتید، کارشناسان و کارکنان محترم گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی.

- مدیریت محترم گروه علوم و صنایع غذایی.

- مدیریت محترم گروه گیاهپزشکی آقای دکتر یوبرت قوستا.

- بخش‌های نجاری و آهنگری دانشگاه ارومیه.

- و آقای دکتر رسول جلیلی مرندی، آقای دکتر بهنام دولتی، آقـای مهنـدس مقـداد نصـیری، خانم مهندس هاله جعفری، آقای مهندس مرتضی فرهادی، آقـای مهنـدس حجـت جعفـری، آقـای مهندس حبیب محمدزاده، آقای فیروز مطلم و آقای ایمانی.

- خانواده‌ام و تمامی دوستان و آشنایان که مکـررا نگـران و پرسـان، جویـای احـوال و مشـوق کارهایم بوده‌اند.

- و احیانا بزرگوارانی که اسم‌شان از قلم افتاده.

چکیده

در کشور ما، ایران، سالانه حدود ۱/۸ میلیون تن انگور تولید می شود. این میوه که به علت دارا بودن بافت نرم و پوست نازک در برابر صدمات مکانیکی وارده حساس است به هر دو شکل رسیده و نارس برای تولید محصولات مختلف غذایی مصرف می‌شود. برای کمینه سازی این صدمات مکانیکی که ممکن است در مراحل برداشت، حمل و نقل و فرآوری محصول رخ دهد، دانش خواص مکانیکی لازم و ضروری است. این مطالعه اثر دوره‌ی رسیدن بر روی تغییر برخی خواص مکانیکی میوه‌ی انگور سفید بیدانه *(Vitis vinifera L.)*، پوست و گوشت آن را بررسی می‌کند. در این مطالعه برای تعیین خواص فیزیکی (ابعاد، حجم و دانسیته)، شیمیایی (درصد رطوبت، درجه بریکس و مقدار قند) و مکانیکی (چقرمگی، مقاومت نهایی، نیرو و انرژی شکست، سفتی و مدول الاستیسیته) در دوره رسیدن انگور سفید بیدانه، نمونه‌ی میوه تازه طی هفت هفته‌ی متوالی، از پانزدهم شهریور تا بیست وششم مهرماه، از یک باغ انگور برداشت گردید. به منظور بررسی خواص ویسکوالاستیک انگور سفید بیدانه در حین رسیدن، آزمون استراحت تنش جداگانه بر روی حبه‌ی کامل، گوشت میوه و پوست آن انجام گرفت. برای اندازه‌گیری نسبت پوآسون و مدول الاستیسیته، در هر نوبت شش حبه آماده شده به صورت تصادفی انتخاب و آزمایشات بارگذاری استاتیک توام با عکس‌برداری دیجیتالی انجام گرفت. با در نظر گرفتن شکل واقعی حبه‌ی انگور و تعریف مقدار مجاز تغییر شکل و نیز با استفاده از تئوری هرتز و نسبت پوآسون واقعی (آزمایشگاهی)، مدول الاستیسیته محاسبه گردید. نسبت پوآسون ظاهری نیز از طریق پردازش تصویر محاسبه و سپس مقادیر حاصل با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود (آباکوس) اصلاح شد.

بر اساس آزمایشات، همزمان با افزایش درجه‌ی بریکس و کاهش اسیدیته در طول دوره‌ی رسیدن، چگالی حقیقی میوه‌ها از ۱/۰۷۳ ± ۰/۰۰۴ تا ۱/۱۰۶ ± ۰/۰۰۷ گرم بر سانتی متر مکعب افزایش یافت. طی دوره‌ی رسیدن تواماً مقادیر مقاومت نهایی (σ_{pu}) و چقرمگی (U_{pu}) گوشت انگور با یک همبستگی مثبت (R^2=۰/۸۶۲۶ و P=۰/۰۰۲۵ در سطح اطمینان ۰/۹۹) افزایش نشان داد، در صورتی که مدول الاستیسیته در هفته‌های اول طی رسیدن میوه کاهش نشان می‌داد و در مراحل نهایی رسیدن سیر صعودی دارد. تمامی پارامترهای استخراج شده از آزمون کشش پوست شامل مقاومت نهایی، مدول الاستیسیته و چقرمگی درطول دوره‌ی رسیدن کاهش یافت. طی این دوره بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار مقاومت نهایی

پوست میوه به ترتیب ۳/۱۷۶ و ۲/۰۱۱ مگاپاسکال به دست آمد. همچنین در این مدت مدول الاستیسیته‌ی پوست از ۹/۵۱۵ تا ۶/۱۲۷ مگاپاسکال کاهش یافت و چقرمگی نیز از ۰/۸۷۶ تا ۰/۴۱۳ میلی ژول بر میلی‌متر مکعب تغییر کرد. مقاومت مکانیکی حبه‌ی کامل در مقابل پارگی با استفاده از آزمون فشار در محدوده‌ی ۷/۸۰ تا ۹/۱۸ نیوتن اندازه‌گیری شد. متوسط مقدار نیروی لازم برای جدایی دم از حبه در طی رسیدن انگور از ۲/۷۹ به ۲/۰۷ نیوتن کاهش یافت. نتایج آزمون نفوذ حبه‌ی کامل نشان داد که نیروی شکست، انرژی شکست و سفتی طی رسیدن کاهش می‌یابند. طبق نتایج بدست آمده با رشد و رسیدن میوه، رفتار الاستیک پوست انگور تشدید و سفتی گوشت میوه افزایش می‌یابد. بر طبق نتایج در مقایسه با گوشت میوه پوست آن در تغییرات خواص ویسکوالاستیک میوه‌ی کامل نقش تعیین کننده دارد. همچنین بر اساس نتایج حاصل از آنالیز رگرسیون غیر خطی، مقدار اجزاء الاستیک مدل، با طی شدن زمان رشد و رسیدن در مورد گوشت میوه افزایش و در مورد پوست و حبه‌ی کامل کاهش یافت. مدل سه جزئی ماکسول عمومی با ضریب تبیین بسیار بالایی بر روی داده های تجربی برازش گردید. نتایج نشان داد که در طی دوره‌ی رسیدن میوه مقدار تنش اولیه (تنش در زمان صفر) لازم برای ایجاد یک کرنش ثابت در میوه‌ی کامل کاهش ولی زمان استراحت تنش در گستره‌ی ۴۱/۶۸۱ تا ۴۵/۶۳۰ ثانیه تقریباً ثابت باقی می‌ماند.

با توجه به نتایج این تحقیق نسبت پوآسون محاسبه شده همواره از مقدار واقعی آن کوچک‌تر است و تابعی از مقدار کرنش محوری است. نتایج بدست آمده نشان داد که مدول الاستیسیته‌ی محاسبه شده از طریق تئوری هرتز تابعی از مقدار کرنش محوری بوده و با افزایش آن افزایش می‌یابد. مدول الاستیسیته و نسبت پوآسون در طول دوره‌ی رسیدن میوه کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: انگور سفید بیدانه، دوره‌ی رسیدن، خواص مکانیکی، نسبت پوآسون، مدول الاستیسیته، خاصیت ویسکوالاستیک، مدل ماکسول، تئوری هرتز.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	ا
فهرست علائم و اختصارات	ز
فهرست جداول	ک
فهرست اشکال	ل
فصل اول : مقدمه	۱
فصل دوم: بررسی منابع	۴
۲-۱ اهمیت و کاربرد خواص مکانیکی محصولات کشاورزی	۴
۲-۲ مشخصات انگور	۱۱
۲-۲-۱ میوه‌ی انگور و اجزاء آن	۱۱
۲-۲-۲ دوره‌های رشد و رسیدن انگور	۱۲
۲-۲-۲-۱ مرحله‌ی اول: رشد سریع حبه	۱۳
۲-۲-۲-۲ مرحله‌ی دوم: توقف در رشد حبه	۱۳
۲-۲-۲-۳ مرحله‌ی سوم: رسیدن میوه	۱۳
۲-۲-۲-۳-۱ رسیدن انگور و معیار آن	۱۴
۲-۳ خواص فیزیکی محصولات کشاورزی	۱۵
۲-۳-۱ شکل مواد	۱۵
۲-۳-۲ جرم، حجم و دانسیته	۱۶
۲-۳-۳ مساحت سطح	۱۷
۲-۳-۴ رطوبت	۱۷
۲-۴ روش‌های اندازه‌گیری خواص رئولوژیکی مواد جامد	۱۹
۲-۴-۱ آزمون‌های بنیادی	۱۹

۲-۴-۱-۱ مقایسه‌ی رفتار مواد مهندسی با مواد و محصولات کشاورزی ۲۰
۲-۴-۲ آزمون‌های تجربی ۲۴
۲-۴-۲-۱ آزمون سوراخ کردن و نفوذ سنجی ۲۵
۲-۴-۲-۲ آزمون تک محوری ۲۹
۲-۴-۲-۲-۱ آزمون تراکم ۲۹
۲-۴-۲-۲-۲ آزمون کشش ۳۲
۲-۴-۲-۳ آزمون جدا کردن دم از میوه ۳۴
۲-۴-۳ آزمون‌های تقلیدی ۳۶
۲-۵ خواص مکانیکی محصولات کشاورزی ۳۶
۲-۵-۱ مدول الاستیسیته محصولات کشاورزی ۳۶
۲-۵-۱-۱ تئوری هوک ۳۸
۲-۵-۱-۱-۱ تئوری هوک در آزمون تک محوری ۳۸
۲-۵-۱-۱-۲ تئوری هوک در آزمون خمش ۳۹
۲-۵-۱-۲ تئوری بوسینسک ۴۱
۲-۵-۱-۳ تئوری هرتز ۴۳
۲-۵-۲ نسبت پوآسون مواد بیولوژیک ۴۶
۲-۶ رئولوژی جامدات ۵۰
۲-۶-۱ رفتار ویسکوالاستیک ماده ۵۱
۲-۶-۲ مدل‌های رئولوژیکی ۵۳
۲-۶-۳ آزمون‌های ارزیابی خواص ویسکوالاستیک ۵۵
۲-۶-۳-۱ آزمون رهایی تنش ۵۵
۲-۶-۳-۱-۱ ملاحظات تئوری ۵۶
۲-۷ نتیجه‌گیری ۶۰

فصل سوم : مواد و روش‌ها ۶۲
۳-۱ مواد ۶۲
۳-۲ روشها ۶۴
۳-۲-۱ نمونه برداری ۶۴
۳-۲-۲ روش‌های تعیین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی ۶۵
۳-۲-۲-۱ خواص شیمیایی انگور ۶۵
۳-۲-۲-۱-۱ مواد جامد محلول کل (درجه‌ی بریکس) ۶۵
۳-۲-۲-۱-۲ اسیدیته‌ی قابل تیتر ۶۵
۳-۲-۲-۱-۳ قند کل ۶۵
۳-۲-۲-۱-۴ درصد رطوبت ۶۵
۳-۲-۲-۲ خواص فیزیکی ۶۶
۳-۲-۳ روش آماده سازی نمونه‌های پوست و گوشت حبه‌ی انگور ۶۶
۳-۲-۴ اندازه‌گیری ابعاد نمونه‌های پوست و گوشت ۶۸
۳-۲-۵ روش‌های تعیین ویژگی‌های مکانیکی (آنالیز بافت) ۶۸
۳-۲-۵-۱ آزمون‌های نفوذ با پروب‌های سوزنی و استوانه‌ای ۶۸
۳-۲-۵-۲ آزمون تراکم حبه‌ی کامل ۶۹
۳-۲-۵-۳ آزمون تراکم گوشت ۷۰
۳-۲-۵-۴ آزمون کشش پوست ۷۰
۳-۲-۵-۵ آزمون جدایی دم از حبه ۷۱
۳-۲-۵-۶ آزمون تعیین نسبت پواسون ۷۱
۳-۲-۵-۶-۱ پردازش تصویر ۷۴
۳-۲-۵-۷ آزمون تعیین مدول الاستیسیته ۷۴

۳-۲-۵-۸ روش محاسبه‌ی تنش‌های محیطی پوست و تغییر شکل حبه در اثر فشار داخلی ۷۹
۳-۲-۵-۹ آزمون‌های رهایی تنش یا نیرو ۸۵
۳-۲-۵-۹-۱ نحوه‌ی تشخیص جمله‌ی اول ۸۶
۳-۲-۵-۹-۱ آزمون‌های رهایی حبه‌ی کامل، پوست و گوشت انگور ۸۹
۳-۲-۶ محاسبات آنالیز آماری ۹۰
۳-۲-۷ روش المان محدود (اجزای محدود) ۹۰
۳-۲-۷-۱ نرم‌افزار آباکوس و اصول کار آن ۹۱
۳-۲-۷-۲ روش عمومی تحلیل مسائل در نرم‌افزار آباکوس ۹۲
۳-۲-۸ نرم‌افزارها ۹۵
فصل چهارم : نتایج و بحث ۹۶
۴-۱ آزمون شیمیایی ۹۶
۴-۱-۱ بریکس ۹۶
۴-۱-۲ قند کل ۹۷
۴-۱-۳ اسیدیته ۹۷
۴-۱-۴ رطوبت ۹۸
۴-۲ نتایج آزمون‌های فیزیکی ۹۸
۴-۲-۱ ویژگی‌های هندسی ۹۹
۴-۲-۲ متوسط جرم ۱۰۰
۴-۲-۳ چگالی ۱۰۰
۴-۲-۴ ضخامت پوست ۱۰۱
۴-۳ نتایج آزمون‌های مکانیکی ۱۰۲
۴-۳-۱ آزمون نفوذ با پروب سوزنی *P/2N* ۱۰۲

۴-۳-۲ آزمون نفوذ با پروب استوانه‌ای ۲ میلی‌متری *P/2* ۱۰۳
۴-۳-۳ آزمون تراکم حبه ۱۰۶
۴-۳-۴ آزمون تراکم گوشت حبه ۱۰۹
۴-۳-۵ آزمون کشش پوست ۱۰۹
۴-۳-۵-۱ فشار داخلی حبه ۱۱۰
۴-۳-۶ نتایج آزمون جدایی دم از حبه ۱۱۲
۴-۳-۷ نتایج محاسبه‌ی نسبت پوآسون و مدول الاستیسیته ۱۱۳
۴-۳-۷-۱ نسبت پوآسون ظاهری حبه ۱۱۳
۴-۳-۷-۲ حل مدل ریاضی نسبت پوآسون ۱۱۴
۴-۳-۷-۳ نسبت پوآسون واقعی حبه (نسبت پوآسون ظاهری اصلاح شده) ۱۱۶
۴-۳-۷-۳-۱ تغییر شکل ایجاد شده و ارتباط آن با نوع شکست حبه، در آزمون تراکم حبه ۱۱۸
۴-۳-۷-۴ حل مدل ریاضی مدول الاستیسیته ۱۲۰
۴-۳-۷-۵ مدول الاستیسیته ۱۲۱
۴-۳-۷-۵-۱ مدول الاستیسیته‌ی حبه‌ی انگور بازاء مقادیر مختلف کرنش ۱۲۶
۴-۳-۸ نتایج آزمون رهایی حبه ۱۲۸
۴-۳-۹ رهایی پوست ۱۳۱
۴-۳-۱۰ نتایج آزمون رهایی گوشت ۱۳۲
فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۳۵
۵-۱ نتیجه‌گیری کلی ۱۳۵
۵-۲ پیشنهادات ۱۳۷
منابع و مراجع ۱۳۹

پیوست‌ها ۱۴۹
پیوست الف–۱ مدل ناسین اویچ و پلگ ۱۴۹
پیوست الف-۲ ۱۵۱
الف-۲-۱ آزمون خزش ۱۵۱
الف-۲-۲ آزمون نوسانی (دینامیک) ۱۵۲
پیوست ب–۱ نتایج تجزیه‌ی واریانس ۱۵۴
پیوست ب-۲ نمونه‌ای از نتایج خروجی نرم افزار آباکوس ۱۵۵
Abstract ۱۵۸

فهرست علائم و اختصارات

نماد	شرح	واحد
a و b	شعاع‌های بزرگ و کوچک بیضی‌گون دوار (حبه)	mm
a'	شعاع بزرگ ثانویه‌ی بیضی‌گون	mm
a_1	مقدار ثابت در مدل پلگ	–
A	سطح، سطح مقطع، سطح پروب و نقطه‌ای روی یک سطح	mm^2
b'	شعاع کوچک ثانویه‌ی بیضی‌گون	mm
b_1	مقدار ثابت در مدل پلگ	–
C	ثابت	(N)
d	قطر انحناء نوک محدب پروب استوانه‌ای	mm
D_a، D_b و D_c	قطر بزرگ، قطر متوسط و قطر کوچک حبه	mm
D	قطر، قطر ثانویه	mm
D_g	قطر معادل	mm
e	شعاع پروب	mm
E	مدول الاستیسیته	MPa
F	نیروی وارد بر پروب، نیروی محوری، نیروی شکست	N
$F.S.$	ضریب اطمینان	–
F(t)	نیرو در هر زمان t	N
G	مدول الاستیسیته‌ی برشی	MPa
G'	مدول ذخیره	MPa
G"	مدول افت	MPa
h	ضخامت پوست	mm
I	گشتاور دوم سطح	mm^4
J	وادادگی خزش	–
k	مدول حجمی	MPa
$K, K_{1,2}$	مقادیر ثابت (رابطه‌ی هرتز)	–
K_C	ضریب تراکمی جسم	N/mm^2
K_S	ضریب برشی جسم	N/mm
l	طول	mm
n	تعداد اجزاء مدل	

p	فشار	MPa
P	محیط پروب	mm
r	شعاع، فاصله‌ی شعاعی	mm
R	شعاع	mm
R^2	ضریب تبین	–
R_1، $R_1^{'}$، R_2 و $R_2^{'}$	شعاع‌های انحناء جسم محدب در نقاط تماس	mm
s	مساحت سطح رویه	mm^2
S	محیط، محیط پروب، به همراه زیروند سفتی	mm
$S^{'}$	محیط ثانویه	
S_L	محیط طولی اولیه	mm
$S_L^{'}$	محیط طولی ثانویه	mm
S_T	محیط اولیه	mm
$S_T^{'}$	محیط ثانویه	mm
t یا t_i یا $t_{1,2}$	زمان	s
T	زمان رهایی	s
t_D	زمان	Day
T_i یا T_{rel}	زمان استراحت تنش $T_i = \frac{\eta_i}{E_i}$	s
U	چقرمگی	mJ/mm^3
V	حجم تولوئن جابجا شده یا حجم میوه	mm^3
w	جرم میوه	g
w_T	جرم تولوئن جابجا شده	g
W	انرژی	mJ
x, y, z	محورهای مختصات	
α	ثابت اولیه (نسبت تنش طولی به محیطی)	–
α'	ثابت ثانویه (نسبت تنش‌های ثانویه‌ی طولی به محیطی)	–
γ_0	کرنش برشی	
δ	تغییر، تغییر شکل، مقدار نفوذ پروب در داخل محصول	mm
ε	کرنش	-
ε_{ax}	کرنش محوری	–
ε_{ta}	کرنش جانبی	–
$\dot{\varepsilon}$	مشتق کرنش نسبت به زمان	
η_i	ویسکوزیته‌ی المان i ام	$MPa.s$
θ	زاویه	°

ν	نسبت پوآسون	–
ν_{yx} و ν_{yz}	به ترتیب نسبت‌های پوآسون بین دو امتداد y، x و z، y	–
ν_{yx_a} و ν_{yz_a}	به ترتیب نسبت‌های پوآسون ظاهری بین دو امتداد y، x و z، y	
π	عدد پی	–
ρ_t	چگالی واقعی میوه	g/mm^3
ρ_T	چگالی تولوئن	g/mm^3
σ	تنش، جزء الاستیک در مدل، به همراه زیروند مقاومت نهایی	MPa
σ_{t_i}	تنش در زمان t_i	MPa
$\sigma(t)$	تنش در هر زمان t	MPa
$\sigma(t)_{ND}$	نسبت بدون بعد تنش	–
σ_U	مقاومت نهایی	MPa
$\dot{\sigma}$	مشتق تنش نسبت به زمان	MPa/s
τ_0	تنش برشی	MPa
ϕ	ضریب کرویت	–

زیروندها

نماد	شرح
0	اولیه
a	ظاهری
b	شعاع کوچک بیضی‌گون
bc	حبه
D	قطر
e	تعادلی
i یا 1,2,... یا A,B,C	شماره‌ی المان، شماره‌ی اجزاء مدل ماکسول
l	طول
L	امتداد طولی
max	حداکثر
p	فشار
ped	جدایی دم از حبه
psk	آزمون نفوذ با پروب استوانه‌ای ۲ میلی‌متری
pu	گوشت حبه
r	شعاع

sk	آزمون نفوذ با پروب سوزنی
t	واقعی
T	محیطی
TS	محیطی کره
x, y	در امتداد هر کدام از محورها

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ تقسیم بندی روش‌های اندازه‌گیری خواص رئولوژیکی بر مبنای نوع آزمون (رضوی و اکبری ۱۳۸۵). ۱۹

جدول ۲-۲ مقادیر K برای مقادیر مختلف $Cos\theta$ (محسنین ۱۹۸۶). ۴۵

جدول ۳-۱ تنظیمات دستگاه آنالایزر بافت، نوع پروب‌های مورد استفاده و پارامترهای مکانیکی اندازه گیری شده. ۶۷

جدول ۳-۲ اعداد فرضی مورد استفاده برای تعیین روش محاسبه زمان رهایی تنش. ۸۷

جدول ۳-۳ تنظیمات دستگاه آنالایزر بافت برای آزمون‌های استراحت تنش. ۸۹

جدول ۴-۱ مشخصات شیمیایی انگور سفید بیدانه در دوره‌ی رسیدن. ۹۶

جدول ۴-۲ ویژگی‌های فیزیکی (هندسی) حبه‌ی انگور سفید بیدانه در دوره‌ی رسیدن. ۹۹

جدول ۴-۳ تغییرات فشار داخلی، بیشترین فشار داخلی قابل تحمل حبه، بیشترین تنش وارد بر پوست، مقاومت فشار داخلی حبه و ضریب اطمینان بارگذاری پوست طی دوره‌ی رسیدن. ۱۱۱

جدول ۴-۴ میانگین مقادیر ضرایب مدل سه جزئی ماکسول در آزمون استراحت تنش حبه‌ی انگور سفید بیدانه. ۱۲۹

جدول۴-۵ مقادیر میانگین ضرایب مدل ماکسول پوست انگور سفید بیدانه بر اساس معادله‌ی ۲-۲۹. ۱۳۲

جدول۴-۶ مقادیر میانگین ضرایب مدل ماکسول گوشت انگور سفید بیدانه بر اساس معادله‌ی ۲-۲۹. ۱۳۴

جدول ب-۲-۱ یک نمونه از نتایج خروجی نرم‌افزار آباکوس ۱۵۶

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱ نمونه‌ای از ماشین برداشت انگور (لومبارد ۲۰۱۱). ۸

شکل ۲-۲ ساقه‌ی یک خوشه‌ی انگور پس از خوشه‌گیری (لومبارد ۲۰۱۱). ۹

شکل ۲-۳ حبه‌هایی که در اثر استفاده از متیل جاسمونات به صورت خشک از دم جدا شده‌اند (فیدلی‌باس و کاتلین ۲۰۰۷). ۹

شکل ۲-۴ تاثیر به کارگیری لرزش در پر کردن فضای خالی جعبه‌ی انگور الف) قبل از اعمال لرزش، ب) بعد از اعمال لرزش (میچل و همکاران ۱۹۸۴). ۱۰

شکل ۲-۵ نمونه‌ای از ساختمان حبه‌ی انگور سفید بیدانه (دوکوزلیان ۲۰۰۰). ۱۲

شکل ۲-۶ دیاگرام رشد حبه‌ی انگور از مرحله‌ی گل‌دهی تا رسیدن (بایندی ۲۰۰۷). ۱۲

شکل ۲-۷ ساختمان یک سلول گیاهی (جارویس و مک‌کان ۲۰۰۰). ۲۲

شکل ۲-۸ تمرکز تنش در قطعات با اشکال هندسی مختلف، الف) ورق تحت بار محوری بدون تغییر مقطع، بدون تمرکز تنش، ب) ورق تحت بار محوری تغییر مقطع تند، تمرکز تنش بالا و ج) ورق تحت بار محوری دارای ماهیچه تغییر مقطع ملایم، تمرکز تنش کمتر (اشکال الف و ج از بیر و جانستون ۱۹۹۸). ۲۶

شکل ۲-۹ منحنی نیرو – زمان در بارگذاری تک محوری تراکمی برای یک جسم ویسکوالاستیک (نبی‌زاده ۱۳۸۹). ۳۲

شکل ۲-۱۰ تهیه‌ی نمونه‌ی استاندارد برای آزمون کشش. ۳۳

شکل ۲-۱۱ کشش پوست در روش حلقه‌ای (رجبی پور و همکاران ۲۰۰۴). ۳۳

شکل ۲-۱۲ نمایش ساختمان انگور. ۳۴

شکل ۲-۱۳ نمایش مدول‌های مماسی اولیه، مماسی و قطع کننده. ۳۷

شکل ۲-۱۴ آزمون خمش تیرها الف) تیر طره‌ای ب) خمش سه نقطه‌ای. ۴۰

شکل ۲-۱۵ بارگذاری نمونه‌ها بوسیله یک صفحه تخت و یک پروب و نمایش توزیع تنش‌ها مطابق تئوری بوسینسک (سیتکی ۱۳۸۲). ۴۱

شکل ۲-۱۶. روش‌های مورد استفاده برای تعیین مدول الاستیسیته محصولات کشاورزی با استفاده از تئوری هرتز (استاندارد $ASAE$ ۱۹۹۸). ۴۳

شکل ۲-۱۷. بشکه‌ای شدن نمونه در طی تغییر شکل محوری (سیتکی ۱۹۸۶). ۴۹

شکل ۲-۱۸ منحنی استراحت تنش در کرنش ثابت. ۵۲

شکل ۲-۱۹ اجزای اساسی مدل‌ها. ۵۳

شکل ۲-۲۰ مدل ماکسول ۵۴

شکل ۲-۲۱ مدل کلوین ۵۴

شکل ۲-۲۲ منحنی رفتار ویسکو الاستیک مدل ماکسول، مدل کلوین و مواد واقعی (عالمی، ۱۳۸۳). ۵۵

شکل ۲-۲۳ منحنی‌های رهایی تنش در یک کرنش ثابت (استف ۱۹۹۶). ۵۶

شکل ۲–۲۴مدل سه جزئی ماکسول عمومی شامل سه جزء A، B و C و فنر اضافی. ۵۸

شکل ۳-۱ ماشین آنالایزر بافت. ۶۴

شکل ۳-۲ ابزار برش. ۶۶

شکل ۳-۳ مراحل آماده سازی نمونه‌های پوست و گوشت انگور. ۶۷

شکل ۳-۴ نمودار نیرو - تغییر شکل آزمون نفوذ در حبه‌ی کامل انگور که در آن شیب در ابتدای منحنی، نقطه‌ی شکست و مساحت زیر منحنی تا نقطه‌ی شکست مشخص شده. ۶۹

شکل۳-۵ نمونه‌ای از نمودار نیرو – تغییر شکل گوشت انگور حاصل از دستگاه آنالایزر بافت که در آن نیروی حداکثر، مساحت زیر منحنی تا نقطه‌ی شکست و شیب در ابتدای منحنی مشاهده می‌شود. ۷۰

شکل ۳-۶ نمونه‌ای از نمودار نیرو – تغییر شکل پوست که در آن نیروی حداکثر، شیب در ابتدای نمودار و مساحت منحنی تا نقطه‌ی شکست مشخص شده. ۷۱