

تغییرات خواص مکانیکی انگور سفید بیدانه در طی رسیدن

علی حسن‌پور^۱، اسعد مدرس مطلق^۲، محسن اسمعیلی^{۳*} و علالدین رحمانی‌دیدار^۲

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۰/۶/۲۲

۱ - دانشجوی دوره دکتری گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۲ - استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۳ - استادیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

* مسئول مکاتبه: Email: m.esmaili@urmia.ac.ir

چکیده

انگور به هر دو شکل رسیده و نارس برای تولید محصولات مختلف غذایی مصرف می‌شود. این میوه به علت دارا بودن بافت نرم و پوست نازک در برابر صدمات مکانیکی وارده حساس 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. تغییرات در مقدار چقرمگی، مقاومت نهایی، نیرو و انرژی شکست، سفتی و مدول الاستیسیته در مدت رسیدن انگور برداشت شده از یک باغ محلی تعیین گردید. همزمان با افزایش درجه‌ی بریکس و کاهش اسیدیته در طول دوره‌ی رسیدن، چگالی حقیقی میوه‌ها از $1/073 \pm 0/004$ تا $1/106 \pm 0/007$ گرم بر سانتی متر مکعب افزایش یافت. طی دوره‌ی رسیدن تماماً مقادیر مقاومت نهایی (σ_{pu}) و چقرمگی (U_{pu}) گوشت انگور با یک همبستگی مثبت ($R^2=0.8626$ و $P=0.0025$ در سطح اطمینان ۰/۹۹) افزایش نشان داد، در صورتی که مدول الاستیسیته در هفته‌های اول طی رسیدن میوه کاهش نشان می‌دهد و در مراحل نهایی رسیدن سیر صعودی دارد. تمامی پارامترهای استخراج شده از آزمون کشش پوست شامل مقاومت نهایی، مدول الاستیسیته و چقرمگی در طول دوره‌ی رسیدن کاهش یافت. طی این دوره بیشترین و کمترین مقدار مقاومت نهایی پوست میوه به ترتیب $3/176$ و $2/011$ مگاپاسکال بدست آمد. همچنین در این مدت مدول الاستیسیته‌ی پوست از $9/515$ تا $6/127$ مگاپاسکال کاهش یافت و چقرمگی نیز از $0/876$ تا $0/413$ میلی ژول بر میلی‌متر مکعب تغییر کرد. مقاومت مکانیکی حبه‌ی کامل در مقابل پارگی با استفاده از آزمون فشار در محدوده‌ی $7/80$ تا $9/18$ نیوتن اندازه‌گیری شد. نتایج آزمون نفوذ حبه‌ی کامل نشان داد که نیروی شکست، انرژی شکست و سفتی طی رسیدن کاهش می‌یابند.

واژه‌های کلیدی: انگور سفید بیدانه، خواص مکانیکی، دوره‌ی رسیدن

Changes in the mechanical properties of white seedless grapes during different maturity stages

A Hassanpour¹, A Modarres Motlagh², M Esmaili^{3*} and A Rahmani Didar²

Received: January 10, 2011 Accepted: September 13, 2011

¹Ph D Student, Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran

²Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran

³Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran

*Corresponding author: Email: m.esmaili@urmia.ac.ir

Abstract

Grapes, both in ripe and unripe forms, are used to produce different food products. This fruit is much sensitive to mechanical damage because of their soft texture and thin skin. This study investigates the effect of the period of maturation of white seedless grapes (*Vitis vinifera L.*) on changes of some mechanical properties of grape and its skin and flesh. Changes in the value of toughness, ultimate strength, breaking force and energy, stiffness and modulus of elasticity were determined in grapes harvested from a local vineyard during ripening stage. Simultaneously with increasing °Brix and decreasing titrable acidity during ripening, the value of true density of the fruits increased from 1.073 ± 0.004 to 1.106 ± 0.007 g/cm³. Both the value of ultimate strength (σ_{pu}) and toughness (U_{pu}) of grape flesh, jointly increased in maturation stage with a positive correlation ($R^2=0.8626$, $P=0.0025$ at a confidence level of 0.99), while the value of modulus of elasticity decreased in the first weeks during ripening then increased in the last weeks of the period. All parameters obtained from tensile test of the skin, including ultimate strength, modulus of elasticity and toughness decreased in the maturation stage. In this period, maximum and minimum of the fruit's skin ultimate strength were calculated by 3.176 and 2.011 MPa, respectively. Also modulus of elasticity of the skin decreased from 9.515 to 6.127 MPa and toughness changed from 0.876 to 0.413 mJ/mm³ for the duration of ripening. Resistance to rupture (Rupture force) of whole berries was measured using compression test ranged from 7.80 to 9.18 N. The results of penetration test on the whole fruit showed that breaking force, breaking energy and stiffness decrease throughout ripening.

Keywords: Mechanical properties, Ripening, White seedless grape

مقدمه

وارد به این محصول در فاصله‌ی برداشت تا مصرف، اصلی‌ترین عامل کاهش کیفیت و بازار پسندی می‌باشد (یورتلو و اردوغان ۲۰۰۵). مجموعاً چنین صدماتی کیفیت محصول را کاهش و ضایعات آن را به دلیل فساد افزایش می‌دهد (لی و وانگ ۱۹۹۸). متأسفانه مقدار این ضایعات در کشور ما بالاست (فائو ۱۹۹۸ و ۲۰۰۳). به منظور پیدا کردن بهترین روش برداشت، جابجایی، انبارداری و حمل و نقل، مطالعه‌ی خواص مکانیکی

انگور یکی از مهمترین میوه‌های تولیدی ایران بوده و در این کشور سالانه بیش از ۱۷۰۰۰۰۰ تن انگور و ۱۵۰۰۰۰ تن کشمش تولید می‌شود (فائو ۲۰۰۸ و آمار جهاد کشاورزی ۱۳۸۹). در بین ارقام مختلف انگور، رقم سفید بیدانه غالب می‌باشد. انگور به علت دارا بودن بافت نرم و پوست نازک در برابر صدمات مکانیکی وارده حساس است (رانگ و همکاران ۲۰۰۴). صدمات مکانیکی

بین پارامترهای مکانیکی و پارامترهای رسیدگی انگور مشاهده نمودند.

لتایف و همکاران (۲۰۰۸) مطالعه‌ای روی هفت رقم انگور در دو سال متوالی ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ انجام داده و اعلام کردند شاخص‌های بافت^۵ در توصیف صفات اختصاصی انگور به واریته و فصل (سال) برداشت بستگی دارد و آنالیز پروفیل بافت^۶ (بارگذاری نمونه‌ی مورد آزمایش در دو نوبت با حرکت رفت و برگشتی مشابه عمل جویدن توسط فک‌ها) برای تفکیک انگورها بسیار مناسب می‌باشد. سگاده و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از آزمون نفوذ پروب استوانه‌ای ۲ میلیمتری روی پوست انگور توانستند ضخامت پوست حبه را تخمین بزنند. لی و بورن (۱۹۸۰) تغییرات ایجاد شده در سفتی انگور در طول مدت ۶ هفته بعد از برداشت را مطالعه کرده و نشان دادند که تمامی خصوصیات فیزیکی با هم و با درجه بریکس (میزان جامد محلول موجود در عصاره میوه) همبستگی خوبی دارد.

با وجود اهمیت خواص مکانیکی در طراحی و بهینه‌سازی عملیات مکانیزاسیون، فرآوری و تجهیزات مربوطه، تاکنون انگور از نقطه نظر تغییرات خواص مکانیکی در حین رسیدن مورد مطالعه قرار نگرفته است. هدف تحقیق حاضر بررسی تغییرات خواص فیزیکی و شیمیایی و مکانیکی انگور سفید بیدانه در طی رسیدن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌ی انگور

انگور از یکی از باغات ارومیه تهیه شد. خوشه‌های انگور در فواصل زمانی یک هفته‌ای به طور تصادفی از ساقه‌های مختلف یک درخت مو معین چیده شد. سپس ۲۵۲ عدد حبه‌ی سالم و بدون نقص و آسیب دیدگی ظاهری از خوشه‌ها به همراه دم جدا گردید. ۷۲ عدد حبه برای اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی به کار برده شد و بقیه‌ی حبه‌ها برای تعیین خواص شیمیایی مورد استفاده قرار گرفت. قبل از انجام

میوه‌ها و سبزی‌ها یک امر ضروری است. خواص مکانیکی ممکن است در حین رشد میوه و دوران رسیدگی دستخوش تغییرات واقع شود. به کارگیری دانش حاصل از این مطالعه ضمن کاهش صدمات وارده در طی عملیات مورد نیاز، در افزایش عمر ماندگاری^۱ نیز مفید می‌باشد (گالی‌لی و همکاران ۱۹۹۸). گزارشات متعددی در مورد تغییرات خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی انواع میوه‌ها در دوره‌ی رسیدن در منابع علمی در دسترس است.

کاباس و ازمرزی (۲۰۰۸) خواص مکانیکی شامل متوسط نیروی شکست، انرژی تغییر شکل، تغییر شکل مخصوص^۲ و مدول الاستیسیته را در گوجه فرنگی گیلاسی^۳ تعیین کردند. همین‌طور خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی سه واریته گیلاس توسط ورساوش و همکاران (۲۰۰۵) مطالعه شده است. مطالعات یورتلو و اردوغان (۲۰۰۵) روی دو رقم گلابی و سیب نشان داد که نقطه‌ی تسلیم بیولوژیکی، مدول الاستیسیته و انرژی تغییر شکل تمامی ارقام مورد مطالعه با افزایش مدت انبارداری کاهش می‌یابد.

آنالیز منحنی‌های نیرو - تغییر شکل در مورد چندین نوع میوه مشخص نموده که رسیدگی باعث کاهش نیروی شکست^۴ می‌شود ولی تاثیر مشخصی در شکل منحنی نیرو - تغییر شکل ندارد (فیکت و همکاران ۲۰۰۵). جا و همکاران (۲۰۰۶) تغییرات خواص مکانیکی انبه در دوره‌ی رسیدن را مطالعه کرده و نشان دادند که رسیدگی میوه با اندازه، کرویت، رنگ و سفتی همبستگی نزدیکی دارد. رول و همکاران (۲۰۰۸) کیفیت انگور را با به کارگیری آنالیز بافت ارزیابی نمودند و ضمن اشاره به اهمیت انتخاب زمان برداشت و اثر آن در کیفیت محصولات فرآوری شده گزارش کردند که موقعیت حبه روی خوشه تاثیری در میزان سختی پوست ندارد، ولی سختی پوست در قسمت‌های بالایی، پهلویی و پایینی یک حبه‌ی انگور متفاوت است. آنها همچنین همبستگی خوبی

¹ Shelf life

² Specific deformation

³ Cherry tomato

⁴ Rupture Force

⁵ Texture indices

⁶ Texture Profile Analysis (TPA)

$$V = \frac{W_T}{\rho_T} \quad [4]$$

$$\rho_t = \frac{W}{V} \quad [5]$$

در این روابط W_T وزن تولوئن جابجا شده، ρ_T چگالی تولوئن، V حجم تولوئن جابجا شده یا حجم میوه، W وزن میوه و ρ_t چگالی حقیقی میوه می‌باشد.

ابزار برش

برای تهیه‌ی برش از مقطع عرضی حبه از دو تیغه‌ی تیز موازی با فاصله قابل تنظیم (۲ تا ۴ میلی‌متری) استفاده شد (شکل ۱). نمونه‌ی پوست و گوشت حبه‌ی انگور از برش‌های تهیه شده جدا گردید. بدین منظور خراشی بسیار جزئی در روی پوست ایجاد کرده و سپس با دقت زیاد پوست از گوشت جدا شد. پوست حاصل برای اندازه‌گیری ضخامت و اجرای آزمون کشش به کار رفت و گوشت استوانه‌ای شکل حاصل برای انجام آزمون‌های تنش تراکمی مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۲).

آزمایشات مکانیکی دم تمامی حبه‌ها با یک تیغ تیز جدا گردید.

خواص فیزیکی شیمیایی انگور

خواص شیمیایی نمونه‌ها شامل اسیدیته‌ی قابل تیتر، قند کل و درصد رطوبت نمونه‌ها با استفاده از روش AOAC (۱۹۹۵) اندازه‌گیری شده و با استفاده از یک رفراکتومتر درجه‌ی بریکس نمونه‌ها مشخص گردید. برای اندازه‌گیری هر کدام از این خواص در هر نوبت برداشت شش تکرار انجام گرفته است.

برای تعیین هر یک از خواص فیزیکی شامل ابعاد و جرم ۳۰ نمونه‌ی حبه‌ی انگور و برای تعیین چگالی حقیقی و هر یک از خواص مکانیکی شش نمونه بصورت تصادفی انتخاب و مطالعه شده است. ابتدا تک تک حبه‌ها با ترازوی دقیق^۱ با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین و ابعاد حبه‌ها شامل سه قطر عمود بر هم بزرگ، متوسط و کوچک با استفاده از یک کولیس دیجیتالی^۲ با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. قطر متوسط هندسی^۳ (D_g) و کرویت^۴ ϕ با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید (محسنین ۱۹۸۶).

$$D_g = (a * b * c)^{\frac{1}{3}} \quad [1]$$

$$\phi = \frac{D_g}{a} \quad [2]$$

که در آن a ، b و c به ترتیب اندازه سه قطر عمود بر هم انگور بوده و a قطر بزرگ حبه می‌باشد.

مساحت رویه‌ی میوه با رابطه‌ی زیر محاسبه شد (محسنین ۱۹۸۶).

$$S = \pi D_g^2 \quad [3]$$

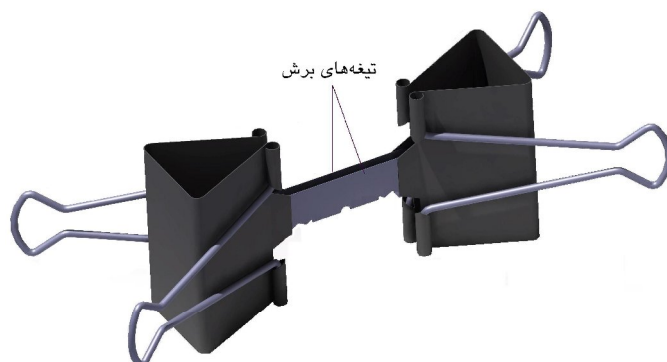
چگالی حقیقی به روش جابجایی تولوئن محاسبه گردید. حجم تولوئن جابجا شده در اثر ورود حبه به داخل آن با روابط زیر محاسبه می‌شود (سیتیکی ۱۹۸۶ و محسنین ۱۹۸۶).

¹ AND, GF-300, Japan

² Mitutoyo, Model CD-15CPX, Japan

³ Geometric Mean Diameter

⁴ Sphericity



شکل ۱ - ابزار برش.



شکل ۲ - مراحل آماده سازی نمونه‌های پوست و گوشت انگور.

برای سنجش مشخصات مکانیکی حبه‌ی کامل، حبه‌ها به طور افقی روی صفحه‌ی فلزی دستگاه قرار گرفته و آزمون نفوذ با پروب استوانه‌ای ۲ میلی‌متری و فشار حبه‌ی کامل با پروب استوانه‌ای ۲۵ میلی‌متری اجرا گردید. همانطوری که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود در آزمون‌های فوق با توجه به نمودارهای نیرو - تغییر شکل، بزرگترین مقدار نیرو در هر دو آزمون فوق به عنوان نیروی شکست^۳، شیب منحنی در ابتدای آن به عنوان سفتی^۴ و مساحت زیر نمودار تا نقطه‌ی شکست به عنوان مقدار انرژی شکست تعیین گردید.

اندازه‌گیری ضخامت و پهنای پوست

برای محاسبه‌ی مقادیر تنش، ضخامت و پهنای پوست نمونه‌های انگور اندازه‌گیری شد. جهت تعیین ضخامت پوست از یک میکرومتر^۱ دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ mm استفاده گردید. در این کار بخشی از پوست که کاملاً فاقد بافت گوشتی است مورد استفاده قرار گرفت. برای اندازه‌گیری پهنای نوار پوست از یک کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ mm استفاده گردید. از روی مقادیر ضخامت و پهنای، مساحت سطح مقطع پوست محاسبه شد.

آنالیز بافت

برای انجام آزمایشات مکانیکی زیر از یک ماشین آنالایزر بافت^۲ مجهز به یک نیروسنج ۵ کیلوگرمی استفاده شد. جزییات تنظیم دستگاه و نوع پروب‌های مورد استفاده و پارامترهای مکانیکی اندازه‌گیری شده در جدول ۱ آورده شده است.

آزمون‌های نفوذ و فشار حبه‌ی کامل

^۳ Rupture force

^۴ Stiffness

^۱ Mitutoyo 293-831 MDC-1" SB, Japan

^۲ Texture Analyzer Model TA.XT-Plus (Stable Micro Systems, Surrey, UK)

جدول ۱ - تنظیمات دستگاه آنالایزر بافت، نوع پروب‌های مورد استفاده و پارامترهای مکانیکی اندازه‌گیری شده.

نوع آزمون	نوع پروب	نوع بارگذاری	سرعت آزمون	تغییر شکل	کمیت (پارامتر)	علائم اختصاری	واحد
نفوذ	استوانه‌ای ۲ میلی متری P/2, Ø 2 mm	فشاری	۱ mm/s	۶ mm	نیروی شکست پوست انرژی شکست پوست حبه	F_{psk} W_{psk}	N mJ
فشار حبه	استوانه‌ای ۲۵ میلی متری P/25	فشاری	۱ mm/s	۶ mm	نیروی شکست حبه انرژی شکست حبه سفتی حبه	S_{psk} F_{bc} W_{bc} S_{bc}	N/mm N mJ N/mm
فشار گوشت	استوانه‌ای ۲۵ میلی متری P/25	فشاری	۰/۵ mm/s	۲ mm	مقاومت نهایی گوشت چقرمگی گوشت مدول یانگ گوشت	σ_{pu} U_{pu} E_{pu}	MPa mJ/mm ³ MPa
کشش پوست	اصلاح شده	کششی	۱ mm/s	۶ mm	مقاومت نهایی پوست چقرمگی پوست مدول یانگ پوست	σ_{skt} U_{skt} E_{st}	MPa mJ/mm ³ MPa

آنالیز آماری

به منظور تعیین ضرایب همبستگی و تبیین (R^2) و مقدار احتمال خطا (P یا P value) از نسخه شماره ۶ نرم افزار آماری Statistica استفاده شد.

نتایج و بحث

آزمون‌های فیزیکی شیمیایی

جدول ۲ نتایج اندازه‌گیری‌های میانگین جرم، چگالی و خواص شیمیایی انگور سفید بیدانه را در دوره‌ی رسیدن نشان می‌دهد. درصد رطوبت میوه در طول دوره‌ی رشد و رسیدن کاهش می‌یابد و با رسیدن کامل میوه و ورود به دوره رسیدگی بیش از حد شدت این کاهش کمتر می‌شود. چگالی حقیقی میوه‌ها نیز در طول دوره‌ی رسیدن از $1/073 \pm 0/004$ تا $1/106 \pm 0/007$ گرم بر سانتی متر مکعب افزایش پیدا می‌کند. مقادیر درجه‌ی بریکس و در صد قند میوه با گذشت زمان و طی دوره رسیدن افزایش می‌یابد بطوریکه آهنگ این افزایش هفته‌های آخر آزمون تقریباً ثابت می‌ماند. روند تغییرات در افزایش درجه‌ی بریکس در دوره‌ی رسیدن انگور با نتایج هاردی (۱۹۹۶) مشابهت دارد و مقدار آن بین عدد $16/00 \pm 0/45$ و $22/50 \pm 0/25$ و محدوده‌ی

آزمون‌های تک محوری کشش پوست و فشار گوشت

به منظور انجام آزمون کشش پوست، دو گیره‌ی مخصوص طراحی و ساخته شد. یکی از این گیره‌ها روی فک متحرک دستگاه و دیگری روی فک ثابت آن نصب گردید. نمونه‌های نواری شکل پوست به پهنای تقریبی ۳ میلی‌متر و طول تقریبی ۱۵ میلی‌متر به گیره‌های دستگاه متصل شده و تحت آزمون کششی تک محوره واقع شدند. برای مطالعه‌ی رفتار مکانیکی گوشت ابتدا ابعاد نمونه‌های استوانه‌ای شکل تهیه شده با ابزار برش (شکل ۲) به وسیله‌ی کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری شد و سپس آزمون تک محوری فشاری با پروب ۲۵ میلی‌متری اجرا گردید.

در آزمون‌های تک محوری اجرا شده روی پوست و گوشت میوه، با استفاده از نمودارهای نیرو - تغییر شکل حاصل از دستگاه آنالایزر بافت، با در نظر گرفتن ابعاد نمونه‌ها (سطح مقطع و طول) مقاومت نهایی، مدول الاستیسیته و چقرمگی (سمجی) به ترتیب از روی بزرگترین مقدار نیرو، شیب منحنی در ابتدای نمودار و مساحت زیر منحنی تا نقطه‌ی شکست محاسبه گردید.

انتهای دوره‌ی آزمون این مقادیر کاهش جزئی نشان می‌دهند. نتایج حاصله کاملاً مشابه با نتایج گزارش شده توسط هاردی (۱۹۹۶) می‌باشد. که به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار قطر متوسط هندسی $۱۳/۶۳ \pm ۰/۴۴$ تا $۱۴/۷۱ \pm ۰/۵۸$ میلی‌متر، مساحت رویه‌ی حبه‌ها از ۵۸۴ ± ۳۸ تا ۶۸۰ ± ۵۴ میلی‌متر مربع و متوسط جرم حبه‌ها از $۱/۴۲۵ \pm ۰/۱۴۹$ تا $۱/۸۳۶ \pm ۰/۲۳۳$ گرم متغیر می‌باشد. افزایش این مقادیر در مراحل ابتدایی به علت رشد فیزیولوژیکی و کاهش آن در مراحل انتهایی می‌تواند در اثر چروکیدگی محصول ناشی از خروج رطوبت در شرایط بیش از حد رسیده باشد.

تغییرات درصد قند از $۱۳/۰۰ \pm ۰/۵۶$ تا $۱۹/۰۰ \pm ۰/۳۴$ می‌باشد. همچنانکه در جدول ۲ دیده می‌شود مقدار اسیدیته‌ی قابل تیتر میوه در طول دوره‌ی رسیدن دارای روند نزولی است اما در سه هفته‌ی آخر برداشت این روند متوقف شده و مقدار آن که در اولین برداشت $۱/۰۰ \pm ۰/۰۸$ است در حدود $۰/۷$ ٪ ثابت باقی می‌ماند. جدول ۳ ابعاد و برخی از خواص فیزیکی محاسبه شده در طول دوره‌ی رسیدن انگور سفید را نشان می‌دهد. با توجه به این نتایج و برخی نتایج جدول ۲ قطر متوسط هندسی (اندازه)، مساحت رویه و میانگین جرم حبه‌ها در طول دوره‌ی رسیدگی افزایش می‌یابد که در مراحل ابتدایی، این افزایش قابل توجه بوده در صورتی که در

جدول ۲ - مشخصات فیزیکی و شیمیایی انگور سفید بیدانه در دوره‌ی رسیدن.

تاریخ برداشت (روز برداشت)	متوسط جرم حبه (g)	چگالی (g/cm ³)	رطوبت (%)	درجه‌ی بریکس	قند کل (%)	اسیدیته (%)
۱۱/۸۸/۱۵	$۱/۴۲۵ \pm ۰/۱۴۹$	$۱/۰۷۳ \pm ۰/۰۰۴$	$۸۳/۰۰ \pm ۰/۳۶$	$۱۶/۰۰ \pm ۰/۴۵$	$۱۳/۰۰ \pm ۰/۵۶$	$۱/۰۰ \pm ۰/۰۸$
۸/۸۸/۲۲	$۱/۵۱۵ \pm ۰/۲۲۱$	$۱/۰۸۷ \pm ۰/۰۱۰$	$۸۱/۳۱ \pm ۰/۵۰$	$۱۷/۵۰ \pm ۰/۲۶$	$۱۴/۹۳ \pm ۰/۲۶$	$۰/۹۵ \pm ۰/۰۷$
۱۵/۸۸/۲۹	$۱/۷۱۵ \pm ۰/۲۰۵$	$۱/۰۹۰ \pm ۰/۰۰۹$	$۸۰/۲۵ \pm ۰/۲۹$	$۱۹/۰۰ \pm ۰/۳۲$	$۱۵/۲۱ \pm ۰/۲۹$	$۰/۹۱ \pm ۰/۰۸$
۲۲/۸۸/۷/۵	$۱/۶۸۰ \pm ۰/۱۹۸$	$۱/۰۹۵ \pm ۰/۰۰۴$	$۷۸/۶۰ \pm ۰/۳۷$	$۱۹/۵۰ \pm ۰/۳۵$	$۱۵/۷۰ \pm ۰/۲۹$	$۰/۸۰ \pm ۰/۰۶$
۲۹/۸۸/۷/۱۲	$۱/۸۳۶ \pm ۰/۲۳۳$	$۱/۱۰۱ \pm ۰/۰۰۴$	$۷۶/۲۲ \pm ۰/۵۰$	$۲۱/۵۰ \pm ۰/۲۹$	$۱۸/۵۵ \pm ۰/۱۸$	$۰/۷۰ \pm ۰/۰۵$
۳۶/۸۸/۷/۱۹	$۱/۷۲۹ \pm ۰/۲۷۴$	$۱/۱۰۵ \pm ۰/۰۰۸$	$۷۵/۰۶ \pm ۰/۳۷$	$۲۲/۵۰ \pm ۰/۲۱$	$۱۹/۰۰ \pm ۰/۱۶$	$۰/۷۰ \pm ۰/۰۳$
۴۳/۸۸/۷/۲۶	$۱/۶۹۸ \pm ۰/۲۳۶$	$۱/۱۰۶ \pm ۰/۰۰۷$	$۷۴/۸۰ \pm ۰/۴۱$	$۲۲/۵۰ \pm ۰/۲۵$	$۱۹/۰۰ \pm ۰/۳۴$	$۰/۷۰ \pm ۰/۰۴$

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳، مقدار ضریب کرویت و نوسانات آن در طول دوره‌ی رسیدن کاهش می‌یابد. کاهش این کمیت نشان می‌دهد که رشد نسبی بیشتر حبه در امتداد دم - گل میوه اتفاق می‌افتد که بیشترین مقدار آن در اولین روز ($۰/۹۲۳ \pm ۰/۰۲۹$)

برداشت مشاهده می‌شود. میزان کاهش کرویت در پانزدهمین روز بسیار قابل توجه است این ممکن است در اثر انبساط بیشتر در امتداد دم - گل میوه به دلیل جذب رطوبت در ایام قبل از آن نمونه‌برداری باشد.

جدول ۳- ابعاد و خواص فیزیکی محاسبه شده در طول دوره‌ی رسیدن حبه‌ی انگور سفید بیدانه.

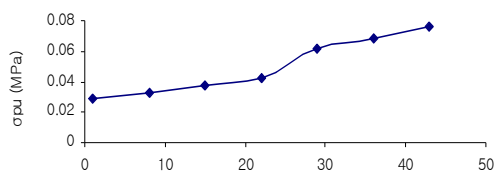
روز برداشت	قطر بزرگ a(mm)	قطر متوسط b(mm)	قطر کوچک c(mm)	قطر میانگین هندسی D _g (mm)	کروییت ϕ	مساحت رویه S(mm ²)
۱	۱۴/۷۹ ± ۰/۷۶	۱۳/۲۲ ± ۰/۴۱	۱۲/۹۷ ± ۰/۴۲	۱۳/۶۳ ± ۰/۴۴	۰/۹۲۳ ± ۰/۰۲۹	۵۸۴ ± ۳۸
۸	۱۵/۴۱ ± ۰/۷۷	۱۳/۲۹ ± ۰/۶۵	۱۳/۰۳ ± ۰/۶۵	۱۳/۸۶ ± ۰/۶۳	۰/۹۰۰ ± ۰/۰۲۴	۶۰۴ ± ۵۵
۱۵	۱۶/۴۶ ± ۰/۸۹	۱۳/۶۳ ± ۰/۵۶	۱۳/۳۸ ± ۰/۵۲	۱۴/۴۲ ± ۰/۵۳	۰/۸۷۷ ± ۰/۰۳۲	۶۵۴ ± ۴۸
۲۲	۱۵/۹۵ ± ۰/۶۷	۱۳/۷۰ ± ۰/۵۷	۱۳/۴۱ ± ۰/۵۴	۱۴/۳۱ ± ۰/۵۱	۰/۸۹۸ ± ۰/۰۲۵	۶۴۳ ± ۴۷
۲۹	۱۶/۱۹ ± ۰/۸۵	۱۴/۱۴ ± ۰/۶۴	۱۳/۹۱ ± ۰/۶۱	۱۴/۷۱ ± ۰/۵۸	۰/۹۰۹ ± ۰/۰۳۲	۶۸۰ ± ۵۴
۳۶	۱۶/۱۴ ± ۰/۹۸	۱۳/۷۴ ± ۰/۶۵	۱۳/۴۷ ± ۰/۶۷	۱۴/۴۰ ± ۰/۶۷	۰/۸۹۳ ± ۰/۰۳۱	۶۵۳ ± ۶۲
۴۳	۱۵/۸۷ ± ۰/۷۲	۱۳/۷۴ ± ۰/۶۲	۱۳/۴۵ ± ۰/۵۹	۱۴/۳۱ ± ۰/۵۷	۰/۹۰۲ ± ۰/۰۲۵	۶۴۴ ± ۵۲

آزمون‌های مکانیکی

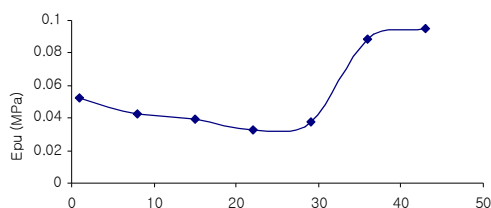
آزمون فشار گوشت حبه

نمودارهای شکل ۳ نتایج آزمون فشار گوشت حبه را نشان می‌دهند. همانطوری که در این اشکال مشاهده می‌شود مقادیر مقاومت نهایی (σ_{pu}) و چقرمگی (U_{pu}) با گذشت دوره‌ی رسیدن در حال افزایش است، ضمن

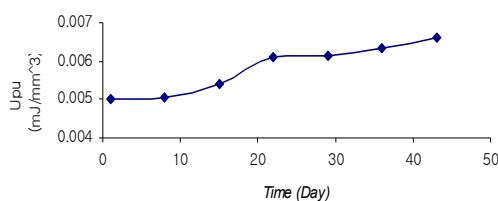
اینکه همبستگی این دو کمیت بالاست ($R^2=0.8626$) و $P=0.0025$ در سطح اطمینان ۰/۹۹. در صورتی که اندازه‌ی مدول الاستیسیته در هفته‌های اول برداشت طی رسیدن میوه کاهش نشان می‌دهد و در مراحل نهایی رسیدن سیر صعودی دارد.



الف



ب



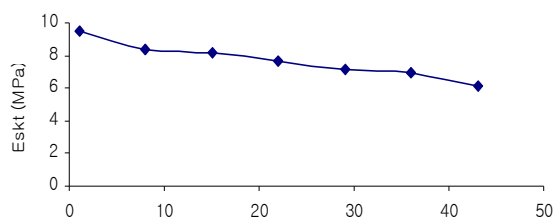
ج

شکل ۳- نتایج آزمون فشار گوشت (الف) مقاومت نهایی، (ب) مدول الاستیسیته و (ج) چقرمگی.

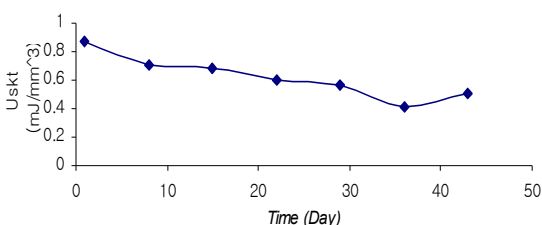
آزمون کشش پوست

پوست انگور که پنج تا ده درصد وزن آن را شامل می‌شود دارای اپیدرم خارجی و شش تا ده لایه‌ی درونی با دیواره‌های ضخیم می‌باشد (وینکلر و همکاران ۱۹۷۴ و لیکاس و بریلوت ۱۹۹۴). تعداد این لایه‌ها و حجم سلولهای تشکیل دهنده‌ی آن به واریته‌ی انگور بستگی دارد. اپیدرم خارجی پوسته با لایه‌هایی از سلول‌های مرده به نام لایه‌ی کوتیکول، لنتیسل، موم و سلول‌های کلانشیم پوستی پوشانده شده است (کوک و سلیک ۲۰۰۴).

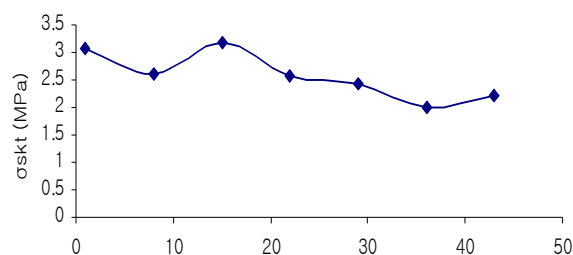
شکل ۴ نتایج آزمون کشش پوست در طول زمان (الف) مقاومت نهایی، (ب) مدول الاستیسیته و (ج) چقرمگی را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل‌ها دیده می‌شود،



ب



ج



الف

شکل ۴ - نتایج آزمون کشش پوست در طول زمان (الف) مقاومت نهایی، (ب) مدول الاستیسیته و (ج) چقرمگی

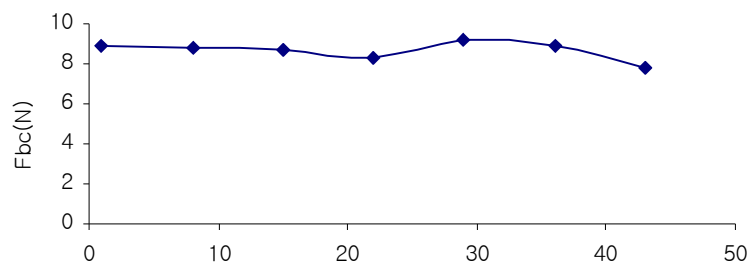
شده تا حدی مستقل از ترکیبات شیمیایی و اندازه‌ی حبه عمل می‌کند. مقادیر مقاومت مکانیکی میوه می‌تواند در بهینه سازی شرایط حمل و نقل و برداشت میوه مد نظر قرار گیرد.

شکل ۵ - ب سفتی حبه‌ی انگورها در طی رسیدن را نشان می‌دهد. همانطوری که در شکل مشاهده می‌شود با گذشت زمان و رشد میوه و افزایش درجه‌ی بریکس آن، مقدار سفتی حبه‌ی کامل کاهش می‌یابد. این کاهش

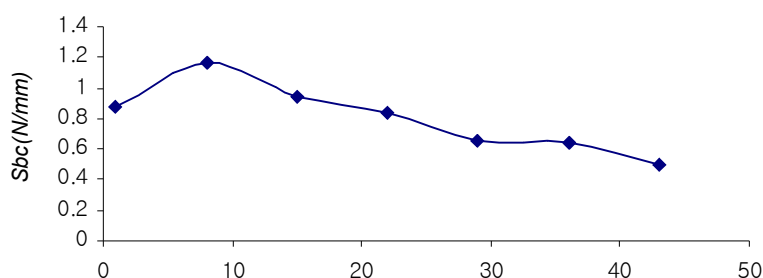
آزمون فشار حبه

شکل ۵ نتایج اندازه‌گیری نیروی شکست، سفتی و انرژی شکست حبه‌ی کامل میوه‌ی انگور را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج بدست آمده مقاومت مکانیکی دانه‌های انگور در مقابل پارگی (نیروی گسیختگی) در طی دوره‌ی رسیدن تا حدی ثابت می‌ماند و مقدار آن بین ۷/۸۰ تا ۹/۱۸ نیوتن در تغییر می‌باشد. مقادیر این پارامتر نشان می‌دهد که میوه در مقابل فشار اعمال

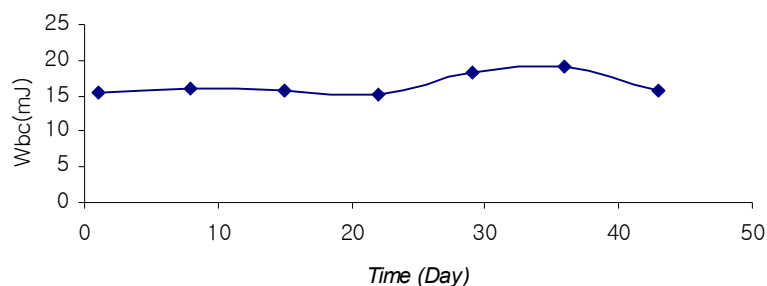
می‌تواند ناشی از کاهش ضخامت پوست و همچنین ناشی از ویسکوز شدن بافت داخلی باشد.



الف



ب



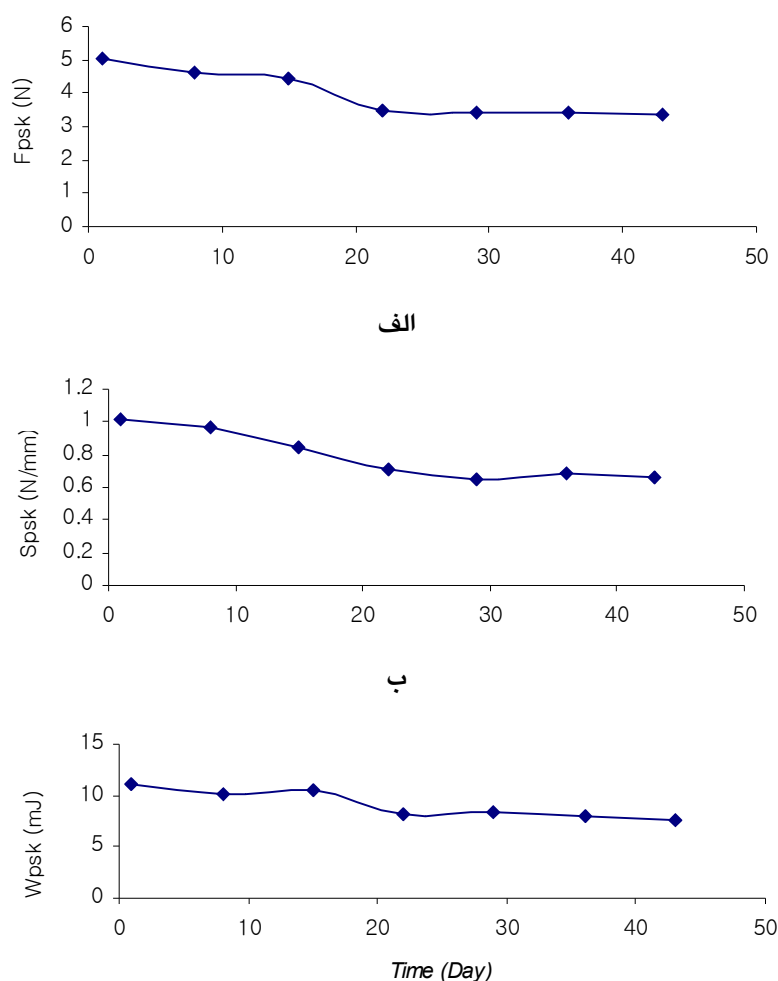
ج

شکل ۵ - نتایج آزمون فشار حبه‌ای کامل الف) نیروی شکست ، ب) سفتی و ج) انرژی شکست حبه

کار لازم برای انجام نفوذ به درون حبه را نشان می‌دهند. نیروی لازم برای ایجاد برش در پوست میوه با رسیدن میوه کاهش یافته است (F_{psk}). همچنین در این مدت متوسط سفتی (شیب در ابتدای نمودار نیرو - تغییر شکل) و مساحت زیر نمودار روند کاهشی دارند. در هر سه کمیت اندازه‌گیری شده نیروی شکست، سفتی و انرژی شکست، آهنگ کاهش از یک رابطه‌ی خطی تبعیت می‌کند که ضرایب تبیین (R^2) به ترتیب ۰/۸۴۳۲، ۰/۸۳۹۳ و ۰/۸۴۸۲ می‌باشد.

آزمون نفوذ با پروب استوانه‌ای ۲ میلی‌متری P/2 در آزمون نفوذ، پروب به داخل نمونه نفوذ کرده و نیروی مورد نیاز برای رسیدن به عمق نفوذ مشخص اندازه‌گیری می‌شود. برای نفوذ پروب استوانه‌ای به درون حبه هم نیروی برشی و هم نیروی فشاری دخالت دارند (واریلا و همکاران ۲۰۰۷). در عین حال مطالعات نشان داده است در این آزمون نقش نیروی برشی بیشتراست.

طبق نتایج اشکال ۶ الف، ب و ج به ترتیب حداکثر نیروی مورد نیاز برای نفوذ پروب به داخل حبه، سفتی حبه و



شکل ۶- نتایج آزمون نفوذ با پروب استوانه‌ای ۲ میلی‌متری الف) نیروی شکست، ب) سفتی و ج) انرژی شکست.

نتیجه‌ی کلی

است که در بین خصوصیات مکانیکی میوه با اجزاء آن وجود دارد و نشان می‌دهد که تغییرات خواص مکانیکی اجزاء میوه در تعیین خصوصیات مکانیکی میوه‌ی کامل موثرند. بر اساس نتایج آزمون‌های تعیین خواص مکانیکی حبه‌ی انگور، معمولاً نیروی شکست با انرژی شکست همبستگی مثبتی را نشان می‌دهد، در صورتی که این نوع همبستگی بین سفتی و دو ویژگی نیروی شکست و انرژی شکست مشاهده نمی‌گردد.

نتایج آنالیز شیمیایی و آزمایش‌های مکانیکی میوه‌ی انگور سفید بیدانه نشان داد که تغییر در ترکیبات تشکیل دهنده‌ی آن سبب تغییر خواص فیزیکی و مکانیکی میوه می‌شود. افزایش درجه‌ی بریکس میوه و در نتیجه افزایش فشار تورمی داخلی باعث افزایش چقرمگی و مقاومت نهایی گوشت میوه می‌شود. در حالی که مقاومت نهایی، مدول الاستیسیته و چقرمگی پوست میوه در طی دوره رشد و رسیدن میوه کاهش می‌یابد. نتایج آزمون فشار حبه‌ی کامل حاکی از تفاوت‌هایی

منابع مورد استفاده

- بی نام، ۱۳۸۹. دفتر آمار و فناوری اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی. نتایج طرح آمارگیری نمونه‌ای محصولات باغی سال ۱۳۸۷، وزارت جهاد کشاورزی، ص ۳۰-۳۳.
- Anonymous, 1998 and 2003. FAO Statistics. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization.
- Anonymous, 2008. FAO Statistics available at <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- AOAC, 1995. Official method of analysis. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Fekete A, Nagy M and Kantor D, 2005. Analysis of force- deformation relationship with fruits. An ASAE Meeting presentation.
- Galili N, Shmulevich I. and Benichou N, 1998. Acoustic testing of avocado for fruit ripeness evaluation. Transactions of the ASAE 41: 399-407.
- Hardie WJ, O'Brien TP and Jaudzems VG, 1996. Morphology, anatomy and development of the pericarp after anthesis in grape, *Vitis vinifera* L. Australian Journal of Grape and Wine Research 2: 97-142.
- Jha SN, Kingsly ARP and Chopra S, 2006. Physical and mechanical properties of mango during growth and storage for determination of maturity. Journal of Food Engineering 72: 73-76.
- Kabas O and Ozmerzi A, 2008. Determining the mechanical properties of cherry tomato varieties for handling. Journal of Texture Studies 39: 199-209.
- Kok D and Celik S, 2004. Determination of characteristics of grape berry skin in some table grape cultivars (*V. vinifera* L.). Journal of Agronomy 3: 141-146.
- Lecas M and Brillouet JM, 1994. Cell wall composition of grape berry skins. Phytochemistry 35: 1241-1243
- Lee C and Bourne YMC, 1980. Changes in grape firmness during maturation. Journal of Texture Studies 11: 163-172.
- Letaief H, Rolle L and Gerbi V, 2008. Mechanical behavior of wine grapes under compression test. American Society for Enology and Viticulture 59(3): 323-329.
- Li X and Wang W, 1998. Study on compressive properties of apple. Journal of Northwestern agricultural university 26(2): 107-108.
- Mohsenin NN 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials: Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties. 2nd ed., Gordon Breach Science Publisher, New York.
- Rolle L, Letaief H and Gerbi V, 2008. Application of texture analysis for the evaluation of the wine grape quality. Bulletin de l'OIIV 81: 221-229.
- Rong W, Qunying J and Deqiang W, 2004. On the mechanical damage of grape using finite element analysis. An ASAE/CSAE Meeting presentation.
- Segade SR, Rolle L, Gerbi V and Orriols I, 2008. Phenolic ripeness assessment of grape skin by texture analysis. Journal of Food composition and Analysis 21: 644-649.
- Sitkei, 1986. Mechanics of Agricultural Materials. Elsevier, New York, Budapest, Hungary
- Varela P, Salvador A and Fiszman S, 2007. Changes in apple tissue with storage time: Rheological, textural and microstructural analyses. Journal of Food Engineering 78: 622-629.
- Vursavus K, Kelebek H and Selli S, 2005. A study on some chemical and physico-mechanic properties of three sweet cherry varieties (*Prunus avium* L.) in Turkey. Journal of Food Engineering 74: 568-575.
- Winkler AJ, Cook JA, Kliewer WM and Lider LA, 1974. General viticulture. University of California Press, Berkeley.

Yurtlu YB and Erdogan D, 2005. Effect of storage time on some mechanical properties and bruise susceptibility of pears and apples. Turk J agric For 29:469-482.