تعیین و مقایسه برخی خواص مکانیکی سیب گلاب کهنز و بررسی حساسیت به کوفتگی آن در سه تاریخ برداشت

بنت الهدی قاسمی باغبادرانی[1]، عباس همت[2]، علی حسین حبیبی راد[1]

1-دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان کدپستی83111- 84156

2- استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان کدپستی83111- 84156

b.ghasemibaghbadrani@ag..iut.ac.ir. ahemmat@cc.iut.ac.ir

چکیده

سیب یکی از مهمترین محصولات باغبانی ایران محسوب می شود که پس از مرکبات مقام دوم را از نظر میزان تولید در سطح کشور دارد. آسیب مکانیکی در انواع میوه و سبزی در اثر تنش های تماسی تحت بارهای استاتیکی، شبه استاتیکی و ضربه ای ایجاد و موجب کاهش کیفیت محصول و ارزش اقتصادی آن می‌شود. تعیین خواص مختلف سیب‌های تولیدی در کشور جهت استفاده در طراحی ماشین‌های مختلف و بهبود خطوط فراوری در راستای کاهش ضایعات و افزایش کیفیت ضروری است . در این تحقیق خواص مکانیکی سیب گلاب کهنز شامل ضریب الاستیسیته، تنش شکست، کرنش شکست، انرژی شکست و چقرمگی، در سه تاریخ برداشت مرسوم در اصفهان، ان دازه‌گیری و مقایسه گردید . تاثیر تاریخ برداشت بر میانگین ضریب الاستیسته، کرنش و انرژی شکست در سطح یک درصد معنی دار بود . سپس برای بررسی حساسیت به کوفتگی آنها حجم کوفتگی سیب در سه تاریخ برداشت، تحت بارهای متفاوت محاسبه شد و نمودار حجم کوفتگی بر حسب نیرو ی بیشینه، انرژی از دست رفته حین بارگذاری و باربرداری، تنش تماسی بیشینه هرتز و نسبت جابجایی بیشینه به شعاع انحنای نقطه بارگذاری-که آنرا به صورت معیاری از کرنش میتوان در نظر گرفت- رسم شد و منحنی هایی بر آنها برازش شد که ضریب همبستگی بالای آنها نشان دهنده‌ی رفتار مشابه سیب در سه تاریخ برداشت بود. مقدار حجم کوفتگی در تاریخ برداشت اول و دوم تفاوت چندانی نداشت ولی در تاریخ برداشت سوم مقدار آن بیشتر بود که بیانگر افزایش حجم کوفتگی با کاهش ضریب الاستیسیته است.

کلمات کلیدی:حجم کوفتگی ، خواص مکانیکی، تنش تماسی هرتز، کرنش ظاهری

مقدمه

هرچند طبق آمار منتشر شده ایران به عنوان هفتمین کشور تولید کننده و دهمین کشور صادر شده سیب در جهان شناخته شده است، ولی به دلیل مشخص نبودن پارامترهای فیزیکی و مکانیکی ارقام سیب تولیدی در ایران، این محصول با درصد تلفات بیشتر و کیفیت پایینتری نسبت به استانداردهای جهانی به دست مصرف کننده می رسد. در طی مراحل مختلف انتقال نظیر برداشت، حمل و نقل، سورتینگ و انبارداری سیب انواع مختلفی از بارگذاری را تجربه می کند. علل ایجاد انواع آسیب در میوه ها ناشی از بارهای دینامیکی شامل ضربه و ارتعاش و بارهای استاتیکی شامل فشار می باشد. نیروهای فشاری حین برداشت می تواند توسط دست بردارنده و انگشت ها

اعمال شود یا وقتی که میوه در صندوق قرار می گیرد. بارهای فشاری موجب کوفتگی بزرگتر نسبت به بارهای ضربه‌ای می‌شوند [Garcia,1988]. کوفتگی تنها نتیجه یک عامل نیست که بتوان آن را محاسبه کرد و برای همه واریته‌ها تعمیم داد. رسیدگی میوه و تاریخ برداشت بر روی کوفتگی موثر است.[1984] Saltveit گزارش داد که برداشت با تاخیر، حساسیت میوه را افزایش داده و این اثر به رقم میوه نیز وابسته است .[1968] Hyde and Ingle مشاهده کردند که میوه در بردا شت دوم و سوم میانگین کوفتگی بیشتری نسبت به برداشت اول نشان داده است .(با فاصله 5 روز). بر خلاف بالا [1997] Studman et al مشاهده کردند که طرف سبزتر سیب حساستربه کوفتگی در مقایسه با طرف قرمز (طرف رسیده تر) آن بود.[1987] Klein افزایش 10٪ در حجم کوفتگی در سیب های برداشت شده به فاصله 30 روز را گزارش داد.

اختلاف در قابلیت کوفتگی مربوط به خواص فیریولوژیکی و بیولوژیکی است که می‌تواند به علت شرایط کاشت، رسیدگی و زمان انبارداری سیب باشد. لذا در این پژوهش برخی خواص مکانیکی سیب گلاب کهنز و حساسیت به کوفتگی آن در سه تاریخ برداشت مرسوم در اصفهان، بررسی گردید.

مواد و روشها

40 عدد سیب کهنز در هر تاریخ برداشت در تاریخ های 90/5/3 ، 90/5/8 و90/5/12 از باغ مرکز تحقیقات اصفهان واقع در شهرستان سمیرم برداشت گردید . سیب ها در جعبه های تک ردیفه پلاستیکی قرار داده شدند . کف جعبه فوم‌هایی برای جلوگیری از آسیب به نمونه ها قرار داده شد. سپس سیب‌ها به سردخانه 2 درجه دانشگاه صنعتی اصفهان منتقل شدند.4ماه پس از برداشت آزمایش‌های مورد نظر انجام شد.

اندازه‌گیری خواص مکانیکی

برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی سیب ها از دستگاه جامع کشش و فشار زوییک -ساخت کشور آلمان- استفاده شد. 10 عدد از هر برداشت انتخاب شد و از هر عدد یک نمونه استوانه‌ای با قطر 12 میلیمتر توسط نمونه گیر و به طول 15 میلیمتر توسط یک چاقوی تیز تهیه گردید . نمونه‌ها با سرعت 6 میلیمتر بر دقیقه تا لحظه شکست توسط دستگاه بارگذاری شدند. متغیرهای تنش شکست، کرنش شکست، انرژی شکست، ضریب الاستیسیته و چقرمگی از نمودار برای هر نمونه به شیوه زیر محاسبه گردید.

تنش گسیختگی از رابطه زیر بدست آمد:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d^2}$$

که در این رابطه،σ تنش شکست بر حسب MPa، F نیروی تسلیم بر حسب N، d قطر نمونه‌ها بر حسب mm و A سطح مقطع نمونه‌ها بر حسب mm^2 می‌باشند.

کرنش شکست نیز برای نمونه‌ها از رابطه زیر بدست آمد:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

که در این رابطه ،ε کرنش شکست بر حسب mm/mm، ΔL میزان تغییر طول نمونه در نقطه تسلیم بر حسب mm و L_0 طول نمونه بر حسبmm می‌باشند.

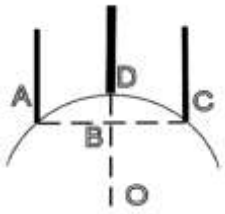
انرژی شکست (بر حسب میلی ژول) نمونه‌ها برابر با سطح زیر نمودار نیرو- تغییر شکل از مبدا مختصات تا نقطه شکست می‌باشد. در این تحقیق با روش ذوزنقه محاسبه گردید.

ضریب الاستیسیته ظاهری(بر حسب MPa) از شیب نمودار نیرو- تغییر شکل تا نقطه شکست بدست آمد.

برای تعیین میزان چقرمگی هر یک از نمونه ها، مقدار انرژی شکست آنها بر حجم نمونه ها تقسیم شده و مقدار چقرمگی بر حسب mJ/mm^3 تعیین گردید.

آزمایش‌های بررسی حساسیت به کوفتگی

برای انجام آزمایشات حساسیت به کوفتگی 20 نمونه از هر تاریخ برداشت انتخاب شد و با چاقو به دونیم تقسیم شد . سپس شعاع انحناهای عمود بر هم گونه سیب (محل بارگذاری) هر نمونه با استفاده از دستگاه شعاع انحنا سنج به صورت زیر محاسبه شد:



$$\text{شعاع انحنا} = \frac{(AC)^2}{8BD} + \frac{BD}{2}$$

شکل1- طرح شماتیک شعاع انحنا سنج

AC فاصله دو پایه مجاور شعاع انحناسنج و BD طول پایه میانی دستگاه است که با قله میوه در تماس است و با شعاع انحنای میوه تغییر می‌کند.(شکل1)

سپس هر نمونه بین دو صفحه تخت موازی توسط د ستگاه اینستران با سرعت 50 میلیمتر بر دقیقه بین 32 تا 250 نیوتون بارگذاری و با همان سرعت باربرداری شد. برای استفاده از فرمولهای تنش تماسی هرتز نسبت پواسون هر سه تاریخ برداشت 0/32 فرض گردید و سپس با استفاده از فرمولهای مربوطه شعاع سطح تماس و سپس ماکزیمم تنش تماسی در محل بارگذاری محاسبه شد. [ASAE S368.4 ,2006]

نسبت جابجایی بیشینه به شعاع انحنای نقطه بارگذاری-که آنرا به صورت معیاری از کرنش ظاهری در نظر گرفت- نیز برای هر نمونه بدست آمد.

متغیرهای ذیل نیز اندازه گیری شد. انرژی بارگذاری(W_L) ،انرژی باربرداری (W_U) و انرژی جذب شده($W_A= W_L-W_U$)

بعد از انجام آزمایش ها، میوه‌ها در دمای اتاق (22-25درجه سانتیگراد) به مدت 24 ساعت قرار گرفتند . در این مدت رنگ قسمت کوفته شده تمایل به قهوه‌ای شدن پیدا کرد..[Holt and Schoorl, 1977]

برای اندازه‌گیری حجم کوفتگی، ابتدا قطر متوسط هر لکه اندازه گیری شده، سپس به کمک یک چاقوی تیز برشی عمود بر سطح کوفتگی در کل سیب ایجاد گردید و عمق متوسط کوفتگی اندازه‌گیری شد.

سپس از تقریب زیر برای محاسبه حجم کوفتگی محاسبه می‌شود: [Barreiro ,1999]

$$V = \frac{\pi d^2 h}{6}$$

که در آن Vحجم کوفتگی به mm^3، d قطر کوفتگی و h عمق کل کوفتگی به mm می‌باشند.

برای ارائه نتایج به صورت نمودار و انجام رگرسیون ، از نرم افزار EXEL2007 و برای مقایسه داده ها از نرم افزار SAS استفاده گردید.

نتایج و بحث

مقادیر اندازه‌گیری شده خواص مکانیکی سیب گلاب کهنز در سه تاریخ برداشت در جدول1 نشان داده شده است. در مقایسه با خواص مکانیکی سیب‌های گلدن دلیشز، رد دلیشز، گرانی اسمیت اندازه گیری شده توسط مسعودی و همکاران[1384]، سیب گلاب کهنز داری ضریب الاستیسیته کمتری است که نشان می‌دهد بافت نرمتری دارد. آنالیز واریانس خواص مکانیکی برای هر سه تاریخ برداشت انجام گرفت. طبق نتایج، تاثیر تاریخ برداشت بر میانگین تنش شکست و چقرمگی معنی دار نبوده و بر میانگین کرنش شکست ، انرژی شکست و ضریب الاستیسیته ظاهری در سطح یک درصد معنی دار بود.

جدول1- خواص مکانیکی سیب کهنز در سه تاریخ برداشت

تاریخ برداشت	خواص مکانیکی	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	ضریب تغییرات
90/5/3	تنش شکست(MPa)	0/12	0/19	0/08	0/03	26/99
	کرنش شکست(%)	11/22	13/38	8/41	0/01	13/03
	انرژی شکست(mJ)	11/65	17/41	6/26	3/52	30/02
	ضریب الاستیسیته(MPa)	1/18	1/57	0/93	0/2	16/77
	چقرمگی (mJ/mm^3)	0/0069	0/0103	0/0037	0/0021	30/20
90/5/8	تنش شکست(MPa)	0/11	0/13	0/1	0/01	10/6
	کرنش شکست(%)	11/39	12/45	10/68	0/61	5/35
	انرژی شکست(mJ)	11/52	14/53	9/94	1/68	14/54
	ضریب الاستیسیته(MPa)	1/11	1/23	0/98	0/1	8/6
	چقرمگی (mJ/mm^3)	0/0068	0/0086	0/0059	0/001	14/54
90/5/12	تنش شکست(MPa)	0/11	0/14	0/09	0/02	13/84
	کرنش شکست(%)	13/46	16/36	10/34	1/6	11/86
	انرژی شکست(mJ)	13/27	25/53	7/74	5/02	37/8
	ضریب الاستیسیته(MPa)	0/93	1/14	0/85	0/08	9/08
	چقرمگی (mJ/mm^3)	0/0078	0/0150	0/0046	0/003	37/79

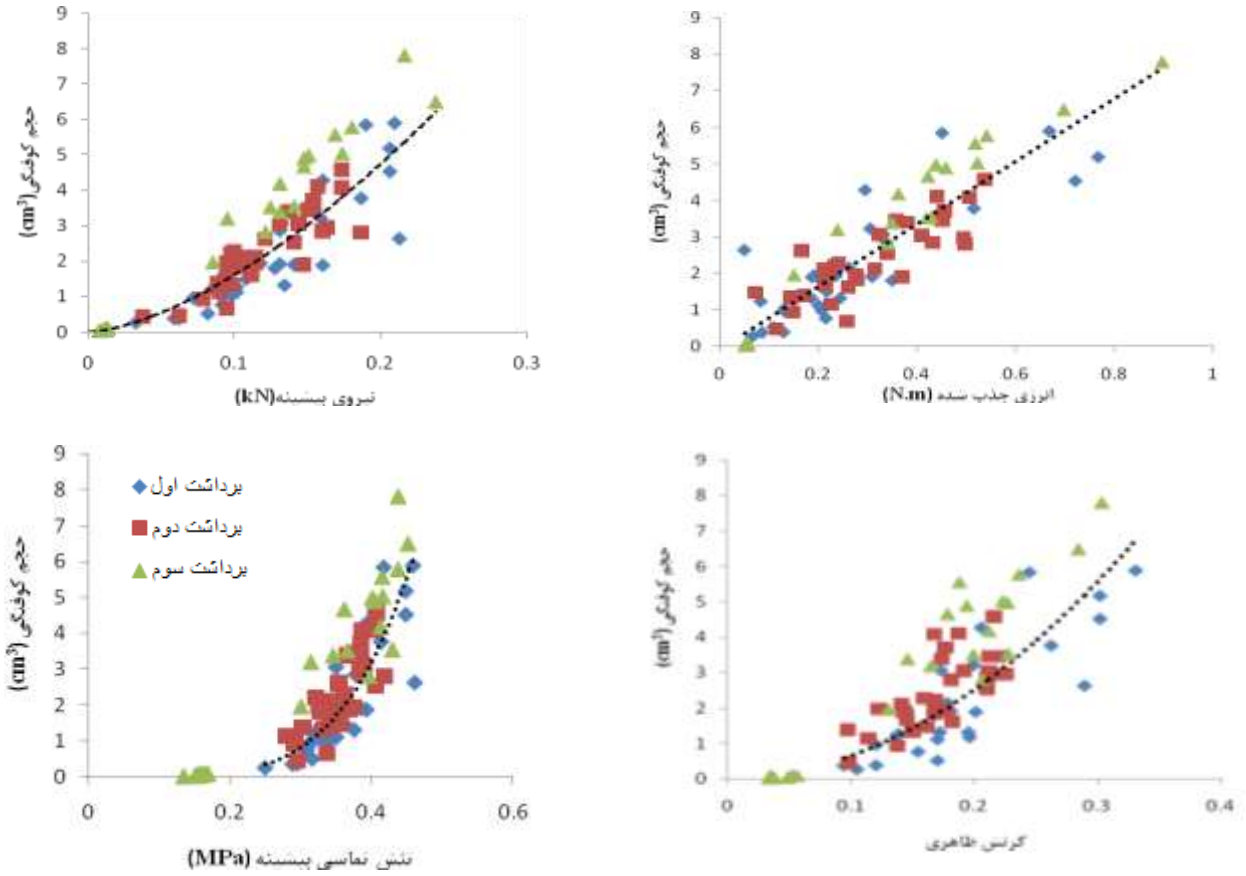
- جدول2 نیز نتایج مقایسه میانگین های خواص مکانیکی هر سه تاریخ برداشت را به روش آزمون دانکن نشان می دهد. میانگین کرنش شکست، انرژی شکست و ضریب الاستیسیته در برداشت اول و دوم با یکدیگر اختلاف معنی داری نداشت. مقدار کرنش گسیختگی و انرژی گسیختگی برداشت سوم نسبت به دو برداشت دیگر بیشتر است که نشان می دهد انعطاف پذیری آن در برابر نیروهای اعمالی بیشتر است . مقدار ضریب الاستیسیته برداشت سوم نسبت به دو برداشت کمتر است. لذا می‌توان گفت که برداشت سوم سفتی کمتری داشته و در برابر نیروها و بارهای مرده مقاومت کمتری دارد.

جدول2- نتایج مقایسه میانگین‌های ضریب الاستیسیته و انرژی برای هر سه تاریخ برداشت

تاریخ برداشت	تنش (MPa) شکست	کرنش (%) شکست	انرژی (mJ) شکست	ضریب (MPa) الاستیسیته	(mJ/mm^3) چقرمگی
90/5/3	$0/12^a$	$11/22^a$	$11/65^a$	$1/18^a$	$0/0069^a$
90/5/8	$0/11^a$	$11/39^a$	$11/52^a$	$1/11^a$	$0/0068^a$
90/5/12	$0/11^a$	$13/46^b$	$13/27^b$	$0/93^b$	$0/0078^a$

میانگین در هر ستون دارای حروف مشترک، از لحاظ آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی داری با هم ندارند.

نمودار حجم کوفتگی بر حسب نیرو ی بیشینه، انرژی از دست رفته حین بارگذاری و باربرداری، تنش تماسی بیشینه هرتز و کرنش ظاهری در شکل 1 نشان داده شده است . از آنجا که برداشت اول و دوم در تمام خواص مکانیکی با هم تغییر معنی داری نداشتند، حجم کوفتگی آنها نیز در بارگذاری های مختلف با هم مشابه است . ولی برداشت سوم بعلت داشتن بافت نرم تر مقدار حجم کوفتگی بیشتری را نسبت به دو تاریخ برداشت نشان می دهد. افزایش محتوی قند سلول هنگام رسیده شدن، باعث افزایش فشار تورمی سلول می‌شود و با افزایش فشار تورمی سلول تردی بافت بیشتر شده و حساسیت به کوفتگی نیز افزایش پیدا می کند[Garcia and Barreiro, 1995].



شکل1- نمودارهای حجم کوفتگی در برابر نیروی بیشینه، انرژی جذب شده، تنش تماسی بیشینه و کرنش ظاهری

بر هر نمودار نیز خطی برای هر سه برداشت رسم شده و رابطه رگرسیونی آن در جدول 3 آورده شده است. طبق نتایج ضریب همبستگی بالای آنها نشان دهنده ی رفتار مشابه سیب در سه تاریخ برداشت است و حجم کوفتگی با نیروی بیشینه ، تنش تماسی بیشینه و کرنش ظاهری رابطه نمایی و با انرژی جذب شده رابطه خطی دارد.

جدول3- رابطه حجم کوفتگی با نیرو بیشینه ، انرژی جذب شده، تنش تماسی بیشینه و کرنش ظاهری

متغیرها	نیروی بیشینه	انرژی جذب شده	تنش تماسی بیشینه	کرنش ظاهری
رابطه رگرسیونی	$BV= 75/7PF^{1/8}$	BV=8/6AE+0/1	$BV=241/9PS^{4/7}$	$BV=58/7S^{4/7}$
ضریب همبستگی(./)	0/94	0/81	0/72	0/6

BV، PF، AE، PS وS به ترتیب حجم کوفتگی(cm^3)، نیروی وارده بیشینه(KN) ، انرژی جذب شده(Nm)، تنش تماسی بیشینه(MPa) و کرنش ظاهری می‌باشد.

منابع

1- مسعودی، ح. طباطبایی فر، س.ا. برقعی، ع.م . شاه بیک، م.ع. 1384. تعیین و مقایسه خواص فیزیکی و مکانیکی سه رقم سیب صادراتی. مجله علمی-پژوهشی علوم کشاورزی. سال یازدهم شماره(3).

2-ASAE Standards. 1998.*Compression Test of Food Materials Convex Shape*. ASAE S368.4. PP. 554-559.

3-Barreiro, P., 1999. Detailed procedure for fruit damaging. ASTEQ CA Newsletter No. 2, pp. 3–5.

4-Garcia, C. R., Ruiz, M., and P. Chen. 1988b. Impact parameters related to bruising in selected fruits. In *ASAE Tech. Paper*. St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural Engineers.

5-Garcia, J. L. R.-A., M., and P. Barreiro. 1995. Factors influencing mechanical properties and bruise susceptibility of apples and pears. *Journal of agricultural engineering research* 61:11-18.

6-Holt, J.E., Schoorl, J., 1977. Bruising and energy dissipation in apples. J. Texture Stud. 7, 421–432

7-Hyde, J. F., and M. Ingle. 1968. Size of apple bruises as affected by cultivar, maturity and time in stroage. *Proc. journal of american society for horticultural science*. 92:733-738.

8-Klein, J. D. 1987. Relationship of harvest date, storage conditions, and fruit characteristics to bruise susceptibility of apple. *journal of american society for horticultural science* 112:113-118.

9-Saltveit, M. E. 1984. Effects of temperature on firmness and bruising of 'Starkrimson' and 'Golden Delicious' apples. *HortScience* 19 (4):550-551.

10-Studman, C. J., Brown, G.K., Timm, E.J., Shulte, N.L., and M.J. Vreede. 1997b. Bruising on blush and non-blush sides in apple-to-apple impacts. *Transactions of the ASAE* 40:1655-1163.