

## Hasarsız Çarpma Tekniği Kullanılarak Şeftali Meyve Sertliğinin Algılanması

Kubilay Kazım VURSAVUŞ<sup>1</sup>, Yeşim Benal YURTLU<sup>2</sup>, Belen DIEZMA-IGLESIAS<sup>3</sup>,  
Lourdes LLEO<sup>4</sup>, Margarita RUIZ-ALTISENT<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi Ceyhan Meslek Yüksekokulu, Ceyhan/Adana

<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü, Samsun

<sup>3</sup>U. Politecnica de Madrid E. T. S. I. Agronomos Departamento Ingeniería Rural, Madrid C. E. I. Moncloa

<sup>4</sup>U. Politecnica de Madrid Departamento de Ciencia y Tecnologías Aplicadas a la Ingeniería Técnica Agrícola E. U. I. T. A, Madrid C. E. I. Moncloa  
kuvursa@cu.edu.tr

Received (Geliş Tarihi): 09.05.2012

Accepted (Kabul Tarihi): 29.06.2012

**Özet:** Sertlik ölçümleri, geleneksel olarak, hasarlı ölçüm yöntemi olarak değerlendirilen referans tekstür analiz testleriyle, penetrometre ya da bilgisayar kontrollü materyal test cihazları kullanılarak Magness-Taylor yöntemine göre yapılmaktadır. Bu çalışmada, elastisite teorisi kullanılarak, hasarsız ölçüm yöntemlerinden biri olan düşük kütleli çarpma tekniği ile meyve sertliği algılanarak referans yöntem ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Denemeler *Caterina* ve *Suidring* çeşidi şeftaliler kullanılarak yürütülmüştür. Düşük kütleli bir yanıl impaktörün şeftaliye çarptırılması tekniği kullanılarak yapılan ölçümlerde, çarpma kuvveti ( $F_i$ ) ve temas zamanı ( $t_c$ ) algılanmış ve eğri altında kalan alandan bağımsız değişken olarak ifade edilen impuls ( $I$ ) değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, elastisite teorisi kullanılarak, impuls, maksimum çarpma kuvveti ( $F_{max}$ ) ve maksimum deformasyon ( $D_{max}$ ) değerleriyle;  $F_{max}/I^{6/5}$ ,  $F_{max}$ ,  $D_{max}$ ,  $F_{max}/D_{max}$  ve  $F_{max}/D_{max}^{3/2}$  parametreleri belirlenmiştir. Çarpma kuvveti-temas alanı eğrisi üzerinden hesaplanmış çarpma parametreleri ile hasarlı ölçüm referans değerleri (Magness-Taylor kuvveti, sertlik ve elastisite modülü) karşılaştırılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre, hasarlı ölçüm referans değerleri ile hasarsız çarpma parametreleri arasındaki ilişki istatistiksel olarak önemli bulunmuş ve elastisite modülü sertlik parametresi tahmininde, iki çeşit için de yüksek belirtme katsayıları ( $r^2$ ) elde edilmiştir. Her iki çeşide ait tüm veriler üzerinden yapılan çoklu doğrusal regresyon analizine göre, tüm çarpma parametrelerinin model eşitlikte kullanılması durumunda elastisite modülü tahmininde 0.693'lük yüksek bir belirtme katsayısı elde edilmiştir ( $P<0.01$ ).

**Anahtar kelimeler:** Sertlik, elastisite modülü, şeftali, hasarsız muayene metodu, çarpma testi

### Firmness Sensing of Peach Fruit by Using Non-Destructive Impact Technique

**Abstract:** Measurements of firmness have traditionally been carried out according to the Magness-Taylor procedure using computer controlled material test device or hand type penetrometer in reference texture analysis tests. In this study, fruit firmness was sensed with non-destructive low mass impact technique based on theory of elasticity and compared with reference measurement method. Tests were carried out with *Caterina* and *Suidring* peach varieties. In the measurements done with low mass lateral impactor, impact force ( $F_i$ ) and contact time ( $t_c$ ) were sensed and, impulse ( $I$ ) expressed as independent variable was calculated from the area under the impact force-contact time curve. Furthermore, the parameters,  $F_{max}/I^{6/5}$ ,  $F_{max}$ ,  $D_{max}$ ,  $F_{max}/D_{max}$  and  $F_{max}/D_{max}^{3/2}$  were determined by using theory of elasticity. Impact parameters calculated from the impact force-contact time curve, and destructive reference measurements (Magness-Taylor force, firmness and modulus of elasticity) were compared. The correlations between destructive reference and non-destructive test results were statistically significant. Higher coefficients of determinations ( $r^2$ ) were found considering varieties separately in the prediction of modulus of elasticity. In addition, according to multi-linear regression analysis method the highest coefficient of determination (0.693) was found in modulus of elasticity prediction for all pooled data ( $P<0.01$ ).

**Key words:** Firmness, modulus of elasticity, peach, non-destructive test method, impact test

## GİRİŞ

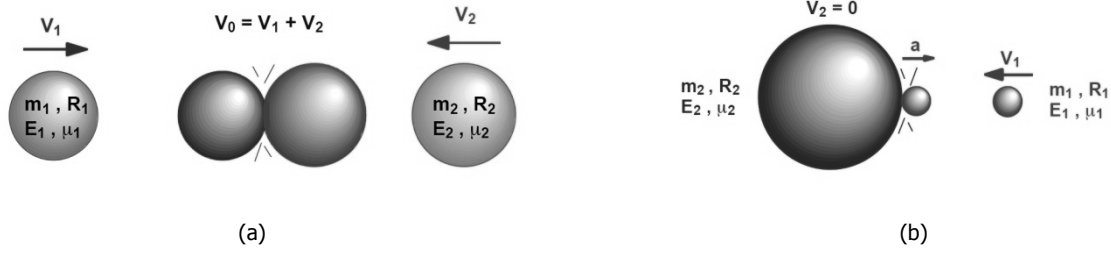
Yaş meyvelerin, hasat, depolama, paketlenme, taşıma ve perakende satış süresince en az düzeyde zarar görmesi için erken olgunluk safhasında sert iken hasat edilmeleri gerekmektedir (Delwiche ve Sarig, 1991). Sertlik, şeftalide çok önemli bir kalite özelliğidir. Meyve eti sertliği; şeftali, nektarin, armut, elma ve kivi gibi meyveler için kritik bir hasat sonrası parametredir (Delwiche ve ark., 1996). Meyve sertliğinin ölçülmesinde günümüzde geleneksel Magness-Taylor testleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür ölçümlerde, silindirik bir batıcı ucun meyve etine uygulamış olduğu penetrasyon kuvvetini kaydeden el tipi ya da bilgisayar kontrollü materyal test cihazlarından yararlanılmaktadır. Şeftali, nektarin ve armut için 8 mm çapında, elma içinde 11 mm çapında silindirik batıcı uçlar kullanılmaktadır. Meyvelerin statik yük etkisi altındaki mekanik davranışlarının ölçüldüğü bu tip uygulamalarda hasarlı ölçüm referans test değerleri belirlenebilmektedir. Bu ölçümlere hasarlı ölçüm adı verilmektedir. Kuvvet-deformasyon grafiği üzerinden okumaların yapıldığı değerlendirmeler sonucunda Magness-Taylor kuvveti (maksimum kuvvet), meyve eti sertliği (kuvvet ile deformasyon oranı) ve elastisite modülü gibi mekanik özellik parametreleri hesaplanabilmektedir. Meyve sertliğindeki azalma ağaç üzerinde olgunlaşma, depolama ve perakende satış süresince gerçekleşen fizyolojik bir olaydır (Valero ve ark., 2007). Diğer meyvelerde olduğu gibi şeftalinin de visko-elastik yapıya sahip olması, heterojen ve anizotropik bir yapıya sahip olması, sınıflandırmalarda sadece renk ve boyut gibi fiziksel özelliklerin yeterli olamayacağını göstermektedir. Aynı gün hasadı gerçekleştirilen şeftali meyvelerinin ölçülen renk ve boyut değerleri aynı olmasına karşın sertlik değerleri çok farklılık gösterebilmektedir (Slaughter ve ark., 2006).

Günümüzde yaş meyve ve sebzelerin sertliklerinin algılanmasında; akustik, titreşim, mikro-deformasyon, çarpma ve yakın kızılötesi (NIR) gibi teknikler kullanılmaktadır. Bu algılama yöntemlerine göre sınıflandırma yapan ticarileşmiş makineler de uygulamada kullanılmaktadır (Garcia-Ramos ve ark., 2003). Bunlara; Aweta, Sinclair, Firmalon, Compac ve Greefa firmaları örnek olarak verilebilir. Sertlik ölçümün insanlar tarafından yapılarak, uygulamada sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesi mümkün

görülmemektedir. Hasarlı sertlik ölçümleri ile sınırlı sayıda örnek üzerinde ölçümler alınabilmekte, iş gücüne gereksinim duyulmakta ve bu süreçte hem ürün kullanılmaz duruma gelmekte hem de homojen bir ölçüm gerçekleştirilememektedir. Sadece, belirli bir grup içinde sertlik eğilimi ortaya konabilmekte, bu durumda ölçüm güvenilir olamamaktadır. Hasarsız olarak gerçekleştirilen otomatik ürün sınıflama sistemleri ile ürün değerlendirmeleri hızlı, hasarsız, daha az maliyetli ve etkili bir şekilde yapılabilmektedir (Kavdir ve Büyükcan, 2007). Ayrıca, tüm ürün üzerinde ölçümler homojen bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Şeftali ve nektarin meyvesi için sınıflandırma ve paketlenme sektöründe kullanılan ve kabul görmüş sertlik kriterleri; Magness-Taylor kuvveti (MT, N), meyve eti sertliği (S, N/mm), elastisite modülü (ME) ve suda çözünür kuru madde miktarı (% brix) değeridir. Şeftali meyvesi için,  $MT < 18$ ,  $18 < MT < 35$  ve  $MT > 35$  sertlik grupları yumuşak, orta sert ve sert sertlik sınıfını ifade etmektedir (Valero ve ark., 2007). Ayrıca, sertlik sınıfları için,  $S < 5000$  N/m,  $5000$  N/m  $< S < 9000$  N/m ve  $S > 9000$  N/m sertlik grupları sırasıyla paketlenme tesislerinde kullanılan yumuşak, orta sert ve sert sınıfı ifade etmektedir (Gutierrez ve ark., 2007).

Farklı araştırmacılar tarafından yürütülmüş olan önceki çalışma sonuçları hasarsız çarpma tekniklerinin meyvelerin sertlik algılamalarında kullanılabileceğini göstermiştir (Garcia-Ramos ve Ruiz-Altisent, 1988; Chen ve Ruiz-Altisent, 1993). Hasarsız çarpma tekniği kullanılarak meyve sertliği algılamalarında iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan ilki kuvvet algılayıcısı üzerine meyvenin düşürülmesi ve ikincisi de düşük kütleli bir küresel impaktörün meyveye çarptırılması ve çarpma ivmesinin ölçülmesidir (Şekil 1). Bu teknikler Elastisite Teorisi kullanılarak açıklanabilmektedir (Timoshenko ve Goodier, 1970). Bu teorik yaklaşım Hertz teorisinin genişletilmiş hali olup Newtonun ikinci yasasının da bu teorik yaklaşım içerisinde kullanılmasıyla çözümlenebilmektedir (Chen ve Ruiz-Altisent, 1996).

Sabit bir yüzey üzerine çarpan elastik bir kürenin kuvvet tepkisi; elastik kürenin çarpma hızı, kütlesi, eğrilik yarıçapı, elastisite modülü ve poisson oranı ile ilişkilidir. Bu tekniğin kullanılmasında ortaya çıkan problem, çarpma kuvvetinin meyvenin kütlesi ve eğrilik yarıçapının bir fonksiyonu olmasıdır.



**Şekil 1. İki elastik kürenin çarpma koşulu (a) ve meyve üzerine impaktörün çarptırılması (b)**

Bu nedenle, bu iki parametredeki büyük çaplı bir değişim sertlik ölçümlerindeki hassasiyeti önemli oranda etkileyecektir.  $F_{max}$ , her iki küre üzerinde etkili olan maksimum çarpma kuvveti büyüklüğü (N),  $V_0$ , her iki kürenin nispi yaklaşma hızı (m/s),  $m_1$ , 1 numaralı kürenin kütlesi (kg),  $m_2$ , 2 numaralı kürenin kütlesi (kg),  $\mu_1$ , 1 numaralı kürenin poisson oranı (-),  $\mu_2$ , 2 numaralı kürenin poisson oranı (-),  $E_1$ , 1 numaralı kürenin elastisite modülü (Pa),  $E_2$ , 2 numaralı kürenin elastisite modülü (Pa),  $R_1$ , temas noktasında, 1 numaralı kürenin eğrilik yarıçapı (m) ve  $R_2$ , temas noktasında, 2 numaralı kürenin eğrilik yarıçapı (m) olarak alınırsa, bu durumda maksimum çarpma kuvveti ve maksimum kuvvetteki zaman aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanabilmektedir:

$$F_{max} = \left( \frac{5}{4} V_0^2 \right)^{\frac{3}{5}} \left( \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right)^{\frac{3}{5}} \left[ \frac{\frac{4}{3} E_1 E_2}{E_2 (1 - \mu_1^2) + E_1 (1 - \mu_2^2)} \right]^{\frac{2}{5}} \left( \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (1)$$

$$t = 1.4325 \left( \frac{1}{V_0} \right)^{\frac{1}{5}} \left[ \frac{E_2 (1 - \mu_1^2) + E_1 (1 - \mu_2^2)}{E_1 E_2} \right]^{\frac{2}{5}} \left[ \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \right]^{\frac{1}{5}} \left( \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (2)$$

Şekil 1a da görülen 2 nolu küreyi meyve ve 1 nolu küreyi de kuvvet algılayıcı bulunan sabit bir yüzey olarak kabul edersek, çarpma süresince meyve üzerindeki kuvvet büyüklüğü meyve sertliğinin ifadesinde de kullanılan  $E_2$ , elastisite modülünün bir fonksiyonu olmaktadır. Bu nedenle, eğer çarpma sırasında oluşan kuvveti ölçebilirsek, meyve sertliği ile ölçülen kuvvet değeri ilişkilendirebilmektedir. Bu durumda kuvvet algılayıcının bulunduğu yüzey düz bir plaka olduğu için  $E_1$  ve  $R_1 = \infty$  ve algılayıcı sabit olduğu için de  $m_1 = \infty$  olacaktır. Bu nedenle 1 ve 2 nolu eşitlik aşağıdaki şekli almaktadır:

$$F_{max} = \left( \frac{5}{4} V_0^2 \right)^{\frac{3}{5}} (m_2)^{\frac{3}{5}} \left[ \frac{\frac{4}{3} E_2}{(1 - \mu_2^2)} \right]^{\frac{2}{5}} (R_2)^{\frac{1}{5}} \quad (3)$$

$$t = 1.4325 \left( \frac{1}{V_0} \right)^{\frac{1}{5}} \left[ \frac{(1 - \mu_2^2)}{E_2} \right]^{\frac{2}{5}} \left[ \frac{1}{R_2} \right]^{\frac{1}{5}} (m_2)^{\frac{2}{5}} \quad (4)$$

Bilinen bir kütle ve şekle sahip bir impaktörün meyve yüzeyine çarptırılması ve sonuç olarak küresel çarpma başlığının ivmesinin ölçülmesi tekniği, çarpma kuvveti tepkisinin meyve kütesinden bağımsız olması ve meyve boyut değişiminin etkisinin azaltılması nedeniyle daha avantajlıdır (Şekil 1b). Bu teknik ilk olarak Chen ve ark. (1985) tarafından kullanılmıştır. Bu durumda;  $E_1 = \infty$ ,  $m_1 \leq m_2$ ,  $R_1 \leq R_2$  ve  $V_0 = V_1$  olacaktır. Bu koşullar dikkate alındığında maksimum çarpma kuvveti:

$$F_{max} = \left( \frac{5}{4} V_1^2 \right)^{\frac{3}{5}} \left( \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right)^{\frac{3}{5}} \left[ \frac{\frac{4}{3} E_2}{(1 - \mu_2^2)} \right]^{\frac{2}{5}} \left( \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)^{\frac{1}{5}} \dots (5)$$

$m_1 \leq m_2$  ve  $R_1 \leq R_2$  durumunda  $\left( \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right) \approx m_1$  ve

$\left( \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right) \approx R_2$  olmaktadır.

Nahir ve ark. (1986), domatesin 60-70 mm'lik bir yükseklikten sert bir zemin üzerine düşürülmesi durumunda çarpma kuvveti büyüklüğünün kütle ve sertlik ile önemli derecede ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Delwiche ve ark. (1987), sert bir yüzey üzerine düşürülen şeftali örneklerinin çarpma kuvvetlerini analiz etmiş ve belirli çarpma kuvveti parametrelerinin meyvenin elastisite modülü ve meyve eti sertliği ile yakından ilişkili olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, Delwiche ve ark. (1989) yapmış oldukları

laboratuar denemelerinde tek hatlı bir sertlik algılama sistemi geliştirmişler ve  $F_{max}/t^2$  ( $F_{max}$ , maksimum çarpma kuvveti ve  $t$ , maksimum çarpma kuvvetine ulaşmak için gereksinim duyulan zaman) parametresinin sertlik indeksi olarak kullanılabileceğini çalışmaları sonucunda ortaya koymuşlardır. Ayrıca, Lien ve ark. (2009), domates olgunluğunun belirlenmesinde hasarsız çarpma tekniğini kullanmışlardır. Kuvvet algılayıcı üzerine düşürme tekniği kullanılarak yapmış oldukları ölçümler sonucunda maksimum çarpma kuvveti ve çarpma zamanı ile meyve kütesinin MT kuvveti ile yüksek oranda ilişkili olduğunu ve %82.3 gibi yüksek bir sınıflandırma hassasiyetine ulaşıldığını belirlemişlerdir. Ragni ve ark. (2010) ve Gutierrez ve ark. (2007) da tek sıralı prototip sınıflandırma hattı üzerinde kivi ve şeftali meyvesi için başarılı bir hasarsız sertlik sınıflandırma işleminin gerçekleştirildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, düşük kütleli bir impaktörün meyve yüzeyine çarptırılması ve sonuç olarak meyvelerin mekanik özellikleri ile çarpma parametrelerinin ilişkilendirilerek hasarsız sertlik sınıflandırma işlemlerinin gerçekleştirilmesine yönelik bir çok araştırmacı farklı meyveler ile çalışmalar yürütmüştür. Bu çalışmada, iki şeftali çeşidinin (*Caterina* ve *Suidring*) sertlik sınıflandırmasında kullanılacak hasarlı referans parametreleri ile hasarsız çarpma parametrelerinin belirlenmesi, ilişkilendirilmesi ve sertlik sınıflandırmada kullanılabilecek yeni bir tahmin modelinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

## MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma, 2011 yılı Haziran-Temmuz aylarında, *Catherina* ve *Suidring* çeşidi şeftaliler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Denemeler süresince test edilen her iki çeşit Madrid'deki bir marketten sağlanmış ve denemeler süresince 20 °C 'lık laboratuar koşullarında bekletilmiştir. Her iki çeşit için 33 adet şeftali grubu belirlenmiş ve toplam da 66 adet şeftali meyvesi kullanılmıştır. Hasarlı ve hasarsız ölçümler için 20 °C 'lık oda koşullarında 5 gün süre ile bekletilen şeftali örneklerinden gün aşırı şeftaliler alınmış ve böylece çeşit özelliklerine de bağlı olarak geniş bir sertlik grubu oluşturulmaya çalışılmıştır. Ölçümlerde şeftaliler sırt kısımları referans alınarak iki bölgeye ayrılmış ve her bölgenin de çiçek, karın ve sap bölgelerinde ölçüm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Hasarlı ve hasarsız ölçüm denemelerinde, her bir şeftali örneğinde 6 adet ölçüm yapılmıştır.

Hasarsız çarpma tekniği kullanılarak yapılan ölçümlerde Madrid Politeknik Üniversitesi, Fiziksel Özellik Laboratuvarı'nda (Technical University of Madrid LPF-TAGRALIA) geliştirilmiş, düşük kütleli ve yanal çarpma işlemi uygulayan bir impaktör kullanılmıştır (Lateral Impact Sensor 2.0). Şekil 2'de yer alan yanal impaktör, toplam 10 g kütleyle sahip olup küresel bir çarpma başlığına sahiptir. İmpaktörün küresel çarpma başlığının arka kısmına, 1 mV/m s<sup>-2</sup>'lik hassasiyete ve 4900 m/s<sup>2</sup> ölçüm sınırına sahip ENDEVCO marka (ENDEVCO model 256-10) bir ivme algılayıcı yerleştirilmiştir. Çarpma parametreleri ivme algılayıcı tarafından algılanmaktadır. İmpaktör elektromıknatıs tarafından tutulmakta ve salınımı bir yay aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. İmpaktörün elektromıknatıs tarafından tutulduğu anda kazandığı potansiyel enerji salınım sırasında kinetik enerjiye dönüşmekte ve yaklaşık 0.265 m/s hızla meyveye çarptırılmaktadır. İmpaktör, meyvelerin elastik sınır bölgeleri de dikkate alınarak tasarlanmış olduğundan meyve yüzeyine çarpma sırasında düşük kuvvetler oluşmakta (yaklaşık 2-4 N) ve böylece meyve yüzeyinde mekanik hasar oluşmamaktadır. Bu nedenle, impaktör ile yapılan ölçümler 'hasarsız ölçüm' olarak adlandırılmaktadır.

Denemelerde, şeftali ile küresel çarpma başlığı arasındaki mesafe 2 cm olacak şekilde konumlandırılarak, her bir çarpmadan önce bu mesafe kontrol edilmiştir. Windows tabanlı bir yazılım işlemleri kontrol etmekte, verileri depolamakta ve çarpma kuvveti, çarpma ivmesi, hız değişimi ve çarpma süresince oluşan deformasyonu grafik halinde vermektedir. Şekil 3'de çarpma başlığının şeftaliye teması süresince zamana bağlı olarak çarpma kuvveti, deformasyon ve hız değişimi görülmektedir. Şekil 3'de verilmiş olan; çarpma kuvveti, deformasyon ve hız değişimi gibi hasarsız çarpma parametreleri kullanılarak, sertlik tahmin modelinde yer alacak diğer parametreler türetilmiştir.

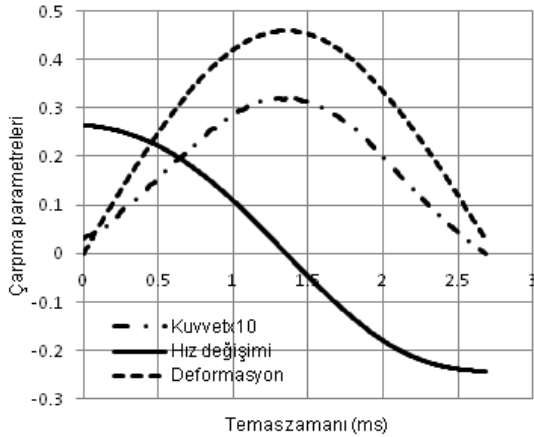
Yanal impaktörün çarpma başlığına yerleştirilmiş olan ve şeftali ile teması süresince ivme algılayıcı tarafından ölçülen ivme değerleri kullanılarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla, temas süresince çarpma kuvvetleri hesaplanmıştır:

$$F = mA \dots\dots\dots(6)$$

Burada: F, temas süresince çarpma kuvveti (N); m, impaktörün kütlesi (g) ve A, temas süresince ölçülen ivme (m/s<sup>2</sup>)dir.



Şekil 2. Düşük kütleli yanal impaktör



Şekil 3. Çarpma kuvvet, deformasyon ve hız değişiminin temas süresince değişimi

Hasarsız çarpma parametrelerinden olan ve impaktörün şeftali ile teması süresince oluşan impuls (itme) değerleri de aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır:

$$I = \int_0^{t_c} F dt = m(V_s + V_i) = m\Delta V \dots\dots\dots(7)$$

Burada: I, impuls (itme) değeri (Nms);  $V_i$ , impaktörün ilk hızı (m/s);  $V_s$ , impaktörün çarpma sonrası hızı (m/s) ve  $\Delta V$ , impaktörün hız değişimi (m/s)'dir.

İmpaktörün ölçülen ilk hızı ( $V_i$ ) 0.265 m/s 'dir. İvme-zaman grafiği altında kalan alan hız değişimini

$$(\Delta V = \int_0^{t_c} A dt) \text{ verdiği için impaktörün son hızı}$$

( $V_s$ ),  $\Delta V - V_i$  'den hesaplanmıştır.

Şekil 2'de verilmiş olan düşük kütleli yanal impaktör kullanılarak yapılan hasarsız çarpma noktalarında hasarlı ve hasarsız ölçüm değerlerini ilişkilendirmek ve yeni bir sertlik sınıflandırma tahmin modeli geliştirmek için hasarlı ölçüm referans testleri de gerçekleştirilmiştir. Bu mekanik testlerin yapılması için TA-XT2 model Texture Analiz test cihazı kullanılmıştır. Şeftali örneklerinin sertlik ölçümlerinde Magness-Taylor yöntemi kullanılmıştır. İki çeşide ait şeftali örneklerinin her iki yüzeyinde çarpma uygulamalarının yapıldığı 6 noktada gerçekleştirilen bu ölçümlerde 8 mm çaplı batıcı uç kullanılmış ve 18 mm/min'lik yükleme hızında çalışılmıştır. Kuvvet-deformasyon grafiğindeki maksimum kuvvet Magness-Taylor kuvveti olarak alınmıştır. Ayrıca, maksimum noktadaki kuvvet-deformasyon oranı sertlik olarak ifade edilmiştir. Kuvvet-deformasyon grafikleri oluşturulurken batıcı uca 8 mm yol aldırılmıştır. Hasarlı ölçüm uygulamaları, hasarsız ölçümlerin gerçekleştirildiği noktanın hemen yanında yapılmış ve delme işlemi öncesinde şeftali kabuğu keskin bir bıçak ile kaldırılmıştır. Hasarlı ölçüm referans parametrelerinden olan elastisite modülü aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (ASAE, 2001):

$$ME = \frac{3 MT(1 - \mu^2)}{4 D^{1.5} R_1^{0.5}} \dots\dots\dots(8)$$

Burada: ME, elastisite modülü ( $N/mm^2$ ); MT, Magness-Taylor kuvveti (N); D, Magness-Taylor kuvvetinin okunduğu noktadaki deformasyon (mm);  $\mu=0.49$  (Fridley ve ark., 1968) ve  $R_1$ , batıcı ucun yarıçapı (mm)'dir.

Caterina ve Suidring şeftali çeşitleri için hasarlı ve hasarsız ölçüm değerlerini karşılaştırmak, hasarsız ölçüm değerleri ile ilişkisi en yüksek hasarlı ölçüm referans değerlerini belirlemek ve sertlik sınıflandırmada kullanılabilecek tahmin modeli geliştirmek amacıyla kullanılan hasarlı ve hasarsız ölçüm parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1'de verilmiş olan parametrelerden I,  $F_{max}$  ve  $D_{max}$  sırasıyla impaktörün meyve yüzeyine çarpması süresince ölçülen impuls, maksimum çarpma kuvveti ve maksimum deformasyonu ifade etmektedir. Benzer

şekilde MT, S ve ME parametreleri de sırasıyla Magness-Taylor kuvveti, meyve eti sertliği ve elastisite modülünü göstermektedir.

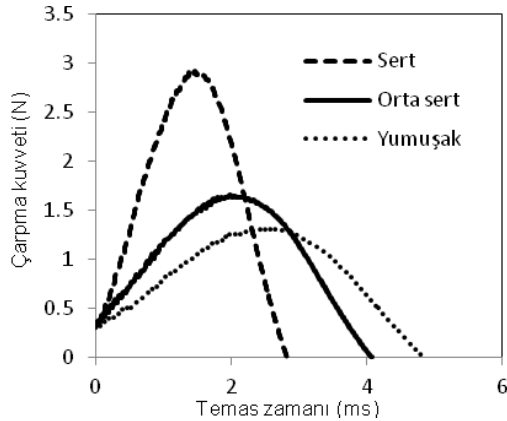
**Çizelge 1. Hasarsız ve Hasarlı Ölçüm Parametreleri**

Ölçüm Tipi	Parametre	Sembol	Ölçü Birimi
Hasarsız ölçüm	I	X1	Nms
	$F_{max}/I^{6/5}$	X2	N/Nms <sup>6/5</sup>
	$F_{max}$	X3	N
	$D_{max}$	X4	mm
	$F_{max}/D_{max}$	X5	N/mm
	$F_{max}/D_{max}^{3/2}$	X6	N/mm <sup>3/2</sup>
Hasarlı ölçüm	MT	Y1	N
	S	Y2	N/mm
	ME	Y3	N/mm <sup>2</sup>

Hasarlı ve hasarsız ölçüm parametreleri arasındaki korelasyon katsayılarını *Caterina* ve *Suidring* çeşitleri için ayrı ayrı ve iki çeşit için birlikte belirlemek amacıyla Pearson Korelasyon Matrisi Yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, sertlik sınıflandırmada kullanılacak yeni bir tahmin modeli geliştirmek amacıyla deneysel veriler Enter ve Stepwise metotları ile çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemine tabi tutulmuştur. Tüm istatistiksel değerlendirmelerde SPSS 19.0 paket programından yararlanılmıştır.

#### ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 4'de sert, orta sert ve yumuşak şeftali örneklerine ait çarpma kuvveti-temas zamanı grafiği verilmiştir. Çarpma başlığı kütlesi 10 g olan yanal impaktör ile 0.265 m/s'lik çarpma hızında gerçekleştirilen çarpma testlerinden elde edilen bu grafikte görüldüğü gibi, şeftali yumuşadıkça çarpma kuvveti azalmakta ve temas zamanı artmaktadır.



**Şekil 4. Çarpma kuvveti ve temas zamanının şeftali sertliğine bağlı değişimi**

*Caterina* ve *Suidring* çeşit verileri için ayrı ayrı ve iki çeşit verilerinin tümü için hasarsız çarpma parametreleri ( $I$ ,  $F_{max}/I^{6/5}$ ,  $F_{max}$ ,  $D_{max}$ ,  $F_{max}/D_{max}$  ve  $F_{max}/D_{max}^{3/2}$ ) ile hasarlı ölçüm referans parametreleri (MT, S ve ME) arasındaki korelasyon incelenerek bunlara ilişkin istatistiksel değerlendirmeler Çizelge 2'de verilmiştir. Tüm verilere ait ilişkiler incelendiğinde en yüksek korelasyon katsayısı ( $r$ ); impuls ( $I$ ) ve elastisite modülü (ME) arasında,  $r=0.780$  olarak bulunmuştur. Bununla birlikte, elastisite modülüyle  $F_{max}$  ve  $F_{max}/D_{max}$  arasındaki korelasyonlar sırasıyla 0.753 ve 0.752 değerleriyle oldukça yüksek olarak ortaya çıkmaktadır. En düşük korelasyon ise Magness-Taylor kuvveti ile hasarsız ölçüm parametreleri arasında bulunmuştur. Shmulevich ve ark. (2003) tarafından *Golden Delicious*, *Starking Delicious* ve *Granny Smith* elma çeşitleri için yapılan araştırma sonuçlarında, hasarsız çarpma parametreleri ile elastisite modülü arasında korelasyonlar yüksek bulunmuştur. Yurtlu (2012) araştırmasında, *Royal Glory* ve *Caterina* şeftali çeşitleri ile yapılan yanal çarpma test sonuçları ile belirlenen maksimum ivme değerleri ile hasarlı ölçüm parametreleri arasında en yüksek uyumun elastisite modülü ile olduğunu belirtmiştir.

*Caterina* ve *Suidring* çeşitlerine ait veriler için yapılan istatistiksel değerlendirmelerde benzer sonuçlar ortaya çıkmış ve en yüksek korelasyon tüm çarpma parametreleri için elastisite modülü ile gerçekleşmiştir (Çizelge 2). Hasarlı ölçüm parametreleri arasındaki korelasyonlar incelendiğinde, MT ile ME arasındaki korelasyon düşük bulunmuştur. S ile ME arasındaki korelasyon, MT-ME ilişkisinden daha yüksek olmuştur (Çizelge 2). Tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde şeftali sertliği ile elastisite modülü arasındaki korelasyon katsayısı  $r=0.988$  olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde *Caterina* ve *Suidring* çeşitleri için bu değer sırasıyla 0.961 ve 0.988 olarak bulunmuştur. Buna ilişkin benzer sonuçlar Delwiche ve ark. (1996) tarafından da bulunmuştur. Ayrıca, Shmulevich ve ark. (2003), elmaların sertliğine göre sınıflandırılmalarında elastisite modülünün uygun bir fiziksel özellik olduğunu belirtmişlerdir.

Sertlik sınıflandırmada kullanılacak olan hasarsız çarpma parametrelerinin doğru seçimi ve bunların en uygun hasarlı referans parametreleri ile ilişkilendirilmeleri özellikle otomatik sınıflandırma sistemlerinde kullanılacak yazılımların geliştirilmesi ve

işlemlerin kontrolü açısından önemlidir. Diezma-Iglesias ve ark. (2006), şeftali meyvesi kullanarak yapmış oldukları ölçümlerde, maksimum çarpma ivmesi ve Magness-Taylor kuvveti arasındaki korelasyonun yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Şeftali çeşidine bağlı olarak hasarlı referans değerlerinin değişimi, materyalin visko-elastik yapısından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, test örneklerinin olgunluk dağılımındaki farklılığı, yani heterojen yapısı ve her örneğin anizotropik olması da farklı fiziksel özelliklerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Düşük kütleli yanal impaktörün şeftali yüzeyine çarptırılması ve şeftali meyvesine sanki-statik bir yük uygulayarak sertlik ölçümlerinin yapılması temelde büyük farklılıklar içermektedir. Bu temel farklılık, iki ölçüm düzeneğinin farklı yükleme koşullarında meyve dokusu karakteristiklerini ölçüyor olmasıdır. Örneğin, elastisite modülü gerilme ve gerinim arasındaki orandan gidilerek hesaplanmaktadır. Meyve sertliğinde de kuvvet ve deformasyon oranı kullanılmaktadır. Magness-Taylor kuvveti belirlenirken ise sadece meyve dokusunun batıcı uca karşı göstermiş olduğu direnç ölçülmektedir. Bu nedenle, temel farklılıklar dikkate alınarak farklı meyveler ve çeşitler için uygun parametrelerin seçimi yapılmalıdır. Bu çalışmada, hasarsız çarpma parametreleri ile korelasyonu en yüksek olan mekanik özelliğin elastisite modülü olduğu belirlenmiştir. Şeftalilerin elektronik sınıflandırma makinaları ile sertlik sınıflandırmaları yapılırken Magness-Taylor kuvveti, sertlik veya suda çözünür kuru madde miktarı değeri dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada sertlik ile elastisite modülü arasındaki ilişki yüksek bulunduğundan sertlik parametresi olarak elastisite modülü seçilmiştir. Elastisite modülü ile sertlik arasındaki ilişkiyi veren eşitlik ve belirtme katsayısı ( $r^2$ ) aşağıda verilmiştir.

$$ME = 0.099 + 0.139S (r^2=0.976).....(9)$$

Eşitlik 9 dikkate alınarak sınıflandırma yapıldığında sert şeftali sınıfı  $ME > 1.35 \text{ N/mm}^2$ , orta sert şeftali sınıfı  $0.79 \text{ N/mm}^2 < ME < 1.35 \text{ N/mm}^2$  ve yumuşak şeftali sınıfı  $ME < 0.79 \text{ N/mm}^2$  olmaktadır.

Pearson Korelasyon Matrisi yöntemine göre yapılan değerlendirmelerde, hasarsız çarpma ölçüm parametrelerinin ( $X_1$ ,  $X_2$ , ... $X_6$ ) elastisite modülü ile ilişkisi 0.01 seviyesinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Bu nedenle, şeftalilerin sertlik

sınıflandırmalarında kullanılacak tahmin modeli geliştirilmesi için yapılan çoklu doğrusal regresyon analize tüm parametreler dahil edilmiştir. Tüm veriler kullanılarak, *Caterina* ve *Suidring* çeşidine ait veriler için Enter metodu kullanılarak geliştirilen matematiksel model eşitlikleri ve belirtme katsayıları aşağıda verilmiştir.

*Caterina* ve *Suidring* verileri birlikte,  $r^2 = 0.693$  (örnek sayısı- $n=360$ ;  $P < 0.01$ ; tahmini standart hata- $SEE=0.261$ ):

$$ME = -3.736 + 0.427X_1 - 7.474X_2 + 3.046X_3 + 1.385X_4 - 0.786X_5 + 0.019X_6 \dots(10)$$

*Caterina*,  $r^2 = 0.670$  ( $n=198$ ;  $P < 0.01$ ;  $SEE=0.093$ ):

$$ME = -1.318 + 0.056X_1 - 1.518X_2 + 1.812X_3 + 0.467X_4 - 0.811X_5 + 0.034X_6 \dots(11)$$

*Suidring*,  $r^2 = 0.727$  ( $n=162$ ;  $P < 0.01$ ;  $SEE=0.295$ ):

$$ME = -11.158 + 1.286X_1 - 3.846X_2 + 4.955X_3 + 3.847X_4 - 1.758X_5 + 0.037X_6 \dots(12)$$

Tüm çarpma parametreleri dikkate alındığında, model eşitlikler (Eşitlik 10-12) şeftalilerin elastisite modülünü ortalama  $r^2=0.70$  ile tahmin edebilmektedir. Diğer olasılıkları görmek için stepwise regresyon analiz yöntemine göre elastisite modülü tahmin model eşitlikleri geliştirilmiştir. Tüm veriler kullanılarak ve *Caterina* ve *Suidring* çeşidine ait veriler için geliştirilen matematiksel model eşitlikleri ve belirtme katsayıları Eşitlik 13-15'de verilmiştir.

*Caterina* ve *Suidring* verileri birlikte,  $r^2 = 0.680$  ( $n=360$ ;  $P < 0.01$ ;  $SEE=0.265$ ):

$$ME = -7.728 + 1.082X_1 + 0.590X_3 + 3.409X_4 \dots(13)$$

*Caterina*,  $r^2=0.650$  ( $n=198$ ;  $P < 0.01$ ;  $SEE=0.095$ ):

$$ME = -2.720 + 0.188X_1 + 0.557X_3 + 1.718X_4 \dots(14)$$

*Suidring*,  $r^2 = 0.704$  ( $n=162$ ;  $P < 0.01$ ;  $SEE=0.304$ ):

$$ME = -19.210 + 2.487X_1 + 7.459X_2 + 10.023X_4 \dots(15)$$

Elastisite modülü tahmin modellerinin daha az sayıda çarpma parametresi içermesi eşitliği karmaşıklıktan kurtarmaktadır. Her iki çeşide ait veriler kullanılarak oluşturulan elastisite modülü tahmin model eşitliklerine bakıldığında, tüm çarpma parametrelerinin kullanılması yerine ( $r^2=0.693$ ), üç çarpma parametresinin ( $X_1$ ,  $X_3$  ve  $X_4$ ) eşitlikte kullanılması durumunda da güvenilir sonuçlar elde edilmiştir ( $r^2=0.680$ ).

**Çizelge 2. Hasarsız ve hasarlı ölçüm parametreleri arasındaki korelasyon değerleri**

Tüm Veriler	I	$F_{max}/I^{6/5}$	$F_{max}$	$D_{max}$	$F_{max}/D_{max}$	$F_{max}/D_{max}^{3/2}$	MT	S	ME
I	1	0.916**	0.966**	-0.914**	0.950**	0.887**	0.686**	0.749**	<b>0.780**</b>
$F_{max}/I^{6/5}$		1	0.984**	-0.957**	0.961**	0.889**	0.583**	0.651**	<b>0.688**</b>
$F_{max}$			1	-0.945**	0.988**	0.932**	0.648**	0.717**	<b>0.753**</b>
$D_{max}$				1	-0.917**	-0.821**	-0.523**	-0.584**	<b>-0.623**</b>
$F_{max}/D_{max}$					1	0.974**	0.644**	0.716**	<b>0.752**</b>
$F_{max}/D_{max}^{3/2}$						1	0.635**	0.708**	<b>0.742**</b>
MT							1	0.980**	0.940**
S								1	0.988**
ME									1
Caterina	I	$F_{max}/I^{6/5}$	$F_{max}$	$D_{max}$	$F_{max}/D_{max}$	$F_{max}/D_{max}^{3/2}$	MT	S	ME
I	1	0.851**	0.936**	-0.849**	0.928**	0.887**	0.587**	0.699**	<b>0.721**</b>
$F_{max}/I^{6/5}$		1	0.978**	-0.953**	0.965**	0.919**	0.522**	0.610**	<b>0.628**</b>
$F_{max}$			1	-0.937**	0.992**	0.958**	0.579**	0.683**	<b>0.703**</b>
$D_{max}$				1	-0.934**	-0.879**	-0.422**	-0.500**	<b>-0.524**</b>
$F_{max}/D_{max}$					1	0.985**	0.567**	0.672**	<b>0.692**</b>
$F_{max}/D_{max}^{3/2}$						1	0.575**	0.682**	<b>0.701**</b>
MT							1	0.932**	0.801**
S								1	0.961**
ME									1
Suidring	I	$F_{max}/I^{6/5}$	$F_{max}$	$D_{max}$	$F_{max}/D_{max}$	$F_{max}/D_{max}^{3/2}$	MT	S	ME
I	1	0.907**	0.962**	-0.924**	0.946**	0.899**	0.639**	0.701**	<b>0.722**</b>
$F_{max}/I^{6/5}$		1	0.984**	-0.956**	0.970**	0.925**	0.500**	0.574**	<b>0.610**</b>
$F_{max}$			1	-0.957**	0.991**	0.954**	0.569**	0.643**	<b>0.675**</b>
$D_{max}$				1	-0.947**	-0.887**	-0.434**	-0.499**	<b>-0.530**</b>
$F_{max}/D_{max}$					1	0.983**	0.538**	0.614**	<b>0.648**</b>
$F_{max}/D_{max}^{3/2}$						1	0.519**	0.598**	<b>0.634**</b>
MT							1	0.980**	0.938**
S								1	0.988**
ME									1

\*\* Korelasyon 0.01 seviyesinde önemli

## SONUÇ

Sonuç olarak düşük kütleli yanal bir impaktörün meyve yüzeyine çarptırılması ile ölçülen çarpma parametreleri kullanılarak şeftalilerin sertliğine göre sınıflandırılabilceği belirlenmiştir. Ancak, daha güvenilir sonuçlara ulaşabilmek için farklı şeftali çeşitleriyle ve daha geniş sertlik gruplarında benzer çalışmaların ayrıntılı olarak yapılması gerekmektedir. Ayrıca, hangi sertlik parametresinin çarpma parametreleri ile daha yüksek ilişkiye sahip olduğu da ayrı araştırmalarda incelenmelidir.

## LİTERATÜR LİSTESİ

ASAE Standards, 2001. Compression Test of Food Materials of Convex Shape. ASAE S368.4 DEC00, American Society of Agricultural Engineering, pp:580-587.  
Chen, P., Ruiz-Altisent, M., 1993. Effect of impacting mass on firmness sensing of fruits. ASAE Paper No. 93-6542.

## TEŞEKKÜR

Çalışmanın yürütüldüğü Madrid Politeknik Üniversitesi Fiziksel Özellikler Laboratuvarı (Technical University of Madrid LPF-TAGRALIA) yöneticilerine şükranlarımızı sunarız. Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında, Kubilay K. VURSAVUŞ ve Y. Benal YURTLU, Türkiye Cumhuriyeti Yükseköğretim Kurulu tarafından desteklenmişlerdir.

Chen, P., Ruiz-Altisent, M., 1996. A low-mass impact sensor for high speed firmness sensing of fruits. AgEng96, Madrid, Paper no. 96F-003.  
Chen, P., Tang, S., Chen, S., 1985. Instrument for testing the response of fruits to impact. ASAE Paper No. 75-3537.



- Delwiche, M., Sarig, Y., 1991. A probe impact sensor for fruit firmness measurement. *Transactions of the ASAE*, 34(1):187-192.
- Delwiche, M.J., Arevalo, H., Mehlschau, J., 1996. Second generation impact force response fruit firmness sorter. *Transactions of the ASAE*, 39(3):1025-1033.
- Delwiche, M.J., McDonald, T., Bowers, S.V., 1987. Determination of peach firmness by analysis of impact forces. *Transactions of the ASAE*, 30(1): 249-254.
- Delwiche, M.J., Tang, S., Mehlschau, J.J., 1989. An impact force response fruit firmness sorter. *Transactions of the ASAE*, 32(1):321-326.
- Diezma-Iglesias, B., Valero, C., Garcia-Ramos, F.J., Ruiz-Altisent, M., 2006. Monitoring of firmness evolution of peaches during storage by combining acoustic and impact methods. *Journal of Food Engineering*, 77(4):926-935.
- Fridley, R.B., Bradley, R.A., Rumsey, J.W., Adrian, P.A., 1968. Some aspects of elastic behaviour in fruits. *Transactions of the ASAE*, 11: 46-49.
- Garcia-Ramos, C., Ruiz-Altisent, M., 1988. Impact parameters related to bruising in selected fruits. *ASAE paper No. 88-6027*.
- Garcia-Ramos, F.J., Ortiz-Canavate, J., Ruiz-Altisent, M., Diez, J., Flores, L., Homer, I., Chavez, J.M., 2003. Development and implementation of an on-line impact sensor for firmness sensing of fruits. *Journal of Food Engineering*, 58(1):53-57.
- Gutierrez, A., Burgos, J.A., Molto, E., 2007. Pre-commercial Sorting Line for Peaches Firmness Assessment. *Journal of Food Engineering*, 81(4):721-727.
- Kavdır, İ., Büyükcan, M.B., 2007. NIR spektroskopisinin meyvelerin hasarsız kalite değerlendirilmesinde kullanılması. *Tarımsal Mekanizasyon 24. Ulusal Kongresi*, 5-6 Eylül, 248-256, Kahramanmaraş.
- Lien, C.C., Ay, C., Ting, C.H., 2009. Non-destructive impact test for assessment of tomato maturity. *Journal of Food Engineering*, 91(3):402-407.
- Nahir, D., Schmilovitch, Z., Roneb, B., 1986. Tomato grading by impact force response. *ASAE Paper No. 86-3028*.
- Ragni, L., Berardinelli, A., Guarnieri, A., 2010. Impact device for measuring the flesh firmness of kiwifruits. *Journal of Food Engineering*, 96(4):591-597.
- Shmulevich, I., Galili, N., Howarth, M.S., 2003. Nondestructive dynamic testing of apples for firmness evaluation. *Postharvest Biology and Technology*, 29(3):287-299.
- Slaughter, D.C., Crisosto, C.H., Hasey, J.K., Thompson, J.F., 2006. Comparison of instrumental and manual inspection of clingstone peaches. *Applied Engineering in Agriculture*, 22(6):1-7.
- Timoshenko, S.P., Goodier, J.N., 1970. *Theory of Elasticity*. New York: McGraw-Hill.
- Valero, C., Crisosto, C.H., Slaughter, D., 2007. Relationship between nondestructive firmness measurements and commercially important ripening fruit stages for peaches, nectarines and plums. *Postharvest Biology and Technology*, 44(3):248-253.
- Yurtlu, Y. B., 2012. Comparison of nondestructive impact and acoustic techniques for measuring firmness in peaches. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 10 (2):180-185.