

Domates Sertliğinin Hasarsız Çarpma Tekniği Kullanılarak Belirlenmesi

Determining the Tomato Firmness Using Nondestructive Impact Technique

Gökhan Ay¹ , Kubilay Kazım Vursavuş^{1,*} 

¹ Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): K.K. Vursavuş, e-mail (e-posta): kuvursa@cu.edu.tr

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 07.04.2022
Düzeltilme tarihi : 23.05.2022
Kabul tarihi : 03.06.2022

Anahtar Kelimeler:

Domates
Kabuk Yırılma Kuvveti
Kabuk Sertliği
Hasarsız Çarpma Tekniği
Çoklu Doğrusal Regresyon

Atf için:

Ay, G. & Vursavuş, K. K. (2022). "Domates Sertliğinin Hasarsız Çarpma Tekniği Kullanılarak Belirlenmesi", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 18(2): 84-104.

ÖZET

Bu çalışmada, altı farklı olgunluk safhasındaki Bandita F1 sera domates örneklerinde hasarsız çarpma testi uygulanmış ve test sonrasında ölçülen çarpma parametreleri, referans ölçüm olarak kabul edilen ve domateslerin sertlik tanımlamasında kullanılan kabuk yırtılma kuvveti (KYK) ve kabuk sertliği (KS) ile ilişkilendirilerek sertlik tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerin geliştirilmesi amacıyla dinamik çarpma test düzeneği kullanılmıştır. Kuvvet algılayıcısına bağlı alüminyum çarpma plakası üzerine domates meyveleri 15 mm mesafeden çarptırılmıştır. Çarpma işlemi sonrası sertlik tahmin modeli geliştirmek amacıyla çarpma kuvveti-temas zamanı grafikleri kullanılarak hasarsız çarpma parametreleri elde edilmiştir. Bu çarpma parametreleri referans ölçüm olarak kabul edilen KYK ve KS ile ilişkilendirilmiştir. Çarpma parametre sayısı stepwise regresyon analiz yöntemiyle azaltılmıştır. Elde edilen hasarsız çarpma parametreleri çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılarak domates sertlik tahminleri yapılmıştır. Yapılan İstatistiksel analiz sonuçlarına göre, geliştirilen sertlik tahmin modelleri içerisinde çarpma parametreleri ile domates KS arasındaki ilişki yüksek çıkmıştır. Kalibrasyon ve doğrulama veri gruplarında domates KS tahmini belirtme katsayıları (R^2) sırasıyla 0.86 ve 0.88 olarak hesaplanmıştır. Belirlenmiş olan domates kabuk sertlik grupları dikkate alınarak örneklerin sertlik tahmininde kullanılan Model A, Model B ve Model C için kalibrasyon ve doğrulama veri gruplarına ait sınıflandırma başarıları da hesaplanmıştır. Kalibrasyon veri grupları için Model A ve Model C'de gerçek doğruluk 77 ve başarı yüzdesi %83.70 olarak; Model B'de gerçek doğruluk 74 ve sınıflandırma başarı yüzdesi %80.43 olarak hesaplanmıştır. Doğrulama veri grubunda ise Model A ve Model B'de gerçek doğruluk ve sınıflandırma başarı yüzdesi için aynı değerler elde edilmiştir, bu değerler Model C'nin değerlerinden daha yüksek bulunmuştur.

Article Info

Received date : 07.04.2022
Revised date : 23.05.2022
Accepted date : 03.06.2022

Keywords:

Tomato
Skin Rupture Force
Skin Firmness
Nondestructive Impact Technique
Multiple Linear Regression

How to Cite:

Ay, G. & Vursavuş, K. K. (2022). "Determining the Tomato Firmness Using Nondestructive Impact Technique", *Journal of Agricultural Machinery Science*, 18(2): 84-104.

ABSTRACT

In this study, nondestructive impact test was applied on Bandita F1 greenhouse tomato samples at six different maturity stages and the firmness models were developed by associating the impact parameters obtained after the impact test with the skin rupture force (KYK) and skin firmness (KS), which is accepted as the reference measurement and used in the definition of firmness of tomatoes. A dynamic impact test setup was used to develop firmness estimation models. Tomato fruits were dropped from a distance of 15 mm on the aluminum impact plate connected above the force sensor. In order to develop a post-impact firmness estimation model, nondestructive impact parameters were extracted using impact force-contact time graphs. Obtained impact parameters were associated with KYK and KS, which were accepted as reference measurements. The number of impact parameters was reduced by stepwise regression analysis method. Tomato firmness estimations were made using the measured nondestructive impact parameters with the multiple linear regression analysis method. According to the results of the statistical analysis, the relationship between the impact parameters and tomato skin firmness was found to be strong for all the developed firmness estimation models. In the calibration and validation datasets of KS, coefficients of determination (R^2) were calculated as 0.86 and 0.88, respectively. Taking into account the determined tomato skin firmness groups, the classification success of the calibration and validation datasets for Model A, Model B, and Model C used in the firmness estimation of the samples were also calculated. For the calibration datasets, the values of actual accuracy and success rate were found to be 77 and 83.70% in Model A and Model C; 74 and 80.43% in Model B, respectively. In the validation datasets, the values of true accuracy and classification success percentage in Model A and Model B were found to be same and higher than those of Model C.

1. GİRİŞ

Domates meyvesi dâhil olmak üzere farklı meyvelerin sertliğini güvenilir bir şekilde tahmin etmek için sıkıştırma ve penetrasyon testleri gibi çeşitli geleneksel ve standart yöntemler getirilmiştir. Bu testler, meyve dokusunu ve dolayısıyla sertliği tahmin etmek için kullanılan güvenilir ve geleneksel bir yöntemdir (ASAE, 2001; Abbott, 2004). Testten bir kuvvet-deformasyon profili elde edilir ve buna göre numunenin elastik sınır, biyolojik-akma ve kabuk yırtılma kuvveti ve meyve eti sertliği profilin geometrik bilgilerine göre tahmin edilir. (Bourne, 2002; Fidelibus ve ark., 2002). Klasik penetrometre ile ilgili çeşitli cihazlar geliştirilmiştir (Abbott, 1999; Peleg, 1999; Bourne, 2002). Önerilen bu yöntemlerin doğru ve tekrarlanabilir sonuçlarına rağmen, hepsi hasarlı ve zaman alıcıdır ve yalnızca ölçüm noktasında mekanik özellikleri temsil eder bu nedenle, meyve sınıflandırması için gerçek zamanlı ölçüm teknikleri olarak uygulanamaz.

Bir meyvenin olgunluğu, mekanik, kimyasal ve reolojik özelliklerini karakterize eden niteliksel bir ölçüdür ve tanımlanması zordur. Alternatif olarak, birçok meyvenin olgunluğu, meyvenin sertliği kullanılarak dolaylı olarak ölçülebilir, bu endeks (sertlik) olgunlukla ters orantılıdır (Mohsenin, 1986; Bashir ve Abu Goukh, 2003; García-Ramos ve ark., 2005). Bu nedenle sertlik, meyve sınıflandırmasında olgunluğun bir göstergesi olarak kullanılabilir (Jarén ve Garczía-Pardo, 2002; De Ketelaere ve ark, 2006; Cavalini ve ark, 2006; Lien ve ark., 2009).

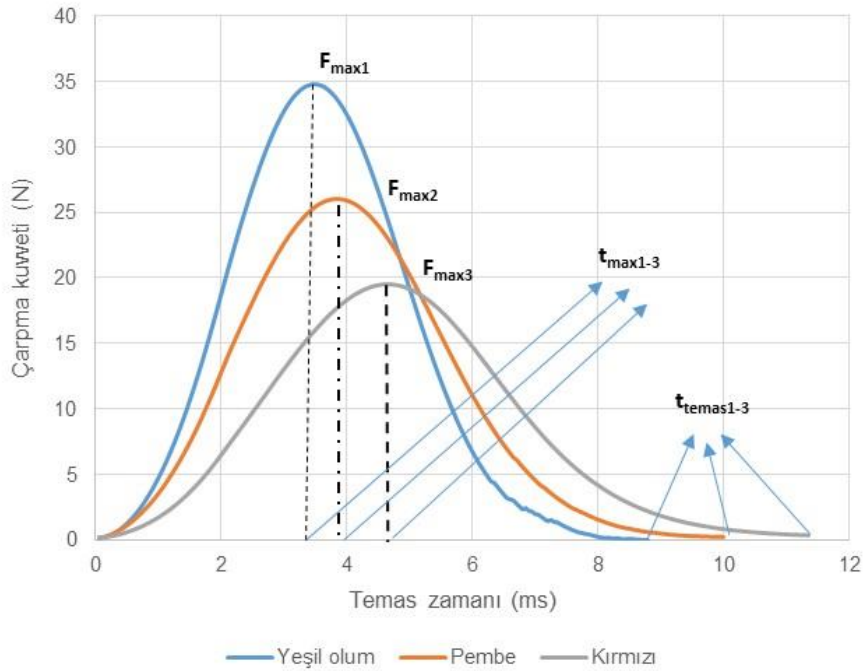
Farklı araştırmacılar tarafından yürütülmüş olan önceki çalışma sonuçları hasarsız çarpma tekniklerinin meyvelerin sertlik algılamalarında kullanılabileceğini göstermiştir (Garcia-Ramos ve ark., 2005; Chen ve Ruiz-Altisent, 1996). Hasarsız çarpma tekniği kullanılarak meyve sertliği algılamalarında iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan ilki kuvvet algılayıcısı üzerine meyvenin düşürülmesi ve ikincisi de düşük kütleli bir küresel yanal impaktörün ya da küresel uçlu bir çubuğun meyveye çarptırılması ve çarpma ivmesinin ölçülmesidir. Bu teknikler elastisite teorisi kullanılarak açıklanabilmektedir (Timoshenko ve Goodier, 1970). Bu teorik yaklaşım Hertz teorisinin genişletilmiş hali olup Newton'un ikinci yasasının da kullanılmasıyla çözümlenebilmektedir (Chen ve Ruiz-Altisent, 1996).

Sabit bir yüzey üzerine (kuvvet algılayıcı 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. Bu nedenle, bu iki parametredeki büyük çaplı bir değişim sertlik ölçümlerindeki hassasiyeti belirli oranda etkileyebilecektir.

Wang ve ark., (2009) üç sertlik, iki düşme yüksekliği ve üç kütle grubunda yapmış oldukları hasarsız çarpma testlerinde şeftali meyvelerinin sertliğini tahmin etmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre 0.5-1.5 cm düşme yüksekliği ve 95.2-145.8 g kütle sınırlarında şeftali kütlelerinin ve düşme yüksekliğinin çarpma kuvveti üzerinde etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu şeftali olgunluğunun ise, çarpma kuvveti (F) üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak meyve sertliğinin hasarsız çarpma teknikleri kullanılarak ölçülmesinde F parametresinin meyve elastisite modülü parametresindeki değişime oldukça hassas olduğu görülmektedir.

Sertlik parametre indeksi olarak kullanılabilen hasarsız çarpma parametrelerinin meyve sertliği ile ilişkilendirilerek sertlik tahmin modellerinin geliştirilmesine yönelik yapılan çalışmalarda çoklu doğrusal regresyon, ayırma analizi, yapay sinir ağları ve destek vektör makinaları gibi istatistiksel yöntemler kullanılmış ve tahmin modellerinin sınıflandırma başarısı ölçülmeye çalışılmıştır.

Çalışmalarda meyvelerin mekanik özellikleri hasarlı referans ölçüm parametreleri olarak dikkate alınmış ve hasarsız çarpma parametreleriyle olan ilişkileri araştırılmıştır. Burada önemli olan meyve ya da sebzelerin hangi mekanik özelliklerinin referans ölçüm parametresi olarak kullanılabileceğine karar vermektir. Örneğin Şekil 1’de 15 mm’lik düşme yüksekliğinden kuvvet algılayıcı üzerine düşürülen domates meyvelerinin yeşil olum, pembe ve kırmızı olgunluk safhasında çarpma kuvveti ($F_{\max1-3}$), maksimum kuvvet zamanı ($t_{\max1-3}$) ve temas zamanındaki ($t_{\text{temas1-3}}$) değişim görülmektedir. Yine Şekil 1’den görüldüğü gibi domates meyvesi yeşil olum safhasından kırmızı olum safhasına kadar olgunlaştıkça çarpma kuvveti azalmakta, maksimum kuvvet zamanı ve temas zamanı artmaktadır. Hasarsız çarpma parametreleri olarak kabul edilen ve sertlik indeksi olarak da adlandırılan bu parametrelerin domatesin olgunluk safhasına bağlı mekanik özelliklerindeki değişimle olan ilişkileri sertlik tahmin modeli için önemlidir. Bu nedenle kuvvet algılayıcılarla ölçülen sertlik indeksinin (hasarsız çarpma parametreleri), domates referans ölçüm parametrelerinden (hasarlı mekanik özellikler) hangisini temsil edeceğine karar vermek gerekmektedir. Domateslerin mekanik özelliklerinden olan kabuk yırtılma kuvveti, kabuk sertliği ve elastisite modülü gibi parametreler birçok araştırmacı tarafından sertlik indeksi olarak kullanılmış olmakla birlikte önemli olan hasarsız çarpma parametreleri ile bu sertlik indeksleri arasından hangisinin yüksek oranda ilişki içerdiğini belirlemektir.



Şekil 1. Domates olgunluk safhasına bağlı maksimum çarpma kuvveti, maksimum kuvvet zamanı ve temas zamanındaki değişim

Kuvvet algılayıcı üzerine düşürme test uygulamalarına ilişkin çoğu çalışmada, sertlik tahmini ya da sınıflandırma modelleri geliştirmek için çarpma kuvveti-temas zamanı profilinden tanımlanan bazı çarpma parametreleri kullanılmıştır (Şekil 1). İlk çarpma indeksi, yaban mersini sertliğini tahmin etmek için maksimum çarpma kuvvetinin (F), maksimum çarpma kuvvetindeki zamanının karesine (t^2) oranı şeklinde (F/t^2) Rohrbach ve ark. (1982) tarafından kullanılmıştır. Ayrıca, Delwiche ve ark. (1987) F/t ve F/t^2 çarpma indekslerinin şeftali meyvelerinin kabuk yırtılma kuvveti ve elastisite modülüyle yüksek oranda ilişkili olduğunu belirlemiştir. Günümüze kadar hasarsız çarpma tekniği kullanarak meyve

sertlik tahminine yönelik birçok araştırmacı Elastisite ve Hertz teorilerini kullanarak çalışmalar yürütmüş ve özellikle meyvelerin sınıflandırılmasında kullanılacak sertlik algılayıcı sistemlerin tasarımına yönelik olarak Elastisite ve Hertz teorik eşitliklerinden yararlanmışlardır.

Hasarsız çarpma tekniği, orijinal malzemeye zarar vermeden kullanılan bir test ve analiz tekniğidir. Çarpma sırasında ölçülen gerilme değeri, meyve dokusunun sahip olduğu gerilme değerini aştığı anda hasar meydana gelmektedir. Bu nedenle çarpma gerilme değeri meyve doku gerilme değerinin altında olmalıdır. Bu koşulda, çarpma gerilmesi meyvede plastik deformasyona neden olmaz, çünkü çarpma kuvvetlerinin maksimum gerilme değerleri, sıkıştırma testinde meyvenin elastik sınır bölgesindeki gerilme değerlerinin altında kalmaktadır. Hasarsız çarpma tekniğinde materyalin mekanik hasara uğramaksızın ölçümlerin yapılması gerekmektedir. Dolayısıyla materyalin ve çarpma yüzeyinin mekanik özelliklerinin yanında düşme yüksekliği de kritik öneme sahip bir tasarım parametresi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, materyallerin zedelenme eşik yüksekliklerinin hesaplanması ve buna uygun düşme yükseklikleri kullanılarak sertlik algılamalarının yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada hasarsız çarpma tekniği kullanılarak Bandita F1 sera domateslerinin sertlik tahmininin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, altı farklı olgunluk safhasındaki domates örneklerinde hasarsız çarpma testi uygulanmış ve çarpma testi sonrasında elde edilen çarpma parametreleri, referans ölçüm olarak kabul edilen ve domateslerin sertlik tanımlamasında kullanılan kabuk yırtılma kuvveti (KYK) ve kabuk sertliği (KS) ile ilişkilendirilerek sertlik modelleri geliştirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, kullanılan *Bandita* F1 domatesleri Adana ilindeki bir seradan temin edilmiştir. Domateslerde farklı sertlik grupları oluşturmak amacıyla yeşil olum, renk kırılması, renk dönüşümü, pembe olum, açık kırmızı ve kırmızı olum gibi altı farklı olgunluk safhasında hasat işlemi gerçekleştirilmiştir. Denemelerde kullanılan domateslerin ortalama kütle, ekvatorial çap, kalınlık ve yüksekliği sırasıyla 107.16 ± 15.34 g, 62.95 ± 5.18 , 57.63 ± 2.91 mm ve 46.82 ± 5.01 mm olarak ölçülmüştür.

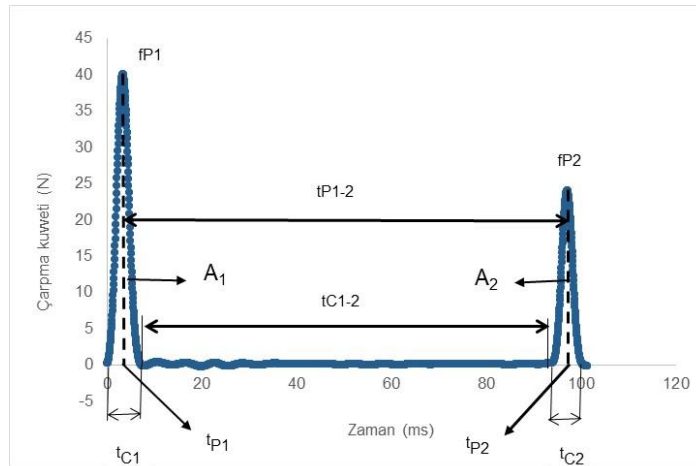
Domateslerin kabuk rengi, CR-400 model (Konica Minolta Chroma Meter, Japan) renk ölçüm cihazı kullanılarak L^* , a^* , b^* üç nokta ölçüm yöntemiyle renk uzayı koordinatları ölçülmüştür. Ölçüm öncesi, cihaz standart bir beyaz seramik plaka ile kalibre edilmiştir ($Y=88.20$, $x= 0.3174$, $y= 0.3222$). Renk ölçümleri (L^* , a^* , b^*) domates örneklerinin ekvatorial bölgesinde olmak üzere dört noktada gerçekleştirilmiştir. Bu dört ölçümün ortalaması olgunluk değerlendirmelerinde kullanılmak üzere kaydedilmiştir. Minolta renk ölçüm cihazı ile yapılan ölçümlerdeki a^* değeri domateslerin kırmızılık derecesini, b^* değeri de mavilik derecesini belirtmektedir. Bu çalışmada, domateslerin kırmızılık değerleri ve olgunluk sınıflandırmaları Batu (2004) tarafından önerilen a^*/b^* değerleri kullanılarak yapılmıştır. Domates olgunluk safhalarının belirlenmesinde kullanılacak olan a^*/b^* renk değer aralıkları Çizelge 1'de verilmiştir. Domateslerin renk ölçüm noktaları hasarsız ölçüm ve sertlik ölçümleri için işaretlenmiş ve bu noktalardan hasarsız çarpma parametre ölçümleri de yapılmıştır. Denemeler süresince altı olgunluk safhası için 134 adet domates ve her domateste 4 renk ölçümü olmak üzere toplam 536 renk ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Domateslerin olgunluk safhalarının belirlenmesinde kullanılan a^*/b^* değerleri (Batu, 2004)

Olgunluk safhası	a^*/b^*
Yeşil olum	$-0.59 < a^*/b^* \leq -0.47$
Renk kırılması	$-0.47 < a^*/b^* \leq -0.27$
Renk dönüşümü	$-0.27 < a^*/b^* \leq 0.08$
Pembe olum	$0.08 < a^*/b^* \leq 0.60$
Açık kırmızı olum	$0.60 < a^*/b^* \leq 0.95$
Kırmızı olum	$a^*/b^* > 0.95$

Domateslerin sertlik ölçümlerinde Lloyd Üniversal Test cihazı (Lloyd Instrument LRX Plus Series) kullanılmıştır. Mekanik özelliklerin belirlenmesi için yapılan ölçümlerde 4 mm çapında düz batıcı uç kullanılmış ve 10 mm min^{-1} 'lik yükleme hızında çalışılmıştır. Batıcı uca 10 mm yol aldırılmıştır. Oluşturulan kuvvet-deformasyon grafikleri üzerinde yapılan okumalarda kabuk yırtılma noktasındaki kuvvet (F_{KYN}) ile deformasyon (D_{KYN}) arasındaki oran (N mm^{-1}) domates sertliği (F_{KYN}/D_{KYN}) olarak ifade edilmiştir. Hasarlı ölçüm testi olarak da adlandırılan domates sertlik ölçümleri, 134 adet domates örneğinde hasarsız çarpma ölçümlerinin yapıldığı 2 noktada gerçekleştirilmiştir. Toplam 268 adet sertlik ölçümü yapılmış ve her domates örneği için ekvatorial bölgede ölçülen 2 değer ortalaması istatistiksel analizlerde kullanılmıştır.

Mekanik hasarsız çarpma tekniği ölçümlerinde Vursavuş ve ark. 2017 ve Tüdeş, 2019 tarafından da kullanılan ve genel çalışma ilkesi detaylı olarak açıklanan dinamik çarpma test cihazıyla hasarsız çarpma parametre ölçümleri yapılmıştır. Meyve vakum pompasıyla üretilmiş olan vakum etkisiyle tutulmuştur. Vakum etkisini yitirdiğinde meyve çarpma yüzeyine çarptırılmış ve böylece kuvvet çarpma yüzeyinin altına vidalanmış olan algılayıcı tarafından algılanan çarpma sinyalleri tek kanallı bir yükseltici (Model 4102C, DYTRAN) yardımıyla yükseltılarak sinyaller veri toplama kartına (NI USB-6009) iletilmiştir. İletilen bu sinyaller 14 bit hassasiyetli olan veri toplama kartının analog-dijital dönüştürücüsü yardımıyla sayısallaştırılmıştır. MATLAB kullanılarak geliştirilmiş olan yazılım aracılığıyla sinyallerin işlenmesi sonucu çarpma kuvveti – temas zaman grafikleri ve elde edilen çarpma parametreleri yazılım ara yüzünde görülebilmekte ve ileriki analizlerde kullanılmak üzere kaydedilebilmektedir. Yapılan çarptırma testleri sonucunda görüntülenen ikili çarpma kuvvet-zaman grafiği ve ölçülmüş olan hasarsız çarpma parametreleri Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. İki ardışık çarpma uygulaması sonrası oluşan çarpma kuvveti- zaman grafiği örneği

Çarpma plakası üzerinde iki çarptırma işlemi gerçekleştirilmiş ve farklı olgunluk safhalarına sahip domates örnekleri ile alüminyum çarpma plakası arasındaki mesafe Stropek ve Golacki (2007) ve Tüdeş, 2019 tarafından önerildiği gibi 15 mm olarak ayarlanmıştır. Dinamik çarpma test cihazının kontrolü yazılım üzerinden sağlanabilmektedir. Şekil 2'de görüldüğü gibi; meyvenin iki ana çarpma aldığı düşünülebilir (biri doğrudan düşme ve ikincisi ilk geri sıçrama nedeniyle oluşan düşme). Meyvenin kuvvet algılayıcısına düşmesi meyve dokusunda deformasyona neden olan bir kuvvet oluşturur. Kuvvet algılayıcı üzerine çarptırma açıkça, meyvenin toplam enerjisinin belirli bir kısmının iletildiği esnek olmayan bir şoku temsil etmektedir. İlk çarpmadan sonra, meyve geri sıçrama nedeniyle ikinci bir çarpmaya maruz kalmakta ve yeni bir enerji iletimi üretilmektedir. Bu enerji fraksiyonları, domates sertliğiyle doğrudan ilişkilidir.

Ardışık iki çarptırma işlemi sonrası oluşan kuvvet-zaman eğrisi altındaki alan impuls değişimini vermektedir. A_1 = Birinci çarpma impuls değeri ve A_2 = ikinci çarpma impuls değeri olarak gösterilen eğri altındaki alan hesabı aşağıda verilmiş olan eşitlik kullanılarak yapılmıştır.

$$A_{1,2} = \int_0^{t_c} F_{P1,2} \cdot dt = \int_0^{t_c} m dV = m(V_S + V_i) \quad (1)$$

Burada;

- $A_{1,2}$: Birinci ve ikinci çarpmanın impuls değerini (Ns),
 t_c : Birinci ve ikinci çarpmanın temas zamanını (s),
 $F_{P1,2}$: Birinci ve ikinci çarpmanın maksimum kuvvetini (N),
 V_i : İlk çarpma hızını ($m s^{-1}$),
 V_S : Son çarpma hızını ($m s^{-1}$),
ifade etmektedir.

2 ve 3 nolu eşitlikte yer alan V_i ve V_S hızları aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V_{i,1} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_d} \quad (2)$$

$$V_{s,1} = V_{i,2} = \frac{g \cdot t_{c1-2}}{2} \quad (3)$$

Burada;

- h_d : 15 mm'lik düşme yüksekliğini ifade etmektedir.
 t_{c1-2} : Birinci çarpma sonrası ikinci çarpmaya kadar geçen süreyi ifade etmekte olup çarpma sonrası sıçrama ve tekrar düşüş olmak üzere sıçrama ve düşme yüksekliği t_{c1-2} zamanının yarısı olarak alınmaktadır.

Şekil 2'de verilen ve hasarsız çarpma parametreleri olarak ifade edilen parametreler ve birimleri Çizelge 2'de verilmiştir. Ayrıca, hasarlı ölçüm parametreleri olarak domateslerin sertlik ifadesinde kullanılan parametreler de Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2'deki çarpma parametrelerine ek olarak aşağıda verilmiş olan çarpma parametreleri de geliştirilmiş olan domates sertlik tahmin modellerinde kullanılmıştır (Lien, ve Ting, 2014). Yüksekliği, kuvveti ve hızı ölçmek pek pratik değildir. Alternatif bir yaklaşım, kuvvet-zaman profilini analiz ederek çarpışmayı karakterize etmektir. Buna göre, domates meyvelerinin olgunluğunu karakterize etmek için aşağıdaki hasarsız çarpma parametreleri önerilmiştir:

$$C_{P,12} = \frac{f_{P1} - f_{P2}}{t_{P1-2}} \quad (4)$$

$$C_{C,12} = \frac{f_{P1} - f_{P2}}{t_{C1-2}} \quad (5)$$

$$R_{FP} = \frac{f_{P2}}{f_{P1}} \quad (6)$$

$$RT_C = \frac{t_{C2}}{t_{C1}} \quad (7)$$

$$\Delta F_P = f_{P1} - f_{P2} \quad (8)$$

Lien ve ark. (2009) ve Lien ve Ting (2013), domates ve guava meyvelerinin kütle etkisini de içeren aşağıdaki çarpma parametrelerini de sertlik tahmin modellenmesinde kullanmışlardır.

$$C_{PW,12} = \frac{C_{P,12}}{W_W} \quad (9)$$

$$C_{CW,12} = \frac{C_{C,12}}{W_W} \quad (10)$$

Çizelge 2. Hasarlı ve hasarsız ölçüm parametreleri

Ölçüm tipi	Parametre	Ölçü birimi
<i>Hasarsız ölçüm</i>	A ₁ = Birinci çarpmanın impuls değeri	Ns
	A ₂ = İkinci çarpmanın impuls değeri	Ns
	f _{p1} = Birinci çarpma maksimum kuvvet değeri	N
	f _{p2} = İkinci çarpma maksimum kuvvet değeri	N
	t _{p1} = Birinci çarpmanın maksimum zamanı	s
	t _{p2} = İkinci çarpmanın maksimum zamanı	s
	t _{c1} = Birinci çarpma temas zamanı	s
	t _{c2} = İkinci çarpma temas zamanı	s
	t _{c1-2} = İki çarpma arasındaki zaman	s
	W _w = Domates kütlesi	(g)
<i>Hasarlı ölçüm</i>	F _{KYK} = Domates kabuk yırtılma kuvveti (KYK)	N
	F _{KYK} /D _{KYK} = Domates kabuk sertliği (KS)	N mm ⁻¹

Domates kabuk yırtılma kuvveti (KYK) ve domates kabuk sertliklerinin (KS) ölçüldüğü noktalarda öncelikle dinamik çarpma test cihazını kullanarak kuvvet algılayıcı üzerine çarpma testleri yapılmıştır. İkili çarpma olarak gerçekleştirilen ölçümler sonrasında aynı bölgede domates örneklerinin KYK ve KS ölçümleri LLOYD materyal test cihazı kullanarak gerçekleştirilmiştir. 134 adet farklı olgunluk safhasındaki domates örnekleriyle yapılmış olan çarpma testleri sonucunda elde edilen hasarlı ve hasarsız ölçüm parametreleri çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemiyle değerlendirilerek hasarlı ölçüm parametreleri bağımlı değişken olarak, hasarsız ölçüm parametreleri de bağımsız değişken olarak dikkate alınmıştır. Hasarlı ölçüm referans (kabuk yırtılma kuvveti (KYK): F_{KYK} ve domates kabuk sertliği (KS): F_{KYK}/D_{KYK}) ve hasarsız çarpma parametreleri arasındaki ilişki, Pearson korelasyon matrisi testi ile belirlenmiştir. D_{KYK} , kabuk yırtılma noktasındaki deformasyonu ifade etmektedir.

Domates örneklerinin sertlik sınıflandırması için kullanılan farklı olgunluk seviyesindeki 134 adet veri kümeleme analizine tabi tutulmuş ve istatistiksel olarak domates kabuk sertliği sınıf aralıkları belirlenmiştir. Böylece geliştirilmiş olan sertlik tahmin modellerinin sınıflandırma tahmin başarısı da hesaplanmıştır.

Farklı olgunluk safhasındaki 134 adet domates için elde edilen ortalama sertlik değerleri öncelikle iki gruba ayrılmıştır. Sertlik verilerinin (KYK ve KS verilerinin) %70'i kalibrasyon amaçlı, %30'u da doğrulama amaçlı kullanılmıştır. Domates sertlik değerlerinin tahmininde hasarsız ana çarpma parametreleri (F_{P1} , F_{P2} , t_{C1} , t_{C2} , t_{P1} ve t_{P2}), tüm çarpma parametreleri (I_1 , I_2 , F_{P1} , F_{P2} , t_{C1} , t_{C2} , t_{P1} , t_{P2} , t_{P1-2} , t_{C1-2} , $C_{P1,2}$, $C_{C1,2}$, R_{FP} , ΔF_P , R_{TC} , $C_{PW,12}$, $C_{C,12}$) ve stepwise regresyon analiz yöntemiyle seçilmiş olan çarpma parametreleriyle çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılarak sertlik tahmin model eşitlikleri geliştirilmiştir. Ayrıca, geliştirilen tahmin model eşitliklerinin sertlik sınıflandırma başarıları da hesaplanmıştır. Literatürde önerilen ve sertlik indeksi olarak kullanılan $F_{p1,2}/t_{p1,2}$ ve $F_{p1,2}/t_{p1,2}^2$ çarpma parametreleri de test edilmiştir (Delwiche ve ark., 1987; Gutierrez ve ark., 2007). Fakat, yapılan istatistiksel analiz değerlendirmeleri sonucunda yukarıda belirtilmiş olan çarpma parametreleri kullanıldığında sonuçlarda daha fazla sertlik tahmin gelişimine ulaşamamıştır.

Kalibrasyon ve doğrulamanın hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE), ortalama mutlak hatası (MAE) ve ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) geliştirilen sertlik tahmin model eşitliklerinin performans değerlendirmelerinde kullanılmıştır. RMSE, MAE ve MAPE aşağıda verilmiş olan eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i^{act} - Y_i^{est})^2} \quad (11)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i^{act} - Y_i^{est}| \quad (12)$$

$$MAPE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i^{act} - Y_i^{est}|}{Y_i^{act}} \right) \cdot 100 \quad (13)$$

Burada;

MAE : Ortalama mutlak hatayı,

$RMSE$: Hata kareler ortalamasının karekökünü,

$MAPE$: Ortalama mutlak hata yüzdesini,

Y_i^{act} : i. ölçülen değeri,

Y_i^{est} : i. tahmin edilen değeri,

n : Toplam ölçüm sayısını,

ifade etmektedir.

İstatistiksel değerlendirmelerde Eşitlikler 11-13'de verilmiş olan performans parametrelerinden daha yüksek R^2 değeri ve daha düşük RMSE, MAE ve MAPE değerlerini veren model optimal model olarak kabul edilmektedir.

Çoklu doğrusal regresyon analizi yöntemi kullanılarak geliştirilmiş olan sertlik tahmin modellerinde aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$C = \beta_0 + \beta_1 C_1 + \beta_2 C_2 + \dots + \beta_n C_n \quad (14)$$

Burada;

C : Bağımlı değişkenleri ($KYK=F_{KYK}$, $KS=F_{KYK}/D_{KYK}$),

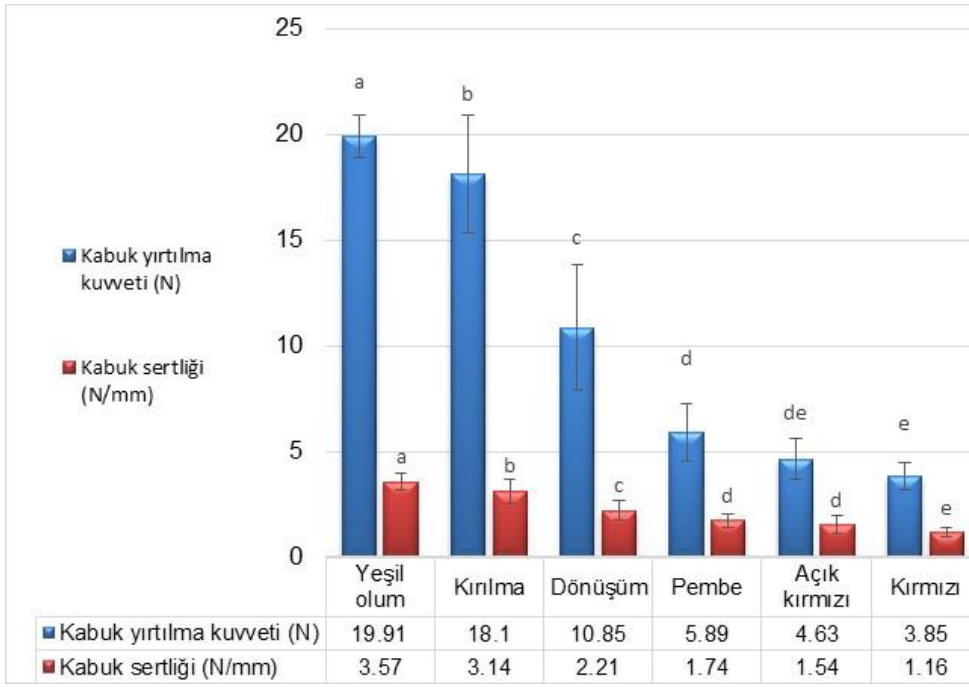
C_1, C_2, \dots, C_n : Çizelge 2'de açıklanmış olan bağımsız değişkenleri,

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$: modelin regresyon katsayılarını,

ifade etmektedir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Daha önceden işaretlenmiş olan noktalarda domates kabuk yırtılma kuvveti ve domates kabuk sertliği ölçümleri yapılmıştır. Olgunluk safhasına bağlı kabuk yırtılma kuvveti (KYK) ve kabuk sertliği (KS) değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre olgunluk safhasındaki değişim hem KYK hem de KS üzerinde istatistiksel olarak %1 ($P<0.01$) seviyesinde etkili bulunmuştur. Ayrıca, Şekil 3'te görüldüğü gibi, KYK'nin oralamaları arasındaki fark yeşil olumdan pembe olum olgunluk safhasına kadar farklı gruplar içerisinde yer almış ve KYK deki düşüş eğilimi istatistiksel olarak da önemli bulunmuştur. Açık kırmızı ve kırmızı olum safhasında bu değişim hızı yavaşlamış ve ortalamalar aynı grup içerisinde yer almıştır. İstatistiksel olarak da değerler arasındaki fark önemsiz çıkmıştır. Genel bir değerlendirme yapıldığında olgunluk safhasındaki değişimin KYK üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$).



Şekil 3. Olgunluk safhasına bağlı domates kabuk yırtılma kuvveti ve kabuk sertliği değişimi

Olgunluk safhasına bağlı domateslerin kabuk sertliğindeki (KS) değişim yeşil olumdan pembe olgunluk safhasına kadar hızlı gerçekleşmiştir. KS'deki değişim hızı pembe ve açık kırmızı olgunluk safhalarında azalmıştır. Kırmızı olgunluk safhasında ise KS önemli düzeyde azalma göstermiştir. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testine göre de benzer sonuçlar elde edilmiş olup ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak ($P < 0.05$) da aynı eğilimde gerçekleşmiştir.

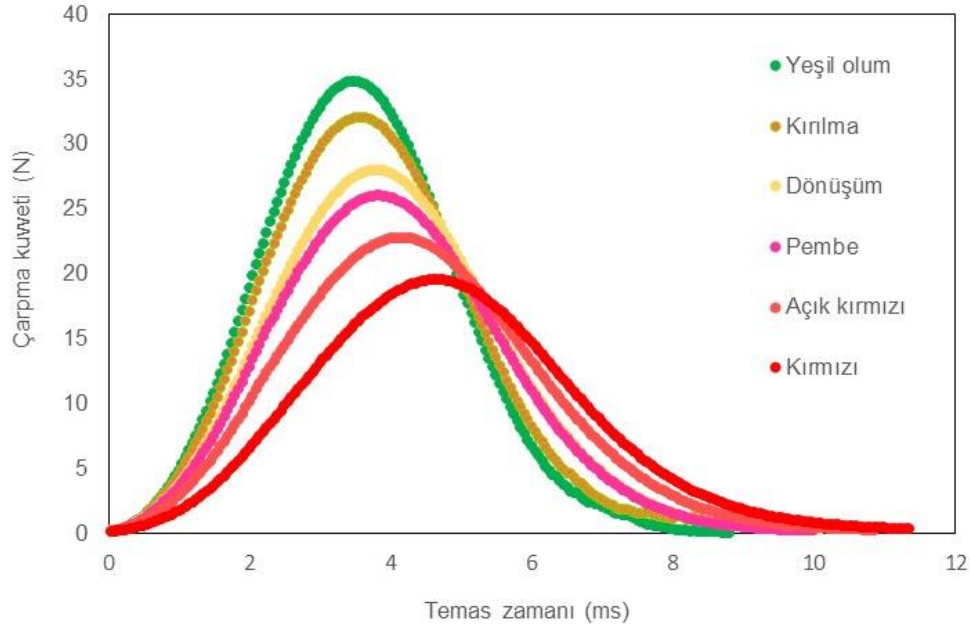
Domateslerin sertlik tahmininde kullanılan hasarsız çarpma parametreleri ile KYK ve KS arasındaki ilişki Pearson korelasyon testiyle analiz edilmiş ve sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir. Dinamik çarpma test cihazı kullanılarak altı farklı olgunluk safhasındaki domates örnekleri öncelikle 15 mm yükseklikten kuvvet algılayıcıya vidalanmış olan alüminyum plaka üzerine iki kez düşürülmüş ve ölçülen hasarsız çarpma parametreleri KYK ve KS ile ilişkilendirilmiştir. Hasarsız çarpma ve hasarlı mekanik özellik ölçümleri domateslerin aynı noktasında yapılmıştır.

Çizelge 3'te görüldüğü gibi, KYK için $C_{PW,12}$ ve $C_{C,12}$ ve KS için de $C_{C,12}$ hasarsız çarpma parametreleri dışında diğer tüm parametreler %1 ($P < 0.01$) önem seviyesinde domates kabuk yırtılma kuvveti ve domates kabuk sertliği ile ilişkili bulunmuştur. Pearson korelasyon analizi sonuçlarına göre domates kabuk yırtılma kuvveti (KYK) ile hasarsız çarpma parametre değerleri arasındaki korelasyon domates kabuk sertliğinden (KS) daha düşük çıkmıştır (Çizelge 4.1). KYK ve KS için en yüksek korelasyon (R) sırasıyla 0.818 ve 0.920'lik değer ile F_{P2} çarpma parametresinde gerçekleşmiştir. KS ile hasarsız çarpma parametreleri arasındaki korelasyon tüm çarpma parametreleri için KYK'den yüksek çıkmıştır. Bu nedenle, tahmin model geliştirmede sadece KS referans ölçüm parametresi olarak dikkate alınmıştır.

Çizelge 3. Hasarsız çarpma parametreleri ile domates kabuk yırtılma kuvveti ve domates kabuk sertliği arasındaki korelasyonu (R) gösteren analiz sonuçları

	KYK	KS	A ₁	A ₂	F _{P1}	F _{P2}	tp ₁	tp ₂	tc ₁	tc ₂	tc ₁₋₂	tp ₁₋₂	C _{P,12}	C _{C,12}	R _{FP}	ΔF _P	RT _C	C _{pw,12}	C _{C,12}
KYK	1	.897**	.503**	.577**	.748**	.818**	-.536**	-.605**	-.626**	-.666**	.469**	.319**	.430**	.352**	.638**	.586**	-.412**	.133 ^{ns}	.039 ^{ns}
KS	.897**	1	.578**	.654**	.857**	.920**	-.634**	-.617**	-.732**	-.728**	.399**	.231**	.570**	.498**	.689**	.689**	-.359**	.209*	.118 ^{ns}

KYK: Domates kabuk yırtılma kuvveti (N); KS: Domates kabuk sertliği (N/mm); **: %1 seviyesinde önemli; ns: önemsiz



Şekil 4. Farklı domates olgunluk seviyesinde ölçülen 1. çarpma kuvveti-temas zamanı değişimi

Şekil 4, farklı olgunluk safhalarında çarpma sırasında F_{P1} kuvvetinin zamana göre dağılımını göstermektedir. Meyve olgunlaştıkça çarpma kuvveti azalırken temas zamanı artmaktadır. Yeşil olum safhasındaki domates örneği ile karşılaştırıldığında kırmızı olum safhasındaki domates örneği daha uzun temas süresinde daha düşük maksimum çarpma ivmesine ulaşmaktadır. Domatesler yeşil olum safhasında iken daha serttir ve olgunlaştıkça meyve eti yumuşamaktadır. Meyveler visko-elastik küreler olarak modellenebilmektedir. Sert bir yüzeye çarparken oluşan reaksiyon kuvveti, Poisson oranına, elastikiyet modülüne (sertlikle ilgili olan), eğriliğe, kütle ve hıza bağlıdır. Olgunlaşmamış meyveler daha esnektir ve viskozite seviyesi olgunluk ile artar (Garcia ve ark., 1988). Olgunluğa bağlı gelişen viskoelastik etkiden dolayı (zamana bağlı gerilme ve gerinim) çarpma kuvveti, meyve temas noktasındaki maksimum deformasyon öncesinde en yüksek seviyeye ulaşmaktadır.

Çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılarak yapılan domates KS tahmini model eşitliklerinde üç model yaklaşımı kullanılmıştır. Bunlardan ilkinde (**Model A**), ana çarpma parametreleri bağımsız değişken olarak seçilmiştir. İkinci model yaklaşımda (**Model B**), yapılan Pearson Korelasyon testi sonuçlarına göre KS ile istatistiksel olarak ilişkili bulunan tüm çarpma parametreleri bağımsız değişken olarak tahmin modeli geliştirmede kullanılmıştır. Üçüncü model yaklaşımda (**Model C**) ise stepwise regresyon analizi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bulunan hasarsız çarpma parametreleri bağımsız değişken olarak tahmin modeli geliştirmede kullanılmıştır.

Çizelge 4'te domates KS tahmini için kalibrasyon verileri kullanılarak geliştirilen model eşitliklere ilişkin korelasyon katsayısı (R), belirtme katsayısı (R^2), düzeltilmiş R^2 ve tahmini standart hata gibi

istatistiksel sonuçlar verilmiştir. Ana çarpma parametreleri Model A'nın, Pearson Korelasyon testi sonucunda önemli bulunan çarpma parametrelerinin tümü Model B'nin ve stepwise regresyon analizi sonucunda önemli bulunan çarpma parametreleri de bağımsız değişken olarak Model C'nin geliştirilmesi için kullanılmıştır.

Çizelge 4. Kabuk sertliği (KS) tahmini için kalibrasyon verileri kullanılarak geliştirilen model eşitliklere ilişkin istatistiksel sonuçlar

<i>Model</i>	<i>R</i>	<i>R²</i>	<i>Düzeltilmiş R²</i>	<i>Tahmini Standart Hata</i>
A	0.926 ^a	0.857	0.847	0.3192541
B	0.939 ^b	0.881	0.859	0.3060806
C	0.928 ^c	0.861	0.858	0.3077114

(Model A): $F_{P1}, F_{P2}, t_{C1}, t_{C2}, t_{P1}, t_{P2}$

(Model B): $A_1, A_2, F_{P2}, t_{P1}, t_{P2}, t_{C1}, t_{C2}, t_{C1-2}, C_{P,12}, C_{C,12}, R_{FP}, \Delta F_P, RT_C, C_{PW,12}$

(Model C): F_{P2}, A_2

Bağımlı Değişken: **Kabuk Sertliği (KS). $N\ mm^{-1}$**

Kalibrasyon verileri kullanılarak KS tahmini için geliştirilmiş olan Model A, Model B ve Model C ye ait eşitlikler, kullanılan çarpma parametreleri ve belirtme katsayıları aşağıda verilmiştir.

MODEL A: Ana çarpma parametreleri kullanılarak geliştirilen model eşitlik,

$$KS = 0.756 - 0.013F_{P1} + 0.227F_{P2} - 210.392t_{P1} + 177.058t_{P2} + 20.899t_{C1} - 103.018t_{C2} \quad (R^2=0.857)$$

MODEL B: Pearson korelasyon matrisi yöntemi ile istatistiksel olarak önemsiz bulunan çarpma parametreleri dışındaki tüm parametreler kullanılarak geliştirilen model eşitlik

$$KS = 9.744 - 36.818A_1 + 5.482A_2 + 0.212F_{P2} + 43.894t_{P1} + 134.040t_{P2} - 889.829t_{C1} + 590.567t_{C2} + 20.023t_{C1-2} - 0.077C_{P,12} + 0.071C_{C,12} + 0.956R_{FP} + 0.142\Delta F_P - 7.777RT_C - 0.603C_{PW,12} \quad (R^2=0.881)$$

MODEL C: Stepwise regresyon analiz yöntemi kullanılarak geliştirilen model eşitlik

$$KS = 0.005 + 0.296F_{P2} - 27.918A_2 \quad (R^2=0.861)$$

Kalibrasyon verileri (n=92) kullanılarak geliştirilen KS tahmin modellerinin doğruluğu da test edilmiştir. Bunun için kalibrasyon veri grupları kullanılarak geliştirilen model eşitlikte doğrulama verileri (n=42) kullanılmıştır. Çizelge 5'de Model A, Model B ve Model C için hesaplanan kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için bazı tanımlayıcı istatistiksel değerlere ait değerler verilmiştir. Kalibrasyon verileri ile farklı olgunluk safhasındaki 92 adet domates örnekleri kullanılarak yapılan KS ortalama tahmin değerleri Model A için $2.19\ N\ mm^{-1}$, Model B için $2.00\ N\ mm^{-1}$ ve Model C için ise $2.17\ N\ mm^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Ölçülen ortalama KS değerleri ($2.18\ N\ mm^{-1}$) ile karşılaştırıldığında en yakın tahmin değerleri sırasıyla Model C ve Model A'da gerçekleşmiştir. Model B'nin tahmin değeri ise $3.11\ N\ mm^{-1}$ ile Model C ve Model A'dan bir miktar yüksek çıkmıştır. R^2 belirtme katsayılarını da dikkate

aldığımızda Model C'nin R^2 değerinin yüksek olması ve model eşitlikte kullanılan parametre sayısının azlığı nedeniyle Model C daha doğru ortalama tahmin sonucunu vermiştir. Model yaklaşımlara ilişkin KS ortanca değerleri karşılaştırıldığında da ortalama değerlere benzer şekilde, ölçülen KS'ne (3.46 N mm^{-1}) en yakın tahmin 3.65 N mm^{-1} 'lik değerle Model C'de gerçekleşmiştir. Bunu sırasıyla Model A (3.70 N mm^{-1}) ve Model B (3.11 N mm^{-1}) izlemiştir.

Doğrulama veri grupları ile farklı olgunluk safhasındaki 42 adet örnekle yapılan KS ortalama tahmin modelleri Model A için 2.16 N mm^{-1} , Model B için 1.98 N mm^{-1} ve Model C için de 2.14 N mm^{-1} olarak hesaplanmıştır. Ölçülen KS değeri (2.07 N mm^{-1}) ile karşılaştırıldığında Model C de tahmin edilen ortalama değer ölçülen ortalama değere en yakın çıkan model olmuştur. Model A ve Model B benzer tahmin sonuçları vermiştir. Ortanca değerlere ilişkin olarak ölçülen 3.09 N mm^{-1} 'lik değere en yakın sonuç Model B'de (2.62 N mm^{-1}) gerçekleşmiştir. Bunu sırasıyla Model C (2.54 N mm^{-1}) ve Model A (2.52 N mm^{-1}) izlemiştir. Doğrulama veri grubunda özellikle tahmin edilen ortanca değerler geliştirilen üç model yaklaşım için de kalibrasyon veri grubundaki tahmin edilen ortanca değerlerden düşük çıkmıştır.

Çizelge 5. Geliştirilen modellerin ölçülen ve tahmin edilen kabuk sertliğine (KS) ilişkin kalibrasyon ve doğrulama veri gruplarının tanımlayıcı istatistiksel sonuçları

Kalibrasyon (n = 92)	Ölçülen	Model A	Model B	Model C
<i>Ortalama (N mm⁻¹)</i>	2.18	2.19	2.00	2.17
<i>Standart sapma (±) (N mm⁻¹)</i>	0.82	0.76	0.75	0.76
<i>Minimum (N mm⁻¹)</i>	0.81	0.60	0.79	0.67
<i>Maksimum (N mm⁻¹)</i>	4.26	4.30	3.90	4.32
<i>Ortanca (N mm⁻¹)</i>	3.46	3.70	3.11	3.65
Doğrulama (n = 42)	Ölçülen	Model A	Model B	Model C
<i>Ortalama (N mm⁻¹)</i>	2.07	2.16	1.98	2.14
<i>Standart sapma (±) (N mm⁻¹)</i>	0.88	0.71	0.69	0.72
<i>Minimum (N mm⁻¹)</i>	0.93	1.11	0.73	1.02
<i>Maksimum (N mm⁻¹)</i>	4.02	3.63	3.35	3.55
<i>Ortanca (N mm⁻¹)</i>	3.09	2.52	2.62	2.54

Domates KS'nin performansını ölçmek için; KS modeliyle hesaplanan değerler ile ölçülen sonuçların RMSE, MAE, MAPE ve R^2 değerleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için Çizelge 6'da verilmiştir.

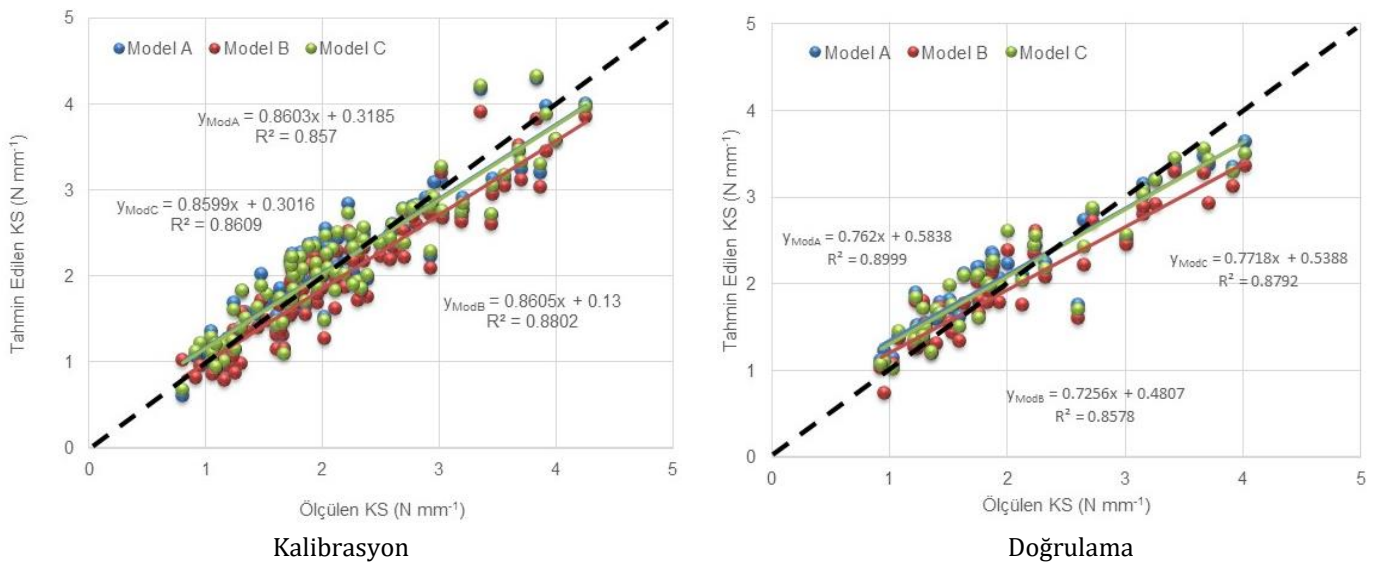
Çizelge 6. Domates Kabuk Sertliği (KS) Tahmini İçin Kullanılan Model Yaklaşımların Ölçülen ve Tahmin Edilen Değerlerine İlişkin Performans Parametre Sonuçları

Kalibrasyon	RMSE	MAE	MAPE	R²
<i>Model A</i>	3.09	1.54	26.65	0.857
<i>Model B</i>	2.03	0.17	13.30	0.881
<i>Model C</i>	2.10	0.06	13.53	0.861
Doğrulama	RMSE	MAE	MAPE	R²
<i>Model A</i>	0.213	0.04	6.43	0.8999
<i>Model B</i>	0.244	0.04	6.040	0.8578
<i>Model C</i>	0.219	0.03	6.544	0.8792

Kalibrasyon veri grupları için performans parametreleri açısından en iyi tahmin sonucu Model B’de gerçekleşmiştir. Ancak, Model B de kullanılan hasarsız çarpma parametresi sayısının çokluğu sayısal ve mantıksal işlemlerin uygulamalarında karmaşıklıklara neden olabilmektedir. Bu nedenle, hem çarpma parametre sayısı azlığı hem de Model B’ye daha yakın tahmin sonuçlarının elde edilmesi nedeniyle kalibrasyon veri grupları kullanılarak yapılan KS tahmininde Model C’nin kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olacağı sonucuna varılmıştır.

Doğrulama veri gruplarında ise, Model A’da R^2 belirtme katsayısının diğer iki modelden daha yüksek çıkması, RMSE değerinin düşük ve MAE ve MAPE değerlerinin de hem düşük çıkması hem de birbirine çok yakın değerlerde olması nedeniyle Model A’nın domates KS tahmininde kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olacağı sonucuna varılmıştır.

Şekil 5’te kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için Model A, Model B ve Model C de ölçülen ve tahmin edilen KS değerleri arasındaki ilişki ve R^2 belirtme katsayıları ile eşitlikleri verilmiştir.



Şekil 5. Kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için Model A, Model B ve Model C de ölçülen ve tahmin edilen KS değerleri arasındaki ilişki

Domates KS için geliştirilmiş olan model yaklaşımlara ilişkin sonuçlara bakıldığında, çarpma testleri kullanılarak KS tahmininin güvenilir sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu nedenle, domates örnekleri sadece KS dikkate alınarak üç farklı sertlik grubuna ayrılmıştır. Denemelerde kullanılan farklı olgunluk düzeyindeki 134 adet domates örneğinin sertlik gruplandırılmasında “Kümeleme analizi” yöntemi kullanılmıştır. Kümeleme analizine göre sert, orta sert ve yumuşak olmak üzere üç sertlik grubuna ayrılan domates örneklerinde 54 adet domates örneği $2.99 \pm 0.58 \text{ N mm}^{-1}$ ortalama değer ile sert grupta, 52 adet domates örneği $1.83 \pm 0.20 \text{ N mm}^{-1}$ ortalama ile orta sert grupta ve 28 adet domates örneği de $1.15 \pm 0.15 \text{ N mm}^{-1}$ ortalama değer ile yumuşak sınıflandırma grubunda yer almıştır. Kümeleme analizine göre oluşan domates kabuk sertliği (KS) sınıf aralıkları yumuşak domates örnekleri için $KS < 1.40 \text{ N mm}^{-1}$, orta sert domates için $1.40 \leq KS < 2.23 \text{ N mm}^{-1}$ ve sert domates meyve örnekleri içinde $KS \geq 2.23 \text{ N mm}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

Belirlenmiş olan domates kabuk sertlik grupları dikkate alınarak örneklerin sertlik tahmininde kullanılan Model A, Model B ve Model C için kalibrasyon ve doğrulama veri gruplarına ait sınıflandırma başarısı da hesaplanmış ve bunlara ilişkin sonuçlar Çizelge 7’de verilmiştir. Kalibrasyon veri grupları

için Model A'da gerçek doğruluk 77 ve başarı yüzdesi de %83.70 olarak gerçekleşmiştir. Örneğin Model A için 39 adet ölçülen sert meyvenin 35'i aynı grupta sınıflandırılmış ve 4 adet domates de orta sert grubunda sınıflandırılmıştır. Orta sert meyve grubunda 36 adet ölçülen meyvenin 9'u sert gruba 27 adedi de orta sert gruba sınıflandırılmıştır. Bu durum 17 adet ölçülen yumuşak sert grubu için orta sert gruba 2 adet ve yumuşak gruba 15 adet sınıflandırma olarak gerçekleşmiştir. Böylece gerçek doğruluk $35+27+15=77$ olarak gerçekleşmiştir. Model A için verilen örneklemede başarı oranı $(35+27+15)/92=83.70$ olarak hesaplanmıştır. Yani 100 adet domates meyvesinin yaklaşık olarak 84 adedi kendi sertlik grubunda yer almıştır. Kalibrasyon veri grubunda Model B için gerçek doğruluk 74 ve sınıflandırma başarı yüzdesi de %80.43 olarak hesaplanmıştır. Bu durum Model C için 77 gerçek doğruluk ve %83.70 sınıflandırma başarısı olarak gerçekleşmiştir. Model A ve Model C'nin gerçek doğruluk ve sınıflandırma başarı yüzdesi benzer sonuçlar vermiştir. Sınıflandırma başarı yüzdesi Model A ile benzer çıkmasına karşın Model C'nin geliştirilmesinde kullanılan bağımsız değişken parametre sayısının azlığı gerçek zamanlı ölçümlerde işlemlerin daha hızlı yapılmasına kolaylık sağlayacağından Model C daha uygun bir yaklaşım olarak seçilmiştir.

Çizelge 7. Domates kabuk sertliği (KS) gruplarına göre örneklerinin sertlik tahmininde kullanılan kalibrasyon ve doğrulama modellerine ait sınıflandırma başarısı

Kalibrasyon (n = 92)		S _ö n = 39	OS _ö n = 36	Y _ö n = 17	Gerçek Doğruluk	Başarı Oranı (%)
Model A	S _E	35	4	0	77	83.70
	OS _E	9	27	0		
	Y _E	0	2	15		
Model B	S _E	29	10	0	74	80.43
	OS _E	0	29	7		
	Y _E	0	1	16		
Model C	S _E	35	4	0	77	83.70
	OS _E	6	29	1		
	Y _E	0	4	13		
Doğrulama (n = 42)		S _ö n = 15	OS _ö n = 16	Y _ö n = 11	Gerçek Doğruluk	Başarı Oranı (%)
Model A	S _E	14	1	0	35	83.33
	OS _E	2	14	0		
	Y _E	0	4	7		
Model B	S _E	12	3	0	35	83.33
	OS _E	1	15	0		
	Y _E	0	3	8		
Model C	S _E	13	2	0	33	78.57
	OS _E	3	13	0		
	Y _E	0	4	7		

Y= Yumuşak ($KS < 1.40 \text{ N mm}^{-1}$), OS= Orta sert ($1.40 \leq KS < 2.23 \text{ N mm}^{-1}$) ve S= Sert ($KS \geq 2.23 \text{ N mm}^{-1}$) sertlik grubunu ve S_E, OS_E ve Y_E= Tahmin edilen domates sertliklerini; S_ö, OS_ö ve Y_ö= Ölçülen sertlik büyüklüklerini ifade etmektedir.

Doğrulama veri grubunda Model A ve Model B'de gerçek doğruluk ve sınıflandırma başarı yüzdesi benzer sonuçlar vermiş ve Model C'den daha yüksek bulunmuştur. Model A'da kullanılan hasarsız çarpma parametre sayısının Model B'den daha az olması ve önceden de ifade edildiği gibi gerçek zamanlı

ölçümler sırasında oluşabilecek karmaşayı önleme açısından Model A'nın kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olacağı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 7'de verilmiş olan sınıflandırma başarı oranları kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için %75'ten yüksek çıkmıştır. Gutierrez ve ark. (2007) ve Lien ve ark. (2009) doğru sınıflandırma hassasiyetinin %75'in üzerinde olması gerektiğini ifade etmişlerdir. Elde edilen sınıflandırma başarı yüzdeleri üç model için de hem kalibrasyon hem de doğrulama veri gruplarında %75'ten yüksek çıkmıştır. En yüksek sınıflandırma başarısı kalibrasyon veri grubu için %83.70 ile Model A ve Model C'de, doğrulama veri grubu için de %83.33 ile Model A ve Model B'de gerçekleşmiştir. Gutierrez ve ark. (2007) şeftali, Lien ve Ting (2009) domates ve Lien ve Ting (2013) guava meyveleri için sınıflandırma başarı yüzdelerini sırasıyla %81, %82.3 ve %84.21 olarak hesaplamışlardır. Benzer sınıflandırma başarısına araştırmamız sonucunda da ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar domates kabuk sertliği tahmini için geliştirilen model yaklaşımların farklı sertlik gruplarındaki domates örneklerinin sertliğine göre sınıflandırmada kullanılabileceğini göstermiştir.

4. SONUÇ

Çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılarak yapılan domates kabuk sertliği (KS) tahmini model eşitliklerinde üç model yaklaşımı kullanılmıştır. Bunlardan ilkinde (Model A), ana çarpma parametreleri bağımsız değişken olarak seçilmiştir. İkinci model yaklaşımda (Model B), yapılan Pearson korelasyon testi sonuçlarına göre KS ile istatistiksel olarak ilişkili bulunan tüm çarpma parametreleri bağımsız değişken olarak tahmin modeli geliştirmede kullanılmıştır. Üçüncü model yaklaşımda (Model C) ise stepwise regresyon analizi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bulunan hasarsız çarpma parametreleri bağımsız değişken olarak tahmin modeli geliştirmede kullanılmıştır.

Domates kabuk sertliği (KS) tahmin modellerinden olan Model A'da F_{P1} , F_{P2} , t_{C1} , t_{C2} , t_{P1} , t_{P2} ana çarpma parametreleri kullanılmıştır. Model B için Pearson korelasyon testi sonucunda istatistiksel anlamda önemli çıkan A_1 , A_2 , F_{P2} , t_{P1} , t_{P2} , t_{C1} , t_{C2} , t_{C1-2} , $C_{P,12}$, $C_{C,12}$, RF_P , ΔF_P , R_{TC} , $C_{PW,12}$ çarpma parametreleri seçilmiştir. Model C için ise; stepwise regresyon analizi sonucunda seçilen F_{P2} ve A_2 hasarsız çarpma parametreleri KS tahmininde kullanılmıştır. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda domates KS ile Model A'daki parametreler kullanılarak geliştirilen tahmin modelinin iyilik derecesi (R^2) 0.857, Model B'de R^2 0.881 ve Model C için de R^2 0.861 olarak hesaplanmıştır.

Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda kalibrasyon veri grupları için performans parametreleri açısından en iyi tahmin sonucu Model B'de gerçekleşmiştir. Ancak, Model B'de kullanılan hasarsız çarpma parametresi sayısının çokluğu sayısal ve mantıksal işlemlerin uygulamalarında karmaşıklıklara neden olabilmektedir. Hem çarpma parametre sayısı azlığı hem de Model B'ye daha yakın tahmin sonuçlarının elde edilmesi nedeniyle kalibrasyon veri grupları kullanılarak yapılan KS tahmininde Model C'nin kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olacağı sonucuna varılmıştır. Doğrulama veri gruplarında ise, Model A'da R^2 belirtme katsayısının diğer iki modelden daha yüksek çıkması, RMSE değerinin düşük ve MAE ve MAPE değerlerinin de hem düşük çıkması hem de birbirine çok yakın değerlerde olması nedeniyle Model A'nın domates KS tahmininde kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olacağı sonucuna varılmıştır.

Belirlenmiş olan domates kabuk sertlik grupları dikkate alınarak örneklerin sertlik tahmininde kullanılan Model A, Model B ve Model C için kalibrasyon ve doğrulama veri gruplarına ait sınıflandırma başarısı da hesaplanmıştır. Kalibrasyon veri grupları için Model A'da gerçek doğruluk 77 ve başarı yüzdesi de %83.70 olarak gerçekleşmiştir. Kalibrasyon veri grubunda Model B için gerçek doğruluk 74

ve sınıflandırma başarı yüzdesi de %80.43 olarak hesaplanmıştır. Bu durum Model C için 77 gerçek doğruluk ve %83.70 sınıflandırma başarısı olarak gerçekleşmiştir. Model A ve Model C'nin gerçek doğruluk ve sınıflandırma başarı yüzdesi benzer sonuçlar vermiştir. Doğrulama veri grubunda Model A ve Model B de gerçek doğruluk ve sınıflandırma başarı yüzdesi benzer sonuçlar vermiş ve Model C'den daha yüksek bulunmuştur.

Statik koşullarda laboratuvar ortamında yürütülerek gerçekleştirilen hasarsız sertlik ölçüm denemeleri sonuçları, domates meyvesinin kabuk sertliği (KS) tahmininin hasarsız çarpma tekniği kullanılarak yapılabileceğini göstermiştir. Düşük yükseklikten hasarsız çarpma tekniğiyle yapılacak domates kabuk sertliği tahmini, yaş meyve-sebze sınıflandırma hatlarında yapılacak tasarımsal değişiklikler ve iyileştirmelerle gerçek zamanlı olarak kullanılabilir bir yöntem olabilmektedir. Dinamik koşullarda yapılacak bu ölçümler için de ek çalışmalara gereksinim duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abbott, J.A. (1999). Quality Measurement of Fruits and Vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 15, 207–225. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00086-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00086-6)
- Abbott, J.A. (2004). Textural quality assessment of fresh fruits and vegetable. *Adv. Exp. Med. Biol.* 542, 265–279. ASAE, 1992. Moisture measurement-forages. In: ASAE Standards. ASAE, St. Joseph, MI, pp. 406 (Chapter S358.2).
- ASAE Standards, 2001. Compression Test of Food Materials of Convex Shape. ASAE S368.4 DEC00, American Society of Agricultural Engineering, pp: 580-587.
- Bashir, H.A., ve Abu-Goukh,A.A. (2003). Compositional Changes During Guava Fruit Ripening. *Food Chemistry.* 80, 557563. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00345-X](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00345-X)
- Batu, A. (2004). Determination of Acceptable Firmness and Colour Values of Tomatoes. *Journal of Food Engineering* 61(3): 471-475. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00141-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00141-9)
- Bourne, M. (2002). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*, 2nd edition. Academic Press, London.
- Cavalini, F.C., Jacomino, A.P., Lochoski, M.A., Kluge, R.A., ve Ortega, E.M.M. (2006). Maturity Indexes for 'Kumagai' and 'Paluma' Guavas. *Revista Brasileria de Fruticultura.* 28:2, 176–179.
- Chen, P., ve Ruiz-Altisent, M. (1996). Effect of Impacting Mass on Firmness Sensing of Fruits. *Transactions of the ASAE*, 39(3): 1019-1023. <https://doi:10.13031/2013.27591>
- De Ketelaere, B., Howarth, M.S., Crezee, L., Lammertyn, J., Viaene, K., Bulens, I., ve De Baerdemaeker, J. (2006). Postharvest Firmness Changes as Measured by Acoustic and Low-Mass Impact Devices: A Comparison of Techniques. *Postharvest Biology and Technology.* 41, 275–284. <https://doi:10.1016/j.postharvbio.2006.04.008>
- Delwiche, M. J., McDonald, T., ve Bowers, S. V. (1987). Determination of Peach Firmness by Analysis of Impact Forces. *Transactions of the ASAE*, 30(1), 249-254. <https://doi:10.13031/2013.30435>
- Fidelibus, M.W., Teixeira, A.A., ve Davies, F.S. (2002). Mechanical properties of orange peel and fruit treated pre-harvest with gibberellic acid. *Transactions of the ASAE* 45, 1057–1062. <https://doi:10.13031/2013.9920>

- Garcia, C., Ruiz, M., ve Chen, P. (1988). Impact Parameters related to Bruising in Selected Fruits. *Transactions of the ASAE*, 31, 256-261.
- García-Ramos, F.J., Valero, C., Homer, I., Ortiz-Canavate, J., ve Ruiz-Altisent, M. (2005). Nondestructive Fruit Firmness Sensors: A Review. *Spanish Journal of Agricultural. Research* 3, 61-73. <https://doi:10.5424/sjar/2005031-125>
- Gutierrez, A., Burgos, J. A., ve Molto, E. (2007). Pre-commercial Sorting Line for Peaches Firmness Assessment. *Journal of Food Engineering*, 81(4), 721-727. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.006>.
- Jaren, C., Garcí'a-Pardo, E. (2002). Using Non-destructive Impact Testing for Sorting Fruits. *Journal of Food Engineering*, 53(1), 89-95. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00144-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00144-3)
- 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. <https://doi:10.1016/j.jfoodeng.2008.09.036>
- Lien, C.C., ve Ting, C.H. (2013). Slight Free Falling Impact Test for Assessing Guava Maturity. *Agricultural Sciences*. Vol: 4, No: 5B, 21-27. <https://doi:10.4236/as.2013.45B004>
- Lien, C.C., ve Ting, C.H. (2014). Assessing Guava Maturity by Statistical Analyses of Dropped Fruit Impact Responses. *Postharvest Biology and Technology*. 95: 20-27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.03.013>
- Mohsenin, N. (1986). *Physical properties of plant and animal materials*, 2nd edition. Gordon and Breach, New York, USA.
- Peleg, K. (1999). Development of a commercial fruit firmness sorter. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 72: 231-238.
- Rohrbach, R. P., Franke, J. E., ve Willits, D. H. (1982). A Firmness Sorting Criterion for Blueberries. *Transactions of the ASAE*, 25(2), 261-265. <https://doi:10.13031/2013.33516>
- Stropek, Z., ve Golacki, K., 2007. Relation Between Mass and Drop Height at Impact Causing the Bruising of Apple. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 57(2A): 165-167.
- Timoshenko, S.P., ve Goodier, J.N., 1970. *Theory of elasticity*. New York: McGraw-Hill.
- Tüdeş, E. (2019). Hasarsız çarpma tekniği kullanarak elma meyvesinin kütle tahmini için farklı model yaklaşımların değerlendirilmesi. *Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, ss. 1-35.
- Vursavus, K.K., Kesilmis, Z., ve Oztekin, Y.B. (2017). Nondestructive Dropped Fruit Impact Test for Assessing Tomato Firmness. *Chemical Engineering Transactions*, Vol: 58, 325-330. <https://doi:10.3303/CET1758055>
- Wang, Y-W., Wang, J., Yao, C., ve Lu, Q-J. (2009). Firmness Measurement of Peach by Impact Force Response. *Journal of Zhejiang University Science B*. 10(12): 883-889. <https://doi:10.1631/jzus.B0920108>

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

Classification of fresh fruits and vegetables according to post-harvest maturity is beneficial in terms of showing the optimum time for the market before distribution and optimization during storage. Fruit and vegetable ripeness is a qualitative measure that is difficult to define. The firmness of a fruit is an index of its mechanical, chemical and rheological properties. Fruit firmness is inversely proportional to maturity and therefore, it can be used as an alternative maturity index in fresh fruit and vegetable classifications. Although color is a maturity parameter in tomato fruit, firmness is one of the main factors contributing to tomato fruit quality.

Researchers have now tried to use different techniques for nondestructive firmness sensing of fruits and vegetables. With automatic product classification techniques, which are performed without damage and can be transferred to the application, product evaluations can be made quickly, without damage, in a less costly and effective way. In addition, measurements can be performed homogeneously on the entire product. Acoustic, vibration, near infrared (NIR), micro-deformation and impact techniques can be given as examples of systems that can be used in practice.

The firmness of a fruit can be explained by the mechanical, chemical and rheological properties of that fruit. Fruit firmness is inversely proportional to maturity and therefore it can be used as an alternative maturity index in fresh fruit and vegetable classification. Although color is a maturity parameter in tomato fruit, firmness is one of the main factors contributing to tomato fruit quality. Consumers can perceive tomato quality by firmness, color and taste.

The texture of tomatoes (flesh firmness and skin resistance) changes during storage, distribution and maturity, and this can be a major problem as it can increase the sensitivity of tomatoes to mechanical damage. The degree of fruit firmness has been used as an indicator of fruit quality, and therefore, firmness can be the final index on which consumers make the purchasing decision for tomatoes, peaches, nectarines, pears, kiwis and similar fruits. Tomatoes continue to mature after harvest and can ripen very quickly. This can lead to quality losses and limit the shelf life of tomatoes. Many researchers have used USDA color classification criteria to determine maturity at the tomato harvest.

Tomatoes include the stages of color maturation specified in the USDA color catalogue, which are the green stage (the skin is completely green, but can mature physiologically), the color breakout period (the skin is predominantly green, but pinkish and reddish spots begin to appear), the color transformation period (the skin is partially yellowish and pinkish). but mainly green), pink death (green color completely lost and light pink or reddish color predominant), light red bloom (pinkness disappeared but dark red color could not be reached), red formation (completely red) stages.

If tomatoes are to be transported over long distances, they are usually harvested when they are in the color change period. Tomatoes that will be delivered to close distances are harvested during the pink or light red ripening periods. In both stages, it is desired that the tomatoes should not be below a certain firmness limit value. Tomato color and color change are mostly determined using instrumental methods. Colorimeters (Minolta Chroma and HunterLab) are an effective way to determine color index. Although many studies have reported a positive relationship between maturity stage and color development in tomatoes, this relationship is not fully understood. Color charts and scales have been developed commercially to determine the maturity stages of tomatoes, except for the method of determining the color maturation stages specified in the USDA color catalog. However, it is still not possible to accurately determine the maturity stages of tomatoes with these methods. In addition, the lack of color uniformity on the tomato surface may reduce the reliability of colorimetric tests.

There is no specific standard for the firmness classification of tomatoes. In tomato firmness classifications made by researchers, color maturity criteria are taken into account and firmness classifications are made accordingly. For this reason, automation-based, real-time classification applications are needed in order to be able to classify by reducing human errors and minimizing the time requirement. Although there are modules that allow the electronic classification of tomatoes according to color characteristics, a firmness module that can be used for real-time firmness classification is not used in electronic classification lines in our country. Although companies such as Aweta, Greefa, Maf-Roda and Sinclair produce electronic classification lines with firmness modulus, they could not be sold in our country due to their high cost. In addition, the limited use of fruits such as tomatoes, peaches, nectarines, pears and kiwis has also limited the packaging houses' orientation to such a costly investment, even though they need it.

Methodology

In this study, it was aimed to estimate tomato firmness by using the Bandita F1 greenhouse tomato variety, which is widely produced in our region, with the nondestructive impact technique. In the experiments, first of all, nondestructive main impact parameters of tomato samples with six different ripening stages were measured and other developed impact parameters were derived from the main parameters. The measured and derived impact parameters were analyzed with the Pearson Correlation Matrix method and the parameters that were associated with tomato rupture force and tomato skin firmness which were defined as reference measurement parameters at the 1% and 5% level, were used to develop a tomato firmness estimation model. Tomato firmness estimation models developed using Multiple Linear Regression Analysis Method were divided into two groups to represent each maturity stage. 70% of the tomato firmness data were used for calibration and 30% for estimation (validation) purposes. All statistical evaluations were carried out using the SPSS 20.0 package program. In the tomato firmness estimation models developed for tomato skin firmness, the root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE) and mean absolute percent error (MAPE) were used in the performance evaluations of the model equations for both calibration and validation datasets.

Results and Conclusions

In the estimation models (Model A, Model B and Model C) developed by associating tomato skin rupture force and skin firmness with nondestructive impact parameters used as reference measurement parameters, the best firmness estimation model was achieved with tomato skin firmness. In the Model equation (Model A) developed using parameters, the coefficients of determination (R^2) for the calibration and validation datasets were determined as 0.881 and 0.899, respectively.

Taking into account the determined tomato skin firmness groups, the classification success of the calibration and validation datasets for Model A, Model B and Model C used in the firmness estimation of the samples was also calculated. Actual accuracy and classification success rate of Model A and Model C yielded similar results (83.70%). Although the classification success rate for the calibration datasets was similar to Model A, Model C was chosen as a more appropriate approach since the small number of independent variable parameters used in the development of Model C would facilitate faster processing in real-time measurements. In the validation datasets, the true accuracy and classification success percentage in Model A and Model B gave similar results (83.33%) and was higher than Model C. It has been concluded that the use of Model A would be a more accurate approach in terms of the fact that the number of nondestructive impact parameters used in Model A is less than that of Model B and, as stated before, in terms of preventing confusion that may occur during real-time measurements.

Yazarların Biyografisi



Gökhan AY

Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Mezunu. Yüksek Lisansını Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalında tamamladı. Domates meyvelerinin hasarsız çarpma tekniği kullanılarak sertliğine göre sınıflandırılması üzerine çalışmalar yaptı. Adalet Bölümünde ön lisans okudu. Şu anda ise İş Sağlığı ve Güvenliği üzerine yüksek lisans yapmaktadır.

İletişim

gokhanay2@outlook.com

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0002-2079-9070>



Kubilay Kazım VURSAVUŞ

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Mezunu. Yüksek Lisan ve Doktorasını Çukurova Üniversitesi, Tarım Makinaları Anabilim Dalında yaptı. Halen Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalında Profesör unvanıyla çalışmakta. Biyolojik malzeme bilgisi, Tarımsal ürünlerin hasarsız kalite değerlendirmesi ve Yaş meyve-sebzelerin elektronik sınıflandırılması konularında uzman.

İletişim

kuvursa@cu.edu.tr

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0001-8674-653X>