



Hasarsız çarpma tekniği kullanılarak domates meyvesinin kütle tahmini için farklı model yaklaşımlarının geliştirilmesi ve değerlendirilmesi

Kubilay Kazım Vursavuş^{a*}, Zehan Kesilmiş^b

^aÇukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Adana

^bOKÜ, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

*Sorumlu yazar/corresponding author: kuvursa@cu.edu.tr

Geliş/Received 16/06/2016

Kabul/Accepted 18/07/2016

ÖZET

Bu çalışmada, hasarsız çarpma tekniği kullanılarak domates meyvesinin kütle tahmini için farklı model yaklaşımlarının geliştirilmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Denemeler süresince *Bandita F1* çeşidi domates kullanılmıştır. Domateslerin kütle tahmininde üç farklı model değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Model 1 olarak adlandırılan kütle tahmin yönteminde impuls-moment ilişkisinden yararlanılmıştır. Model 2’de tek çarpma koşulu dikkate alınarak basit doğrusal model eşitliği geliştirilmiş ve sadece impuls parametresi dikkate alınmıştır. Model 3’de ise dokuz çarpma parametresi çarpma kuvveti-temas zamanı grafiklerinden çıkartılmış ve parametre sayısı stepwise regresyon analiz yöntemi ile azaltılmıştır. Böylece, stepwise regresyon analiz yöntemi ile elde edilen en önemli çarpma parametreleri (I_a , F_{max1} , F_{max2} ve $t_{uçuş}$) çoklu doğrusal regresyon (MLR) analiz yönteminde kullanılarak yeni bir çoklu parametrelili doğrusal matematiksel model geliştirilmiştir. İstatistiksel analiz sonuçları Model 3’ün yaklaşık olarak ± 2.5 g’lık tahmin hatası ile en iyi tahmin sonucunu verdiğini göstermiştir. Bunu sırasıyla model 2 ve model 1 izlemiştir. Geliştirilen model 3 eşitliğinde I_a , F_{max1} , F_{max2} ve $t_{uçuş}$ çarpma parametrelerinin kullanılması durumunda ölçülen ve tahmin edilen domates kütlesi arasındaki ilişki yüksek bulunmuştur. Ayrıca, model 3 için kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için belirtme katsayıları (R^2) sırasıyla 0.94 ve 0.92 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Sözcükler:
Çarpma parametreleri
Çoklu doğrusal regresyon
Hasarsız çarpma tekniği
Kütle tahmini

Development and assessment of different modeling approaches for mass estimation of tomato fruit by using nondestructive impact technique

ABSTRACT

In this study, development and assessment of different modeling approaches for mass estimation of tomato fruit by using nondestructive impact technique were aimed. *Bandita F1* tomato variety was used during the tests. Three different models were evaluated and compared for mass estimation of tomatoes. Impulse-moment relationship was used in the mass prediction method named as model 1. Simple linear model equation for single impact condition on model 2 was developed and only impulse parameter was taken into consideration. On model 3, nine impact parameters were extracted from impact force-contact time curves and number of parameter was decreased with stepwise regression analysis. Thus, a new linear mathematical model with multi-parameters was developed by using the most important impact parameters (I_a , F_{max1} , F_{max2} ve $t_{uçuş}$) obtained with stepwise regression analysis method in the multi linear regression analysis method. Statistical analysis results showed that model 3 gave the best prediction result with an estimation error of around ± 2.5 g. This was followed by model 2 and model 1, respectively. Relationship between measured and predicted tomato mass in the case of using I_a , F_{max1} , F_{max2} ve $t_{uçuş}$ impact parameters on the developed model 3 was found high. Furthermore, the coefficient of determinations (R^2) for calibration and validation data set of model 3 were found to be 0.94 and 0.92, respectively.

Keywords:
Impact parameters
Multi linear regression
Nondestructive impact technique
Mass estimation

© OMU ANAJAS 2016

1. Giriş

Günümüzde yaş sebze-meyve sınıflandırma teknolojisinde elektronik sınıflandırma hatları yaygın

olarak kullanılmaya başlanmıştır. Elektronik sınıflandırma hatlarında kullanılan modüller çoğunlukla görüntü işleme modülüdür. Bunun dışında yaygın olmamakla birlikte dinamik tartım modülüne sahip

elektronik sınıflandırma hatları da yaş sebze ve meyvelerin sınıflandırılmasında kullanılmaktadır. Görüntü işleme modülüne sahip sınıflandırma hatlarında meyve ve sebzeler renk ve boyut özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Dinamik tartım modülüne sahip hatlarda ise sınıflandırma kütle parametresi dikkate alınarak yapılmaktadır. Özellikle çift modüle sahip olan elektronik sınıflandırma hatlarında ise renk, boyut ve kütle parametreleri ilişkilendirilebilmektedir. Örneğin, boyut parametreleri kullanılarak hacim hesabı yapılabilmekte ve kütle ile ilişkilendirilerek yoğunluk hesaplanabilmektedir.

Günümüzde gelişmiş ülkeler meyve ve sebze ithalatlarında hassas kriterleri baz almakta ve ihracatçı firmaları bu kriterlere uymak zorunda bırakmaktadır. Örneğin, sınıflandırılacak ürünlerin içeriğini alıcının belirlemesi, özellikle son zamanlarda meyve paketi içerisine dizim yerine *adet isteği* ve aynı *boyut* ve *ağırlıkta* ürün talepleri hem “dinamik tartım modülünü” hem de “görüntü işleme modülünü” bünyesinde barındıran elektronik sınıflandırma ünitelerini zorunlu hale getirmektedir. Elmada meyve boyutlarının belli standartlarda olmamasından yani genişlik ve yükseklik boyutu arasında çok farklılık arz etmesinden dolayı istenilen standartta ayırım yapılamamaktadır. Bu durum görüntü işleme yöntemi kullanılarak yapılan sınıflandırmaların yeterli olamadığını göstermektedir. Ayrıca, boyutsal olarak yamuk geometriye sahip meyve çeşitlerinin seçimi mümkün olamamaktadır. Geometrik ölçekli sınıflandırmada çeşitli ebatlarda meyvelerin geometrik ölçülerine (yapılarına) göre gruplandırıldığında ortaya çıkan ebat parametreleri değişkenlik göstermekte ve üç kategoride belirlenen ölçülerde eş değer çaplar arasında büyük gram (kütle) farkları olduğu açıkça görülmektedir. Sonuç olarak, sınıflandırma da aynı boyuta sahip olan meyvelerin dahi (elma, domates ve narenciye) yoğunluk farkından dolayı ağırlıkları farklı çıkabilmektedir. Bu durum, sadece boyut ve adet üzerinden yapılan paketlemelerde büyük dalgalanmaların oluşmasına neden olabilmektedir. *Ağırlık duyarlı* (Dinamik tartım) sınıflandırma sistemleri kullanıldığında sınıflandırılan meyvelerde standardizasyon oranı daha da yükselecektir. Bu durum ekonomik manada ciddi kazanımlar sağlayacaktır. Ülkemizde elektronik yaş sebze meyve sınıflandırma hatlarında görüntü işleme modülüne sahip hatlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Elma, narenciye ve domates işleyen bazı paketleme evlerinde ise hem görüntü işleme hem de dinamik tartım modülü sınıflandırma hatlarında kullanılabilmektedir.

Yaş sebze-meyvelerin boyut ve kütle ilişkisi bir çok araştırmacı tarafından görüntü işleme tekniği kullanılarak araştırılmıştır. Bu araştırmacılar elma, portakal, domates, nar ve incir gibi bazı meyvelerin boyut parametrelerini kullanarak hacim ve kütle tahmini için model eşitlikler geliştirmişlerdir (Tabatabaeefar ve Rajabipour, 2005; Khosnam ve ark. 2007; Spreer ve Müller, 2011; Shahbazi ve Rahmati, 2012; Ghazavi ve ark. 2013; Sabzi ve ark. 2013; Izadi ve ark. 2014;

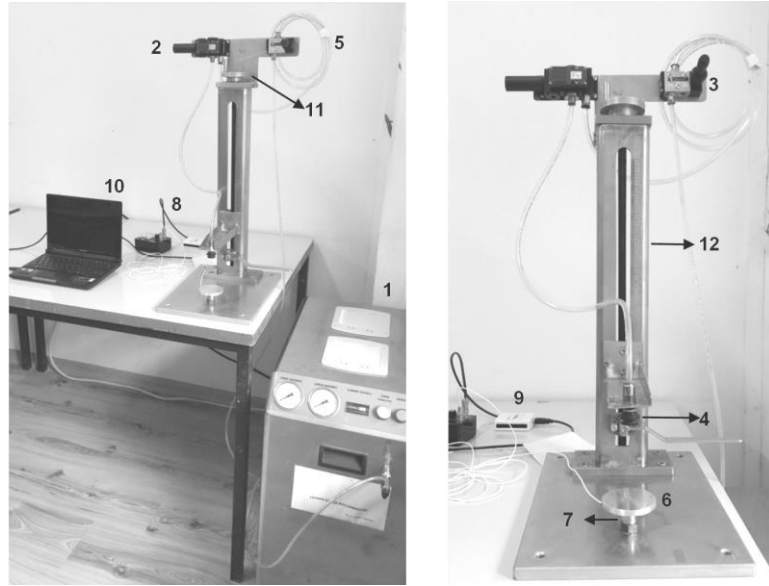
Miraei Ashtiani ve ark. 2014; Schulze ve ark. 2015). Yukarıda ifade edildiği gibi görüntü işleme tekniği kullanılarak yapılan ölçümlerde, meyveler aynı boyuta sahip olsalar dahi yoğunluk farkından dolayı kütleleri de farklı çıkabilmektedir. Özellikle elma, domates ve narenciye de bu durum belirgin olarak kendini göstermektedir. Bunun yerine gerçek zamanlı ölçümler yapılarak kütle hesaplanması daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Dinamik tartım modülüne sahip sınıflandırma da meyve ve sebzeler taşıyıcı sistem üzerinde yük hücreleri üzerinden geçirilerek ölçümleri alınmakta ve farklı matematiksel hesaplama yöntemleri kullanılarak kütleleri tahmin edilmektedir (Elbeltagi, 2011). Ayrıca, kuvvet algılayıcısı üzerine ürüne hasar vermeyecek yüksekliklerden düşürülerek de meyve ve sebzelerin kütle tahmini yapılabilmektedir (McGlone ve ark. (1997) ve Qarallah ve ark. (2008) adlı araştırmacılar kütle moment ilişkisinden yola çıkarak kivi ve soğan kütlelerini hasarsız çarpma tekniği kullanarak tahmin etmişlerdir.

Bu çalışmada, hasarsız çarpma tekniği kullanarak domates meyvesinin kütle tahmininde önceki araştırmacılar tarafından kullanılan farklı model yaklaşımlarının değerlendirilmesi ve çoklu doğrusal regresyon (MLR) analiz yöntemi kullanılarak yeni bir kütle tahmin modelinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, MLR analiz yöntemi kullanılarak geliştirilen kütle tahmin modelinin diğer tahmin yaklaşımları ile karşılaştırılması da çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, 2016 yılı Şubat ayında *Bandita F1* salkım sırtık domates çeşidi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Denemeler süresince test edilen domatesler Adana ilindeki ticari bir seradan temin edilmiştir. Domatesler farklı kütle grupları oluşturmak amacıyla değişik boyutlarda hasat edilmiştir. Denemeler süresince toplam 135 adet domates örneğinde ölçümler yapılmıştır. Denemelerde kullanılan domateslerin ortalama kütle, ekvatorial çap, yükseklik ve kalınlık değerleri sırasıyla 71.65 ± 10.52 g, 53.38 ± 2.32 mm, 44.87 ± 1.96 mm ve 53.12 ± 2.29 mm olarak ölçülmüştür.

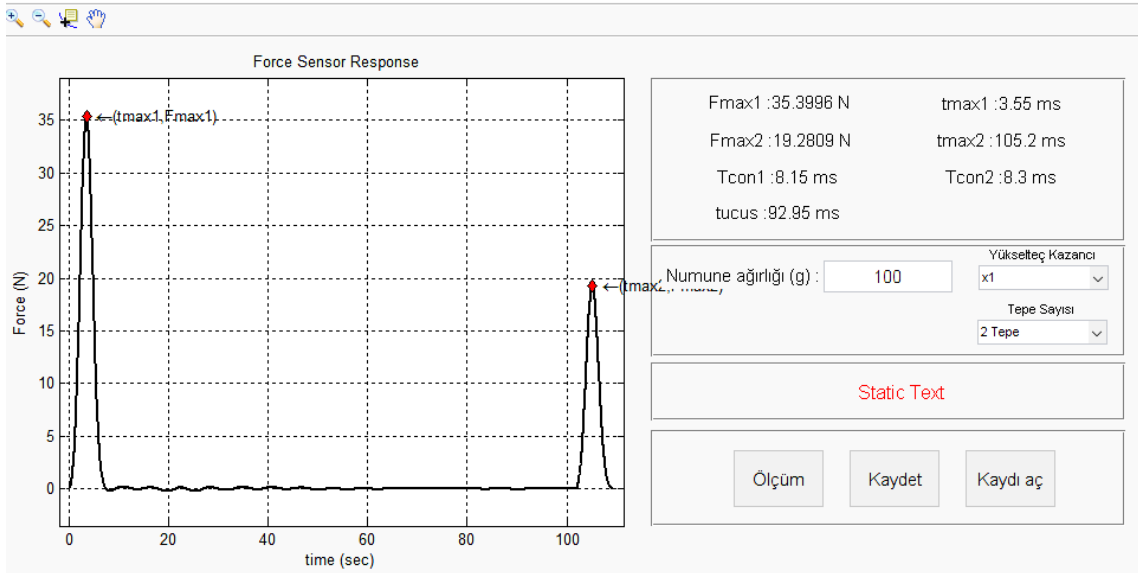
Mekanik hasarsız çarpma tekniği kullanılarak yapılan kütle ölçümlerinde dinamik çarpma test düzeneği kullanılmıştır (Şekil 1). Şekil 1’de görüldüğü gibi test cihazı bir çok bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; sessiz kompresör (1), vakum pompası (2), açma-kapama valfi (3), vantuz (4), bağlantı hortumları (5), çarpma plakası (6), çarpma plakasının altına vidalanmış olan kuvvet algılayıcı (7), yükselteç (8), veri toplama kartı (9) ve yazılımdır (10). Meyvelerin düşme yüksekliği test cihazı üzerinde bulunan yükseklik ayar kolu (11) yardımıyla ayarlanabilmektedir. Test düzeneğinin yan kısmında ölçekli bir cetvel (12) yer almaktadır. Vantuz aracılığıyla vakum etkisiyle tutulan örnekler açma-kapama valfi aracılığıyla vakum etkisi kaldırılarak çarpma plakası üzerine düşürülmektedir.



Şekil 1. Dinamik çarpma test düzeni ve bileşenleri

Denemelerde domates ile çarpma plakası arasındaki mesafe, Lien ve ark. (2009) tarafından önerildiği gibi 2 cm olacak şekilde ayarlanmış ve her çarptırmadan önce bu mesafe kontrol edilmiştir. Çarpma plakasının altına vidalanmış olan kuvvet algılayıcı sinyalleri NI USB-6009 veri toplama kartı kullanılarak alınmıştır. Alınan sinyaller tek kanallı bir yükseltici yardımıyla (Model 4102C, DYTRAN) yükseltilmiş ve veri toplama kartının 14 bit hassasiyetli analog-dijital dönüştürücüsü ile

sayısallaştırılmıştır. Kuvvet algılayıcı sinyalleri, 100 kHz örnekleme aralığında seçilmiş ve belirlenen kuvvet verileri MATLAB yazılımı kullanılarak işlenmiştir. MATLAB yazılımı ara yüzünde tek ve ikili çarpma kuvvet-zaman grafikleri eş zamanlı olarak görüntülenebilmektedir (Şekil 2). Şekil 2’de ara yüze ait ikili çarpma kuvvet-zaman grafiğine ve ölçülen çarpma parametrelerine bir örnek verilmiştir.



Şekil 2. MATLAB ara yüzüne ait ikili çarpma kuvvet-zaman grafiği ve ölçülen çarpma parametreleri

Kuvvet algılayıcı üzerine yapılan düşürme testlerinde domates örnekleri çarpma plakası üzerine ekvatorial bölgenin iki ayrı noktasında iki kere çarptırılmıştır. Çarpma sonrası birinci çarpma maksimum kuvvet değeri (F_{max1}), ikinci çarpma

maksimum kuvvet değeri (F_{max2}), birinci çarpmanın maksimum zamanı (t_{max1}), ikinci çarpmanın maksimum zamanı (t_{max2}), birinci çarpma temas zamanı (t_{con1}), ikinci çarpma temas zamanı (t_{con2}) ve iki çarpma arasında geçen süre ($t_{uçuş}$) parametreleri ölçülmüştür.

Denemeler süresince 135 domates örneği ile çalışılmış olup ekvatorial bölgede işaretilenmiş iki ayrı yer üzerinde çarpıtma işlemleri uygulanmıştır. Toplamda 270 adet mekanik hasarsız çarpıtma işlemi kaydedilmiş ve her domates örneğinde ekvatorial bölgenin iki ayrı noktasında yapılan ölçüm değer ortalamaları, istatistiksel analizlerde kullanılmıştır. Domates örneklerinin kütle tahmini için, önceki araştırmacılar tarafından kullanılan ve çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılarak geliştirilmiş olan matematiksel model eşitliklerin oluşturulmasında yukarıda verilmiş olan çarpma parametrelerinden yararlanılmıştır.

2.1. Kütle tahmin modelleri

Domateslerin kütle tahminine yönelik üç farklı kütle tahmin modeli kullanılmıştır.

Model 1

Bir meyve düşey yönde sabit bir yüzey üzerine düşürüldüğünde yüzey üzerinde durağan konuma gelene kadar her çarpmadaki enerji kaybı ile birkaç kez sıçrayacaktır. Dönüşüm katsayısı değeri (e) çarpma büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. e katsayısı çarpmanın elastiklik seviyesi ile ilgili olduğu için düşük e değeri önemli derecede elastik olmayan işlemlerin gerçekleştiğini göstermektedir. Tam elastik çarpma koşulunda $e=1$ dir. Tam plastik çarpma koşulunda ise $e=0$ olmaktadır. Dönüşüm katsayısı aşağıda verilmiş olan eşitlik yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$e = \frac{V_f}{V_i} \quad (1)$$

Burada; V_i : çarpma öncesi meyvenin ilk hızını ($m s^{-1}$) ve V_f : çarpma sonrası meyvenin hızını ($m s^{-1}$) ifade etmektedir.

McGlone ve ark. (1997) adlı araştırmacılar kivi meyvesinin kütle tahmini için impuls momentum ilişkisinden yararlanmışlardır. İmpuls değerleri çarpma kuvveti-temas zamanı eğrisi altında kalan alanı ifade etmektedir. Bu araştırmacılar, aşağıda verilmiş olan eşitliği kullanarak birinci ve ikinci çarpma bölgelerinin impuls hesaplamasını yapmışlardır.

$$I_{a,b} = \int_0^{t_c} F dt = m(V_f + V_i) = mV_f \left(1 + \frac{1}{e}\right) \quad (2)$$

Meredith ve ark. (1990) adlı araştırmacılar ardışık iki çarpma sonucunda oluşan kuvvet-zaman eğrileri altında kalan alan oranının dönüşüm katsayısına eşit olduğunu belirlemiştir. Bu durumda dönüşüm katsayısı aşağıdaki şekli almaktadır.

$$e = \frac{I_b}{I_a} \quad (3)$$

Burada; I_a : Birinci çarpma bölgesinin impuls değerini (Ns) ve I_b : ikinci çarpma bölgesinin impuls değerini (Ns) ifade etmektedir.

Şekil 2’de verilmiş çarpma koşulu ardışık iki çarpma durumunda oluşan kuvvet-zaman grafiklerini örneklemektedir. Birinci çarpma sonrası meyvenin sıçrama hızına $V_{f,a}$ ve sıçrama sonrası ikinci çarpma için gerekli olan hızda $V_{i,b}$ dersek bu koşulda 4 nolu eşitlik elde edilmektedir.

$$V_{f,a} = V_{i,b} = \frac{gt_{uçuş}}{2} \quad (4)$$

Burada; g : yerçekimi ivmesi ($9.81 m s^{-2}$) ve $t_{uçuş}$: iki çarpma arasında geçen süreyi (s) ifade etmektedir.

1-4 nolu eşitlikler birleştirildiğinde aşağıda verilmiş olan 5 nolu eşitlik elde edilmektedir. Domates kütlelerinin hesaplamalarında bu eşitlik kullanılmış olup Model 1 olarak ifade edilmiştir.

$$m = \frac{2I_a}{gt_{uçuş} \left(1 + \frac{1}{e}\right)} \times 10^{-3} \quad (5)$$

Burada; m : domatesin kütlesi (g), I_a : Birinci çarpma bölgesindeki impuls değeri (Ns), g : yerçekimi ivmesi ($9.81 m s^{-2}$), $t_{uçuş}$: iki çarpma arasında geçen süre (s) ve e : dönüşüm katsayısı’dır.

Model 2

Qarallah ve ark. (2008) adlı araştırmacılar, çarpma tekniği kullanarak soğan kütlelerini tahmin etmek için impuls momentum ilişkisinden faydalanmışlardır. Bu araştırmacılar sadece birinci çarpma bölgesindeki impuls değerlerini kullanarak kütle tahmini yapmışlardır. Yapılan ölçümlerde, her çarpma işlemi sonrası birinci çarpmaya ait impuls değerlerini (I_a), domates meyvelerinin kütle değerleri ile ilişkilendirmek için aşağıda verilmiş olan eşitliği kullanmışlardır.

$$I_a = \int_0^{t_c} F(t) dt = \frac{1}{f_s} \sum_{i=1}^{f_s} F_i \quad (6)$$

6 nolu eşitlikte I_a çarpma parametresi bağımsız değişken olarak dikkate alınarak ve ölçülen domates kütle değerleri ile ilişkilendirilerek basit doğrusal regresyon model eşitliği geliştirilmiştir. Eşitlikte yer alan f_s parametresi örnek sayısını ifade etmektedir. Geliştirilen model eşitlik *Bandita F1* domates çeşitlerinin kütle tahmininde kullanılmıştır. Geliştirilen basit doğrusal model eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$m = 707.67I_a - 1.74 \quad (7)$$

Burada; m : domatesin kütlesi (g) ve I_a : Birinci çarpma bölgesindeki impuls değeri’dir (Ns).

Model 3

Domateslerin kütle tahmini için çoklu doğrusal regresyon analiz (MLR) yöntemi kullanılarak matematiksel model eşitlik geliştirilmiştir. Bağımsız değişken olarak 9 adet çarpma parametresi istatistiksel değerlendirmelerde kullanılmıştır. Hasarsız çarpma parametreleri olarak ta adlandırılan bu parametreler ve ölçü birimleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Hasarlı ve hasarsız ölçüm parametreleri

Sembol	Tanımlamaları	Ölçü birimi
I_a	Birinci çarpmanın impuls değeri	Ns
I_b	İkinci çarpmanın impuls değeri	Ns
$t_{\max 1}$	Birinci çarpmanın maksimum zamanı	s
$t_{\max 2}$	İkinci çarpmanın maksimum zamanı	s
$t_{\text{con}1}$	Birinci çarpma temas zamanı	s
$t_{\text{con}2}$	İkinci çarpma temas zamanı	s
$t_{\text{uçuş}}$	İki çarpma arasında geçen süre	s
$F_{\max 1}$	Birinci çarpma maksimum kuvvet değeri	N
$F_{\max 2}$	İkinci çarpma maksimum kuvvet değeri	N

Çizelge 1’de verilmiş olan dokuz çarpma parametresinin kullanımını, sayısal ve mantıksal işlemlerin gerçek zamanlı uygulamalarında karmaşıklıklara neden olabilir. Bu nedenle, çarpma parametre sayısını azaltmak için stepwise regresyon analizi kullanılmıştır. Stepwise regresyon analizi sonuçlarına göre I_a , $F_{\max 1}$, $F_{\max 2}$ ve $t_{\text{uçuş}}$ çarpma parametrelerinin istatistiksel olarak en önemli parametreler olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda aşağıda verilmiş olan çoklu doğrusal matematiksel model eşitliği elde edilmiştir.

$$m = 5.73 + 893.60I_a - 0.88F_{\max 1} + 0.75F_{\max 2} - 131.32t_{\text{uçuş}} \quad (8)$$

Burada; m: domatesin kütlesi (g), I_a : Birinci çarpma bölgesindeki impuls değeri (Ns), $F_{\max 1}$: Birinci çarpma maksimum kuvvet değeri (N), $F_{\max 2}$: İkinci çarpma maksimum kuvvet değeri (N) ve $t_{\text{uçuş}}$: iki çarpma arasında geçen süre (s)’dir.

Model 3 olarak adlandırılan ve çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılarak geliştirilen 8 nolu eşitlik kullanılarak domates meyvelerinin kütle tahmini yapılmıştır.

2.2. Model performanslarının değerlendirilmesi

Kütle tahmin modellerinde kullanılan (Model 1-3) 135 adet domates için elde edilen ortalama kütle değerleri öncelikle iki gruba ayrılmıştır. Kütle verilerinin %60’ı kalibrasyon amaçlı, %40’ı da doğrulama (tahmin) amaçlı kullanılmıştır. Model 2 ve 3’e ait olan matematiksel model eşitlikler oluşturulurken %60’lık veri setinden yararlanılmıştır. % 40’lık veri seti de geliştirilen matematiksel model eşitliklerin doğrulanması amaçlı kullanılmıştır. Tüm istatistiksel değerlendirmelerde SPSS 20.0 paket programından yararlanılmıştır. Kalibrasyon ve doğrulamanın ortalama mutlak hatası (MAE), hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) ve ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) geliştirilen ve önceki araştırmacılar tarafından kullanılmış olan model eşitliklerinin performans değerlendirmelerinde kullanılmıştır. Kalibrasyon ve doğrulamanın ortalama mutlak hatası (MAPE), hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) ve ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) aşağıda verilmiş olan

eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i^{act} - Y_i^{est}| \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i^{act} - Y_i^{est})^2} \quad (10)$$

$$MAPE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i^{act} - Y_i^{est}|}{Y_i^{act}} \right) \cdot 100 \quad (11)$$

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 ve n: toplam ölçüm sayısını ifade etmektedir.

Model değerlendirmesinin tamamı için, belirtme katsayısı (R^2) değeri de hesaplanmıştır. R^2 değeri 0 – 1 aralığında değişmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Kalibrasyon ve doğrulama veri gruplarına ait istatistiksel sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 2’de verilmiş olan ölçülen veri grupları istatistiksel sonuçlarına göre, doğrulama verilerinin ortanca değeri (73.59 g) kalibrasyon verileri ortanca değerinden (68.22 g) daha yüksek çıkmıştır. Buna karşın, yapılan U-testi (Mann-Whitney) sonuçları kalibrasyon ve doğrulama verileri aralarındaki farkın istatistiksel olarak önemsiz olduğunu göstermiştir ($P>0.05$). Ayrıca, Model 1 kullanılarak tahmin edilen kalibrasyon ve doğrulama istatistik sonuçlarının ölçülen domates kütle sonuçlarından istatistiksel olarak farklılık gösterdiği belirlenmiştir ($P<0.05$). Model 2 ve 3 kullanılarak yapılan tahminler ise ölçülen kütle tahminleri ile istatistiksel olarak fark göstermemiştir.

Kalibrasyon ve doğrulama veri grupları kullanılarak performans değerlendirme ölçümleri yapılmış ve Çizelge 3’de verilmiştir. RMSE her iki veri grubunda da Model 3 için en düşük bulunmuştur. Bu değerler sırasıyla kalibrasyon ve doğrulama için 2.50 g ve 2.69 g olarak gerçekleşmiştir. Model 3’e ait RMSE değerleri doğrulama veri grubu ile karşılaştırıldığında kalibrasyon

Çizelge 2. Üç model yaklaşımdan tahmin edilen ve gerçek ölçüm değerlerini içeren kalibrasyon ve doğrulama gruplarının istatistiksel sonuçları

	Ölçülen	Hesaplanan		
		Model 1	Model 2	Model 3
<i>Kalibrasyon (n=84)</i>				
Ortalama (g)	71.64	85.22	71.65	71.64
Standart sapma (\pm)	10.52	10.78	10.04	10.21
Minimum (g)	46.49	55.70	45.65	45.66
Maksimum (g)	89.89	107.40	89.54	90.39
Ortanca	68.22	85.68	70.38	69.57
<i>Doğrulama (n=51)</i>				
Ortalama (g)	77.18	89.94	75.24	76.09
Standart sapma (\pm)	11.51	11.77	10.84	10.95
Minimum (g)	59.20	70.16	56.22	57.45
Maksimum (g)	104.91	117.60	103.69	104.49
Ortanca	73.59	86.69	71.76	72.85

veri grubunda daha yüksek bulunmuştur. Model 2'de RMSE değeri Model 3'e benzer şekilde doğrulama veri grubunda (3.45 g) kalibrasyon veri grubundan (3.11 g) daha yüksek çıkmıştır. Model 1'e ait RMSE değerleri hem kalibrasyon (14.46 g) hem de doğrulama (10.35 g) veri grubunda Model 1 ve 3'e kıyasla daha yüksek sonuçlar vermiştir. Ancak diğer sonuçların tersine kalibrasyon veri grubundaki RMSE değeri doğrulama veri grubundaki RMSE değerinden düşük çıkmıştır. Doğrulama veri grubundaki her modelin RMSE değerleri karşılaştırıldığında, Model 1'in RMSE değerinin Model 2 değerinden yaklaşık olarak 3 kat ve Model 3 değerinden de yaklaşık 4 kat daha fazla olduğu bulunmuştur. Model 3 kullanılarak elde edilen hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) değeri bize yaklaşık 100 g'lık bir domates meyvesi ölçüldüğünde hatanın ± 2.5 g olduğunu ifade etmektedir.

Elektronik yaş meyve sebze sınıflandırma hatlarında yük hücrelerinin kullanıldığı dinamik tartım yönteminde sınıflandırma hassasiyetinin $\pm 1-1.5$ g olduğu dikkate alındığında hasarsız çarpma tekniği kullanılarak yapılan sınıflandırma da hatanın bir miktar yüksek çıktığı görülmektedir. Hata bir miktar yüksek çıkmakla birlikte yapılacak bazı iyileştirmeler ile kütle tahmin hatasının aşağıya çekilebileceği düşünülmektedir. Bu nedenle, yapılacak iyileştirmeler ile yaş meyve sebze

sınıflandırma hatlarında hasarsız çarpma tekniği kullanılarak yapılacak kütle tahmini yük hücrelerinin kullanıldığı dinamik tartım yöntemine bir alternatif olabilir.

Çizelge 3'de verilmiş olan model yaklaşım performans parametrelerinin tümü üzerinden bir değerlendirme yapıldığında ve değerlendirmeler de RMSE, MAE ve MAPE değerlerinin en küçük ve R^2 değerinin en yüksek koşulu dikkate alındığında, Model 3'ün en iyi tahmin sonucunu verdiği Çizelge 3'den görülebilmektedir. Bunu sırasıyla Model 2 ve Model 1 izlemiştir. Kalibrasyon veri grubunda yer alan Model 1, 2 ve 3 için hesaplanan MAPE değerleri sırasıyla %0.51, %2.41 ve %19.50 olarak hesaplanmıştır. Doğrulama veri grubunda MAPE değerleri benzer sırayı izlemiş olup Model 3'e ait değer kalibrasyon veri grubundan bir miktar fazla çıkmıştır. Sonuç olarak, tüm model yaklaşım performans parametre değerleri dikkate alındığında Model 3'ün domates kütle tahmininin de kullanımının doğru bir yaklaşım olacağı belirlenmiştir.

McGlone ve ark. (1997) adlı araştırmacıların kivi meyvesi için Model 1 kullanarak yapmış oldukları kütle tahmininin de ölçülen ve tahmin edilen kütle değerleri arasındaki iyilik derecesini (R^2) 0.94 olarak belirlemişlerdir. Domates meyvesi kullanarak yapmış olduğumuz hesaplamalarda kalibrasyon ve

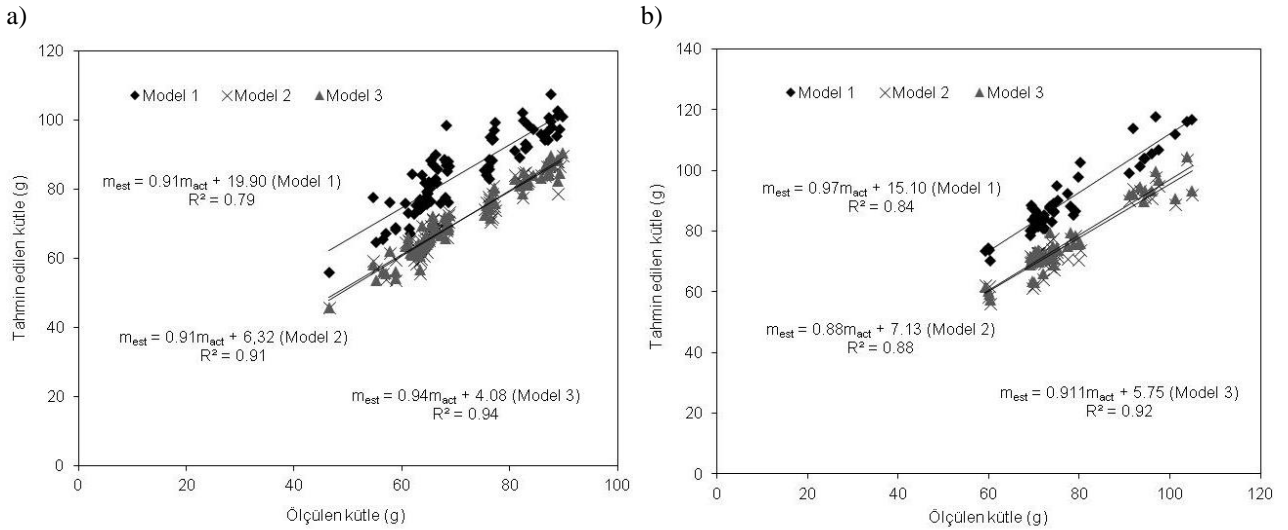
Çizelge 3. Domates kütlesini tahmin için kullanılan üç model yaklaşımın performans değerlendirme ölçümleri (RMSE: hata kareler ortalamasının karekökünü; MAE: ortalama mutlak hatayı; MAPE: ortalama mutlak hata yüzdesini ve R^2 : belirtme katsayısını ifade etmektedir)

	RMSE	MAE	MAPE	R^2
<i>Kalibrasyon (n=84)</i>				
Model 1	14.46	13.58	19.50	0.79
Model 2	3.11	1.08	2.41	0.91
Model 3	2.50	1.01	0.51	0.94
<i>Doğrulama (n=51)</i>				
Model 1	10.35	7.75	10.27	0.84
Model 2	3.45	1.18	1.23	0.88
Model 3	2.69	0.67	0.69	0.92

doğrulama veri grupları için elde edilen 0.79 ve 0.84'lük iyilik dereceleri (R^2) araştırmacıların sonuçlarından bir miktar düşük çıkmıştır. Bu durum meyvenin fiziko-mekanik yapısındaki farklılıklardan kaynaklanabilmektedir. Ayrıca, Qarallah ve ark. (2008) soğanın kütle tahmini için Model 2'yi kullanmışlardır. Araştırmacıların sonuçlarına soğan kütlelerinin 0.98'lik iyilik derecesi ile tahmin edilebileceği belirlenmiştir. Bu sonuçlar ile karşılaştırma yapıldığında kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için hesaplanan 0.91 ve 0.88'lik iyilik derecelerinin araştırmacıların sonuçlarından düşük çıktığı görülebilmektedir. Araştırmacıların düşürme pozisyonu, düşme mesafesi ve çarpma yüzeyi üzerinde

farklı kalınlıklarda sönmüleyici malzeme kullanımı sonuçların farklı çıkmasında etkili olmuş olabilir.

Kalibrasyon ve doğrulama veri gruplarına ait ölçülen ve tahmin edilen domates kütle değerlerine ait grafikler Şekil 3'te verilmiştir. Kalibrasyon ve doğrulama verileri kullanılarak oluşturulan grafiklerde de görüldüğü gibi ölçülen ve tahmin edilen kütle değerleri arasındaki ilişki yüksek çıkmıştır. Kalibrasyon veri grubu için iyilik dereceleri (R^2) Model 1, 2 ve 3 için sırasıyla 0.79, 0.91 ve 0.94 olarak hesaplanmıştır. Bu durum doğrulama veri grubu için sırasıyla 0.84, 0.88 ve 0.92 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 3. Üç modele ait kalibrasyon (a) ve doğrulama (b) örnek verilerinin ölçülen (m_{act}) ve tahmin edilen (m_{est}) kütle değerlerinin karşılaştırılması

Bu ilişki bize özellikle Model 3'de hasarsız çarpma tekniği kullanılarak tahmin edilen kütle değerleri ile ölçülen kütle değerlerinin çok yakın sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bunu sırasıyla Model 2 ve Model 1 izlemiştir. Sonuçlar, hasarsız çarpma tekniği ile elde edilen çarpma parametreleri (I_a , F_{max1} , F_{max2} ve $t_{uçuş}$) kullanılarak geliştirilmiş olan MLR modelinin, (Model 3) farklı kütle değerlerine sahip sera domateslerinin kütlelerini hasarsız tahmin etmek için kullanılabilirliğini göstermiştir.

4. Sonuç

Üç farklı kütle tahmin modeli kullanılarak yapılan ölçümler sonucunda, hasarsız çarpma tekniği ile elde edilen ve stepwise regresyon analizi ile belirlenen çarpma parametreleri (I_a , F_{max1} , F_{max2} ve $t_{uçuş}$) kullanılarak geliştirilmiş olan MLR modelinin (Model 3) domateslerinin kütle tahmini için kullanılabilirliğini göstermiştir. Bunu sırasıyla Model 2 ve Model 1 izlemiştir. Model 3 için elde edilen performans değerlendirme ölçümleri sonucunda kalibrasyon ve doğrulama RMSE değerleri sırasıyla 2.50 g ve 2.69 g

olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar bize yaklaşık 100 g'lık bir domates örneğinde ± 2.5 g'lık bir sapmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Elektronik yaş meyve sebze sınıflandırma hatlarında kullanılan yük hücreleri ile yapılan gerçek zamanlı kütle ölçümlerindeki sınıflandırma hassasiyeti ($\pm 1-1.5$ g) ile çarpma tekniğiyle elde edilen kütle tahmin hassasiyetleri karşılaştırıldığında çarpma tekniğindeki hassasiyet değerleri bir miktar yüksek çıkmıştır. Buna karşın, mekanik, yazılım ve donanımsal bir takım düzenlemeler ile yaş meyve sebze sınıflandırma hatlarında hasarsız çarpma tekniği kullanılarak yapılacak kütle tahmini yük hücrelerinin kullanıldığı gerçek zamanlı ölçüm yöntemine bir alternatif olabilir.

Ayrıca, çarpma tekniği kullanılarak yapılan kütle ölçümlerinde meyve kuvvet algılayıcı üzerine en az iki kez çarptırılmalıdır. Bu durumda meyvenin elastikliğine ve düşme yüksekliğine de bağlı olarak yaklaşık olarak 100 ms'lik bir süre geçmektedir. Taşıyıcı sistemler arasındaki mesafe ve her ürün için ölçüm süresi de eklendiğinde 200 ms'lik bir sürede meyve kütle tahmini gerçekleştirilebilir. Bu ölçüm süresi saniyede yaklaşık 5 meyvenin sınıflandırılabilirliği anlamına

gelmektedir. Sonuçlar hasarsız çarpma tekniği kullanılarak yapılan kütle tahmininin dinamik ortamda gerçek zamanlı yapılacak sınıflandırma işlemlerinde de kullanılabileceğini, gereksinim duyulan bazı iyileştirmeler için de yukarıda belirtilmiş olan ek çalışmalara ihtiyaç duyulacağını göstermektedir.

Kaynaklar

- Ghazavi, M.A., Karami, R., Mahmoodi, M., 2013. Modeling some physic-mechanical properties of tomato. *Journal of Agricultural Science*, 5(1): 210-223.
- Hasan Miraei Ashtiani, S., Motie, J.B., Emadi, B., Hosein Aghkhani, M., 2014. Models for predicting the mass of lime fruits by some engineering properties. *Journal of Food Science and Technology*, 51(11): 3411-3417.
- Izadi, H., Kamgar, S., Raufat, M.H., Samsami, S., 2014. Mass and volume modeling of tomato based on physical characteristics. *Scientific Journal of Crop Science*, 3(1): 1-8.
- Khoshnam, F., Tabatabaefar, A., Ghasemi Varnamkhasti, M., Borghei, A., 2007. Mass modeling of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit with some physical characteristics. *Scientia Horticulturae*, 11(4): 21-26.
- 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.
- McGlone, V.A., Jordan, R.B., Schaare, P.N., 1997. Obtaining mass from fruit impact response. *Transactions of the ASAE*, 40(5): 1417-1419.
- Meredith, F.I., Leffler, R.G., Lyon, C.E., 1990. Detection of firmness in peaches by impact force response. *Transactions of the ASAE*, 33(1): 186-188.
- Qarallah, B., Shoji, K., Kawamura, T., 2008. Development of a yield sensor for measuring individual weights of onion bulbs. *Biosystems Engineering*, 100(4): 511-515.
- Sabzi, S., Javadikia, P., Rabani, H., Adelkhani, A., 2013. Mass modeling of Bam orange with ANFIS and SPSS methods for using in machine vision. *Measurement*, 46: 3333-3341.
- Schulze, K.S., Nagle, M., Spreer, W., Mayahothee, B., Müller, J., 2015. Development and assessment of different modeling approaches for size-mass estimation of mango fruits (*Mangifera indica* L., cv. "Nam Dokmai"). *Computers and Electronics in Agriculture*, 14: 269-276.
- Shahbazi, F., Rahmati, S., 2012. Mass modeling of fig (*Ficus carica* L.) fruit with some physical characteristics. *Food Science & Nutrition*, 1(2): 125-129.
- Spreer, W., Müller, J., 2011. Estimating the mass of mango fruit (*Mangifera indica*, cv. Chok Anan) from its geometric dimensions by optical measurement. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75: 125-131.
- Tabatabaefar A., Rajabipour, A., 2005. Modeling the mass of apples by geometrical attributes. *Scientia Horticulturae*, 105: 373-382.