

Domates Sertliğinin Hasarsız Tahmini İçin Renk Değerlerinin Modellenmesi

Kubilay Kazım VURSAVUŞ^{1,*}

Zehan KESİLMİŞ²

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

² Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye

*Sorumlu yazar: E-mail: kuvursa@cu.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 15.12.2016

Kabul Tarihi (Accepted): 06.04.2017

Bu çalışmada, el tipi renk ölçüm cihazı ile ölçülen renk değerleri (L , a , b) kullanılarak domates kabuk yırtılma kuvveti ve kabuk sertliğinin hasarsız tahmin potansiyeli araştırılmıştır. Denemelerde *Bandita F1* çeşidi sera domatesleri kullanılmıştır. Farklı olgunluk seviyelerinde hasat edilmiş olan 238 adet domatesin L , a ve b renk değerleri Minolta CR-400 model renk ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Domateslerin kabuk yırtılma noktasındaki kuvvet (F_R) ve kabuk sertliği (F_R/F_D) sertlik parametresi olarak ölçülmüş ve renk değerleri ile ilişkilendirilmiştir. Domates sertlik parametreleri ve L , a ve b renk değerleri farklı formdaki çoklu doğrusal regresyon (MLR) modelleri kullanılarak incelenmiştir. MLR kullanılarak geliştirilen model eşitlikte a , b ve ab renk değerleri seçilmiştir. 238 adet domates için elde edilen ortalama sertlik değerleri öncelikle iki gruba ayrılmıştır. Renk ve sertlik verilerinin %70'i kalibrasyon, %30'u da doğrulama (tahmin) veri grupları için kullanılmıştır. Seçilmiş olan model eşitliğinin kalibrasyonu 167 adet ve doğruluğu da farklı olgunluk seviyesindeki 71 adet domates örnekleri ile test edilmiştir. Geliştirilen model eşitlikte a , b ve ab renk değerlerinin kullanılması durumunda ölçülen ve tahmin edilen domates kabuk yırtılma kuvveti arasındaki ilişki yüksek bulunmuştur. Ayrıca, kalibrasyon ve doğrulama verileri için belirtme katsayıları (R^2) sırasıyla 0.88 ve 0.89 olarak hesaplanmıştır. Bu performans, hasarsız renk ölçümünün domateslerin gerçek zamanlı sertlik tahmininde kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Renk değerleri, Regresyon modelleri, Domates; kabuk yırtılma kuvveti, kabuk sertliği, Hasarsız ölçüm

Modeling of Color Values for Nondestructive Prediction of Tomato Firmness

In the present research, the potential of a nondestructive method for predicting tomato skin rupture force and skin firmness using color values taken by handheld colorimeter was explored. *Bandita F1* variety greenhouse tomatoes were used in the test. L , a and b color values of 238 tomatoes harvested at six different maturity stages were measured by Minolta CR-400 model colorimeter. Skin rupture force and skin firmness of tomatoes were measured as firmness parameters and correlated with color values. Tomato firmness parameters and L , a and b values were fitted in different forms of models using multiple linear regression (MLR). The model using MLR on variables a , b and the product ab was selected. Average firmness values of 238 tomato samples were primarily separated to two groups. 70% and 30% of color and firmness values were used for calibration and validation data set, respectively. Calibration and validation of chosen model equation were tested by using tomato samples of 167 and 71 data set, respectively. Relationship between measured and predicted tomato skin rupture force in the case of using a , b and ab color values was found high. Furthermore, coefficient of determinations for calibration and validation data set were found to be 0.88 and 0.89, respectively. This performance shows that nondestructive color measurement by handheld colorimeter could be used for real-time firmness prediction of tomatoes.

Key Words: Color values, Regression models, Tomato, Skin rupture force, Skin firmness, Nondestructive measurement

Giriş

Bir meyvenin sertliği, o meyvenin mekanik, kimyasal ve reolojik özellikleri ile açıklanabilmektedir. Meyve sertliği olgunluk ile ters orantılıdır ve bu nedenle yaş meyve ve sebze sınıflandırmalarında alternatif olgunluk indeksi olarak kullanılabilmektedir (Mohsenin,1970; Lesage ve Destarin, 1996). Domates meyvesinde

renk bir olgunluk parametresi olmakla birlikte sertlik domates meyve kalitesine katkı sağlayan ana faktörlerden biridir. Tüketiciler domates kalitesini sertlik, renk ve tat ile algılayabilmektedir (Batu, 2004).

Domatesin tekstürel özelliği (meyve eti sertliği ve kabuk direnci) depolama, dağıtım ve olgunluk süresince değişim göstermekte ve bu durum

domateslerin mekanik zedelenmelere karşı hassasiyetini artırabileceği için önemli bir problem oluşturabilmektedir (Batu, 2004). Meyve sertlik derecesi, meyve kalite göstergesi olarak kullanılmıştır ve bu nedenle sertlik; domates, şeftali, nektarin, armut, kivi vb. meyveler için tüketicilerin satın alma kararını verdikleri son indeks olabilmektedir (Burton, 1982). Domateslerin hasadı sonrası olgunluk devam etmekte ve domatesler çok hızlı bir şekilde olgunlaşabilmektedir. Bu durum kalite kayıplarına yol açabilmekte ve domateslerin raf ömrünü sınırlayabilmektedir (Geeson ve ark., 1985; Wu ve Abbott, 2002; Lana ve ark., 2005). Bir çok araştırmacı domates hasadında olgunluk belirlemek amacıyla USDA renk sınıflandırma kriterlerini kullanmıştır (Kader ve ark., 1978; Edan ve ark., 1997; Lopez Camelo ve Gomez, 2004; Batu, 2004; Baltazar ve ark., 2008; Bui ve ark., 2010; Sirisomboon ve ark., 2012;). Domatesler, USDA renk kataloğunda belirtilen renk olgunlaşma aşamaları olan yeşil olum dönemi (kabuk tamamen yeşil, ancak fizyolojik olarak olgunlaşabilir), renk kırılma dönemi (kabuk yeşil ağırlıklı olmasına rağmen pembemsi ve kırmızimsı noktalar belirmeye başlamış), renk dönüşüm dönemi (kabuk kısmen sarımsı ve pembemsi fakat yeşil ağırlıklı), pembe olum (yeşil renk tamamen kaybolmuş ve açık pembe veya kırmızimsı renk ağırlıkta), açık kırmızı olum (pembelik kaybolmuş ama koyu kırmızı renge ulaşamamış), kırmızı olum (tamamen kırmızı) aşamalarındaki renk safhalarına göre sınıflandırılmaktadır (USDA, 1976; Batu ve ark., 1997).

Domatesler uzun mesafelere iletilecekse çoğunlukla renk dönüşüm döneminde iken hasat edilmektedir. Yakın mesafelere iletilecek olan domateslerin ise pembe ya da açık kırmızı olum dönemlerinde hasat işlemleri gerçekleştirilmektedir. Her iki safhada da domateslerin belirli bir sertlik sınır değerinin altında olmaması istenmektedir (Edan ve ark., 1997). Domates rengi ve renk değişimi çoğunlukla enstrümantal yöntemler kullanılarak belirlenmektedir. Renk ölçüm cihazları (Minolta Chroma ve HunterLab) renk indeksi belirlemek için kullanılan etkili bir yoldur (Batu, 2004; Baltazar ve ark., 2008). Bir çok çalışmada domateslerdeki olgunluk safhası ve renk gelişimi arasında pozitif ilişki olduğu belirtilmiş olmasına rağmen, bu ilişki tam olarak anlaşılammıştır (Hobson ve ark., 1983; Batu, 1998, 2004; Thai ve Shewfelt, 1990, 1991). USDA renk kataloğunda belirtilen renk olgunlaşma aşamaları belirleme yöntemi dışında

ticari olarak domateslerin olgunluk safhalarının belirlenmesinde renk kartelaları ve skalaları geliştirilmiştir. Fakat bu yöntemlerle domateslerin olgunluk safhalarının tespiti hala hassas bir şekilde yapılamamaktadır (Van Zeebroeck ve ark., 2007). Domateslerin sertlik sınıflandırması için belirli bir standart bulunmamaktadır. Araştırmacılar tarafından yapılan domates sertlik sınıflandırmalarında, renk olgunluk kriterleri dikkate alınmakta ve buna göre sertlik sınıflandırmaları yapılmaktadır. Bui ve ark. (2010) adlı araştırmacılar renk dönüşüm dönemi, pembe olum, açık kırmızı olum ve kırmızı olum renk olgunluk safhalarını dikkate alarak ve 4 mm'lik baticı uç kullanarak yapmış oldukları sertlik sınıflandırmalarında sertlik aralıklarının 2.261 N mm⁻¹-0.677 N mm⁻¹ aralığında olduğunu belirlemişlerdir. Batu (2004) adlı araştırmacı domates meyvesi için 6 mm'lik baticı uç kullanılarak yapmış olduğu quasi-statik ölçümlerde, 6 renk olgunluk aşamasını dikkate alarak 1.45 N mm⁻¹ üzeri (sert), 1.45-1.28 N mm⁻¹ aralığı (orta sert) ve 1.28 N mm⁻¹ den küçük (yumuşak) olmak üzere üç farklı sertlik grubu belirlemiştir. Kader ve ark. (1978) adlı araştırmacılar 6 farklı renk olgunluk aşaması için 2.2 N çift plaka sıkıştırma kuvvetinde oluşan deformasyon değerlerini dikkate alarak sertlik sınıflandırması belirlemişler ve çok sert domates için 0.8 mm ile çok yumuşak domates için de 2.7 mm deformasyon değer aralıklarının alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Sirisomboon ve ark. (2012) adlı araştırmacılar yeşil olum, pembe olum ve kırmızı olum renk safhalarına göre 2 mm'lik baticı uç kullanarak yapmış oldukları sertlik sınıflandırmalarında 3.59-1.19 N mm⁻¹ sertlik aralığının sınıflandırma amaçlı kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Elektronik sınıflandırma hatlarında domatesler yeşil olum, pembe olum ve kırmızı olum olmak üzere üç farklı renk safhasına göre sınıflandırılmaktadır. Sertlik sınıflandırmasının da bu üç renk olum safhası dikkate alınarak sınıflandırma aralıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için 6 farklı renk olum safhasında yeşil olum ve renk kırılma dönemi sert, renk dönüşüm dönemi ile pembe olum dönemi orta sert ve açık kırmızı olum ve kırmızı olum dönemi de yumuşak sertlik grubu olarak belirlenmektedir (Sirisomboon ve ark., 2012a). Domates olgunlaştıkça dokusu yumuşamakta ve tekstürel yapısında değişimler meydana gelmektedir. Olgunluk süresince domateslerin kabuk yırtılma kuvveti ve kabuk sertliği azalmakta ve meyve eti yumuşamaktadır. Tarımsal ürünlerin

sertlik analizleri otomasyona dayalı materyal test cihazları yada el penetrometreleri kullanılarak yapılmaktadır. Bir çok araştırmacı domates rengi ile sertlik değişimini incelemekte ve bunun için hem zaman harcamakta hem de sertlik ölçümünde ürün hasar görmektedir. Bu işlem yerine doğrudan renk ölçüm değerleri kullanılarak sertliğin hasarsız bir şekilde tahmin edilmesi daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Örneğin, bir domates örneğinde altı farklı noktada sertlik ölçümü yapmak için harcanan zaman, 10 mm min⁻¹ lik yükleme hızında ve 10 mm'lik ölçüm mesafesinde yaklaşık olarak altı dakika'dır. Bunun yerine altı farklı noktadaki renk ölçümü için harcanan yaklaşık bir dakikalık süre içerisinde domates örneklerinin sertliğinin doğru tahmini ile altı kat zamandan tasarruf edilebilecektir. Ayrıca, daha öncede ifade edildiği gibi ürün hasar görmemiş olacaktır.

Bu çalışmada, taşınabilir renk ölçüm cihazları ile ölçülen renk değerleri (*L*, *a*, *b*) kullanılarak domates sertliğini hasarsız olarak tahmin edebilecek bir kalibrasyon eşitliğinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, 2016 yılı Şubat aylarında *Bandita F1* salkım sırık domates çeşidi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Denemeler süresince test edilen domatesler Adana ilindeki ticari bir seradan temin edilmiştir. Domatesler değişik sertlik grupları oluşturmak amacıyla yeşil olum dönemi, renk kırılma dönemi, renk dönüşüm dönemi, pembe olum, açık kırmızı olum ve kırmızı olum gibi 6 farklı olgunluk safhasında hasat edilmiştir. Denemeler süresince toplam 238 adet domates örneğinde ölçümler yapılmıştır. Denemelerde kullanılan domateslerin ortalama kütle, ekvatorial çap ve yüksekliği sırasıyla 98.25±11.36 g, 59.36±2.91 mm ve 47.41±2.47 mm olarak ölçülmüştür.

Domateslerin sertlik ölçümlerinde Lloyd Üniversal Test cihazı (Lloyd Instrument LRX Plus Series)

kullanılmıştır. Cihaz; hareketli başlık, hareket verme düzeni ve veri aktarma sistemi (yük hücresi, bilgisayar ve bağlantıları ile NEXYGEN Plus yazılım) olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Bu ölçümlerde 4 mm çaplı düz batıcı uç kullanılmış ve 10 mm min⁻¹lik yükleme hızında çalışılmıştır. Kuvvet-deformasyon grafikleri oluşturulurken batıcı uca 10 mm yol aldırılmıştır. Kabuk yırtılma noktasındaki kuvvet (F_R) ile deformasyon (D_R) oranı ($N\ mm^{-1}$) domates kabuk sertliği ($F_D=F_R/D_R$) olarak ifade edilmiştir. Hasarlı ölçüm referans testi olarak ta adlandırılan domates sertlik ölçümleri, 238 adet domates örneğinde renk ölçümlerinin yapıldığı 4 noktada gerçekleştirilmiştir. Toplamda 952 adet sertlik ölçümü yapılmış olup her domates örneği için ekvatorial bölgede ölçülen 4 değer ortalaması istatistiksel analizlerde dikkate alınmıştır.

Domates rengi, CR-400 model (Konica Minolta Chroma Meter, Japan) renk ölçüm cihazı kullanılarak *L*, *a*, *b* üç nokta ölçüm yöntemiyle belirlenmiştir. 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*) her domates örneğinin ekvatorial bölgesinde dört noktada gerçekleştirilmiş ve dört ölçümün ortalaması domateslerin olgunluk safhalarının değerlendirmelerinde kullanılmak üzere kaydedilmiştir. Minolta renk ölçüm cihazında *a* değeri domateslerin kırmızılık derecesini, *b* değeri de yeşillik derecesini belirtmektedir. Bu çalışmada, domateslerin kırmızılık değerleri ve olgunluk sınıflandırmaları Batu (2004) tarafından önerilen *a/b* değerleri kullanılarak belirlenmiştir. Domates olgunluklarının belirlenmesinde kullanılmış olan *a/b* renk uzayı değer aralıkları Çizelge 1'de verilmiştir.

Domateslerin renk ölçüm noktaları sertlik ölçümleri için işaretlenmiş ve bu noktalardan diğer ölçümler de yapılmıştır. Denemeler süresince 238 adet domates ve her domateste 4 renk ölçümü olmak üzere toplamda 952 adet renk ölçümü gerçekleştirilmiştir.

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

Table 1. *a/b* values used for maturity classification of tomatoes (Batu, 2004)

Renk safhası	Sınıfı	<i>a/b</i> değerleri
1	Yeşil olum dönemi	$-0.59 < a/b \leq -0.47$
2	Renk kırılma dönemi	$-0.47 < a/b \leq -0.27$
3	Renk dönüşüm dönemi	$-0.27 < a/b \leq 0.08$
4	Pembe olum	$0.08 < a/b \leq 0.60$
5	Açık kırmızı olum	$0.60 < a/b \leq 0.95$
6	Kırmızı olum	$a/b > 0.95$

Çizelge 2. Domateslerin renk değerlerine ilişkin (L, a, b) denenmiş model eşitliklerin genel yapısı
Table 2. Generalized forms of model equations tested in terms of color values (L, a, b)

Model No	Değişkenler	Model eşitlikler
1	L, a, b	$C = C_1 + C_2L + C_3a + C_4b$
2	a, b	$C = C_1 + C_2a + C_3b$
3	a, b, ab	$C = C_1 + C_2a + C_3b + C_4ab$
4	a, b, a ² , b ² , ab	$C = C_1 + C_2a + C_3b + C_4a^2 + C_5b^2 + C_6ab$
5	a ² , b ²	$C = C_1 + C_2a^2 + C_3b^2$
6	b, ab	$C = C_1 + C_2b + C_3ab$

C= domates kabuk yırtılma kuvveti (N) ve kabuk sertliğini (N mm⁻¹); C₁, C₂, ...C₆= model eşitliklerin katsayılarını ifade etmektedir.

238 adet farklı olgunluk safhasındaki domates örnekleri ile yapılmış olan renk ve sertlik ölçüm parametreleri çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemi (MLR) ile değerlendirilmiş olup hasarlı referans ölçüm ve hasarsız renk değerleri kullanılarak sertlik tahmini bu istatistiksel yöntem ile belirlenmiştir. Hasarlı referans ölçüm parametreleri bağımlı değişken olarak, hasarsız renk ölçüm değerleri de bağımsız değişken olarak dikkate alınmıştır. Hasarlı ölçüm referans (kabuk yırtılma kuvveti: FR ve domates kabuk sertliği: FD) ve hasarsız renk değerleri (L, a, b, ab, a², b²) arasındaki ilişki, Pearson Korelasyon testi ile belirlenmiştir. 238 adet domates için elde edilen ortalama sertlik değerleri öncelikle iki gruba ayrılmıştır. Sertlik verilerinin %70'i kalibrasyon amaçlı, %30'u da doğrulama (tahmin) amaçlı kullanılmıştır. Tüm istatistiksel değerlendirmelerde SPSS 20.0 paket programından yararlanılmıştır. Bu çalışmada Çizelge 2'de verilmiş olan model eşitlikler kullanılmıştır.

Geliştirilen model eşitliklerin değerlendirilmesinde kalibrasyon ve doğrulamanın tahmini standart hatası, bias ve standart sapmanın en düşük, korelasyon katsayısının en yüksek olması gerekmektedir. Kalibrasyon (SEC) ve doğrulamanın (SEP) standart hatası ile bias parametreleri aşağıda verilmiş olan eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$SEC = \sqrt{\frac{1}{I_c - 1} \sum_{i=1}^{I_c} (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (1)$$

$$SEP = \sqrt{\frac{1}{I_p - 1} \sum_{i=1}^{I_p} (\hat{y}_i - y_i - bias)^2} \quad (2)$$

$$bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i) \quad (3)$$

Burada; SEC: kalibrasyonun standart hatası, SEP: doğrulamanın standart hatası, I_c: kalibrasyon grubundaki gözlemlerin sayısı, I_p: doğrulama grubundaki gözlemlerin sayısı, y_i: i. gözlemin

ölçülen değeri, \hat{y}_i : i. gözlemin tahmin edilen değeri ve n: örnek sayısıdır.

Bias parametresi, doğrulama grubundaki tüm örnekler için ölçülen ve tahmin edilen Y değerleri arasındaki ortalama farkı ifade etmektedir. Bias değeri eğitim ve doğrulama gruplarının ortalama değerleri arasında sistematik fark olup olmadığını kontrol etmek için kullanılmaktadır. Eğer bias eğitim ve doğrulama gruplarının ortalama değerleri arasında fark yoksa değer sıfır olmaktadır.

Bulgular ve Tartışma

Denemeler süresince kullanılan domates örneklerinin kabuk yırtılma kuvveti ve sertlik değerlerinin örnek sayısı, örnek aralığı, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 3' de verilmiştir. 2014 ve 2016 yılı verileri kullanılarak yapılan ölçümlerde (toplam örnek sayısı 238); örnek aralığı, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla domates kabuk yırtılma kuvveti ve kabuk sertliği için; 2.29-24.24 N ve 0.81-4.75 N mm⁻¹, 9.58 N ve 2.13 N mm⁻¹, 5.73 N ve 0.90 N mm⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Kalibrasyon ve doğrulama örnek dizilerine ait örnek sayısı, örnek aralığı, ortalama ve standart sapma değerleri de Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Veri analizinde kullanılan domates örneklerinin kabuk yırtılma kuvveti ve sertlik değerlerine ilişkin istatistiksel karakteristikler

Table 3. Statistic characteristics related to skin rupture force and skin firmness of tomato samples used in data analysis

Örnek dizileri	Örnek sayısı	Örnek aralığı		Ortalama		Standart sapma (\pm)	
		F_R (N)	F_D (N mm ⁻¹)	F_R (N)	F_D (N mm ⁻¹)	F_R (N)	F_D (N mm ⁻¹)
Tüm veriler	238	2.29-24.24	0.81-4.75	9.58	2.13	5.73	0.90
Kalibrasyon	167	2.59-24.24	0.82-4.75	9.96	2.21	5.74	0.93
Doğrulama	71	2.29-22.84	0.81-4.45	8.67	1.94	5.66	0.82

Taşınabilir CR-400 model (Konica Minolta Chroma Meter, Japan) renk ölçüm cihazı ile yapılan ölçümlerdeki renk değerlerinin (L, a, b) hangi sertlik parametresinin tahmininde kullanılabileceğine ilişkin olarak yapılan Pearson Korelasyon analizi sonuçlarına göre domates kabuk yırtılma kuvveti (F_R) ile renk değerleri arasındaki korelasyon domates kabuk sertliğinden (F_R/F_D) daha yüksek çıkmıştır (Çizelge 4). Ayrıca, altı farklı olgunluk seviyesinde yapılan hesaplamalarda (Şekil 1), standart sapma değerlerinin F_R parametresinde F_R/F_D

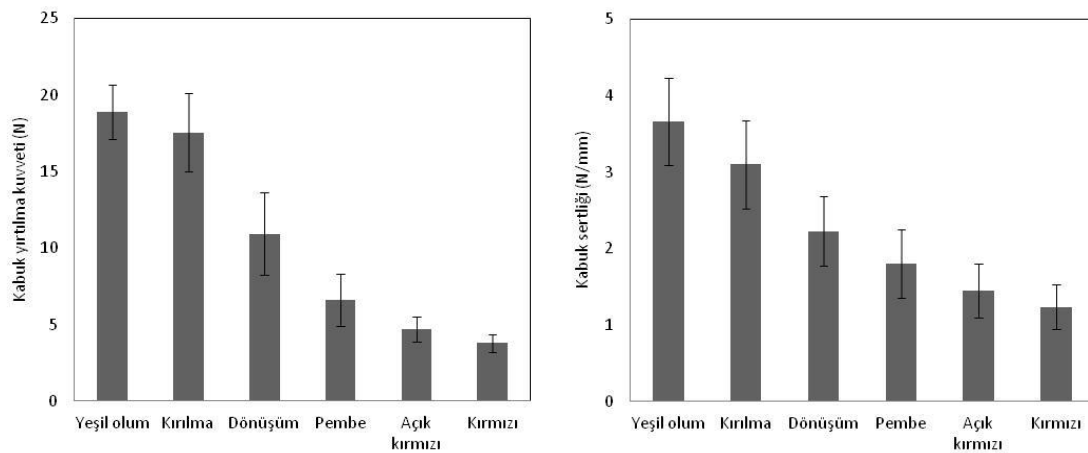
parametresinden daha düşük çıktığı, bu nedenle de renk ölçüm değerleri kullanılarak F_R sertlik parametresinin daha güvenilir bir şekilde tahmin edilebileceği belirlenmiştir. Sonuç olarak, Pearson korelasyon analizi sonuçları ve domateslerin olgunluk düzeylerine bağlı standart sapma değerlerindeki değişimler dikkate alındığında renk değerleri kullanılarak geliştirilen model eşitlikler ile yapılan istatistiksel değerlendirmelerde F_R sertlik parametresinin bağımsız değişken olarak kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olacağı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4. Domates kabuk yırtılma kuvveti, kabuk sertliği ve renk parametreleri arasındaki korelasyon değerleri

Table 4. Correlation values related to tomato skin rupture force, skin firmness and color parameters

Değişkenler	F_R	F_R/D_R	L	a	b	ab	a ²	b ²
F_R	1	0.879**	0.743**	-0.866**	-0.695**	-0.824**	-0.568**	-0.688**
F_R/D_R		1	0.647**	-0.788**	-0.599**	-0.750**	-0.510**	-0.593**
L			1	-0.887**	-0.682**	-0.876**	-0.792**	-0.684**
a				1	0.831**	0.94**	0.869**	0.842**
b					1	0.837**	0.768**	0.997**
ab						1	0.907**	0.854**
a ²							1	0.793**
b ²								1

** Korelasyon %1 seviyesinde önemlidir



Şekil 1. Altı farklı olgunluk seviyesinde domates kabuk yırtılma kuvveti ve kabuk sertliğindeki değişimler
Figure 1. Change of tomato skin rupture force and skin firmness at six different maturity stages

Çizelge 5. Domates renk değerlerinin farklı olgunluk safhalarındaki değişimi
Table 5. Change of tomato color values at different maturity stages

Parametreler	Yeşil olum	Kırılma	Dönüşüm	Pembe	Açık kırmızı	Kırmızı
L	46.05±1.28 ^a	46.87±1.32 ^b	45.79±1.21 ^c	43.59±1.39 ^d	40.72±1.46 ^d	39.35±0.96 ^e
a	-7.80±0.77^a	-6.62±1.22^b	-1.39±1.81^c	6.33±3.04^d	17.03±2.99^e	23.47±1.68^f
b	15.46±1.63 ^a	16.82±1.62 ^b	16.93±1.84 ^b	18.53±1.88 ^c	21.62±1.56 ^d	22.07±1.08 ^d
ab	-121.61±23.39 ^a	-112.29±28.77 ^a	-24.24±32.61 ^b	120.62±65.53 ^c	371.38±83.46 ^d	518.89±54.37 ^e
a ²	61.25±11.51 ^b	45.25±16.58 ^b	5.15±6.78 ^a	49.07±42.14 ^b	298.83±99.30 ^c	553.59±78.53 ^d
b ²	241.79±49.58 ^a	285.40±56.31 ^b	289.96±65.61 ^b	346.65±69.84 ^c	469.65±66.80 ^d	488.26±47.94 ^d

Değerler ortalamaları göstermekte olup, ± standart sapma değerlerini ifade etmektedir. a, b, c, d, e, f harflerine sahip ortalama değerler, DUNCAN testine göre istatistiksel olarak farklıdır (P≤0.05).

Domates renk değerlerinin altı farklı olgunluk safhasındaki değişimleri Çizelge 5'te verilmiştir. DUNCAN çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre domateslerin kırmızılık derecesini ifade eden a renk değerinin tüm olgunluk safhalarında farklı gruplar içerisinde yer aldığı ve ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli olduğu belirlenmiştir. Lopez Camelo ve Gomez (2004) adlı araştırmacılar da yapmış oldukları çalışmada benzer sonuçlar elde ederek altı farklı olgunluk seviyesindeki domateslerin renk değişimi üzerinde a renk değerinin baskın düzeyde etkili olduğunu belirlemişlerdir. Batu ve ark. (1997) adlı araştırmacılar domatesin farklı olgunluk aşamasındaki Minolta renk değişimlerini incelemişler ve renk değerleri belirlenirken a kırmızılık değerlerinin dikkate alınması gerektiğini ifade etmişlerdir. Bu sonuçlar araştırmamızda elde ettiğimiz sonuçları destekler niteliktedir. Çizelge 2'de verilmiş olan ve çoklu doğrusal regresyon model eşitlikler kullanılarak yapılan istatistiksel değerlendirmelerde, 4 numaralı model eşitlik için kalibrasyon ve doğrulamanın standart hata değerleri en düşük ve çoklu korelasyon

katsayısı en yüksek olarak bulunmuştur (Çizelge 6). 4 numaralı model beş farklı değişkeni içermektedir (a, b, a², b², ab). Bu durum, sayısal ve mantıksal işlemlerin gerçek zamanlı uygulamalarında karmaşıklıklara neden olabilir. Ayrıca, saha hesaplamalarında da bir takım zorluklar ortaya çıkabilir. Bu nedenle, 4 numaralı model eşitlikteki istatistiksel sonuçlara (SEC, SEP, bias ve korelasyon) yakın değerlerin elde edildiği 3 numaralı modelin domates kabuk yırtılma kuvveti tahmininde kullanılmasının daha doğru olacağı sonucuna varılmıştır.

Çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılarak yapılan sertlik tahmininde (F_R) a, b ve ab renk değerleri seçilmiştir. Bu durum bize, domates kabuk yırtılma kuvvetinin a, b ve ab etkileşimine bağlı olduğunu göstermektedir. a renk değerinin negatif ve pozitif değerleri yeşillik ve kırmızılığı ölçmektedir. b renk değerinin negatif ve pozitif değerleri ise sarıdan maviye renk değişimini ifade etmektedir. Domateslerin yeşilden kırmızıya doğru olgunlaştığı için, domateslerin sertlik tahmininde a renk değeri daha önemli rol oynamaktadır.

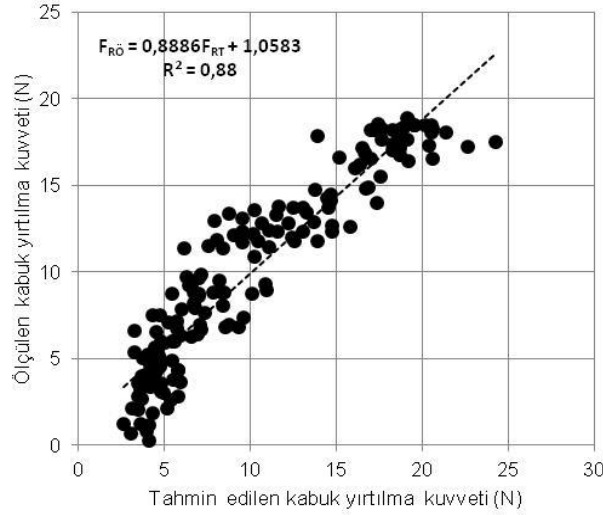
Çizelge 6. Domates kabuk yırtılma kuvvetinin belirlenmesinde kullanılan farklı MLR modellerinin istatistiksel sonuçları

Model No	SEC/SEP*		Bias		Korelasyon	
	Kalibrasyon	Doğrulama	Kalibrasyon	Doğrulama	Kalibrasyon	Doğrulama
1	2.83	2.79	-0.0013	0.0260	0.87	0.87
2	2.85	2.82	0.0060	0.0150	0.87	0.86
3	2.02	1.88	-0.052	-0.1960	0.94	0.93
4	1.82	1.72	-0.039	-0.051	0.95	0.94
5	4.16	4.45	-0.196	0.5100	0.69	0.63
6	3.23	3.20	0.029	0.2050	0.82	0.83

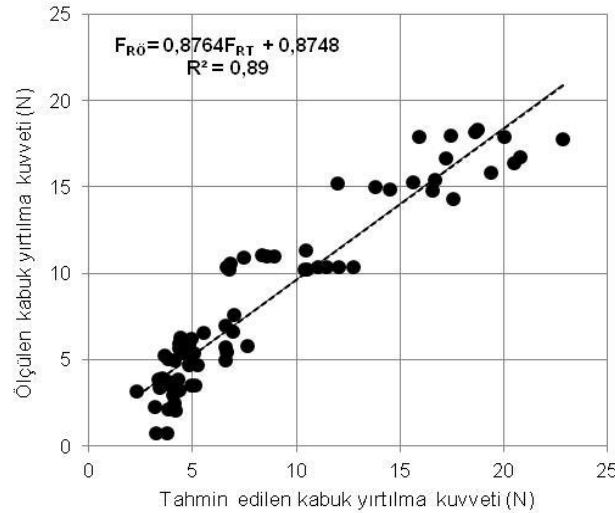
* Kalibrasyon ve doğrulamada kullanılan örnek sayısı sırasıyla 167 ve 71'dir. Kalibrasyon ve doğrulamada kullanılan domates kabuk yırtılma kuvveti değer aralıkları sırasıyla 2.59-24.24 N ve 2.29-22.83 N'dur.

Çizelge 2 ve 6'da verilmiş olan ve çoklu doğrusal regresyon (MLR) modellere ait istatistiksel sonuçlardan elde edilen SEC, SEP, bias ve korelasyon parametreleri sonuçlarına göre seçilmiş olan 3 numaralı kalibrasyon modelin performansını kontrol etmek için, 71 örneklik doğrulama tahmin sonuçları karşılaştırılmıştır. Kalibrasyon ve doğrulama sonuçları, SEC, SEP ve korelasyon katsayılarının benzer olduğunu ve bias

değerleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olmadığını göstermektedir (Çizelge 6). Kalibrasyon ve doğrulama veri gruplarına ait ölçülen ve tahmin edilen domates kabuk yırtılma kuvvetine (F_R) ait grafikler Şekil 2 ve 3'te verilmiştir. Kalibrasyon ve doğrulama verileri kullanılarak oluşturulan grafiklerde de görüldüğü gibi ölçülen ve tahmin edilen F_R arasındaki ilişki yüksek çıkmış olup iyilik dereceleri (R^2) sırasıyla 0.88 ve 0.89 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. Kalibrasyon örnek verilerinin ölçülen ve tahmin edilen kabuk yırtılma kuvveti değerleri
Figure 2. Measured and predicted skin rupture force values of calibration sample data



Şekil 3. Doğrulama örnek verilerinin ölçülen ve tahmin edilen kabuk yırtılma kuvveti değerleri
Figure 2. Measured and predicted skin rupture force values of validation sample data

Bu ilişki bize el tip renk ölçüm cihazları kullanılarak ölçülen renk değerleri ile domates kabuk yırtılma kuvvetinin çok yakın sonuçlar verdiğini göstermektedir. Sonuçlar, *a*, *b* ve *ab* renk değerleri kullanılarak geliştirilmiş olan MLR modelinin farklı olgunluk seviyelerinde hasat edilen sera domateslerinin sertliğini hasarsız tahmin etmek için kullanılabileceğini göstermiştir.

Sonuç

Pratik ve hızlı ölçüm uygulamaları için, *Bandita F1* sera domateslerinin sertliği hasat dönemindeki kabuk renk değerleri kullanılarak hasarsız olarak tahmin edilmiştir. Domates kabuk yırtılma kuvveti *L*, *a*, *b* ve bu değerlerden türetilmiş renk değerleri ile ilişkilendirilmiştir. Çoklu doğrusal regresyon analizi ile, kalibrasyon eşitliği geliştirilmiş ve doğrulama verileri ile geliştirilmiş olan eşitliğin doğruluğu teyit edilmiştir. Geliştirilen model eşitlikte *a*, *b* ve *ab* renk değerlerinin kullanılması durumunda ölçülen ve tahmin edilen domates kabuk sertlikleri arasındaki ilişki yüksek bulunmuş ve kalibrasyon ve doğrulama verileri için belirtme katsayıları (R^2) sırasıyla 0.88 ve 0.89 olarak hesaplanmıştır. Uygulamadaki kullanım için, geliştirilmiş olan model eşitliğin daha fazla sayıda çeşit ve örnek kullanımı ile iyileştirilmesinde yarar görülmektedir. Böylece, domates renk değerleri kullanılarak domates sertlikleri hasarsız olarak yüksek tahmin yüzdesi ile belirlenebilecektir.

Teşekkür

Bu çalışmanın renk ölçümüne ait verileri, Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiş olan FBA-2016-6696 numaralı projeden sağlanmıştır.

Kaynaklar

- Baltazar, A., Aranda, J.I., Gonzales-Aguilar, G. 2008. Bayesian classification of ripening stages of tomato fruit using acoustic impact and colorimeter sensor data. *Comput. Electron. Agric.* 2008; 60: 113-121.
- Batu, A. 2004. Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. *J. Food Eng.* 61(3): 471-475
- Batu, A., Thompson, A.K., Ghafir, S.A.M., Abdel-Rahman, N.A. 1997. Minolta ve Hunter renk ölçüm aletleri ile domates, elma ve muzun renk değerlerinin karşılaştırılması. *Gıda*, 22(4): 301-307.
- Batu, A. 1998. Some factors affecting on determination and measurement of tomato firmness. *Turk J. Agric. For.* 22:411-418.

- Bui, H.T., Makhlof, J., Ratti, C. 2010. Postharvest ripening characterization of greenhouse tomatoes. *Int. J. Food Prop.* 13(4): 830-846
- Burton, W.G. 1982. Ripening and senescence of fruits. In: W.G. Burton (ed.), *Postharvest-physiology of food crops* (pp. 181-198). Longman Group Ltd.
- Edan, Y., Pasternak, H., Shmulevich, I., Fallik, D. 1997. Colour and firmness classification of fresh market tomatoes. *J. Food Sci.* 62(4): 793-796.
- Geeson, J.D., Browne, K.M., Maddison, K., Shepherd, J., Guaraldi, F. 1985. Modified atmosphere packing to extend the storage-life of tomatoes. *J. Food Technol.* 20: 339-349.
- Hobson, G.E., Adams, P., Dixon, T.J. 1983. Assessing the colour of tomato fruit during ripening. *J. Sci. Food Agric.* 34: 286-292.
- Kader A A, Morris L L., Chen, P. 1978. Evaluation of two objective methods and a subjective rating scale for measuring tomato fruit firmness. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 103(1): 70-73
- Lana, M.M., Tijskens, L.M.M., Van Kosten, O. 2005. Effect of storage temperature and fruit ripening on firmness of fresh cut tomatoes. *Postharvest Biol. Technol.* 35: 87-95.
- Lesage, P., Destarin, M. 1996. Measurement of tomato firmness by using a non-destructive mechanical sensor. *Postharvest Biol. Technol.* 8(1): 45-55
- Lopez Camelo, A.F., Gomez, P.A. 2004. Comparison of color indexes for tomato ripening. *Hortic. Bras.* 22(3): 534-537.
- Mohsenin, N.N. 1970. *Physical Properties of Plant and animal Materials*. Gordon and Breach Science Publisher, New York
- Sirisomboon, P., Tanaka, M., Kojima, T. 2012. Evaluation of tomato textural mechanical properties. *J. Food Eng.* 111(4): 618-624
- Sirisomboon, P., Tanaka, M., Kojima, T., Williams, P. 2012a. Nondestructive estimation of maturity and textural properties on tomato "Momotaro" by near infrared spectroscopy. *J Food Eng.*, 112(3): 218-226
- Thai, C.N., Shewfelt, R.L. 1990. Tomato color changes under constant and variable storage temperature. Empirical model. *Trans. ASAE* 33(2): 607-614.
- Thai, C.N., Shewfelt, R.L. 1991. Modeling sensory color quality of tomato and peach. *Neural Networks and statistical regression. Trans. ASAE* 34(3): 950-955.
- USDA, 1976. United State standards for grade of fresh tomatoes. US Dept. Agric., Mktg., ser., Washington D C (p.10)
- Wu, T., Abbott, J. 2002. Firmness and force relaxation characteristics of tomatoes stored intact or as slices. *Postharvest Biol. Technol.* 24: 59-68.
- Van Zeebroeck, A., Van linden, V., Darius, P., De Keteleare, B., Ramon, H., Tijskens, E., 2007. The effect of fruit properties on the bruise susceptibility of tomatoes. *Postharvest Biol. Technol.* 45: 168-175.