

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan AY

**DOMATES SERTLİĞİNİN HASARSIZ ÇARPMA TEKNİĞİ
KULLANILARAK BELİRLENMESİ**

**TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

ADANA-2021

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DOMATES SERTLİĞİNİN HASARSIZ ÇARPMA TEKNİĞİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ

Gökhan AY

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Kubilay Kazım VURSAVUŞ
Yıl: 2021, 85 Sayfa: 91
Jüri: : Prof. Dr. Kubilay Kazım VURSAVUŞ
: Prof. Dr. Ahmet İNCE
: Dr. Öğr. Üyesi Zehan KESİLMİŞ

Bu çalışmada, hasarsız çarpma tekniği kullanılarak *Bandita* F1 sera domateslerinin sertlik tahmininin yapılması amaçlanmıştır. Çalışma iki aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada, domates örneklerinin olgunluk safhasına bağlı renk parametrelerindeki ve mekanik özelliklerindeki değişim incelenmiştir. İkinci aşamada ise, altı farklı olgunluk safhasındaki domates örneklerinde hasarsız çarpma testi uygulanmış ve çarpma testi 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 modelleri geliştirilmiştir. Sertlik tahmin modellerinin geliştirilmesi amacıyla dinamik çarpma test düzeneği kullanılmıştır. Kuvvet algılayıcının üzerinde bağlantılı alüminyum çarpma plakası üzerine domates meyveleri 15 mm mesafeden çarpıtılmıştır. Çarpma işlemi sonrası sertlik tahmin modeli geliştirmek amacıyla hasarsız çarpma parametresi çarpma kuvveti-temas zamanı grafikleri kullanılarak çıkarılmıştır. Elde edilen çarpma parametreleri referans ölçüm olarak kabul edilen KYK ve KS ile ilişkilendirilmiştir. Çarpma parametre sayısı stepwise regresyon analiz yöntemi ile azaltılmıştır. Ölçülen 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 arasında yüksek ilişki KYK'den daha yüksek bulunmuştur. Bu ilişki hem kalibrasyon hem de doğrulama veri gruplarında kendini göstermiştir. Kalibrasyon ve doğrulama veri gruplarında domates KS tahmini belirtme katsayıları da (R^2) sırasıyla 0.86 ve 0.88 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Domates, Kabuk Yırtılma Kuvveti, Kabuk Sertliği, Çarpma Parametreleri, Çoklu Doğrusal Regresyon, Matematiksel Modelleme.

ABSTRACT

MSc. THESIS

DETERMINING THE TOMATO FIRMNESS USING NONDESTRUCTIVE IMPACT TECHNIQUE

Gökhan AY

CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL MACHINERY and
TECHNOLOGIES ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Kubilay Kazım VURSAVUŞ
Year: 2021, 85 Pages: 91
Jury: : Prof. Dr. Kubilay Kazım VURSAVUŞ
: Prof. Dr. Ahmet İNCE
: Asts. Prof. Dr. Zehan KESİLMİŞ

In this study, it was aimed to estimate the firmness of Bandita F1 greenhouse tomatoes using the non-destructive impact technique. The study was carried out in two stages. In the first stage, the changes in color parameters and mechanical properties of tomato samples depending on the maturity stage were investigated. In the second step, nondestructive impact test was applied on tomato samples at six different maturity stages and the firmness models were developed by associating the impact parameters measured 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 hardness 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 high correlation between the impact parameters and tomato skin firmness was found to be higher than the skin rupture force among the developed firmness estimation models. This relationship was evident in both the calibration and validation datasets. In the calibration and validation datasets, the tomato skin firmness estimation coefficients of determination (R^2) were also calculated as 0.86 and 0.88, respectively.

Keywords: Tomato, Skin Rupture Force, Skin Firmness, Impact Parameters, Multiple Linear Regression, Mathematical Modelin

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Yaş meyve ve sebzelerin hasat sonrası olgunluğa göre sınıflandırılması, dağıtım öncesi pazar açısından optimum zamanı göstermesi ve depolama sırasındaki optimizasyon açısından faydalı olmaktadır. Meyve ve sebze olgunluğu tanımlanması güç bir niteliksel ölçüdür. Bir meyvenin sertliği o meyvenin mekanik, kimyasal ve reolojik özelliklerinin indeksidir. Meyve sertliği olgunluk ile ters orantılıdır ve bu nedenle, yaş meyve ve sebze sınıflandırmalarında alternatif olgunluk indeksi olarak kullanılabilir. Domates meyvesinde renk bir olgunluk parametresi olmakla birlikte sertlikte domates meyve kalitesine katkı sağlayan ana faktörlerden biridir.

Araştırmacılar günümüzde, meyve ve sebzelerin hasarsız sertlik algılamalarında değişik teknikleri kullanmayı denemişlerdir. Hasarsız olarak gerçekleştirilen ve uygulamaya aktarılabilen otomatik ürün sınıflama teknikleri ile ürün değerlendirmeleri hızlı, hasarsız, daha az maliyetli ve etkili bir şekilde yapılabilir. Ayrıca, tüm ürün üzerinde ölçümler homojen bir şekilde gerçekleştirilebilir. Akustik, titreşim, yakın kızıl ötesi (NIR), mikro deformasyon ve çarpma tekniği uygulamada kullanılabilir sistemlere örnek olarak verilebilir.

Bir meyvenin sertliği, o meyvenin mekanik, kimyasal ve reolojik özellikleri ile açıklanabilir. Meyve sertliği olgunluk ile ters orantılıdır ve bu nedenle yaş meyve ve sebze sınıflandırmalarında alternatif olgunluk indeksi olarak kullanılabilir. 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 algılayabilir.

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. 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. Domateslerin hasadı sonrası olgunluk devam etmekte ve domatesler çok hızlı bir şekilde olgunlaşabilmektedir. Bu durum kalite kayıplarına yol açabilmekte ve domateslerin raf ömrünü sınırlayabilmektedir. Bir çok araştırmacı domates hasadında olgunluk belirlemek amacıyla USDA renk sınıflandırma kriterlerini kullanmıştır.

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 kırmızımsı noktalar belirmeye başlamış), **renk dönüşüm dönemi** (kabuk kısmen sarımsı ve pembemsi fakat yeşil ağırlıklı), **pembe olum** (yeşil renk tamamen kaybolmuş ve açık pembe veya kırmızımsı renk ağırlıkta), **açık kırmızı olum** (pembelik kaybolmuş ama koyu kırmızı renge ulaşamamış), **kırmızı olum** (tamamen kırmızı) aşamalarındaki renk safhalarına göre sınıflandırılmaktadır.

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. 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. Bir çok çalışmada domateslerdeki olgunluk safhası ve renk gelişimi arasında pozitif ilişki olduğu belirtilmiş olmasına rağmen, bu ilişki tam olarak anlaşılamamıştır. 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. Ayrıca, domates yüzeyindeki renk tek düzeliliğinin olmaması da kolorimetrik testlerin güvenilirliğini azaltabilmektedir.

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. Bu nedenle, insan hatalarını azaltarak, zaman gereksinimini en aza düşürerek sınıflandırma yapabilmek için otomasyona dayalı, gerçek zamanlı sınıflandırma yapabilecek uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde renk özelliğine göre domateslerin elektronik sınıflandırılmasına olanak sağlayacak modüller bulunmasına karşın, gerçek zamanlı sertlik sınıflandırma amaçlı kullanılabilecek bir sertlik modülü ülkemizde elektronik sınıflandırma hatlarında kullanılmamaktadır. Aweta, Greefa, Maf-Roda ve Sinclair gibi firmalar sertlik modülü olan elektronik sınıflandırma hatlarını üretmelerine karşın yüksek maliyetli olmaları nedeniyle ülkemizde satışı gerçekleştirilememiştir. Ayrıca, domates, şeftali, nektarin, armut ve kivi gibi meyveler dışında kullanımlarının sınırlı olması da ihtiyaç duymalarına karşın paketleme evlerinin böyle bir maliyetli yatırıma yönlendirmelerini sınırlamıştır.

Bu çalışmada, Bölgemizde yaygın olarak üretilen *Bandita F1* sera domates çeşidi kullanarak hasarsız çarpma tekniği yöntemi ile domates sertlik tahmininin yapılması amaçlanmıştır. Yapılan denemelerde öncelikle altı farklı olgun safhasındaki domates örneklerinin hasarsız ana çarpma parametreleri ölçülmüş ve geliştirilen diğer çarpma parametreleri ana parametrelerden türetilmiştir. Ölçülen ve türetilen hasarsız çarpma parametreleri Pearson Korelasyon Matriks yöntemi ile analiz edilmiş ve referans ölçüm parametreleri olarak tanımlanan domates kabuk yırtılma kuvveti (KYK) ve domates kabuk sertliği (KS) ile %1 ve %5 seviyesinde ilişkili bulunan parametreler domates sertlik tahmin modeli geliştirilmesinde kullanılmıştır. Çoklu Doğrusal Regresyon Analiz Yöntemi kullanılarak geliştirilen domates sertlik tahmin modellerinde her olgunluk safhasını temsil edecek şekilde iki gruba ayrılmıştır. Domates sertlik verilerin %70'i kalibrasyon amaçlı, %30'u da tahmin (doğrulama) amaçlı kullanılmıştır. Tüm istatistiksel değerlendirmeler SPSS 20.0 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. KYK ve KS için geliştirilen domates sertlik tahmin modellerinde hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE), ortalama mutlak hatası (MAE), ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) ve standart

sapma oranı (SDR) hem kalibrasyon hem de doğrulama veri grupları için model eşitliklerin performans değerlendirmelerinde kullanılmıştır.

Referans ölçüm parametreleri olarak kullanılan domates kabuk yırtılma kuvveti ve kabuk sertliği hasarsız çarpma parametreleri ile ilişkilendirilerek geliştirilen tahmin modellerinde (Model A, Model B ve Model C) en iyi sertlik tahmin modeli domates kabuk sertliği ile gerçekleşmiştir. Domates kabuk yırtılma kuvveti için geliştirilen tahmin modelleri domates kabuk sertliğinden düşük bulunmuştur. Stepwise regresyon analiz yöntemi ile belirlenen çarpma parametreleri kullanarak geliştirilen KYK tahmin modelinde (Model C), kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için belirtme katsayıları (R^2) sırasıyla 0.692 ve 0.716 olarak belirlenmiştir. Domates kabuk sertliği (KS) tahmini için ana çarpma parametreleri kullanılarak geliştirilen Model eşitlikte (Model A), kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için belirtme katsayıları (R^2) sırasıyla 0.881 ve 0.899 olarak belirlenmiştir.

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. Model A ve Model C'nin gerçek doğruluk ve sınıflandırma başarı yüzdesi benzer sonuçlar vermiştir (%83.70). Kalibrasyon veri grupları için 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. Doğrulama veri grubunda Model A ve Model B de gerçek doğruluk ve sınıflandırma başarı yüzdesi benzer sonuçlar vermiş (%83.33) 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.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, çalışma imkanı sağlayan ve çalışmamın her aşamasında emeklerini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Kubilay Kazım VURSAVUŞ'a sonsuz teşekkür ederim.

Tezime yaptıkları katkılardan dolayı değerli hocalarım Prof. Dr. Ahmet İNCE ve Dr. Öğretim Üyesi Zehan KESİLMİŞ'e teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olup beni cesaretlendiren, bana inanan ve güvenen, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgilimi aileme çok teşekkür ederim

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XVI
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	9
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	39
4.1. Renk Ölçümlerine İlişkin Sonuçlar.....	39
4.2. Hasarlı Ölçüm (Mekanik Özellik) Sonuçları ve Renk Özellikleri ile Hasarlı Ölçüm Arasındaki İlişki	44
4.3. Hasarsız Çarpma Parametrelerine İlişkin Sonuçlar.....	51
4.4. Hasarsız Çarpma Tekniği ve Mekanik Zedelenme Oluşumu.....	75
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	91



ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. Domateslerin olgunluk safhalarının belirlenmesinde kullanılan a^*/b^* değerleri (Batu, 2004)	25
Çizelge 3.2. Hasarlı ve hasarsız ölçüm parametreleri	31
Çizelge 4.1. Hasarsız çarpma parametreleri ile domates kabuk yırtılma kuvveti ve domates kabuk sertliği arasındaki korelasyonu ® gösteren analiz sonuçları.....	53
Çizelge 4.2. Kabuk yırtılma kuvveti (KYK) tahmini için kalibrasyon verileri kullanılarak geliştirilen model eşitliklere ilişkin istatistiksel sonuçlar	59
Çizelge 4.3. Kalibrasyon verileri kullanılarak domates kabuk yırtılma kuvveti (KYK) tahmin modellerine ilişkin geliştirilen model eşitliklere ait istatistiksel katsayılar ve standart hata değerleri	61
Çizelge 4.4. Geliştirilen modellerin ölçülen ve tahmin edilen kabuk yırtılma kuvvetine (KYK) ilişkin kalibrasyon ve doğrulama veri gruplarının tanımlayıcı istatistiksel sonuçları	62
Çizelge 4.5. Domates Kabuk Yırtılma Kuvveti (KYK) Tahmini İçin Kullanılan Model Yaklaşımların Ölçülen ve Tahmin Edilen Değerlerine İlişkin Performans Parametre Sonuçları.....	63
Çizelge 4.6. Kabuk sertliği (KS) tahmini için kalibrasyon verileri kullanılarak geliştirilen model eşitliklere ilişkin istatistiksel sonuçlar.....	66
Çizelge 4.7. Kalibrasyon verileri kullanılarak domates kabuk sertliği (KS) tahmin modellerine ilişkin geliştirilen model eşitliklere ait istatistiksel katsayılar ve standart hata değerleri.....	69
Çizelge 4.8. Geliştirilen modellerin ölçülen ve tahmin edilen kabuk sertliğine (KS) ilişkin kalibrasyon ve doğrulama veri gruplarının tanımlayıcı istatistiksel sonuçları	70

Çizelge 4.9. Domates Kabuk Sertliği (KS) Tahmini İçin Kullanılan Model Yaklaşımların Ölçülen ve Tahmin Edilen Değerlerine İlişkin Performans Parametre Sonuçları	71
Çizelge 4.10. Domates kabuk sertliği (KS) gruplarına göre örneklerinin sertlik tahmininde kullanılan kalibrasyon ve doğrulama modellerine ait sınıflandırma başarısı	74



ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1.	İki elastik kürenin çarpma koşulu.....	3
Şekil 1.2.	Domates olgunluk safhasına bağlı maksimum çarpma kuvveti, maksimum kuvvetteki zaman ve temas zamanındaki değişim.....	8
Şekil 2.1.	Çarpma test düzeneği ve çarpma kuvveti-temas zamanı eğrisi şematik görünümü (Mireei ve ark., 2015).	17
Şekil 2.2.	Denemelerde kullanılan çarpma test cihazının şematik görünüm (Ragni ve ark., 2010).	19
Şekil 2.3.	Sert ve yumuşak şeftali meyvesinin (a) ikili ve (b) tekli çarpma durumunda kuvveti – zaman grafiğindeki değişim (Wang ve ark. 2009).	22
Şekil 3.1.	Denemelerde kullanılan farklı olgunluk seviyelerindeki domates örnekleri.....	23
Şekil 3.2.	CIE L*,a*,b* renk uzayı.....	24
Şekil 3.3.	Renk, domates kabuk yırtılma kuvveti ve kabuk sertliği ölçüm noktaları.....	26
Şekil 3.4.	Dinamik çarpma test cihazı ve bileşenleri (Tüdeş,2019)	27
Şekil 3.5.	İki ardışık çarpma uygulaması sonrası oluşan çarpma kuvveti-zaman grafiği örneği.....	28
Şekil 3.6.	Çarpma durumunda farklı davranış şekillerine göre deformasyon-zaman grafikleri.....	37
Şekil 4.1.	Domates olgunluk safhasına bağlı L* renk parametresindeki değişim	40
Şekil 4.2.	Domates olgunluk safhasına bağlı a* renk parametresindeki değişim	40
Şekil 4.3.	Domates olgunluk safhasına bağlı b* renk parametresindeki değişim	41

Şekil 4.4.	Domates olgunluk safhasına bağlı a/b^* renk parametresindeki değişim	41
Şekil 4.5.	Domateslerin olgunluk safhasına bağlı olgunluk indekslerindeki değişim	44
Şekil 4.6.	Olgunluk safhasına bağlı domates kabuk yırtılma kuvveti kabuk sertliği değişimi	45
Şekil 4.7.	Domateslerin a ve b bölgelerinde yapılan kabuk yırtılma kuvveti ölçümleri.....	46
Şekil 4.8.	Domateslerin a ve b bölgelerinde yapılan kabuk sertliği ölçümleri.....	46
Şekil 4.9.	Domateslerin a ve b bölgelerinde ölçülen deformasyon değerleri	48
Şekil 4.10.	Domateslerin a ve b bölgelerinde ölçülen KYN'daki kuvvet ve deformasyon ilişkisi	48
Şekil 4.11.	a^* renk parametresi ile KYK arasındaki ilişki.....	49
Şekil 4.12.	a^* renk parametresi ile KS arasındaki ilişki	50
Şekil 4.13.	a^*/b^* renk parametresi ile KYK arasındaki ilişki	50
Şekil 4.14.	a^*/b^* renk parametresi ile KS arasındaki ilişki	51
Şekil 4.15.	F_{p1} 'nin olgunluk safhasına bağlı değişimi	54
Şekil 4.16.	Farklı domates olgunluk seviyesinde ölçülen 1. çarpmada kuvveti-temas zamanı değişimi	54
Şekil 4.17.	F_{p2} 'nin olgunluk safhasına bağlı değişimi	55
Şekil 4.18.	t_{p1} 'nin olgunluk safhasına bağlı değişimi	56
Şekil 4.19.	t_{p2} 'nin olgunluk safhasına bağlı değişimi	57
Şekil 4.20.	t_{c1} 'in olgunluk safhasına bağlı değişimi.....	57
Şekil 4.21.	t_{c2} 'nin olgunluk safhasına bağlı değişimi.....	58
Şekil 4.22.	Kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için Model A, Model B ve Model C de ölçülen ve tahmin edilen KYK değerleri arasındaki ilişki.....	65

Şekil 4.23. Kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için Model A, Model B ve Model C de ölçülen ve tahmin edilen KS değerleri arasındaki ilişki	72
Şekil 4.25. Farklı domates olgunluk seviyesinde ölçülen deformasyon-temas zamanı değişimi	76





SİMGELER VE KISALTMALAR

USDA : ABD TARIM BAKANLIĞI

RMSE : Hata kareler ortalamasının karekökü

MAE : Ortalama mutlak hatası

MAPE : Ortalama mutlak hata yüzdesi

SDR : Standart sapma oranı

KYK : Kabuk yırtılma kuvveti

KS : Kabuk Sertliği

F_{KYN} : Kabuk yırtılma noktasındaki kuvvet

D_{KYN} : Kabuk yırtılma noktasındaki Deformasyon

FT : Domates sertliği

SLR : Basit doğrusal regresyon

MLR : Çoklu doğrusal regresyon

R^2 : Belirleme katsayısı

F_R : Kabuk yırtılma noktasındaki kuvvet



1. GİRİŞ

Domateslerin yapısal değişikliklerine ek olarak, domates dokusu da olgunlaşma sırasında değişime uğramaktadır. Normal olgunlaşmada perikarpın yumuşaması doku kaybının başlıca nedenleri arasındadır. Bu nedenle doku, olgunlaşma süreci ve ilişkili domates kalitesi için uygun bir indeks olarak kabul edilmektedir. Domatesin deformasyona direncinin iki ana parçası, ekzokarp ve mezokarptır, her ikisi de olgunlaşma sırasında büyük ölçüde değişerek dirençlerini azaltır ve böylece toplam domates sertliği düşer. Mezokarp direnci her zaman ekzokarp direncinden daha zayıftır ve mekanik dış kuvvetlere karşı korumada domates kabuğunun etkin rolüne işaret eder. Öte yandan su kaybına bağlı turgor azalması da doku yumuşamasının bir nedeni olarak öne sürülmüştür.

Pek çok iklimsel meyve gibi, sertlik, gelecekteki uygun olgunlaşmasını etkileyebileceğinden, domates meyvesinin olgunluğunu değerlendirmede ana faktörlerden biridir (Mireei ve ark., 2014). Domates meyvesi dahil olmak üzere farklı meyvelerin sertliğini güvenilir bir şekilde tahmin etmek için sıkıştırma ve penetrasyon testleri gibi çeşitli geleneksel ve standart yöntemler getirilmiştir. Sıkıştırma ve penetrasyon testleri, 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 orantısal 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.

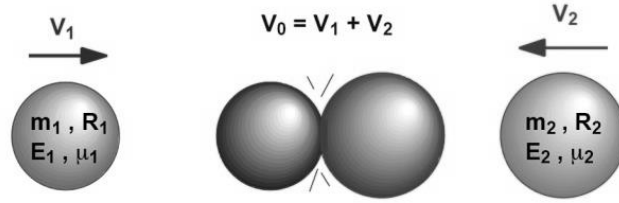
Bir meyvenin aroması ve duyuusal tepkileri esas olarak olgunluğuna bağlıdır (Abbott, 2004). Pazara teslim edilmeden önce hasat sırasında meyvenin

olgunluk sınıflandırması, pazarlama veya depolama yönetiminin optimizasyonu için en uygun zamanı belirtmek açısından faydalıdır (Singh ve Reddy, 2006). 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 sınıflandırma ve sınıflandırmada olgunluğun bir göstergesi olarak kullanılabilir (Jarén ve Garcí'a Pardo, 2002; De Ketelaere ve ark, 2006; Cavalini ve ark, 2006; Lien ve ark., 2009).

Bazı çalışmalarda, ticari olarak ta günümüzde kullanılabilen hasarsız ve hızlı teknikler çeşitli meyve ve sebzelerin sertlik tahmininde kullanılmıştır. Bu yöntemler; yakın kızılötesi (NIR) veya görünür ve yakın kızılötesi (Vis / NIR) spektroskopi (Cavaco ve ark., 2009; Lammertyn ve ark., 1998; McGlone & Kawano, 1998; Shao ve ark., 2007) veya görüntüleme (Lu , 2003; Lu ve Peng, 2006; Peng ve Lu, 2006), lazer kaynaklı ışık geri saçılım görüntüleme (Qing ve ark., 2007, 2008), nükleer manyetik rezonans (NMR) tabanlı yöntemler (Clark ve ark., 1997), sonik (Abbott ve Massie, 1998; Duprat ve ark., 1997; Schotte ve ark., 1999), ultrasonik (Mizrach, 2008), titreşim uyarımı (Muramatsu ve ark., 1999, 2000; Terasaki ve ark., 2001), yanal impaktörün meyveye çarptırılması veya meyve üzerine küresel başlıklı çubuğun (yanal impaktör) düşürülmesi (Jaren & Garci'a Pardo, 2002; Chen ve ark., 1996) ve kuvvet algılayıcı üzerine çarptırma (Gutierrez ve ark., 2007; Lien ve ark, 2009; Ragni ve ark., 2010) olarak sıralanabilir.

Farklı meyvelerin sertlik tahmini için kullanılan yanal impaktörün meyveye çarptırılması ve meyve üzerine küresel başlıklı çubuğun düşürülmesi yöntemi çeşitli araştırmalarda incelenmiştir (Jaren & Garci'a Pardo, 2002; Chen ve ark., 1996; Garcia-Ramos ve ark., 2003). Bu yöntem prototip sınıflandırma hatlarında avokado meyvesin 5 meyve/s kapasite ile sertlik sınıflandırılmasında (Howarth ve ark., 2003); 7 meyve/s kapasite ile şeftali, armut ve elmaların iki sertlik

grubunda sınıflandırılmalarında (Homer ve ark., 2010) ve 6 örnek/s'lik bir hızda farklı sertlik değerlerine sahip üç küresel topun sınıflandırılmasında başarılı bir şekilde kullanılmıştır.



Şekil 1.1. İki elastik kürenin çarpma koşulu

Farklı araştırmacılar tarafından yürütülmüş olan önceki çalışma sonuçları hasarsız çarpma tekniklerinin meyvelerin sertlik algılamalarında kullanılabileceğini göstermiştir (Garcia-Ramos ve ark., 1988; Chen ve Ruiz-Altisent, 1993). Hasarsız çarpma tekniği kullanılarak meyve sertliği algılamalarında iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan **ilki kuvvet algılayıcısı üzerine meyvenin düşürülmesi** ve **ikincisi de düşük kütleli bir küresel 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 Newtonun ikinci yasasının da bu teorik yaklaşım içerisinde kullanılmasıyla çözümlenebilmektedir (Chen ve Ruiz-Altisent, 1993).

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.

F, her iki küre üzerinde etkili olan maksimum çarpma kuvveti büyüklüğü (N), V0, her iki kürenin nispi yaklaşma hızı (m/s), m1, 1 numaralı kürenin kütlesi (kg), m2, 2 numaralı kürenin kütlesi (kg), μ_1 , 1 numaralı kürenin poisson oranı (-), μ_2 , 2 numaralı kürenin poisson oranı (-), E1, 1 numaralı kürenin elastisite modülü (Pa), E2, 2 numaralı kürenin elastisite modülü (Pa), R1, temas noktasında, 1 numaralı kürenin eğrilik yarıçapı (m) ve R2, temas noktasında, 2 numaralı kürenin eğrilik yarıçapı (m) olarak alınırsa, bu durumda maksimum çarpma kuvveti (F), maksimum ivme (A) ve maksimum kuvvet ya da maksimum ivmeye ulaşmak için gereksinim duyulan zaman (t) aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanabilmektedir:

$$F = \left(\frac{5}{4} V_0^2 \right)^{\frac{3}{5}} \left(\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right)^{\frac{3}{5}} \left[\frac{\frac{4}{3} E_1 E_2}{E_2 (1 - \mu_1^2) + E_1 (1 - \mu_2^2)} \right]^{\frac{2}{5}} \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (1.1)$$

1 nolu kürenin maksimum ivmesi F/m₁'e eşittir. Bu durumda; maksimum ivme, A

$$A = \left(\frac{5}{4} V_0^2 \right)^{\frac{3}{5}} \frac{1}{m_1} \left(\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right)^{\frac{3}{5}} \left[\frac{\frac{4}{3} E_1 E_2}{E_2 (1 - \mu_1^2) + E_1 (1 - \mu_2^2)} \right]^{\frac{2}{5}} \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (1.2)$$

$$t = 1.4325 \left(\frac{1}{V_0} \right)^{\frac{1}{5}} \left[\frac{E_2 (1 - \mu_1^2) + E_1 (1 - \mu_2^2)}{E_1 E_2} \right]^{\frac{2}{5}} \left[\frac{(R_1 + R_2)}{R_1 R_2} \right]^{\frac{1}{5}} \left(\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (1.3)$$

Şekil 1.1'de görülen 2 nolu küreyi meyve ve 1 nolu küreyi de kuvvet sensörünün bağlı olduğu sabit bir yüzey olarak kabul edersek, çarpma süresince meyve üzerindeki kuvvet büyüklüğü meyve sertliğinin ifadesinde de kullanılan E₂, elastisite modülünün bir fonksiyonu olmaktadır. Bu nedenle, eğer çarpma sırasında oluşan kuvveti ölçebilirsek, meyve sertliği ile ölçülen kuvvet değeri ilişkilendirebilmektedir. **Bu durumda kuvvet sensörünün üzerindeki yüzey düz bir**

plaka olduğu için E_1 ve $R_1=\infty$ ve kuvvet algılayıcı sabit olduğu için de $m_1 = \infty$ olacaktır. Bu nedenle 1.1 ve 1.3 nolu eşitlik aşağıdaki şekli almaktadır:

$$F = \left(\frac{5}{4} V_0^2 \right)^{\frac{3}{5}} (m_2)^{\frac{3}{5}} \left[\frac{\frac{4}{3} E_2}{(1 - \mu_2^2)} \right]^{\frac{2}{5}} (R_2)^{\frac{1}{5}} \quad (1.4)$$

$$t = 1.4325 \left(\frac{1}{V_0} \right)^{\frac{1}{5}} \left[\frac{(1 - \mu_2^2)}{E_2} \right]^{\frac{2}{5}} \left[\frac{1}{R_2} \right]^{\frac{1}{5}} (m_2)^{\frac{2}{5}} \quad (1.5)$$

Burada: $V_0=(2gh)^{1/2}$ dir.

1.4 nolu eşitlikte yer alan çarpma hızı düşme yüksekliğine (h) dönüştürüldüğünde maksimum çarpma kuvvetinin h, m_2 , R_2 ve E_2 'nin bir fonksiyonu olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, F çarpma kuvveti; E_2 deki değişimden etkilendiği kadar, diğer üç parametredeki değişim de F üzerinde etkiye sahiptir. Chen (2001) adlı araştırmacı üslerin değerlerine göre ($F=m^{3/5}h^{3/5}R^{1/5}E^{2/5}$), F'nin V_0 ve m_2 'deki değişikliklere E_2 'deki değişime göre daha duyarlı olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, çarpma hızı ve meyve kütlesi değerleri nispeten sabit tutulmadıkça, F değeri meyve sertliğinin iyi bir göstergesi olmayacaktır. Meyvenin kütlesindeki% 20'lik bir değişim nadir olmadığından, m_2 'deki değişimin F üzerindeki etkisi kabul edilebilir olmayabilir. Wang ve ark., (2009) adlı araştırmacılar 3 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 kütlesinin ve düşme yüksekliğinin çarpma kuvveti üzerinde etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu şeftali olgunluğunun ise F, çarpma kuvveti üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak meyve sertliğinin hasarsız çarpma teknikleri kullanılarak ölçülmesinde F parametresinin E_2 (meyve elastisite modülü) parametresindeki değişime oldukça hassas olduğu görülmektedir.

F, çarpma kuvveti üzerinde m_2 (meyve) kütesinin etkisi F kuvvetinin t zamanına bölünmesiyle azaltılabilmektedir.

$$\frac{F}{t} = 0.895(V_0)^{7/5}(m_2)^{1/5} \left[\frac{E_2}{(1-\mu_2^2)} \right]^{4/5} (R_2)^{2/5} \quad (1.6)$$

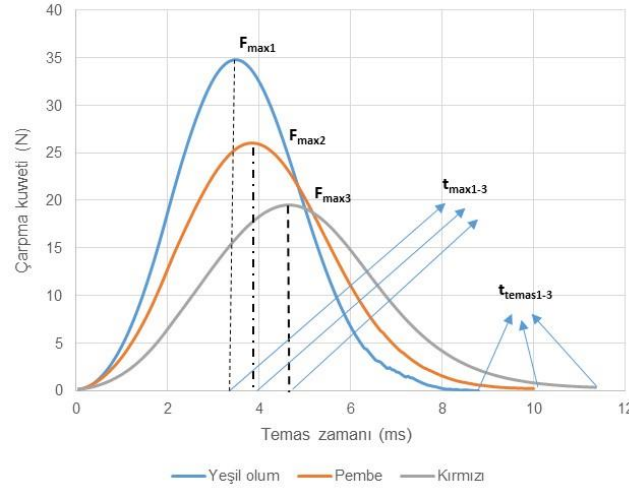
Ya da F, çarpma kuvvetini t^2 'ye bölerek bir adım daha ileriye gidilebilir.

$$\frac{F}{t^2} = 0.625(V_0)^{8/5}(m_2)^{-1/5} \left[\frac{E_2}{(1-\mu_2^2)} \right]^{64/5} (R_2)^{3/5} \quad (1.7)$$

Chen (2001) adlı araştırmacı 1.4 ve 1.6 nolu eşitlikte $m_2=0.2$ kg, $R_2= 0.035$ m, $\mu^2= 0.49$, $V_0= 0.886$ m/s ve $E_2=5.0$ MPa (orta sertlikte meyve kabul edilerek) parametrelerini kullanarak sayısal hesaplama yapmış ve F ve F/t sertlik indeksi parametrelerini hesaplamıştır. Elde edilen sayısal hesaplamalara göre, E_2 sertliğinde% 20'lik bir artışın (5,0'dan 6,0 MPa'a) F'de% 7,56 ve F/t'de % 15,7'lik bir artışla sonuçlanacağını göstermektedir. Bu, hem F hem de F/t'nin meyvenin sertliğindeki değişikliklere oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir. Bu durum, sertlik algılama için istenen bir özelliktir. Bununla birlikte, meyve kütesinde (m_2) % 10'luk bir değişiklik, F'de % 5.88 ve F/t'de % 4.44 değişiklik ile sonuçlanacaktır. Çarpma hızındaki % 10'luk bir değişiklik de, F ve F/t'de de önemli değişikliklere neden olacaktır. Chen (2001) adlı araştırmacının elde etmiş olduğu sonuçlar meyve kütesi ve düşme yüksekliğinin belirli değerler aralığında sabit tutulması durumunda meyve sertliğindeki değişimin F ve F/t'yi değiştireceği ve bu parametrelerin sertlik sınıflandırmasında hasarsız çarpma parametreleri olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

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. Çalışmalar da meyvelerin mekanik özellikleri hasarlı referans ölçüm parametreleri olarak dikkate alınmış ve hasarsız çarpma parametreleri olan ilişkileri araştırılmıştır. Burada önemli olan meyve ya da sebzelerin hangi mekanik özelliklerinin referans ölçüm parametresi olarak kullanılabileceğine karar vermektir. Örneğin Şekil 1.2’de 15 mm’lik düşme yüksekliğinden kuvvet algılayıcı üzerine çarptırılan domates meyvelerinin yeşil olum, pembe ve kırmızı olgunluk safhasında çarpma kuvveti ($F_{\max1-3}$), maksimum kuvvetteki zaman ($t_{\max1-3}$) ve temas zamanındaki ($t_{\text{temas}1-3}$) değişim görülmektedir. Şekil 1.2’den görüldüğü gibi domates meyvesi yeşil olum safhasından kırmızı olum safhasına kadar olgunlaştıkça çarpma kuvveti azalmakta, maksimum kuvvetteki zaman ve temas zamanı artmaktadır. Hasarsız çarpma parametreleri olarak kabul edilen ve sertlik indeksi olarak ta adlandırılan bu parametrelerin domates olgunluk safhasına bağlı mekanik özelliklerindeki değişim ile olan ilişkileri sertlik tahmin modeli için önemlidir. Bu nedenle kuvvet algılayıcılar ile 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 1.2. Domates olgunluk safhasına bağlı maksimum çarpma kuvveti, maksimum kuvvetteki zaman 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 1.2). İlk çarpma indeksi, yaban mersini sertliğini tahmin etmek için maksimum çarpma kuvvetinin (F), maksimum çarpma kuvvetindeki zamanın karesine (t^2) oranı şeklinde (F/t^2) Rohrbach ve ark. (1982) tarafından kullanılmıştır. Ayrıca, Delwiche ve ark. (1987)'de F/t ve F/t^2 çarpma indekslerinin şeftali meyvelerinin kabuk yırtılma kuvveti ve elastisite modülü ile yüksek oranda ilişkili olduğunu belirlemiştir. Günümüze kadar da hasarsız çarpma tekniği kullanarak meyve sertlik tahminine yönelik bir çok araştırmacı elastisite ve hertz teorisini kullanarak çalışmalar yürütmüş ve özellikle meyvelerin sınıflandırılmasında kullanılabilecek sertlik algılayıcı sistemlerin tasarımına yönelik olarak teorik eşitliklerinden yararlanmışlardır.

Hasarsız çarpma tekniği, bir malzeme, bileşen, yapı veya sistemin özelliklerini, 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. Bu nedenle 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.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasında 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 ölçülen 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. Ayrıca, denemelerde kullanılan domates örneklerinin olgunluk safhasına bağlı renk parametrelerindeki ve mekanik özelliklerindeki değişim de incelenmiştir.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Chen ve ark. (1993) balkabağı ve turp'un sertliğinin tespitinde hasarsız çarpma tekniğini kullanmıştır. Sertliğin hasarsız tespiti için bir araç olarak uç kısmında sert bir kürenin bulunduğu çekiç tarafından vurulan numunenin çarpma kuvvetleri incelenmiştir. Çarpma kuvvetleri Elastisite Teorisi kullanılarak elastiklik modeli ile tahmin edilmiştir. Model sonuçları, çarpma kuvveti çözümlerinin şekil özelliğinin k (tepe kuvveti/impuls^{6/5}) sertliği tahmin etmek için kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca, k parametresi numunenin elastikiyetindeki değişikliklere duyarlı ve temastaki hıza ve numunelerin boyutundaki değişikliklere tamamen duyarsız bulunmuştur. Balkabağı ve Sakurajima turpları ile yapılan deney düzeneğinde, bir penetrometre ile ölçülen materyallerin darbe karakteristiği k ve meyve eti sertliği arasındaki korelasyon katsayıları sırasıyla 0.93 ve 0.92 olarak hesaplanmış ve bu sonuçlar, yöntemin balkabağı ve Sakurajima turplarının sertliğini belirlemek için uygun olduğunu göstermiştir.

Delwiche (1987) adlı araştırmacı, çarpma kuvveti ölçümü ile sertlik tahminini etkileyen çeşitli faktörleri incelemek için Elastisite Teorisini kullanarak teorik bir analiz yapmıştır. Bu çalışmada, meyveler, düz ve sert bir yüzeye çarpan homojen elastik küreler olarak modellenmiştir. Model sonuçları, çarpma özelliği C_2 'nin temas hızından (düşme yüksekliği ile ilgili) ve elastikiyet modülünden güçlü bir şekilde etkilendiğini, ancak kütleden etkilenmediğini göstermiştir. Bu sonuçlar, C_2 'ye dayalı doğru sertlik tahmini için sabit bir temas hızını korumak için otomatik bir sıralayıcıya ihtiyaç olduğunu ve meyvenin önceden boyutlandırılmasının gerekli olmayabileceğini göstermiştir.

Delwiche ve ark. (1987), şeftalilerin çarpma kuvvetlerinin, sertlik tahmini için bir araç olarak analiz edildiğini ifade etmiştir. Meyveler bir kuvvet algılayıcıya bağlı sert bir çelik plaka üzerine 3 cm yükseklikten düşürülmüştür. Çarpma kuvvetleri bir bilgisayar tarafından örneklenmiş ve bu çarpma parametreleri sertlik tahmin edicileri olarak çeşitli şekil özellikleri geliştirmek için kullanılmıştır.

Zaman alanı özellikleri, tepe çarpma kuvvetlerine ve karşılık gelen meydana gelme zamanlarına göre hesaplanmıştır. Frekans alanı özellikleri, çarpma kuvveti dizilerinin ayrık Fourier dönüşümünün (DFT) bileşenlerinden alınmıştır. Zaman alan özelliği $C_2 = (\text{tepe kuvveti})/(\text{tepe kuvvetine kadar geçen süre})$ ve frekans alanı özelliği $F_{295} = (512 \text{ noktalı DFT'nin } 295 \text{ Hz bileşeninin büyüklüğü})$ Meyve eti sertliğinin elastik modülü ve penetrometre okumaları ile en yüksek korelasyon değerlerini vermiştir.

Delwiche ve ark. (1989), meyveleri yatay olarak sabit bir hızla (76,7 cm/sn) taşıyan ve sert bir yüzeye çarpmalarını sağlayan tek şeritli sertlik ayırma sistemi geliştirmiştir. Meyveleri 5.1 meyve/s'de sert, orta sert ve yumuşak kategorilere ayırmak için çarpma kuvveti özellikleri ($C_2 = (\text{tepe kuvveti})/(\text{tepe kuvvetine kadar geçen süre})$) kullanılmıştır. C_2 ile penetrometre sertliği ve elastikiyet modülü arasındaki korelasyon katsayıları sırasıyla, taze pazar şeftalileri için 0.84 ve 0.90, armut meyvesi için de 0.78 ve 0.81 olarak belirlenmiştir. Şeftalilerin yaklaşık %74'ü doğru sertlik aralığına göre sıralanmıştır.

Gutierrez ve ark. (2007) adlı araştırmacılar, şeftali meyvesinin sertlik değerlendirmesinde hasarsız çarpma tekniğini kullanmışlardır. Araştırmacılar öncelikle laboratuvar ortamında yapmış oldukları ön denemelerde sertlik tahmininde kullanılacak çarpma parametrelerini belirlemiş ve ayırma analiz yöntemi kullanarak şeftali sertlik tahmin modeli geliştirmişlerdir. Araştırmanın ikinci aşamasında laboratuvar ortamında geliştirilen sertlik tahmin modelleri prototip sınıflandırma hattında test edilerek sınıflandırma başarı yüzdeleri ortaya konmuştur. Bu çalışma, bir yük hücresi üzerindeki meyve düşürme (kuvvet ve zaman eğrisi) analizine ve bunun ticari bir ön sınıflandırma hattına entegrasyonuna dayanan geliştirilmiş algılayıcıyı açıklamaktadır. Tekrarlanabilirlik testleri, sertlik algılayıcının 8 meyve/s hızında uygun şekilde çalışabildiğini ve algılayıcının %80 tekrarlanabilirlik ile şeftalileri sertliklerine göre sınıflandırabildiğini göstermiştir.

Jarimopas ve Kitthawee (2007) adlı araştırmacılar, mango meyvesinin farklı olgunluk aşamalarındaki sertliğini belirlemek amacıyla bir çalışma

yürütmüştür. Araştırmacılar, iki Thai mango çeşidinden (Nam Dokmai ve Chok Anan) elde edilen olgunlaşmamış, olgun ve aşırı olgun meyvelerin sertliğini, universal Test Makinesi kullanılarak quasi-statik sıkıştırma tekniği ve düşük-kütleli hasarsız çarpma test cihazı kullanarak ölçmüşlerdir. Sıkıştırma testi ile belirlenen mangonun sertliği, kuvvet-deformasyon grafiğinin eğimi ile ifade edilirken, hasarsız çarpma testinden elde edilen sertlik değerleri, maksimum ivme ile maksimum ivmedeki süre (sertlik indeksi) arasındaki oran ile tanımlanmıştır. İki parametre arasında çok iyi bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Meyve olgunlaştıkça sertlik hızla azalmasına rağmen, iki çeşidin her bir sertlik göstergesi olgunlaşmadan tam olgun aşamaya kadar nispeten değişmeden kalmıştır. Chok Anan çeşidi, gelişme dönemi boyunca Nam Dokmai türünden daha sert bulunmuştur. Hasarsız çarpma tekniğinin, mango sertliğini hızlı, doğru ve tahribatsız bir şekilde ölçebildiği sonucuna varılmıştır.

Lien ve ark. (2009) adlı araştırmacılar çarpma etkisi altındaki meyvenin mekanik özellikleri kullanılarak domateslerin olgunluğunu değerlendirmek için hasarsız bir yöntem geliştirmiştir. Araştırmacılar farklı olgunluk seviyesindeki domates örnekleri kullanarak yapmış oldukları çarpma testleri sonucunda ölçtükleri an çarpma parametreleri (maksimum çarpma kuvveti, maksimum kuvvetteki zaman ve temas zamanı) ve bunlardan türetilmiş parametreler ile sertlik tahmin modeli geliştirmişlerdir. Araştırmacılar öncelikle domates örneklerini sertlik grubuna ayırmışlar ve bunun için de kümeleme analiz yöntemini kullanmışlardır. Ayrıca, ayırma (diskriminant) analiz yöntemi ile de istatistiksel olarak belirlenen çarpma parametreleri ile sertlik sınıflandırma başarılarını ölçmüşlerdir. Doğrusal ayırma (diskriminant) analizi ile sınıflandırmanın doğruluğu artırılmış ve stepwise (kademeli) regresyon analizi ile de işlenen 9 çarpma parametre sayısı azaltılmıştır. Sınıflandırmanın doğruluğu, dokuz çarpma parametresinin tümünün kullanılmasıyla %82.3 ve en etkin üç parametrenin kullanılmasıyla %79.2 bulunmuştur. Performans, doğrusal ayırma (diskriminant) analizi ile birlikte düşen

etkinin, domateslerin olgunluğunu değerlendirmede umut verici bir tahribatsız yaklaşım sağladığını göstermiştir.

Lien ve Hua Ting (2014) adlı araştırmacılar, düşen meyve çarpma tepkilerinden elde edilen mekanik özelliklere dayalı olarak guava meyvesinin olgunluğunu değerlendirmek için hasarsız bir yöntem geliştirilmiştir. Olgunluk seviyeleri, ham çarpma ölçümleri ve bunların türetilmiş çarpma parametreleri üzerinde kümeleme ve diskriminant analizleri ile sınıflandırılmıştır. Stepwise (adım adım) regresyon analizi ile işlenerek parametre sayısı azaltılmıştır. Sınıflandırmanın doğruluğu lineer diskriminant analizi kullanılarak kalibratör olarak penetrometre sertliği ile %76.3'e ve kalibratör olarak hasat sonrası günlerde %84,2'ye kadar iyileştirilmiştir. Performans, yeterli istatistiksel analizlerle birlikte düşen çarpmanın, guava'nın olgunluğunu değerlendirmede umut verici bir hasarsız yaklaşım sağladığını göstermiştir. Hasarsız yapı, aynı numune üzerinde mekanik test tekrarlanarak doğrulanmıştır. Test mekanizması mekaniktir ve bu nedenle otomatik bir guava meyvelerinin sınıflandırılmasında olgunluk çıkarım motoru olarak entegre edilebilir olarak bulunmuştur.

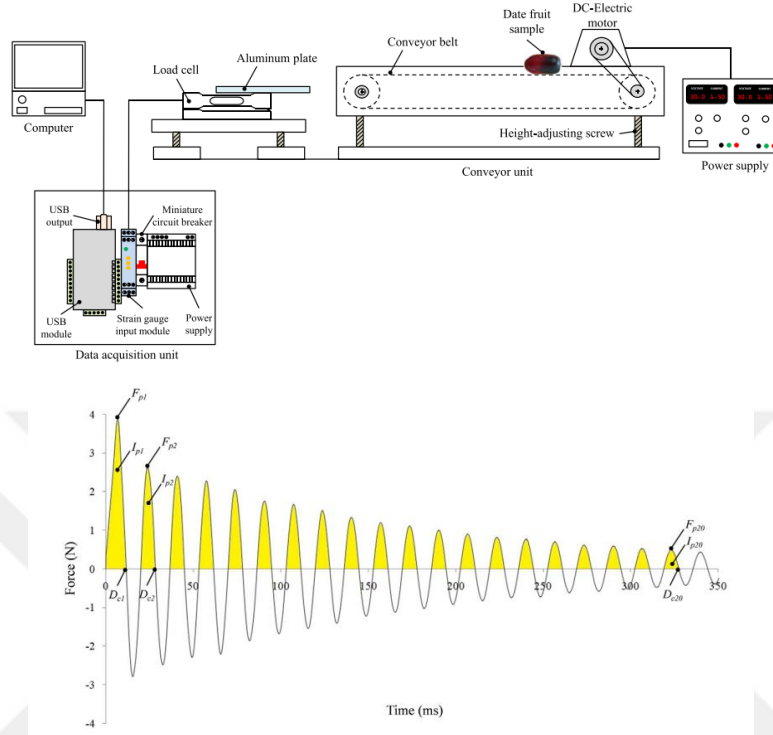
Lien ve Ting (2013) adlı araştırmacılar hafif düşme çarpma testi altındaki meyvenin mekanik özelliklerine dayalı olarak Guava meyve olgunluğunu değerlendirmek için hasarsız bir çarpma yöntemi geliştirilmiştir. Ana çarpma parametreleri ve bunlardan türetilmiş parametreler üzerinde küme ve diskriminant analizleri ile olgunluk seviyelerine göre sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Sınıflandırmanın doğruluğu doğrusal ayırma (diskriminant) analiz yöntemi ile geliştirilmiş ve stepwise (kademeli) regresyon analizi ile işlenen çarpma parametre sayısı azaltılmıştır. Araştırmacıların yapmış oldukları analizleri sonucunda sınıflandırma hassasiyeti %84.21 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca sonuçlar, doğrusal ayırma (diskriminant) analizi ile birlikte hafif düşen çarpmaların Guava meyve olgunluğunu değerlendirmede umut verici, hasarsız bir yaklaşım sağladığını göstermiştir.

McGlone ve ark. (1997) adlı araştırmacılar sertlik tahminlerinin meyve kütlesi ve düşme yüksekliğindeki değişikliklere duyarlılığını ortaya koyan çarpma kuvveti analizi deneylerini detaylı şekilde ortaya koyan bir çalışma yürütmüştür. Kivi meyvesi kullanılarak yapılan ölçümlerin, çarpma kuvveti analizi için standart Elastisite teorisi modelinden alınan teorik tahminlerle uyumlu olduğu gösterilmiştir. Çarpma süresinin bir ölçüsü olan bekleme süresi (dwell time), meyve kütlesiyle ($\sim m^{1/3}$) orta derecede ve düşme yüksekliğiyle ($\sim h^{-1/10}$) çok az değişim göstermiştir. Kivi meyvesinde bekleme süresi ile penetrometre sertliği arasındaki ilişkiler, 50 mm'ye kadar bir dizi farklı düşme yüksekliği için rapor edilmiştir. Doğrusal regresyon sonuçları her düşme yüksekliğinde benzer sonuçlar vermiş ($R^2 > 0.7$, $s \sim 1.5$ N, penetrometre sertliği 0 ila 15 N arasında) ve artan düşme yükseklikleri ile gerçek bir gelişme olmadığını göstermiştir. Meyveler 50 mm'de tekrarlanan çarpmalarda bile zarar görmemiştir.

Meredith ve ark. (1990) adlı araştırmacılar, şeftali endüstrisindeki insanların ürünlerinin yaşam döngüsünün neresinde olduğunu bilmelerinin önemli olduğunu ifade etmiştir. Çalışmalarında, hızlı bir hasarsız tahminin, gerçek zamanlı sınıflandırma için çok değerli olabileceği belirtilmiştir. Bu çalışmada, şeftali sertliğinin belirlenmesine dayalı bir yaklaşım önerilmiştir. Sertliğin bir ölçüsü olarak Instron tepe kuvveti (şeftali Magness Taylor kuvveti), sıçrama katsayısı ile ilişkilendirilmiştir. Bu katsayı, şeftali meyvesinin bir load-cell tripod üzerine iki ardışık sıçramasından hızlı bir şekilde hesaplanmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre, sıçrama katsayısı ile Instron tepe kuvveti değeri arasındaki ilişki yüksek çıkmış olup sıçrama katsayısı artıkça şeftali meyve sertliği de yükselmiştir.

Mireei ve ark. (2015) adlı araştırmacılar hurma meyve sertliğinin hasarsız tahmini için çarpma testine dayalı prototip tek hatlı bir çarpma test cihazı geliştirmiştir. Tek hatlı çarpma test cihazı hurmaların üzerinde taşındığı sonsuz bant, yük hücresi, çarpma plakası ve çarpma parametrelerinin algılandığı veri toplama ünitesinden oluşmaktadır. Şekil 2.1'de araştırmacılar tarafından denemelerde kullanılan prototip çarpma test cihazı ve çarpma verilerinin elde

edildiği çarpma kuvveti- temas zamanı eğrisi görülmektedir. Araştırmacılar tüm çarpma testlerini 1, 1.5 ve 2.0 m/s taşıyıcı bant hızında gerçekleştirmişlerdir. Sertlik tahmin modelleri öncelikle ilk yarı dalga eğrisinden türetilmiş ana çarpma parametreleri kullanılarak basit ve çoklu regresyon ile geliştirilmiştir. Bu çarpma parametreleri ayrıca çarpma sinyalinin ilk yirmi pozitif yarı dalgası için de hesaplanmış ve daha ileri regresyon analizi yöntemlerinde de kullanılmıştır (Şekil 2.1). Ayrıca, ilk yarım dalganın tüm veri noktaları ve tüm çarpma sinyali, kısmi en küçük kareler regresyon modellerinin (PLS) geliştirilmesinde bağımsız değişkenler olarak kullanılmıştır. Genel olarak, yirmi pozitif yarım dalganın çarpma parametreleri kullanıldığında, tahmin gücünde önemli bir artış ortaya çıkmıştır. Tüm çarpma geçmişine sahip kısmi en küçük kareler (PLS) modelleri, ilk yarım dalga bilgisinden geliştirilen tahmin modellerine kıyasla biraz daha iyi sonuçlara yol açmıştır. 1.5 m / s'lik ilerleme hızı, hemen hemen tüm farklı yöntemlerde en iyi tahminleri göstermiştir.



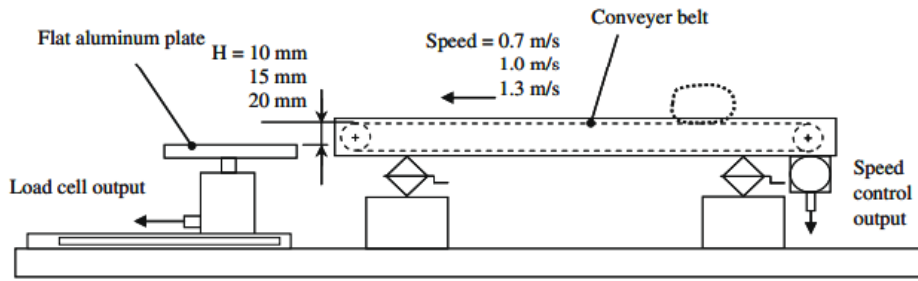
Şekil 2.1. Çarpma test düzeneği ve çarpma kuvveti-temas zamanı eğrisi şematik görünümü (Mireei ve ark., 2015).

Nahir ve ark. (1986), taze pazar domateslerinin olgunluk sınıflandırması için benzer kavramları kullanmıştır. Domates darbeleri, tek serbestlik dereceli Maxwell visko-elastik modeli ile modellenmiştir. Modeldeki rijitlik parametresi, çarpma kuvvetinin integralinin çarpma süresinin karesine bölünmesiyle tahmin edilmiştir. Meyvenin bir konveyörün üst yüzeyinden 7 cm aşağıya düşmesine ve bir kuvvet algılayıcıya bağlı metal bir plakaya çarpmasına izin vermek için bir ayırma mekanizması yapılmıştır. Hesaplanan sertlik değerine dayanarak, çıkış konveyöründeki pnömatis pistonlar ile yeşil ve fazla olgun domatesler kırmızı domateslerden ayrılmıştır. Görsel derecelendirmeye kıyasla sıralama performansı iyi olarak rapor edilmiş, ancak nicel mekanik özellik (tekstürel) verileri verilmemiştir.

Pourkhak ve ark. (2017) adlı araştırmacılar, Düşen darbe (FAI), zorunlu darbe (FOI) ve akustik darbe-tepki (AIR) dahil olmak üzere üç mekanik tabanlı teknik, Hayward kivi meyvelerinin görünen elastikiyet modülünün (E_a) ve Magness-Taylor sertliğinin (MTf) hasarsız tahmini için uygulanmıştır. Doku parametrelerini tahmin etmede her yöntemin yararları ve sınırlamaları göz önüne alındığında, bu çalışmada, çok sensörlü veri füzyonu kavramını kullanarak kestirimci modellerin performansı iyileştirilmeye çalışılmıştır. Buna göre, sırasıyla kısmi en küçük kare regresyon (PLSR) ve yapay sinir ağı (PCA-ANN) ile birleştirilmiş temel bileşen analizi kullanılarak düşük seviye ve orta seviye füzyonlar dahil olmak üzere iki farklı füzyon stratejisi uygulanmıştır. Her bir yöntemin yanı sıra her iki füzyon stratejisindeki kombinasyonlarının kullanılmasında MTf'nin tahminlerine kıyasla E_a 'nın daha iyi tahminleri elde edilmiş, böylece E_a 'nın hasarsız verilerle daha iyi uygunluk gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, her iki füzyon stratejisi, her tekniği ayrı ayrı kullanmaya kıyasla, E_a 'nın ve çoğu durumda MTf öngörücü modellerinin performansını artırmıştır. İki füzyonlu sistemin karşılaştırılması, orta seviye füzyonun düşük seviyeli füzyondan daha etkili olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, mekanik tabanlı yöntemlerin bireysel olarak uygulanmasına ve ayrıca bunların düşük seviyeli füzyonuna kıyasla, PCA-ANN algoritması kullanılarak orta seviye füzyonunun kivi dokusu hakkında daha detaylı ve tamamlayıcı bilgi sağlamak için etkili bir yaklaşım olabileceğini ortaya koymuştur.

Ragni ve ark. (2010) adlı araştırmacılar kivi meyvesinin meyve eti sertliğini ölçmek için çarpma test düzeneği geliştirmiştir. Bu çalışmada kullanılan test düzeneği, meyveyi bir yük hücreğine bağlı düz yatay bir plaka üzerine fırlatan bir taşıma bandından oluşmaktadır (Şekil 2.2). Plaka ve konveyör bandı arasındaki dikey mesafe (düşme yüksekliği) ve ayrıca bandın hızı sürekli olarak ayarlanabilmektedir. Testler, üç farklı düşme yüksekliği ve ilerleme hız değeri seçilerek gerçekleştirilmiştir. Magness-Taylor (MTf) sertlik indeksi meyve et sertliğini tanımlamak ve tahmine dayalı modeller kurmak için referans olarak

kullanılmıştır. Basit veya çoklu regresyon analizleri ile MTf'yi tahmin etmek için kullanılan bazı çarpma indeksleri (maksimum tepe kuvveti, temas süresi ve impuls) çıkarmak için kuvvetin dijitalleştirilmiş zaman geçmişi analiz edilmiştir. Ayrıca, tüm zaman geçmişinin her noktası, MTf'yi tahmin etmek için yapay sinir ağı (YSA) yazılımı tarafından işlenmiştir. R^2 olarak ifade edilen iyilik derecesi, regresyon modelleri ile 0.823'e kadar çıkmıştır. Genel olarak, maksimum tepe kuvveti en iyi MTf sertlik tahmin sonucunu vermiştir.



Şekil 2.2. Denemelerde kullanılan çarpma test cihazının şematik görünümü (Ragni ve ark., 2010).

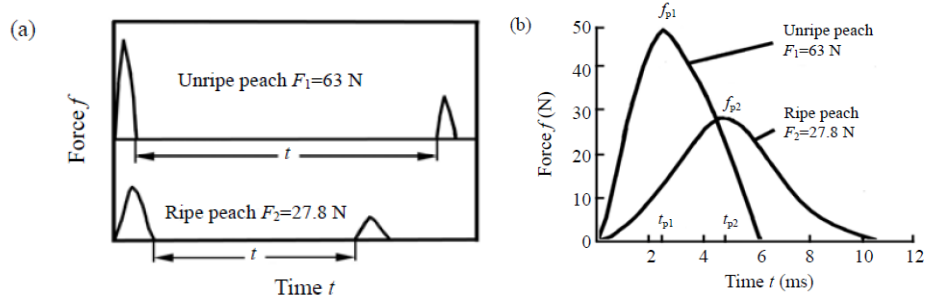
Vursavuş ve ark. (2017) adlı araştırmacılar yapmış oldukları çalışmada düşen meyve çarpma testi altındaki meyvenin mekanik özelliklerine dayalı olarak domates meyvesinin sertliğini değerlendirmek için hasarsız bir yöntem geliştirilmiştir. Testler, 2016 sezonunda geniş bir sertlik derecesi elde etmek için altı olgunluk döneminde *Bandita* F1 sera domates çeşidi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Hasarsız düşen meyve çarpma ölçümlerinde, çarpma plakasının altına takılan bir kuvvet algılayıcı ile çarpma kuvveti ve temas süresi algılanmıştır. Diğer çarpma parametreleri, çarpma kuvveti-temas süresi eğrilerinden türetilmiştir. Hasarlı referans parametresinin ölçümlerinde kabuk yırtılma noktasındaki kuvvet-deformasyon oranı kullanılmış ve domates sertliği (FT) olarak ifade edilmiştir. Bu hasarsız çarpma parametreleri, FT'yi tahmin etmek için hasarlı referans parametresi ile karşılaştırılmıştır. On adet hasarsız çarpma parametresi kullanılmış ve korelasyon matrisi ve kademeli regresyon analizleri ile

işlenen çarpma parametresi sayısı azaltılmıştır. Bu işlemlerden sonra model geliştirme için basit doğrusal regresyon (SLR) ve çoklu doğrusal regresyon (MLR) kullanılmıştır. Domates sertliğini tahmin etmek için kullanılan modelleme yaklaşımlarının performans değerlendirmesinde ortalama karesel hata (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve belirleme katsayısı (R^2) da kullanılmıştır. Domates örneklerinin sertlik seviyeleri kümeleme analizi ile sınıflandırılmış ve domates örneklerinin üç sertlik seviyesinde sınıflandırılması için geliştirilen modelleme yaklaşımlarının sınıflandırma performansı test edilmiştir. 135 adet domates örneğinin ortalama sertlik değerleri öncelikle iki gruba ayrılmıştır. Kalibrasyon ve doğrulama veri seti için hasarlı referans ve hasarsız çarpma parametrelerinin sırasıyla %70 ve %30'u kullanılmıştır. SLR ve MLR istatistiksel analiz sonuçlarına göre, doğrulama sonrası MLR modelinin, 0,19 N RMSE, %5,35 MAPE, 0,10 N MAE ve 0,85 R^2 ile sertlik tahmini için en doğru model olduğu belirlenmiştir.

Vursavuş ve Kesilmiş (2017) adlı araştırmacılar el tipi renk ölçüm cihazı ile ölçülen renk değerleri (L, a, b) kullanılarak domates kabuk yırtılma kuvveti ve kabuk sertliğinin hasarsız tahmini üzerine bir çalışma yürütmüştür. 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. Çoklu doğrusal regresyon analizi ile geliştirilen model de 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.

Wang ve ark. (2009) adlı araştırmacılar, metal düz bir yüzeye çarpan bir şeftalinin çarpma kuvveti tepkisini, sertliğin hasarsız tespiti amacıyla kullanmıştır. Araştırmacılar bu çalışmada; sertlik, düşme yüksekliği, meyve kütlesi ve çarpma

pozisyonunun hasarsız çarpma kuvveti parametreleri üzerindeki etkisini analiz etmeyi ve çarpma kuvveti parametresi ile sertlik arasında bir ilişki kurmayı amaçlamıştır. Çalışmada, şeftali meyve sertliği, düşme yüksekliği ve meyve kütlelerinin çarpma kuvveti parametreleri (sıçrama katsayısı, absorbe edilen enerji yüzdesi ve kuvvet-zaman katsayısı) üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Şekil 2.3’de iki farklı olgunluk seviyesindeki şeftali meyvelerinin kuvvet algılayıcı üzerine 1 cm yükseklikten yapılan ikili çarptırma sonrası ölçülen kuvvet-zaman grafikleri görülmektedir. 63 N meyve eti (F_1) sertliğine sahip şeftali de ölçülen kuvvet (f_{p1}) yaklaşık 50N iken, bu değer (f_{p2}) 27.8 N’luk meyve eti (F_2) sertliğine sahip şeftali de yaklaşık 30 N olarak ölçülmüştür. Ayrıca maksimum çarpma kuvvetindeki zaman da sert şeftali için 2.7 ms (t_{p1}) ve olgun şeftali için de 4.8 ms (t_{p2}) olarak ölçülmüştür. Çalışmada, kuvvet-zaman katsayısı olarak $c=f_{p1,2}/t_{p1,2}$ oranı kullanılmıştır. Hasarlı referans ölçüm parametresi olarak ta Magness Taylor sertlik değeri kullanılmıştır. 1 cm düşürme yüksekliğinden kuvvet algılayıcı üzerine yapılan çarptırma denemeleri sonuçlarına göre, sıçrama katsayısı, absorbe edilen enerji yüzdesi ve kuvvet-zaman çarpma katsayısının meyve olgunluğundan önemli ölçüde etkilendiği, ancak düşme yüksekliğinden, çarpma pozisyonundan ve kütleden etkilenmediğini belirlenmiştir. Absorbe edilen enerji yüzdesi olgunlukla artarken, kuvvet-zaman çarpma katsayısı ve sıçrama katsayısı olgunlukla azalmıştır. Üç hasarsız çarpma özelliği parametresi (kuvvet-zaman çarpma katsayısı, sıçrama katsayısı ve absorbe edilen enerji yüzdesi) ile şeftali sertliği arasında bir polinomial modeli için ($R^2=0,932$), S modeli için ($R^2=0,910$) ve üstel model için de ($R^2=0,941$) ilişkiler elde edilmiştir.



Şekil 2.3. Sert ve yumuşak şeftali meyvesinin (a) ikili ve (b) tekli çarpma durumunda kuvveti – zaman grafiğindeki değişim (Wang ve ark. 2009)

Zhang ve Brusewitz (1991) adlı araştırmacılar şeftali sertliğine ilişkin çarpma kuvvet modeli geliştirmiştir. Araştırmacılar, çarpma kuvvetine karşı zaman eğrisinin özelliklerinin sertlik ile ilgili olduğunu ve taze meyvelerin hasarsız derecelendirilmesinde ve sınıflandırılmasında kullanılabileceğini ifade etmiştir. Bu çalışmada, şeftaliler için kuvvet-zaman eğrisinin asimetrisini dikkate alan bir model geliştirilmiştir. Model parametrelerinden ikisi şeftali özellikleri ve düşme özellikleri ile ilişkilendirilmiştir; bu geliştirilen yöntemin daha önce kullanılan sertlik tahmin edicilerinden daha hassas ölçüm sonuçları verdiği belirlenmiştir. Üç çeşit, iki olgunluk derecesi, iki depolama süresi ve üç düşme yüksekliğini temsil eden 50 şeftali çarpma uygulamalarından elde edilen veriler, kuvvet algılayıcı ile ölçülen değerlerden maksimum tepe kuvveti için %0.6, maksimum kuvvete ulaşma süresi için %3.7 ve başlangıç eğimi için %4.1'lik bir farkla doğru sonuçlar vermiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

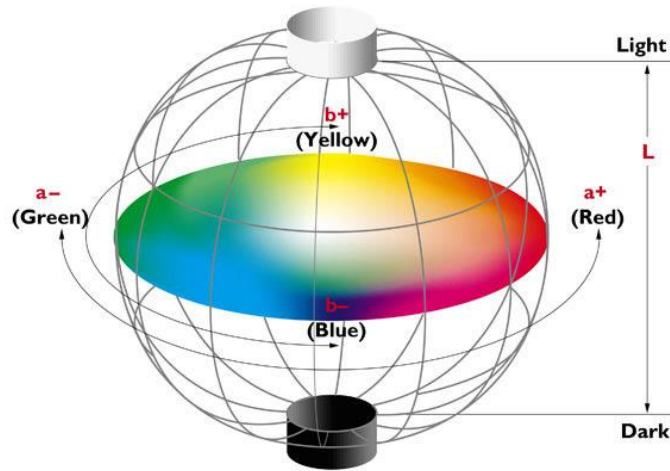
Bu çalışmada, kullanılan *Bandita* F1 domatesleri Adana ilindeki bir seradan temin edilmiştir. Domateslerde farklı sertlik grupları oluşturmak amacıyla yeşil olum, renk kırılması, renk dönüşümü, pembe olum, açık kırmızı ve kırmızı olum gibi altı farklı olgunluk safhalarında hasat işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1). 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.



Şekil 3.1. Denemelerde kullanılan farklı olgunluk seviyelerindeki domates örnekleri

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 (Şekil 3.2). 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 yeşillik derecesini belirtmektedir. Bu araştırmada, 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 3.1'de verilmiştir. Domateslerin renk ölçüm noktaları hasarsız ölçüm ve sertlik ölçümleri için işaretlenmiş (Şekil 3.3) ve bu noktalardan hasarsız çarpma parametre ölçümleri de yapılmıştır. Denemeler süresince altı olgunluk safhası için 134 adet domates ve her domateste 4 renk ölçümü (Şekil 3.3) olmak üzere toplamda 536 renk ölçümü gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. CIE L^* , a^* , b^* renk uzayı

Minolta renk ölçüm cihazı ile domates örnekleri üzerinde yapılan renk ölçümlerinde Chroma (Rengin doygunluğu), Hue (Rengin ton açısı), renk indeksi

ve renk farkı gibi olgunluk indeksi parametreleri de hesaplanmıştır. Renk tonu (Hue) veya gerçek renk, renk vektörü ile a + eksen arasındaki açıdır. Chroma (saflik veya doygunluk), renk lokusu ile orta nokta arasındaki mesafedir. Hesaplamalarda aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır (López Camelo ve Gómez, 2004; ABD El-Wahab ve ark. 2015).

$$Chroma = \sqrt{(a^*{}^2 + b^*{}^2)} \quad (3.1)$$

$$Hue = \tan^{-1}(b^* / a^*)^2 \quad (a^* \geq 0 \text{ ise}) \quad (3.2)$$

$$Hue = 180 + \tan^{-1}(b^* / a^*)^2 \quad (a^* < 0 \text{ ise}) \quad (3.3)$$

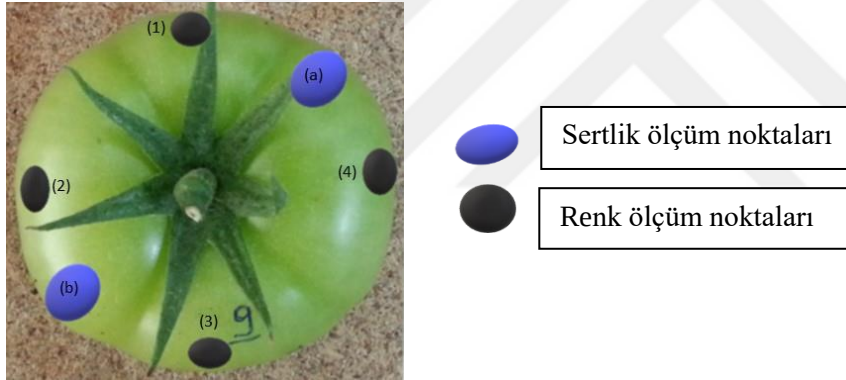
$$Renk\ İndeksi = (2000 \times a^*) / (L^* \times (a^*{}^2 + b^*{}^2)^{0.5}) \quad (3.4)$$

$$Renk\ Farkı = [(L^* - 50)^2 + (a^* - 60)^2 + b^*{}^2]^{0.5} \quad (3.5)$$

Çizelge 3.1. Domateslerin olgunluk safhalarının belirlenmesinde kullanılan a*/b* değerleri (Batu, 2004)

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

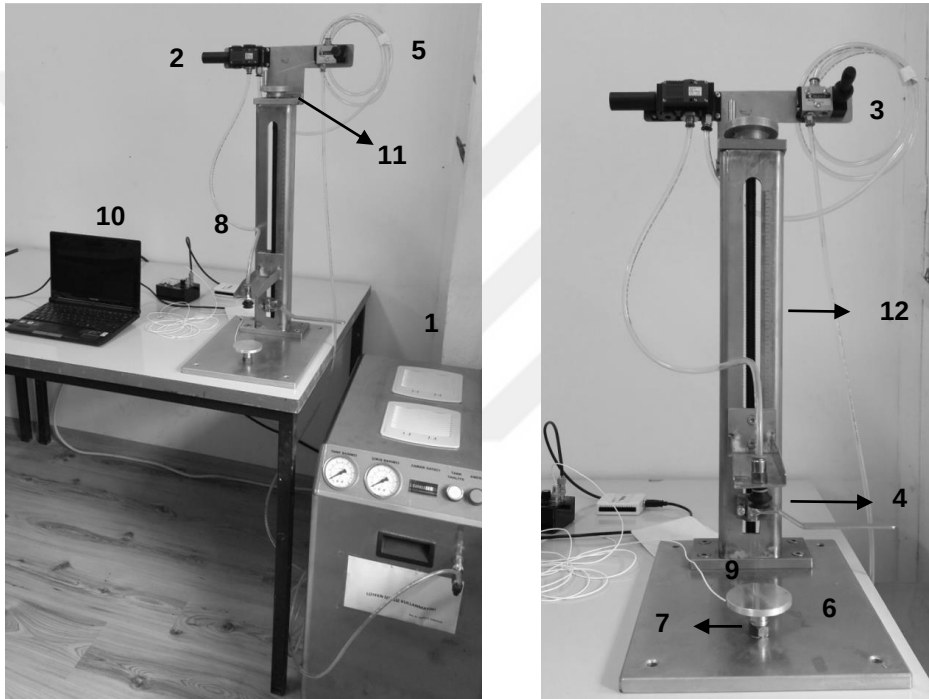
Domateslerin sertlik ölçümlerinde Lloyd Üniversal Test cihazı (Lloyd Instrument LRX Plus Series) kullanılmıştır. Mekanik özelliklerin belirlenmesi için yapılan ölçümlerde 4 mm çapında düz batıcı uç kullanılmış ve 10 mm min⁻¹'lik yükleme hızında çalışılmıştır. Batıcı uca 10 mm yol aldırılmıştır. Oluşturulan 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 ta adlandırılan domates sertlik ölçümleri, 134 adet domates örneğinde hasarsız çarpma ölçümlerinin yapıldığı 2 noktada gerçekleştirilmiştir. Toplamda 268 adet sertlik ölçümü yapılmış ve her domates örneği için ekvatorial bölgede ölçülen 2 değer ortalaması istatistiksel analizlerde kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Renk, domates kabuk yırtılma kuvveti ve kabuk sertliği ölçüm noktaları

Mekanik hasarsız çarpma tekniği ölçümlerinde Vursavuş ve ark. 2017 ve Tüdeş, 2019 adlı araştırmacı tarafından da kullanılan dinamik çarpma test cihazı ile hasarsız çarpma parametre ölçümleri yapılmıştır. Dinamik çarpma test cihazının genel görünüşü ve bileşenleri Şekil 3.4'de verilmiştir. Şekil 3.4'den görüldüğü gibi dinamik çarpma test cihazı kompresör (1), vakum pompası (2), vakum açma-kapama valfi (3), vantuz (4), bağlantı hortumları (5), alüminyum çarpma yüzeyi (6), kuvvet algılayıcı (7), yükselteç (8), veri toplama kartı (DAQ) (9) ve yazılım

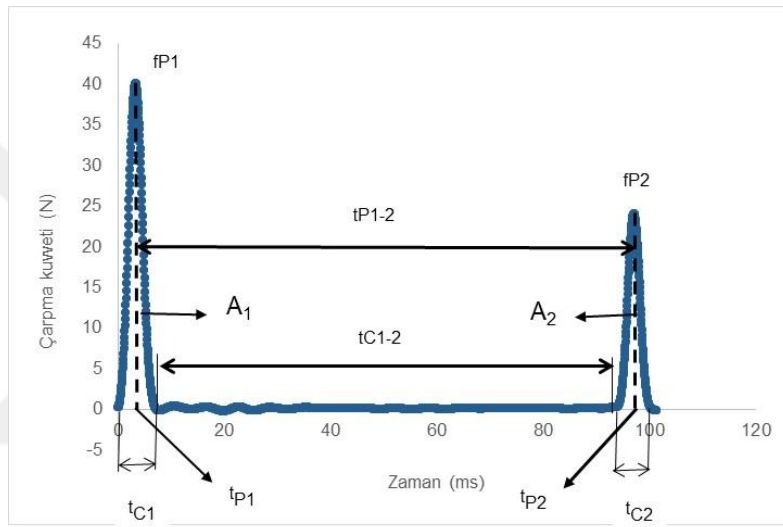
(10) gibi birçok bileşenden oluşmaktadır. Pnömatik etkiyle çalışan sistemin meyve ile çarpma plakası arasındaki yükseklik ayarı bir kol yardımıyla yapılmıştır (11). Meyve yüzeyi ile çarpma yüzeyi arasındaki mesafe özellikle hasarsız çarpma koşulu için önemli olduğundan yükseklik ayarı bir ayar kolu yardımıyla 1 cm'den 40 cm'ye kadar ayarlanabilmektedir. Test cihazının yan kısmında malzeme üzerine işlenmiş ölçekli bir cetvel bulunmaktadır (12).



Şekil 3.4. Dinamik çarpma test cihazı ve bileşenleri (Tüdeş,2019)

Meyve vakum pompası ile üretilmiş olan vakum etkisiyle vantuz aracılığıyla 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 yükseltilerek 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 da sinyaller işlenerek çarpma kuvveti- zamanı grafikleri ve ölçülen 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 3.5’de görülmektedir.



Şekil 3.5. 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 3.5’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 sertlikle doğrudan ilişkilidir. Yukarıdaki çarpışma koşulu, birkaç farklı yaklaşım kullanan viskoelastik modellerle tanımlanabilmekte ve çarpma süresi, maksimum deformasyon ve çarpma kuvvetleri ile karakterize edilebilmektedir (McGlone ve ark., 1997). Bu enerji fraksiyonları doğrudan sertlikle ilgilidir. İlk çarpışmadan sonra domates meyvesi kuvvet algılayıcıya çarptıktan sonra sıçrar ve t_{C1-2} süresi kadar bir süre havada kalır. Daha az olgunlaşmış bir meyve daha büyük bir esneklik modülüne sahiptir ve bu nedenle havada daha uzun süre kalır. Açıkça, kuvvet ölçümü, enerji dönüşüm sürecini ve dolayısıyla meyvenin mekanik özelliğini karakterize etmek için kullanılabilir. Okuyucu, meyve sertliğinin değerlendirilmesinde çarpma testinin dinamikleri hakkında daha fazla teorik ayrıntı McGlone ve ark. (1997) tarafından detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Şekil 3.5’de görüldüğü gibi ardışık iki çarpırma işlemi sonrası oluşan kuvvet-zaman eğrisi altındaki alan impuls değişimini vermektedir. A_1 = Birinci çarpma impuls değeri ve A_2 = İkinci çarpma impuls değeri olarak gösterilen eğri altındaki alan hesabı aşağıda verilmiş olan eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$A_{1,2} = \int_0^{t_c} F_{P1,2}.dt = \int_0^{t_c} m dV = m(V_s + V_i) \quad (3.6)$$

Burada; $A_{1,2}$ = Birinci ve ikin 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 = ilk çarpma hızını (m/s) ve V_s = son çarpma hızını ifade etmektedir.

3.6 nolu eşitlikte yer alan V_i ve V_s hızları aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V_{i,1} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_d} \quad (3.7)$$

$$V_{s,1} = V_{i,2} = \frac{g \cdot t_{C1-2}}{2} \quad (3.8)$$

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 3.5'de verilen ve hasarsız çarpma parametreleri olarak ifade edilen parametreler ve birimleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Ayrıca, hasarlı ölçüm parametreleri olarak kullanılmış olan ve domateslerin sertlik ifadesinde kullanılan parametrelerde Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2'de verilmiş olan çarpma parametrelerine ek olarak aşağıda verilmiş olan çarpma parametreleri de geliştirilmiş olan domates sertlik tahmin modellerinde kullanılmıştır. 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:

$$C_{P,12} = \frac{f_{P1} - f_{P2}}{t_{P1-2}} \quad (3.9)$$

$$C_{C,12} = \frac{f_{P1} - f_{P2}}{t_{C1-2}} \quad (3.10)$$

$$R_{FP} = \frac{f_{P2}}{f_{P1}} \quad (3.11)$$

$$\Delta F_p = f_{P1} - f_{P2} \quad (3.12)$$

$$RT_C = \frac{t_{C2}}{t_{C1}} \quad (3.13)$$

Lien ve ark. (2009) ve Lien ve Hua-Ting (2013) adlı araştırmacılar domates meyvesinin kütle etkisini de içeren aşağıdaki çarpma parametrelerini de domates ve guava meyvelerinin sertlik tahmin modellenmesinde kullanmışlardır.

$$C_{PW,12} = \frac{C_{P,12}}{W_w} \quad (3.14)$$

$$C_{CW,12} = \frac{C_{C,12}}{W_w} \quad (3.15)$$

Çizelge 3.2. Hasarlı ve hasarsız ölçüm parametreleri

Ölçüm tipi	Parametre	Ölçü birimi
Hasarsız ölçüm	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)
Hasarlı ölçüm	F _{KYK} = Domates kabuk yırtılma kuvveti (KYK)	N
	F _{KYK} /D _{KYK} = Domates kabuk sertliği (KS)	N/mm

Şekil 3.3’de verilen ve domates kabuk yırtılma kuvveti (KYK) ve domates kabuk sertliklerinin (KS) ölçüldüğü noktalarda öncelikle dinamik çarpma test cihazını kullanarak kuvvet algılayıcı üzerine çarptırma 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 örnekleri ile yapılmış olan çarptırma testleri sonucunda ölçülen hasarlı ve hasarsız ölçüm parametreleri çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemi ile değerlendirilmiş olup hasarlı ölçüm ve hasarsız çarpma parametreleri kullanılarak sertlik tahmini (hasarlı ölçüm parametreleri) bu istatistiksel yöntem ile belirlenmiştir. 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 Matriks testi ile belirlenmiştir.

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 , RT_C , $C_{PW,12}$, $C_{C,12}$) ve stepwise regresyon analiz yöntemiyle seçilmiş olan çarpma parametreleri ile çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılarak sertlik tahmin model eşitlikleri geliştirilmiştir. Ayrıca, KYK ve KS için geliştirilen tahmin model eşitliklerin sertlik sınıflandırma başarıları da hesaplanmıştır. Denemelerde kullanılmış olan hasarlı ve hasarsız ölçüm parametreleri ve ölçü birimleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Literatürde önerilen ve

sertlik indeksi olarak kullanılan $F_{p1,2}/tp_{1,2}$ ve $F_{p1,2}/tp_{1,2}^2$ 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 (KYK ve KS) gelişimine ulaşılammıştır.

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i^{act} - Y_i^{est})^2} \quad (3.16)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i^{act} - Y_i^{est}| \quad (3.17)$$

$$MAPE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i^{act} - Y_i^{est}|}{Y_i^{act}} \right) \cdot 100 \quad (3.18)$$

$$SDR = \frac{SD_{ref}}{RMSECV} \text{ veya } SDR = \frac{SD_{ref}}{RMSEP} \quad (3.19)$$

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, SDR= Standart sapma oranı'nı, SD_{ref} = Test verilerinin standart sapmasını ve RMSECV, RMSEP=. Kalibrasyon ve doğrulamanın hata kareler ortalamasının karekökü'nü ifade etmektedir

İstatistiksel değerlendirmelerde eşitlik 3.16-3.19'da verilmiş olan performans parametrelerinden daha yüksek R^2 değeri ve daha düşük RMSE, MAE ve MAPE değerlerini veren model optimal model olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, SDR, standart sapma oranı'nın da geliştirilen model eşitlikler için yüksek olması istenmektedir. **RMSE değeri** 0'dan ∞ 'a kadar değişebilir. Negatif yönelimli puanlar yani daha düşük değerlere sahip tahminleyiciler daha iyi performans gösterir. **RMSE değerinin** sıfır olması modelin hiç hata yapmadığı anlamına gelmektedir. **MAE değeri** 0'dan ∞ 'a kadar değişebilir. Negatif yönelimli puanlar yani daha düşük değerlere sahip tahminleyiciler daha iyi performans gösterir.

Lewis 1982 adlı araştırmacının belirttiğine göre de; MAPE istatistiği, farklı birim değerlere sahip modellerin karşılaştırılmasında ortaya çıkabilecek dezavantajları elimine etmektedir. Sayılan kriterler arasında “Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi” (MAPE) nin öngörü hatalarını yüzde olarak ifade etmesi nedeni ile tek başına da bir anlamının olması, diğer kriterlere göre üstünlüğü olarak kabul edilmektedir. MAPE değeri %10'un altında olan modeller “**çok iyi**”, %10 ile %20 arasında olan modeller “**iyi**”, %20 ile %50 arasında olan modeller “**kabul edilebilir**” ve %50'nin üzerinde olan modeller ise “**yanlış**” ve hatalı olarak sınıflandırılmaktadır.

Ayrıca, 1.5 - 1.9 arasındaki bir SDR, kaba niceliksel **tahminin mümkün** olduğu, ancak yine de kalibrasyon da biraz iyileştirmeye ihtiyaç duyulduğu anlamına gelmektedir. 2 ile 2.5 arasında SDR değeri tahmin modelinin **yeterli olduğunu** gösterir. Bu arada, SDR değerinin 2.5 ile 3 arasında veya üzerinde olması, sırasıyla **iyi** ve **mükemmel** tahmin doğruluğuna karşılık gelmektedir (Williams, 2001). Sinnaeve ve ark. (1994) and Williams (2001) adlı araştırmacılara göre de; R^2 ve SDR parametreleri geliştirilen tahmin modellerinin performanslarını sınıflandırmak için birlikte kullanılmaktadır. Buna göre:

$R^2 \geq 0.9$ ve $SDR \geq 3$ ise **model başarılı**

$0.8 \leq R^2 < 0.9$ ve $2.4 \leq SDR < 3$ ise **model orta derecede başarılı** ve

$R^2 < 0.8$ ve $SDR < 2.4$ ise **model başarısız** olarak kabul edilir.

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

$$C = \beta_0 + \beta_1 C_1 + \beta_2 C_2 + \dots \beta_n C_n \quad (3.20)$$

Burada; C= bağımlı değişkenleri ($KYK=F_{KYK}$, $KS=F_{KYK}/D_{KYK}$), C_1 , C_2 , ... C_n = Çizelge 3.2’de açıklanmış olan bağımsız değişkenleri ifade etmektedir. β_0 , β_1 , β_2 , ... β_n = modelin regresyon katsayılarını ifade etmektedir.

Kuvvet algılayıcı üzerine yapılan düşürme testleri sonucunda domates örneklerinin yüzeylerinde zedelenme oluşup oluşmadığı öncelikle görsel muayene ile gözlemlenmiştir. Bu amaçla, domates örneklerinin 15 mm düşme yüksekliğinden kuvvet algılayıcıya vida ile bağlantılı alüminyum çarpma plakası üzerine yapılan düşürme testlerinde altı farklı olgunluk seviyesinde 5 er adet domates örnekleri çarpma testleri sonrası ortam sıcaklığında (20-22 °C) 24 saat süre ile bekletilmiş ve çarpma noktalarında zedelenme oluşumunun var olup olmadığı görsel olarak belirlenmiştir. Ayrıca, çarpma mekaniğine göre teorik olarak ta mekanik hasar oluşumu belirlenmeye çalışılmıştır. Domateslerin mekanik hasar oluşumunu belirlemek için, çarpma etkisinin temel parametrelerini teorik olarak analiz etmek ve hesaplamak gerekmektedir. Meyvenin çarpma etkisi özellikleri göz önünde bulundurularak kinematik analiz aşağıdaki varsayımlar dikkate alınarak yapılmıştır (Mohsenin ve ark., 1986):

- Domatesler küre şeklinde kabul edilebilir,
- Hava direnci ihmal edilebilir düzeydedir ve tüm domateslerin kütlesi aynı çarpma kuvvetine maruz kalır.
- Domateslerin iç titreşimleri önemsizdir

Temas sırasında çarpma kuvveti (F), ivme (a) ve hız (v) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmaktadır (Lu ve Wang, 2007).

$$a = g - \frac{F}{m_n} \quad (3.21)$$

$$V = V_0 + \int_0^t a dt \quad (3.22)$$

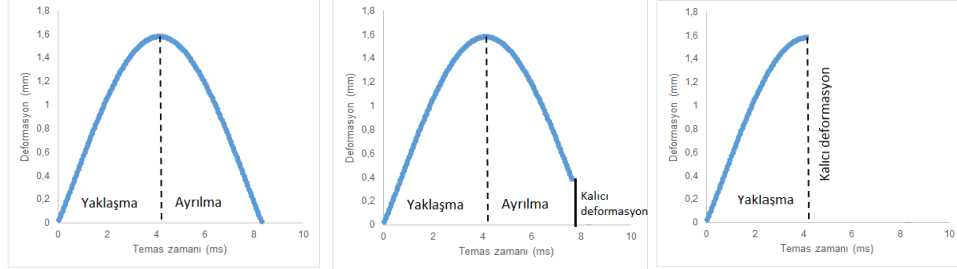
$$V_0 = \sqrt{2gh} \quad (3.23)$$

Temas süresince domates meyvelerinde oluşan deformasyon (s) aşağıda verilmiş olan eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$s = \int_0^t v dt \quad (3.24)$$

Burada: m= domates kütleini (kg), g= yerçekimi ivmesini (m/s^2), V= çarpma süresince hız değişimini (m/s), V_0 = temas başlangıcındaki hızı (m/s), t= temas sonrası zamanı (s) ve h= düşme yüksekliğini (m) ifade etmektedir.

Yukarıda belirtildiği gibi eğri davranışları kullanılarak biyolojik materyallerin çarpma sırasında tam elastik, elastik-plastik ya da plastik davranış gösterdikleri ortaya konabilmektedir. Bunun için de deformasyon-zaman faydalanılmaktadır. Şekil 3.6'da tam elastik, elastik-plastik ve tam plastik davranışlara ait deformasyon-zaman grafikleri görülmektedir. Mohsenin (1986)'e göre, tam elastik çarpma koşulunda maksimum deformasyon noktası etrafında bir simetri eksenini bulunurken, elastik-plastik çarpma durumunda simetrik olmayan bir eğri elde edilmektedir. Tam plastik çarpma durumunda ise, materyal çarpma yüzeyinden ayrılmamaktadır.



Tam elastik davranış

Elastik-plastik davranış

Tam plastik davranış

Şekil 3.6. Çarpma durumunda farklı davranış şekillerine göre deformasyon-zaman grafikleri

Eşitlik 3.21 - 3.24 kullanılarak 6 farklı olgunluk safhasındaki her domates örnek materyali için yapılan çarpma testleri sonrası deformasyon değerleri hesaplanarak plastik deformasyon oluşumunun var olup olmadığı teorik olarak hesaplanmış ve Şekil 3.6'ya benzer deformasyon-zaman grafikleri oluşturulmuştur. Tüm istatistiksel değerlendirmelerde SPSS 20.0 paket programından yararlanılmıştır.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

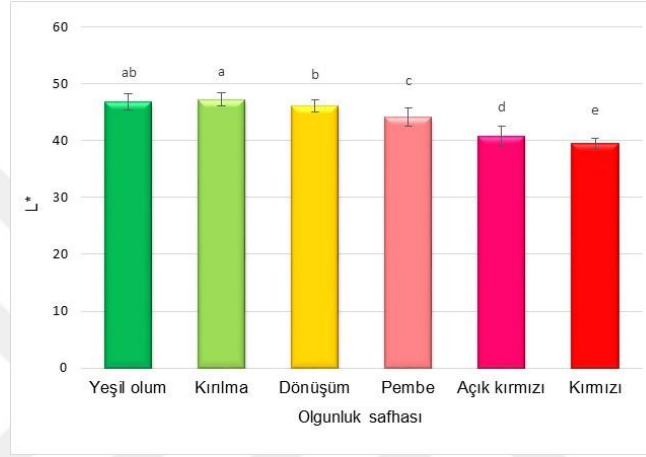
4.1. Renk Ölçümlerine İlişkin Sonuçlar

Denemelerde kullanılan domates örneklerinin renk ölçümlerine ilişkin ana renk parametrelerinden olan L^* , a^* ve b^* renk değerlerin altı farklı olgunluk safhasına bağlı değişimleri Şekil 4.1 - 4.3’de verilmiştir. Ayrıca, Batu (2004) tarafından önerilen ve domates olgunluk safhalarının belirlenmesinde kullanılmış olan a^*/b^* renk parametresindeki değişim de incelenmiş ve sonuçlar Şekil 4.4’de verilmiştir. L^* değeri parlaklığı temsil etmekte olup 0 ile 100 arasında değişmektedir. 0 siyahlığı, 100 beyazlığı ifade etmektedir. a^* değeri kırmızılık ve yeşilliği ifade etmekte olup, -90 ile +90 arasında değişmektedir. b^* değeri mavilik ve sarılığı ifade etmekte olup -90 ile +90 arasında değişmektedir. Domateslerin parlaklığını temsil eden L^* parlaklık değeri yeşil olumdan kırmızı olum safhasına doğru geçtikçe azalım eğilimi göstermiştir. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre olgunluk seviyesi L^* değeri üzerinde $p<0.01$ düzeyinde etkili bulunmuştur. Ayrıca yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre de ortalamalar arasındaki farkta $p<0.05$ düzeyinde önemli çıkmıştır. Duncan testine ilişkin sonuçlar ve her olgunluk seviyesindeki standart sapma değerleri Şekil 4.1 üzerinde gösterilmiştir.

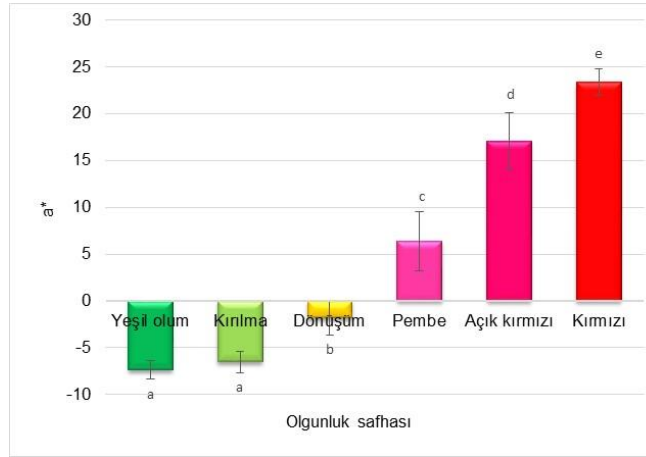
Kırmızılık ve yeşilliği ifade eden a^* renk değeri domatesler yeşil olumdan kırmızı olum safhasına doğru geçtikçe yeşilden kırmızıya doğru renk değişimi göstermiştir. Ölçülen a^* değerleri de -7.35’den 23.31’e doğru artış göstermiştir. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre olgunluk seviyesi a^* değeri üzerinde $p<0.01$ düzeyinde etkili olmuştur. Ortalamalar arasındaki farkta Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre $p<0.05$ düzeyinde önemli çıkmıştır. Duncan testine ilişkin sonuçlar ve her olgunluk seviyesindeki standart sapma değerleri Şekil 4.2 üzerinde gösterilmiştir.

Mavilik ve sarılığı ifade eden b^* değeri domatesler yeşil olumdan kırmızı olum safhasına geçtikçe 14.79’dan 22.54’e yükselmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre olgunluk seviyesi b^* renk değeri üzerinde %1 ($P<0.01$) düzeyinde

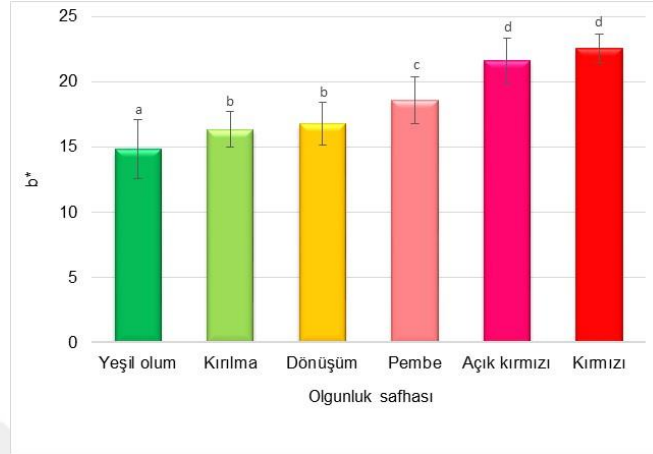
etkili bulunmuş olup olgunluk seviyelerinin ortalamaları arasındaki fark yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre %5 ($P<0.05$) düzeyinde önemli çıkmıştır. Duncan testine ilişkin sonuçlar ve her olgunluk seviyesindeki standart sapma değerleri Şekil 4.3 üzerinde gösterilmiştir.



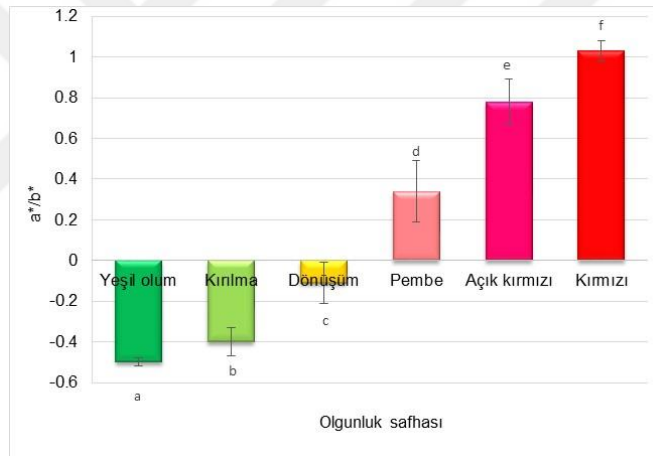
Şekil 4.1. Domates olgunluk safhasına bağlı L* renk parametresindeki değişim



Şekil 4.2. Domates olgunluk safhasına bağlı a* renk parametresindeki değişim



Şekil 4.3. Domates olgunluk safhasına bağlı b* renk parametresindeki değişim



Şekil 4.4. Domates olgunluk safhasına bağlı a*/b* renk parametresindeki değişim

Batu (2004) tarafından önerilen ve domates olgunluk safhalarının belirlenmesinde kullanılmış olan a*/b* renk parametresindeki değişim de incelenmiş sonuçlar Şekil 4.4’de verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre olgunluk safhasının etkisi a*/b* renk parametresi üzerinde %1 ($P < 0.01$) seviyesinde önemli bulunmuş olup ortalamalar arasındaki fark tüm olgunluk safhalarında farklı çıkmış ve olgunluk safhaları farklı gruplar içerisinde yer almıştır ($p < 0.05$).

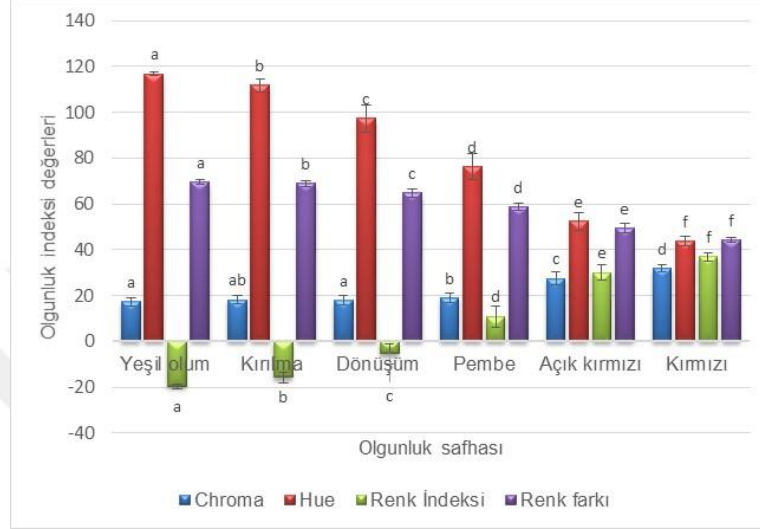
Olgunluk safhasına bağlı olarak L^* , a^* , b^* ve a^*/b^* renk parametrelerindeki değişime ilişkin genel bir değerlendirme yapılacak olursa; olgunluk safhalarındaki değişimi belirlemede a^*/b^* renk parametresi en başarılı bulunmuştur. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre tüm olgunluk safhalarının farklı gruplarda yer alması da bunu destekler niteliktedir. Bunu a^* renk parametresi izlemiştir. Yeşil olum ve kırılma döneminde yeşil renk baskın olduğu için a^* değerindeki farklılık istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ve aynı grupta yer almıştır. Dönüşüm dönemi-kırmızı olum safhasında kırmızı renk baskın olmaya başladığı için bu safhalarda a^* değerinde negatiften pozitif doğru keskin bir artış söz konusu olmuştur. Bu durum, hem klorofil bozulmasının hem de likopen sentezinin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Domates meyvelerinin a^* renk değeri en bariz değişikliği göstermiştir. Çünkü değerler yeşil veya olgunlaşmamış meyvelerin yeşilimsi renkleri için negatif ve kırmızı veya olgun meyvelerin kırmızımsı renkleri için pozitiftir. L^* parlaklık değerleri yeşil olum - kırılma safhasında pek değişim göstermemiştir. Bu da yeşil rengin hala baskın olduğu zamanlarda parlaklıkta değişiklik olmadığını bize göstermektedir. Kırmızı renk pigmentleri sentezlenmeye başladığında, azalan bir L^* değeri, kırmızı rengin koyulaştığını (dönüşümden tam kırmızıya) göstermiştir. b^* renk değerleri olgunlaşma sırasında çok az değişmiştir, ancak anlamlı, değerler pembe-açık kırmızı aşamada daha yüksek çıkmıştır. Bu, ζ -karotenlerin (soluk sarı renk) tam olgunlaşmadan önce en yüksek konsantrasyonlarına ulaşmasıyla, likopen (kırmızı renk) ve β -karotenin (turuncu renk) zirvelerine ulaşmasıyla ilgili olabilmektedir (Fraser ve ark, 1994; Choi ve ark, 1995). Elde etmiş olduğumuz sonuçlar, Lopez Camelo ve Gomez, (2004) adlı araştırmacıların domatesteki olgunluk safhasındaki değişime bağlı renk değerlerinin ve renk indekslerinin karşılaştırılmasına ilişkin ÇALIŞMALARI ile benzer sonuçlar göstermektedir.

Chroma, yoğunluk veya netlik değeri, görsel renk algılamasında rengin saflık oranını gösterir. **Chroma**, rengin canlılık veya matlık özelliğini tarif eder. Rengin griye veya saf renge ne kadar uzaklıkta olduğunu gösterir. **Hue** den

bağımsızdır. **Hue**, genel olarak bir objenin algıladığımız rengidir ve rengin ismini belirleyen değerdir. Mor, pembe, mavi, yeşil, kırmızı, turuncu, gibi. Hue, rengin ton açısı olarak ta ifade edilmektedir. Rengin kırmızı, yeşillik ve mavilikte bulunduğu noktaya göre hue değeri yani rengin açısı değişir. Hue değeri 0 ise renk kırmızı 90 ise sarı, 180 ise yeşil, 370 ise mavidir.

Hesaplanan olgunluk indekslerine ilişkin yapılan analiz sonuçları, rengin ton açısı (Hue), renk indeksi ve renk farkı'nın aslında aynı şeyi ifade ettiğini göstermektedir. (Şekil 4.5). Tüm bu durumlarda, görsel olgunlaşma aşamaları arasındaki farklar önemli bulunmuştur. Renk farkı gibi, rengin ton açısı daha yüksek bir değer aralığında negatif bir eğilim göstermiştir. Test edilen tüm meyvelerde meyve olgunlaşması sırasında renk tonu açısı değeri azalmıştır. Hue değerleri, kılma döneminden kırmızı olgunluk safhasına geçişte önemli ölçüde düşmüştür. Renk indeksi daha yüksek kırmızı renk yüzdesi ile artmıştır. Chroma'daki değişim yeşil olumdan pembe olum safhasına kadar pek anlamlı çıkmamakla birlikte pembe olum safhasıyla birlikte artan bir eğilim göstermiştir. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre de Hue, renk indeksi ve renk farkı ortalama değerleri arasındaki fark %5 ($P<0.05$) seviyesinde önemli bulunmuş ve farklı gruplar içerisinde yer almıştır (Şekil 4.5). Yeşil olum, kılma ve dönüşüm safhasında Chroma renk ortalama değerleri aynı grup içerisinde yer almış ve istatistiksel olarak aralarındaki fark önemsiz çıkmıştır. a* renk değerinin pembe olum safhası aşamasında pozitif dönüşümüyle birlikte pembe, açık kırmızı ve kırmızı renk olgunluk safhalarında Chroma renk değerinin ortalamaları arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0.05$). Chroma, Hue, renk farkı ve renk indeksi gibi olgunluk indekslerine ilişkin elde ettiğimiz sonuçlar Lopez Camelo ve Gomez, (2004) adlı araştırmacıların domatesteki olgunluk safhasındaki değişime bağlı renk indekslerindeki değişime ilişkin sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Lopez Camelo ve Gomez, (2004) ve Bui ve ark. (2010) tek bir rengin doygunluğunun veya saflığının bir ifadesi olan Chroma değerinin, farklı renkler

aynı değerlere sahip olabileceği için iyi bir domates olgunlaşma indeksi olmadığını belirtmiştir.

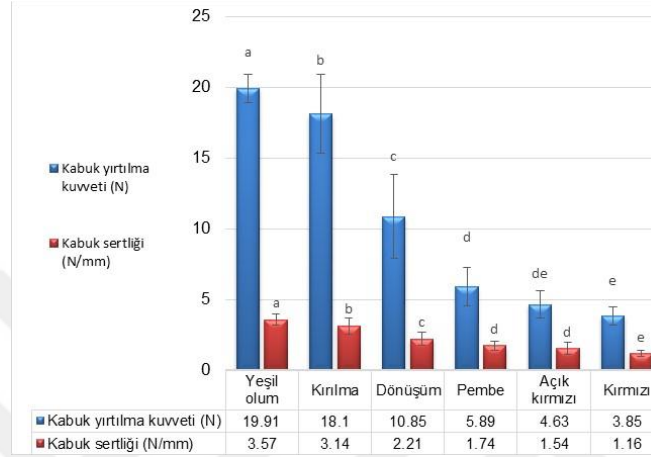


Şekil 4.5. Domateslerin olgunluk safhasına bağlı olgunluk indekslerindeki değişim

4.2. Hasarlı Ölçüm (Mekanik Özellik) Sonuçları ve Renk Özellikleri ile Hasarlı Ölçüm Arasındaki İlişki

Şekil 3.3’de gösterilmiş olan ve daha önceden işaretlenmiş olan noktalarda domates kabuk yırtılma kuvveti ve domates kabuk sertliği gibi bazı mekanik özellik ölçümleri yapılmıştır. Olgunluk safhasına bağlı kabuk yırtılma kuvveti (KYK) ve kabuk sertliği (KS) değişimi Şekil 4.5’de verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre olgunluk safhasındaki değişim hem KYK hemde KS üzerinde istatistiksel olarak %1 ($P < 0.01$) seviyesinde etkili bulunmuştur. Ayrıca, Şekil 4.6’da görüldüğü gibi, KYK’nin ortalamaları arasındaki fark yeşil olumdan pembe olum olgunluk safhasına kadar farklı gruplar içerisinde yer almış ve KYK deki düşüş eğilimi istatistiksel olarak ta önemli bulunmuştur. Açık kırmızı ve kırmızı olum safhasında bu değişim hızı yavaşlamış ve ortalamalar aynı grup içerisinde yer almıştır. İstatistiksel olarak ta değerler arasındaki fark önemsiz çıkmıştır. Genel bir

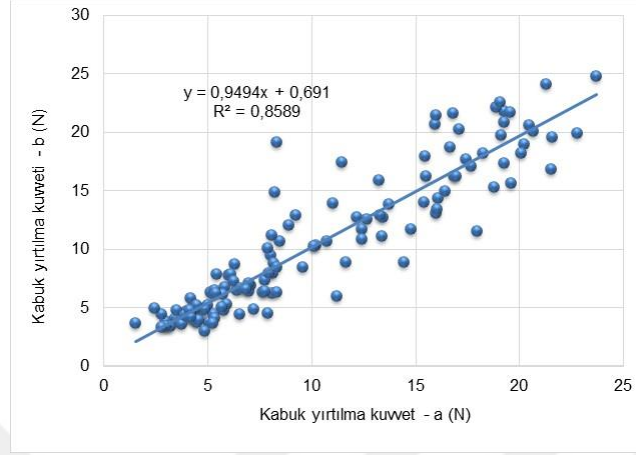
değerlendirme yapıldığında olgunluk safhasındaki değişimin KYK üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$).



Şekil 4.6. Olgunluk safhasına bağlı domates kabuk yırtılma kuvveti kabuk sertliği değişimi

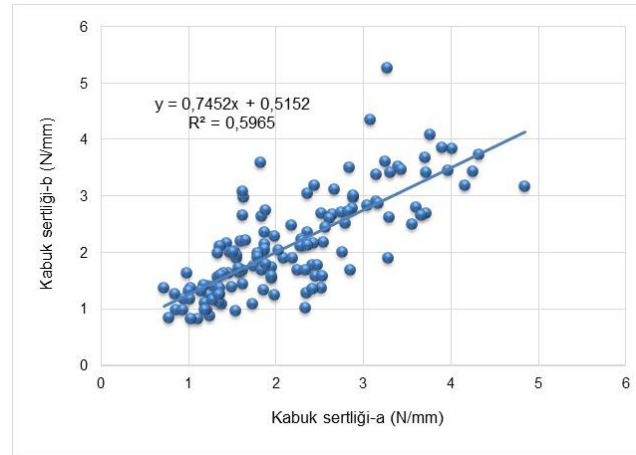
Olgunluk safhasına bağlı domateslerin kabuk sertliğindeki (KS) değişim yeşil olumdan pembe olgunluk safhasına kadar hızlı gerçekleşmiştir. KS deki değişim hızı pembe ve açık kırmızı olgunluk safhalarında azalmıştır. Kırmızı olgunluk safhasında ise KS önemli düzeyde azalma göstermiştir. Yapılan Duncan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

Şekil 3.3’de gösterilmiş olan batıcı uç testlerinin yapıldığı mekanik özellik (KYK ve KS) ölçümlerinde domateslerin bölgesel farklılıklarının olup olmadığı da belirlenmiştir. Domates örneklerinin ekvatorial bölgelerinde a ve b noktalarında yapılan ölçüm sonuçları Şekil 4.7 ve 4.8’de verilmiştir.



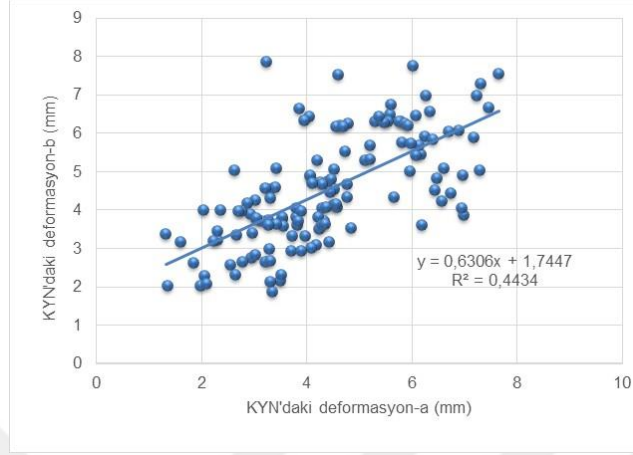
Şekil 4.7. Domateslerin a ve b bölgelerinde yapılan kabuk yırtılma kuvveti ölçümleri

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi domates örneklerinin a ve b bölgelerinde ölçülen KYK değerleri arasındaki ilişki 0.8589 (R^2) çıkmıştır. Domates örneklerinin ölçüm yapıldığı a ve b bölgeleri arasındaki KYK (N) değerleri farkı düşük düzeyde bulunmuştur. Bu durum bize denemelerde kullanılmış olan altı farklı olgunluk safhasındaki domateslerin, KYK değerleri için anizotropik yapıya yakın bir durum sergilediğini göstermektedir.

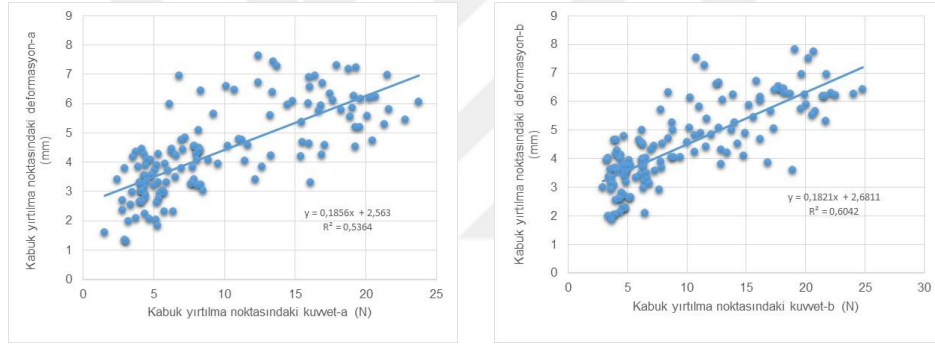


Şekil 4.8. Domateslerin a ve b bölgelerinde yapılan kabuk sertliği ölçümleri

Domates örneklerinin a ve b bölgelerinde ölçülen KS değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.8’de görüldüğü gibi 0.5965 (R^2) çıkmıştır. Bu durum bize bölgeler arasında KS açısından farklılıklar olduğunu ifade etmektedir. Domates KS hesaplanırken kuvvet-deformasyon grafiği üzerinde yapılan okumalarda kabuk yırtılma kuvveti noktasındaki deformasyon değerleri de kullanılmakta ve arasındaki oran ($KS=F_{KYK}/D_{KYK}$) dikkate alınarak KS (N/mm) hesaplanmaktadır. Şekil 4.9’da görüldüğü gibi domates örneklerinin a ve b bölgelerinde yapılan ölçümler arasındaki ilişki (R^2) 0.4434 olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca, a ve b bölgelerinde ölçülen KYN’daki kuvvet ve deformasyon ilişkileri de sırasıyla 0.5364 (R^2) ve 0.6042 (R^2) olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.10). Domateslerin olgunluk seviyeleri arttıkça domates kabuk yırtılma kuvvetindeki azalmaya rağmen kabuk yırtılma noktasındaki deformasyon a ve b bölgelerinde aynı oranda bir azalma eğilimi göstermemiştir. Bu durum KS’nin bölgeleri arasında da farklılıklara neden olmuş ilişki düşük düzeyde çıkmıştır. Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre olgunluk safhasının deformasyon değerleri üzerinde istatistiksel olarak %1 seviyesinde etkili olduğu belirlenmiş olmasına rağmen ortalamaları arasındaki fark incelendiğinde (Duncan testi) kırmızı (3.25 mm), açık kırmızı (3.44 mm) ve pembe olum (3.51 mm) safhalarındaki deformasyon değerleri aynı grup içerisinde yer almış ve aralarındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($P>0.05$). Dönüşüm safhasında ortalama deformasyon değeri farklı grup içerisinde yer almış ve değeri 4.99 mm olarak gerçekleşmiştir. Kırılma ve yeşil olum safhasında ise deformasyon değerleri artmakla birlikte ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz çıkmıştır (sırasıyla 5.73 mm ve 5.87 mm).



Şekil 4.9. Domateslerin a ve b bölgelerinde ölçülen deformasyon değerleri

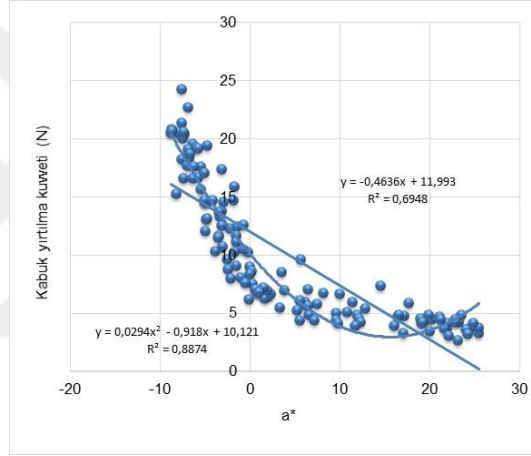


Şekil 4.10. Domateslerin a ve b bölgelerinde ölçülen KYN'daki kuvvet ve deformasyon ilişkisi

Daha öncede ifade edildiği gibi olgunluk safhasındaki değişime bağlı olarak a^* ve a^*/b^* renk parametrelerindeki değişim eğilimi istatistiksel olarak daha anlamlı çıkmıştır. Ayrıca, a^* renk parametresinin negatif ve pozitif değerleri yeşillik ve kırmızılık değerlerini ölçmektedir. b^* renk parametrelerinin negatif ve pozitif değerleri sarıdan maviye renk değişiminin olduğunu ifade etmektedir. Özellikle yeşil olum safhasından pembe olum safhasına geçene kadarki süreçte a^*/b^* renk parametresi de ara renk tonlarının (Hue) belirlenmesinde önemli ölçüm

parametresi olmaktadır. a^* ve a^*/b^* renk parametreleri ile KYK ve KS arasındaki ilişki de incelenmiş ve sonuçlar Şekil 4.11-4.12’de verilmiştir.

Şekil 4.11’de görüldüğü gibi a^* renk parametresi negatiften pozitifte doğru döndükçe domates olgunluk safhası kırmızıya doğru gitmekte ve KYK azalmaktadır. a^* renk parametresi ile KYK arasındaki doğrusal ve polinomiyal ilişkilere bakıldığında sırasıyla 0.695 ve 0.887’lik iyilik derecelerinin (R^2) elde edildiği Şekil 4.10’da görülmektedir. a^* renk parametresi kırmızıya doğru gittikçe KYK azalmakta ve ilişki polinomiyal olmaktadır.

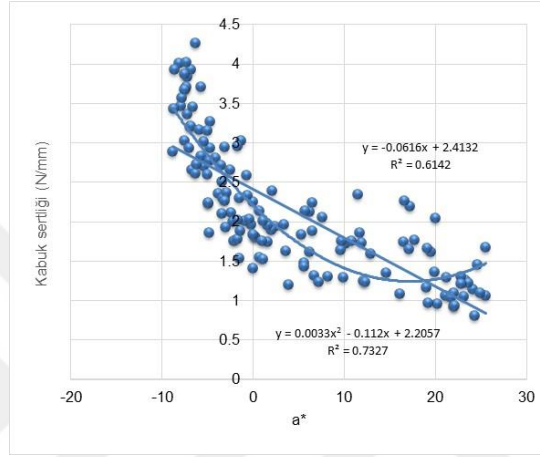


Şekil 4.11. a^* renk parametresi ile KYK arasındaki ilişki

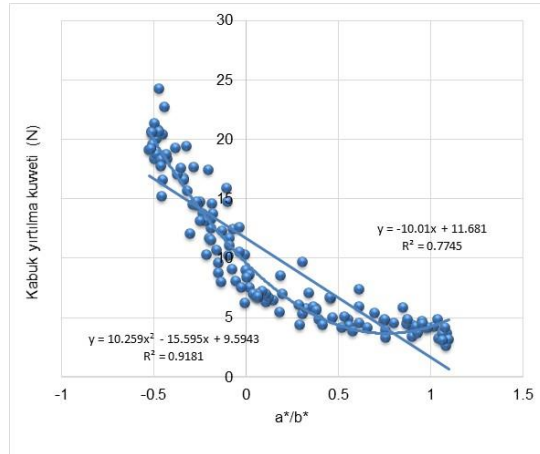
Şekil 4.12’de a^* renk değeri ile KS arasındaki ilişki verilmiştir. KYK’deki ilişkiye benzer şekilde bir davranış ortaya çıkmakla birlikte KS ile a^* renk değeri arasındaki ilişki hem doğrusal ($R^2 = 0.614$) hemde polinomiyal ilişki ($R^2 = 0.733$) de KYK’dan daha düşük çıkmıştır. Bu durum bize, a^* renk değeri ile polinomiyal eşitlik kullanarak KYK tahmininde daha doğru sonuçların ortaya çıkacağını göstermektedir.

Şekil 4.13’de a^*/b^* renk parametresi ile KYK arasındaki ilişki verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi domates olgunlaştıkça a^*/b^* renk parametresi negatiften pozitifte doğru bir artış eğilimi göstermekte ve KYK azalmaktadır. Domates

meyvesi olgunlaştıkça doku yapısındaki değişimden ötürü yumuşama meydana gelmekte buda kabuk yırtılma direncini azaltmaktadır. a^*/b^* renk parametresi ile KYK arasındaki ilişki hem doğrusal hem de polinomial olarak ilişkilendirilmiş ve aralarındaki ilişki sırasıyla 0.7745 (R^2) ve 0.9181 (R^2) olarak hesaplanmıştır.



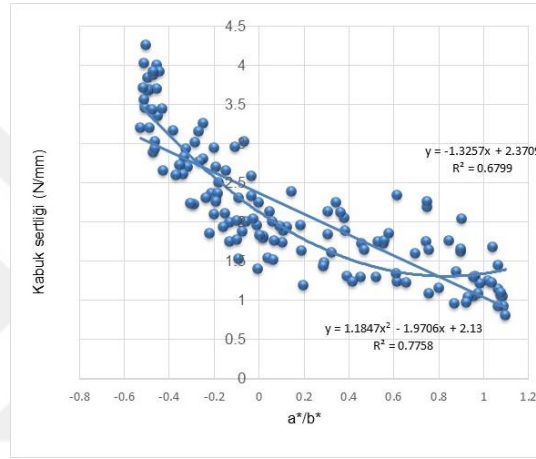
Şekil 4.12. a^* renk parametresi ile KS arasındaki ilişki



Şekil 4.13. a^*/b^* renk parametresi ile KYK arasındaki ilişki

a^*/b^* renk parametresi ile KS arasındaki ilişki Şekil 4.14’de verilmiştir. KYK ile karşılaştırıldığında, kabuk sertliği (KS) ile a^*/b^* arasındaki ilişki 0.6799

(R^2) ve 0.7758 (R^2)'lik iyilik dereceleri ile hem doğrusal hem de polinomiyal ilişkide daha düşük düzeyde gerçekleşmiştir. Bui ve ark. (2010), yapmış oldukları çalışmada a^*/b^* renk değeri ile domates sertliği arasındaki ilişkinin polinomiyal olduğunu ve a^*/b^* ile domates sertliği arasında 0.81'lik (R^2) bir ilişki bulunduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacıların sonuçları ile karşılaştırıldığında KS açısından bizim çalışmamızda daha düşük bir iyilik derecesi elde edilmiştir.



Şekil 4.14. a^*/b^* renk parametresi ile KS arasındaki ilişki

4.3. Hasarsız Çarpma Parametrelerine İlişkin Sonuçlar

Materyal ve Yöntem bölümünde detaylı olarak açıklanan ve domateslerin sertlik tahmininde kullanılan hasarsız çarpma parametreleri ile KYK ve KS arasındaki ilişki Pearson Korelasyon testi ile analiz edilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.1'de 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 çarptırılmış ve ölçülen hasarsız çarpma parametreleri KYK ve KS ile ilişkilendirilmiştir. Hasarsız çarpma ve hasarlı mekanik özellik ölçümleri domateslerin aynı noktasında yapılmıştır.

Çizelge 4.1'de 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

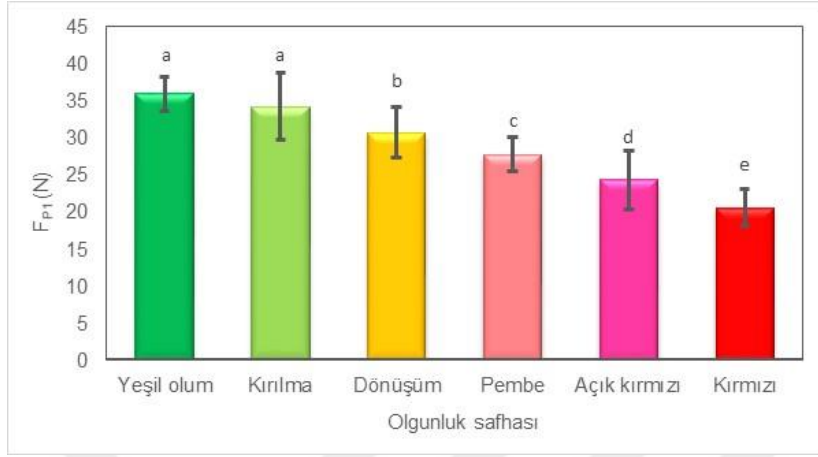
seviyesinde domates kabuk yırtılma kuvveti ve domates kabuk sertliği ile ilişkili bulunmuştur. KYK ve KS tahmin modelleri geliştirilirken bu parametreler dışındaki diğer tüm çarpma parametreleri model geliştirmede kullanılmıştır. Pearson Korelasyon analizi sonuçlarına göre domates kabuk yırtılma kuvveti (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.

Ana çarpma parametreleri olarak kullanılan F_{p1} , F_{p2} , t_{c1} , t_{c2} , t_{p1} ve t_{p2} 'nin olgunluk safhasına bağlı değişimleri Şekil 4.15-4.21'de verilmiştir. Şekil 4.15'de görüldüğü gibi domatesler yeşil olum döneminden kırmızı safhaya doğru döndükçe F_{p1} çarpma parametresi azalmıştır. Yeşil olum ve kırılma döneminde F_{p1} 'in ortalamaları arasındaki fark yapılan DUNCAN çoklu karşılaştırma testinde önemsiz çıkarken dönüşüm ve kırmızı olum safhalarındaki ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde istatistiksel olarak önemli çıkmış ve farklı gruplarda yer almışlardır.

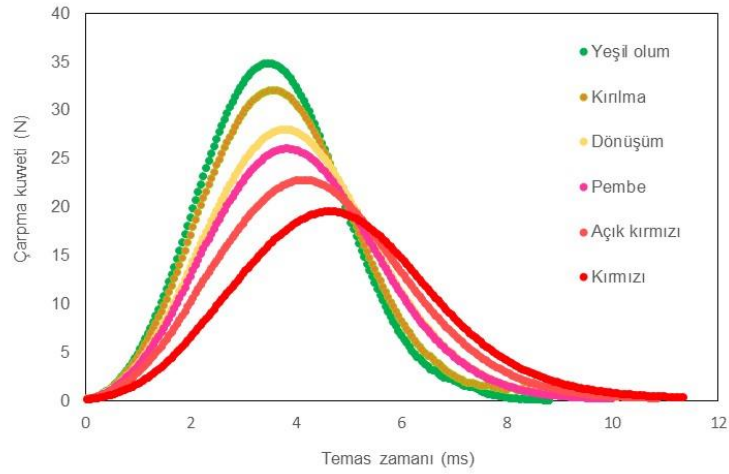
Çizelge 4.1. Hasarsız çarpma parametreleri ile domates kabuk yırtılma kuvveti ve domates kabuk sertliği arasındaki korelasyonu (R) gösteren analiz sonuçları

KYK	KS	A ₁	A ₂	F _{P1}	F _{P2}	t _{P1}	t _{P2}	t _{C1}	t _{C2}	t _{C1-2}	t _{P1-2}	C _{P,12}	C _{C,12}	RFP	ΔF _P	RT _C	C _{PW,12}	C _{C,12}
KYK	1	,897**	,503**	,748**	,818**	-,536**	-,605**	-,626**	-,666**	,469**	,319**	,430**	,352**	,638**	,586**	-,412**	,133 ^{ns}	,039 ^{ns}
KS	,897**	1	,578**	,857**	,920**	-,634**	-,617**	-,732**	-,728**	,399**	,231**	,570**	,498**	,689**	,689**	-,359**	,209*	,118 ^{ns}

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



Şekil 4.15. F_{p1} 'nin olgunluk safhasına bağlı değişimi

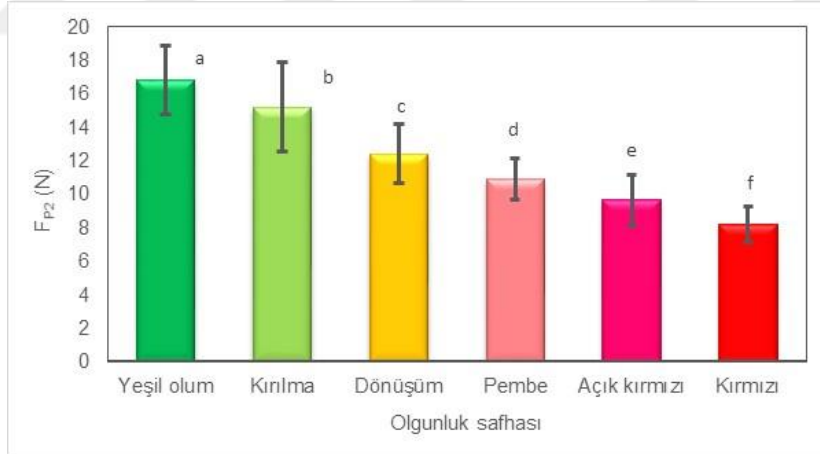


Şekil 4.16. Farklı domates olgunluk seviyesinde ölçülen 1. çarpmada kuvveti-temas zamanı değişimi

Şekil 4.16, 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), eğrilige, kütleye 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.

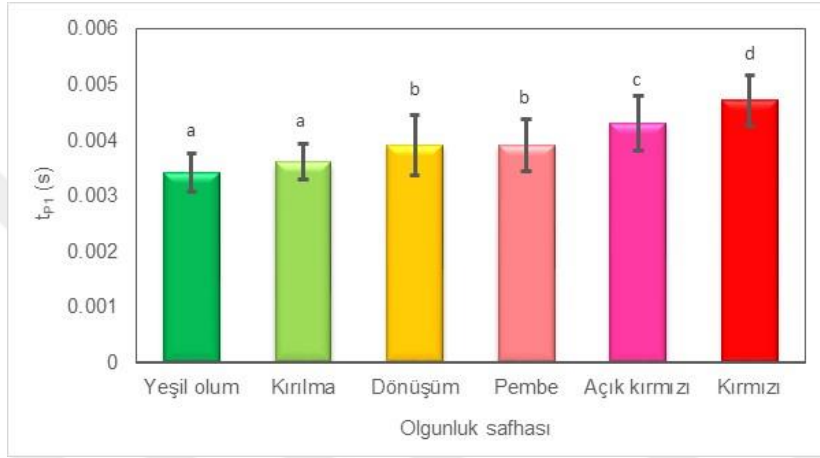
Şekil 4.17’de verilmiş olan F_{p2} çarpma parametresi olgunluk safhasındaki değişime bağlı olarak azalmıştır. Ortalamalar arasındaki fark tüm olgunluk safhalarında istatistiksel olarak %5 seviyesinde önemli çıkmış ve farklı gruplarda yer almışlardır. Domates meyveleri yeşil olumdan kırmızı olum safhasına geçtikçe hem KYK hem de KS değerleri azalmıştır. Domates sertliğindeki yani doku yumuşamasındaki bu azalma da F_{p1} ve F_{p2} ’de düşüşe neden olmuştur.



Şekil 4.17. F_{p2} ’nin olgunluk safhasına bağlı değişimi

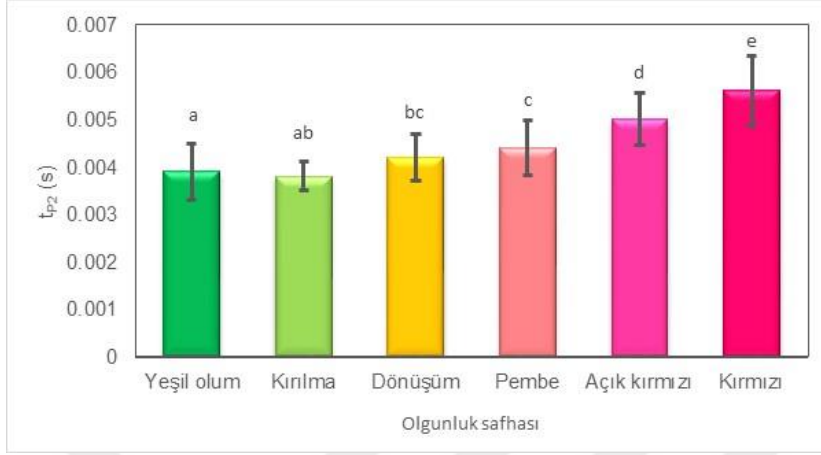
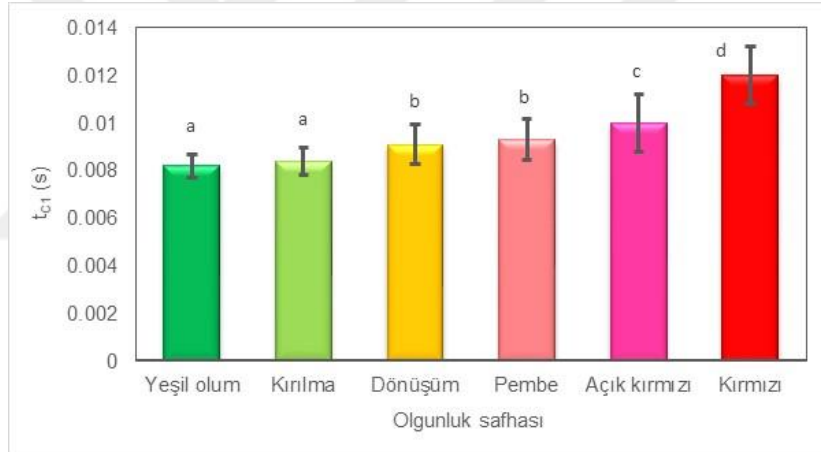
t_{p1} ’in olgunluk safhasına bağlı değişimi Şekil 4.18’de verilmiştir. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, ortalamaların yeşil olum ve kılma safhasında değişimi az olmuş ve aynı grupta yer almıştır. Ayrıca dönüşüm

ve pembe olum safhasında t_{p1} bir miktar artmıştır. Dönüşüm ve pembe olum safhasında ortalamaları arasındaki fark önemsiz çıkmış ve aynı grupta yer almıştır. Açık kırmızı ve kırmızı renk safhasında ise t_{p1} artış eğilimi göstermiş ve kırmızı olum safhasında en yüksek değere ulaşmıştır. Genel bir eğilim açısından değerlendirme yapıldığında olgunluk safhasına bağlı t_{p1} artış göstermiştir.



Şekil 4.18. t_{p1} 'nin olgunluk safhasına bağlı değişimi

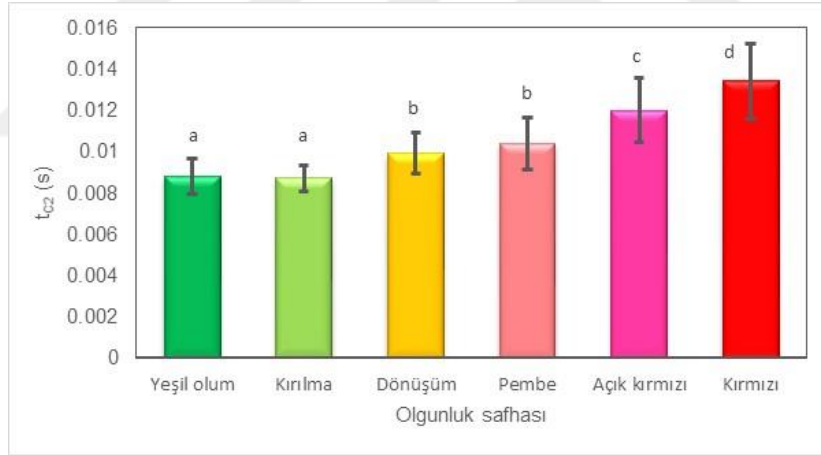
Olgunluk safhasına bağlı ikinci çarpmanın maksimum zamanı olan t_{p2} deki değişim Şekil 4.19'de verilmiştir. Yeşil olum-dönüşüm safhasına kadar t_{p2} deki değişim az olmuştur. Özellikle pembe olum safhası sonrası ikinci çarpmanın maksimum zamanında artış olmuştur. Bu safhalarda ölçülen t_{p2} 'nin ortalamaları arasındaki fark yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testine göre önemli çıkmış ve farklı gruplar içerisinde yer almıştır.

Şekil 4.19. t_{p2} 'nin olgunluk safhasına bağlı değişimiŞekil 4.20. t_{c1} 'in olgunluk safhasına bağlı değişimi

Olgunluk safhasına bağlı birinci çarpmanın temas zamanı olan t_{c1} deki değişim Şekil 4.20'da verilmiştir. t_{c1} 'in ortalamaları arasındaki fark yeşil olum ve kırılma safhasında önemsiz çıkmış ve aynı grupta yer almıştır. Dönüşüm ve pembe olum safhasında t_{c1} 'de bir miktar artış gerçekleşmiştir. Bu safhada ölçülen birinci çarpmanın temas zamanı ortalamaları arasındaki fark ta istatistiksel olarak önemsiz çıkmıştır. Ayrıca bu gruptaki ortalamalar aynı grupta yer almıştır. Açık kırmızı ve kırmızı renk safhasında da t_{c1} deki artış devam etmiş ve yapılan Duncan çoklu

karşılaştırma testine göre ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemli çıkmıştır. Genel bir değerlendirme yapıldığında olgunluk safhası yeşil olumdan kırmızı renk safhasına geçtikçe t_{C1} artış eğilimi göstermiştir.

Olgunluk safhasına bağlı ikinci çarpmanın temas zamanı olan t_{C2} deki değişim Şekil 4.21'da verilmiştir. t_{C2} 'nin ortalamaları arasındaki fark yeşil olum ve kırılma safhasında önemsiz çıkmış ve aynı grupta yer almıştır. Dönüşüm ve pembe olum safhasında t_{C2} 'de bir miktar artış olmuştur. Bu safhada t_{C2} 'nin ortalamaları arasındaki fark ta istatistiksel olarak önemsiz çıkmıştır ($P>0.05$). Ayrıca bu gruptaki ortalamalar aynı grupta yer almıştır. Açık kırmızı ve kırmızı renk safhasında da t_{C2} deki artış devam etmiş ve Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak ortalamaları arasındaki fark %5 ($P<0.05$) seviyesinde önemli bulunmuştur.



Şekil 4.21. t_{C2} 'nin olgunluk safhasına bağlı değişimi

Çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılarak yapılan domates kabuk yırtılma kuvveti (KYK) ve 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 KYK ve 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 4.2’de KYK 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 sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kabuk yırtılma kuvveti (KYK) tahmini için kalibrasyon verileri kullanılarak geliştirilen model eşitliklere ilişkin istatistiksel sonuçlar

Model	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini Standart Hata
A	0.822 ^a	0.675	0.652	3.4784093
B	0.847 ^b	0.718	0.671	3.3820231
C	0.831 ^c	0.690	0.680	3.3382880
(Model A): $F_{p1}, F_{p2}, t_{p1}, t_{p2}, t_{C1}, t_{C2}$				
(Model B): $A_1, A_2, F_{p2}, t_{p1}, t_{p2}, t_{C1}, t_{p1-2}, t_{C2}, C_{p,12}, C_{C,12}, R_{FP}, \Delta F_p, RT_C$				
(Model C): $F_{p2}, t_{C1-2}, RT_C,$				
Bağımlı Değişken: Kabuk yırtılma kuvveti (KYK), N				

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

MODEL A: Ana çarpma parametreleri kullanılarak geliştirilen model eşitlik.

$$KYK = -3.466 - 0.117F_{p1} + 1,701F_{p2} + 456.505t_{p1} - 2627.833t_{p2} \\ + 109.676t_{C1} + 530.934t_{C2}$$

($R^2=0.675$)

MODEL B: Pearson Korelasyon Matriks Yöntemi ile istatistiksel olarak önemsiz bulunan çarpma parametreleri dışındaki tüm parametreler kullanılarak geliştirilen model eşitlik.

$$\begin{aligned} KYK = & 33.217 - 102.144A_1 + 74.694A_2 + 1.358F_{p2} + 1311.198t_{p1} - 1809.271t_{p2} \\ & - 6311.017t_{C1} + 5617.412t_{C2} + 355.941t_{p1-2} - 0.058C_{p,12} + 0.107C_{C,12} \\ & - 0.943R_{FP} - 0.397\Delta F_p - 59.179RT_C \end{aligned}$$

$$(R^2 = 0.718)$$

MODEL C: Stepwise regresyon analiz yöntemi kullanılarak geliştirilen model eşitlik.

$$KYK = -8.956 + 1.298 F_{p2} + 184.317 t_{C1-2} - 10.184 RT_C$$

$$(R^2 = 0.690)$$

Çizelge 4.3’de kalibrasyon veri grupları kullanılarak domates kabuk yırtılma kuvveti (KYK) tahmin modellerine ilişkin geliştirilen model eşitliklere ait istatistiksel katsayılar ve standart hata değerleri verilmiştir. Kalibrasyon verileri (n=92) kullanılarak geliştirilen KYK tahmin modellerinin doğruluğu da test edilmiştir. Bunun için kalibrasyon veri grupları kullanılarak geliştirilen model eşitlikte doğrulama verileri (n=42) kullanılmıştır. Çizelge 4.4’de Model A, Model B ve Model C için hesaplanan kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için bazı tanımlayıcı istatistik değerleri verilmiştir. Kalibrasyon verileri ile farklı olgunluk safhasındaki 92 adet domates örnekleri kullanılarak yapılan KYK ortalama tahmin değerleri Model A için 13.10 N, Model B için 10.06 N ve Model C için ise 10.19 N olarak hesaplanmıştır. Ölçülen KYK değerleri ile karşılaştırıldığında en yakın tahmin değeri Model C’de gerçekleşmiştir. Ortanca değerler karşılaştırıldığında da ortalama değerlere benzer şekilde ölçülen KYK’ya en yakın tahmin Model C’de olmuştur. Bunu sırasıyla Model B ve Model A izlemiştir. Doğrulama veri grubunda da Model C de tahmin edilen ortalama ve ortanca KYK değerleri ölçülen değerlere daha yakın çıkmıştır. Bunu sırasıyla Model B ve Model A takip etmiştir.

Çizelge 4.3. Kalibrasyon verileri kullanılarak domates kabuk yırtılma kuvveti (KYK) tahmin modellerine ilişkin geliştirilen model eşitliklere ait istatistiksel katsayılar ve standart hata değerleri

Katsayılar						
Model		Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar	t	Sig.
		Katsayı	Standard. Hata	Beta		
A	(Sabit)	-3.466	6.546		-0.529	0.598
	F _{p1}	-0.117	0.217	-0.111	-0.538	0.592
	F _{p2}	1.701	0.377	0.889	4.512	0.000
	t _{p1}	456.505	2219.011	0.045	0.206	0.837
	t _{p2}	-2627.833	1738.385	-0.348	-1.512	0.134
	t _{C1}	109.676	1426.187	0.026	0.077	0.939
	t _{C2}	530.934	971.579	0.180	0.546	0.586
B	(Sabit)	33.217	60.421		0.550	0.584
	A ₁	-102.144	170.003	-.241	-0.601	0.550
	A ₂	74.694	351.603	.094	0.212	0.832
	F _{p2}	1.358	1.206	.710	1.127	0.263
	t _{p1}	1311.198	2319.701	.130	0.565	0.574
	t _{p2}	-1809.271	2391.640	-.240	-0.756	0.452
	t _{C1}	-6311.017	3740.831	-1.503	-1.687	0.096
	t _{C2}	5617.412	2726.862	1.907	2.060	0.043
	t _{p1-2}	355.941	432.944	.299	0.822	0.414
	C _{p,12}	-0.058	0.741	-.310	-0.078	0.938
	C _{C,12}	0.107	0.552	.615	0.195	0.846
	R _{FP}	-0.943	72.212	-.006	-0.013	0.990
	ΔF _p	-0.397	2.727	-.194	-0.146	0.885
	RT _C	-59.179	29.794	-.891	-1.986	0.051
C	(Sabit)	-8.956	7.307		-1.226	0.224
	F _{p2}	1.298	0.138	0.678	9.423	0.000
	t _{C1-2}	184.317	77.762	0.161	2.370	0.020
	RT _C	-10.184	4.198	-0.153	-2.426	0.017

Çizelge 4.4. Geliştirilen modellerin ölçülen ve tahmin edilen kabuk yırtılma kuvvetine (KYK) ilişkin kalibrasyon ve doğrulama veri gruplarının tanımlayıcı istatistiksel sonuçları

	Ölçülen	Model A	Model B	Model C
Kalibrasyon (n= 92)				
Ortalama (N)	10.19	13.10	10.06	10.19
Standart sapma ($\pm$)	5.89	5.36	4.98	4.90
Minimum (N)	2.59	1.06	1.67	0.58
Maksimum (N)	24.24	28.25	23.14	22.34
Ortanca (N)	21.65	27.19	21.47	21.76
Doğrulama (n=42)				
Ortalama (N)	9.45	12.84	9.09	9.33
Standart sapma ($\pm$)	5.89	5.47	5.26	5.11
Minimum (N)	3.03	4.94	0.49	0.84
Maksimum (N)	21.34	24.06	18.55	18.51
Ortanca (N)	18.31	19.12	18.07	17.67

KYK'nin tahminine dönük geliştirilen modellerin performansı çeşitli kriterler (RMSE, MAE, MAPE, SDR ve R^2) dikkate alınarak ölçülmüştür. KYK'nin performansını ölçmek için; Materyal ve Yöntem bölümünde açıklanan eşitliklere göre KYK modeliyle hesaplanan değerler ile ölçülen sonuçların RMSE, MAE, MAPE ve R^2 değerleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar hem kalibrasyon hem de doğrulama veri grupları için Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Domates Kabuk Yırılma Kuvveti (KYK) Tahmini İçin Kullanılan Model Yaklaşımların Ölçülen ve Tahmin Edilen Değerlerine İlişkin Performans Parametre Sonuçları

Kalibrasyon	RMSE	MAE	MAPE	R ²	SDR
Model A	4.47	2.91	55.44	0.675	1.20
Model B	3.12	0.13	30.51	0.718	1.60
Model C	3.27	0.003	32.36	0.690	1.50
Doğrulama	RMSE	MAE	MAPE	R ²	SDR
Model A	1.09	0.014	11.68	0.7263	1.77
Model B	0.33	0.17	12.16	0.7387	2,58
Model C	0.30	0.004	11.68	0.7163	2.43

Materyal ve Yöntem bölümünde de açıklandığı gibi, istatistiksel değerlendirmelerde performans parametrelerinden daha yüksek R² ve SDR değerleri ile daha düşük RMSE, MAE ve MAPE değerlerini veren **model optimal model olarak** kabul edilmektedir. RMSE değeri 0'dan ∞'a kadar değişebilir. Negatif yönelimli puanlar yani daha düşük değerlere sahip tahminleyiciler daha iyi performans göstermektedir. RMSE değerinin sıfır olması modelin hiç hata yapmadığı anlamına gelmektedir. MAE değeri 0'dan ∞'a kadar değişebilir.

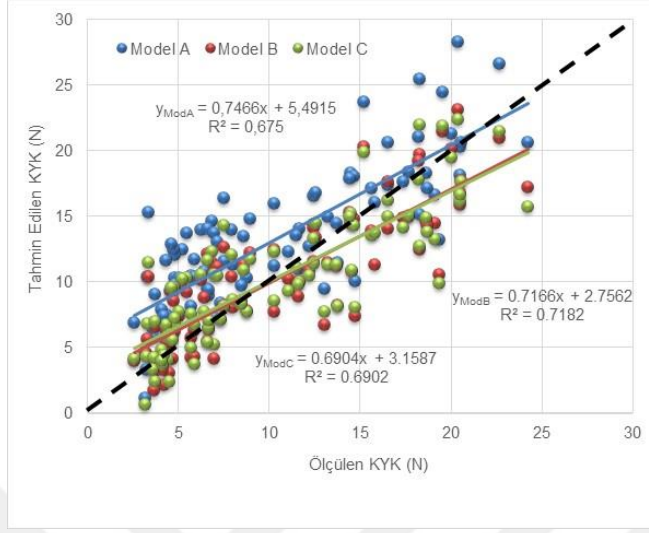
Lewis (1982) adlı araştırmacının belirttiğine göre de; MAPE istatistiği, farklı birim değerlere sahip modellerin karşılaştırılmasında ortaya çıkabilecek dezavantajları elimine etmektedir. Sayılan kriterler arasında “Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi” (MAPE) nin öngörü hatalarını yüzde olarak ifade etmesi nedeni ile tek başına da bir anlamının olması, diğer kriterlere göre üstünlüğü olarak kabul edilmektedir. MAPE değeri %10'un altında olan modeller “**çok iyi**”, %10 ile %20 arasında olan modeller “**iyi**”, %20 ile %50 arasında olan modeller “**kabul**

edilebilir” ve %50’nin üzerinde olan modeller ise “**yanlış**” ve hatalı olarak sınıflandırılmaktadır.

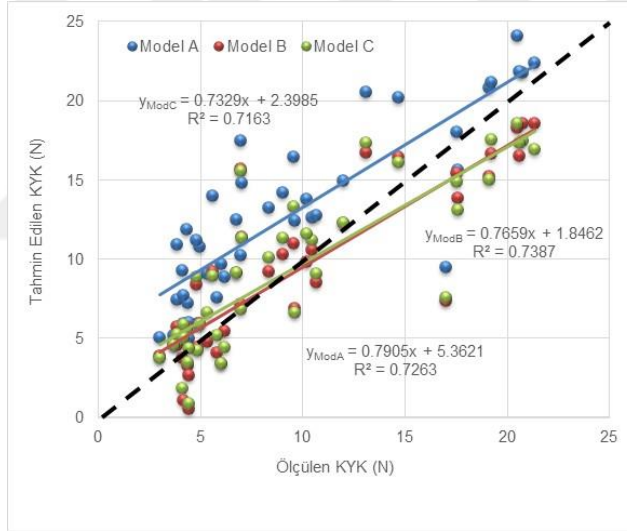
Yapılan bu genel değerlendirme ışığında, kalibrasyon veri grupları için performans parametreleri açısından en iyi KYK tahmin sonucu Model B’de gerçekleşmiştir. Ancak, Model B de kullanılan hasarsız çarpma parametresi sayısının çokluğu sayısal ve mantıksal işlemlerin uygulamalarında karmaşıklıklara neden olabilmektedir (Vursavuş ve ark., 2014, 2015). Bu nedenle, hem çarpma parametre sayısı azlığı hem de Model B’ye daha yakın tahmin sonuçlarının elde edilmesi nedeniyle kalibrasyon veri grupları kullanılarak yapılan KYK tahmininde Model C’nin kullanılması daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

Bu durum doğrulama veri gruplarında daha belirgin bir fark göstermiştir. R^2 değeri en yüksek ve RMSE, MAE, MAPE değeri en düşük Model C’de gerçekleşmiştir. Bu nedenle doğrulama veri grupları için domates meyvelerinin KYK tahmininde Model C’nin kullanılması daha yüksek tahmin sonuçları verecektir.

Şekil 4.22’de kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için Model A, Model B ve Model C de ölçülen ve tahmin edilen KYK değerleri arasındaki ilişki ve R^2 belirtme katsayıları ile eşitlikleri verilmiştir.



Kalibrasyon



Doğrulama

Şekil 4.22. Kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için Model A, Model B ve Model C de ölçülen ve tahmin edilen KYK değerleri arasındaki ilişki

Çizelge 4.6'da 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 sonuçları verilmiştir. KYK tahmininde kullanılan üç model yaklaşım KS tahmininde de kullanılmıştır.

Ana çarpma parametreleri Model A'da, Pearson Korelasyon testi sonucunda önemli bulunan çarpma parametrelerinin tümü Model B'de ve stepwise regresyon analizi sonucunda önemli bulunan çarpma parametreleri de bağımsız değişken olarak Model C'nin geliştirilmesi için kullanılmıştır. Domates KS tahmini için geliştirilmiş olan model yaklaşım sonuçları domates KYK tahmini için geliştirilmiş olan model yaklaşımlar ile karşılaştırıldığında KS'de daha yüksek belirtme katsayılarının elde edildiği görülebilmektedir. Bu durum bize domateslerin KS için daha doğru tahmin sonuçlarının elde edildiğini göstermektedir.

Çizelge 4.6. Kabuk sertliği (KS) tahmini için kalibrasyon verileri kullanılarak geliştirilen model eşitliklere ilişkin istatistiksel sonuçlar

Model	R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahmini Standart Hata
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} , ΔF_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

$$KS = 0.756 - 0.013F_{p1} + 0.227F_{p2} - 210.392t_{p1} + 177.058t_{p2} \\ + 20.899t_{c1} - 103.018t_{c2}$$

(R²=0.857)

MODEL B: Pearson Korelasyon Matriks Yöntemi ile istatistiksel olarak önemsiz bulunan çarpma parametreleri dışındaki tüm parametreler kullanılarak geliştirilen model eşitlik

$$KS = 9.744 - 36.818A_1 + 5.482A_2 + 0.212F_{p2} + 43.894t_{p1} + 134.040t_{p2} - 889.829t_{C1} + 590.567t_{C2} + 20.023t_{C1-2} - 0.077C_{p,12} + 0.071C_{C,12} + 0.956R_{FP} + 0.142\Delta F_p - 7.777RT_C - 0.603C_{PW,12}$$

(R²= 0.881)

MODEL C: Stepwise regresyon analiz yöntemi kullanılarak geliştirilen model eşitlik

$$KS = 0.005 + 0.296 F_{p2} - 27.918 A_2$$

(R²= 0.861)

Çizelge 4.7’de kalibrasyon veri grupları kullanılarak domates kabuk sertliği (KYK) tahmin modellerine ilişkin geliştirilen model eşitliklere ait istatistiksel katsayılar ve standart hata değerleri verilmiştir. 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 4.8’de Model A, Model B ve Model C için hesaplanan kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için bazı tanımlayıcı istatistiki 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, Model B için 2.00 N/mm ve Model C için ise 2.17 N olarak hesaplanmıştır. Ölçülen ortalama KS değerleri (2.18 N/mm) ile karşılaştırıldığında en yakın tahmin değeri sırasıyla Model C ve Model A’da gerçekleşmiştir. Model B’nin tahmin değeri ise 3.11 N/mm değer ile Model C ve Model A’dan bir miktar yüksek çıkmıştır. R² belirtme katsayılarını da dikkate aldığımızda Model C’nin R² değerinin yüksek olması ve model eşitlikte kullanılan parametre sayısının azlığı nedeniyle Model C daha doğru ortalama

tahmin sonucunu vermiştir. Model yaklaşımlara ilişkin KS ortalama değerleri karşılaştırıldığında da ortalama değerlere benzer şekilde, ölçülen KS'ne (3.46 N/mm) en yakın tahmin 3.65 N/mm'lik değeri ile Model C'de gerçekleşmiştir. Bunu sırasıyla Model A (3.70 N/mm) ve Model B (3.11 N/mm) izlemiştir.

Doğrulama veri grupları ile farklı olgunluk safhasındaki 42 adet örnek ile yapılan KS ortalama tahmin modelleri Model A için 2.16 N/mm, Model B için 1.98 N/mm ve Model C için de 2.14 N/mm olarak hesaplanmıştır. Ölçülen KS değeri (2.07 N/mm) 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'lik değere en yakın sonuç Model B'de (2.62 N/mm) gerçekleşmiştir. Bunu sırasıyla Model C (2.54 N/mm) ve Model A (2.52 N/mm) izlemiştir. Doğrulama veri grubunda özellikle tahmin edilen ortalama değerler geliştirilen üç model yaklaşım için de kalibrasyon veri grubundaki tahmin edilen ortalama değerlerden düşük çıkmıştır.

Çizelge 4.7. Kalibrasyon verileri kullanılarak domates kabuk sertliği (KS) tahmin modellerine ilişkin geliştirilen model eşitliklere ait istatistiksel katsayılar ve standart hata değerleri

Katsayılar						
Model		Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar	t	Sig.
		Katsayı	Standard. Hata	Beta		
A	(Sabit)	0.756	0.601		1.257	0.212
	F _{P1}	-0.013	0.020	-0.091	-.667	0.506
	F _{P2}	0.227	0.035	0.855	6.547	0.000
	t _{P1}	-210.392	203.665	-0.150	-1.033	0.305
	t _{P2}	177.058	159.552	0.170	1.110	0.270
	t _{C1}	20.899	130.898	0.036	0.160	0.874
	t _{C2}	-103.018	89.173	-0.253	-1.155	0.251
B	(Sabit)	9.744	6.204		1.570	0.120
	A ₁	-36.818	17.966	-0.627	-2.049	0.044
	A ₂	5.482	32.063	0.050	0.171	0.865
	F _{P2}	0.212	0.119	0.801	1.781	0.079
	t _{P1}	43.894	217.521	0.031	0.202	0.841
	t _{P2}	134.040	218.689	0.128	0.613	0.542
	t _{C1}	-889.829	345.345	-1.531	-2.577	0.012
	t _{C2}	590.567	247.288	1.449	2.388	0.019
	t _{C1-2}	20.023	39.187	0.127	0.511	0.611
	C _{P,12}	-0.077	0.067	-2.966	-1.139	0.258
	C _{C,12}	0.071	0.050	2.952	1.417	0.160
	R _{FP}	0.956	7.095	0.042	0.135	0.893
	ΔF _P	0.142	0.247	0.502	0.575	0.567
	RT _C	-7.777	2.715	-0.846	-2.865	0.005
	C _{PW,12}	-0.603	0.375	-0.278	-1.606	0.112
C	(Sabit)	0.005	0.235		0.021	0.983
	F _{P2}	0.296	0.018	1.119	16.826	0.000
	A ₂	-27.918	7.346	-0.253	-3.801	0.000

Çizelge 4.8. Geliştirilen modellerin ölçülen ve tahmin edilen kabuk sertliğine (KS) ilişkin kalibrasyon ve doğrulama veri gruplarının tanımlayıcı istatistiksel sonuçları

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

Domates KS'ni tahmin etmek için geliştirilen modellerin performansı KYK ne benzer kriterler (RMSE, MAE, MAPE, SDR ve R^2) dikkate alınarak ölçülmüştür. KS'nin performansını ölçmek için; KS modeliyle hesaplanan değerler ile ölçülen sonuçların RMSE, MAE, MAPE, SDR ve R^2 değerleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için Çizelge 4.9'da verilmiştir.

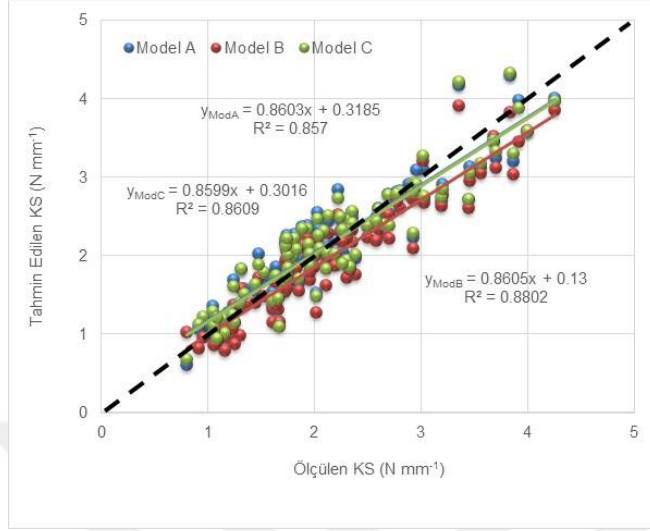
Çizelge 4.9. Domates Kabuk Sertliği (KS) Tahmini İçin Kullanılan Model Yaklaşımların Ölçülen ve Tahmin Edilen Değerlerine İlişkin Performans Parametre Sonuçları

Kalibrasyon	RMSE	MAE	MAPE	R ²	SDR
Model A	3.09	1.54	26.65	0.857	0.69
Model B	2.03	0.17	13.30	0.881	2.26
Model C	2.10	0.06	13.53	0.861	2.49
Doğrulama	RMSE	MAE	MAPE	R ²	SDR
Model A	0.213	0.04	6.43	0.8999	3.31
Model B	0.244	0.04	6.040	0.8578	2.82
Model C	0.219	0.03	6.544	0.8792	3.30

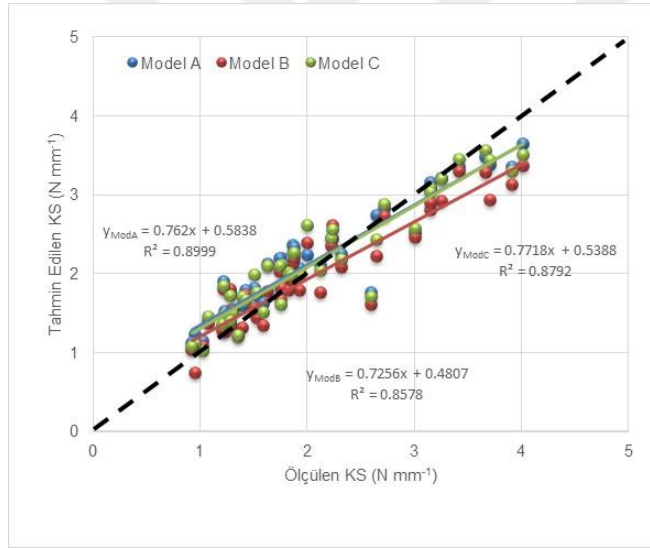
Kalibrasyon veri grupları için performans parametreleri açısından en iyi tahmin sonucu Model B’de gerçekleşmiştir. Ancak, KYK tahmininde gerçekleşen duruma benzer, Model B de kullanılan hasarsız çarpma parametresi sayısının çokluğu sayısal ve mantıksal işlemlerin uygulamalarında karmaşıklıklara neden 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 R² 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 4.23’de kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için Model A, Model B ve Model C de ölçülen ve tahmin edilen KS değerleri arasındaki ilişki ve R² belirtme katsayıları ile eşitlikleri verilmiştir.



Kalibrasyon



Doğrulama

Şekil 4.23. Kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için Model A, Model B ve Model C de ölçülen ve tahmin edilen KS değerleri arasındaki ilişki

Domates KYK ve KS için geliştirilmiş olan model yaklaşımlara ilişkin sonuçlara bakıldığında hasarsız çarpma tekniği kullanılarak domates KS tahminin daha yüksek sonuçlarla elde edildiği ortaya konan istatistiksel analiz sonuçlarından görülebilmektedir. Bu sonuçlar bize çarpma testleri kullanılarak KS'nin (domates

kabuk sertliği) tahminin KYK'den (domates kabuk yırtılma kuvveti) daha 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 4.10'da 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 te orta sert grubunda sınıflandırılmıştır. Orta sert meyve grubunda 36 adet olan 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 4.10. 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		

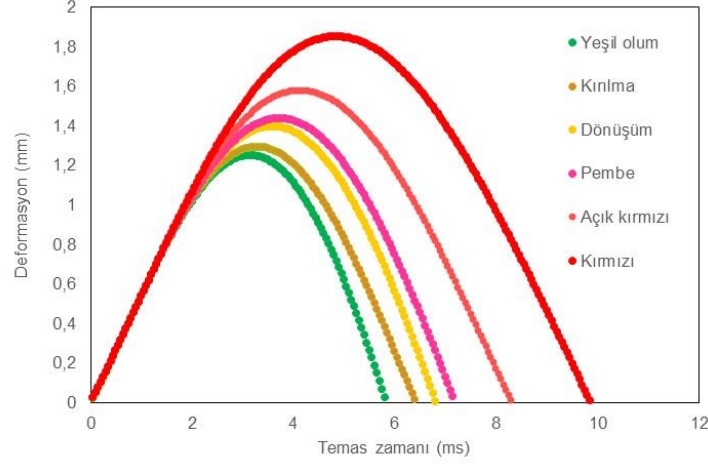
Y= Yumuşak ($KS < 1.40 \text{ N mm}^{-1}$), OS= Orta sert ($1.40 \leq KS < 2.23 \text{ N mm}^{-1}$) ve S= Sert ($KS \geq 2.23 \text{ N mm}^{-1}$) sertlik grubunu ve S_E, OS_E ve Y_E= Tahmin edilen domates sertliklerini; S_ö, OS_ö ve Y_ö= Ölçülen sertlik büyüklüklerini ifade etmektedir.

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 4.10'da verilmiş olan sınıflandırma başarı oranları (%) kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için %75'den yüksek çıkmıştır. Gutierrez ve ark. (2007) ve Lien ve ark. (2009) adlı araştırmacılar 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'den 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. Elde edilen sonuçlar domates kabuk sertliği tahmini için geliştirilen model yaklaşımların farklı sertlik gruplarındaki domates örneklerinin sertliğine göre sınıflandırma da kullanılabileceğini göstermiştir.

4.4. Hasarsız Çarpma Tekniği ve Mekanik Zedelenme Oluşumu

Materyal ve Yöntem bölümünde açıklandığı gibi 15 mm'lik yükseklikten kuvvet algılayıcı üzerine yapılan düşürme testleri sonrası altı farklı olgunluk seviyesindeki domates örnekleri 20-22⁰C ortam sıcaklığında 24 saat süre ile bekletilmiş ve çarpma etkisinden kaynaklanan olası çürük hasarı, görsel muayene ile incelenmiştir. Yapılan görsel muayene sonuçlarına göre tüm olgunluk safhalarında meyve yüzeylerinde mekanik hasar oluşmamıştır.



Şekil 4.25. Farklı domates olgunluk seviyesinde ölçülen deformasyon-temas zamanı değişimi

Şekil 4.25, altı farklı olgunluk seviyesindeki domates örneklerinin temas sırasında çarpma darbesi deformasyonundaki değişikliği göstermektedir. Elde edilen her olgunluk safhasına ait eğri, kendi olgunluk safhasındaki çarpma değerlerinin ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Deformasyon, bir darbe sıkıştırma ve ayrılma sürecinden geçmektedir. Çarpma hızı minimum ve deformasyon maksimum değere ulaştıktan sonra, domates örnekleri ayrılmaya başlamış, bu da darbe deformasyonunun tamamen geri kazanılmasıyla sonuçlanmıştır. Şekil 4.25’den görüldüğü gibi, kuvvet algılayıcının bağlı olduğu alüminyum çarpma plakası üzerine 15 mm yükseklikten yapılan çarptırma ölçümlerinde çarpma sırasında domates tarafından absorbe edilen enerjinin hiç birinin plastik deformasyona dönüşmemesi nedeniyle çarpma testleri sonucunda altı olgunluk seviyesinde de meyvelerde kalıcı (inelastik) deformasyon meydana gelmemiştir. Yeşil olum, pembe ve kırmızı olgunluk safhalarında maksimum deformasyon değerleri sırasıyla 1.29, 1.44 ve 1.85 mm olarak hesaplanmıştır. Bu değerler kritik deformasyon olarak kabul edilmektedir. Denemelerde kullanılmış olan 15 mm’lik

düşme yüksekliği hasarsız çarpma tekniği kullanılarak domates meyve sertliği tahminin de kullanılabilecek bir yüksekliktir.

Literatürde farklı araştırmacılar tarafından domates meyvelerinin zedelenme eşik değerleri çarpma enerjisi değerleri kullanılarak ta ölçülmüştür. Denemelerde kullanılan domateslerin ortalama kütleleri yeşil olum, kırılma, dönüşüm, pembe, açık kırmızı ve kırmızı olum safhaları için sırasıyla 80.60, 80.49, 74.79, 71.38, 70.96 ve 64.71 g olarak ölçülmüştür. Ayrıca, 15 mm den alüminyum plaka üzerine yapılan çarpma testlerinde hesaplanan çarpma enerjileri ölçülen domates kütleleri dikkate alındığında yeşil olum için ortalama 0.118 J, kırılma safhası için 0.118 J, dönüşüm safhası için 0.110 J, pembe safha için 0.105 J, açık kırmızı safha için 0.104 J ve kırmızı olum safhası için de 0.095 J olarak hesaplanmıştır. Kabaş ve ark. (2008) sonlu elemanlar yöntemiyle cherry domatesleri için zedelenme eşik değeri olarak düşme yüksekliğinin 23.7 cm olduğunu yapmış oldukları simülasyon test sonuçlarında belirlemişlerdir. Mohammadi-Aylar ve ark. (2010) domates meyvesinde kabuk yırtılma zedelemesi oluşumu için gereken minimum çarpma enerjisinin, olgunlaşmanın birinci ve üçüncü aşamalarında sırasıyla yaklaşık 1.58 J ve 0.84 J olduğunu belirtmişlerdir. Lien ve ark. (2009) 15 mm'lik düşürme mesafesinden yapmış oldukları hasarsız sertlik ölçümlerinde üç farklı sertlik grubunda olan domateslerin hiç birinde mekanik hasar meydana gelmediğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar tarafından elde edilmiş sonuçlar mekanik zedelenme oluşumu riski açısından yapmış olduğumuz çalışmaya ait sonuçları destekler nitelikte çıkmıştır.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hasarsız çarpma tekniği kullanılarak domates sertlik tahmini için 15 mm yükseklikten kuvvet algılayıcının bağlı olduğu alüminyum plaka üzerine altı farklı olgunluk safhasındaki domates örnekleri düşürülerek ölçümler yapılmıştır. Yapılan bu ölçümler hasarsız ölçümler olarak tanımlanmıştır. Domates meyvelerinin ölçülen sertlikleri referans ölçüm parametreleri olarak kabul edilmiş ve kabuk yırtılma kuvveti (KYK) ve kabuk sertliği (KS) parametreleri ölçülmüştür. Ölçülen bu referans parametreleri hasarsız çarpma parametreleri ile ilişkilendirilerek domates sertlik tahmin modelleri geliştirilmiştir.

Domates sertlik tahmin modeli geliştirmek için çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılmıştır. Tahmin modellerinin geliştirilmesinde üç farklı yaklaşım kullanılarak hasarsız çarpma parametrelerinin seçimi yapılmıştır. Hasarsız çarpma parametresi olarak ölçülen ve bunlardan türetilmiş olan 17 adet çarpma parametresi öncelikle Pearson korelasyon testine tabi tutulmuş ve hem domateslerin kabuk yırtılma kuvveti (KYK) hem de kabuk sertliği (KS) tahmini için istatistiksel anlamda önemli olan parametreler seçilmiştir.

Çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılarak yapılan domates kabuk yırtılma kuvveti (KYK) ve 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 KYK ve 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 KYK tahmin modellerinden olan Model A'da: F_{p1} , F_{p2} , t_{p1} , t_{p2} , t_{C1} , t_{C2} 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_{p1-2} , t_{C2} , $C_{p,12}$, $C_{C,12}$, R_{FP} , ΔF_p , RT_C çarpma parametreleri seçilmiştir. Model C için ise; stepwise regresyon analizi sonucunda seçilen F_{p2} , t_{C1-2} , RT_C hasarsız çarpma parametreleri KYK tahmininde kullanılmıştır. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda domates KYK ile Model A'da ki parametreler kullanılarak geliştirilen tahmin modelinin iyilik derecesi (R^2) 0.675, Model B'de R^2 0.718 ve Model C için de R^2 0.690 olarak hesaplanmıştır.

KYK'nin tahminine dönük geliştirilen modellerin performansı, çeşitli kriterler (RMSE, MAE, MAPE ve R^2) dikkate alınarak ta ölçülmüştür. Kalibrasyon ve doğrulamanın hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE), ortalama mutlak hatası (MAE), ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) ve standart sapma oranı (SDR) geliştirilen sertlik tahmin model eşitliklerin performans değerlendirmelerinde kullanılmıştır. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda kalibrasyon veri grupları için performans parametreleri açısından en iyi KYK 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 KYK tahmininde Model C'nin kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olacağı sonucuna varılmıştır. Bu durum doğrulama veri gruplarında daha belirgin bir fark göstermiştir. R^2 değeri en yüksek ve RMSE, MAE, MAPE değeri en düşük Model C'de gerçekleşmiştir.

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} , $C_{p,12}$, $C_{C,12}$, R_{FP} , ΔF_p , RT_C , $C_{PW,12}$ çarpma parametreleri seçilmiştir. Model C için ise; stepwise regresyon analizi sonucunda seçilen F_{p2} , A_2 hasarsız çarpma parametreleri KS tahmininde kullanılmıştır. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda domates KS ile Model A'da ki 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. 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.

Domates KYK ve KS için geliştirilmiş olan model yaklaşımlara ilişkin sonuçlara bakıldığında hasarsız çarpma tekniği kullanılarak domates KS tahminin daha yüksek sonuçlarla elde edildiği ortaya konan istatistiksel analiz sonuçlarından görülebilmektedir. Bu sonuçlar bize çarpma testleri kullanılarak KS’nin (domates kabuk sertliği) tahminin KYK’dan (domates kabuk yırtılma kuvveti) daha güvenilir sonuçlar verdiğini göstermektedir.

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. 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. 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.

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., & Massie, D. R. (1998). Nondestructive sonic measurement of kiwifruit firmness. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(2), 317-322.
- Abbott, J.A., 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 15, 207–225.
- 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., Abu-Goukh, A.A., 2003. Compositional changes during guava fruit ripening. *Food Chem.* 80, 557-563.
- Batu A (2004). Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 61(3): 471-475
- Bourne, M., 2002. *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*, 2nd edition. Academic Press, London.
- Bui, H-T., Makhoul, J., Ratti, C., 2010. Postharvest Ripening Characterization of Greenhouse Tomatoes. *International Journal of Food Properties*. 13: 830-846.
- Cavaco, A. M., Pinto, P., Antunes, M. D., Silva, J. M. D., & Guerra, R. (2009). 'Rocha' pear firmness predicted by a Vis/NIR segmented model. *Postharvest Biology and Technology*, 51(3), 311-319.
- Cavalini, F.C., Jacomino, A.P., Lochoski, M.A., Kluge, R.A., Ortega, E.M.M., 2006. Maturity indexes for 'kumagai' and 'paluma' guavas. *Rev. Bras. Frut.* 28, 176–179.

- Chen P (2001). Application of elastic theory to high speed impact sensing of fruit.
In: Workshop on Control Applications in Post-Harvest and Processing
Technology, 3-5 October, Tokyo, Japan, pp.1-6.
- Chen, J.Y., Miyazato, M., Ishiguro, E., Nanba, N., 1993. Detection of Firmness in
Intact Pumpkins and Sakurajima Radishes by Impact Forces. *Journal of the
Japanese Society for Horticultural Science*. 61(4): 951-956.
- Chen, P., Ruiz-Altisent, M., 1993. Effect of impacting mass on firmness sensing of
fruits. *ASAE Paper No.* 93-6542.
- Chen, P., Ruiz-Altisent, M., Barreiro, P., 1996. Effect of impacting mass on
firmness sensing of fruits. *Trans. ASAE* 39(3): 1019-1023.
- CHOI, K.; LEE, G.; HAN, Y.J.; BUNN, J.M., 1995. Tomato maturity evaluation
using color image analysis. *Transactions of the ASAE*, v.38, n.1, p.171-
176.
- Clark, C. J., Hockings, P. D., Joyce, D. C., & Mazucco, R. A. (1997). Application
of magnetic resonance imaging to pre- and postharvest studies of fruits and
vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 11(1), 1-21.
- De Ketelaere, B., Howarth, M.S., Crezee, L., Lammertyn, J., Viaene, K., Bulens, I.,
De Baerdemaeker, J., 2006. Postharvest firmness changes as measured by
acoustic and low-mass impact devices: a comparison of techniques.
Postharvest Biol. Technol. 41, 275–284.
- Delwiche, M. J., McDonald, T., & Bowers, S. V. (1987). Determination of peach
firmness by analysis of impact forces. *Transactions of the ASAE*, 30(1),
249-254.
- Delwiche, M. J., Tang, S., & Mehlschau, J. J. (1989). An impact force response
fruit firmness sorter. *Transactions of the ASAE*, 32(1), 321-326.
- Delwiche, M.J., 1987. Theory of Fruit Firmness Sorting by Impact Forces.
Transactions of the ASAE, 30(4): 1160-1171.

- Duprat, F., Grotte, M., Pietri, E., Loonis, D., & Studman, C. J. (1997). The acoustic impulse response method for measuring the overall firmness of fruit. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66(4), 251-259.
- Fidelibus, M.W., Teixeira, A.A., Davies, F.S., 2002. Mechanical properties of orange peel and fruit treated pre-harvest with gibberellic acid. *Trans. ASAE* 45, 1057–1062.
- FRASER, P.D.; TRUESDALE, M.R.; BIRD, C.R.; SCHUCH, W.; BRAMLEY, P.M., 1994. Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development. *Plant Physiology*, v.105, p.405-413.
- García, C., Ruiz, M., & Chen, P. (1988). Impact parameters related to bruising in selected fruits. *Transactions of ASAE*, 31, 256–261.
- García-Ramos, F.J., Ortiz-Canavate, J., Ruiz-Altisent, M., Díez, J., Flores, L., Homer, I., Chávez, J., 2003. Development and implementation of an on-line impact sensor for firmness sensing of fruits. *J. Food Eng.* 58, 53–57.
- García-Ramos, F.J., Valero, C., Homer, I., Ortiz-Canavate, J., Ruiz-Altisent, M., 2005. Nondestructive fruit firmness sensors: a review. *Spanish J. Agric. Res.* 3, 61–73.
- Gutierrez, A., Burgos, J. A., & 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>.
- Homer, I., García-Ramos, F. J., Ortiz-Canavate, J., & Ruiz-Altisent, M. (2010). Evaluation of a non-destructive impact sensor to determine on-line fruit firmness. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70, 67-74.
- Howarth, M. S., Shmulevich, I., Raithatha, C., & Ioannides, Y. (2003). Online non-destructive avocado firmness assessment based on low-mass impact technique. In Paper presented at the Proceedings V World Avocado Congress, Granada-Málaga, Spain.
- Jaren, C., García-Pardo, E. (2002). Using non-destructive impact testing for sorting fruits. *Journal of Food Engineering*, 53(1), 89-95.

- Jarimopas, B., Kitthawee, U., 2007. Firmness properties of mangoes. *International Journal of Food Properties*, 10: 899-909.
- Kabaş, O., Çelik, H.K., Özmerzi, A., Akıncı, İ., 2008. Drop test simulation of a sample tomato with finite element method. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88: 1537-1541.
- Lammertyn, J., Nicolai, B., Ooms, K., De Smedt, V., & De Baerdemaeker, J. (1998). Nondestructive measurement of acidity, soluble solids, and firmness of Jonagold apples using NIR-spectroscopy. *Transactions of the ASAE*, 41(4), 1089-1094.
- Lewis, C.D. (1982). *Industrial and business forecasting methods*. London: Butterworths.
- 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.
- Lien, C.C., Hua-Ting, C., 2013. Slight Free Falling Impact Test for Assessing Guava Maturity. *Agricultural Sciences*. Vol: 4, No: 5B, 21-27.
- Lien, C.C., Hua-Ting, C., 2014. Assessing guava maturity by statistical analyses of dropped fruit impact response. *Postharvest Biology and Technology*. 95: 20-27.
- LÓPEZ CAMELO, A.F.; GÓMEZ, P.A., 2004. Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.22, n.3, p.534-537.
- Lu, R. (2003). Imaging spectroscopy for assessing internal quality of apple fruit. In Paper presented at the ASAE Paper, St Joseph, MI, USA.
- Lu, R., & Peng, Y. (2006). Hyperspectral scattering for assessing peach fruit firmness. *Biosystems Engineering*, 93(2), 161-171.
- Lu, L.-X., Wang, Z.-W., 2007. Dropping Bruise Fragility and Bruise Boundary of Apple Fruit. *Transactions of the ASABE*, 50(4): 1323-1329.
- McGlone, V. A., & Kawano, S. (1998). Firmness, dry-matter and soluble-solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 13(2), 131-141.

- McGlone, V.A., Jordan, R.B., Schaare, P.N., 1997. Mass and drop-height influence on kiwifruit firmness by impact force. *Trans. ASAE* 40, 1421–1428.
- 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.
- Mireei, S. A., Mohtasebi, S. S., & Sadeghi, M. (2014). Comparison of linear and non-linear calibration models for non-destructive firmness determining of ‘Mazafati’ date fruit by near infrared spectroscopy. *International Journal of Food Properties*, 17(6), 1199-1210.
- Mireei, S.A., Sadeghi, M., Heidari, A., Memmat, A., 2015. On-Line Firmness Sensing of Dates Using a Non-Destructive Impact Testing Device. *Biosystems Engineering*, 129: 288-297.
- Mizrach, A. (2008). Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetables in pre- and postharvest processes. *Postharvest Biology and Technology*, 48(3), 315-330.
- Mohammadi-Aylar, S., e-Somarin, S.J., azimi, J., 2010. Effect of Stage of Ripening on Mechanical Damage in Tomato Fruits. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 9(3): 297-302.
- Mohsenin, N., 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*, 2nd edition. Gordon and Breach, New York, USA.
- Muramatsu, N., Sakurai, N., Wada, N., Yamamoto, R., Takahara, T., Ogata, T., et al. (1999). Evaluation of fruit tissue texture and internal disorders by laser doppler detection. *Postharvest Biology and Technology*, 15(1), 83-88.
- Muramatsu, N., Sakurai, N., Wada, N., Yamamoto, R., Tanaka, K., Asakura, T., et al. (2000). Remote sensing of fruit textural changes with a laser doppler vibrometer. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125(1), 120-127.
- Nahir, D., Z. Schmilovitch and B. Ronen. 1986. Tomato grading by impact force response. ASAE Paper No. 86-3028. St. Joseph, MI: ASAE.

- Peleg, K., 1999. Development of a commercial fruit firmness sorter. *J. Agric. Eng. Res.* 72, 231–238.
- Peng, Y., & Lu, R. (2006). Improving apple fruit firmness predictions by effective correction of multispectral scattering images. *Postharvest Biology and Technology*, 41(3), 266-274.
- Pourkhak, B., Mireei, S.A., Sadeghi, M., Memmat, A., 2017. Multi-Sensor Data Fusion in the Nondestructive Measurement of Kiwifruit. *Measurement*, 101: 157-165.
- Qing, Z., Ji, B., & Zude, M. (2007). Predicting soluble solid content and firmness in apple fruit by means of laser light backscattering image analysis. *Journal of Food Engineering*, 82(1), 58-67.
- Qing, Z., Ji, B., & Zude, M. (2008). Non-destructive analyses of apple quality parameters by means of laser-induced light backscattering imaging. *Postharvest Biology and Technology*, 48(2), 215-222.
- Ragni, L., Berardinelli, A., & Guarnieri, A. (2010). Impact device for measuring the flesh firmness of kiwifruits. *Journal of Food Engineering*, 96(4), 591-597.
- Rohrbach, R. P., Franke, J. E., & Willits, D. H. (1982). A firmness sorting criterion for blueberries. *Transactions of the ASAE*, 25(2), 261-265.
- Schotte, S., De Belie, N., & De Baerdemaeker, J. (1999). Acoustic impulse-response technique for evaluation and modelling of firmness of tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 17(2), 105-115.
- Shao, Y., He, Y., Gomez, A. H., Pereir, A. G., Qiu, Z., & Zhang, Y. (2007). Visible/near infrared spectrometric technique for nondestructive assessment of tomato ‘Heatwave’ (*Lycopersicum esculentum*) quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, 81(4), 672-678.
- Sinnaeve, G., P. Dardenne, R. Agneessens, and R. Biston. 1994. The use of near infrared spectroscopy for the analysis of fresh grass silage. *J. Near Infrared Spectrosc.* 2:79–84

- Singh, K.K., Reddy, B.S., 2006. Post-harvest physico-mechanical properties of orange peel and fruit. *J. Food Eng.* 73, 112–120.
- Stropek, Z., 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.
- Terasaki, S., Wada, N., Sakurai, N., Muramatsu, N., Yamamoto, R., & Nevins, D. J. (2001). Nondestructive measurement of kiwifruit ripeness using a laser doppler vibrometer. *Transactions of the ASAE*, 44(1), 81-87.
- Timoshenko, S.P., Goodier, J.N., 1970. *Theory of Elasticity*. New York: McGraw-Hill.
- Tüdeş, E., 2019. Hasarsız Çarpma Tekniği Kullanarak Elma Meyvesinin Kütle Tahmini İçin Farklı Model Yaklaşımların Değerlendirilmesi. *Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, ss: 35.
- Vursavus, K.K. ve Kesilmiş, Z., 2017. Modeling of Color Values for Nondestructive Prediction of Tomato Firmness. *Journal of Tekirdağ Agriculture Faculty*, 14(3): 1-8.
- Vursavus, K.K., Kesilmiş, Z., Küçükönder, H., 2015. Mekanik Hasarsız Çarpma Tekniğiyle Domatesin Sertliğine Göre Sınıflandırılması. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 21: 236-245.
- Vursavus, K.K., Kesilmiş, Z., Oztekin, Y.B., 2017. Nondestructive Dropped Fruit Impact Test for Assessing Tomato Firmness. *Chemical Engineering Transactions*, Vol: 58, 325-330.
- Vursavus, K.K., Yurtlu, Y.B., Diezma-Iglesias, B., Lleo, L., Ruiz-Altisent, M., 2014. Non-Destructive Impact Device for Measuring the Flesh Firmness of Peaches. *The Phillippine Agricultural Sciencist*. 97(4): 391-398.
- Wang, Y-W., Wang, J., Yao, C., Lu, Q-J., 2009. Firmness Measurement of Peach by Impact Force Response. *Journal of Zhejiang University Science B*. 10(12): 883-889.

- Williams, P. C. 2001. Implementation of near-infrared spectroscopy. Pages 145–169 in Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. 2nd ed. P. C. Williams and K. Norris, ed. Am. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN.
- Zhang, X., Brusewitz, G.H., 1991. Impact Force Model Related to Peach Firmness. Transactions of the ASAE, 34(5): 2094-2098.



ÖZGEÇMİŞ

Gökhan AY Adana da doğdu. İlk ve Orta öğretimini Mehmet Adil İkiz okulunda tamamladı. Adana Kiremithane Teknik Meslek Lisesi Elektrik bölümünden mezun olduktan sonra 2014 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ziraat mühendisliği bölümüne girdi halen bu bölümde eğitimini sürdürmektedir.

