

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Huri Büşra AKIN

**LAMAS VE ENTERDONAT LİMON ÇEŞİTLERİNİN BAZI
FİZİKO-MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

ADANA-2022

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

LAMAS VE ENTERDONAT LİMON ÇEŞİTLERİNİN BAZI FİZİKO- MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Huri Büşra AKIN

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

Danışman : Prof. Dr. Kubilay Kazım VURSAVUŞ
Yıl: 2022, Sayfa: 65
Jüri: : Prof. Dr. Kubilay Kazım VURSAVUŞ
: Doç. Dr. Tunahan ERDEM
: Dr. Öğretim Üyesi Zehan KESİLMİŞ

Bu çalışmada, Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerin hasat sonrası işlemlerine yönelik bazı fiziko-mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla; boyut ve şekil özellikleri (uzunluk, genişlik, kalınlık, geometrik ortalama çap, yüzey alanı, küresellik, şekil indeksi, en-boy oranı, kütle, hacim ve kütle yoğunluğu), meyve kabuğu renk özellikleri (L, a, b ve renk indeksi) ve mekanik (dayanım) özellikleri (ezme: sıkıştırma, batıcı uç, yükleme-boşaltma ve kabuk dayanımı testleri) ölçülmüştür. Ayrıca, çeşit, sürtünme yüzeyi ve kayma hızının statik ve dinamik sürtünme katsayısı üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinde şekil indeksi ve en-boy oranı dışında şekil ve boyut özellikleri ortalamaları arasındaki farkın %1 ve %5 düzeyinde önemli çıktığı belirlenmiştir. Renk özelliklerinden olan L, a, b ve renk indeksi değer ortalamaları arasındaki fark ta Lamas ve Enterdonat limon çeşitleri için %1 ve %5 düzeyinde önemli çıkmıştır. Limon çeşitlerinin mekanik özellikleri üzerine yapılan değerlendirme de özellikle batıcı uç (delme) testi ve kabuk çeki direnci testlerinde çeşit ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli çıktığı, ezme (sıkıştırma) ve yükleme-boşaltma testlerinde çeşitler arasındaki farkın önemsiz olduğu sonucuna varılmıştır.

Sürtünme özelliklerine ilişkin olarak ise, çeşit, sürtünme yüzeyi ve kayma hızının statik ve dinamik sürtünme katsayıları üzerinde etkili olduğu ve özellikle sürtünme yüzeyi ve kayma hızındaki değişimin hem statik hem de dinamik sürtünme katsayılarını etkilediği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Limon, Boyut ve Şekil Özellikleri, Renk Özellikleri, Mekanik Özellik, Sürtünme Katsayısı.

ABSTRACT

MSc. THESIS

DETERMINATION OF SOME PHYSIO-MECHANICAL PROPERTIES OF LAMAS AND ENTERDONAT LEMON VARIETIES

Huri Büşra AKIN

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

Supervisor : Prof. Dr. Kubilay Kazım VURSAVUŞ
Year: 2022, Pages: 65
Jury: : Prof. Dr. Kubilay Kazım VURSAVUŞ
: Assoc.Prof. Tunahan ERDEM
: Asts. Prof. Dr. Zehan KESİLMİŞ

In this study, some physico-mechanical properties of Lamas and Enterdonat lemon varieties for post-harvest technology were investigated. For this purpose; size and shape properties (length, width, thickness, geometric mean diameter, surface area, sphericity, shape index, aspect ratio, mass, volume and mass density), fruit skin color properties (L, a, b and color index) and mechanical (strength) properties (burst: compression, penetrating tip, loading-unloading and skin strength tests) were measured. In addition, the effects of variety, friction surface and sliding speed on the static and dynamic coefficients of friction were also investigated. According to the results of the research, it was determined that the difference between the average shape and size characteristics of Lamas and Enterdonat lemon varieties, except for shape index and aspect ratio, was significant at the level of 1% and 5%. The difference between L, a, b and color index value averages, which were color characteristics, was also significant at the level of 1% and 5% for Lamas and Enterdonat lemon varieties. In the evaluation on the mechanical properties of lemon varieties, it was concluded that the difference between the variety averages was statistically significant, especially in the puncture test and the peel tensile resistance tests, and the difference between the varieties was insignificant in the burst (compression) and loading-unloading tests.

Regarding the friction properties, it was determined that the variety, friction surface and sliding speed were effective on the static and dynamic coefficients of friction, and especially the change in the friction surface and sliding speed affected both the static and dynamic coefficients of friction.

Keywords: Lemon, Size and Shape Properties, Color Properties, Mechanical Properties, Coefficient of Friction.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Yaş meyve ve sebzelerin sınıflandırılmasında; boyut, şekil, kütle, renk, sertlik, olgunluk vb. özellikler kullanılmaktadır. Meyvelerin boyutuyla ilgili özellikler, esas olarak standart karton veya kutularda tekdüzelik ve paketleme için önem arz etmektedir. Limonun belirli fiziksel özellikleri de kalite özelliklerinin çıkarımsal göstergeleri olabilir. Örneğin, meyvenin görünümü tüketicileri büyük ölçüde etkilediğinden, kabuk rengi meyve kalitesinin en önemli dış faktörlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Sertlik, limon meyvelerinin bir diğer önemli özelliğidir ve genellikle meyve kalitesi değerlendirmesinde kullanılmaktadır. Meyvenin hacmi ve yoğunluğu, sayısız teknolojik süreçte ve donma hasarı gibi ürün kalitesinin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Bütün meyvenin mekanik özellikleri; soyulma gerilme mukavemeti, uygun saklama sıcaklığı, saklama süresi ve raf ömrü gibi hasat sonrası işlemenin etkisini değerlendirmek için çok önemli parametrelerdir. Tarla koşulunda meyve olgunluğunu belirlemek için sıklıkla kullanılan yöntem, silindirik bir batıcı uç ile veya iki paralel plaka arasında sıkıştırma işlemidir. Meyvelerin elastik sınırın ötesindeki kuvvet-deformasyon özellikleri, mekanik zedelenmeye neden olan hasarı simüle etmek için önemli olabilmektedir. Elastisite modülü, mühendisler tarafından ürün sertliğinin bir indeksi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Delinme (batıcı uç) testleri, aynı zamanda, hasat olgunluğunu veya hasat sonrası sertliğin değerlendirmesini tahmin etmek için meyve ve sebzelerin sertliğinin ölçüleridir. Statik ve dinamik yük koşullarında meyvenin sıkışmaya karşı dayanma noktasını veya zedelenme hasara yatkınlığını değerlendirmek için, mekanik histerezis ve elastikiyet derecesi de kullanılabilir. Biyolojik akma noktası, kuvvet-deformasyon eğrisi üzerinde deformasyonda bir artışın kuvvette ise bir azalışın olduğu ya da değişmediği noktadır. Kabuk yırtılma noktası, yüklenmiş materyalin delindiği, kırıldığı, çatladığı veya bozulduğu noktadır. Kuvvet-deformasyon eğrisinin sürekli azalmaya başlamasıyla anlaşılmaktadır. Bu noktada materyalin yük taşıma kapasitesi maksimum seviyededir ve kabuk yırtılma enerjisi bu açıdan

önem taşımaktadır. Meyvelerin, elastik sınır altındaki kuvvet deformasyon karakteristikleri zedelenme sırasında meydana gelen hasarın tahmini açısından önemli olabilmektedir. Bu tanımlamalar kullanılarak tarımsal ürünlerin hasat sonrası işlemleri sırasındaki mekanik özellik değişimleri de belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada, Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinin boyut, şekil, renk, sürtünme özelliği ve tüm meyve ve kabuk dayanım dirençleri gibi bazı fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Limon çeşitlerinin boyut, şekil, renk, mekanik dayanım ve sürtünme özelliklerini belirlemek ve karşılaştırmak için kullanılan materyaller 2021 hasat döneminde elle hasat edilmiştir. Boyut ve şekil özellikleri olarak; uzunluk, genişlik, kalınlık, geometrik ortalama çap, küresellik, şekil indeksi, en-boy oranı, yüzey alanı, hacim, kütle ve kütle yoğunluğu ölçümleri ve hesaplamaları 20 adet meyve örneği kullanılarak yapılmıştır.

Limon meyvelerinin kabuk renklerinin ölçülmesinde CR-400 model (Konica Minolta Chroma Meter, Japan) renk ölçüm cihazı kullanılmıştır. Renk ölçümlerinde L, a, b üç nokta ölçüm yöntemiyle renk uzayı koordinatları ölçülmüştür. Renk ölçümleri (L, a, b) limon örneklerinin ekvatorial bölgesinde olmak üzere iki noktada yapılmıştır. Enterdonat ve Lamas limon çeşitlerinin renk indeksleri (CI) de ayrıca hesaplanmıştır.

Limonların tüm meyve kabuk dayanım dirençlerinin ölçülmesinde LLOYD materyal test cihazı (Lloyd Instrument LRX Plus Series) kullanılmıştır. Mekanik özelliklerden olan ezme (sıkıştırma) testi için çift plaka arasında sıkıştırma işlemi uygulanmış ve batıcı uç (kabuk delme: Flavedo+Albedo) testi için yapılan ölçümlerde de 8 mm çapında eğrilik yarıçapı olan batıcı uç kullanılmış ve 60 mm min-1'lik yükleme hızında çalışılmıştır. Yükleme ve boşaltma testinde de çift plaka arasında sıkıştırma işlemi uygulanmış ve 5 mm'lik bir deformasyon uygulandıktan sonra yükün boşaltma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Lamas ve Enterdonat limon meyvelerinin boyut ve şekil özelliklerine ilişkin yapılan ölçüm ve hesaplama sonuçlarına göre, her iki çeşidin uzunluk, genişlik, kalınlık, geometrik ortalama çap, küresellik, yüzey alanı, hacim ve kütle ortalamaları arasındaki fark yapılan t testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Şekil indeksi ve en-boy oranının her iki çeşit

ortalamları arasındaki fark ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Şekil indeksi ve en-boy oranı sonuçlarına göre, Enterdonat limon çeşidinin Lamas'a kıyasla daha elipsoidal olduğu belirlenmiştir.

İki çeşide ait L, a, b ve renk indeksi değerlerine ait ortalamları arasındaki fark istatistiksel olarak %1 ve %5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Limon meyvelerin görünen rengi sarılık ve mavilik derecesi ile ifade edilen b renk parametresi üzerinden değerlendirilmiş ve her iki çeşidin de sarı baskın renge sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, a renk değeri her iki çeşitte de eksi değerde ölçülmüş buda limon meyvelerinin belirli yüzeyinde yeşil rengin var olduğunu anlamına gelmektedir.

Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinin ezme (sıkıştırma) testine ait sonuçlarına göre, 10 mm'lik deformasyondaki kuvvet değerleri dikkate alınarak yapılan ölçümlerde (Şekil 3.5) Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinin kuvvet değerleri sırasıyla 154.62 ± 21.20 N ve 161.50 ± 25.37 N olarak belirlenmiştir. Enterdonat limon çeşidinin 10 mm'lik deformasyondaki kuvvet değeri Lamas limon çeşidinden bir miktar yüksek çıkmakla birlikte, yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucuna göre (t-testi) çeşitlerin ortalamları arasındaki fark önemsiz çıkmıştır. Benzer sonuçlar ezme noktasındaki kuvvet ve Elastisite modülü hesaplamalarında da kendini göstermiştir. Çeşitlerin ezme noktasındaki deformasyon ortalamları arasındaki fark ise yapılan t-testi sonuçlarına göre %5 seviyesinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Limon çeşitlerinin batıcı uç (kabuk delme) dirençlerinin belirlenmesine ilişkin yapılan test sonucunda Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinin kabuk yırtılma noktasındaki kuvvet, kabuk yırtılma noktasındaki deformasyon, kabuk delme gerilimi ve Elastisite modülü değerleri kuvvet-deformasyon grafikleri üzerinden ölçülmüş ve hesaplanmıştır. Batıcı uç kabuk delme testi sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde Enterdonat limon çeşidinin Lamas'a kıyasla kabuk delinmelerine karşı daha dirençli yapıya sahip olduğu yapılan test sonuçlarından belirlenmiştir.

Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinin elastikliğini ve kalıcı iç zedelenmenin oluşmadığı maksimum müsaade edilebilir deformasyon miktarlarını

(kalıcı deformasyon) ölçmek amacıyla yükleme-boşaltma testleri yapılmış ve bu testlerden ölçülen 5 mm'lik deformasyondaki kuvvet, kalıcı deformasyon, yükleme enerjisi, elastik enerji, absorbe edilen enerji, mekanik histerezis ve elastiklik derecesi ortalama değerleri arasındaki fark yapılan t-testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemsiz çıkmıştır.

Her iki limon çeşidinin kabuk dayanım testine ilişkin yapılan çeki testleri sonuçlarına göre, kabuk kopma kuvveti değerleri ortalamaları arasındaki fark %1 düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuş olup kabuk kopma kuvveti Enterdonat limon çeşidinde Lamas'a kıyasla daha yüksek ölçülmüştür. Kabuk çekme gerilimi ve kabuk elastisite modülü parametreleri de her iki çeşit için hesaplanmış ve yapılan hesaplamalar sonucunda bu değerler Enterdonat çeşidinde Lamas çeşidine kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucuna göre de, kabuk çeki gerilimi ortalamaları arasındaki fark %1 düzeyinde, kabuk elastisite modülü ortalamaları arasındaki fark ta %5 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Meyvelerin statik ve dinamik sürtünme katsayılarının ölçülmesinde LLOYD marka materyal test cihazı kullanılmıştır (Model LRX Plus Series). Limon çeşitlerinin sürtünme özelliklerini belirlemek için yapılan ölçümlerde kontrollü değişken parametrelerinden olan sürtünme yüzeyi (SY) ve kayma hızının (KH) statik (COFS) ve dinamik (COFD) sürtünme katsayıları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada galvanizli sac, demir sac, ahşap plaka ve alüminyum levha olmak üzere dört farklı sürtünme yüzeyi (SY) ve 100, 250 ve 500 mm min-1'lık üç kayma hızlarında (KH) ölçümler yapılarak (COFS) ve (COFD) üzerindeki etkileri Varyans Analizi (ANOVA) testi ile istatistiksel olarak ta ortaya konmuştur. Ayrıca, ANOVA sonuçlarına göre %1 ve %5 düzeyinde önemli çıkan ana faktörler için ortalamaları arasındaki farkı ortaya koymak amacıyla DUNCAN çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır.

TEŞEKKÜR

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

Tezime yaptıkları katkılardan dolayı değerli hocalarım Doç. Dr. Tunahan ERDEM ve Dr. Öğretim Üyesi Zehan KESİLMİŞ'e teşekkür ederim.

Her zaman bana güç veren kızım Belemir'e, yanımda olup beni cesaretlendiren, bana inanan ve güvenen, desteklerini esirgemeyen sevgili aileme çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	33
4.1. Boyut ve Şekil Özelliklerine İlişkin Sonuçlar.....	33
4.2. Renk Özelliklerine İlişkin Sonuçlar	34
4.3. Mekanik (Dayanım) Özelliklere İlişkin Sonuçlar	35
4.3.1. Ezme (Sıkıştırma) Testi Sonuçları	35
4.3.2. Batıcı Uç (Delme) Testi Sonuçları	37
4.3.3. Yükleme-Boşaltma Testi Sonuçları	39
4.3.4. Kabuk Dayanımı (Çeki) Testi Sonuçları	42
4.4. Sürtünme Özelliklerine İlişkin Sonuçlar	44
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	51
5.1. Boyut ve Şekil Özelliklerine İlişkin Sonuç ve Öneriler.....	51
5.2. Renk Özelliklerine İlişkin Sonuç ve Öneriler	51
5.3. Ezme (Sıkıştırma) Testine İlişkin Sonuç ve Öneriler	52
5.4. Batıcı Uç (Delme) Testine İlişkin Sonuç ve Öneriler	52
5.5. Yükleme-Boşaltma Testine İlişkin Sonuç ve Öneriler.....	53
5.6. Kabuk Dayanımı (Çeki) Testine İlişkin Sonuç ve Öneriler	54
5.7. Sürtünme Özelliklerine İlişkin Sonuç ve Öneriler	55

KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	65



ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 4.1.	Lamas ve Enterdonat Limon Çeşitlerinin Boyut ve Şekil Özelliklerine İlişkin Sonuçlar	34
Çizelge 4.2.	Lamas ve Enterdonat Limon Çeşitlerinin Renk Özelliklerine İlişkin Sonuçlar	35
Çizelge 4.3.	Lamas ve Enterdonat Limon Çeşitlerinin Ezme (Sıkıştırma) Testine İlişkin Sonuçlar	36
Çizelge 4.4.	Lamas ve Enterdonat Limon Çeşitlerinin Batıcı Uç (Delme) Testine İlişkin Sonuçlar	39
Çizelge 4.5.	Lamas ve Enterdonat Limon Çeşitlerinin Yükleme-Boşaltma Testine İlişkin Sonuçlar	42
Çizelge 4.6.	Lamas ve Enterdonat Limon Çeşitlerinin Kabuk Dayanımı (Çeki) Testine İlişkin Sonuçlar	43
Çizelge 4.7.	Lamas ve Enterdonat Çeşitlerine Ait Statik ve Dinamik Sürtünme Katsayısına İlişkin Genel Varyans Analizi Sonuçları	46



ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1.	Bir limonun kesitsel anatomisi	3
Şekil 3.1.	Limon meyvesinin üç eksen (Uzunluk: L; Genişlik: W; Kalınlık: T) boyunca görünüşü.....	19
Şekil 3.2.	Çift plaka arasında ezme (sıkıştırma) ve yükleme-boşaltma testi	22
Şekil 3.3.	Batıcı uç (delme) testi.....	22
Şekil 3.4.	Kabuk çeki direnci testi	22
Şekil 3.5.	Ezme (Sıkıştırma) testine ilişkin kuvvet-deformasyon grafiği.....	24
Şekil 3.6.	Batıcı uç (kabuk delme) testine ilişkin kuvvet-deformasyon grafiği	26
Şekil 3.7.	a: Yükleme-boşaltma testine ilişkin kuvvet-deformasyon grafiği çıktısı, b: Mekanik histerezis ve elastiklik derecelerinin hesaplanmasında kullanılan kuvvet-deformasyon grafiğine bir örnek.....	27
Şekil 3.8.	Kabuk çeki direnci testine ilişkin kuvvet-deformasyon ve gerilim-gerinim grafiği	28
Şekil 3.9.	Sürtünme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan test cihazı.....	29
Şekil 3.10.	Sürtünme katsayılarının hesaplanmasında kullanılan kuvvet-yer değiştirme grafiği.	30
Şekil 4.1.	Narenciye meyvelerinin kabuk yüzeyinde oluşan yağ lekeleri: oil spots (<i>Oleocellosis</i>) (Wardowski ve ark., 1976)	38



1. GİRİŞ

Dünyada yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan narenciye çeşitleri arasında büyük öneme sahip olan limon, Türkiye’de 2020-2021 üretim sezonunda dünya narenciye üretiminin %9’unu oluşturmuştur. Dünya limon üretiminin %79’unu karşılayan ilk 4 ülke Meksika, AB, Arjantin ve Türkiye olmuştur. 2019 yılı içerisinde limon ekim alanları açısından önde gelen ülkeler ise sırasıyla, Hindistan (%25), Meksika (%15), Çin (%11) ve Arjantin (%5)’dir. 2020/21 sezonunda dünyada 2,2 milyon ton limon ihracatı yapılırken, ihracatının %39’u Meksika, %23’ü Güney Afrika, %20’si ise Türkiye tarafından karşılanmaktadır. İthalatta ise ABD, AB, Rusya ve Suudi Arabistan önde gelen ülkeler arasında yer almaktadır (Anonim, 2021).

Limon yetiştiriciliğini olumsuz etkileyen en önemli iklim faktörleri düşük sıcaklıklar, kurak rüzgârlar ve bağıl nemdir. O nedenle ülkemizde limonlar Akdeniz ve Ege Bölgelerindeki, iklim şartlarının uygun olduğu alanlarda yetiştirilir. Doğu Akdeniz Bölgesi’nde çoğunlukla Kütdiken, Meyer, İtalyan memeli, Enterdonat (Interdonato) ve Lamas limonları yetiştirilmektedir. Batı Akdeniz Bölgesi’nde Interdonato, Karalimon ve Meyer üretimi yapılmaktadır. Türkiye’de limon üretiminin büyük bir kısmı taze olarak tüketilmektedir. TÜİK Bitkisel Üretim İstatistikleri’ne göre; 2020 yılında Türkiye turunçgil üretimi 4,3 milyon ton olarak gerçekleşirken, üretimin %36’sı mandalina, %31’i portakal, %27’si limon, %5’i greyfurt aittir. TÜİK verilerine göre; kişi başı limon tüketimi 2019/2020 sezonunda bir önceki sezona göre %5 oranında azalarak 5,7 kg olarak gerçekleşmiştir (Anonim, 2021).

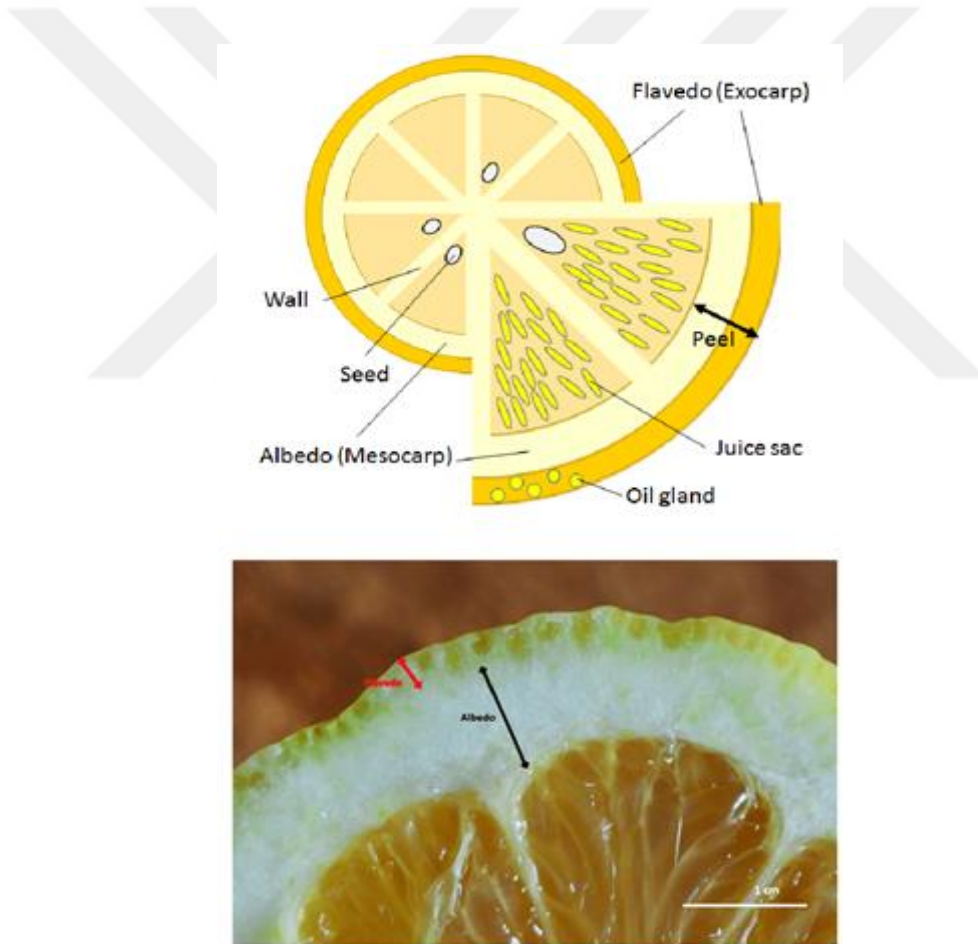
2020 yılında Türkiye’de 4,3 milyon ton civarında gerçekleşen turunçgil üretiminin %27’sini 1 milyon 189 bin tonluk üretim miktarı ile limon ve misket limonu oluşturmuştur. Üretimin %93’ü Akdeniz, %7’si Ege Bölgesi’nden karşılanırken, iller açısından bakıldığında Mersin, Adana ve Muğla illeri üretimin %90’ını karşılamıştır. TÜİK tahminlerine göre, 2021 yılı Türkiye limon üretiminin

bir önceki yıla göre %5,7 oranında artarak 1 milyon 450 bin ton olarak gerçekleşmesi beklenmektedir. TÜİK dış ticaret verilerine göre; Türkiye’de 2020 yılında yaklaşık 471 bin ton limon ihracatı, 2 bin 555 ton ise ithalatı yapılmıştır. İhracatta önde gelen ülkeler sırasıyla Rusya, Irak ve Ukrayna olur iken, ithalatta KKTC ve Brezilya olmuştur. 2021 yılının ilk dört ayında ise, 239 bin 789 ton limon ihracatı gerçekleştirilirken, 2 bin 284 ton limon ithalatı yapılmıştır. İhracatın %30’ü Irak, %26’sı Rusya, %8’i Ukrayna ve %5’i Romanya’ya yapılmıştır. 2021 yılının ilk dört ayında gerçekleşen limon ithalatında ise önde gelen ülkeler sırasıyla; KKTC (%86), Brezilya (%6) ve Bulgaristan (%3) olmuştur. (Anonim, 2021).

Meyveler rengi, şekli, kendine özgü tadı ve kokusu, zenginleştirilmiş mineralleri, vitaminleri ve diğer faydalı bileşenleri nedeniyle çekici ve besleyici gıdalardır (Topuz ve ark, 2005). Yetiştirilen Narenciye, dört atadan kalma türden türetilir. Çok sayıda doğal ve kültür kökenli melezler, portakal, greyfurt, limon, bazı misket limonu ve bazı mandalina gibi ticari açıdan önemli meyveleri içermektedir. Limon, narenciye grubuna ait meyvelerin seçkin üyelerinden biridir ve önemli ölçüde Brezilya, Çin ve Amerika Birleşik Devletleri’nde üretilmektedir. Bununla birlikte, İspanya, İtalya, Türkiye, Yunanistan, Güney Afrika ve Avustralya gibi yaygın olarak limon üretimine sahip birkaç başka ülke de vardır. Türkiye, yıllık yaklaşık 2,9 milyon ton üretimiyle en büyük 8. Narenciye üreten ülkedir. Yıllık Narenciye üretiminin% 22’si 638.000 ton üretim ile limondur. Türkiye’de limon meyvelerinin çoğu Mersin, Adana, Antalya ve Hatay gibi Akdeniz bölgesinde üretilmekte ve yıllık yaklaşık 171 milyon ABD doları toplam limon ihracat geliri ile% 57’nin üzerinde üretim ihraç edilmektedir (yıllık limon ihracatı yaklaşık 364 000 ton) (Hasdemir, 2007).

Narenciye, hesperidium adı verilen eşsiz bir meyve türüdür. Kösele kabukları, anatomik olarak flavedo ve albedo olarak bilinen farklı iki katmandan oluşur. Kabuğun renkli dış kısmı olan flavedo, kütikül kaplı bir epidermis ve yağ bezleriyle serpiştirilmiş birkaç tabakalı, kalın duvarlı hücre katmanından oluşur.

Kabuğun beyaz, iç kısmı olan albedo, birkaç dallı, ince duvarlı hücre katmanından, çok sayıda hücreler arası hava boşluğundan ve birkaç yağ bezinden oluşur. Albedo kalınlığı, narenciye türleri ve çeşitleri arasında büyük farklılıklar gösterebilir, ancak bazı mandalinalar dışında, albedo tipik olarak kabuk kalınlığının çoğunu oluşturur (Fidelibus ve ark., 2002). Narenciye aşağıdaki temel kısımlardan oluşur: flavedo (kabuğun dış renkli kısmı), albedo (kabuğun beyaz iç kısmı), yukarıda belirtilen kısımları içeren perikarp ve bölümlere ve keselere bölünmüş hamur endokarp adı verilen meyve suları ve tohumları içerir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Bir limonun kesitsel anatomisi (Nakamura ve ark. 2017; Caputo ve ark. 2020)

Limon, en verimli C vitamini kaynaklarından biridir. Bu türlerin meyveleri taze olarak tüketilmesinin yanı sıra reçel, jöle, haşlanmış meyve, marmelat, şurup ve çeşitli alkolsüz içeceklerin yapımında da kullanılmaktadır. Biyolojik materyallerin teknik özellikleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler olarak sınıflandırılabilir. Fiziksel özellikler ayrıca mekanik, optik, elektriksel ve termik özellikler olarak kategorize edilebilir. Limon meyvesinin fiziksel ve mekanik özelliklerine ilişkin bilgiler, hasat etme ve hasat sonrası teknolojiye yönelik ekipmanların tasarlanmasında, örneğin taşınması, depolanması, temizlenmesi, ayrılması, boyutlandırılması, paketlenmesi ve farklı gıdalarda işlenmesi gibi önemlidir.

Dünyada yüksek talep gören bir meyve grubu olan narenciye, toplumumuzda dikkate değer ekonomik, sosyal ve kültürel etkilere sahiptir (Iglesias ve ark., 2007). Bu meyveler arasında limon, portakal ve mandalınadan sonra üçüncü en önemli narenciye türüdür (Perez-Perez ve ark., 2005). Limonlar, olağanüstü lezzetleri ve asitlikleri ve ayrıca endüstriyel ve katma değerli gıda ürünleri olarak potansiyel uygulamaları nedeniyle dünya çapında birçok tüketici için favori meyvelerdir. Başta zengin C vitamini kaynağı olmak üzere, besleyici olduğu kadar tıbbi değerlere de sahip oldukları bilinmektedir. Protein ve karbonhidratların yanı sıra B vitamini, riboflavin gibi diğer vitaminleri ve kalsiyum, fosfor, magnezyum gibi mineralleri de içerirler. Limonların kalp hastalıkları, kanser riskini azalttığı ve ayrıca antiseptik, büzücü, sindirim uyarıcı vb. olarak çalıştığı bilinmektedir (Hrishikesh-Tavanandi ve ark., 2013).

Genellikle meyvelerin sınıflandırılması; büyüklük, şekil, kütle, renk, sertlik, olgunluk gibi özelliklere göre yapılır (Singh ve ark., 2004). Meyvelerin boyutuyla ilgili bilgiler, esas olarak standart karton veya kutularda tekdüzelik ve paketlenme içindir. Limonun belirli fiziksel özellikleri de kalite özelliklerinin çıkarımsal göstergeleri olabilir. Örneğin, meyvenin görünümü tüketicileri büyük ölçüde etkilediğinden, kabuk rengi meyve kalitesinin en önemli dış faktörlerinden biri olarak kabul edilir (Singh ve Reddy, 2006). Sertlik, limon meyvelerinin bir

diğer önemli özelliğidir ve genellikle meyve kalitesi değerlendirmesinde kullanılır. Meyvenin hacmi ve yoğunluğu, sayısız teknolojik süreçte ve donma hasarı gibi ürün kalitesinin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Miller, 1987).

Bütün meyvenin fizikiko-mekanik özellikleri; soyulma gerilme mukavemeti, uygun saklama sıcaklığı, saklama süresi ve raf ömrü gibi hasat sonrası işlemenin etkisini değerlendirmek için çok önemli parametrelerdir. Tarla koşulunda meyve olgunluğunu belirlemek için sıklıkla kullanılan yöntem, silindirik bir batıcı uç ile veya iki paralel plaka arasında sıkıştırma işlemidir. Meyvelerin elastik sınırın ötesindeki kuvvet-deformasyon özellikleri, mekanik zedelenmeye neden olan hasarı simüle etmek için önemli olabilir. Elastisite modülü, mühendisler tarafından ürün sertliğinin bir indeksi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Delinme testleri, aynı zamanda, hasat olgunluğunu veya hasat sonrası sertliğin değerlendirilmesini tahmin etmek için meyve ve sebzelerin sertliğinin ölçüleridir (Singh ve Reddy, 2006). Statik ve dinamik yük koşullarında meyvenin sıkışmaya karşı dayanma noktasını veya zedelenme hasara yatkınlığını değerlendirmek için, mekanik histerezis ve elastikiyet derecesi de kullanılabilir (Baryeh, 2000; Blahovec ve ark., 2002; Bradaran Motie ve ark., 2014). Biyolojik akma noktası, kuvvet-deformasyon eğrisi üzerinde deformasyonda bir artışın kuvvette ise bir azalışın olduğu ya da değişmediği noktadır. Kabuk yırtılma noktası, yüklenmiş materyalin delindiği, kırıldığı, çatladığı veya bozulduğu noktadır. Kuvvet-deformasyon eğrisinin sürekli azalmaya başlamasıyla anlaşılır. Bu noktada materyalin yük taşıma kapasitesi maksimum seviyededir ve kabuk yırtılma enerjisi bu açıdan önem taşımaktadır. Meyvelerin, elastik sınır altındaki kuvvet-deformasyon karakteristikleri zedelenme sırasında meydana gelen tahribatın tahmini açısından önemli olabilmektedir. Bu tanımlamalar kullanılarak tarımsal ürünlerin hasat sonrası işlemleri sırasındaki mekanik özellik değişimleri de belirlenebilmektedir (Singh ve Reddy, 2006).

Tarımsal ürünlerin fiziksel özelliklerinin bilgisi, sınıflandırma, sınıflandırma, taşıma, depolama, işleme ve paketleme sistemlerinin imalatı için

standartların ve tasarım kriterlerinin uygun şekilde oluşturulması için çok önemlidir (Tabatabaeefar ve Rajabipour, 2005; Lorestani ve Tabatabaeefar, 2006; Khoshnam ve ark., 2007; Shahi-Gharahlar ve ark., 2009; Seyedabadi ve ark., 2011; Shahbazi ve Rahmati, 2013). Çeşitli özelliklerin yanı sıra boyutlar, kütle, hacim, öngörülen ve yüzey alanları derecelendirme sistemlerinin tasarımında önemli faktörlerdir (Bahnasawy ve ark., 2004; Khoshnam ve ark., 2007). Tüketiciler benzer kütleye ve üniform şekle sahip meyveleri tercih ettiğinden, meyvelerin sınıflandırılması yaygın bir işleme operasyonudur. Meyvelerin toplu olarak sınıflandırılması, paketlenme ve nakliye maliyetlerini ve hasarı azaltırken optimum bir paketlenme görünümü sağlayabilir (Tabatabaeefar ve Rajabipour, 2005; Khoshnam ve ark., 2007; Shahi-Gharahlar ve ark., 2009; Seyedabadi ve ark., 2011; Shahbazi ve Rahmetli, 2013).

Dış görünüş açısından tarım ve gıda ürünlerinin sınıflandırma işlemleri görünüşlerine, dokularına, renklerine, şekillerine ve boyutlarına göre yapılmaktadır. Bununla birlikte, bir işleme operasyonu ne kadar karmaşıksa, görünüş olarak benzer ancak iç kalite olarak farklı meyveleri ayırmak o kadar zor olur. Bu durumda, bu özellikler düzgün çalışmayabilir. Geleneksel görsel kalite denetimine dayalı olarak gerçekleştirilen elle sınıflandırma ve ayırma, sıkıcı, zaman alıcı, yavaş ve tutarsızdır. Öte yandan, pahalı ve bazen karmaşık olan yapay görme tabanlı boyutlandırma mekanizmaları ile maliyet etkin, tutarlı, üstün hız ve doğru sıralama elde edilebilir (Tabatabaeefar ve Rajabipour, 2005). Kütle tabanlı yöntemler gibi diğer derecelendirme teknikleri, ekonomi ve doğruluk açısından umut verici olabilir. Kütleye göre derecelendirme, meyvelerin doğrudan tartılması veya meyve modellerinin diğer özelliklerine dayalı olarak tahmin edilen uygun kütle modellerinin uygulanmasıyla yapılabilir. Bu nedenle, meyvelerin kütle ve geometrik özellikleri arasındaki potansiyel ilişkiler üzerinde çalışma örn. boyutlar, hacim ve öngörülen alanlar, ekonomik, hızlı ve doğru bir boyutlandırma yöntemine yol açabilir (Seyedabadi ve ark., 2011).

1.1. Çalışmanın Amacı

Boyutsal, mekanik dayanım ve sürtünme özellikleri ile ilgili meyvelerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine birçok çalışma bildirilmiştir. Ancak literatürde limon meyvelerinin fiziko-mekanik ve sürtünme özellikleri ile ilgili detaylı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinin bazı fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.





2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Baradaran Motie ve ark. (2014) meyvelerin fiziksel özellikleri ile kütleleri arasındaki ilişkiyi elde etmenin, ambalaj endüstrisinde muazzam bir değişim yaratabileceğini ifade etmişlerdir. Araştırmacılar bu çalışmanın bir bölümünde, görünüş olarak birbirine çok benzeyen ancak iç kaliteleri farklı olan iki limon çeşidinin (Çekirdeksiz Lizbon ve Frost Eureka) bazı fiziksel özelliklerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Ayrıca limon kütlesi, doğrusal ve doğrusal olmayan modellerle üç farklı sınıflandırma olarak farklı fiziksel özelliklerle tahmin edilmiştir: (1) limon boyutlarının tek ve çok değişkenli regresyonları, (2) öngörülen alanların tek ve çok değişkenli regresyonları ve (3) tekli regresyon. limon kütlesinin gerçek hacmine ve elipsoid ve prolata sferoidin limon şekillerini varsayarak hesaplanan hacmine göre. Elde edilen sonuçlara göre, mevcut çalışmada dikkate alınan birçok özelliğin istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur ($P < 0.01$). Ekonomik ve agronomik açıdan, üçüncü öngörülen alana göre limon kütlesinin uygun boyutlandırma sistemi belirlendi. Son olarak, elde edilen sonuçlar ve regresyon modelleri, bu iki çeşit için ayrılmanın vaat edilebileceğini göstermiştir. Farklı modeller arasında doğrusal formdaki iki kütle tabanlı model en yüksek ayırma performansını göstermiştir. İlk model kütle-hacim ve ikincisi kütle-büyük boyuta dayalıydı.

Bentini ve ark. (2009) adlı araştırmacıların belirttiğine göre, patatesler genellikle pazar için gerekli olana kadar soğuk hava depolarında tutulur. Depolama koşulları ve sürenin uzunluğu, patates kalitesini ve bunun sonucunda işlemeye karşı duyarlılığını etkiler. Bu nedenle, depolamanın fiziko-mekanik özelliklerini nasıl değiştirebileceğini belirlemek önemlidir. Bu çalışmanın amacı, patatesin fiziko-mekanik özellikleri üzerine çeşit ve depolama süresinin etkilerini değerlendirmektir. İki hasat yılı boyunca iki çeşit (*Solanum tuberosum* L. cvs. Vivaldi ve Primura) kullanılarak laboratuvar testleri yapılmıştır. Yumrular 240 gün süreyle kontrollü bir şekilde (sıcaklık 4,5 C, nem %80) muhafaza edildi. Arıza

durumunda mekanik özellikleri belirlemek için tüm yumru kökleri üzerinde ve Young modülünü ve Poisson oranını değerlendirmek için silindirik numuneler üzerinde periyodik olarak yarı statik sıkıştırma testleri yapıldı. Burada ele alınan iki çeşit farklı mekanik özellikler sunmuştur, ancak her iki çeşit için de artan depolama günü sayısı ile Young modülü azalmıştır.

Churchill ve ark. (1980) Hamlin, Pineapple ve Valencia portakal çeşitlerinin kabuk dayanım özelliklerini belirlemek için çalışma yürütmüştür. Araştırma hasat günlerinin üç portakal çeşidinin fiziksel dayanım özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemek için yapılmıştır. Ayrıca, Valencia portakalının dayanım özellikleri üzerine günün saatinin etkisi, 4 hasat gününde 2 saat aralıklarla ezme testi analizleri yapılarak da ölçülmüştür. Araştırma sonuçlarına göre, ezme, delme ve kabuk çeki dayanımının sezon süresince bir miktar arttığı belirlenmiştir. Valencia, Pineapple ve Hamling portakallarında ortalama ezme kuvvetleri sırasıyla 418,9, 386,3 ve 229 N olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre ne hasat günü nede gün saatinin etkisinin hasat süresince zedelenme üzerinde etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Çalışkan ve Vursavuş (2009) Washington Navel portakal çeşidinin hasat sonrası işlemlerine yönelik bazı fiziksel ve sürtünme özelliklerini araştırmışlardır. Bu amaçla, uzunluk, genişlik, kalınlık, küresellik, geometrik ortalama çap, aritmetik ortalama çap, hacim, yüzey alanı, izdüşümü alanı, ortalama izdüşümü alanı, meyve kütlesi, meyve yoğunluğu, hacimsel yoğunluk, porozite, kabuk kalınlığı, kabuk oranı ve özgül ağırlık gibi bazı fiziksel özellikler ölçülmüştür. Ayrıca, sürtünme yüzeyi ve kayma hızının statik ve dinamik sürtünme katsayıları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, portakalın fiziksel özellikler kullanılarak kütle ve hacim tahmini yapılabileceği belirlenmiştir. Sürtünme özelliklerine ilişkin olarak ise, sürtünme yüzeyi ve kayma hızının statik sürtünme katsayısı üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkiye sahip olduğu, dinamik sürtünme katsayısı üzerinde ise sadece sürtünme yüzeyinin etkisinin bulunduğu yapılan varyans analizi sonucuna göre belirlenmiştir. Statik ve dinamik

sürtünme katsayısı en düşük oluklu mukavva ve plastik sürtünme yüzeyinde ölçülmüştür. Bu nedenle hasat sonrası işlemlerde mekanik hasar riskinin oluklu mukavva ve plastik sürtünme yüzeyleri kullanılarak azaltılabileceği belirlenmiştir.

Ekrami-Rad ve ark. (2011) farklı depolama sürelerinde nar meyve kabuk örneklerinin delinme mukavemetinin yanı sıra bütün meyvenin sıkıştırma ve kesme özelliklerini belirlemeyi amaçlamıştır. Sonuçlar, depolama süresinin, soyma kesme gerilimi dışında bu çalışmada incelenen tüm özellikler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir ($p < 0.05$). Tüm meyve kesme enerjisi ve gücü, maksimum kesme kuvveti, soyulma kesme kuvveti ve gerinim ve kesme modülü, depolama süresiyle birlikte artan bir eğilim göstermiştir. Bununla birlikte, sertlik, biyolojik akma kuvveti ve elastisite modülü, depolama süresi ile artmış ve daha sonra azalmıştır.

Fidelibus ve ark. (2002) bir bitki büyüme düzenleyicisi olan giberellik asit (GA3), işleminin narenciye kabuğu ve meyvenin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini karakterize eden bir çalışma yürütmüştür. GA3 işleminin Valencia portakalı (*Citrus sinensis*) kabuğu ve meyvesinin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi test edilmiştir. Ağaçlar, 1998 sonbaharında kabuk rengi kırılması öncesinde, sırasında veya sonrasında GA3 ile işlem görmüş veya işlem görmemiş şeklinde uygulamaya tabi tutulmuş ve meyveleri 23 Nisan (sezon ortası) ve 13 Mayıs (sezon sonu) 1999'da hasat edilmiştir. İşlemler, kabuğun mekanik özelliklerini bütün meyveden daha fazla etkilemiştir. Kabuğun mekanik özellikleri, muhtemelen kabuğu oluşturan dokuların mekanik özellikleri eşdeğer olmadığı için kalınlıkla zayıf bir şekilde ilişkilendirilmiştir. En erken GA3 uygulama tarihi en etkili olmuştur. İkinci hasatta, renk kırılmasından önce işlem gören meyvenin kabuğu, işlem görmemiş meyvenin kabuğuna göre %10 daha fazla kopma kuvvetine (kesmede) ve %15 daha fazla çekme mukavemetine sahipken, işlenmiş ve işlem görmemiş bütün meyvelerin özellikleri benzer bulunmuştur. Daha sonraki hasatta, renk kırılmasından önce GA3 ile muamele edilen meyvenin kabuğu, işlem görmemiş meyvenin kabuğundan %10 daha fazla yırtılma kuvvetine sahipken, renk

kırılmasında işlem gören meyve kabuğu, işlem görmemiş meyveye göre %15 daha fazla kesme mukavemetine sahip çıkmıştır. Muamele edilen meyvenin kabuğu, özellikle ikinci hasatta, kontrol meyvesinin kabuğundan genellikle %10 ila %20 daha fazla gerilme özelliklerine sahip ölçülmüş olup, renk kırılmasından önce işlem gören meyveler de diğer meyvelere göre daha fazla görünür elastikiyet modülüne ve daha yüksek kesme kuvveti değerleri belirlenmiştir.

Flood ve ark. (2006) bir portakalın robotik bir hasat makinesine nasıl tepki vereceğini daha iyi anlamak için, daha önce yürütülen delme çalışmaları ile daha önce yürütülen ezme çalışmaları arasındaki boşluğu dolduran çalışmalar yapmıştır. Yıkanmamış ve Mumsuz Valencia portakalları (Citrus sinensis cv. Valencia), bir Instron test makinesi kullanılarak 30 Mart, 15 Mayıs ve 16 Haziran 2004'te test edilmiştir. Delme testleri için kullanılan batıcı uç boyutları 0.323, 0.632, 0.964, 1.27, 1.90 ve 2.540 cm olarak alınmıştır. Tüm meyve ile düz plaka sıkıştırması altında ezme testleri de yapılmıştır. Beklendiği gibi, bir meyveyi delmek veya patlatmak için gereken kuvvetin doğrudan temas alanı ile ilgili olduğu sonucuna varılmıştır. Bu testlerin sonuçlarına dayanarak, batıcı uç çapını delme kuvvetiyle ilişkilendiren bir model geliştirilmiştir. Batıcı uç çapı boyutu arttıkça modelde delme çapı teriminin sıfıra yaklaştığı da kaydedilmiştir. Bu, 2.540 cm'nin üzerindeki delme çaplarının, delinme kuvvetinin artık zımba çapının bir fonksiyonu değil, yalnızca meyve özelliklerinin bir fonksiyonu olduğu düz bir plakanın davranışına yaklaştığı fiziksel gözlemlerle iyi bir ilişki göstermiştir.

İnce ve Vursavuş (2008), Star Ruby greyfurtlarının sürtünme özelliklerini belirlemişlerdir. Greyfurt meyveleri Lloyd malzeme test makinesine, bir veri toplama sistemine ve bir kişisel bilgisayara bağlı doğrusal bir kayma sürtünme test cihazı kullanılarak test edilmiştir. Testler, kontrollü değişken parametreler altında uygulama kombinasyonu başına dört tekrar ile gerçekleştirilmiştir. Kontrollü değişken parametreler kayma hızı, aşınma yüzeyi ve normal yüküdür. Dört aşınma yüzeyine (alüminyum, plastik, oluklu mukavva ve galvanizli sac) karşı en yüksek statik ve ortalama dinamik sürtünme katsayıları, dört kayma hızında (50, 100, 250

ve 500 mm min⁻¹) ve üç normal yükte (20, 30 ve 40 N) ölçülmüştür. Varyans analizi (ANOVA) sonuçları, hem en yüksek statik hem de ortalama dinamik için aşınma yüzeyinin ve yalnızca ortalama dinamik sürtünme katsayısı için normal yükün sırasıyla sürtünme katsayısını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Kayma hızının her iki sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı çıkmamıştır. Sürtünme katsayısı, aşınma yüzeyine ve normal yüke bağlı olarak artma veya azalma eğilimi göstermiştir. En yüksek tepe statik ve ortalama dinamik sürtünme katsayısı sırasıyla 500 mm min⁻¹ ile galvanizli sac ve 50 mm min⁻¹ kombinasyonu ile galvanizli sac durumunda bulunmuştur. Bu çalışmanın sonuçları, ürünleri aşınma hasarına karşı korumak için kullanılabilir olduğu ifade edilmiştir.

İnce ve ark. (2016) Jadelo F1 çeşidi domatesin dokusal mekanik özelliklerini, meyvelerin renklerine göre sınıflandırılan üç farklı olgunluk döneminde (yeşil, pembe ve kırmızı) değerlendirmiştir. Numunelere basma ve delinme testleri uygulanmıştır. Döngü ve gevşeme testleri, ortalama sertlik, absorbe edilen enerji ve deformasyon oranı endekslerinin olgunluk aşamalarına diğerlerine göre daha duyarlı parametreler olduğunu göstermiştir. Delme testleri, olgunluk aşamalarının başlangıç ve ortalama sertlik ve kabuk yırtılma kuvveti üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Meyvenin sertliği ve dayanımı azaldığından, olgunlaşma sürecinde mekanik hasara daha yatkın olduğu belirlenmiştir. Sıkıştırma testinden elde edilen başlangıç sertlik değerleri ve delinme testlerinden elde edilen ortalama sertlik değerlerinin birbirleriyle en yüksek korelasyona sahip olması, domates için temsili bir parametre olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca a*/b* renk parametresinin domatesin mekanik özelliklerini değerlendirmek için iyi bir gösterge olabileceği araştırma sonuçlarına göre tespit edilmiştir.

Kawada ve Kitagawa (1984) Florida 'Marsh' greyfurtunun boyuna veya yanal eksende uygulanan sıkıştırmaya karşı direncini, sırasıyla Tensilon Gerilme Test Cihazı ve Grierson Sürünme Test Cihazı kullanılarak yarı statik ve statik yük sürünme testleri ile ölçmüştür. Meyveler daha sert ve elastik olmasından dolayı

sıkıştırma kuvveti yanal olarak değil boylamasına uygulandığında deformasyona karşı daha dirençli bulunmuştur. Araştırmacılar, gerçek ihracat sevkiyatları sırasında üzüm meyvesinin nakliye kutularına uzunlamasına paketlenmesiyle oluşabilecek deformasyonun önemli ölçüde azaltılabileceğini belirtmişlerdir.

Krishna ve Reddy (2006) Meyve ve sebzelerin hasat sonrası fiziko-mekanik özelliklerine ait verilerin, çeşitli taşıma, paketlenme, depolama ve taşıma sistemlerinin benimsenmesi ve tasarımında önemli olduğunu ifade etmiştir. Portakal kabuğu çekme mukavemeti ve kesme enerjisi ve meyve rengi, ağırlık kaybı, biyolojik akma noktası, sertlik, delinme kuvveti ve kesme enerjisi gibi fiziko-mekanik özellikler, ortam ve soğutma koşullarında depolama süresine göre belirlenmiştir. Soyulma gerilme mukavemeti, elastisite modülü ve kesme enerjisi hem ortam hem de soğutma koşullarında saklama süresi ile azalmıştır. Portakalın renk indeksi, depolama sırasında dördüncü dereceden bir polinom denklemini takip etmiştir. 17 günlük depolama sonunda, ortam ve soğutma koşullarında meyve kümülatif ağırlık kayıpları sırasıyla %19.4 ve %7.3 olmuştur. Portakal meyvelerinin biyolojik akma noktası, sertlik, delinme kuvveti ve kesme enerjisi depolama gün sayısına göre azalmıştır. Portakal meyvesinin sertliği, dikey konumda gövde-kaliks ekseninde yatay konuma göre önemli ölçüde daha yüksek çıkmıştır.

Olmo ve ark. (2000) yapmış oldukları çalışmada Lanelate ve Valencia portakal çeşitlerinin hasat sonrası ve ağaçtaki olgunluklarını değerlendirmek için; çözünür katı/titre edilebilir asitlik oranı, sertlik ve kabuk rengini üç farklı yöntem olarak dikkate alarak ölçümler gerçekleştirmiştir. Araştırmacılar Lanelate ve Valencia portakallarının ağaçta olgunlaşma durumlarını değerlendirmek için, olgunluk indeksi (briks/sitrik asit), renk indeksi ve sertlikteki değişimleri olgunlaşma zamanına bağlı olarak incelemişlerdir. Ayrıca, 20°C ortam sıcaklığında ve 8°C depolama sıcaklığında zamana bağlı olarak iki portakal çeşidinin sertlik ve kütle kayıplarını ölçmüşler ve değişimleri araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, Renk İndeksi ($1000a^*/L^*b^*$) ve sertlik değerleri ağaç meyvesinin

olgunluğunu tanımlamak için birbirini tamamlar nitelikte bulunmuştur. Renk ve Olgunluk Endeksler, depolama (8°C) veya raf ömrü (20°C) sırasında zaman veya ağırlık kayıpları ile ilişkili bulunmamıştır. Sertlik ve ağırlık kaybı, hasat sonrası süre ile birbirleriyle ve her ikisi de birbirinden bağımsız olarak önemli ölçüde (P 0.05) ilişkili bulunmuştur.

Ortiz ve Torregrosa (2014) yapmış oldukları çalışmada, turuncgillerin çarpma hasarına karşı direncine çeşit ve depolama koşullarının etkisini araştırmışlardır. İkisi iki farklı olgunluk aşamasında olan üç narenciye çeşidi, serbest bırakma deneyi ve fiziksel özellikler deneyi olmak üzere iki farklı deneyde test edilmiştir. İki bağıl nem koşulu ve iki sıcaklık koşulu incelenmiştir. Fiziksel özellikler testinde delinme direnci ve sıkıştırma direnci ölçülmüştür. Çeşitlerin her birinin hasar direncinde önemli farklılıklar bulunmuştur. Hasat sonrası narenciye kabuğunun delinme direnci ve tüm meyve sıkıştırma direncinin, depolama sıcaklığı ve bağıl nem koşulları ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Narenciye tüm meyve sıkıştırma direncini ve kabuk delinme direncini arttırmak için düşük sıcaklıklar ve yüksek bağıl nem kullanılması gerektiği araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir.

Pallottino ve ark. (2009) Tarocco çeşidi portakal meyvelerinin sıkıştırma özelliklerinin anlık kesit alanını hassas bir şekilde belirlemek için şeffaf dereceli bir pleksiglas plaka ile donatılmış bir Test Makinesi kullanılmış ve başlangıç meyve boyunun %2 ila %25'i aralığında farklı mühendislik gerinim (ϵE) değerlerinde meyveleri sıkıştırarak değerlendirme yapmışlardır. Sıkıştırma plakaları ve sıkıştırmaya maruz kalan numune arasındaki bu tür temas alanlarının oldukça doğru bir şekilde yeniden oluşturulmasına rağmen, bu işlemin hala zahmetli olduğu ifade edilmiştir. Sadece meyve kabuğunun ekvatorial yatay kesitine etki eden sıkıştırma gerilimi (σF) hesaplanarak, tipik içbükey yukarı doğru $\sigma F--\epsilon E$ ilişkilerinin, meyve kırılmasından hemen sonra flavedo kalınlığını basitçe değerlendirerek kolayca elde edilebileceği sonucuna varmışlardır.

Rafiee ve ark. (2007) tarım ürünleri için hasat sonrası işleme/işleme ekipmanı tasarlamak için genellikle fiziksel özellikler gereklidir. Bergamot bir

narenciye türüdür. Bergamotun fiziksel özellikleri, nakliye, depolama, sınıflandırma, paketlenme gibi faaliyetlerde ve kurutma, reçel üretimi gibi gıda üretim süreçlerinde kullanılan ekipmanlar için gereklidir. Bu çalışmada bergamotun bazı fiziksel özellikleri belirlendi. Ölçülen özellikler arasında meyve boyutları, kütle, hacim, öngörülen alan, meyve yoğunluğu, kabuk oranı, geometrik ortalama çap, küresellik ve yüzey alanı bulunmaktadır. Küçük, orta ve büyük bergamot kategorisindeki üç grup için yığın yoğunluğu, gözeneklilik ve ayrıca paketlenme katsayısı ölçülmüştür. Deneyler %84.9 w.b nem içeriğinde gerçekleştirilmiştir. bergamot kabuğu ve %87,34 w.b. eti için. Sonuç, ortalama kütle ve hacmin sırasıyla 291.9 g ve 456.83 cm³ olduğunu gösterdi. Boyutlar 78,7 ila 160 mm uzunluğa, 64.2 ila 128.5 mm genişliğe ve 64 ila 125 mm kalınlığa çıkarıldı. Sırasıyla 7063.61, 7933.39 ve 8137.77 mm² elde edilen uzunluk, genişlik ve kalınlığa dik ortalama öngörülen alan. Geometrik ortalama çap ve yüzey alanı sırasıyla 97.02 mm, 30412.31 mm² olarak hesaplanırken, küresellik ve kabuk oranı (w.b.) sırasıyla %0.89 ve %0.62 olarak ölçülmüştür.

Saraçoğlu (2017) Bu çalışmada önemli bir ihracat ürünü olan bazı narenciye türlerinin (portakal, mandarin, greyluft, limon ve turunc) boyut, kütle, hacim, yoğunluk, küresellik, izdüşüm alanı gibi bazı fiziksel özellikleri ile meyvelerin su içindeki kritik hızları, su içerisindeki sürtünme kuvveti ve kaldırma kuvveti gibi hidrodinamik özellikleri belirlenmiştir. Meyvenin boyut özelliklerinin ve projeksiyon alanının belirlenmesi amacıyla, her bir meyvenin üç temel ekseninde fotoğrafları çekilmiş ve Image Tool 3.0 görüntü işleme programı kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen veriler yardımıyla geometrik ortalama çap, küresellik ve yüzey alanı değerleri bulunmuştur. Meyvelerin kütle, gerçek hacim ve yoğunluğu da ölçülmüştür. Denemelerde elde edilen verilere göre su içerisindeki kritik hız en yüksek turunc meyvesinde (0.55 m s⁻¹), en düşük olanı ise limon meyvesinde (0.21 m s⁻¹) ölçülmüştür. Parametrelerin birbirleri ile ilişkisini gösteren Pearson korelasyon matrisi analizi sonuçlarına göre; kritik hız ile meyve

yoğunluğu arasındaki korelasyon denemeye alınan tüm narenciye türleri için önemli bulunmuştur.

Singh ve ark. (2004) narenciye meyvelerinden olan portakal ve limon meyvelerinin fiziksel ve sürtünme özelliklerini belirlemiştir. Fiziksel özellikler (boyut, kütle, yoğunluk, renk) portakal ve limon meyvesi için ölçülmüş ve 5 farklı sürtünme yüzeyi için de sürtünme özellikleri (statik, dinamik ve ortalama dinamik sürtünme katsayıları) belirlenmiştir. Portakal ve limonun geometrik ortalama çapı sırasıyla 64.6 ± 6.1 mm ve 67.6 ± 6.1 mm olarak hesaplanmıştır. Portakal ve limonun küresellik değeri 0.93 ve 0.97 olarak bulunmuştur. 5 farklı yüzey için portakal meyvesinin maksimum statik sürtünme katsayısı 0.27 ile 0.37 arasında, limon için de 0.24 ile 0.32 arasında ölçülmüştür. Bu değerler beş farklı yüzey de maksimum dinamik sürtünme katsayısı için 0.28-0.46 (portakal) ve 0.26-0.40 (limon) arasında değişim göstermiştir. Yapılan istatistiksel değerlendirmelere göre sürtünme yüzeyinin hem maksimum statik hem de ortalama dinamik sürtünme katsayısı üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Portakal meyvesi için, maksimum statik ve ortalama dinamik sürtünme katsayıları arasında hiçbir fark olmadığı ve limon meyvesi için ise bu değerler arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Singh ve Reddy (2006) meyve ve sebzelerin hasat sonrası fiziko-mekanik özellik verilerinin; paketleme, depolama ve taşıma sistemlerinin tasarım ve geliştirilmesinde önemli olduğunu belirtmiştir. Portakal kabuğu çekme mukavemeti ve kesme enerjisi ve meyve rengi, ağırlık kaybı, biyolojik akma noktası, sertlik, delinme kuvveti ve kesme enerjisi gibi fiziko-mekanik özellikler, ortam ve soğutma koşullarında depolama süresine göre belirlenmiştir. Soyulma gerilme mukavemeti, elastisite modülü ve kesme enerjisi hem ortam hem de soğutma koşullarında saklama süresi ile azalmıştır. 17 günlük depolama sonunda, ortam ve soğutma koşullarında meyve kümülatif ağırlık kayıpları sırasıyla %19.4 ve %7.3 olmuştur. Portakal meyvelerinin biyolojik akma noktası, sertlik, delinme kuvveti ve kesme enerjisi depolama gün sayısına göre azalmıştır. Portakal meyvesinin sertliği,

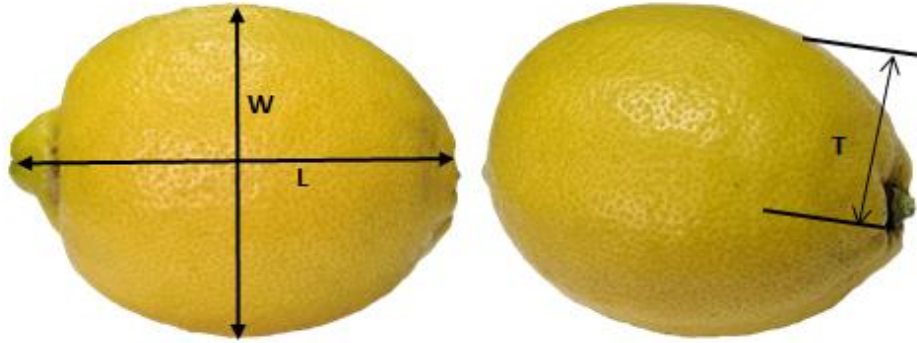
dikey konumda gövde-kaliks ekseninde yatay konuma göre önemli ölçüde daha yüksek çıkmıştır.

Sirisomboon ve ark. (2000) Japon armutunun (*Pyrus serotina* Rehder var. culta 'Housui') meyve büyüme ve olgunlaşma sırasındaki tekstürel özelliklerini değerlendirmişlerdir. Plaka sıkıştırma testinden, Japon armudu için sadece deformasyon oranı, elastikiyet modülü ve gevşeme yorumlanabilir dokusal indeksler olarak dikkate alınmıştır. Batıcı uç testinde, yorumlanabilir dokusal göstergeler olarak; kopma kuvveti, kopma noktasındaki deformasyon, tokluk, ortalama sertlik, başlangıç sertliği, görünür elastikiyet modülü, biyolojik akma kuvveti, delme kuvveti ve meyve etindeki delme enerjisi ölçülmüştür. Japon armutunun kabuğu, meyvenin sıklığına %70-80 oranında katkıda bulunmuştur. Meyveler büyüdükçe gerilme azalmış, elastikiyet artmış, meyve kabuğu mekanik hasara daha yatkın bulunmuş, meyve eti daha yumuşak olmuş ve tüm meyvenin sertliği ve dayanımı azalmıştır.

Topuz ve ark. (2004) Dört portakal çeşidinin (Alanya, Finike, W. Navel ve Shamouti) çeşitli fiziksel ve besinsel özellikleri belirlenmiş ve doğrusal boyutlar, uzunluk, çap, hacim, kütle, geometrik ortalama çap, küresellik, yüzey alanı, öngörülen alan açısından karşılaştırılmıştır. , meyve yoğunluğu ve kütle yoğunluğu, gözeneklilik, paketleme katsayısı, statik sürtünme katsayısı ve portakal çeşitlerinin görünen rengi ve toplam kuru madde, suda çözünür kuru madde, C vitamini, pH, titre edilebilir asitlik, indirgeyici şeker, sakaroz ve bazı mineraller, yani Zn, Fe, Cu, K, Mg, Mn, Na, Ca ve P içerikleri. Portakal çeşitleri için ekipman tasarımında mühendisler için faydalı olabilecek yayınlanan karşılaştırma verilerinin genel olarak istatistiksel olarak farklı olduğu bulundu. Bu farklılıklar, bu çeşitlerin bireysel özelliklerine, ayrıca çevresel ve büyüme koşullarına bağlanabilir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Denemelerde *Lamas* ve *Enterdonat* limon çeşitleri materyal olarak kullanılmıştır. Limon çeşitlerinin boyut, şekil, renk, mekanik dayanım ve sürtünme özelliklerini belirlemek ve karşılaştırmak için kullanılan materyaller 2021 hasat döneminde elle hasat edilmiştir. Boyut ve şekil özellikleri olarak; uzunluk, genişlik, kalınlık, geometrik ortalama çap, küresellik, şekil indeksi, en-boy oranı, yüzey alanı, hacim, kütle ve kütle yoğunluğu ölçümleri ve hesaplamaları 20 adet meyve örneği kullanılarak yapılmıştır. Uzunluk, genişlik ve kalınlık 0,01 mm hassasiyete sahip dijital kumpas kullanılarak, meyve kütlesi de 0.001 g hassasiyette sahip bir elektronik terazi ile ölçülmüştür. Limon çeşitlerinin üç eksen boyunca genel görünüşü Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Limon meyvesinin üç eksen (Uzunluk: L; Genişlik: W; Kalınlık: T) boyunca görünüşü

Geometrik ortalama çap (D_g) ve küresellik (ϕ) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (Aydın, 2003; Mohsenin, 1978; Vursavuş ve Özgüven, 2004).

$$D_g = (LWT)^{0.333} \quad (3.1)$$

$$\phi = \frac{(LWT)^{0.333}}{L} \quad (3.2)$$

Burada; L: uzunluğu (mm), W: genişliği (mm) ve T: kalınlığı (mm) ifade etmektedir.

Ayrıca yüzey alanı (S) ve hacim (V) belirlenmesinde 3.3 ve 3.4 nolu eşitlik kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır (Baryeh, 2001; Mohsenin, 1978; Jain ve Ball, 1997; Singh ve ark., 2004; Özgüven ve Vursavuş, 2005).

$$S = \pi D_g^2 \quad (3.3)$$

$$V = \frac{\pi LWT}{6} \quad (3.4)$$

Limon meyvesinin ortalama kütle yoğunluğu (ρ) aşağıda verilmiş olan eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (3.5)$$

Burada; M: meyve kütleini ifade etmektedir.

Enterdonat (Enterdonat) ve Lamas limon çeşitlerinin şekil indeksi (RR) ve en-boy oranı da hesaplanmış ve hesaplamalarda aşağıda verilmiş olan eşitlikler kullanılmıştır (Rashidi ve Seyfi, 2007; Keshavarzpour ve Achakzai, 2013).

$$RR = \frac{L}{\sqrt{WT}} \quad (3.6)$$

$$AR = \frac{L}{W} \quad (3.7)$$

Boyut ve şekil özelliklerinin belirlenmesi için yapılan ölçümlerde Enterdonat ve Lamas limon çeşitleri için 20 adet limon kullanılmıştır.

Limon meyvelerinin kabuk renklerinin ölçülmesinde CR-400 model (Konica Minolta Chroma Meter, Japan) renk ölçüm cihazı kullanılmıştır. Renk ölçümlerinde L, a, b üç nokta ölçüm yöntemiyle renk uzayı koordinatları ölçülmüştür. Ölçümlerden önce, cihaz standart bir beyaz seramik plaka ile kalibre edilmiştir (Y=88.20, x= 0.3174, y= 0.3222). Renk ölçümleri (L, a, b) limon örneklerinin ekvatorial bölgesinde olmak üzere iki noktada yapılmıştır.

Enterdonat ve Lamas limon çeşitlerinin renk indeksleri (CI) de hesaplanmış ve yapılan bu hesaplamalarda aşağıda verilmiş olan eşitlikten yararlanılmıştır (Sing ve Reddy, 2006). Renk ölçümlerinde her çeşit için 40 adet örnek kullanılmıştır.

$$CI = \frac{100a}{Lb} \quad (3.8)$$

Burada; L: limonların parlaklığını, a: kırmızılık ve yeşillik derecesini ve b: sarılık ve mavilik derecesini belirtmektedir.

Limonların mekanik dayanım özelliklerinin ölçülmesinde LLOYD materyal test cihazı (Lloyd Instrument LRX Plus Series) kullanılmıştır. Mekanik özelliklerden olan ezme (sıkıştırma) testi için çift plaka arasında sıkıştırma işlemi uygulanmış (Şekil 3.2) ve batıcı uç (kabuk delme: Flavedo+Albedo) testi (Şekil 3.3) için yapılan ölçümlerde de 8 mm çapında eğrilik yarıçapı olan batıcı uç

kullanılmış ve 60 mm min^{-1} 'lik yükleme hızında çalışılmıştır. Yükleme ve boşaltma testinde de (Şekil 3.3) çift plaka arasında sıkıştırma işlemi uygulanmış ve 5 mm'lik bir deformasyon uygulandıktan sonra yükün boşaltma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. Çift plaka arasında ezme (sıkıştırma) ve yükleme-boşaltma testi



Şekil 3.3. Batıcı uç (delme) testi



Şekil 3.4. Kabuk çeki direnci testi

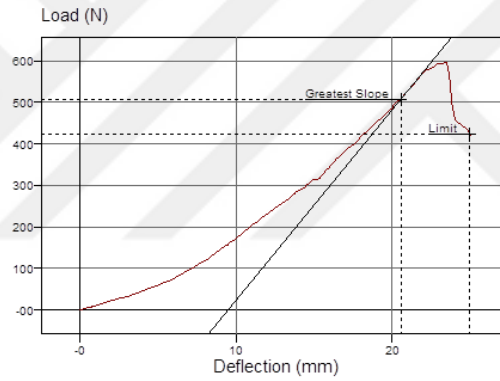
Kabuk çeki dayanım direnci testinde 15 mm genişliğe ve 60 mm uzunluğa sahip limon kabuğu örnekleri ekvatorial bölgeden alınmış ve çeki testi öncesi her kabuk örneğinin kalınlığı ölçülerek kabuk çeki gerilmesi hesaplamalarında kullanılmak üzere kaydedilmiştir. Kabuk çeki testinde çift çene arasına tutturulan örnekler için (Şekil 3.4) 50 mm min⁻¹'lik çeki hızında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Batıcı uç, ezme (sıkıştırma), kabuk direnci ve yükleme-boşaltma testlerinde her iki çeşide ait ölçümler için 24 adet örnek kullanılarak (24x2=48) denemeler yapılmıştır.

Çift plaka yöntemi kullanılarak yapılan ezme (sıkıştırma) testlerinden (Şekil 3.2) önce, limon meyvelerinin çapları ve eğrilik yarıçapları ölçülmüştür. Meyve örnekleri 75 mm çapında bir paslanmaz çelik plaka üzerine yerleştirilmiştir. 5kN kapasiteye sahip yük hücresine bağlanmış olan aynı çaptaki diğer çelik plaka meyvenin ekvatorial bölgesinde pozisyonlandırılmış ve iki plaka arasındaki limon meyvelerinde ezme (sıkıştırma) testi yapılmıştır. 60 mm min⁻¹ yükleme hızında yapılan ölçümlerde meyve tamamıyla ezilinceye kadar sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sıkıştırma işlemi için kullanılan maksimum yer değiştirme (deformasyon) 25 mm olarak ölçülmüştür. Lamas ve Enterdonat limon çeşitleri kullanılarak yapılan ezme (sıkıştırma) testinde meyvelerin Elastisite modülü hesaplamalarında Fidelibus ve ark. (2002) tarafından önerildiği gibi 10 mm'lik deformasyondaki kuvvet değerleri dikkate alınmıştır (Şekil 3.5). Limon meyvelerinin sıkıştırma yükü etkisi altındaki maksimum yük tutma kapasitesini ifade eden ezme (sıkıştırma) kuvveti, kuvvet-deformasyon grafiğindeki maksimum kuvvet değeri dikkate alınarak ölçülmüştür (Şekil 3.5). Ezme (sıkıştırma) denemelerinde 16 adet meyve örneği kullanılmıştır.

Elastisite modülünün hesaplanmasında aşağıda verilmiş olan eşitlik kullanılmıştır (Fidelibus ve ark., 2002; ASAE Standards, 2003).

$$E = \frac{0.531F(1-\mu^2)}{D^{3/2}} \left[\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1'} \right)^{1/3} + \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_2'} \right)^{1/3} \right]^{3/2} \quad (3.9)$$

Burada; E: Elastisite modülünü (MPa), F: 10 mm'lik deformasyondaki kuvveti (N), D: deformasyon değerini (5 mm), R_1, R_1' : Üst temas noktasındaki sıkıştırma öncesi ve sonrası eğrilik yarıçaplarını (mm) ve R_2, R_2' : Alt temas noktasındaki sıkıştırma öncesi ve sonrası eğrilik yarıçaplarını (mm) ifade etmektedir. $(1-\mu^2)$ değeri Giyasi ve ark., 1981 ve Miller, 1987 tarafından önerildiği gibi 0.89 olarak alınmıştır.



Şekil 3.5. Ezme (Sıkıştırma) testine ilişkin kuvvet-deformasyon grafiği

Limonların kabuk (Flavedo+Albedo) delme direncini ölçmek için yapılan denemelerde Şekil 3.3'de görüldüğü gibi meyveler alt plakaya çiçek-sap eksenini boyunca yatay düzlemde yerleştirilmiş ve delme işlemleri ekvatorial bölgeden yapılmıştır. Denemelerde 8 mm çapında ve eğrilığe sahip batıcı uçlar kullanılmış ve kabuk delme dirençlerinin ölçülme işlemi 60 mm min^{-1} yükleme hızında gerçekleştirilmiştir. Meyve yüzeyi üzerindeki kabuğu delmek için gerekli olan maksimum kuvvet Şekil 3.6'da verilmiş olan kuvvet-deformasyon grafiğinden alınmıştır. Biyolojik akma noktası (BAN), kuvvet-deformasyon eğrisi üzerinde

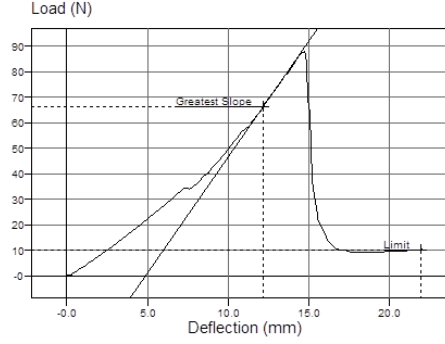
deformasyonda bir artışın kuvvette ise bir azalışın olduğu ya da değişmediği nokta dikkate alınarak (Şekil 3.6'da işaretli bölge) belirlenmiştir. Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinin her biri için 24 adet örnekte ölçümler gerçekleştirilmiştir. Kabuk delme direnci (batıcı uç) testinde elastisite modüllerinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır (ASAE Standards, 2003; Vursavuş ve Özgüven, 2003).

$$E = \frac{0.531F(1-\mu^2)}{D^{3/2}} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1'} + \frac{4}{d} \right)^{1/2} \quad (3.10)$$

Burada; E: Elastisite modülünü (MPa), F: Kabuk yırtılma noktasındaki kuvveti (N), D: Kabuk yırtılma noktasındaki deformasyon değerini (mm), R_1, R_1' : Üst temas noktasındaki sıkıştırma öncesi ve sonrası eğrilik yarıçaplarını (mm) ve d: silindirik batıcı ucun çapını (mm) ifade etmektedir. $(1-\mu^2)$ değeri Gyasi ve ark., 1981 ve Miller, 1987 tarafından önerildiği gibi 0.89 olarak alınmıştır. Limon çeşitlerinin delme işlemindeki kabuk delme gerilimi değeri de hesaplanmış ve hesaplamada kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\sigma_p = \frac{4F}{\pi d^2} \quad (3.11)$$

Burada; σ_p : kabuk delme gerilimini (MPa), F: kabuk yırtılma noktasındaki kuvveti (N) ve d: silindirik batıcı ucun çapını (mm) ifade etmektedir.



Şekil 3.6. Batıci uç (kabuk delme) testine ilişkin kuvvet-deformasyon grafiği

Yükleme-boşaltma testine ilişkin yapılan ölçümlerde Şekil 3.2’de görüldüğü gibi limon meyveleri çiçek-sap eksenli boyunca çift plaka arasına yerleştirilmiş ve 60 mm min^{-1} yükleme hızında 5 mm’lik bir deformasyon işlemi sonucunda yük tekrar meyve üzerinden kaldırılarak Şekil 3.7-a’daki gibi kuvvet-deformasyon grafiği elde edilmiştir. Grafik üzerinden elde edilen değerler kullanılarak Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinin 5 mm’lik deformasyondaki kuvvet (F_1), kalıcı deformasyon (D_2), maksimum deformasyon (D_1), yükleme enerjisi (W_L), elastik enerji (W_E), absorbe edilen (plastik) enerji (W_A), mekanik histerezis (MH) ve elastiklik derecesi (ED) gibi parametreleri ölçülmüş ve hesaplanmıştır (Şekil 3.7a-b). Hesaplamalarda aşağıda verilmiş olan eşitliklerden yararlanılmıştır (Yurtlu ve ark., 2012).

$$W_L = \frac{1}{2} F_1 D_1 \quad (3.12)$$

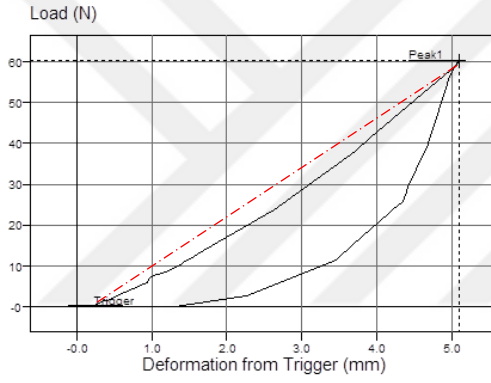
$$W_E = \frac{1}{2} F_1 (D_1 - D_2) \quad (3.13)$$

$$W_A = W_L - W_E \quad (3.14)$$

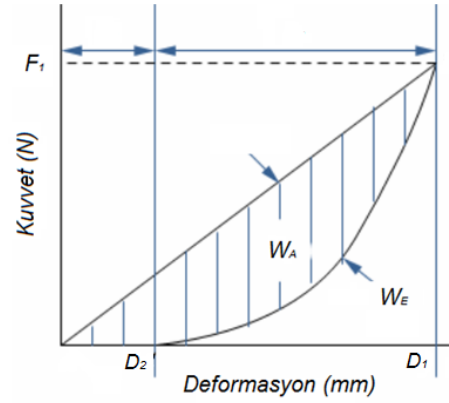
Eşitlik 3.11-3.13’de verilmiş olan parametreler kullanılarak aşağıdaki eşitlikler yardımıyla limon meyvelerinin Mekanik Histerezis (MH) ve Elastiklik Dereceleri (ED) hesaplanmıştır. Her iki çeşit için ölçümlerde 16 adet meyve örneği kullanılmıştır.

$$MH = W_A / W_L \quad (3.15)$$

$$DE = 1 - \frac{D_2}{D_1} \quad (3.16)$$



(a)



(b)

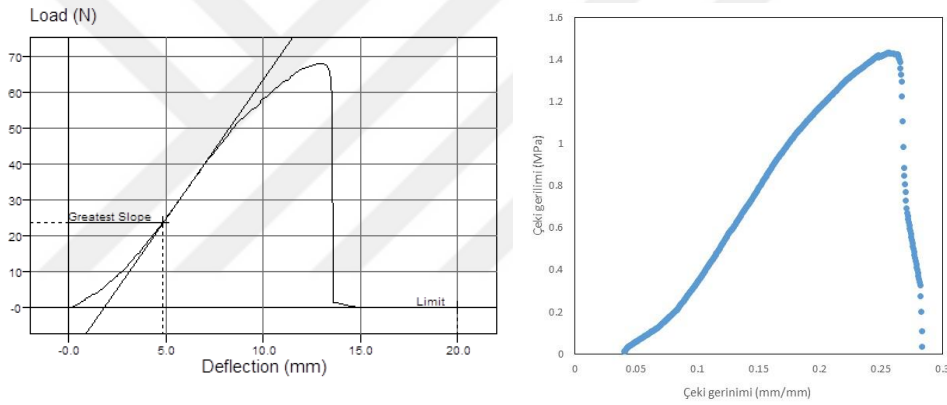
Şekil 3.7. a: Yükleme-boşaltma testine ilişkin kuvvet-deformasyon grafiği çıktısı, b: Mekanik histerezis ve elastiklik derecelerinin hesaplanmasında kullanılan kuvvet-deformasyon grafiğine bir örnek

Kabuk çeki direnci testine ilişkin yapılan ölçümlerde 15 mm genişliğe (W_K) ve 60 mm uzunluğa (L_K) sahip limon kabuğu örneklerinde 50 mm min⁻¹ çeki hızında çalışılmış ve kabuk kalınlığı (albedo+flavedo) (t), kabuk kopma kuvveti (F_K), kabuk çeki gerilmesi (σ_K) ve kabuk elastisite modülü (E_K) hesaplanmıştır. Elastisite modülünün hesaplanmasında Şekil 3.8-a’da verilmiş olan kuvvet-deformasyon grafiğinden yararlanılarak elde edilmiş olan gerilim(σ_K) -gerinim (ϵ) eğrisinin ilk doğrusal bölümünün eğimi ($E_K = \sigma_K / \epsilon$) kullanılmıştır (Şekil 3.8-b). Her

iki çeşit için ölçümlerde 32 adet meyve örneği kullanılmıştır. Kabuk çeki gerilimi hesaplamasında aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.

$$\sigma_K = \frac{F_K}{A_K} \quad (3.17)$$

Burada: σ_K kabuk çeki gerilimini (MPa), F_K kopma noktasındaki kabuk çeki kuvvetini (N) ve A_K kabuk şeridinin kesit alanını ($t \cdot W_K$) (mm^2) ifade etmektedir.



(a)

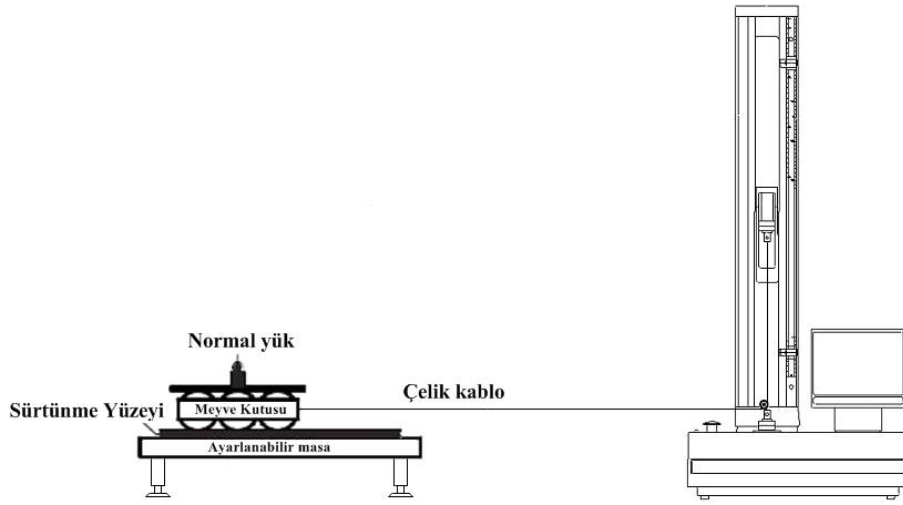
(b)

Şekil 3.8. Kabuk çeki direnci testine ilişkin kuvvet-deformasyon ve gerilim-gerinim grafiği

Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinin fiziko-mekanik özelliklerinin ortalamalar arası farklılıkları t-testi kullanılarak belirlenmiştir. Tüm istatistiksel denemelerde SPSS20.0 paket programlarından yararlanılmıştır.

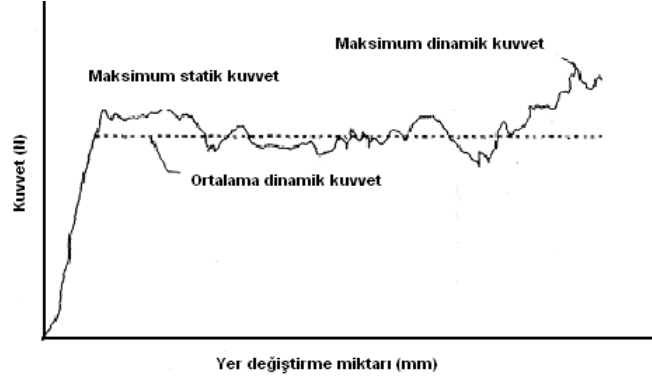
Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinin sürtünme özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Şekil 3.9'da verilmiş olan test düzeneğinden yararlanılmıştır. Meyvelerin statik ve dinamik sürtünme katsayılarının ölçülmesinde LLOYD marka materyal test cihazı kullanılmıştır (Model LRX Plus Series). İçi meyve dolu olan

kutular 300x300x300 mm boyutlarında olup tabanı açıktır. Kutu ve içerisindeki meyvelerin ortalama kütlesi çeşide göre yaklaşık olarak 1.5-2.00 kg ölçülmüştür. 5 kN kapasiteye sahip yük hücresine bağlı çelik kablo makara sistemi yardımıyla içi meyve dolu olan kutuya yatay yönde bağlanmıştır. İçi meyve dolu olan kutunun tabanındaki açıklık meyvelerin sürtünme yüzeyleriyle temasını sağlamaktadır. Test cihazının bu çalışma şekli ile sürtünme kuvvetleri kuvvet-yer değiştirme grafikleri yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 3.10).



Şekil 3.9. Sürtünme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan test cihazı (Çalışkan ve Vursavuş, 2009)

Şekil 3.9’da görüldüğü gibi, test cihazında hareketli başlık hızı değişik hız kademelerinde ayarlanmış ve yaklaşık 250 mm’lik bir çekme uzunluğunda ölçümler yapılmıştır. Denemelerde kullanılan ve sürtünme yüzeylerinin bağlantısının yapıldığı yüzey çeki durumunun her zaman yatay konumda kalabilmesi için yüksekliği ayarlanabilir olarak tasarlanmıştır.



Şekil 3.10. Sürtünme katsayılarının hesaplanmasında kullanılan kuvvet-yer değiştirme grafiği.

Meyve kutusunun ilk harekete başladığı noktadaki en yüksek kuvvet değeri (Şekil 3.10) **statik sürtünme katsayısının hesaplanmasında kullanılmıştır**. Şekilde görülen **maksimum ilk kuvvet** değeri “**statik kuvvet**”, yer değiştirme sonundaki ortalamaları da “**ortalama dinamik kuvvet**” olarak alınmıştır. Sonuç olarak ölçümlerde; *maksimum statik sürtünme katsayısı* (μ_s) ve *ortalama dinamik sürtünme katsayısı* (μ_D) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır (İnce ve Vursavuş, 2008; Çalışkan ve Vursavuş, 2009).

$$\mu = \frac{F_s}{N} \quad (3.18)$$

Burada; μ : sürtünme katsayısını, F_s : sürtünme kuvvetini (N) ve N: normal kuvveti (N) ifade etmektedir.

Normal kuvvet olarak tanımlanan parametre, kullanılmış olan meyve kutusu ve içindeki materyallerin kütleleri toplamı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Kutu sürtünme yüzeyi ile alt kenar arasında 15 mm boşluk kalacak şekilde sabitlenmiştir. Her ölçüm sonrasında sürtünme yüzeyleri herhangi bir kalıntı olmaması için temizlenmiştir.

Denemelerde 100, 250 ve 500 mm min⁻¹ kayma hızlarında (KH) çeki işlemi gerçekleştirilmiştir. Meyve kutusunun sürtünme yüzeyi (SY) üzerindeki çeki işlemi 250 mm yer değiştirme olarak alınmış ve bu uzunluk boyunca ölçümler yapılmıştır. Sürtünme katsayısı denemelerinde 4 farklı sürtünme yüzeyi (galvanizli sac, demir sac, ahşap plaka ve alüminyum levha) üzerinde çalışılmıştır. Çeşit (Ç), sürtünme yüzeyi (SY) ve kayma hızının (KH) statik ve dinamik sürtünme katsayısı üzerindeki etkilerinin araştırılmasında tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme planından yararlanılmıştır. Ayrıca sürtünme yüzeylerinin ortalamaları arası farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak belirlenmiştir. Çeşitlerin ortalamaları arasındaki farkı belirlemek için t testi kullanılmıştır. Tüm istatistiksel denemelerde SPSS20.0 paket programlarından yararlanılmıştır. Sürtünme katsayısı denemelerinde, her ölçüm 4 tekrarlı (T) olarak yürütülmüştür. Denemeler sonunda toplam (ÇxSYxKHxT=2x4x3x4) 96 ölçüm alınmıştır. Ayrıca, sürtünme özelliklerinin belirlenmesine ilişkin yapılan denemelerde her ölçüm için 10 meyve kullanılmıştır (paket içerisindeki meyve sayısı).



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Boyut ve Şekil Özelliklerine İlişkin Sonuçlar

Lamas ve Enterdonat limon meyvelerinin boyut ve şekil özelliklerine ilişkin yapılan ölçüm ve hesaplama sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi her iki çeşidin uzunluk, genişlik, kalınlık, geometrik ortalama çap, küresellik, yüzey alanı, hacim ve kütle ortalamaları arasındaki fark yapılan t testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Şekil indeksi ve en-boy oranının her iki çeşit ortalamaları arasındaki fark ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Enterdonat limon çeşidi, meyvesi büyük, uzun ve silindirik biçimdedir. Meyvenin en belirgin özelliği ise elipsoidal şekilde olmasıdır. Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi Enterdonat limon çeşidinin uzunluk ve kütle değeri Lamas limon çeşidinden daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca, küresellik oranı da daha düşük bulunmuştur. İstatistiksel olarak ortalamalar arasındaki fark önemsiz çıkmakla birlikte, şekil indeksi ve en boy oranı da Enterdonat limon çeşidinin Lamas’a kıyasla daha elipsoidal olduğunu göstermektedir. Rashidi ve Seyfi (2007), Jaliliantabar ve ark. (2013) ve Keshavarzpour ve ark. (2013) adlı araştırmacılar da sırasıyla kivi, kantalu ve kamkat meyvelerinin şekil özelliklerinin belirlenmesinde şekil indeksi ve en-boy oranlarını kullanmışlardır. Bu özellikler ile meyvelerin yuvarlak, basık, eliptik ya da oblong yapıda olup olmadıkları tanımlanmıştır.

Meyvelerin boyut ve şekil özellikleri, hasat dönemindeki olgunluk düzeylerinin belirlenmesinde ve hasat sonrası işlemlerde de hem kalite parametresi hem de hasat sonrası işlemlerde makinaların tasarım parametreleri olarak kullanılabilir. Hasat, taşıma, temizleme, ayırma, sınıflandırma, depolama vb. işlemler için belirli bir makineyi daha iyi tasarlamak amacıyla ili limon çeşidinin çeşitli fiziksel özellikleri belirlenmiştir. İncelenen Lamas ve Enterdonat limon çeşidinde birçok parametrenin önemli ölçüde farklı olduğu bulunmuştur. Bu

nedenle, limon ürün mekanizasyonunu ve gıda işlemeyi optimize ederken limon çeşitlerinin fiziksel özellikleri arasındaki farklılıklar dikkate alınmalıdır.

Çizelge 4.1. Lamas ve Enterdonat Limon Çeşitlerinin Boyut ve Şekil Özelliklerine İlişkin Sonuçlar

Boyut ve şekil özellikleri	n	Lamas	Enterdonat	Hesaplanmış t değeri (önem düzeyi)
Uzunluk (mm)	20	79.45±5.02	90.86±5.88	-7.6146 (**)
Genişlik (mm)	20	56.99±1.23	62.66±3.06	-7.297 (**)
Kalınlık (mm)	20	57.26±1.58	61.98±3.19	-5.251 (**)
Geometrik ortalama çap (mm)	20	63.74±1.78	70.61±2.69	-8.692 (**)
Küresellik (-)	20	0.80±0.033	0.78±0.04	2.348 (**)
Şekil indeksi (-)	20	1.39±0.09	1.46±0.124	-0.94 (ns)
En-boy oranı (%)	20	71.99±4.47	69.27±5.98	1.874 (ns)
Yüzey alanı (cm ²)	20	127.66±7.20	156.77±12.08	-8.475 (**)
Hacim (cm ³)	20	135.82±11.59	185.01±21.66	-8.230 (**)
Kütle (g)	20	124.44±9.59	162.48±17.21	-7.978 (**)
Kütle yoğunluğu (kg/dm ³)	20	0.92±0.04	0.89±0.05	2.780 (**)

n: örnek sayısı; ns: Önemsiz; **: %1 düzeyinde önemli

4.2. Renk Özelliklerine İlişkin Sonuçlar

Çizelge 4.2’de Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerine ait renk özellikleri verilmiştir. İki çeşide ait L, a, b ve renk indeksi değerlerine ait ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak %1 ve %5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Limon meyvelerin görünen rengi sarılık ve mavilik derecesi ile ifade edilen b renk parametresi üzerinden değerlendirildiğinde her iki çeşidin de sarı baskın renge sahip olduğu söylenebilir. a renk değerinin her iki çeşitte de eksi değerde olması da limon meyvelerinin belirli yüzeyinde yeşil rengin var olduğunu anlamına gelmektedir.

Renk indeksi (CI) değerleri de Enterdonat çeşidi limon meyvelerinin (CI= -0.17±0.030) Lamas limon çeşidine kıyasla (CI= -0.15±0.034) daha baskın yeşil renk içerdiğini göstermektedir. Renk parlaklığı (L) açısından değerlendirme yapıldığında ise Enterdonat limon çeşidinin parlaklık değeri Lamas limon çeşidine kıyasla bir miktar yüksek çıkmakla birlikte her iki çeşidin de parlak bir yapıya sahip olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.2. Lamas ve Enterdonat Limon Çeşitlerinin Renk Özelliklerine İlişkin Sonuçlar

Renk özellikleri	n	Lamas	(Enterdonat	Hesaplanmış t değeri (önem düzeyi)
L*	40	82.73±1.61	83.01±1.61	-1.916 ^(*)
a*	40	-7.04±1.42	-7.76±1.20	5.414 ^(**)
b*	40	58.67±4.26	56.01±5.49	4.295 ^(**)
Renk indeksi (CI)	40	-0.15±0.034	-0.17±0.030	6.050 ^(**)

n: örnek sayısı; **: %1 düzeyinde önemli

4.3. Mekanik (Dayanım) Özelliklere İlişkin Sonuçlar

4.3.1. Ezme (Sıkıştırma) Testi Sonuçları

Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinin ezme (sıkıştırma) testine ait sonuçlar ve istatistiksel değerlendirmeler Çizelge 4.3’de verilmiştir. Materyal ve Yöntem bölümünde açıklandığı ve Fidelibus ve ark. (2002) tarafından önerildiği gibi 10 mm’lik deformasyondaki kuvvet değerleri dikkate alınarak yapılan ölçümlerde (Şekil 3.5) Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinin kuvvet değerleri sırasıyla 154.62±21.20 N ve 161.50±25.37 N olarak belirlenmiştir. Enterdonat limon çeşidinin 10 mm’lik deformasyondaki kuvvet değeri Lamas limon çeşidinden bir miktar yüksek çıkmakla birlikte, yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucuna göre (t-testi) çeşitlerin ortalamaları arasındaki fark önemsiz bulunmuştur. Benzer sonuçlar ezme noktasındaki kuvvet ve Elastisite modülü hesaplamalarında da ortaya çıkmıştır. Çeşitlerin ezme noktasındaki

deformasyon ortalamaları arasındaki fark ise yapılan t-testi sonuçlarına göre %5 seviyesinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Churchill ve ark. (1980), Mohsenin (1978), Miller (1987) ve Singh ve Reddy (2006) adlı araştırmacılar tarafından da ifade edildiği gibi ezilme noktasındaki kuvvet değerleri çeşitlerin maksimum yük tutma kapasitesini ifade etmektedir. Bu açıdan değerlendirme yapıldığında Enterdonat limon çeşidinin sıkıştırma yüküne karşı Lamas limon çeşidine kıyasla daha dirençli olduğu söylenebilir. Elastisite modülü değeri sertliğin bir ifadesi olup bu değer arttıkça meyvelerin dayanım direnci yükselmekte ve statik ve dinamik dış kuvvetlerin etkisine karşı daha dirençli bir davranış sergilemektedirler. Enterdonat limon çeşidinin 0.79 ± 0.12 MPa olarak hesaplanan Elastisite modülü değeri Lamas limon çeşidine ait 0.76 ± 0.10 MPa'lık değere kıyasla bir miktar daha yüksek bulunmuştur. Bu açıdan bir değerlendirme yapıldığında ise her iki çeşidin Elastisite modülü ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz çıkmasına karşın Enterdonat limonunun Lamas'a kıyasla daha sert bir yapıya sahip olduğu ve statik dış kuvvetlere karşı daha dirençli olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.3. Lamas ve Enterdonat Limon Çeşitlerinin Ezme (Sıkıştırma) Testine İlişkin Sonuçlar

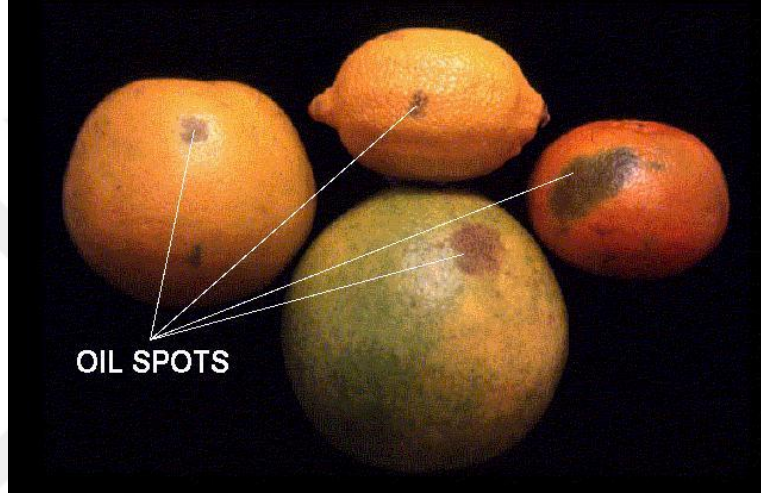
Ezme (Sıkıştırma) Testi	n	Lamas	Enterdonat	Hesaplanmış t değeri (önem düzeyi)
10 mm'lik deformasyondaki sıkıştırma kuvveti (N)	16	154.62±21.20	161.50±25.37	-0.891 ^(ns)
Ezme noktasındaki kuvvet (N)	16	578.5±105.18	623.25±110.36	-0.940 ^(ns)
Ezme noktasındaki deformasyon (mm)	16	19.89±1.31	23.5±1.78	-2.161 ^(*)
Elastisite modülü (MPa)	16	0.76±0.10	0.79±0.12	-0.891 ^(ns)

n: örnek sayısı; ns: Önemsiz; *: %5 düzeyinde önemli

4.3.2. Batıcı Uç (Delme) Testi Sonuçları

Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinin kabuk delme (Flavedo+Albedo) dirençlerinin belirlenmesine ilişkin yapılan test sonuçları Çizelge 4.4’de verilmiştir. Şekil 3.6’da verilmiş olan kuvvet-deformasyon grafikleri üzerinden yapılan ölçümler sonucunda Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinin kabuk yırtılma noktasındaki kuvvet değerleri sırasıyla 61.11 ± 11.90 N ve 92.78 ± 23.14 N olarak ölçülmüştür. İki çeşide ait ortalamaları arasındaki fark ta yapılan t-testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Kabuk yırtılma noktasındaki deformasyon değerleri Lamas çeşidi için 10.68 ± 1.29 mm ve Enterdonat için de 13.44 ± 1.57 mm olarak ölçülmüştür. İki çeşide ait ortalamaları arasındaki fark yapılan t-testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli çıkmıştır. Kabuk delme gerilimi Lamas limon çeşidinde 1.22 ± 0.24 MPa ve Enterdonat da ise 1.85 ± 0.46 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu iki çeşit ortalamaları arasındaki fark ta %1 düzeyinde önemli çıkmıştır. Sertliğin bir ifadesi olarak ta kullanılan Elastisite modülü değeri Lamas çeşidinde $0,64 \pm 0.09$ MPa ve Enterdonat limon çeşidinde de 0.75 ± 0.19 MPa olarak hesaplanmıştır. İki çeşide ait ortalamaları arasındaki farkın yapılan t-testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Batıcı uç kabuk delme (Flavedo+Albedo) testi sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde Enterdonat limon çeşidinin Lamas’a kıyasla kabuk delinmelerine karşı daha dirençli yapıya sahip olduğu yapılan test sonuçlarında görülmektedir. Singh ve Reddy (2006) portakal kabuğu delme kuvvetini belirlemek için 5 mm silindirik batıcı uç kullanarak 60 mm min-1 yükleme hızında çalışmışlar ve sonuç olarak ortalama 16.8 N’luk bir kabuk delme kuvveti ölçmüşlerdir. Ölçülen bu değer ile karşılaştırıldığında bizim çalışmamızda ölçmüş olduğumuz kabuk yırtılma kuvveti değerleri portakal kabuğu delme kuvvetinden yaklaşık 3.5 kat daha yüksek çıkmıştır. Bunun ana nedeni ölçümlerde kullanılan silindirik batıcı uç çapının farklı olmasıdır. Ayrıca kabuk kalınlıklarındaki değişim de ölçüm sonuçları üzerinde etkili bir faktördür.

Kabuk delme direnci ölçümleri narenciye meyvelerinin kabuk yüzeyinde oluşan mekanik zedelenmelerin belirlenmesinde de kullanılan bir yöntemdir. Kabuk yüzeyinde oluşan zedelenmenin başında da ***Oleocellosis*** olarak da adlandırılan yağ lekeleri (oil spotting) gelmektedir. Bu tür zedelenmelerin meyve yüzeyindeki görünümleri Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Narenciye meyvelerinin kabuk yüzeyinde oluşan yağ lekeleri: oil spots (***Oleocellosis***) (Wardowski ve ark., 1976)

Yağ lekeleri yani Oleocellosis, flavedo bölgesindeki yağ bezlerini parçalamak için gereken basınç (RORP) ölçülerek belirlenebilmektedir. Basıncın düşük olması, yağ bezlerini kırmak için çok az kuvvet gerektiğini ve bu koşullarda meyvelerin hasat edilmemesi gerektiğini göstermektedir. Limonların ne zaman hasat edileceğine karar vermek için temel bir kural şudur: 9 mm çapa sahip bir batıcı uç kullanılarak ölçümler yapıldığında ve RORP= 13 N'dan daha az basınç yağ hücrelerini kırdığında, hasat imkânsızdır. RORP= 13 N ila 31 N arasında ise ürün aşırı dikkatle hasat edilmelidir. Eğer, değer RORP 31 N üzerinde ise, diğer narenciye çeşitleri gibi hasat edilmesi uygundur (Wardowski ve ark., 1976). Başka bir değerlendirmede ise, ABD'li ithalatçılar tarafından önerilen basınç kuvveti yaklaşık 40 N'dur. Çizelge 4.4'de verileri sunulmamakla birlikte Şekil 3.6'da

işaretli olan bölge Biyolojik Akma Noktasını (BAN) göstermekte olup hem Lamas hem de Enterdonat limon çeşitlerinde ortalama BAN kuvveti sırasıyla 39.11 ± 9.79 N ve 45.96 ± 20.83 N olarak belirlenmiştir. Bu noktadan bir değerlendirme yapıldığında yeni hasat edilmiş ve denemeye alınmış her iki çeşitte de RORP değerleri 31 N'dan büyük olduğu için denemelerin yapıldığı koşullar altında limon meyvelerinde yağ lekesi (Oleocellosis) oluşma riskinin düşük olduğu ifade edilebilir.

Çizelge 4.4. Lamas ve Enterdonat Limon Çeşitlerinin Batıcı Uç (Delme) Testine İlişkin Sonuçlar

<i>Batıcı Uç (Delme) Testi</i>	<i>n</i>	<i>Lamas</i>	<i>Enterdonat</i>	<i>Hesaplanmış t değeri (önem düzeyi)</i>
Kabuk (Flavedo+Albedo) yırtılma noktasındaki kuvvet (N)	24	61.11 ± 11.90	92.78 ± 23.14	-4.502 ^(**)
Biyolojik akma noktasındaki kuvvet (N)	24	39.11 ± 9.79	45.96 ± 20.83	1.291 ^(ns)
Kabuk yırtılma noktasındaki deformasyon (mm)	24	10.68 ± 1.29	13.44 ± 1.57	-6.177 ^(**)
Kabuk delme gerilimi (MPa)	24	1.22 ± 0.24	1.85 ± 0.46	-4.502 ^(**)
Elastisite modülü (MPa)	24	0.64 ± 0.09	0.75 ± 0.19	-2.230 ^(*)

n: örnek sayısı; ns: Önemsiz , *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli

4.3.3. Yükleme-Boşaltma Testi Sonuçları

Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinin elastikliğini ve kalıcı iç zedelenmenin oluşmadığı maksimum müsaade edilebilir deformasyon miktarlarını

(kalıcı deformasyon) ölçmek amacıyla yapılan yükleme-boşaltma testlerine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.5’de verilmiştir. Her iki çeşide ait 5 mm’lik deformasyondaki kuvvet, kalıcı deformasyon, yükleme enerjisi, elastik enerji, absorbe edilen enerji, mekanik histerezis ve elastiklik derecesi ortalama değerleri arasındaki fark yapılan t-testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemsiz çıkmıştır. Çeşitler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz çıkmakla birlikte, Enterdonat limon çeşidinde ölçülen 5 mm’lik deformasyondaki kuvvet 66.29 ± 8.94 N iken bu değer Lamas çeşidinde 59.12 ± 10.67 N olarak ölçülmüştür. Ayrıca, kalıcı deformasyon miktarı da Enterdonat çeşidinde (1.69 ± 0.21 mm) Lamas’a kıyasla (1.63 ± 0.18 mm) daha yüksek çıkmıştır. Yükleme enerjisi, elastik enerji, absorbe edilen enerji, mekanik histerezis ve elastiklik derecesi değerlerinin de Lamas’a kıyasla Enterdonat limon çeşidinde daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.5’de görüldüğü gibi 5 mm’lik yükteki enerji değeri Lamas çeşidinde 147.77 ± 26.67 mJ ve Enterdonat çeşidinde de 165.67 ± 22.35 mJ olarak hesaplanmıştır. Elastik enerji değerleri de Lamas ve Enterdonat limon çeşitleri için sırasıyla 100.57 ± 18.27 mJ ve 109.84 ± 16.15 mJ olarak belirlenmiştir. Lamas çeşidinin absorbe edilen enerji değeri 47.23 ± 10.27 mJ iken Enterdonat çeşidin de bu değer 55.83 ± 9.57 mJ olarak hesaplanmıştır. Mekanik histerezis yani ısı yoluyla kaybolan enerji Lamas için % 32.59 ± 3.65 , Enterdonat için de % 33.85 ± 4.11 olarak hesaplanmıştır. Meyvelerin elastiklik dereceleri de Lamas ve Enterdonat için sırasıyla % 67.41 ± 3.64 ve % 66.15 ± 4.12 olarak belirlenmiştir. Fidelibus ve ark. (2002) Valencia portakal çeşidinde meyvelerin elastiklik derecelerinin ortalama %70 olduğunu belirlemiştir. Araştırma sonuçlarımızda elde edilen elastiklik derecesi değerleri, Fidelibus ve ark. (2002)’nin sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

Yükleme-boşaltma testi sonucundaki absorbe edilen enerji miktarı meyve için mekanik zedelenme ve plastik işi göstermektedir. Sıkıştırma yükü etkisi ile absorbe edilen enerji miktarındaki artış hem yağ lekesi oluşumuna hem de carpeldeki (meyve eti kısmı) iç zedelenmeye neden olabilmektedir. Özellikle

depolama süresince meyve sertliğindeki azalma ya da paketlenme sırasındaki statik yük etkisi ve zamana bağlı meyve doku yorulması absorbe edilen enerji miktarlarında artışa ve sonuç olarak ta mekanik zedelenmeye sebep olabilmektedir. Elde edilen sonuçlar bu anlamda da önem arz etmektedir.

Yükleme boşaltma testlerinde, absorbe edilen enerji miktarı kuvvet-deformasyon eğrisinin histerezis alanına bağlı olarak belirlenmektedir. Yükün kaldırılması sırasındaki boşalma anında meyve eski şeklini almadığı zaman eğri sıfır noktasına ulaşmamaktadır (Şekil 3.7). Bu durumda kalıcı deformasyonlar meydana gelmekte ve absorbe edilen enerji değerleri yüksek çıkmaktadır. Plastik (kalıcı) deformasyonlar doku zedelenmesinin en önemli sebeplerinden biridir. Lamas ve Enterdonat limon çeşitleri için ölçülen plastik (kalıcı) deformasyon değerleri, meyvelerin sırasıyla yaklaşık %2.86 (1.63 mm) ve %2.69 (1.69 mm) deformasyona uğradığını göstermektedir. Yapılan ölçümlerde 5 mm'lik deformasyon yaklaşık olarak her iki çeşit için %9'luk bir gerinim (şekil değişimi) değerine tekabül etmektedir. Mazidi ve ark. (2016) portakal meyvesi ile yapmış oldukları çalışmada yüklem-boşaltma işleminde uygulanan %9'luk bir gerinim değerinde elastik özelliğinden dolayı portakal carpelinin hiçbir şekilde mekanik zedelenmeye maruz kalmadığını (carpelde su salınımı meydana gelmediğini) belirlemişlerdir. Moresi ve ark. (2012)'de %5 den daha az bir şekil değişiminde narenciye meyvelerinin visko-elastik bir yapı sergilediklerini belirtmişlerdir.

Elastiklik derecesi, uygulanan bir kuvvet kaldırıldığında meyvenin deformasyondan kurtulma yeteneğini gösteren bir ifadedir. Yapılan ölçümler sonucunda Lamas ve Enterdonat limon çeşitleri için hesaplanan 0.67 ve 0.66 lık değerler meyvelerin toplam deformasyondan %67 ve %66 geri dönüş gerçekleştirdiği anlamına gelmektedir. Geriye kalan kısımlar da mekanik histerezis yüzdeleri ifade etmektedir (Çizelge 4.5). Sirisomboon ve Lapchareonsuk (2012), Çin greyfurtu olarak ta bilinen Pomelo meyvesinde hasat dönemindeki elastiklik derecesini %66 olarak hesaplamışlardır. Fidelibus ve ark. (2002) portakal meyvesinin elastiklik derecesini 0.69-0.70 olarak hesaplamıştır. Çalışmamızda elde

edilen sonuçlar araştırmacıların sonuçları ile benzerlik göstermekte olup elastiklik derecesinde ortaya çıkan farklılık denemelerde kullanılan materyallerin fiziko-mekanik yapısındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.5. Lamas ve Enterdonat Limon Çeşitlerinin Yükleme-Boşaltma Testine İlişkin Sonuçlar

Yükleme-Boşaltma Testi	n	Lamas	Enterdonat	Hesaplanmış t değeri (önem düzeyi)
5 mm'lik deformasyondaki kuvvet (N)	16	59.12±10.67	66.29±8.94	-1.98 ^(ns)
Plastik (Kalıcı) deformasyon (mm)	16	1.63±0.18	1.69±0.21	-0.872 ^(ns)
Maksimum deformasyon (mm)	16	5	5	---
Yükleme enerjisi (mJ)	16	147.77±26.67	165.67±22.35	-1.98 ^(ns)
Elastik enerji (mJ)	16	100.57±18.27	109.84±16.15	-1.344 ^(ns)
Absorbe edilen enerji (mJ)	16	47.23±10.27	55.83±9.57	-2.665 ^(*)
Mekanik Histerezis (%)	16	32.59±3,65	33.85±4.11	-0.763 ^(ns)
Elastiklik derecesi (%)	16	67.41±3,64	66.15±4.12	-0.872 ^(ns)

n: örnek sayısı; ns: Önemsiz; *: %5 düzeyinde önemli

4.3.4. Kabuk Dayanımı (Çeki) Testi Sonuçları

Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinin kabuk (Flavedo+Albedo) dayanım testine ilişkin yapılan çeki testleri sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Lamas ve Enterdonat çeşitlerinin kabuk kalınlığı sırasıyla, 2.84±0.60 mm ve 2.76±0.56 mm olarak ölçülmüştür. Çeşitlerin ortalamaları arasındaki fark yapılan t testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemsiz çıkmıştır. Çeki denemelerinde ölçülen kabuk kopma kuvveti değerleri ortalamaları arasındaki fark %1 düzeyinde

istatistiksel olarak önemli bulunmuş olup kabuk kopma kuvveti Enterdonat limon çeşidinde Lamas'a kıyasla daha yüksek ölçülmüştür. Çeki dayanım testlerinde, kabuk çekme gerilimi ve kabuk elastisite modülü parametreleri de hesaplanmış ve yapılan hesaplamalar sonucunda bu değerler Enterdonat çeşidinde Lamas çeşidine kıyasla daha yüksek çıkmıştır (Çizelge 4.6). Ayrıca, çeşitlerin ortalamaları arasındaki farkta istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve kabuk çeki gerilimi ortalamaları arasındaki fark %1 düzeyinde, kabuk elastisite modülü ortalamaları arasındaki fark ta %5 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.6. Lamas ve Enterdonat Limon Çeşitlerinin Kabuk Dayanımı (Çeki) Testine İlişkin Sonuçlar

Kabuk Çeki Testi	n	Lamas	Enterdonat	Hesaplanmış t değeri (önem düzeyi)
Kabuk kalınlığı (mm)	32	2.84±0.60	2.76±0.56	-0.476 ^(ns)
Kabuk kopma kuvveti (N)	32	51.87±10.89	61.13±12.47	-3.115 ^(**)
Kabuk çeki gerilimi (MPa)	32	1.26±0.36	1.51±0.28	-2.484 ^(**)
Kabuk elastisite modülü (Mpa)	32	6.65±1.24	6.93±1.13	-0.804 ^(*)

n: örnek sayısı; ns: Önemsiz; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli

Singh ve Reddy (2006) Nagpur çeşidi mandarinlerinin hasat sonrası kabuk ve meyve fiziko-mekanik özelliklerini belirlemiştir. Araştırma sonuçlarına göre, mandarinlerin hasattan bir gün sonraki kabuk kopma kuvveti, kabuk çeki gerilimi ve kabuk Elastisite modülünü ortam koşullarında sırasıyla; 15.6 N, 0.173 MPa ve 1.57 MPa olarak belirlemiştir. Fidelibus ve ark. (2002) Valencia portakallarında kabuk kopma kuvveti, kabuk çeki gerilimi ve kabuk Elastisite modülünü sırasıyla;

52.49 N, 0.62 MPa ve 4.35 MPa olarak ölçmüştür. Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinin kabuk dayanımı (çeki) testi sonuçları ile karşılaştırıldığında değerler arasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Bunun ana nedeninin, kullanılan narenciye türlerindeki farklılık ve buna bağlı meyve kabuklarının fiziko-mekanik yapısındaki değişkenlik olduğu ifade edilebilir. Ayrıca, Kaufmann (1970) flavedo bölgesinin, çekme kuvvetine albedo'dan daha dirençli olduğunu belirtmiştir. Garcia-Luis ve ark. (2001) da kabuk kalınlığının, meyve kabuğu kopma oluşumu ile ilişkili olmadığını ifade etmiştir. Bu bulgular, albedo kalınlığının narenciye meyve kabuğunun mekanik dayanımını yönetmede çok az rolü olabileceğini düşündürmektedir.

4.4. Sürtünme Özelliklerine İlişkin Sonuçlar

Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinin sürtünme özelliklerini belirlemek için yapılan ölçümlerde kontrollü değişken parametrelerinden olan sürtünme yüzeyi (SY) ve kayma hızının (KH) statik (COF_s) ve dinamik (COF_d) sürtünme katsayıları üzerindeki etkilerini ortaya koyacak Genel Varyans Analizi sonuçları belirlenmiş ve Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çalışmada galvanizli sac, demir sac, ahşap plaka ve alüminyum levha olmak üzere dört farklı sürtünme yüzeyi (SY) ve 100, 250 ve 500 mm min⁻¹'lık üç kayma hızlarında (KH) ölçümler yapılarak statik ve dinamik sürtünme katsayıları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çeşit (Ç), sürtünme yüzeyi (SY) ve kayma hızının (KH) statik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini belirlemek için yapılan varyans analizi sonucuna göre, Ç ve KH ana faktörlerinin sırasıyla %5 ve %1 düzeyinde istatistiksel olarak etkili olduğu belirlenmiştir. Sürtünme yüzeyi, kayma hızı ve sürtünme yüzeyi x kayma hızı etkileşimi %1 önem düzeyinde istatistiksel olarak etkili bulunmuştur. SY'nin ise COF_s üzerinde istatistiksel olarak etkisinin önemsiz olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan t-testi sonuçlarına göre ise Lamas (0.213±0.078) ve Enterdonat (0.186±0.058) limon çeşitlerinin COF_s ortalamaları arasındaki farkın önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Sürtünme yüzeyinin COF_s üzerindeki etkisine ilişkin yapılan DUNCAN çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, statik sürtünme katsayıları galvanizli sac, demir sac, ahşap plaka ve alüminyum levha yüzeyler için sırasıyla 0.211, 0.179, 0.217 ve 0.190 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca istatistiksel olarak değerlendirildiğinde demir sac ve ahşap plakanın farklı gruplarda yer aldığı ve aralarındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu, galvaniz sac ve alüminyum levhanın da aynı gruplarda yer aldığı yapılan DUNCAN çoklu karşılaştırma testi sonuçlarından belirlenmiştir. KH larına ilişkin yapılan DUNCAN çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre de 100, 250 ve 500 mm min⁻¹ lık hızlarda hesaplanan ortalama COF_s değerler sırasıyla 0.188 ± 0.061 , 0.186 ± 0.064 ve 0.225 ± 0.076 olarak hesaplanmıştır. 100 ve 250 mm min⁻¹ lık kayma hızlar aynı grup içerisinde, 500 mm min⁻¹ lık hızlarda elde edilen statik sürtünme katsayısı ise farklı grupta yer almıştır. Gruplar arasındaki fark %5 düzeyinde önemli çıkmıştır.

Benzer istatistiksel değerlendirmeler COF_D katsayısı için de yapılmış olup buna ilişkin Genel Varyans Analizi sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir. Sonuçlara göre, Ç, KH ana faktörleri ile ÇxKH, SYxKH ve ÇxSYxKH etkileşimlerinin COF_D üzerinde istatistiksel olarak etkisinin önemsiz olduğu belirlenmiştir. Lamas ve Enterdonat limon çeşitleri için COF_D ortalamaları sırasıyla 0.147 ± 0.061 ve 0.128 ± 0.045 olarak hesaplanmış ve yapılan t-testi sonuçlarına göre de ortalamalar arasındaki fark önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.7. Lamas ve Enterdonat Çeşitlerine Ait Statik ve Dinamik Sürtünme Katsayısına İlişkin Genel Varyans Analizi Sonuçları

FAKTÖR	COF _s	COF _d
Ç	*	ns
SY	ns	**
KH	**	ns
ÇxSY	ns	*
ÇxKH	**	ns
SYxKH	*	ns
ÇxSYxKH	**	ns

Ç: Çeşit, SY: Sürtünme yüzeyi, KH: Kayma hızı; COF_s: Statik sürtünme Katsayısı; COF_d: Dinamik sürtünme katsayısı; * %5 önem düzeyinde etkili
 ** %1 önem düzeyinde etkili; ns: önemsiz.

Sürtünme yüzeyinin **COF_d** üzerindeki etkisine ilişkin yapılan DUNCAN çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, dinamik sürtünme katsayıları galvanizli sac, demir sac, ahşap plaka ve alüminyum levha yüzeyler için sırasıyla 0.166, 0.143, 0.126 ve 0.116 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca yapılan DUNCAN çoklu karşılaştırma testine göre, ortalamalar arasındaki fark iki alt grupta yer almış ve alt grup 2 de yer alan galvanizli ve demir sac yüzey ile alt grup 1 içerisinde değerlendirilen ahşap plaka ve alüminyum yüzey ortalamaları arasındaki fark %5 düzeyinde önemli çıkmıştır. KH larına ilişkin yapılan DUNCAN çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre de 100, 250 ve 500 mm min⁻¹ lık hızlarda hesaplanan ortalama **COF_d** değerler sırasıyla 0.137±0.048, 0.142±0.064 ve 0.135±0.049 olarak hesaplanmıştır. 100 ve 250 ve 500 mm min⁻¹ lık kayma hızları aynı grup içerisinde yer almış olup gruplar arasındaki fark %5 düzeyinde önemsiz bulunmuştur.

Çeşit, sürtünme yüzeyi ve kayma hızı etkilerine bağlı hesaplanan statik ve dinamik sürtünme katsayıları üzerinden genel bir değerlendirme yapıldığında şu sonuçlara varılabilir.

Bir cisme bir kuvvet uygulandığında bu kuvvete zıt yönde cismin temas ettiği yüzey ile cisim arasında bir kuvvet oluşur. Bu kuvvete “sürtünme kuvveti” adı verilmektedir. Bir portakal kütesine, bir kuvvet uygulandığında, kütle ile yüzey arasındaki sürtünme kuvveti yenilene kadar kütle herhangi bir harekette bulunmaz. İşte bu hareketsiz yüzeyler arasında meydana gelen sürtünme kuvveti “**statik sürtünme kuvveti**” adını almaktadır (Çalışkan, 2009). Bu durumda değerlendirme yapıldığında, kutu içerisinde bulunan limon kütesi ile sürtünme yüzeyi arasındaki kuvvetin yenilmesi en uzun ahşap plakada meydana gelmiştir. Sürtünme katsayısının yüksek değerde çıkması da bunun göstergesidir. Singh ve ark. (2004) adlı araştırmacılar portakal ile yapmış oldukları sürtünme denemelerinde statik sürtünme katsayılarını alüminyum, galvaniz levha ve kontrplak sürtünme yüzeyleri için sırasıyla 0.27, 0.36 ve 0.28 olarak ölçmüşlerdir. Statik sürtünme katsayısı üzerinde sürtünme yüzeylerinin önemli etkiye sahip olduğunu göstermesi açısından Singh ve ark. (2004) adlı araştırmacılar tarafından ortaya konan sonuçlar elde edilen sonuçları destekler niteliktedir. Ancak, aynı sürtünme yüzeyine sahip olmasına karşın farklı katsayı değerlerinin elde edilmesi ölçüm yöntemlerindeki farklılıklar, denemelerde kullanılan çeşitlerin fiziko-mekanik özellikleri ve yüzeylerin kalınlığı ve sertlik değerleri sonuçlar üzerinde etkili olabilmektedir. En yüksek sürtünme katsayısı değerine ahşap plaka yüzeyde ulaşılmıştır. Denemeler sırasında ahşap plaka yüzeyinin tam olarak pürüzsüz olmaması statik sürtünme katsayısının yüksek çıkmasına neden olmuş olabilir.

Puchalski ve ark. (2003) Gala ve McLemore elma çeşitlerinde genellikle COF_s değerlerini 25 mm min^{-1} den 100 mm min^{-1} ye kadar olan kayma hızlarında azaldığını ve daha sonra önemli derecede arttığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, Chen ve Squire (1971) portakal ile yapmış oldukları denemelerinde düşük kayma hızlarında elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin yüksek kayma hızlarındaki sürtünme katsayılarından daha düşük ölçüldüğünü belirlemişlerdir.

Denemelerde kullanılan limon meyvelerinin sürtünme yüzeyleri üzerindeki geçişi sırasında materyale ait olan sıvı yağlar ile mum tabakasının sürtünme yüzeyi

üzerine geçmesi sürtünme direncinin artmasına neden olmaktadır. Özellikle sürtünme yüzeyleri pürüzlü olan materyallerde viskoz tabakanın kalınlığı ve düzgünlüğü sürtünme katsayılarını yükseltmektedir. Yüksek çeki ya da kayma hızlarında temas yüzeylerindeki sıcaklık artmakta, yüzeyler arası temas süresi artışı adhezyona ve yüzeydeki aşınmayı etkilemekte böylece de sürtünme kuvvetleri artmaktadır.

COF_D da statik sürtünme katsayısında olduğu gibi sürtünme yüzeyine bağlıdır. Buna karşın, değer olarak statik sürtünme katsayısından daha küçüktür ($COF_D < COF_S$). Limonlar yüzey üzerinde hareket halindeyken, bu hareketi yavaşlatmaya çalışan kuvvete “**dinamik sürtünme kuvveti**” adı verilmektedir (Sabahoglu ve Öztürk, 1996). Sürtünme kuvveti harekete zıt yönde olup, harekete engel olmaya çalışır. İlk hareketin başlayabilmesi için statik sürtünme kuvvetinin yenilmesi gerekmektedir. Bir kez hareket başladıktan sonra bu statik sürtünme kuvveti giderek azalmaya başlar. Böylece daha düşük bir kuvvet ile hareketine devam eder (Alayunt, 2000).

Hasat sonrası işlemler aşamalarından olan taşıma, sınıflandırma, paketlenme ve depolama sırasında meyveler statik ve dinamik dış kuvvetlerin etkisi altında kalmakta ve meyvelerin yüzeyler ile olan etkileşimi mekanik hasar açısından önemli olmaktadır. Örneğin meyvelerin paketler içerisinde taşınması sırasında yüksek rezonansa maruz kalmaları paket içerisindeki meyvelerin hareketlenmelerine ve buna bağlı meyve-meyve sürtünmesi veya meyve-yüzey sürtünmesi oluşumuna neden olacaktır. Bu durumda kullanılan paketlenme malzemesinin özelliklerinin ve sürtünme katsayılarının bilinmesi hasarı minimum düzeye indirme açısından önemlidir. Bunun dışında, paketlenme tesislerinde bant üzerinde hareket, metal yüzeyler üzerinde hareket vb. durumlarda da meyveler sürtünmeye maruz kalmaktadır. Bu durumda da özellikle dinamik sürtünme kuvveti ön plana çıkmaktadır. Dinamik sürtünme katsayısının düşük olması sürtünme yüzeyinin mekanik hasar yaratma riskinin daha az olacağının bir göstergesidir. Meyvelerin sürtünme yüzeyleri üzerindeki kayma hareketlerinin de

belirli sınır değerlerinin olması yani yüzey-meyve hareketliliğinin çok olmaması istenen bir durumdur. Böylece dinamik sürtünme kuvvetleri azaltılabilir. Bu durumda otomatik olarak dinamik sürtünme katsayılarının düşük olmasını sağlayacaktır. Vergano ve ark. (1992) adlı araştırmacılar da şeftali meyvesi kullanarak yapmış oldukları çalışmalarında düşük dinamik sürtünme katsayılarının zedelenme riskini azalttığını belirlemişlerdir.





5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Lamas ve Enterdonat limon meyvelerinin boyut ve şekil, renk, sürtünme ve mekanik direnç özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan bu çalışmada aşağıda verilmiş olan sonuçlara ulaşılmıştır.

5.1. Boyut ve Şekil Özelliklerine İlişkin Sonuç ve Öneriler

Her iki çeşidin uzunluk, genişlik, kalınlık, geometrik ortalama çap, küresellik, yüzey alanı, hacim ve kütle ortalamaları arasındaki fark yapılan t testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli çıkmıştır. Şekil indeksi ve en-boy oranının her iki çeşit ortalamaları arasındaki fark ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Meyvelerin boyut ve şekil özellikleri, hasat dönemindeki olgunluk düzeylerinin belirlenmesinde ve hasat sonrası işlemlerde de hem kalite parametresi hem de hasat sonrası işlemlerde makinaların tasarım parametreleri olarak kullanılabilir. Hasat, taşıma, temizleme, ayırma, sınıflandırma, depolama vb. işlemler için belirli bir makineyi daha iyi tasarlamak amacıyla ili limon çeşidinin çeşitli fiziksel özellikleri belirlenmiştir. İncelenen Lamas ve Enterdonat limon çeşidinde birçok parametrenin önemli ölçüde farklı olduğu bulunmuştur. Bu nedenle, limon ürün mekanizasyonunu ve gıda işlemeyi optimize ederken limon çeşitlerinin fiziksel özellikleri arasındaki farklılıklar dikkate alınmalıdır.

5.2. Renk Özelliklerine İlişkin Sonuç ve Öneriler

Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinde L, a, b ve renk indeksi değerlerine ait ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak %1 ve %5 düzeyinde önemli çıkmıştır. Renk indeksi (CI) değerleri de Enterdonat çeşidi limon meyvelerinin Lamas limon çeşidine kıyasla daha baskın yeşil renk içerdiğini göstermektedir. Renk parlaklığı (L) açısından değerlendirme yapıldığında ise Enterdonat limon

çeşidinin parlaklık değeri, Lamas limon çeşidine kıyasla bir miktar yüksek çıkmakla birlikte her iki çeşidin de parlak bir yapıya sahip olduğu söylenebilir.

5.3. Ezme (Sıkıştırma) Testine İlişkin Sonuç ve Öneriler

Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinin ezme (sıkıştırma) testine ilişkin yapılan çalışmada, 10 mm'lik deformasyondaki kuvvet değerleri dikkate alınmış ve limon çeşitlerinin kuvvet değerleri sırasıyla 154.62 ± 21.20 N ve 161.50 ± 25.37 N olarak ölçülmüştür. Enterdonat limon çeşidinin 10 mm'lik deformasyondaki kuvvet değeri Lamas limon çeşidinden bir miktar yüksek çıkmakla birlikte, yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucuna göre (t-testi) çeşitlerin ortalamaları arasındaki fark önemsiz çıkmıştır. Benzer sonuçlar ezme noktasındaki kuvvet ve Elastisite modülü hesaplamalarında da ortaya çıkmıştır. Çeşitlerin ezme noktasındaki deformasyon ortalamaları arasındaki fark ise yapılan t-testi sonuçlarına göre %5 seviyesinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ezilme noktasındaki kuvvet değerleri çeşitlerin maksimum yük tutma kapasitesini ifade etmektedir. Bu açıdan değerlendirme yapıldığında Enterdonat limon çeşidinin sıkıştırma yüküne karşı Lamas limon çeşidine kıyasla daha dirençli olduğu söylenebilir. Elastisite modülü değeri sertliğin bir ifadesi olup bu değer arttıkça meyvelerin dayanım direnci yükselmektedir. Enterdonat limon çeşidinin 0.79 ± 0.12 MPa olarak hesaplanan elastisite modülü değeri Lamas limon çeşidine ait 0.76 ± 0.10 MPa'lık değere kıyasla bir miktar daha yüksek bulunmuştur. Bu açıdan bir değerlendirme yapıldığında ise her iki çeşidin elastisite modülü ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz çıkmasına karşın Enterdonat limonunun Lamas'a kıyasla daha sert bir yapıya sahip olduğu ve statik dış kuvvetlere karşı daha dirençli olduğu söylenebilir.

5.4. Batıcı Uç (Delme) Testine İlişkin Sonuç ve Öneriler

Lamas ve Enterdonat limon çeşitlerinin flavedo+albedo kısmını içeren kabuk yırtılma noktasındaki kuvvet değerleri, kuvvet-deformasyon grafikleri

üzerinden yapılan ölçümler neticesinde belirlenmiş ve sırasıyla 61.11 ± 11.90 N ve 92.78 ± 23.14 N olarak ölçülmüştür. Yapılan t-testi sonuçlarına göre iki çeşit ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli çıkmıştır. Kabuk yırtılma noktasındaki deformasyon değerleri de ölçülmüş ve iki çeşide ait ortalamaları arasındaki fark yapılan t-testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Hesaplanan kabuk delme gerilimi Lamas limon çeşidinde 1.22 ± 0.24 MPa, Enterdonat da ise 1.85 ± 0.46 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu iki çeşit ortalamaları arasındaki fark ta yapılan t-testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli çıkmıştır. Elastisite modülü değeri hesaplamalarına ilişkin olarak değerler, Lamas çeşidinde 0.64 ± 0.09 MPa ve Enterdonat limon çeşidinde de 0.75 ± 0.19 MPa olarak hesaplanmıştır. İki çeşide ait ortalamaları arasındaki fark yapılan t-testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli çıkmıştır. Batıcı uç kabuk delme (Flavedo+Albedo) testi sonuçları ile ilgili genel bir değerlendirme yapıldığında, Enterdonat limon çeşidinin Lamas'a kıyasla kabuk delinmelerine karşı daha dirençli yapıya sahip olduğu söylenebilir. Kabuk yırtılma kuvveti değerleri narenciye meyvelerinde yağ lekesi ya da Oleocellosis olarak adlandırılan mekanik hasarların önlenmesi açısından önemli bir parametredir. Bu değer ne kadar yüksek çıkarsa meyvelerin yağ bezlerinde patlama ve buna bağlı mekanik hasar oluşumu o kadar düşük çıkacaktır. Özellikle hasat ve hasat sonrası işlemler sürecinde yağ lekesi şeklinde görülen mekanik hasar riskini azaltmak için ön ölçümler yapılmalıdır.

5.5. Yükleme-Boşaltma Testine İlişkin Sonuç ve Öneriler

Her iki çeşide ait 5 mm'lik deformasyondaki kuvvet, kalıcı deformasyon, yükleme enerjisi, elastik enerji, absorbe edilen enerji, mekanik histerezis ve elastiklik derecesi ortalama değerleri arasındaki fark yapılan t-testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemsiz çıkmıştır. Çeşitler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz çıkmakla birlikte, Enterdonat limon çeşidinde ölçülen 5 mm'lik deformasyondaki kuvvet 66.29 ± 8.94 N iken bu değer Lamas çeşidinde

59.12±10.67 N olarak ölçülmüştür. Ayrıca, kalıcı deformasyon miktarı da Enterdonat çeşidinde (1.69±0.21 mm) Lamas'a kıyasla (1.63±0.18 mm) daha yüksek çıkmıştır. Yükleme enerjisi, elastik enerji, absorbe edilen enerji, mekanik histerezis ve elastiklik derecesi değerlerinin de Lamas'a kıyasla Enterdonat limon çeşidinde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. 5 mm'lik yükteki enerji değeri Lamas çeşidinde 147.77±26.67 mJ ve Enterdonat çeşidinde de 165.67±22.35 mJ olarak hesaplanmıştır. Elastik enerji değerleri de Lamas ve Enterdonat limon çeşitleri için sırasıyla 100.57±18.27 mJ ve 109.84±16.15 mJ olarak belirlenmiştir. Lamas çeşidinin absorbe edilen enerji değeri 47.23±10.27 mJ iken Enterdonat çeşidin de bu değer 55.83±9.57 mJ olarak hesaplanmıştır. Mekanik histerezis yani ısı yoluyla kaybolan enerji Lamas için % 32.59±3.65, Enterdonat için de % 33.85±4.11 olarak hesaplanmıştır. Meyvelerin elastiklik dereceleri de Lamas ve Enterdonat için sırasıyla % 67.41±3.64 ve % 66.15±4.12 olarak belirlenmiştir.

Yükleme-boşaltma testi sonucundaki absorbe edilen enerji miktarı meyve için mekanik zedelenme ve plastik işi göstermektedir. Sıkıştırma yükü etkisi ile absorbe edilen enerji miktarındaki artış hem yağ lekesi oluşumuna hem de carpeldeki (meyve eti kısmı) iç zedelenmeye neden olabilmektedir. Özellikle depolama süresince meyve sertliğindeki azalma ya da paketlenme sırasındaki statik yük etkisi ve zamana bağlı meyve doku yorulması absorbe edilen enerji miktarlarında artışa ve sonuç olarak ta mekanik zedelenmeye sebep olabilmektedir. Elde edilen sonuçlar bu anlamda da önem arz etmektedir. Elastiklik derecesi de, uygulanan bir kuvvet kaldırıldığında meyvenin deformasyondan kurtulma yeteneğini gösteren bir ifadedir. Yapılan ölçümler sonucunda Lamas ve Enterdonat limon çeşitleri için hesaplanan 0.67 ve 0.66 lık değerler meyvelerin toplam deformasyondan %67 ve %66 geri dönüş gerçekleştirdiği anlamına gelmektedir.

5.6. Kabuk Dayanımı (Çeki) Testine İlişkin Sonuç ve Öneriler

Kabuk dayanım direncini ölçmek için yapılan çeki denemelerinde kabuk kopma kuvveti değerleri ortalamaları arasındaki fark %1 düzeyinde istatistiksel

olarak önemli bulunmuş olup kabuk kopma kuvveti Enterdonat limon çeşidinde Lamas'a kıyasla daha yüksek ölçülmüştür. Çeki dayanım testlerinde, kabuk çekme gerilimi ve kabuk elastisite modülü parametreleri de hesaplanmış ve yapılan hesaplamalar sonucunda bu değerler Enterdonat çeşidinde Lamas çeşidine kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca, çeşitlerin ortalamaları arasındaki farkta istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve kabuk çeki gerilimi ortalamaları arasındaki fark %1 düzeyinde, kabuk elastisite modülü ortalamaları arasındaki fark ta %5 düzeyinde önemli bulunmuştur.

5.7. Sürtünme Özelliklerine İlişkin Sonuç ve Öneriler

Denemelerde, galvanizli sac, demir sac, ahşap plaka ve alüminyum levha olmak üzere dört farklı sürtünme yüzeyi (SY) ve 100, 250 ve 500 mm min⁻¹'lık üç kayma hızlarında (KH) ölçümler yapılarak statik (**COF_s**) ve dinamik sürtünme (**COF_d**) katsayıları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çeşit (Ç), sürtünme yüzeyi (SY) ve kayma hızının (KH) statik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini belirlemek için yapılan varyans analizi sonucuna göre, Ç ve KH ana faktörlerinin sırasıyla %5 ve %1 düzeyinde istatistiksel olarak etkili olduğu belirlenmiştir. Sürtünme yüzeyi, kayma hızı ve sürtünme yüzeyi x kayma hızı etkileşimi %1 önem düzeyinde istatistiksel olarak etkili bulunmuştur. SY'nin ise **COF_s** üzerinde istatistiksel olarak etkisinin önemsiz olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan t-testi sonuçlarına göre ise Lamas (0.213±0.078) ve Enterdonat (0.186±0.058) limon çeşitlerinin **COF_s** ortalamaları arasındaki farkın önemsiz olduğu belirlenmiştir.

COF_d katsayısı için yapılmış olan Genel Varyans Analizi sonuçlarına göre, Ç, KH ana faktörleri ile ÇxKH, SYxKH ve ÇxSYxKH etkileşimlerinin **COF_d** üzerinde istatistiksel olarak etkisinin önemsiz olduğu belirlenmiştir. Lamas ve Enterdonat limon çeşitleri için **COF_d** ortalamaları sırasıyla 0.147±0.061 ve 0.128±0.045 olarak hesaplanmış ve yapılan t-testi sonuçlarına göre de ortalamalar arasındaki fark önemsiz bulunmuştur.

Çeşit, sürtünme yüzeyi ve kayma hızı etkilerine bağlı hesaplanan statik ve dinamik sürtünme katsayıları üzerinden genel bir değerlendirme yapıldığında kutu içerisinde bulunan limon kütlesi ile sürtünme yüzeyi arasındaki kuvvetin yenilmesi en uzun ahşap plakada meydana gelmiştir. Sürtünme katsayısının yüksek değerde çıkması da bunun göstergesidir. Denemeler sırasında ahşap plaka yüzeyinin tam olarak pürüzsüz olmaması statik sürtünme katsayısının yüksek çıkmasına neden olmuş olabilir.

Denemelerde kullanılan limon meyvelerinin sürtünme yüzeyleri üzerindeki geçişi sırasında materyale ait olan sıvı yağlar ile mum tabakasının sürtünme yüzeyi üzerine geçmesi sürtünme direncinin artmasına neden olmaktadır. Özellikle sürtünme yüzeyleri pürüzlü olan materyallerde viskoz tabakanın kalınlığı ve düzgünlüğü sürtünme katsayılarını yükseltmektedir. Yüksek çeki ya da kayma hızlarında temas yüzeylerindeki sıcaklık artmakta, yüzeyler arası temas süresi artışı adhezyona ve yüzeydeki aşınmayı etkilemekte böylece de sürtünme kuvvetleri artmaktadır.

Hasat sonrası işlemler aşamalarından olan taşıma, sınıflandırma, paketlenme ve depolama sırasında meyveler statik ve dinamik dış kuvvetlerin etkisi altında kalmakta ve meyvelerin yüzeyler ile olan etkileşimi mekanik hasar açısından önemli olmaktadır. Örneğin meyvelerin paketler içerisinde taşınması sırasında yüksek rezonansa maruz kalmaları paket içerisindeki meyvelerin hareketlenmelerine ve buna bağlı meyve-meyve sürtünmesi veya meyve-yüzey sürtünmesi oluşumuna neden olacaktır. Bu durumda kullanılan paketlenme malzemesinin özelliklerinin ve sürtünme katsayılarının bilinmesi hasarı minimum düzeye indirme açısından önemlidir. Bunun dışında, paketlenme tesislerinde bant üzerinde hareket, metal yüzeyler üzerinde hareket vb. durumlarda da meyveler sürtünmeye maruz kalmaktadır. Bu durumda da özellikle dinamik sürtünme kuvveti ön plana çıkmaktadır. Dinamik sürtünme katsayısının düşük olması sürtünme yüzeyinin mekanik hasar yaratma riskinin daha az olacağının bir göstergesidir. Meyvelerin sürtünme yüzeyleri üzerindeki kayma hareketlerinin de

belirli sınır değerlerinin olması yani yüzey-meyve hareketliliğinin çok olmaması istenen bir durumdur. Böylece dinamik sürtünme kuvvetleri azaltılabilir. Bu durumda otomatik olarak dinamik sürtünme katsayılarının düşük olmasını sağlayacaktır.





KAYNAKLAR

- Anonim, 2021. Tarım Ürünleri Piyasaları. Limon. Haziran, 2021, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Strateji Geliştirme Başkanlığı (TEPGE), ss: 4.
- Alayunt, F. 2000. Biyolojik Malzeme Bilgisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Ders Kitabı. Yayın No: 541, 132s., İzmir.
- ASAE Standards, 2003. Compression Test of Food Materials of Convex Shape. ASAE S368.4, American Society of Agricultural Engineers.
- Aydın, C. (2003). Physical properties of almond nut and kernel. Journal of Food Engineering, 60, 315–320.
- Bahnasawy, A. H., El-Haddad, Z. A., El-Ansary, M. Y. and Sorour, H. M. 2004. Physical and mechanical properties of some Egyptian onion varieties. Journal of Food Engineering 62: 255-261.
- Baryeh, E.A., 2000. Strength Properties of Avocado Pear. J. Agric. Engng. Res. , 76: 389-397.
- Blahovec, J., Vickova, M., Paprstein, F., 2002. Static Low-Level Bruising in Pears. Res. Agr. Eng. 48(2): 41-46.
- Baradaran Motie, J., Miraei Ashtiani, S.H., Abbaspour-Fard, M.H., Emadi, B., 2014. Modeling physical properties of lemon fruits for separation and classification. International Food Research Journal, 21(5): 1901-1909.
- Baryeh, E. A. (2001). Physical properties of bambara groundnuts. Journal of Food Engineering, 47, 321–326.
- Bentini, M., Caprara, C., Martelli, R., 2009. Physico-Mechanical Properties of Potato Tubers During Cold Storage. Biosystems Engineering, 104: 25-32.
- Bradaran Motie, J., Miraei Ashtiani, S.H., Abbaspour-Fard, M.H., Emadi, B., 2014. Modeling physical properties of lemon fruits for separation and classification. International Food Research Journal, 21(5): 1901-1909.

- Caputo, L., Cornara, L., Bazzicalupo, M., Francesko, C.D., De Feo, Vincenzo, Trombetta, D., De Smeriglio, A., 2020. Chemical Composition and Biological Activities of Essential Oils from Peels of Three *Citrus* Species. *Molecules*, 25, 1890: 1-17.
- Chen, C., Squire, E.F., 1971. An Evaluation of the Coefficient of Friction and Abrasion Damage of Oranges on Various Surfaces. *Transactions of the ASAE*, 14(6): 1092-1094
- Churchill, D.B., Sumner, H.R., Whitney, J.D., 1980. Peel Strength Properties of Three Orange Varieties. *Transactions of the ASAE*. Vol. 23:1, 173-176.
- Çalışkan, N., Vursavuş, K.K., 2009. Washington Navel Portakalın Hasat Sonrası İşlemlere Yönelik Fiziksel ve Sürtünme Özelliklerinin Belirlenmesi, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 5(1): 83-92.
- Ekrami-Rad, N., Khazaei, J., Khoshtaghaza, M.H., 2011. Selected Mechanical Properties of pomegranate Peel and Fruit. *International Journal of Food Properties*. 14:3, 570-582.
- Fidelibus, M.W., Teixeira, A.A., Davies, F.S., 2002. Mechanical Properties of Orange Peel and Fruit treated Pre-Harvest with Gibberellic Acid. *Transactions of the ASAE*, 45(4): 1057-1062.
- Flood, S.J., Burks, T.F., Teixeira, A.A., 2006. Physical properties of oranges in response to applied gripping forces for robotic harvesting. *Transactions of the ASAE*, 49(2): 341-346.
- Garcia-Luis, A., A. M. M. Duarte, M. Kanduser, and J. L. Guardiola. 2001. The anatomy of the fruit in relation to the propensity of citrus species to split. *Sci. Hort.* 87(1-2): 33-52.
- Gyasi, S.R., Friedly, B., Chen, P., 1981. Elastic and Viscoelastic Poisson's ratio determination for selected citrus fruits. *Transactions of the ASAE*, 24(3): 747-750.
- Hasdemir, M., 2007. Turunçgiller. TEAE-Bakış, 9(10). ISBN 1303-8346.

- Hrishikesh-Tavanandi, A., Deepak, S., Venkateshmurthy, K. and Raghavarao, K. S. M. S. 2013. Development of a lemon cutting machine. *Journal of Food Science and Technology*, 51(12): 3846–3853.
- Iglesias, D. J., Cercós, M., Colmenero-Flores, J. M., Naranjo, M. A., Ríos, G., Carrera, E., Ruiz-Rivero, O., Lliso, I., Morillon, R., Tadeo, F. R. and Talon, M. 2007. Physiology of citrus fruiting. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19(4): 333-362.
- İnce, A., Vursavuş, K.K. 2008. Effect of Sliding Speed, Abrasion Surface and Normal Load on Coefficient of Friction of Grapefruit (*Citrus paradisi*). *The Philippine Agricultural Scientist*, 91 (3): 308-314.
- İnce, A., Cevik, M.Y., Vursavuş, K.K., 2016. Effects of maturity stages on textural mechanical properties of tomato. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 9(6): 200-206.
- JAIN, R.K., BALL, S. 1997. Physical Properties of Pearl Millet. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66: 85-91.
- Jaliliantabar, F., Lorestani, A.N., Gholami, R., 2013. Physical properties of kumquat fruit. *International Agrophysics*, 27: 107-109.
- Kaufmann, M. R. 1970. Extensibility of pericarp tissue in growing citrus fruits. *Plant Physiol.* 46(6): 778–781.
- Kawada, K., and Kitagawa, H., 1984. Deformation of ‘MARSH’ grapefruit as affected by fruit orientation at packing. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 97: 138-140.
- Keshavarzpour, F., Achakzai, A.K.K., 2013. Fruit Shape Classification in Kiwifruit Using the Analysis of Geometrical Attributes. *World Engineering and Applied Sciences Journal*, 4(1): 06-10.
- Khoshnam, F., Tabatabaeefar, A., Ghasemi-Varnamkhasti, M. and Borghei, A. 2007. Mass modeling of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit with some physical characteristics. *Scientia Horticulturae* 114: 21–26.

- Lorestani, A. N. and Tabatabaeefar, A. 2006. Modelling the mass of kiwi fruit by geometrical attributes. *International Agrophysics* 20: 135–139.
- Mazidi, M., Sadrnia, H., Khojastepour, M., 2016. Evaluation of orange mechanical damage during packing by study of changes in firmness, 23(2): 899-903.
- Miller, W.M., 1987. Physical Properties of Data for Postharvest Handling of Florida Citrus. *Applied Engineering in Agriculture*, 3(1): 123-128.
- Mohsenin, N.N. 1978. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- Moresi, M., Pallottino, F., Costa, C., Menesatti, P., 2012. Viscoelastic properties of Tarocco Orange fruit. *Food and Bioprocess Technology*, 5: 2360-2369.
- Nakamura, A., Hara, Y., Kawano, T., 2017. Dewatering and Extraction of Hydrophilic Solutes and Essential Oils from Cryo-preserved Lemon Peels Using Liquefied Dimethyl Ether.
- Olmo, M., Nadas, A., Garcia, J.M., 2000. Nondestructive Methods to Evaluate Maturity Level of Oranges. *Journal of Food Science: Sensory and Nutritive Qualities of Food*. 65(2): 365-369.
- Ortiz, C., Torregrosa, A., 2014. Mechanical Properties of Citrus and Impact Damage under Different Storage Conditions. *Transactions of the ASABE*, 57(2): 1-6.
- Özgüven, F., Vursavuş, K. 2005. Some Physical, Mechanical and Aerodynamic Properties Of Pine (Pinus Pinea) Nuts. *Journal Of Food Engineering*, 68:191-196.
- Pallottino, F., Costa, C., Menesatti, P., Moresi, M., 2009. Compression testing of Orange fruits. *Chemical Engineering Transactions*, 17: 885-890.
- Perez-Perez, J. G., Porras Castillo, I., Garcia-Lidon, A., Botia, P. and Garcia-Sanchez, F. 2005. Fino lemon clones compared with the lemon varieties Eureka and Lisbon on two rootstocks in Murcia (Spain). *Scientia Horticulturae* 106: 530-538.

- Puchalski, C., Brusewitz, G.H., Slipek, Z. 2003. Coefficients of Friction for Apple on Various Surfaces as Affected by Velocity. *Agricultural Engineering International : The CIGR Journal of Scientific Research and Development*, (5):1-14.
- Rafiee, S., Keramat Jahromi, M., Jafari, A., Sharifi, M., Mirasheh, R., Mobli, H., 2007. Determining some physical properties of bergamot (*Citrus medica*). *International Agrophysics*, 21: 293-297.
- Rashidi, M., Seyfi, K., 2007. Classification of Fruit Shape in Cantaloupe Using the Analysis of Geometrical Attributes. *World Journal of Agricultural Sciences*, 3(6): 735-740.
- Sabahoğlu, Y., Öztürk, R. 1996. Bazı Buğday Çeşitlerinin Sürtünme Katsayılarının Belirlenmesi. 6th International Congress on Agricultural Mechanisation and Energy, 543-549, pp.
- Saraçoğlu, T., Bazı narenciye türlerinin seçilmiş fiziksel ve hidrodinamik özellikleri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32: 206-2015.
- Seyedabadi, E., Khojastehpour, M., Sadrnia, H. and Saiedirad, M. H. 2011. Mass modeling of cantaloupe based on geometric attributes: A case study for Tile Magasi and Tile Shahri. *Scientia Horticulturae* 130: 54-59.
- Shahbazi, F. and Rahmati, S. 2013. Mass modeling of sweet cherry (*Prunus avium* L.) fruit with some physical characteristics. *Food and Nutrition Sciences* 4: 1-5.
- Shahi-Gharahlar, A., Yavari, A. R. and Khanali, M. 2009. Mass and volume modeling of loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) fruit based on physical characteristics. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 17(2): 175-189.
- Singh, K.K., Reddy, B.S. 2006. Post-Harvest Physico-Mechanical Properties of Orange Peel and Fruit. *Journal of Food Engineering*, 73: 112-120.

- Singh, K.K., Reddy, B.S., Varsheny, A.C., Mangraj, S. 2004. Physical and Frictional Properties of Orange and Sweet Lemon. *Applied Engineering in Agriculture*, 20(6): 821-825.
- Sirisomboon, P., Tanaka, M., Akinaga, T., Kojima, T., 2000. Evaluation of the Textural Properties of Japanese Pear. *Journal of Texture Studies*, 31: 665-677.
- Sirisomboon, P., Lapchareonsuk, R., 2012. Evaluation of the physicochemical and textural properties of pomelo fruit following storage. *Fruits*, 67: 399-413.
- Tabatabaeefar, A. and Rajabipour, A. 2005. Modeling the mass of apples by geometrical attribute. *Scientia Horticulturae* 105: 373–382.
- Topuz, A., Topakci, M., Canakci, M., Akinci, I. and Ozdemir, F. 2005. Physical and nutritional properties of four orange varieties. *Journal of Food Engineering* 66: 519-523.
- Vergano, P.J., Testin, R.F., Choudhari, A.C., Newall, W.C., 1992. Peach Vibration Bruising: The Effect of Paper and Plastic Films Between Peaches. *Journal of food Quality*, 15(3): 183-197.
- Vursavuş, K., Özgüven, F. 2004. Mechanical Behaviour of Apricot Pit Under Compression Loading. *Journal of Food Engineering*, 65: 255-261.
- Vursavuş, K., Özgüven, F., 2003. Determining the Strength Properties of the Dixired Peach Variety. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27: 155-160.
- Wardowski, W.F., McCornack, A.A., Grierson, W., 1976. Oil Spotting (Oleocellosis) of Citrus Fruit. Florida Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida, Gainesville.
- Yurtlu, Y.B., Vursavuş, K.K., Yeşiloğlu, E., Öztürk, B., Usta, B., 2012. *Hayward Kivi Meyvesinin Statik Yük Altındaki Zedelenme Hassasiyetinin Belirlenmesi*, 27. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, 5–7 Eylül 2012: 418–431, Samsun.

ÖZGEÇMİŞ

Huri Büşra AKIN, İlkokulu Mahmut Hümayun İlköğretim Okulu'nda Ortaöğrenimini Şemsettin Mursaloğlu Lisesinde tamamladıktan sonra 2008 yılında Çukurova Üniversitesi Ziraat Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2019 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime başladı. Halen aynı Anabilim Dalında eğitime devam etmektedir.

