

T.C.
AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI
2022-YL-033

AYDIN İLİNDE YETİŞTİRİLEN BAZI ÇİLEK ÇEŞİTLERİNİN
HASAT VE HASAT SONRASI İŞLEMLERE YÖNELİK
FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ

Tuğçe AKÇAKAL
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı:
Doç. Dr. Türker SARAÇOĞLU

AYDIN-2022

TEŞEKKÜR

“Aydın ilinde yetiştirilen bazı ilek çeşitlerinin hasat ve hasat sonrası işlemlere yÖnelik fiziksel ve mekanik ۆzelliklerinin belirlenmesi” adlı çalıŐmamın her aşamasında değerli gÖrüş, ۆneri, katkılarından ve emeklerinden dolayı sayın hocam Doç.D r. TÖrker SARAÇOĞLU’na, ana materyal olan ilek çeşitlerini temin etmemi sağlayan Aydın Sultanhisar bÖlgesinde bulunan ۆzil Tarım Ürünleri sahibi Nihat ۆZYİĐİT’e, çalıŐmamın her aşamasında beni destekleyen, yanımda olan değerli emeklerinden ve katkılarından dolayı sevgili babam Cemal AKÇAKAL’a ve sevgili annem Őengöl AKÇAKAL’a sonsuz teŐekkÖr ederim.

Tuğçe AKÇAKAL

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
TEŞEKKÜR	ii
KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
RESİMLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Dünya’da Çilek Yetiştiriciliği	4
1.2. Türkiye’de Çilek Yetiştiriciliği	5
1.3. Çilek Yetiştiriciliğinde Hasat ve Hasat Yöntemleri	7
1.3.1. Geleneksel Hasat Yöntemi	8
1.3.2. Tam Mekanize Hasat Sistemleri.....	9
1.3.3. Yarı Mekanize Hasat Sistemleri	11
1.3.4. Robotik Sistemlerde Hasat Yöntemi	12
1.3.5. Yardımcı Robotik Sistemlerinde Hasat Yöntemi	13
1.4. Tarımsal Materyallerin Yük Altındaki Davranışları	16
1.4.1. Çarpma Mekanikliği ve Darbe Testleri	18
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	22
3. MATERYAL ve YÖNTEM	37
3.1. Materyal.....	37
3.1.1. Bitkisel Materyal	37

3.1.2. Deneme Materyalleri	37
3.2. Yöntem	43
3.2.1. Meyvenin Nem Tayini	43
3.2.2. Fiziksel Özellikleri	43
3.2.3. Mekanik Özellikler	45
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	49
4.1. Nem Parametreleri	49
4.2. Fiziksel Parametreleri	49
4.3. Mekanik Parametreler	53
5. SONUÇ	74
6. KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	85

KISALTMALAR DİZİNİ

- FAO** : Food and Agriculture Organization of the United Nations (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü)
- TARBIYOMER** : Tarımsal Biyoteknoloji ve Gıda Güvenliği Uygulama ve Araştırma Merkezi
- TÜİK** : Türkiye İstatistik Kurumu



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Ülkelere göre Dünya çilek üretimi	1
Şekil 1.2. 2020 yılına ait bölgelere göre çilek üretim payı.....	4
Şekil 1.3. Türkiye çilek üretim haritası	6
Şekil 1.4. Geleneksel hasat yöntemi.....	9
Şekil 1.5. Sıyırıcı parmaklı hasat makinasının biçme ünitesi.....	10
Şekil 1.6. Vakumlu sisteme sahip hasat makinası.....	11
Şekil 1.7. Zedelenme anında hücre bozulması	16
Şekil 1.8. Farklı mekanik sıkıştırma uygulamaları.....	17
Şekil 1.9. Kuvvet-deformasyon eğrisi	17
Şekil 1.10. Gerilme birim deformasyon eğrisi	18
Şekil 1.11. Tarımsal materyallere uygulanan farklı dinamik sıkıştırma uygulamaları	19
Şekil 3.1. Basit sarkaç düzeneği.....	41
Şekil 4.1. Çilek çeşitlerine ait zedelenme alanı ve düşme yüksekliği arasındaki ilişki	55
Şekil 4.2. Çilek çeşitlerine ait zedelenme alanı ve absorbe edilen enerji arasındaki ilişki .	56
Şekil 4.3. Çilek çeşitlerine ait esneklik katsayısı ve düşme yüksekliği arasındaki ilişki	57
Şekil 4.4. Çilek çeşitlerine ait absorbe edilen enerji ve düşme yüksekliği arasındaki ilişki	58
Şekil 4.5. Çilek çeşitlerine ait meyve sap eksenine dik konumda deformasyon enerji değerlerinin deformasyon yüzdesine bağlı değişimleri	64
Şekil 4.6. Çilek çeşitlerine ait meyve sap eksenine paralel konumda deformasyon enerji değerlerinin deformasyon yüzdesine bağlı değişimleri	65
Şekil 4.7. Çilek çeşitlerine ait meyve sap eksenine dik konumda deformasyon değerlerinin deformasyon yüzdesine bağlı değişimleri	66

- Şekil 4.8.** Sıkıştırma pozisyonu paralel konumda olan meyvelerin deformasyon yüzdesine bağlı olarak deformasyon değişimleri 67
- Şekil 4.9.** Çilek çeşitlerine ait meyve sap eksenine dik konumda F_{max} değerlerinin deformasyon yüzdesine bağlı değişimleri 68
- Şekil 4.10.** Çilek çeşitlerine ait meyve sap eksenine paralel konumda F_{max} değerlerinin deformasyon yüzdesine bağlı değişimleri 69



RESİMLER DİZİNİ

Resim 1.1. Sıyırıcı tarak düzenine sahip çilek hasat makinası	10
Resim 1.2. Yarı mekanize çilek hasadı	12
Resim 1.3. (a) Vakumlu tutucu uç, (b) Gövdeye bağlı manipülatör, (c) Kısaçlı tutucu uç ...	13
Resim 1.4. Yardımcı robotik sistem.....	14
Resim 3.1. Çilek çeşitlerinin serada görüntüleri; (a) Fortuna, (b) Rubygem, (c) Festival, (d) Sabrina, (e) 406.....	37
Resim 3.2. Tutunma kuvveti ölçümlerinde kullanılan mekanik el dinamometresi.....	38
Resim 3.3. Meyve eti sertliği ölçümünde kullanılan dijital el penetrometresi.....	39
Resim 3.4. (a) Etüv cihazı, (b) Dijital kumpas.....	39
Resim 3.5. Image J programı ile projeksiyon alanının belirlenmesi.....	40
Resim 3.6. Sürtünme açısı ölçüm düzeneği	40
Resim 3.7. Sürtünme açısı ölçüm düzeneği	41
Resim 3.8. Zwick-Roell universal test cihazı.....	42
Resim 3.9. Çilek meyvesinin boyutları; uzunluk (L), genişlik (W), kalınlık (T)	44
Resim 3.10. Zedelenme alan boyutları.....	47
Resim 3.11. (a) Sap eksenini doğrultusunda (b) Sap eksenine dik	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. 2010-2020 yılına göre Dünya çilek üretim miktarları, üretim alanlarının ortalama değerleri	5
Çizelge 1.2. Çilek hasat yöntemleri ve karakteristikleri	8
Çizelge 4.1. Çilek çeşitlerinin ortalama sürtünme katsayı değerleri varyans analizi ve Duncan test sonuçları	50
Çizelge 4.2. Çilek çeşitlerinin ortalama fiziksel özellikleri değerlerine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları	51
Çizelge 4.3. Çilek çeşitlerinin tutunma kuvveti değerlerine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları	53
Çizelge 4.4. Çilek çeşitlerinin farklı yönlerdeki sertlik değerlerine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları	54
Çizelge 4.5. Çilek çeşitlerinin farklı yüksekliklerden, farklı yüzeylere çarpması sonucu elde edilen e , E_{abs} ve Z_a değerlerine ait varyans analizi	59
Çizelge 4.6. Çilek çeşitlerinin farklı yüksekliklerden, farklı yüzeylere çarpma sonucu elde edilen e , E_{abs} ve Z_a değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma analizi	59
Çizelge 4.7. Çilek çeşitlerinin farklı sıkıştırma yönlerinde, farklı deformasyon yüzdelerinde elde edilen deformasyon, F_{max} ve deformasyon enerjisi değerlerine ait varyans analizi	61
Çizelge 4.8. Çilek çeşitlerinin farklı sıkıştırma eksenlerinde, farklı deformasyon yüzdelerinde elde edilen deformasyon değerlerine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları	62
Çizelge 4.9. Çilek çeşitlerinin farklı sıkıştırma eksenlerinde, farklı deformasyon yüzdelerindeki F_{max} , değerlerine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları	63
Çizelge 4.10. Çilek çeşitlerinin farklı sıkıştırma eksenlerinde, farklı deformasyon yüzdelerinde elde edilen deformasyon enerjisi değerlerine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları	63

ÖZET

AYDIN İLİNDE YETİŞTİRİLEN BAZI ÇİLEK ÇEŞİTLERİNİN HASAT VE HASAT SONRASI İŞLEMLERE YÖNELİK FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Akçakal T., Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Aydın, 2022.

Amaç: Bu çalışmada, Aydın ilinde yetiştiriciliği yapılan beş farklı çilek çeşidinin bazı seçilmiş fiziksel özellikleri, mekanik özellikleri gibi parametreleri belirlenerek, hasat veya hasat sonrası sınıflandırma, paketlenme ve taşıma aşamalarında kullanılacak olan mekanizasyon sistemlerinin tasarımına yardımcı olacak parametrelerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem: Çalışmada Festival, Fortuna, Rubygem, 406, Sabrina çilek çeşitlerinin her birinden 260 adet olmak üzere toplamda 1300 adet numune kullanılmıştır. Meyvelerde, meyve et sertliğinin ve meyve tutunma katsayılarının ölçülmesi içinse sırasıyla 20 kg kapasiteli, 6 mm kalınlığında baticı uça sahip dijital el dinamometresi ile metrik skala ve çeki-bası kuvvetlerine sahip, ölçüm kapasitesi 10 kg olan 0,05 kg hassasiyetli el dinamometresi kullanılmıştır. Çileklerin nem miktarı, 70 °C sıcaklıkta sabit ağırlığa ulaşmaya kadar tutulup yaş baza göre hesaplanmıştır. Çileklerin boyutları kumpas, ağırlıkları hassas terazi, hacimleri ise ölçekli kap ve içerisindeki saf su yardımıyla hesaplanmıştır. Çileklerin 1 cm²'lik kalibrasyon yüzeyinde dijital fotoğrafları çekilerek, ImageJ görüntü işleme programında bazı boyutsal özellikleri hesaplanmıştır. Meyvelerin sürtünme katsayıları ise sürtünme açısı ölçüm cihazı yardımıyla hesaplanmış ve ölçüm sınırı maksimum 500 N olan Zwick-Roell Marka Universal test cihazıyla yapılan farklı oranlardaki sıkıştırma işlemleriyle de yük altındaki davranışları belirlenmiştir. Çalışmada meyvelerin çarpma parametrelerinin belirlenebilmesi için sarkaç (pendulum) düzeneği kullanılmıştır.

Bulgular: Çalışmada çilek çeşitleri arasında nem içerik değeri en yüksek 406 (%89,986), meyve tutunma kuvvetinin en yüksek değeri Fortuna (3 N) ve meyve et sertliği değerinin en yüksek değeri de Sabrina çeşidinde (10,10 N) bulunmuştur.

Çalışmada elde edilen fiziksel parametreler sonucunda 406 çilek çeşidinin kütlesi, hacmi, dikey ve yanal projeksiyon alanları (izdüşümleri), geometrik ortalama çap ve yüzey alan değerleri diğer çeşitlerden daha yüksek bulunmuştur. Küresellik ve özkütle değerleri ise çeşitler arasında en yüksek Festival ve Fortuna çeşitlerinde elde edilmiştir. Çeşitler arasındaki kütleli değerler varyans analizine tabi tutularak $p < 0.05$ önem seviyesine göre önemli bulunmuştur. Çalışmada çilek çeşitlerinin iki farklı konumda ve dört farklı yüzey üzerinde sürtünme katsayı değerleri bulunarak, yüzeyler ile çeşitler arasındaki ilişkisi incelenmiştir. Çalışmada ortalama en yüksek sürtünme katsayı değerleri 0,43 Sabrina çeşidinde bulunmuştur. Çalışmada kullanılan dört farklı yüzeyde sürtünme katsayı değeri en yüksek kartonda, en düşük ise ahşapta bulunmuştur. Elde edilen parametreler sonucu çeşitler arasında yapılan varyans analizine göre sürtünme katsayı değeri çeşitlerde $p > 0,05$ önem seviyesine göre önemli bulunurken, kullanılan yüzeyler $p > 0.05$ önem seviyesine göre önemsiz bulunmuştur. Çarpma denemelerinde ise sarkaç (pendulum) düzeneği kullanılarak farklı yüksekliklerden, farklı yüzeylere çarptırılan çilek çeşitlerinin zedelenme alanları, esneklik katsayıları ve absorbe edilen enerji değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada düşme yüksekliğinin artmasıyla zedelenme alanı ve absorbe edilen enerjinin arttığı, esneklik katsayısının ise azaldığı görülmüştür. Çilek çeşitleri iki farklı konumda ve beş farklı deformasyon yüzdesinde (%5, %15, %25 %35, %45), biri sabit ve biri hareketli olmak üzere, iki platform arasında sıkıştırılarak yük altındaki davranışları belirlenmiştir. Sıkıştırma işlemi sonucunda meyvelerin çeşitlilik, sıkıştırma yönü ve yüzde deformasyonuna göre; deformasyon ve maksimum sıkıştırma kuvvet (F_{max}) değerleri $p < 0.05$ önem seviyesinde önemli bulunmuştur. Deformasyon enerjisi ise $p < 0.05$ önem seviyesinde önemsiz bulunmuştur.

Sonuç: Sonuç olarak çilek çeşitleri kendi aralarında hem fiziksel hem de mekanik özellikleri bakımından farklılık göstermiştir. Fiziksel özelliklerin incelenmesiyle farklı boyutsal değerlere ulaşılmıştır. Çeşitlerin iki farklı konumda, dört farklı yüzey üzerinde gösterdikleri sürtünme katsayı değerlerine göre, yüzeyler ve çeşitler arasındaki ilişki bulunarak, yüzeylerin sürtünme katsayı değerini etkilediği görülmüştür. Çarpma parametrelerinde, çileklerde düşme yüksekliğinin artmasıyla zedelenme alanının arttığı, absorbe edilen enerjinin artmasıyla da esneklik katsayısının azaldığı bulunmuştur. Sıkıştırma testinde ise sıkıştırma deformasyon yüzdelерinin yükselmesi sonucu, sıkıştırılan hücre sayısı artarak deformasyon ve deformasyon

miktarında artış görülmüş ayrıca F_{max} kuvvetleri de elde edilmiştir. Ayrıca çalışmada çeşitlerin nem içeriğine, tutunma kuvvetlerine ve meyve et sertliklerine bakılarak en düşük ve yüksek değerler bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çarpma testi, Çilek, Fiziksel özellikler, Mekanik özellikler, Sıkıştırma testi.



ABSTRACT

DETERMINATION OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF SOME STRAWBERRY VARIETIES GROWN IN AYDIN PROVINCE FOR HARVEST AND POST-HARVEST PROCESSING

Akçakal T., Aydın Adnan Menderes University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Agricultural Machinery, Master, Aydın, 2022.

Objective: In this study, some selected physical properties, mechanical properties and moisture content of five different strawberry cultivars reared in Aydın province were determined while harvest and post-harvest classification, packaging, and transportation aimed at find parameters that will help the design of mechanization systems.

Material and Methods: A total of 1300 samples, 260 of each of Festival, Fortuna, Rubygem, Sabrina, and 406 strawberry cultivars were used in the study. In order to measure the fruit firmness and fruit holding coefficient in fruits a digital device with a capacity of 20 kg, respectively a digital handheld dynamometer with a 6 mm thick penetrating and has tensile and compression forces with a metric scale a hand type dynamometer with a measurement capacity of 10 kg and a sensitivity of 0,05 kg was used. The moisture content of strawberries was kept at 70 °C until they reached the constant weight and calculated on a wet basis. The sizes of the strawberries were calculated with the help of a caliper device, their weights with precision scales, and their volumes with the help of a measuring cup and distilled water. By were calculated taking digital photographs of the strawberries on a 1 cm² calibration surface, some dimensional properties in the ImageJ image processing program. Friction coefficients with the help of a friction angle measuring device and behaviors under load were also determined by compression at different rates with a Zwick-Roell Universal Test device with a maximum measurement limit of 500 N. In the study, pendulum mechanism was used to determine the impact parameters of fruit.

Results: In the study, the highest moisture content among strawberry cultivars was found in 406 cultivars (%89,99), the highest value of the fruit holding Fortuna (3N), and the highest value of fruit flesh firmness value was found in Sabrina cultivar (10,10 N).

As a result of the physical parameters obtained in the study the mass, volume, vertical and lateral projection areas, geometric mean diameter, and surface area values of 406 strawberry cultivars were found to be higher than the other cultivars. The sphericity and density values were highest in Festival and Fortuna cultivars among the cultivars. The mass values between the cultivars were subjected to analysis of variance and were found to be significant according to the $p < 0.05$ significance level. In the study, the friction coefficient values were found in the 0,43 Sabrina cultivar. On four different surfaces used in the study, the highest coefficient was found in cardboard and the lowest in wood. According to the analysis of variance between the cultivars as a result of the parameters obtained, the friction coefficient value was found to be significant according to the $p > 0,05$ importance level in the cultivars, while the surfaces used were found to be no significant according to the $p > 0,05$ significance level. In the impact tests the injury areas, elasticity coefficient and absorbed energy values of strawberry cultivars impacted on different surfaces from different heights were calculated by using the pendulum mechanism. In the study, it was observed that the injury area and absorbed energy increased in the fall height and the elasticity coefficient decreased. Strawberry varieties were compressed between two platforms, one stationary and the other moving in two different positions and at five different deformation percentages %5, %15, %25, %35, and %45, and their behavior under load was determined.

As a result, compression process, according to the type of compression direction and percent deformation dependent variables; deformation and maximum compression force (F_{max}) values were found to be significant at $p < 0,05$ significance level. The deformation energy was found to be no significant at the $p < 0,05$ significance level.

Conclusion: Strawberry cultivars differed among themselves in terms of both physical and mechanical properties. Different dimensional values were obtained by examining the physical properties. According to the friction coefficient values of the varieties on four different surfaces in two different positions, the relationship between the surfaces and the varieties was found and it was found that the surfaces affected the friction coefficient. In the impact parameters it was found that the injury area and the absorbed energy increased while the elasticity coefficient decreased with the increase in the falling height of strawberries. In the compression test on the other hand with the increase of compression deformation percentages

the number of compressed cells increased, and the amount of deformation and deformation increased and maximum forces were obtained. In addition, the lowest and highest values were found by looking at the moisture content adhesion strength and flesh firmness of the cultivars.

Key Words: Compression test, Impact test, Mechanical properties, Physical properties, Strawberry.



1. GİRİŞ

Çilek (*Fragaria*) *Rosaceae* familyasının, *Rosoideae* alt familyasından *Plantae* âleminde yer almaktadır. Çilek anavatanı Amerika olan, gülgiller familyasına ait otsu bir bitkinin meyvesidir. 18. yy. sonunda Fransa'nın kuzey yarım küresi ile güney yarım küresinde bulunan, *F. Virginiana* çileği ile *F. Chiloensis* çileğinin melezlenmesi sonucu, en fazla ziraati yapılan *Fragaria Ananassa* türü ortaya çıkmıştır. Meyve tohumlarının iç kısımda değil de meyve üzerinde bulunması, çoğu meyveye göre istisnai bir durumdur. Çilek, Şekil 1.1'de görüldüğü gibi Dünya'da çok geniş ekolojik şartlarda yetiştiriciliği yapılan üzüksü meyveler içerisinde yer almaktadır. Kendine has aroması ve lezzeti ile dünya çapında önemli bir yer edinen ve 1-2 gün içerisinde tüketilmez veya işlenmezse kolayca bozulabilecek bir yapıya sahip hassas bir meyve olan çileğin, Dünya'da 20'den fazla türü bulunmaktadır (Anonim, 2019a; Serçe ve Özgen, 2014). Hassas yapıya sahip olmasından dolayı, çileğin üretimden hasat işlemine, depolamadan paketlenme işlemine ve ulaştırmadan pazarlanmasına kadar olan tüm aşamaları, büyük bir titizlikle yapılmalıdır.



Şekil 1.1. Ülkelere göre Dünya çilek üretimi (Atlasbig, 2021)

Çilek bitkisi kök, kök gövdesi, yaprak, çiçek ve meyve salkımlarından oluşmaktadır. Yüzeysel kök yapısına sahip olan çilek bitkisinin kökleri, drene halindeki toprağın 60-70 cm kadar alt katmanlarına ulaşırken, ağır toprakta köklerin gelişimi yatay bir eğilim göstermektedir. Çilek kökleri meyvenin olum aşamasından sonra bir yıl içerisinde ölürken, çileğin üç parçalı ve spiral bir dizim gösteren yaprakları, ilkbahar döneminde tam olgunluğa ulaştıktan 1 ile 3 ay içerisinde ölmektedir. Çilek bitkisinde ne kadar çok yaprak o kadar çok çilek salkımı parametresi söz konusudur (Anonim, 2008).

Çileğin meyve türleri arasında bulunan, en narin meyve çeşitlerinden biri olması nedeniyle, kalitesinde herhangi bir bozulma olmadan tüketiciye sunulması gerekmektedir. Bu nedenle çileklere zarar verilmeden, uygun zaman diliminde hasat işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Hasat işlemi bittikten kısa süre sonra, çileğin kalitesinde düşme meydana geldiği için çabuk tüketilmesi ya da uygun işlemlerle ömrünün uzatılması gerekmektedir. Bunun için depolama zamanı hızlı bir ön soğutma ve ardından soğuk zincirleme işlemi yapılmaktadır. Soğuklama işlemi çilekler için 0-7 °C'de 400-500 saat olarak belirlenmiştir (Anonim, 2008; Süzer, 2019). Hasat edilen çileklerin, soğutma aşamasından sonra paketleme ve nakliye işlemlerinin düşük sıcaklıkta gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca çileğin hem ömrünün uzatılması hem de kalitesinde düşmesini engellemek için kontrollü atmosferli muhafaza ve modifiye atmosferli paket uygulamaları da kullanılmaktadır. Bu işlemlere rağmen meyve kalitesinin düşmesine neden olan, meyve hücresine etki eden ve yapısını değiştiren bazı hastalıklar bulunmaktadır. Bu hastalıkların önüne geçilemezken, meyve üzerindeki olumsuz etkilerinin yavaşlatılması sağlanmıştır (Süzer, 2019; Almenar, vd., 2006; Yılmaz, vd., 2019). Meyvenin bozulup kalitesini kaybetmesine çeşitli hastalıklar dışında meyve et sertliği de etki etmektedir. Meyve et sertliğini kaybedip yumuşama gösterir ve bu da meyve kalitesinin önemli derecede düşmesine neden olmaktadır. Yılmaz vd., (2019) çalışmalarında, meyve yüzeyine temas ettirilen çörek otu, kekik, nane gibi uçucu yağların, meyve hücre yapısına ve fonksiyonuna etki etmesiyle et sertliğinin korunduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Hasat zamanında kızaran meyveler, hasat sonrası kırmızı renk yoğunluğuna bağlı olarak renk değişimine uğramaktadır. Hasat zamanından önce hasat edilen meyvelerde renk koyulaşması görülmezken, olgunlaşma evresinde olan ve 3/4'ü kızaran meyvelerin hasat işleminden sonra renklerinde değişim meydana gelmektedir. Hasat edilen meyvelerin renkleri, koyu kırmızı ya da kahverengiye çalan kırmızıya dönmektedir (Nunes, vd., 2005; Nunes, vd., 2006).

Çileğin ekolojik isteklerinin bilinmesi meyvenin en iyi şekilde yetiştirilmesini sağlamaktadır. Çilek yetiştiriciliğinde günlük sıcaklık ortalaması elde edilen ürün miktarına etki etmektedir. Dünya'nın farklı bölgelerinde yetiştiriciliği yapılan çileğin geniş sıcaklık sınırları bulunmaktadır. Gündüzleri bu sıcaklık optimum 20-25 °C'de gelişme gösterirken, geceleri ise gündüz sıcaklığından 5-7 °C düşük olması gerekmektedir. Çiçekleri erken açan ya da tutma aşamasındaki çilek meyveleri, ilkbahar geç donlarında ve sonbahar erken donlarında zarar görmektedir. Kış aylarında ortaya çıkan donlardaysa meyve bitkisi dinlenme evresinde olduğu için dondan etkilenmemektedir. -2 °C soğuk çileğin meyve çiçeklerine zarar verirken, 5 °C'de çilekte büyüme duraklaması, 10 °C'ye kadar da önlem alınmadan çilek yetiştiriciliği yapılabilir. Havanın derecesine bağlı zarar gören çilek bitkilerinin bir sonraki ürün miktarı olumsuz yönden etkilenmektedir (Anonim, 2008; Kargı vd., 2012; Yaprak, 2019).

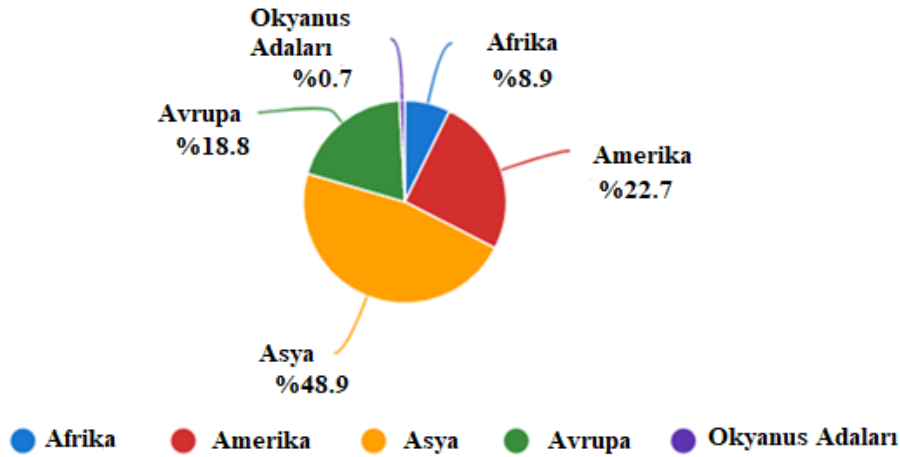
Çilek yetiştiriciliğinde verimli bir üretim olabilmesi için; toprağın derin, nem tutma kapasitesinin yüksek ve kumlu-tınlı toprak olması gerekmektedir. Ayrıca diğer ekolojik şartları sağlayan allüviyal humuslu topraklarda ve pH değeri en fazla 6 olan asit karakterli topraklarda da en iyi şekilde üretim yapılabilir (Anonim, 2012; Kargı vd., 2012). Çilek yetiştiriciliğinde verimi ve kaliteyi arttırmak için toprağın kumlu ve organik madde bakımından zengin olması gerekmektedir. Bu yüzden çilek üretimi vadi içleri, akarsular ve dere yatakları yakınlarında yapılmaktadır.

Çilek yetiştiriciliğinin günümüzde önem kazanmasının en büyük nedeni, birim alanda elde edilen kazancın diğer ürünlere göre fazla olması ve yapılan yatırımlardan kısa süre içerisinde geri dönüş sağlanmasıdır. Bu nedenle de birçok işletmenin tercihi olarak hem sanayide hem de taze tüketimde popüler olmaktadır. Çilekler taze tüketim dışında reçel, şarap, marmelat, komposto ve meyve suyu yapımı gibi birçok farklı şekilde değerlendirilmektedir (Erenoğlu vd., 2000). Tüketiciler tarafından talep arzı fazla olduğu için çilek, derin dondurma yoluyla da uzun süre muhafaza edilebilmektedir. Ayrıca çilek yetiştiriciliğinin önem kazanmasının bir diğer etkeni de içerisinde bol miktarda bulunan A, B, C vitaminleri, kalsiyum, demir, fosfor gibi mineral maddeleri ile insan sağlığına etki eden iyi bir antioksidan olmasıdır (Anonim, 2008; Ertürk vd., 2017; Türemiş vd., 2000).

1.1. Dünya’da Çilek Yetiştiriciliği

Dünyanın karasal iklim bölgelerinde çilek yetiştiriciliği çok yıllık olarak gerçekleştirilirken, subtropikal iklimde tek yıllık olarak gerçekleştirilmektedir. Çok yıllık ve tek yıllık olarak yapılan çilek yetiştiriciliğinde, yetiştirme teknikleri arasında bir fark bulunmazken; tek yıllık yetiştiricilikte seddeler biraz daha yükseltilip, malç ve damla sulama işlemi yapılmaktadır.

Şekil 1.2’de 2020 yılına ait, Dünya’da çilek üretiminin payı verilmektedir. Üretimin %48,9’si Asya, %22,7’si Amerika, %18,8’si Avrupa’da yapılırken geriye kalan %8,9’u Afrika ile %0,7’si okyanus adalarında gerçekleştirilmektedir. Çilek üretiminde ilk 5’e giren üretici ülkeler: Çin, ABD, Meksika, Türkiye ve Mısır’dır (FAO, 2022).



Şekil 1.2. 2020 yılına ait bölgelere göre çilek üretim payı (FAO, 2022)

Çizelge 1.1’de 2010-2020 yılları arası ortalamalarına göre bazı ülkelerin çilek üretim miktarları, üretim alanları ve elde edilen verim değerleri verilmiştir. Çizelge incelendiğinde üretim miktarına göre Çin’in ilk, Türkiye’nin ise dördüncü sırada yer aldığı görülmektedir.

Çizelge 1.1. 2010-2020 yılına göre Dünya çilek üretim miktarları, üretim alanlarının ortalama değerleri (FAO, 2022)

Ülkeler	Üretim Miktarı (ton)	Üretim Alanı (ha)	Verim (ton/ha)
Çin	2.622.561	101.334	26
ABD	1.271.836	47.954	26
Meksika	476.928	10.763	12
Türkiye	397.097	14.417	27
Mısır	362.508	8.883	41
İspanya	321.624	7.312	44
Güney Kore	199.827	6.323	31
Toplam	6.184.525	278.180	248

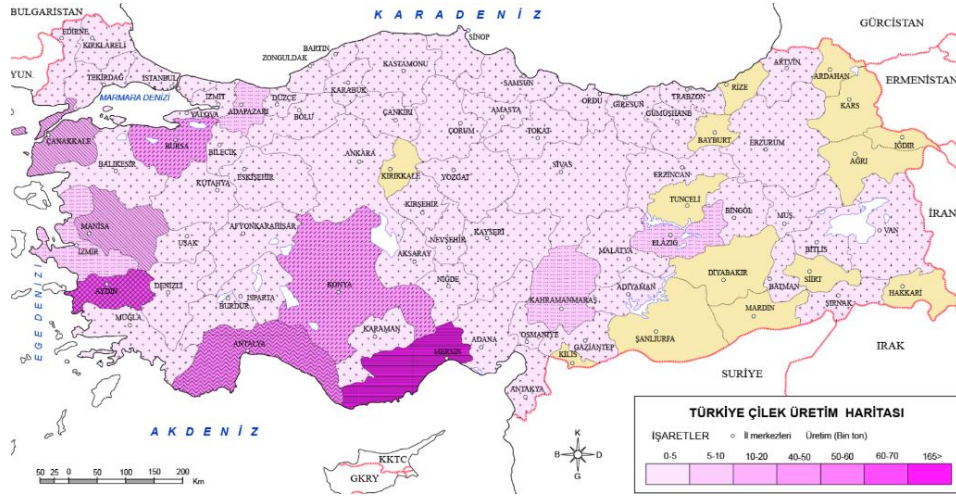
Çizelge 1.1 verim yönünden incelendiğinde ise, sırasıyla ilk sıra İspanya, ikinci sırada Mısır, üçüncü sırada Güney Kore, dördüncü sırada Japonya yer alırken Türkiye ise beşinci sırada yer almaktadır.

1.2. Türkiye’de Çilek Yetiştiriciliği

Dünya’da ve ülkemizde çileğin son yıllarda giderek önem kazanmasının en önemli nedeni farklı iklim ve toprak koşullarında ekonomik olarak yetiştirilebilmesidir. Ülkemizde çilek yetiştiriciliği 1961 yılında başlamış ve ilk üretimde 1.400 ha’lık bir alanda 6.400 ton ürün elde edilmesiyle gerçekleşmiştir.

Çilek yetiştiriciliği ülkemizin hemen hemen her bölgesinde yapılmaktadır. FAO istatistiklerine göre Türkiye’de çilek yetiştiriciliğinde 2018 yılı sonunda toplamda 16.102 ha’lık üretim alanından 440.968 ton ürün elde edilirken, 2019 yılının sonunda Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK] verilerine göre toplamda 474.255 ton üretim, 2020 yılının sonunda ise 610.140 ton üretim gerçekleşmiştir. (FAO, 2022).

Şekil 1.3’de 2020 yılında ülkemizde üretilen çilek üretim haritası verilmiştir. Buna göre 2020 yılında Türkiye genelinde en fazla çilek üretimi; Mersin 188 bin ton, Aydın 68 bin ton, Konya 51 bin ton olmak üzere ilk üç sırayı oluşturmaktadır (TÜİK, 2020).



Şekil 1.3. Türkiye çilek üretim haritası (TÜİK, 2020)

Dünyada yaygın olarak iki tip çilek yetiştiriciliği yapılmaktadır; bunlardan biri malçlama sistemi diğeri ise topraksız çilek yetiştiriciliğidir. Dünyada ve ülkemizde örtüaltı ya da seralarda topraksız çilek yetiştiriciliğine eğilim giderek artmaktadır. İlk olarak Kuzey Avrupa ülkeleri ardından Fransa, İngiltere gibi ülkeler topraksız çilek yetiştiriciliğine öncülük etmiş, Güney Kore ve Japonya gibi ülkeler de ılıman bölgelerinde topraksız çilek yetiştiriciliğini, örtüaltı seralarda yapmıştır. ABD ülkelerinde topraksız çilek üretimi, serada yapılan çilek üretimine kıyasla oldukça az yapılmaktadır. Ülkemizde topraksız çilek yetiştiriciliği, son yıllarda artarak daha çok Akdeniz Bölgesi'nde yapılmaktadır (Lieten vd., 2004, Anonim, 2019b).

Topraksız çilek yetiştiriciliği, kontrollü bir yetiştirme imkânı sağlarken ayrıca meyvenin verimini ve kalitesini artırma, su, gübre ve pestisit kullanımını azaltma gibi olumlu etkilerde sağlamaktadır. Topraksız çilek yetiştiriciliği, toprak durumunun uygun olmadığı fakat iklimin uygun bölgelerde de çilek yetiştiriciliğine olanak sağlamaktadır. Bu yöntemde çilek yetiştiriciliğinin en önemli etkenleri; sera yapısı, fide tipi, fide çeşidi, bölgenin iklimi ve yetiştirme ortamıdır. Topraksız çilek tarımında, fide olarak frigo fideleri tercih edilmektedir (Demirsoy vd., 2017, Paranjpe vd., 2008). Çilek bitkilerinde dikim işlemi; kullanılan çeşide, fide tipine, yetiştiricilik tekniğine ve yetiştiriciliğin gerçekleşeceği alana bağlı olarak farklılık göstermektedir. İlkbahar dikim zamanı, kış aylarının sert geçtiği kesimlerde Nisan ayında gerçekleştirilen dikim zamanıdır. Dikim işlemi için frigo fideleri ya da Ocak-Şubat aylarında fidelikten sökülmeyen fideler kullanılmaktadır. Nisan ayında ekilen bu bitkiler Mayıs-Haziran aylarında az miktarda çiçek açarak meyve verirken, esas ürünü 1 yıl sonra Haziran ayında

vermektedir (Nacar, 2012). Yaz dikim zamanı, Temmuz-Ağustos aylarında frigo fideleri kullanılarak kış dikim zamanına göre 2-3 kat daha fazla ürün elde edilmektedir. -2 °C'de saklanan frigo fidelerinin dikim işlemi, bir gece önceden çıkarılıp su içerisinde dinlendirildikten sonra gerçekleştirilmektedir. Uzun yıllardır yapılan araştırmalar sonucunda yaz dikim zamanı çilek yetiştiriciliğinde elde edilen en yüksek verimin, Akdeniz kıyı kesimlerinden elde edildiği bulunmuştur (Süzer, 2019, Anonim, 2012). Sonbahar dikim zamanında da fidelikten elde edilen taze fidelerin dikim işlemleri Eylül-Ekim aylarında gerçekleştirilmektedir. Sonbahar dikiminde erken ürün eldesi sağlanırken, verim ve meyve kalitesi düşük olmaktadır. Bu nedenle sonbaharda yapılan yetiştiriciliğin örtü altında yapılması gerekmektedir. Ayrıca örtü altı yetiştiriciliği, erken çiçek açan çilek bitkilerini kış aylarında meydana gelebilecek don olaylarına karşı korumaktadır (Nacar, 2012). Kış dikim zamanında ise kış mevsiminin sert geçmediği bölgelerde dikim işlemi frigo fideleriyle yapılmaktadır. Çilek bitkisinin kış dikim işlemi Ekim-Kasım aylarında gerçekleştirilirken, bitki Mart ayından itibaren ürün vermeye başlamaktadır (Süzer, 2019). Olgunluk evlerine erişen meyvelerin hasat zamanı geldiğinde meyveler uygun hasat yöntemleriyle hasat edilmektedir.

1.3. Çilek Yetiştiriciliğinde Hasat ve Hasat Yöntemleri

Hasat işlemi, meyvelerin bitkiden ayrılarak depolanma ve taşınma işlemlerini kapsamaktadır. Çilek hassas ve kısa sürede bozulabilen bir meyve çeşidi olduğu için hasat işleminde paketleme ve taşınma gibi işlemlerin, özen gösterilerek yapılması gerekmektedir. Hasat sonrası çilek meyvelerinde zaman içerisinde olgunlaşma olmadığı için hasat işlemi en uygun zaman diliminde yapılmalıdır. Hasat zamanında gecikme olduğu takdirde, meyvelerde renk ve sertlik kaybı gibi durumlar söz konusu olmaktadır. Hasat işlemi günün erken saatlerinde yapılmalı ve hasat edilen meyveler serin-gölgeli bölgeye taşınarak en kısa sürede soğuklama işlemine tabi tutulmalıdır.

Çilekte hasat işlemi, tüketim ve üretim maliyetinin artması sonucu iş gücünün azalmasına bağlı olarak mekanize edilmiştir. Çizelge 1.2'de çilek hasat yöntemleri ve karakteristikleri görülmektedir.

Çizelge 1.2. Çilek hasat yöntemleri ve karakteristikleri (Moser vd., 1989)

Hasat Yöntemleri	El ile Hasat	Yarı Mekanize Hasat	Tam Mekanize Hasat		
			Biçerek	Tarayarak	Sarsarak
Toplama Yöntemi	El ile	El ile			
Alet veya Yapı Elemanı		Toplama Arabası	Biç. Önünde Bit. Sürgün Kal. Sis.	Asp. Hava Akımı Tarayıcı Band	Asp. Hava Akımı Titreşimli Pam.
Hasat İşlem Sayısı	4-7	4-7	1	1	4-7
Hasat İş Verimi** (kg/İşgh)	10	10-12	600	500	200'e kadar*
Çalışma Hızı (km/h)	-	-	1,25	1	0,7
Ürün Kaybı (%)	0	0	40-60	40-60	10-15*
Toplama Kaybı (%)	5'e kadar	5'e kadar	10-20	10-30	- *
Zedelenme (%)	5-10	5-10	35'e kadar	50'ye kadar	- *

* Değer Bulunmamaktadır

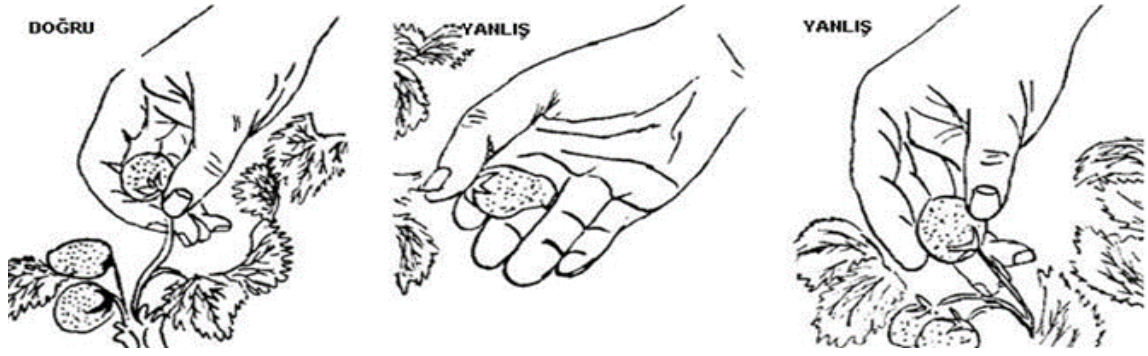
** 13 ton/ha Verim Koşulunda (El ile Hasat)

Çilek hasadı mekanik olarak yapıldığında, meyve kalitesinde azalma meydana geldiği için ürünler çoğunlukla fabrikasyon amaçlı kullanılmaktadır. Hasat işlemi için geliştirilen mekanik yöntemler, meyvenin olgunlaşma evrelerinin farklı olması, meyve sertlik farkı, meyve tutunma kuvveti, bitki yapısı, dikim şekilleri ve meyveyi hasat eden kişiye göre farklılık göstermektedir.

Çilek hasadında hasat yöntemleri; geleneksel (el ile) hasat, tam mekanize hasat, yarı mekanize hasat, robotik ve yardımcı robotik sistemler ile hasat yöntemi olarak 4 farklı şekilde sınıflandırılması yapılmıştır (Akçakal, 2020). Elle ve yarı mekanize hasat işleminde meyveler yapraklı ve yapraksız olarak toplanırken, tam mekanize hasat yönteminde olgunluğunu tamamlayan ya da ham olan meyveler hem sap hem de yapraklarla toplanmaktadır. Hasat anında meyvelere karışan yabancı maddeler, makine üzerine eklenen düzeneklerle temizlenip sınıflandırma, yaprak temizliği ve diğer işlemler için tesislere gönderilmektedir (Ülger, 1978; Moser vd., 1989).

1.3.1. Geleneksel Hasat Yöntemi

Geleneksel hasat yöntemi el ile yapılmaktadır (Şekil 1.4). Renkleri kızarmış ve meyve eti sertken çilekler sabahın erken saatlerinde, en geç saat 10'a kadar toplanmalıdır. Eğer toplama işlemi geç saatlerde gerçekleştirilirse, sıcaklığın etkisinden dolayı olgunlaşan meyvelerde, meyve et sertliği azalarak meyvede bozulmalar ortaya çıkacaktır.



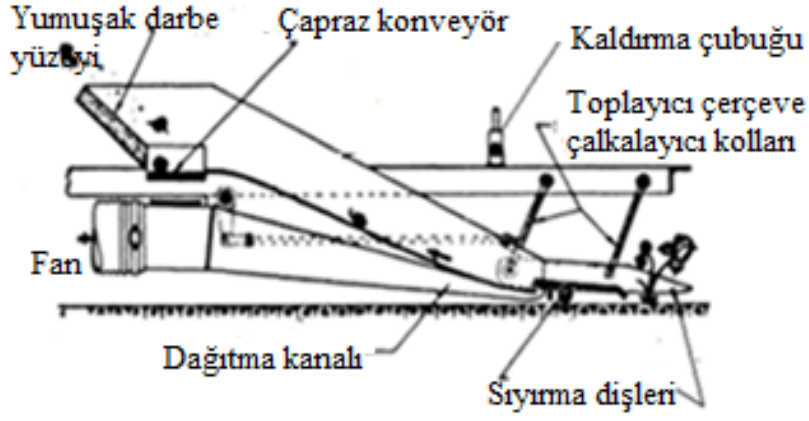
Şekil 1.4. Geleneksel hasat yöntemi (Anonim 2008)

Geleneksel hasat işlemi sap ve çanak yaprakların meyveyle birlikte koparılmasıyla gerçekleşmektedir. Hasat edilen meyvede çiçek sap uzunluğunun 10 mm olması, dalların zedelenmeden ve kırılmadan sepetlere yavaşça konulması istenmektedir (Anonim, 2008; Anonim, 2012; Koyuncu ve Demirci, 2012).

1.3.2. Tam Mekanize Hasat Sistemleri

Şekil 1.5'te görülen sıyırıcı hasat makinası; tam mekanize çilek hasat yönteminde, makina ile meyvelerin uyum içerisinde olması ve meyvelerin makine özelliğine uygun olarak yetiştirilmesi gerekmektedir. Çilek meyvesi hassas bir yapıya sahip olduğu için makinalı hasat işleminde, meyvelerin zarar görmesi ve meyvelerin toprağa yakın yetiştirilmesi istenmemektedir. Bu gibi durumlar makine ile yapılan hasat işlemini zorlaştırmaktadır (Moore ve Sistrunk, 1980).

Sıyırıcı parmak düzenine sahip hasat makinası: Sıyırıcı parmaklı hasat makinası ön kısmında bulunan biçme düzeni sayesinde, meyveleri sap ve yapraklarıyla birlikte elevatörün ucunda bulunan taraklı sıyırıcılarla kopararak depoya göndermektedir (Şekil 1.5). Sıyırıcı parmak düzenine sahip hasat makinası, hasatın bir defa da yapılması için tasarlanmıştır (Güleryüz, 1993).



Şekil 1.5. Sıyırıcı parmaklı hasat makinasının biçme ünitesi (Booster, 1974; Quick, 1971)

Sıyırıcı parmaklar arasındaki mesafe 2,5-3 cm'dir. Mesafelerin çok yakın olması parmakların tıkanması ve çilek bitiklerinin hasar görmesine neden olmakta, buna karşın mesafelerin açık olduğu durumda ise toprağa düşen meyve (kayıp) miktarında artış görülmektedir. Aynı zaman da makinanın biçme yüksekliğinin ayarlanabilir olması gereklidir. Aksi takdirde meyve hasadı sırasında meyvelerin toprağa teması ve zedelenmesi söz konusu olmaktadır. Bu da meyve kaybı olarak tanımlanmaktadır (Booster, 1974, Quick, 1971).

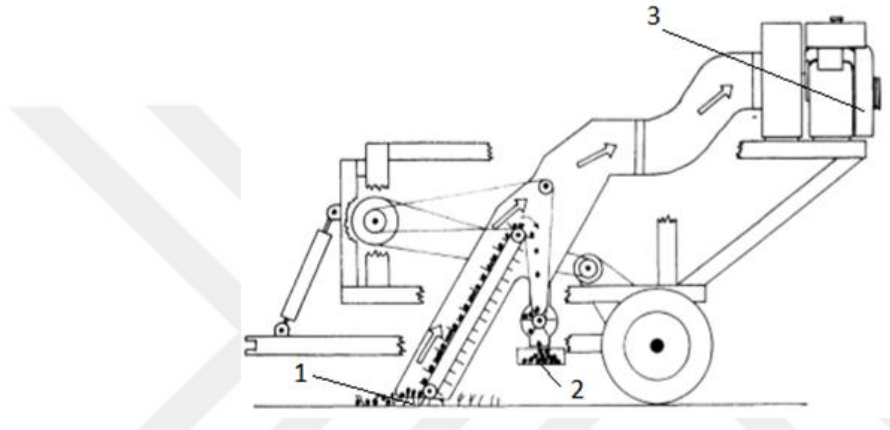
Resim 1.1'de görülen sıyırıcı tarak düzenine sahip çilek hasat makinası, başarılı bir şekilde çalıştırılması, toprağa yakın olan meyveyi toplama, meyveyi bitkiden ayırma ve meyveleri ayırdıktan sonra hareketlerini kontrol etme özelliğine bağlıdır (Booster, 1974).



Resim 1.1. Sıyırıcı tarak düzenine sahip çilek hasat makinası (Anonim, 2019b)

Vakumlu sisteme sahip hasat makinası: Bu tür makinalarda parmaklı elevatörler sayesinde koparılan meyveler yukarı doğru bir vakum hattı içerisinde hareket etmektedir (Şekil 1.6).

Meyvelerle beraber taşınan, meyveden hafif materyaller vakum sayesinde temizlenerek ayrı bir elevatör tarafından depo dışına taşınmaktadır. Elevatörde yer alan parmaklar 7 cm uzunluğunda ve 1 cm aralıkla dizilmiştir. El ile hasat işleminden sonra açık alanda yetiştiricilikte en yaygın kullanılan hasat yöntemidir.



Şekil 1.6. Vakumlu sisteme sahip hasat makinası (Nelson ve Kattan, 1970)

- 1-Hava emme kanalı
- 2-Meyve toplayıcı ve götürücü
- 3-Motor ve hava emme ünitesi

1.3.3. Yarı Mekanize Hasat Sistemleri

Yarı mekanize hasat sistemi Resim 1.2’de görüldüğü gibi işçi için dizayn edilmiş, yatak ve sepet kısmından oluşmaktadır. Bu sistemde yaklaşık hasat iş verimi $10-12 \text{ kg} \cdot \text{İşg}^{-1}$, toplam kayıp %5 ve zedelenme miktarı ise %5-10 olmaktadır.

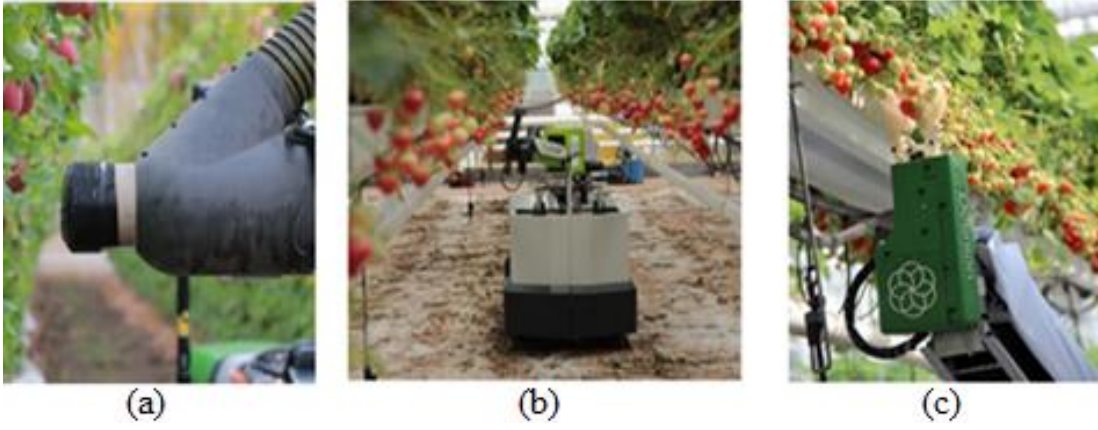


Resim 1.2. Yarı mekanize çilek hasadı (Anonim, 2019d.)

1.3.4. Robotik Sistemlerde Hasat Yöntemi

Çilek hasadında, hasat verimini artırmak, üretim maliyetini azaltmak ve yüksek işgücü ihtiyacını azaltmak amacıyla günümüzde birçok robotik sistem geliştirilmiştir. Robotik hasat sistemleri toplanan her meyvenin konum, renk, boyut, saat ve tarih bilgilerini kaydetmektedir. Saklanan veriler sayesinde verim haritası ve kalite haritaları oluşturulmaktadır. Robotik hasat makinalarına, aynı zamanda püskürtme memesi takıldığı takdirde kimyasal gübreleme, ilaçlama gibi uygulamalar yapılabilmektedir. Robotik sistemlerde uygulanan ilacın adı, miktarı, çalışma zamanı ve tarihi gibi püskürtme işlem kayıtlarını da bir veri tabanında tutarak diğer işletim makinaları veya sensörlerle bağlantı sağlayıp izlenebilirlik sisteminde kullanılabilir (Kondo vd., 2005).

İlk çilek robotları, tek yıllık bitki ve seralarda yetiştirilen kültür çeşitleri için tasarlanmıştır. Çilek hasat uygulamaları için robotların tasarımları, çalışma ortamlarına ve amaçlarına göre birçok açıdan farklılık göstermektedir. Robotlar esas olarak manipülatör, uç efektör, görsel sensör, vakum cihazı ya da kısaç ve seyahat cihazından oluşmaktadır (Resim 1.3) (Kondo ve Monta 1999).



Resim 1.3. (a) Vakumlu tutucu uç, (b) Gövdeye bağlı manipülatör, (c) Kısaçallı tutucu uç (Anonim, 2019e)

Çilek hasat robotlarında parça içerisinde manipülatör ve görme sensörü çok önemlidir. Manipülatör, üç serbestlik derecesine sahip hareketli bir sistemdir. Uç efektörünü ileri-geri ve yukarı-aşağı şeklinde hareket ettirmektedir. Robotta, bu üç serbestlik derecesi için kartezyen koordinatları kullanılmaktadır. Bunlar X, Y, Z eksenleri olup, eksenlerde 400 mm, 300 mm, 200 mm hareket kapasitesine sahiptir. X-Y eksenleri için maksimum hız $700 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ve Z ekseninin ise $150 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ olmaktadır. Resim 1.3'deki robot uç efektör, görsel sensör ile meyvenin pozisyonunu tespit ederek hareket ettirmektedir. Sensörlerden biri vakum cihazına bağlı olduğu için, vakum ucu hedefteki meyveye yaklaşarak sensör sayesinde yakalamaktadır. Bu hasat yöntemi meyveye zarar verdiği için pek tercih edilmemektedir (Kondo vd., 2005; Arima vd., 2004; Hayashi vd., 2010; Hayashi vd., 2012).

1.3.5. Yardımcı Robotik Sistemlerinde Hasat Yöntemi

Hasat zamanı olgun çileklerin hasat işleminin yapılması, depoya gönderilmesi ya da paketlere yerleştirilmesi gibi işlemlerin çileğe zarar vermeden yapılması robotik sistemlerde dikkate alınarak yardımcı sistemler tasarlanmıştır. Yardımcı robotik sistemler; geleneksel hasat işleminde meyvelerin tarladan toplanıp, toplama alanına götürülürken ortaya çıkan hasat zaman kaybını azaltmak, hasat verimliliğini artırmak ve iş gücü ile iş yükünü azaltmak için tasarlanmıştır.

Bu sistemler tarlanın çalışma alanı boyunca etkin bir şekilde hareket etmektedir. Resim 1.4'de ABD'de geliştirilen yardımcı robotik sistem görülmektedir. Yardımcı robotik sistemlere arazi alanının kodları girilerek, robotlar yönünü işçi üzerinde bulunan algılayıcı sayesinde belirlemektedir. Robotun üzerine yerleştirilen sepet ya da toplama kapları dolduğu zaman, robot dolduğunu içerisinde bulunan sensörler sayesinde algılayarak, toplama alanına geri dönmektedir. Dolan kaplar işçiler yardımıyla robotlardan alınarak yerine boş olan kaplar yerleştirilmesiyle tekrara işçiye yönlendirilmektedir.



Resim 1.4. Yardımcı robotik sistem (Anonim, 2019f; Anonim, 2019c.)

Günümüzde gelişmiş ülkelerde çilek yetiştiriciliğinde verimi arttırma, iş gücünden ve zamandan tasarruf ederek işlerin kısa sürede tamamlanması, maliyeti azaltarak kar elde etme ve çalışma koşullarının iyileştirilmesi gibi farklı amaçlara farklı çilek hasat yöntemleri kullanılmaktadır. Çilek hasat yöntemlerinde temel amaç çilek meyvesinin bitkiden geleneksel ya da mekanik yollara ayrılmasını sağlamaktır. Hasat yöntemlerinin etkin bir şekilde uygulanması çeşide, tarlanın koşuluna, dikim yöntemlerine ve çileğin biyolojik özelliklerine bağlıdır.

Biyolojik malzemelerin özellikleri aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır;

- Fiziksel özellikler,
- Mekanik özellikler (statik ve dinamik yük altında davranışlar, akma özelliği, aerodinamik ve hidrodinamik özellikler),
- Termik özellikler,
- Optik özellikler,
- Elektriksel özellikler,

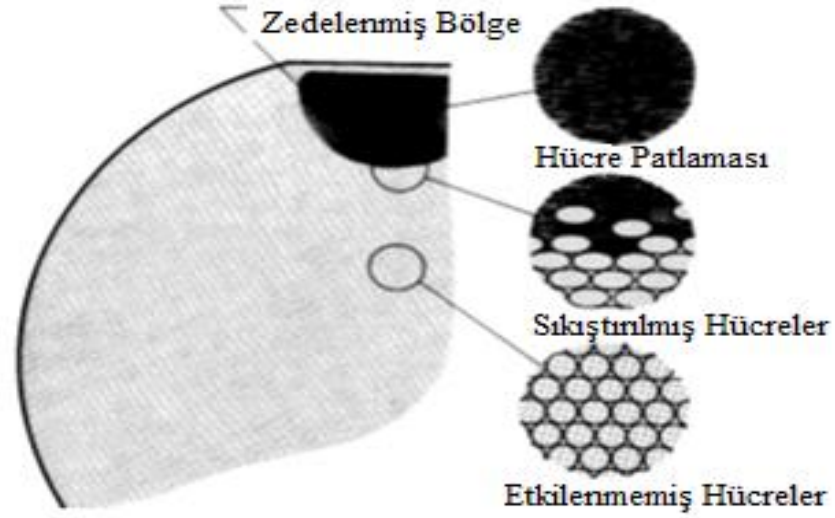
- Kimyasal özellikler,

• Biyolojik özellikler (olgunlaşma derecesi, mum tabakası, doku özelliği, solunum, tat, biyokimyasal maddelere karşı davranış şekli).

Biyolojik malzemelerin mekanik özellikleri sayesinde hasat işleminden tüketiciye ulaşana kadar ürünlerin kalitesinin korunmasına yönelik kriterler belirlenmektedir. Ürünlerin sıkışabilirlik, elastiklik gibi karakteristik özellikleri de ambalajlama esnasında ve depoların tasarım aşamasında kullanılmaktadır (Tunalıgil, 1993; Alayunt, 2000). Ayrıca yapılacak ekipmanlar için yararlanılan tüm bu özellikleri etkileyen, nem, sıcaklık, oksijen miktarı gibi birçok faktörde bulunmaktadır (Mohsenin, 1986).

Tarımsal ürünler ekim ya da dikimden hasada, market ya da pazardan tüketiciye ulaşana kadar geçen süre zarfında mekanik etkilerden dolayı zarar görmektedir. İç ve dış olan bu mekanik etkiler dinamik kuvvet ya da statik kuvvet şeklindedir. Tarımsal ürünlerin uygulanan her kuvvet etkisi altında, fiziksel ya da biyolojik yapılarında gösterdikleri farklı davranışlara mekanik özellikler denilmektedir. Biyolojik malzemelerin maruz kaldıkları etkiler malzemenin deformasyon ya da akma davranışını göstermesine sebep olabilirken, gösterdikleri davranışlara; kuvvetin büyüklüğü, yapısı ve uygulanma şekli etki etmektedir. Ayrıca kuvvet değerleri dışında yükleme hızı ve zaman da etkili olmaktadır (Yurtlu, 2003; Tunalıgil, 1993).

Mekanik zedelenmeler tarımsal ürünlerde kayıplara sebep olurken meyve ve sebzelerdeki en önemli hasar kaynağı, taşıma esnasında titreşimlerden oluşmaktadır. Titreşimler gözle görülür sonuçlar göstermese de üründe, mantar, su kaybı, kabuk altı lekelenmeler gibi hasarlara neden olmaktadır. Tarımsal ürünlerdeki hasar boyutu düşme yüksekliğine, bekletilme süresine, meyve et sertliğine, çözünebilir katı madde miktarına, nem ve sıcaklığa vb. bağlıdır. Hasar alan bölgelerde meyve içerisindeki suyun oksijen ile temas halinde olması sonucu bu bölgelerde renk değişimleri ortaya çıkmaktadır (Şekil 1.7).



Şekil 1.7. Zedelenme anında hücre bozulması (Eraltan, 2005)

Mekanik zedelenmeye neden olan etmenler;

- Dış kuvvetlerin etkisi (statik, dinamik, darbe yükleri gibi)
- İç kuvvetlerin etkisi (sıcaklık ve nem değişimi gibi fiziksel ve çeşitli kimyasal biyolojik değişimlerden dolayı doğan iç kuvvetler) (Alayunt, 2000; Usta ve Öztekin, 2017).

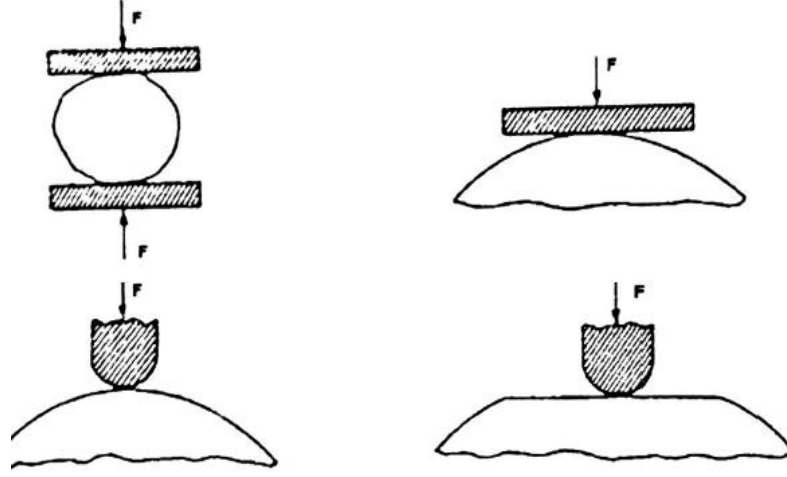
Bu hasarlar içsel ya da dışsal şekilde ortaya çıkmaktadır. Dışsal hasarlar gözle fark edilebilirken içsel hasarlar zamanla fark edilmekte ve yalnızca kesildikleri zaman ortaya çıkmaktadır.

1.4. Tarımsal Materyallerin Yük Altındaki Davranışları

Tarımsal ürünler statik ve dinamik yük altında yapısal olarak akma ve kopma davranışı göstermektedir. Deformasyon uygulanan kuvvetin etkisine göre; basma kuvvetinin etkisindeyse kısalma, çekme kuvvetinin etkisindeyse uzama şeklinde ortaya çıkmaktadır.

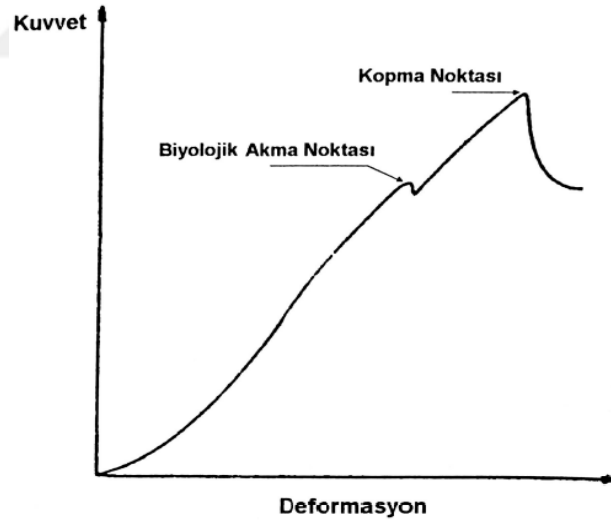
Tarımsal ürünlerin yük altındaki davranışlarını belirlemede materyallere sabit silindirik yük, çelik bilye ya da düz plakalar ile kuvvet uygulanarak sıkıştırma işlemi uygulanmaktadır. Sıkıştırma işleminde tarımsal ürünler bir bütün veya kesilerek işleme tabi tutulmaktadır.

Şekil 1.8'de materyallere uygulanan farklı mekanik sıkıştırma yöntemleri verilmiştir. Bu sıkıştırma kuvvetleri sonucunda tarımsal ürünlerde deformasyonlar oluşmaktadır.



Şekil 1.8. Farklı mekanik sıkıştırma uygulamaları (Alayunt, 2000)

Şekil 1.9’da sıkıştırma işlemi sonucu ortaya çıkan, kuvvet deformasyon eğrisi yardımıyla elastisite modülü, deformasyon modülü, bükülme noktası, biyolojik akma noktası ve kuvvet noktalarına kadar enerji değerleri elde edilmektedir (Alayunt, 2000).



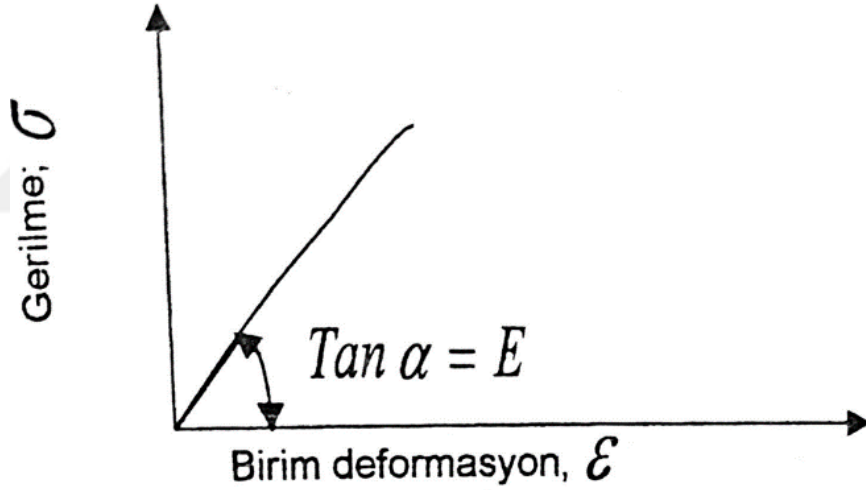
Şekil 1.9. Kuvvet-deformasyon eğrisi (Alayunt, 2000).

Biyolojik akma sınırı: Eğri üzerinde kuvvetin değişmediği ya da deformasyonda bir artış varken kuvvette de bir azalışın olduğu noktadır. Fakat bu nokta çoğu meyve ve sebzelerde bulunmamaktadır. Akma sınırı noktasında materyale zarar vermeden uygulanan kuvvetler belirlendiğinde, biyolojik akma sınırı noktası ürün mukavemetine, meyve eti

sertliğine ve depolama süresine göre değişmektedir (Alayunt, 2000; Sinn ve Özgüven, 1989).

Kopma noktası: Materyalin yük taşıma kapasitesinin maksimum olduğu noktadır. Bu nedenle kopma noktasında kuvvet deformasyon enerjisi önemli bir rol oynamaktadır. Kopma noktasında, kuvvet yüklü materyalde kırılma, çatlama ve bozulma gibi durumlar görülmektedir. Bu durum grafikteki eğrinin sürekli bir azalma göstermesiyle ortaya çıkmaktadır (Vatandaş vd., 2002; Alayunt, 2000).

Şekil 1.10'da ise gerilme ve birim deformasyon eğrisi arasındaki ilişki görülmektedir. Bu ilişki ile elastisite modülü elde edilmektedir. Elastisite modülü meyve ve sebzeler de kullanılan sertlik terimi yerine geçmektedir. Elastisite modülü, kullanılan sıkıştırma aleti ve kullanılan tarımsal ürünlerin, boyut ve biçimine bağlı olarak değişik şekillerde belirlenmektedir. Elastisite modülü materyallerin hasat işleminden sonra tabii tutuldukları işlemlerde kullanılan alet ve ekipmanların tasarımı için gereklidir (Gümüsoğlu vd., 2006; Alayunt, 2000).



Şekil 1.10. Gerilme birim deformasyon eğrisi (Alayunt, 2000)

1.4.1. Çarpma Mekaniği ve Darbe Testleri

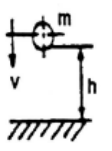
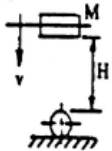
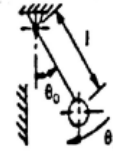

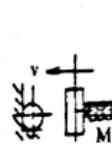





Çarpma mekaniği: Biyolojik malzemelerde çarpma anında ortaya çıkan gerilim dalgaları, darbe alan bölgede yayılma göstermektedir. Bu duruma gelişmiş çarpma teorisi adı verilmektedir.

Çarpma mekaniğinde çarpma teorisi, dalga teorisi olarak ortaya konulmuş ve aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır:

- İlk deformasyon anında temaslı bölgede kalıcı bir deformasyon olmadan eski haline dönmesi
- Dinamik basınç etkili olduğunda, plastik deformasyon başlangıcında materyalin eski haline dönmemesi
- Elastoplastikten tam plastiğe geçinceye kadar devam eden deformasyon
- Elastik geri dönme esnasında, iki cisminde elastik gerilim toplaması,

Çarpmalar elastik değilse materyalde oluşan kinetik enerji, deformasyona ve daha sonrada ısı enerjisine dönüşmektedir. Sıkıştırma anında oluşan deformasyonlarda sıkıştırılan materyalin sıçrama enerjisi, potansiyel enerjisi ve tüketilen enerjisinden yararlanılarak bulunmaktadır. Sıkıştırma ya da darbe esnasında kuvvet altındaki materyalin yapısında değişiklikler oluşmaktadır. Çarpma kuvvetleri genellikle materyal hasat edildikten sonra paketlenme sırasında yoğunlukla görülmektedir (Alayunt, 2000; Şahin vd., 2020; Çelik ve Akıncı, 2016).

Darbe testleri: Tarımsal ürünlerin belirli yüksekliklerden bırakılması, yerde sabit duran materyal üzerine bir kütle düşürülmesi, yaylı mekanizma ile sıkıştırma ya da pendulum (sarkaç) gibi yöntemlerle yapılmaktadır (Şekil 1.11).

Kinematik Tanımlamalar	Serbest Düşme	Ağırlık Düşmesi	Basit Sarkaç	Sarkaçla Vurma	Ani Sıkıştırma
					
Sıkışmanın Başlangıcında Materyalin Kinetik Enerjisi	mgh	sıfır	$mgL(1 - \cos\theta_0)$	sıfır	sıfır
Başlangıç Enerjisi	$h; E_1 = mgh$	$H = m/Mh$	$\theta_0 = \cos^{-1}(1 - h/L)$	$\theta_0 = \cos^{-1}(1 - mh/Mr)$	$v = (2mgh/M)^{1/2}$
Başlangıç Hızı	$h; v = (2gh)^{1/2}$	$H = h$	$\theta_0 = \sin^{-1}(K\sqrt{2h/l})$	$\theta = \sin^{-1}(K/L\sqrt{2hR})$	$v = (2gh)^{1/2}$
Sıkıştırma Sırasında Temas Kuvvetleri	 tek kuvvet	 iki kuvvet	 bir büyük kuvvet	 iki büyük kuvvet	 iki büyük kuvvet

Şekil 1.11. Tarımsal materyallere uygulanan farklı dinamik sıkıştırma uygulamaları (Alayunt, 2000)

Kuvvet etkisine maruz kalan tarımsal materyallerin içerisinde yer alan partiküller, kendi içerisinde de titreşme özelliği göstermektedir. Genelde bu iç yapıdaki titreşimler ihmal edilerek hesaplamalara dahil edilmemektedir. Dinamik testlerde etken faktörlerin sıralanışı şu şekildedir:

- Vurma sayısı,
- Vurma süresi,
- Vurma kuvveti,
- Yükseklik,
- Ürün sertliği,
- Biyolojik yapı (Alayunt, 2000).

Günümüzde kaliteli ürün üretimi ve ürünün pazara talebi önemli hale gelmiştir. Sadece kaliteli ürün üretmek artık yeterli olmamakla birlikte sınıflandırma ve paketlenme anında da kalitenin korunması amaçlanmaktadır. Çilek ticaretinde en önemli kriter, meyvenin kaliteli ve deformasyona uğramamış olmasıdır. Meyvenin olgunluk evresini belirleyen kızarıklık, meyvenin kalitesinin belirlenmesini sağlayan birinci faktördür. Çeşitlere ait farklı büyüklüklere sahip olan meyveler, üreticilerin ekonomik kayıplarına sebep olabilmektedir (Atay vd., 2009). Meyve sınıflandırma yöntemleri meyvenin boyutuna, ağırlığına, şekline, zedelenmesine, rengine göre yapılmaktadır.

Zedelenmeler meyvelerin darbe, sıkıştırma gibi çeşitli statik ve dinamik dış kuvvetlere maruz kalması sonucu ortaya çıkmaktadır (Akçakal ve Saraçoğlu, 2019). Ayrıca zedelenmeler, nakliye esnasında meyvelerin gösterdiği hareketlilik durumuna göre de ortaya çıkmaktadır. Zedelenmeler sonucunda meyveler deformasyona uğrayarak (iç ve dış), hücre deformasyonu bakımından değişikliğe uğramaktadır.

Günümüzde tarımsal ürünlerin işlenmesi, temizlenmesi, taşınması ve depolanmasında kullanılan makinaların tasarımı için fiziksel özelliklerinin bilinmesi gereklidir (Saraçoğlu vd., 2015). Ayrıca ısı ve kütle transferlerinin doğru modellenmesi için meyvelerin hacimleri ve projeksiyon alanlarının bilinmesi gerekmektedir (Kheiralipour vd., 2008). Ağırlık sınıflandırılmasında ise meyvelerin kütle, boyut ve projeksiyon alanları arasındaki ilişkilerin belirlenmesi ve taşıma esnasında meyvelerin farklı meyve eksenlerindeki pozisyonuna göre statik yüklere maruz kalması sonucuyla oluşacak olan deformasyonlara karşı dayanıklılık gösterebilmesi için yük altındaki davranışları analiz edilerek biyolojik dayanım noktası,

deformasyon, deformasyon enerjisinin bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada Aydın yöresinde yetiştiriciliği yapılan beş farklı çilek çeşidinin (Rubigen, Fortuna, Festival, Sabrina, 406) hasat ve hasat sonrası işlemlerine yönelik olarak bazı seçilmiş fiziksel özellikleri (boyut, kütle, hacim, yoğunluk, küresellik, projeksiyon alanı, yüzey alanı, geometrik ortalama çap), mekanik özellikleri (meyve tutunma kuvveti, meyve eti sertliği, statik sürtünme katsayısı, zedelenme alanı, absorbe edilen enerji, esneklik katsayısı, statik ve dinamik yük altında davranışları) ve nem değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Saraçoğlu vd. (2010a), yabani ve limon ayva çeşidi meyvelerinin bazı fiziksel ve hidrodinamik özellikleriyle ilgili yaptıkları çalışmada, statik yuvarlanma katsayılarını farklı yüzeylerde incelemiştir. İncelemeler sonucunda en yüksek yuvarlanma katsayı değerleri kauçuk yüzeyinde, en düşük değer ise çelik yüzeyinde elde etmişlerdir. Ayrıca çalışmada geometrik ortalama çap, küresellik, yüzey alanı, projeksiyon alanı, kritik hız ve su içinde sürtünme kuvveti değerlerini elde ederek sonuçları karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmada yapılan analiz sonucu parametreler arasındaki farkı %1 seviyesinde önemli bulmuşlardır.

Saraçoğlu vd. (2010b) Satsuma mandarin çeşidinin farklı yüksekliklerden farklı yüzeylere düşürülerek, sıçrama özelliklerini incelemiştir. Çalışmada elde edilen sıçrama katsayılarının, düşme yüksekliğinin artması sonucu azaldığını, çarpma esnasında da absorbe edilen enerji değerlerinin yükseldiğini gözlemlemiştir.

Sonuç olarak yapılan çalışmada yüzey ve yükseklik değişimlerinin sıçrama katsayısı ve absorbe edilen enerji değerleri üzerinde istatistiksel olarak %5 seviyesinde önemli olduğunu belirlemiştir.

Ayrıca çalışmada, farklı yüzeyler üzerinde elde edilen statik sürtünme katsayı değerlerinin istatistiksel analizi sonucunda, parametreler arasındaki fark %1 seviyesinde önemsiz bulunmuştur. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada en yüksek sürtünme katsayı değerini kauçuk yüzeyinde, en düşük değeri ise karton yüzeyinde elde etmişlerdir.

Kabaş (2010) çalışmasında bazı turunçgil meyvelerinin boyutsal özellikleri, kütlesi, geometrik ortalama çap, küresellik gibi fiziksel özelliklerini belirlemiştir. Çalışmada elde edilen verilere göre; turunçgil sınıflandırma makinesinin boyut sınırlarını 51,37 mm ile 107,53 mm arasında ayarlanabilir şekilde olması gerektiğini belirlemiştir. Ürün ağırlığına göre yapılacak olan sınıflandırma makinelerinin ise kütle sınırının 63,58 g ile 400,45 g arasında ayarlanabilir olması gerektiğini bulmuştur.

Çelik ve Akıncı (2016) çalışmalarında çarpma etkisi altında kalan armut meyvelerinin zedelenme hacmini, doğrusal olmayan dinamik sonlu elemanların analiziyle belirleyebilmek için fiziksel ölçüm ve testler yapmışlardır. Çalışmada kullanılan armut çeşitlerinin, kendi aralarında çarpması ve bu çarpışma sonucu ortaya çıkan, zedelenme hacimleri ile yapısal

gerilmelerin zamana bağılı değişimini belirlemişlerdir. Çalışmada, ortaya çıkan çarpma durumları simüle edilerek; meyvelerin çarpışmaları sonucunda elde edilen maksimum eşdeğer gerilme değerleri, çarpan meyve için 0,395 MPa, çarpılan için 0,538 MPa, zedelenme hacimlerini ise sırasıyla 6278,40 mm³ ve 30197,41 mm³ olarak bulunmuştur.

Çevik (2013), kırmızı ve yeşil domateste olgunlaşma evresinin fiziko-mekanik özellikleri üzerindeki etkisini bulmak amacıyla, sıkıştırma test düzeneğinden yararlanmıştır. Yapılan testin sonucunda, kabuk yırtılma noktası, deformasyon oranı, kuvvet, elastiklik modülü, deformasyon enerjisi, meyve sertliği, penetrasyon enerjisi, gevşeme oranı gibi bazı özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, elastiklik modülünün domatesler arasında önemli bir fark yarattığını, ayrıca sertlik durumunun da olgunluk seviyesindeki domatesler için önemli olduğu belirlenmiştir. Domatesler arasında gevşeme oranını, yeşil domateslerde önemli bulurken kırmızı domateslerde önemsiz olduğunu bulunmuştur. Bununla birlikte bu çalışmada absorbe edilen enerjinin ve elastiklik modülünün önemli olduğu bulunurken, domateslerin olgunluk durumunun da deformasyon oranını etkilediğini, kırmızı domateste deformasyonun fazla, yeşil domateste ise az olduğu bulunarak önem seviyesi belirlenmiştir.

Gül vd. (2020) çalışmalarında domates meyvelerinin fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerine, meyvelerin olgunluk döneminin ve muhafaza sürelerinin etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada domatesin geometrik, hacimsel ve renk özellikleri, X-Y eksenlerinde domateslerin kabuk yırtılma kuvveti, deformasyon, deformasyon enerjisi, statik sürtünme katsayısı, sap kopma direnci, pH, suda çözülebilen kuru madde oranı gibi özelliklerini belirlemişlerdir. Muhafaza sürelerine göre domates meyvelerinde hem boyutsal hem de ağırlık olarak azalma olduğunu, muhafaza süresi arttıkça sürtünme katsayı değerlerinin ve pH değerlerinin arttığı sonuncuna ulaşmışlardır. Ayrıca domateslerde olgunluk seviyesi arttıkça, deformasyon miktarının arttığını, kuvvet ile ezilme miktarının ters orantılı olduğunu ve domates meyvelerinin esnek bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Altuntaş vd. (2008) Fuyu Trabzon hurması çeşidinin bazı fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmalarında, statik sürtünme katsayılarındaki en yüksek değeri lastik yüzeyde gösterdiğini, en düşük değerinde cam yüzeyde gösterdiğini bulmuşlardır.

Penetrometre ile yaptıkları sertlik ölçümünde değeri 20 N, biyolojik materyal test cihazında yapılan sertlik ölçümünde ise değeri 32,2 N olarak bulmuşlardır. Yapılan çalışmada geometrik ortalama çap, meyve ağırlığı ve yüzey alan değerlerini sırasıyla 63,5 mm, 146,1 g

ve 127,1 mm² olarak bulmuşlardır. Ayrıca çalışmada kabuk renk ölçüm değerlerini, meyvelerin pH değerini, suda çözünebilir kuru madde miktarını da bulmuşlardır.

Yurtlu vd. (2012) Hayward kivi meyvesinin statik yük altındaki zedelenme hassasiyetini belirleyerek, ortalama, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmalarını elde etmişlerdir. Depolama süresinde sıkıştırma yükünü, elastiklik derecesini, zedelenme hacmini ve etkileşimin mekanik histerezis özelliklerini inceleyerek, elde ettikleri değerlerin varyans analizini yapmışlardır. Sıkıştırma yükü için kullanılan batıcı uç testindeki ölçümlerde, depolama sürenin kabuk yırtılma kuvveti üzerindeki etkisini araştırarak mekanik histerezisi, elastiklik derecesi ve zedelenme hacmi ile olan ilişkisini belirlemişlerdir. Çalışmada kullanılan materyalin kabuk yırtılma kuvvetini de belirlemişlerdir. Yaptıkları varyans analizi sonucunda depolama süresinin kabuk yırtılma üzerindeki etkisini, sıkıştırma yükünün mekanik histerezis üzerindeki etkisini, elastiklik derecesinin zedelenme hacmi üzerindeki etkisini %1 ve %5 önem seviyesinde önemli olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca hasat zamanında ölçülen kabuk yırtılma kuvvet değerini 21,60 N ölçerken 120. gününde 8,69 N olarak ölçmüşlerdir. Bu durumu depolama süresine bağlı olarak, hasattan 2 ay sonra meyvelerin hızlı bir şekilde yumuşama göstermesi ile açıklamışlardır.

Altıkat ve Temiz (2019) çalışmalarında Iğdır ilinde yetişen kayısı çeşitlerinin (Ordubat, Teberze, Şalak) fiziko-mekanik ve bazı kimyasal özelliklerini belirleyerek; boyut, ağırlık, delme direnci, hacmi, farklı yüzeylerdeki sürtünme katsayısı, yoğunluk, suda çözünebilir kuru madde miktarı ve pH değerlerini belirlemişlerdir. Çeşitler arasında en, boy, kalınlık ve geometrik ortalama çap değerlerinde en yüksek değerleri sırasıyla Şalak, Ordubat ve Teberze çeşitlerinde bulmuşlardır. Çalışmada çeşitlerin hacim ve yoğunluğun ağırlık ile arasındaki ilişkisini inceleyerek aralarında doğrusal bir orantı elde etmişlerdir. En yüksek ağırlık, hacim ve yoğunluk değerlerini Şalak çeşidinde, en yüksek statik sürtünme katsayısını Teberze çeşidinde ve en yüksek delme direncini ise Şalak çeşidinde bulmuşlardır. Ayrıca delme direncinin belirlenmesinde en hassas kaysı çeşidinin Ordubat olduğunu tespit etmişlerdir. Çeşitler içerisinde Ordubat çeşidinin kuru madde değeri bakımından en zengin, pH değeri bakımından ise en düşük olduğunu bulmuşlardır.

Taşova ve Güzel (2017) İstanbul vişne çeşidinin hasat, temizleme, sınıflandırma ve depolama işlemlerinde kullanılan makine ekipmanların tasarımına yönelik fiziko-mekanik özellikleri ile renk parametrelerini belirlemişlerdir. Ayrıca çalışmada ürün hasat olgunluğu ile kalite farklılığına da bakmışlardır. Bu çalışmada meyvenin uzunluk, genişlik, kalınlık, geometrik ortalama çap, tek tane ağırlığı, tek meyve hacmi, yüzey alanı, porozite değerleri,

farklı yüzeylerde dinamik sürtünme katsayı değerleri ve sap kopma kuvvet değerlerini belirlemişlerdir. Ayrıca meyvenin hasat ve hasat sonrası rengine göre sınıflandırma işlemini yaparak, meyvenin birincil renk değerlerini (L, a, b), kırmızılık indeksini, hue açısı değerlerini ve ortalama kroma değerlerini de hesaplamışlardır.

Vursavuş vd. (2015) çalışmalarında domates sertliğinin mekanik hasarsız çarpma tekniğine göre sınıflandırma işlemini yapmışlardır. Düşük çarpma enerjisine sahip olan yanıl çarpma aletini kullanarak yaptıkları ölçümlerde, çarpma ivmesini ivme algılayıcı sayesinde hesaplamışlar ve ana çarpma parametrelerini bulmuşlardır. Hasarlı ve hasarsız çarpma parametrelerinin karşılaştırılmasıyla, hasarlı parametre ölçümlerinde kabuk yırtılma noktasında ortaya çıkan kuvvet deformasyon oranını, domates sertliği olarak ifade etmişlerdir. Sertliklerin, hatalı sınıflandırma ihtimalini en aza indirmek için kümeleme analizini ve doğrusal ayırma analizini kullanmışlardır. Çalışmada üç çarpma parametresi yerine on çarpma parametresi kullanılarak domateslerin sınıflandırma hassasiyetinin %81,82'den %82,96'ya yükseldiğini bulmuşlardır.

Altuntaş ve Erdoğan (2017) yenibahar meyvesinin ve tohumunun, bazı fiziksel özelliklerini belirleyerek geometrik ortalama çap, yüzey alan, hacim, gerçek ve yığın hacim ağırlığı, renk özelliği, mekanik özelliği (X-Y eksenlerinde) ve sürtünme katsayı değerlerini belirlemişlerdir. Yenibahar meyvesi tohumlara göre daha küresel, gerçek hacim ağırlığına göre daha yüksek ve yığın hacim ağırlığının da daha düşük değerde olduğunu bulmuşlardır. Yenibahar meyvesi ve tohumlarından elde ettikleri en düşük sürtünme katsayı değerlerini cam yüzeyde bulmuşlardır. Çalışmada yapılan sıkıştırma testleri sonucunda, kopma kuvvetini X ekseninde daha düşük bulmuşlardır. Ayrıca yenibahar meyvelerini kurutma işlemine tabi tutarak nem içeriğini %12-14 arasında bulmuşlardır.

Eraltan (2005) Dixire ve Earlyre şeftali çeşitlerinin mekanik özelliklerini ve depolanma süresi etkinliğini araştırmıştır. Çalışmasında paketleme öncesi ve sonrası işlemlerde oluşan çarpma, sıkıştırma ve titreşim durumuna bağlı olarak şeftalide oluşan zedelenmeleri hesaplamıştır. Zedelenme hassasiyeti için hasat sonrası depolanma sürelerini 0, 7, 14, 21 ve 28 gün şeklinde belirleyerek, çarpma enerjilerini sırasıyla 0,1-0,2-0,3 ve 0,4 J olarak bulmuştur. Bu sonuçların zedelenme hacmi üzerindeki etkisini belirlemek için varyans analizini kullanmışlardır. Çalışmada depolama süreleri ve çarpma enerjilerinin analizleri sonucunda %1 önem seviyesinde, zedelenme hacmi üzerinde etkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca depolama süresi ve çarpma enerjisindeki değişimler ile zedelenme hacmindeki değişimlerin doğrusal orantıda bir yol izlediğini belirlenmiştir.

Usta ve Öztekin (2017) şeftali çeşitlerinde çarpma parametreleri ile zedelenme parametreleri arasındaki ilişkileri belirleyerek, meyvenin statik ve dinamik dış kuvvetlerin etkisi altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmada Glohaven, J. H. Hale ve Loring çeşitlerini kullanarak sarkaç yöntemiyle, çarpma parametrelerini bulmuşlardır. Sarkaç kol boyunu 50 cm alarak, meyveleri farklı düşme yükseklerinde ve farklı çarpma yüzeylerinde (çelik, çelik üzerinde sönümleyici olarak kullanılan poron ve vinlex yüzeyleri) deneye tabi tutmuşlardır. Meyveler iki farklı bölgelerinden çarptırılarak zedelenme alanlarını elde etmişlerdir. Denemelerin sonucunda en yüksek zedelenme alanının çelikte, en düşük ve birbirine yakın sonuçlarında poron ve vinlex yüzeylerinde elde etmişlerdir. Elde ettikleri veriler doğrultusunda en iyi sönümlenme etkisine sahip olan yüzeyin poron olduğunu bulmuşlardır. Çeşitlerin ölçülen çarpma yüzeyi ve zedelenme alan değerlerini regresyon analizi ile değerlendirerek, regresyon denklemlerinin belirtme katsayı değerlerini 0,90-0,99 arasında, pik ivme değerlerinin de 0,95-0,99 arasında olduğunu bulmuşlardır.

Şahin vd. (2020) çalışmalarında siyah ve beyaz yaban mersini meyvelerinin fiziksel, mekanik, kimyasal ve renk özelliklerini belirlemişlerdir. Beyaz renkli yaban mersini meyvelerinin siyah renklilere göre daha büyük ve ağırlık, hacim ve geometrik ortalama çap değerlerinin de daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca siyah yaban mersini meyvesinin yüzey alan değeri beyaz yaban mersinine göre düşük olduğunu belirtmişlerdir. Siyah yaban mersini meyvesinin meyve eti ve meyve kabuk rengini %74,13 oranında daha koyu olduğunu, beyaz mersin meyvelerinin ise dala tutunma kuvvetinin daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Beyaz ve siyah yaban mersini meyvelerinin, X-Y eksenlerinde yükleme hızına göre delme kuvvet değerleri artarken, X ekseninde ortaya çıkan değerler daha yüksek olduğunu, deformasyon açısından da Y eksenindeki değişimin fazla olduğunu ortaya koymuşlardır. Sıkıştırma kuvvet ve deformasyon değerlerinde de yükleme hızlarına göre X-Y eksenlerinde artış gözlemlenirken, değişimin X ekseninde daha fazla olduğunu belirlemişlerdir.

Yurtlu (2003) meyve ve sebzelerde bazı mekanik özelliklerin ve zedelemeye karşı duyarlılığın belirlenmesi için sıkıştırma test ölçüm düzeneğiyle, çarpma test düzeneğini geliştirmiştir. Geliştirdiği düzeneklerde deneme materyali olarak 147-F1 ve Rawa-F1 hıyar çeşitlerini, EF-49 ve Joker domates çeşitlerini, Williams ve Ankara armut çeşitlerini, Starkspur Golden Delicious ve Starking elma çeşitlerini kullanmıştır. Bu ürünleri özelliklerine göre farklı koşullar ve sürelerde depolayarak, 3 gün arayla toplamda 12 depolama süresinde, materyaller üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Yapılan denemeler sonucunda:

Hıyar çeşitleri için yapılan sıkıştırma işlemi sonucunda, çeşitler arasında zedelenme duyarlılığını önemsiz bulurken, farklı depolama sürelerinin %1 önem seviyesinde çeşitler üzerinde etkili olduğunu bulmuştur. Çalışmada depolama süresinin arttırmasıyla elastiklik modülünün arttığını ve buna bağlı zedelenme duyarlılığının da azaldığını bulmuştur.

Domates çeşitlerinde ise yapılan sıkıştırma işlemi sonucunda; farklı depolama sürelerinin zedelenme duyarlılığına ve elastiklik modülüne etkisinin %1 ve %5 önem seviyesinde etkili olduğunu bulmuştur. Depolama süresinin artmasıyla çeşitler arasında elastiklik modülünün azaldığını, sıkıştırma duyarlılığının ise arttığını ortaya koymuştur.

Elma çeşitlerinde de yapılan sıkıştırma işlemi sonucunda, depolama sürelerinin zedelenme duyarlılığına etkisini önemli bulmuş ve depolama süresinin artmasıyla birlikte elastiklik modülünde de azalma olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca çeşitlerde farklı depolama sürelerinin çarpma duyarlılığı üzerindeki etkisini %1 önem seviyesinde önemli bulurken, depolama sürelerinin düşme yüksekliğini de istatistiksel olarak etkisi altına aldığını bulmuştur.

Armut çeşitleri içinse farklı depolama sürelerinin zedelenme duyarlılığına etkisinin %1 önem seviyesinde etkili olduğunu ve depo sürelerinin artmasıyla elastiklik modülünün de azaldığını bulmuştur.

Kabaş vd. (2016) nektarin meyvesinin bazı mühendislik parametrelerini belirledikleri çalışmalarında, meyvenin uzunluk, genişlik, kalınlık, geometrik ortalama çap, yüzey alanı, ağırlık, iz düşüm alanı, kopma ve akma kuvveti, kopma ve akma enerjisi, kopma ile akma uzama değerlerini ölçerek minimum, maksimum ve ortalama değerlerini ortaya koymuşlardır. Çalışmada nektarin meyvesinin gösterdiği maksimum akma kuvveti 78,66 N, minimum akma kuvveti ise 35,53 N olarak bulunurken, akma uzama (deformasyon) miktarı ise 5,77 mm olarak bulunmuştur. Meyvenin kopma enerjisi ve akma enerjisini ise sırasıyla 162,04 N.mm ve 56,01 N.mm olarak elde edilmiştir.

Çalışkan ve Vursavuş (2009) portakalda (Washington Navel çeşidi) hasat sonrası işlere yönelik, bazı parametre özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında; uzunluk, genişlik, kalınlık, geometrik ortalama çap, aritmetik ortalama çap, yüzey alanı, ağırlık, iz düşüm alanı, porozite, kabuk ve albedo kalınlığı gibi değerlerini ölçülerek minimum, maksimum ve ortalama değerlerini belirlemişlerdir. Çalışmada kontrollü değişken olan sürtünme yüzeyi ile kayma hızının statik ve dinamik sürtünme katsayıları üzerindeki etkilerinin varyans sonuçlarını elde etmişlerdir. Çalışmada ele alınan parametreler ve etkileşimleri %1 ve %5 oranında önem

seviyesinde etkili olduğunu ve sürtünme katsayısına etki eden sürtünme yüzeyi ile kayma hızının etkileşimini de %1 önem seviyesinde önemli olduğunu sonucuna ulaşımlardır.

Soltani vd. (2011) araştırmalarında muzun farklı olgunlaşma evresindeki fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri belirleyerek, bu ilişkiler arasındaki korelasyon katsayılarını hesaplamışlardır. Çalışmalarında meyvelerin kabuk renk ölçümü gerçekleştirilmiş ve mekanik özellikleri belirlenerek kuvvet deformasyon eğrisini elde etmişlerdir. Meyvelerin olgunluk seviyesi ile mekanik özellikleri arasında %1 önem seviyesini çalışmalarında ortaya koymuşlardır. Kullanılan materyalin olgunluk aşamalarında kopma enerjisinde ve sertliğinde azalma gözlemlenirken, önem seviyeni %5 önemli olarak bulmuşlardır. Ayrıca çalışmada deformasyon analizi sonucunu olgunluğun çeşitli aşamalarını %5 önem seviyesinde önemsiz olarak bulmuşlardır.

Afkari-Sayyah ve Shekarbeigi (2013) çalışmalarında elmanın kritik düşme yüksekliğini ve zedelenme ile ilişkisini belirlemişlerdir. Çalışmalarında, meyve sıcaklığının ve çarpma yüzeylerinin farklılık göstermesiyle ortaya çıkan zedelenmeyi araştırarak, bu iki parametrenin zedelenme alanı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Farklı yüzey ve sıcaklıklarda oluşan zedelenme alanının 0-20 °C arasında sıcaklığın artışı ile azaldığını (0 °C'de 592,5 mm², 20 °C'de 370,3 mm²), 20-30 °C arasında ise sıcaklığın artışı ile arttığını ortaya koymuşlardır.

Kubik ve Kazmirova (2015) çalışmalarında elmanın mekanik özelliklerini belirleyerek, Golden Delicious çeşidine dikey ve yatay konumda sıkıştırma testi uygulamışlardır. Uyguladıkları sıkıştırma testi sonucu ortaya çıkan gerilmeler ile elastisite modülü belirleyerek kopma ve akma noktasını da değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında iki farklı yöntem kullanarak esneklik modülü bulmuşlardır. Birinci yöntem olarak Young teorisi uygulanmış ve yanal yüklemdeki elastisite modülünü 0,6955 MPa, dikey yüklemde ise 1,4253 MPa olarak bulmuşlardır. İkinci yöntemse katı mekaniğinde kullanılan temas gerilmeleri için Hertz denklemlerinin temelinde görülen, elastisite modülünün belirlenme yöntemidir. Bu yöntemde, yanal yüklemde elastisite modülünü 10-25 MPa, dikey yüklemde ise 10-35 MPa arasında olduğunu bulmuşlardır. Çalışmalarının sonucunda, ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda kullandıkları yöntemlerin sonucu ile ortaya çıkan elastisite modül değerlerinin tutarlı olmadığını ortaya koymuşlardır.

Jahanbakhshi (2018) çalışmasında acur meyvesinin bazı mühendislik parametrelerini inceleyerek, bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemiştir. Ölçümlerin değerlendirilmesi

sonucunda acur meyvesinin uzunluğu, kalınlığı ve genişliği arasında büyük farklar olması nedeniyle, meyvenin küresellik oranı düşük bulunmuştur. Araştırmacı çalışmasında sıkıştırma testi ile acur meyvesinin mekanik özelliklerini inceleyerek; elastisite modülünü, deformasyon kuvvetini ve maksimum yük altındaki deformasyonu ölçerek bu parametreleri sırasıyla 0,027 MPa, 309,66 N, 11,96 mm olarak belirlemiştir.

Çalışmanın sonucunda acurun büyüklüğü, uzunluk, genişlik, kalınlık, kütle, hacim ve geometrik ortalama çapıyla doğru orantılı, hacimsel kütleyle (yoğunluk) ters orantılı olduğunu bulunmuştur.

Kabaş ve Ozmerzi (2007) çalışmalarında Cherry domatesi içerisinde yer alan Mosaica, Zucchero çeşitlerinin mekanik özelliklerini inceleyerek; ortalama mekanik kopma direncini, deformasyon enerjisini, spesifik deformasyonu ve elastisite modülünü ölçmüşlerdir. Domates denemelerinde sıkıştırma testinin yükleme hızı $7 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ olarak belirlenmiş ve hızı deneme boyunca sabit tutmuşlardır. Test sırasında sıkıştırma hızından ve süresinden yararlanarak, deformasyon değerini bulmuş ve kuvvet deformasyon eğrisini elde etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada deformasyon enerjisini, kopma kuvvetini, esneklik modülünü, spesifik deformasyonu, Poisson oranının ve deformasyon enerjisinin değerlerini bulmuşlardır. Elde edilen bu parametrelerin analizi yaparak, etkinliklerini %1 önem seviyesinde önemli olarak bulmuşlardır. Çeşitler arasında dinamik ve statik sürtünme katsayıları kauçuk yüzeyde en yüksek değeri verirken, Mosaica çeşidinin dinamik ve statik sürtünme katsayı değerini %1 önem seviyesinde diğer çeşitlerden farklı bulmuşlardır.

Salarikia vd. (2017) çalışmada armut meyvesinin kuvvet altındaki dinamik davranışlarının analizini sonlu elemanla yapmışlardır. Armut meyvesinin mekanik özelliklerini belirleyebilmek için sıkıştırma test düzeneğini kullanmışlardır. Sıkıştırma test cihazında, materyalleri $7 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ sabit hızla, 8 mm çaplı yuvarlak batıcı uç ve alüminyum silindirik bir plakayla sıkıştırma işlemine tabi tutmuşlardır. Çalışmada, sıkıştırma işleminde meyveleri kaliks ekseninde ikiye ayırarak yatay konumda plakaya yerleştirmişlerdir. İşlem sonucu buldukları verilerle kuvvet deformasyon eğrisini elde etmişlerdir.

Ayrıca çalışmada armut meyvesini 207,22 mm yükseklikten sabit bir yüzeye bırakarak simüle etmişlerdir. Yaptıkları denemelerde, simülasyon ortamında darbe yüzeyi olarak çelik, ahşap, perspeks ve kauçuk kullanarak meyvenin düşme yönelim parametrelerini elde etmişlerdir.

Shirmohammadi vd. (2011) çalışmalarında kabak kabuğunun sıkıştırma testi altındaki mekanik davranışlarını incelemişlerdir. Yapılan sıkıştırma testi sonucunda, kabağın dokusundaki mekanik hasarın sonlu eleman modellemesinin ön kısmını yapmışlardır. Ayrıca çalışmalarında kabağın, akma eğrisi, akma kuvveti ve darbelere karşı gösterdiği direnci de hesaplamışlardır. Çalışmada, meyvenin akma kuvvet noktasına ulaşabilmesi için gerekli olan enerjinin, 1,25, 10 ve 20 mm·min⁻¹ yükleme hızlarında sırasıyla 493,75, 507,71 ve 451,71 N·mm olarak bulunmuşlardır. Ayrıca kabak kabuğunun akma noktasındaki ortalama kuvvetini 310 N olarak bulmuşlardır. Kabak kabuklarının ortalama kabuk sertliğini 484.39 N·mm, akma noktasındaki maksimum deformasyonunu 3,62 mm ve ortalama en yüksek gerilmeyi de 6,181 MPa olarak bulmuşlardır.

Alniak (2012) çalışmasında, erik meyvesinin farklı hasat dönemlerindeki bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini inceleyerek nem içeriğini, uzunluğunu, genişliğini, kalınlığını, geometrik ortalama çapını, küreselliğini, şekil indeksini, boşluklu hacim ağırlığını, boşluksuz hacim ağırlığını, poroziteyi, projeksiyon alanını, daldan kopma kuvvetini, sıkıştırma kuvveti altındaki davranışını ve farklı yüzeylerde farklı düşme yüksekliklerini bulmuştur. Yaptığı çalışmada ortaya çıkan değer sonuçlarını varyans analizine tabi tutarak, istatistiksel anlamda önem seviyelerini %1 olarak bulmuştur.

Aliasgarian vd. (2013) çalışmalarında Gaviota ve Selva çilek çeşitlerinin hasat ve hasat sonrası işlemlerine yönelik bazı mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Ayrıca çalışmada çeşit, meyvenin kutu içindeki konumu ve taşıma anındaki kutunun konumu gibi bazı faktörlerin etkisini de araştırmışlardır. Çalışmada meyveler üzerindeki mekanik hasarın; çeşide, hasat dönemine, meyvenin kutu içerisindeki konumuna ve taşıma esnasındaki kutu konumuna önemli derecede bağlı olduğunu ve maksimum hasarın, meyvelerin hasat dönemi toplama esnasında oluştuğunu bulmuşlardır.

Sonuç olarak çalışmada Gaviota çeşidinin mekanik hasara Selva çeşidinden daha fazla duyarlı olduğu bulmuşlardır. Ayrıca meyveleri taşıma esnasında araçlara yerleştirirken, meyve kutularının konumu ve yüksekliğiyle mekanik hasar arasında doğru orantı olduğunu tespit etmişlerdir.

Lien vd. (2009) domates meyve olgunluğunu değerlendirmek için tahribatsız darbe testleri uygulamışlardır. Darbe testlerinde meyvelerin düşme etkisinin sertlik ölçümüne ve sınıflandırılmasına (olgun, yarı olgun ve olgunlaşmamış) yardımcı olduğunu belirtmişlerdir. Düşme esnasında meyvenin zarar görmesi ya da en az zararı görmesi için yöntem olarak

sıkıştırma testi kullanılmıştır. Sıkıştırma sonucu ortaya çıkan deformasyon yardımıyla maksimum tepe kuvvetinin akma noktasından az olduğunu bulmuşlardır.

Ekrami-Rad vd. (2011) nar kabuğunun ve meyvesinin bazı seçilmiş mekanik özelliklerine bakarak sıkıştırma özellikleri ile farklı depolama sürelerinde meyvelerin delinme mukavemetini belirlemişlerdir. Denemede depolama sürelerinin, sıkıştırma işlemi sonucu ortaya çıkan kesme gerilimi hariç diğer parametrelerde %5 önem seviyesinde etkin olduğunu bulmuşlardır. Nar meyvesinde kesme kuvveti, kesme dayanımı ve kesme modülü depolama süresiyle birlikte doğru orantılı olup, sertlik, akma kuvveti ve elastisite modülününse depolama süresiyle ters orantılı olduğunu bulmuşlardır.

Ahmadi vd. (2008) çalışmalarında kayısı meyvesinin, çekirdek içinin ve çekirdek tanelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini ölçmüşlerdir. Bu çalışmada; boyut, kütle, bin dane ağırlığı, hacim, yoğunluk, yığılma yoğunluğu, küresellik, porozite, farklı yüzeylerde statik sürtünme katsayısı, yüzey alanı, geometrik ortalama çap ve kopma kuvvet değerleri incelenmiştir. İncelemelerde kayısı meyvesi, çekirdeği ve çekirdek içinin nem miktarlarını sırasıyla %84,19, %17,01 ve %17,46 olarak bulmuşlardır. Ayrıca yığın hacim ağırlıkları 449,5, 440,78, 406,79 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, tane hacim ağırlıkları 1037,5, 892,63, 983,38 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ve porozite değerlerini de %56,66, %50,62, %52,32 olarak bulmuşlardır. Meyvelerin hacim, ağırlık ve yüzey alan değerlerini sert kabuklu meyvelerden daha yüksek olarak bulmuşlardır. Statik sürtünme katsayı değerlerini kullanılan tüm yüzeylerde, meyve sertliğinin düşük olmasına bağlı olarak yüksek değerlerde elde edilmiştir. Çalışmada 3 ekseninde belirledikleri kopma kuvvet değerlerini dikey konumda 8,23, 372,75, 16,20 N, yatay konumda ise 6,31, 297,34, 32,25 N ve kalınlık konumunda ise 5,87, 300,45 ve 91,22 N olarak ölçmüşlerdir.

Zare vd. (2012) hünnap meyvesinin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri incelenerek nem içeriği %15,5, ortalama uzunluk, genişlik ve kalınlığı dik olarak alınan hünnap meyvesinin ortalama yüzey alanlarını sırasıyla 147,01, 224,08 ve 274,60 mm^2 olarak elde etmişlerdir. Meyvenin ortalama kütesini 1,51 g, ortalama hacmini ve kütle değerini 2672,80 mm^3 , 1,51 g olarak bulmuşlardır. Ayrıca aritmetik ortalama çapını ve eşdeğer çap değerlerini sırasıyla 0,91, 0,89, 926,28 mm^2 bularak, yığın hacim ağırlıkları ile tane hacim ağırlıkları ve poroziteyi de sırasıyla 1,52, 0,3 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, %79,3 olarak belirlemişlerdir. Farklı yüzeylerde incelenen statik sürtünme değerlerinin, yüzeyler arasında kontrplakta en yüksek ve cam yüzeyde ise en düşük değerine ulaşımlardır. Mekanik zedelenme parametrelerinde ise kopma kuvveti, deformasyon, sertlik ve absorbe edilen enerji değerlerini sırasıyla 11,13-19,91 N, 2,53-4,82 mm, 3,06-5,81 $\text{N}\cdot\text{mm}$ ve 20,13-39,08 N aralığında elde etmişlerdir.

Ahmadi (2012) çalışmasında kivi meyvesinin zedelenme duyarlılığıyla lineer çoklu regresyonlar arasındaki en doğru istatistiksel modeli belirlemiştir. Çalışmada regresyon analizlerini kullanarak zedelenme miktarı için akustik test düzeneğinin modelini oluşturmuştur. Zedelenme anında ortaya çıkan enerjilerden biri olan absorbe edilen enerjiyi kullanarak, zedelenme miktarını belirlemiştir. Meyve eti yumuşak olan kivilerin, test esnasında daha fazla enerjiyi absorbe ettiğini, meyve eti sert olan kivilerinse hem zedelenme miktarını hem de absorbe edilen enerji miktarını azalttığını belirtmiştir. Ayrıca kivin yüksek sıcaklıkta daha fazla enerji absorbe ettiğini ve sıcaklığın kararmayı arttırdığını bulmuştur.

Çalışma sonucunda, akustik yöntem, sertlik, sıcaklık eğrilik yarıçapının ve bazı etkileşimlerin de kararma üzerindeki etkisini %5 önem seviyesinde önemli olduğunu belirtmiştir.

Ahmadi vd. (2010) çalışmalarında şeftali meyvesinde zedelenme miktarının önemini, çoklu regresyon analizini kullanarak iki aşamada ortaya koymuşlardır. İlk aşamada, tepe noktasındaki kuvvet ve meyvenin sertliği, sıcaklığı ve eğim açısının zedelenme miktarına etkisini bulmuşlardır. İkinci aşamada ise tepe noktasındaki kuvvet yerine çarpma enerjisi parametresi alınmıştır. Çalışmalarında darbe testlerinde sarkaç yöntemini kullanarak, meyveye üç farklı çarpma seviyesinde dinamik yüklemeye bulunmuşlardır. Yaptıkları denemeler sonucunda meyve özellikleriyle çarpma enerjisi arasında önemli bir bağlantı gözlemlenmiştir. Şeftalide ortaya çıkan zedelenmenin çarpma konumundaki eğim açısına, meyvenin sıcaklığına ve meyve et sertliğe bağlı olduğunu ortaya konmuş ve şeftalinin olgunluk aşamalarındaki artışın, zedelenme duyarlılığını arttırdığını belirlemişlerdir.

An vd., (2020) çilek meyvesinin kolay dokusal bozukluğundan dolayı bazı mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde sıkıştırma test düzeneğini kullanarak meyveleri iki farklı eksende, $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, $3 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ve $5 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ olmak üzere üç farklı sıkıştırma hızında ve 8 farklı yüzdelerde sıkıştırma işlemine tabi tutmuşlardır. Çilekte yükleme esnasında üç farklı deformasyon aşaması (elastik, plastik ve yapısal bozulma) gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda meyvenin kopma noktasının, maksimum deformasyon kuvvetinin ve absorbe edilen enerjinin, sıkıştırma hızına ve yükleme yönüne bağlı olduğunu belirlenmiş, ayrıca sıkıştırma sonrası meyvede oluşan zedelenme yüzdesinin de yalnızca yükleme yönüne bağlı olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca elde edilen zedelenme yüzdesi ile absorbe edilen enerji arasında da güçlü bir korelasyon bulunmuştur.

Bollen vd. (1999) çalışmalarında elmanın zedelenme hacmini tahmini değerlerle, bir kesit ve görüntü analiz tekniğiyle ölçülen gerçek hacmi karşılaştırmışlardır. Hacim ölçümünü, sayesinde ölçerek tahmin ölçülerle karşılaştırma yapmışlardır.

Maness vd. (1992) çalışmalarında dört farklı şeftali çeşidinin darbe testini kullanarak zedelenmeye karşı gösterdikleri direnci ortaya koymuşlardır. Meyvenin olgunluğu, çeşidi, düşme yüksekliği ve meyve et sertliğinin zedelenme miktarını, hacmini, absorbe edilen enerjiyi ve solum ile etilen oluşumunu etkilediğini belirlemişlerdir. Kullanılan şeftali çeşitlerinde deneme boyunca farklı tepkiler elde edilmiş ve darbe testi sonucunda ortaya çıkan darbe enerjilerinin çeşitlerdeki meyve solunumu ile etilen üretimi üzerinde, önemsiz bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. Çalışmanın sonucunda meyve olgunluğu ile düşme yüksekliğindeki artışın, zedelenme hacmiyle doğru orantı gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Chen ve Yeh (2020) çalışmalarında çileğin dış etkenlerden kaynaklanan bazı dokusal hasarlarını sıkıştırma test düzeneğiyle belirlemişlerdir. Sıkıştırma testinde plakları $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ile $5 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ olmak üzere 2 farklı hız üzerinden kullanarak; yapısal bozulma, plastik ve elastik olarak çileğin yüzeyinde oluşan üç farklı deformasyonun ortaya çıkmasını sağlamışlardır. Çileğin yükleme yönüne (X-Y yönü) ve sıkıştırma hızına bağlı olarak, kopma noktasının, absorbe edilen enerjisinin ve zedelenme hacminin farklılık gösterdiğini bulmuşlardır. Ayrıca yaptıkları analizler sonucunda çileğin dış dokusunun iç dokuya göre daha yüksek oranda duyarlılık gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Ferreira vd. (2008) hasat sırasında mekanik yaralanmalara maruz kalan çileğin, mekanik özelliklerini darbe ve sıkıştırma testleriyle belirlemişlerdir. Çalışmada farklı çilek çeşitlerindeki hasar ölçümünü belirlemek için zedelenme hacmini kullanmışlardır. Yapılan her iki test türünde de darbe şiddetlerinin artırılmasıyla, meyvelerde ortaya çıkan zedelenme hacminde artış olduğunu bulmuşlardır. Darbe testi için kullanılan pendulum (sarkaç) düzeneğinde, çilek meyvelerinin yere düşürülen meyvelerden daha fazla zedelenme hacmine sahip olduğunu, darbe enerjisinin $0,040 \text{ J}$ 'den $0,083 \text{ J}$ 'e iki katına çıkmasıyla zedelenme hacminin 7 katına ($13,91 \text{ mm}^3$) çıktığını bulmuşlardır. Farklı yükseklikten bırakılan çileklerin 380 mm yüksekliğinden düşürülmesi sonucunda, kullanılan diğer yüksekliklere göre %71 daha fazla zedelenme hacmini oluşturduğunu ortaya koymuşlardır.

Çalışma sonucunda sıkıştırma işlemine tabi tutulmuş meyvelerin en fazla zedelenme testine karşı duyarlılık gösterdiğini bulmuşlardır. Ayrıca kullandıkları çilek çeşitleri arasından Sweet Charlie çeşidinin sıkıştırma testi sonucunda, diğer çeşitlere göre %40 daha fazla

zedelenme hacmine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Jahromi vd. (2008) çekirdekli ve çekirdeksiz hurma meyvesinin bazı fiziksel özelliklerini belirlemişlerdir. Hurma meyvelerinin kuru bazda nem içeriğini %44,41, ortalama kütle ve hacmini sırasıyla 8,39 g, 10,31 cm³, boyutlarını sırasıyla 32,10-43,50 mm uzunluğunda, 20,50-28,20 mm genişliğinde ve 19,90-26,90 mm kalınlığında bulmuşlardır. Uzunluk, genişlik ve kalınlık boyunca ön görülen izdüşüm alanlarını 462,80 mm², 716,33 mm², 749,86 mm² olarak, yığı hacim ağırlığı ve poroziteyi sırasıyla 0,44 g·cm⁻³, %44,90 olarak ölçmüşlerdir. Ayrıca çalışmalarında geometrik ortalama çapını, küreselliği, yüzey alanını ve 4 farklı yüzeyde statik sürtünme katsayılarını da hesaplamışlardır.

Kitthawee vd. (2011) hindistan cevizinin mekanik zedelenme parametrelerini ölçmüşlerdir. Hindistan cevizinde kuvvet ve darbe sonucu sıklıkla ortaya çıkan zedelenmeler için sıkıştırma ve darbe testlerini uygulamışlardır. Çalışmalarında zedelenme hacmini, sıkıştırma ve darbe enerjisiyle doğrusal olarak ilişkilendirmişlerdir. Meyveyi ezabilmek için gerek duyulan minimum enerji seviyesindeki değişiklikleri göz önüne alarak, genç meyvenin darbe altındaki zedelenme oluşumunu, sıkıştırma işlemine göre daha duyarlı olarak bulmuşlardır.

Öztürk vd. (2009) armut meyvesinin bazı fiziko-mekanik özelliklerini belirleyerek; nem, boyut, geometrik ortalama çap, küresellik, yüzey alanı, kütle, hacim, meyve yoğunluğu, yoğunluk oranı, porozite, statik sürtünme katsayısı, kopma kuvveti, deformasyon, absorbe edilen enerji, meyve sertliği, pH, asitlik, C vitamini, antioksidan aktivite ve mineral elementlerini bulmuşlardır. Çeşitler arasında fiziko-mekanik ve kimyasal özellikleri arasında istatistiksel olarak farklılık (p>0,01) bulmuşlardır.

Polat vd. (2012) nektarin meyvesinin bazı mekanik özellikleri ile zedelenme duyarlılığını değerlendirmişlerdir. Meyvenin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için sıkıştırma ve darbe testlerini uygulamışlardır. Zedelenme duyarlılığının, meyvenin mekanik olarak zarar görmesine bağlı olduğunu bulmuşlardır. Çalışmada sıkıştırma hızını 1 mm·s⁻¹ olarak belirleyerek, test sonucu elde ettikleri verilerle akma noktası, deformasyon enerjisi ve poisson oranını hesaplamışlardır. Darbe testi sonucunda ise absorbe edilen enerjiyi, zedelenme hacmini ve zedelenme duyarlılığını belirlemişlerdir. Darbe testlerini 50 cm uzunluğunda sarkaç (pendulum) düzeneğiyle gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada farklı darbe enerji seviyelerini elde etmek için meyvenin iki yönüyle, üç farklı düşme yüksekliği (30, 40, 50 cm) kullanmışlardır.

Zarifneshat vd. (2010) çalışmalarında Golde Delicious elma çeşidinin dinamik ve statik yük altında ortaya çıkan zedelenmelerini değerlendirmişlerdir. Zedelenme hacmini meyvenin özelliklerine göre hesaplamak için, istatiksel analizleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında regresyon modellerini, darbe kuvveti ve darbe enerjisine dayanarak meyve eğrilik yarıçapı, sıcaklık ve akustik sertlik parametreleriyle oluşturmuşlardır. Akustik sertlik, sıcaklık, eğrilik yarıçapı gibi bazı etkileşimlerin zedelenme üzerindeki etkilerine ait R^2 değerlerini kuvvet modeli ve enerji modeli için %5 önem seviyesinde sırasıyla 0,93 ve 0,98 olarak elde etmişlerdir.

Linden vd. (2006) sarkaç düzeneği yardımıyla üç farklı çeşit domatesin zedelenmeye karşı duyarlılıklarını belirlemişlerdir. Çalışmalarında, kırmızı olgun domateslere düşük 0,024 J, orta 0,073 J ve yüksek 0,171 J olmak üzere üç farklı darbe enerji seviyelerinde domateslere dinamik yükleme uygulamışlardır. Domatesler 20 °C olan oda sıcaklığında tutularak zedelenmenin çarpma konumuna, meyvelerin çeşidine bağlı olduğunu bulmuşlardır.

Topuz vd. (2005) Alanya, Finike, Navel ve Shamouti portakal çeşitlerinin bazı fiziksel ve besinsel özelliklerini belirleyerek; uzunluk, çap, hacim, küresellik, meyve yoğunluğu, porozite, statik sürtünme katsayısı, paketlenme katsayısı, yoğunluk, renk, toplam kuru madde, C vitamini, pH ve bazı mineraller gibi özelliklerinin karşılaştırılmasını yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda meyvelerin C vitamini, şeker ve K, Mg, Ca ve P gibi önemli minerallerin kaynağı olduğunu ve sularında, pH hariç diğer kimyasal özelliklerin istatiksel analiz sonucu farklılık gösterdiğini bulmuşlardır. Portakal meyvesinin belirlenen bazı fiziksel özelliklerinin istatiksel analizleri sonucunda %5, %1, %0,1 seviyelerinde önemli olarak bulunurken, yoğunluk ve porozite parametrelerini de önemsiz olarak bulmuşlardır.

Tabatabaekoloor (2013) çalışmasında iki çeşit şeftali meyvesinin zedelenme duyarlılığını ve bazı mühendislik parametrelerini; boyut, kütle, hacim, yüzey alanı, farklı yüzeylerde statik sürtünme katsayısı, yuvarlanma direnci, sertlik ve sıkıştırılabilirlik gibi fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemiştir. 50, 100, 150 mm olmak üzere üç farklı yükseklikten farklı yüzeylere meyvelerin düşmesini sağlayarak, zedelenme alanı ve hacmini bulmuştur. Çalışmasında iki çeşit arasında küresellik ve alanlarında önemli bir fark bulmamıştır. Çeşitlerin ikisinde de kauçuk yüzeyinin, $p < 0,01$ önem derecesinde diğer yüzeylerden ayrıldığını belirtmiştir. Çeşitlerin zedelenme alanlarının oluşumunda, düşme yüksekliği ile yüzeydeki malzeme $p < 0,01$, zedelenme hacminin de $p < 0,05$ önem seviyesinde etkili olduğunu bulmuştur.

Sharifi vd. (2007) portakalı büyük, orta ve küçük olmak üzere sınıflandırarak bazı fiziksel özelliklerini belirlemişlerdir. Sınıflandırılan üç portakalında fiziksel özellikleri bakımından, birbirinden farklı olduğunu bulmuşlardır. Büyük, orta ve küçük dereceli portakalların porozitesini sırasıyla %44,64, %49,39, %51,2, küreselliklerini ise sırasıyla 0,948, 0,931, 0,923 olarak bulmuşlardır. Meyvelerin kabukları ve etleri neredeyse aynı anda büyüdüğü için sınıflandırmalarda da kabuk oranını aynı bulmuşlardır. Çalışmada ikinci ve üçüncü sınıfların bir paketlenilebileceğini, birinci sınıfın ise tek olarak ayrı paketlenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Ahmadi vd. (2009) çalışmalarında Sonnati Salmas kayısı meyvesinin, çekirdeklerinin ve çekirdek içlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirleyerek; boyut, geometrik ortalama çap, küresellik, hacim, kütle, yığın yoğunluğu, yoğunluk, 1000 dane ağırlığı, statik sürtünme katsayısı, kopma kuvveti vb. özellikleri belirlemişlerdir. Meyve, çekirdek ve çekirdek içlerinin nem içeriklerini sırasıyla %82,34, %16,48, %13,03, yığın hacim ağırlıklarını sırasıyla 443,2, 539,4, 540,1 kg·m⁻³, poroziteyi de sırasıyla 52,87, 48,40, 47,21 şeklinde bulmuşlardır. Çalışmada meyvenin hacmini, kütleini ve yüzey alan değerini, çekirdek ve çekirdek içinden daha büyük bulmuşlardır. Meyvenin farklı yüzeylerde statik sürtünme katsayılarını ölçerek, cam yüzeyde çekirdek ve çekirdek içinin sürtünme katsayılarının daha az olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca çalışmada meyve, çekirdek ve çekirdek içinin kopma kuvvetini uzunluk boyunca sırasıyla 10,11, 497,79, 18,92 N, genişlik ve kalınlık boyunca da sırasıyla 7,98, 322,59, 41,97 N ve 7,01, 337,21, 99.58 N olarak bulmuşlardır.

Hietaranta ve Linna (1999) çalışmalarında Elsanta, Korona, Polka, Senga Sengana ve Venta çilek çeşitlerinin penetrometre cihazı ile sertlik ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. Denemelerinde 6,4 mm çaplı uç kullanarak kuvvet-deformasyon eğrilerini elde etmişlerdir. Çileklerde keskin bir akma noktası olmadığı için; çilek yüzeyi önce gerilerek yavaş yavaş yırtılmaya başladığını ve kabuğun yırtılma noktasını tam olarak ölçemediklerini belirtmişlerdir. Çilek meyve et sertliğinin değerlendirilmesi için maksimum ve ortalama kuvvetlerle, akma noktası ölçümlerinin uygunluğunu test etmişlerdir. Çalışmada maksimum kuvvet değerlerinin, ortalama kuvvet sonuçlarına göre daha fazla farklılık gösterdiğinin bulmuşlardır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Bitkisel Materyal

Çalışma materyalini oluşturan çilek çeşitleri, Aydın ilinin Sultanhisar ilçesinde özel bir tarım işletmesinden 2021 yılı Nisan-Mayıs aylarında hasat edilmiştir. Çalışmada Fortuna, Rubygem, Festival, Sabrina ve 406 olmak üzere beş farklı çilek çeşidi kullanılmıştır (Resim 3.1). 406 çilek çeşidi hariç çalışmada kullanılan diğer çeşitler, Ege Bölgesi'nde en yaygın yetiştiriciliği yapılan çeşitlerdir.



Resim 3.1. Çilek çeşitlerinin serada görüntüleri; (a) Fortuna, (b) Rubygem, (c) Festival, (d) Sabrina, (e) 406

Fortuna çilek çeşidi: Kış ve ilkbahar mevsimlerinde üretimi yapılan Fortuna, erkenci özelliğe sahip bir çilek çeşididir. Yıl boyu meyve vermektedir. Meyve ebatları büyük olup orta kırmızı rengindedir. İhracat için uygun bir çeşit olup yola dayanıklıdır (Anonim, 2022b; Anonim, 2022c; Akçay, 2014).

Rubygem çilek çeşidi: Rubygem çilek çeşidi kısa gün meyvesidir. Parlak, iri, tatlı ve kırmızı renkte meyvelere sahip olup kokulu çilekler arasında yer almaktadır. Fide dikimi sonrası erken meyve vermesiyle bilinmektedir. Çilek fideleri taze veya şokludur. Rakımı alçak ve sıcak yerlerde yetişmektedir. Ticari taşımacılığa uygun olup dayanıklıdır (Anonim, 2022b; Anonim, 2022a; Akçay, 2014).

Festival çilek çeşidi: Kısa gün çilek çeşitlerinden biri olan Festival, konik bir şekle sahip olmasından dolayı çilek çeşitleri içerisinde öne çıkmaktadır. Yediveren özellikte olup yıl boyu çilek verir. Meyvelerinin içi açık kırmızı ve dışı ise parlak, koyu kırmızı rengindedir. Ticari taşımacılığa uygun olup dayanıklıdır (Anonim, 2022b; Anonim, 2022a).

Sabrina çilek çeşidi: Kısa gün çeşidi olan Sabrina, yeni bir çeşit olarak görülmektedir. Düzgün, konik ve büyük meyveleri olan bu çeşit, uzun yola karşı dayanıklıdır. Aroması yüksek ve tat bakımından zengin olan Sabrina erken olgunlaşan bir çeşittir (Anonim, 2022d).

406 çilek çeşidi: Büyük ebatlara sahip, meyve kalitesi yüksek olan yola dayanıklı bir çilek çeşididir. Uzun raf ömrüne sahip olan meyve çeşidi sık dikim için uygundur. Çoğu bitki hastalıklarına karşı dayanıklı olup Türkiye’de üretimi çok nadir yapılmaktadır.

3.1.2. Deneme Materyalleri



Resim 3.2. Tutunma kuvveti ölçümlerinde kullanılan mekanik el dinamometresi

Çalışmada, metrik skala ile çeki ve bası kuvvetlerine sahip ve ölçüm kapasitesi 10 kgf ile 0,05 kg olan Resim 3.2’de verilen el dinamometresi yardımıyla, meyvelerin hasat anında meyve tutunma kuvvetleri ölçülmüştür.

Meyve et sertliğinin ölçülmesi için 196 N x 0,05 N kapasiteli PCE-FM200 marka dijital el penetrometresi kullanılmıştır (Resim 3.3). Ölçümlerde 6 mm kalınlığında uç kullanılarak, çalışmada kullanılan meyvelerin dar ve geniş yüzey olmak üzere iki farklı bölgesinden meyve et sertliği ölçülmüştür.



Resim 3.3. Meyve eti sertliği ölçümünde kullanılan dijital el penetrometresi

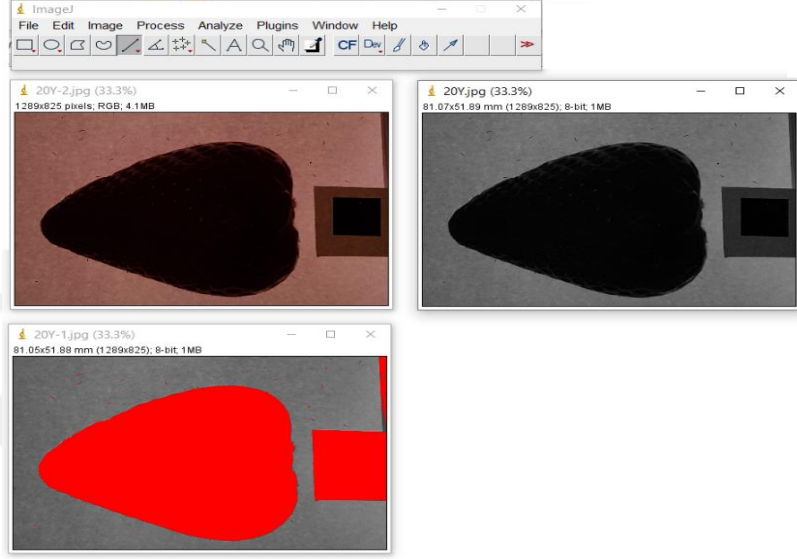
Denemelerde kullanılan çilek çeşitlerinin boyut ölçümlerinin belirlenmesi amacıyla Resim 3.4’de verilen Mitutoyo marka dijital kumpas kullanılmıştır.

Meyvelerin kütle ölçümünde, Şekil 3.4’de 0,01 g duyarlılıkta ölçüm yapabilen Denver marka elektronik terazi kullanılmıştır.



Resim 3.4. (a) Etüv cihazı, (b) Dijital kumpas

Çilek meyvelerinin projeksiyon alanlarının belirlenmesi amacıyla her bir çilek çeşidinin iki temel eksende, 1 cm²'lik kalibrasyon yüzeyi ile dijital fotoğrafları çekilerek, elde edilen görüntüler bilgisayara aktarılarak Image J görüntü işleme programıyla analiz edilmiştir (Resim 3.5).



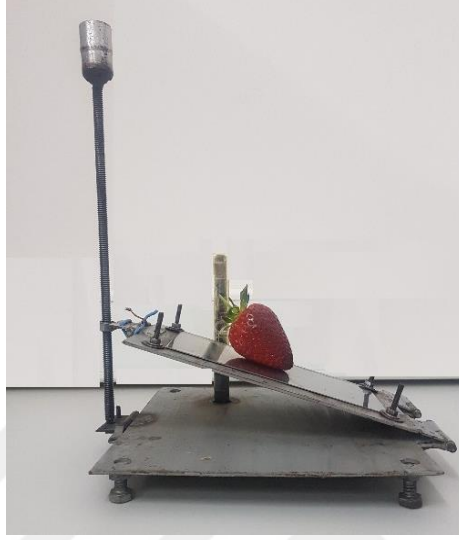
Resim 3.5. Image J programı ile projeksiyon alanının belirlenmesi

Çalışmada Resim 3.6'da görülen, maksimum 1000 fps özellikte, en az 210 fps hızında görüntü kaydedebilen Casio EX-FH20 marka kamera kullanılmıştır.



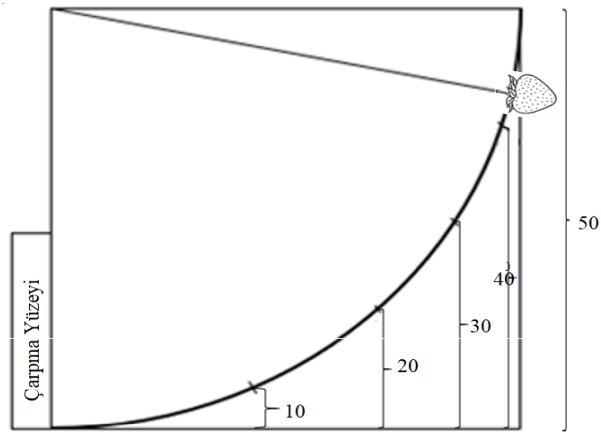
Resim 3.6. Sürtünme açısı ölçüm düzeneği

Çilek çeşitlerinin statik sürtünme katsayılarının belirlenmesinde Resim 3.7’de verilen eğimi ayarlanabilir bir test cihazı kullanılmıştır. Eğimi ayarlanabilir test cihazında statik sürtünme katsayılarının belirlenmesi için ahşap, paslanmaz çelik, kauçuk ve karton olmak üzere dört farklı yüzey kullanılmıştır.



Resim 3.7. Sürtünme açısı ölçüm düzeneği

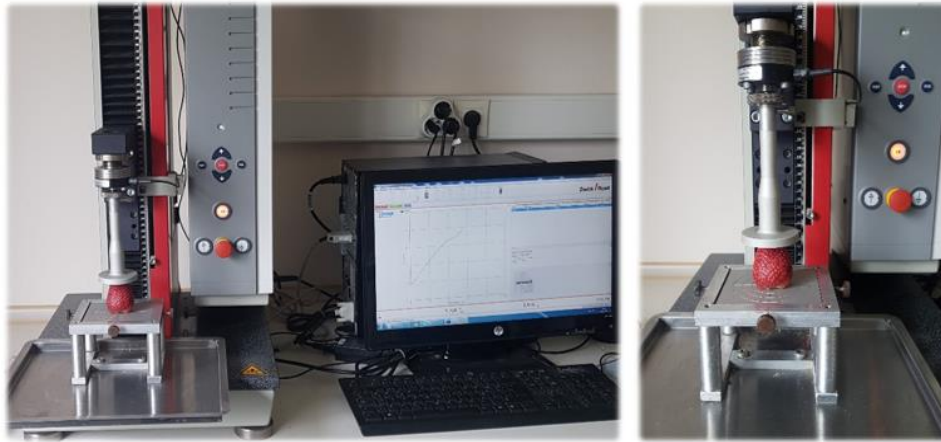
Fortuna, Rubygem, Festival, Sabrina ve 406 çilek çeşitlerinde, çarpma testinde istenilen değerlerin belirlenebilmesi için Şekil 3.1’de görülen basit sarkaç (pendulum) düzeneği kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Basit sarkaç düzeneği (pendulum)

Sarkaç düzeneği; 50 cm yarıçaplı bir dairenin, dörtte birini alarak üzerine 1 cm aralıklarla, 4 farklı açı (0,4 m, 0,3 m, 0,2 m, 0,1 m yüksekliklere karşılık gelecek şekilde) belirlenerek yatay çizgilerle ölçeklendirilmiştir. Numuneler 50 cm uzunluğunda bir ipe bağlanarak çeyrek daire merkezine tutturulmuş ve üzerlerine siyah mürekkep sürülen ahşap, çelik, kauçuk olmak üzere üç farklı çarpma yüzeyi kullanılmıştır. Kullanılan yüzeyler hasat ve hasat sonrası işlemlere yönelik çarpma yüzeyleri göze alınarak belirlenmiştir.

Çilek meyvelerinin yük altındaki davranışlarının belirlenebilmesi için ise meyveler sıkıştırma testine tabi tutulmuştur. Sıkıştırma işlemleri için Aydın Adnan Menderes Üniversitesi TARBIYOMER laboratuvarında bulunan, Şekil 3.8’de görülen maksimum ölçüm kapasitesi 500 N olan Zwick-Roell marka universal test cihazı kullanılmıştır. Test cihazı düz proba sahiptir. Sıkıştırma işlemi, materyallerin iki platform ortasına yerleştirilmesi, çalışmada belirlenen kriterlerin cihaza girilmesi ve bu kriterler doğrultusunda sıkıştırma işlemi başlamaktadır. Sıkıştırma testinde ön denemeler sonucu belirlenen deformasyon yüzdeleri, meyvelerin sıkıştırma konumundaki probun meyveye ilk değdiği noktadan itibaren yaratmış olduğu deformasyonun yüzde cinsinden değerleridir. Sıkıştırma sonucu ortaya çıkan kuvvet deformasyon verileri, sıkıştırma test cihazına bağlı olan TestXpert 2 yazılım programına sahip olan masaüstü bilgisayara gerçek zamanlı olarak kaydedilmektedir. Bu eğriler bilgisayar ortamında isteğe bağlı olarak Excel formatına dönüştürülerek kaydedilmektedir (Anonim, 2022e).



Resim 3.8. Zwick-Roell üniversal test cihazı

3.2. Yöntem

Çalışma kapsamında çilek çeşitlerinin her birinden 260 adet olmak üzere toplamda 1300 adet numune kullanılmıştır. Meyveler polietilen kaplar içerisinde laboratuvar ortamına taşınmıştır. Örnekler +4 °C sıcaklıktaki buzdolabında muhafaza edilerek denemelerde kullanılmıştır. Ölçümlerden önce örneklerin oda sıcaklığına gelmesi beklenilerek denemeler yürütülmüştür.

3.2.1. Meyvenin Nem Tayini

Çilek meyvelerinde nem içeriğinin belirlenmesi amacıyla; her bir çeşitten alınan beşer numune 4 eşit parçaya bölünerek, etüvde sabit ağırlığa ulaşınca kadar tutulmuştur (Chen ve Yeh, 2020). Sabit ağırlığa ulaşan meyvelerin nem içeriği yaş baza göre aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hesaplanmıştır (Ergüneş ve Taşova, 2018; Darıcı, 2012).

$$n = \frac{W_0 - W}{W_0} \times 100$$

Burada:

n : Nem içeriği (%),

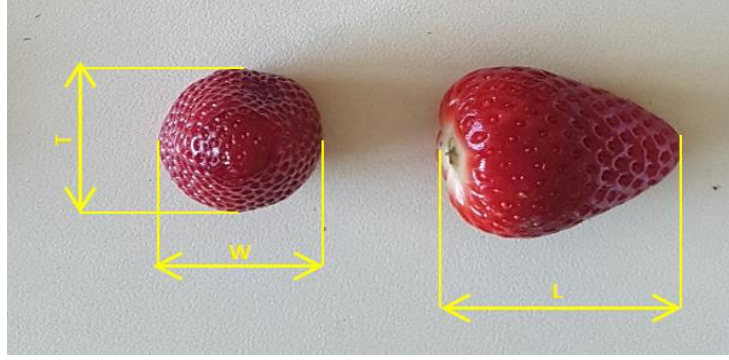
W_0 : Yaş ürün ağırlığı (g),

W : Kuru ürün ağırlığı (g).

3.2.2. Fiziksel Özellikleri

Temel Özellikler

Dijital kumpas yardımıyla ölçülen her çeşitten 40 adet olmak üzere 200 adet materyalin, boyut özellikleri, Resim 3.9'da olduğu gibi meyvelerin belirli eksenleri baz alınarak ölçülmüştür.



Resim 3.9. Çilek meyvesinin boyutları; uzunluk (L), genişlik (W), kalınlık (T)

Dijital kumpas yardımıyla ölçülen değerler kullanılarak, aşağıdaki eşitlikler yardımıyla geometrik ortalama çap değeri, küresellik ve yüzey alan değerleri bulunmuştur (Mohsenin, 1986):

$$D_0 = (L.W.T)^{\frac{1}{3}}$$

$$S_p = \frac{(L.W.T)^{\frac{1}{3}}}{L}$$

$$S = \pi.(r_1 + r_2)[h^2 + (r_1 - r_2)^2]^{\frac{1}{2}}$$

Burada;

D_0 : Geometrik ortalama çap (mm),

L : Uzunluk (mm),

W : Genişlik (mm),

T : Kalınlık (mm),

S_p : Küresellik,

S : Yüzey alanı (mm²)

r_1 : Üst yarıçap (mm),

r_2 : Alt yarıçap,

h : Yükseklik (mm).

Meyvelerin hacim değerlerinin ölçümünde, ölçekli bir kap ve saf su ile su taşıma yöntemi kullanılmıştır (Mohsenin, 1986). Özkütle hesaplaması için aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır:

$$\rho_m = \frac{m}{v}$$

Burada;

ρ_m : Meyvenin özkütlesi ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$),

m : Meyve kütlesi (kg),

v : Gerçek hacim (m^3).

Çilek çeşitlerinin statik sürtünme katsayılarının belirlenmesinde, dört farklı yüzey çilekler meyve sap eksenine dik ve meyve sap eksenine paralel olarak 2 farklı meyve yönünde konuşlanılmıştır. Sürtünme katsayıları, yüzey eğimine bağlı olup aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır (Alayunt, 2000):

$$\mu = \tan\alpha$$

Burada;

μ : Statik sürtünme katsayısı,

α : Yüzey eğim açısı ($^\circ$).

3.2.3. Mekanik Özellikler

Çilek çeşitlerinde zedelenme alanı, absorbe edilen enerji ve esneklik katsayılarının ölçülmesi için basit sarkaç (pendulum) düzeneği kullanılmıştır. Çarpma testinde meyveler, zedelenme alanlarının belirlenebilmesi için farklı yüksekliklerden, farklı yüzeyler üzerine serbest bırakılmadan önce yüzeyler üzerine mürekkep sürülmüştür. Farklı yüksekliklerden farklı mürekkepli yüzeylere serbest bırakılan meyvelerin, ilk çarpan yüzeyleri belirlenerek zedelenme alanları bulunmuştur. Farklı yüksekliklerden serbest bırakılan meyvelerin

yüzeyle çarpması sonucu oluşan sıçrama hareketleri, kamerayla kaydedilmiş ve ilk sıçramadan sonra tekrar çarpmayı engelleyecek şekilde çileklere müdahale edilmiştir. Kayıt altına alınan görüntüler bilgisayar ortamında analiz edilerek geri sıçrama yükseklikleri belirlenmiştir.

Çarpma testi sonucunda ise meyvede oluşacak olan zedelenme, esneklik katsayısını etkilemektedir. Dört tekerrürlü yürütülen denemelerde elde edilen esneklik katsayı değerleri aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır:

$$e = \sqrt{\frac{h_1}{h_2}}$$

Burada;

e : Esneklik katsayısı,

h_1 : Sıçrama yüksekliği (m),

h_2 : Düşme yüksekliği (m).

Absorbe edilen enerji, çarpma yüksekliği ve meyve kütlesiyle ilişkilidir. Absorbe edilen enerji aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır (Saraçoğlu vd., 2010b):

$$E_{abs} = m \cdot g \cdot (h_2 - h_1)$$

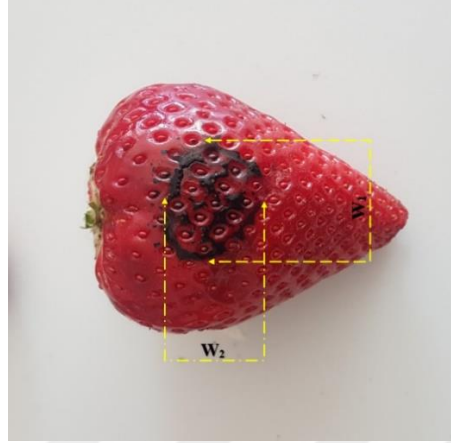
Burada;

E_{abs} : Absorbe edilen enerji (J),

m : Meyve kütlesi (kg),

g : Yerçekimi ivmesi ($m \cdot s^{-2}$),

Farklı yüksekliklerden bırakılan meyvelerin, farklı yüzeylere çarpması sonucunda oluşan zedelenme alanı (Resim 3.10) aşağıdaki eşitlik sayesinde hesaplanmıştır (Saraçoğlu vd., 2010b):



Resim 3.10. Zedelenme alan boyutları

$$A_b = \frac{\pi}{4} w_1 \cdot w_2$$

Burada;

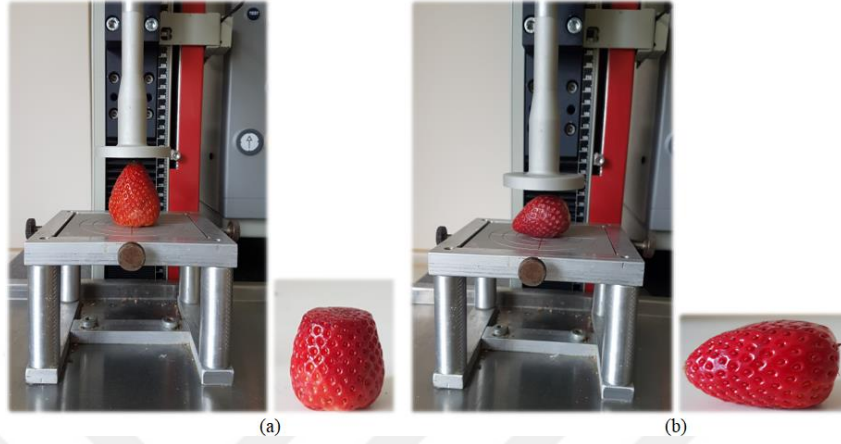
A_b : Zedelenme alanı (mm²),

w_1 : Elipsoid zedelenme alanı geniş eksen çapı (mm),

w_2 : Elipsoid zedelenme alanı dar eksen çapı (mm).

Çilek meyvelerinin yük altındaki davranışlarının belirlenebilmesi için kullanılan sıkıştırma testinde, meyveler problar arasına Resim 3.11’de görüldüğü gibi meyve sap eksenine dik ve meyve sap eksenini doğrultusunda olmak üzere iki farklı konumda yerleştirilmiştir. Sıkıştırma testinde cihazda sıkıştırma hızı 3 mm·s⁻¹ alınmıştır. Ayrıca çalışmada deformasyonların elde için %5, %15, %25, %35, %45 olmak üzere beş farklı deformasyon yüzdesi kullanılmıştır. Sıkıştırma işlemi sonucu ortaya çıkan çoklu eğri deformasyon grafikleri eş zamanlı olarak bilgisayara kayıt edilmiştir. An vd., (2020) çilek ile yaptıkları çalışmalarında üç farklı sıkıştırma hızını (1 mm·s⁻¹, 3 mm·s⁻¹, 5 mm·s⁻¹) ve dört

farklı deformasyon yüzdesi (0, %2,5, %5, %7,5, %10, %15, %20, %40 ve %60) olarak denemelerini meyve sap eksenine dik ve meyve sap eksenine doğrultusunda olmak üzere çilekleri iki farklı konumda konumlandırarak gerçekleştirmişlerdir.



Resim 3.11. (a) Sap eksenine doğrultusunda (b) Sap eksenine dik

Sıkıştırma işlemi esnasında ortaya çıkan deformasyon ve deformasyon enerjisi aşağıda yer alan eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Aydın ve Çarman, 1997):

$$\Delta D = V \cdot t$$

Burada;

ΔD : Deformasyon (m),

V : İlerleme hızı ($m \cdot s^{-1}$),

t : Grafikten okunan zaman değeri (s).

$$E_A = \frac{\Delta D \cdot F_{max}}{2}$$

Burada;

E_A : Deformasyon enerjisi (J),

F_{max} : Maksimum deformasyon kuvveti (N).

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Nem Parametreleri

Çilek hassas bir meyve yapısına sahip olduğu için hasat zamanı hasat işleminin çok dikkatli yapılması gerekmektedir. Ferreira vd. (2008), çalışmalarında mekanik hasarın ana kaynağının hasat zamanı toplama esnasında oluştuğunu söylemişlerdir. Çilek meyvelerinin hasat işleminde de meyvelerin nem içeriği hasada önemli bir derecede etki etmektedir. Nem içeriği meyvelerin depolardaki saklanma koşullarından, raf ömrüne kadar etki etmektedir. Nem değerleri kontrol altında tutulmadığı takdirde, meyvelerde mantar hastalığı gibi çeşitli hastalıkları ya da meyve kalitesinde bozulmalar ortaya çıkmaktadır. Çalışma sonucunda çeşitlerin nem değerleri; Rubygem %85,64 ($\pm 1,56$), Sabrina %87,67 ($\pm 2,27$), Fortuna %85,05 ($\pm 3,36$), Festival %86,14 ($\pm 1,48$) ve 406 ise %89,99 ($\pm 0,67$) olarak bulunmuştur. Çeşitlerde nem içeriği en fazla 406, en düşük ise Fortuna çeşidinde bulunmuştur. Çilek meyvelerinin muhafazası için depolama zamanı soğuklama işlemi yapılmaktadır. Gonçalves vd., 2010 kestane ile yaptıkları çalışmalarında, kestane meyvesinin raf ömrünün kısa olmasının nedenini, yüksek nem içeriğinden kaynaklandığı bulmuşlardır. Bu nedenle meyvelerin ömrünü uzatmak için soğuklama işlemi ya da çoğunlukla kurutma işlemine tabi tutulduğunu belirtmişlerdir.

4.2. Fiziksel Parametreleri

Çizelge 4.1’de çilek çeşitlerine ait dört farklı yüzeyde elde edilen (karton, çelik, kauçuk ve ahşap) ortalama sürtünme katsayısı değerlerinin varyans analizi ve Duncan test sonuçları verilmiştir. Farklı yüzeyler üzerinde çileklerin sürtünme katsayı değerlerindeki ortalama değişiklikler, çeşitler arasında değerlendirildiğinde sırasıyla Sabrina (0,43), Festival (0,38), Rubygem (0,36), Fortuna (0,33) ve 406 (0,31) en yüksek değerleri verdiğini ve Duncan testine göre de çeşitler Sabrina, Festival-Rubygem, Fortuna-406 şeklinde olmak üzere 3 farklı grupta yer almıştır. Çizelge 3’te yapılan varyans analizine göre sürtünme katsayı değerinin %5 önem seviyesinde çeşitler arasında önemli, sürtünme yüzeyine göre önemsiz olduğu

belirlenmiştir. Meyvelerin sap eksenine doğrultusunda ve sap eksenine dik olmak üzere iki farklı ekseninde gerçekleştirilen sürtünme testlerinde, meyve eksenine doğrultusunda elde edilen sürtünme katsayısı değeri 0,26 bulunurken, meyve sap eksenine dik yöndeki sürtünme katsayısı değeri 0,46 olarak elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan yüzeylerde ise sürtünme katsayı değeri tüm çeşitleri kapsayacak şekilde, en yüksek kartonda (0,38) ve en düşük ise ahşapta (0,35) elde edilirken, yüzeyler varyans analizi sonucunda %5 önem seviyesine göre önemsiz olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Çilek çeşitlerinin ortalama sürtünme katsayı değerleri varyans analizi ve Duncan test sonuçları (Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir)

Çeşit	Ortalama (Std Spm)	Minimum	Maksimum	Önem Seviyesi
Sabrina	0,43 (0,16) ^a	0,19	0,70	0,000
Festival	0,38 (0,12) ^b	0,18	0,51	
Rubygem	0,36 (0,08) ^b	0,18	0,58	
Fortuna	0,33 (0,13) ^c	0,18	0,60	
406	0,31 (0,13) ^c	0,12	0,70	
Yüzey				
Karton	0,38 (0,12)	0,14	0,70	0,236
Çelik	0,36 (0,13)	0,12	0,65	
Kauçuk	0,36 (0,13)	0,16	0,67	
Ahşap	0,35 (0,13)	0,12	0,60	
Yön				
Meyve sap eksenine doğrultusunda	0,26 (0,06)	0,12	0,53	0,000
Meyve sap eksenine dik	0,46 (0,09)	0,16	0,70	

Çalışmada kullanılan beş farklı çilek çeşitlerine ait bazı fiziksel özelliklerin ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.2’de görülmektedir. Çizelge incelendiğinde çeşitler arasındaki tüm fiziksel özelliklere ait fark %5 önem seviyesine göre önemli bulunmuştur. Çilek çeşitlerinin fiziksel özellikleri, uzunluk, genişlik, kalınlık değerleri çeşitler için sırasıyla; 49,52 mm, 37,44 mm, 34,40 mm olarak Fortuna çeşidinde, 49,33 mm, 31,16 mm, 27,34 mm Sabrina çeşidinde, 31,84 mm, 27,71 mm, 24,88 mm Festival çeşidinde, 61,64 mm, 51,18 mm, 45,37 mm 406 çeşidinde ve Rubygem çeşidinde de 44,41 mm, 36,61 mm, 34,24 mm olarak bulunmuştur. Çeşitlere ait fiziksel boyutlar karşılaştırıldığında 406 çilek çeşidinin kütle ve hacim değerleri, yüzey alanı ile yanal ve dikey projeksiyon değerleri diğer çeşitlerden daha yüksek bulunmuştur. Kütle değerleri arasındaki farkın %5 önem seviyesinde önemli olduğu görülmektedir. Ayrıca yapılan Duncan testinde kütle ve hacim değerleri, yüzey alanı ile yanal ve dikey projeksiyon değerleri uzunluk, genişlik, kalınlık ve küresellik değerlerinin

sınıflandırılması yapılmıştır. Küresellik ve özkütle değerlerinin ise Festival (0,88) ve Fortuna (988,86 kg.m⁻³) çeşitlerinde daha yüksek olduğu bulunmuştur. An vd., (2020) çileği dört gruba ayırarak yaptıkları çalışmada, çileğin geometrik ortalama çap, küresellik, yüzey alanı, kütle ve özkütle değerlerini sırasıyla 3,44-3,56 cm, 0,84-0,86 ile 37,52-40,22 cm², 12,31-12,97 g ve 1,005-1,018 g·cm⁻³ aralıklarında bulmuşlardır. MANOVA ile yaptıkları analiz sonucunda %5 önem seviyesine göre dört grup arasında fiziksel parametrelerde farklılık bulamadığını belirtmişlerdir. Çileklerin temel özellik parametrelerine, çeşit farklılıkları, hasat zamanı olgunlukları, şekilleri ve iç yapılarındaki boşluk gibi birçok parametre etkinlik gösterdiği için elde edilen değerler değişkenlik gösterebilmektedir.

Geometrik ortalama çap değerleri 406, Fortuna, Rubygem, Sabrina ve Festival çeşitleri için sırasıyla 52,26 mm, 39,92 mm, 38,14 mm, 34,71 mm, 27,96 mm; küresellik değerleri ise Festival, Rubygem, 406, Fortuna ve Sabrina çeşitleri için sırasıyla 0,88-0,86-0,85-0,81-0,71 şeklinde elde edilmiştir. Ayrıca yapılan Duncan testi sonucunda küresellik sınıflandırmasında 406 ve Rubygem çeşitleri aynı sınıflandırma içerisinde bulunmuştur.

Çizelge 4.2. Çilek çeşitlerinin ortalama fiziksel özellikleri değerlerine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları (Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir)

		Ortalama (StdSpm)	Minimum	Maksimum	Önem Seviyesi
Özkütle (kg.m ⁻³)	Fortuna	988,86 (95,26) ^a	847,54	1564	0,040
	Sabrina	924,28 (90,63) ^b	615,25	1352,68	
	Festival	954,38 (369,37) ^{ab}	531,6	2030	
	406	913,32 (59,96) ^b	634,71	1051,58	
	Rubygem	925,97 (94,66) ^b	569,21	1254,9	
Hacim (cm ³)	Fortuna	29,48 (5,40) ^b	20	42	0,000
	Sabrina	26,23 (6,18) ^c	15	41	
	Festival	13,73 (5,19) ^d	4	27	
	406	67,07 (10,65) ^a	45	90	
	Rubygem	28,17 (6,40) ^{bc}	15	43	
Kütle (g)	Fortuna	28,92 (4,69) ^b	19,29	39,82	0,000
	Sabrina	24,06 (5,39) ^d	15,65	37,96	
	Festival	11,50 (2,77) ^e	6,64	18,94	
	406	61,05 (9,33) ^a	41,26	84,72	
	Rubygem	26,01 (6,26) ^c	14,62	43,79	
Yanal Projeksiyon (cm ²)	Fortuna	13,60 (1,88) ^b	10,29	19,11	0,000
	Sabrina	12,96 (2,22) ^b	8,91	18,53	
	Festival	7,10 (1,39) ^c	4,05	10,5	
	406	27,29 (3,99) ^a	19,43	37,3	
	Rubygem	12,86 (3,76) ^b	7,95	40,6	

Çizelge 4.2. Çilek çeşitlerinin ortalama fiziksel özellikleri değerlerine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları (Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir) (devamı)

Dikey Projeksiyon (cm ²)	Fortuna	10,51 (1,46) ^b	7,2	14,54	0,000
	Sabrina	8,79 (1,63) ^c	5,44	12,97	
	Festival	6,29 (1,18) ^c	4,03	9,7	
	406	20,17 (2,63) ^a	15,74	27,49	
	Rubygem	10,81 (1,90) ^b	7,02	16,16	
Uzunluk (mm)	Fortuna	49,52 (3,63) ^b	41,82	58,77	0,000
	Sabrina	49,33 (5,17) ^b	38,66	60,75	
	Festival	31,84 (3,72) ^d	24,78	41,86	
	406	61,64 (4,55) ^a	43,4	71,79	
	Rubygem	44,41 (4,69) ^c	33,23	56	
Genişlik (mm)	Fortuna	37,44 (2,32) ^b	31,84	43,94	0,000
	Sabrina	31,16 (3,39) ^c	21,94	38,09	
	Festival	27,71 (2,46) ^d	22,45	33,15	
	406	51,18 (3,54) ^a	44,97	62,9	
	Rubygem	36,61 (3,38) ^b	25,56	44,24	
Kalınlık (mm)	Fortuna	34,40 (2,40) ^b	29,11	39,95	0,000
	Sabrina	27,34 (3,31) ^d	21,42	35,24	
	Festival	24,88 (2,30) ^e	18,96	30,32	
	406	45,37 (2,67) ^a	38,38	51,33	
	Rubygem	34,24 (3,22) ^c	26,58	40,5	
Geometrik Ortalama Çap (mm)	Fortuna	39,92 (2,25) ^b	35,32	45,2	0,000
	Sabrina	34,71 (3,33) ^d	27,56	41,94	
	Festival	27,96 (2,41) ^e	23,37	33,69	
	406	52,26 (2,78) ^a	43,9	58,56	
	Rubygem	38,14 (3,31) ^c	31,11	45,35	
Küresellik	Fortuna	0,81 (0,04) ^c	0,72	0,92	0,000
	Sabrina	0,71 (0,05) ^d	0,62	0,87	
	Festival	0,88 (0,05) ^a	0,78	1,02	
	406	0,85 (0,04) ^b	0,77	1,01	
	Rubygem	0,86 (0,04) ^b	0,74	0,99	
Yüzey Alanı (mm ²)	Fortuna	8271,63 (933,67) ^b	6607,86	10766,86	0,000
	Sabrina	7352,59 (1375,72) ^c	4752,93	10588,85	
	Festival	3989,04 (744,57) ^d	2573,73	5980,71	
	406	13988,82 (2111,52) ^a	8314,60	20090,53	
	Rubygem	7269,09 (1238,87) ^c	4799,89	10400,91	

4.3. Mekanik Parametreler

Çilek meyvelerinin hasat işlemi genellikle, geleneksel yöntem olan elle yapıldığı için meyvelerin tutunma kuvveti ve meyve eti sertliği önemli bir faktör olmaktadır. Nem içeriği meyvelerin depolardaki saklanma koşullarından, raf ömrüne kadar etki etmektedir.

Çizelge 4.3'te beş farklı çilek çeşidine ait tutunma kuvvetlerinin varyans analizi verilmiştir. Çizelge incelendiğinde tutunma kuvvetinin çeşitler arasındaki ilişkisi %5 önem seviyesine göre önemli bulunup, çeşitler Duncan testine göre dört farklı grupta sınıflandırılmıştır. Çeşitler arasında ortalama tutunma kuvveti en yüksek Fortuna (3 N) ve en düşük Sabrina çeşidinde (2,27 N) bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Çilek çeşitlerinin tutunma kuvveti değerlerine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları (Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir).

Çeşit	Ortalama (Std Spm)	Minimum	Maksimum	Önem Seviyesi
Fortuna	3,00 (0,79) ^a	1,37	4,02	
Sabrina	2,27 (0,64) ^c	0,98	3,14	
Rubygem	2,69 (0,356) ^{ab}	2,16	3,43	0,002
406	2,73 (0,189) ^{ab}	2,35	3,04	
Festival	2,51 (0,69) ^{bc}	0,98	3,53	

Çizelge 4.4'de çilek çeşitlerinin geniş ve dar yüzey olmak üzere iki farklı yöndeki meyve eti sertliği değerlerinin varyans analizi sonucu verilmiştir. Analiz sonucunda çeşitler arasındaki eti sertliği %5 önem seviyesine göre önemli ($p < 0,05$), meyve yüzeylerine göre ise önemsiz olduğu bulunmuştur ($p > 0,05$). Aliasgarian vd. (2013), yaptıkları çalışmalarda meyve eti sertliğinin, çalışmalarında kullandıkları Gaviota ve Selva çilek çeşitlerinde önemli derecede farklılık gösterdiğini söylemişlerdir. Çizelgede Duncan testi sonucunda ise çeşitlerde Sabrina ayrı grupta, 406 ve Festival aynı grupta, Fortuna ve Rubygem aynı grupta olmak üzere üç farklı grupta sınıflandırılmıştır.

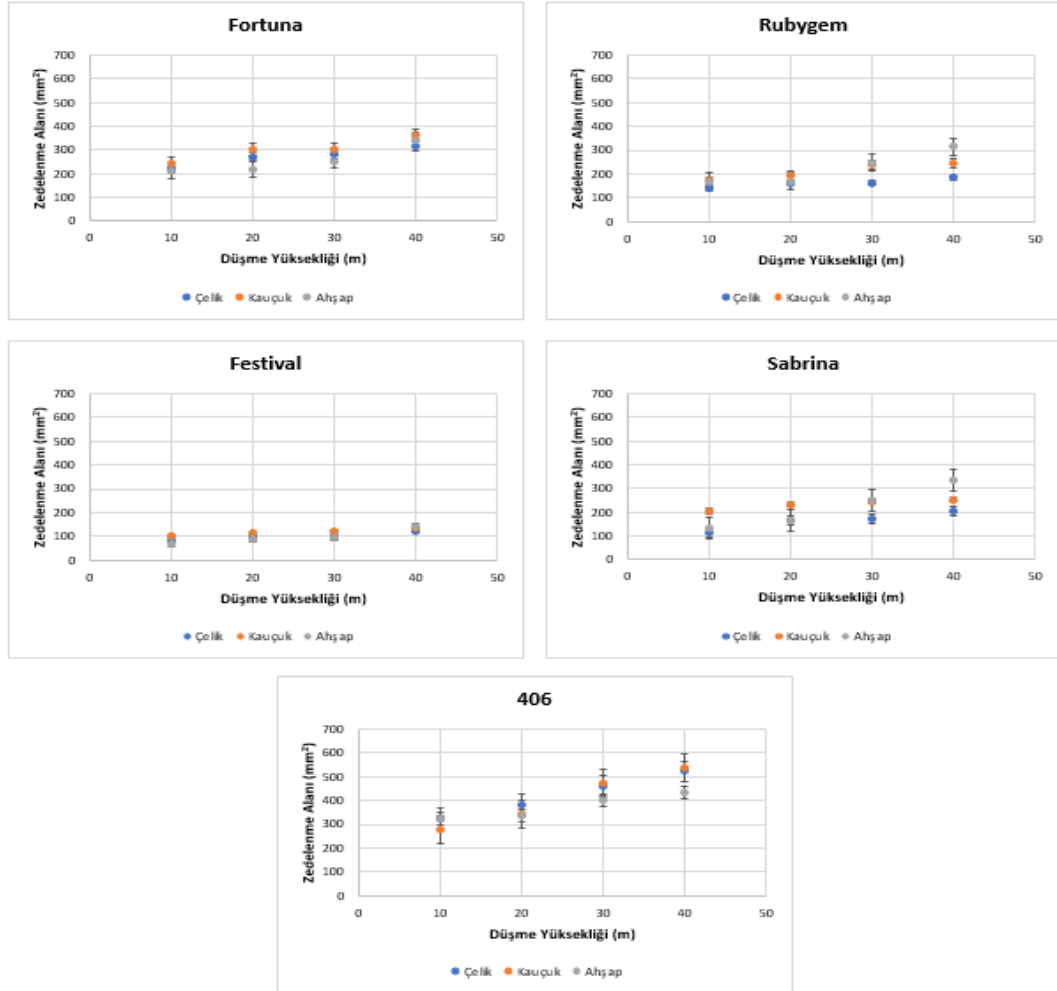
Çizelge 4.4. Çilek çeşitlerinin farklı yönlerdeki sertlik değerlerine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları (Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir).

Çeşit	Ortalama (Std Spm)	Minimum	Maksimum	Önem Seviyesi
Fortuna	5,78 (1,05) ^c	4,25	7,3	
Sabrina	10,10 (1,61) ^a	7,75	13	
Rubygem	5,63 (0,54) ^c	4,8	6,45	0,000
406	7,74 (0,98) ^b	5,95	8,95	
Festival	8,57 (2,18) ^b	5,2	11,95	
Yüzey				
Geniş Yüzey	7.33 (1.92)	4.25	11.35	0,451
Dar Yüzey	7.80 (2.42)	4.45	13	

Sabrina, Fortuna, Rubygem, 406 ve Festival çilek çeşitleri dört farklı yükseklikten (0,10, 0,20, 0,30, 0,40 m), üç farklı yüzeye (kauçuk, çelik, ahşap) serbest bırakılması sonucu, Şekil 4.1’de meyvelerde ortaya çıkan zedelenme alanı ile düşme yüksekliği, Şekil 4.2’de absorbe edilen enerji arasındaki ilişki görülmektedir.

Şekil 4.1’de görülen grafiklerde, tüm çeşitler için düşme yüksekliğinin artmasıyla birlikte zedelenme alanının da arttığı görülmektedir. Zedelenme alanları yüksekliğe bağlı değişiklik gösterirken bu değişime çarpma yüzeyleri de etki etmektedir. Çalışmada kullanılan farklı yüzeylerin yumuşaklığı çarpma esnasında ortaya çıkan gerilim dalgalarındaki titreşimlerin sönmülmesine etki etmektedir. Materyallerdeki kalıcı deformasyon temas edilen yüzeye ve materyalin çeşitine göre değişiklik gösterebilmektedir. Benzer şekilde Afkari-Sayyah ve Shekarbeigi (2013), çalışmalarında elmanın farklı yüzeylerde ve yüksekliklerde kritik düşme yüksekliğinin belirlenmesi ile zedelenmeyle ilişkilerini belirlemek için “Golden Delicious ve Red Delicious” çeşitlerini kullanmışlardır. Çalışmalarında Golden Delicious çeşidinin farklı çarpma yüzeylere göre Red Delicious çeşidinden daha dayanıklı olduğunu bulmuşlardır. Her iki çeşit için kullanılan yüzeylerin kritik düşme yükseklikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduklarını bularak, düşme yüksekliğinin artmasına bağlı olarak, zedelenme alanında artış olduğunu belirlemişlerdir. Usta ve Öztekin (2017), çalışmalarında şeftali çeşitlerinin çarpma parametreleri ile zedelenme arasındaki ilişkilerini belirleyerek, çeşitlerin çarptırılan bölgelerinde ve çarpma yüzeyinde oluşan zedelenme alanlarının, çalışmada kullanılan farklı düşme yüksekliklerine bağlı olarak farklılık gösterdiğini bulmuşlardır. Çalışmalarında düşme yüksekliğinin artış göstermesi ile zedelenme alanının da arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Saraçoğlu vd., (2011), çalışmalarında sofralık zeytin meyvesinin zedelenme ve mühendislik parametrelerini belirleyerek, iki farklı zeytin çeşidi

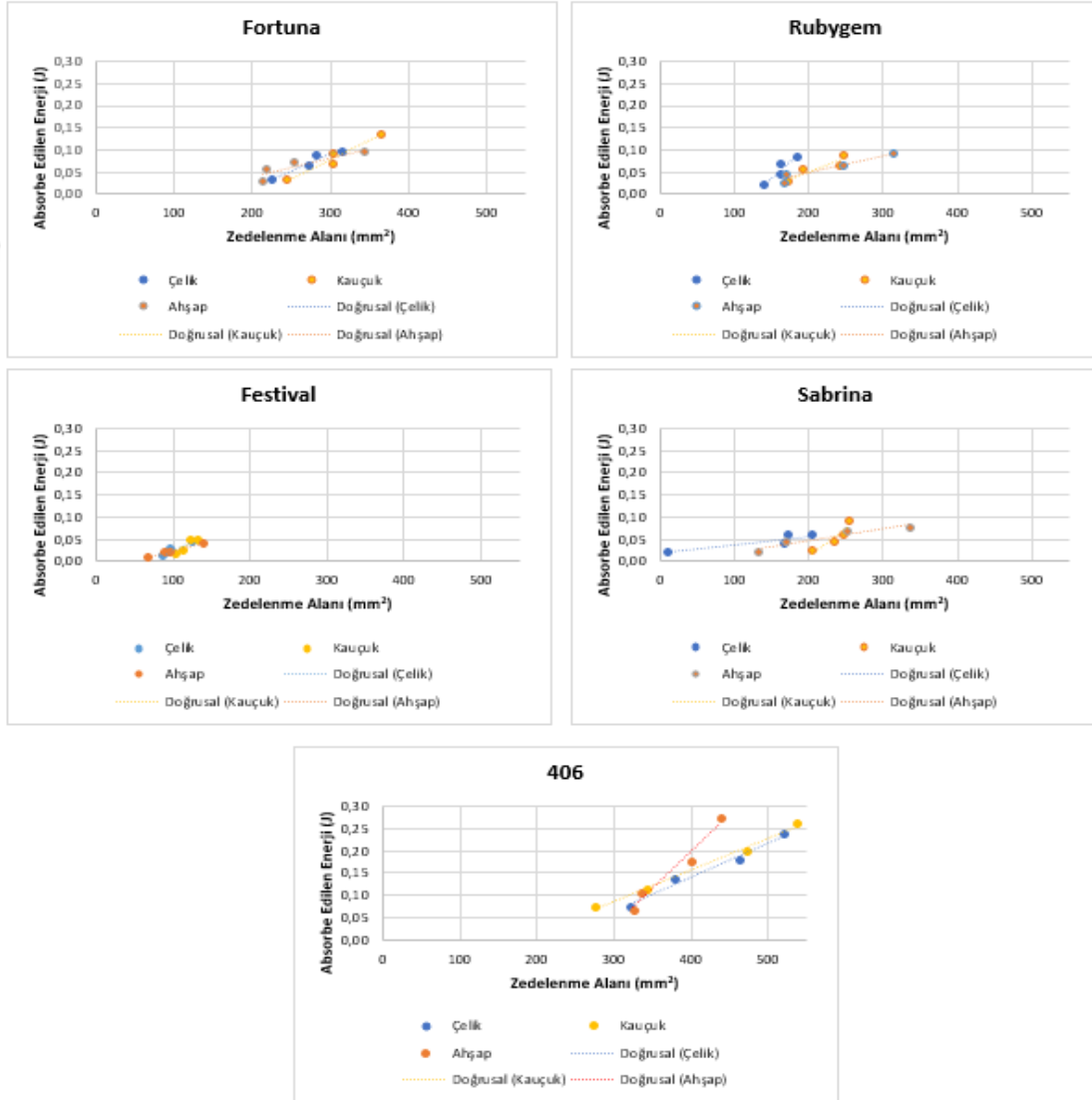
için çelik, ahşap ve kauçuk olmak üzere üç farklı çarpma yüzeyinde 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m, 2,5 m, 3,5 m, 4,5 m olmak üzere altı farklı düşme yüksekliğinde zedelenme alanı ve zedelenme hacmini bulmuşlardır. Çalışmada düşme yüksekliği ile zedelenme miktarının doğru orantılı olduğu sonucuna vararak, yüksekliğin artması ile zedelenme miktarının arttığı sonucuna ulaşmışlardır.



Şekil 4.1. Çiçek çeşitlerine ait zedelenme alanı ve düşme yüksekliği arasındaki ilişki

Zedelenme alanı ve absorbe edilen enerji ilişkisi incelendiğinde (Şekil 4.2), çeşitlerin zedelenme alanının artmasıyla absorbe edilen enerjinin arttığı bulunmuş ve buna bağlı aralarında doğrusal bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 4.2 incelendiğinde çiçek çeşitlerinde ortalama en yüksek absorbe edilen enerji değeri ahşap yüzeyinde ve 406 çiçek çeşidinde bulunurken, en düşük değer ise ahşap yüzeyinde ve Festival çeşidinde bulunmuştur. Saraçoğlu vd., (2012), ayva meyvesi ile yaptıkları çalışmada kullandıkları çarpma yüzeyinin

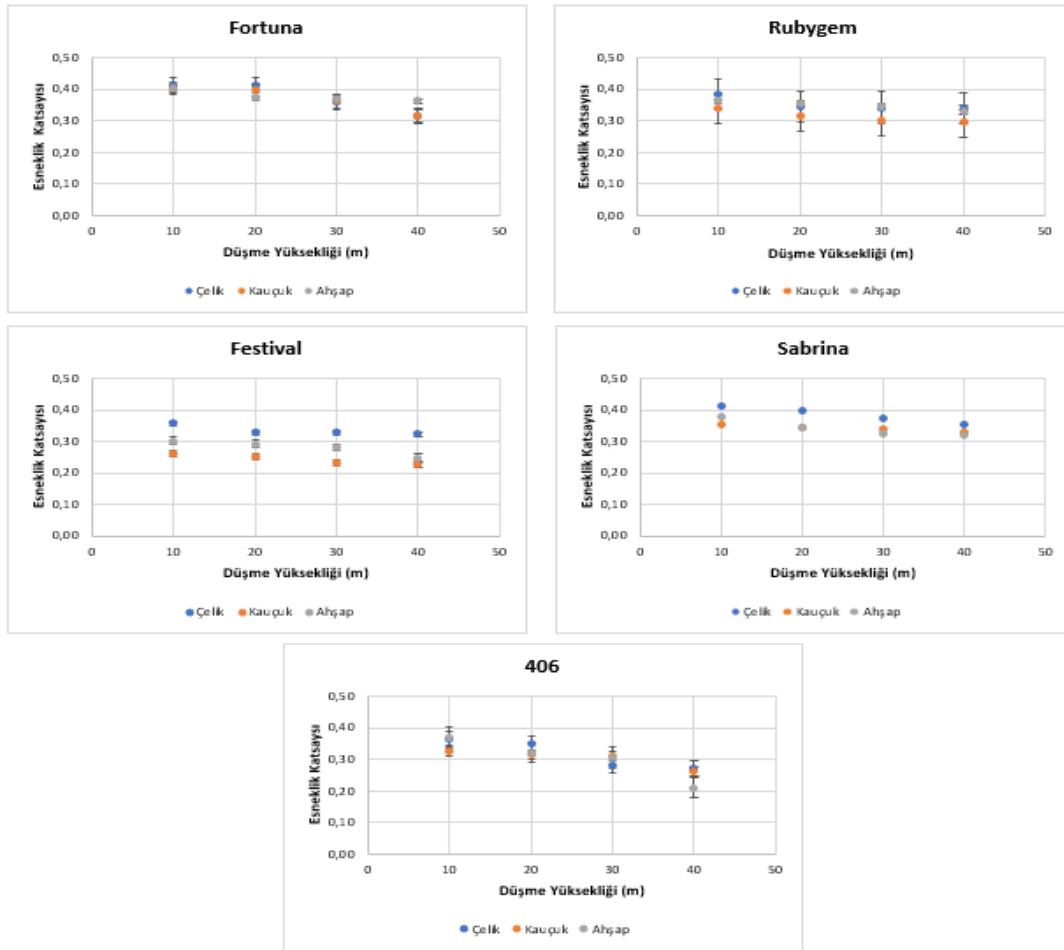
ve düşme yüksekliklerinin absorbe edilen enerjiyi önemli ölçüde etkilediğini, çeşitlerin ise absorbe edilen enerjiyi ($p < 0,01$) etkilemediğini bulmuşlardır. Ayrıca absorbe edilen enerji ile zedelenme arasındaki korelasyon katsayısını her çeşit için önemli bularak, çalışma sonucunda elde edilen absorbe edilen enerji ile zedelenme hacmi arasında doğru orantılı artan bir grafik elde etmişlerdir.



Şekil 4.2. Çilek çeşitlerine ait zedelenme alanı ve absorbe edilen enerji arasındaki ilişki

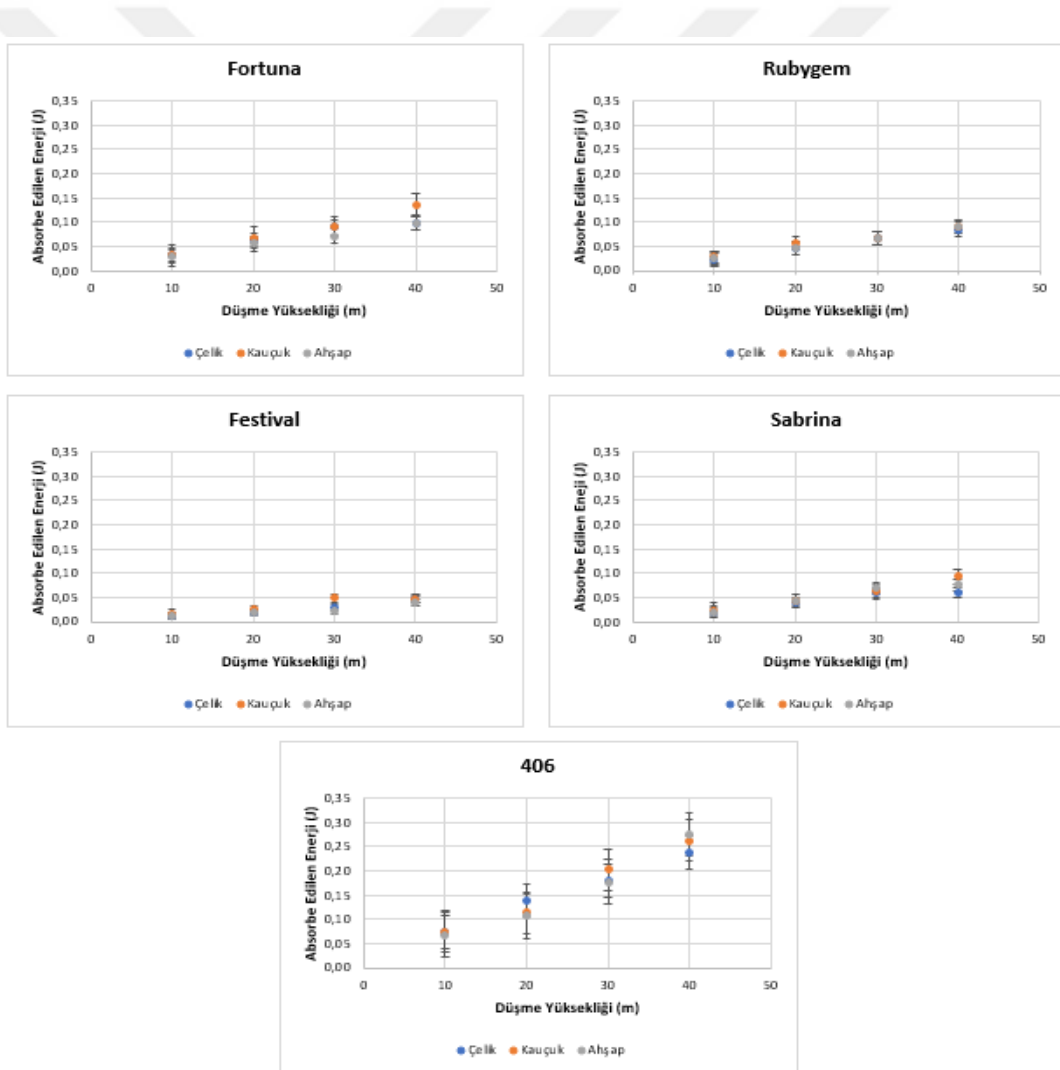
Şekil 4.3'te çilek çeşitlerine ait esneklik katsayısı ile düşme yüksekliği arasındaki ilişki görülmektedir. Şekilde çeşitlerin düşme yükseklikleri arttıkça esneklik katsayılarında azalma olduğu ve buna bağlı olarak da aralarında ters orantılı bir ilişki olduğu görülmektedir. Çeşitlerin yüzeyler içerisinde sahip olduğu ortalama en fazla esneklik katsayısı değerleri düşme

yüksekliğine bağlı olarak; Sabrina (0,384), Rubygem (0,352), Festival (0,334) ve 406 (0,317) çeşitlerinde çelik ve Fortuna çeşidinde ise (0,376) ahşap yüzeyinde bulunurken, en düşük değerler ise sırasıyla 406 (0,210) ve Sabrina (0,341) çeşidinde ahşap yüzeyinde, Festival (0,242), Rubygem (0,298) ve Fortuna (0,314) çeşitlerinde ise kauçukta bulunmuştur. Saraçoğlu vd. (2010b), satsuma çeşidi mandarin ile yapmış oldukları çalışmalarında farklı düşme yükseklikleri ve yüzeyler üzerindeki esneklik katsayı değerlerini inceleyerek; düşme yüksekliğinin artmasıyla, farklı yüzeyler üzerinde esneklik katsayılarının azaldığını, bununla birlikte absorbe edilen enerjinin arttığını gözlemlemişlerdir. Denemelerinde bağımsız değişken olan yüzey ve yüksekliklerin, bağımlı değişkenler esneklik katsayısı ve absorbe edilen enerji üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için yaptıkları varyans analizine göre bağımsız değişkenlerin esneklik katsayısı ile absorbe edilen enerji değerleri üzerinde etkinliğinin önemli olduğunu ($p < 0,05$) bulmuşlardır.



Şekil 4.3. Çiçek çeşitlerine ait esneklik katsayısı ve düşme yüksekliği arasındaki ilişki

Çalışmada kullanılan çilek çeşitlerine ait farklı yükseklikte ve farklı yüzeylerde yapılan çarpma testleri sonucunda ortaya çıkan absorbe edilen enerji ve düşme yüksekliği arasındaki ilişki Şekil 4.4’de verilmiştir. Kullanılan beş farklı çilek çeşidinde absorbe edilen enerji, düşme yüksekliğine bağlı olarak artış göstermiş olduğu ve aralarında doğrusal bir ilişki olduğu bulunmuştur. Çeşitler arasında absorbe edilen enerjinin 406 çilek çeşidinde daha fazla olduğu görülmektedir. Çarpma testlerinde kullanılan farklı yüzeyler arasında en fazla absorbe edilen enerji değerleri 0,136 J Fortuna, 0,048 J Festival ve 0,093 J Sabrina, kauçuk yüzeyinde, 0,092 J Rubygem ve 0,275 J 406 çilek çeşidinde ise ahşap, yüzeyinde elde edilirken, en düşük değerler ise ve Rubygem 0,021 J ve 406 0,068 J çeşidinde çelikte, Fortuna 0,029 J, Festival 0,011 J ve 0,020 J Sabrina çeşitlerinde de ahşap yüzeyde bulunmuştur.



Şekil 4.4. Çilek çeşitlerine ait absorbe edilen enerji ve düşme yüksekliği arasındaki ilişki

Çizelge 4.5 ve 4.6’da çeşitlerin, bağımlı değişken olan esneklik katsayısı, zedelenme alanı ve absorbe edilen enerji değerlerine ait varyans analiziyle, Duncan testi sonuçları görülmektedir. Çizelge 4.5’te varyans analizi sonucunda, bağımlı değişkenler ile bağımsız değişken olan çeşit, yüzey ve yükseklik arasındaki ilişki %5 önem seviyesine göre önemli olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.5. Çilek çeşitlerinin farklı yüksekliklerden, farklı yüzeylere çarpması sonucu elde edilen e, E_{abs} ve Z_a değerlerine ait varyans analizi

Kaynak	Bağımlı Değişkenler	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Derecesi
Çeşit	e	4	0,06	32,801	0,000
	E _{abs}	4	0,122	709,466	0,000
	Z _a	4	576093,016	224,996	0,000
Yüzey	e	2	0,03	16,377	0,000
	E _{abs}	2	0,002	9,826	0,000
	Z _a	2	19120,4	7,468	0,001
Yükseklik	e	3	0,043	23,381	0,000
	E _{abs}	3	0,077	448,052	0,000
	Z _a	3	131903,608	51,516	0,000

Çizelge 4.6’da sunulan Duncan analizine göre; esneklik katsayısı, absorbe edilen enerji ve zedelenme alanlarında Fortuna, Sabrina, Rubygem, 406 ve Festival farklı gruplarda sınıflandırılmıştır. Kullanılan üç farklı yüzey, esneklik katsayısında farklı sınıflandırmada, absorbe edilen enerji ve zedelenme alanında; ahşap ve çelik yüzeyleri aynı sınıflandırmada yer alırken kauçuk farklı sınıflandırmada yer almıştır. Çarpma testinde kullanılan farklı yüksekliklerde ise bağımlı değişkenler farklı sınıflandırmalarda yer almıştır.

Çizelge 4.6. Çilek çeşitlerinin farklı yüksekliklerden, farklı yüzeylere çarpma sonucu elde edilen e, E_{abs} ve Z_a değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma analizi

Çeşit	e	E _{abs} (J)	Z _a (mm ²)
Fortuna	0,37 ^a	0,072 ^b	277,10 ^b
Sabrina	0,36 ^b	0,051 ^d	207,89 ^c
Rubygem	0,34 ^c	0,058 ^c	199,47 ^d
406	0,31 ^d	0,159 ^a	400,79 ^a
Festival	0,29 ^e	0,030 ^e	105,66 ^e
Yüzey			
Kauçuk	0,31 ^c	0,079 ^a	255,18 ^a
Ahşap	0,33 ^b	0,071 ^b	235,14 ^b
Çelik	0,35 ^a	0,071 ^b	224,77 ^b
Yükseklik (m)			
0.10	0,36 ^a	0,033 ^d	186,78 ^d
0.20	0,34 ^b	0,059 ^c	219,35 ^c
0.30	0,32 ^c	0,087 ^b	250,39 ^b
0.40	0,30 ^d	0,116 ^a	296,92 ^a

Alniak (2012) erik meyvesini üç farklı hasat döneminde, üç farklı yükseklikte ve üç farklı yüzeyde zedelenme miktarlarını ölçerek, varyans analiziyle önemlilik ilişkisini incelemiş ve elde ettiği sonuçları, yapılan hasat dönemleriyle Duncan testinde ilişkilendirmiştir. Alniak çalışmasında yaptığı Duncan testi sonucuna göre, meyve hasat döneminin, kullanılan farklı yüzeylerinin ve düşme yüksekliklerinin zedelenme miktarına etkilerinin önemli seviyede olduğunu bulmuştur.

Polat vd. (2012), çalışmalarında nektarin meyvesinin absorbe edilen enerji, zedelenme miktarı ve zedelenme duyarlılığını ölçmek için üç farklı yükseklikten (30, 40, 50 cm), çelik yüzeye iki farklı konumda (sap kısmı ve yanak kısmı) çarpma testine tabi tutmuşlardır. Uyguladıkları test sonucunda konuma göre sap kısmından darbe alan nektarin meyvesinde absorbe edilen enerjinin, yanak kısmından darbe alan nektarin meyvesindeki absorbe edilen enerjiden daha düşük olduğunu bulmuşlardır. Meyvelerde farklı darbe konumları sonucu ortaya çıkan absorbe edilen enerjileri analiz ederek aralarında önemsiz bir ilişki bulmuşlardır. Çalışmada kullanılan farklı yükseklikler 30 cm'den 50 cm'ye kadar artış gösterdiğinde, darbe sonrası meyvede oluşan zedelenme miktarında da doğrusal bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Polat vd. yaptığı çalışmada kullanılan nektarin materyalinin çekirdeğinin iç kısımda olması ve çilek materyalinin ise çekirdeklerinin meyvenin dış yüzeyinde bulunması absorbe edilen enerjiyi, zedelenme miktarını ve esneklik kat sayılarına etki ederek farklılık göstermesine neden olmaktadır.

Meyve sıkıştırma testlerinde ise beş farklı deformasyon yüzdesi (%5, %15, %25, %35, %45) ve meyve sap eksenine dik ve paralel olmak üzere iki farklı konumda $3 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 'lik sabit ilerleme hızı kullanılmıştır. Test sırasında deformasyon yüzdelerinin arttırılmasıyla elde edilen F_{max} kuvvetlerinde, başta hızlı bir artış söz konusuyken daha sonra F_{max} kuvvetinin artış hızının azaldığı görülmüştür. An vd., (2020) bu durumu meyvenin yaşadığı deformasyonla ilişkilendirilmiştir. Sıkıştırma işleminde deformasyon yüzdesi arttıkça ilk yapısal bozulma, sıkıştırma platformlarına temas eden meyve dış yüzeyinde daha sonra da meyve iç yapısında görülmüştür. Meyvelerde yapısal bozulmadan önce, sıkıştırılmış hücre sayıları kademeli artış gösterdikten sonra yapısal bozulmaya başlamaktadır. An vd., (2020) sıkıştırma deformasyon yüzdelerinin artmasıyla birlikte, sıkıştırılmış hücre sayısını arttırmakta, bunun da deformasyon enerjisinin ve deformasyon miktarının artmasına neden olduğunu belirtmektedir. Bu çalışmada da elde edilen bulgular An vd., (2020) tarafından yapılan çilek çalışmasıyla benzerlik göstermektedir. Çalışmada yapılan meyve sıkıştırma testlerinden elde edilen kuvvet-deformasyon eğrilerinde biyolojik akma noktası görülmemiştir. Testler sonucu elde

edilen eğrilerde biyolojik akma noktaları görülmediği için kuvvet, deformasyon ve deformasyon enerjisi için, kopma noktalarındaki maksimum kuvvet (F_{max}) değerleri değerlendirilmiştir. Kohyama vd. (2013)'de, çilek meyvesiyle yaptıkları benzer çalışmalarında sıkıştırma testleri sonucunda elde ettikleri kuvvet-deformasyon eğrilerindeki eğimlerin neredeyse düz olduğunu ve eğrilerde biyolojik akma noktasının olmadığını belirtmişlerdir. Meyvenin her iki yönünde yapılan sıkıştırma testi esnasında en fazla deformasyonun meyve sap eksenine dik konumunda olduğu gözlemlenmiştir. Dik konumdaki doku hasarı her zaman meyvenin uç kısmında, çanak yaprakların olduğu sap kısmından daha fazla olduğu görülmüştür. Çilek için An vd. (2020), şeftali için Perez-Lopez vd. (2014), elma için Liu vd. (2019) tarafından da yapılan çalışmalarda benzer bulgular elde etmişlerdir.

Çilek çeşitlerinin bağımsız değişken olan sıkıştırma yönleri ve deformasyon yüzdeleri ile elde edilen bağımlı değişkenleri; deformasyon, F_{max} , deformasyon enerjilerinin varyans analizi Çizelge 4.7'de verilmiştir. Analiz sonucunda çeşit ve deformasyon yüzdesinin, bağımlı değişken deformasyon ve F_{max} ile arasındaki ilişki, %5 önem seviyesinde önemli bulunurken, deformasyon enerjisi ile ilişkisi önemsiz bulunmuştur. Ayrıca çizelgede sıkıştırma yönü ile F_{max} arasındaki ilişkinin %5 önem seviyesine göre önemli, deformasyon ve deformasyon enerjisine göre de önemsiz olduğu görülmektedir. An vd., (2020), çilek meyvesinin, farklı sıkıştırma yüzdeleri ve yönlerindeki mekanik yüklemdeki dokusal bozukluğunu inceleyerek kuvvet-deformasyon arasında doğrusal bir ilişki bularak kuvvetin artmasıyla meyvenin artan meyve deformasyonu ile şekil değişikliğinin fazla olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca çalışmalarında meyve yönlerinin (gövde ve çiçek eksen) deformasyon miktarına etki ettiği sonucuna ulaşmışlardır.

Çizelge 4.7. Çilek çeşitlerinin farklı sıkıştırma yönlerinde, farklı deformasyon yüzdelerinde elde edilen deformasyon, F_{max} ve deformasyon enerjisi değerlerine ait varyans analizi (Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir)

Kaynak	Bağımlı Değişken	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Derecesi
Çeşit	Deformasyon	4	163553,084	3,496	0,009
	F_{max}	4	52719,114	3,592	0,007
	Deformasyon Enerjisi	4	1,37486E+11	1,045	0,385
Yön	Deformasyon	1	35617,024	0,761	0,384
	F_{max}	1	231344,1	15,762	0
	Deformasyon Enerjisi	1	3,88498E+11	2,953	0,087
Deformasyon Yüzdesi	Deformasyon	4	329225,694	7,037	0
	F_{max}	4	164584,434	11,214	0
	Deformasyon Enerjisi	4	1,67135E+11	1,27	0,283

Çizelge 4.8’de çilek çeşitlerinin farklı sıkıştırma eksenlerinde ve farklı deformasyon yüzdelerinde, elde edilen deformasyon değerlerine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları verilmiştir. Çizelge 8 incelendiğinde yapılan çalışmada çeşitler arasında, meyve sıkıştırma ekseninde ve %5, %15, %25, %35, %45 olan beş farklı deformasyon yüzdeleri arasındaki ilişki önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

Çizelge 4.8. Çilek çeşitlerinin farklı sıkıştırma eksenlerinde, farklı deformasyon yüzdelerinde elde edilen deformasyon değerlerine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları (Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir)

Çeşit	Ortalama (Std Spm)	Minimum	Maksimum	Önem Seviyesi
Fortuna	15,17 (8,15) ^b	3,300	41,700	
Festival	10,09 (5,78) ^c	2,840	32,700	
Rubygem	9,91 (4,70) ^c	2,870	21,400	0,000
Sabrina	21,45 (13,67) ^a	4,820	62,400	
406	17,88 (8,65) ^b	3,730	34,600	
Sıkıştırma Eksen				
Meyve sap eksenine dik	12,60 (6,65)	2,840	32,100	0,000
Meyve sap eksenine paralel	17,20 (11,70)	2,860	62,400	
Deformasyon Yüzdesi (%)				
5	4,72 (1,35) ^d	2,850	8,390	
15	11,16 (3,56) ^c	2,840	18,600	
25	16,91 (6,90) ^b	5,570	32,500	0,000
35	20,20 (11,25) ^a	6,350	62,400	
45	21,50 (9,96) ^a	7,480	54,600	

Çizelge 4.9’da çilek çeşitlerinin farklı sıkıştırma eksenlerinde, farklı deformasyon yüzdelerindeki F_{max} , değerlerine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları görülmektedir.

Çizelge 4.9 incelendiğinde F_{max} değerine ait varyans analizinde, çeşitler arasında, farklı sıkıştırma eksenlerinde ve farklı deformasyon yüzdelerindeki fark %5 önem seviyesine göre önemli olarak bulunmuştur ($p<0,05$). Duncan test sonuçlarında, 406 çeşidi diğer çeşitlerden farklı bir grupta yer alırken, geriye kalan dört farklı çeşit de aynı grup içerisinde yer almaktadır.

Çizelge 4.9. Çilek çeşitlerinin farklı sıkıştırma eksenlerinde, farklı deformasyon yüzdelerindeki F_{max} , değerlerine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları (Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir)

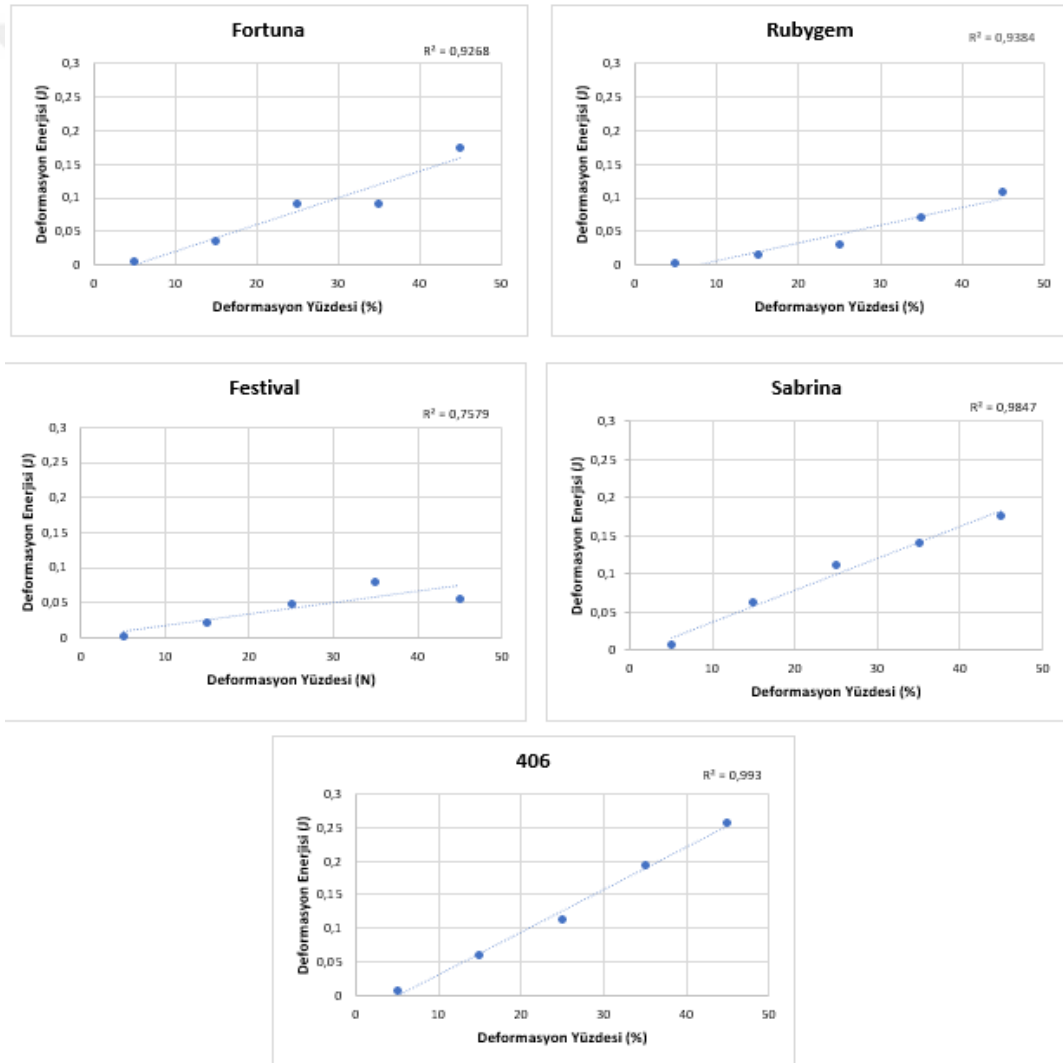
Çeşit	Ortalama (Std Spm)	Minimum	Maksimum	Önem Seviyesi
Fortuna	8.33 (5.02) ^b	1.200	20.900	0.000
Festival	6.47 (3.86) ^b	0.800	14.500	
Rubygem	7.25 (4.51) ^b	1.100	16.600	
Sabrina	7.77 (4.76) ^b	1.200	19.500	
406	11.52 (6.82) ^a	1.800	26.900	
Sıkıştırma Pozisyonu				
Meyve sap eksenine dik	9.94 (5.76)	1.500	26.900	0.000
Meyve sap eksenine paralel	6.60 (4.30)	0.800	19.700	
Deformasyon Yüzdesi (%)				
5	1.75 (0.56) ^e	0.800	3.000	0.000
15	5.29 (1.78) ^d	2.400	9.800	
25	8.71 (2.42) ^c	4.600	14.800	
35	11.46 (3.83) ^b	4.800	20.500	
45	14.14(4.77) ^a	6.900	26.900	

Çizelge 4.10'da çilek çeşitlerinin farklı sıkıştırma eksenlerinde, farklı deformasyon yüzdelerinde elde edilen deformasyon enerjisi değerlerine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları verilmiştir. Çizelge incelendiğinde deformasyon enerjisi ile çilek çeşitleri ve deformasyon yüzdesi değerlerinin aralarındaki ilişkinin, yapılan varyans analizi sonucuna göre %5 önem seviyesine göre önemli olduğu, sıkıştırma eksenlerine göre ise önemsiz olduğu bulunmuştur ($p < 0,05$). Ayrıca Duncan testi sonuçlarına göre; Fortuna, 406, Festival-Rubygem ayrı gruplarda yer alırken Sabrina hem 406 hem de Fortuna grubunda yer almaktadır.

Çizelge 4.10. Çilek çeşitlerinin farklı sıkıştırma eksenlerinde, farklı deformasyon yüzdelerinde elde edilen deformasyon enerjisi değerlerine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları (Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir)

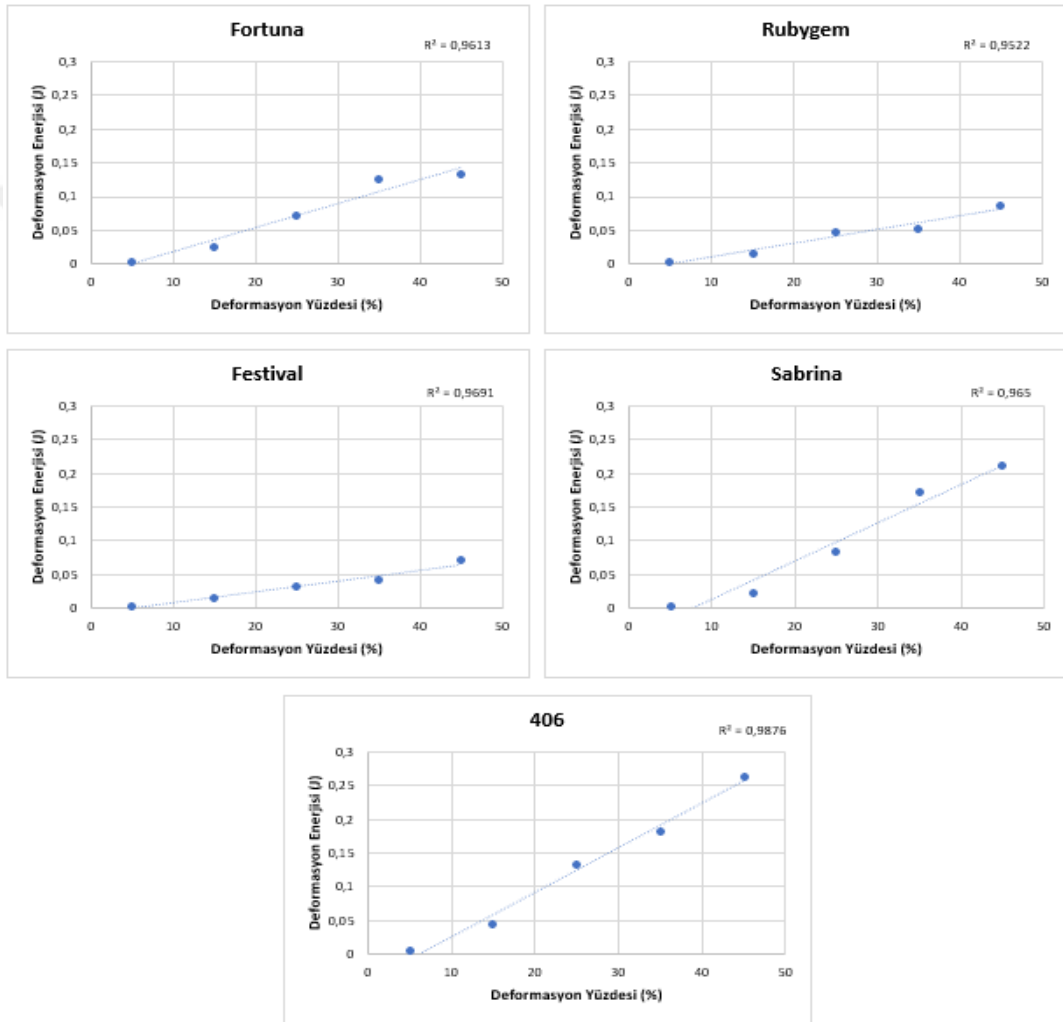
Çeşit	Ortalama (Std Spm)	Minimum	Maksimum	Önem Seviyesi
Fortuna	0.076 (0.063) ^b	0.000	0.290	0.000
Festival	0.037 (0.031) ^c	0.000	0.140	
Rubygem	0.043 (0.037) ^c	0.000	0.120	
Sabrina	0.100 (0.083) ^{ab}	0.000	0.320	
406	0.124 (0.100) ^a	0.000	0.360	
Sıkıştırma Eksen				
Meyve sap eksenine dik	0.078 (0.074)	0.000	0.360	0.650
Meyve sap eksenine paralel	0.073 (0.077)	0.000	0.320	
Deformasyon Yüzdesi (%)				
5	0.004 (0.002) ^e	0.000	0.010	0.000
15	0.030 (0.016) ^d	0.010	0.070	
25	0.073 (0.035) ^c	0.020	0.160	
35	0.115 (0.067) ^b	0.030	0.290	
45	0.154 (0.087) ^a	0.040	0.360	

Şekil 4.5’de 406, Rubygem, Fortuna ve Sabrina çeşitlerinin sıkıştırma işleminde, meyve sap eksenine dik konumuna bağlı deformasyon yüzdesinin artmasıyla, deformasyon enerjisinin de doğru orantılı bir şekilde arttığı görülmektedir. Festival çeşidinde ise deformasyon yüzdesinin %35’e kadar arttığı ve deformasyon enerjisinin artış gösterdiği, %45’te ise deformasyon enerjisinin de azaldığı görülmektedir. Deformasyon enerji değerlerinin, deformasyon yüzdesine bağlı olan değişimlerinde, çeşitlerin en yüksek ve en düşük değerleri sırasıyla Sabrina çeşidinde 0,177-0,008 J, Fortuna çeşidinde 0,174-0,005 J, Rubygem çeşidinde 0,109-0,003 J, Festival çeşidinde 0,079-0,003 J ve 406 çeşidinde de 0,256-0,007 J olarak bulunmuştur.



Şekil 4.5. Çilek çeşitlerine ait meyve sap eksenine dik konumda deformasyon enerjisi değerlerinin deformasyon yüzdesine bağlı değişimleri

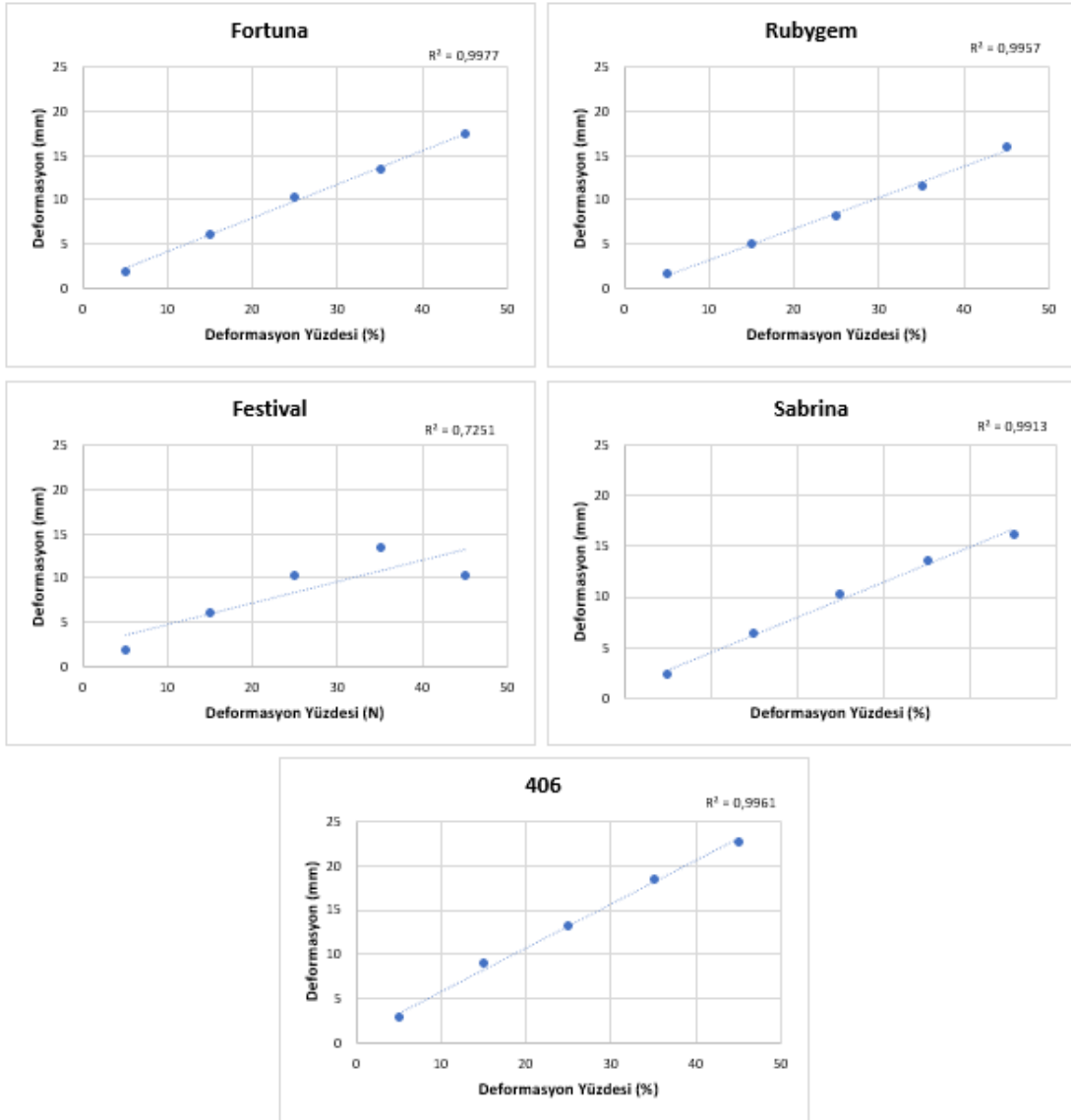
Şekil 4.6 incelendiğinde, çalışmada kullanılan çilek çeşitlerinin meyve sap eksenine paralel konumda, deformasyon enerjilerinin de deformasyon yüzdesine bağlı olarak artış gösterdiği görülmektedir. Buna göre çeşitlerin en yüksek ve en düşük değerleri sırasıyla, Sabrina çeşidinde 0,212-0,003 J, Fortuna çeşidinde 0,133-0,003 J, Rubygem çeşidinde 0,086-0,003 J, Festival çeşidinde 0,071-0,002 J ve 406 çeşidinde ise 0,264-0,005 J olarak bulunmuştur.



Şekil 4.6. Çilek çeşitlerine ait meyve sap eksenine paralel konumda deformasyon enerji değerlerinin deformasyon yüzdesine bağlı değişimleri

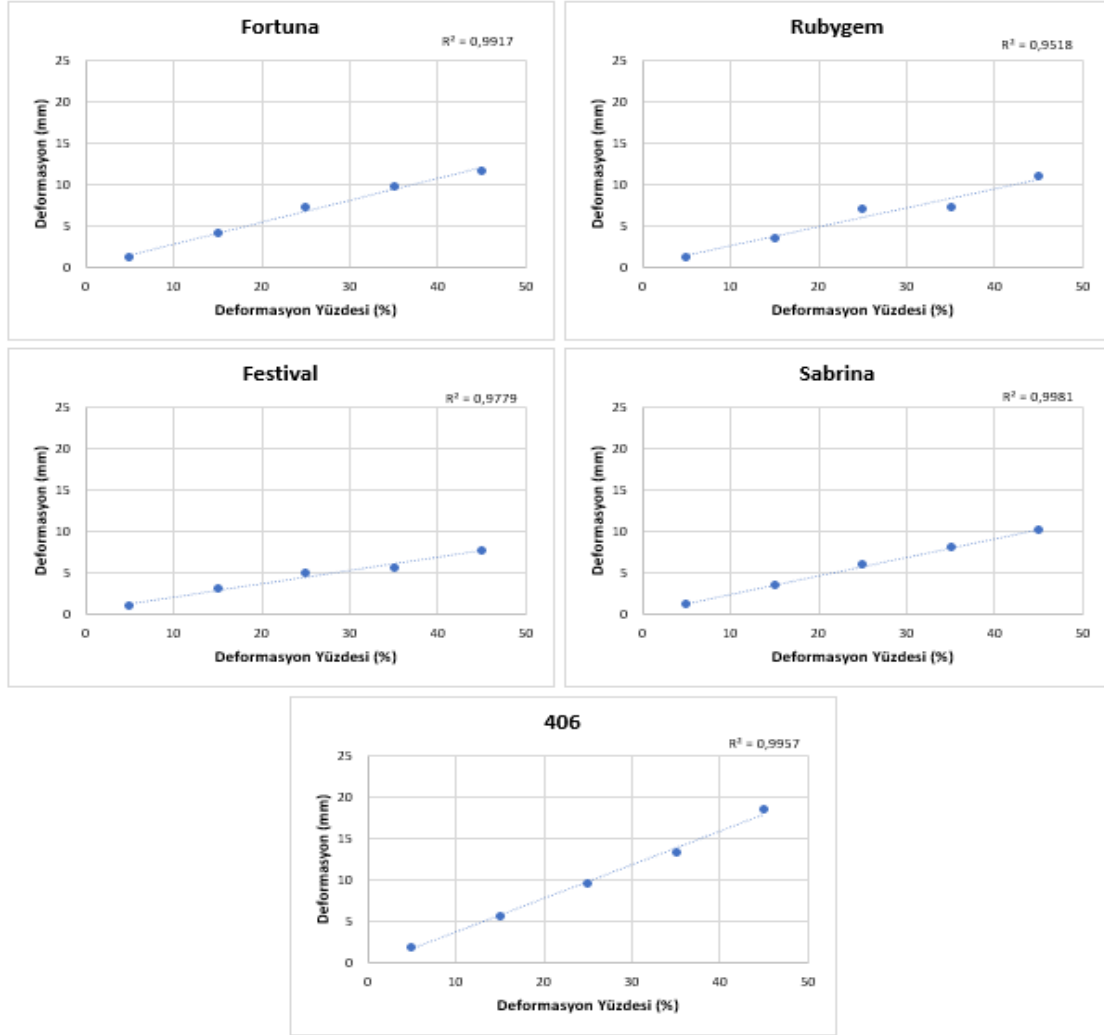
Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de sıkıştırma konumu dik ve paralel olan meyvelerin, deformasyon yüzdesine bağlı olarak deformasyon değişimleri verilmiştir.

Şekil 4.7’de Sabrina, Fortuna, Rubygem ve 406 çeşitleri meyve sap ekseninin, dik konumuna bağlı olarak deformasyon yüzdesinin artmasıyla birlikte deformasyonun da doğrusal bir ilişki de arttığı görülmektedir. Şekil incelendiğinde çeşitlerin en yüksek ve en düşük değerleri sırasıyla Sabrina çeşidinde 16,12-2,28 mm, Fortuna çeşidinde 17,840-1,96 mm, Rubygem çeşidinde 15,9-1,72 mm, Festival çeşidinde 13,38-1,96 mm, 406 çeşidinde ise 22,68 ve 2,84 mm olarak bulunmuştur.



Şekil 4.7. Çilek çeşitlerine ait meyve sap eksenine dik konumda deformasyon değerlerinin deformasyon yüzdesine bağlı değişimleri

Şekil 4.8’de ise çeşitlerin meyve sap eksenine paralel konumda, deformasyon değerlerinin deformasyon yüzdesi ile ilişkisinde doğru orantılı bir artış görülmektedir. Buna göre Şekil 4.8 incelendiğinde çeşitlerin en yüksek ve en düşük değerleri sırasıyla Sabrina çeşidinde 10,12-1,24 mm, Fortuna çeşidinde 11,62-1,26 mm, Rubygem çeşidinde 11,02-1,28 mm, Festival çeşidinde 7,7-1,02 mm, 406 çeşidinde ise 18,52-1,92 mm olarak bulunmuştur.

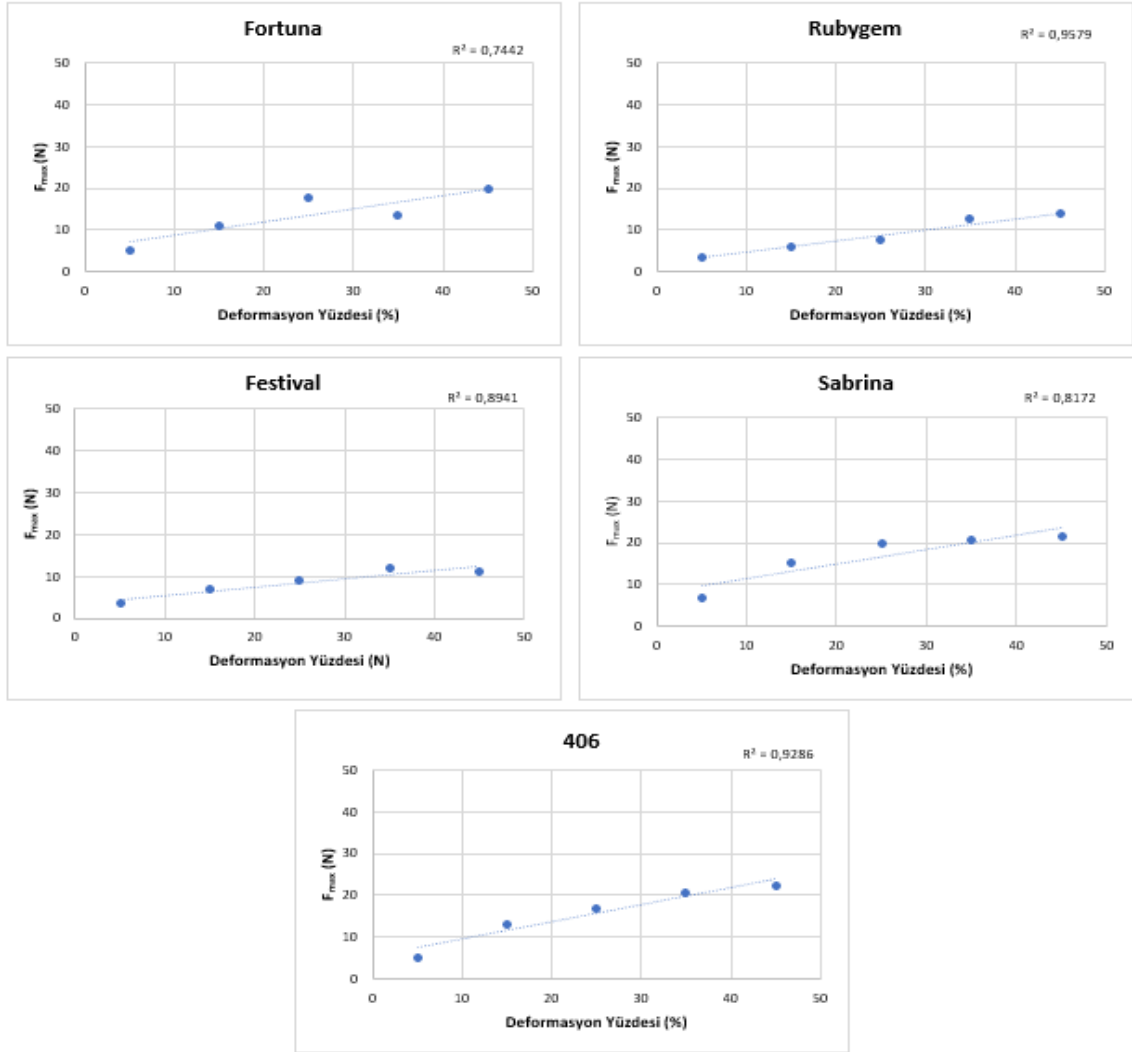


Şekil 4.8. Sıkıştırma pozisyonu paralel konumda olan meyvelerin deformasyon yüzdesine bağlı olarak deformasyon değişimleri

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 incelendiğinde ise sıkıştırma konumu dik ve paralel olan çeşitlerin deformasyon yüzdesine bağlı olarak F_{max} değişimleri verilmiştir.

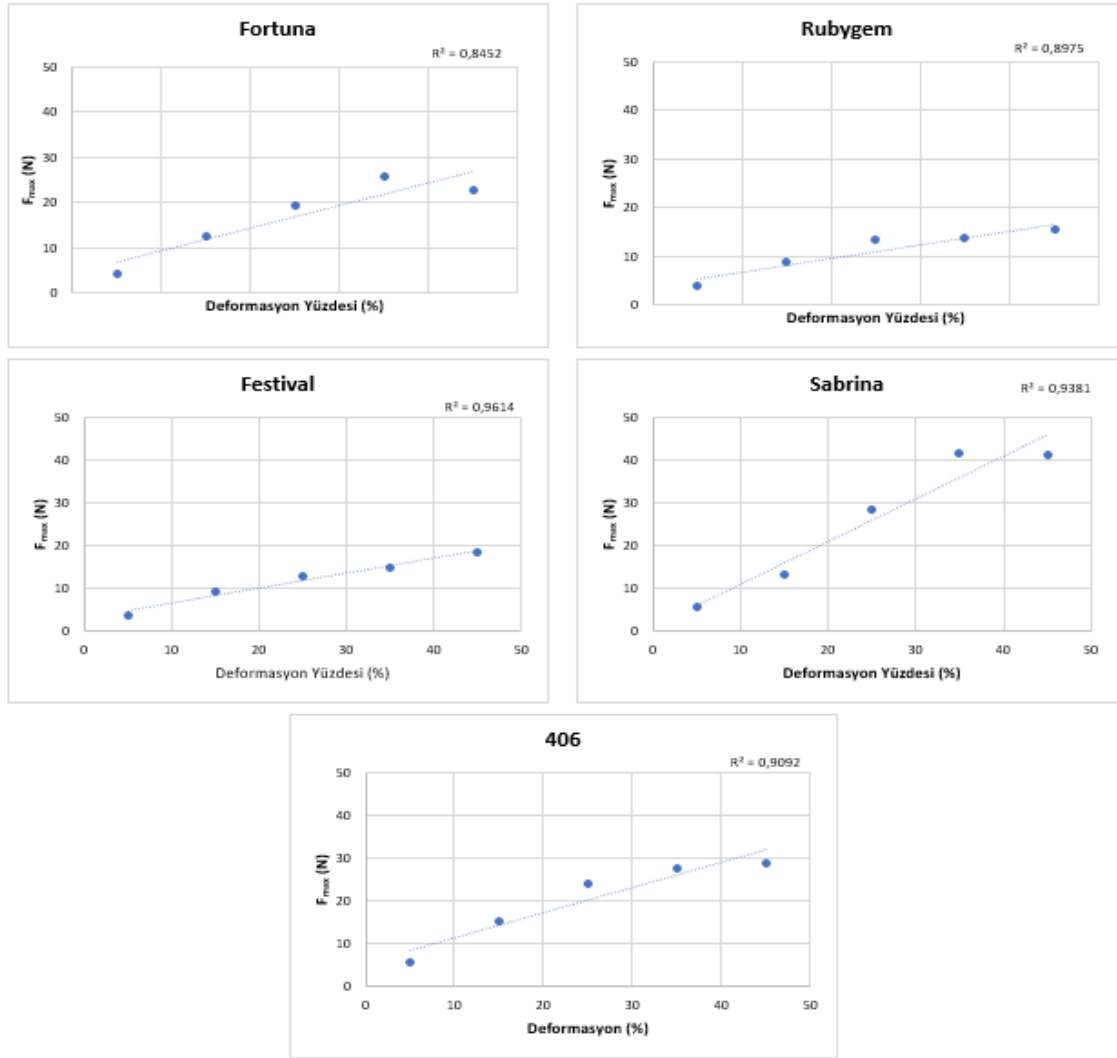
Şekil 4.9’da de tüm çeşitlerde deformasyon yüzdesinin artmasıyla, F_{max} değerleri artış göstererek aralarında doğru orantılı bir ilişki bulunmuştur. Çeşitlerin en yüksek ve en düşük değerleri sırasıyla Sabrina çeşidinde 21,54-6,93 N, Fortuna çeşidinde 19,64-5,30 N, Rubygem

çeşidinde 13,8-3,66 N, Festival çeşidinde 11,71-3,37 N ve 406 çeşidinde ise 22,1-5,17 N olarak bulunmuştur.



Şekil 4.9. Çiçek çeşitlerine ait meyve sap eksenine dik konumda F_{max} değerlerinin deformasyon yüzdesine bağlı değişimleri

Şekil 4.10'da ise Sabrina, Rubygem, Festival ve 406 çeşitleri meyve sap eksenine paralel konumdayken, deformasyon yüzdeleri artarken F_{max} değerlerinin de artış gösterdiği bulunmuştur. Buna göre çeşitlerin en yüksek ve en düşük değerleri sırasıyla Sabrina çeşidinde 41,66-5,62 N, Fortuna çeşidinde 25,68-4,13 N, Rubygem çeşidinde 15,68-3,93 N, Festival çeşidinde 18,30-3,52 N ve 406 çeşidinde ise 28,78-5,56 N olarak bulunmuştur.



Şekil 4.10. Çiçek çeşitlerine ait meyve sap eksenine paralel konumda F_{max} değerlerinin deformasyon yüzdesine bağlı değişimleri

An vd., (2020) çilek ile ilgi yaptıkları çalışmalarında çilek meyvelerini rastgele dört gruba ayırmışlardır. Çileklerin yük altında davranışlarını belirlemek için sıkıştırma deneylerinde sekiz deformasyon yüzdesi, iki yükleme hızı ($1, 3$ ve $5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$) ve iki farklı konumda çilekleri test etmişlerdir. Çalışmalarındaki bulgular 1 ve $5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ sıkıştırma hızlarında meyve elastiklik sınırının, %2,5 sıkıştırma yüzdesi olduğunu bulmuşlardır. Sıkıştırma esnasında numuneler radyal eksenleri boyunca sırasıyla 1 ve $5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ hızla sıkıştırıldığında, iç yapısal bozulmaya neden olan deformasyon yüzde sınırını, %28,1 ile %32,9 olarak kabul etmişlerdir. Test esnasında deformasyon yüzdelerinin artmasıyla F_{max} kuvveti hızlı ve daha sonra yavaş artmıştır. Sıkıştırma hızının F_{max} ve deformasyon enerjisi üzerinde önemli bir etki ($p<0,05$) gösterdiği bulunurken, deformasyonun da önemsiz bir etki

($p > 0,05$) gösterdiğini belirtmişlerdir. Çalışmada kullandıkları iki farklı sıkıştırma yönünün ise F_{max} , deformasyon yüzdesi ve deformasyon üzerinde önemli bir etki ($p < 0,05$) gösterdiğini bulmuşlardır. Chen ve Yeh (2020) ile Ansar vd., (2020) de çilek ile yaptıkları çalışmalarında benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Aliasgarian vd. (2013), hasat ve hasat sonrası Gaviota ve Selva çilek çeşitlerinin mekanik hasarlarını inceleyen çalışmalarında, sıkıştırma testi sonucunda elde ettikleri ortalama deformasyon miktarını %1 önem seviyesinde önemli bulmuşlardır. Ortalama meyve zedelenme indeksinin minimum ve maksimum değerlerinin paketleme aşamalarıyla ilgili olduğunu söylemişlerdir.



5. SONUÇ

Çilek, sınırlı hasat dönemine sahip olan ve mekanik hasara karşı yüksek duyarlılık gösteren, hasat sonrası kısa ömre sahip olan bir meyve çeşididir. Bu araştırmada beş farklı çilek çeşidinin hasat ve hasat sonrası işlemlere göre bazı fiziksel özellikleri ile mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda:

1. Çalışmada çeşitlerin nem içeriğine bakılarak, en yüksek nem içeriğinin 406 çeşidinde, en düşük ise Fortuna çeşidinde, tutunma kuvveti ise en yüksek Fortuna, en düşük ise Sabrina çeşidinde bulunmuştur. Meyve et sertliğinde en yüksek değer Sabrina çeşidinde, en düşük değer de Rubygem çeşidinde bulunmuştur.

2. Boyutsal değerler; uzunluk, genişlik, kalınlık değerleri çeşitler için sırasıyla; 49,52, 37,44, 34,40 mm olarak Fortuna çeşidinde, 49,33, 31,16, 27,34 mm Sabrina çeşidinde, 31,84, 27,71, 24,88 mm Festival çeşidinde, 61,64, 51,18, 45,37 mm 406 çeşidinde ve Rubygem çeşidinde de 44,41, 36,61, 34,24 mm olarak bulunmuştur. Çeşitlere ait fiziksel boyutlar karşılaştırıldığında; 406 çilek çeşidinin kütle, hacim, yüzey alanı, yanal ve dikey projeksiyon değerleri diğer çeşitlerden daha yüksek bulunmuştur. Küresellik ve özkütle değerleri ise (0,88) Festival ve (988,86 kg·m⁻³) Fortuna çeşitlerinde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Geometrik ortalama çap değerleri 406, Fortuna, Rubygem, Sabrina ve Festival çeşitleri için sırasıyla (52,26 mm, 39,92 mm, 38,14 mm, 34,71 mm, 27,96 mm; küresellik değerleri ise Festival, Rubygem, 406, Fortuna ve Sabrina çeşitleri için sırasıyla 0,88-0,86-0,85-0,81-0,71 şeklinde elde edilmiştir.

3. Meyve tutunma kuvveti ile meyve et sertliği için yapılan varyans analizi sonucunda çeşitler arasındaki fark %5 önem seviyesine göre önemli bulunurken, meyve et sertliğinde kullanılan farklı meyve yüzeyleri arasındaki fark önemsiz (p>0,05) olduğu bulunmuştur.

4. Çeşitlerin yatay ve dikey olarak iki farklı konumda ve ahşap, paslanmaz çelik, kauçuk ve karton olmak üzere dört farklı yüzey üzerinde gösterdikleri sürtünme katsayı değerlerine göre, yüzeyler ve çeşitler arasındaki ilişki; ortalama en yüksek sürtünme katsayı değerleri sırasıyla Sabrina (0,43), Festival (0,38), Rubygem (0,36), Fortuna (0,33) ve 406 (0,31) olarak bulunurken, varyans analizine göre çeşitler arasındaki sürtünme katsayı değeri %5 önem seviyesine göre önemli olarak bulunmuştur. Çalışmada kullanılan çilek çeşitlerinin

küreselliği dışında kullanılan yüzeyin pürüzlülüğüne bağlı olarak yüzeylerde ise sürtünme katsayı değeri en yüksek karton yüzeyinde bulunurken, en düşük değerde ahşap yüzeyde bulunmuştur. Yüzeyler arası yapılan varyans analizi sonucunda, sürtünme katsayı değeri göre önemsiz ($p>0,05$), sürtünme işlemi sırasında çilekler için kullanılan iki farklı yön ise önemli olarak bulunmuştur ($p<0,05$).

5. Çarpma parametrelerinde çileklerde düşme yüksekliğinin arttırılmasıyla birlikte zedelenme alanının ve absorbe edilen enerjinin arttığı görülürken esneklik katsayısının azaldığı bulunmuştur. Çarpma testlerinde kullanılan beş farklı çilek çeşidi ve kullanılan üç farklı yüzeyler arasındaki ortalama absorbe edilen enerji değerleri düşme yüksekliğine bağlı olarak sırasıyla en fazla; 0,136 J Fortuna, 0,048 J Festival ve 0,093 J Sabrina, kauçuk yüzeyinde, 0,092 J Rubygem ve 0,275 J 406 çilek çeşidinde ise ahşap, yüzeyinde elde edilirken, en düşük değerler ise ve Rubygem 0,021 J ve 406 0,068 J çeşidinde çelikte, Fortuna 0,029 J, Festival 0,011 J ve 0,020 J Sabrina çeşitlerinde de ahşap yüzeyde bulunmuştur. Ortalama en fazla esneklik katsayı değerleri ise düşme yüksekliğine bağlı olarak; Sabrina (0,384), Rubygem (0,352), Festival (0,334) ve 406 (0,317) çeşitlerinde çelik yüzeyinde, Fortuna çeşidinde ise (0,376) ahşap yüzeyinde, en düşük değerler ise sırasıyla 406 (0,210) ve Sabrina (0,341) çeşidinde ahşap yüzeyinde, Festival (0,242), Rubygem (0,298) ve Fortuna (0,314) çeşitlerinde ise kauçukta bulunmuştur

Absorbe edilen enerjinin zedelenme alanına bağlı olarak gösterdiği ilişkide ise zedelenme alanının artmasıyla absorbe edilen enerjinin arttığı bulunmuştur. Çilek çeşitlerindeki ortalama en yüksek absorbe edilen enerji değeri kauçuk yüzeyinde ve 406 çilek çeşidinde bulunurken, en düşük değer ise ahşap yüzeyinde ve Festival çeşidinde bulunmuştur.

Çalışmadan yapılan varyans analizine göre absorbe edilen enerji, esneklik katsayısı ve zedelenme alanı olan bağımlı değişkenler ile bağımsız değişken olan, çeşit, yüzey ve yükseklik arasındaki ilişkinin %5 önem seviyesine göre önemli olduğu bulunmuştur

6. Sıkıştırma testinde beş farklı deformasyon yüzdesi (%5, %15, %25, %35, %45) ve iki farklı çilek konumunda $3 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ lik ilerleme hızı kullanılmıştır. Sıkıştırma işleminde çilek meyve eksenine dik konumdayken 406, Rubygem, Fortuna ve Sabrina çeşitlerinde deformasyon yüzdesinin, deformasyon enerjisi ve deformasyonla arasında doğru orantı olduğu, F_{\max} değerinin ise çeşitlerden sadece 406, Rubygem ve Sabrina ile aralarında doğru orantı olduğu bulunmuştur. Festival çeşidinde, meyvenin dikey ekseninde bulunan deformasyon enerjisi, deformasyonu ve F_{\max} değerleri %35'e kadar doğru orantı görülürken,

yatay ekseninde %45'e kadar doğru orantıda artış görülmüştür. Çilek, meyve-sap eksenine paralel konumdayken ise çeşitlerin her birinin deformasyon yüzdesinin, deformasyon enerjisi, deformasyon ve F_{max} ile doğru orantılı olduğu, yalnız Fortuna çeşidinde deformasyon yüzdesinin artmasıyla F_{max} ile arasındaki ilişkisinin %35'e kadar arttığı görülürken %45'de ise azaldığı görülmüştür.

Deformasyon yüzdelерinin artmasıyla elde edilen F_{max} kuvvetlerinde başta hızlı bir artış görülse de daha sonra artış hızında azalma görülmüştür. Bu durum meyvenin yaşadığı deformasyon ile ilişkilendirilebilir. Sıkıştırma deformasyon yüzdelерinin artmasıyla, sıkıştırılmış hücre sayısının artarak deformasyon ve deformasyon miktarını arttırdığı söylenebilir.

Farklı sıkıştırma eksenlerinde ve farklı sıkıştırma yüzdelерinde elde edilen varyans analizi, çeşitlerin meyve sıkıştırma eksenini ve beş farklı sıkıştırma yüzdeleriyle arasındaki ilişkinin $p>0,05$ önem seviyesinde önemli, farklı sıkıştırma eksenlerinde ve farklı sıkıştırma yüzdelерinde elde edilen F_{max} ve deformasyon enerji değerine ait varyans analizi sonucunda da $p>0,05$ önem seviyesinde önemli olduğu bulunmuştur.

Sonuç olarak hasat zamanı toplama işlemi sırasında, hassas olan çileklerin zarar görme olasılığı yüksek olduğu için eğitimli işçi ve ekipman kullanılmalıdır. Ayrıca hasat edilen ürünlerin kalitesinin düşmemesi için, depolanan meyvelerin günlük olarak kontrol edilmesi ve hasattan dolayı ortaya çıkan kayıpların en aza indirilmesi gerekmektedir. Ürünleri pazara ya da marketlere kaliteli bir şekilde teslim edilmesi için çileklerin hassasiyetine göre uygun paketleme ve taşıma uygulamaları gerçekleştirilmelidir. Paketleme esnasında meyve kayıplarını azaltmak için paket ya da kasa doluluk oranlarını kontrol ederek aşırı paketlemeden kaçınılmalı ve kasalardaki kat miktarı olabildiğince az tutulmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- Afkari-Sayyah, A., Shekarbeigi, S. (2013). *Determination of apple critical drop height and relation to bruising*. International Conference on Sustainable Environment and Agriculture, 57(17), 88-91.
- Ahmadi, H., Fathollahzadeh, H., Mobli, H. (2008). Some Physical and Mechanical Properties of Apricot Fruits, Pits and Kernels. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 3(5), 703-707.
- Ahmadi, H., Fathollahzadeh, H., Mobli, H. (2009). Post-Harvest Physical and Mechanical Properties of Apricot Fruits, Pits and Kernels Cultivated in İnan. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(3), 264-268.
- Ahmadi, E., Ghassemzadeh, H. R., Sadeghi, M., Moghaddam, M. (2010). Effect of Impact and Fruit Properties on the Bruising of Peach. *Journal of Food Engineering*, 97, 110-117.
- Ahmadi, E. (2012). Bruise Susceptibilities of Kiwi Fruit as Affected by Impact and Fruit Properties. *Research in Agricultural Engineering*. 58(3), 107-113.
- Akçakal, T., Saraçoğlu T. (2019a). Elmanın Bazı Geometrik ve Hidrodinamik Özellikleri ile Zedelenme Parametrelerinin Belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakülte Dergisi*, 56(4), 465-474.
- Akçakal, T., (2020). Çilek Hasat Mekanizasyonu. Basılmamış Yüksek Lisans Semineri, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın.
- Akçay, V., (2014). *Farklı azot dozlarının rubygem ve fortuna çilek çeşitlerinde verim ve meyve kalite kriterleri üzerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Aydın.
- Alayunt, F.N. (2000). Biyolojik Malzeme Bilgisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları* No:541, Sayfa:59-60, Bornova-İzmir.
- Alınak,S. (2012). Erik Meyvesinin Farklı Hasat Dönemlerindeki Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. Adnan Menderes Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım

Makinaları Anabilim Dalı, Aydın.

Aliasgarian, S., Ghassemzadeh, H. R., Moghaddam, M., Ghaffari, H. (2013). Mechanical Damage of Strawberry During Harvest and Postharvest Operations. *World Applied Sciences Journal*, 22(7), 969-974.

Almenar, E., Hernandez-Munoz P., Largaron, J. M., Catala R., Gavara R. (2006). Controlled Atmosphere Storage of Wild Strawberry Fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(1), 86-91.

Altıkat, S., Temiz, Ş. (2019). Iğdır İli Kayısı Çeşitlerinin Fiziko-Mekanik ve Bazı Kimyasal Özellikleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*. 29(3), 373-381.

Altuntaş, E., Cangı, R., Tokbaş, H. (2008). Fuyu Trabzon Hurması Çeşinde Meyvelerin Bazı Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2):1-4.

Altuntaş, E., Erdoğan M. (2017). Yenibahar Meyvesinin Bazı Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32, 316-320.

An, X., Li, Z., Zude-Sasse, Tchienbou-Magaia, F., Yang, Y. (2020). Characterization of Textural Failure Mechanics of Strawberry Fruit. *Journal of Food Engineering*, 282, 1-10.

Anonim (2008). *Çilek Yetiştiriciliği Bahçecilik*. Millî Eğitim Bakanlığı MEGEP (Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirme Projesi), Ankara.

Anonim (2012). *Ziraat Alanı Modern Çilek Yetiştirme Teknikleri Modülü*. NİGEP (Nitelikli İşgücü Geliştirme Projesi) Kırgızistan Türkiye Manas Üniversitesi. Bişkek.

Anonim (2019a). <https://ansiklopedi.halisinden.com/%C3%87ilek>, Erişim Tarihi: [11/11/2019].

Anonim (2019b). https://cals.arizona.edu/strawberry/Hydroponic_Strawberry_Information_Website/Welcome.html, Erişim Tarihi: [17/11/2019].

Anonim, (2019c). <http://strawberryinnovation.com/latest-updates/tag/robotics>. Erişim Tarihi: [15/11/2019].

Anonim (2019d). <http://octinion.com/news/press-release-octinion-presents-world%E2%80%99s-first-strawberry-picking-robot>,

- <https://www.3ders.org/articles/20171118-3d-printed-octinion-strawberry-picking-robot-can-pick-one-berry-every-three-seconds.html>, Erişim Tarihi: [22/11/2019].
- Anonim (2019e) <http://octinion.com/news/press-release-octinion-presents-world%E2%80%99s-first-strawberry-picking-robot>,
<https://www.3ders.org/articles/20171118-3d-printed-octinion-strawberry-picking-robot-can-pick-one-berry-every-three-seconds.html>, Erişim Tarihi: [28/11/2019].
- Anonim (2019f). <https://bae.ucdavis.edu/news/stavros-vougioukas-awarded-funding-develop-robots-harvest>, Erişim Tarihi: [30/11/2019].
- Anonim (2022a). <https://ziraatyapma.blogspot.com/2011/07/altn-cilek-cilek-cesitleri-yetistirici.html>, Erişim Tarihi: [11/12/2021].
- Anonim (2022b). <https://www.soranzii.com/2021/04/cilek-cesitleri-ozellikleri-ve-isimleri.html>, Erişim Tarihi: [11/12/2021].
- Anonim (2022c). <http://www.xn--ilekfidesi-n6a.com/project/fortuna-cilek/>, Erişim Tarihi: [11/12/2021].
- Anonim (2022d). <https://www.intfarming.com/blog/sabrina-cilek-cesidi-ozellikleri/>, Erişim Tarihi: [11/12/2021].
- Anonim, 2022e. <https://www.zwickroell.com/>, Erişim Tarihi: [14/12/2021].
- Ansar, A., Murad, M., Sukmawaty, S., Ilmaknun, L. (2020). Comparison of the Mass Tissue Strength of Strawberry Fruit Between Vertical and Horizontal Axes. *Research Square*. (This is a preprint, a preliminary version of a manuscript that has not completed peer review at a journal).
- Arima, S., Kondo N., Monta, M. (2004). Strawberry Harvesting Robot on Table-top Culture. the Canadian Society for Engineering in Agricultural Food and Biological Systems. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, Paper: 043089, 32(3), 301-318.
- Atlasbig (2021). <https://www.atlasbig.com/tr/ulkelerin-cilek-uretimi>, Erişim Tarihi: [21/10/21].
- Atay, E., Pırlak, L., Atay, AN., (2009). Elmalarda Meyve Büyüklüğünü Etkileyen Faktörler. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 46(2),137-144.
- Aydın, C., Çarman, K. (1997). *Şeftalide çarpma enerjisine bağlı olarak zedelenmenin*

- belirlenmesi*. 17. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi Bildiri Kitabı, 254-264.
- Booster, D. E. (1974). Mowing Method of Harvesting Strawberries. *Transactions of the ASAE*. 17 (6): 1053-1056.
- Bollen, A. F., Nguyen, H. X., Dela-Rue, B. T. (1999). Comparison of Methods for Estimating the Bruise Volume of Apples. *Journal Agricultural Engineering Research*, 74, 325-330.
- Usta, B., Öztekin, Y., B., (2017). Şeftali Çeşitlerinde Çarpma Parametreleri ile Zedelenme Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32, 46-53.
- Chen, J. L. Z., Yeh, L. T. (2020). Analysis of the Impact of Mechanical Deformation on Strawberries Harvested from the Farm. *Journal of ISMAC*, 2(3), 166-172.
- Çalışkan, N., Vursavuş, K. K. (2009). Washington Navel Portakalının Hasat Sonrası İşlemlere Yönelik Fiziksel ve Sürtünme Özelliklerinin Belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 5(1), 83-92.
- Çelik, H. K., Akıncı, İ. (2016). Çarpma Etkisi Altında Kalan Armut Meyvelerinin Zedelenme Hacminin Doğrusal Olmayan Dinamik Sonlu Elemanlar Analizi ile Belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilim Dergisi*, 12(1), 1-10.
- Çevik, M. Y. (2013). *Domateste olgunluğu fiziko-mekanik özellikler üzerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Darıcı, S., (2012). *Kivi meyvesinin kurutulmasında kurutma havası hızının kurumaya etkisinin incelenmesi*. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13(16), 51-65.
- Demirsoy, L., Adak N., Mısır, D. (2017). Topraksız Tarımda Çilek Yetiştiriciliği. *Anadolu J. of AARI* 27(1),71-80. Samsun.
- Ekrami-Rad, N., Khazaei, J., Khoshtaghaza, M. (2011). Selected Mechanical Properties of Pomegranate Peel and Fruit. *International Journal of Food Properties*, 14(5),70-582.
- Eraltan, F. M. (2005). *Şeftalinin mekanik özellikleri üzerine çeşit ve depolama süresi etkilerinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Erenoğlu, B., Ergun, M. E., Özdemir, E., Pırlak, L. (2000). Beş Yıllık Kalkınma Planı Bitkisel Üretim Özel İhtisas Komisyonu, Meyvecilik Grubu, Çilek ve Diğer Üzümü Meyveler. Yalova. 54s.

- Ergüneş, G., Taşova, M., (2018). Kabin Kurutucuda Kurutulan Kuşburnu Meyvesinin Kuruma Performansı, Efektif Difüzyon ve Aktivasyon Enerjisi Değerlerinin Belirlenmesi. *Akademik Ziraat Dergisi* 7(1), 75-82.
- Ertürk, Y. E., Geçer, M. K., Karadaş, K. (2017). *Türkiye Çilek Üretim ve Pazarlaması*. Uluslararası Katılımlı Üzümsü Meyveler Sempozyumu. Bahçe 46 Özel Sayı 1(5), 13-20.
- FAO (2021). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. [Erişim Tarihi: 15/11/2021].
- Ferreira, D. M., Sargent, S. A., Brecht, Chandler, C. K. (2008). Strawberry Fruit Resistance to Simulated Handling. *Journal of Agricultural Sciences*, 65(5), 490-495.
- Gonçalve, üleryüz, M. (1993). Günümüz Meyve Yetiştiriciliğinde Görülen Bazı Teknik Gelişmeler. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(1), 171-184.
- Gül, E. N., Özgöz, E., Altuntaş, E. (2020). Domates Meyvelerinin Fiziksel, Mekanik ve Kimyasal Özelliklerine Olgunluk Dönemi ve Muhafaza Sürelerinin Etkileri. *Türk Ziraat Mühendisliği Araştırma Dergisi*, 1(1), 12-28.
- Güleryüz, M. (1993). Günümüz Meyve Yetiştiriciliğinde Görülen Bazı Teknik Gelişmeler. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(1), 171-184.
- Gümüőođlu, G., İnce, A., Güzel, E., 2006. Domat ve Gemlik Zeytin Çeşitlerinde Bazı Fiziksel Özelliklerinin Olgunlaşma Periyodu Süresince Değişimi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 2(3), 239-244.
- Hayashi, S., Shigematsu, K., Yamamoto, S., Saito, S., Kobayashi, K., Kohno, Y., Kamata, J., Kurita, M. (2010). Evaluation of A Strawberry Harvesting Robot in A Field Test. *Biosystems Engineering*, 105(2), 160-171.
- Hayashi, S., Shigematsu, K., Yamamoto, S., Saito, S., Yamashita, T., Tanaka, T., Sakamoto, N., Kashihara, N., Sugano, S. (2012). Study on An Inside Approach Harvesting Robot for Picking Strawberries (In japanese). *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery*, 74(4), 325-333.
- Hietaranta, T., Linna, M. M. (1999). Penetrometric Measurement of Strawberry Fruit Firmness: Device Testing. *Hort Technology*, 9(1), 103-105.
- Jahanbakhshi, A. (2018). Determination of Some Engineering Properties of Snake Melon

- Fruit. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 20(1), 171-176.
- Jahromi, M. K., Mohtasebi, S. S., Jafari, A., Mirasheh, R., Rafiee, S., (2008). Determination of Some Physical Properties of Date Fruit. *Journal of Agricultural Technology*, 4(2), 1-9.
- Kabaş, O., Ozmerzi, A. (2007). Determining the Mechanical Properties of Cherry Tomato Varieties for Handling. *Journal of Texture Studies*, 39, 199-209.
- Kabaş, Ö. (2010). Bazı Turunçgil Meyvelerinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi. *Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi*, 27(1), 33-42.
- Kabaş, Ö., Sözer, S., Ünal, İ. (2016). Nektarin Meyvesinin Bazı Mühendislik Parametrelerinin Belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 12(1), 65-68.
- Kargı, P. S., Sarıdaş, A. M. (2012). Modern Çilek Yetiştiriciliği. *Tarım Gündem*. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkiler Bölümü. Adana. 36-41s.
- Kitthawee, U., Pathaveerat, S., Srirungruang, T. (2011). Mechanical Bruising of Young Coconut. *Biosystems Engineering Journal*, 109, 211-219.
- Kohyama, K., Masuda, T., Shimada, H., Tanaka, T., Wada, Y., (2013). A Simple Mechanical Index of Strong Quality of Strawberry Fruits. *National Food Research Institut*, (77) 1-11.
- Kondo, N., Monta M. (1999). Strawberry Harvesting Robots. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, Paper Number: 993071.
- Kondo, N., Ninomiya, K., Hayashi, S., Ota, T., Kubota, K. (2005). A New Challenge of Robot for Harvesting Strawberry Grown on Table Top Culture. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, Paper Number 053138.
- Koyuncu, A., Demirci N. (2012). *Hüyükte Organik Çilek Üretiminin Markalaşması, Pazarlanması ve İhracaat Kanallarının Araştırılması*. Hüyük Kaymakamlığı Kalkınma Bakanlığı.
- Kubik, L., Kazimirova, V. (2015). Determination of Mechanical Properties of Apple Cultivar Golden Delicious. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 19(1), 17-20.
- Lien, C., Ay, C., Ting, C. (2009). Non-destructive Impact Test for Assessment of Tomato Maturity. *Journal of Food Engineering*, 91, 402-407.
- Lieten, P. J., Longuesserre, G., Barruzzi, J., Lopez-Medina, J. C., Navatel, E., Krueger, V.,

- Matala, G, Paroussi, G. (2004). Recent Situation of Strawberry Substrate Culture in Europe. *Acta Horticulturae 649*: 193-196.
- Linden, V. V., Ketelaere, B. D., Desmet, M., Baerdemaeker, J. D. (2006). Determination of Bruise Susceptibility of Tomato Fruit by Means of an Instrumented Pendulum. *Postharvest Biology and Technology, 40*, 7-14.
- Liu, S., Yang, H., Bian, Z., Tao, R., Chen, X., Lu, T. (2019). Regulation on Mechanical Properties of Spherically Cellular Fruits Under Osmotic Stress. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 127*, 182-190.
- Maness, N. O., Brusewitz, G. McCollum, H. (1992). Impact Bruise Resistance Comparison among Peach Cultivars. *Hort Science, 29*(9),1008-1011.
- Mohsenin, N. N. (1986). Physical Properties of Plant and Animal Materials. *Gordon and Breach Science Publishers*, New York.
- Moore, J. N., Sistrunk, W. A. (1980). Breeding Strawberries for Harvest Mechanization in Arkansas. Strawberry Mechanization. Agricultural Experiment Station Oregon State University, *Corvallis. Station Bulletin. 645*.
- Moser, E., Tuncer, K., Özgüven, F. (1989). Bağ Bahçe Sebze ve Endüstri Kültürlerinde Mekanizasyon Uygulamaları. *Türkiye Donatım Kurumu Meslek Yayınları*, Yayın No. 52. Ankara.
- Nacar, Ç. (2012). *Çilek Yetiştiriciliği*. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Alata Bahçe Kültürleri Araştırma İstasyonu. Erdemli-Mersin.
- Nelson, G. S., Kattan, A. A. (1970). Development of Mechanical Harvesting and Grading Equipment for Strawberries. *Transactions of the ASAE. 13* (6): 0743-0745.
- Nunes, M. C. N., Brech, J. K., Morais, A. M., Sargent, S. A. (2005). Physicochemical Changes During Strawberry Development in the Field Compared with Those That Occur in Harvested Fruit During Storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture. 86*, 180-190.
- Nunes, M. C. N., Brech, J. K., Morais, A. M., Sargent, S. A. (2006). Possible Influences of Water Loss and Polyphenol Oxidase Activity on Anthocyanin Content and Discoloration in Fresh Ripe Strawberry During Storage at 1 °C. *Journal of Food Science. 70*, 1, 79-84.

- Öztürk, I., Ercisli, S., Kalkan, F., Demir, B. (2009). Some Chemical and Physico-Mechanical Properties of Pear Cultivars. *African Journal of Biotechnology* 8(4), 687-693.
- Paranjpe, A. V., Cantliffe, D. J., Stofella, P. J., Lamb, E.M., Powel, C. A. (2008). Relationship of Plant Density to Fruit Yield of Sweet Charlie Strawberry Grown in A Pine Bark Soilless Medium in a High-roof Passively Ventiled Greenhouse. *Scientia Horticulturae Journals*, 115, 117-123.
- Perez-Lopez, A., Chavez-Franco, S. H., Chavez-Franco, S. H., Villaseor-Perea, C. A., Espinosa-Solares, T., Hernandez-Gomez, L. H., Lobato-Calleros, C. (2014). Respiration Rate and Mechanical Properties of Peach Fruit During Storage at Three Maturity Stages. *Journal of Food Engineering*, 142, 111-117.
- Polat, R., Aktas, T., İkinci, A. (2012). Selected Mechanical Properties and Bruise Susceptibility of Nectarine Fruit. *International Journal of Food Properties*, 15(6), 1369-1380.
- Quick, G. R. (1971). New Approach to Strawberry Harvesting Using Vibration and Air. *Transactions of the ASAE*. 14 (6): 1180-1183
- Salarikia, A., Ashtiani, S., M., Golzarian, M., R., Mohammadinezhad, H. (2017). Finite Element Analysis of the Dynamic Behavior of Pear Under Impact Loading. *Information Processing in Agriculture*, 4, 64-77.
- Saraçoğlu, T., Ulusoy, E. (2009). Ege Bölgesi Bazı Yağlık Zeytin Çeşitlerinin Mekanik Hasat Kriterlerinin Belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilim Dergisi*, 5(1), 71-81.
- Saraçoğlu, T., Üçer, N., Özarlan, C. (2010a). *Yabani ve limon çeşidi ayva meyvelerinin bazı fiziksel ve hidrodinamik özelliklerinin belirlenmesi*. 26. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, s. 45-50, Hatay.
- Saraçoğlu, T., Üçer, N., Özyılmaz, Ü., ve Özarlan, C. (2010b). Satsuma Mardarin (*Citrus Unshu* Marc.) Çeşidinin Sıçrama Özellikleri. Adnan Menderes Üniversitesi, *Ziraat Fakültesi Dergisi* 7(1), 87-93.
- Saraçoğlu, T., Üçer, N., ve Özarlan, C. (2011). Engineering Properties and Susceptibility to Bruising Damage of Table Olive Fruit. *International Journal of Agriculture and Biology*, 13, 801-805.
- Saraçoğlu, T., Üçer, N., ve Özarlan, C. (2012). Selected Geometric Characteristics, Hydrodynamic Properties and Impact Parameters of Quince Fruit. *International*

Journal of Food Properties, (15), 758-769.

- Saraçoğlu, T., ve Özarslan, C. (2015). Kiraz Domatesi Meyvesinin Kütle ve Hacminin Matematiksel Modellenmesi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12(1), 103-108.
- Serçe, S., Özgen M. (2014). Çilek Yetiştiriciliği ve Güncel Eğilimler *Türk Tarım Dergisi*.
- Sharifi, M., Rafiee, S., Keyhani, A., Jafari, A., Mobli, H., Rajabipour, A., Akram, A. (2007). Some Physical Properties of Orange. *International Agrophysics*, 21, 391-397.
- Shirmohammadi, M., Yarlagadda, P. K. D. V., Gudimetla, P., Kosse, V. (2011). Mechanical Behaviours of Pumpkin Peel Under Compression Test. *Advanced Materials Research*, 337, 3-9.
- Sinn, H., Özgüven, F., (1989). *Biyolojik malzemenin teknik özellikleri*. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No:27, Adana.
- Soltani, M., Alimardani, R., Omid, M. (2011). Changes in Physico Mechanical Properties of Banana Fruit During Ripening Treatment. *Journal of American Science*, 7(5).
- Süzer, S. (2019). Çilek Yetiştiriciliği. <https://www.foodelphi.com/tag/dr-sami-suzer/> Erişim Tarihi: [19/11/2019].
- Şahin, G., Altuntaş, E., Polatçı, H. (2020). Mersin Meyvesinin Fiziksel, Mekanik, Renk ve Kimyasal Özellikleri. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi* 23(1), 59-68.
- Tabatabaekoloo, R. (2013). Engineering Properties and Bruise Susceptibility of Peach Fruits. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 15(4), 244-252.
- Taşova, M., Güzel, M. (2017). İstanbul Çeşidi Vişnenin Fizik-Mekanik Özellikleri ile Renk Değerlerinin Belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*. 6, 73-80.
- Topuz, A., Topakci, M., Cankaci, M., Akinci, I., Ozdemir, F. (2005). Physical and Nutritional Properties of Four Orange Varieties. *Journal of Food Engineering*, 66, 519-523.
- Tunalıgil, B., G. (1993). *Biyolojik malzemelerin teknik özellikleri*. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları: 1305, Ders Kitabı: 379.
- Türemiş, N., Özgüven A. İ., Paydaş S. (2000). Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Çilek Yetiştiriciliği. TÜBİTAK, *Türkiye Tarımsal Araştırma Projeleri Yayınları*, Adana.
- Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK]. <http://tuik.gov.tr/Start.do>. Erişim Tarihi: [15/5/2020].

- Usta, B., Öztekin, Y. B. (2017). Şeftali Çeşitlerinde Çarpma Parametreleri ile Zedelenme Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32, 46-53.
- Ülger, P. (1978). Bazı Meyve Çeşitleri Hasadının Mekanizasyonunda Son Gelişmeler. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(2-3), 81-92.
- Vatandaş, M., Gürhan, R., Çetin, M., 2002. Nohuttun Değişik Çeşit ve Nem Özelliklerine Göre Kırılma Karakteristiklerinin Belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 8(1), 73-78.
- Vursavuş, K., K., Kesilmiş, Küçükönder Z. (2015). Mekanik Hasarsız Çarpma Tekniğiyle Domatesin Sertliğine Göre Sınıflandırılması. *Tarım Makinaları Bilim Dergisi*, 21, 236-245.
- Yaprak, Ö. (2019). *Çilek Yetiştiriciliği*. T.C Sivas Valiliği İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü.
- Yılmaz, F., Kasım, U. M., Koşumcu, S., Kasım, R. (2019). Çilekte Hasat Sonrası Enfeksiyon ve Kalite Üzerine Bazı Uçucu Yağların Etkisi. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 27-35.
- Yurtlu, Y. B. (2003). *Meyve ve sebzelerde bazı mekanik özelliklerin ve zedelenmeye karşı duyarlılığın belirlenmesi*. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- 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 Bildiri Kitabı, 418-431. Samsun.
- Zare, D., Safiyari, H., Salmanizade, F. (2012). Some Physical and Mechanical Properties of Jujube Fruit. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*, 6(9), 672-675.
- Zarifneshat, S., Ghassemzadeh, H. R., Sadeghi, M., Abbaspour-Fard, M. H., Ahmadi, E., Javadi, A., Shervani-Tabar, M. T. (2010). Effect to Impact Level and Fruit Properties on Golden Delicious Apple Bruising. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 5(2), 114-121.

T.C.
AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

BİLİMSEL ETİK BEYANI

“Aydın ilinde yetiştirilen bazı çilek çeşitlerinin hasat ve hasat sonrası işlemlere yönelik fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi” başlıklı Yüksek lisans tezindeki bütün bilgileri bütün bilgileri etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiz atıf yaptığımı bildiririm. İfade ettiklerimin aksi ortaya çıktığında ise her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Tuğçe AKÇAKAL

26/05/2022

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Tuğçe AKÇAKAL

Yabancı Diller : İngilizce

EĞİTİM DURUMU

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
3,03	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi	11.06.2018

AKADEMİK YAYINLAR

1. MAKALELER

Akçakal, T., Saraçoğlu, T., (2019). Elmanın Bazı Geometrik ve Hidrodinamik Özellikleri ile Zedelenme Parametrelerinin Belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 56(4), 465-474.

2. BİLDİRİLER

Ulusal Kongrelerde Yapılan Bildiriler

Akçakal, T., Saraçoğlu, T., (2019). *Kendi yürür meyve hasat makinaları*. 32. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi Bildiri Özetleri Kitabı, Sayfa:97.