



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**YAKIN KIZILÖTESİ SPEKTROSKOPİSİ KULLANILARAK
ÇİLEK MEYVESİNİN OLGUNLUK AŞAMALARININ VE BAZI
KALİTE ÖZELLİKLERİNİN HASARSIZ OLARAK TESPİTİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

İLKNUR YILMAZ

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ M. BURAK BÜYÜKCAN

ÇANAKKALE – 2024



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YAKIN KIZILÖTESİ SPEKTROSKOPİSİ KULLANILARAK ÇİLEK
MEYVESİNİN OLGUNLUK AŞAMALARININ VE BAZI KALİTE
ÖZELLİKLERİNİN HASARSIZ OLARAK TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İLKNUR YILMAZ

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET BURAK BÜYÜKCAN

BU ÇALIŞMA, ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ BİLİMSEL
ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ TARAFINDAN
DESTEKLENMİŞTİR.

PROJE NO: FYL-2022-3997

ÇANAKKALE – 2024



T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



İlknur YILMAZ tarafından Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Burak BÜYÜKCAN yönetiminde hazırlanan ve **15/01/2024** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan **“Yakın Kızılötesi Spektroskopisi Kullanılarak Çilek Meyvesinin Olgunluk Aşamalarının ve Bazı Kalite Özelliklerinin Hasarsız Olarak Tespiti”** başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Burak
BÜYÜKCAN
(Danışman)
Prof. Dr. İsmail KAVDIR

.....

.....

Prof. Dr. Ferhat KURTULMUŞ

.....

.

Tez No :

Tez Savunma Tarihi : 15/01/2024

.....

İSİM SOYİSMİ

Enstitü Müdürü

.././20..

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

İlknur YILMAZ

15/02/2024

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Dr.Öğr.Üyesi M.Burak BÜYÜKCAN, çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen nişanlım Agabek HAMRAKULYYEV ve biricik dostum Aslı ÇAKAR’a, yüksek lisans eğitimine başlamamı teşvik eden rahmetli babam Ayhan YILMAZ’a, hayatımın her evresinde bana destek olan değerli annem Hale YILMAZ’a ve kardeşim Ramazan YILMAZ’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.”

İlknur YILMAZ
Çanakkale, Ocak 2024

ÖZET

YAKIN KIZILÖTESİ SPEKTROSKOPİSİ KULLANILARAK ÇİLEK MEYVESİNİN OLGUNLUK AŞAMALARININ VE BAZI KALİTE ÖZELLİKLERİNİN HASARSIZ OLARAK TESPİTİ

İlknur YILMAZ

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi M. Burak BÜYÜKCAN

15/01/2024, 50

Albion çeşidi (*Fragaria ananassa*) çilek örneklerinde fourier dönüşümlü yakın kızılötesi spektroskopi (FT-NIR) tekniği kullanılarak ürünlerin iç ve dış kalite özellikleri tahmin edildi. Çileklerin tahribatsız spektroskopik ölçümleri yansıma (780-2500 nm) ve iletim (800-1725 nm) teknikleri kullanılarak yapılmıştır. PLS tekniğini kullanarak ürünlerin kalite özelliklerini tahribatsız olarak tahmin etme performansını belirlemek için spektral ölçümler (kalibrasyon ve doğrulama) kullanıldı. Genel olarak renk özelliklerinde her iki ölçüm yönteminde (yansıma ve iletim) yüksek kalibrasyon ve doğrulama sonuçları elde edilmiştir. Geçirgenliğe ilişkin renk tahmin değerlerinin doğrulama için $R^2=84.81$ (RMSECV=0.347) ve kalibrasyon için $R^2=91.77$ (RMSEE=0.268) ile ölçümde en iyi sonuç vereceği tahmin edilmiştir. Yansıma modunda, olgunlaşma dönemi boyunca doğrulama için $R^2=82.19$ (RMSECV=5.81) ve kalibrasyon için $R^2=89.42$ (RMSEE=4.73) olarak kırmızı renk değişkeni ile a^* değeri yüksek tahmin performansı göstermiştir. Öte yandan, içsel özelliklerin tahmin performansı, renk özelliklerine göre daha düşük kalmıştır. En başarılı tahmin performansı yansıma modunda SSC ($R^2=50.66$; RMSECV=0.951) için, iletim modunda ise pH ($R^2=58.21$; RMSECV=0.0472) için bulunmuştur. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere çilek ürünlerinin olgunlaşma döneminde renk özelliklerinin zarar görmeden tahmin edilmesinde FT-NIR spektroskopisi kullanılması oldukça başarılı olurken, iç özelliklerin tahmininde kısıtlayıcı sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çilek, Yakın Kızılötesi, Renk, Tahribatsız

ABSTRACT

NON-DESTRUCTIVE DETECTION OF SOME QUALITY CHARACTERISTICS OF STRAWBERRY FRUIT IN THE RIPENING STAGE USING NEAR INFRARED SPECTROSCOPY

İlknur YILMAZ

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering

Advisor: Asst. Prof. M. Burak BÜYÜKCAN

01/15/2024, 55

The products' internal and external quality characteristics were estimated using Fourier transform (FT-NIR) near-infrared spectroscopy technique in Albion cultivar (*Fragaria ananassa*) strawberry samples. Non-destructive spectroscopic measurements of strawberries were made using reflectance (780-2500 nm) and transmittance (800-1725 nm) techniques. Spectral measurements (calibration and validation methods) were used to determine the performance of non-destructively predicting the quality characteristics of products using the PLS technique. Generally, high calibration and validation results were obtained for both measurement methods (Reflectance and Transmittance) in color properties. Hue prediction values on transmittance were estimated to have the best result in the measurement at $R^2=84.81$ (RMSECV= 0.347) for validation, while $R^2=91.77$ (RMSEE= 0.268) for calibration. In reflectance mode, it showed high predictive performance of a^* value with the red color variable $R^2=82.19$ (RMSECV= 5.81) for validation and $R^2=89.42$ (RMSEE= 4.73) for calibration during the ripening period of the strawberry. On the other hand, the intrinsic properties' prediction performance remained lower than the color properties. The most successful estimation performance was found for SSC ($R^2=50.66$; RMSECV= 0.951) in reflectance mode, while pH ($R^2=58.21$; RMSECV= 0.0472) for transmittance mode. As can be seen from the results, using FT-NIR spectroscopy to estimate color properties without damage during the ripening period of strawberry products was highly successful, while more restrictive results were obtained in estimating internal properties.

Keywords: Strawberry, Near Infrared, Color, Non-Destructive



İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
 BİRİNCİ BÖLÜM	
GİRİŞ	1
 1.1. Dünya’da ve Türkiye’de Çilek Üretimi	2
1.2. Dünya’da ve Türkiye’de Çilek Piyasası.....	3
1.3. FT-NIR Spektroskopisi Teknolojisi.....	3
1.3.1. FT-NIR Yansıma (Reflektans) Spektroskopisi.....	5
1.3.2. FT-NIR İletim (Transmitans) Spektroskopisi.....	5
 İKİNCİ BÖLÜM	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	7
 ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	
MATERYAL YÖNTEM	10
 3.1. Materyal	10
3.1.1. Denemede Kullanılan Meyve Özellikleri	10
3.1.2. Denemede Kullanılan Alet ve Cihazlar.....	10

Fiziksel Ölçümler.....	10
Renk Ölçer ve Renk Ölçümü.....	11
3.1.3 FT-NIR Spektrometre ve Yansıma Yöntemi Ölçümleri.....	12
3.1.4. Çilek Meyvesinin Sıkılması.....	13
Suda Çözülebilir Kuru Madde Oranı.....	13
pH Metre ve pH Ölçümleri.....	13
Dijital Multimetre.....	14
Titre Edilebilir Asit Ölçümleri.....	14
3.2. Yöntem.....	15
3.2.1 Hasat ve Ölçüm Planı.....	15
3.2.2 Fiziksel Ölçümler.....	15
3.2.3 Spektral Analizler.....	16
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	18
ARAŞTIRMA BULGULARI	
4.1. Renk Tahmin Sonuçları.....	19
4.2. Fiziksel Ölçümler Tahmin Sonuçları	23
4.3. İletim ve Yansıma Spektral Ölçümleri.....	26
BEŞİNCİ BÖLÜM	29
SONUÇ ve ÖNERİLER	
KAYNAKÇA	31
ÖZGEÇMİŞ.....	35

SİMGELER VE KISALTMALAR

FT-NIR	Fourier Dönüşümlü – Yakın Kızılötesi (Fourier Transform - Near InfRared)
PLS	Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu (Partial Least Square)
TA	Titre Edilebilir Asit
pH	Power of Hydrogen
SÇKM	Suda Çözünür Kuru Madde Oranı
ml	Mililitre
%	Yüzde oranı
InGaAs	Indium Gallium Arsenide
SSC	Soluble Solid Content
nm	Nanometre
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization)
\$	Amerikan Doları
ha	Hektar
R ²	Kararlılık Katsayısı
RMSEP	Root Mean Square Error of Prediction
RMSECV	Çarpaz Doğrulama Hatasının Karekökü
CIE	Commision Internationale de l'Eclairage
NaOH	Sodyum Hidroksit
RMSEE	Tahmin Hatası Ortalamasının Karekökü
°C	Santigrat Derece

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Çilek materyallerinin periyodik hasat ve ölçüm tarihleri	16
Tablo 2	Çilek meyvelerinin fiziksel ölçüm ortalamaları	16
Tablo 3	Çilek örneklerinin fiziksel özellikleri için istatistik sonuçları	19
Tablo 4	Reflektans ve transmitans metotlarında renk tahmin değerlerinin kalibrasyon ve validasyon sonuçları	20
Tablo 5	Çilek meyvelerinde reflektans ve transmitans için etkili dalgaboyu aralıkları	24
Tablo 6	Çileklerin olgunlaşma periyodu boyunca renk özelliklerinin belirlenmesi	25
Tablo 7	Transmitans ve reflektans yöntemlerinde pH, SSC ve TA tahmin değerleri için kalibrasyon ve validasyon sonuçlarının özeti	25
Tablo 8	Çileklerin olgunlaşma dönemi boyunca TA, SSC ve pH özelliklerinin belirlenmesi	28

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Ülke bazında çilek üretim miktarları (ton)	2
Şekil 2	Yansıma Yönteminde NIR spektrometre ile ölçüm	5
Şekil 3	İletim yönteminde NIR spektrometre ile ölçüm	6
Şekil 4	Dijital kumpas	11
Şekil 5	Hassas terazi	11
Şekil 6	Konica Minolta renk ölçer	12
Şekil 7	Boyutlu CIE L*a*b* renk aralığı	12
Şekil 8	Transmitans yöntemi ile ölçüm	13
Şekil 9	Reflektans yöntemi ile ölçüm	13
Şekil 10	Dijital rekraktometre	14
Şekil 11	pH metre ve pH ölçümleri	14
Şekil 12	Dijital hotplate	15
Şekil 13	Titre edilebilir asit ölçümü	15
Şekil 14	Reflektans yönteminde renk değerlerinin [(1-a) L* değerleri, (1-b) a* değerleri, (1-c) b* değerleri, (1-d) Chroma değerleri, (1-e) Hue değerleri] tahmini	21
Şekil 15	İletim yönteminde renk değerlerinin [(2-a) L* değerleri, (2-b) a* değerleri, (2-c) b* değerleri, (2-d) Chroma değerleri, (2-e) Hue değerleri] tahmini	22
Şekil 16	Yansıma metodunda TA, SSC ve pH özelliklerinin [(3-a) TA değerleri, (3-b) SSC değerleri, (3-c) pH değerleri] tahmini	26
Şekil 17	İletim metodunda TA, SSC ve pH özelliklerinin [(4-a) TA değerleri (4-b) SSC değerleri, (4-c) pH değerleri] tahmini	27
Şekil 18	Yansıma modunda çileklerin olgunlaşma dönemi boyunca ortalama spektrumları	29
Şekil 19	İletim modunda çileklerin olgunlaşma dönemi boyunca ortalama spektrumları	30

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler günümüzde oldukça hızlı bir şekilde ilerleme kaydetmektedir. Günlük hayatta sanayi, ulaşım, sağlık ve tarım alanları başta olmak üzere bu gelişmeleri gözlemleyebilmekteyiz. Fakat tarım sektöründe teknoloji kullanımı diğer sektörlerle göre daha yavaş bir şekilde çiftçiler tarafından benimsenilerek kullanılmaktadır. Tarımsal üretim büyük oranda doğaya bağlı bir üretim sürecidir. Bununla birlikte tarım sektörü ürünlerin üretimden pazara sunulmasına kadar insan faktörünün en yoğun olduğu alanlardan birisidir. Ürünlerin renk, şekil, boyut, tat gibi özelliklerinin farklılık göstermesi hasat sonrası sınıflama ya da kalite özelliklerinin çalışanlar tarafından stabil bir şekilde belirlenmesinde zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Özellikle tarımsal ürünlerin birer biyolojik malzeme olarak değerlendirildiğinde bu değerlendirme süreçleri; tarımsal ürünlerde zamanla bozulmalar, renk değişimleri ya da depolama sırasında oluşan olumsuzluklar olabileceğinden, daha hayati ve önemli bir hal almaktadır. Hasarsız teknolojiler insana ve zamana bağlı olumsuzlukları ortadan kaldırdığı gibi maliyet açısından da avantaj sağlamaktadır.

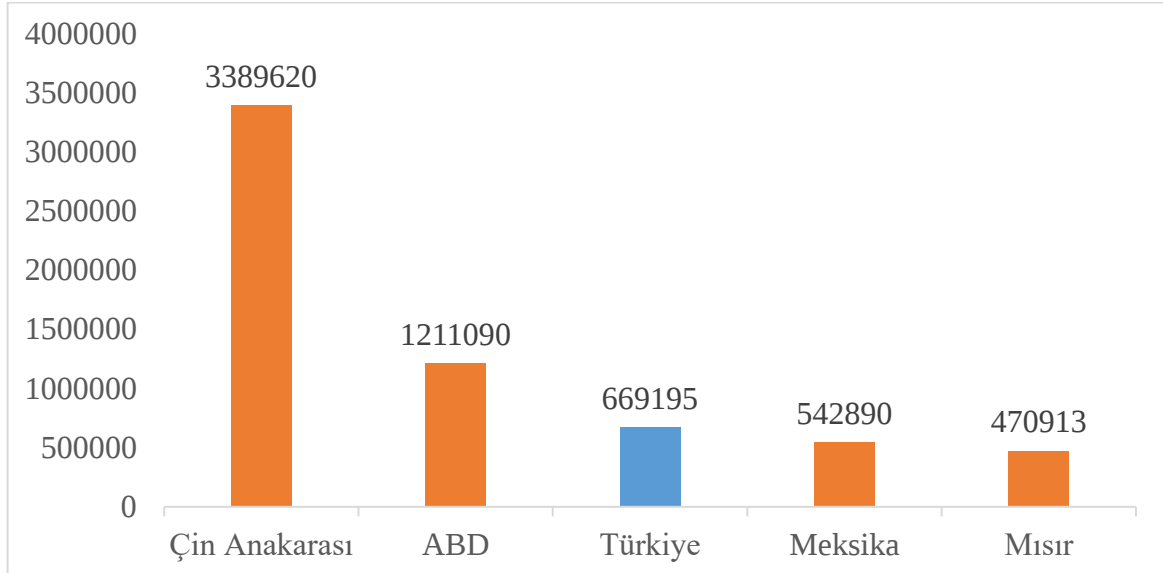
Çilek meyvesi; A, B, C vitaminleri, kalsiyum, demir ve fosfor içeriğinden dolayı insan sağlığı açısından oldukça faydalıdır (Maas, 1996). Zengin bir lif içeriğine sahip olmakla birlikte kalori değeri bakımından düşük seviyelerdedir. Ayrıca şeker, organik asitler ve uçucu aroma bileşenleri de çilek meyvesinin bileşenlerini oluşturmaktadır (Zhao, 2007).

Meyveler otomatik ya da manuel olarak şekil, boyut, ağırlık gibi fiziksel özelliklerine göre sınıflandırıldıkları gibi aynı zamanda toplam çözünebilir katı madde içeriği, şeker içeriği, meyve suyu asiditesi ve sertlik gibi önemli içsel kalite özelliklerine göre de değerlendirilebilmektedirler. Birçok enstrümental teknikler tarımsal ürünlerdeki içsel özelliklerin tespit edilmesinde hasar vererek ölçebilmekte ve bu ölçümler sırasında çok fazla insan işgücüne gereksinim duyulmaktadır (Lammertyn vd., 1998). Ürünlerin içsel kalitelerinin sınıflandırılmasına yönelik otomasyon sistemleri halen günümüzde kullanılan ve geliştirilen konuların başında gelmektedir (Büyükcın, 2008).

Tarımsal ürünlerin sınıflandırılması veya kalite özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan görüntü işleme teknikleri, spektroskopik uygulamalar, ses analizleri gibi bazı güncel teknikler yardımı ile ülkemizde yetiştirilen sebze ve meyvelerin belirli kalite ve standartlara uygun olarak paketlenmesi ya da sınıflandırılmasında kolaylıklar sağlanmaktadır. Ülkemizde üretilen tarımsal ürünler ihraç edilirken Avrupa normları kapsamında belirli standartlara uygun olarak ihraç edilmektedir. Bu doğrultuda ürünleri analizleri sırasında oldukça kimyasal, iş gücü ve zaman harcanmakta olurken yukarıda bahsedilen bazı teknolojik teknikler yardımı ile bu tip maliyetli ve zaman alıcı analizlerin önüne geçilmesi hedeflenmektedir.

1.1.Dünya’da ve Türkiye’de Çilek Üretimi

2021 yılı FAO verilerine göre dünya da 389.664 ha alanda çilek üretimi gerçekleştirilmiştir. Alan bazında bakıldığında 129.046 ha alanda üretim ile Çin ilk sırada yer alırken Çin’i Rusya, Polonya, A.B.D. ve Türkiye izlemektedir. Dünya’da üretim yapılan alandan bakıldığında 9.175.384 ton çilek meyvesi elde edilmiştir (Şekil 1). Dünya çilek üretiminde sırası ile Çin, A.B.D., Türkiye ve Meksika başı çeken ülkelerdir. Bu ülkeler dünya toplam çilek üretiminin %73.2’sini karşılamaktadır (FAO, 2021).



Şekil 1. Ülkeler bazında çilek üretim miktarları (ton) (FAO,2021)

Türkiye’de çilek üretimine bakıldığında 2020/2021 yılı üretim sezonunda 547 bin ton, 2021/2022 yılı üretim sezonunda ise 669 bin ton çilek üretimi yapılmıştır. Ancak 2019/2020 yılında bu üretimin 53 bin tonu ihracat edilmiştir (TOB, 2023).

Diğer meyveler ile karşılaştırıldığında üretimdeki payı % 2.7 olmuştur (TOB, 2023). Çilek üretim alanı en yüksek olan illerimize baktığımızda sırası ile Mersin (%26.8), Bursa (%16.8), Konya (%9.3) ilk üç sırayı oluşturmaktadır. Çanakkale ilimiz % 4.7 ile orta sıralarda yer alırken üretim olarak bakıldığında %5.5 ile katkı sağladığı belirtilmiştir (TOB, 2021).

1.2.Dünya ve Türkiye’de Çilek Piyasası

Dünya çilek ihracat piyasasında 2020 yılında yaklaşık 29 bin ton çilek ihracatı ile İspanya ilk sırada yer almaktadır. Ancak yıllık kazanç bakımından 338420 (x1000) US\$ ile dünya ülkeleri arasında onüçüncü sırada yer almaktadır. 2020 yılında çilek ihracatından yıllık 10154243 (x1000) US\$ kazanç ile üretimde olduğu gibi ilk sırayı Çin almaktadır. Kazanç bakımından ilk sırada yer alan Çin 5834 ton ihracat miktarı açısından ise onyedinci sırada gelmekteydi (FAO, 2021).

Ülkemiz 2020/2021 yılı ihracat verilerine göre yaklaşık 89 bin ton çilek ihracatında bulunmuştur. Bu ihracatın büyük çoğunluğunun da Rusya ve Romanya’ya yapıldığı bilinmektedir. 2020/2021 yılı Türkiye’nin çilek ithalatı ise Romanya’dan yapılmış olup yaklaşık 9 bin ton’dur ve ithalatın %98’ini oluşturmuştur (TOB, 2023).

1.3. FT-NIR Spektroskopisi Teknolojisi

NIR (Yakın kızılötesi) spektroskopisi 1800’lü yılların başında profesyonel bir müzisyen ve astronom olan Fredrick William Herschel’in absorpsiyon spektrumunda ilk görünmeyen bölgeyi keşfetmesiyle ortaya çıkmıştır (Manley ve Beaten, 2018). NIR spektroskopisine dayalı analitik yöntemlerin geliştirilmesi ise 1960’larda Karl H. Norris’in ve arkadaşlarının çalışmalarıyla başlamıştır (Sun, 2009). 1970’lerde NIR spektroskopisinin uygulanmasına ilişkin yayınların sayısı tarım ve gıda sektörlerinde büyük bir artış göstermiş ve günümüzde NIR spektroskopisi gıda endüstrisinde kalite kontrol yöntemi haline gelmiştir (Manley ve Beaten, 2018; Sun, 2009).

NIR spektroskopisi analizi yapılan ürünlerin ışını yansıtma ve iletmesine bağı olarak elde edilen absorbans spektrumunun toplanması ve analiz edilmesiyle elde edilmektedir. Yakın kızılötesi (NIR) spektroskopisi 780-2500 nm dalga boyları arasındaki bölgeyi kapsamaktadır. Bu yöntemin diğr yöntemlere göre birçok avantajı bulunmaktadır.

Herhangi bir ön hazırlık gerektirmemekte, hızlı, ucuz ve basit bir yöntem olmasına karşılık ürünlerde major bileşenler hakkında nicel bilgiler vermekte olup minör bileşenleri ayırt etmede hassasiyet düşmektedir. NIR spektroskopisi ışık kaynağı, dalga boyu seçici ve dedektörden oluşmaktadır (Choi vd., 2006). Yaygın olarak yansıma (reflectance) ve iletim (transmittance) yöntemleri kullanılmaktadır.

Yakın kızılötesi spektroskopisi (NIRS), klasik kimyasal ve fiziksel analitik yöntemler ile karşılaştırıldığında birçok avantaja sahip olmakla birlikte tarım ve gıda ürünlerinin bileşen analizlerinde kullanılan bir teknik olarak yer almaktadır. Bu tip sistemlerin en büyük avantajları olarak hızlı sonuç vermeleri ve tahribatsız olarak ürünleri analiz edebilmeleridir. O-H, N-H ve C-H kovalent bağların birbirleri ile etkileşime girerek belirli formlarda titreşim yapmaları sebebi ile spektrumlar oluşmaktadır. Bu spektrumların incelenmesi ve analizi ile meyve ve sebze gibi tarımsal ürünlerde kalite kriterlerinin hasarsız olarak belirlenebilmesine yardımcı olabilmektedir (Shao vd., 2008). Meyvelerde ki suda çözünür kuru madde (şeker içerikleri) tüketicilerin taze ürünleri alırken dikkat ettiğı önemli kalite kriterlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Meyvenin iç kalite kriteri olan şeker içeriğinin tahribatsız bir şekilde algılanması, meyve işleme endüstrisinin tüketiciye daha iyi, daha tutarlı meyve sunmasına ve böylece endüstrinin rekabetçiliğini ve gelirin artırmasına olanak sağlamaktadır (Muhua vd., 2007). Tarımsal ürünlerde fiziksel özellikler de önemli kalite kriterleri arasında değerlendirilmektedir. Özellikle tarımsal ürünlerin tasnif, taşıma, işleme ve paketleme sistemlerinin uygun tasarım standartlarının belirlenmesinde en önemli parametreler arasında yer almaktadır.

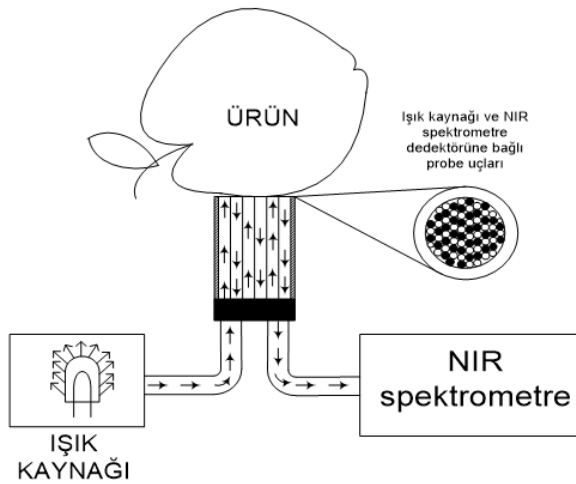
Tarımsal ürünler biyolojik malzemeler olduklarından dolayı aynı ağaç ya da tarla da yetişmiş olsalar bile iki ürün arasında kalite kriterleri açısından farklılıklar olabilmektedir. Üreticiler ürünleri hasat ederken bazen olgunlaşmamış ürünleri de göz kararı olarak hasat etmektedirler. Bu durum da olgunluğunu tamamlamamış ürünlerde hasat edilerek verim düşüşüne neden olmaktadır.

Ayrıca ürünler sınıflandırılırken bu tip olgunlaşmamış ürünleri ayırmak için ekstradan çaba sarf edilmesi gerekmektedir. Özellikle çilek gibi örtü altı yetiştiriciliği yapılan ürünlerde bu tip erken hasat durumları daha çok yaşanmaktadır.

1.3.1. FT-NIR Yansıma (Reflectance) Spektroskopisi

Yansıma spektroskopisi, radyasyonun bir yüzey ya da bir ara yüz tarafından dalga boyunda herhangi bir değişiklik olmadan geri dönmesi olarak ifade edilebilmektedir. Dalga boyuna bağlı olarak numuneden yansımayan ışık soğurulur, numunenin kimyasal bileşimine göre saçılır veya iletilmektedir. Bir yüzey belirli dalga boylarında ışığı emerse, ışığın bağlı yoğunluğu azalır. Genel olarak, yansıyan ışığın yoğunluğu geliş açısının yanı sıra kırılma indeksi, yüzey pürüzlülüğü ve örneklerin absorbans potansiyeline bağlıdır. Bu sebeple, yansıma spektroskopisi nitel ve nicel analizler için kullanışlı bir araçtır (Flores, 2016).

Yansıma yönteminde ışık kaynağı ile detektör söz konusu ürün ile aynı doğrultuda yerleştirilmektedir. Ürüne gönderilen ışık ürün yüzeyinden yansıyarak detektör tarafından algılanmaktadır. Detektördeki algılayıcılar ise gelen ışığın her dalga boyundaki yoğunluğunu ölçmektedir (Büyükcan, 2008).

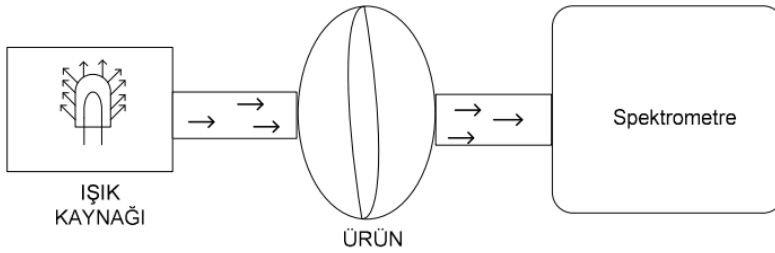


Şekil 2. Yansıma yönteminde NIR spektrometre ile ölçüm (Büyükcan, 2008)

1.3.2. FT-NIR İletim (Transmittance) Spektroskopisi

İletim spektroskopisi yönteminde ürüne gönderilen ışının ürün tarafından absorbe edilmesi sonucunda ışığın şiddetinde düşüş yaşanmaktadır. Işık şiddetindeki azalma kaydedilerek iletim spektrumu elde edilmekte ve örneğe ait bilgiler yorumlanabilmektedir. Bu ölçüm yöntemi daha çok sıvı ve süspansiyon formdaki sıvı içindeki katı maddelerin analizinde kullanılmaktadır.

İletim spektroskopisi ürünlerin iç ve dış kalite parametrelerinin belirlenmesinde büyük avantajlar sağlamaktadır. Işık örnek içerisinden geçtikten sonra detektöre ulaşmakta ve bu sayede örneğin iç yapısı hakkında bilgi vermektedir. İletim spektroskopisinin en büyük avantajı spektrum ürünü tamamen kat eden ışınlara dayalı olarak elde edilmektedir. Bu sürede en fazla bilgi ışınların, ürünlerin tamamına yakınına kat etmesi ile sağlanmaktadır. Yöntemin en belirgin dezavantajı ise, ürünlerin iç yoğunluklarından dolayı gönderilen ışınların karşı tarafa yeteri kadar ulaşmamasından dolayı detektör tarafından algılanamamaktadır. Bunun yanı sıra, bu ölçüm yöntemi bazı ürünlere hasarsız bütün olarak uygulanamamaktadır. Sebebi ise ürünler bütün olarak ele alındığında ışık baştan sona bütün ürünü kat edememekte veya spektrometre içindeki detektörler ürünün içinde geçen zayıf ışığı algılamakta yetersiz kalmaktadır (Büyükcan, 2008).



Şekil 3. İletim yönteminde NIR spektrometre ile ölçüm (Büyükcan, 2008)

Bu çalışmada, çilek meyvesinin olgunlaşma dönemleri boyunca içsel ve dışsal özelliklerinde meydana gelen değişimlerin tahribatsız olarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Buna göre farklı olgunlaşma dönemlerinde hasat edilen çilek meyvelerinin Fourier Dönüşümlü (FT) NIR yardımıyla iletim ve yansımaya ölçüm yöntemleri ile 780-2500 nm arasında ölçülen spektral yansımaya değerleri saptanmak istenmiştir.

Optik ölçümlerin ardından, suda çözünür kuru madde oranı, pH, titre edilebilir asit gibi içsel kalite özellikleri hasarlı olarak ölçülmüş ve önceden elde edilen NIR spektral ölçüm değerleri ile hasarlı olarak ölçülen değerler arasındaki korelasyon ilişkileri araştırılmıştır. Ayrıca olgunlaşma dönemi boyunca gözlenen renk değişimleri de ölçülerek, spektral ölçümler ile renk değerleri arasındaki korelasyon ilişkileri tespit edilmiştir. Bu çalışma, çilek meyvesinin iç ve dış kalite kriterlerinin her ikisinin de kullanılarak tam otomatik sınıflandırma makinelerinin geliştirilmesi açısından önemli bulgular içermektedir.



İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Shao ve He,(2008) yaptıkları çalışmada; çileklerin asitliğini tahmin etmek için NIR yansıma spektroskopisinin kabiliyeti değerlendirilmektedir. Çalışmada 65 numuneden spektrumlar toplanmış ve veriler yansımanın karşılıklılığının logaritması olan absorbans olarak ifade edilmiş ($\log 1/R$). Çilekteki asitliği tahmin etmek için iki model oluşturulduğu belirtilmiştir. Kısmi en küçük kareler (PLS) ile birleştirilmiş dalgacık dönüşümüne (WT) dayalı bir tahmin modeli, $r=0.856$, $RMSEP=0.026$ ve %95 güven kolunda daha iyi sonuçlar tespit edildiği belirtilmiştir. Fakat yapılan çalışmada çilek ürünlerinin hangi olgunluk aşamasında yer aldığı ve bu asitlik değerlerinin hangi olgunluklarda tespit edildiği eksik kalan kısımlar olarak görülmektedir.

Liu vd., (2018) çileklerde hiperspektral yansıma yöntemi kullanılarak kusurlu çileklerin (mekaniksel çürüklük ve mantar bulaşmış) durumları belirlemeye çalışmışlardır. Sağlıklı, çürük veya enfekte olmuş çilekleri üç farklı spektral bölgede (400-600 nm, 650-720 nm ve 900-1010 nm) tanımlamaya çalışmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, tam dalga boylarına dayalı olarak, kalibrasyon için %96.91 ve meyve tahmini için %92.59 doğrulukla SVM modelinin en yüksek genel tanımlama doğruluğunu gerçekleştirdiğini bildirmişlerdir. Yapılan bu çalışma ile yüksek bir kalibrasyon değerine sağlanmış olmakla birlikte ürünlerin tanımlanması aşamasında geliştirilmesi gereken yöntemler bulunmaktadır.

Chen vd., (2018) iPLS ve MWPLS metotlarında ızgara arama optimizasyonunu araştırmışlar ve modellerin sonuçları çileklerde FT-NIR ile belirlenen kuru maddenin (SSC) kantitatif özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Optimize edilmiş iPLS model çıktısı olarak kalibrasyon doğrulama işleminde $RMSEV$ ve R_v için sırasıyla 0.270 ve 0.977 değerleri ve 0.325 ($RMSET$) ve 0.948 (R_t) ile de en uygun test sonuçlarını vermiştir. Diğer tarafta optimize edilmiş MWPLS modelinde kalibrasyon doğrulama işleminde $RMSEV$ 0.269 ve R_v için 0.980 çıktılar ve en uygun test sonuçları olarak da 0.324 ($RMSET$) ve 0.950 (R_t) değerlerini vermiştir. Çalışmada FT-NIR kantitatif analizinde iPLS ve MWPLS modellerini optimize etmenin etkili olabilecek bir yolu araştırılmıştır. Çilek örneklerinde çözünür kuru madde (SSC) kalitesinin tanımlanmasında dalga bandı optimizasyonu için ızgara arama teknolojisi algoritmik parametrelerin etkili olarak seçilmesini sağlamıştır.

Sanchez vd., (2012) ise yaptıkları çalışmada iki farklı regresyon algoritması kullanıp elde edilen tahmin modellerinin performansını karşılaştırarak, hasat ve hasat sonrası depolamada çileklerde iç ve dış kalite parametrelerini tahmin etmek için NIR ölçümlerinin uygulamasını değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Değiştirilmiş kısmi en küçük kareler analizi, renkle ilgili dış kalite parametrelerinin (L , a^* ve C^*) yanı sıra sertlik, çözünür katı madde ve titre edilebilir asitlik değerlerini tahmin etmede NIR'in uygulanabilirliğini doğrulamıştır. Test edilen diğer parametreler için (b^* , h^* ve pH) sonuçlar NIR tahmininin mümkün olmadığını göstermiştir. Ancak LOCAL algoritmasının uygulanması, modellerin incelenen tüm dahili kalite parametrelerini tahmin etme yeteneğini önemli ölçüde geliştirdiği ve algoritmanın kullanılması ile özellikle doku ve asitlikle ilgili olanlar da olmak üzere karmaşık iç kalite parametrelerini tahminlemede NIR modellerindeki hatayı en aza indirmede önemli yararlar sağlamıştır.

Amodio vd., (2017) NIR spektroskopisinin, hasatta organik ve geleneksel olarak yetiştirilen çileklerin iç kalite özelliklerini tahmin etme ve çilek meyvelerini ikisi organik biri geleneksel olarak üretilen 3 farklı üretim sisteminden ayırt etme potansiyelini belirlemeye yönelik çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada kısmi en küçük kareler (PLS) SIMPLS algoritması, toplam çözünür katı içeriği (TSS), pH, titre edilebilir asitlik (TA), askorbik asit içeriği ve fenolik içerik için tahmin modellerinde test edilirken, PLS-DA (diskriminant analizi) sınıflandırma modellerinde kullanılmıştır. Sağlam çilek örneklerinde toplam çözünür katı içeriği ($R^2=0.85$; $RMSEP=0.58$), pH ($R^2=0.86$; $RMSEP=0.09$) ve TA ($R^2=0.58$; $RMSEP=0.15$) için iyi tahminlerle sonuçlandı. Sınıflandırma modelleri için ise harici örnek sınıflarında hem duyarlılık hem de özgüllük değerleri $R^2>0,97$ olarak bulunmuştur.

Giovannini vd., (2014) elmalarda hasat sonrasında elma yönetimini optimize etmek için NIR spektroskopisinin uygulanabilirliğini test etmek ve depolama sırasında meydana gelen değişikliklerin izlenmesini amaçlayan bir çalışma yürütmüşlerdir. Elma partilerinin depolama süresinin tahminlenmesinde NIR spektroskopisinin yüksek potansiyelinin olduğu sonucuna varılmıştır.

Raghavendra vd., (2021) mangolardaki iç kusurların tespit edilmesinde tahribatsız bir yöntem olan NIR spektroskopisini kullanmışlardır. Özelde ise bu yolla öznelik seçme ve öznelik çıkarma yöntemlerine dayalı olarak en uygun dalga boyunu seçmeyi amaçlamışlardır. Deney sonuçlarına göre dalga boyu aralığının 673 nm- 1100 nm aralığının iç kusurları tespit etmede en uygun aralık olduğu saptanmıştır. En iyi dalga boyu seçim tekniği olarak Fisher kriteri seçilmiş, elde edilen en yüksek doğruluk verimli dalga boyları ile %84.5 olmuştur.

Yapılan bir diğer çalışmada ise, çilek meyvesinin yüzeyindeki ezilmelerin tespit edilmesinde renkli ve NIR görüntü işleme yöntemi kullanılmıştır. 1, 2, 3 ve 4 N'luk kuvvetler dikkatli bir şekilde uygulanarak meyve yüzeylerinde eziklikler meydana getirilmiş ve $L^*a^*b^*$ renk analiz modeli ile tespit edilmiştir. Buradaki a^* düzeyi onların niteliklerini göstermiştir. İkinci olarak, ezilmelerin tespiti için kritik dalga boyları belirlenmiş, 860 ve 960 nm arasında uygun filtreler ile spektral görüntüler elde edilmiştir. İki görüntü çıkarma yönteminde, biri aynı numuneler arasında ve diğeri test ile standart görüntü arasında çevrimiçi sıralamada NIR görüntü işleme kullanılarak eziklik tespitindeki olasılıklar doğrulanmıştır (Nagata vd., 2001).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Denemede Kullanılan Meyve Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan Albion çeşidi çilek meyvesi Çanakkale İli Lapseki İlçesine bağlı Yeniceköy Köyü'nde örtü altı üretim yapan yerel bir üreticiden temin edilmiştir. Denemede kullanılan çilek fideleri 30 Mart tarihinde dikilmiş olup deneme için ilk örnekler 23 Mayıs tarihinde toplanmıştır. Deneme 3 aşama şeklinde ilerletilmiştir. Her denemede 50 adet çilek numaralandırılarak kullanılmış olup toplamda 150 adet çilek denemelerde kullanılmıştır. Çilekler oluşturma aşamalarına göre yeşil, yeşil-pembe, pembe- kırmızı ve tam kırmızı olarak gruplandırılmıştır. Tarladan toplanan çilekler aynı gün laboratuvar ortamına getirilmiştir olup eliminasyon ve sınıflandırma işlemlerine tabi tutulmuştur. Ölçümlerden önce ürünler oda sıcaklığına (24°C) gelene kadar bekletilmiştir. Çilekler üzerinde ilk olarak fiziksel ölçümler (ağırlık, boy, çap, renk) daha sonra FT-NIR (iletim ve yansıma) ölçümleri yapılmıştır. Ardından kimyasal (Brix, pH ve TA) ölçümleri yapılmıştır.

3.1.2 Denemede Kullanılan Alet ve Cihazlar

Fiziksel Ölçümler

Denemede boyut ölçümleri için 0.01 hassasiyetli dijital bir kumpas (Şekil 4) ve ağırlık ölçümleri için ise FX-3000i model (A&D Company Limited; Tokyo, Japonya) hassas dijital tartı kullanılmıştır (Şekil 5).



Şekil 4. Dijital kumpas



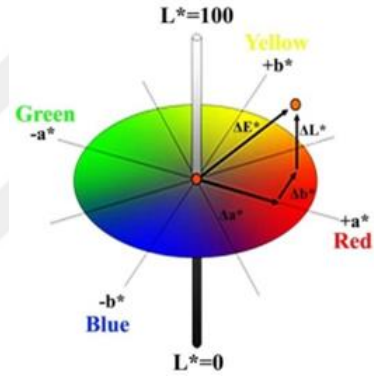
Şekil 5. Hassas terazi

Renk Ölçer ve Renk Ölçümü

Çilek örneklerinin renk ölçümleri Konica Minolta CR-400 (Konica Minolta, INC. Osaka, Japonya) model renk ölçer kullanılarak yapılmıştır (Şekil 6). Renk ölçümleri CIE L a*b* renk ölçüm sistemi kullanılarak yapılmıştır. L a*b* renk sistemi her rengin bir nokta ile temsil edildiği bir koordinat sistemidir. L* a* b* değerleri insan gözünün algılamasına en yakın olacak şekilde tasarlanmıştır. L açıklık eksenini olup dikey olacak şekilde konumlandırılmıştır. L maksimum değeri olan 100 beyazı gösterirken minimum olan 0 değeri ise siyahı gösterir. a* kırmızı-yeşil koordinatıdır ve +a* kırmızıyı, -a* yeşili temsil etmektedir. b* sarı-mavi koordinatıdır ve +b* sarıyı, -b* ise maviyi temsil etmektedir (Şekil 7).



Şekil 6. Konica Minolta renk ölçer



Şekil 7. Boyutlu CIE L*a*b* renk aralığı

Çilek örneklerinin renk ölçümleri spektral ölçümlerden önce yapılmıştır. Renk ölçümleri meyvelerin ekvator düzlemi üzerinden elde edilmiştir. Her 10 ölçümde bir olmak üzere referans işlemleri tekrarlatılmıştır. L a* b* değerleri yardımı ile Chroma ve Hue değerleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır:

$$Chroma = \sqrt{a^2 + b^2}$$

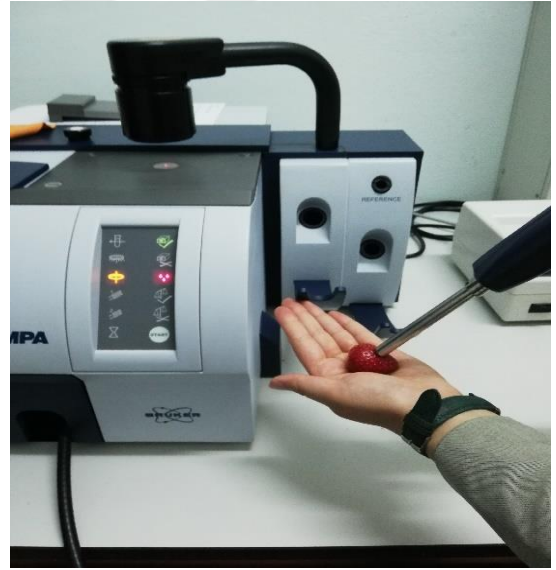
$$Hue = \arctan \frac{b}{a}$$

3.1.3. FT-NIR Spektrometre İletim ve Yansımaya Ölçümleri

Çilek örneklerinin spektral ölçümlerinde Bruker marka MPA (Multi-Purpose Analyzer) model FT-NIR spektrometre (Bruker Optik, GmbH, Ettlingen, Almanya) cihazı ile buna bağlı InGaAs ışık dedektörü ve yüksek yoğunluklu tungsten-halogen NIR ışık kaynağı (20 Watts) kullanılmıştır. FT-NIR spektrometresi ile spektral ölçümde katılar için yansımaya (reflectance) ve iletim (transmission) aynı zamanda sıvılar için de iletim (transmission) olmak üzere üç ölçüm sistemi kullanılabilmektedir. Bu çalışmada, katılar için olan hem yansımaya hem de iletim ölçüm sistemleri kullanılmıştır. Yansımaya modunda ölçümünde fiber optik algılayıcı prob kullanılmıştır. Fiber optik algılayıcı örneğe 90°'lik açıyla temas ettirilerek ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için karanlık bir ortam tercih edilmiştir. İletim ve yansımaya yöntemlerinde her 10 örnekte bir referans alınarak ölçümler tek tek gerçekleştirilmiştir. Her iki yöntemde de taranan dalga boyu aralığı 780-2500 nm arasında değişim göstermiştir.



Şekil 8. Transmittans yöntemi ile ölçüm



Şekil 9. Reflektans yöntemi ile ölçüm

3.1.4. Çilek Meyvesinin Sıkılması

Çilek meyveleri, kimyasal ve fiziksel analizlerin gerçekleştirilmesi için belirli gruplar halinde tülbentten geçirilerek suları çıkartılmıştır. Çıkarılan çilek suları suda çözülebilir kuru madde, pH ve titre edilebilir asitlik ölçümlerinde kullanılmıştır.

Suda Çözülebilir Kuru Madde Ölçümü

Çilek örneklerinin suda çözünür kuru madde oranı değerlerinin ölçülmesinde %0,1 çözünürlüğe ve 0-%32 ölçüm aralığına sahip PR-32 α model (ATAGO; Tokyo, Japonya) dijital refraktometre kullanılmıştır (Şekil 10). Suda çözünür katı madde oranı meyvenin şeker oranını ifade etmektedir. Birkaç damla meyve suyundan cihazın ölçüm haznesine damlatılarak her bir grup için Brix değeri ölçülmüştür. Çıkan değerler Brix(%) cinsinden ifade edilmiştir.



Şekil 10. Dijital refraktometre

pH Metre ve pH Ölçümleri

pH ölçümleri için 6'lı gruplar halinde meyve suyu çıkarılan çilekler cam tüplere alınıp Mi150 model (Mi150 Bench Top pH Meter, Milwaukee Instruments, North Carolina, USA) dijital multimetre kullanılarak çileklerin pH ölçümü gerçekleştirilmiştir.



Şekil 11. pH metre ve pH ölçümleri

Dijital Multimetre

Karışım için H3760-HS model dijital bir karıştırıcı (H3760-HS Digital Hotplate and Stirrer Benchmark Scientific Inc., New Jersey, USA) ve ölçüm işlemi için ise multimetre kullanıldı.



Şekil 12. Dijital hotplate

3.1.4.4. Titre Edilebilir Asit Ölçümleri

Titre edilebilir asit çözünür katı maddeler ile çilek meyvesindeki tüm serbest asitleri ifade etmektedir. Her bir çilek grubundan ekstrakte edilen 10 ml meyve suyuna 40 ml saf su eklendi. Karıştırma ve ölçüm işlemleri için yukarıda belirtilen cihazlar kullanılmıştır. Kademeli bir şekilde 0,1 ml NaOH çözeltisi ilave edilerek değerler elde edilmiştir.



Şekil 13. Titre edilebilir asit ölçümü

3.2. Yöntem

3.2.1. Hasat ve Ölçüm Planı

Çilek örnekleri üzerinde fiziksel ve spektroskopik ölçümler 23 Mayıs-8 Haziran 2022 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Örneklerin toplandığı ilk gün spektroskopik ölçümler ertesi gün ise fiziksel ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Çilek ürünlerinin periyodik hasat sayısı ve ölçüm tarihleri

	Hasat Edilen Çilek Sayısı	Hasat Tarihi
1. Hasat	50	23.05.2022
2. Hasat	50	31.05.2022
3. Hasat	50	08.06.2022

3.2.2. Fiziksel Ölçümler

Denemede kullanılan çilek meyvelerinin ağırlık, çap ve boy ortalamaları Tablo 2’de verilmiştir. Boy ortalamaları 32.63 mm ile 29.5 mm arasında, çap ortalamaları ise 20.32 mm ile 24.82 mm arasında değişim göstermektedir. Ağırlık ortalamaları ise 6.82 g ile 8.80 g arasında ve olgunlaşma ile doğru orantılı bir artış şeklinde gözlemlenmektedir.

Tablo 2.Çilek meyvelerinin fiziksel ölçüm ortalamaları

	Boy Ortalamaları(mm)	Çap Ortalamaları(mm)	Ağırlık Ortalamaları(g)
1. Deneme	32.63	20.32	6.82
2. Deneme	32.01	23.01	8.65
3. Deneme	29.44	24.82	8.83

3.2.3. Spektral Analizler

Yansıma ve iletim açısından FT-NIR spektral ölçümleri için Bruker MPA (Çok Amaçlı Analizör) FT-NIR spektrometresi kullanıldı. FT-NIR spektrometresinde 20 W Yakın kızılötesi ışık kaynağı (tungsten-halojen) ve yansıma için bir InGaAs dedektörü ve iletim modları için RT-InGaAs dedektörleri bulunur.

Yansıma ölçümlerinde ışık kaynağı ve dedektör fiberleri fiber optik probun ucunda bulunur. Fiber optik probun ucu yaklaşık 11.7 mm²’lik bir algılama alanına sahiptir. Bu alanda ışık kaynakları ve dedektör sensör ucunun numuneye 90 derecelik açıyla değiştirilmesiyle ışık gönderilir ve dedektör uçları (TE-InGaAs) numuneden yansıyan ışığı algılayabilir. İletim ölçümleri iletim probu kullanılarak yapıldı.

Prob sistemindeki ışık kaynağından çıkan ışınların bu sisteme yerleştirilen çilek numunelerinin merkezinden geçmesini sağlayacak şekilde ölçümler yapılmıştır. Üründen çıkan ışınlar RTIngaAs dedektörü tarafından toplandı.

Ayrıca numunelerin spektrumlarını elde etmek için nötr yoğunluk (NG9) filtresi kullanıldı (Kavdır vd., 2009). Deneyin spektral ölçümleri ve cihaz kontrolü için OPUS yazılımı (Bruker Optik, GmbH, Ettingen, Almanya) kullanıldı. Yansıma ölçümleri fiber optik prob kullanılarak 780-2500 nm dalga boyu aralığında alınmıştır. Yansımanın spektral ölçümü, her spektrum için 30 saniyede 32 tarama ile yapıldı ve çözünürlük 8 cm⁻¹ idi. İletim ölçümleri 800-1725 nm dalga boyunda elde edildi. Otuz iki tarama ve çözünürlük, yansıma modlarıyla aynı parametreler olan 8 cm⁻¹ idi.

Örneklerin bağıl spektrumları OPUS programı kullanılarak aşağıdaki denklem kullanılarak elde edildi:

$$\text{Bağıl Spektrum} = \frac{\text{Örnek}}{\text{Referans}}$$

Kısmi En Küçük Kareler (PLS) kullanılarak yapılan spektral analizler sırasında kalibrasyon ve doğrulama modelleri geliştirildi. SSC'yi tahmin etmek için renkler, pH ve TA sonuçları kullanıldı ve PLS'yi içeren bir çarpaz doğrulama tekniği dışarıda bırakıldı. Bu teknik, kalibrasyon için diğer numunelerden bir numuneyi çıkardı ve ardından bunu doğrulamada kullandı. Bu süreç, doğrulama modelini oluşturmak için tüm numuneler kullanılıncaya kadar devam eder. Kalibrasyon ve doğrulama tekrarlanan teknik ortalamaları, kalibrasyon modelinin performansını belirledi.

PLS analizinde kalibrasyon modellerinin performansını tahmin etmek için çilek spektrumları üzerinde farklı işleme teknikleri kullanılmıştır. Bu amaçla çilek örneklerine üç farklı spektral işleme tekniği uygulanmıştır. İlk prosedürde numuneler için yumuşatma dışında herhangi bir işleme tekniği kullanılmamıştır. İkinci prosedürde ise örnek spektrumlara min-max normalleştirme, sabit ofset yok etme, düz çizgi çıkarma, birinci türev, ikinci türev, çarpımlı saçılma düzeltilmesi, vektör normalleştirme ve ön işleme spektrum teknikleri tek tek uygulandı.

Üçüncü yaklaşımda, canlı spektrumlara birbiri ardına iki işleme tekniği uygulandı: birinci türev ve düz çizgi çıkarma, birinci türev ve vektör normalleştirme ve birinci türev ve çarpımsal saçılma düzeltilmesi. Ortalama merkezleme, işlenmiş olsun ya da olmasın tüm spektrum türlerine uygulandı. Doğrulama ve kalibrasyon modelleri OPUS Yazılımı (Bruker Optik, GmbH, Ettingen, Almanya) kullanılarak oluşturuldu. Kalibrasyon modellerinin performansını tahmin etmek için belirleme katsayısı, tahmin hatasının ortalama karekökü (RMSEE) ve çarpaz doğrulama hatasının karekökü (RMSECV) yöntemleri kullanıldı. Ayrıca istatistiksel analizler Minitab 20.4 yazılımı kullanılarak yapılmıştır (Buyukcan ve Kavdır, 2017).



DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

Çilek meyvesinin fiziksel özelliklerinin standart sapma ve maksimum-minimum değerleri Tablo 3’de gösterilmiştir. pH ve suda çözünür kuru madde oranı (SSC) değerleri çilek meyvesinin olgunlaşma periyodu ile artış göstermiştir. Ürünlerin parlaklığını gösteren L^* değerinde olgunlaşma dönemi boyunca azalma görülürken a^* parametrelerinde zamana bağlı artış görülmektedir. Olgunlaşma dönemi boyunca Chroma ve Hue değerleri için de benzer değerler gözlemlenmiştir. Çilek meyvelerinin geniş olgunluk aralığı sebebiyle bazı parametrelerde yüksek standart sapmalar gözlenmiştir.

Tablo 3. Çilek örneklerinin fiziksel özellikleri için istatistik sonuçları

Fiziksel Özellikler	Günler	Ortalama	StDev	Minimum	Maksimum
pH	0	35.975	0.0128	35.800	36.100
	7	36.925	0.0492	36.300	37.700
	14	37.025	0.0868	36.300	38.800
TA	0	14.528	0.1442	12.800	16.640
	7	13.408	0.0447	12.928	14.208
	14	14.336	0.1160	12.992	16.064
SSC(%)	0	9.688	0.426	9.300	10.400
	7	10.712	1.027	9.400	12.500
	14	12.100	1.254	10.200	14.200
L^*	0	54.325	3.592	47.110	61.900
	7	39.191	6.553	3.450	49.710
	14	31.459	3.667	26.470	43.340
a^*	0	-5.729	3.166	-10.52	4.03
	7	18.697	4.688	7.62	30.24
	14	23.197	3.781	11.38	30.21
b^*	0	21.692	1.59	16.97	24.69
	7	16.969	1.751	13.54	20.91
	14	11.641	2.568	6.52	16.98
Chroma	0	22.627	1.942	17.277	25.932
	7	25.499	3.479	17.93	35.398
	14	26.109	3.556	18.135	33.308
Hue Angle	0	-1.07	0.762	-1.55	1.562
	7	0.7519	0.1469	0.5174	1.1563
	14	0.4689	0.1171	0.2984	0.8924

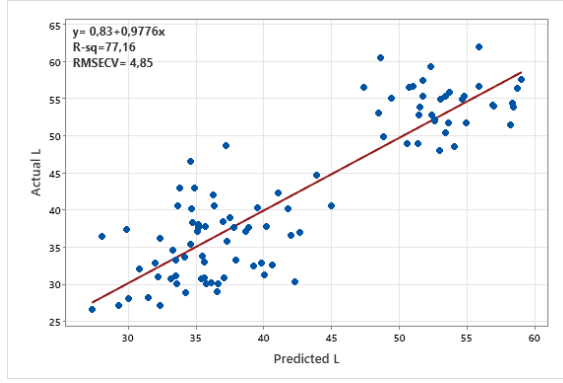
4.1. Renk Tahmin Sonuçları

Renk, meyve ve sebzelerin belirlenmesinde önemli kalite parametrelerindendir. Antosiyanin miktarı, gelişim sırasında çileği etkin bir biçimde yeşilden kırmızı renge dönüşmesinde etkili olmaktadır (Rodrigo vd., 2007). Her iki ölçüm metodu için renk tahmin sonuçları Tablo 4’de verilmiştir.

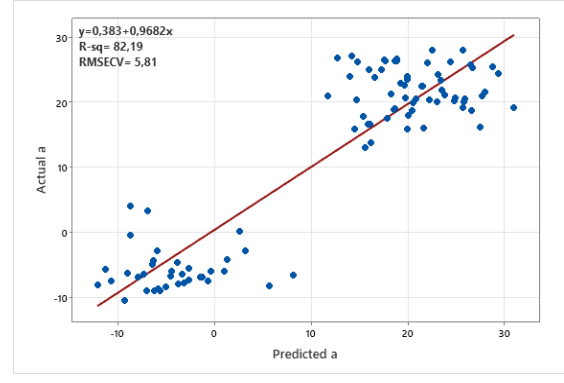
Tablo 4. Reflektans ve transmitans metotlarında renk tahmin değerlerinin kalibrasyon ve validasyon sonuçları

Renk Özellikleri	Ölçüm Metodu	Faktörler	Kalibrasyon		Validasyon	
			R ²	RMSEE	R ²	RMSECV
<i>L</i>	Yansım	9	85.87	4.03	77.16	4.85
	İletim	7	77.63	4.97	65.5	5.91
<i>a</i> *	Yansım	9	89.42	4.73	82.19	5.81
	İletim	8	86.67	5.13	79.15	6.1
<i>b</i> *	Yansım	9	80.37	2.1	68.81	2.51
	İletim	6	68.73	2.62	58.3	2.91
Chroma	Yansım	9	68.32	1.8	46.73	2.21
	İletim	1	5.395	2.91	2.057	2.93
Hue	Yansım	2	59.82	0.598	57.59	0.605
	İletim	8	91.77	0.268	84.81	0.347

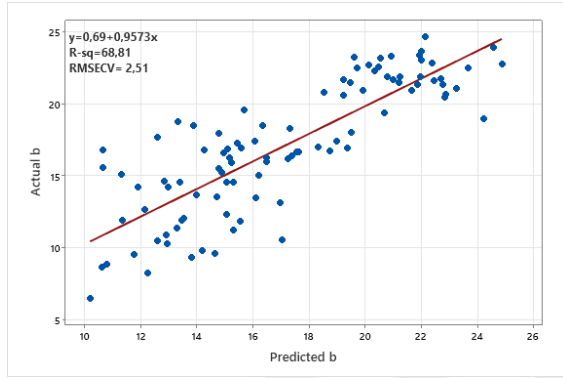
En yüksek doğrulama sonuçları, *a** tahmini için yansım ($R^2=82.19$; RMSECV= 5.81) (Şekil.1-a) ve Hue için iletim ($R^2=84.81$; RMSECV= 0.347) (Şekil.2-e) metotları olarak gözlenmiştir. En düşük tahmin sonuçları, transmitans yönteminin $R^2=2.057$ (RMSECV= 2.93) ve reflektans yönteminin $R^2=46.73$ (RMSECV= 2.21) olduğu Chroma’da elde edilmiştir.



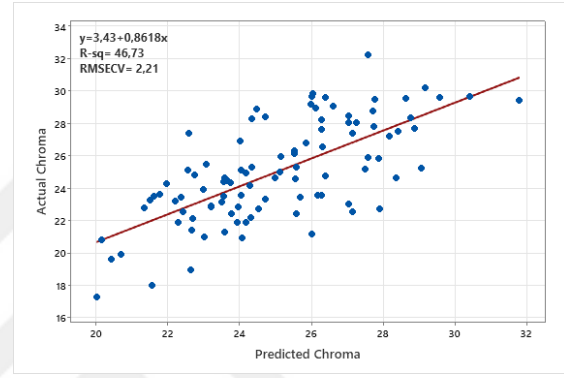
1-a



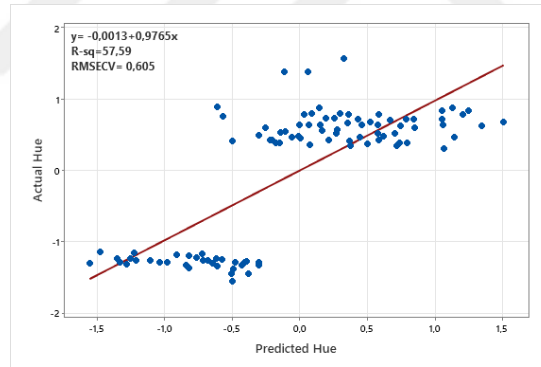
1-b



1-c

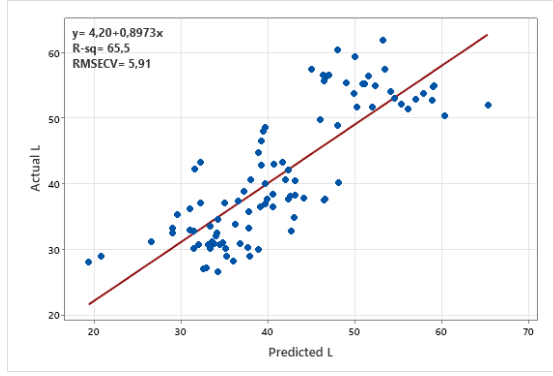


1-d

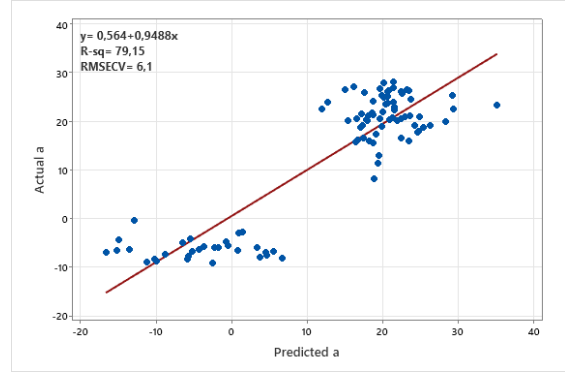


1-e

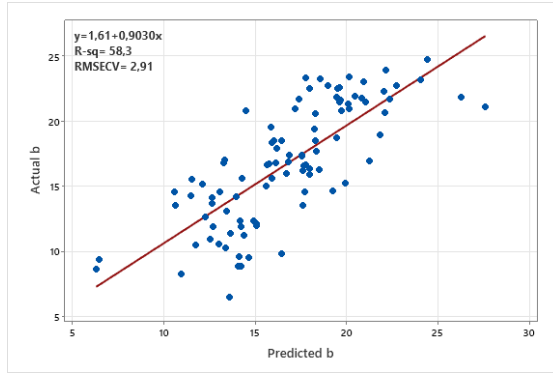
Şekil 14. Reflektans yönteminde renk değerlerinin [(1-a) L^* değerleri, (1-b) a^* değerleri, (1-c) b^* değerleri, (1-d) Chroma değerleri, (1-e) Hue değerleri] tahmini



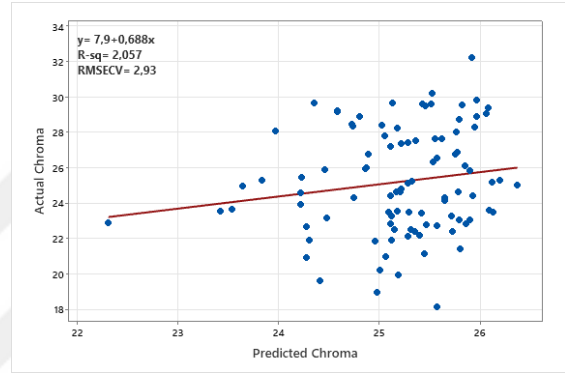
2-a



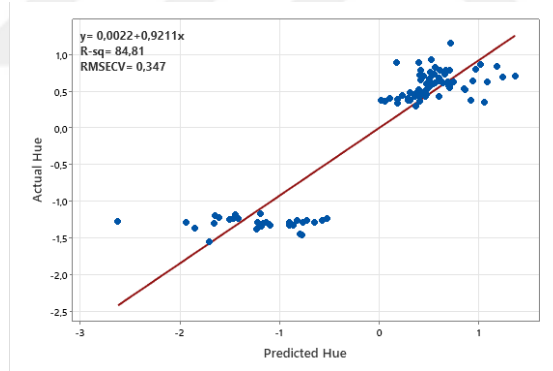
2-b



2-c



2-d



2-e

Şekil 15. İletim yönteminde renk değerlerinin [(2-a) L^* değerleri, (2-b) a^* değerleri, (2-c) b^* değerleri, (2-d) Chroma değerleri, (2-e) Hue değerleri] tahmini

L , a^* ve b^* renk tahmin sonuçları iredelendiğinde hem iletim hemde yansıma yöntemleri için birbirine çok yakın sonuçlar olduğu tespit edilmiştir. a^* değerleri CIE $L^*a^*b^*$ renk sisteminde kırmızı rengi ifade etmektedir. Ölçümlerde ele alınan a^* değerleri yansıma ($R^2=82.19$; $RMSECV= 5.81$) ve iletim ($R^2=79.15$; $RMSECV= 6.1$) yöntemlerinde ikinci en yüksek doğrulama sonuçlarına ulaşıldığı görülmüştür. Çileğin olgunlaşma döneminde kabuk renginin yeşilden kırmızıya dönüşmesi meyve içerisinde ki antosiyanin içeriği değişikliğinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 5’de görüldüğü gibi iletim yönteminde tahminleme başarısı sırasıyla L , a^* , b^* ve Hue olurken etkili dalga boyu aralıkları 800-1000 nm arasında yer almaktadır. iletim yönteminde chroma ve yansıma yönteminde L^* değeri aynı dalga boyu (999-1333 nm) aralığında yer almaktadır. 1332-1886 nm ve 2260-2355 nm dalga boyu aralıklarında olan a^* değerleri ile 1332-1545 nm ve 2173-2355 nm’de reflektans modunda Hue değerlerinin efektif dalga boyu aralıkları birbirlerine yakın oldukları görülmektedir. Yansıma modunda 975, 1187, 1450 ve 1924 nm ve iletim modunda 815, 1067 ve 1280 nm değerleri spektral piklerin olduğu noktaları göstermektedir. Włodarska vd., (2019); yapmış oldukları çalışmada O-H ve C-H gruplarının 980, 1192, 1451, 1778 ve 1928 nm’de önde gelen absorbsiyon bantlarını içeriğine dikkat çekmiştir. Su, şeker ve antosiyanin gibi polifenolik bileşikler çilek meyvesine rengini veren bu absorbsiyon içerisinde spektral aralıkta yer almakta ve yapılan çalışma ile benzer sonuçlar olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5. Çilek meyvelerinde yansıma ve iletim için etkili dalga boyu aralıkları

Etkin dalga boyu aralığı (nm)		
	Reflektans	Transmitans
L	999-1333	800-1000
a^*	1332-1886; 2260-2355	800-1000
b^*	800-1333; 1639-1836	800-1000
Chroma	800-1333	999-1333
Hue	1332-1545; 2173-2355	800-1000
	1731-1836	
TA	2173-2355 800-1334	1333-1640
SSC	1639-1836 2173-2355	1000-1334
pH	1332-1471 1835-2355	800-1334 1639-1725

Çilek meyvelerinin olgunluk dönemlerinde ki renk değişimleri Tablo 6’da verilmiştir. Olgunlaşma boyunca renk parametreleri istatistiksel olarak anlamlı olarak sonuçlanmıştır. Hasat zamanları açısından bakıldığında L değerleri istatistiksel açıdan haftalar bazında farklılıklar olduğunu göstermiştir. Sonuçlar incelendiğinde L değerlerinin çileklerin parlaklığı için hasat döneminde etkili olduğunu sonucuna varılmıştır. Tarlada olgunlaşma dönemi boyunca L ve b* değerleri hızla düşerken a* değerleri artmıştır. Benzer sonuçlar Ménager vd., (2004) tarafından da rapor edilmiştir. Ayrıca chroma ve hue değerleri incelendiğinde benzer artışın bu değerlerde de olduğu gözlemlenmiştir. Nunes vd.,(2006) çilek meyvelerinin hava sıcaklığına bağlı olarak yaklaşık 12-13 gün içinde yeşilden kırmızımsıya doğru olgunlaştığını bildirmiştir.

Tablo 6. Çileklerin olgunlaşma periyodu boyunca renk özelliklerinin belirlenmesi

	0. Gün	7. Gün	14. Gün
L	54.325±3.592 a	39.191±6.553 b	31.459±3.667 c
a*	-5.729±3.166 c	18.697±4.688 b	23.197±3.781 a
b*	2.692±1.590 a	16.969±1.751 b	11.641±2.568 c
Chroma	22.627±1.942 b	25.499±3.479 a	26.109±3.556 a
Hue	-1.070±0.762 c	0.751±0.147 a	0.469±0.117 b

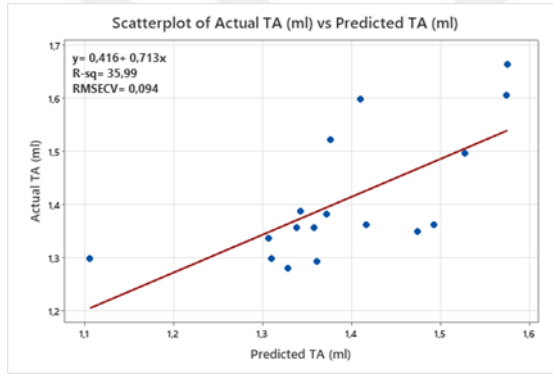
^{a-c} Aynı satırda farklı harflerle gösterilen ortalamalar anlamlı derecede farklıdır(P<0.05)

4.2. Fiziksel Ölçümler Tahmin Sonuçları

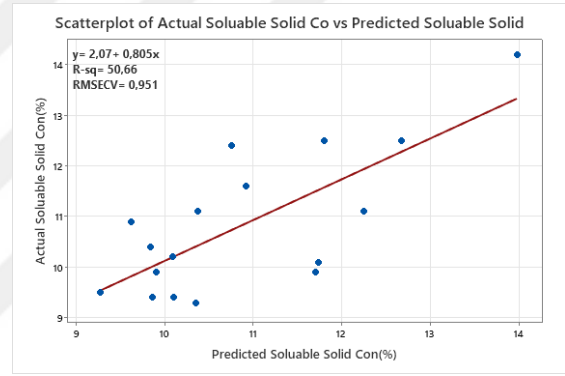
TA, pH ve SSC tahmin sonuçları Tablo 7, Şekil 16 ve Şekil 17’da gösterilmiştir. TA ve pH değerleri $R^2=35.99$ (RMSECV=0.094) ve $R^2=26.16$ (RMSECV=0.0627) yansıma modlarında yakın değerler olarak elde edilmiştir. Yansıma ile karşılaştırıldığında iletim modu TA ($R^2=1.984$; RMSECV=0.116) ve SSC ($R^2=33.2$; RMSECV=1.11) değerlerinde daha düşük tahminleme sonuçları göstermiştir. Ayrıca kalibrasyon tahmin sonuçları değerlendirildiğinde her iki mod içinde benzer TA ve SSC analiz sonuçlarının elde edildiği görülmüştür. Bunun yanı sıra iletim ($R^2=58.21$; RMSECV=0.0472) modunda yansıma ($R^2=26.16$; RMSECV=0.0627) moduna göre daha iyi pH tahmin sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 7. İletim ve Yansımada yöntemlerinde pH, SSC ve TA tahmin değerleri için kalibrasyon ve validasyon sonuçlarının özeti

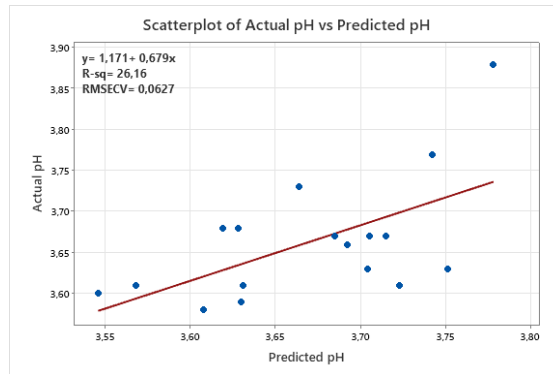
Özellikler	Ölçüm Metodu	Faktörler	Kalibrasyon		Validasyon	
			R ²	RMSEE	R ²	RMSECV
TA	Yansımada	10	99.62	0.0121	35.99	0.094
	İletim	2	33.08	0.106	1.984	0.116
SSC	Yansımada	10	99.55	0.152	50.66	0.951
	İletim	6	92.01	0.499	33.2	1.11
pH	Yansımada	9	97.96	0.0162	26.16	0.0627
	İletim	10	99.57	0.008	58.21	0.0472



3-a

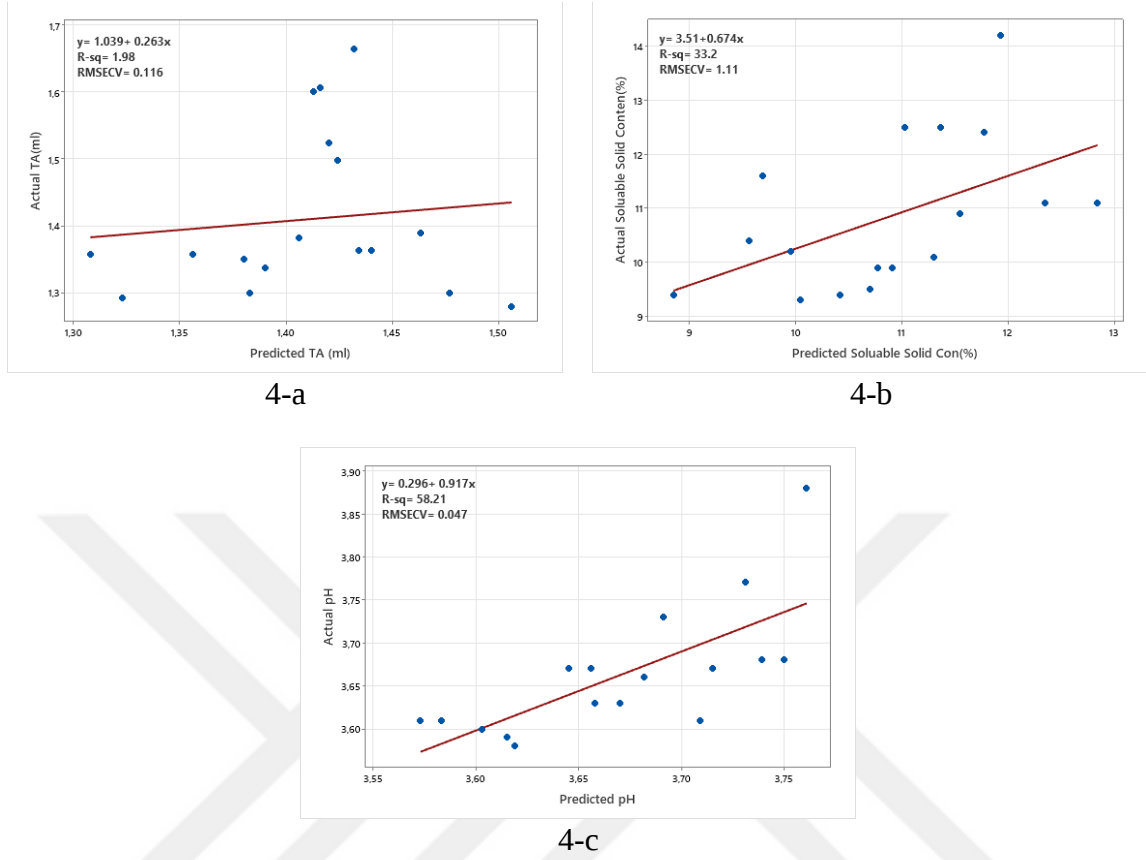


3-b



3-c

Şekil 16. Yansımada TA, SSC ve pH özelliklerinin [(3-a) TA değerleri, (3-b) SSC değerleri, (3-c) pH değerleri] tahmini



Şekil 17. İletim metodunda TA, SSC ve pH özelliklerinin [(4-a) TA değerleri (4-b) SSC değerleri, (4-c) pH değerleri] tahmini

TA için en etkili dalga boyu aralıkları 1731-1836 nm ve 2173-2355 nm olarak saptanırken, yansıma modunda SSC için benzer dalga boyları etkili olabilmektedir. pH tahmini için en etkili dalga boyu aralıkları iletim modunda 800-1334 nm ve 1639-1725 nm'dir (Tablo 5). Yansıma modunda olgunluk aşamasında sırasıyla 974, 1181, 1445, 1922 nm'deki pikler etkili olmaktadır. 974, 1181 ve 1445'teki dalga boyları, yansıma ve iletim ölçüm yöntemlerine benzer şekilde pH, TA ve SSC tahminini belirlemede etkili pik noktalar olarak tespit edilmiştir. Bu absorpsiyon dalga boyları, C-H, N-H ve O-H kimyasal bağları ile ilgili organik moleküller için önem arz etmektedir. (Liu vd., 2019).

Karbonhidrat grubundan olan şekerler 1165 nm'de C-H ile ilgili kimsayal bağlara karşılık gelmektedir. Ayrıca 974, 1445 ve 1922'deki pikler, çileklerdeki O-H ile ilişkili olup çilekler içerisinde bulunan su içeriği göstermektedir (Seki vd., 2023). Yansıma ve iletim için 1443-1416'daki pikler, suda çözünabilir katı madde ve titre edilebilir asit olarak tanımlanan O-H ve C-H kombinasyonlarını tanımlamaktadır (Mancini vd., 2023).

Çilek örneklerinin olgunluk evresi boyunca başlangıç kalitesindeki değişimler Tablo 8’de gösterilmiştir. Asitlik, çileklerin lezzetini ve tüketici özelliklerini belirlemede önemli bir parametredir. Çilek meyvesindeki şeker içeriğinin %99’unu sukroz, fruktoz ve glukoz oluşturmaktadır. Ayrıca bu şeker içeriği müşteri memnuniyetinde önemli rol oynamaktadır (Moing vd., 2001; Park vd., 2006). pH ve SSC değerleri olgunluk dönemi boyunca istatistiksel olarak anlamlı bir artış göstermiştir. 14. günde çözülebilir kuru madde oranı diğer günler ile karşılaştırıldığında istatistiki olarak fark anlamlı çıkmaktadır.

Aynı zamanda pH değerleri ölçümler boyunca artış göstermiştir. Olgunluk aşamasındaki farklı çilek çeşitleri için de hemen hemen aynı yavaşlama görüldü (Kafkas vd., 2007; Karlıdağ vd., 2009). Olgunluk periyodu boyunca invertaz enzim aktivitesi azalmış ve bu da çilekler için SSC seviyelerinin yükselmesine neden olmuştur. Ayrıca çileklerde olgunlaşma dönemi boyunca devam eden solunum döneminden sonra organik asitlerin şekere dönüşmesi ürünlerde pH seviyesinin yükselmesine neden olabilir. Olgunlaşma döneminde ürünlerin solunum fonksiyonunda esansiyel organik asitler malik ve sitrik asitlerin azalması nedeniyle pH ve SSC değerleri yükselme eğilimine girer (Basak vd., 2022).

Tablo 8. Çileklerin olgunlaşma dönemi boyunca TA, SSC ve pH özelliklerinin belirlenmesi

	0.Gün	7 .Gün	14.Gün
TA	1.452±0.144 ns	1.340±0.044 ns	1.433±0.116 ns
SSC	9.688±0.426 b	10.712±1.027 b	12.100±1.254 a
pH	3.597±0.012 b	3.692±0.049 a	3.702±0.086 a

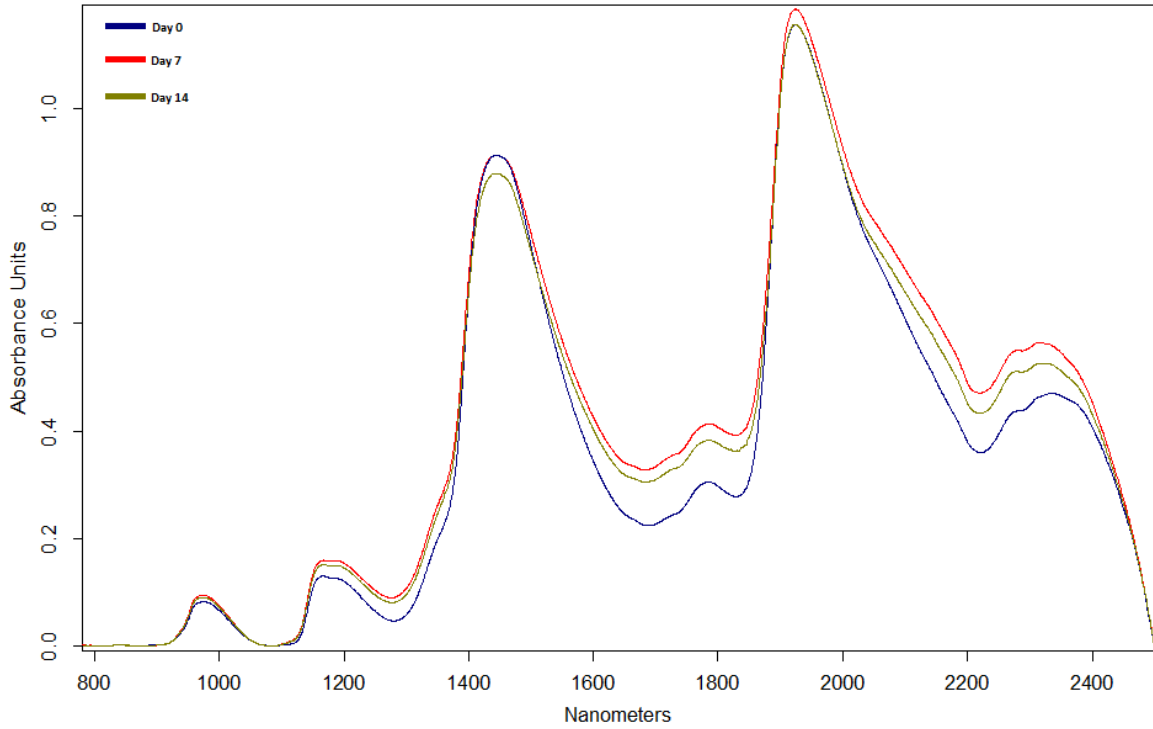
^{a-c} Aynı satırda farklı harflerle gösterilen ortalamalar anlamlı derecede farklıdır (P<0.05)
ns: İstatistiksel olarak farklılık yoktur (P>0.05).

4.3. İletim ve Yansıma Spektral Ölçümleri

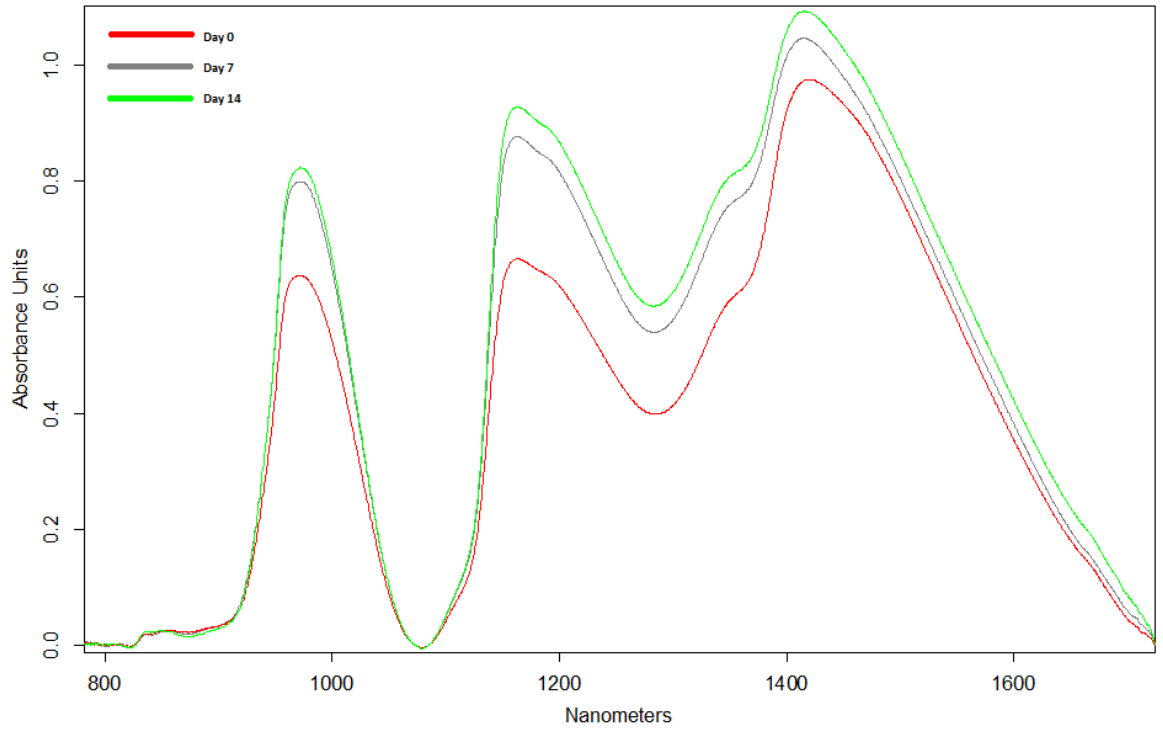
Yansıma modunda çileklerin spektrum ortalamaları 0. gün, 7. gün ve 14. gün hasattaki farklılıklar Şekil 18’de görülebilir. Yansımada önemli pikler 972, 1179, 1443, 1784, 1923 ve 2316 nm’deki pikler olarak tanımlanmaktadır. İlgili absorbsiyon pikleri 852, 970, 1161 ve 1416 nm olan iletim modu için Şekil 19’da gösterilmiştir. 970-972, 1161-1179 ve 1443-1416 nm pikleri O-H bağları içeren su absorbsiyon bağları olarak tanımlanmıştır (Williams ve Norris, 1987).

Benzer dalga boyu sonuçları, 950-1000 nm, 1180-1200 nm ve 1390-1620 nm dalga boyları için karbonhidratlarda ve suda C-H ve O-H absorpsiyonu ile açıklanmıştır (Shen vd., 2018).

Şekil 19'da gösterildiği gibi iletim için ortalama spektrum 0.gün ile 14.gün karşılaştırıldığında güçlü su absorpsiyon bandı olduğundan 1150-1450 nm dalga boyları arasında düşüktür.



Şekil 18. Yansıma modunda çileklerin olgunlaşma dönemi boyunca ortalama spektrumları



Şekil 19. İletim modunda çileklerin olgunlaşma dönemi boyunca ortalama spektrumları

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma çileklerin olgun aşaması sırasında değişim kalite kriterlerinin FT-NIR yakın kızılötesi spektroskopi cihazı kullanılarak tahminlenmesi amacı ile yapılmıştır. FT-NIR cihazı ile yapılan ölçümlerle meyvelerin fiziksel özelliklerinin (pH, titre edilebilir asit, suda çözünen kuru madde oranı, renk) karşılaştırılması ile elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Renk değerlerinden a^* tahmini için reflektans ($R^2=82.19$; RMSECV= 5.81) ve Hue için iletim ($R^2=84.81$; RMSECV= 0.347) metotları en yüksek doğrulama sonuçlarını vermiştir. Yansıma metodunda etkin dalga boyu 1332-1886; 2260-2355 nm aralıkları olurken; iletim metodunda 800-1000 nm spektral aralıklarında yüksek sonuçları vermiştir.

Suda çözünebilir kuru madde içeriğinin standart ölçümler ve FT-NIR spektral ölçümler arasında elde edilen korelasyon değerlerinin tahmin edilmesinde yansıma ($R^2=50.66$, RMSECV=0.951) metodu iletim ($R^2=33.2$, RMSECV=1.11) metoduna göre daha iyi sonuç vermiştir. TA; $R^2=35.99$ (RMSECV=0.094) ve pH $R^2=26.16$ (RMSECV=0.0627) değerleri yansıma modlarında birbirlerine yakın değerler elde edilmiştir. Bununla birlikte iletim modu TA ($R^2=1.984$, RMSECV=0.116) ve SSC ($R^2=33.2$, RMSECV=1.11) değerleri için reflektans moduna göre tahminlemede iyi sonuçlar verememiştir. Buna karşılık transmitans ($R^2=58.21$; RMSECV=0.0472) modunda pH değerinde reflektans ($R^2=26.16$; RMSECV=0.0627) moduna göre daha iyi tahmin sonuçları elde edilmiştir.

Çilek örneklerinde olgunlaşma dönemi boyunca kalitesinde değişimler meydana gelmiştir. Asitlik ve şeker içeriği çilek meyvesinin lezzetini ve tüketicinin tercihini belirlemede önemli faktörlerdir. pH ve SSC değerleri istatistiksel olarak incelendiğinde anlamlı bir artış göstermiştir. Olgunluk dönemi boyunca azalan intervaz enzim aktivitesi SSC değerinin, olgunlaşma aşamasından sonra organik asitlerin şekere dönüşmesi ise pH seviyesinin yükselmesine neden olmaktadır.

Genel olarak çalışmaya bakıldığında NIR teknolojisinin çilek meyvesinin içsel ve dışsal bazı kalite kriterlerinin hasarsız tespitinde iyi bir potansiyele sahip olduğunu ve hasarsız tahminlemede iyi korelasyon sonuçları verdiğini ortaya koymaktadır.

Bu sonuçlar, ürünlerin hasarsız tespitinde NIR teknolojisinin umut vadettiğini ve ürünlerin hasarsız sınıflandırılmasında geliştirilecek otomasyon uygulamalarında kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak bu konuda daha ileri düzeyde ve geniş çaplı çalışmalar yürütülmesi faydalı olacaktır.



KAYNAKÇA

- Amodio, M. L., Ceglie, F., Chaudhry, M. M. A., Piazzolla, F., & Colelli, G. (2017). *Potential of NIR spectroscopy for predicting internal quality and discriminating among strawberry fruits from different production systems*. *Postharvest Biology and Technology*, 125, 112-121. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.11.013>
- Basak, J.K., Madhavi, B.G.K., Paudel, B., Kim, N.E., Kim, H.T., 2022. *Prediction of Total Soluble Solids and pH of Strawberry Fruits Using RGB, HSV and HSL Colour Spaces and Machine Learning Models*. *Foods* 11. <https://doi.org/10.3390/foods11142086>
- Büyükcan, B. (2008), *Kayısı'da Bazı İçsel Kalite Kriterlerinin Fourier Dönüşümlü Yakın Kızılötesi (FT-NIR) Spektroskopi Kullanarak Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, Çanakkale
- Buyukcan, M.B., Kavdir, I., 2017. *Prediction of some internal quality parameters of apricot using FT-NIR spectroscopy*. *Journal of Food Measurement and Characterization* 11, 651–659. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9434-9>
- Chen, H., Liu, Z., Cai, K., Xu, L., & Chen, A. (2018). *Grid search parametric optimization for FT-NIR quantitative analysis of solid soluble content in strawberry samples*. *Vibrational Spectroscopy*, 94, 7-15. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2017.10.006>
- Choi, K. H., Lee, K. J., & Kim, G. (2006, May). *Nondestructive quality evaluation technology for fruits and vegetables using near-infrared spectroscopy*. In *Proceedings of the International Seminar on Enhancing Export Competitiveness of Asian Fruits*, Bangkok, Thailand (pp. 18-19).
- FAO, 2021, Erişim Tarihi:13.11.2023, <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>,
- Flores, S., & Cloribel, A. (2016). *Development And Validation Of A Near Infrared Specular Reflectance Flow Cell For Online Monitoring Of Microalgal Cultures*.

- Giovannini, D., Quacquarelli, I., Ranieri, M., & Faedi, W. (2014). *Feasibility study of NIR application to strawberry internal fruit quality traits*. In VII International Strawberry Symposium (Vol.1049, pp.947-954). [10.17660/ActaHortic.2014.1049.155](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1049.155)
- Kafkas, E., Koşar, M., Paydaş, S., Kafkas, S., Başer, K.H.C., 2007. *Quality characteristics of strawberry genotypes at different maturation stages*. Food Chem 100, 1229–1236. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.005>
- Karlıdag, H., Yildirim, E., Turan, M., 2009. *Exogenous applications of salicylic acid affect quality and yield of strawberry grown under antifrost heated greenhouse conditions*. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 172, 270–276. <https://doi.org/10.1002/jpln.200800058>
- Kavdir, I., Buyukcan, M.B., Lu, R., Kocabiyik, H., Seker, M., 2009. *Prediction of olive quality using FT-NIR spectroscopy in reflectance and transmittance modes*. Biosyst Eng 103, 304–312. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.04.014>
- Lammertyn, J., Nicolai, B., Ooms, K., De Smedt, V., & De Baerdemaeker, J. (1998). *Non-destructive measurement of acidity, soluble solids, and firmness of Jonagold apples using NIR-spectroscopy*. Transactions of the ASAE, 41(4), 1089-1094.
- Liu, Q., Sun, K., Peng, J., Xing, M., Pan, L., & Tu, K. (2018). *Identification of bruise and fungi contamination in strawberries using hyperspectral imaging technology and multivariate analysis*. Food analytical methods, 11, 1518-1527.
- Liu, Q., Wei, K., Xiao, H., Tu, S., Sun, K., Sun, Y., Pan, L., Tu, K., 2019. *Near-infrared hyperspectral imaging rapidly detects the decay of postharvest strawberry based on water-soluble sugar analysis*. Food Anal Methods 12, 936–946. <https://doi.org/10.1007/s12161-018-01430-2>
- Maas, J. L. (1996). *Health enhancing properties of strawberry Fruit*. In Proc. of IV N. American Strawberry Conf. Orland, 1996 (pp. 11-18).
- Mancini, M., Mazzoni, L., Qaderi, R., Leoni, E., Tonanni, V., Gagliardi, F., Capocasa, F., Toscano, G., Mezzetti, B., 2023. *Prediction of Soluble Solids Content by Means of NIR Spectroscopy and Relation with Botrytis cinerea Tolerance in Strawberry Cultivars*. Horticulturae 9, 91. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010091>

- Manley, M., & Baeten, V. (2018). *Spectroscopic technique: Near infrared (NIR) spectroscopy*. In *Modern techniques for food authentication* (pp. 51-102). Academic Press.
- Ménager, I., Jost, M., Aubert, C., 2004. *Changes in Physicochemical Characteristics and Volatile Constituents of Strawberry (Cv. Cigaline) during Maturation*. J Agric Food Chem 52, 1248–1254. <https://doi.org/10.1021/jf0350919>
- Moing, A., Renaud, C., Gaudillère, M., Raymond, P., Roudeillac, P., Denoyes-Rothan, B., 2001. *Biochemical Changes during Fruit Development of Four Strawberry Cultivars*, J. AMER. SOC. HORT. SCI.
- Muhua, L., Peng, F., & Renfa, C. (2007). *Non-destructive estimation peach SSC and firmness by mutispectral reflectance imaging*. New Zealand Journal of Agricultural Research, 50(5), 601-608.
- Nagata, M., Shrestha, B. P., & Gejima, Y. (2001). *Study on Quality Estimation for Strawberry using Color and NIR Image Processing*. IFAC Proceedings Volumes, 34(28), 233-237.
- Nunes, M.C.N., Brecht, J.K., Morais, A.M.M.B., Sargent, S.A., 2006. *Physicochemical changes during strawberry development in the field compared with those that occur in harvested fruit during storage*. J Sci Food Agric 86, 180–190. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2314>
- Park, J. Il, Lee, Y.K., Chung, W. Il, Lee, I.H., Choi, J.H., Lee, W.M., Ezura, H., Lee, S.P., Kim, I.J., 2006. *Modification of sugar composition in strawberry fruit by antisense suppression of an ADP-glucose pyrophosphorylase*. Molecular Breeding 17, 269–279. <https://doi.org/10.1007/s11032-005-5682-9>
- Raghavendra, A., Guru, D. S., & Rao, M. K. (2021). *Mango internal defect detection based on optimal wavelength selection method using NIR spectroscopy*. Artificial Intelligence in Agriculture, 5, 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2021.01.005>
- Rodrigo, D., van Loey, A., Hendrickx, M., 2007. *Combined thermal and high pressure colour degradation of tomato puree and strawberry juice*. J Food Eng 79, 553–560. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.015>

Sánchez, M. T., De la Haba, M. J., Benítez-López, M., Fernández-Novales, J., Garrido-Varo, A., & Pérez-Marín, D. (2012). *Non-destructive characterization and quality control of intact strawberries based on NIR spectral data*. Journal of Food engineering, 110(1), 102-108. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.12.003>

Seki, H., Ma, T., Murakami, H., Tsuchikawa, S., Inagaki, T., 2023. *Visualization of Sugar Content Distribution of White Strawberry by Near-Infrared Hyperspectral Imaging*. Foods 12. <https://doi.org/10.3390/foods12050931>

Shao, Y., & He, Y. (2008). *Nondestructive measurement of acidity of strawberry using Vis/NIR spectroscopy*. International Journal of Food Properties, 11(1), 102-111.

Shen, F., Zhang, B., Cao, C., Jiang, X., 2018. *On-line discrimination of storage shelf-life and prediction of post-harvest quality for strawberry fruit by visible and near infrared spectroscopy*. J Food Process Eng 41. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12866>

Sun, D. W. (Ed.). (2009). *Infrared spectroscopy for food quality analysis and control*. Academic press.

TOB,2021, Erişim Tarihi: 02.06.2022,

<https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tarım%20Ürünleri%20Piyasaları/2021-Haziran%20Tarım%20Ürünleri%20Raporu/Çilek,%20Haziran-2021,%20Tarım%20Ürünleri%20Piyasa%20Raporu,%20TEPGE.pdf>,

TOB,2023, Erişim Tarihi:13.11.2023

<https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tarım%20Ürünleri%20Piyasaları/Birleştirilmiş%20TÜP%20Raporları/2023-Tarım%20Ürünleri%20Piyasa%20Raporları%20TEPGE%20Tamsayı.pdf>,

Williams, P., Norris, K., 1987. *Near-infrared technology in the agricultural and food industries*. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota.

Włodarska, K., Szulc, J., Khmelinskii, I., Sikorska, E., 2019. *Non-destructive determination of strawberry fruit and juice quality parameters using ultraviolet, visible, and near-infrared spectroscopy*. J Sci Food Agric 99, 5953–5961. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9870>

Zhao, Y. (Ed.). (2007). *Berry fruit: value-added products for health promotion*. CRC press.