



T.C.

HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİM BİTKİSİ YAPRAK SU, AZOT VE DİĞER BESİN ELEMENTLERİ
DÜZEYİ TAHMİNİ İÇİN PROTOTİP OPTİK ALGILAYICI
GELİŞTİRİLMESİ VE BAZI TİCARİ ALGILAYICILAR İLE
KARŞILAŞTIRILMASI**

YUNUS EMRE ŞEKERLİ

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

HATAY

ŞUBAT-2019



T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇİM BİTKİSİ YAPRAK SU, AZOT VE DİĞER BESİN ELEMENTLERİ
DÜZEYİ TAHMİNİ İÇİN PROTOTİP OPTİK ALGILAYICI
GELİŞTİRİLMESİ VE BAZI TİCARİ ALGILAYICILAR İLE
KARŞILAŞTIRILMASI

YUNUS EMRE ŞEKERLİ

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

HATAY
ŞUBAT-2019

T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİM BİTKİSİ YAPRAK SU, AZOT VE DİĞER BESİN ELEMENTLERİ
DÜZEYİ TAHMİNİ İÇİN PROTOTİP OPTİK ALGILAYICI
GELİŞTİRİLMESİ VE BAZI TİCARİ ALGILAYICILAR İLE
KARŞILAŞTIRILMASI**

YUNUS EMRE ŞEKERLİ

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Prof. Dr. Yurtsever SOYSAL danışmanlığında hazırlanan bu tez 27/02/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **OYBİRLİĞİ** ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Yurtsever SOYSAL
Başkan

Prof. Dr. Nafiz ÇELİKTAŞ
Üye

Prof. Dr. Selim EKER
Üye

Doç. Dr. Muharrem KESKİN
Üye

Doç. Dr. Sait M. SAY
Üye

Kod No: 93

Prof. Dr. Erdal SERTKAYA
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

27.02.2019

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Yunus Emre ŞEKERLİ

ÖZET

ÇİM BİTKİSİ YAPRAK SU, AZOT VE DİĞER BESİN ELEMENTLERİ DÜZEYİ TAHMİNİ İÇİN PROTOTİP OPTİK ALGILAYICI GELİŞTİRİLMESİ VE BAZI TİCARİ ALGILAYICILAR İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Bitkilerde yaprak besin elementi konsantrasyonunun belirlenmesinde kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Bu uygulama zaman alıcı ve maliyetli olup, yüksek iş gücü gerektirmektedir. Bu amaçla kullanılan bazı optik sistemler mevcuttur ancak yurtdışından temin edilen bu sistemler pahalı olup kullanımı uzmanlık gerektirmektedir. Bu sebeple bu çalışmada, çim (*Lolium perenne* L.) yaprağı örneklerinin su, azot ve diğer besin elementi konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla düşük maliyetli prototip optik bir algılayıcı geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Çim biçkisi örnekleri 2017-2018 kış döneminde; Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi (HMKÜ) Kampüsü'nde kontrollü şartlarda dört farklı düzeyde azot (N) uygulanan deneme arazisi ve Hatayspor futbol takımına ait olan doğal çim zemine sahip antrenman sahası olmak üzere iki farklı yerden alınmıştır. Çim yaprağı örneklerinin yansıma değerleri prototip algılayıcı ve üç farklı optik ölçüm sistemi (yakın kızılötesi yansıma spektroskopisi (NIRS), el tipi NDVI algılayıcı (GreenSeeker), renk ölçer) ile ölçülmüştür. Prototip algılayıcı ile 14 farklı vejetasyon indeksi hesaplanmış ve bu değerler su içeriği ve besin elementi konsantrasyonu tahmininde kullanılmıştır. Örneklerin makro ve mikro besin elementi konsantrasyonu kimyasal yöntemle belirlenmiştir. PLSR (Partial Least Square Regression) veri analizi ile tahmin modelleri geliştirilerek her bir modelin başarısı SEP (Standard Error of Prediction) ve R^2 kriterleri ile değerlendirilmiştir. Algılayıcıdan elde edilen sonuçlar diğer optik ölçüm sistemleri (NIRS, el tipi NDVI algılayıcı, renk ölçer) ile karşılaştırılmıştır.

Prototip optik algılayıcı ile, kampüs deneme arazisi örneklerinin su ve N konsantrasyonu tahmininde en iyi sonucu veren vejetasyon indeksinin NDVI olduğu tespit edilmiştir (su için $SEP=1.43$, N için $SEP=0.28$). Spor sahası verilerine göre ise; su içeriği tahmini için en iyi sonuç; NIR-G indeksi ile ($SEP=0.96$), N konsantrasyonu için ise en iyi sonuç; GRVI ($SEP=0.20$) ile elde edilmiştir.

Tüm veriler için optik sistemler karşılaştırıldığında, en iyi sonucu (en düşük tahmin hatası, SEP) çoğunlukla NIRS sisteminin verdiği görülmüştür. Ancak NIRS, renk ölçer ve el tipi NDVI algılayıcı sistemlerinin ülkemizde üretilmemesi ve yurt dışından ithalat yolu ile temin edilmesi gibi olumsuzluklar bulunmaktadır. Çalışmada geliştirilen prototip optik algılayıcının, kampüs deneme arazisi örnekleri için; K, Mg, Cu, Zn hariç su ve diğer besin elementleri için el tipi NDVI algılayıcı ve renk ölçer ile benzer sonuçlar verdiği, spor sahası örnekleri için ise; su içeriği, Fe, Mn, Zn hariç diğer besin elementleri için renk ölçer ile benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışmada geliştirilen prototip algılayıcı sisteme benzer, düşük maliyet ve yerli imkanlar ile ticari olarak geliştirilebilecek bir optik algılayıcının çim örneklerinin besin elementi konsantrasyonunun tahmininde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

2019, 119 sayfa

Anahtar Kelimeler: Çim, besin elementi, su içeriği, yansıma, prototip algılayıcı

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF PROTOTYPE OPTICAL SENSOR TO PREDICT THE LEVEL OF WATER, NITROGEN AND OTHER TURFGRASS LEAF NUTRIENTS AND COMPARISON WITH SOME COMMERCIAL SENSORS

Chemical methods are used to determine the concentration of leaf nutrient content in plant leaves. These methods are time-consuming, expensive and labor-intensive. There are some optical systems used for this purpose; however, these systems are imported, they are expensive and require expertise to use. Therefore, in this study, a low cost prototype optical sensor system was developed in order to determine the water and nutrient concentrations of turfgrass (*Lolium perenne* L.) leaf clippings.

Turfgrass clipping samples were taken from two different places in the 2017-2018 winter season: experimental field on Hatay Mustafa Kemal University (HMKU) campus to which four different levels of nitrogen (N) were applied and natural turfgrass training field of the Hatayspor soccer team. The reflectance data of the turfgrass clippings were obtained by the optical prototype sensor and three different standard optical instruments (near infrared reflectance spectroscopy (NIRS), handheld NDVI meter (GreenSeeker), and chromameter). 14 different vegetation indexes were calculated from the prototype sensor data and these values were used to predict water content and nutrient concentrations of the clipping samples. Macro and micro nutrient concentrations of the samples were determined by chemical method. By using PLSR (Partial Least Square Regression) analysis, the prediction models were developed and the success of each model was evaluated with the criteria of SEP (Standard Error of Prediction) and R^2 . The results obtained from the sensor were also compared with other optical instruments (NIRS, handheld NDVI meter, chromameter).

With the prototype optical sensor, it was determined that NDVI gave the best result for the data from the campus experimental area in the prediction of water and N concentration (SEP =1.43% for water, SEP=0.28% for N). According to sports field data, the best result for water content was obtained by NIR-G index (SEP=0.96%) whereas GRVI gave best result (SEP=0.20%) for N concentration.

When the optical systems were compared for all data, it was found that the best results (lowest SEP) were obtained with the NIRS system. However, there are some disadvantages of NIRS, chromameter, and the handheld NDVI meter that are not domestically produced, expensive and requiring expertise in their operation. It was found that prototype optical sensor developed in the study gave similar results with handheld NDVI meter and chromameter to predict water and nutrient concentrations except K, Mg, Cu and Zn for campus experimental field samples whereas it gave similar results in sport field for the prediction of water content, Fe, Mn, and Zn.

It was determined that an optical sensor similar to the prototype sensor tested in the study could be developed commercially with low cost and domestic facilities and be used to estimate the nutrient concentration of turfgrass clipping samples.

2019, 119 pages

Key Words: Turfgrass, mineral nutrient, water content, reflectance, prototype sensor

TEŞEKKÜR

Doktora tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmamı yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Yurtsever SOYSAL ve Doç. Dr. Muharrem KESKİN'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma kapsamında, desteklerinden dolayı HMKÜ BAP birimine (Proje no: 16529), TUBITAK'a (Proje no: 214O254, 113O009 ve 105O547) ve tüm bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Biyosistem Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na teşekkürü borç bilirim.

Tez izleme komitesinde yer alarak, tez çalışmalarım ile ilgili gelişmeleri takip eden ve değerli yorumlarını esirgemeyen Prof. Dr. Selim EKER'e, deneme arazisinin tahsis edilmesinde yardımcı olan Prof. Dr. Sefer BOZKURT'a, parça tasarımı ve üç boyutlu yazıcı kullanımı konusunda destek olan Dr. Öğr. Üyesi Selçuk UĞURLUAY'a ve toprak hazırlığı konusundaki destekleri için üniversitemiz Park Bahçeler birimine teşekkür ederim.

Doktora çalışmam süresince arazi ve laboratuvar çalışmalarım esnasında yardımcı olan bölümümüz lisansüstü öğrencileri; Mustafa AKKAMIŞ ve Aysel ARSLAN'a, lisans öğrencileri; Çağatay ÇAM, Fatih DANYILDIZI ve Ahmet Can MUTLU'ya teşekkür ederim.

Bitki materyali temini konusunda çalışmama destek olan Hatayspor yönetimi ve antrenman tesisi personeline, bitki kimyasal analizlerinin yapılmasında enstitü imkanlarından faydalanmamı sağlayan Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne ve Rasim ARSLAN'a teşekkür ederim.

FT-NIRS analizleri konusunda laboratuvar imkanlarından faydalanmamı sağlayan ve bu konudaki bilgi birikimini benimle paylaşarak tezimin gelişimine katkıda bulunan Prof. Dr. Nafiz ÇELİKTAŞ'a, el tipi NDVI algılayıcı temini için destekte bulunan Prof. Dr. Berkant ÖDEMİŞ'e, tezin değerlendirilmesinde ve geliştirilmesinde önemli katkısı olan jüri üyesi Doç. Dr. Sait M. SAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu uzun ve zorlu süreçte hayatımın her döneminde olduğu gibi karşılıksız şekilde benden desteklerini esirgemeyen anne, babama ve ŞEKERLİ ailesinin tüm fertlerine ve eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	IX
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Uzaktan Algılama.....	2
1.2. Uzaktan Algılama Sistemlerinin Sınıflandırılması.....	2
1.3. Elektromanyetik Dalga ve Elektromanyetik Enerji.....	3
1.4. Elektromanyetik Tayf (Spektrum).....	6
1.5. Yansıma, Emilim, İletim ve Saçılma.....	7
1.6. Uzaktan Algılama ve Tarım.....	8
1.7. Vejetasyon İndeksleri.....	9
1.8. Bitki Sağlığının İncelenmesinde Kullanılan UA Yöntemleri.....	11
1.8.1. Renkli Standart Kâğıtlar.....	11
1.8.2. Renk Ölçer.....	12
1.8.3. Klorofilmetre.....	13
1.8.4. Spektrometre.....	13
1.8.5. Yakın Kızılötesi Yansıma Spektroskopisi (NIRS).....	14
1.8.6. Fluorometre.....	15
1.8.7. El Tipi ve Makine Üzerine Yerleştirilen Azot Sensörleri.....	16
1.9. Çim Bitkisinin Genel Özellikleri.....	17
1.10. Çim Bitkisinin Bakım İşlemleri.....	19
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	23
2.1. Çim Alan Tesisine Yönelik Çalışmalar.....	23
2.2. Çim Tür Seçimine ve Türlerin Bölgesel Performansına Yönelik Çalışmalar.....	24
2.3. Çim Alanların Bakım Yöntemlerine Yönelik Çalışmalar.....	25
2.3.1. Çim Alanların Gübrenmesine Yönelik Çalışmalar.....	25
2.3.2. Çim Alanların Sulanmasına Yönelik Çalışmalar.....	29
2.3.3. Çim Alanların İlaçlanmasına Yönelik Çalışmalar.....	29
2.4. Çim Bitkisinde Gübreleme ve Çevre İlişkinine Yönelik Çalışmalar.....	30
2.5. Çim Alanlarda Uzaktan Algılama Çalışmaları.....	32
2.5.1. Yaprak Besin Elementi İçeriğinin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar.....	32
2.5.2. Çim Bitkilerinde Bitki Streslerinin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar.....	36
2.5.3. Çim Görsel Kalitesinin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar.....	37
2.5.4. Çim Biyokütle Veriminin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar.....	39

2.5.5. Çim Bitkilerinde Hastalık Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar.....	39
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	41
3.1. Deneme Alanları ve Özellikleri.....	41
3.1.1. Kampüs Deneme Alanı.....	41
3.1.1.1. Denemede Kullanılan Çim Bitkisi Özellikleri.....	44
3.1.1.2. Çim Deneme Alanının Özellikleri.....	44
3.1.1.3. Çim Deneme Alanı Toprak Hazırlık İşlemleri.....	44
3.1.1.4. Rulo Çim Uygulaması.....	47
3.1.1.5. Değişken Düzeyli Gübre Uygulaması.....	49
3.1.1.6. Rutin Çim Bakım İşlemleri.....	49
3.1.2. Futbol Antrenman Sahası.....	50
3.2. Çalışmada Kullanılan Elektro-Optik Algılama Sistemleri.....	51
3.2.1. Prototip Yansıma Esaslı Optik Algılayıcı.....	51
3.2.1.1. Prototip Algılama Sisteminin İmalatı.....	51
3.2.1.2. Prototip Algılama Sistemi Sensör Yüksekliğinin Hesaplanması.....	54
3.2.1.3. Prototip Algılama Sistemi Yazılımı.....	55
3.2.2. Renk Ölçer (Kolorimetre).....	56
3.2.3. Fourier Dönüşümlü Yakın Kızılötesi Yansıma Spektroskopisi (FT-NIRS).....	57
3.2.4. El Tipi NDVI Algılayıcısı.....	58
3.3. Çim Örneklerinin Alınması.....	58
3.4. Yansıma Verilerinin Alınması.....	60
3.4.1. Prototip Optik Algılama Sistemi ile Yansıma Ölçümü.....	60
3.4.2. Renk Ölçer ile Yansıma Ölçümü.....	62
3.4.3. FT-NIRS ile Yansıma Ölçümü.....	63
3.4.4. El Tipi Algılayıcı ile NDVI Ölçümü.....	64
3.5. Çim Yaprağı Su İçeriği Analizi.....	64
3.6. Çim Yaprağı Bitki Besin Elementi Kimyasal Analizi.....	65
3.7. Veri Analizi.....	66
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	67
4.1. Çim Bitkisi Kimyasal Analiz Sonuçları.....	67
4.2. NIRS Veri Analizi Sonuçları.....	68
4.2.1. Kampüs Deneme Alanı NIRS Veri Analizi Sonuçları.....	68
4.2.2. Spor Sahası NIRS Veri Analizi Sonuçları.....	72
4.3. Renk Ölçer Veri Analizi Sonuçları.....	76
4.3.1. Kampüs Deneme Alanı Renk Ölçer Veri Analizi Sonuçları.....	76
4.3.2. Spor Sahası Renk Ölçer Veri Analizi Sonuçları.....	80
4.4. El Tipi NDVI Algılayıcı Veri Analizi Sonuçları.....	84
4.5. Prototip Optik Algılayıcı Veri Analizi Sonuçları.....	86
4.5.1. Kampüs Deneme Alanı Prototip Algılayıcı Veri Analizi Sonuçları.....	86
4.5.2. Spor Sahası Prototip Algılayıcı Veri Analizi Sonuçları.....	93

4.6. Prototip Algılayıcı ile Diğer Optik Sistemlerin Karşılaştırılması	100
4.6.1. Kampüs Deneme Alanı Verilerinin Değerlendirilmesi	100
4.6.2. Spor Sahası Verilerinin Değerlendirilmesi	102
4.6.3. Kampüs Arazisi ve Spor Sahası Verilerinin Karşılaştırılması.....	104
4.7. Araştırma Bulgularının Önceki Çalışma Bulguları İle Karşılaştırılması	105
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	109
KAYNAKLAR	111
ÖZGEÇMİŞ	119



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Elektromanyetik dalga ve bileşenleri.....	4
Şekil 1.2.	Dört farklı tipte elektromanyetik dalga ve frekans ile dalga boyu arasındaki ilişki	6
Şekil 1.3.	Elektromanyetik spektrum.....	6
Şekil 1.4.	Klorofilin emilim (absorbans) grafiği.....	7
Şekil 1.5.	Gelen ışınının yüzey ile farklı şekildeki etkileşimleri	8
Şekil 1.6.	Toprak, sararmış çim ve yeşil çimin ışınımı yansıtma özellikleri	10
Şekil 1.7.	Mısır ve çeltikte yaprak renginin değerlendirilmesinde kullanılan standart renkli kâğıtlar.	12
Şekil 1.8.	Tarla bitkilerinde azot konsantrasyonu tespitinde kullanılan el tipi (sağda) ve araç üzerine takılan (solda) GreenSeeker sistemi	16
Şekil 2.1.	Bitki azot (N) konsantrasyonu ölçümü için kullanılan yöntemler	35
Şekil 3.1.	Kampüs çim deneme alanının geometrik özellikleri	42
Şekil 3.2.	Kampüs çim deneme alanının İHA ile havadan çekilmiş görüntüsü.....	43
Şekil 3.3.	Kampüs çim deneme alanında toprak hazırlığı (birinci aşama)	46
Şekil 3.4.	Kampüs çim deneme alanında toprak hazırlığı (ikinci aşama).....	46
Şekil 3.5.	Kampüs çim deneme alanında rulo çim serme işlemi	48
Şekil 3.6.	Prototip algılayıcı elektro-optik algılayıcı platformu tasarımı	53
Şekil 3.7.	Prototip algılama sisteminin ölçüme hazır durumda genel görünümü	53
Şekil 3.8.	Prototip algılama sisteminin dış (solda), üst (ortada) ve iç (sağda) görünümü	54
Şekil 3.9.	LabVIEW tabanlı programın arayüz görüntüsü.....	55
Şekil 3.10.	LabVIEW tabanlı programın blok diyagramı görüntüsü.....	56
Şekil 3.11.	Kampüs çim deneme alanından çim örneklerinin alınması	59
Şekil 3.12.	Spor sahasından çim örneklerinin alınması	59
Şekil 3.13.	Prototip optik algılayıcı ile yansıma ölçümü	60
Şekil 3.14.	Renk ölçer ile çim yaprağı renk değeri ölçümü.....	62
Şekil 3.15.	Kurutulup toz haline getirilen çim örnekleri.....	63
Şekil 3.16.	Çalışmada kullanılan FT-NIRS sisteminin genel görünüşü	63
Şekil 3.17.	Kampüs çim deneme alanında el tipi algılayıcı ile NDVI ölçümü.....	64
Şekil 4.1.	Kampüs arazisi örneklerine ait NIRS yansıma spektrumu	69
Şekil 4.2.	Kampüs arazisi örneklerinin NIRS verilerine ait ön işlem (sg9) sonrası yansıma spektrumu.....	70
Şekil 4.3.	Kampüs arazisi örneklerinin NIRS verilerine ait azot (N) tahmini PLSR modeli skor grafiği	70
Şekil 4.4.	Kampüs arazisi örneklerinin NIRS verilerine ait azot (N) tahmini PLSR modeli için ölçülen ve tahmin edilen N (%) değerleri	71
Şekil 4.5.	Kampüs arazisi örneklerinin NIRS verilerine ait azot (N) tahmini PLSR modeli regresyon katsayısı grafiği	71
Şekil 4.6.	Spor sahası çim örneklerine ait NIRS yansıma spektrumu.....	73

Şekil 4.7.	Spor sahası çim örneklerine ait ön işlem (db1,mf) sonrası yansıma spektrumu.....	74
Şekil 4.8.	Spor sahası çim örneklerinin NIRS verilerine ait azot (N) tahmini PLSR modeli skor grafiği	74
Şekil 4.9.	Spor sahası çim örneklerinin NIRS verilerine ait azot (N) tahmini PLSR modeli için ölçülen ve tahmin edilen N (%) değerleri	75
Şekil 4.10.	Spor sahası çim örneklerinin NIRS verilerine ait azot (N) tahmini PLSR modeli regresyon katsayısı grafiği	75
Şekil 4.11.	Kampüs arazisi örneklerine ait renk değerlerinin değişimi	76
Şekil 4.12.	Kampüs arazisi örneklerinin renk verilerine ($L*a*b*C*h$) ait azot (N) tahmini PLSR modeli skor grafiği	79
Şekil 4.13.	Kampüs arazisi örneklerinin renk verilerine ($L*a*b*C*h$) ait azot (N) tahmini PLSR modeli için ölçülen ve tahmin edilen N (%) değerleri	79
Şekil 4.14.	Spor sahası çim örneklerine ait renk değerlerinin değişimi.....	80
Şekil 4.15.	Spor sahası çim renk örneklerine ($L*a*b*C*h$) ait azot (N) tahmini PLSR modeli skor grafiği	83
Şekil 4.16.	Spor sahası çim renk örneklerine ($L*a*b*C*h$) ait azot (N) tahmini PLSR modeli için ölçülen ve tahmin edilen N (%) değerleri	83
Şekil 4.17.	Kampüs arazisi örneklerinin NDVI ölçer verilerine ait azot (N) tahmini PLSR modeli skor grafiği	85
Şekil 4.18.	Kampüs arazisi örneklerinin NDVI ölçer verilerine ait azot (N) tahmini PLSR modeli için ölçülen ve tahmin edilen N (%) değerleri	85
Şekil 4.19.	Kampüs arazisi çim örneklerinin prototip algılayıcı verilerine (NDVI) ait azot (N) tahmini PLSR modeli skor grafiği	92
Şekil 4.20.	Kampüs arazisi çim örneklerinin prototip algılayıcı verilerine (NDVI) ait azot (N) tahmini PLSR modeli için ölçülen ve tahmin edilen N (%) değerleri.....	92
Şekil 4.21.	Spor sahası örnekleri için prototip algılayıcı verilerine ait azot (N) tahmini PLSR modeli skor grafiği	99
Şekil 4.22.	Spor sahası örnekleri için prototip algılayıcı verilerine ait azot (N) tahmini PLSR modeli için ölçülen ve tahmin edilen N değerleri	99

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	Ülkemizde spor alanlarında kullanılan bazı çim türleri	19
Çizelge 1.2.	Bazı çim türlerine ait biçme yüksekliği değerleri.....	20
Çizelge 3.1.	Kampüs deneme alanına ait toprak özellikleri	48
Çizelge 3.2.	Futbol antrenman sahasının toprak özellikleri	50
Çizelge 3.3.	Prototip optik algılama sisteminin yapımında kullanılan donanım bileşenleri ve özellikleri	51
Çizelge 3.4.	Çalışmada kullanılan farklı vejetasyon indeksleri.....	61
Çizelge 4.1.	Kampüs deneme alanı çim biçkisi kimyasal analiz sonuçları	67
Çizelge 4.2.	Spor sahası çim biçkisi kimyasal analiz sonuçları	67
Çizelge 4.3.	Kampüs arazisi örneklerinin NIRS verilerine ait PLSR analizi sonuçları	69
Çizelge 4.5.	Kampüs arazisi örneklerine ait renk korelasyon değerleri	77
Çizelge 4.6.	Kampüs arazisi örneklerine ait renk PLSR analizi sonuçları	78
Çizelge 4.7.	Spor sahası çim örneklerine ait renk korelasyon değerleri.....	81
Çizelge 4.8.	Spor sahası çim örneklerine ait renk PLSR analizi sonuçları.....	82
Çizelge 4.9.	Kampüs arazisi örneklerinin NDVI ölçer verilerine ait PLSR analizi sonuçları.....	84
Çizelge 4.10.	Kampüs arazisi örnekleri için prototip algılayıcı ile yaprak su içeriği ve N tahmin sonuçları	87
Çizelge 4.11.	Kampüs arazisi örnekleri için prototip algılayıcı ile yaprak P ve K tahmin sonuçları	88
Çizelge 4.12.	Kampüs arazisi örnekleri için prototip algılayıcı ile Ca ve Mg tahmin sonuçları	89
Çizelge 4.13.	Kampüs arazisi örnekleri için prototip algılayıcı ile Fe ve Cu tahmin sonuçları	90
Çizelge 4.14.	Kampüs arazisi örnekleri için prototip algılayıcı ile Mn ve Zn tahmin sonuçları	91
Çizelge 4.15.	Spor sahası örnekleri için prototip algılayıcı ile su içeriği ve N tahmin sonuçları	94
Çizelge 4.16.	Spor sahası örnekleri için prototip algılayıcı ile P ve K tahmin sonuçları	95
Çizelge 4.17.	Spor sahası örnekleri için prototip algılayıcı ile Ca ve Mg tahmin sonuçları	96
Çizelge 4.18.	Spor sahası örnekleri için prototip algılayıcı ile Fe ve Cu tahmin sonuçları	97
Çizelge 4.19.	Spor sahası örnekleri için prototip algılayıcı ile Mn ve Zn tahmin sonuçları	98
Çizelge 4.20.	Kampüs arazisi örneklerinin farklı algılayıcılar ile tahminine ait PLSR analizi sonuçları	102

Çizelge 4.21. Spor sahası örneklerinin farklı algılayıcılar ile tahminine ait PLSR analizi sonuçları.....	104
Çizelge 4.22. Konu ile ilgili yapılmış önceki çalışmalarda elde edilen bulgular	108



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

CIE:	Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (Commission Internationale de l'Eclairage)
DVI:	Fark Vejetasyon İndeksi (Difference Vegetation Index)
EC:	Elektriksel İletkenlik (Electrical Conductivity)
EM:	Elektromanyetik
FAR:	Fotosentetik Aktif Radyasyon
FT-NIRS:	Fourier Dönüşümlü Yakın Kızılötesi Yansıma Spektroskopisi (Fourier Transform Near Infrared Reflectance Spectroscopy)
GNDVI:	Yeşil Normalize Edilmiş Fark Vejetasyon İndeksi (Green Normalized Difference Vegetation Index)
IR:	Kızılötesi (Infrared)
İHA:	İnsansız Hava Aracı
LAI:	Yaprak Alan İndeksi (Leaf Area Index)
LCC:	Yaprak Renk Skalası (Leaf Color Chart)
LED:	Işık Yayan Diyot (Light Emitting Diode)
MLR:	Çoklu Doğrusal Regresyon (Multiple Linear Regression)
NDVI:	Normalize Edilmiş Fark Vejetasyon İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index)
NIR:	Yakın Kızılötesi (Near Infrared)
PLSR:	Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu (Partial Least Square Regression)
RMSEP:	Tahmin Hatası Kareler Ortalaması Karekökü (Root Mean Square Error of Prediction)
RVI:	Oransal Vejetasyon İndeksi (Ratio Vegetation Index)
SEC:	Kalibrasyon standart hata değeri (Standard Error of Calibration)
SEP:	Tahmin standart hata değeri (Standard Error of Prediction)
UA:	Uzaktan Algılama
UV:	Morötesi (Ultraviyole)

1. GİRİŞ

Çim bitkilerinin kullanımı; turizm alanları, kentsel yeşil alanlar ve spor alanlarında yoğunlaşmaktadır. Ancak ülkemizde spor sahalarında kimyasal gübre ve pestisit kullanımında herhangi bir yönetmelik ve takip sistemi bulunmamaktadır. Bu nedenle ülkemizde, çim alan bakımında kullanılan kimyasal girdi (gübre, ilaç v.b.) miktarı, saha sorumlusunun yetkinliğine ve tecrübesine kalmış bir konudur (Hocaoğlu, 2010). Çim bitkilerinde gübre uygulaması genellikle görsel değerlendirme sonucu ve/veya zaman çizelgesine göre yapılmakta, bu durum genellikle aşırı gübrelemeye neden olmaktadır.

Maliyeti yüksek olan çim saha bakım bütçelerinin dikkatli oluşturulması, spor işletmelerini kısıtlayıcı etkenlerden en önemlisi olarak kabul edilebilir (Hocaoğlu, 2010). Kimyasal gübre ve pestisit kullanımı çim tesis bakım personeli tarafından bilinçli ve gereksinim doğrultusunda uygulanmadığı takdirde çeşitli sorunlar oluşabilmektedir. Çim bitkilerinde gübre uygulaması genellikle görsel değerlendirme sonucu veya zaman çizelgesi esaslı gübreleme programlarına göre yapılmakta ve bu uygulama genellikle aşırı gübrelemeye neden olmaktadır (Keskin ve ark., 2004). Kimyasal gübrelerin yoğun olarak uygulanmasına bağlı olarak son yıllarda yüzey ve yer altı sularının kirlenmesi önemli bir sorun haline gelmiştir (Keskin ve ark., 2004). Özellikle aşırı gübreleme sebebiyle yüzey ve yer altı sularında meydana gelen kirlenme sonucunda, içme suyundaki nitrat oranı yüksek olduğunda insan sağlığı olumsuz etkilenebilmektedir. ABD’de içme suyundaki nitrat konsantrasyonu azami 10 ppm (EPA, 2012), Türkiye’de ise 50 ppm (Resmi Gazete, 2004) olarak belirlenmiştir. ABD’de yapılan bir araştırmaya göre; 2006 yılında 18 delikli golf tesislerinin sadece %49’unda yazılı bir gübreleme programı bulunmakta olup, bu kesimin sadece %6’lık kısmı yönetmeliklere uygun bulunmuştur (GCSAA, 2009).

Çim yetiştiriciliğinde ve spor sahalarının (futbol, golf, kriket, tenis, v.b.) bakım işlemlerinde, gübre gereksinimi; ideal olarak, toprak veya bitki örneklerinin alınması ve bu örneklerin laboratuvarında kimyasal analize tabi tutulması sonucunda belirlenmektedir. Ancak bu yöntem, zaman alan, yüksek işgücü gerektiren, maliyetli ve kimyasal madde kullanımı sebebiyle analiz laboratuvarında çalışanların uzun dönemde sağlığını tehdit eden bir uygulamadır. İhtiyaç duyulan yere ihtiyaç duyulduğu oranda ve zamanda gübre

uygulanmasını sağlayacak bazı ticari ürünler olmakla birlikte yüksek maliyetleri ve ithal olmaları kullanım yaygınlığını kısıtlamaktadır. Bu noktada daha ucuz, kullanımı kolay ve yaygın olarak kullanılabilen yerli uzaktan algılama sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

1.1. Uzaktan Algılama

Uzaktan Algılama (UA) özel cihazlar ile fiziksel temas olmaksızın ilgi duyulan bir nesneden elde edilen verilerin analizi sonucunda o nesne hakkında bilgi sağlama yöntemidir (Avery ve Berlin, 1992). UA, algılayıcılar (sensörler) aracılığı ile yansıyan ışınının dalga boylarının belirlenmesi ve dijital resimlerinin oluşturulması işlemidir. UA nesnelere yansıyan ışınının dalga boylarının algılanmasına dayanır ve fiziksel olarak temasa gerek duyulmaz, bundan dolayı algılama işlemi *uzaktan* olarak nitelendirilir (Brase, 2006).

Uzaktan algılama yapay veya doğal (güneş) bir ışınım kaynağı tarafından nesnelere gönderilen ve daha sonra nesnelere yansıyan elektromanyetik ışınının ölçülmesi esasına dayanmaktadır (Keskin, 2007). Uzaktan algılama sistemi genellikle ışınım kaynağı ve algılayıcıdan oluşmaktadır. Işınım kaynağı doğal (güneş) veya yapay kaynaklardan (halojen, zenon, döteryum, led lamba, v.b.) birisi olabilir (Keskin, 2004).

1.2. Uzaktan Algılama Sistemlerinin Sınıflandırılması

UA sistemleri çeşitli açılardan sınıflandırılabilirler (Keskin, 2007):

1- Çalışma ilkesine göre;

- a. Aktif algılama sistemleri: Kendi ürettiği sinyali nesnelere göndererek nesneye çarpıp geri dönen sinyali algılayan sistemlerdir.
- b. Pasif algılama sistemleri: Doğal olarak güneşten gelen ve nesnelere yansıyan ışınımı algılayan sistemlerdir.

2- Çalışma yüksekliğine göre:

- a- Alçaktan algılama yapan sistemler: Uçak, balon, helikopter, insansız hava aracı
- b- Yüksekten algılama yapan sistemler: Uydular

- c- Yerden algılama yapan sistemler (Yer esaslı): Traktör veya arazide kullanılabilen başka bir araca monte edilebilen veya araştırmacı tarafından elde veya sırtta taşınarak topraktan ve / veya üründen yansıyan ışınımı algılayarak toprağa ve / veya bitkiye ait özellikleri (klorofil içeriği, besin elementi içeriği, su içeriği, hastalık ve stres belirtileri, v.b.) belirler.

3- Algılayıcı tipine göre:

- a- Kameralar: Daha sonra değerlendirebilmek üzere nesnelerin görüntüsünü dijital olarak kaydedebilir. Kamera lensi ve filtre seçimine göre görünür bölge ve yakın kızılötesi gibi farklı dalga boylarında görüntü alabilir. Gün ışığında kullanılması zorunluluğu vardır.
- b- Çok spektrumlu elektro optik algılayıcılar: Birden fazla dalga boyunda algıladığı ışınımı elektrik sinyaline dönüştürüp saklayabilen sistemlerdir.

1.3. Elektromanyetik Dalga ve Elektromanyetik Enerji

Uzaktan algılama sistemlerinin nasıl çalıştığını anlayabilmek için elektromanyetik spektrum ve ışınımın farklı dalga boylarını açıklamak gerekir.

Güneş, sonsuz sayıda elektromanyetik dalga üreten doğal bir kaynaktır. Bu ışık ve enerji dalgaları X ışınlarından görünür ışınım ve radyo dalgalarına kadar olan bir aralıkta yayılım gösterir (Brase, 2006). Bu dalgalar arasındaki farklılık, ardışık iki dalganın tepe ya da çukur noktaları arasındaki mesafe ile elde edilen “**dalga boyu**” değerinden kaynaklanmaktadır. Dalga boyu, dalganın potansiyel uygulama alanı üzerinde etkili olan faktördür (Brase, 2006).

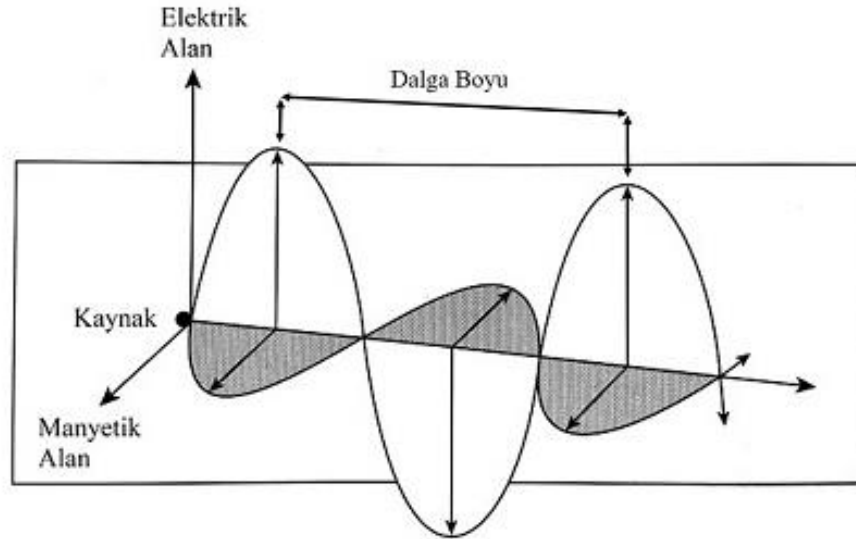
Güneşten yayılan kısa dalga boylu elektromanyetik dalgaların birçoğu ozon tabakası sayesinde yeryüzüne ulaşamaz. Görünür ışınım (ışık), bazı gözle görülemeyen kızılötesi (%96.5) ve morötesi ışınım dalgaları (%3) yer yüzeyine ulaşır (Brase, 2006).

Nesne hakkındaki bilgileri algılayıcıya taşıyan araca elektromanyetik enerji denir (Elachi ve Zyl, 2006). Elektromanyetik enerji, elektrik yükünün salınımı veya ivmelenmesi sonucu ortaya çıkan dinamik bir enerji formudur (Avery ve Berlin, 1992).

Mutlak sıfır noktasının (-273.16 °C) üzerindeki sıcaklıklara sahip bütün doğal ve yapay maddeler sıcaklıklarına bağlı olarak sürekli bir şekilde elektromanyetik enerji

üretir ve yayarlar (Avery ve Berlin, 1992). Bu olgu atom çekirdeğindeki fisyon (çekirdek parçalanması) ve füzyon (çekirdek birleşmesi) reaksiyonları, elektronların yüksek enerji yörüngelerinden düşük enerji yörüngelerine geçmeleri ve atom veya moleküllerin rastgele hareketleri ile ilgilidir (Avery ve Berlin, 1992).

Elektromanyetik enerjinin hareketi; Dalga davranışı ve Parçacık davranışı olmak üzere iki davranış ilkesi ile açıklanır. Dalga davranışına göre; elektromanyetik dalga, uzay boşluğunda birlikte hareket eden elektrik ve manyetik alanların birbirine dik şekildeki salınımıdır (Şekil 1.1.) (Zwinkels, 2015). Parçacık davranışına göre ise elektromanyetik radyasyon foton adı verilen küçük enerji paketlerinden oluşmaktadır (Avery ve Berlin, 1992)



Şekil 1.1. Elektromanyetik dalga ve bileşenleri (Avery ve Berlin, 1992)

Bu dalgalar vakum altında ve boşlukta ışık hızında (3×10^8 m/s) düz bir hat üzerinde hareket ederken, diğer ortamlarda (örneğin: atmosfer) ortamın kırılma indisine bağlı olarak hareket hızı azalmaktadır (Avery ve Berlin, 1992; Zwinkels, 2015).

Elektromanyetik dalgaların karakterini belirleyen faktörler; ardışık iki tepe veya çukur noktası arasındaki doğrusal mesafe olan dalga boyu (λ , nm) ve belirli bir noktadan bir saniye içerisinde geçen tepe veya çukur sayısı olan frekans (ν , Hz) değeridir.

Dalga boyu ve frekans arasında aşağıda verilen ilişki mevcut olup, bir elektromanyetik dalganın dalga boyu biliniyorsa frekansı, frekans değeri biliniyorsa dalga boyu aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilmektedir (Andersen ve ark., 2013):

$$c = \lambda \cdot f$$

Bu eşitlikte;

$$c = \text{Işık hızı } (3 \times 10^8 \text{ m/s})$$

$$\lambda = \text{Dalga boyu (m)}$$

$$f = \text{Frekans (s}^{-1}, \text{ Hz)}$$

Bir elektromanyetik (EM) dalganın enerjisi sahip olduğu frekans değerine bağlıdır. Frekansı yüksek olan EM dalgalar daha yüksek enerjiye sahip iken, frekansı düşük olanlar daha düşük enerjiye sahiptir. Frekansı bilinen bir EM dalganın sahip olduğu enerji Planck Yasası'ndan hesaplanabilir (Myneni ve Ross, 1991):

$$E = h \cdot f = h \cdot (c / \lambda)$$

Bu eşitlikte;

$$E = \text{Enerji (J)}$$

$$h = \text{Planck sabiti } (6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s})$$

$$f = \text{Frekans (s}^{-1}, \text{ Hz)}$$

Bazı durumlarda özellikle yakın kızılötesi yansıma spektroskopi (Near Infrared Reflectance Spectroscopy, NIRS) uygulamalarında frekans yerine dalga sayısı (wave number) terimi de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Dalga sayısı genellikle cm^{-1} birimi ile ifade edilmekte olup, 1 cm uzunlukta bulunan dalgaların toplam sayısı olarak tanımlanmaktadır. Dalga boyu ile dalga sayısı arasında aşağıdaki ilişki geçerlidir (Andersen ve ark., 2013):

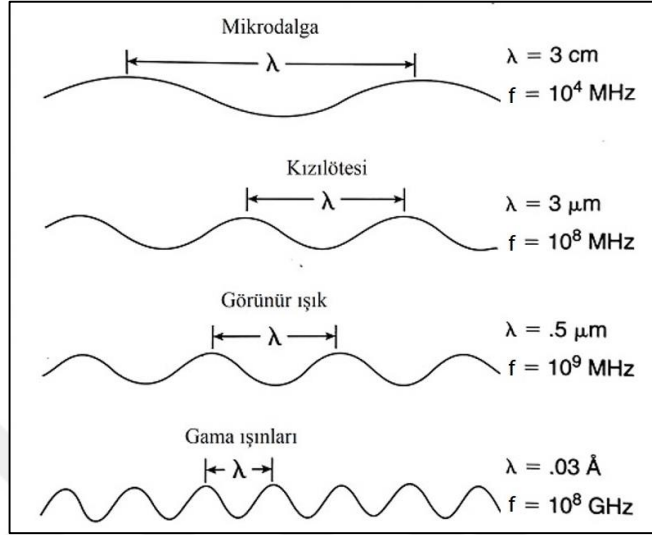
$$v = 1 / \lambda$$

Bu eşitlikte;

$$v = \text{Dalga sayısı (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\lambda = \text{Dalga boyu (cm)}$$

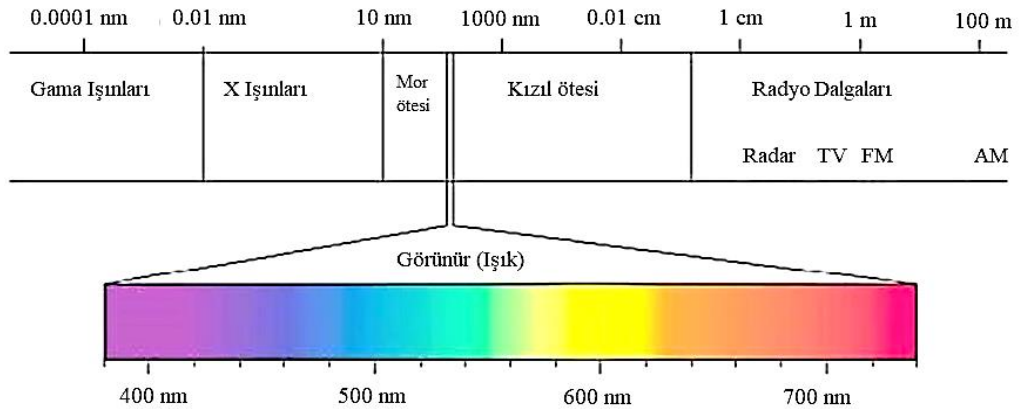
Şekil 1.2’de dört farklı tip elektromanyetik dalganın (mikrodalga, kızılötesi, görünür ışınım (ışık) ve gama ışınları) frekans ile dalga boyu arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Dört farklı tipte elektromanyetik dalga ve frekans ile dalga boyu arasındaki ilişki (Avery ve Berlin, 1992)

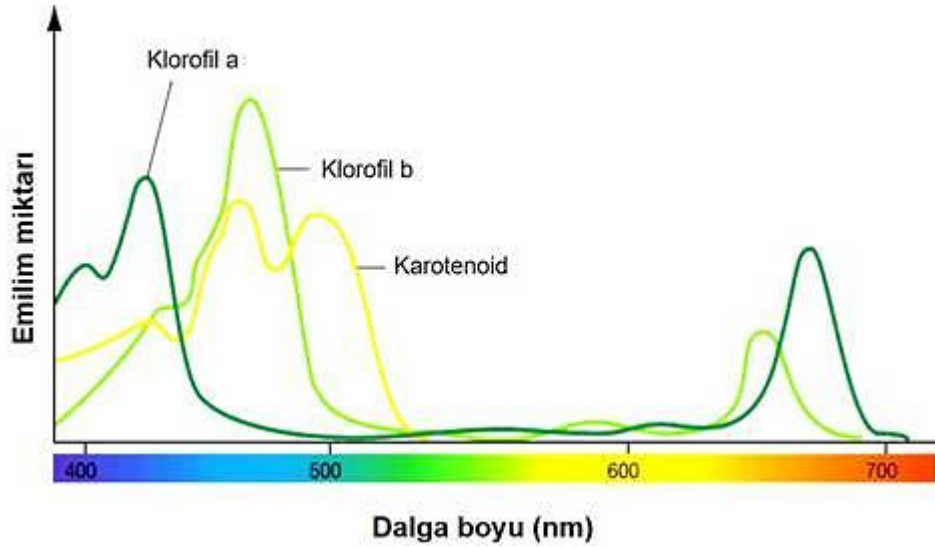
1.4. Elektromanyetik Tayf (Spektrum)

Elektromanyetik dalgalar frekans veya dalga boylarına göre sınıflara ayrılmakta ve isimlendirilmektedir (Avery ve Berlin, 1992). Elektromanyetik dalgalar dalga boyu uzunluklarına göre aşağıdaki şekilde isimlendirilirler (Şekil 1.3.)



Şekil 1.3. Elektromanyetik spektrum (Lumenistic, 2018)

Uzaktan algılamada elektromanyetik spektrumun en çok kullanılan bölgesi görünür bant ve yakın kızılötesi banttır (Avery ve Berlin, 1992). İnsan gözü, “Görünür ışınım” veya kısaca “Işık” olarak adlandırılan 380-760 nm dalga boyuna sahip ışınımı görebilirken, bunun haricindeki dalga boylarına sahip ışınımı göremez (Keskin ve Görücü Keskin, 2012; Kumar et al., 2017). Mor ötesi (ultraviyole / UV) ışınım mor ışıktan daha kısa dalga boyuna sahipken, kızılötesi (infrared / IR) ışınım kırmızı ışıktan daha uzun dalga boyuna sahiptir (Kumar et al., 2017). Elektromanyetik bölgenin 400-700 nm dalga boyu aralığı fotosentetik aktif radyasyon (PAR) olarak adlandırılmaktadır (Steven ve Clark, 1990; Belward ve Valenzuela, 1991). Klorofil pigmentleri PAR bölgesindeki kırmızı ve mavi dalga boylarını fotosentez reaksiyonunda kullandıkları için bu dalga boylarında maksimum derecede emilim gösterirler (Şekil 1.4.) (Belward ve Valenzuela, 1991). Ancak, yeşil bölgedeki ışınım bitki tarafından kullanılmayarak yansıtılır böylece bitkiler insan gözü tarafından yeşil renkte görünürler (Belward ve Valenzuela, 1991).

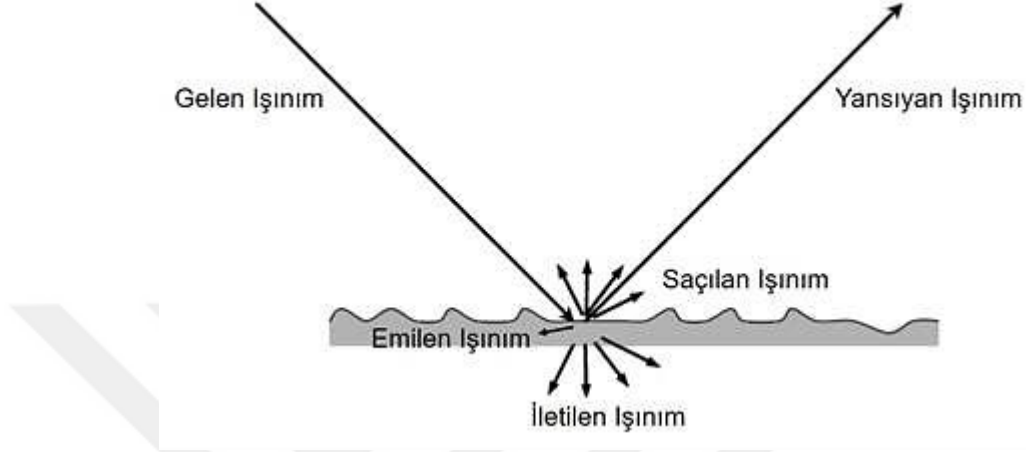


Şekil 1.4. Klorofilin emilim (absorbans) grafiği (Süb ve ark., 2015)

1.5. Yansıma, Emilim, İletim ve Saçılma

Bir maddenin üzerine etki eden elektromanyetik radyasyona “gelen ışınım” denir (Avery ve Berlin, 1992). Örneğin, dünya için en büyük ışınım kaynağı güneştir (Avery ve Berlin, 1992). Elektromanyetik ışınım bir cisme çarptığında, hareket ettiği

ortamın ve cismin özelliğine bağlı olarak bir kısmı cisim tarafından emilir (absorption), bir kısmı yansır (reflection) veya dağılır (scattering), bir kısmı da cismin diğer tarafına iletilir (transmission) (Şekil 1.5) (Keskin ve Görücü Keskin, 2012; Elachi ve Zyl, 2006).



Şekil 1.5. Gelen ışının yüzey ile farklı şekilde etkileşimleri

1.6. Uzaktan Algılama ve Tarım

Uzaktan algılama tarımda 1980'li yıllarda, bitki sağlığı, bitki gelişimi, biyokütle artışı, ürün verimi ve bitki streslerinin izlenmesinde yardımcı bir araç olarak kullanılmaya başlanmıştır (Fitz-Rodriguez ve Choi, 2002).

Uzaktan algılama bitki ile temasın zor olduğu veya bitkiye zarar verme durumunun söz konusu olduğu durumlarda bitkilerin uzaktan algılanabilmesi, geniş alanların görüntüsünün hızlı ve tekrarlanabilir bir şekilde daha az iş gücü ile alınabilmesi ve tüm yetiştirme periyodu boyunca kullanılabilmesi nedeniyle geleneksel tarla izleme yöntemlerine bir alternatif olarak kullanılabilir. Uzaktan algılama kullanılarak sorunların önceden saptanması ve gereğinin yapılması ile olası ürün kayıplarının önlenmesi mümkün olabilmektedir (Keskin ve Görücü Keskin, 2012).

Uzaktan algılamanın tarım alanındaki uygulamaları genellikle verim tahmini, toprak haritalama, besin elementi eksikliği, bitki hastalıklarının sebep olduğu stresin tespiti, yabancı ot tespiti, sulama ve toprakta drenaj sorunlarının tespiti şeklindedir (Johannsen ve Sanders, 1982; Keskin, 2007).

Spektroradyometreler ve yakın kızılötesi (NIR) spektroskopi cihazları bu uygulamalar için kullanışlı bulunmuştur (Rodriguez ve Miller, 2000b; Keskin ve ark. 2004). Fakat bu teknolojilerin yüksek yatırım maliyeti, kullanımı için kapsamlı bilgi ve tecrübe gereksiniminden dolayı bu sistemler daha çok araştırma amacıyla kullanılmakta olup, daha ucuz, pratik ve kullanımı kolay algılama teknolojilerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Keskin, 2004, Keskin ve ark. 2004).

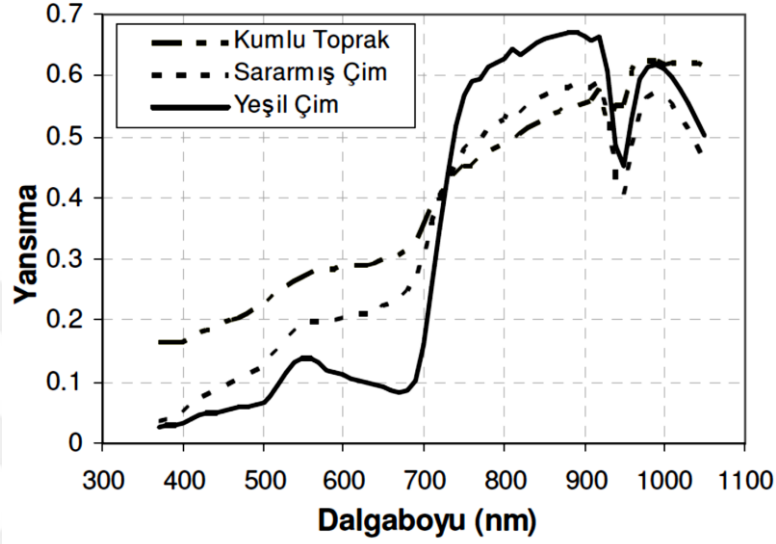
Stres, bitkilerde yaprak renginde ve yansıma özelliklerinde değişmelere sebep olabilmektedir (Knippling, 1970; Carter, 1993; Campbell, 1996). Buradan hareketle, yaprak renginin ve yansıyan ışınımın ölçülmesi yoluyla bitki besin elementi düzeyi ve buna bağlı olarak stres durumu belirlenebilmektedir.

1.7. Vejetasyon İndeksleri

Vejetasyon indeksi, uzaktan algılama verilerinin analizinde sıkça kullanılan sayısal bir değer olup, bitkinin yeşil kısımlarının sağlıklı olup olmadığının belirlenmesi amacıyla kullanılır (Keskin ve Görücü Keskin, 2012). Minimum iki farklı banttan elde edilen verilerin birlikte kullanılması ile hesaplanan vejetasyon indeksi, değişik çevresel faktörlerin yapılan ölçüm üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiyi en aza indirmek amacıyla da kullanılır (Keskin, 2007). Bir vejetasyon indeksi; en az iki farklı bantta ölçülen yansıma değerinin birbirine oranı veya farklı bir matematiksel kombinasyonudur (Mroz ve Sobieraj, 2004). Hesaplamalarda kullanılacak bantlar, bitkilerin spektral özelliklerine bağlı olarak seçilir (Mroz ve Sobieraj, 2004).

En sık kullanılan vejetasyon indeksleri elektromanyetik spektrumun kırmızı ve yakın kızılötesi bölgesinden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanmaktadır (Mutanga ve Skidmore, 2004). Bu bantlardaki (kırmızı ve yakın kızılötesi) yansımalar birbirinden etkilenmez ve bitki örtüsü için yüksek spektral karşıtlık oluşturur (Mroz ve Sobieraj, 2004). Genellikle kırmızı bölgedeki yansıma bitkinin klorofil içeriği, yakın kızılötesindeki yansıma değeri ise bitkinin (daha çok yaprak) içyapısı ile ilişkilidir/orantılıdır (Mroz ve Sobieraj, 2004). Sağlıklı bitkiler özellikle kırmızı bölgedeki ışınımı emerken toprak ve sararmış bitkiler görünür ışınım bantlarındaki ışınımı emmeyerek yansıtırlar (Keskin, 2007).

Ayrıca sağlıklı bitki yaprakları içerisinde bulunan hava boşlukları sayesinde ışınımı toprak ve sararmış bitkiye göre daha fazla yansıtır (Keskin, 2007). Bu özellik sayesinde sağlıklı bitki, topraktan ve /veya strese girmiş bitkiden ayırt edilebilir (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. Toprak, sararmış çim ve yeşil çimin ışınımı yansıtma özellikleri (Keskin, 2007)

En sık kullanılan vejetasyon indeksi Normalize Edilmiş Fark Vejetasyon İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) olup, kırmızı ve yakın kızılötesi bantlardaki yansıtma değerlerinden aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Xue ve Su, 2017);

$$NDVI = \frac{(Y_{NIR} - Y_K)}{(Y_{NIR} + Y_K)}$$

Bu eşitlikte;

Y_{NIR} : Yakın kızılötesi banttaki yansıtma değeri

Y_K : Kırmızı banttaki yansıtma değeri

Genel olarak -1 ile +1 arasında değişen NDVI değeri, bitki gelişimi ve sağlığının değerlendirilmesinde 0 ile +1 aralığında değişen değerler alan birimsiz bir sayıdır (Xue ve Su, 2017). Bitkiler için NDVI değerinin sıfıra doğru azalması bitki sağlığının bozulduğunu, +1 değerine doğru artması ise bitki sağlığının iyi durumda olduğu anlamına gelmektedir.

NDVI dışında kullanılan farklı vejetasyon indekslerine örnek olarak; Oransal vejetasyon indeksi (Ratio vegetation index, RVI), Fark vejetasyon indeksi (Difference vegetation index, DVI), Dönüştürülmüş vejetasyon indeksi (Transformed vegetation index, TVI) v.b. verilebilir (Mroz ve Sobieraj, 2004). Bu vejetasyon indekslerinin hesaplanmasına ilişkin formüller materyal ve yöntem kısmında verilmiştir (Çizelge 3.4).

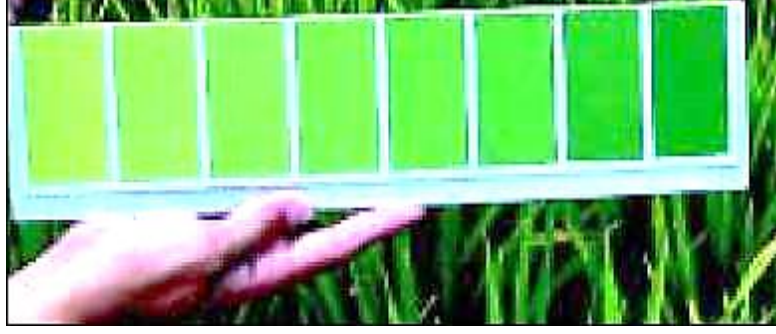
1.8. Bitki Sağlığının İncelenmesinde Kullanılan UA Yöntemleri

Bitki durumunun ve kalitesinin incelenmesinde çeşitli yöntem ve elektro-optik uzaktan algılama cihazları kullanılmaktadır. Bu yöntemler ve cihazlar renkli standart kâğıtlar, klorofilmetre, renk ölçer, fluorometre, spektrometre, yakın kızılötesi yansıma spektroskopisi (NIRS) ile el tipi ve makine üzerine yerleştirilen N algılayıcılarını içermektedir. Bu yöntem ve cihazlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

1.8.1. Renkli Standart Kâğıtlar

Renk ölçümü ile ilgili ilk çalışmalar 1900'lü yılların başına kadar gitmektedir. Renk değerinin insanlar tarafından belirlenmesi nesnel bir yöntem değildir çünkü renk kavramı insandan insana değişiklik gösterebilir (Keskin ve ark., 2017). Bu sebeple, bilimsel çalışmalarda standart renkli kâğıtlar veya renk ölçer gibi elektronik ölçüm cihazları kullanılarak daha doğru, güvenilir ve tekrarlanabilir renk ölçümleri yapılabilir.

Hastalıklara veya hasarlara neden olan canlı organizmalardan kaynaklı stres (biyotik stres) ve ortamdaki kaynaklı stres (abiyotik stres) faktörleri bitkilerde yaprak renginde ve yansıma değerinde değişimlere sebep olabilmektedir (Knipling, 1970; Carter, 1993; Campbell, 1996). Bazı ülkelerde (özellikle uzak doğuda) genellikle mısır ve çeltik tarımında yaprak renginin standart renkli kâğıtlarla (Leaf Color Chart, LCC) (Şekil 1.7.) kıyaslanarak azotlu gübre miktarının belirlenmesi ile önemli düzeyde gübre tasarrufu sağlanarak verim ve kâr artışı elde edilmiştir (Witt ve ark. 2005).



Şekil 1.7. Mısır ve çeltikte yaprak renginin değerlendirilmesinde kullanılan standart renkli kâğıtlar (Witt ve ark. 2005).

Ancak insan gözü ile yapılan bu tip değerlendirmelerin standart ve nesnel bir değerlendirme olmaması ve kişiden kişiye değişebilmesi nedeniyle, elektronik ve bilgisayar esaslı algılama sistemlerinin geliştirilmesinin daha uygun olduğu vurgulanmaktadır (Keskin 2004, Keskin ve ark. 2008).

1.8.2. Renk Ölçer

1980'li yıllarda elektrik esaslı algılama, elektronik ve bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde modern, güvenilir ve hızlı bir şekilde ölçüm yapabilen renk ölçüm sistemleri geliştirilmiştir. Tarımsal araştırmalarda renk ölçerler; bitki yapraklarının klorofil, besin elementi ve su içeriğinin, yaprak ve çiçek görsel kalitesinin, hastalıklı yaprakların ve hastalık düzeyinin belirlenmesi, bazı biyotik ve abiyotik stres faktörlerinin bitki gelişimi ve verime etkisinin incelenmesi, meyvelerin kalite özelliklerinin belirlenmesi, sebze ve meyvelerin renge göre sınıflandırılması konularında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Keskin ve ark., 2017).

Renk ölçer, cihaz içerisinde bulunan bir ışınım kaynağından, rengi ölçülecek nesneye ışınım göndererek, yansıyan ışınımı algılayan ve böylece renk değerlerini hesaplayan üç filtreli (tristimulus) bir elektro-optik sistemdir (Keskin ve ark., 2017). Renk ölçer üç rengin (kırmızı, yeşil ve mavi) algılanması ve ölçülmesi ilkesi ile çalışır. İnsan gözündeki üç tip algılayıcının spektral duyarlılığı örnek alınarak geliştirilmiştir. Bu sebeple renk ölçer içerisinde optik filtreler ve ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren algılayıcılar (dedektör) bulunur.

1.8.3. Klorofilmetre

Klorofilmetre bitki yapraklarının klorofil içeriğini tahmin etmek amacıyla kullanılan elektro-optik bir cihazdır. İki tırnağı arasına yerleştirilen yaprağa iki farklı bantta (kırmızı ve NIR) ışınım göndererek yaprağın diğer tarafına geçen ışınım miktarından yapraktaki klorofil miktarını tahmin eder (Apogee, 2018). Yaprığın içerdiği klorofil miktarı; bitkinin sağlık durumunun, bitki stres durumunda ise stres seviyesinin bir göstergesidir. Bu sebeple, farklı stres faktörlerinin bitki gelişimi ve verime etkisinin belirlenmesinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Klorofilmetreler; yaprak klorofil içeriğinin belirlenmesi, bitki gelişme performansının değerlendirilmesi, farklı stres faktörlerinin klorofil içeriği ile ilişkisi, bazı yaprak makro ve mikro besin elementi içeriğinin tahmini ve azotlu gübre gereksiniminin belirlenmesi gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Örnek olarak, Rodriguez ve Miller (2000a) klorofilmetre ile çim bitkisinde klorofil konsantrasyonu, N konsantrasyonu ve görsel kaliteyi (1-10) belirlemiştir. Samdur ve ark. (2000) Klorofilmetre ile farklı yerfıstığı çeşitlerinin demir klorozu toleransını belirlemiştir. Brouder ve Menge (2003) klorofilmetre ile mısırdaki azotlu gübre gereksinimini değerlendirmiştir.

1.8.4. Spektrometre

Spektrometreler, ışınım miktarını birçok farklı dar dalga boyu aralığında aynı anda ölçebilmektedir (Keskin, 2007; Zhang ve Pierce, 2013). Bu sistemler, hedef nesneden yansıyan ışınımı uygun şekilde optik ve elektronik olarak işledikten sonra kaydedebilen çok spektrumlu opto-elektronik sistemlerdir (Keskin, 2007). Spektrometre ölçümlerinde arazideki nesnelere için güneş ışığı doğal ışınım kaynağı olarak kullanılırken, laboratuvar şartlarında ışınım kaynağı olarak uygun özelliklere sahip lambalar kullanılmaktadır. Spektrometreler temel olarak; fiber optik kablo, spektrometre (monokromatör) ve bilgisayardan oluşmaktadır (Keskin, 2007). Oldukça pahalı ve hassas bir yapıya sahip olan spektrometreler, kullanımları ve cihazla ölçülen verilerin analizi önemli düzeyde bilgi gerektirdiğinden genellikle pratik algılayıcıların tasarımına yol gösterecek verilerin üretilmesinde kullanılmaktadırlar (Keskin ve ark., 2003). Bu cihazlar tarımda oldukça yaygın bir

şekilde kullanılmaktadır. Örneğin, Lee ve ark. (1999) spektrometre ile farklı renk özelliklerine sahip üç farklı mısır çeşidi için yansıma verilerinden yaprak N konsantrasyonunu tahmin etmişlerdir. Keskin ve ark. (2004) kırmızı ve kızılötesi bantlardaki yansıma değerlerini kullanarak çim örneklerinde N konsantrasyonunu tahmin etmişlerdir. Henry ve ark. (2004) yansıma değerlerini kullanarak soya bitkisi ile yabancı otların birbirinden ayırt edilebileceğini bildirmişlerdir. Bell ve ark. (2004) bermudagrass (*Cynodon dactylon*) türü çim bitkilerinin yaprak klorofil ve N konsantrasyonu tahmini için spektrometrenin etkili bir optik yöntem olduğunu tespit etmişlerdir.

1.8.5. Yakın Kızılötesi Yansıma Spektroskopisi (NIRS)

NIRS yöntemi tarım ve gıda ürünlerinin nem, protein, yağ içeriği ve tane sertliğinin sayısal (kantitatif) analizinin yapılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Armstrong ve ark., 2006). Yakın kızılötesi spektroskopisi (NIRS) bilinen bir dalga boyu aralığında (genellikle 800-2500 nm; 12500-4000 cm^{-1}) çalışan analitik bir yöntemdir (Mlcek ve ark., 2006). NIRS, az miktarda örnek hazırlığı ile materyallerin kimyasal bileşimini hızlı bir şekilde analiz edebilen hasarsız bir yöntemdir (Miller ve Thomas, 2003). Yöntemin temel ilkesi; analiz edilen numunenin bileşimine bağlı olarak gönderilen ışının farklı dalga boylarındaki yansıma veya emilim durumunu ölçmektir (Mlcek ve ark., 2006).

NIR spektroskopisinde analiz edilen örnek yakın kızılötesi ışınlarına maruz kaldığı zaman bazı moleküler bağların (N-H, C-O, C-H, S-H ve O-H) titreşimleri sonucu absorpsiyon bantları oluşmaktadır. (Ertugay ve Başlar, 2011). NIRS sistemlerinde çeşitli donanım konfigürasyonları kullanılır ve Fourier-Transform yakın kızılötesi yansıma spektroskopisi (FT-NIR) de bu kombinasyonlardan sadece birisidir (Armstrong ve ark., 2006). FT-NIR donanımı genellikle daha karmaşıktır ancak elektronik, yöntemsel ve üretimindeki gelişmeler sayesinde dedektör hassasiyeti, çözünürlüğü ve sarsıntılara karşı toleransı önemli ölçüde iyileştirilmiştir (Armstrong ve ark., 2006). Bu yöntem kullanılarak çim bitkisi üzerine bazı araştırmalar yapılmıştır. Narra ve ark. (2005) çim bitkisinde (creeping bentgrass) NIRS yöntemi ile karbonhidrat analizinin klasik yöntemlere göre daha rahat ve hızlı bir şekilde yüksek doğrulukla

yapılabileceğini belirtmişlerdir. Miller ve Thomas (2003) çim bitkisinde yapılan kimyasal analiz ve NIRS analizi sonuçları arasında Ca elementi için pozitif ilişki ($R^2=0.72$) tespit etmişlerdir.

1.8.6. Fluorometre

Yeşil renk, yani bir bitkinin klorofil konsantrasyonu, yaprak N konsantrasyonu için iyi bir göstergedir ve birçok bitkide yaprak N ve klorofil konsantrasyonu arasında yüksek oranda ilişki mevcuttur (Samborski ve ark., 2009). Klorofil durumu, optik yansıma esaslı algılayıcıların yanı sıra bitki örtüsünün floresans özelliklerine dayanan teknolojiler kullanılarak da belirlenebilmektedir (Heege ve ark., 2008). Klorofil pigmentinin en önemli özelliklerinden birisi olan floresans; klorofilin belirli bir dalga boyunda ışığa maruz kaldığında bu ışığı absorbe ederek daha yüksek bir dalga boyunda etrafa yaymasıdır (Maxwell ve Johnson, 2000).

Klorofil floresans yöntemi, fotosentezin izlenmesi ve bu süreç üzerindeki çeşitli stres faktörlerinin etkisini tahmin etmek için kullanılır (Pavlovic ve ark., 2014). Sağlıklı bir bitkide emilen ışık enerjisinin sadece %2'lik kısmı floresans ile kaybedilirken, strese girmiş bitkilerde bu oran %12'ye kadar çıkabilmektedir (Heege ve ark., 2008). Bu yöntem bitki stresini ve verimliliğini ölçmek için hızlı, kolay gerçekleştirilebilir, hasarsız, yüksek maliyetli sarf malzemeleri ve iyi derecede laboratuvar becerisi gerektirmemektedir (Cessna ve ark., 2010).

Klorofilin floresans özelliğinden yararlanarak ölçülmesi işlemi için fluorometreler kullanılmaktadır (YSI, 2018). Birçoğu LED ışınım kaynağına (genellikle 470 nm dalga boyunda) sahip olan bu sistemler yansıyan daha uzun dalga boyundaki spektrumu algılama için fotodiyot kullanmaktadır (YSI, 2018). Agati ve ark. (2013) iki farklı çim bitkisinde fluorometre ile mavi ve kırmızı floresans değerlerini kullanarak 6 farklı N düzeyi uygulanan çim bitkilerini başarılı şekilde ayırt edebilmişlerdir. Leufen ve ark. (2014) şekerpancarında mavi ve kırmızı floresans değerlerinden tek ve çoklu stres (su kısıtı, azot eksikliği, külleme) etkilerinin tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir.

1.8.7. El Tipi ve Makine Üzerine Yerleştirilen Azot Sensörleri

Bilimsel çalışmalarda kullanılan cihazlar (klorofilmetre, spektrometre, renk ölçer, floresans cihazı, v.b.) dışında ticari firmalar tarafından geliştirilmiş optik esaslı bazı pratik bitki indeks ölçüm sistemleri mevcuttur ve bu sistemler genellikle NDVI değeri ölçümü için özelleştirilmiştir olup, ve NDVI değerinden bitki N gereksinimi belirleme konusunda fikir vermektedirler. Tarla bitkileri için değişken düzeyli azotlu gübre uygulamak amacıyla geliştirilmiş olan bu algılayıcılardan bazılarının ticari isimleri ve üretici firmalara ait bilgiler aşağıda yer almaktadır:

- Trimble firması – GreenSeeker sensor (Şekil 1.8.)
- Yara firması – N Sensor
- Ag Leader firması – OptRx sensor
- Holland Scientific firması – RapidSCAN CS-45 / Crop Circle ACS-470-430
- Spectrum firması – FieldScout TCM 500
- Skye instruments firması – Spectrosense2



Şekil 1.8. Tarla bitkilerinde azot konsantrasyonu tespitinde kullanılan el tipi (sağda) ve araç üzerine takılan (solda) GreenSeeker sistemi (Trimble, 2010)

Daha çok arazide tarla bitkileri için traktör üzerinde başarılı şekilde kullanılan bu algılayıcılar, yapraktan yansıyan görünür bant ve yakın kızıl ötesi (NIR) yansıma değerlerinden yaprak besin elementi konsantrasyonunu belirleyebilmektedirler. Singh ve ark. (2015) çeltik tarımında optik algılayıcı (GreenSeeker) kullanarak ihtiyaca göre ve geleneksel yöntemlerle gübre uygulanan çeltik tarlalarından elde edilen verimi değerlendirmiş, optik algılayıcı ile daha düşük miktarda azotlu gübre ile geleneksel yönteme yakın verim değeri elde edildiğini belirtmiştir. Amaral ve ark. (2015) dört

farklı N seviyesi uyguladıkları şeker kamışında biyokütle ve N seviyesi tespiti için üç farklı ticari optik algılayıcıyı (GreenSeeker, Crop Circle ACS-210 ve Crop Circle ACS-430) karşılaştırmış, her üç algılayıcıdan alınan değerlerin biyokütle ve N seviyesi için kullanılabilir olmasıyla birlikte en yüksek korelasyon değerinin kırmızı kenar bandını kullanan ACS-430 modeli ile elde edildiğini bildirmişlerdir. Shaver ve ark. (2011) iki farklı optik algılayıcıyı (GreenSeeker ve Crop Circle ACS-210) mısır bitkisinde N seviyesinin izlenmesi için kullanmış ve her iki algılayıcının da uygun şekilde N seviyesi tespiti için kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Erdle ve ark. (2012) buğday bitkisinde GreenSeeker ve Crop Circle 470 optik algılayıcıların kullanılabileceğini, bununla birlikte kırmızı-kenar bandı kullanılarak elde edilen indeks değerlerinin kırmızı bant kullanılarak elde edilenlere göre daha iyi sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır.

1.9. Çim Bitkisinin Genel Özellikleri

Çim; zemin örtücü bitkiler içerisinde ilk akla gelen bitki olup, toprak yüzeyine yakın bir yayılım gösteren, toprağı sıkı bir biçimde kavrayarak örten (Avcıoğlu ve Geren, 2012), trafik (üzerine basılma) ve yaprak dökülmesine karşı dayanıklılık oluşturan köklü bitkileri ifade eden bir terimdir (Christians ve ark., 2017).

Çim alanlar; toprak yüzeyini kaplayarak sık şekilde gelişen, homojen görünüme sahip olan ve sıklıkla biçilerek kısa tutulan; genellikle *Graminea (Poaceae)* familyasına ait olan bitki topluluklarının oluşturduğu yeşil alan yüzeyleridir (Hurmanlı, 2014).

Çim ve çim alanlar; sağladığı güzelliğin yanı sıra çevreye, topluma ve ekonomiye de fayda sağlarlar (Christians ve ark., 2017). Ayrıca kentsel mekânlarda üzerinde oynama ve dinlenmeye imkân sağlayan yeşil bir örtü oluşturulmasına da olanak sağlarlar (Oral ve Açıkgöz, 2015). Çim yeşil alanlar hava kalitesini iyileştirme, suyun yüzey akışına geçişini azaltma, yeraltı sularını zenginleştirme, erozyon, toz ve çamur oluşumunu azaltma, ısının emilimi, evapotranspirasyon sayesinde serinletici etki oluşturma, gürültü ve göz kamaşmasını azaltma, v.b. birçok faydaya sahiptirler (Christians ve ark., 2017).

Dünyanın değişik iklim kuşaklarında çok çeşitli cins ve türler halinde yaygın olarak yetişebilen çim bitkisinin spor ve oyun sahalarında özel bir önemi bulunmaktadır

(Avcıoğlu ve Geren, 2012). Doğal imden oluşan spor alanları direkt zemine temasın söz konusu olduğu sporlar olan futbol, ragbi, Amerikan futbolu, tenis, v.b. spor faaliyetlerinde oyuncuların sakatlanmalarını azaltacak şekilde darbeyi yumuşatıcı etkiye sahiptirler (Christians ve ark., 2017).

Birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde kullanılabilen çimler ekolojik istekleri açısından “Serin İklım çimleri” ve “Sıcak İklım çimleri” olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadırlar (Grbz, 2010). Serin iklim türleri, serin ve yağışlı, yani karasal iklim etkisi altındaki bölgelerde kullanılabilen, sıcak iklim türleri ise sıcak ve kurak Akdeniz iklimine sahip bölgelerde kullanılabilen çim türleridir (Avcıoğlu ve Geren, 2012). Sıcak iklime sahip bölgelerde *Cynodon* türlerinin olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür (Avcıoğlu ve ark., 1996). Ancak Akdeniz bölgesinde, yazlık türlerin kış boyunca dormant (uyuma) dönemindeyken yeşil renklerini koruyamaması (sararma) kullanımlarını kısıtlayan önemli bir faktördür (Croce ve ark., 2001). Bu durumda, kış döneminde, sıcak iklim çim türleri ile tesis edilen spor alanları ve golf sahalarında oluşan sararmış görüntüyü önlemek için serin iklim çim bitkileri ile st tohumlama uygulaması sıklıkla kullanılır (Croce ve ark., 2001; Longer, 1998). Kış aylarındaki sararmanın maskelenmesi veya sararmaya sebep olan bazı stres belirtilerinin hafifletilmesi amacıyla, spor alanlarında st tohumlamaya kıyasla uygulaması daha kolay ve ucuz bir alternatif olarak çim renklendiricileri de kullanılmaktadır (Pinnix ve ark., 2017; Obear ve ark., 2017)

Her iklim koşulunda rengini koruyan, trafik (basılma) stresine daha fazla dayanabilen, bakımı için agronomik bilgi gerektirmeyen yapay çim alanlar (halı saha) doğal çim alanlar için alternatif olarak kullanılmaktadır (Goatley Jr., 2015). Ancak yapay yeşil spor alanları sporculara doğal alanlarda alıştıkları yüksek düzeyli spor altyapısını tam olarak sunamamaktadır (Avcıoğlu, 2014). Bu tür spor alanlarının; yeterince yumuşak olmamasından dolayı oluşturduğu ayak/bacak sakatlanma risklerinin yanı sıra içerdiği geri dönüştürülmüş lastik kırıntılarının ağır metal içerebilmesi, bu alanlarda uzun süre spor yapan kişilerde görülen kanser vakaları, yüzey sıcaklığının güneşli günlerde çok yüksek değerlere çıkması gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Goatley Jr., 2015).

Ülkemiz ve komşu ülkelerin Akdeniz iklimine sahip kesimlerinde; kamusal ve özel parklarda, atletizm sahalarında, golf sahalarında (tee, fairway ve rough) yeşil alan

tesisi için *Lolium perenne* (İngiliz çimi), *Festuca rubra* (Kırmızı yumak), *Festuca arundinacea* (Kamışsı yumak) ve *Poa pratensis* (Çayır salkımotu) gibi serin iklim çim türleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Avcıoğlu ve Geren, 2012; Martiniello ve D'Andrea, 2006). Örnek olarak *Cynodon* türlerinin kış aylarında sararmasını gidermek için sonbaharda *Lolium* türleriyle üstten tohumlama uygulaması bölgedeki spor alanlarında sıkça kullanılmaktadır (Yılmaz ve ark., 2018). Uzun vadeli spor alanların tesis edilmesinde kullanılacak çim türlerini seçerken iklimsel adaptasyonlarının yanı sıra; basmaya dayanıklılık, kendini yenileyebilme, sık ve derin biçime dayanıklılık, kök gelişiminin iyi olması, kardeşlenebilmesi gibi önemli özelliklere de ayrıca dikkat edilmelidir (MEGEP, 2008). Ülkemizde spor amaçlı çim alanlarda sık olarak kullanılan çim türleri ve bu türlere ait İngilizce ve Türkçe isimler Çizelge 1.1' de verilmiştir (Avcıoğlu, 2014).

Çizelge 1.1. Ülkemizde spor alanlarında kullanılan bazı çim türleri

Çim Türü*	Latince isim	İngilizce isim	Türkçe isim
Serin İklim	<i>Agrostis canina</i> L.	Velvet bentgrass	Kahverengi tavusotu
	<i>Agrostis stolonifera</i> L.	Creeping bentgrass	Stolonlu tavusotu
	<i>Poa pratensis</i> L.	Kentucky bluegrass	Çayır salkımotu
	<i>Poa trivialis</i> L.	Rough bluegrass	Adi salkımotu
	<i>Festuca rubra</i> L. subsp. <i>rubra</i>	Strong creeping red fescue	Rizomlu kırmızı yumak
	<i>Festuca rubra</i> L. subsp. <i>trichopylla</i>	Slender creeping red fescue	Narin kırmızı yumak
	<i>Festuca rubra</i> L. subsp. <i>comutata</i>	Chewings fescue	Rizomsuz kırmızı yumak
	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	Tall fescue	Kamışsı yumak
	<i>Lolium perenne</i> L.	Perennial ryegrass	İngiliz çimi
Sıcak İklim	<i>Cynodon dactylon</i> L. Pers	Common bermudagrass	Bermuda çimi
	<i>Paspalum vaginatum</i>	Seashore Paspalum	Tuzcul yalancı darı
	<i>Zoysia japonica</i> Steud.	Japanese Lawngrass	Japon çimi

Özel tohum firmalarının ülkemizde spor alanlarında kullandığı ticari tohum türlerinden derlenmiştir.

*Çim bitkilerinin iklimsel sınıflandırması (McElroy, 2013; Pessaraki, 2008)

1.10. Çim Bitkisinin Bakım İşlemleri

Çim alan kalitesinin sürdürülebilir olması için yapılması gereken temel kültürel işlemler; biçme, sulama, gübreleme ve gerektiğinde ilaçlamadır (Turgeon, 1991).

Kültürel işlemlerden en yaygın olanı biçmedir (Christians ve ark., 2017). Yeryüzünde biçme işlemine karşı en dayanıklı türlerden birisi olan çim bitkileri bu işlem sayesinde estetik ve sağlıklı görünmektedir. Sağlıklı çim gelişimi ve kalite kaybının engellenmesi için çim biçme makinesinin bıçaklarının keskin olması ve her biçme işleminde üçte-bir kuralına (one-third rule, toprak üstü aksamın yalnızca 1/3'lik kısmının biçilmesi) uyulması gerektiği belirtilmektedir (Christians ve ark., 2017). Bazı çim türlerine ait biçme yüksekliği değerleri Çizelge 1.2'de verilmiştir.

Çim bakım işlemlerinden birisi olan sulama işleminin sağlıklı olarak yürütülebilmesi için bölgenin, toprak bünyesinin, çim türünün kuraklığa karşı dayanımını bilmek gereklidir. Çimin sulanmasında temel kriter çimin kök derinliğine kadar olan toprak profilinin su ile doyurulmasıdır. Sulama sıklığının belirlenmesinde çimlerin solma durumunun gözle tespitinin yanında infrared termometreler ve tansiyometrelerden de yararlanılabilmektedir (Christians ve ark., 2017).

Çizelge 1.2. Bazı çim türlerine ait biçme yüksekliği değerleri (Christians ve ark., 2017)

Çim Türü	B biçme Yüksekliği (mm)	
Sıcak İklim	Creeping bentgrass	2.5-19
	Strong creeping red fescue	6.4-76
	Slender creeping red fescue	6.4-76
	Chewings fescue	6.4-76
	Kentucky bluegrass	25-76
	Perennial ryegrass	13-76
	Tall fescue	38-102
	Velvet bentgrass	2.5-19
Sıcak İklim	Bermudagrass	6.4-3.2
	Seashore paspalum	3.0-51
	Zoysiagrass	13-64

En maliyetlisi ve çevre açısından en fazla dikkat edilmesi gereken kültürel işlem gübreleme ve ilaçlamadır. Çim bitkisinin gelişimi açısından azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) en önemli elementler olup makro element olarak isimlendirilir (Turgeon, 1991). Bunun yanında ikincil olarak gereksinim duyulan makro elementler kükürt (S), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve daha az miktarda ihtiyaç duyulan mikro elementler demir (Fe), mangan (Mn), bor (B), bakır (Cu), çinko (Zn), molibden (Mo) ve klor (Cl)'dur (Turgeon, 1991). Azot, P ve K genellikle çim gübreleme programının

geliştirilmesinde en büyük paya sahip elementlerdir (Christians ve ark., 2017). Aşağıda N, P, K ve diğer besin elementleri hakkında kısa bilgi verilmiştir:

Azot (N): Yeterli miktarı çim bitkisinde güçlü büyüme ve yeşil rengi oluşturur. Yetersiz miktardaki N çim bitkisinde hastalık oluşma riskinin artmasına, yavaş büyüme hızına, bazı hastalıkların görülmesine, sararmaya, çimlerin yeterince dik duramamasına ve yabancı ot baskısının artmasına sebep olur (GCSAA, 2009). Gereğinden fazla uygulanan N ise toprak üstü kısmın fazla oranda büyümesine, köklerin yeterince gelişmemesine, düşük karbonhidrat rezervine, hastalıklara ve bazı çevresel etkenlerden kaynaklanan streslere karşı direncin azalmasına sebep olmaktadır (Rosen ve ark. 2006). Azot; golf sahalarında çim gelişimi ve performansı için bakım sorumluları tarafından uygulanan öncelikli besin elementidir. Gübre uygulama programları genelde N uygulaması çerçevesinde oluşturulmaktadır (GCSAA, 2009).

Fosfor (P): Çim alanların kurulması esnasında büyümeyi ve kök gelişimini artırıcı etki gösteren bir besin elementidir. İyi bir çim gelişimi için; doğal olarak yüksek oranda P içeren topraklara uzun yıllar boyunca fosforlu gübre uygulaması gerekmebilir (Rosen ve ark., 2006).

Potasyum (K): Bazı bitki bileşenlerinin sentezlenmesinde ve azotun etkili şekilde kullanılması gibi birçok fizyolojik işlemin düzenlenmesinde gereklidir. Çim bitkisinde K eksikliği çevresel bazı stres faktörlerine karşı toleransın düşmesine neden olmaktadır. Doğal olarak K açısından zengin olan topraklarda ayrıca potasyumlu gübre uygulamasına gerek olmayabilir. Potasyum uygulama programının oluşturulmasında toprak ve yaprak analizi gerekir (Rosen ve ark., 2006).

Kalsiyum (Ca): Hücre duvarlarının bir arada durmasına yardımcı olan hücre duvarı orta katmanında (middle lamella) görülmektedir. Hücre bölünmesi ve membran işlevi açısından önemlidir. Kalsiyum eksikliği zayıf kök ve filiz gelişimine neden olmaktadır (Landschoot, 2003).

Magnezyum (Mg): Birçok enzimi aktive eden klorofilin önemli bir bileşenidir. Eksikliğinde yaprak klorozu (sararma) görülmektedir (Landschoot, 2003).

Demir (Fe): Klorofil yapılanması, fotosentez ve azot metabolizmasında önemli yeri vardır. Eksikliğinde genç yapraklarda kloroz görülmektedir (Landschoot, 2003).

Bakır (Cu): Fotosentez için önemli bir bileşendir ve bazı enzimlerin yapılarında yer alır (Landschoot, 2003).

Mangan (Mn): Kloroplast membranında bulunur ve enzim etkinleştirici olarak görev yapar. Bazı hastalıklara karşı direnç mekanizmasında rol alır (Landschoot, 2003).

Çinko (Zn): Klorofil, amino asit ve büyüme hormonu olan indoleasetik asit sentezinde görev alır (Landschoot, 2003).

Dünyada özellikle çim sahada yapılan sporlar çim araştırmalarının artması konusunda belirleyici olmaktadır. Ülkemizde yeni sayılabilecek çim araştırmaları daha çok akademik olarak yürütölmektedir. Ancak ölkemizde genellikle araştırmalar tarla ve bahçe bitkileri üzerine yoğunlaştığından çim araştırmaları sınırlı kalmıştır (Görbüz, 2010).

Çim alanların bakımında bir zaman çizelgesine veya çimin görsel durumuna göre gübre uygulanması doğal kaynaklar ve çevre açısından tehdit oluşturmaktadır. Ancak ideal gübre gereksiniminin belirlenmesi için gerekli olan kimyasal yaprak ve toprak analiz yöntemi; zaman alan, yüksek işgücü gerektiren, maliyetli ve kimyasal madde kullanımını sebebiyle analiz laboratuvarında çalışanların uzun dönemde sağlığını tehdit eden bir uygulamadır. Bu nedenle yaprak su ve besin elementi konsantrasyonunun belirlenmesi amacıyla daha kısa sürede ve daha düşük maliyet ile sonuç verebilecek çevre ve kullanıcı dostu bir yöntem gereksinim duyulmaktadır.

Bu gerekçeler neticesinde, bu çalışmanın amacı; çim bitkisi yaprağı örneklerinde, farklı optik ölçüm aletlerini (renk ölçer, el tipi NDVI algılayıcı (GreenSeeker), yakın kızılötesi yansıma spektroskopisi) kullanarak renk ve yansıma değeri ölçümlerinden faydalanılarak bitki su ve besin elementi konsantrasyonunun tahmin edilebilirliğini incelemek ve geliştirilen düşük maliyetli prototip optik algılayıcının su içeriği ve besin elementi konsantrasyonu tahmin başarısını diğer yöntemler ile karşılaştırmaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Çim Alan Tesisine Yönelik Çalışmalar

Turgeon (1991) futbol sahası gibi doğal çim spor alanlarının tesis edilmesinde basmaya dayanıklı, oluşan hasarı onarabilecek kadar hızlı büyüeyebilen çim türlerinin seçiminin önemli olduğunu ve adapte olduğu bölgelerde Bermuda çiminin iyi bir seçim olacağını belirtmiştir. Bu çimlerin ekileceği toprağın (genellikle kumlu toprak) iyi drenaja sahip ve üzerinde oluşacak trafik sonucu sıkışmaya karşı dayanıklı olması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca spor alanlarındaki çimlerin gerekli yoğun yapıyı oluşturabilmesi için mümkün olduğunca derinden biçilmesi gerektiğini ve müsabakalardan sonra köklerin yerine oturması için sahaya hafifçe silindirleme işlemi yapılması gerektiğini bildirmiştir. Kış başlangıcında dormant (uyku) döneme geçen çim sahalarda kışlık çim türleri ile üst tohumlama yapılarak veya renklendiriciler kullanılarak sararmış görüntünün giderilebileceğini ancak renklendiricilerin etkisinin sadece görsel olduğunu belirtmiştir.

Kowalewski ve ark. (2015) yağışlı havanın yoğun olduğu bölgelerde spor amaçlı kullanılacak sahalarda için kum tabana sahip doğal çim veya yapay çimin iyi bir seçenek olabileceğini belirtmiştir. Ancak ilk yatırım maliyetinin daha düşük, spor yapan kişilere daha fazla keyif veren, sıcak havalarda daha serin, ıslak iken daha güvenli, yenilemek için 30 ile 50 kat daha düşük yatırım gerektiren doğal çim alanların daha iyi bir seçenek olduğuna değinmiştir. Kum tabana sahip doğal çim alanların mevsim koşullarına ve trafik stresine dayanımının; kum seçimi, taban tesviyesi, yüzey ve taban drenajı ile çim tür ve çeşidinin seçimine bağlı olduğunu bildirmiştir.

Goatley Jr. (2015) sentetik (yapay) çim sahaları doğal çim sahalar ile karşılaştırmış, avantaj ve dezavantajlarını bildirmiştir. Doğal çim tesislerin daha ucuz, uygun maliyetle onarılabilen veya yeniden yapılandırılabilen, su filtrasyonu ve toprak stabilizasyonu sağlayan, sıcaklık düzenleyici, CO₂ emilimi yapan ve O₂ sağlayıcı özellikte olduğunu belirtmiştir. Sentetik sahaların ise birçok iklim koşulunda uygun kullanıma sahip olduğu, bakım maliyetlerinin düşük olduğu, geri dönüştürülen lastikler ile desteklendiği ve yüzeyin homojen olduğu rapor etmiştir. Ancak yüksek ısı tutma

kapasitesinden dolayı, sıcak dönemlerde saha yüzey sıcaklığı hava sıcaklığından daha yüksek olduğu için oyuncu sağlığı için risk (aşırı sıvı kaybı) oluşturduğunu belirtmiştir.

McCall (2015) doğal çim alanlarda sentetik renk pigmentlerinin ilk olarak 1997 yılında kullanılmaya başlandığını ve bunların genellikle hammadde olarak fitalosiyanınlerden üretildiğini belirtmiştir. Kullanım amacı çimin daha sağlıklı, daha güzel görünmesi ve stres faktörlerine karşı daha dirençli hale getirilmesidir. Ayrıca kullanılan pigmentlerin bitkiye zarar verebilen fazla UV ışınlarını engellediği de belirtilmiştir. Bitki sıcaklığını arttırıp arttırmadığı yönünde kesin bilgi bulunmamaktadır. Bu pigmentler fotoreseptör ve fotoinhibitör olarak hareket ederek bitkideki doğal pigmentler (klorofil ve karotenoid) ile bağlanma eğiliminde olabildiğinden fotosentezin bir parçası olabilmektedir. Pigmentlerin görünür bölgedeki ışınımı emedebildiği fakat doğal çim bitkisi pigmentlerinden daha verimli olmadığı belirtilmiştir. Ayrıca pigment uygulamasının bitkinin doğal pigment yoğunluğunu değiştirmedeği görülmüştür.

2.2. Çim Tür Seçimine ve Türlerin Bölgesel Performansına Yönelik Çalışmalar

Kuşvuran (2009) Çukurova koşullarına uygun çim tür ve karışımlarının belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Araştırmada, serin ve sıcak mevsim çim bitkisi türlerinin saf şekilde, serin iklim çim bitkisi türlerinin kendi içerisinde ve sıcak iklim türleri ile karışım olarak ekimi gerçekleştirilmiştir. Bölgede sonbaharda yapılacak ekimlerde uzun vadeli kullanılacak çim alan tesisi için serin iklim çim türlerinin sıcak yaz aylarında çok başarılı olamadığı ve bu türlerin saf olarak ekilmesi yerine karışımlarının tercih edilmesi tavsiye edilmiştir. Uzun süreli kullanılacak çim alanlarda stolonlu ve narin tavusotu türlerinin kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Başarılı sonuç için sonbaharda yapılacak karışım ekimlerde kamışsı yumağın yüksek oranda kullanılması tavsiye edilmiştir. Çayır salkımotu ve çok yıllık çim türlerinin uzun vadeli alan tesisinde kullanılmaması gerektiğini ancak kısa süre içerisinde tesis edilmesi gereken yeşil alanlar için çok yıllık çimin karışım veya saf şekilde kullanılabileceği belirtilmiştir. Sıcak mevsim çim türü olarak bermuda çimi başarılı sonuçlar vermiş ancak saf olarak kullanıldığı durumdaki sararmayı önlemek için serin mevsim çim türleri ile üst tohumlama yapılması önerilmiştir.

2.3. Çim Alanların Bakım Yöntemlerine Yönelik Çalışmalar

2.3.1. Çim Alanların Gübrenmesine Yönelik Çalışmalar

Lawson (1996) bütün çim bitkilerinde hava sıcaklığının yükselmesi ve gün uzunluğunun artması ile erken ilkbaharda büyümenin hızlandığını belirtmektedir. Normal spor alanlarında her 4-6 haftada, kumlu topraklarda ise her 3-4 haftada bir azotlu gübreleme yapılmasını, uygulamaya kış aylarında havanın ılıman gittiği süre boyunca devam edilmesi gerektiğini bildirmiştir.

Moore ve ark. (1996) ABD'nin Iowa eyaletinde üç farklı çayır salkım otu (*Poa pratensis* L.) çeşidinin (Vantage, Park, Majestic) farklı azotlu gübre formlarının (üre, üreform, metilen üre, metilol üre) ve gübreleme zamanlamasının (baharda yoğun olarak, dengeli dağılım, geç sonbaharda) etkilerini araştırmışlardır. Gübre oranı yıllık 1.95 kg N 100 m⁻² olarak belirlenmiştir. Çalışmada yeterli yağışın olmadığı zamanlarda gübrenin çimi yakmaması için gübrelemeden hemen sonra yağmurlama sulama uygulanmıştır. Kalite özelliklerinin genellikle baharda yoğun gübreleme programında yüksek olduğu, geç sonbahar gübrelemesi ile daha yüksek kök kütlesi elde edildiği bildirilmiştir. Çabuk salımlı N kaynaklarının yavaş salımlılara göre daha iyi performans sağladığı rapor edilmiştir. Ayrıca ürenin çim kalitesi üzerine etkisinin, diğer yavaş salımlı N kaynakları ile eşdeğer veya biraz daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Avcıoğlu (1997) topraktaki azotun bitkiler tarafından genellikle nitrat (NO₃⁻) formunda alındığını ancak buğdaygil çim bitkilerinin azotu amonyum (NH₄⁺) formunu da alabildiğini belirtmiş ve azotun bu formda köklerle alınıp yapraklara ulaşmasının çok hızlı gerçekleştiğini, taşınımın ortalama 15 saatte sonuçlandığını belirtmiştir. Araştırmacı, gübremenin çim bitkilerinin en hızlı geliştiği dönemde ve aylık olarak yapılmasının uygun olduğunu, bu uygulamalarda *Festuca rubra* var. *commutata*'ya 1-3 g m⁻², *Poa pratensis*'e 2-3.5 g m⁻², *Festuca arundinacea*, *Festuca rubra* var. *rubra* ve *Lolium perenne*'ye 2-5 g m⁻² ve *Agrostis stolonifera*'ya ise 3-5 g m⁻² N verilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Oral ve Açıkgöz (2001) sulu koşullarda İngiliz çimi (*Lolium perenne* L.), çayır salkımotu (*Poa pratensis* L.), rizomlu kırmızı yumak (*Festuca rubra* subsp. L. *rubra*), rizomsuz kırmızı yumak (*Festuca rubra* subsp. L. *commutata*) türlerini içeren bir

karışımdan elde edilen çim parselleri üzerinde gübreleme zamanının büyüme ve kalite üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışma parsel boyutları 1×2 m olacak şekilde yapılmıştır. El ile yapılan tohum ekiminde tohum oranı 30 g m^{-2} , gübre (amonyum nitrat) miktarı; yıllık toplam 30 g N m^{-2} olacak şekilde belirlenmiştir. Gübre miktarı 6 farklı şekilde (kontrol: 0 g m^{-2} , baharda tek: 30 g m^{-2} , günde tek: 30 g m^{-2} , bahar + güz: $15 + 15 \text{ g m}^{-2}$, bahar + yaz + güz: $10 + 10 + 10 \text{ g m}^{-2}$ ve Nisan-Eylül arası aylık olarak (5 g m^{-2}) uygulanmıştır. Aylık ve iki ayda bir gübreleme ile bahar ve güz döneminde tek gübrelemeye göre daha homojen renk, çim kalitesi ve daha az biçki kütlesi elde edilmiştir. Güz döneminde tek sefer gübre uygulanan çimlerde kış zararı görülmemiş ve diğer uygulamalara göre önemli derecede koyu renk ve bahar dönemi başında homojen görünüm elde edilmiştir. Aylık veya iki ayda bir uygulanan azotlu gübrenin büyüme hızına etki etmese de büyüme döneminde çim rengi, kalite ve sürgün yoğunluğunu artırmak için yeterli olduğu bildirilmiştir.

Bumane ve Adamovics (2006) İngiliz çimi (*Lolium perenne* L.) üzerine yaptıkları gübreleme çalışmasında, farklı gübreleme düzeylerinin çimin fotosentetik etkinliği ve tohum verimi üzerine etkisini incelemişlerdir. Tesadüf blokları deneme planına göre yürütülen çalışmada 17.5 m^2 'lik bloklar oluşturulmuş ve çim tohumu 12 kg ha^{-1} olacak şekilde ekilmiştir. N ve P_2O_5 ; 0, 30, 60, 90, 120 ve K_2O ; 0, 40, 80, 120, 160 kg ha^{-1} olacak şekilde uygulanmıştır. En yüksek verim 2000, 2001 ve 2002 yıllarında sırasıyla 557, 861 ve 839 kg ha^{-1} olarak elde edilmiştir. 2002 ve 2003 yıllarında sırasıyla ortalama net fotosentez verimliliği 0.6-2.1 ve 1.1-1.9 $\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ve yaprak alan indeksi 9.0-15.8 $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$ ve 7.1-18.5 $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$ olarak belirlenmiştir. Azotlu gübre uygulamasıyla birlikte yaprak alan indeksi, bitki gelişimi, birim alana düşen filiz sayısı, kuru madde ve tohum veriminin arttığı gözlemlenmiştir.

Bilgili ve Açıkgöz (2007) spor sahalarında çim tesisi için kullanılan dört farklı çim karışımı üzerinde yaptıkları üç yıllık çalışmada azotlu gübrelemenin ve aşındırmanın (trafik) etkisini araştırmışlardır. Akdeniz iklim koşullarında, İngiliz çimi (*Lolium perenne* L.), kamışsı yumak (*Festuca arundinacea* Schreb.), çayır salkımotu (*Poa pratensis* L.), rizomlu kırmızı yumak (*Festuca rubra* subsp. L. *rubra*), rizomsuz kırmızı yumak (*Festuca rubra* subsp. L. *commutata*) ve narin tavus otu (*Agrostis tenuis* L.) serin iklim türlerini içeren farklı karışımlardan tesis edilen çim alanlarda, aylık sırasıyla 0 g N m^{-2} (kontrol), 2.5 g N m^{-2} (düşük), 5 g N m^{-2} (orta),

7.5 g N m⁻² (yüksek) olacak şekilde amonyum nitrat uygulanmıştır. Ayrıca çim parsellerine, 20 cm yarıçapa sahip 70 kg kütleli ve 60 cm genişliğinde silindir ile sırasıyla; kontrol, haftada bir, iki haftada bir ve ayda bir olmak üzere aşındırma etkisi uygulanmıştır. Aşındırmanın çim rengini, kalitesini, kaplama oranını ve biçki verimini düşürdüğü, haftada bir aşındırma uygulamasının çim özelliklerini olumsuz yönde etkilediği ancak ayda bir aşındırmanın önemli bir etkide bulunmadığı tespit edilmiştir. Artan oranda azotlu gübre uygulaması; rengi ve kaliteyi iyileştirmiş, kaplama oranı ve biçki verimini arttırmıştır.

Gültekin (2008) Çukurova Bölgesi'nde çiftlik gübresinin farklı form ve dozlarının tek yıllık çim (*Lolium multiflorum* Lam.)'in ot ve tohum verimi ile ot kalitesine etkisini araştırmıştır. Çalışma tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekrarlı olarak yürütülmüştür. Çalışmada 4 farklı çiftlik gübresi çeşidinin (Yanmış Katı Çiftlik Gübresi, Şerbet, Ayrıştırılmış Katı Çiftlik Gübresi, Karışım: Şerbetiyle karışık taze) 3 değişik dozu (15, 20, 25 kg N da⁻¹) uygulanmıştır. Kontrol için kimyasal gübre (20 kg N da⁻¹) uygulaması yapılan ve hiç gübre uygulanmayan parseller de oluşturulmuştur. En yüksek toplam yaş ot, kuru ot ve sindirilebilir kuru madde verimi "Ayrıştırılmış katı çiftlik gübresi + Şerbet" uygulamasında, en yüksek tohum verimi ise "Şerbet + Şerbet" uygulamasında elde edilmiştir.

Nizam (2009) azotlu gübrelemenin çok yıllık çim (*Lolium perenne* L.)'in tohum verimi ve bazı bitkisel özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Deneme, tesadüf blokları deneme deseninde üç tekrarlı olarak yürütülmüş ve materyal olarak çok yıllık çim (*Lolium perenne* L.)'in Ovation çeşidi kullanılmıştır. Tohum ekimi 4 m × 0.2 m boyutundaki parsellere 2 kg da⁻¹ olacak şekilde yapılmış, yıllık olarak 0, 12, 24 ve 36 kg N da⁻¹ uygulaması yapılmıştır. Azotlu gübre (amonyum nitrat) uygulaması, yıllık toplam gübre miktarının 1/3'ü sonbaharda (1 defa), 2/3'ü ise ilkbaharda (2 parça halinde) yapılmıştır. Azotlu gübre uygulamasının bitki boyu, fertil kardeş sayısı, biyolojik verim ve tohum verimini olumlu yönde, hasat indeksini ise olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir. Azotun başak uzunluğu ve bin tane kütleline etkisinin önemsiz olduğu, ayrıca çok yıllık çimin tohum üretiminde 12 kg N da⁻¹ dozunda gübrelemenin uygun olduğu rapor edilmiştir.

Balcı (2012) farklı biçim yüksekliklerinin ve azotlu gübreleme dozlarının Manda Otu [*Buchloe dactyloides* (Nutt) Engelin]'nun çim kalitesi (çim rengi, çim kalitesi, kuru

ot verimi) üzerine etkilerini araştırmıştır. Deneme tesadüf parsellerine göre üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Biçim yükseklikleri 2.5, 5.0, 7.5 cm, uygulanan N dozları ise 0, 25, 50, 100, 200 kg ha⁻¹ olarak kullanılmıştır. Manda otunun renk ve kalite değerlerinin biçim yüksekliğinden etkilenmediği, N uygulamasından sınırlı ölçüde etkilendiği ve 100 kg ha⁻¹'lık N uygulamasında renk, kalite ve kuru ot veriminin önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir.

Popovici ve ark. (2012) ok yıllık serin iklim çim türlerini kapsayan 3 farklı tohum karışımından tesis edilen çim parselleri üzerinde üç farklı gübre çeşidi ile bitki örneklerinin yaprak N konsantrasyonu ve görsel kalitesini incelemişlerdir. Çalışmada M1 karışımı (*Festuca arundinacea* %80+*Lolium perenne* %10+*Poa pratensis* %10), M2 karışımı (Eşit oranda *Lolium perenne* türüne ait üç çeşit) ve M3 karışımı (*Festuca rubra* %60+*Lolium perenne* %20+*Festuca ovina duriuscula* %10+*Poa pratensis* %10) olmak üzere 3 karışım denenmiştir. Gübre olarak amonyum nitrat, N ve P içeren karışık gübre, ticari olarak kullanılan ve makro ve mikro elementler içeren çim alan gübresi kullanılmıştır. Bölünmüş parseller deneme planına göre üç tekrarlı olarak kurulan denemelerde bloklar 2 m × 4 m, alt parseller ise 1 m × 2 m olacak şekilde oluşturulmuştur. Gübre miktarı 75 kg N ha⁻¹ olarak uygulanmıştır. Ekilen im tohumu karışımlarının her üç gübre çeşitine de olumlu tepkiler verdiği bildirilmiştir. En yüksek N konsantrasyonunun M2 karışımından elde edilen örneklerde tespit edildiği (%2.33) belirtilmiştir. En yüksek N konsantrasyonu (Kuru maddede %2.30) amonyum nitrat ile gübrelenen örneklerde, en düşük N konsantrasyonu (Kuru maddede %2.09) ise gübre uygulaması yapılmayan kontrol örneklerinde tespit edilmiştir.

zkan (2013) bazı azotlu ve organomineral (bitki besin elementinin doğal organik ürünle bileşimi ve reaksiyonu ile oluşan) gübrelerin çok yıllık im (*Lolium perenne* L.) bitkisi kalite ve gelişimine etkisini araştırmıştır. Deneme, tesadüf blokları bölünmüş parseller deneme desenine göre üç tekrarlı olarak kurulmuştur. Ana parsellere bu türe ait olan Bizet-1, Kokomo, Esquire eşitleri, alt parsellere ise aylık olarak 0 (kontrol), 2.5 (düşük), 5 (normal) g m⁻² azotlu gübre (amonyum nitrat) ve 4 g m⁻² olacak şekilde uygulanan iki farklı organomineral gübre yerleştirilmiştir. Uygulanan gübre dozları arttıķa yaprakların daha koyu renk aldığı, artarak verilen azotlu gübrelerin bitkilerin yenileme gücü ve kardeşlenme sayısı üzerinde etkili olduğu rapor edilmiştir. İlkbahar

döneminde uygulanan aylık 2.5 g m^{-2} azotlu gübrenin güzel görünüm ve bitki sıklığı açısından en etkili uygulama olduğu belirtilmiştir.

deBoer ve ark. (2016) İngiliz çimi (*Lolium perenne* L.) üzerinde kök biyokütlesi ve N kullanım etkinliğini artırmak için azotlu gübrelemenin zamanlaması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Laboratuvar ve arazi denemelerinde biçme işlemi yapıldıktan sonra azotlu gübre uygulamasını (21 günde $1-100 \text{ kg N ha}^{-1}$ olacak şekilde) 0, 3, 6, 9 ve 12 gün geciktirerek 6 biçme dönemi (21 günde 1 biçme) için tekrar etmişlerdir. Ayrıca azotlu gübrelemenin yanında P (34 kg ha^{-1}), K (498 kg ha^{-1}) ve S (20 kg ha^{-1}) uygulaması da yapılmıştır. İki denemede de 12 günlük gecikmenin kök biyokütlesi ve toplam N alımı üzerine önemli bir etkisi olmadığı ancak laboratuvar denemesinde toplam ot verimini düşürdüğü tespit edilmiştir. Azot uygulamasının 3 gün geciktiği örneklerde toplam verimin en yüksek olduğu bildirilmiştir.

2.3.2. Çim Alanların Sulanmasına Yönelik Çalışmalar

Kokar (2010) farklı kapak malzemeleri (tohum örtüsü) ve sulama sıklıklarının İngiliz çimi (*Lolium perenne* L.)'nin bitki gelişimi üzerine etkisini incelemiştir. Çalışma serada tesadüf parsellerinde bölünen bölünmüş parseller deneme desenine göre $20 \times 50 \text{ cm}$ boyutundaki saksılarda yapılmıştır. Sulama sıklığı olarak her gün, 4 gün ve 7 gün, kapak karışımları için ise toprak + arıtma çamuru ve toprak + torf kullanılmıştır. Sonbahar döneminde her gün yapılan sulamanın; çıkış gücü, kuru ot verimi, fide sayısı, bitki boyu üzerine olumsuz etkilerde bulunduğu, en iyi değerlerin 4 gün sıklıkla yapılan sulamalar ile alındığı bildirilmiştir. İlkbahar döneminde ise en iyi sonuçları; her gün yapılan sulamaların verdiği, 4 ve 7 gün sıklıkla yapılan sulamalardan ise daha düşük sonuçlar alındığı rapor edilmiştir. Ayrıca toprak + torf karışımının; toprak + arıtma çamuruna göre daha iyi sonuçlar verdiği bildirilmiştir.

2.3.3. Çim Alanların İlaçlanmasına Yönelik Çalışmalar

Sözeri ve ark. (1998) Orta Anadolu koşullarında çim alan tesisinde yabancı ot mücadelesi için yedi farklı kontrol yöntemini (toplam sistemik herbisit: Glyphosate, gübre sterilizasyonu, çıkış sonrası herbisit: Picloram+2,4-D Amin uygulaması ve

bunların kombinasyonları) karşılaştırmışlardır. Çalışmada genellikle spor alanlarında ve parklarda kullanılan İngiliz çimi, kırmızı yumak, sülüklü tavusotu ve çayır salkımotu türlerinin tohumlarını içeren karışım kullanılmıştır. En etkili sonucun toplam sistemik herbisit + gübre sterilizasyonu + çıkış sonrası herbisit uygulaması yapılan alanlarda elde edildiği belirtilmiştir. Yaz aylarında fazlaca kullanılması gereken ve çevre açısından olumsuz etkilere sahip kimyasal maddelerin yabancı otlardan tamamen kurtulmak için yeterli olmadığını, mümkünse çim ekiminin sonbaharda yapılması gerektiğini bildirmişlerdir.

Curaoğlu (2008) İzmir ilinde yürüttüğü çalışmada çıkış öncesi (ronstar) ve sonrası herbisit (pyanchor, solito, duplosan, dialen, lintur, inpul) uygulamasının sıcak iklim çim türlerinin (*Cynodon dactylon*, *Cynodon transvaalensis*, *Stenotaphrum secundatum*, *Pennisetum clandestinum*, *Paspalum vaginatum*, *Zoysia japonica*) bazı kalite değerleri üzerine etkisini incelemiştir. *Zoysia japonica* dışındaki çim türlerinin bölge koşullarına iyi bir şekilde adapte olduğunu bildirmiştir. Yabancı bitkilere etkisi ve fitotoksosite açısından en iyi sonucun ronstar uygulamasından elde edildiğini rapor etmiştir.

Hunter (2009) spor amaçlı kullanılan çim (kamışsı yumak) alanlarda ak üçgül bitkisinin kontrolü için Ağustos ayı sonu ve Ekim ayı ortası olmak üzere uygulanan üç farklı herbisit (Confront / triclopyr ve clopyralid, Speedzone / dichlorprop, dicamba ve carfentrazone, Strike 3 / dichlorprop ve dicamba) uygulamasının etkilerini incelemiştir. Üç uygulama arasında önemli bir fark görülmediği, ikinci uygulamadan sonra ak üçgül popülasyonunun sıfıra indiği bildirilmiştir.

2.4. Çim Bitkisinde Gübreleme ve Çevre İlişkisine Yönelik Çalışmalar

Melvin (2016) ABD Tarım Bakanlığı'nın 2011 yılı raporunu referans alarak; mısır, pamuk, tahıllar ve diğer bitkilerin yetiştirilmesi için 800 milyon USD değerinde, 12.8 milyar ton azotlu gübre kullanıldığını belirtmiştir. Kullanılan bu gübrenin ancak yarıya yakınının bitkiler tarafından kullanılabilirdiği, geri kalan kısmının yer altı suları, nehirler, göller ve okyanuslara taşınarak kirlenmeye sebep olduğunu rapor etmiştir.

Barton ve ark. (2009) azotlu gübre uygulamasının *Pennisetum clandestinum* (Kikuyu Grass)'un çim kalitesi ve toprakta N sızıntısı üzerine etkisini incelemiştir. Çalışmada 0, 50, 100 ve 150 kg ha⁻¹ yıl⁻¹ oranında azotlu gübre, yılda iki kez, dört kez

ve dört haftada bir kez olmak üzere üç farklı zamanlama ile uygulanmıştır. Toprak lizimetresi ile ölçülen N sızıntısı değerinin ($35-69 \text{ kg N ha}^{-1}$) iki yılın sonunda çim bitkisinin olgunluğuna göre değişim gösterdiği fakat gübre yönetim programından etkilenmediği tespit edilmiştir. En yüksek N kaybı; çim alanın tesisi sırasında görülmüştür. Organik formda sızan N miktarının toplam sızan N miktarının %50'sine kadar ulaştığı görülmüştür. Çim alanda oluşan N sızıntısının sağlıklı bir şekilde ölçümü için toplam ve mineral N miktarının her ikisinin de ölçülmesi gerektiği bildirilmiştir. Olgun çim bitkisinin genç olana göre daha az miktarda azotlu gübre ile kalitesini koruduğu ve artan sıklıkta azotlu gübre uygulamasının çim bitkisinin gelişimini ve rengini olumlu yönde etkilediği rapor edilmiştir. Ayrıca N sızıntısını engellemenin en iyi yolunun, toprak-çim sisteminin kullanabileceği kadar azotlu gübre uygulanması olduğu bildirilmiştir.

Fetter ve ark. (2012) kalamar artıklarından faydalanarak elde ettikleri organik gübrenin çim bitkisi gübrelemesinde kullanımında nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) ve fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) sızıntısını araştırmıştır. Çalışmada, İngiliz çimi (*Lolium perenne* L.) üzerinde kullanılan kalamar bazlı (SQ) ve sentetik (SY) gübrenin sıvı ve granül formülasyonları yıllık 0, 48, 146 ve 292 kg N ha^{-1} olarak uygulanmıştır. 2008 ve 2009 yıllarında büyüme döneminde 60 cm derinlikten lizimetre yardımı ile alınan yer altı suyunda nitrat ve fosfat seviyesi üzerine gübre tipi ve formülasyonun etkili olmadığı tespit edilmiştir. Uygulama miktarındaki artışa bağlı olarak çimin ihtiyacından fazla olan nitrat ve fosfatın sudaki sızıntı yoğunluğunda artış gözlenmiştir. Doğru sulama yönetimi yapılması ve yavaş salınan gübre kullanılması durumunda yer altı sularına sızan nitrat miktarının büyük oranda azaldığı bildirilmiştir.

Shaddox ve ark. (2015) bahar ve yaz aylarında çim bitkisi gübre uygulamasını teşvik eden çok fazla çalışma bulunmasına rağmen Florida'nın belli bölgelerinde pek çok yerel yönetimin yaz ve bahar aylarında gübreleme yapılmasını yasaklayan yasalar çıkartmaya devam ettiğini belirtmişlerdir. Bu yasaların Florida için genellikle yağışlı olan 1 Haziran ve 30 Eylül tarihleri arasında azotlu ve fosforlu gübre kullanımına engel olduğunu bildirmişlerdir. Yağışlı sezonlarda N sızıntısında artış meydana geldiği düşünüldüğünden çim alan bakım sorumlularının veya ev sahiplerinin gübrelemeyi sonbahar, kış ve bahar öncesi yapmalarının teşvik edildiğini rapor etmişlerdir.

Hamido ve ark. (2016) çim alanlarda azotlu gübrelemenin CO₂ salımı üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada azotlu gübre (üre, 46 / 0 / 0) dört farklı uygulama seviyesiyle (24, 49, 98 ve 196 kg N ha⁻¹ yıl⁻¹) uygulanmış, çim bitkisi (Tifway-hibrit bermudagrass - *Cynodon dactylon* × *C. transvaalensis*) 2.5 cm uzunluğunda 7 gün içerisinde 3 defa biçilmiş ve biçilen çimler arazide bırakılmıştır. Azotlu gübreleme miktarı arttıkça CO₂ salımının da arttığı tespit edilmiştir. Karbondioksit salınımı artışa bağlı olarak 2012 yılında 323 kg ha⁻¹ gün⁻¹'den 426 kg ha⁻¹ gün⁻¹'e, 2013 yılında ise 254 kg ha⁻¹ gün⁻¹'den 354 kg ha⁻¹ gün⁻¹'e yükselmiştir. Çim alanlar ve altındaki toprak katmanının ancak doğru şekilde gübreleme yapıldığı durumda önemli bir karbon salım kaynağı olmasının engellenebileceği belirtilmiştir.

2.5. Çim Alanlarda Uzaktan Algılama Çalışmaları

2.5.1. Yaprak Besin Elementi İçeriğinin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar

Clark ve ark. (1987) yakın kızılötesi yansıma spektroskopisi (NIRS) yöntemi ile yem bitkilerinde (wheatgrass, tall fescue, alfalfa) besin elementi konsantrasyonu (Na, K, Ca, P, Mg, Fe, Mn, Cu ve Zn) tahmini yapmıştır. Yöntemin P, K ve Ca tahmini için güvenilir olduğu belirtilmiştir ($R^2 > 0.74$).

Murphy (1993) NIRS ile çim örneklerinde (*Lolium perenne* L. ve *Agrostis plaustris* L.) N konsantrasyonu tahmin edilmiştir. Kimyasal yöntem ile elde edilen N konsantrasyonu değerleri NIRS sonuçları ile karşılaştırılmıştır. NIRS yönteminin hızlı ve doğru bir yöntem olduğu bulunmuştur. *Lolium perenne* L. için $R^2=0.93$ ve *Agrostis plaustris* L. için $R^2=0.89$ olarak bulunmuştur.

Rodriguez ve Miller (2000a) el tipi klorofilmetre (SPAD-502) ile farklı düzeylerde N (0, 5.75, 11.5, 17.25 ve 23 kg ha⁻¹) uygulanan çim bitkilerinde (St. Agustingrass) klorofil ve N konsantrasyonunu belirlemeye çalışmışlardır. Azot uygulamasının SPAD ölçümleri ve klorofil konsantrasyonu üzerinde farklılıklara neden olduğu belirtilmiştir. Ayrıca klorofilmetre ile elde edilen verilerin kimyasal analiz ile belirlenen bitki yaprağı N ve klorofil konsantrasyonu ile pozitif korelasyona (sırasıyla: $R^2=0.71, 0.79$) sahip olduğu bildirilmiştir.

Rodriguez ve Miller (2000b) NIRS ile golf sahası çim (Bermudagrass) bitkilerinde N, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonunu tahmin etmeye çalışmışlardır. NIRS sonuçları ile kimyasal yöntem sonuçları arasında pozitif ilişki tespit edilmiştir. En yüksek değer ($R^2=0.76-0.92$) N konsantrasyonu için bulunmuştur. Fosfor konsantrasyonu için korelasyon bulunmamıştır. Diğer elementler (K: $R^2=0.12$, Ca: $R^2=0.36$, Mg: $R^2=0.04$, Fe: $R^2=0.17$, Zn: $R^2=0.33$, Mn: $R^2=0.03$, Cu: $R^2=0.14$) için ise düşük seviyede ($R^2<0.50$) belirlenmiştir.

Miller ve Thomas (2003) bermuda çiminde [*Cynodon dactylon* (L.) Pers. x *C. transvaalensis* Burt Davy] NIRS ile P, K, Ca ve Mg konsantrasyonunun belirlenmesi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Örnekler, Florida'daki golf sahalarında farklı gübreleme şartları altında yetişen farklı bermudagrass çeşitlerinden elde edilmiştir. Yapılan kimyasal analiz değerlerinin optik analizlerden elde edilen sonuçlar ile arasında pozitif korelasyon (P; $R^2=0.07-0.71$, K: $R^2=0.05-0.39$, Ca: $R^2=0.07-0.72$, Mg: $R^2=0.01-0.37$) tespit edilmiştir. Ancak, kimyasal analizlerin NIRS sonuçlarına göre %15 düşük olduğunu bulunmuştur. NIRS yönteminin çim bitkisi yaprak element konsantrasyonu değerlendirmesi için hızlı ancak tür ve çeşitten etkilendiği için yeterince hassas olmadığı belirtilmiştir.

Gislum ve ark. (2004) üç yıl boyunca yürüttükleri çalışmada yakın kızılötesi yansıma spektroskopisi (NIRS) kullanarak 12 farklı örnekleme noktasından elde ettikleri çim örneklerinde (*Festuca rubra* L. ve *Lolium perenne* L.) N konsantrasyonu tahmin etmeye çalışmışlardır. Çim bitkilerinin kimyasal analiz sonuçlarına göre N konsantrasyonlarının %0.6 ile %6.26 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Farklı ön işleme yöntemlerinin kullanıldığı regresyon analizi sonuçlarına göre tahmin hata değerinin (RMSEP) %0.19-0.35 ve korelasyon değerinin (R) ise 0.95-0.99 arasında değiştiği bildirilmiştir. NIRS yönteminin kimyasal analiz yöntemine alternatif olabilecek hızlı, pratik ve ucuz bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

Bell ve ark. (2004) spektrometre kullanarak çim bitkisinde (hybrid bermudagrass, common bermudagrass ve creeping bentgrass) klorofil ve N konsantrasyonunu tespit etmeye çalışmışlardır. Çalışmada yeşil (550±6 nm) kırmızı (670±6 nm) ve yakın kızıl ötesi (780±6 nm) dalga boylarında ölçüm yapılarak NDVI ve GNDVI değerleri hesaplanmıştır. NDVI ve N konsantrasyonu arasındaki pozitif ilişki türlerine göre $R^2=0.53-0.97$ aralığında değişmiş, ortalama $R^2=0.76$ olarak tespit edilmiştir.

Aynı şekilde GNDVI ile N konsantrasyonu arasındaki pozitif ilişki türlere göre $R^2=0.67-0.98$ aralığında değişiklik göstermiş ve ortalama olarak $R^2=0.81$ bulunmuştur.

Keskin ve ark. (2004) spektrometre ile 350 – 1050 nm bantta laboratuvar ortamında elde edilen spektral yansıma değerlerini kullanarak golf sahalarından elde edilen çim örneklerinin N düzeyinin belirlenmesi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çim biçildikten 3 saat sonra yansıma ölçümü değerinden (680, 810) çim bitkilerinin N düzeyinin tahmin edilebileceğini ($SEP=\%0.58$, $R^2=0.85$) ve N konsantrasyonu açısından 4 dalga boyunun (550, 680, 770 ve 810 nm) önemli olduğunu belirtmişlerdir.

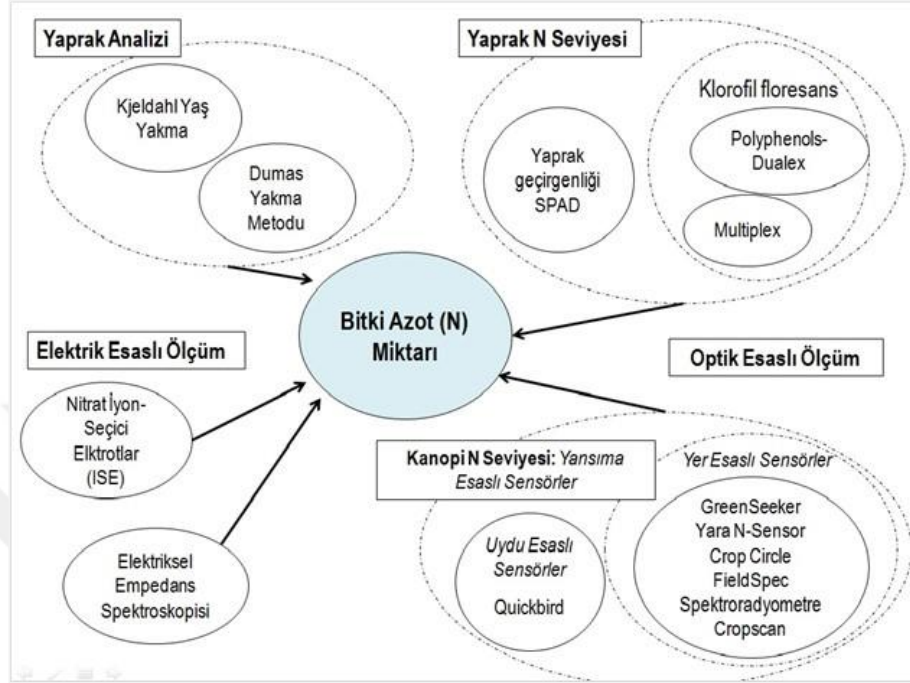
Volterrani ve ark. (2005) spektrometre ile farklı oranlarda (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 and 450 kg ha⁻¹) N uygulanan çim bitkilerinde (Bermudagrass) farklı vejetasyon indekslerinin çim bitkilerine ait biyokütle, yükseklik, renk, kalite ve N konsantrasyonu değerleri ile ilişkisini incelemiştir. Çim bitkisi N konsantrasyonları ile 555 nm ($r=-0.91$), 675 nm ($r=-0.88$), NIR/Red ($r=0.94$), NDVI ($r=0.90$) değerleri arasında yüksek korelasyon tespit edilmiştir.

Mangiafico ve Guillard (2007) renk ölçer ile elde edilen Hue (h) değerinden çim (Kentucky bluegrass ve Creeping red fescue + Perennial ryegrass + Kentucky bluegrass karışımı) bitkilerindeki N konsantrasyonunu tahmin etmiştir. Azot konsantrasyonu ve hue değeri arasında tek çeşit (Kentucky bluegrass) ile yürütülen denemede R^2 değeri 0.161, karışım (Creeping red fescue + Perennial ryegrass + Kentucky bluegrass) olarak yürütülen denemede 0.627 olduğu tespit edilmiştir.

Moss ve Bell (2010) el tipi NDVI algılayıcısı (GreenSeeker) farklı oranlarda (0, 6.1, 12.2, 24.4, 36.6, and 48.8 kg N ha⁻¹ yıl⁻¹) N uygulanan çim bitkisinde (Creeping bentgrass) klorofil, renk ve N konsantrasyonunu tahmin etmek için kullanmışlardır. Yaprak N konsantrasyonu ile NDVI ve GNDVI değerleri arasında pozitif korelasyon tespit edilmiştir. NDVI değerinin N konsantrasyonu tahmini için daha iyi sonuç ($R^2=0.46$) verdiği bildirilmiştir.

Munoz-Huerta ve ark. (2013) genel olarak bitkilerde yaprak N seviyesinin tespiti için kullanılan yöntemleri sınıflandıran açıklayıcı derleme bilgileri paylaşmışlardır. Bu amaçla kullanılan yöntemler görsel olarak özetlenmiştir (Şekil 2.1.). Çalışmada optik esaslı ölçüm sistemleri arazide çalışan (in field) sistemler olarak sınıflandırılmıştır. Yaprak analizi için laboratuvar ortamında uygulanan kimyasal tekniklerin; zaman alan, önemli düzeyde işgücü gerektiren ve maliyetli ön işlemlere ihtiyaç duyduğunu belirtmişlerdir.

Ayrıca bu teknikler için kullanılan kimyasalların analiz yapan kullanıcılar için zararlı olduğunun da altını çizmişlerdir.



Şekil 2.1. Bitki azot (N) konsantrasyonu ölçümü için kullanılan yöntemler (Munoz-Huerta ve ark., 2013)

Caturegli ve ark. (2015) farklı C3 ve C4 çim türlerinin ve çeşitlerinin uydu esaslı uzaktan algılama tekniği ile ayırt edilebilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada perennial ryegrass, tall fescue, Kentucky bluegrass, bermudagrass, zoysiagrass gibi türlere ait 20 farklı çim bitkisi üzerinde araştırma yapılmıştır. World View 2 uydusundan elde edilen yansıma değerlerinden bitki vejetasyon indeksleri hesaplanmıştır. Ayrıca, LI-COR 1800 spektoradyometre ile 390-1100 nm arasında 5 nm arayla yerden 120 cm yüksekten yansıma değeri ölçümleri yapılmıştır. Çim bitkilerinde; çim kalitesi, renk yoğunluğu, çim bitkisi N konsantrasyonu, yaprak klorofil konsantrasyonu, kuru biyokütle gibi değerler de optik ölçümler ile eş zamanlı olarak alınmıştır. Sonuç olarak, yansıma verisi kullanımı ile aynı tür içerisindeki çeşitlerin birbirinden ayırt edilebileceği rapor edilmiştir. Uydu verileri kullanılarak haritalama yapılabileceği, çim bitkilerinde fizyolojik ve besin durumunun tespit edilebileceği ve tarımsal kaynak yönetimi yapılabileceği rapor edilmiştir.

Caturegli (2015) üç adet sıcak iklim ve iki adet serin iklim çim bitkisinde N konsantrasyonunun belirlenmesi üzerine yaptığı çalışmada uydudan (GeoEye-1) ve yer esaslı algılayıcılardan (LI-COR 1800 spektrometre, GreenSeeker) elde edilen yansıma verileri ile hesaplanan NDVI değerlerini karşılaştırmıştır. Gübre çeşidi olarak amonyum sülfatın kullanıldığı çalışmada sıcak iklim türleri için 0-342 kg ha⁻¹, serin iklim türleri için 0-190 kg ha⁻¹ aralığında artan dozlarda değişken düzeyli gübreleme yapılmıştır. Spektrometrik ölçümlerde 670 nm (kırmızı) ve 850 nm (yakın kızılötesi) dalga boylarının kullanıldığı, Greenseeker ile yapılan ölçümlerde ise bu cihazın 660 nm (kırmızı) ve 780 nm (yakın kızılötesi) dalga boylarını kullandığı belirtilmiştir. Uydu görüntüsünden hesaplanan NDVI değerleri ile yer esaslı algılayıcılardan elde edilenler arasında yüksek korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Korelasyon değerinin sıcak iklim türleri için 0.90-0.99, serin iklim türleri için 0.83-0.97 arasında değiştiği ve GeoEye-1 uydu görüntülerinin çim bitkilerinin N konsantrasyonunun belirlenmesinde kullanılabileceği rapor edilmiştir.

Caturegli ve ark. (2016) farklı düzeyde (0-250 kg ha⁻¹) N uygulanan üç farklı çim türünün (*Cynodon dactylon x trawaalensis*, *Zoysia matrella*, *Paspalum vaginatum*) yaprak N konsantrasyonunu insansız hava aracı (İHA) ve NDVI ölçer (GreenSeeker) ile NDVI değerleri üzerinden tahmin etmeye çalışmışlardır. NDVI ölçer için korelasyon değerleri; 0.85-0.91, İHA için 0.81-0.93 aralığında tespit edilmiştir. İHA ile geniş alanlarda (golf sahası, yarış alanları, rulo çim tesisleri), el tipi NDVI algılayıcı ile nispeten daha küçük yeşil alanlarda başarılı şekilde N konsantrasyonu tahmini yapılabileceğini belirtmişlerdir.

2.5.2. Çim Bitkilerinde Bitki Streslerinin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar

Jiang ve ark. (2003) yazlık bir çim türü olan paspalum çiminde (*Paspalum vaginatum* Swartz); basma ve basma + toprak sıkışıklığı stresine tabi tutulan bitkilerde yansıma değerleri ile bitki sıcaklığı ve çim görsel kalitesi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Spektrometre (Unispec Spectral Analysis System) ile 217 farklı dalga boyunda (400 – 1100 nm) elde edilen yansıma değerleri ve farklı bitki indeksleri (NDVI, SI, LAI ve WBI) hesaplanarak korelasyon analizleri yapılmıştır. Basma ve basma + toprak sıkışıklığı stresi altında bitki sıcaklığı ile en yüksek korelasyonu

(sırasıyla; $r = -0.63$, $r = 0.66$) gösteren indeks değerin R936 / R661 değeri olduğu belirtilmiştir. Aynı stres faktörleri altında çim görsel kalitesi ile en yüksek korelasyon değerini (sırasıyla; $r = -0.89$, $r = -0.82$) gösteren indeks değerinin ise R693 / R759 olduğu bildirilmiştir. Yansıma verilerinin birinci türevinden elde edilen verilerin kullanımının iki farklı stres etkisinde: yansıma, bitki sıcaklığı ve görsel kalite arasındaki korelasyon değerlerini artırdığı bildirilmiştir.

McCall (2012) çim bitkisine uygulanan herbisit sebebiyle meydana gelen stresin erken tespitinin birçok uygulama zamanlaması için kilit rolde olduğunu bildirmiş, bu amaçla, annual bluegrass (*Poa annua* L.) türü üzerinde hiperspektral radyometri kullanarak bir araştırma yapmıştır. Çalışmada çim bitkisinde zararlanmaya sebep olduğu bilinen iki farklı herbisit (bispiribak sodyum, amikarbazon) kullanılmıştır. Herbisit kullanımı öncesinde ve sonrasında çim bitkilerinden örnek alınmış ve her örnekte hiperspektral radyometre ile yansıma ölçümü yapılmıştır. Ayrıca parseller günlük olarak insan gözüyle herbisit zararı açısından gözlemlenmiştir. Bispiribak sodyum uygulanan parsellerde 5 günün sonunda hafif kloroz görülmüş ve bu durum çalışma boyunca devam etmiştir. Amikarbazondan kaynaklanan hasar ise daha az göze çarpmıştır. Zamansal etkilerin çalışma boyunca 715 nm'de daha belirgin olduğu rapor edilmiştir. Sonuçlara göre; fizyolojik değişimlerin herbisit uygulamasından iki gün sonra henüz gözle görülür hale gelmeden önce spektral analizler ile tespit edilebildiği, fakat bu durumun diğer biyotik ve abiyotik stresler için de geçerli olup olmadığının henüz bilinmediği belirtilmiştir.

2.5.3. Çim Görsel Kalitesinin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar

Fitz-Rodriguez ve Choi (2002) hibrid bermuda çiminde (*Cynodon dactylon* L. Pers. x *C. transvaalensis* Butt-Davy, "Midiron") yansıma değerleri ile bitkiye ait görsel kalite, kısa ve uzun dönem görsel kalite değişimi, biçme yüksekliğinin etkisi, toprak altı damla sulama (SDI) ve yağmurlama sulama (SI) yöntemlerinin etkisi ve N seviyesi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmada, yer esaslı multispektral algılayıcı (Cropscan radiometer, MSR16R) kullanılmıştır. Dokuz farklı dalga boyunda (460, 510, 560, 610, 660, 710, 760, 810, 1650 nm) çimler biçilmeden önce 1 m çapındaki alandan yansıma ölçümü yapılmıştır. Yansıma değerlerinden NDVI, RVI, DVI, PRI ve NDRE

bitki indeks değerleri hesaplanmıştır. NDVI, RVI ve DVI indeks değerleri ile çim görsel kalitesi arasında ilişkinin önemli olduğu ($R^2 = 0.73$, $R^2 = 0.71$ ve $R^2 = 0.70$) belirtilmiştir. Orta-kızılötesi yansımaya değerleri biçme yksekliginde etkilenirken, yakın-kızılötesi bölgedeki yansımaya değerleri etkilenmemiştir. Ayrıca kısa ve uzun dönem görsel kalite değeri tespitinde en iyi indeks değerinin NDVI olduğu bildirilmiştir. Toprak altı damla sulama ve yağmurlama sulamanın görsel kalite üzerine önemli bir etkisinin olmadığı, N düzeyi ile NIR spektroskopisi verileri arasında yüksek korelasyon olduğu ancak multispektral algılayıcı (MSR) arasındaki korelasyonun düşük olduğu bildirilmiştir.

Keskin ve ark. (2008) im deneme parsellerinin görsel kalitesini yansımaya değerinden tahmin eden pratik bir algılama sistemi geliştirmişlerdir. Spektrometre (350-1050 nm) kullanılarak da yürütülen çalışmada, istatistiksel analizler (MLR, PLSR) sonucunda görsel kalite için 680 nm ve 780 nm dalga boylarının kullanılabilir olduğu belirtilmiştir. Araştırma sonuçları esas alınarak, dış ortamda, belirtilen iki banttan çim parsellerinden yansımaya verisi olarak çim görsel kalitesini 1 (en kötü) ile 9 (en iyi) puan arasında belirleyen optik bir prototip algılama sistemi geliştirilmiştir. Ayrıca bu çalışmanın sonuçlarını örnek alan ve ABD’de bulunan özel bir firma (Spectrum) im bitkilerinin görsel kalitesini belirlemek için ticari bir algılayıcı üretmiş olup, bu sistem hali hazırda piyasada satılmaktadır.

Bell ve ark. (2009) im bitkisinin görsel kalitesini belirlemek için klasik yöntem olan insan esaslı değerlendirmeye alternatif olabilecek pratik ve doğru şekilde tahmin yapabilen el tipi bir NDVI algılayıcı (GreenSeeker) denemiştir. İki dönemde (2003 ve 2004) yürütülen çalışmada; bermuda imi (*Cynodon spp.*), buffalo imi (*Buchloe dactyloides*) ve zoysia imi (*Zoysia spp.*) olmak üzere üç farklı çim türüne ait çeşitler kullanılmıştır. Tesadüf blokları deneme planına göre üç tekrarlı olarak yürütülen çalışmada; görsel kalite için uzman değerlendiricilerin belirlediği 1 (ok kötü) ile 9 (ok iyi) arasında değişen puanlar ile optik algılayıcı kullanılarak elde edilen NDVI değerleri arasında istatistiksel analizler (ANOVA ve LSD) yapılmıştır. Optik algılayıcının görsel çim kalitesi belirlemede klasik yönteme göre daha kısa sürede tutarlı ve objektif veri elde edilebildiği belirtilmiştir. Optik algılayıcı kullanımı, klasik yönteme göre %58 oranında zamandan tasarruf sağlamıştır. Algılayıcıdan elde edilen veriler ile değerlendirici insan verileri arasında en yüksek ilişki ($r = 0.79$, 2003; $r = 0.85$,

2004) bermuda çim türü için elde edilmiştir. Ancak renk, tekstür ve bitki yoğunluğu gibi özellikler konusunda algılayıcı kullanımının tek başına yeterli olmayacağı belirtilmiştir.

2.5.4. Çim Biyokütle Veriminin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar

Bauer ve ark. (2015) farklı dozlarda gübreleme ve sulama düzeyinin biçimden sonraki yeniden büyüme dönemlerinde bermuda çiminin (*Cynodon spp.*) NDVI değeri üzerine olan etkisini ve bu değer ile ilişkiyi araştırmışlardır. NDVI değeri Crop Circle ACS-210 model optik algılayıcı ile ölçülmüştür. Çalışmada faktör olarak; biçme periyodu (4 ve 8 hafta), sulama düzeyi (0, 4.2, 8.4, 12.5 mm) ve N dozu (sezonluk olarak 168, 336 ve 504 kg N ha⁻¹) incelenmiştir. Araştırma tesadüf blokları bölünmüş parseller deneme planına göre üç tekrarlı olarak yürütülmüştür. Çalışmada NDVI değerinin gübreleme ve sulama dozlarından etkilendiği ve artan N miktarına bağlı olarak arttığı bildirilmiştir. Yeniden büyüme döneminin sonlarında NDVI değeri ve verim arasındaki korelasyonun 0.89 değerine kadar yükseldiği ve NDVI değerinin bermuda çiminin hasat zamanının belirlenmesinde kullanılabileceği belirtilmiştir.

2.5.5. Çim Bitkilerinde Hastalık Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar

Green ve ark. (1998) tall fescue türü çim bitkisinde el tipi multispektral radyometre ile 430 ve 840 nm aralığında 9 farklı dalga boyunda yansıma değerleri ile bitki hastalık (*Rhizoctonia blight*, gray leaf spot) düzeyi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. En güçlü ilişkiyi 810 nm dalga boyundaki yansıma değerinin verdiği tespit edilmiştir ($0.19 \leq R^2 \leq 0.63$). Ancak, uzaktan algılama ile elde edilen değerlerin hastalık dışındaki başka faktörler tarafından etkilenmesinden dolayı göz ile yapılan hastalık şiddetine göre iki kat fazla değişkenlik gösterdiğini bildirmişlerdir.

Raikes ve Burpee (1998) creeping bentgrass türü çim bitkisinde *Rhizoctonia blight* hastalığının şiddetini tespit edebilmek için el tipi multispektral radyometre kullanarak güneşten gelen ışınımın çimler üzerinde yansımalarını analiz etmişlerdir. Çalışmada, 460 nm (mavi) ve 810 nm (yakın kızılötesi) dalga boyu aralığı 50 nm sıklıkla analiz edilmiştir. Sonuç olarak, 760 ve 810 nm dalga boylarının hastalık şiddetine en hassas (sırasıyla $R^2=0.51, 0.55$) dalga boyları olduğunu ve multispektral

radyometrinin hastalığın gözle görülebilir hale gelmeden önce temassız olarak tespiti için kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

Horvath ve Vargas (2005) annual bluegrass ve creeping bentgrass türü çim bitkilerinde önemli mantari hastalık olan dollar spot (*Sclerotinia beneği*) hastalığının tespiti için dijital görüntü analiz tekniğini kullanmışlardır. Dijital kamera (Nikon Coolpix 900) ile elde edilen 0.3 m²'lik alana ait görüntülerden hastalığın şiddetini yüzde olarak hesaplayabilecek görüntü analizi yapmışlar ve manuel hastalık tespit yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Yapılan değerlendirme sonucunda, dijital görüntü analiz sonuçları ile manuel elde edilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli bir fark tespit edilmemiştir ($p < 0.13$). Çalışma sonuçlarına göre, dijital kameraların yaygınlaştığı günümüzde eğitilmiş ve uzman eleman gerektiren manuel yöntem yerine dijital görüntü analiz yönteminin kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Deneme Alanları ve Özellikleri

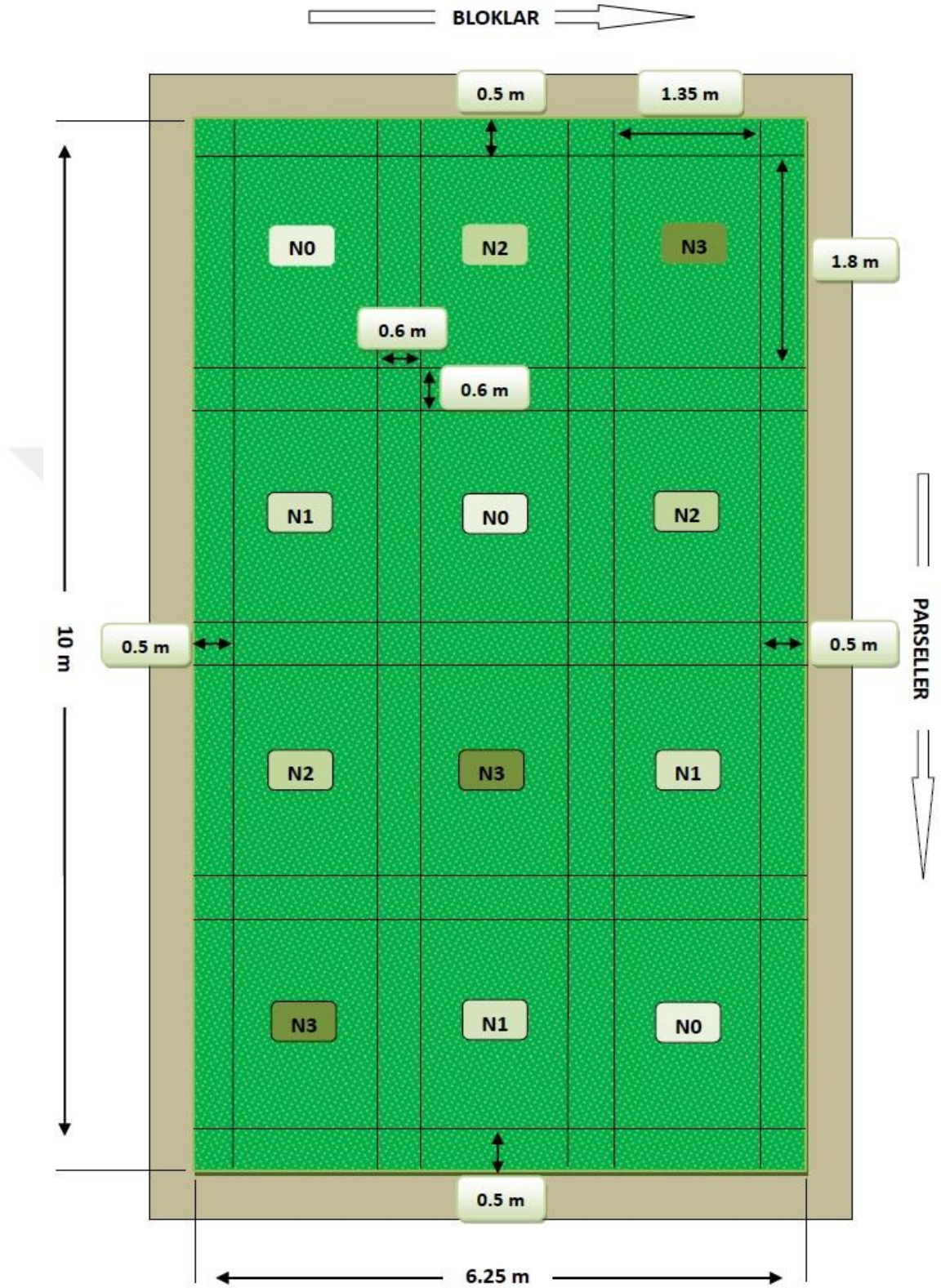
Araştırmada; çim bitkisi yaprak su ve besin elementi konsantrasyonunun tahmini amacıyla çim örnekleri eş zamanlı olarak 2017-2018 kış döneminde iki farklı kaynaktan elde edilmiştir:

a) Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Tayfur Sökmen Kampüsü'nde bulunan Biyosistem Mühendisliği Bölümü uygulama seralarının yan tarafındaki arazide (Enlem: 36°19'34.16"K; Boylam: 36°11'41.17"D; Yükselti: 115 m) kontrollü şartlarda çim bitkisi deneme arazisi oluşturulmuş, çim örnekleri için bu deneme alanı kullanılmıştır.

b) Çim örnekleri ayrıca Hatayspor futbol takımına ait olan doğal çim zemine sahip antrenman sahasından da alınmıştır.

3.1.1. Kampüs Deneme Alanı

Akdeniz Bölgesinde golf ve spor sahalarında İngiliz çimi (*Lolium perenne*)'nin Ovation çeşidi ile Bermuda çimi (*Cynodon dactylon x Cynodon transvaalensis*)'in Tifway çeşidi yaygın olarak kullanılmaktadır (Baysal ve Karagüzel, 2005). Bundan dolayı 6.25 m × 10.0 m boyutundaki deneme alanında kullanılan rulo çim, spor sahaları için üretim yapan özel bir firmadan (Çimelya, Akdeniz, Mersin) Bermuda çimi (*Cynodon dactylon* L.) türü çim bitkisi üzerine üst tohumlama tekniği ile İngiliz çimi (*Lolium perenne* L.) ekilmesi sonucu elde edilmiş şekilde hazır olarak temin edilmiştir. Deneme arazisinde toprak hazırlığı tamamlandıktan sonra, rulo çimler 05.02.2018 tarihinde firmadan alınarak deneme alanına serilmiştir.



Şekil 3.1. Kampüs çim deneme alanının geometrik özellikleri



Şekil 3.2. Kampüs çim deneme alanının İHA ile havadan çekilmiş görüntüsü

3.1.1.1. Denemede Kullanılan Çim Bitkisi Özellikleri

Çalışmada kullanılan çim örnekleri çok yıllık çim (*Lolium perenne* L.) türünden elde edilmiştir. Bu tür, İngiliz çimi olarak da bilinmekte ve dünyada en yaygın olarak kullanılan tarihte ilk olarak kültüre alınmış bir buğdaygil bitkisidir (Avcıoğlu, 2014). Serin iklim türü olan bu çim, çevresel koşullara göre tek yıllık, kısa ömürlü çok yıllık veya çok yıllık olarak davranabilir (Turgeon, 1991). Biçmeye uygun sürgün yapısı ile kolayca diğer çimlerden ayrılabilen, yumak büyüme formuna sahip, yeniden gelişimi iyi, yoğun basmalara dayanıklı, kışları sert olmayan ve serin-nemli yazlara sahip olan bölgelere uyum sağlayan ve her türlü çim alan oluşturmada kullanılan bir türdür (Kuşvuran, 2009). Yazlık çim türleri ile tesis edilmiş dormant (uyku) veya yarı dormant haldeki spor alanlarında kış sezonu için rengin iyileştirilmesi, alanın yeniden çimlendirilmesi, basmaya dayanımı yüksek daha iyi bir çim alan oluşturulabilmesi amacıyla bu çim türü sıklıkla üst tohumlamada kullanılmaktadır (Turgeon, 1991)

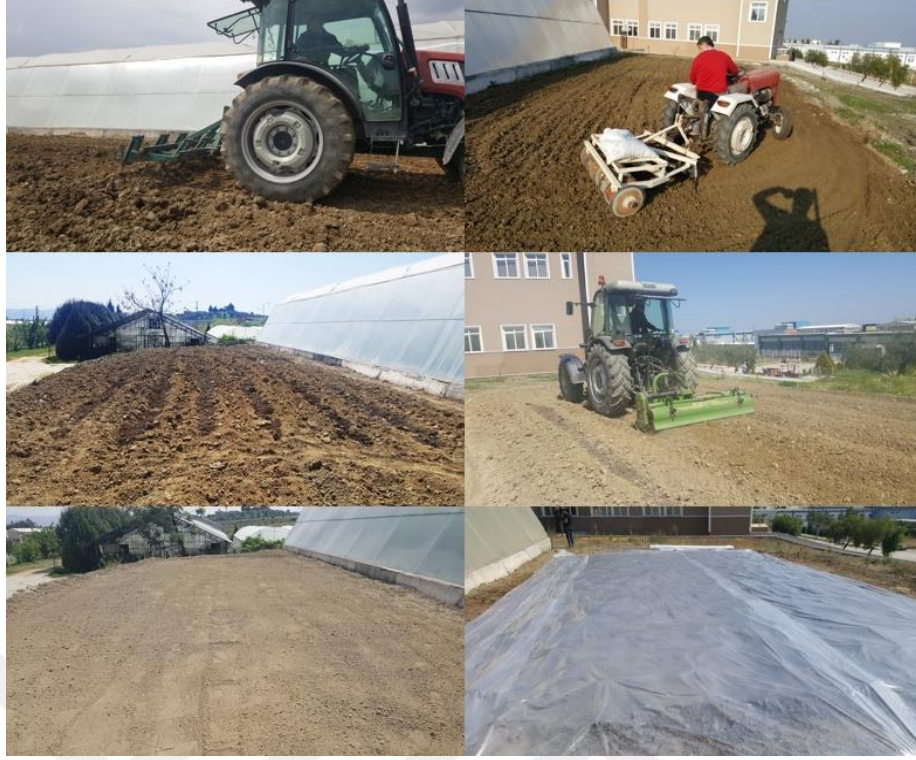
3.1.1.2. Çim Deneme Alanının Özellikleri

Çalışmanın çim deneme alanı kısmı; kampüs içerisinde sera bölgesinde açık alandaki deneme alanında tesadüf parselleri deneme planına göre üç tekrarlamalı olarak tesis edilen çim alanda gerçekleştirilmiştir. Deneme alanının geometrik özellikleri Şekil 3.1’de, insansız hava aracı (İHA) ile çekilmiş görüntüsü Şekil 3.2’de verilmiştir. Deneme alanında 1.35 m × 1.80 m boyutunda 12 adet çim parseli oluşturulmuştur (Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.). Rahat çalışılabilmesi, sulama sisteminin kurulabilmesi, azotlu gübre uygulamasının yan parselleri etkilememesi için bloklar ve parseller arasında 0.6 m (kenar tesiri) arazi sınırı ile parseller arasında ise 0.5 m boşluk bırakılmıştır.

3.1.1.3. Çim Deneme Alanı Toprak Hazırlık İşlemleri

Rulo çim ile çimlendirilen deneme alanında başarılı sonuçlar almak için dikkat edilmesi gereken noktaların başında toprak hazırlığı gelmektedir. Bu kapsamda aşağıda sıralanan işlemler yapılmıştır (Şekil 3.3. ve Şekil 3.4.);

- Toprak kültivatör ile yaklaşık 30 cm derinlikten işlenerek üst toprak tabakası yumuşatılmış, toprağın parçalanması, kabarması ve havalanması sağlanmıştır.
- Toprağın işlenmesi sonucu ortaya çıkan keseklerin parçalanması amacıyla diskaro ile sürüm yapılmış ve ortaya çıkan iri taş, çakıl ve diğer organik bitki artıkları el ile veya tırmık yardımı ile temizlenmiştir.
- Killi bünyeye sahip toprak yapısının iyileştirilmesi ve organik madde miktarının arttırılması için yanmış çiftlik gübresi 3 ton da⁻¹ olarak uygulanmıştır.
- Toprak frezesi yardımı ile çiftlik gübresi toprağa homojen olarak karıştırılmıştır.
- Çim rulolarının uygulanacağı tarihe kadar topraktaki hastalık etmenleri, yabancı otlar ve nematodların zayıflatılması veya öldürülmesi amacı ile solarizasyon işlemi uygulanmıştır. Bu işlem kapsamında deneme alanının 30-40 cm derinliğindeki toprak profili suyla doyurularak üzeri polietilen şeffaf solarizasyon örtüsü ile kaplanmıştır.
- Killi bünyeye sahip toprak yapısının iyileştirilmesi, nem tutma kapasitesi ve organik madde miktarının artırılması için özel fide torfu (Klasmann Potgrond P) 1 ton da⁻¹ oranında uygulanmıştır (Avcıoğlu, 2014).
- Kaba tesviyesi yapılan alanın ince tesviyesi yapılmadan önce metal silindir (80 kg) ile düzeltme işlemi yapılmıştır. Bundan sonra, çukur ve tepe noktaların aynı seviyeye getirilmesi için ince tesviye işlemi yapılmıştır.
- İnce tesviye işleminin ardından alana 0.5-1.0 mm çapa sahip dere kumu toprağın yüzeyine 3-4 cm kalınlıkta serilmiştir.
- Düzgün bir köklenme yüzeyi oluşturmak ve boşlukları gidermek amacıyla dere kumu serilen alana bir kez daha silindir ile düzeltme işlemi uygulanmıştır.
- Serilecek rulo çimin kök gelişimine yardımcı olması amacıyla kum tabakanın üzerine çim başlangıç gübresi (Biosmart, 8-18-18) 25 g m⁻² olarak uygulanmıştır.



Şekil 3.3. Kampüs çim deneme alanında toprak hazırlığı (birinci aşama)



Şekil 3.4. Kampüs çim deneme alanında toprak hazırlığı (ikinci aşama)

3.1.1.4. Rulo Çim Uygulaması

Deneme alanının başarılı bir şekilde çimlendirilebilmesi için rulo çimin araziye doğru şekilde uygulanması kritik noktalardan biridir. Bu kapsamda aşağıdaki işlemler yapılmıştır (Şekil 3.5.);

- Rulo çim; Bermuda çimi (*Cynodon dactylon*) üzerine İngiliz çimi (*Lolium perenne*) ile üst tohumlama yapılması sonucu elde edilmiş, genellikle spor sahalarında kullanılan basmaya ve sık biçilmeye dayanıklı, yaz-kış yeşil karışım çim bitkisidir.
- Rulo şeklinde (0.45 m × 1.0 m boyutunda) gelen çim bitkileri aralarında boşluk kalmayacak şekilde deneme alanına (6.25 m × 10.0 m) serilmiştir.
- Çim bitkilerinin köklerinin direkt olarak hava ile temas edip zarar görmemesi ve homojen bir çim alan elde edilebilmesi için; çim parçaları arasında kalan küçük boşluklar dere kumu ile doldurulmuştur.
- Yan yana serilen iki rulo arasında kalan bölgeler ve çim çıkışının zayıf gözlendiği bölgelere İngiliz çimi ile 40 g m⁻² olacak şekilde el ile üst tohumlama yapılmıştır (Avcıoğlu, 2014).
- Silindirme yapılarak ruloların taban kısmı ile toprak yüzeyinin tam temas etmesi sağlanmıştır.
- Alan rulo çim ile kaplandıktan sonra bitkilerin canlılığını koruması ve gelişimini devam ettirmesi için yağmurlama şeklinde sulanmıştır.
- Rulo çim serme aşamasından sonra, bitkilerin gelişme sürecinde, deneme alanının toprak özelliklerinin belirlenmesi amacıyla alanın farklı yerlerinden üç adet toprak örneği alınmış ve laboratuvarında analiz ettirilmiştir. Toprak analiz sonuçları Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Kampüs çim deneme alanında rulo çim serme işlemi

Çizelge 3.1. Kampüs deneme alanına ait toprak özellikleri

Özellik	Değer	Yorum	Yöntem
Bünye	%43.03±1.85	Tınlı	Su ile doygunluk
pH	8.02±0.01	Alkali	Potansiyometrik
EC	136.3±5.77 $\mu\text{S cm}^{-1}$	Uygun*	Potansiyometrik
Kireç	%1.57±0.03	Düşük	Kalsimetrik Ölçüm
O.M.	%0.94±0.04	Düşük**	Walkley-Black
P	0.09±0.00 ppm	Çok Düşük**	Spektrofotometrik
K	78.67±1.15 ppm	Düşük**	Spektrofotometrik (A.F.)
Ca	4120.0±320.4 ppm	Yüksek*	Spektrofotometrik (A.F.)
Mg	466.80±5.20 ppm	Yüksek*	Spektrofotometrik (FAAS)
Fe	8.42±0.11 ppm	Düşük*	Spektrofotometrik (FAAS)
Cu	0.49±0.03 ppm	Normal*	Spektrofotometrik (FAAS)
Mn	5.60±0.17 ppm	Düşük*	Spektrofotometrik (FAAS)
Zn	1.64±0.54 ppm	Normal*	Spektrofotometrik (FAAS)

E.C.: Elektriksel İletkenlik, O.M.: Organik madde, A.F.: Alev Fotometresi, FAAS: Alevli Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi

* Christians ve ark. (2017), ** Zuk ve McGinnis (2017)

3.1.1.5. Değişken Düzeyli Gübre Uygulaması

Çalışmada, farklı düzeyde besin elementi içeriğine sahip çim örneklerinin elde edilebilmesi amacıyla değişken düzeyli gübreleme yapılmıştır. İlk değişken düzeyli gübreleme 6 Mart 2018 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Parseller içerisine 4 farklı N düzeyi uygulaması rastgele dağıtılmıştır. Azot düzeyleri; N_0 (0 g N m^{-2}), N_1 (2.5 g N m^{-2} , düşük), N_2 (5 g N m^{-2} , orta), N_3 (7.5 g N m^{-2} , yüksek) olacak şekilde 30 günde bir uygulanmıştır (Bilgili ve Açıkgöz, 2007). Çalışmada üre gübresi (%46 N) suda çözündürülerek her parselde belirtilen dozlarda uygulanmıştır. Gübre uygulamasının ardından, yapraklar için yakıcı etkiye sahip olan gübrenin bu olumsuz özelliğinden kaçınmak ve besin elementlerinin bitki kök bölgesine ulaşmasını sağlamak amacıyla yeterli miktarda yağmurlama sulama yapılmıştır. Gübre hesabı aşağıdaki şekildedir:

$$N_0 = 0 \text{ g N m}^{-2} \text{ (gübre uygulanmamıştır)}$$

$$N_1 = 2.5 \text{ g N m}^{-2}, 5.4 \text{ g üre m}^{-2} \text{ (100 g üre} \times 2.5 \text{ g N / 46 g N)}$$

$$N_2 = 5.0 \text{ g N m}^{-2}, 10.9 \text{ g üre m}^{-2} \text{ (100 g üre} \times 5.0 \text{ g N / 46 g N)}$$

$$N_3 = 7.5 \text{ g N m}^{-2}, 16.3 \text{ g üre m}^{-2} \text{ (100 g üre} \times 7.5 \text{ g N / 46 g N)}$$

3.1.1.6. Rutin Çim Bakım İşlemleri

Rulo çim uygulandıktan sonra, bitkilerin gelişmesi ve sağlıklı bir bitki örtüsü oluşturabilmesi için bakım işlemlerinin hassas bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda uygulanan bakım işlemleri aşağıda sıralanmıştır;

- Çim deneme alanı tesis edildikten sonra havanın sıcaklığına ve gözleme dayalı olarak belirli aralıklarla sulama işlemi gerçekleştirilmiştir.
- Çim bitkisinin; sürgün, kök büyümesi, sürgün sıklığı, sürgün rengi, hastalık ve zararlılara, sıcak ve soğuğa dayanımı gibi birçok özelliği üzerinde etkili olan azotun (N) toprağa kazandırılması için gübreleme yapılmıştır (Avcıoğlu, 2014).
- Azotlu gübre olarak yapısında %46 oranında N içeren üre gübresi yukarıda açıklanan şekilde değişken düzeyli olarak ayda bir uygulanmıştır.
- Gübre uygulamasının ardından besin elementlerinin kök bölgesine ulaşarak bitki bünyesine alınmasını sağlamak amacıyla yağmurlama sulama yapılmıştır.

- Toprak üstü çim bitkisi aksam uzunluğunun 8-10 cm'ye ulaştığında çim bitkileri 4 cm yükseklikten biçilmiştir.

3.1.2. Futbol Antrenman Sahası

Deneme alanından elde edilecek örneklere ek olarak, aktif olarak kullanılan bir spor sahasından da örnek alınmıştır. Bu örneklerin alınmasındaki amaç; deneme alanındaki kontrollü şartlar altında elde edilen örnekler dışında, gerçek koşullarda spor amaçlı kullanılan bir sahaya ait çim örnekleri için de elektro-optik algılayıcıların doğru bir şekilde çalışıp çalışmadığını test etmektir. Bu amaçla Hatay merkez ilçe (Antakya) Maşuklu mahallesinde bulunan Hatayspor futbol takımına ait doğal çim antrenman sahası (Enlem: 36°13'18.37"N; Boylam: 36°11'5.80"E; Yükselti: 95 m) seçilmiştir. Saha 60 m × 90 m boyutlarında, bermuda çimi üzerine üst tohumlama yöntemi ile İngiliz çimi ekilerek yaz-kış yeşil kalması sağlanan bir sahadır ve aktif olarak futbol antrenmanları için kullanılmaktadır. Futbol antrenman sahasının toprak özelliklerinin belirlenmesi amacıyla sahadan farklı yerlerden üç adet örnek alınmış ve laboratuvarında analiz ettirilmiştir. Toprak analiz sonuçları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Futbol antrenman sahasının toprak özellikleri

Özellik	Değer	Yorum	Yöntem
Bünye	%40.83±0.90	Tınlı	Su ile doygunluk
pH	7.76±0.19	Alkali	Potansiyometrik
EC	599.3±111.5 $\mu\text{S cm}^{-1}$	Normal*	Potansiyometrik
Kireç	%15.33±1.59	Kireçli	Kalsimetrik Ölçüm
O.M.	%1.60±0.19	Düşük**	Walkley-Black
P	0.13±0.03 ppm	Çok Düşük**	Spektrofotometrik
K	254.33±12.66 ppm	Normal**	Spektrofotometrik (A.F.)
Ca	3870.0±176.9 ppm	Yüksek*	Spektrofotometrik (A.F.)
Mg	222.9±66.5 ppm	Yüksek*	Spektrofotometrik (FAAS)
Fe	19.88±3.71 ppm	Düşük*	Spektrofotometrik (FAAS)
Cu	2.04±0.15 ppm	Normal*	Spektrofotometrik (FAAS)
Mn	9.99±0.73 ppm	Normal*	Spektrofotometrik (FAAS)
Zn	2.22±0.53 ppm	Yüksek*	Spektrofotometrik (FAAS)

E.C.: Elektriksel İletkenlik, O.M.: Organik madde, A.F.: Alev Fotometresi, FAAS: Alevli Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi

*Christians ve ark. (2017), **Zuk ve McGinnis (2017)

3.2. Çalışmada Kullanılan Elektro-Optik Algılama Sistemleri

Çalışmada çim yaprak örneklerinin su ve besin maddesi konantrasyonun belirlenmesi amacıyla biri prototip, diğler üçü standart olmak üzere 4 adet elektro-optik algılama sistemi kullanılmıştır. Bunlar:

- 1) Prototip yansıma esaslı optik algılayıcı
- 2) Renk ölçer (Kolorimetre)
- 3) Fourier dönüşümlü yakın kızılötesi yansıma spektroskopisi (FT-NIRS)
- 4) El tipi NDVI algılayıcısı

3.2.1. Prototip Yansıma Esaslı Optik Algılayıcı

Çalışmada, çim yaprak örneklerinin su ve besin maddesi konantrasyonun belirlenmesi amacıyla elektro-optik bir prototip algılama sistemi tasarlanmış, imalatı yapılmış ve denenmiştir. Sistemin detayları aşağıda açıklanmıştır.

3.2.1.1. Prototip Algılama Sisteminin İmalatı

Çalışma kapsamında, prototip algılama sisteminin yapımı amacıyla kullanılan elektronik ve optik bileşenler ve bu bileşenlere ait özellikler Çizelge 3.3’de verilmiştir:

Çizelge 3.3. Prototip optik algılama sisteminin yapımında kullanılan donanım bileşenleri ve özellikleri

Bileşen	Marka ve Model	Adet	Özellik
Işınım kaynağı	Osram, Halopar 16	4	Spektrum: 400-2200 nm, Güç: 50 W Renk sıcaklığı: 2700 K Çalışma gerilimi: 220 V
Silikon fotodiyot	Thorlabs, FDS100	3	Spektral aralık: 350-1100 nm Aktif alan: 3.6 × 3.6 mm (13 mm ²)
Odaklayıcı lens	Thorlabs, ACL2520U	3	Çap: 25 mm Odaklama uzaklığı (f): 20.1 mm Yüzey geometrisi: Küresel, dışbükey
Optik filtre (Yeşil)	Thorlabs, FB550-40	1	Çap: 25.4 mm Merkez dalga boyu (CWL): 550 ± 8 nm FWHM*: 40 ± 8 nm

*FWHM: Full with half maximum (Tam genişlik yarım maksimum)

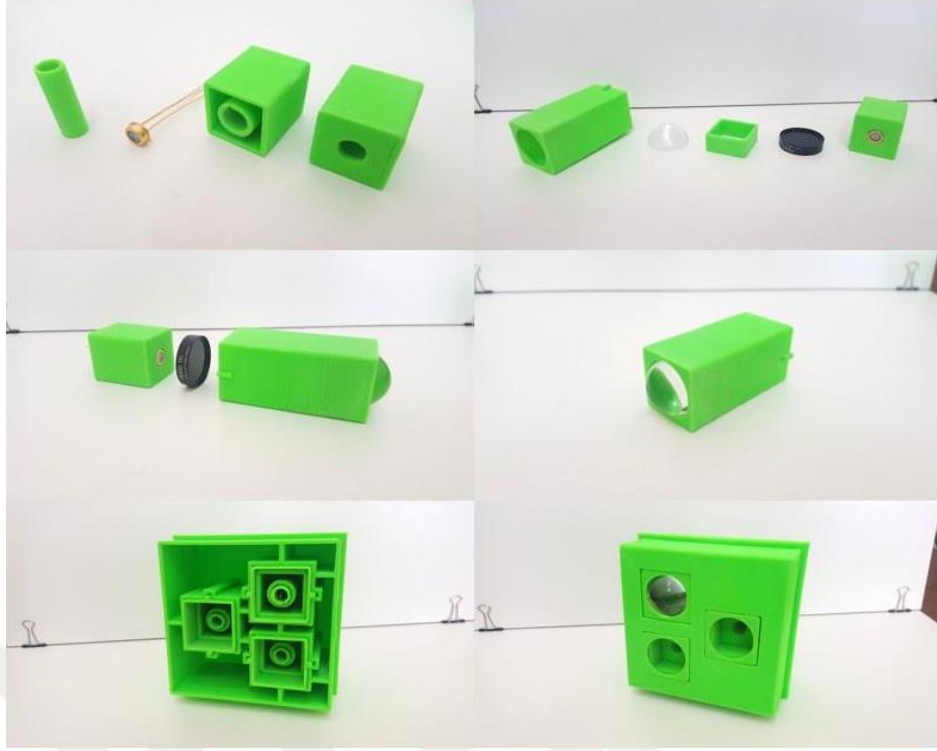
Çizelge 3.3 (Devam). Prototip optik algılama sisteminin yapımında kullanılan donanım bileşenleri ve özellikleri

Bileşen	Marka ve Model	Adet	Özellik
Optik filtre (Kırmızı)	Thorlabs, FB650-40	1	Çap: 25.4 mm Merkez dalga boyu (CWL): 650 ± 8 nm FWHM*: 40 ± 8 nm
Optik filtre (NIR)	Thorlabs, FB800-40	1	Çap: 25.4 mm Merkez dalga boyu (CWL): 800 ± 8 nm FWHM*: 40 ± 8 nm
Veri toplama kartı	National Instruments, USB 6009	1	Analog kanal sayısı: 4 adet diferansiyel 8 adet tek uçlu A/D dönüştürücü çözünürlüğü: 14 bit Veri güncelleme hızı: 150 Hz Bağlantı: USB 2.0 (12 Mb/s)
Bilgisayar	HP, Elitebook 8560p	1	İşletim sistemi: Windows 10 / 64 bit
Güç kaynağı	Inform, Guardian 600A	1	Kapasite: 600 VA Gerilim regülasyonlu Gerilim: 220 V

*FWHM: Full with half maximum (Tam genişlik yarım maksimum)

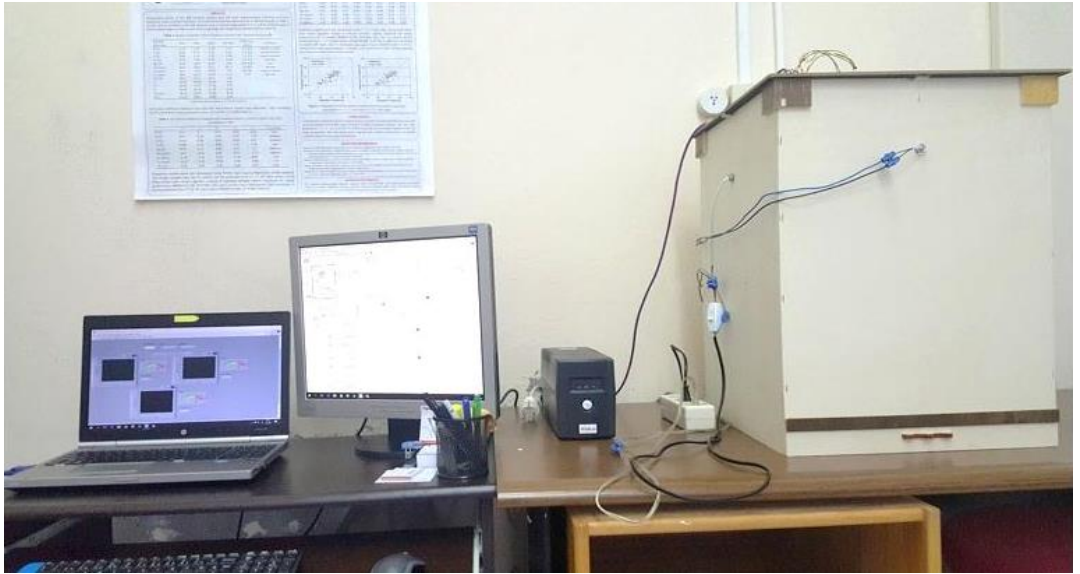
Algılayıcının kararlı çalışabilmesi ve hataların en aza indirilmesi için odaklayıcı lenslerin, filtrelerin ve fotodiyotların eş merkezli ve yerlerinden oynamayacak bir şekilde yerleştirilmeleri gerekmektedir. Bu sebeple, elektro-optik algılayıcı bileşenlerin ölçülerine uygun olarak içerisine yerleştirilebilecekleri standart yapıda platform tasarlanmıştır (Şekil 3.6.). Solidworks 2016 (Dassault Systemes, MA, USA) programında tasarlanan parçalar daha sonra üç boyutlu yazıcı (V1, ABBAS, İstanbul, Türkiye) ile PLA malzemeden imal edilmiştir. Tasarlanan parçalar aşağıdaki gibidir;

- Lens, filtre, fotodiyot gibi parçaların içine yerleştirileceği yuva
- Lens ile filtre arasında odaklama mesafesini ayarlamak için yüzük parça
- Fotodiyotun içine oturacağı fotodiyot yuvası
- Fotodiyotun yuva içerisinde sabit kalmasını sağlayacak silindirik parça
- Üç adet (yeşil, kırmızı, yakın kızılötesi) Fotodiyot + lens + filtre sisteminin içerisine yerleştirileceği üç bölmeli ana algılayıcı yuvası.



Şekil 3.6. Prototip algılayıcı elektro-optik algılayıcı platformu tasarımı

Prototip algılayıcı kabini (Şekil 3.7; sağda) 40 cm × 40 cm × 60 cm olacak şekilde tasarlanarak kontrplak malzemeden imal edilmiştir.



Şekil 3.7. Prototip algılama sisteminin ölçüme hazır durumda genel görünümü

Prototip algılama sistemi kabini duvarlarından yansımanın minimum düzeye indirilmesi için kabinin iç kısmı siyaha boyanmıştır. Kabinin alt kısmında çim örneğinin yerleştirilebilmesi için çekmece mekanizması oluşturulmuştur. İç kısımdaki ışınım kaynakları; her biri bir duvarda olmak üzere, çim örneği çekmecesinin 45 cm üzerinde olacak şekilde konumlandırılmıştır. Kabinin tepe noktasındaki plaka takılıp çıkarılabilir şekilde tasarlanarak bu plakanın orta kısmında içerisine sensör yuvasının yerleştirilebileceği 9 cm × 9 cm boyutlarında bir boşluk oluşturulmuştur. Sensör yuvası üst plakaya yerleştirilmiş ve fotodiyotlar, dirençler (10 kΩ) ve veri toplama kartı bağlantıları yapılmıştır. Veri toplama kartından bilgisayara USB portu ile bağlantı sağlanmıştır (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. Prototip algılama sisteminin dış (solda), üst (ortada) ve iç (sağda) görünümü

3.2.1.2. Prototip Algılama Sistemi Sensör Yüksekliğinin Hesaplanması

Sensör yuvasının yerleştirileceği yüksekliğin bulunmasında; odaklayıcı lensin görüş açısını ($\tan \alpha$) hesaplamakta kullanılan eşitlikten yararlanılmıştır. Odaklayıcı lens sayesinde, örnek tepsisi içerisine yerleştirilen çim örneğinin, yaklaşık 10 cm'lik çapa sahip bölümünden yansıyan ışınımı toplayarak filtre ve fotodiyot üzerine odaklamasının yeterli olacağı varsayılarak hesaplama aşağıdaki gibi yapılmış (Keskin, 2004) ve uygun yüksekliğin 55.8 cm olduğu hesaplanmıştır;

$\tan \alpha = \text{Fotodiyotun dairesel algılama yüzeyinin yarıçapı} / \text{Lens odak uzaklığı}$

$$\tan \alpha = (3.6 \text{ mm} / 2) / 20.1 \text{ mm}$$

$$\tan \alpha = 0.08955$$

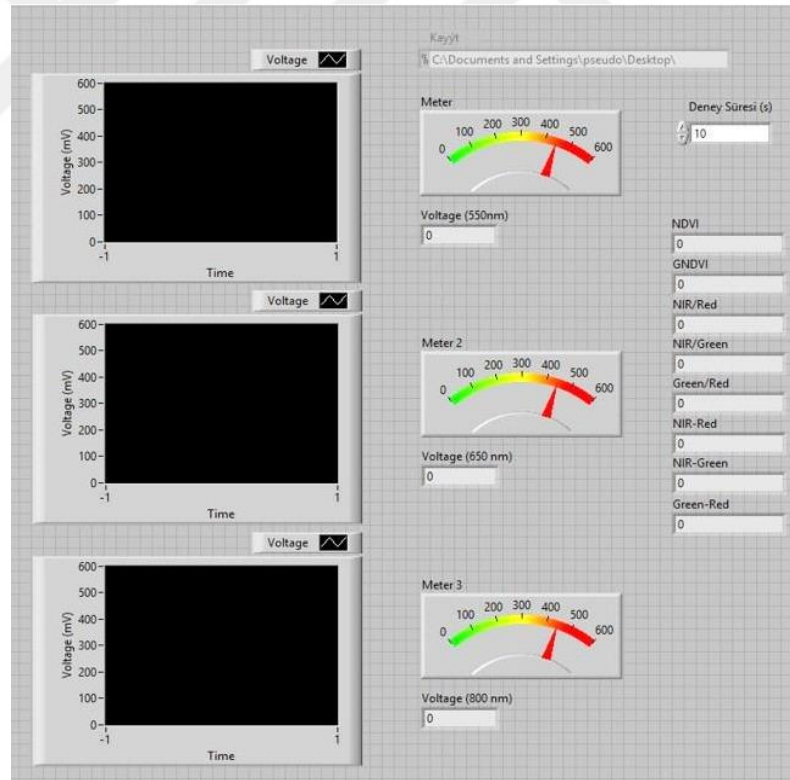
Sensör yüksekliği = Dairesel yansıtıcı alanın yarıçapı / $\tan \alpha$

$$\text{Sensör yüksekliği} = 5 \text{ cm} / 0.08955$$

$$\text{Sensör yüksekliği} = 55.8 \text{ cm}$$

3.2.1.3. Prototip Algılama Sistemi Yazılımı

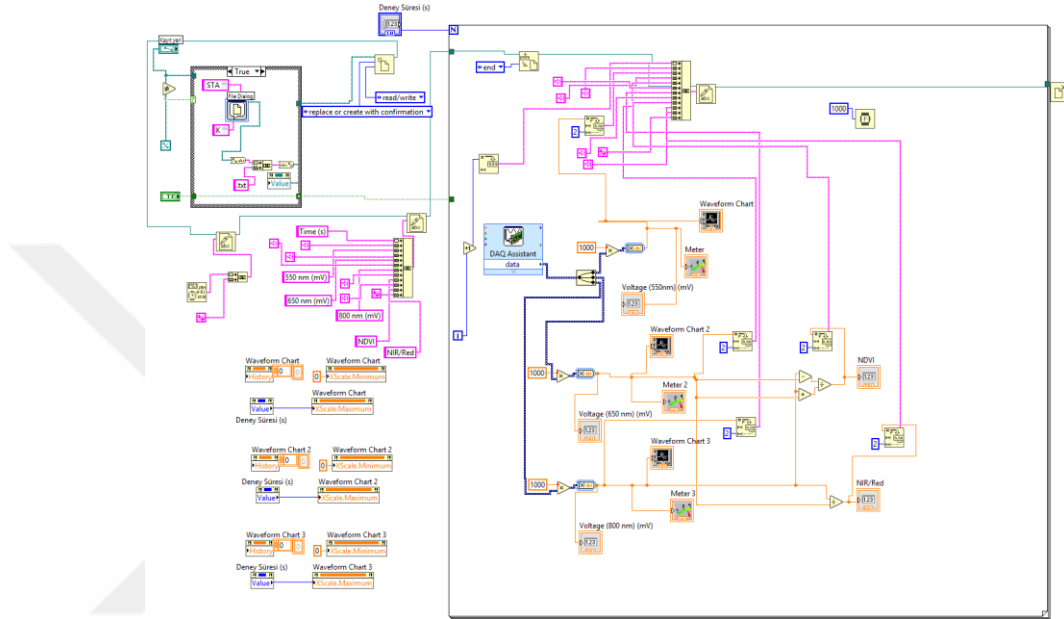
LabVIEW 2016 programı (National Instruments, TX, USA) kullanılarak 550 nm (yeşil), 650 nm (kırmızı) ve 800 nm (yakın kızılötesi) filtre ile ayrı ayrı kombine edilmiş fotodiyot ve odaklayıcı lens takımından oluşan sensörlerden gelen gerilim değerlerinin bilgisayara aktarılabilceği grafik arayüze sahip bir program geliştirilmiştir (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. LabVIEW tabanlı programın arayüz görüntüsü

Bu program sayesinde; veri toplama kartı üzerindeki üç ayrı analog kanala diferansiyel olarak bağlanan (her fotodiyotun negatif (-) pininin birbirinden bağımsız

olarak veri toplama kartı üzerindeki analog negatif (-) giriş pinine bağlanması) fotodiyotlardan elde edilen elektriksel gerilim değerleri okunmuştur. Bu değerlere bağlı olarak hesaplanan NDVI, fark vejetasyon veya oransal vejetasyon indeksi değerleri grafiksel olarak ekranda gösterilmiştir. Ölçülen değerler “.txt” formatında bilgisayara kaydedilmiştir. Programın blok diyagramı Şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.10. LabVIEW tabanlı programın blok diyagramı görüntüsü

3.2.2. Renk Ölçer (Kolorimetre)

Çalışmada; prototip optik algılayıcı haricinde üç adet elektro-optik sensor daha (Renk ölçer, FT-NIRS sistemi ve El tipi NDVI algılayıcısı) kullanılmıştır. Bu amaçla, Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği bölümünde mevcut olan Minolta CR 400 modeli Renk ölçer (Konica Minolta, Osaka, Japan) çalışmaya dahil edilmiştir. Renk ölçer, CIE Standart Illuminant C sistemine ayarlanmış ve renk modeli olarak iki farklı model ($L^*a^*b^*$ ve L^*C^*h) kullanılmıştır. Renk ölçer, içerisinde bulunan bir ışınım kaynağından, rengi ölçülecek nesneye ışınım göndererek, yansıyan ışınımı algılayan ve böylece renk değerlerini hesaplayan üç-filtreli (tristimulus) bir elektro-optik sistemdir (Konica Minolta, 2007). Renk ölçer üç rengin (kırmızı, yeşil ve mavi) algılanması ve ölçülmesi ilkesi ile çalışır. İnsan gözündeki üç tip algılayıcının spektral duyarlılığı

örnek alınarak geliştirilmiştir (Keskin ve ark., 2017). Bu sebeple renk ölçer içerisinde optik filtreler ve ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren ışık algılayıcılar (dedektör) bulunur. Cihazın veri alma düğmesine basıldığında, cihaz içindeki lamba etrafa ışık gönderir. Işık kaynağından yayılan ışığın bir kısmı (referans) doğrudan filtre ve fotodiyotlara giderken, rengi ölçülecek nesneden yansıyan ışık da diğer filtre ve fotodiyotlara gider. Her iki ışık demeti de, ayrı ayrı kırmızı, yeşil ve mavi filtrelerden geçtikten sonra algılayıcılar ile elektriksel gerilime dönüştürülür (Keskin ve ark. 2017). Sayısal renk değerleri, renk ölçer içindeki mikroişlemci ve yazılım ile otomatik olarak çok kısa sürede hesaplanır ve ekranda gösterilir, istenirse kayıt edilebilir.

3.2.3. Fourier Dönüşümlü Yakın Kızılötesi Yansıma Spektroskopisi (FT-NIRS)

Çalışmada, Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri bölümünde mevcut olan NIRFlex N500 modeli FT-NIRS (Fourier Transform Near Infrared Reflectance Spectroscopy) sistemi (Buchi Labortechnik, Flawil, Switzerland) kullanılmıştır. NIRS sistemlerinde çeşitli donanım konfigürasyonları (Yakın kızılötesi transmisyon spektroskopisi-NITS, Dispersif spektrometreler v.b.) kullanılır ve Fourier dönüşümlü yakın kızılötesi yansıma spektroskopisi (FT-NIR) de bu kombinasyonlardan sadece biridir (Armstrong ve ark., 2006). FT-NIR donanımı genellikle daha karmaşıktır ancak elektronik, yöntemsel ve üretimindeki gelişmeler sayesinde dedektör hassasiyeti, çözünürlüğü ve sarsıntılara karşı toleransı önemli ölçüde iyileşmiştir (Armstrong ve ark., 2006). Kullanılan sistem $12500-4000\text{ cm}^{-1}$ (800-2500 nm) spektral bant genişliğine ve 4 cm^{-1} çözünürlüğe sahiptir. Sistem içerisinde ışınım kaynağı olarak tungsten halojen lamba ve referans ışınım kaynağı olarak lazer (632.99 nm) mevcuttur (Buchi, 2018). Toz veya granül haldeki katı örnekler cam petriler (çap $\approx 90\text{ mm}$) içerisine yerleştirilerek bu sistem ile analiz edilebilmektedir. Sistem içerisinde, ışınım kaynağından çıkan NIR ışınımın farklı dalga boylarında girişim deseni oluşturmasını sağlayan interferometre olarak adlandırılan bir sistem vardır. Bu sistem ile elde edilen interferogram ışınım örnek üzerine gönderilir ve örneğe özgü geri yansıma ışınımı algılayıcıda her frekans için ayrı olarak kaydedilir. Fourier dönüşümü sayesinde bu geri yansıma değerlerinin sayısallaştırılması ile analiz edilen örneğe ait NIR yansıma spektrumu elde edilir (Buchi, 2018).

3.2.4. El Tipi NDVI Algılayıcısı

Çalışmada, Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği bölümünde mevcut olan el tipi optik NDVI algılayıcı (GreenSeeker) (Trimble, CA, USA) de kullanılmıştır. Bu algılama sistemi aktif esaslı, ticari bir uzaktan algılama sistemi olup üzerindeki kırmızı ve yakın kızılötesi (NIR) LED ışınım kaynaklarından ölçüm yapılacak noktaya ışınım gönderir ve yansıyan ışınımı algılar. Yansıma değerinden NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) vejetasyon indeksi değerini hesaplayarak ekranda gösterir. NDVI değeri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır:

$$NDVI = (Y_n - Y_k) / (Y_n + Y_k)$$

Bu eşitlikte;

NDVI = Normalize Edilmiş Fark Vejetasyon İndeksi

Y_n = Yakın kızılötesi (NIR) bandındaki yansıma

Y_k = Kırmızı banttaki yansıma'dır.

Algılayıcı bitkiye göre uygun şekilde konumlandırıldıktan sonra düğmesine basılarak NDVI değeri ekranda görüntülenir. NDVI değeri 0.00-0.99 arasında değişmektedir. Yüksek değerler (0.70-0.90 gibi) bitkinin sağlıklı olduğunu, daha düşük değerler ise bitkinin farklı faktörlerin etkisi sonucu sağlıklı olmadığını (strese girdiğini) gösterir. Algılayıcının yüksekliği ve yatay konumunun tüm çim deneme parsellerinde standart ve aynı durumda olmasını sağlamak amacıyla algılayıcının üzerinde konumlandırıldığı ahşap bir çerçeve yapılmıştır. Algılayıcı bu ahşap çerçeve üzerine yerleştirilerek NDVI ölçümü yapılmıştır.

El tipi NDVI algılayıcısı sadece kampüs deneme arazisinde kullanılmıştır. Futbol antrenman sahasında bakım sorumlusu tarafından biçilen ve sahanın büyük bölümünü temsil eden çim bitkileri arasından örnek alınabildiği için NDVI algılayıcısı ile ölçüm yapılamamıştır.

3.3. Çim Örneklerinin Alınması

a) Kampüs deneme alanından alınan çim örnekleri: Elektrikli çim biçme makinesi ile 4 cm yükseklikten biçilen çim bitkilerinin her parseli temsil edecek şekilde homojen

hale getirilerek örnekler alınmıştır. Örnekler, 2018 yılı kış ve bahar aylarında yaklaşık üçer haftalık arayla 4 kez alınmış olup, her bir örneklemede 12 adet olmak üzere toplamda 48 örnek alınmıştır (Şekil 3.11.). Biçme işleminden önce el tipi NDVI algılayıcı ile her parselden NDVI ölçümleri alınmıştır.



Şekil 3.11. Kampüs çim deneme alanından çim örneklerinin alınması

b) Antrenman sahasından alınan çim örnekleri: Biçim günlerinde sahada bulunularak saha bakım sorumlusu tarafından çim biçme makinesi ile elde edilen çim bitkilerinden sahanın farklı bölgelerini temsil edecek ve farklı kaliteye sahip olacak şekilde örnekler alınmıştır (Şekil 3.12.). Sahadan her bir örnekleme için 10 örnek olacak şekilde 2018 yılı kış ve bahar aylarında yaklaşık bir ay arayla farklı zamanlarda 3 kez, toplamda 30 örnek alınmıştır.



Şekil 3.12. Spor sahasından çim örneklerinin alınması

Alınan çim örnekleri fiziksel ve kimyasal olarak değişime uğramamaları için kese kağıtları içerisinde soğuk zincirde muhafaza edilerek kısa süre içerisinde laboratuvara ulaştırılmıştır. Laboratuvarda ölçüm zamanına kadar fermantasyon ve çürümenin engellenmesi için örnekler buzdolabında (+4 °C) bekletilmiştir. Daha sonra, prototip algılama sistemi ve renk ölçer ile yansıma verileri alınmıştır. Bu işlemden sonra örnekler kurutulmuş, kurumuş örnekler öğütülerek toz haline getirilmiş ve FT-NIRS sistemi ile toz örneklerin NIR yansıma değerleri elde edilmiştir.

3.4. Yansıma Verilerinin Alınması

3.4.1. Prototip Optik Algılama Sistemi ile Yansıma Ölçümü

Analiz edilecek örnekler buzdolabından çıkarılarak prototip optik algılayıcının örnek haznesine (tepsi) 2-3 cm kalınlıkta yerleştirilmiştir. Örnek haznesi algılayıcıya yerleştirilmeden önce cihazın ışınım kaynakları açılarak 1-2 dakika boyunca ısınmaları sağlanmıştır. Hazne algılayıcıya yerleştirip 1-2 dakika bekledikten sonra ölçüm işlemine başlanmıştır. Yansıma ölçümü için örneklerden saniyede 1 ölçüm olacak şekilde, 30 saniye boyunca veri okuma yapılmış ve okumaların (n=30) ortalaması alınmıştır (Şekil 3.13.). Veriler MS Excel programına tablo olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.13. Prototip optik algılayıcı ile yansıma ölçümü

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) uzaktan algılama araştırmalarında en yaygın kullanılan vejetasyon indekslerinden biridir. Ancak bazı araştırmacılar, NDVI değerinin yaprak alan indeksi (LAI) değerinin yüksek olduğu noktalarda doğunluğa ulaştığını ve bitkideki değişime yeterince hassas şekilde tepki veremediğini belirtmişlerdir (Campbell, 2017; Gu ve ark., 2013). Bu sebeple, NDVI değerindeki bu dezavantajlı durumu gidermek veya bitkide incelenen özellikler ile daha iyi bir ilişki elde etmek için alternatif olarak kullanılabilen bazı farklı vejetasyon indeksleri geliştirilmiştir (Çizelge 3.4.). Çalışmada, NDVI değeri de dahil olmak üzere, eşitlikleri Çizelge 3.4’de verilen toplam 14 adet vejetasyon indeksi hesaplanmış ve veri analizinde kullanılmıştır.

Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan farklı vejetasyon indeksleri

No	İndeks adı	Kısaltma	Formül	Kaynak
1	Normalized difference vegetation index	NDVI	$(NIR-Red)/(NIR+Red)$	Xue ve Su, 2017
2	Ratio vegetation index	SR	NIR/Red	Chen (1996)
3	Green ratio vegetation index	GRVI	$NIR/Green$	Sripada ve ark. (2006)
4	Simple Ratio	SR	$Green/Red$	Mutanga ve Skidmore (2004)
5	Green normalized difference vegetation index	GNDVI	$(NIR-Green)/(NIR+Green)$	Xue ve Su. (2017)
6	Difference vegetation index	DVI	$NIR-Red$	Xue ve Su. (2017)
7	Green difference vegetation index	GDVI	$NIR-Green$	Sripada ve ark. (2006)
8	Difference vegetation index	DVI	$Green-Red$	Xue ve Su. (2017)
9	Wide dynamic range vegetation index	WDRVI	$(\alpha \times NIR-Red)/(\alpha \times NIR+Red)$	Campbell (2017)
10	Enhanced vegetation index	EVI2	$[2,5 \times (NIR-Red)]/[NIR+(2,4 \times Red)+1]$	Jiang ve ark. (2008)
11	Ratio vegetation index	RVI	$(1+NDVI)/(1-NDVI)$	Gu ve ark. (2013)
12	Saturation adjusted NDVI	NDVI _{sat_adj}	$0.03 \times RVI+0.5363$	Gu ve ark. (2013)
13	Transformed vegetation index	TVI	$(NDVI+0.5)^{0.5}$	Mutanga ve Skidmore (2004)
14	Green-Red vegetation index	GRVI	$(Green-Red)/(Green+Red)$	Motohka ve ark. (2010)

3.4.2. Renk Ölçer ile Yansıma Ölçümü

Prototip optik algılayıcıda taze çim örneklerinin yansıma ölçümü tamamlandıktan sonra renk ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.14.). Renk ölçer CIE Standart Illuminant C sistemine ayarlanıp, kalibre edildikten sonra renk ölçümünde kullanılan örneklerde $L^*a^*b^*$ ve L^*C^*h olmak üzere iki farklı renk modelinde ölçüm işlemi yapıp değerler kaydedilmiştir. Her örnek için toplam 3 ölçüm yapıp ortalama değer hesaplanmıştır. Ölçüm yapılan her iki renk modelinde de renk üç boyutlu olarak ifade edilmektedir ve her bir değerın anlamı aşağıdaki gibidir (Keskin ve ark., 2017):

- L*: Rengin parlaklığı (0: siyah (koyu renk), 100: beyaz (açık renk),
- a*: Kırmızılık-yeşillik (-60: yeşil, +60: kırmızı),
- b*: Sarılık-mavilik (-60:mavi, +60:sarı),
- C*: Chroma, renk doygunluk veya canlılık değeri (0-60 arasında değer alır)
- h: Hue (renk) açısı (0°: kırmızı, 90°: sarı, 180°: yeşil, 270°: mavi).



Şekil 3.14. Renk ölçer ile çim yaprağı renk değeri ölçümü

3.4.3. FT-NIRS ile Yansıma Ölçümü

Prototip algılama sistemi ve el tipi renk ölçerde ölçüm işlemi tamamlanan taze çim örnekleri 70 °C sıcaklıkta 72 saat kurutulduktan sonra öğütülerek toz haline (granül boyutu ~ 0.2 mm) getirilmiştir. Toz çim örnekleri cam petri kaplarına (9 cm çapında) kabın tabanından bakıldığında herhangi bir boşluk görülmeyecek şekilde homojen olarak yerleştirilmiştir (Şekil 3.15.). Örneklerin yakın kızılötesi (NIR) yansıması, 4000-10000 cm^{-1} (1000-2500 nm) dalga sayısı aralığını kapsayan FT-NIRS sistemi (NIRFlex N-500, Büchi, Flawil, Switzerland) kullanılarak 4 cm^{-1} çözünürlükte (toplam yansıma değişken sayısı: 1500) ölçülmüştür (Şekil 3.16.). Tüm spektrumlar, her bir örnek için üç tekrar ile 32 taramanın ortalaması olacak şekilde kaydedilmiştir.



Şekil 3.15. Kurutulup toz haline getirilen çim örnekleri



Şekil 3.16. Çalışmada kullanılan FT-NIRS sisteminin genel görünüşü

3.4.4. El Tipi Algılayıcı ile NDVI Ölçümü

NDVI değeri ölçümü el tipi GreenSeeker (Trimble, CA, USA) cihazı ile sadece kampüs deneme alanında çim örnekleri biçilmeden hemen önce yapılmıştır (Futbol antrenman sahasında çim örnekleri biçilme işleminden sonra alındığı için NDVI ölçümü yapma imkanı elde edilememiştir). Her bir parsel için, parselin bütünü temsil edecek şekilde 9 farklı noktadan ölçüm alınarak NDVI değerinin ortalaması hesaplanmıştır. Cihazın her ölçümde aynı pozisyonda ve açıda olduğundan emin olabilmek amacıyla su terazisine sahip ahşap bir platform yaptırılarak cihaz bu platformun üzerine monte edilerek ölçüm alınmıştır (Şekil 3.17.). Bu platform sayesinde cihaz bütün parsellerde yere paralel ve yaklaşık olarak 120 cm yükseklikte olacak şekilde kullanılmıştır.



Şekil 3.17. Kampüs çim deneme alanında el tipi algılayıcı ile NDVI ölçümü

3.5. Çim Yaprağı Su İçeriği Analizi

Çim örneklerinin yansıma ölçümü tamamlandıktan sonra yaş kütleleri tartılmış (yaklaşık 50 g) ve örnekler kese kağıtları içerisinde fanlı kurutma fırınına yerleştirilip 103°C sıcaklıkta 24 saat kurutulmuştur.

Kurutma işleminden sonra kuru kütleler tartılarak bitki su içeriği aşağıdaki eşitlik ile yaş baza göre hesaplanmıştır (ASABE, 2012):

$$WC_w = [(M_w - M_d) / M_w] \times 100$$

WC_w = yaş baza göre su içeriği (%)

M_w = yaş kütle (g)

M_d = kuru kütle (g)

3.6. Çim Yaprığı Bitki Besin Elementi Kimyasal Analizi

Yansıma ölçümleri yapılan örneklerden yaklaşık 60 g'ı kimyasal makro ve mikro element analizi için ayrılmıştır. Ayrılan yaş örnekler üzerlerinde kalabilecek ve analiz sonuçlarını olumsuz şekilde etkileyebilecek gübre, toz, toprak, v.b. kalıntılarını gidermek amacıyla saf su içinde kısa süreli (30-35 s) bekleterek yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Yıkanan örnekler kaba filtre kağıdı üzerine yerleştirilerek fanlı kurutma fırınında 70 °C sıcaklıkta 72 saat kurutulmuştur. Kuru örnekler, içerisindeki yabancı materyallerin (iri kum taneleri, ağaç/çalı/yabancı ot kalıntısı, v.b.) ayrılması için 2.0 mm gözenek çapına sahip elekten geçirilmiştir (McCrimmon, 1994). Elekten geçirilen örnekler değirmende öğütülerek analiz edileceği zamana kadar hava almayan polipropilen numune kaplarında muhafaza edilmiştir.

Yaprak örneklerinin makro ve mikro element analizleri Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Bitki Analiz Laboratuvarında hizmet alımı şeklinde yaptırılmıştır. Analizler aşağıdaki şartlar doğrultusunda gerçekleştirilmiştir;

- Kimyasal analiz amacıyla örnek hazırlığı için yaş yakma işlemi mikrodalga teknolojisi ile gerçekleştirilmiştir.
- Toplam N miktarı Kjeldahl yöntemi ile belirlenip sonuçlar % (yüzde) olacak şekilde verilmiştir.
- Toplam P, K, Ca, Mg miktarı ICP-OES sistemi ile belirlenip sonuçlar % olacak şekilde verilmiştir.
- Toplam Fe, Cu, Zn, Mn miktarı ICP-OES sistemi ile belirlenip sonuçlar ppm birimiyle verilmiştir.

- Örnek okumaları her bir örnek için en az iki paralel okuma olacak şekilde yapılmış ve ortalaması alınmıştır.
- Analizlere başlanmadan önce analizi yapılacak elementler için yeni kalibrasyon kurvesi çizilmiştir.

3.7. Veri Analizi

Araştırmada geliştirilen prototip optik algılayıcı, renk ölçer, el tipi NDVI algılayıcı ve FT-NIRS sisteminden elde edilen veriler ile bitki su ve makro ve mikro besin elementi konsantrasyonunun ne düzeyde tahmin edilebileceğini incelemek için veri analizi yapılmıştır.

Prototip optik algılayıcı, renk ölçer ve el tipi NDVI algılayıcıdan elde edilen veriler ile bitki su ve makro ve mikro besin elementi konsantrasyonları arasındaki korelasyon katsayıları MS Excel programında hesaplanmıştır. Daha sonra, aynı veriler çok değişkenli istatistik programında (UnScrambler, v.9.7, Camo, Oslo, Norway) PLS (Kısmi En Küçük Kareler) regresyon yöntemi kullanılarak regresyon analizi yapılmıştır. PLS regresyon yöntemi, birbiriyle ilişkili birçok değişkenle yapılan çalışmalarda diğer yöntemlere (MLR ve PCR) kıyasla daha uygun olduğu için seçilmiştir (Keskin ve ark., 2004; Keskin ve ark., 2008; Esbensen, 2009; Keskin ve ark., 2013). Geliştirilen tahmin modellerinin test edilmesi amacıyla SEC (Kalibrasyon Standart Hata Değeri), SEP (Tahmin Standart Hata Değeri) ve R^2 (Berlirleme Katsayısı) değerleri kullanılmıştır.

FT-NIRS sisteminden elde edilen veriler ise; sistemin kendi kemometrik yazılımı (NIRCal, v5.5, Büchi Labortechnik, Flawil, Switzerland) kullanılarak PLS regresyon yöntemiyle değerlendirilmiştir. Geliştirilen tahmin modellerine ait SEC, SEP, R^2 , Q değerleri hesaplanmıştır.

PLS regresyon analizlerinde, verilerin 2/3'si kalibrasyon ve kalan 1/3'i validasyon (doğrulama) setine dahil edilmiştir. Aykırı değerler (outlier) veri analizinden çıkartılmıştır. Veri analizi sonuçları çizelgeler halinde sunulmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Çim Bitkisi Kimyasal Analiz Sonuçları

Kampüs deneme arazisi ve spor sahasından alınan çim örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. Kampüs deneme arazisi örnekleri için tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde K ve Cu dışındaki elementlerin yeterli seviyede olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.1.). Spor sahası örnekleri için ise, tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde N, K ve Cu konsantrasyonlarının düşük, Ca konsantrasyonunun yüksek, bunların dışındaki elementlerin yeterli seviyede olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.2.).

Çizelge 4.1. Kampüs deneme alanı çim bitkisi kimyasal analiz sonuçları

Bileşen	Min.	Maks.	Ort.	Std. Sapma	VK*	Yeterli Düzey	Yorum**
N (%)	2.70	4.40	3.50	0.46	13.1	3.40-5.10	Yeterli
P (%)	0.26	0.53	0.38	0.07	18.9	0.35-0.55	Yeterli
K (%)	0.88	1.98	1.41	0.35	24.6	2.00-3.42	Düşük
Ca (%)	0.35	0.56	0.42	0.06	13.1	0.25-0.51	Yeterli
Mg (%)	0.25	0.30	0.28	0.01	5.0	0.16-0.32	Yeterli
Fe (ppm)	75.20	170.31	108.04	22.17	20.5	97-934	Yeterli
Zn (ppm)	11.91	35.67	17.93	4.61	25.7	14-64	Yeterli
Mn (ppm)	33.98	58.51	44.67	4.42	9.9	30-73	Yeterli
Cu (ppm)	0.48	6.71	3.24	1.58	48.7	6-38	Düşük

*VK: Varyasyon Katsayısı, **Christians ve ark. (2017)

Çizelge 4.2. Spor sahası çim bitkisi kimyasal analiz sonuçları

Bileşen	Min.	Maks.	Ort.	Std. Sapma	VK*	Yeterli Düzey	Yorum**
N (%)	2.55	3.60	3.10	0.30	9.5	3.40-5.10	Düşük
P (%)	0.31	0.58	0.45	0.06	13.3	0.35-0.55	Yeterli
K (%)	1.17	1.72	1.43	0.13	8.9	2.00-3.42	Düşük
Ca (%)	0.44	1.19	0.70	0.16	23.0	0.25-0.51	Yüksek
Mg (%)	0.14	0.33	0.22	0.04	18.8	0.16-0.32	Yeterli
Fe (ppm)	101.86	959.96	313.95	269.00	85.7	97-934	Yeterli
Zn (ppm)	12.13	32.75	22.57	4.31	19.1	14-64	Yeterli
Mn (ppm)	61.57	137.16	93.42	22.03	23.6	30-73	Yüksek
Cu (ppm)	0.42	5.75	2.59	1.34	51.9	6-38	Düşük

*VK: Varyasyon Katsayısı, **Christians ve ark. (2017)

4.2. NIRS Veri Analizi Sonuçları

4.2.1. Kampüs Deneme Alanı NIRS Veri Analizi Sonuçları

Çalışmada kampüs deneme alanından elde edilen Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) verilerinin istatistiksel analiz sonuçları (PLSR, Partial Least Square Regression) Çizelge 4.3'te verilmiştir. Veri analizinde, yansıma değerinden çim yaprak biçkisi su, makro ve mikro element konsantrasyonu tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sonuçlara göre, çim yaprak biçkisi su içeriği, N, P ve K konsantrasyonlarının çok iyi düzeyde ($R^2 > 0.90$), Ca, Mg, Fe, Cu ve Zn konsantrasyonlarının iyi düzeyde ($R^2 = 0.80-0.90$) ve Mn konsantrasyonunun orta düzeyde ($R^2 < 0.80$) tahmin edilebileceği belirlenmiştir. Tahmin standart hata değeri (SEP) su içeriği için %0.57 ve N konsantrasyonu için ise %0.09 olarak bulunmuştur.

NIRS verilerine ilişkin orijinal yansıma değerleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Veri analizine yaprak biçkisi su içeriği ve besin elementi konsantrasyonları için en iyi tahmin sonuçlarını (En düşük SEP, en yüksek R^2 değeri) veren farklı ön işleme yöntemleri denenmiş olup, kullanılan yöntemler Çizelge 4.3'te verilmiştir. Örnek olarak N konsantrasyonu tahmini için en uygun ön işleme yönteminin SG9 olduğu belirlenmiş olup bu ön işleme sonucunda elde edilen verilerin grafiği Şekil 4.2'de verilmiştir.

Kampüs çim deneme arazisi örneklerinin NIRS yansıma verilerine ait N konsantrasyonu tahmini için geliştirilen PLSR modeli skor grafiği Şekil 4.3'de, ölçülen ve tahmin edilen N değerleri grafiği ise Şekil 4.4'te verilmiştir. Buna göre çim bitkisi N konsantrasyonunun %0.09'luk tahmin hatası (SEP) değeri ile tahmin edilebileceği ($R^2 = 0.96$) tespit edilmiştir.

Bunlara ek olarak, N tahmini için geliştirilen PLSR modeline ait regresyon katsayısı grafiği de Şekil 4.5'te verilmiştir. Genel olarak regresyon katsayısı büyük olan (örneğin; $y = ax + b$ eşitliğinde x'in önündeki a katsayısı) dalga sayısı veya bantların tahmin için daha önemli olduğu bilinmektedir (Esbensen, 2009). Buna göre, NIRS ile N konsantrasyonu tahmini için en önemli bantların; 4600-4500, 5100-4900 ve 8500-8300 cm^{-1} olduğu söylenebilir. 4800-4300 cm^{-1} bandı (metil, metilen, -CHO kombinasyonu), 6000-5600 cm^{-1} (-CH₂, -CH₃ birinci ve ikinci overtone) bölgelerinin klorofil konsantrasyonu, 5150 cm^{-1} bölgesinin (-OH birinci overtone) su içeriği ile

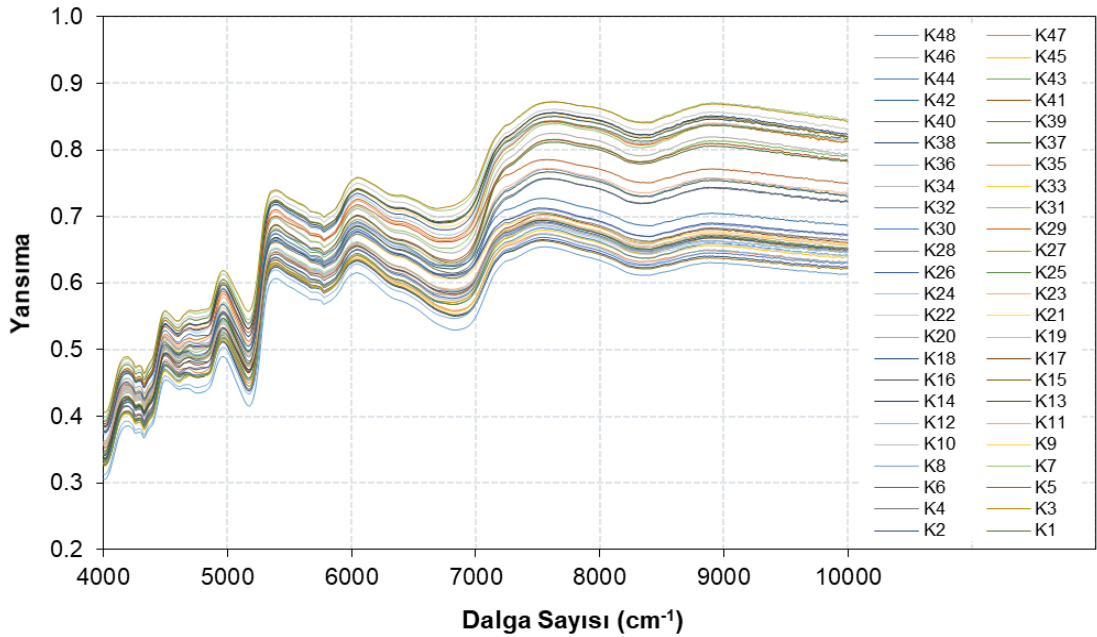
ilişkili olduğu belirtilmiştir (Tamburini ve ark., 2015). N konsantrasyonu için amid (-CONHR) grupları ile ilişkili olan 4300-4100 cm^{-1} (-CONHR kombinasyon bantları) ve 8500-8300 cm^{-1} (-CONHR ikinci ve üçüncü overton) bölgelerinin ayırt edici olduğu bildirilmiştir (Tamburini ve ark., 2015).

Çizelge 4.3. Kampüs arazisi örneklerinin NIRS verilerine ait PLSR analizi sonuçları

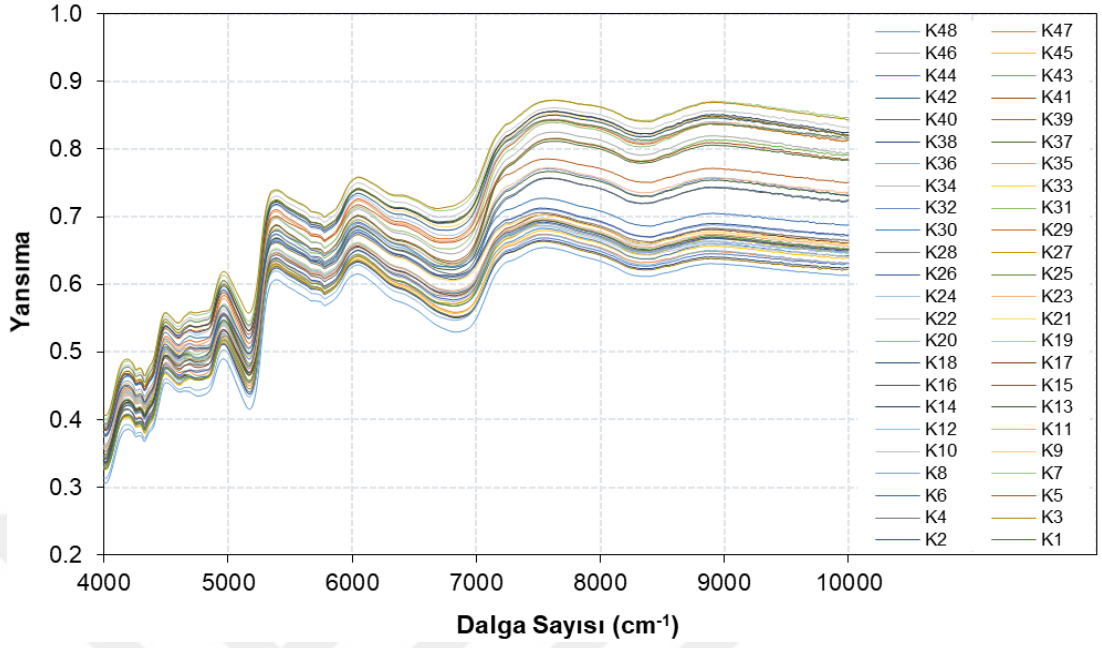
Bileşen	SEC	SEP	R ² cal	R ² val	PCn	Öİ*	N	Nout	Q
Su (%)	0.57	0.57	0.96	0.96	7	SNV	48	2	0.81
N (%)	0.08	0.09	0.97	0.96	5	sg9	48	0	0.87
P (%)	0.02	0.02	0.95	0.95	5	SNV	48	3	0.87
K (%)	0.06	0.06	0.97	0.97	5	SNV	48	3	0.88
Ca (%)	0.02	0.02	0.88	0.88	7	ncl	48	1	0.83
Mg (%)	0.01	0.01	0.85	0.84	9	ncl	48	0	0.80
Fe (ppm)	7.63	7.69	0.88	0.86	5	db1,SNV,vs	48	3	0.50
Cu (ppm)	0.66	0.66	0.82	0.83	6	ncl,sa3	48	0	0.68
Mn (ppm)	2.15	2.33	0.77	0.72	10	SNV,sg9	48	4	0.53
Zn (ppm)	1.45	1.31	0.83	0.81	3	dg1,nle	48	10	0.60

SEC: Kalibrasyon standart hata değeri, SEP: Tahmin standart hata değeri, R²cal: Kalibrasyon R² değeri, R²val: Doğrulama R² değeri, PCn: Principal Component (Temel bileşen) sayısı, N: Veri sayısı, Nout: Aykırı veri sayısı, Q: Kalite değeri

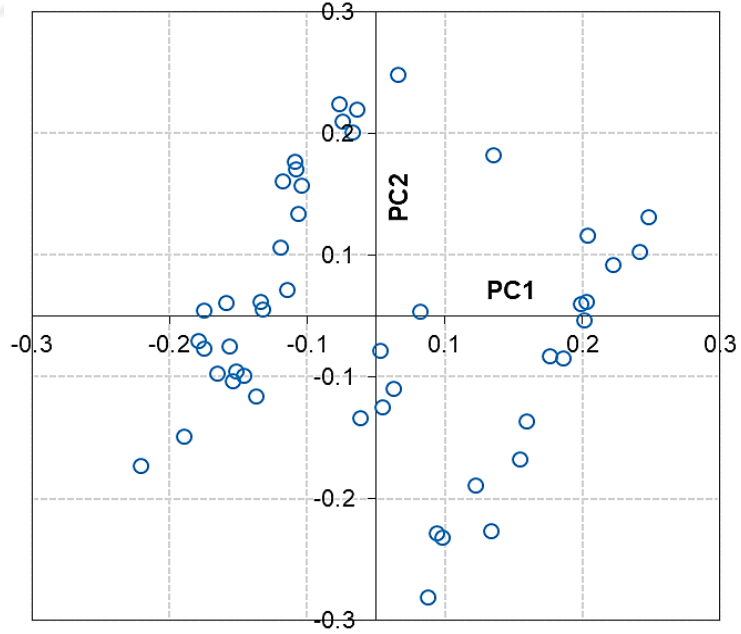
*Öİ: Ön işleme yöntemi, SNV: Standard Normal Variate, sg9: Smooth Savitzky-Golay 9 Points, ncl: Normalization by Closure, db1: First Derivative BCAP, vs: Variance Scaling, sa3: Smooth Average 3 Points, nle: Normalization to Unit Length, dg1: First Derivative Savitzky-Golay 9 Points



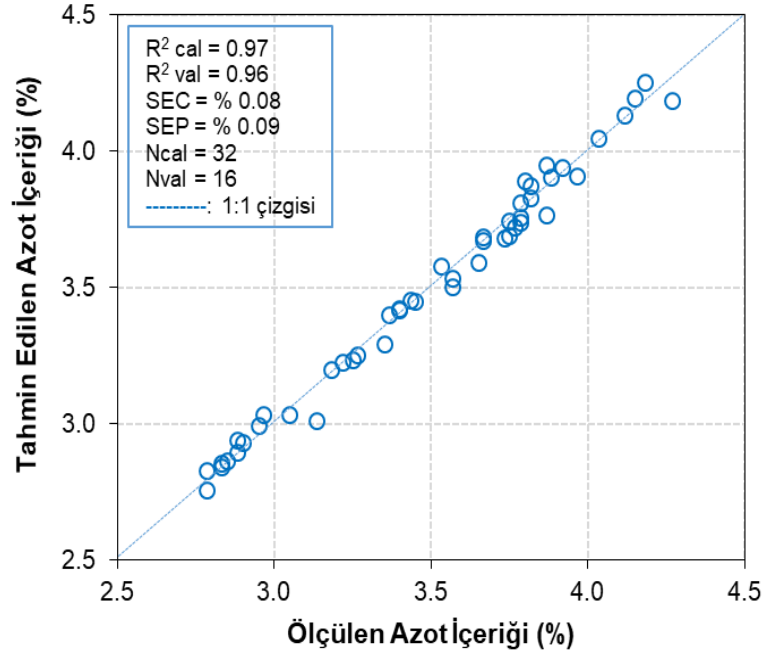
Şekil 4.1. Kampüs arazisi örneklerine ait NIRS yansıma spektrumu



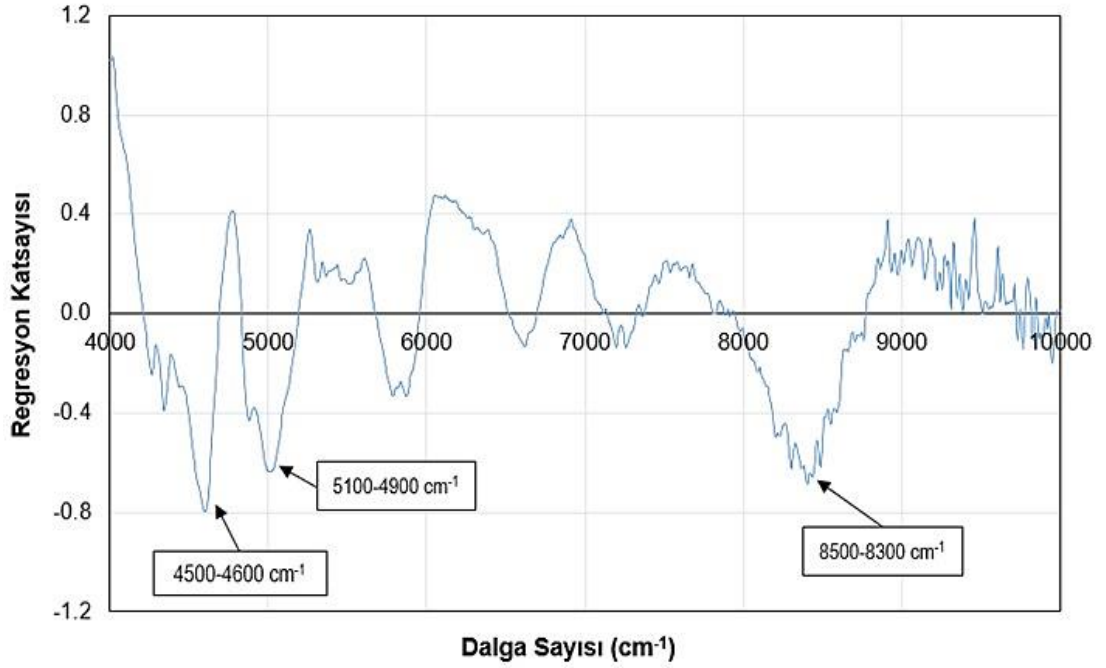
Şekil 4.2. Kampüs arazisi örneklerinin NIRS verilerine ait ön işlem (sg9) sonrası yansıtma spektrumu



Şekil 4.3. Kampüs arazisi örneklerinin NIRS verilerine ait azot (N) tahmini PLSR modeli skor grafiği



Şekil 4.4. Kampüs arazisi örneklerinin NIRS verilerine ait azot (N) tahmini PLSR modeli için ölçülen ve tahmin edilen N (%) değerleri



Şekil 4.5. Kampüs arazisi örneklerinin NIRS verilerine ait azot (N) tahmini PLSR modeli regresyon katsayısı grafiği

4.2.2. Spor Sahası NIRS Veri Analizi Sonuçları

Çalışmada spor sahasından elde edilen çim örneklerine ait NIRS yansımaya verilerinin istatistiksel analiz sonuçları (PLSR) Çizelge 4.4'te verilmiştir. Sonuçlara göre, çim bitkisi su içeriği, Fe ve Mn konsantrasyonlarının çok iyi düzeyde ($R^2 > 0.90$), N, K, Ca, Mg ve Zn konsantrasyonlarının iyi düzeyde ($R^2 = 0.80-0.90$), P ve Cu konsantrasyonlarının orta düzeyde ($R^2 < 0.80$) tahmin edilebileceği belirlenmiştir. Tahmin standart hata (SEP) değeri su içeriği için %0.67 ve N konsantrasyonu için ise %0.12 olarak bulunmuştur.

NIRS verilerine ilişkin orijinal yansımaya değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Veri analizi sonrasında su içeriği ve besin elementi konsantrasyonları için en iyi tahmin sonuçlarını (en düşük SEP, en yüksek R^2 değeri) veren farklı ön işleme yöntemleri denenmiş olup uygun bulunan yöntemler Çizelge 4.4'te verilmiştir. Örnek olarak N konsantrasyonu tahmini için en uygun ön işleme yönteminin DB1 ve MF olduğu belirlenmiş olup bu ön işleme sonucunda elde edilen verilerin spektrum grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir.

Spor sahası çim örneklerinin NIRS verilerine ait N konsantrasyonu tahmini için geliştirilen PLSR modeli skor grafiği Şekil 4.8'de verilmiştir. Ayrıca, N konsantrasyonu tahmini için geliştirilen PLSR modeline ait ölçülen ve tahmin edilen N değerleri grafiği Şekil 4.9'da verilmiştir. Buna göre NIRS ile çim bitkisi N konsantrasyonunun %0.12'lik SEP değeri ile tahmin edilebileceği ($R^2 = 0.82$) tespit edilmiştir.

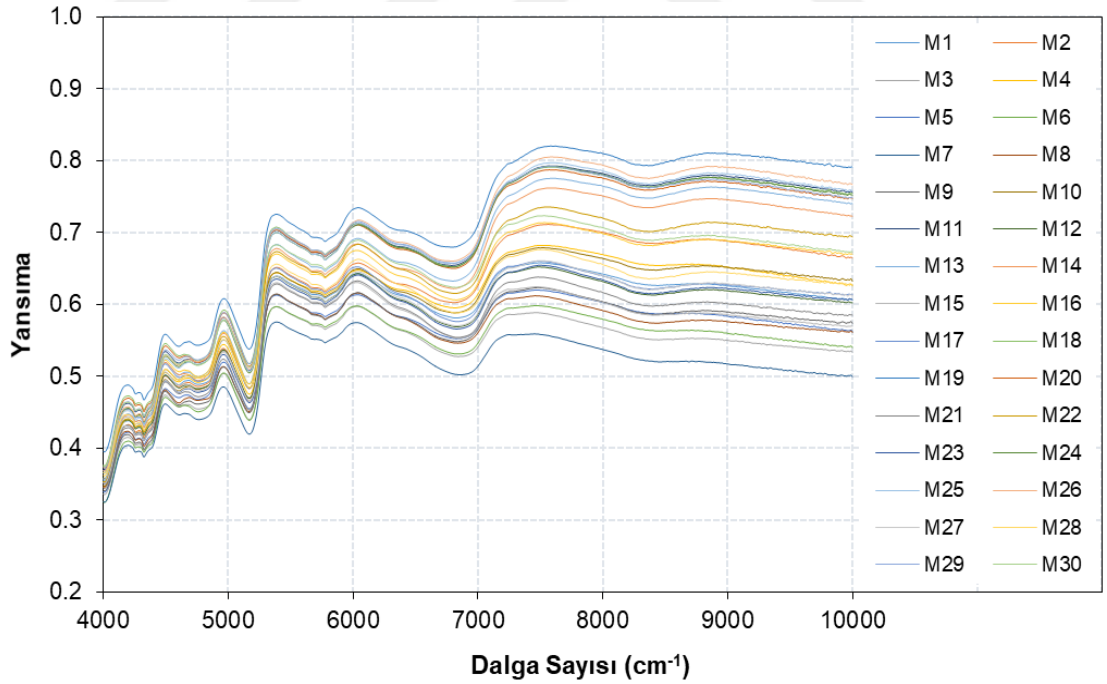
Bunlara ek olarak, N tahmini için geliştirilen PLSR modeline ait regresyon katsayısı grafiği Şekil 4.10'da verilmiştir. Genel olarak regresyon katsayısı (örneğin; $y = ax + b$ eşitliğinde x'in önündeki a katsayısı) büyük olan bantların tahmin için daha önemli olduğu bilinmektedir (Esbensen, 2009). Buna göre, N konsantrasyonu tahmini için en önemli bantların; 4350-4270, 4700-4600 ve 4870-4780 cm^{-1} olduğu söylenebilir. 4800-4300 cm^{-1} (metil, metilen, -CHO kombinasyon bantları) bölgesinin klorofil konsantrasyonu ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Tamburini ve ark., 2015). Ayrıca, N konsantrasyonu için amid (-CONHR) grupları ile ilişkili olan 4300-4100 cm^{-1} (-CONHR kombinasyon bantları) bölgelerinin ayırt edici olduğu bildirilmiştir (Tamburini ve ark., 2015).

Çizelge 4.4. Spor sahası çim örnekleri NIRS verilerine ait PLSR analizi sonuçları

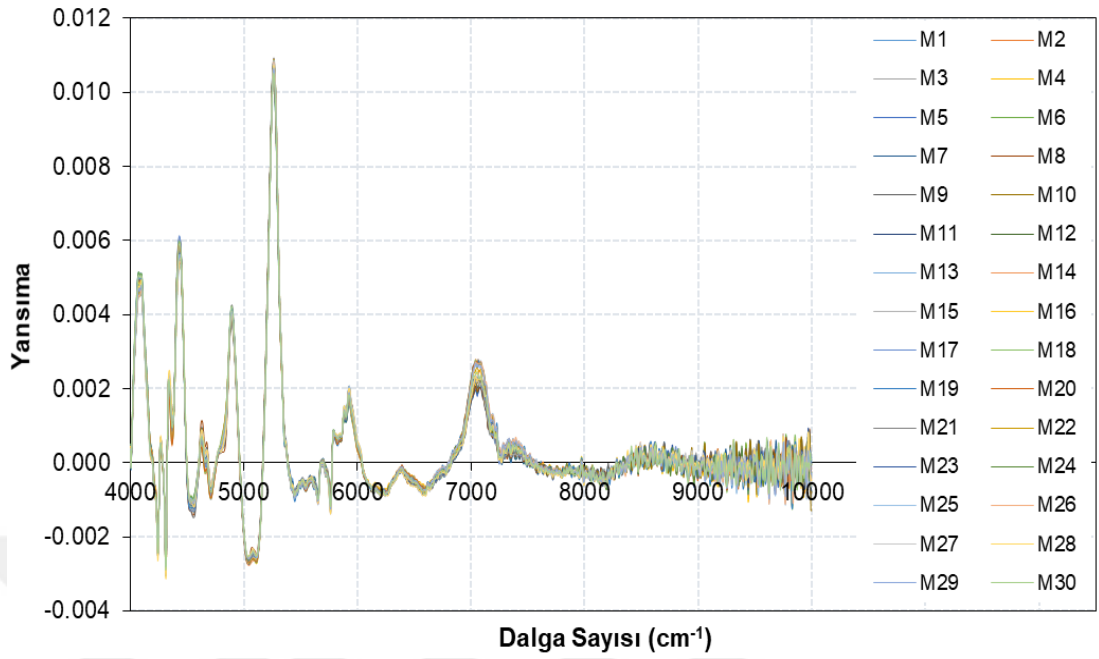
Bileşen	SEC	SEP	R ² cal	R ² val	PCn	Öİ*	N	Nout	Q
Su (%)	0.61	0.67	0.96	0.95	5	SNV,db1	30	0	0.74
N (%)	0.11	0.12	0.86	0.82	3	db1,mf	30	1	0.72
P (%)	0.03	0.03	0.81	0.71	9	SNV,mf	30	3	0.71
K (%)	0.05	0.05	0.84	0.84	10	SNV	30	2	0.79
Ca (%)	0.03	0.06	0.97	0.87	6	SNV,db1,vs	30	2	0.76
Mg (%)	0.01	0.01	0.88	0.87	8	SNV	30	1	0.84
Fe (ppm)	47.85	45.36	0.97	0.96	4	dg1	30	0	0.37
Cu (ppm)	0.58	0.71	0.80	0.72	10	ncl,sg9	30	6	0.55
Mn (ppm)	5.60	5.32	0.93	0.93	7	n01	30	8	0.49
Zn (ppm)	1.08	1.59	0.94	0.81	7	db1,ncl	30	4	0.48

SEC: Kalibrasyon standart hata değeri, SEP: Tahmin standart hata değeri, R²cal: Kalibrasyon R² değeri, R²val: Doğrulama R² değeri, PCn: Principal Component (Temel bileşen) sayısı, N: Veri sayısı, Nout: Aykırı veri sayısı, Q: Kalite değeri

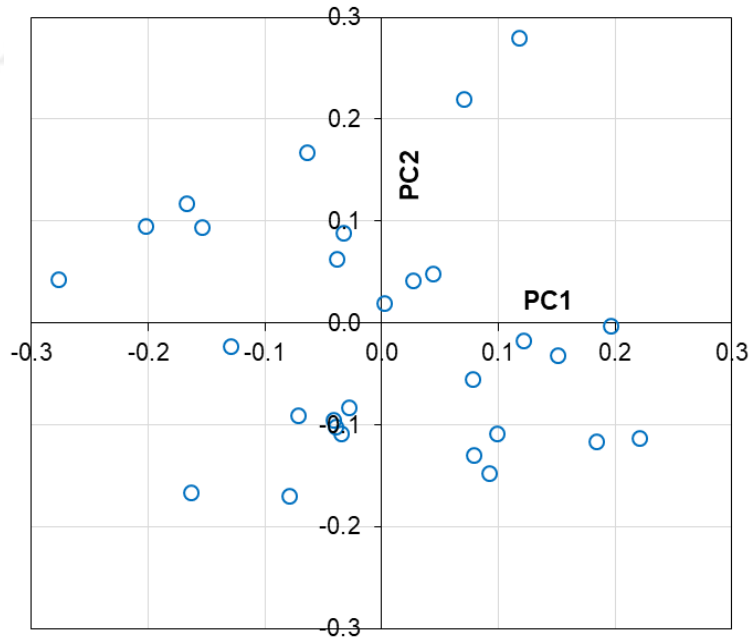
*Öİ: Ön işleme yöntemi, SNV: Standard Normal Variate, sg9: Smooth Savitzky-Golay 9 Points, ncl: Normalization by Closure, db1: First Derivative BCAP, vs: Variance Scaling, dg1: First Derivative Savitzky-Golay 9 Points, mf: MSC full, n01: Normalization between 0 to 1



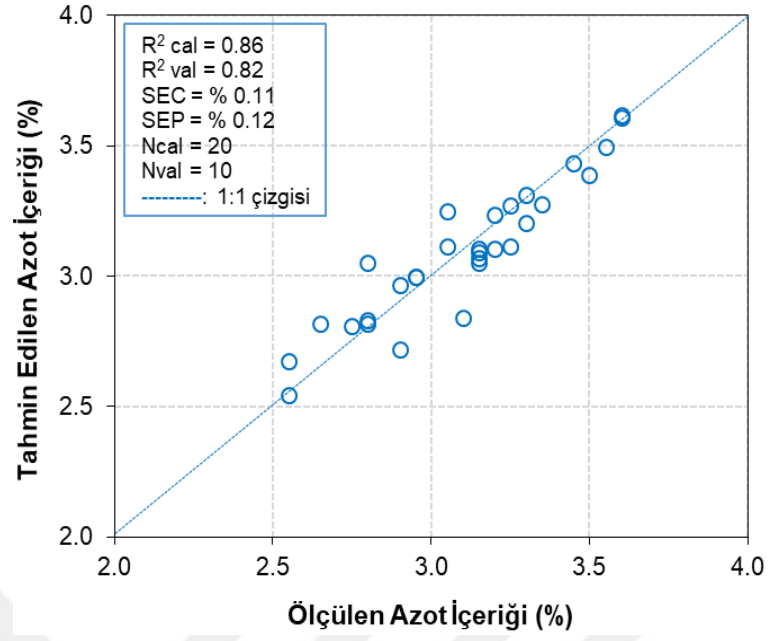
Şekil 4.6. Spor sahası çim örneklerine ait NIRS yansıma spektrumu



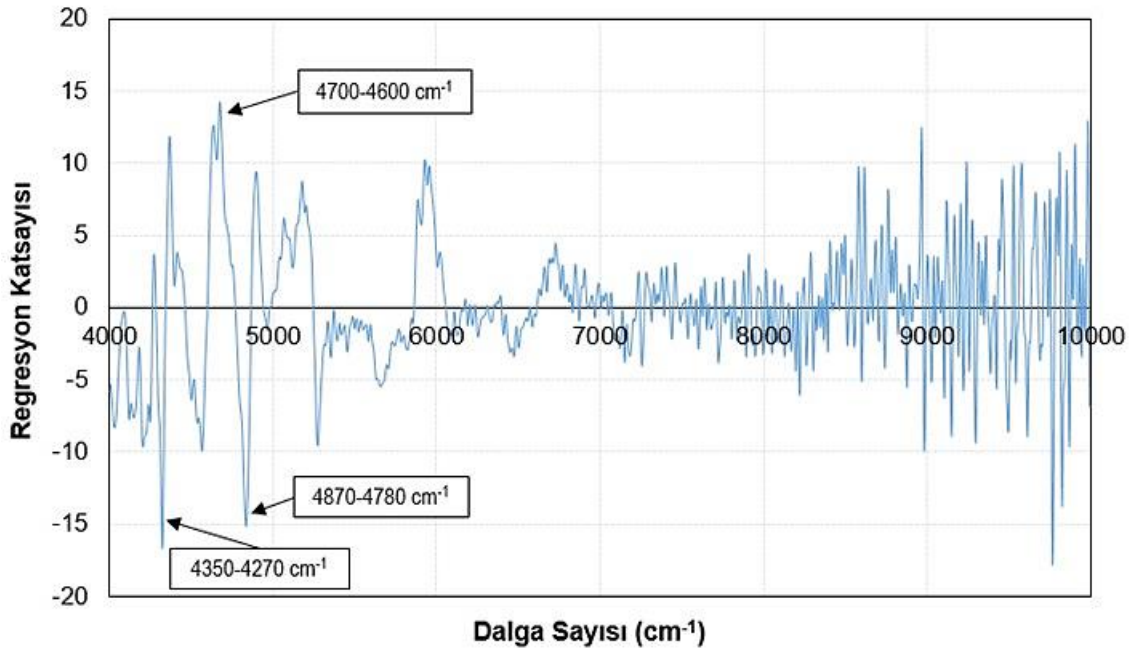
Şekil 4.7. Spor sahası çim örneklerine ait ön işlem (db1,mf) sonrası yansıma spektrumu



Şekil 4.8. Spor sahası çim örneklerinin NIRS verilerine ait azot (N) tahmini PLSR modeli skor grafiği



Şekil 4.9. Spor sahası çim örneklerinin NIRS verilerine ait azot (N) tahmini PLSR modeli için ölçülen ve tahmin edilen N (%) değerleri

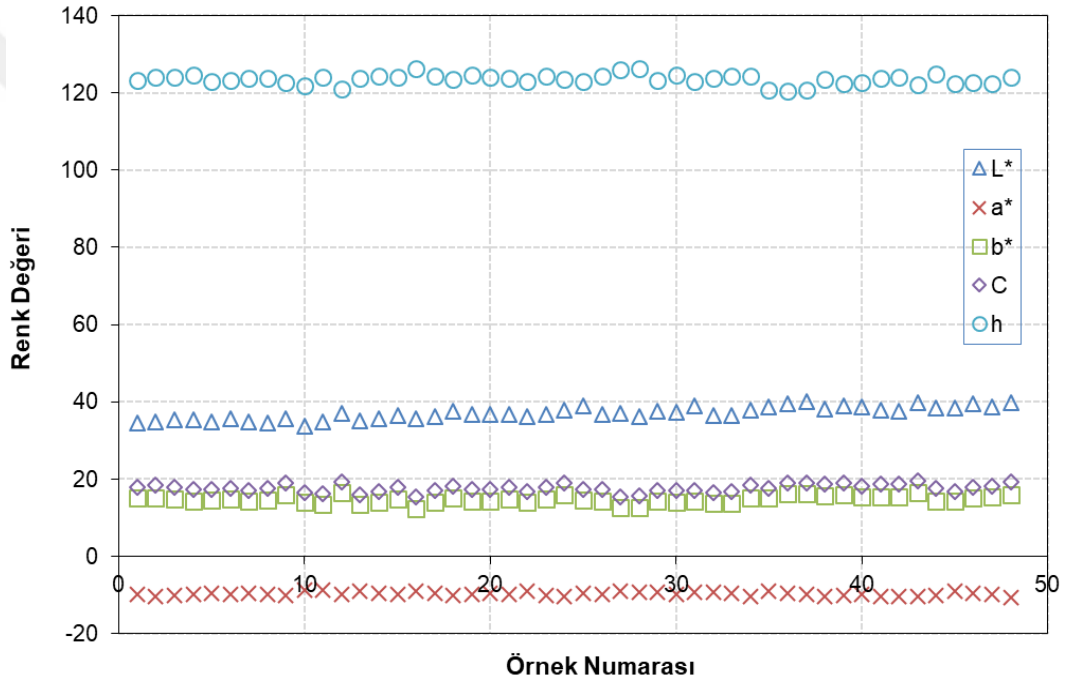


Şekil 4.10. Spor sahası çim örneklerinin NIRS verilerine ait azot (N) tahmini PLSR modeli regresyon katsayısı grafiği

4.3. Renk Ölçer Veri Analizi Sonuçları

4.3.1. Kampüs Deneme Alanı Renk Ölçer Veri Analizi Sonuçları

Çalışmada kampüs deneme alanından elde edilen çim örneklerine ait renk ölçer verilerinin örnek numarasına göre renk değerleri (L^* , a^* , b^* , C^* , h) Şekil 4.11’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, L^* değerinin 30 ile 40 arasında, a^* değerinin -20 ile 0 arasında, b^* ve C^* değerlerinin 10 ile 20 arasında ve h değerinin 120 ile 130 arasında değiştiği görülmüştür.



Şekil 4.11. Kampüs arazisi örneklerine ait renk değerlerinin değişimi

Renk değerleri ile yaprak su içeriği ve besin elementi konsantrasyonları arasındaki korelasyon değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4.5’te verilmiştir. Renk parametreleri arasından L^* değerinin diğer renk parametrelerine göre su ve besin elementi konsantrasyonları ile daha yüksek düzeyde korelasyona sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, L^* değeri ile su içeriği (-0.80) ve N konsantrasyonu arasında (-0.79) yüksek korelasyon olduğu görülmüştür.

Korelasyon katsayısının negatif olması L* değeri ile su içeriği ve N konsantrasyonu arasında ters bir ilişki olduğunu göstermektedir. Yani, N konsantrasyonu yüksek olan örneklerin L* değerinin düşük olduğu söylenebilir. Aynı durum su içeriği için de geçerlidir

Çizelge 4.5. Kampüs arazisi örneklerine ait renk korelasyon değerleri

Renk Değeri	Su	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu
L*	-0.80**	-0.79**	-0.84**	-0.90**	0.70**	-0.22	-0.69**	-0.42**	0.06	-0.82**
a*	0.22	0.17	0.17	0.22	-0.22	-0.06	0.21	0.08	-0.06	0.23
b*	-0.34*	-0.50**	-0.50**	-0.37*	0.47**	0.11	-0.07	-0.21	-0.08	-0.46**
C*	-0.35*	-0.48**	-0.48**	-0.36*	0.46**	0.12	-0.08	-0.19	-0.06	-0.45**
h	0.19	0.40**	0.39**	0.27	-0.32*	-0.07	0.01	0.21	0.14	0.32*

** Korelasyon değeri 0.01 seviyesinde önemli

* Korelasyon değeri 0.05 seviyesinde önemli

Çalışmada çim yaprağı su ve besin elementi konsantrasyonunu tahmin etmek amacıyla incelenen her iki renk modeli (L*a*b*, L*C*h) için ayrı ayrı ve tüm parametrelerin birlikte kullanıldığı (L*, a*, b*, C*, h) PLS regresyon analizi yapılmıştır ve sonuçlar Çizelge 4.6'da verilmiştir.

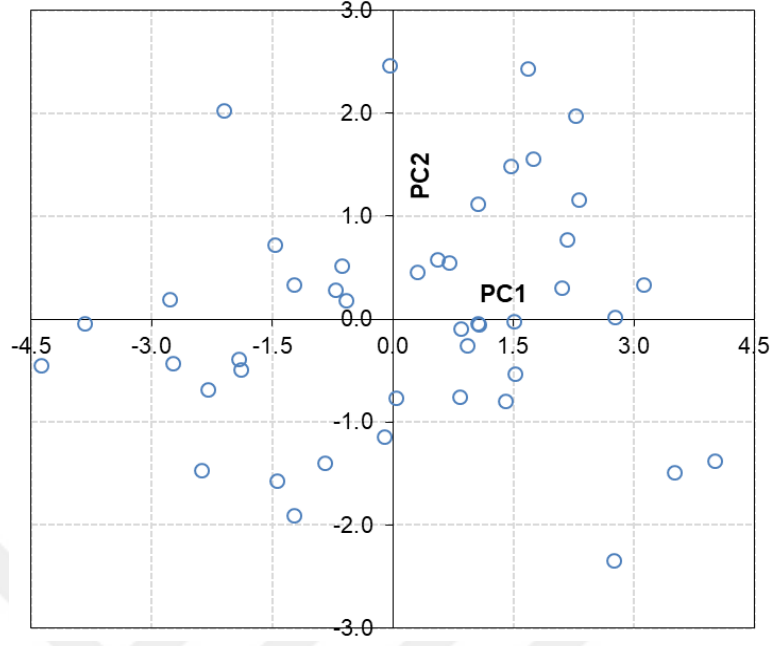
Yapılan incelemede tüm renk parametrelerinin (L*,a*,b*,C*,h) birlikte kullanımının, renk modellerinin ayrı ayrı kullanılması durumuna göre SEP tahmin hatası değerini önemli düzeyde azaltmadığı görülmüştür. Örneğin, N konsantrasyonu tahmini için her üç modelin de (L*a*b*, L*C*h, L*a*b*C*h) aynı SEP değerini (%0.25) verdiği tespit edilmiştir.

Kampüs çim deneme arazisi örneklerinin renk ölçer verilerine ait N konsantrasyonu tahmini için L*a*b*C*h değerleri kullanılarak geliştirilen PLSR modeli skor grafiği Şekil 4.12'de verilmiştir. Ayrıca, N konsantrasyonu tahmini için geliştirilen PLSR modeline ait ölçülen ve tahmin edilen N değerleri grafiği Şekil 4.13'te verilmiştir. Buna göre, çim yaprak biçimleri N konsantrasyonunun %0.25'lik SEP değeri ile tahmin edilebileceği ($R^2=0.65$) tespit edilmiştir.

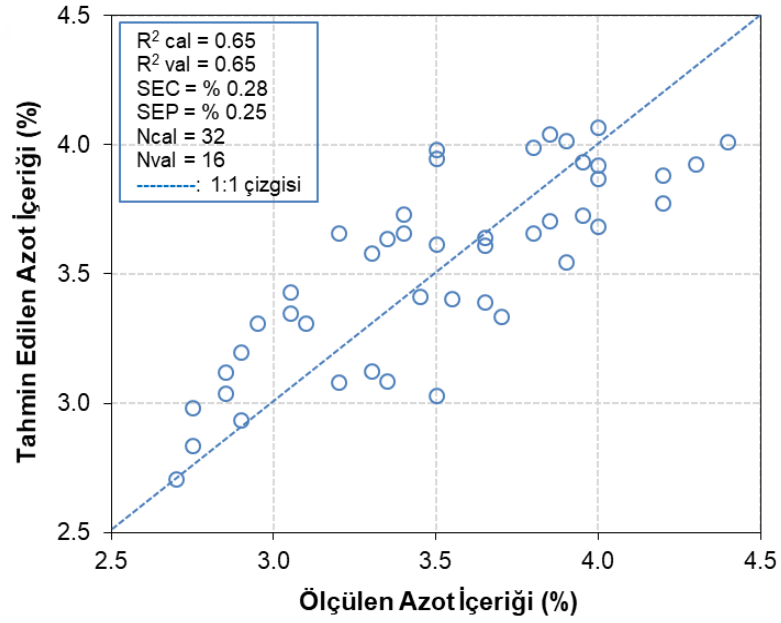
Çizelge 4.6. Kampüs arazisi örneklerine ait renk PLSR analizi sonuçları

Bileşen	Renk Modeli	SEC	SEP	R ² cal	R ² val	PCn	N	Nout	AVx	AVy
Su	L*a*b	1.91	1.70	0.58	0.60	2	48	0	%79; %19	%53; %5
	L*C*h	1.92	1.64	0.57	0.62	2	48	0	%66; %25	%50; %7
	L*a*b*C*h	1.81	1.61	0.64	0.61	2	48	2	%64; %25	%51; %13
N	L*a*b	0.29	0.25	0.62	0.66	1	48	2	76%	62%
	L*C*h	0.28	0.25	0.65	0.65	2	48	3	%69; %22	%62; %3
	L*a*b*C*h	0.28	0.25	0.65	0.65	2	48	3	%68; %22	%58; %7
P	L*a*b	0.04	0.04	0.70	0.68	1	48	1	79%	70%
	L*C*h	0.04	0.03	0.68	0.69	1	48	3	65%	68%
	L*a*b*C*h	0.04	0.04	0.70	0.66	2	48	1	65%	64%
K	L*a*b	0.14	0.11	0.83	0.83	2	48	2	%78; %19	%75; %8
	L*C*h	0.15	0.11	0.82	0.84	2	48	2	%65; %26	%71; %11
	L*a*b*C*h	0.15	0.11	0.83	0.84	2	48	2	%65; %24	%64; %18
Ca	L*a*b	0.04	0.04	0.56	0.54	1	48	3	%71; %9	%56; %2
	L*C*h	0.04	0.04	0.56	0.54	1	48	3	%71; %9	%56; %2
	L*a*b*C*h	0.04	0.04	0.53	0.50	1	48	2	%66; %20	%53; %1
Mg	L*a*b	0.01	0.01	0.28	0.20	2	48	3	%59; %38	%17; %11
	L*C*h	0.01	0.01	0.23	0.20	1	48	3	%32; %57	%23; %5
	L*a*b*C*h	0.01	0.01	0.27	0.17	2	48	3	%19; %26	%26; %1
Fe	L*a*b	12.14	11.31	0.68	0.70	2	48	4	%72; %26	%52; %16
	L*C*h	11.67	10.72	0.70	0.73	2	48	4	%55; %37	%54; %17
	L*a*b*C*h	11.63	10.67	0.71	0.73	2	48	4	%50; %40	%52; %19
Cu	L*a*b	0.92	0.67	0.69	0.73	1	48	3	%77; %21	%69; %1
	L*C*h	0.88	0.75	0.71	0.66	2	48	3	%64; %27	%68; %3
	L*a*b*C*h	0.89	0.74	0.71	0.68	2	48	3	%64; %24	%63; %8
Mn	L*a*b	4.47	4.42	0.05	0.11	1	48	0	23%	5%
	L*C*h	4.49	4.21	0.04	0.00	1	48	0	34%	4%
	L*a*b*C*h	4.49	4.24	0.04	0.02	1	48	0	45%	4%
Zn	L*a*b	2.51	2.07	0.39	0.44	2	48	5	%78; %20	%38; %1
	L*C*h	2.51	2.08	0.39	0.43	2	48	5	%65; %27	%37; %2
	L*a*b*C*h	2.51	2.08	0.39	0.43	2	48	5	%65; %24	%34; %5

SEC: Kalibrasyon standart hata değeri, SEP: Tahmin standart hata değeri, R²cal: Kalibrasyon R² değeri, R²val: Doğrulama R² değeri, PCn: Principal Component (Temel bileşen) sayısı, N: Veri sayısı, Nout: Aykırı veri sayısı, AVx: X değişkenleri için açıklanan varyans, AVy: X değişkenleri için açıklanan varyans Y



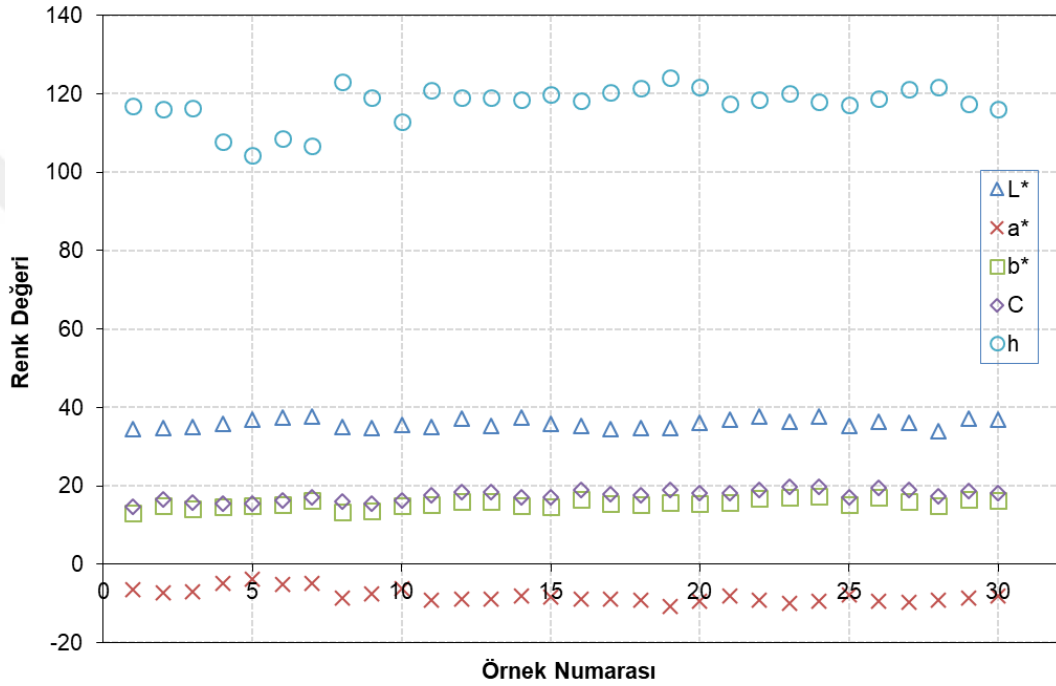
Şekil 4.12. Kampüs arazisi örneklerinin renk verilerine (L*a*b*C*h) ait azot (N) tahmini PLSR modeli skor grafiği



Şekil 4.13. Kampüs arazisi örneklerinin renk verilerine (L*a*b*C*h) ait azot (N) tahmini PLSR modeli için ölçülen ve tahmin edilen N (%) değerleri

4.3.2. Spor Sahası Renk Ölçer Veri Analizi Sonuçları

Çalışmada, spor sahasından elde edilen örneklere ilişkin renk ölçer verilerinin örnek numarasına göre renk değerlerinin (L^* , a^* , b^* , C^* , h) değişimi Şekil 4.14'te verilmiştir. L^* değerinin 30 ile 40 arasında, a^* değerinin -10 ile 0 arasında, b^* ve C^* değerlerinin 10 ile 20 arasında ve h değerinin 100 ile 125 arasında değiştiği görülmüştür.



Şekil 4.14. Spor sahası çim örneklerine ait renk değerlerinin değişimi

Renk değerleri ile yaprak su içeriği ve besin elementi konsantrasyonları arasındaki korelasyon değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir. Tabloya göre; a^* değeri ile su, K, Fe ve Zn, L^* değeri ile N ve Mn, h değeri ile Ca ve Mg, C^* değeri ile P konsantrasyonlarının daha yüksek oranda korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, a^* değeri ile su içeriği arasında yüksek düzeyde (-0.90), L^* değeri ile N konsantrasyonu arasında orta düzeyde (-0.57) korelasyon olduğu görülmüştür. Korelasyon katsayısının negatif olması a^* ve L^* değeri ile sırasıyla su ve N konsantrasyonu arasında ters bir ilişki olduğunu göstermektedir. Yani su ve N konsantrasyonu yüksek olan örneklerin a^* ve L^* değerinin düşük olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.7. Spor sahası çim örneklerine ait renk korelasyon değerleri

Renk Değeri	Su	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu
L*	-0.37*	-0.57**	-0.06	-0.05	0.18	0.29	0.02	-0.07	0.51**	0.12
a*	-0.90**	-0.45*	-0.21	-0.50**	0.79**	0.69**	0.90**	0.47**	0.15	0.26
b*	0.25	-0.19	0.23	0.31	-0.16	-0.06	-0.49**	-0.24	0.49**	0.11
C*	0.61**	0.08	0.28	0.47**	-0.48**	-0.36*	-0.78**	-0.38*	0.28	-0.04
h	0.88**	0.56**	0.11	0.41*	-0.82**	-0.75**	-0.80**	-0.45*	-0.36	-0.34

** Korelasyon değeri 0.01 seviyesinde önemli

* Korelasyon değeri 0.05 seviyesinde önemli

Çalışmada çim yaprağı su ve besin elementi konsantrasyonunu tahmin etmek amacıyla incelenen her iki renk modeli ($L^*a^*b^*$, L^*C^*h) için ayrı ayrı ve tüm parametrelerin birlikte kullanıldığı (L^* , a^* , b^* , C^* , h) PLS regresyon analizi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Yapılan incelemede, tüm renk parametrelerinin (L^* , a^* , b^* , C^* , h) birlikte kullanımının, renk modellerinin ayrı ayrı kullanılması durumuna göre, su içeriği dışında diğer besin elementleri için standart tahmin hata değerini (SEP) önemli düzeyde azaltmadığı görülmüştür. Örneğin N konsantrasyonu tahmini için her üç modelin de ($L^*a^*b^*$, L^*C^*h , $L^*a^*b^*C^*h$) sırasıyla %0.16, %0.15, %0.15 olarak birbirine yakın SEP değerleri verdiği tespit edilmiştir.

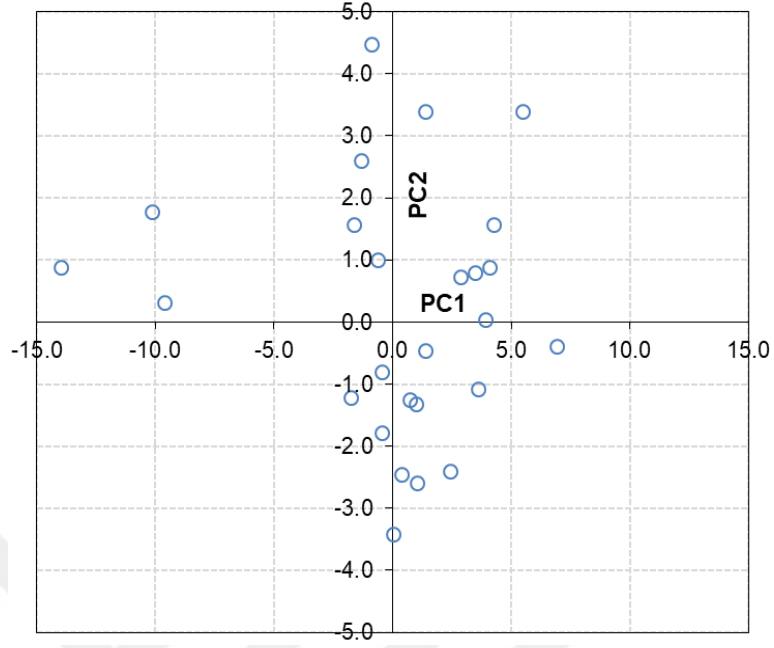
Spor sahasından alınan çim örneklerinin renk ölçer verilerine ait N konsantrasyonu tahmini için en iyi sonucun elde edildiği $L^*a^*b^*C^*h$ değerleri kullanılarak geliştirilen, örneklerin birbirinden ayrımının görülebileceği PLSR modeli skor grafiği Şekil 4.15’de verilmiştir.

Azot konsantrasyonu tahmini için geliştirilen PLSR modeline ait ölçülen ve tahmin edilen N değerleri grafiği Şekil 4.16’da verilmiştir. Buna göre çim bitkisi N konsantrasyonunun %0.15’lik SEP değeri ile tahmin edilebileceği ($R^2=0.69$) tespit edilmiştir.

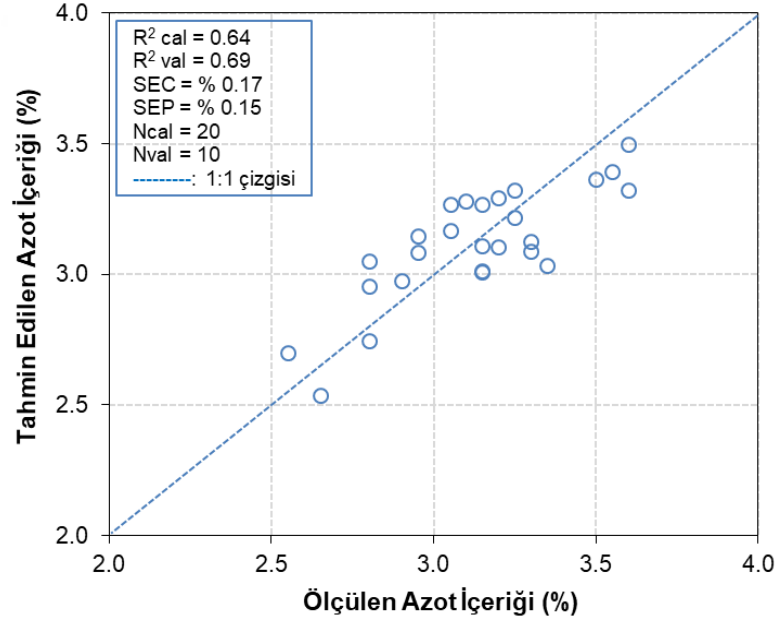
Çizelge 4.8. Spor sahası çim örneklerine ait renk PLSR analizi sonuçları

Bileşen	Renk Modeli	SEC	SEP	R ² cal	R ² val	PCn	N	Nout	AVx	AVy
Su	L*a*b	1.07	1.29	0.84	0.83	1	30	0	56%	84%
	L*C*h	1.21	1.24	0.76	0.76	2	30	2	%84; %14	%74; %2
	L*a*b*C*h	1.24	1.04	0.84	0.83	3	30	2	%84; %14	%82; %1
N	L*a*b	0.18	0.16	0.61	0.64	2	30	4	%46; %50	%59; %3
	L*C*h	0.17	0.15	0.64	0.68	2	30	4	%89; %10	%55; %9
	L*a*b*C*h	0.17	0.15	0.64	0.69	2	30	4	%85; %14	%55; %10
P	L*a*b	0.04	0.05	0.29	0.33	1	30	3	49%	29%
	L*C*h	0.05	0.05	0.27	0.34	2	30	3	%85; %10	%18; %9
	L*a*b*C*h	0.04	0.05	0.32	0.34	3	30	3	%80; %16	%20; %6
K	L*a*b	0.09	0.08	0.47	0.47	1	30	4	49%	47%
	L*C*h	0.10	0.07	0.48	0.49	1	30	3	87%	48%
	L*a*b*C*h	0.10	0.07	0.51	0.50	1	30	3	82%	51%
Ca	L*a*b	0.09	0.08	0.62	0.58	1	30	3	57%	62%
	L*C*h	0.08	0.08	0.72	0.74	1	30	2	89%	72%
	L*a*b*C*h	0.08	0.07	0.65	0.61	2	30	3	%85; %13	%64; %0
Mg	L*a*b	0.02	0.02	0.73	0.70	1	30	3	57%	73%
	L*C*h	0.02	0.02	0.75	0.72	1	30	3	90%	75%
	L*a*b*C*h	0.02	0.02	0.75	0.73	1	30	3	87%	75%
Fe	L*a*b	122.72	90.18	0.82	0.83	2	30	0	%63; %30	%81; %1
	L*C*h	103.41	81.34	0.88	0.87	2	30	1	%92; %6	%72; %16
	L*a*b*C*h	116.14	79.03	0.84	0.87	2	30	1	%89; %9	%73; %11
Cu	L*a*b	1.19	0.63	0.23	0.25	2	30	3	%65; %24	%17; %7
	L*C*h	1.13	0.69	0.30	0.28	2	30	3	%93; %4	%23; %7
	L*a*b*C*h	1.10	0.76	0.34	0.29	3	30	3	%90; %8	%22; %6
Mn	L*a*b	14.64	13.62	0.52	0.58	1	30	2	39%	52%
	L*C*h	12.66	13.74	0.64	0.62	2	30	3	%94; %5	%31; %33
	L*a*b*C*h	12.71	13.64	0.64	0.61	2	30	3	%91; %8	%31; %33
Zn	L*a*b	3.14	2.78	0.34	0.39	1	30	3	57%	34%
	L*C*h	3.17	2.69	0.33	0.43	2	30	3	%89; %10	%25; %8
	L*a*b*C*h	3.15	2.71	0.34	0.42	2	30	3	%84; %15	%27; %7

SEC: Kalibrasyon standart hata değeri, SEP: Tahmin standart hata değeri, R²cal: Kalibrasyon R² değeri, R²val: Doğrulama R² değeri, PCn: Principal Component (Temel bileşen) sayısı, N: Veri sayısı, Nout: Aykırı veri sayısı, AVx: X değişkenleri için açıklanan varyans, AVy: X değişkenleri için açıklanan varyans Y



Şekil 4.15. Spor sahası çim renk örneklerine (L*a*b*C*h) ait azot (N) tahmini PLSR modeli skor grafiği



Şekil 4.16. Spor sahası çim renk örneklerine (L*a*b*C*h) ait azot (N) tahmini PLSR modeli için ölçülen ve tahmin edilen N (%) değerleri

4.4. El Tipi NDVI Algılayıcı Veri Analizi Sonuçları

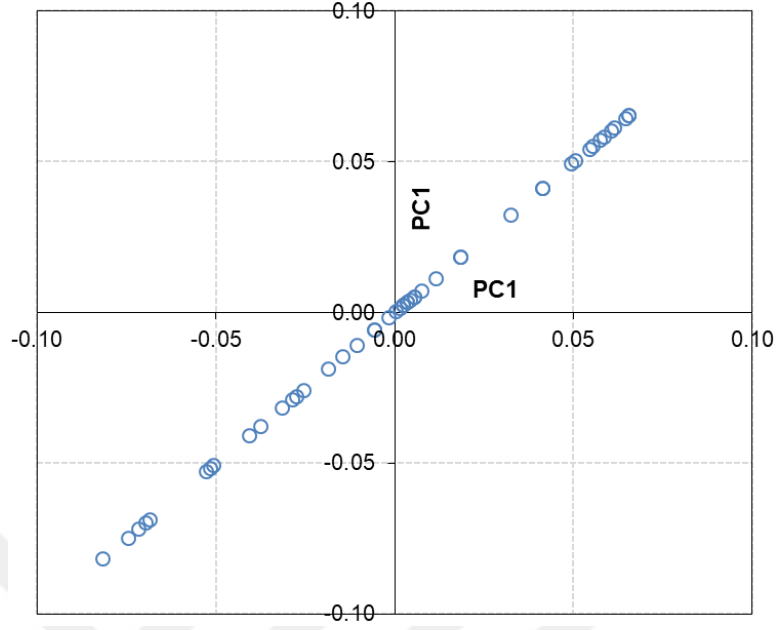
El tipi NDVI algılayıcısı sadece kampüs deneme arazisinde kullanılmıştır. Futbol antrenman sahasında bakım sorumlusu tarafından biçilen ve sahanın büyük bölümünü temsil eden çim bitkileri arasından örnek alınabildiği için NDVI algılayıcısı ile ölçüm yapılamamıştır.

Çalışmada kampüs deneme alanından elde edilen NDVI verilerinin istatistiksel analiz (PLSR) sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir. Sonuçlara göre, sadece çim yaprak biçkisi K konsantrasyonunun çok iyi düzeyde ($R^2>0.80$), Su, N, P, Ca, Fe ve Cu konsantrasyonlarının iyi düzeyde ($R^2= 0.50-0.80$) tahmin edilebileceği, Mg, Mn ve Zn konsantrasyonlarının ise tahmin edilebilirliğinin düşük düzeyde ($R^2<0.50$) olduğu belirlenmiştir. Tahmin standart hata (SEP) değeri su içeriği için %1.26 ve N konsantrasyonu için ise %0.20 olarak bulunmuştur.

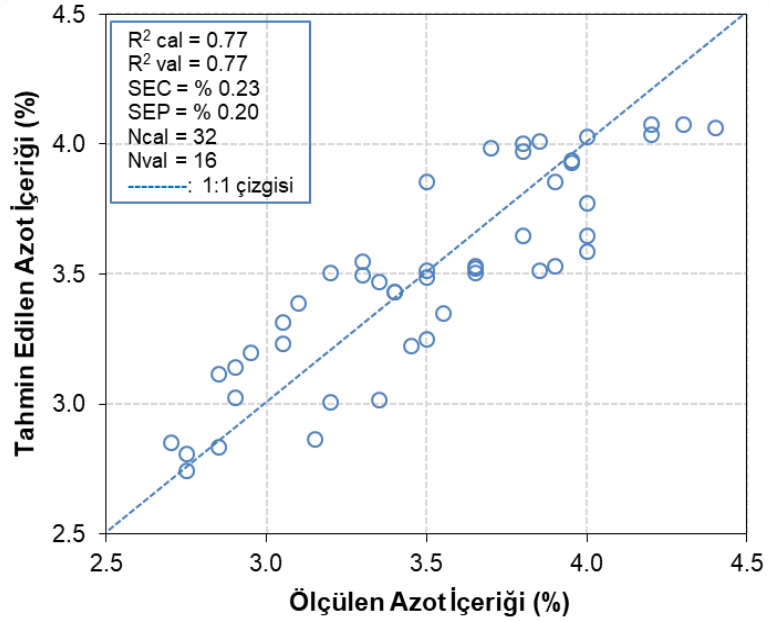
Kampüs çim deneme arazisi NIRS verilerine ait N konsantrasyonu tahmini için geliştirilen PLSR modeli skor grafiği Şekil 4.17’de, ölçülen ve tahmin edilen N değerleri grafiği ise Şekil 4.18’de verilmiştir. Buna göre çim bitkisi N konsantrasyonunun %0.20’lik SEP değeri ile tahmin edilebileceği ($R^2=0.77$) tespit edilmiştir.

Çizelge 4.9. Kampüs arazisi örneklerinin NDVI ölçer verilerine ait PLSR analizi sonuçları

Sistem	Bileşen	SEC	SEP	R ² cal	R ² val	PCn	N	Nout	AVx	AVy
Gseeker NDVI	Su	1.33	1.26	0.77	0.78	1	48	3	100	77
	N	0.23	0.20	0.77	0.77	1	48	1	100	77
	P	0.03	0.03	0.79	0.79	1	48	2	100	79
	K	0.09	0.09	0.92	0.92	1	48	3	100	92
	Ca	0.04	0.03	0.62	0.62	1	48	4	100	62
	Mg	0.01	0.01	0.04	0.04	1	48	0	100	4
	Fe	15.99	12.65	0.57	0.62	1	48	3	100	57
	Cu	0.92	0.71	0.72	0.71	1	48	3	100	72
	Mn	4.22	3.24	0.03	0.02	1	48	1	100	3
	Zn	2.49	2.00	0.43	0.44	1	48	4	100	43



Şekil 4.17. Kampüs arazisi örneklerinin NDVI ölçer verilerine ait azot (N) tahmini PLSR modeli skor grafiği



Şekil 4.18. Kampüs arazisi örneklerinin NDVI ölçer verilerine ait azot (N) tahmini PLSR modeli için ölçülen ve tahmin edilen N (%) değerleri

4.5. Prototip Optik Algılayıcı Veri Analizi Sonuçları

4.5.1. Kampüs Deneme Alanı Prototip Algılayıcı Veri Analizi Sonuçları

Çalışmada, kampüs deneme alanından elde edilen çim örnekleri için prototip algılayıcıya ait verilerin istatistiksel analizi (PLSR) yapılmıştır. Su içeriği ve N konsantrasyonuna ilişkin sonuçlar izelge 4.10'da verilmiştir. Buna göre, su ve N konsantrasyonu tahmini için NDVI vejetasyon indeksinin en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir. NDVI değeri ile su içeriği tahmininde SEP değeri %1.43 ve R^2 değeri 0.73 olarak belirlenmiştir. Ayrıca N konsantrasyonu tahmininde ise bu değerler sırasıyla %0.28 ve 0.68 olarak tespit edilmiştir (izelge 4.10.).

Fosfor ve K konsantrasyonu için de NDVI vejetasyon indeksinin diğer vejetasyon indeks değerlerine göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür (izelge 4.11.). Fosfor konsantrasyonu tahmini için SEP değeri %0.04, R^2 değeri ise 0.68 olarak belirlenmiştir. Potasyum konsantrasyonunun ise SEP: %0.23, R^2 : 0.65 değerleri ile tahmin edilebileceği bulunmuştur (izelge 4.11.).

Kalsiyum ve Mg konsantrasyonlarının tahmini için de vejetasyon indekslerinin birbirine yakın SEP değerler verdiği görülmüştür (izelge 4.12.) ancak iki besin elementinin sırasıyla NIR/G ve G-R vejetasyon indeksleri ile tahmininde de diğerlerine göre daha yüksek R^2 değerine sahip oldukları tespit edilmiştir. Kalsiyum tahmini için NIR/G indeksi ile SEP değeri %0.03 ($R^2=0.66$), G-R indeksi ile Mg tahmini için SEP değeri %0.01 ($R^2=0.47$) olarak belirlenmiştir (izelge 4.12.).

Demir konsantrasyonunun tahmininde en iyi sonucun elde edildiği vejetasyon indeksinin NIR-G olduğu tespit edilmiştir (izelge 4.13.). Bu vejetasyon indeksi ile geliştirilen modele ait SEP değeri 17.27 ppm ($R^2=0.27$) olarak belirlenmiştir. Bakır konsantrasyonu ise NDVI kullanılarak 1.06 ppm'lik SEP ($R^2=0.34$) değeri ile tahmin edilebilmiştir (izelge 4.13.). Buna göre, Fe ve Cu konsantrasyonun tahmin edilebilirliğinin düşük olduğu söylenebilir.

Mangan konsantrasyonu tahmini için NIR-R vejetasyon indeksi kullanıldığında SEP değerinin 3.03 ppm ($R^2=0.12$) olduğu görülmüştür (izelge 4.14). Ayrıca G/R vejetasyon indeksi ile Zn konsantrasyonunun tahminininin 2.47 ppm'lik SEP ($R^2=0.17$)

değeri ile yapılabileceği tespit edilmiştir (Çizelge 4.14.). Benzer şekilde, Mn ve Zn konsantrasyonunun da tahmin edilebilirliğinin düşük olduğu görülmektedir.

Kampüs çim deneme arazisinden elde edilen çim örneklerinin prototip algılayıcı verilerine (NDVI) ait N konsantrasyonu tahmini için geliştirilen PLSR modeli skor grafiği Şekil 4.19’da verilmiştir. Ayrıca, N konsantrasyonu tahmini için geliştirilen PLSR modeline ait ölçülen ve tahmin edilen N değerleri grafiği Şekil 4.20’de verilmiştir. Buna göre çim bitkisi N konsantrasyonunun %0.28’lik SEP tahmin hata değeri ile tahmin edilebileceği ($R^2=0.68$) tespit edilmiştir.

Çizelge 4.10. Kampüs arazisi örnekleri için prototip algılayıcı ile yaprak su içeriği ve N tahmin sonuçları

Bileşen	İndeks	SEC	SEP	R ² cal	R ² val	PCn	N	Nout	AV _x	AV _y
Su	NDVI	1.40	1.43	0.75	0.73	1	48	3	100	75
	NIR/R	1.84	1.69	0.60	0.65	1	48	3	100	60
	NIR/G	2.31	2.19	0.41	0.46	1	48	3	100	41
	G/R	2.39	2.30	0.24	0.25	1	48	4	100	24
	GNDVI	2.34	2.29	0.40	0.41	1	48	3	100	40
	NIR-R	2.50	2.45	0.16	0.21	1	48	2	100	16
	NIR-G	2.39	2.39	0.20	0.31	1	48	4	100	20
	G-R	2.89	2.72	0.00	0.00	1	48	3	100	0
	WDRVI	1.71	1.69	0.62	0.63	1	48	4	100	62
	EVI2	1.70	1.69	0.63	0.63	1	48	4	100	63
	RVI	1.92	1.74	0.59	0.61	1	48	3	100	59
	NDVI _{sadj}	1.92	1.74	0.59	0.61	1	48	3	100	59
	TVI	1.85	1.89	0.54	0.54	1	48	3	100	54
	GRVI	2.68	2.38	0.17	0.16	1	48	2	100	17
N	NDVI	0.26	0.28	0.69	0.68	1	48	3	100	69
	NIR/R	0.31	0.32	0.58	0.59	1	48	3	100	58
	NIR/G	0.33	0.31	0.54	0.58	1	48	2	100	54
	G/R	0.46	0.41	0.06	0.04	1	48	1	100	6
	GNDVI	0.33	0.32	0.55	0.55	1	48	2	100	55
	NIR-R	0.36	0.39	0.31	0.30	1	48	4	100	31
	NIR-G	0.36	0.38	0.32	0.33	1	48	4	100	32
	G-R	0.47	0.44	0.01	0.03	1	48	0	100	1
	WDRVI	0.30	0.31	0.62	0.62	1	48	3	100	62
	EVI2	0.30	0.31	0.62	0.63	1	48	3	100	62
	RVI	0.31	0.31	0.57	0.60	1	48	3	100	57
	NDVI _{sadj}	0.31	0.31	0.57	0.60	1	48	3	100	57
	TVI	0.32	0.34	0.55	0.56	1	48	2	100	55
	GRVI	0.46	0.41	0.05	0.04	1	48	1	100	5

SEC: Kalibrasyon standart hata değeri, SEP: Tahmin standart hata değeri, R²cal: Kalibrasyon R² değeri, R²val: Doğrulama R² değeri, PCn: Principal Component (Temel bileşen) sayısı, N: Veri sayısı, Nout: Aykırı veri sayısı, AV_x: X değişkenleri için açıklanan varyans, AV_y: X değişkenleri için açıklanan varyans Y

Çizelge 4.11. Kampüs arazisi örnekleri için prototip algılayıcı ile yaprak P ve K tahmin sonuçları

Bileşen	İndeks	SEC	SEP	R ² cal	R ² val	PCn	N	Nout	AVx	AVy
P	NDVI	0.05	0.04	0.64	0.68	1	48	3	100	64
	NIR/R	0.06	0.05	0.47	0.48	1	48	2	100	47
	NIR/G	0.06	0.05	0.49	0.56	1	48	3	100	49
	G/R	0.07	0.07	0.10	0.06	1	48	3	100	10
	GNDVI	0.05	0.05	0.54	0.56	1	48	4	100	54
	NIR-R	0.07	0.06	0.10	0.11	1	48	0	100	10
	NIR-G	0.07	0.06	0.11	0.13	1	48	0	100	11
	G-R	0.08	0.07	0.01	0.00	1	48	0	100	1
	WDRVI	0.05	0.06	0.47	0.48	1	48	3	100	47
	EVI2	0.05	0.06	0.53	0.54	1	48	3	100	53
	RVI	0.05	0.05	0.49	0.48	1	48	2	100	49
	NDVI _{sadj}	0.05	0.05	0.49	0.48	1	48	2	100	49
	TVI	0.05	0.06	0.46	0.45	1	48	2	100	46
GRVI	0.07	0.07	0.04	0.04	1	48	1	100	4	
K	NDVI	0.20	0.23	0.65	0.65	1	48	3	100	65
	NIR/R	0.21	0.24	0.63	0.62	1	48	3	100	63
	NIR/G	0.23	0.26	0.56	0.52	1	48	3	100	56
	G/R	0.32	0.35	0.11	0.10	1	48	2	100	11
	GNDVI	0.24	0.24	0.52	0.57	1	48	3	100	52
	NIR-R	0.29	0.32	0.22	0.26	1	48	4	100	22
	NIR-G	0.28	0.32	0.22	0.27	1	48	4	100	22
	G-R	0.35	0.34	0.02	0.04	1	48	0	100	2
	WDRVI	0.22	0.24	0.60	0.56	1	48	2	100	60
	EVI2	0.22	0.24	0.60	0.57	1	48	2	100	60
	RVI	0.22	0.24	0.60	0.54	1	48	2	100	60
	NDVI _{sadj}	0.22	0.24	0.60	0.54	1	48	2	100	60
	TVI	0.23	0.25	0.57	0.57	1	48	3	100	57
GRVI	0.34	0.35	0.07	0.04	1	48	1	100	7	

SEC: Kalibrasyon standart hata değeri, SEP: Tahmin standart hata değeri, R²cal: Kalibrasyon R² değeri, R²val: Doğrulama R² değeri, PCn: Principal Component (Temel bileşen) sayısı, N: Veri sayısı, Nout: Aykırı veri sayısı, AVx: X değişkenleri için açıklanan varyans, AVy: X değişkenleri için açıklanan varyans Y

Çizelge 4.12. Kampüs arazisi örnekleri için prototip algılayıcı ile Ca ve Mg tahmin sonuçları

Bileşen	İndeks	SEC	SEP	R ² cal	R ² val	PCn	N	Nout	AVx	AVy
Ca	NDVI	0.04	0.04	0.36	0.36	1	48	2	100	36
	NIR/R	0.04	0.04	0.37	0.38	1	48	4	100	37
	NIR/G	0.03	0.03	0.64	0.66	1	48	3	100	64
	G/R	0.06	0.05	0.01	0.01	1	48	1	100	1
	GNDVI	0.03	0.03	0.64	0.63	1	48	3	100	64
	NIR-R	0.05	0.05	0.00	0.00	1	48	0	100	0
	NIR-G	0.04	0.04	0.32	0.36	1	48	4	100	32
	G-R	0.05	0.05	0.04	0.08	1	48	0	100	4
	WDRVI	0.04	0.04	0.35	0.36	1	48	4	100	35
	EVI2	0.04	0.04	0.34	0.37	1	48	4	100	34
	RVI	0.04	0.04	0.29	0.29	1	48	3	100	29
	NDVI _{sadj}	0.04	0.04	0.29	0.29	1	48	3	100	29
	TVI	0.04	0.04	0.29	0.27	1	48	3	100	29
GRVI	0.06	0.05	0.00	0.00	1	48	1	100	0	
Mg	NDVI	0.01	0.01	0.02	0.02	1	48	0	100	2
	NIR/R	0.01	0.01	0.12	0.19	1	48	2	100	12
	NIR/G	0.01	0.01	0.02	0.02	1	48	2	100	2
	G/R	0.01	0.01	0.24	0.25	1	48	1	100	24
	GNDVI	0.01	0.01	0.00	0.00	1	48	2	100	0
	NIR-R	0.01	0.01	0.36	0.34	1	48	2	100	36
	NIR-G	0.01	0.01	0.39	0.37	1	48	4	100	39
	G-R	0.01	0.01	0.46	0.47	1	48	3	100	46
	WDRVI	0.01	0.01	0.06	0.11	1	48	0	100	6
	EVI2	0.01	0.01	0.06	0.11	1	48	0	100	6
	RVI	0.01	0.01	0.05	0.10	1	48	0	100	5
	NDVI _{sadj}	0.01	0.01	0.05	0.10	1	48	0	100	5
	TVI	0.01	0.01	0.05	0.09	1	48	0	100	5
GRVI	0.01	0.01	0.31	0.29	1	48	2	100	31	

SEC: Kalibrasyon standart hata değeri, SEP: Tahmin standart hata değeri, R²cal: Kalibrasyon R² değeri, R²val: Doğrulama R² değeri, PCn: Principal Component (Temel bileşen) sayısı, N: Veri sayısı, Nout: Aykırı veri sayısı, AVx: X değişkenleri için açıklanan varyans, AVy: X değişkenleri için açıklanan varyans Y

Çizelge 4.13. Kampüs arazisi örnekleri için prototip algılayıcı ile Fe ve Cu tahmin sonuçları

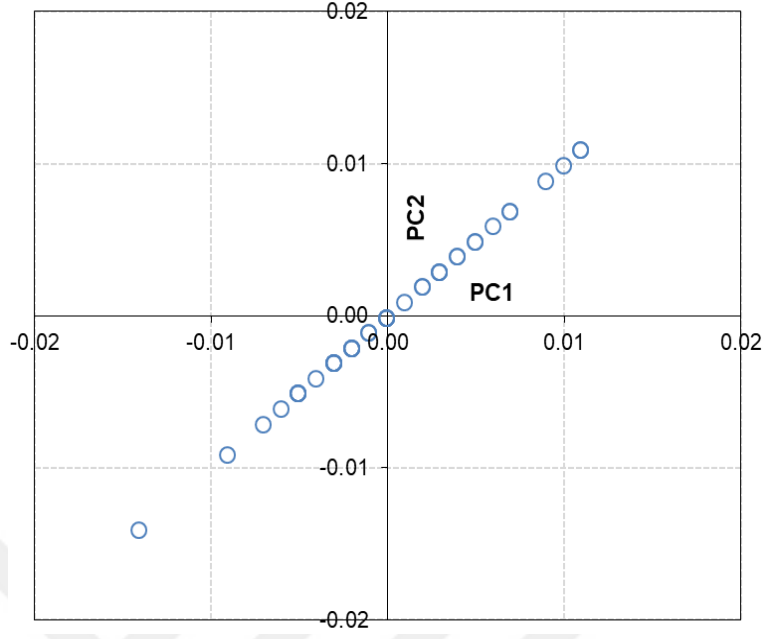
Bileşen	İndeks	SEC	SEP	R ² cal	R ² val	PCn	N	Nout	AVx	AVy
Fe	NDVI	21.97	19.61	0.15	0.16	1	48	0	100	15
	NIR/R	16.15	17.52	0.25	0.25	1	48	3	100	25
	NIR/G	16.43	18.40	0.17	0.26	1	48	4	100	17
	G/R	23.06	20.03	0.02	0.01	1	48	0	100	2
	GNDVI	23.31	20.37	0.00	0.00	1	48	0	100	0
	NIR-R	21.34	17.59	0.23	0.24	1	48	4	100	23
	NIR-G	21.35	17.27	0.23	0.27	1	48	4	100	23
	G-R	22.83	19.71	0.06	0.04	1	48	2	100	6
	WDRVI	16.40	17.56	0.22	0.24	1	48	3	100	22
	EVI2	16.50	17.57	0.21	0.24	1	48	3	100	21
	RVI	16.42	17.78	0.22	0.22	1	48	3	100	22
	NDVI _{sadj}	16.42	17.78	0.22	0.22	1	48	3	100	22
	TVI	16.77	18.12	0.19	0.21	1	48	3	100	19
GRVI	23.06	20.03	0.02	0.01	1	48	0	100	2	
Cu	NDVI	1.25	1.06	0.49	0.34	1	48	0	100	49
	NIR/R	1.34	1.07	0.41	0.41	1	48	2	100	41
	NIR/G	1.52	1.18	0.22	0.24	1	48	4	100	22
	G/R	1.41	1.06	0.31	0.30	1	48	5	100	31
	GNDVI	1.45	1.17	0.28	0.26	1	48	5	100	28
	NIR-R	1.51	1.14	0.21	0.25	1	48	3	100	21
	NIR-G	1.47	1.13	0.21	0.23	1	48	3	100	21
	G-R	1.57	1.20	0.14	0.11	1	48	5	100	14
	WDRVI	1.35	1.07	0.41	0.40	1	48	2	100	41
	EVI2	1.35	1.07	0.41	0.40	1	48	2	100	41
	RVI	1.34	1.13	0.41	0.34	1	48	2	100	41
	NDVI _{sadj}	1.34	1.13	0.41	0.34	1	48	2	100	41
	TVI	1.40	1.16	0.36	0.31	1	48	2	100	36
GRVI	1.51	1.10	0.23	0.24	1	48	4	100	23	

SEC: Kalibrasyon standart hata değeri, SEP: Tahmin standart hata değeri, R²cal: Kalibrasyon R² değeri, R²val: Doğrulama R² değeri, PCn: Principal Component (Temel bileşen) sayısı, N: Veri sayısı, Nout: Aykırı veri sayısı, AVx: X değişkenleri için açıklanan varyans, AVy: Y değişkenleri için açıklanan varyans

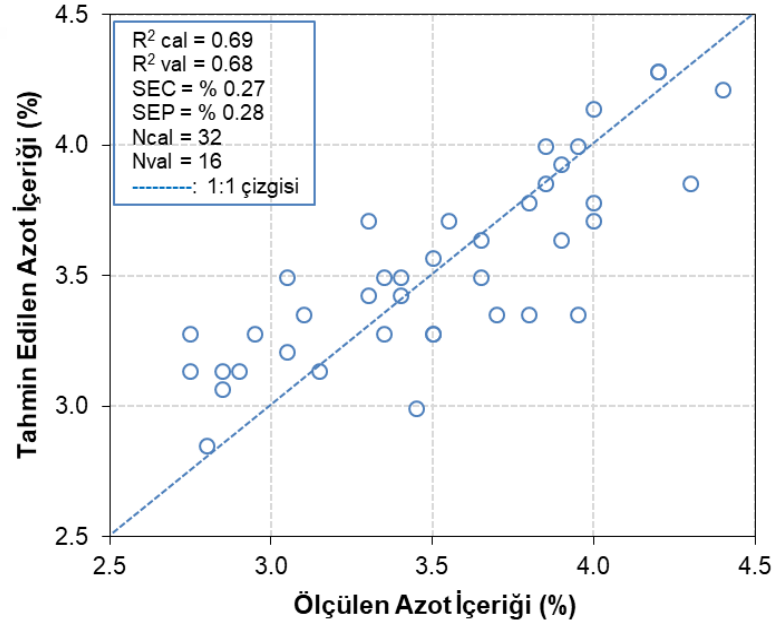
Çizelge 4.14. Kampüs arazisi örnekleri için prototip algılayıcı ile Mn ve Zn tahmin sonuçları

Bileşen	İndeks	SEC	SEP	R ² cal	R ² val	PCn	N	Nout	AVx	AVy
Mn	NDVI	3.95	3.31	0.01	0.03	1	48	1	100	1
	NIR/R	3.90	3.26	0.00	0.00	1	48	2	100	0
	NIR/G	3.88	3.20	0.01	0.04	1	48	2	100	1
	G/R	3.89	3.25	0.01	0.03	1	48	2	100	1
	GNDVI	3.88	3.21	0.01	0.03	1	48	2	100	1
	NIR-R	4.40	3.03	0.07	0.12	1	48	3	100	7
	NIR-G	3.77	3.09	0.03	0.03	1	48	4	100	3
	G-R	3.82	3.23	0.00	0.03	1	48	3	100	0
	WDRVI	3.90	3.25	0.00	0.00	1	48	2	100	0
	EVI2	3.90	3.25	0.00	0.00	1	48	2	100	0
	RVI	3.90	3.26	0.00	0.00	1	48	2	100	0
	NDVI _{sadj}	3.90	3.26	0.00	0.00	1	48	2	100	0
	TVI	3.90	3.26	0.00	0.00	1	48	2	100	0
GRVI	3.67	3.25	0.01	0.02	1	48	3	100	1	
Zn	NDVI	3.20	3.30	0.34	0.30	1	48	2	100	34
	NIR/R	3.29	3.31	0.30	0.25	1	48	3	100	30
	NIR/G	3.58	3.62	0.14	0.12	1	48	2	100	14
	G/R	3.22	2.47	0.18	0.17	1	48	4	100	18
	GNDVI	3.49	3.68	0.12	0.14	1	48	3	100	12
	NIR-R	3.03	3.60	0.10	0.14	1	48	3	100	10
	NIR-G	3.04	3.57	0.10	0.16	1	48	3	100	10
	G-R	3.65	2.48	0.04	0.11	1	48	2	100	4
	WDRVI	2.92	3.45	0.14	0.13	1	48	3	100	14
	EVI2	2.93	3.45	0.14	0.13	1	48	3	100	14
	RVI	2.88	3.41	0.17	0.16	1	48	3	100	17
	NDVI _{sadj}	2.88	3.41	0.17	0.16	1	48	3	100	17
	TVI	2.92	3.45	0.14	0.13	1	48	3	100	14
GRVI	3.34	2.56	0.17	0.12	1	48	4	100	17	

SEC: Kalibrasyon standart hata değeri, SEP: Tahmin standart hata değeri, R²cal: Kalibrasyon R² değeri, R²val: Doğrulama R² değeri, PCn: Principal Component (Temel bileşen) sayısı, N: Veri sayısı, Nout: Aykırı veri sayısı, AVx: X değişkenleri için açıklanan varyans, AVy: X değişkenleri için açıklanan varyans Y



Şekil 4.19. Kampüs arazisi çim örneklerinin prototip algılayıcı verilerine (NDVI) ait azot (N) tahmini PLSR modeli skor grafiği



Şekil 4.20. Kampüs arazisi çim örneklerinin prototip algılayıcı verilerine (NDVI) ait azot (N) tahmini PLSR modeli için ölçülen ve tahmin edilen N (%) değerleri

4.5.2. Spor Sahası Prototip Algılayıcı Veri Analizi Sonuçları

Çalışmada, spor sahasından elde edilen çim örneklerine ilişkin prototip algılayıcıya ait verilerin istatistiksel analizi (PLSR) yapılmıştır. Sonuçlara göre, su içeriği tahmini için en iyi sonucun elde edildiği vejetasyon indeksinin NIR-G olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.13). Bu indeksin kullanılması durumunda su içeriği tahmininde SEP değeri %0.96 ve R^2 değeri 0.75 olarak belirlenmiştir. Azot konsantrasyonu tahmininde ise, vejetasyon indeksleri birbirine yakın SEP değerleri vermiştir ancak GRVI kullanıldığında modele ait SEP değerinin daha düşük olduğu (SEP=%0.20) ($R^2=0.34$) tespit edilmiştir (Çizelge 4.15.).

Fosfor konsantrasyonu tahmini için GNDVI vejetasyon indeksinin diğer vejetasyon indeks değerlerine göre daha düşük SEP değerine (%0.03) sahip olduğu ($R^2=0.20$) görülmüştür (Çizelge 4.16.). K konsantrasyonu tahmini için en uygun indeksin G-R olduğu ve bu indeks ile SEP değeri; %0.07, R^2 değeri ise 0.64 olarak belirlenmiştir. (Çizelge 4.16.).

Kalsiyum ve Mg konsantrasyonlarının tahmini için en uygun vejetasyon indekslerinin sırasıyla NIR-R ve NIR-G olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.17.). Bu vejetasyon indeksleri ile yapılan tahminde diğerlerine göre daha yüksek R^2 ve daha düşük SEP değerine elde edilmiştir. Kalsiyum tahmini için SEP değeri %0.06 ($R^2=0.62$) ve Mg tahmini için %0.02 ($R^2=0.51$) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.17.).

Demir konsantrasyonunun tahmininde en iyi sonucun elde edildiği vejetasyon indeksinin NIR-R olduğu tespit edilmiştir. Bu vejetasyon indeksi ile geliştirilen modele ait SEP değeri 96.0 ppm ($R^2=0.90$) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.18.). Bakır konsantrasyonu ise NIR-G kullanılarak 0.64 ppm'lik SEP ($R^2=0.16$) değeri ile tahmin edilebilmiştir (Çizelge 4.18.).

Mangan konsantrasyonu tahmini için GNDVI vejetasyon indeksi kullanıldığında SEP değerinin 16.40 ppm ($R^2=0.38$) olduğu görülmüştür. Ayrıca GRVI vejetasyon indeksi ile Zn konsantrasyonunun tahmininin 3.32 ppm'lik SEP ($R^2=0.40$) değeri ile yapılabileceği tespit edilmiştir (Çizelge 4.19.).

Spor sahasından alınan çim örnekleri için prototip algılayıcı verilerine (NDVI) ait N konsantrasyonu tahmini için geliştirilen PLSR modeli skor grafiği Şekil 4.21'de verilmiştir. Ayrıca, N konsantrasyonu tahmini için geliştirilen PLSR modeline ait

ölçülen ve tahmin edilen N değerleri grafiği Şekil 4.22’de verilmiştir. Buna göre, çim bitkisi N konsantrasyonunun %0.22’lik SEP değeri ile tahmin edilebileceği ($R^2=0.40$) tespit edilmiştir.

Çizelge 4.15. Spor sahası örnekleri için prototip algılayıcı ile su içeriği ve N tahmin sonuçları

Bileşen	İndeks	SEC	SEP	R ² cal	R ² val	PCn	N	Nout	AVx	AVy
Su	NDVI	2.24	2.19	0.47	0.41	1	30	3	100	47
	NIR/R	2.48	2.41	0.31	0.36	1	30	2	100	31
	NIR/G	3.20	2.58	0.00	0.00	1	30	0	100	0
	G/R	1.53	1.40	0.74	0.75	1	30	3	100	74
	GNDVI	3.20	2.58	0.00	0.00	1	30	0	100	0
	NIR-R	1.45	0.97	0.79	0.81	1	30	3	100	79
	NIR-G	1.53	0.96	0.76	0.75	1	30	2	100	76
	G-R	1.42	1.51	0.78	0.75	1	30	0	100	78
	WDRVI	2.33	2.28	0.39	0.42	1	30	2	100	39
	EVI2	2.28	2.23	0.41	0.44	1	30	2	100	41
	RVI	2.30	2.31	0.25	0.24	1	30	4	100	25
	NDVIsadj	2.30	2.31	0.25	0.24	1	30	4	100	25
	TVI	2.30	2.26	0.40	0.43	1	30	2	100	40
	GRVI	1.37	1.28	0.78	0.78	1	30	3	100	79
N	NDVI	0.23	0.22	0.50	0.40	1	30	2	100	50
	NIR/R	0.25	0.24	0.40	0.32	1	30	2	100	40
	NIR/G	0.31	0.26	0.10	0.11	1	30	0	100	10
	G/R	0.23	0.20	0.41	0.38	1	30	2	100	41
	GNDVI	0.24	0.25	0.20	0.18	1	30	3	100	20
	NIR-R	0.25	0.22	0.28	0.30	1	30	3	100	28
	NIR-G	0.25	0.22	0.26	0.30	1	30	3	100	26
	G-R	0.27	0.23	0.17	0.19	1	30	1	100	17
	WDRVI	0.25	0.24	0.43	0.32	1	30	2	100	43
	EVI2	0.25	0.24	0.43	0.32	1	30	2	100	43
	RVI	0.25	0.24	0.42	0.31	1	30	2	100	42
	NDVIsadj	0.25	0.24	0.42	0.31	1	30	2	100	42
	TVI	0.24	0.24	0.45	0.31	1	30	2	100	45
	GRVI	0.27	0.20	0.33	0.34	1	30	2	100	33

SEC: Kalibrasyon standart hata değeri, SEP: Tahmin standart hata değeri, R²cal: Kalibrasyon R² değeri, R²val: Doğrulama R² değeri, PCn: Principal Component (Temel bileşen) sayısı, N: Veri sayısı, Nout: Aykırı veri sayısı, AVx: X değişkenleri için açıklanan varyans, AVy: X değişkenleri için açıklanan varyans Y

Çizelge 4.16. Spor sahası örnekleri için prototip algılayıcı ile P ve K tahmin sonuçları

Bileşen	İndeks	SEC	SEP	R ² cal	R ² val	PCn	N	Nout	AVx	AVy
P	NDVI	0.06	0.04	0.21	0.19	1	30	3	100	21
	NIR/R	0.06	0.04	0.11	0.10	1	30	3	100	11
	NIR/G	0.06	0.05	0.00	0.00	1	30	1	100	0
	G/R	0.05	0.05	0.23	0.20	1	30	2	100	23
	GNDVI	0.06	0.03	0.03	0.02	1	30	1	100	3
	NIR-R	0.06	0.04	0.16	0.19	1	30	2	100	16
	NIR-G	0.06	0.04	0.15	0.18	1	30	2	100	15
	G-R	0.06	0.05	0.21	0.21	1	30	1	100	21
	WDRVI	0.06	0.04	0.14	0.11	1	30	3	100	14
	EVI2	0.06	0.04	0.15	0.12	1	30	3	100	15
	RVI	0.06	0.04	0.14	0.11	1	30	3	100	14
	NDVI _{sadj}	0.06	0.04	0.14	0.11	1	30	3	100	14
	TVI	0.06	0.04	0.15	0.09	1	30	3	100	15
	GRVI	0.06	0.05	0.22	0.25	1	30	2	100	22
K	NDVI	0.10	0.10	0.22	0.23	1	30	1	100	22
	NIR/R	0.13	0.10	0.14	0.13	1	30	2	100	14
	NIR/G	0.11	0.10	0.00	0.00	1	30	2	100	0
	G/R	0.11	0.07	0.39	0.19	1	30	2	100	39
	GNDVI	0.11	0.10	0.00	0.01	1	30	2	100	0
	NIR-R	0.11	0.09	0.40	0.38	1	30	2	100	40
	NIR-G	0.11	0.09	0.38	0.38	1	30	2	100	38
	G-R	0.07	0.07	0.67	0.64	1	30	4	100	67
	WDRVI	0.10	0.10	0.33	0.30	1	30	3	100	33
	EVI2	0.10	0.10	0.35	0.31	1	30	3	100	35
	RVI	0.10	0.11	0.32	0.27	1	30	3	100	32
	NDVI _{sadj}	0.10	0.11	0.32	0.27	1	30	3	100	32
	TVI	0.10	0.10	0.34	0.30	1	30	3	100	34
	GRVI	0.09	0.09	0.40	0.44	1	30	2	100	40

SEC: Kalibrasyon standart hata değeri, SEP: Tahmin standart hata değeri, R²cal: Kalibrasyon R² değeri, R²val: Doğrulama R² değeri, PCn: Principal Component (Temel bileşen) sayısı, N: Veri sayısı, Nout: Aykırı veri sayısı, AVx: X değişkenleri için açıklanan varyans, AVy: X değişkenleri için açıklanan varyans Y

Çizelge 4.17. Spor sahası örnekleri için prototip algılayıcı ile Ca ve Mg tahmin sonuçları

Bileşen	İndeks	SEC	SEP	R ² cal	R ² val	PCn	N	Nout	AVx	AVy
Ca	NDVI	0.12	0.16	0.12	0.18	1	30	1	100	12
	NIR/R	0.15	0.17	0.01	0.07	1	30	0	100	1
	NIR/G	0.14	0.09	0.00	0.02	1	30	2	100	0
	G/R	0.10	0.13	0.36	0.37	1	30	2	100	36
	GNDVI	0.14	0.09	0.00	0.01	1	30	2	100	0
	NIR-R	0.09	0.06	0.57	0.62	1	30	2	100	57
	NIR-G	0.09	0.06	0.62	0.60	1	30	3	100	62
	G-R	0.09	0.11	0.59	0.58	1	30	0	100	59
	WDRVI	0.13	0.16	0.11	0.19	1	30	1	100	11
	EVI2	0.12	0.16	0.12	0.20	1	30	1	100	12
	RVI	0.13	0.16	0.11	0.19	1	30	1	100	11
	NDVI _{sadj}	0.13	0.16	0.11	0.19	1	30	1	100	11
	TVI	0.12	0.16	0.12	0.20	1	30	1	100	12
	GRVI	0.09	0.07	0.41	0.47	1	30	3	100	51
Mg	NDVI	0.03	0.02	0.39	0.35	1	30	2	100	39
	NIR/R	0.03	0.02	0.41	0.23	1	30	2	100	41
	NIR/G	0.04	0.02	0.08	0.02	1	30	2	100	8
	G/R	0.03	0.02	0.40	0.35	1	30	3	100	40
	GNDVI	0.04	0.02	0.09	0.07	1	30	2	100	9
	NIR-R	0.03	0.02	0.52	0.51	1	30	2	100	52
	NIR-G	0.03	0.02	0.53	0.51	1	30	2	100	53
	G-R	0.03	0.02	0.41	0.43	1	30	2	100	41
	WDRVI	0.03	0.02	0.42	0.37	1	30	3	100	42
	EVI2	0.03	0.02	0.44	0.40	1	30	3	100	44
	RVI	0.03	0.02	0.44	0.41	1	30	3	100	44
	NDVI _{sadj}	0.03	0.02	0.44	0.41	1	30	3	100	44
	TVI	0.03	0.02	0.43	0.39	1	30	2	100	43
	GRVI	0.03	0.02	0.45	0.49	1	30	2	100	45

SEC: Kalibrasyon standart hata değeri, SEP: Tahmin standart hata değeri, R²cal: Kalibrasyon R² değeri, R²val: Doğrulama R² değeri, PCn: Principal Component (Temel bileşen) sayısı, N: Veri sayısı, Nout: Aykırı veri sayısı, AVx: X değişkenleri için açıklanan varyans, AVy: X değişkenleri için açıklanan varyans Y

Çizelge 4.18. Spor sahası örnekleri için prototip algılayıcı ile Fe ve Cu tahmin sonuçları

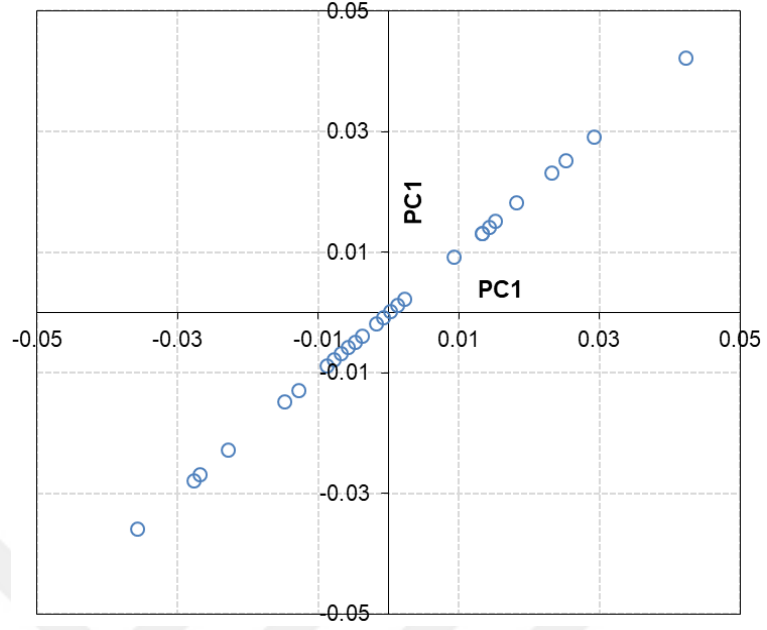
Bileşen	İndeks	SEC	SEP	R ² cal	R ² val	PCn	N	Nout	AVx	AVy
Fe	NDVI	226.82	226.05	0.35	0.31	1	30	3	100	35
	NIR/R	241.85	243.76	0.26	0.24	1	30	3	100	26
	NIR/G	248.71	260.08	0.12	0.09	1	30	2	100	12
	G/R	164.63	168.67	0.62	0.64	1	30	0	100	62
	GNDVI	251.74	262.52	0.10	0.10	1	30	3	100	10
	NIR-R	109.65	96.00	0.84	0.90	1	30	3	100	84
	NIR-G	115.62	115.80	0.82	0.83	1	30	2	100	82
	G-R	86.80	108.93	0.90	0.86	1	30	3	100	90
	WDRVI	236.19	232.22	0.25	0.34	1	30	2	100	25
	EVI2	232.60	226.38	0.30	0.34	1	30	3	100	30
	RVI	237.57	233.21	0.27	0.30	1	30	3	100	27
	NDVISadj	237.57	233.21	0.27	0.30	1	30	3	100	27
	TVI	234.54	228.80	0.29	0.33	1	30	3	100	29
	GRVI	153.27	150.61	0.70	0.70	1	30	3	100	70
Cu	NDVI	1.36	0.79	0.01	0.05	1	30	1	100	1
	NIR/R	1.39	0.86	0.02	0.03	1	30	1	100	2
	NIR/G	1.37	0.85	0.00	0.01	1	30	2	100	0
	G/R	1.34	0.73	0.04	0.10	1	30	1	100	4
	GNDVI	1.37	0.82	0.00	0.00	1	30	1	100	0
	NIR-R	1.21	0.64	0.17	0.16	1	30	2	100	17
	NIR-G	1.21	0.64	0.18	0.16	1	30	2	100	18
	G-R	1.10	0.66	0.17	0.20	1	30	3	100	17
	WDRVI	1.39	0.79	0.02	0.08	1	30	2	100	2
	EVI2	1.35	0.79	0.02	0.05	1	30	1	100	2
	RVI	1.35	0.79	0.03	0.06	1	30	1	100	3
	NDVISadj	1.35	0.79	0.03	0.06	1	30	1	100	3
	TVI	1.36	0.84	0.02	0.02	1	30	0	100	2
	GRVI	1.34	0.74	0.08	0.06	1	30	1	100	8

SEC: Kalibrasyon standart hata değeri, SEP: Tahmin standart hata değeri, R²cal: Kalibrasyon R² değeri, R²val: Doğrulama R² değeri, PCn: Principal Component (Temel bileşen) sayısı, N: Veri sayısı, Nout: Aykırı veri sayısı, AVx: X değişkenleri için açıklanan varyans, AVy: X değişkenleri için açıklanan varyans Y

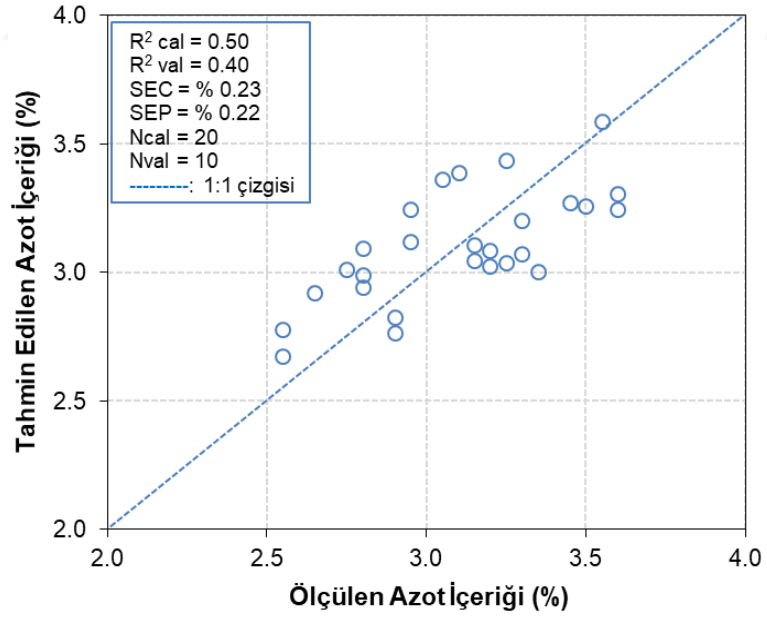
Çizelge 4.19. Spor sahası örnekleri için prototip algılayıcı ile Mn ve Zn tahmin sonuçları

Bileşen	İndeks	SEC	SEP	R ² cal	R ² val	PCn	N	Nout	AVx	AVy
Mn	NDVI	20.18	18.95	0.22	0.20	1	30	0	100	22
	NIR/R	19.54	17.92	0.27	0.31	1	30	1	100	27
	NIR/G	17.79	17.39	0.39	0.30	1	30	1	100	39
	G/R	18.35	18.52	0.19	0.25	1	30	3	100	19
	GNDVI	17.85	16.40	0.39	0.38	1	30	1	100	39
	NIR-R	19.33	19.82	0.08	0.12	1	30	2	100	8
	NIR-G	19.17	19.79	0.10	0.13	1	30	2	100	10
	G-R	20.02	20.55	0.03	0.06	1	30	2	100	3
	WDRVI	17.99	17.51	0.32	0.33	1	30	3	100	32
	EVI2	18.11	17.47	0.31	0.33	1	30	3	100	31
	RVI	17.72	17.63	0.34	0.32	1	30	3	100	34
	NDVI _{sadj}	17.72	17.63	0.34	0.32	1	30	3	100	34
	TVI	19.86	17.79	0.24	0.30	1	30	0	100	24
GRVI	19.65	19.01	0.11	0.19	1	30	3	100	11	
Zn	NDVI	3.74	3.62	0.15	0.20	1	30	3	100	15
	NIR/R	3.74	3.62	0.15	0.20	1	30	3	100	15
	NIR/G	4.06	3.94	0.00	0.01	1	30	3	100	0
	G/R	3.49	3.36	0.27	0.25	1	30	2	100	27
	GNDVI	4.54	4.27	0.06	-0.14	1	30	0	100	6
	NIR-R	3.88	3.32	0.25	0.25	1	30	2	100	25
	NIR-G	3.43	3.33	0.25	0.25	1	30	1	100	25
	G-R	3.43	3.32	0.33	0.35	1	30	3	100	33
	WDRVI	3.71	3.55	0.17	0.23	1	30	3	100	17
	EVI2	3.69	3.51	0.17	0.25	1	30	3	100	17
	RVI	3.69	3.57	0.17	0.22	1	30	3	100	17
	NDVI _{sadj}	3.69	3.57	0.17	0.22	1	30	3	100	17
	TVI	3.74	3.57	0.23	0.23	1	30	4	100	23
GRVI	3.29	3.32	0.31	0.40	1	30	3	100	31	

SEC: Kalibrasyon standart hata değeri, SEP: Tahmin standart hata değeri, R²cal: Kalibrasyon R² değeri, R²val: Doğrulama R² değeri, PCn: Principal Component (Temel bileşen) sayısı, N: Veri sayısı, Nout: Aykırı veri sayısı, AVx: X değişkenleri için açıklanan varyans, AVy: X değişkenleri için açıklanan varyans Y



Şekil 4.21. Spor sahası örnekleri için prototip algılayıcı verilerine ait azot (N) tahmini PLSR modeli skor grafiği



Şekil 4.22. Spor sahası örnekleri için prototip algılayıcı verilerine ait azot (N) tahmini PLSR modeli için ölçülen ve tahmin edilen N değerleri

4.6. Prototip Algılayıcı ile Diğer Optik Sistemlerin Karşılaştırılması

4.6.1. Kampüs Deneme Alanı Verilerinin Değerlendirilmesi

Kampüs çim deneme arazisinden alınan örneklerde prototip algılayıcıdan elde edilen bulgular diğer optik sistemler ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.20.). Çim bitkisi su içeriği ve besin elementlerinin konsantrasyonlarının tahmin edilmesinde en iyi sonuçların (düşük SEP ve yüksek R^2) NIRS sistemi ile elde edildiği tespit edilmiştir.

Su içeriğinin tahmin edilmesinde NIRS sisteminden sonra (SEP=%0.57) en düşük tahmin hatası değeri (SEP=%1.26) el tipi NDVI algılayıcı ile elde edilmiştir. Prototip algılayıcıdan elde edilen tahmin hatası değeri (SEP) %1.43 olarak bulunmuştur. Ayrıca renk ölçer ile geliştirilen model diğer sistemlere göre daha yüksek SEP (tahmin hatası) değerine (%1.61) sahip olmuştur. Buna göre prototip algılayıcının NIRS ve el tipi NDVI algılayıcıya göre daha düşük ancak renk ölçere göre daha yüksek doğruluk ile çim bitkisi su içeriğini tahmin etme yeteneğine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Azot konsantrasyonu tahmini için NIRS sistemi (SEP=%0.09) dışındaki sistemler birbirine yakın SEP değeri ile tahmin imkanı verirken, bu sistemler arasından en düşük tahmin hatası değerine (SEP) (%0.20) sahip olan NDVI ölçer ve sonrasında renk ölçer (%0.25) olmuştur. Prototip algılayıcının en yüksek tahmin hatası (SEP) değerine (%0.28) sahip olmasına rağmen, NIRS dışındaki sistemlerin birbirine yakın tahmin hatası (SEP) ile N konsantrasyonu tahmin edebileceği saptanmıştır.

Fosfor konsantrasyonu tahmini için dört farklı optik sistem için geliştirilen modeller içerisinde en düşük tahmin hatası değeri (SEP=%0.02) NIRS sistemi için elde edilmiştir. Prototip algılayıcının, NIRS sistemine yakın tahmin hatası değerine (SEP=%0.04) sahip olduğu görülmüştür.

Potasyum konsantrasyonunun tahmininde en düşük tahmin hatası değerine (%0.02) sahip olan sistemin NIRS olduğu bulunmuştur. Ayrıca, prototip algılayıcının renk ölçer ve el tipi NDVI algılayıcıya göre daha yüksek tahmin hatası değerine (SEP=%0.23) sahip olduğu belirlenmiştir.

Kalsiyum konsantrasyonu tahmininde NIRS sistemi ile diğerlerine göre daha düşük tahmin hatası değeri (%0.02) elde edilmiştir. Diğer sistemler içerisinde en düşük

SEP değerine (%0.03) sahip olan prototip algılayıcı ile NIRS sistemine yakın tahmin hatası değeri ile tahmin yapılabileceği tespit edilmiştir.

Magnezyum konsantrasyonu tahmin modellerine bakıldığında tüm sistemlerin aynı tahmin hatası değerine (SEP=%0.01) sahip olduğu görülmüştür.

Demir konsantrasyonu için en düşük tahmin hatası değerine (SEP=7.69 ppm) sahip olan sistemin NIRS olduğu bulunmuştur. Ayrıca, prototip algılayıcının renk ölçer ve el tipi NDVI algılayıcıya göre daha yüksek tahmin hatası değerine (SEP=17.27 ppm) sahip olduğu belirlenmiştir.

Bakır konsantrasyonu için NIRS sisteminin en düşük tahmin hatası değerine (SEP=0.66 ppm) sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca, prototip algılayıcının en yüksek tahmin hatası değerine (SEP=1.06 ppm) sahip olduğu tespit edilmiştir.

Mangan konsantrasyonu için NIRS sisteminin en düşük tahmin hatası değerine (SEP=2.33 ppm) sahip olduğu, renk ölçerin, kullanılan sistemler içerisinde en yüksek tahmin hatası değerine (SEP=4.24 ppm), prototip algılayıcının ise bu iki sisteme kıyasla orta düzeyde tahmin hatasına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çinko konsantrasyonu için NIRS sisteminin en düşük tahmin hatası değerine (SEP=1.31 ppm) sahip olduğu bulunmuştur. Prototip algılayıcının en yüksek tahmin hatası değerine (SEP=2.47 ppm) sahip olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, çalışmada yer alan dört optik sistem karşılaştırıldığında, en iyi sonucu (en düşük SEP) NIRS sisteminin verdiği görülmüştür. Çalışmada geliştirilen prototip optik algılayıcının ise K, Mg, Cu, Zn hariç su ve diğer besin elementleri için el tipi NDVI algılayıcı ve renk ölçer ile benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak NIRS, renk ölçer ve el tipi NDVI algılayıcı sistemlerinin ülkemizde üretilmemesi, yurt dışından ithalat yolu ile temin edilmesi gibi olumsuzluklar bulunmaktadır. Bu sebeple ülkemizde yerli olarak üretimi yapılabilecek prototip algılayıcının çim bitkisi yaprak su ve besin elementi konsantrasyonu tahmininde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Ayrıca im bitkilerinin, prototip optik algılayıcı kullanılarak besin elementi konsantrasyonu bakımından *iyi*, *orta*, *düşük* şeklinde sınıflandırılabilceği belirlenmiştir. Ancak yüksek hassasiyet gerektiren çalışmalar için NIRS sisteminin kullanılmasının daha uygun olacağı söylenbilir.

Çizelge 4.20. Kampüs arazisi örneklerinin farklı algılayıcılar ile tahminine ait PLSR analizi sonuçları

Sistem		Su	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
NIRS	SEP	0.57	0.09	0.02	0.06	0.02	0.01	7.69	0.66	2.33	1.31
	R ²	0.96	0.96	0.95	0.97	0.88	0.84	0.86	0.83	0.72	0.81
Renk Ölçer*	SEP	1.61	0.25	0.04	0.11	0.04	0.01	10.67	0.74	4.24	2.08
	R ²	0.61	0.65	0.66	0.84	0.50	0.17	0.73	0.68	0.02	0.43
NDVI Ölçer	SEP	1.26	0.20	0.03	0.09	0.03	0.01	12.65	0.71	3.24	2.00
	R ²	0.78	0.77	0.79	0.92	0.62	0.04	0.62	0.71	0.02	0.44
	İndeks**	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	NIR/G	G-R	NIR-G	NDVI	NIR-R	G/R
Prototip Algılayıcı	SEP	1.43	0.28	0.04	0.23	0.03	0.01	17.27	1.06	3.03	2.47
	R ²	0.73	0.68	0.68	0.65	0.66	0.47	0.27	0.34	0.12	0.17

* Değerler L*a*b*C*h modeli için

** SEP değeri en düşük ve R² değeri en yüksek olan indeks seçilmiştir.

4.6.2. Spor Sahası Verilerinin Değerlendirilmesi

Spor sahasından alınan örneklerde prototip algılayıcıdan elde edilen bulgular diğer optik sistemler ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.21.). Spor sahasından alınan örnekler için el tipi NDVI algılayıcısı kullanılamamıştır. Çim bitkilerinin su içeriği ve Cu dışındaki besin elementlerinin konsantrasyonlarının tahmin edilmesinde en iyi sonuçların (düşük SEP ve yüksek R²) NIRS sistemi ile elde edildiği tespit edilmiştir.

Su içeriğinin tahmin edilmesinde NIRS sisteminden sonra (SEP=%0.67) en düşük tahmin hatası değeri (SEP=%0.96) prototip algılayıcı ile elde edilmiştir. Renk ölçer ile elde edilen tahmin hatası değeri (SEP) %1.04 olarak bulunmuştur. Buna göre prototip algılayıcının NIRS sistemine göre daha düşük ancak renk ölçere göre daha yüksek doğruluk ile çim bitkisi su içeriğini tahmin edebileceği tespit edilmiştir.

Azot konsantrasyonu tahmini için NIRS sistemi (SEP=%0.12) dışındaki sistemler birbirine yakın SEP değeri ile tahmin imkanı verirken bu sistemler arasından en düşük tahmin hatası değerine (SEP) (%0.15) sahip olan renk ölçer ve sonrasında prototip algılayıcı (%0.20) olmuştur. Prototip algılayıcının en yüksek tahmin hatası (SEP)

değerine (%0.20) sahip olmasına rağmen renk ölçer ile birbirine yakın tahmin hatası (SEP) ile N konsantrasyonu tahmin edebileceği bulunmuştur.

Fosfor konsantrasyonu tahmini için üç farklı optik sistem için geliştirilen modeller içerisinde en düşük tahmin hatası değeri (SEP=%0.03) NIRS sistemi ve prototip algılayıcı için elde edilmiştir. Renk ölçerin, NIRS ve optik algılayıcı sistemlerine yakın tahmin hatası değerine (SEP=%0.05) sahip olduğu görülmüştür.

Potasyum konsantrasyonunun tahmininde en düşük tahmin hatası değerine (%0.05) sahip olan sistemin NIRS olduğu bulunmuştur. Ayrıca diğer iki sistemin eşit ve NIRS sistemine göre daha yüksek tahmin hatası değerine (SEP=%0.07) sahip olduğu belirlenmiştir.

Kalsiyum konsantrasyonu tahmininde NIRS ve prototip algılayıcı sistemlerinin her ikisi için eşit tahmin hatası değeri (%0.06) elde edilmiştir. Renk ölçer ile prototip algılayıcı ve NIRS sistemine yakın tahmin hatası değeri (%0.07) ile tahmin yapılabileceği tespit edilmiştir.

Magnezyum konsantrasyonunun tahmininde en düşük tahmin hatası değerine (%0.01) sahip olan sistemin NIRS olduğu bulunmuştur. Renk ölçer ve prototip algılama sistemlerinin her ikisinin de NIRS sistemine yakın tahmin hatası değeri (%0.02) ile tahmin yapılabileceği tespit edilmiştir.

Demir konsantrasyonu için en düşük tahmin hatası değerine (SEP=45.36 ppm) sahip olan sistemin NIRS olduğu bulunmuştur. Ayrıca, prototip algılayıcının renk ölçere göre daha yüksek tahmin hatası değerine (SEP=96.0 ppm) sahip olduğu belirlenmiştir.

Bakır konsantrasyonu için prototip algılayıcının en düşük tahmin hatası değerine (SEP=0.64 ppm) sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca, renk ölçerin en yüksek tahmin hatası değerine (SEP=0.76 ppm) sahip olduğu tespit edilmiştir.

Mangan konsantrasyonu için NIRS sisteminin en düşük tahmin hatası değerine (SEP=5.32 ppm) sahip olduğu, prototip algılayıcının kullanılan sistemler içerisinde en yüksek tahmin hatası değerine (SEP=16.40 ppm), renk ölçerin ise bu iki sisteme kıyasla orta düzeyde tahmin hatasına (SEP=13.64 ppm) sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çinko konsantrasyonu için NIRS sisteminin en düşük tahmin hatası değerine (SEP=1.59 ppm) sahip olduğu bulunmuştur. Prototip algılayıcının en yüksek tahmin hatası değerine (SEP=3.32 ppm) sahip olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, çalışmada yer alan üç optik sistem karşılaştırıldığında Cu konsantrasyonu tahmini haricinde en iyi sonucu (en düşük tahmin hatası) NIRS sisteminin verdiği görülmüştür. Çalışmada geliştirilen prototip optik algılayıcının su içeriği, Fe, Mn, Zn hariç diğer besin elementleri için el tipi renk ölçer ile benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak, NIRS ve renk ölçer sistemlerinin ülkemizde üretilmemesi, döviz harcanarak yurt dışından ithalat yolu ile temin edilmesi gibi olumsuzluklar bulunmaktadır.

Bu sebeple ülkemizde yerli olarak üretimi yapılabilecek prototip algılayıcının çim bitkisi yaprak besin elementi konsantrasyonu tahmininde kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Ayrıca çim bitkileri, prototip optik algılayıcı kullanılarak besin elementi konsantrasyonu bakımından iyi, orta, düşük şekilde sınıflandırılabilir. Ancak yüksek hassasiyet gerektiren çalışmalar için NIRS sisteminin kullanılması gereklidir.

Çizelge 4.21. Spor sahası örneklerinin farklı algılayıcılar ile tahminine ait PLSR analizi sonuçları

Sistem*		Su	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
NIRS	SEP	0.67	0.12	0.03	0.05	0.06	0.01	45.36	0.71	5.32	1.59
	R ²	0.95	0.82	0.71	0.84	0.87	0.87	0.96	0.72	0.93	0.81
Renk Ölçer**	SEP	1.04	0.15	0.05	0.07	0.07	0.02	79.03	0.76	13.64	2.71
	R ²	0.83	0.69	0.34	0.5	0.61	0.73	0.87	0.29	0.61	0.42
Prototip Algılayıcı	İndeks***	NIR-G	G/R	GNDVI	G-R	NIR-R	NIR-G	NIR-R	NIR-G	GNDVI	GRVI
	SEP	0.96	0.20	0.03	0.07	0.06	0.02	96.0	0.64	16.40	3.32
	R ²	0.75	0.38	0.02	0.64	0.62	0.51	0.90	0.16	0.38	0.40

* Spor sahası çalışmasında el tipi NDVI algılayıcı kullanılmamıştır.

** Değerler L*a*b*C*h modeli için

*** SEP değeri en düşük ve R² değeri en yüksek olan indeks seçilmiştir.

4.6.3. Kampüs Arazisi ve Spor Sahası Verilerinin Karşılaştırılması

NIRS sistemi ile elde edilen kampüs deneme arazisi ve spor sahası verileri karşılaştırıldığında, su içeriği, N, Ca, Fe, Cu, Mn ve Zn konsantrasyonu tahmini için kampüs deneme arazisinde daha düşük (sırasıyla SEP; %0.57, %0.09, %0.02, 7.69 ppm,

0.66 ppm, 2.33 ppm, 1.31 ppm), P, K ve Mg için ise her iki alan için benzer tahmin hatası değerleri bulunmuştur.

Renk ölçer verileri incelendiğinde, su içeriği, N ve K konsantrasyonu tahmini için spor sahasında (sırasıyla SEP; %1.04, %0.15, %0.07), Ca, Fe, Mn ve Zn konsantrasyonu tahmini için ise kampüs deneme arazisinde daha düşük (sırasıyla SEP; %0.04, 10.67 ppm, 4.24 ppm, 2.08 ppm), P, Mg ve Cu konsantrasyonları tahmini için ise her iki alan için de benzer tahmin hatası değerleri elde edilmiştir.

Prototip optik algılayıcı verileri ile kampüs deneme arazisi ve spor sahasından elde edilen veriler doğrultusunda, su içeriği, N, K ve Cu konsantrasyonunun spor sahasında sırasıyla; NIR-G (SEP=%0.96), G/R (SEP=%0.20), G-R (SEP=%0.07) ve NIR-G (SEP=0.64 ppm) değerleri ile kampüs deneme arazisi verilerine göre daha düşük tahmin hatası ile belirlenebileceği tespit edilmiştir.

Kalsiyum, Fe, Mn ve Zn konsantrasyonunun kampüs deneme arazisinde sırasıyla NIR/G (SEP=%0.03), NIR-G (SEP=17.27 ppm), NIR-R (SEP=3.03 ppm) ve G/R (SEP=2.47 ppm) değerleri ile spor sahası verilerine göre daha düşük, P ve Mg konsantrasyonu tahmini için benzer tahmin hatası değerleri bulunmuştur.

4.7. Araştırma Bulgularının Önceki Çalışma Bulguları İle Karşılaştırılması

Dört farklı optik algılayıcı kullanılarak bu çalışmada elde edilen bulgular daha önce farklı araştırmacıların yaptığı bulgular ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.22.).

Clark ve ark. (1987) NIRS ile çim ve bazı yem bitkilerinde (wheatgrass, tall fescue, alfalfa) P, K ve Ca tahmininin iyi bir şekilde yapılabileceğini belirtmiştir ($R^2 > 0.74$). Mevcut çalışmanın bulgularına göre ise, FT-NIRS sistemi ile kampüs deneme arazisi verilerinde Mn hariç, spor sahası verilerinde ise P ve Cu hariç diğer elementlerin iyi bir şekilde ($R^2 > 0.74$) tahmin edilebileceği bulunmuştur.

Murphy (1993) NIRS ile çim bitkisinde N konsantrasyonunun hızlı ve doğru bir şekilde (*Lolium perenne* L.; $R^2=0.93$ ve *Agrostis plaustris* L.; $R^2=0.89$) tahmin edileceğini bulmuşlardır. Mevcut çalışmanın bulgularına göre is FT-NIRS sistemi ile N konsantrasyonunun kampüs deneme arazisi ($R^2=0.96$) ve spor sahası ($R^2=0.82$) örneklerinde iyi bir şekilde tahmin edilebileceği tespit edilmiştir.

Rodriguez ve Miller (2000b) NIRS ile golf sahası çim (Bermudagrass) biçkileri N, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn ve Cu tahmin etmişlerdir. En yüksek değer ($R^2=0.76-0.92$) N için bulunmuştur. Fosfor için korelasyon bulunamamış ve diğer elementler için düşük seviyede ($R^2<0.50$) belirlenmiştir. Mevcut çalışmada FT-NIRS sistemi ile N konsantrasyonunun kampüs deneme arazisi ($R^2=0.96$) ve spor sahası ($R^2=0.82$) verilerinde iyi bir şekilde tahmin edilebileceği tespit edilmiştir. Fosfor konsantrasyonu için kampüs deneme arazisi ($R^2=0.95$) ve spor sahası ($R^2=0.71$) için yüksek düzeyde ilişki belirlenmiştir. Ayrıca, diğer elementler (K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn ve Cu) için de iyi düzeyde ($R^2>0.70$) ilişki tespit edilmiştir.

Miller ve Thomas (2003) NIRS ile golf sahası çim (3 çeşit Bermudagrass) biçkileri P, K, Ca, Mg konsantrasyonunu tahmin etmişlerdir. Fosfor, K, Ca ve Mg konsantrasyonu için sırasıyla R^2 değerleri; 0.07-0.71, 0.05-0.39, 0.07-0.72, 0.01-0.37 olarak tespit edilmiştir. Mevcut çalışmada FT-NIRS sistemi ile kampüs deneme alanında (P; $R^2=0.95$, K; $R^2=0.97$, Ca; $R^2=0.88$, Mg; $R^2=0.84$) ve spor sahasında (P; $R^2=0.71$, K; $R^2=0.84$, Ca; $R^2=0.87$, Mg; $R^2=0.87$) besin elementi konsantrasyonları ile yüksek düzeyde ilişki bulunmuştur.

Bell ve ark. (2004) spektrometre ile çim bitkisinde (hybrid bermudagrass, common bermudagrass ve creeping bentgrass) klorofil ve N konsantrasyonunu tahmin etmiştir. NDVI ve GNDVI ile N konsantrasyonu arasındaki pozitif ilişki sırasıyla ortalama $R^2=0.76$, $R^2=0.81$ olarak bulunmuştur. Mevcut çalışmada ise prototip algılayıcı ile kampüs deneme arazisi (NDVI; $R^2=0.68$, GNDVI; $R^2=0.55$) ve spor sahası (NDVI; $R^2=0.40$, GNDVI; $R^2=0.18$) örneklerinde ilişki daha düşük seviyede tespit edilmiştir.

Gislum ve ark. (2004) NIRS ile çim örneklerinde (*Festuca rubra* L. ve *Lolium perenne* L.) N konsantrasyonunu tahmin etmiştir. RMSEP=%0.19-0.35 ve $R=0.95-0.99$ arasında değişmiştir. Mevcut çalışmada FT-NIRS sistemi ile kampüs deneme arazisi (SEP=%0.09 ve $R^2=0.96$) ve spor sahasında (SEP=%0.12 ve $R^2=0.82$) N konsantrasyonu tahmininde yüksek düzeyde ilişki tespit edilmiştir.

Keskin ve ark. (2004) tarafından spektrometre (350-1100 nm) ile golf sahası çim (Grenshaw creeping bentgrass) biçkilerinin biçildikten 3 saat sonra N düzeyi tahmin edilmiştir. 680 ve 810 nm birlikte kullanıldığında SEP=%0.58 ve $R^2=0.85$ değerleri tespit edilmiştir. Mevcut çalışmada ise prototip algılayıcı ile 650 ve 800 nm

dalga boylarının birlikte kullanılarak kampüs deneme arazisi (NDVI; SEP=%0.28, $R^2=0.68$.) ve spor sahası (NDVI; SEP=%0.22, $R^2=0.40$) verileri için daha düşük seviyede tahmin hatası değerleri tespit edilmiştir.

Volterrani ve ark. (2005) spektrometre ile çim bitkisinde (Bermudagrass) farklı vejetasyon indeksleri ile N konsantrasyonu değerlerinin ilişkisini incelemiştir. Azot konsantrasyonu ile NIR/Red ($r=0.94$), NDVI ($r=0.90$) değerleri arasında yüksek korelasyon tespit edilmiştir. Mevcut çalışmada el tipi NDVI algılayıcı ile kampüs deneme arazisinde N konsantrasyonu tahmini için iyi bir ilişki ($R^2=0.77$) tespit edilmiştir. Prototip algılayıcı ile kampüs deneme arazisi (NDVI; $R^2=0.68$, NIR/R; $R^2=0.59$) ve spor sahası (NDVI; $R^2=0.40$, NIR/R; $R^2=0.11$) verileri için daha düşük seviyede tahmin hatası değerleri tespit edilmiştir.

Mangiafico ve Guillard (2007) renk ölçer ile elde edilen Hue (h) renk açısı değerinden çim (Kentucky bluegrass ve Creeping red fescue + Perennial ryegrass + Kentucky bluegrass karışımı) biçkilerindeki N konsantrasyonunu tahmin etmiştir. Azot konsantrasyonu ve h değeri arasında tek çeşit ile yürütülen denemede $R^2=0.16$, karışım olarak yürütülen denemede $R^2=0.63$ olarak tespit edilmiştir. Mevcut çalışmada renk ölçer ile N konsantrasyonunun kampüs deneme arazisi ($R^2=0.65$) ve spor sahası ($R^2=0.69$) verilerinde iyi bir şekilde tahmin edilebileceği tespit edilmiştir.

Moss ve Bell (2010) el tipi NDVI algılayıcıyı (GreenSeeker) çim bitkisinde (Creeping bentgrass) N konsantrasyonunu tahmin etmek için kullanmışlardır. NDVI değerinin N konsantrasyonu tahmini için iyi sonuç ($R^2=0.46$) verdiği bildirilmiştir. Mevcut çalışmada el tipi NDVI algılayıcı ile kampüs deneme arazisinde daha iyi sonuç ($R^2=0.77$) elde edilmiştir.

Caturegli ve ark. (2016) insansız hava aracı (İHA) ve NDVI algılayıcı (GreenSeeker) ile çim bitkisinde (*Cynodon dactylon x trawaalensis*, *Zoysia matrella*, *Paspalum vaginatum*) NDVI değerini kullanarak yaprak N konsantrasyonunu tahmin etmiştir. NDVI ölçer için korelasyon değerleri; 0.85-0.91, İHA için 0.81-0.93 aralığında tespit edilmiştir. Mevcut çalışmada el tipi NDVI algılayıcı ile kampüs deneme arazisinde N konsantrasyonu tahmini için iyi bir ilişki ($R^2=0.77$) tespit edilmiştir. Prototip algılayıcı ile kampüs deneme arazisi (NDVI; $R^2=0.68$) ve spor sahası (NDVI; $R^2=0.40$) verileri için daha düşük seviyede ilişki tespit edilmiştir.

Çizelge 4.22. Konu ile ilgili yapılmış önceki çalışmalarda elde edilen bulgular

Kaynak	Bulunan Sonuç
Clark ve ark. (1987)	NIRS ile çim ve bazı yem bitkilerinde (wheatgrass, tall fescue, alfalfa) yaprak besin elementi (Na, K, Ca, P, Mg, Fe, Mn, Cu ve Zn) tahmini yapılmıştır. Yöntemin P, K ve Ca tahmini için güvenilir olduğu belirtilmiştir ($R^2 > 0.74$)
Murphy (1993)	NIRS ile çim bitkisinde (<i>Lolium perenne</i> L. ve <i>Agrostis plaustris</i> L.) N konsantrasyonu tahmin edilmiştir. Hızlı ve doğru bir yöntem olduğu bulunmuştur. (<i>Lolium perenne</i> L., $R^2=0.93$ ve <i>Agrostis plaustris</i> L., $R^2=0.89$)
Rodriguez ve Miller (2000b)	NIRS ile golf sahası çim (Bermudagrass) biçkileri N, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn ve Cu tahmin edilmiştir. NIRS sonuçları ile kimyasal yöntem sonuçları arasında pozitif ilişki tespit edilmiştir. En yüksek değer ($R^2=0.76-0.92$) N için bulunmuştur. P için korelasyon bulunamamış, diğer elementler için düşük seviyede ($R^2 < 0.50$) belirlenmiştir.
Miller ve Thomas (2003)	NIRS ile golf sahası çim (üç çeşit Bermudagrass) biçkileri P, K, Ca, Mg tahmin edilmiştir. Pozitif ilişki tespit edilmiştir. Yaprak element konsantrasyonu değerlendirmesi için yöntemin hızlı oluşu ancak tür ve çeşitten etkilendiği için yeterince hassas olmadığı bildirilmiştir. (P; $R^2=0.07-0.71$, K: 0.05-0.39, Ca: 0.07-0.72, Mg: 0.01-0.37)
Bell ve ark. (2004)	Spektrometre ile çim bitkisinde (hybrid bermudagrass, common bermudagrass ve creeping bentgrass) klorofil ve N konsantrasyonunu tahmin etmiştir. NDVI ve GNDVI ile N konsantrasyonu arasındaki pozitif ilişki (sırasıyla ortalama $R^2=0.76$, $R^2=0.81$) bulunmuştur.
Gislum ve ark. (2004)	NIRS ile çim örneklerinde (<i>Festuca rubra</i> L. ve <i>Lolium perenne</i> L.) N konsantrasyonunu tahmin etmiştir. RMSEP=%0.19-0.35 ve $r=0.95-0.99$ arasında değişmiştir. NIRS yönteminin kimyasal analiz yöntemine alternatif olabilecek hızlı, pratik ve ucuz bir yöntem olduğu belirtilmiştir.
Keskin ve ark. (2004)	Spektrometre ile golf sahası çim (Grenshaw creeping bentgrass) biçkilerinin biçildikten 3 saat sonra N düzeyi tahmin edilmiştir. 680 ve 810 nm birlikte kullanıldığında SEP=%0.58 ve $R^2=0.85$ olarak bulunmuştur.
Volterrani ve ark. (2005)	Spektrometre ile çim bitkisinde (Bermudagrass) farklı vejetasyon indekslerinin biyokütle, yükseklik, renk, kalite ve N konsantrasyonu değerleri ile ilişkisi incelemiştir. Çim bitkisi N konsantrasyonları ile 555 nm ($r=-0.91$), 675 nm ($r=-0.88$), NIR/Red ($r=0.94$), NDVI ($r=0.90$) değerleri arasında yüksek korelasyon tespit edilmiştir.
Mangiafico ve Guillard (2007)	Renk ölçer ile elde edilen Hue (h) değerinden çim (Kentucky bluegrass ve Creeping red fescue + Perennial ryegrass + Kentucky bluegrass karışımı) biçkilerindeki N konsantrasyonunu tahmin etmiştir. N konsantrasyonu ve hue değeri arasında tek çeşit ile yürütülen denemede R^2 değerinin 0.16, karışım olarak yürütülen denemede 0.63 olduğu tespit edilmiştir.
Moss ve Bell (2010)	El tipi NDVI algılayıcı (GreenSeeker) ile çim bitkisinde (Creeping bentgrass) klorofil, renk ve N konsantrasyonunu tahmin etmiştir. NDVI değerinin N konsantrasyonu tahmini için daha iyi sonuç ($R^2=0.46$) verdiği bildirilmiştir.
Caturegli ve ark. (2016)	İnsansız hava aracı (İHA) ve NDVI ölçer (GreenSeeker) ile çim bitkisinde (<i>Cynodon dactylon x trawaalensis</i> , <i>Zoysia matrella</i> , <i>Paspalum vaginatum</i>) yaprak N konsantrasyonunu tahmin etmiştir. NDVI ölçer için korelasyon değerleri; 0.85-0.91, İHA için 0.81-0.93 aralığında tespit edilmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Kampüs deneme arazisi örnekleri için FT-NIRS ile çim bitkisi su içeriği, N, P ve K konsantrasyonlarının çok iyi düzeyde ($R^2 > 0.90$), Ca, Mg, Fe, Cu ve Zn konsantrasyonlarının iyi düzeyde ($R^2 = 0.80-0.90$) ve Mn konsantrasyonunun orta düzeyde ($R^2 < 0.80$) tahmin edilebileceği belirlenmiştir. Tahmin standart hata değeri (SEP) su içeriği için %0.57 ve N konsantrasyonu için ise %0.09 olarak bulunmuştur. Spor sahası örnekleri için ise; FT-NIRS ile çim bitkisi su içeriği, Fe ve Mn konsantrasyonlarının çok iyi düzeyde ($R^2 > 0.90$), N, K, Ca, Mg ve Zn konsantrasyonlarının iyi düzeyde ($R^2 = 0.80-0.90$), P ve Cu konsantrasyonlarının orta düzeyde ($R^2 < 0.80$) tahmin edilebileceği belirlenmiştir. Tahmin standart hata (SEP) değeri su içeriği için %0.67 ve N konsantrasyonu için ise %0.12 olarak bulunmuştur.

Hem kampüs deneme arazisi hem de spor sahası verilerinde, tüm renk parametrelerinin (L^* , a^* , b^* , C^* , h) birlikte kullanımının, renk modellerinin ayrı ayrı ($L^*a^*b^*$, L^*C^*h) kullanılması durumuna göre SEP değerini önemli düzeyde azaltmadığı görülmüştür. N konsantrasyonu tahmini için, tüm renk parametreleri kullanılarak, kampüs deneme arazisi örneklerinde SEP değerinin %0.25, spor sahası örnekleri için %0.15 olduğu tespit edilmiştir.

El tipi NDVI algılayıcı sadece kampüs deneme arazisinde kullanılmış olup, sonuçlara göre; çim yaprak biçkisi K konsantrasyonunun çok iyi düzeyde ($R^2 > 0.80$), su, N, P, Ca, Fe ve Cu konsantrasyonlarının iyi düzeyde ($R^2 = 0.50-0.80$) tahmin edilebileceği, Mg, Mn ve Zn konsantrasyonlarının ise tahmin edilebilirliğinin düşük düzeyde ($R^2 < 0.50$) olduğu belirlenmiştir. SEP değeri su içeriği için %1.26 ve N konsantrasyonu için ise %0.20 olarak bulunmuştur.

Prototip optik algılayıcı ile kampüs deneme arazisinden elde edilen verilere göre, su ve N konsantrasyonu tahmini için en iyi sonucun elde edildiği vejetasyon indeksinin NDVI olduğu tespit edilmiştir. NDVI değeri ile su içeriği tahmininde SEP değeri %1.43 ve R^2 değeri 0.73 olarak belirlenmiştir. Ayrıca N konsantrasyonu tahmininde ise bu değerler sırasıyla %0.28 ve 0.68 olarak tespit edilmiştir. Spor sahası verilerine göre su içeriği tahmini için en iyi sonucun elde edildiği vejetasyon indeksinin NIR-G olduğu bulunmuştur. Bu indeksin kullanılması durumunda su içeriği tahmininde SEP değeri %0.96 ve R^2 değeri 0.75 olarak belirlenmiştir. Azot konsantrasyonu tahmininde ise,

vejetasyon indeksleri birbirine yakın SEP değerleri vermiştir ancak GRVI kullanıldığında modele ait SEP değerinin daha dūřuk olduğu ($SEP=0.20$) ($R^2=0.34$) tespit edilmiştir.

Kampüs deneme arazisinden elde edilen veriler için dōrt optik sistem karşılaştırıldığında, en iyi sonucu (en dūřuk tahmin hatası, SEP) NIRS sisteminin verdiği gōr÷lmüştür. Çalışmada geliştirilen prototip optik algılayıcının ise K, Mg, Cu, Zn hariç, su ve diğer besin elementleri için el tipi NDVI algılayıcı ve renk ölçer ile benzer sonuçlar verdiği saptanmıştır.

Spor sahasında kullanılan üç farklı optik sistem karşılaştırıldığında; Cu konsantrasyon haricinde en iyi sonucu (en dūřuk tahmin hatası, SEP) NIRS sisteminin verdiği gōr÷lmüştür. Çalışmada geliştirilen prototip optik algılayıcı ise su içeriği, Fe, Mn, Zn hariç diğer besin elementleri için el tipi renk ölçer ile benzer sonuçlar vermiştir.

Genel olarak FT-NIRS sistemi ile daha iyi sonuç elde edilmesinde, diğer sistemlerde taze çim yaprağı örneklerinin ölçümünün doğrudan yapılması, ancak FT-NIRS sisteminde ölçümün; yıkanmış, kurutulmuş ve öğüt÷lerek homojen hale getirilmiş örneklerden yapılmasının etkili olabileceği dūřün÷lmektedir. Ayrıca sistem yüksek çōzünürlük ve daha detaylı veri analizi üstünlüğüne sahiptir.

Bütün sistemler birlikte değerlendirildiğinde; prototip optik algılayıcının diğer sistemlere göre daha dūřuk maliyetli olmasına karşın benzer performans göstermesi (FT-NIRS hariç), bu sistemin yüksek hassasiyet gerektirmeyen uygulamalarda tercih edilme ihtimalini yükseltebileceği öngör÷lmektedir.

Sonuç olarak; NIRS, renk ölçer ve el tipi NDVI algılayıcı sistemlerinin ÷lkemizde üretilmemesi, yurt dışından ithalat yolu ile temin edilmesi ve kullanımlarının bilgi ve deneyim gerektirmesi gibi olumsuzluklar bulunmaktadır. Bu sebeple ÷lkemizde yerli olarak üretimi yapılabilecek prototip algılayıcının çim bitkisi yaprak su, N ve diğer besin elementi konsantrasyonu tahmininde ve sınıflandırılmasında (dūřuk, orta, yüksek) kullanılabilmesi belirlenmiştir.

İlerleyen dönemde, çim ve benzeri alanlarda besin elementlerinin *eksik-yeterli-yüksek* dozlarında yürüt÷lecek denemelerle söz konusu sistemlerin karşılaştırılmasında ve her bir besin elementine ait daha detaylı verilerin elde edilmesinde yarar olduğu dūřün÷lmektedir.

KAYNAKLAR

- Agati, G., Foschi, L., Grossi, N., Guglilminetti, L., Cerovic, Z.G. and Volterrani, M. 2013. Fluorescence-based versus reflectance proximal sensing of nitrogen content in *Paspalum vaginatum* and *Zoysia matrella* turfgrasses. **Eur. J. Agron.**, 45: 39-51.
- Amaral, L.R., Molin, J.P., Portz, G., Finazzi, F.B. and Cortinove, L. 2015. Comparison of crop canopy reflectance sensors used to identify sugarcane biomass and nitrogen status. **Precis. Agric.**, 16: 15-28.
- Andersen, H.V., Wedelsbäck, H. and Hansen, P.W. 2013. NIR Spectrometer Technology Comparison. **FOSS**, 1: 1-14.
- Apogee, 2018. Chlorophyll Concentration Meter Owner's Manual. **Apogee Instruments Inc.** p 21.
- Armstrong, P.R., Maghirang, E.B., Xie F. and Dowell, F.E. 2006. Comparison of dispersive and Fourier-Transform NIR instruments for measuring grain and flour attributes. **Appl. Eng. Agric.**, 22(3): 453-457.
- ASABE, 2012. Moisture Measurement - Forages. American Society of Agricultural and Biological Engineers, **ANSI/ASAE Standarts**, St Joseph, MI, S358.3, USA.
- Avcioğlu, A., Soya, H., Birant, M. ve Geren, H. 1996. Yeşil alan buğdaygillerin seçiminde temel ilkeler ve Türkiye'deki uygulamalar, **3. Çayır-Mera ve Yem Bitkileri Kongresi**, Erzurum, s. 782-788
- Avcioğlu, R. ve Geren, H., 2012. Bazı sıcak iklim çim buğdaygillerinin Akdeniz iklimindeki performansları üzerinde araştırmalar. **ANADOLU**, 22(1): 1-17.
- Avcioğlu, R. 2014. **Çim ekimi dikimi ve bakımı**, Ege Üniversitesi Basımevi, 332 s., Bornova, İzmir.
- Avery, T.E. and Berlin, G.L. 1992. **Fundamentals of Remote Sensing And Airphoto Interpretation**. Fifth edition. 472 p. Macmillian Publishing Company. New York.
- Balcı, Ş., 2012. Biçim yükseklikleri ve azot dozlarının manda otu [*Buchloe dactyloides* (Nutt) Engelm]' nun çim kalitesi üzerine etkileri. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Barton, L., Wan, G.G.Y., Buck, R.P. and Colmer, T.D., 2009. Does N fertiliser regime influence N leaching and quality of different-aged turfgrass (*Pennisetum clandestinum*) stands? **Plant and Soil**, 316: 81-96.
- Bauer, P.J., Stone, K.C., Andrae, J.G., Busscher, W.J., Millen, J.A., Strickland, E.E. and Evans D.E., 2015. Water deficit and nitrogen fertilizer effects on NDVI of 'Tifton 85' bermudagrass during regrowth. **Appl. Eng. Agric.**, 31(1): 97-102.
- Baysal, O.H. ve Karagüzel, O. 2005. Paclobutrazolun *Lolium Perenne* 'Ovation' ve *Cynodon Dactylon* x *Cynodon Transvaalensis* 'Tifway' çim çeşitlerinin büyüme özelliklerine etkisi. **Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**. 18: 355-363.
- Bell, G.E., Howel, B.M., Johnson, G.V., Raun, W.R., Solie, J.B. and Stone, M.L., 2004. Optical sensing of turfgrass chlorophyll content and tissue nitrogen. **HortScience**, 39: 1130-1132.
- Bell, G.E., Dennis, L.M., Kyungjoon K. and Holly, R.H., 2009. Comparison of Turfgrass Visual Quality Ratings with Ratings Determined Using a Handheld Optical Sensor. **HortTechnology**, 19(2): 309-316.

- Belward, A.S., and Valenzuela, C.R.. 1991. **Remote Sensing and Geographical Information Systems for Resource Management In Developing Countries.** Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Bilgili, U., Acikgoz, E., 2007. Effect of Nitrogen Fertilization on Quality Characteristics of Four Turf Mixtures Under Different Wear Treatments. **Journal of Plant Nutrition**, 30(7): 1139-1152.
- Brase, T., 2006. **Precision Agriculture.** 224 p. Thomson Delmar Learning, New York.
- Buchi, 2018. NIRFlex N-500 Technical data sheet https://static1.buchi.com/sites/default/files/technical-data_pdf/NIRFlex_N500 Erişim tarihi: 20.12.2018
- Bumane, S. and Adamovics, A., 2006. Influence of fertilization rates on *loium perenne* sward photosynthetic characteristics and seed yield. **Grassland Science In Europe**, 11: 116-118.
- Campbell, J.B. 1996. **Introduction to Remote Sensing (2nd ed.)**. The Guilford Press, New York.
- Campbell, C., 2017. Get more from your NDVI sensor. www.environmentalbiophysics.org/ndvi-sensor. Erişim tarihi: 13.01.2018
- Carter, G.A. 1993. Responses of leaf spectral reflectance to plant stres. **American Journal of Botany**, 80: 239–243.
- Caturegli, L., 2015. GeoEye-1 satellite versus ground-based multispectral data for estimating nitrogen status of turfgrasses. **ETS Newsletter**, 3: 6-7.
- Caturegli, L., Lulli F., Foschi, L., Guglielminetti, L., Bonari, E. and Volterrani, M., 2015. Turfgrass spectral reflectance: simulating satellite monitoring of spectral signatures of main C3 and C4 species. **Precision Agriculture**, 16: 297-310.
- Caturegli, L., Corniglia, M., Gaetani, M., Grossi, N., Magni, S., Migliazzi, M., Angelini, L., Mazzoncini, M., Silvestri, N., Fontanelli, M., Raffaelli, M., Peruzzi, A. and Volterrani, M., 2016. Unmanned aerial vehicle to estimate nitrogen status of turfgrasses. **PLoS ONE**, 11(6): e0158268.
- Cessna, S., Demmig-Adams, B. and Adams III, W.W. 2010. Exploring photosynthesis and plant stress using inexpensive chlorophyll fluorometers. **Journal of Natural Resources & Life Sciences Education**. 39: 22-30.
- Chen, J.M., 1996. Evaluation of vegetation indices and a modified simple ratio for boreal applications. **Canadian Journal of Remote Sensing**, 22, 229-242.
- Christians, N.E., Patton, A.J. and Law, Q.D. 2017. **Fundamentals of Turfgrass Management.** 480 p. JohnWiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey
- Clark, D.H., Maryland, H.F. and Lamb, R.C., 1987. Mineral analysis of forages with near infrared reflectance spectroscopy. **Agron. J.** 79: 485–490.
- Croce, P., De Luca, A., Mocioni, M., Volterrani, M. and Beard, J.B. 2001. Warm-season turfgrass species and cultivar characterizations for a mediterranean climate. **International Turfgrass Society Research Journal**, 9: 3-7.
- Curaoğlu, M., 2008. Çıkış öncesi ve sonrası uygulanan bazı herbisitlerin farklı sıcak iklim çim buğdaygillerinin değişik özelliklerine etkisi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- deBoer, H.C., Deru, J.G.C., Hoekstra, N.J. and Van Eekeren, N., 2016. Strategic timing of nitrogen fertilization to increase root biomass and nitrogen-use efficiency of *Lolium perenne* L. **Plant Soil**, DOI 10.1007/s11104-016-2917-y.

- Elachi, C. and van Zyl, J. 2006. **Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing**. 2nd Edition. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ.
- EPA, 2012. Frequently Asked Questions About Nitrate and Drinking Water. United States Environmental Protection Agency (EPA). 2 pp.
- Erdle, K., Mistele, B., Schmidhalter, U. 2012. Comparison of active and passive spectral sensors in discriminating biomass parameters and nitrogen status in wheat cultivars. In **11th International Conference on Precision Agriculture**, Indiana, USA. 15-18 July 2012.
- Ertugay, M.F. ve Başlar, M. 2011. Gıdaların kalite özelliklerinin belirlenmesinde yakın kızılötesi (NIR) spektroskopisi. **GIDA**, 36(1): 49-54.
- Esbensen, K.H. 2009. **Multivariate Data Analysis In Practice: An introduction to multivariate data analysis and experimental design**. 5th edition. CAMO Inc. Corvallis, Oregon/USA.
- Fetter, J.C., Rebecca, N.B., Josef, H.G. and Amador, J.A., 2012. Nitrate and phosphate leaching under turfgrass fertilized with a squid-based organic fertilizer. **Water, Air & Soil Pollution**, 223: 1531-1541.
- Fitz-Rodriguez, E. and Choi, C.Y., 2002. Monitoring turfgrass quality using multispectral radiometry. **Transactions of the ASAE**, 45 (3): 865-871.
- GCSAA 2009. Golf Course Environmental Profile: Nutrient use and Management on U.S. Golf Courses. Vol. III. Golf Course Superintendents Association of America. 43 pp.
- Gislum, R., Micklander, E. and Nielsen, J.P., 2004. Quantification of nitrogen concentration in perennial ryegrass and red fescue using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) and chemometrics. **Field Crops Research**, 88: 269-277.
- Goatley Jr, M., 2015. The pros and cons of artificial and natural grass athletic fields. **Virginia Turfgrass Journal**, 2: 21-24.
- Green II, D.E., Burpee, L.L. and Stevenson, K.L. 1998. Canopy reflectance as a measure of disease in tall fescue. **Crop. Sci.**, 38: 1603-1613.
- Grouder, S.M. and Mengel, D.B. 2003. Determining nitrogen fertilizer sidedress application needs in corn using a chlorophyll meter. **Agronomy Guide**, AY- 317- W, 1-4.
- Gu, Y., Wylie, B.K., Howard, D.M., Phuyal, K.P. and Ji, L., 2013. NDVI saturation adjustment: A new approach for improving cropland performance estimates in the Greater Platte River Basin, USA. **Ecological Indicators**, 30: 1-6.
- Gültekin, R., 2008. Çiftlik gübresinin farklı form ve dozlarının, Çukurova bölgesi koşullarında, tek yıllık çim (*Lolium multiflorum* Lam.)'in ot ve tohum verimi ile ot kalitesine etkisi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Gürbüz, E. 2010. Antalya bölgesinde bazı sıcak iklim çim türlerinde renk kaybının önlenmesine sonbahar azot gübrelemesinin etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Hamido, S.A., Guertal, E. and Wood, C.W., 2016. Nitrogen fertilization of bermudagrass affects carbon dioxide emissions. **Golf Course Manag.** 5: 88-91.
- Heege, H.J., Reusch, S. and Thiessen, E. 2008. Prospects and results for optical systems for site-specific on-the-go control of nitrogen-top-dressing in Germany. **Precision Agriculture**. 9: 115-131.

- Henry, W.B., Shaw, D.R., Reddy, K.R., Bruce, L.M. and Tamhankar, H.D. 2004. Spectral reflectance curves to distinguish soybean from common cocklebur (*Xanthium strumarium*) and sicklepod (*Cassia obtusifolia*) grown with varying soil moisture. **Weed Science**, 52: 788-796.
- Hocaoğlu, T. 2010. golf sahaları planlama ve tasarım ilkelerinin peyzaj mimarlığı açısından değerlendirilmesi: Gloria Golf Resort yeni saha örneği. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Horvath, B. and Vargas, J. 2005. Analysis of dollar spot disease severity using digital image analysis. **Inter Turfgrass Society Research Journal**, 10: 196-201.
- Hunter, M.P. 2009. Evaluation of herbicides for white clover in athletic turf grass. The University of Tennessee at Martin, Master of Science.
- Hurmanlı, İ. 2014. Hatay koşullarında bozulmuş çim alanlarının üstten tohumlama yöntemiyle çim kalitesinin iyileştirilmesi. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Jiang, Y., Carrow, R.N. and Duncan, R.R., 2003. Correlation analysis procedures for canopy spectral reflectance data of Seashore *Paspalum* under traffic stress. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, 128 (3): 343-348.
- Jiang, Z., Huete, A.R., Didan, K. and Miura, T., 2008. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, 112: 3833-3845.
- Johannsen, Ch. J., Sanders, J.L. 1982. Remote sensing for resource management. Ankeny (Iowa): Soil Conservation Society
- Keskin, M., Dodd, R.B., Han, Y.J. and Khalilian, A. 2003. Predicting visual quality ratings of turfgrass plots using spectral reflectance. **2003 ASAE International Meeting**, 27-30 July 2003, Las Vegas, Nevada/USA.
- Keskin, M. 2004. "Developing Reflectance Based Optical Sensor Systems for the Assessment of Turfgrass Quality". PhD Dissertation (Doktora Tezi), Clemson University, Clemson, SC, USA.
- Keskin, M., Dodd, R.B., Han Y.J. and Khalilian, A., 2004. Assessing nitrogen content of golf course turfgrass clippings using spectral reflectance. **Applied Engineering in Agriculture**, 20: 851-860.
- Keskin, M., 2007. Spektrometreler ve Tarımda Kullanım Alanları. **Tarımsal Mekanizasyon 24. Ulusal Kongresi**, 5-6 Eylül 2007, Kahramanmaraş. pp 326-332.
- Keskin, M., Dodd, R.B., Han, Y.J. and Khalilian, A., 2008. Reflectance-based sensor to predict visual quality ratings of turfgrass plots. **Appl. Eng. Agric.**, 24: 855-860.
- Keskin, M., Görücü Keskin, S. 2012. **Hassas Tarım Teknolojileri**. Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, 212 s., Antakya, Hatay.
- Keskin, M., Karanlık, S., Görücü Keskin, S., Soysal, Y. 2013. Utilization of color parameters to estimate moisture content and nutrient levels of peanut leaves. **Turkish Journal of Agriculture**, 37: 604-612.
- Keskin, M., Setlek, P. and Demir, S. 2017. Use of color measurement systems in food science and agriculture. **International Advanced Researches & Engineering Congress**. Osmaniye, Turkey.
- Knipling, E.B. 1970. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. **Remote Sens Environ**, 1: 155-159.

- Kokar, P., 2010. Farklı kapak malzemeleri ve sulama sıklıklarının İngiliz çimi (*Lolium perenne* L.)’nde bitki gelişimi üzerine etkileri. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Kowalewski, A., Stahnke, G., Cook, T. and Goss, R. 2015. Best management practices for construction of sand-based, natural grass athletic fields for football and soccer. **A Pacific Northwest Extension Publication**, PNW 675: 1-13.
- Kumar, J., Gupta, P., Naseem, A. and Malik, S. 2017. Light spectrum and intensity, and the timekeeping in birds, **Biological Rhythm Research**, 48(5): 39-746.
- Kuşvuran, A., 2009. Çukurova koşullarına uygun çim tür ve karışımlarının belirlenmesi ve performanslarının saptanması. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Landschoot, P., 2003. Turfgrass Fertilization: A basic guide for professional turfgrass managers. Pennsylvania State University, College of Agricultural Sciences, **Agricultural Research and Cooperative Extension**. Pennsylvania.
- Lawson, D.M., 1996. Fertilizers for turf. The Sports Turf Research Institute Publication, Bingley, West Yorkshire, p.48.
- Lee, W., Searcy, S.W. and Kataoka, T. 1999. Assessing nitrogen stress in corn varieties of varying color. **ASAE International Meeting**, 18-21 July 1999, Toronto, Ontario/Canada.
- Leufen, G., Noga, G. and Hunsche, M. 2014. Selection of fluorescence indices for the proximal sensing of single and multiple stresses in sugar beet. **ISPA**, 1-11.
- Longer, D.E. 1998. Overseeding warm season lawns with cool season mixtures, turfgrass species, 72–75 p., In J R, Clark ve M D Richardson (ed.) Horticultural Studies 1998 Research Series 466.
- Mangiafico, S.S. and Guillard, K., 2007. Cool-Season turfgrass color and growth calibrated to leaf nitrogen. **Crop Science**. 47: 1217–1224.
- Martiniello, P. and D’Andrea, E. 2006. Cool-season turf grass species adaptability in Mediterranean environments and quality traits of varieties. **European Journal of Agronomy**, 25: 234-242.
- Maxwell, K. and Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence-a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, 51: 659-660.
- McCall, D.S., 2012. Early detection of stres on annual bluegrass on putting greens. **Virginia Turfgrass Journal**, 3: 25-26.
- McCall, D.S., 2015. Synthetic pigments Why do we spray them? Exploring the role of synthetic pigments on chlorophyll concentrations and light absorption in turf. **Virginia Turfgrass Journal**, 5: 18-21.
- McCrimmon, J.N., 1994. Comparison of washed and unwashed plant tissue samples utilized to monitor the nutrient status of creeping bentgrass putting greens. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 25: 967-988.
- McElroy, J.S. and Martins, D., 2013. Use of herbicides on turfgrass. **Planta Daninha**, 31 (2): 455-467.
- MEGEP, 2008. Bahçecilik: **Çim Alan Tesisi**. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 44 s. Ankara.
- Melvin, J. “Clemson researchers receive \$1.8 million for root study”. AG Professional. www.agprofessional.com/news/clemson-researchers-receive-18-million-root-study Erişim tarihi: 22.05.2016.

- Miller, G.L. and Thomas, A., 2003. Using near infrared reflectance spectroscopy to evaluate phosphorus, potassium, calcium and magnesium concentrations in bermudagrass. **Horticultural Science**, 38 (6): 1247-1250.
- Mlcek, J., Sustova, K. and Simeonovova, J. 2006. Application of FT NIR spectroscopy in the determination of basic chemical composition of pork and beef. **Czech Journal of Animal Science**, 51(8): 361-368.
- Moore, R.W., Christians, N.E., and Agnew, M.L., 1996. Response of three kentucky bluegrass cultivars to sprayable nitrogen fertilizer programs. **Crop Science**, 36 (5), p.1296-1301.
- Moss, J.Q. and Bell, G.E. 2010. Indirect measurement of creeping bentgrass N, chlorophyll, and color for precision golf green management. **10th International Conference on Precision Agriculture Proceedings** [CD-ROM], Denver, CO.
- Motohka, T., Nasahara, K.N., Oguma, H. and Tsuchida, S., 2010. Applicability of green-red vegetation index for remote sensing of vegetation phenology. **Remote Sensing**, 2: 2369-2387.
- Mroz, M. and Sobieraj, A. 2004. Comparison of several vegetation indices calculated on the basis of a seasonal spot xs time series, and their suitability for land cover and agricultural crop identification. **Technical Sciences**, 7: 40-66.
- Munoz-Huerta, R.F., Guevara-Gonzalez, R.G., Contreras-Medina, L.M., Torres-Pacheco, I., Prado-Olivarez, J. and Ocampo-Velazquez, R.V., 2013. A review of methods for sensing the nitrogen status in plants: advantages, disadvantages and recent advances. **Sensors**, 13: 10823-10843.
- Murphy, J.A. 1993. Near-infrared spectroscopy to quantify leaf nitrogen concentration in turfgrass. In: Agron. Abstracts. ASA, Madison, Wis. p 162.
- Mutanga, O. and Skidmore, A.K., 2004. Narrow band vegetation indices overcome the saturation problem in biomass estimation. **International Journal of Remote Sensing**, 25: 3999-4014.
- Myneni, R.B. and Ross, J. 1991. **Photon-Vegetation Interactions: Applications in Optical Remote Sensing and Plant Ecology**. 565 p. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Narra, S., Fermanian, T.W. and Swiader, J.M. 2005. Analysis of mono-and polysaccharides in creeping bentgrass turf using near infrared reflectance spectroscopy. **Crop Science**, 45: 266-273.
- Nizam, İ., 2009. Azotlu gübrelemenin çokyıllık çim (*Lolium perenne* L.)'in tohum verimi ve bazı bitkisel özelliklerine etkisi. **Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi**, 6 (2): 111-120.
- Obear, G.R., Kreuser, W.C., Hubbard, K., DeBels, B. and Soldat, D.J. 2017. Plant colorants interfere with reflectance-based vegetation indices. **Crop Science**, 57: 595-601.
- Oral, N. and Acikgoz, E., 2001. Effects of nitrogen application timing on growth and quality of a turfgrass mixture. **Journal of Plant Nutrition**, 24 (1): 101-109.
- Oral, N. ve Açıkgöz, E., 2015. **Çim Alanlar**, 2. Baskı. Ezgi Kitabevi, 108 s, Bursa.
- Özkan, U., 2013. Bazı azotlu ve organomineral gübrelerin çokyıllık çim (*Lolium perenne* L.)'de kalite ve gelişime etkileri. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Pavlovic, D., Nikolic, B., Durovic, S., Waisi, H., Andelkovic, A. and Marisavljevic, D. 2014. Chlorophyll as a measure of plant health: Agroecological aspects. **Pestic. Phytomed.** 29(1): 21-34.

- Pessaraki, M., 2008. **Handbook Of Turfgrass Management And Physiology**. (M. Pessaraki, Editor). In: Books in soils, plants, and the environment. CRC Press Inc., 720 p, New York.
- Pinnix, G.D., Miller, G.L., Bowman, D.C. and Grabow, G.L. 2017. Color, transfer, and application parameters of turfgrass colorants. **Agronomy Journal**, 110: 1-11.
- Popovici, C.I., Vintu, V., Samuil, C., Stavarache, M. and Ciobanu, C., 2012. Nitrogen content in plant tissue and visual quality assessment of three turfgrass mixtures influenced by differentiated fertilization. **Lucrări Științifice**, 55 (2): 267-270.
- Raikes, C.R. and Burpee, L.L. 1998. Use of multispectral radiometry for assessment of rhizoctonia blight in creeping bentgrass. **Phytopathology**, 88(5): 446-449.
- Resmi Gazete, 2004. Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği. Resmi Gezete, 18 Şubat 2004, Sayı: 25377.
- Rodriguez, I.R. and Miller, G.L., 2000a. Using a chlorophyll meter to determine the chlorophyll concentration, nitrogen concentration, and visual quality of St. Augustinegrass. **HortScience**, 35: 751-754.
- Rodriguez, I.R. and Miller, G.L., 2000b. Using near-infrared reflectance spectroscopy to schedule nitrogen applications on dwarf-type bermudagrasses. **Agronomy Journal**, 92: 423-427.
- Rosen, C.J., Horgan, B.P., Mugas, R.J. 2006. Fertilizing lawns. University of Minnesota Extension Service. Pub. FO-03338. www.extension.umn.edu/distribution/horticulture/DG3338.html Son erişim tarihi: 18 Ekim 2015.
- Samborski, S.M., Tremblay, N. and Fall, E. Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. **Agronomy Journal**, 101(4): 800-816.
- Samdur, M.Y., Singh, A.L., Mathur, R.K., Manivel, P., Chikani, B.M., Gor, H.K. and Khan, M.A. 2000. Field evaluation of chlorophyll meter for screening groundnut (*Arachis hypogaea* L.) genotypes tolerant to iron-deficiency chlorosis. **Current Science**, 79(2): 211-230.
- Shaddox, T.W., Unruh, J.B., Trenholm, L.E., McGroary P. and Cisar, J.L., 2015. Nitrogen rate required for acceptable St. Augustinegrass and associated nitrate leaching. **Crop Science**, 56: 439-451.
- Shaver, T.M., Khosla, R., Westfall, D.G. 2011. Evaluation of two crop canopy sensors for nitrogen variability determination in irrigated maize. **Precision Agriculture**, 12: 892-904.
- Singh, B., Singh, V., Purba, J., Sharma, R.K., Jat, M.L., Singh, Y., Thind, H.S., Gupta, R.K., Chaudhary, O.P., Chandna, P., Khurama, H.S., Kumar, A., Singh, J., Uppal, H.S., Uppal, R.K., Vashistha, M., Gupta, R. 2015. Site-specific fertilizer nitrogen management in irrigated transplanted rice (*Oryza sativa*) using an optical sensor. **Precision Agriculture**, 16: 455-475.
- Sözeri, S., Maden, S., Yazgan, M.E., Açıksöz, S., Kendir, H., Dilek, E.F. ve Karadeniz, N. 1998. Orta Anadolu koşullarında çim alan tesisinde yabancı otlarla mücadele olanaklarının araştırılması. **Tarım Bilimleri Dergisi**, 4(2): 8-14.
- Sripada, R.P., Heiniger, R.W., White, J.G. and Meijer, A.D. 2006. Aerial color infrared photography for determining early in-season nitrogen requirements in corn. **Agronomy Journal**, 98: 968-977.

- Steven, M.D. and Clark, J.A. 1990. Applications of Remote Sensing in Agriculture. Butterworth-Heinemann Ltd. 440 p. London.
- Süb, A., Danner, M., Obster, C., Locherer, M., Hank, T. and Richter, K. (2015): Measuring Leaf Chlorophyll Content with the Konica Minolta SPAD-502Plus – Theory, Measurement, Problems, Interpretation. EnMAP Field Guides Technical Report, GFZ Data Services. DOI: <http://doi.org/10.2312/enmap.2015.010>
- Tamburini, E., Ferrari, G., Marchetti, M.B., Pedrini, P. and Ferro, S. 2015. Development of FT-NIR models for the simultaneous estimation of chlorophyll and nitrogen content in fresh apple (*Malus Domestica*) leaves. **Sensors**, 15: 2662-2679.
- Trimble, 2010. GreenSeeker RT200 System. Installation and Operation Guide. www.trimble.com.
- Turgeon, A. J., 1991. **Turfgrass management, 3rd Edition**. Prentice Hall Int., 418 p, New Jersey.
- Volterrani, M., Grossi, N., Foschi, L. and Miele, S., 2005. Effects of nitrogen nutrition on bermudagrass spectral reflectance. **International Turfgrass Society Research Journal**, 10: 1005-1014.
- Witt, C., Pasuquin, J.M.C.A., Mutters, R., Buresh, R.J. 2005. New Leaf Color Chart for Effective Nitrogen Management in Rice. **Better Crops**, 89(1): 36-39.
- Xue, J. and Su, B., 2017. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. **Journal of Sensors**, Article ID 1353691, 17 pages. doi:10.1155/2017/1353691.
- Yılmaz, Ş., Hurmanlı, İ. Ve Yılmaz, M.B. 2018. Çim alanlarında üstten tohumlamanın mevsimsel çim kalitesine etkisi. **Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 23(1): 97-105.
- YSI, 2018. The Basics of Chlorophyll Measurement – Tech Note. <https://www.ysi.com/File%20Library/Documents/Technical%20Notes> Son Erişim Tarihi: 01.01.2019.
- Zhang, Q., Pierce, F.J. 2013. **Agricultural Automation: Fundamentals and Practices**. Taylor & Francis Group: Boca Raton.
- Zuk, A. and McGinnis, E. 2017. Interpreting the NDSU Soil Test Analysis for Managing Turfgrass. NDSU Extension Service, 1-7.
- Zwinkels, J. 2015. **Light, Electromagnetic Spectrum**. Encyclopedia of Color Science and Technology. 8 p. Springer Science+Business Media New York, DOI 10.1007/978-3-642-27851-8_204-1

ÖZGEÇMİŞ

Yunus Emre ŞEKERLİ, 1987 yılında Adana’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Adana’da tamamladı. Lisans eğitimini 2006-2010 yılları arasında Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü’nde Ziraat Fakültesi Birincisi olarak tamamladı. 2010 yılında aynı üniversitede Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2012 yılında aynı üniversitenin Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 2013 yılında yüksek lisans eğitimini tamamlayarak aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda doktora eğitimine başladı ve halen doktora eğitimine devam etmektedir.