

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PAMUK GELİŞİMİ VE VERİMİNİN İNSANSIZ HAVA ARACI VERİLERİ
İLE ANALİZ EDİLMESİ**

Veysel YILDIZ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2024**

**T.C
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PAMUK GELİŞİMİ VE VERİMİNİN İNSANSIZ HAVA ARACI VERİLERİ
İLE ANALİZ EDİLMESİ**

VEYSEL YILDIZ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2024**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM	21
3.1. Materyal	21
3.1.1. Çalışma alanının konumu	21
3.1.2. Çalışma alanının toprak özellikleri	22
3.1.3. Çalışma alanının iklimi.....	22
3.2. Yöntem	24
3.2.1. Çalışma alanı ve deneme deseninin oluşturulması	25
3.2.2. Bitkilerin yetiştirilmesi ve tarımsal işlemler.....	25
3.2.3. Bitki örneklerinin ve klorofil ölçümlerinin alınması	28
3.2.4. İHA görüntülerinin elde edilmesi	31
3.2.5. Bitki verim parametrelerinin ölçülmesi	38
3.2.6. Görüntü işleme çalışması.....	38
3.2.7. NDVI değerlerinin hesaplanması	40
3.2.8. İstatistiksel analiz süreci	43
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	44
4.1. Bitki Ölçümlerine İlişkin Veriler	44
4.2. Pamuk Verimine İlişkin Veriler	45
4.3. Klorofil Ölçüm (SPAD) Verileri.....	46
4.4. NDVI Analizlerine İlişkin Veriler	47
4.5. Elde Edilen Verilere İlişkin İstatistiksel Analiz Sonuçları	52
4.5.1. Tanımlayıcı istatistikler	52
4.5.2. Korelasyon analizi	53
4.5.3. Bitki ölçümleri ile verim arasındaki ilişki	56
4.5.4. SPAD ve NDVI ile verim arasındaki ilişki.....	58
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	61
KAYNAKÇA.....	63
ÖZGEÇMİŞ	67

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PAMUK GELİŞİMİ VE VERİMİNİN İNSANSIZ HAVA ARACI VERİLERİ İLE ANALİZ EDİLMESİ

Veysel YILDIZ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Recep GÜNDOĞAN
YIL: 2024, Sayfa: 68

Ürün veriminin hasattan önce, özellikle erken büyüme aşamalarında tahmin edilmesi, çiftçiler ve araştırmacılar için tarla yönetimini optimize etmek ve ürün performansını değerlendirmek açısından önemlidir. Geleneksel yöntemlerle verim tahmini, maliyetli ve zaman alıcı olmasının yanında geniş alanlar için oldukça zordur. Bilgisayar, uzay ve bilgi teknolojilerinde gelişmeler, herhangi bir ölçekte hızlı veri sağlama ve işlemeyi mümkün kılmıştır. İnsansız hava araçları (İHA), yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama için benzersiz bir platform sağlamakta ve ürün verimini uygun maliyetle ve kısa sürede tahmin etmek için kullanılabilir. Bu çalışmada, multispektral kameralarla donatılmış bir İHA tabanlı uzaktan algılama sistemi ile elde edilen verilerden hesaplanan Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) kullanılarak pamuk veriminin analiz edilmesi hedeflenmiştir. Çalışma, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme alanında her biri 360 m² olan 27 parselden oluşan bir tarlada gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, pamuk olgunlaşma döneminde NDVI, klorofil ölçüm (SPAD) verileri, pamuk verimi ve bitki büyüme ölçümlerinden (bitki boyu, bitki yaş ve kuru ağırlığı, koza sayısı ve koza ağırlığı) elde edilen veriler korelasyon analizi ile ilişkileri tespit edilmiştir. Bitki gelişim parameterleri arasında güçlü, SPAD ile bitki ölçümleri arasında orta düzeyde, NDVI ile verim ve SPAD haricindeki diğer parametrelerle zayıf, verim ile diğer tüm parametrelerle ise zayıf negatif korelasyon tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, pamukta tek dönemde (olgunlaşma dönemi) alınan verilerin hasat öncesi verim tahmininde etkili olmadığını göstermektedir.

ANAHTAR KELİMELEER: İnsansız hava aracı, NDVI, pamuk verimi, hassas tarım, SPAD

ABSTRACT

MSc Thesis

ANALYZING COTTON DEVELOPMENT AND YIELD WITH UNMANNED AERIAL VEHICLE DATA

Veysel YILDIZ

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition**

**Supervisor: Prof. Dr. Recep Gündoğan
Year: 2024, Pages: 68**

Predicting crop yield accurately, especially during early growth stages before harvest, is important for optimizing field management and evaluating crop performance for farmers and researchers. Traditional methods are costly, time-consuming, and relatively challenging to control over a wide area. With the advancement of modern science and technology, particularly computer technology, space technology, and information technology, society has entered the age of information where agricultural production challenges are increasingly being addressed with modern high technology. Remote sensing can provide rapid coverage and data acquisition over any scale of area. Unmanned aerial vehicles (UAVs) provide a unique platform for high-resolution remote sensing, and UAV-based remote sensing systems can be used to predict crop yield cost-effectively. In this study, the analysis of cotton plant yield using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) obtained from an unmanned aerial vehicle (UAV) based remote sensing system equipped with multispectral cameras is aimed. The study is based on determining the correlations of data obtained from NDVI, chlorophyll measurement (SPAD) data, cotton yield and plant growth measurements (plant height, plant fresh and dry weight, number of bolls, cocoon weight) during the cotton ripening period. At the end of the study; A strong relationship was found between plant measurements, a moderate relationship between SPAD and plant measurements, a weak relationship between NDVI and other parameters except yield and SPAD, and a weak and negative relationship between yield and all other parameters. It seems that the findings indicate that data obtained from a single period (maturation period) in cotton is not effective in predicting pre-harvest yield.

.KEYWORDS: Unmanned aerial vehicle, NDVI, cotton yield, precision agriculture, SPAD

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesinde önemli katkıları olan, özveri ve tahammülünü esirgemeyen değerli Danışman hocam Prof. Dr. Recep GÜNDOĞAN'a; kendi proje alanını bu tezin oluşturulması adına istifademize sunan, tezin birçok aşamasında yön verip her konuda desteğini esirgemeyen ve beraber çalışmaktan büyük mutluluk duyduğum değerli hocam Prof. Dr. Hikmet GÜNAL'a; İHA ve SPAD temini ve İHA uçuşları konusunda tezime destek olan, öğretileriyle mesleki ve akademik hayatımızda bizlere ufuk açan, derslerinde bulunmaktan ve beraber çalışmaktan büyük mutluluk duyduğum değerli hocam Prof. Dr. Mehmet ŞENBAYRAM'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezimin özellikle arazi ve laboratuvar çalışmaları aşamasında önemli emekleri bulunan, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen değerli mesai arkadaşım Yük. Müh. Zeynep Çavuş'a; tezin yazımı ile ilgili teknik katkıları için değerli çalışma arkadaşım Dr. Öğr. Gör. Kemal DOĞAN'a, Tezimin birçok aşamasında bana yol gösterip tecrübelerini aktararak tezime önemli katkılar sağlayan değerli doktora öğrencileri Yük. Müh. Ferit KIRAY ve Yük. Müh. Emrah RAMAZANOĞLU'na teşekkürlerimi borç bilirim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1. Çalışma alanının konumu.....	21
Şekil 3.2. Çalışmanın iş akış şeması.....	24
Şekil 3.3. Parsellerin yerleşimi.....	25
Şekil 3.4. İlk pamuk ekimi ve pamuk ekimi için kullanılan pamuk çeşidi.....	26
Şekil 3.5. Deneme alanında damla sisteminin kurulması.....	26
Şekil 3.6. Klorofil Ölçer (SPAD)	29
Şekil 3.7. Parrot Bluegrass İnsansız Hava Aracının temel bölümleri.....	32
Şekil 3.8. Parrot Sequoia multispektral kamera	32
Şekil 3.9. Bitki sağlığı ve Verim takibinde kullanılan a)İHA, b) multispektral kamera, c) otomatik pilot uçuş planı ve d) görüntülerden elde edilen NDVI görüntü.....	36
Şekil 3.10. Uçuş planının oluşturulması ve cihaz kalibrasyonunun yapılması.....	37
Şekil 3.12. Pix4D Mapper yazılımının arayüzü	39
Şekil 3.13. .Pix4D Mapper iş akış şeması	39
Şekil 3.14. ArcGIS pro yazılımı arayüzü	41
Şekil 3.15. Parsellerin poligon sınırlarının oluşturulması	42
Şekil 4.1. Parsellere ait NDVI haritası (1-9. parseller).....	49
Şekil 4.2. Parsellere ait NDVI haritası (10-18. parseller).....	50
Şekil 4.3. Parsellere ait NDVI haritası (19-27. parseller).....	51
Şekil 4.4. Pearson r değerlerinin ısı haritası.....	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 1.1. Tarımsal araştırmalarda kullanılan bazı bitki indeksleri	4
Çizelge 3.1. Şanlıurfa iline ait 1991-2020 yıllarını içeren mevsim normalleri	23
Çizelge 3.2. Pamuğun yetirilmesi aşamasında uygulanan tarımsal işlemler	27
Çizelge 3.3. Kullanılan klorofil ölçüm cihazının teknik özellikleri	30
Çizelge 3.4. Kullanılan İnsansız Hava Aracının teknik özellikleri	33
Çizelge 3.5. Parrot Sequoia kamaraaya ait teknik özellikler	34
Çizelge 4.1. Bitki ölçümlerine ilişkin veriler	45
Çizelge 4.2. Pamuk verimine ilişkin veriler	46
Çizelge 4.3. Çizelge Klorofil ölçüm (SPAD) verileri	47
Çizelge 4.4. NDVI analizlerine ilişkin veriler.....	48
Çizelge 4.5. Verilere ait anlamlıyıcı istatistikler	53
Çizelge 4.6. Tüm verilere ait korelasyon tablosu	54
Çizelge 4.7. Bitki özelliklerinin verim üzerindeki etkisine ait regresyon ANOVA sonuçları.....	57
Çizelge 4.8. SPAD ve NDVI'nin verim üzerindeki etkisine ait regresyon ANOVA sonuçları	58

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

CCCI	Kanopi Klorofil İçerik İndeksi
da	Dekar alan
GDVI	Genelleştirilmiş Farklılaşma Bitki İndeksi
GNDVI	Yeşil Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi
GOSAVI	Yeşil Optimize Edilmiş Toprak Ayarlı Bitki İndeksi
GRE	Yeşil Bant
GRVI	Yeşil/Kırmızı Bitki Örtüsü İndeksi
ha	Hektar Alan
İHA	İnsansız Hava Aracı
kg	Kilogram
LAI	Yaprak Alan İndeksi
m	Metre
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
N	Azot
NDVI	Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi
NIR	Yakın Kızılötesi Bant
RED	Kırmızı Bant
REG	Kırmızı Kenar Bant
RVI	Oran Bitki İndeksi
SONAR	Sesle Seyrüsefer ve Mesafe Ölçme
SPAD	Toprak Bitki Analiz Gelişimi
STİ	Sıfır Toprak İşleme
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
UA	Uzaktan Algılama

1. GİRİŞ

Pamuk (*Gossypium hirsutum* L.), giyim ve ince kâğıt da dâhil olmak üzere tekstil endüstrisi için toplam elyafın yaklaşık %35'ini sağlayan önemli bir ticari ürün olarak kabul edilmektedir (Johnson ark., 2002; Zhang ve ark., 2014). Pamuk, hem yağ (%18-24) hem de protein (%20-40) bakımından zengin tohumları sayesinde yem ve yağ endüstrileri için de önemli bir üründür. Pamuk verimi tahmini, ülkelerin ithalat ve ihracat planlaması adına önemli bilgiler sağlayabilir ve piyasa fiyat eğilimlerini etkileyebilir (Guo ve ark., 2014). Pamuk veriminin doğru tahmin edilmesi, çiftçilerin hasat, nakliye ve depolama gibi tarla operasyonlarında daha iyi kararlar almasına da yardımcı olabilir. Pamuk üretiminde hasat öncesi doğru verim tahmini için uzaktan algıma tekniği gibi etkili araçların kullanılması önemlidir (Freg ve ark., 2020).

Uzaktan algılama, yer yüzeyinde meydana gelen süreçleri ve bunların atmosfer ile etkileşimini inceleyen ve modelleyen bilim alanıdır. Yerel ve küresel ölçekte yer gözlemi, günümüzde artan bir ihtiyaçtır. "Maddeler, elektromanyetik radyasyonu moleküler bileşimlerine ve şekillerine bağlı olarak farklı şekilde yansıtır, emer ve yayarlar. Uzaktan algılama, bu fiziksel gerçeği kullanarak kısa, orta veya uzun mesafedeki bir alan (veya belirli bir nesne) hakkında bilgi edinmeye yardımcı olur (Lillesand ve ark., 2015). Uzaktan algılama, nesneler hakkında doğrudan temas olmaksızın bilgi edinme sürecidir. Uzaktan algılamadaki bilgi taşıyıcısı elektromanyetik radyasyondur ve farklı uzunluklardaki dalgalar halinde vakumda ışık hızında seyahat eder. Uzaktan algılama tekniğinde en yararlı dalga boyları görünür ışığı (VIS) ve yakın (NIR) ile kısa dalga (SWIR) kızılötesi, termal kızılötesi (TIR) ve mikrodalga bantlarıdır. Pasif uzaktan algılama sensörleri, nesnelerden yansıyarak veya yayılarak gelen radyasyonu kaydederken aktif sensörler, kendi radyasyonlarını yayar ve hedefle etkileşime girer, ardından ölçüm cihazına geri döner (Wójtowicz ve ark., 2016). Veri toplamada yer alan enerji kaynaklarının türüne göre, uzaktan algılama görüntüleme cihazları pasif veya aktif olabilir. Pasif sistemler, farklı dalga boylarında bir hava veya uydu spektrometresi tarafından elde edilen ortaya çıkan radyasyonu yakalamak için güneş enerjisinden yararlanır. Elde edilen sinyal veya spektral imza,

spektrum olarak bilinir ve alandaki malzemeleri tanımlamak için kullanılır (Lillesand ve ark., 2008). Ortaya çıkan multispektral görüntü, uzaktan çalıştırılan bir platformdan birkaç spektral olarak bitişik bantta uzamsal olarak eş-kayıtlı görüntülerin eş zamanlı olarak elde edilmesinden oluşur (Shaw ve Manolakis, 2002).

UA platformlarından biri olan insansız hava araçları (İHA) yüksek esneklik, operasyon kolaylığı, yüksek mekânsal çözünürlük ve isteğe bağlı veri elde etme gibi avantajları nedeniyle son zamanlarda ön plana çıkmıştır (Deng ve ark., 2018). İİHA ile verimli, sağlam ve güvenilir ürün fenotiplemesi sağlayacak veri elde edilmesi mümkündür. İHA sistemleri, özel amaçlara uygun, benzeri görülmemiş zamansal, mekânsal ve spektral çözünürlüklere sahip görüntülerin toplanmasına olanak tanır. Mahsul verimi verileri, hem hassas tarım yönetimi amaçları hem de mahsul yetiştirme programları açısından kritik öneme sahiptir. Ancak küçük arazi araştırmaları için gerekli olan hassas ölçeklerdeki verim verilerinin toplanması emek yoğun bir iştir. İHA, işgücü gereksinimlerini sınırlarken verim değişkenliğini ölçmek için kullanılabilir. Bununla birlikte, sınırlı pil ve uçuş süresi nedeniyle İHA'lar tarafından gerçekleştirilen geniş mekânsal kapsam şu anda hala mümkün değildir. Ek olarak, İHA'ların işletme maliyetleri düşük olsa da, veri hacmi daha geniş alanları kapsayacak şekilde katlanarak arttıkça veri işleme maliyeti de artmaktadır. İHA tabanlı uzaktan algılama teknolojilerinin yanı sıra, hassas tarım uygulamaları için uydu verilerinin popüleritesini gösteren önemli miktarda araştırma bulunmaktadır. Bitki örtüsünü izlemek ve verimleri tahmin etmek için daha kaba uzamsal ve zamansal çözünürlük sağlayan ücretsiz olarak mevcut uydu verileri kullanılmıştır. Ancak, bunların ölçeğe uygun hassas tarım uygulamalarına nasıl uyarlanacağı konusuna sınırlı ilgi gösterilmiştir (Duveiller ve Cescatti, 2016). Bazı ticari uydular daha iyi uzamsal çözünürlük verileri sağlasa da, zamansal kapsama frekansı ve maliyet etkinliği bu alandaki çalışmaları genellikle sınırlamaktadır (Yang, 2018). Hassas tarım uygulamaları çok daha ince ölçekte bilgi gerektirdiğinden, metodolojileri farklı ölçeklere uyarlamada önemli bir zorluk vardır (Lukas ve ark., 2016).

Uzaktan algılama tabanlı kanopilerden elde edilen bitki örtüsü indeksleri, diğer uygulamaların yanı sıra bitki örtüsü, canlılık ve büyüme dinamiklerinin niceliksel ve

niteliksel değerlendirmeleri için geliştirilmiş oldukça basit ve etkili algoritmalarlardır. Bitki indeksleri, bitki örtüsünün uzaktan algılanmasını esas olarak pasif sensörler kullanılarak kanopilerden elektromanyetik dalga yansıma bilgisinin elde edilmesiyle gerçekleştirilir. Bu endeksler, İHA'larının kullanıldığı son gelişmelerle birlikte, farklı hava ve uydu platformlarını kullanan UA uygulamalarında yaygın olarak uygulanmıştır. Bitki örtüsünün gelişimi ve sağlığının belirlenmesi için kullanılan ve gösterilen büyümenin değerlendirilmesine yardımcı olan çeşitli vejetasyon indeksleri bulunmaktadır (Çizelge 1.1.). Bu indeksler genellikle bitkinin rengi ve yoğunluğu gibi özellikleri temel alarak, bitki sağlığı hakkında bilgi sağlar. Bazı yaygın bitki örtüsü indeksleri arasında NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi), EVI (Zenginleştirilmiş Bitki İndeksi), SAVI (Toprağa Ayarlanmış Bitki Örtüsü İndeksi) ve LAI (Yaprak Alanı İndeksi) bulunmaktadır. Bu indeksler genellikle uzaktan algılama ile elde edilen verilerle tarım, ormancılık, çevre bilimleri gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Xue ve Su, 2017).

Yüksek çözünürlüklü spektral enstrümantasyonların geliştirilmesi ile uzaktan algılamayla elde edilen bant sayısı artmakta ve bant genişliği daralmaktadır. Kırmızı ve yakın kızılötesi bantlar arasındaki normalleştirilmiş oran olarak multispektral bilgilerden hesaplanan en çok kullanılan ve uygulanan endekslerden biri, NDVI olmuştur (Xue ve Su, 2017). NDVI, mahsul kanopisinden yansıyan yakın kızılötesi (900 nm) ve görünür kırmızı (680 nm) ışığa dayanan bir bitki örtüsü indeksidir (Gutierrez ve ark., 2012). Araştırmalar sıklıkla NDVI ile mahsul biyokütlesi, yaprak N konsantrasyonu ve verim arasında güçlü bir ilişki olduğunu doğrulamıştır (Zhou ve Yin, 2014).

Yaprak klorofil içeriği, bitki gücünü ve yaprak N seviyesini değerlendirmek için başka bir yararlı indekstir ve klorofil ölçer (SPAD) cihazıyla ölçümü arazide rahatlıkla yapılabilmekektir (Zhou ve Yin, 2018). NDVI ve SPAD verileri, bitkinin N beslenmesini ve büyüme durumunu izlemek ve mahsul verimini tahmin etmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bitki boyu, bitkinin N beslenmesi ile ilişkili olan erken ve orta büyüme mevsimi boyunca bitki büyümesinin bir başka ölçümüdür. Bu nedenle, bitki boyu bitki sağlığının iyi bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. NDVI yaprak alanı, yaprak açısı, yaprak rengi, yaprak kalınlığı ve

yaprak nemi ile ilişkilidir; bitki boyu ise esas olarak bitki yoğunluğu ve gübreleme ile ilişkilidir. Pamuk verimini tahmin etmek ve N beslenmesini değerlendirmek için entegre NDVI ve bitki boyu ölçümlerinin kullanılması hakkında çok az şey bilinmektedir. Ancak entegre NDVI ve bitki boyu verilerinin kullanılmasının, NDVI veya bitki boyunun tek başına kullanılmasına göre faydalı olduğu varsayılmaktadır. Benzer şekilde NDVI ile bitki biokütlesi, yaprak N beslenmesi ve ürün verimi arasında genellikle iyi bir ilişki olduğu bildirilmektedir (Zhou ve Yin, 2014).

Çizelge 1.1. Tarımsal araştırmalarda kullanılan bazı bitki indeksleri

Bitki Örtüsü İndeksleri	Denklem	Referanslar
GRVI	Yakın Kızılötesi/G	(Motohka ve ark., 2010)
GOSAVI	$(1 + 0,16) \cdot (NIR - RE) / (NIR + RE + 0,16)$	(Marin ve ark., 2021)
LAI	$(3,618 \cdot EVI - 0,118)$	(Motohka ve ark., 2010)
NDVI	$(NIR - R) / (NIR + R)$	(Deng ve ark., 2018)
GDVI	$NIR - G$	(Niu, ve ark., 2021)
RVI	Yakın Kızılötesi/R	(Jiang ve ark., 2022)
GNDVI	$(NIR - G) / (NIR + G)$	(Jiang ve ark., 2022)
CCCI	$(NIR - RE) / (NIR + RE)$	(Sh, ve ark., 2022)

NDVI, SPAD, bitki boyu, bitki ağırlığı ve verim arasındaki ilişki genellikle bitki büyümesinin izlenmesinde ve tarımsal üretimde kullanılan önemli parametrelerdir. Bu parametreler arasındaki ilişkiler genellikle tarımsal uygulamaların izlenmesi, bitki sağlığının değerlendirilmesi ve verimliliğin artırılması için önemlidir. Bu parametrelerin dikkatlice izlenmesi, tarımsal üretim süreçlerinin optimize edilmesine ve verimliliğin artırılmasına yardımcı olabilir. Bu araştırmanın temel amacı; entegre ve ilgili NDVI, SPAD ve bitki boyu ölçümleri ile pamuk verimi arasındaki ilişkileri incelemek ve pamuk bitkisinin hasat öncesi dönemde IHA ile elde

edilen spektral yansımalar değeri ile pamuk veriminin tahmin edilebilirliğini analiz etmektedir.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölüm kapsamında uzaktan algılama ve İHA verilerine dayalı bitki verim tahmini konularını içeren literatür çalışması yapılmıştır. Bu konuyla ilgili farklı çalışmalara ait özet bulgular aşağıda verilmiştir.

Debaeke ve ark. (2006), “Normalleştirilmiş SPAD İndeksi ile Azot Besin İndeksi Arasındaki İlişki: Durum Buğdayına Uygulama” adlı çalışmalarını Toulouse'da (Güneybatı Fransa'da) yapmış ve üç yıllık bir saha deneyinde, bitki azot (N) durumuna ilişkin iki gösterge olan normalleştirilmiş SPAD indeksi ve azot beslenme indeksini (NNI) beş makarnalık buğday çeşidi üzerinde karşılaştırmıştır. Normalleştirilmiş SPAD indeksi ve NNI yıl, çeşit ve büyüme aşamasına bakılmaksızın yakından ilişkili bulunmuştur. N sınırlayıcı bir faktör olduğunda, antezde (tozlanma dönemi) ölçülen SPAD indeksi tane verimini ve protein içeriğini doğru bir şekilde tahmin etmiştir. NNI'dan farklı olarak SPAD indeksinin, buğday aşırı gübrelendiğinde bu değişkenleri tahmin etmek için kullanılamayacağı sonucuna varılmıştır.

Freeman ve ark. (2007), “Uzaktan Algılama ve Bitki Boyu Kullanılarak Çeşitli Büyüme Aşamalarında Mısır Tane Biokütlesi ve Azot Alımının Bitki Tarafından Tahmini” çalışmalarında bireysel mısır bitkisi biokütlesini ve N alımını ölçmek için optik algılamanın kullanılabileceğini varsayarak Oklahoma'daki üç lokasyonda 3 yıllık bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Normalleştirilmiş bitki örtüsü farkı endeksinin (NDVI) optik sensor okumaları ve bitki boyu ölçümleri, V8'den (sekizinci yaprağın yakası açıldığı dönem) VT'ye (püskülün son dalı tamamen görüldüğü dönem) kadar çeşitli büyüme aşamalarında ayrı ayrı mısır bitkilerinden toplanmış ve bireysel bitki biokütlesi, bitkinin kapladığı birim alan başına tane verimi ve o bitkinin N alımı ile ilişkilendirilmiştir. Üreme büyümesinden önce toplanan bireysel bitki boyu ölçümü, çalışmanın altı yılı boyunca bitki biokütlesinin iyi bir göstergesi olmuştur ($r^2 = 0,81$). $NDVI \times$ bitki boyu indeksi, alan bazında yan bitki tane verimi ile en yüksek korelasyonu sağlamıştır. V8 ile V10 (10. yaprağın yakası açıldığı dönem) büyüme aşamasında toplanan optik sensör ve bitki boyu ölçümleri, bitkileri tek tek ayırt

edebilir ve biokütle birikimleri ve N alımları hakkında bilgi sağlayabilir durumdadır. Bu araştırma, tesis dışı bilgilerin toplanabileceğini ve yüksek çözünürlüklü N uygulamalarını yönlendirmek için kullanılabileceğini göstermektedir. $NDVI \times$ bitki boyu indeksi, V10'da veya öncesinde beklenen N giderimi ve tesis dışı ölçümlere dayalı olarak sezon ortası gübre N oranlarını hassaslaştırmak için kullanılabilir.

Yin ve ark. (2010), “Bitki boyu ve gölgelik NDVI'nın azot beslenmesi ve mısır verimi ile ilişkileri” adlı çalışmalarını Tennessee, ABD'de farklı ekim ve sulama sistemleri altında bitki boyu ve Normalleştirilmiş bitki örtüsü farkı endeksi (NDVI) ile ürün N beslenmesi ve mısır verimi arasındaki ilişkileri değerlendirmek üzere tasarlanmışlardır. 2008'den 2009'a kadar Milan, Tennessee yakınlarında bir tarla deneyi 0, 60, 120, 180, 240 ve 300 kg N/ha'lık altı N uygulama oranı, dört farklı ekim ve sulama sistemi altında değerlendirilmiştir. Bunlar: sulamasız sürekli mısır, sulama yapılmayan mısır-soya fasulyesi, sulama yapılan mısır-soya fasulyesi ve sulama yapılmayan mısır-pamuk. Dört uygulamada da rastgele tam blok tasarımı kullanılmıştır. Sezon boyunca bitki boyları, kanopi NDVI endeksleri ve yaprak N konsantrasyonları ve hasattaki tahıl verimleri her yıl bireysel parsellerde ölçülmüştür. Ürün rotasyonu ve sulama sistemlerinden bağımsız olarak, önemli büyüme aşamalarında mısır verimi ile bitki boyu arasında ve mısır verimi ile gölgelik NDVI endeksleri arasında önemli pozitif doğrusal ilişkiler bulunmuştur. Mısır verimi ile bitki boyu arasındaki ve mısır verimi ile kanopi NDVI endeksleri arasındaki ilişkiler, büyüme mevsimi ilerledikçe güçlenmiştir. Mısır verimleri ile bitki boyları arasındaki ilişkiler, tüm ürün rotasyonları altında aynı büyüme aşamasında sırasıyla kanopi NDVI indeksli mısır verimlerinden daha güçlü bulunmuştur. Mısır verimi ile bitki boyu ve kanopi NDVI endeksleri arasındaki ilişkiler, soya fasulyesinden sonra rotasyona tabi tutulan mısırdaki, sürekli mısır ve pamukla rotasyona tabi tutulan mısıra göre daha güçlü bulunmuştur. Sonuçlar, önemli büyüme aşamalarındaki bitki boyları ve gölgelik NDVI endekslerinin, farklı ürün rotasyonları ve sulama sistemleri altında mısırdaki sezon içi değişken oranlı N uygulamaları için algoritmalar geliştirmek için kullanılabileceğini göstermektedir.

Chen ve ark (2011), “Xi'an Bölgesinde LAI, NDVI, SPAD ve kışlık buğdayın biokütlesinin korelasyonlu analizleri” adlı çalışmalarında Xian'da (Orta Çin'de) beş kez yapılan bir saha deneyinde, gerçek zamanlı mahsul koşulları göstergelerini ölçmek için yere dayalı entegre bir sensör ve enstrümantasyon sistemi geliştirmişlerdir. Bunlar: NDVI, SPAD, LAI ve biokütledir. NDVI değeri GreenSeeker, SPAD değeri SPAD502, LAI değeri CI-110 ve CI-203 ile elde edilmiş ve biokütleyi tahmin etmek için eş zamanlı örnekler toplanmıştır. Sonuçlar, entegrasyon sensörü ve enstrümantasyon sisteminin tarım alanında çok kaynaklı bilgi edinimini ve yönetimini desteklediğini göstermektedir. Ölçülen verileri işleyerek ve yukarıdaki verilerin korelasyonunu simüle ederek, belirli bir aralıkta LAI, NDVI, SPAD değerinin zamanla arttığı görülmüştür. NDVI ve SPAD, NDVI ve LAI ile ilgili korelasyonlar pozitifdir. LAI ve biokütle ise, kış buğdayının büyüme aşamasında yakından ilişkilidir.

Gutierrez ve ark. (2012), “Yayla Pamuğunda Spektral Yansım İndekslerinin Bitki Büyümesi ve Lif Verimi ile İlişkisi” adlı çalışmalarında üç pamuk çeşidi ve beş N oranı kullanılarak Arizona'nın sulanan alçak çölünde 2009 ve 2010 büyüme mevsimlerinde pamukta (*Gossypium hirsutum* L.) biokütle, yaprak alan indeksi (LAI) ve mahsul verimi ile dört spektral yansım indeksinin ilişkisi incelenmiştir. Biokütle, LAI ve kanopi yansım indisleri (normalize edilmiş fark bitki indeksi [NDVI], basit oran [SR], yakın kızılötesi indeks [NIR] ve oran bitki indeksi [RVI]) farklı büyüme aşamalarında belirlenmiştir. Yaygın olarak kullanılan NDVI ve diğer üç kanopi yansım indeksi, pamuk biokütlesinde (%87'den fazla değişkenlik) ve LAI'de (%93'ten fazla) açıklamıştır. SR, NIR ve RVI indisleri, geç büyüme aşamalarında doymun olmadıkları için NDVI' ya kıyasla daha yüksek belirleme katsayılarına (R^2) sahiptir. Erken büyüme aşamalarında lif verimi ile ölçülen spektral indisler arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Ancak, çiçeklenme döneminde belirlenen spektral indisler ile lif verimi arasında önemli korelasyonlar gözlenmiştir. SR, NIR ve RVI indisleri sırasıyla pamuk lif verimindeki varyasyonun %56'sını, %60'ını ve %58'ini açıklarken, NDVI yalnızca lif verimindeki varyasyonun %47'sini açıklamıştır. Bu çalışma, kanopi yansım indislerinin çiçeklenme döneminde pamuk lif verimini tahmin etmek için kullanılabileceğini ve SR, NIR ve RVI kullanıldığında verim tahmininin doğruluğunun önemli ölçüde artabileceğini öne sürmektedir.

Yin ve McClure (2013), “Mısır Verimi, Biokütle ve Yaprak Azotunun Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi ve Bitki Boyu ile İlişkisi” isinli çalışmalarının amacı; mısır verimi, bitki biokütlesi ve yaprak azotu ile erken ve orta mevsimde alınan birleşik ve ayrı NDVI ve bitki yüksekliği ölçümleri arasındaki ilişkiyi karşılaştırmaktır. Büyük tarım sistemleri altında alınan NDVI ve bitki yüksekliği ölçümleri ile mısır verimi, bitki biokütlesi ve yaprak azotu arasındaki ilişkilerin gücünü karşılaştırmak için iki tarla N oranı yanıtı çalışması yapılmıştır. Sulanmamış mısır tarlalarında soya fasulyesi (CS), pamuk sonrası sulanmamış mısır (CCT), mısır sonrası mısır (CC) ve sulanmış mısır sonrası soya fasulyesi (ICS) denemeleri 2008-2010 yılları arasında Jackson ve Milan, Tennessee'de gerçekleştirilmiştir. Mısır verimi, bitki biokütlesi ve yaprak N konsantrasyonunun $NDVI \times$ bitki yüksekliği ve $NDVI +$ bitki yüksekliği ile regresyonları, ekimden 6 yaprak büyüme evresine (V6) kadar olan dönemde mısır verimi, bitki biokütlesi ve yaprak N ile yalnızca NDVI ile yapılan regresyonlardan daha yüksek R^2 değerlerine sahip olmuştur. Ekim sisteminden bağımsız olarak 12 yaprak büyüme evresine (V12) kadar mısır verimi, bitki biokütlesi ve yaprak N regresyonlarında $NDVI \times$ bitki yüksekliği veya $NDVI +$ bitki yüksekliği ile yalnızca bitki yüksekliği arasında bir güç farkı gözlemlenmemiştir. Sonuçlar, erken ve orta mevsimde mısır büyümesini ve azot beslenmesini değerlendirmek ve/veya mısır verimini tahmin etmek için birleşik NDVI ve bitki yüksekliği ölçümlerini kullanmanın faydalarının, yalnızca NDVI ölçümlerinin kullanımına kıyasla değişken olduğunu göstermektedir.

Zhou ve Yin (2014), “Pamuk azotu ve veriminin Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi ve bitki boyu ile ilişkisi” adlı çalışmasının amacı , pamuk verimi ve yaprak N konsantrasyonunun belirli büyüme evrelerinde alınan birleşik ve ayrı NDVI ve bitki yüksekliği ölçümleri ile ilişkileri arasındaki belirleme katsayısı (R^2) açısından gücünü karşılaştırmaktır. Tennessee'deki Jackson ve Milan'da 2008-2010 yılları arasında toprak işlemez pamuk üzerinde bir tarla deneyi yapılmıştır. Tüm tesis yılları için dört tekrarlı rastgele blok tasarımında 0, 45, 90, 135, 179 ve 224 kg N ha⁻¹ olmak üzere altı N uygulaması gerçekleştirilmiştir. Lif verimi ile NDVI x bitki yüksekliği ve $NDVI +$ bitki yüksekliği regresyonları bazen yalnızca NDVI ile yapılanlardan daha

güçlü olmuştur. Yaprak N konsantrasyonu ile NDVI x bitki yüksekliği ve NDVI + bitki yüksekliği arasındaki ilişkiler, yalnızca NDVI ile yapılanlara benzer veya değişken şekilde daha güçlü olmuştur. Lif verimi ve yaprak N ile NDVI x bitki yüksekliği veya NDVI + bitki yüksekliği regresyonları genellikle sadece bitki yüksekliği ile yapılanlarla benzerdir. Pamuk verimini tahmin etmek ve/veya N beslenmesini değerlendirmek için birleştirilmiş NDVI ve bitki yüksekliği ölçümlerinden faydalanmanın, yalnızca NDVI kullanımına kıyasla değişken avantajları vardır. Hem entegre hem de ilgili NDVI ve bitki boyu ölçümlerinin, N beslenmesini değerlendirmek yerine pamuk verimini tahmin etmek için kullanılması daha uygundur.

Trevisan, ve ark. (2015), “Sezon ortasında pamuk biokütlesini tahmin etmek için mahsul yüksekliği ve optik sensör okumalarının kullanılması” adlı çalışmalarının amacı, optik ve ultrasonik sensörlerin performansının yanı sıra bu verilerin pamuk biokütlesini tahmin etmek için birleştirilmesini değerlendirmektir. Orta Batı Brezilya'nın Goiás eyaletinde bulunan ticari tarlalarda, 2013/14 yetiştirme sezonunda biri geleneksel sıra sistemine, diğeri dar sıralara dikilmiş iki saha deneyi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar çoğu değerlendirmede mahsul boyu ile pamuk biokütlesi arasında iyi korelasyonlar olduğunu doğruladı. Normalleştirilmiş Fark Kırmızı Kenar endeksinin ve manuel olarak ölçülen mahsul yüksekliğinin birlikte kullanılması, mahsul biokütlesinin herhangi bir tek değişkenin kullanılmasından daha iyi tahmin edilmesine olanak sağlamıştır. Optik ve ultrasonik sensörlerin birleşimi de daha iyi performans göstermiş ancak gelişmeler yalnızca son örnekleme tarihinde daha belirgin olmuştur. Ultrasonik sensörlerin kullanımı, sezon ortasında pamuk biokütlesinin tahminini geliştirmek için iyi bir alternatiftir, ancak ürün yüksekliğinin manuel olarak ölçülmesiyle elde edilen sonuçlara daha benzer sonuçların elde edilmesi için bazı ayarlamalara ihtiyaç vardır.

Huang ve ark. (2016), “Düşük Maliyetli Küçük İnsansız Hava Aracıyla Elde Edilen Çok Yüksek Çözünürlüklü Dijital Görüntüler Kullanılarak Pamuk Verimi Tahmini” adlı çalışmalarının amacı, hassas pamuk tarımı kapsamında pamuk veriminin tahmin edilmesi için yeni yöntemler geliştirmek ve değerlendirmektir. Deneme

parselleri, 2014 yılında Mississippi'nin Stoneville yakınlarındaki bir pamuk tarlasında düzenlenmiştir. Pamuk verimindeki farklılıkları oluşturmak için parsellere beş farklı oranda azot gübresi uygulanmıştır. İki yöntem kullanılarak pamuk verimi tahmin edilmiştir: (1) çok yüksek çözünürlüklü dijital görüntülerden (2.7 cm piksel-1) elde edilen üç boyutlu nokta bulutu verilerini kullanarak pamuk bitkisi yüksekliğini tahmin etmek ve buna göre verim tahmini yapmak ve (2) hasattan hemen önce yaprakları dökülmüş pamuk tarlasının dijital görüntülerindeki pamuk kapsayan işaretleri arka plandan ayırarak pamuk parsel birim kapsamı ile verimi tahmin etmek. Sonuçlar, ucuz küçük bir çok rotorlu İHA'den elde edilen çok yüksek çözünürlüklü dijital görüntüler kullanılarak pamuk verimini doğru bir şekilde tahmin etmek için düşük irtifada uzaktan algılamanın kullanılabileceğini göstermiştir ($R^2 = 0.43$, manuel olarak ölçülen bitki yüksekliği ile yapılan verim tahmini için $R^2 = 0.42$). Sonuçlar ayrıca, Laplacian görüntü işleme ile her bir parseldeki pamuk kapsamının tahmini yoluyla güvenilir pamuk verimi tahmini sunabileceğini göstermiştir ($R^2 = 0.83$).

Zhou ve Yin (2018), “NDVI, SPAD ve sap nitrat konsantrasyonu ile pamuğun azot beslenme durumunun, biokütle ve veriminin değerlendirilmesi” adlı 33 yıllık uzun vadeli bir tarla denemesinde iki örtü durumu altında dört N oranı (0, 34, 67 ve 101 kg N ha⁻¹) kullanılarak, NDVI, SPAD okuması (klorofil içeriği ile ilişkilendirilmiştir) ve petiole (yaprak sapı) özü NO₃-N konsantrasyonu (geleneksel yöntem) ile N beslenmeyi değerlendirmenin, bitki biyomasesini ve verimi tahmin etmenin pamuk için nasıl olduğu değerlendirilmiştir. Kanopi NDVI ve SPAD okumaları, yaprak sapı özsuyu NO₃-N'e göre N oranlarına daha az duyarlı bir yanıt vermiştir. NDVI ve SPAD okumasının N oranlarına yanıtları genellikle tüylü bakla ile kışlık örtü bitkisi nedeniyle azalmıştır. Kanopi NDVI ile SPAD okuması ve yaprak sapı özsuyu NO₃-N konsantrasyonu arasında genellikle önemli ve pozitif korelasyonlar bulunmaktadır. Orta çiçeklenme döneminden geç çiçeklenme dönemine kadar NDVI ve erken çiçeklenme döneminden geç çiçeklenme dönemine kadar SPAD okuması, pamuk N beslenme durumunu değerlendirmek için etkili alternatif yöntemlerdir. Geç çiçeklenme dönemindeki SPAD okuması, pamuk biyokütlesini tahmin etmek için etkili bir parametredir. Erken dönemde NDVI ve erken döneminden

orta çiçeklenme dönemine kadar SPAD okuması, pamuk verimi tahmini için etkili olmuştur.

Feng ve ark. (2018), “İHA Tabanlı Görüntü Verilerinden Bitki Yüksekliğine Dayalı Pamuk Verimi Tahmini” adlı araştırmalarının amacı, sezon içinde pamuk verimini tahmin etmek için İHA tabanlı bir uzaktan algılama sisteminin düşük maliyetli bir RGB kamera ile kullanılma potansiyelini değerlendirmektir. İHA sistemi, ilk çiçeğin büyüme aşamasındaki bir pamuk tarlası üzerinde yerden 50 m yükseklikte görüntüler almıştır. Görüntüler, coğrafi referanslı bir ortomosaik görüntü ve tarlanın dijital yükseklik modelini (SYM) geliştirmek için işlenmiş ve daha sonra mahsul kanopisi ile çıplak toprak yüzeyi arasındaki yükseklik farkını hesaplayarak bitki yüksekliğini haritalamak için kullanılmıştır. Tüm sıralar için verim ve bitki boyu arasındaki Pearson korelasyon katsayıları %66 ila %96 aralığında olup, sıra kaydı olmayanlardan (%54 ila %95) daha yüksektir. Görüntüden türetilmiş bitki boyuna dayalı bir verim tahmin modeli oluşturmak için kullanılan parametrik olmayan bir regresyon, verimi %10'dan daha az hatayla tahmin edebilmiştir. (kök ortalama kare hatası 360,4 kg ha⁻¹ ve ortalama mutlak hata 180,9 kg ha⁻¹). Sonuçlar, düşük maliyetli bir dijital kamerayla donatılmış İHA tabanlı uzaktan algılama sisteminin pamuk verimini kabul edilebilir hatalarla tahmin edebildiğini göstermiştir.

Gebremedhin ve ark. (2019), “Çok Yıllık Çavdar Yetiştirme Programında Ot Veriminin Yüksek Verimli Fenotipleme için NDVI ve Bitki Yüksekliğini Birleştiren Bir Modelin Geliştirilmesi ve Doğrulanması” adlı makalelerinde, çok spektralli görüntülemeye normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi (NDVI) ve bitki yüksekliği tahminlerinden ultrasonik sonar kullanarak büyük bir kalıcı çayır çimi ıslah programında tek bitkilerin verimini tahmin etmenin olanakları değerlendirilmektedir. Sensör kalibrasyonu için taze verim (FHY) ve kuru verim (DHY) yıkıcı olarak elde edilmiş ve bitki yüksekliği 2017 ve 2018'de seçilen 480 bitki alt kümesinde her biri dört tarih için ölçülmüştür. Gözlemlenen ve tahmin edilen verim arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için K-katlamalı ve rastgele bölünmüş çapraz doğrulama yöntemlerine dayalı küresel çoklu doğrusal regresyon modelleri kullanılmıştır. Doğrulama için tahmin edilen ve gözlemlenen kuru verim arasında elde edilen belirleme katsayısı (R^2)

= 0.67-0.68 ve kök ortalama kare hatası (RMSE) 5.43-7.60 g arasında bulunmuştur. Ortalama mutlak hata (MAE) ve ortalama yüzde hata (MPE) sırasıyla 3.59-5.44 g ve %22-28 arasında değişmektedir. Taze verim için R² değerleri 0.63 ila 0.70 arasında değişirken, RMSE 23.50 ile 33 g arasında, MAE 15.11 ile 24.34 g arasında ve MPE ~22% ile 31% arasında bulunmuştur. NDVI ve bitki yüksekliğinin birleştirilmesinin, kalıcı çayır çimi ıslah programlarında ot veriminin yüksek kapasiteli fenotipleme yapılmasını sağlayan güçlü bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Aslan (2019), “Buğdayda bitki azot durumunun portatif klorofil ölçüm cihazı (SPAD) ve alçak irtifa insansız hava aracı (DRONE) ile belirlenmesi” adlı tez çalışması, sert buğday yetiştiriciliğinde sezon içi verim tahmini ve azot dozu optimizasyonunu sağlamak için spektral kamera taşıyan İHA (İnsansız Hava Aracı) verileri ile yapılan bir araştırma ile ilgilidir. Araştırmada, değişik azot miktarları verilen buğday alanlarında bitkideki azot durumunun ve gelişiminin takip edildiği, NDVI değerlerinin SPAD’la kalibrasyonu sağlanarak bitkilerin klorofil içeriklerinin ve toprak tarafından alınan azot miktarlarının ölçüldüğü belirtilmiştir. Araştırma sonucunda, planlanan her üç azot miktarının da (6, 12, 18 kg da⁻¹) bitkinin hem klorofil hem de azot içeriğini önemli ölçüde arttırdığı ve NDVI ile SPAD değerlerinin en düşük 6 kg N da⁻¹ azot dozunda, en yüksek ise 18 kg N da⁻¹ azot dozunda gerçekleştiğini tespit edilmiştir.

Edalat ve ark. (2019), “Geleneksel ve azaltılmış toprak işleme sistemleri altında NDVI ve SPAD sensör tabanlı verileri kullanan mısır azot yönetimi” adlı çalışmalarında çeşitli N uygulama oranlarında azaltılmış toprak işleme ile geleneksel toprak işleme karşılaştırılmıştır. Toprak işleme sisteminden bağımsız olarak, hem NDVI hem de SPAD N eksikliğini erken büyüme aşamalarında tespit edebilmiştir, ancak SPAD ölçümleri, N uygulama oranlarına ilişkin bitkinin N durumunu daha iyi yansıtmıştır. N oranları ile tane veriminin yanı sıra tane N içeriği ve yaprak N içeriği arasındaki ilişkiyi göstermek için değiştirilmiş bir Michaelis-Menten modeli kullanılmış ve her ikisi de kabul edilebilir uyum göstermiştir. Azaltılmış toprak işleme koşullarındaki tahıl verimi, geleneksel toprak işlemeye göre önemli ölçüde daha yüksek olmuştur. Yaprak azotu, SPAD ve NDVI verilerinin kombinasyonu, mısır

tarlasındaki azot durumunu yönetmek ve tahıl verimini tahmin etmeye yönelik bir araç olarak değerlendirilebilir.

Freg ve ark. (2020), “İHA tabanlı çoklu sensör görüntüleri kullanılarak pamukta verim tahmini” adlı çalışmaları , pamuk verim tahmininde insansız hava aracı (İHA) tabanlı uzaktan algılama sisteminin performansını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bir RGB kamerası, bir multispektral kamera ve bir kızılötesi termal kamerayla donatılmış bir İHA sistemi, bir pamuk tarlasının çiçeklenme aşaması ve hasat öncesi olmak üzere iki büyüme aşamasında görüntüler elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Üç kamera tarafından alınan ardışık görüntüler, birleştirilmiş görüntüler (osmotik görüntüler) ve sayısal yüzey modeli (SYM) oluşturmak için işlenmiş ve bunlar bir hasat makinesine edilmiş bir verim izleyici tarafından elde edilen jeoreferanslı verim verileri ile kaydedilmiştir. Normalleştirilmiş farklılık bitki indeksi (NDVI), yeşil normalleştirilmiş farklılık bitki indeksi (GNDVI), üçgen yeşillik indeksi (TGI), CIE-LAB renk uzayındaki bir kanal (a^*), kanopi örtüsü, pamuk lifi indeksi (CFI), bitki yüksekliği (PH) ve kanopi sıcaklığı da dahil olmak üzere sekiz görüntü özelliği çıkarılmıştır. Her bir görüntü özelliğinin verim tahmini için doğruluğunu değerlendirmek için modeller geliştirilmiştir. Sonuçlar, PH ve CFI'nin pamuk verimi tahmini için en iyi tek özellikler olduğunu göstermektedir, her ikisi de R-kare değeri 0.90 ile. PH ve CFI, PH ve a^* , veya PH ve sıcaklık kombinasyonları, R-kare değerleri 0.92 ile 0.94 arasında değişen en iyi iki özellikli modeller olarak kanıtlanmıştır. En iyi üç özellikli modeller, PH, CFI, sıcaklık ve a^* kombinasyonları arasındadır. Bu çalışma, çiçeklenme büyüme aşaması sırasında ve/veya hemen hasat öncesinde elde edilen İHA verilerinin pamukta verimi doğru olarak tahminlediğini bildirmiştir.

Rouze ve ark. (2021), “Pamuğa dayalı yönetim bölgelerine yönelik alternatif bir araç olarak insansız hava sistemleri (İHA) görüntülerinin değerlendirilmesi” adlı çalışmalarının amacı, İHA görüntülerini, ECa (görünür toprak elektrik iletkenliği) 'ya göre değerlendirmek ve pamuk özelliklerini (boy, kütlü pamuk verimi) tahmin etme yetenekleri ve bu özelliklere dayalı pamuk yönetim bölgelerini tanımlama konusunda değerlendirmektir. Çok spektralli/termal sensörlerden tek sezonluk İHA görüntüleri

toplanmış ve Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) ve radyometrik yüzey sıcaklığı (Tr) olarak işlenmiştir. Yönetim bölgeleri ayrıca ekim öncesi ve hasata yakın dönemlerde toplanan dijital kamera (RGB) görüntüleri kullanılarak belirlenmiştir. RGB yönetim bölgeleri, yeni bir açık koza haritalama yaklaşımıyla belirlenmiştir. Sezon içi NDVI ve Tr katmanları, kanopi yüksekliğinin önemli ($P < 0.01$) tahmincileri olmuştur. Ayrıca, NDVI ve Tr haritaları, çiçeklenme ve koza dolma büyüme aşamalarında verim açısından istatistiksel olarak farklı yönetim bölgeleri üretmiştir ($P = 0.001$ veya daha az). Açık koza katmanları, ECa verilerinden pamuk tohum verimini daha doğru tahmin eden tahminciler olmuştur ve bu iki katman aynı zamanda istatistiksel olarak farklı yönetim bölgeleri oluşturmuştur. ANOVA testleri, yalnızca ECa verildiğinde, RGB açık koza haritası aracılığıyla İHA bilgilerinin eklenmesinin önemli ölçüde farklı bir verim tahmin modeline yol açtığını ortaya koymuştur ($P < 0.001$). Bu sonuçlar, İHA görüntülerinin diğer tekniklerin sağlayamadığı şekilde pamuk yönetim bölgesi belirleme için değerli bilgiler sunabileceğini göstermektedir.

Siegfried (2021), “Pamuk Verimini Tahmin Etmek İçin İnsansız Hava Aracından Uzaktan Algılama” adlı tezinin amaçları, pamuk verimi ile İHA çok spektralli ve termal kızılötesi görüntülerden türetilen ilişkiyi incelemek ve pamuk verimi ile en güçlü ilişkiye sahip olmak için en uygun sezon içi İHA uçuş zamanını belirlemektir. Deneysel tasarım, dört tekrarlı tamamen rastgele düzen sırasında 3×8 faktöriyel bir düzenleme ile dört büyüme sezonu boyunca (2017-2020) yürütülmüştür. Bir işlem faktörü, tahmini bitki evapotranspirasyonu (ETc) gereksiniminin bir yüzdesi olarak uygulanan üç sulama seviyesi olup (%0, %40 ve %80 ET yerine koyma) diğer faktör ise sekiz ticari pamuk çeşididir. İHA görüntüleri, yüksek çözünürlüklü çok spektralli ve termal kızılötesi ortomozayikler üretmek üzere iki haftalık aralıklarla elde edilmiştir. Normalleştirilmiş Farklılık Bitki İndeksi (NDVI), Normalleştirilmiş Farklılık Kırmızı Kenar (NDRE), Boll Area Index (BAI) olarak adlandırılan pamuk kozalarının piksel tabanlı sınıflandırması ve kanopi sıcaklığı, ortomozayiklerden türetilmiş ve pamuk verimi tahmini için uygunluklarını belirlemek üzere analiz edilmiştir. NDVI'nın, verimle pozitif doğrusal bir ilişkisi bulunmuş ve bu ilişki yaklaşık 1200 ısı biriminde en güçlü olmuştur ($R^2 =$ sırasıyla 2017, 2018, 2019 ve 2020'de 0.61, 0.78, 0.49 ve 0.78). Her yıl BAI ve verim arasında güçlü pozitif doğrusal ilişkiler

bulunmaktadır (R^2 = sırasıyla 0.61, 0.79, 0.67 ve 0.73). İki uçuş tarihinden elde edilen bitki örtüsü indeksleri, boll alan indeksi ve/veya kanopi sıcaklığı kullanılarak yapılan çoklu doğrusal regresyonlar daha iyi verim tahminleri üretmiştir.

Sinka ve ark. (2021), “Farklı fide yetiştirme yöntemlerinin dört tatlı mısır (*Zea mays* L.) hibritinin SPAD, NDVI değerleri ve bazı morfolojik parametreleri üzerine etkisi” isimli araştırmalarının temel amacı dört farklı hibritin bazı fizyolojik ve morfolojik parametreleri ile tatlı mısır fidelerinin farklı yetiştirme yöntemleri arasındaki ilişkiyi belirleyerek, iki yıllık bir deneyde (2019, 2020) strese dayanma yetenekleri hakkında bilgi edinmektir. Fideler ön koşullandırma yapılarak ve yapılmadan yetiştirilmiştir. Ön koşullandırma, genç bitkilerin soğuk strese maruz bırakılarak büyütülmesine dayanmaktadır. Fide çıkış yüzdesi, bitki boyu, toplam yaprak sayısı, toplam taze yerüstü biokütlesi ve koçan uzunluğu belirlenmiştir. Ayrıca Toprak Bitki Analiz Gelişimi (SPAD) ve Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) değerleri ölçülmüştür. 2019 yılında, ön koşullandırılmış fideler, test edilen parametrelerin çoğu için soğuk strese daha toleranslı olmuştur. Genel olarak, ön koşullandırılmış fidelerin SPAD ve NDVI değerleri her iki yılda da daha iyi olarak kabul edilmiş, ancak tüm incelenen hibritler için doğrulanmamıştır. Hibritler arasında, standart yetiştirme yöntemine kıyasla %17.5 daha yüksek bitki, %13.1 daha uzun koçan ve %10.4 daha yüksek SPAD değerleri elde etmede ön koşullandırmadan en çok fayda sağlayan hibrit olmuştur. 2020'de soğuk stresin o kadar baskın olmadığı bir dönemde, ön koşullandırmadan en çok faydalanan hibrit olmuş ve %9.7 daha yüksek bitki, %32 daha fazla taze yerüstü biokütlesi, %6.8 daha uzun koçan, %3.6 daha yüksek SPAD ve %9.3 daha yüksek NDVI değerleri elde etmiştir.

Xu ve ark. (2021), “Zaman serisi İHA uzaktan algılama verilerini kullanan makine öğrenimine dayalı pamuk verimi tahmin modeli” adlı araştırmalarında, zaman serisi İnsansız Hava Aracı (İHA) uzaktan algılama verilerine dayalı olarak pamuk verimi tahmin modeli oluşturmuşlardır. Deneysel sonuçlar, önerilen modelin R^2 'sinin 0,81 m2 ölçeğinde 0,853 olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, pamuk veriminin geniş alan ve küçük ölçekli tahmin edilmesi gereksinimlerini aynı anda

karşılayabilecek bir yöntem sağlamakta ve pamuk verimi ölçümü ve ıslah taraması için yeni bir fikir sunmaktadır.

Ji ve ark. (2023), “İHA multispektral uzaktan algılama temelli yazlık mısırın çoklu mekansal dikey ölçekler için SPAD değerlerinin izlenmesi üzerine bir çalışma” adlı çalışmalarında, yazlık mısırın SPAD değerleri için bir tahmin modeli oluşturulmuştur. Bu makale, yazlık mısır yapraklarının farklı ölçeklerdeki SPAD değerlerini İHA çok spektralli görüntülere dayalı bir tahmin modeli oluşturulmuştur. Deneyde, yazlık mısırın birleşme aşamasındaki çok spektralli görüntü verileri toplanmış ve sekiz bitki örtüsü indeksi seçilmiştir. Araştırma sonuçları, yazlık mısırın klorofil içeriğinin farklı ölçeklerde uzaktan algılama izleme için teknik destek sağlayabildiğini göstermektedir.

Psiroukis ve ark. (2023), “İHA'den Türetilen DSM ve RGB Görüntülerini Kullanarak Pamuk Büyüme Modellemesi” adlı araştırmalarında, İHA tarafından türetilmiş görünür spektrum bitki örtüsü indeksleri ve fotogrametrik ürünler kullanılarak pamuk bitki yüksekliğini tahmin etmek için veri işleme hattının kullanımını araştırmışlardır. Üretilen ortomozayik haritalardan elde edilen görünür spektrum yansıma verileri kullanılarak üç bitki örtüsü indeksi hesaplanmış ve pamuk kanopisinin yer örtüsü de ikili maskeler kullanılarak hesaplanmıştır. Son olarak, indeksler ile bitki yüksekliği arasındaki korelasyonlar incelenmiştir. Sonuçlar, özellikle Yeşil Kromatik Koordinat (GCC) ve Normalleştirilmiş Aşırı Yeşil (NExG) indekslerinin, erken büyüme aşamalarında pamuk yüksekliği ile yüksek korelasyona sahip olduğunu ve 0.70'in üzerine çıktığını göstermiştir.

Da Silva Andrea ve ark. (2023), “Uzaktan algılama ve makine öğrenimi yaklaşımı kullanarak ticari pamuk tarlalarındaki bitki boyunun tahmin çerçevesi” adlı çalışmalarının amacı, büyük ölçekli pamuk üretiminde bitki büyüme düzenleyicilerinin yönetim planlamasında önemli bir değişken olan pamuk yüksekliği için bir tahmin çerçevesini değerlendirmektir. 16 tarladan ve yaklaşık 2800 hektarlık ticari ekim alanından iki tarım sezonunun (2020/2021 ve 2021/2022) saha verileri ile uydu görüntüleri girdi olarak kullanılmıştır. Makine öğrenme teknikleri, şu ana

soruları yanıtlamak için kullanılmıştır: (i) Algoritmalar, bu verilerin iki tam sezonunu ve uzaktan algılamayı kullanarak ürün yüksekliğini doğru bir şekilde tahmin edebilir mi? (ii) Hangi uzaktan algılama verileri ve makine öğrenme algoritması tahminlerde en iyi performansı sergiler? Algoritmalar, R-kare değerleri 0.31 ila 0.87 arasında değişen bir doğrulukla tüm sezon için pamuk yüksekliğini tahmin edebilmiştir. Temel fenolojik aşamalar göz önüne alındığında, tahminlerin R-kare değerleri -0.2 ila 0.83 arasında değişmiştir. Çıkıştan sonraki günlerin dahil edilmesi, tüm modellerin performansında bir iyileşme göstermiş ve ortalama mutlak hata azalmıştır. Temel fenolojik aşamalar için, en iyi model performansları çıkıştan ilk çiçek görünümüne kadar olan dönemde bulunmuştur. Fark Bitki İndeksi ve yakın kızılötesi bantlar, tüm sezon ve fenolojik aşamalar göz önüne alındığında en iyi tahminleri bulmuşlardır. Random forest regresyonu, R-kare ve ortalama mutlak hata göz önüne alındığında en iyi genel performansı sergilemiştir. Uzaktan algılama ve zaman olmak üzere iki değişkenin kullanımının, en iyi performanslardan birini elde etmek için yeterli olduğu kanıtlanmıştır.

Kayahan (2023)'nın yaptığı tez çalışması, Konya ilindeki silajlık mısır bitkilerinde mısır verimi tahmini üzerine yapılan bir araştırmadır. Araştırmada uzaktan algılama teknolojisi kullanılarak elde edilen normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) ölçümleri mısır verim ölçümleri ile mukayese edilmiş ve NDVI'nın verim tahmini kapsamında geçerlendirilebilirliği incelenmiştir. Yaklaşık 1000 m² alana mısır ekimi yapıldıktan sonra farklı verim elde etmek amacıyla farklı azot dozları uygulanarak 5 parsel oluşturulmuştur. NDVI değerleri, çiçeklenme döneminde ve bu dönemden önceki ve sonraki dönemlerde çok bantlı bir kameradan havadan alınan görüntülerden hesaplanmıştır. Hasat zamanında alınan verim ölçümü bu NDVI değerleri ile karşılaştırıldığında en yüksek korelasyonun ($R^2=0,945$) çiçeklenme döneminde alınan görüntülerle elde edildiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar çiçeklenme döneminde alınan görüntülerin verim tahmininde etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Kaya ve Polat (2023), “Farklı spektral bitki örtüsü indeksleri kullanılarak buğday verimi tahmini için doğrusal bir yaklaşım” adlı çalışmalarının amacı Landsat-8

ve Sentinel-2 uydu verilerini kullanarak buğday verim modeli geliştirmektedir. Bu çalışmada Şanlıurfa ilinde seçilen bir bölgenin 2015-2018 yılları arasında elde edilen uydu görüntüleri yardımıyla kışlık buğdayın gelişim aşamaları incelenmiş ve verim tahmini oluşturularak diğer yıllara ait verimlerin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Verim tahmin modeli, uzaktan algılama uydusundan elde edilen Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü Fark İndeksi (NDVI), Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi (SAVI), Modifiye Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi (MSAVI) ve Yeşil Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (GNDVI) yardımıyla oluşturulmuştur. Hesaplanan NDVI, SAVI, GNDVI, MSAVI endeksleri ile çiçeklenme öncesi, çiçeklenme dönemi ve çiçeklenme sonrası dönemdeki gerçek verim değerleri arasında doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Araştırma sonucunda vejetasyon indekslerine ait değerler ile gerçek verimden hesaplanan değerler arasındaki en büyük korelasyon katsayısı çiçeklenme dönemine aittir. Çiçeklenme döneminde elde edilen NDVI, SAVI, GNDVI ve MSAVI değerleri ve korelasyon katsayıları sırasıyla 0,82, 0,80, 0,86 ve 0,87 olarak elde edilmiştir. Kurulan model ile üç farklı tarla için 2019 yılı verim değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. En yüksek korelasyonlar MSAVI ve GNDVI için çiçeklenme aşamasında, NDVI için çiçeklenme öncesi aşamada ve SAVI için çiçeklenme sonrası aşamada görülmüştür. Bu durum, bitki indeksleri ile gerçek verim değerleri arasında dikkate değer bir korelasyon ile uydu görüntülerinin verim tahmin çalışmalarında kullanılabileceğini açıkça göstermektedir.

Orhan (2024), tez çalışmasını Mevsim İçi Azotlu Gübre Yönetim Sistemlerini kullanarak bölgede en uygun gübreleme yöntemini geliştirmek için yapılmıştır. Çalışmada dört kışlık buğday çeşidi kullanılmıştır. Kullanılan çeşitlerin azot gübresine verecekleri tepkiler, spektral yansımaya dayalı bitki örtüsü indeksleri ölçülmüştür. Çalışmada GreenSeeker, SPAD cihazları ile ölçümler yapılmıştır. Denemede farklı azot oranları kullanılmıştır. Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Zadoks 2.4 (kardeşlenme dönemi), Zadoks 3.0 (sapa kalkma başlangıcı dönemi), Zadoks 3.1 (sapa kalkma 1. boğum dönemi), Zadoks 3.2 (sapa kalkma 2. boğum dönemi) olmak kaydıyla dört farklı dönemde gerçekleştirilmiştir. Spektral okumaların beraberinde bitkide ve tanede protein analizleri, biokütle analizleri yapılmıştır. Hasattan sonrada tane verimi hesaplanmıştır. Yaprak klorofil değeri ölçen SPAD

metre sonuçlarına bakıldığında; dönemler arasından en yüksek Zadoks 3,0 (sapa kalkma başlangıcı) döneminde (47,24) vermiştir.



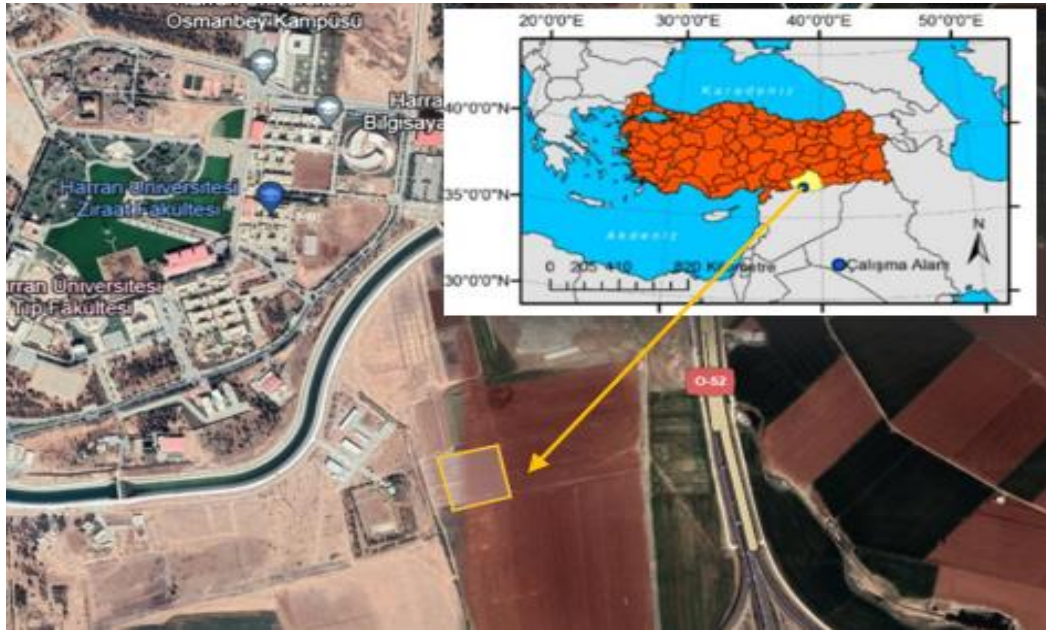
3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan veriler, TUBITAK TOVAG 121 O 433 nolu "Ürün Rotasyonu ve Toprak İşleme Uygulamalarının Pamuk Ekili Alanların Toprak Kalitesi ve Sera Gazı Salınımına Etkileri ve Gelecekteki Pamuk Veriminin CropGro-Cotton ile Modellenmesi" adlı proje kapsamında üretilmiştir.

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma alanının konumu

Tarla denemesi Şanlıurfa'da, Harran Ovası kuzeyinde bulunan Harran Üniversitesi, Osmanbey Kampüsü içerisindeki Ziraat Fakültesine ait Tarımsal Araştırma ve Uygulama Alanlarında kurulmuştur. Düz veya düze biraz yakın bir eğim gösteren alanın yaklaşık denizden yüksekliği ortalama 501 m'dir. Deneme alanı, 39°00'22''D-39°00'27''D, 37°09'52''K-37°09'56''K koordinatları arasında yer almaktadır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Çalışma alanının konumu (Google Earth, 2024)

3.1.2. Çalışma alanının toprak özellikleri

Şanlıurfa ili toprakları genel olarak bazalt ve tersiyer kireçtaşlarının ayrışmasıyla oluşan kırmızımsı kahverengi bölge içi topraklardan oluşmaktadır. Ovanın toprakları çevredeki plato yüzeylerinden taşınan alüvyonlardan oluşmaktadır (Gündoğan, 2023). Araştırma sahası topraklarının tane boyutu dağılımı ağırlıklı olarak killi ve hafifçe alkali özelliktedir. Organik madde muhtevası düşük olan çalışma arazisi topraklarında yüksek miktarda kireç bulunmaktadır. Çalışma alanını da içine alan yapılan bir araştırmada bu toprakların kireç içeriğinin %46,0 ile %54,7 aralığında olduğu rapor edilmiştir (Öztürk, 2021).

3.1.3. Çalışma alanının iklimi

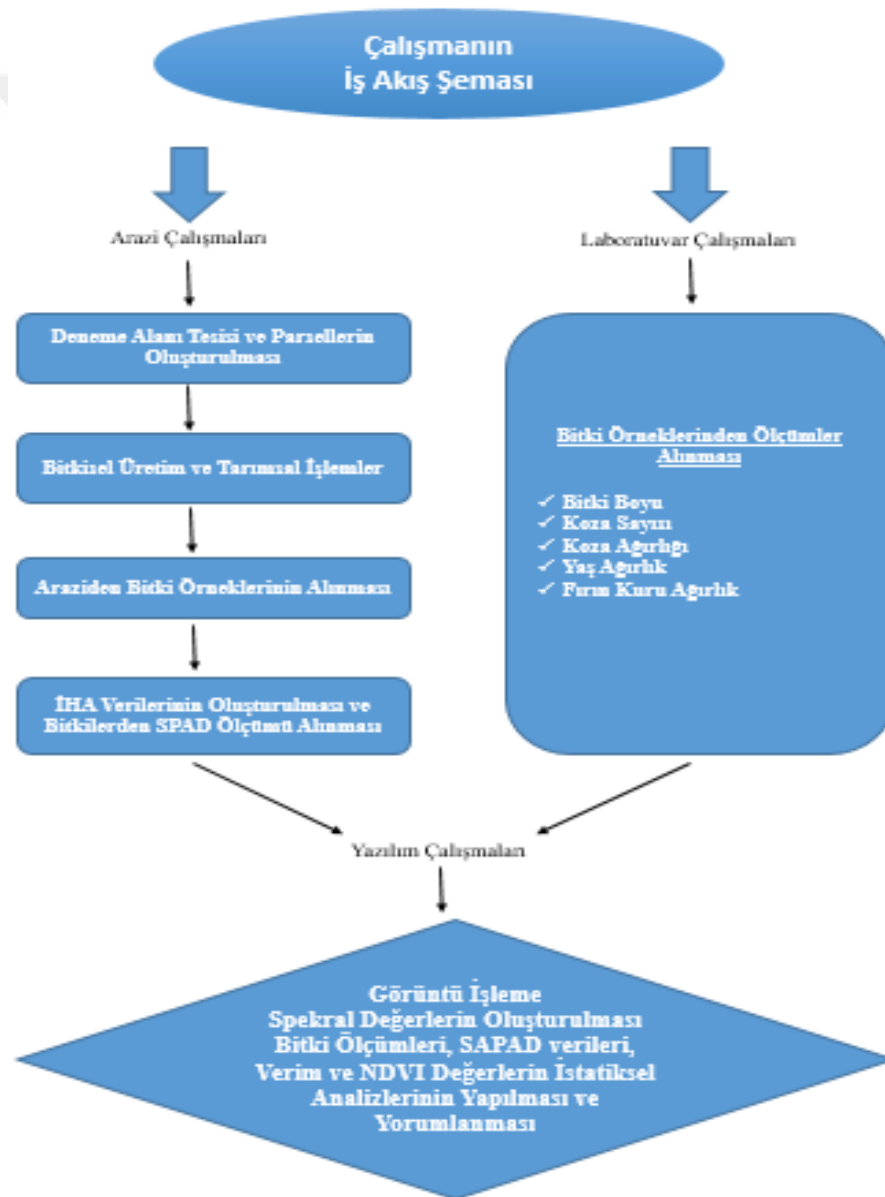
Karasal iklimin etkili olduğu çalışma alanında yazlar, çok sıcak ve kurak geçmesine karşın kışlar soğuk ve yağışlıdır. Basra alçak basıncı etkisi altındaki çalışma alanında, sıcak hava kütleleri yaz aylarının oldukça kurak geçmesine ve yağışların önemli ölçüde azalmasına neden olmaktadır. Şanlıurfa ilinde uzun vadede (1929-2020) meteorolojik veriler incelendiğinde yıllık ortalama toplam yağışın 463,3 mm olduğu görülmektedir. Aynı zamanda ortalama yıllık sıcaklık 18,5 °C, ortalama yaz sıcaklığı 38,7 °C ve ortalama kış sıcaklığı ise 5,5 °C'dir (MGM, 2024).

Çizelge 3.1. Şanlıurfa iline ait 1991-2020 yıllarını içeren mevsim normalleri (MGM, 2024)

ÖLÇÜMLER	AYLAR												
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.2	7.5	11.8	16.8	22.8	28.8	32.6	32.0	27.4	21.2	13.1	7.9	19.0
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.6	12.5	17.5	23.1	29.6	35.7	39.5	39.0	34.5	27.7	18.9	12.4	25.1
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.0	3.6	7.0	11.3	16.6	21.9	25.4	25.0	20.8	15.8	8.9	4.8	13.7
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.8	4.8	6.1	7.5	9.3	11.5	11.6	10.5	9.1	7.1	5.3	3.5	7.5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.6	10.7	9.8	9.6	7.3	1.6	0.40	0.30	1.20	5.4	7.1	10.8	75.8
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ort. (mm)	81.0	66.3	57.9	44.7	26.2	5.8	2.0	4.0	8.1	24.6	51.2	78.7	45.5
En Yüksek Sıcaklık (°C)	21.6	25.5	29.5	36.4	40.4	44.1	46.8	46.2	43.9	37.8	30.8	26.0	46.8
En Düşük Sıcaklık (°C)	-10.6	-12.4	-7.3	-3.2	2.5	8.3	15.0	16.0	10.0	1.9	-6.0	-6.4	-12.4

3.2. Yöntem

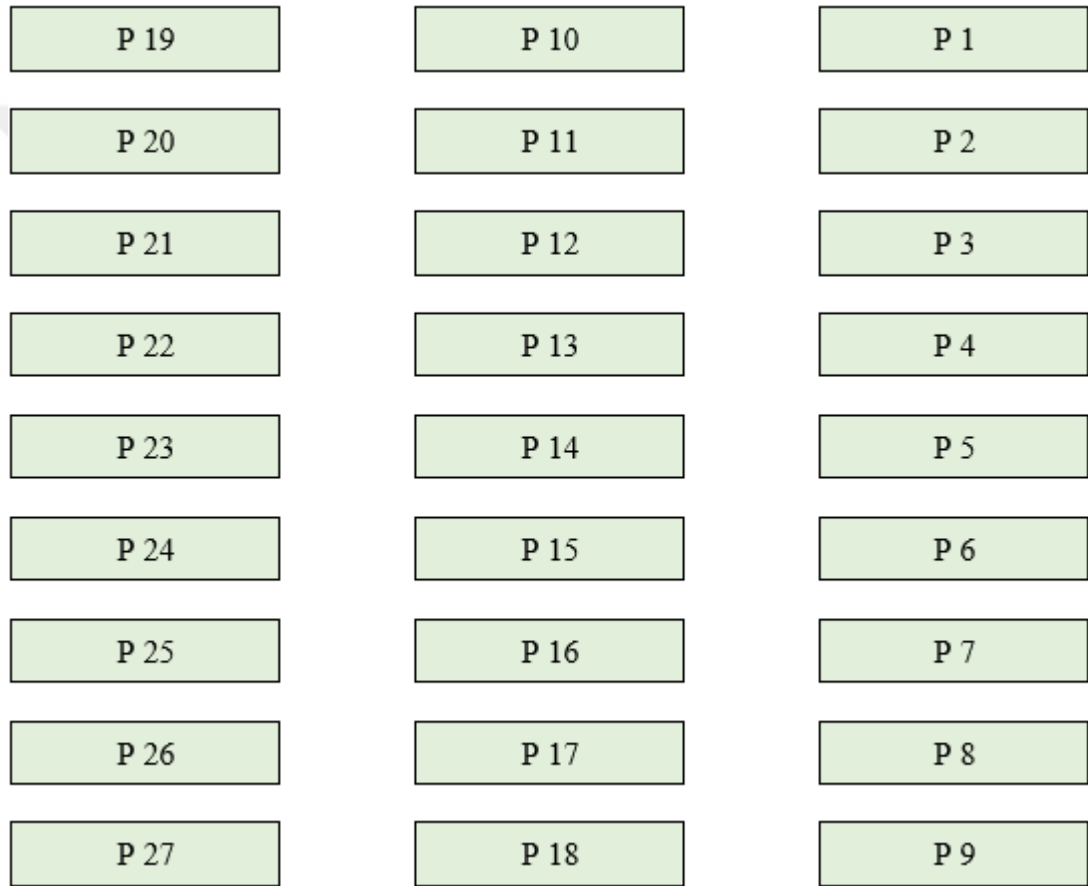
Bu çalışma genel olarak; bitki materyallerinin yetiştirilmesi, bitki verim parametrelerinin ölçülmesi, İHA görüntülerinin üretilmesi, İHA verilerinin çeşitli yazılımlar aracılığıyla işlenerek NDVI değerlerinin oluşturulması ve daha sonra elde edilen bütün bu veriler arasında ilişki kurularak istatistiksel analizlerin oluşturulması ve yorumlanması temeline dayanmaktadır. Çalışmamız; arazi çalışması, laboratuvar çalışması ve yazılım olmak üzere 3 ana safhadan oluşmaktadır.



Şekil 3.2. Çalışmanın iş akış şeması

3.2.1. Çalışma alanı ve deneme deseninin oluşturulması

Deneme alanı 2021 yılında tesis edilmiştir. 2021 yılı 17 Kasım tarihinde deneme parselleri oluşturulmuştur. Deneme alanının her biri $30 \times 12 = 360 \text{ m}^2$ olan 27 adet parsel ve 3 bloktan oluşturulmuştur. Bloklar arası mesafe 4 m olup parseller arası mesafe ise 2 m'dir. Bu boşluklar da dâhil edilirse toplam alan 12 da olmaktadır. Deneme alanında parsellerin yerleşimi Şekil 3.3.'te verilmektedir.



Şekil 3.3. Parsellerin yerleşimi

3.2.2. Bitkilerin yetiştirilmesi ve tarımsal işlemler

26 Nisan 2022 tarihinde ilk pamuk ekimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4.). Tohum ekim normu 3 kg olacak şekilde ayarlanmıştır. Denemede MAY tohumculuğa ait MAY558 çeşidi kullanılmıştır. Makineli hasada uygun olan bu çeşit, orta erkenci

olup tüysüz bir yaprak yapısında olduğu için çepel dökme kabiliyeti oldukça iyidir. 5 çenetli koza oranı yüksek olan MAY 558 çeşidinin adaptasyon kabiliyeti çok yüksektir ve boylanma kabiliyetinin iyi olduğu bilinmektedir.



Şekil 3.4. İlk pamuk ekimi ve pamuk ekimi için kullanılan pamuk çeşidi

26 Nisan-28 Nisan 2022 tarihleri arasında deneme alanına damla sulama sistemi döşemiş (Şekil 3.5.) ve ilk sulama yapılmıştır. Deneme boyunca toprak suyunun durumuna göre damla sulama sistemi açılarak sulama yapılmıştır.



Şekil 3.5. Deneme alanında damla sisteminin kurulması

29 Nisan - 5 Mayıs 2022 arasında bölgede gerçekleşen yoğun yağış nedeniyle, pamuk ekili tüm alanlarda olduğu gibi deneme alanında da pamuğun çimlenmesi oldukça düzensiz olmuştur. Bazı sıralarda düzenli çıkış var iken kimi sıralarda ise hemen hemen hiç çıkış olmamıştır. Bu nedenle ekim işleminin yenilenmesine karar verilmiştir. Ekim işlemi için toprağın tava gelmesi beklenmiştir Arazi yeterince kuruduktan sonra, kültivatör ile yüzeysel bir sürüm yapılmış ve deneme parselleri yeniden pamuk ekimine hazır hale getirilmiştir. 23 Mayıs 2022 tarihinde tüm alan 9 nolu parselin bir kısmı haricinde ikinci kez pamuk ekimine hazır hale getirilmiştir. 9 nolu parselin yaklaşık yarısı yeterince drene olmadığından, parselin bir bölümüne pamuk ekimi yapılamamıştır.

Pamukta düzenli bir çıkış gerçekleşmesiyle birlikte 6 Haziran 2022 tarihinde yabancı ot mücadelesi için ilaçlama yapılmıştır ve 2 hafta sonrasında da yine yabancı ot mücadelesi için el çapası yapılmış ve yabancı otlar çekilmiştir. Bu aşamadan sonra Çizelge 3.2.'de belirtilen bir dizi tarımsal işlemler uygulanmıştır.

Çizelge 3.2. Pamuğun yetirilmesi aşamasında uygulanan tarımsal işlemler

Uygulama Tarihi	Uygulama İşlemi
18 Temmuz 2022	İlk üst gübre (üre, %46 N), damla sulama sistemi ile uygulanmıştır. Bu uygulama ile dekara yaklaşık 18.5 kg saf azot uygulanmıştır
3 Ağustos 2022	İkinci üst gübre uygulaması damla sulama sistem ile yapılmıştır. Bu uygulama ile dekara yaklaşık 18.5 kg saf azot uygulanmıştır
6 Ağustos 2022	İkinci kez geniş yapraklı yabancı otlar için el çapası ve ot çekme işlemi yapılmıştır
16 Ağustos 2022	Özellikle <i>Sorghum halepense</i> L. (Kanyaş, Geliç) için ikinci kez ilaçlama yapılmıştır
1 Eylül 2022	Beyazsinek için ilaçlama yapılmıştır

Hasat döneminde bölgedeki sürekli yağış nedeni ile pamuk hasadı 20 Aralık 2022 tarihinde yapılabilmektedir. Hasat, Harran Üniversitesi, döner sermaye arazilerindeki pamuk ile birlikte bir pamuk hasat makinesi ile yapılmıştır. Verim için 31 Ekim-3 Kasım tarihleri arasında her biri $12 \times 30 \text{ m} = 360 \text{ m}^2$ olan parsellerden $3 \times 6 = 18 \text{ m}^2$ olan 2 farklı alan (toplam 36 m^2) el ile hasat edilmiştir.

3.2.3. Bitki örneklerinin ve klorofil ölçümlerinin alınması

Bitkisel üretimin koza oluşum döneminde deneme alanından alınan bitkiler bir dizi işlemlerden geçirilip çeşitli ölçümlere tabi tutulmaktadır. Bu işlemler ve ölçümler ihtiyaç duyulan cihazlar ve ölçüm aletleri ile sağlanmaktadır. Bunlar; bitki kuru ağırlığı elde etmek için kullanılan Etüv (kurutma fırını), bitki yaş ve kuru ağırlığını ölçmek için kullanılan hassas teraziler, bitki uzunluklarını ölçmek amacıyla kullanılan uzunluk ölçüm aletleri vb. materyallerdir.

Bütün parsellerdeki bitkilerden çeşitli ölçümler elde etmek amacıyla örnekler alınmış ve arazide bitki yapraklarından klorofil ölçer cihazıyla klorofil ölçümleri yapılmıştır. Alınan bitki örnekleri bir takım parametrelere göre (bitki boyu, koza sayısı, koza ağırlığı, kuru ağırlık ve yaş ağırlık) ölçümleri alınmak üzere Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme laboratuvarına alınmıştır.

Söz konusu dönemde her bir parselden, parsellerin farklı noktalarından ortalama gelişim gösteren üçer adet bitki alınmıştır. Yine her bir parselden, parsellerin farklı noktalarından toplam 30 adet farklı gelişimler gösteren bitkilerden klorofil ölçümü yapılarak her bir parselin klorofil ortalaması oluşturulmuştur.

Klorofil ölçer, yaprak klorofilinin içeriğinin yapraklara zarar vermeksizin hızlı ve basit bir şekilde ölçülmesini sağlar. Yapraklardaki klorofil miktarı bitki sağlığının bir göstergesidir ve daha az çevresel yük ile daha yüksek kalite ve daha fazla verim elde etmek amacıyla ek gübre uygulamasının zamanlamasını ve miktarını optimize etmek için kullanılabilir. Klorofil ölçer, yaprağın iki dalga boyu arasındaki

absorbansın ölçülmesine dayalı olarak çalışır ve bağıl klorofil içeriğinin ölçülmesine olanak tanır. Bu ölçümler için Konica Minolta SPAD-502 Plus marka Klorofil Ölçer cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.6). Bu cihaza ait teknik özellikler Çizelge 3.3.'te verilmiştir.



Şekil 3.6. Klorofil Ölçer (SPAD)

Çizelge 3.3. Kullanılan klorofil ölçüm cihazının teknik özellikleri (Konika Minolta, 2024)

Ölçülen nesne	Bitki yaprakları
Ölçüm yöntemi	2 dalga boyunda optik yoğunluk farkı
Ölçüm alanı	2 mm × 3 mm
Nesne kalınlığı	1,2 mm maksimum
Nesne giriş derinliği	12 mm (stoper 0 – 6 mm konumunda ayarlanabilir)
Işık kaynağı	2 LED unsuru
Alıcı	1 SPD (silikon fotodiyot)
Ekran	4-haneli ölçüm değerini (değerler ilk ondalık sayıya kadar gösterilmektedir) ve 2-haneli ölçüm sayısını gösteren LCD panel; hafızadaki değerlerin eğilim grafiği de gösterilebilir.
Görüntü aralığı	-9.9 - 199.9 SPAD birimi
Hafıza özelliği	30 değere kadar hafıza kapasitesi; hafızadaki verinin ortalamasının hesaplanması/görüntülenmesi de mümkündür
Güç kaynağı	2 AA alkalin pil
Pil ömrü	20.000 üzerinde ölçüm (Konika Minolta test koşulundaki yeni alkalin piller kullanıldığında)
Ölçümler arasındaki minimum sıklık	Yaklaşık 2 saniye
Doğruluk	±1,0 SPAD birimi dahilinde (SPAD değeri normal sıcaklık/nemde 0,0 ile 50,0 arasındayken) ölçüm 50,0 SPAD birimini geçtiğinde ekranda "***" belirir
Tekrarlanabilirlik	±0.3 SPAD birimi dahilinde SPAD değeri 0,0 ile 50,0 arasındayken (numune konumunda değişiklik yokken)
Tekrar üretilebilirlik	±0.5 SPAD birimi dahilinde
Sıcaklık akımı	±0.04 SPAD birimi/°C dahilinde
Çalışma sıcaklığı/ nem aralığı	0 - 50°C; bağıl nem yoğunlaşma olmadan %85 veya daha az (35°C)
Depolama sıcaklığı/ nem aralığı	-20 - 55°C; bağıl nem yoğunlaşma olmadan %85 veya daha az (35°C)
Boyut; Ağırlık	78 (W) X 164 (H) X 49 (D) mm, 200g (piller hariç)
Diğer	İkaz alarmı; Kullanıcı dengeleme faktörü
Standart aksesuarlar	Derinlik stoperi; Kayış; 2 AA alkalin pil; Yumuşak kılıf; Değer kontrolü

3.2.4. İHA görüntülerinin elde edilmesi

Yeryüzündeki nesnelerle temas etmeksizin bu nesnel hakkında veri elde yöntemine uzaktan algılama tekniği denilmektedir. Uzaktan algılamanın birçok platformu ve tekniği mevcuttur. Bu çalışmada İHA kullanılarak uzaktan algılama işlemi gerçekleştirilmiş ve bu amaca yönelik Parrot Bluegrass İnsansız Hava Aracı ile bu araca entegre edilen Parrot Sequoia multispektral kamera kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan deneme alanı için İHA kanopi fotogrametri sistemi temel olarak Parrot Bluegrass İHA (Şekil 3.7.), Parrot Sequoia multispektral kamera (Şekil 3.8.), Pix4Dcapture uçuş kontrol yazılımı, Pix4Dmapper son işleme yazılımı ve grafik iş istasyonundan oluşmaktadır. Parrot Bluegrass'ın ana teknik parametreleri İHA ve Parrot Sequoia multispektral kameradan oluşmaktadır. Pix4Dcapture uçuş kontrol yazılımı ise İHA uçuş görevi için parametrelerin ayarlanması, İHA'nın pili, uçuş kontrol cihazının pili, uydu sayısı, görüntü verilerinin saklanması için hafıza, İHA'nın uçuş koordinatları, uçuş haritası, uçuş yüksekliği ve yer örnek mesafesinin kontrolünü sağlamaktadır. Çalışmada kullanılan İnsansız Hava Aracının teknik özellikler Çizelge 3.4.'te ve multispektral kamaraaya ait teknik özellikler ise Çizelge 3.4.'te verilmiştir.



Şekil 3.7. Parrot Bluegrass İnsansız Hava Aracının temel bölümleri (Daponte ve ark., 2019)



Şekil 3.8. Parrot Sequoia multispektral kamera (Parrot Sequoia, 2024)

Çizelge 3.4. Kullanılan İnsansız Hava Aracının teknik özellikleri (Parrot Bluegrass, 2024)

Platformu	Parrot Bluegrass
Ağırlık	1850g (4lbs) Parrot Sequoia ile
Boyut	500x440x120 mm (20x17x5 inç)
Taşınabilirlik	Taşıma için çıkarılabilir pervaneler
Alan Kapsamı	70m (230ft) uçuş yüksekliğinde tek uçuşta 30ha (74ac)
Menzil	Parazitsiz ve engelsiz bir ortamda Parrot Skycontroller 2 ile 2 km'ye (1,24 mil) kadar
Zemin Çözünürlüğü	70 m (230 ft) uçuş yüksekliğinde 6,6 cm/piksel (2,7 inç/piksel)
Uçuş planı	Pix4Dcapture mobil uygulamasıyla desteklenen otomatik uçuş planı
Çıkış	Dikey
İniş	Dikey
Fotoğraf	14MP geniş açılı kamera
Video	1080p Tam HD
Video akışı	360p / 720p
Dahili bellek	32GB

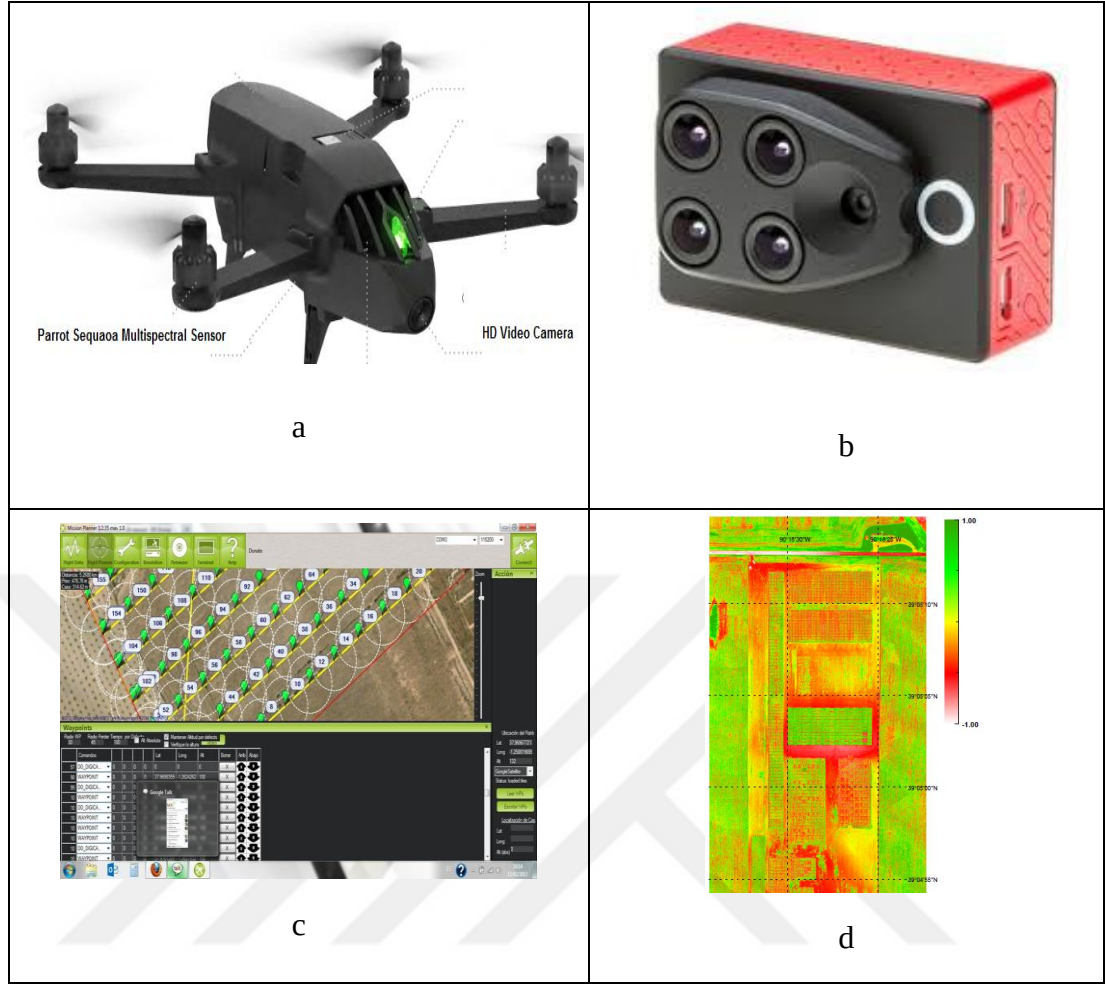
Çizelge 3.5. Parrot Sequoia kamaraya ait teknik özellikler (Parrot Sequoia, 2024)

RGB Kamera	Çözünürlük: 16 Mpx, 4608x3456 piksel
	HFOV: 63,9°
	VFOV: 50,1°
	DFOV: 73,5°
4 Global Shutter Tek Bantlı Kamera	Çözünürlük: 1,2 Mpx, 1280x960 piksel
	HFOV: 61,9°
	VFOV: 48,5°
	DFOV: 73,7°
4 Ayrı Bant	Yeşil (550nm BP 40nm)
	Kırmızı (660nm BP 40nm)
	Kırmızı Kenar (735nm BP 10nm)
	Yakın kızılötesi (790nm BP 40nm)
Boyutlar	59x41x28 mm (2,3x1,6x1,1 inç)
Ağırlık	72 gr (2,5 ons)
Pozisyon sensörü	IMU ve Manyetometre
Fotoğraf Modu	1 fps'ye kadar
Dahili bellek	64 GB dahili depolama
Güç	5 W (~12 W tepe noktası)
GÜNEŞ IŞIĞI SENSÖRÜ (PAPAROT SEQUOIA'DA DÂHİL)	Boyutlar: 47x39,6x18,5 mm (1,8x1,5x0,7 inç)
	Ağırlık: 35 gr (1,2 ons)
	4 spektral sensör (gövdeyle aynı filtreler)
	Küresel Konumlama Sistemi
	Atalet ölçüm ünitesi ve manyetometre
	SD kart yuvası
	Güç: 1W

Tam otomatik uçuş yeteneğine sahip multispektral kameralı İHA sisteminde görüntü alımı kamera taşıyan drone, multispektral kamera ve otomatik pilottan oluşan sistem tarafından elde edilir (Şekil 3.9. a, b ve c). İHA nesnelerden yayılan elektromanyetik spektrumu kaydeden bir multispektral kamera (Sequoia kamera) taşımaktadır (4b). Multispektral kamera; yeşil (550 nm), kırmızı (660 nm) Kırmızı kenar (735 nm) , yakın kızılötesi (790 nm) olmak üzere dört sensöre sahiptir. Bunun yanı sıra ve İHA ayrı bir 14 MP RGB kamera taşır.

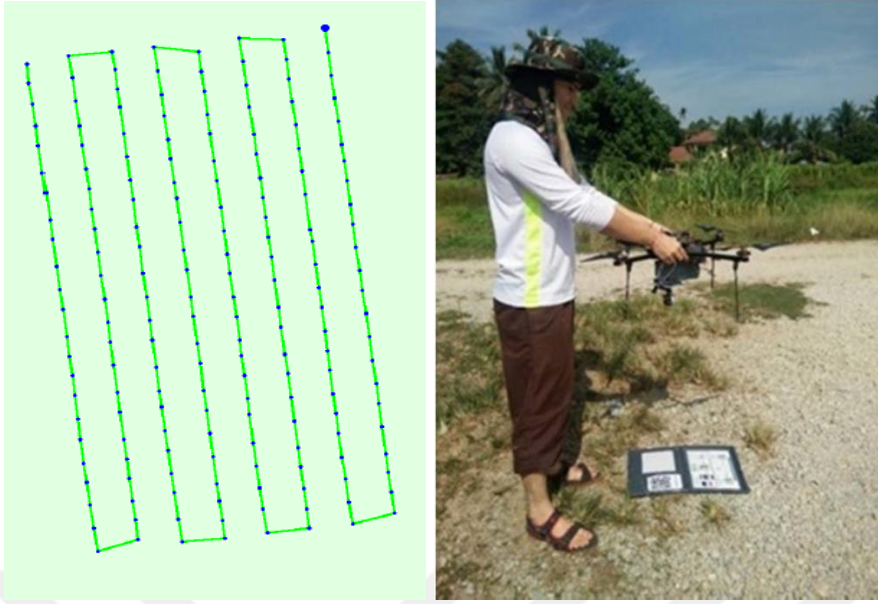
Sequoia Multispektral kameranın dört bandının ayrı okumaları, tek birçok bantlı sensör tarafından toplanan verilerden daha ayrıntılı ve daha üstün analiz üretir. Sequoia, bu band okumalarını yaparken ayrıca uçağın hızını ve yüksekliğini ve okumaların yapıldığı sırada güneş ışığını ayarlar. Böylece tam güneşli ortamdan kısmen bulutlu veya tamamen bulutlu ortama kadar okuma yapabilmektedir.

Otomatik pilot yazılımı programı ile uçuş rotası tanımlanıp uçuş gerçekleştirilmektedir. Otomatik bir İnsansız Hava Aracı, havadan fotoğraf veya video çekerken bağımsız olarak kalkış ve iniş yapacak şekilde programlanabileceği gibi, istenilen tur ya da sürede belirlenen bir nokta etrafında dönecek şekilde de programlanabilir. Kullanıcı, her yol noktası için yer/hava hızı ve rakım başta olmak üzere diğer uçuş özelliklerini ayarlayabilmektedir. Bu parametreler, önceden programlanmış bir görevi başlatmadan önce İHA'ya yüklenebilmektedir. Bununla birlikte, İHA henüz havada seyir halindeyken bile, ona yeni talimatlar vermek üzere veri telemetrisi aracılığıyla yeni bir görev programlanabilir ve İHA'ya yüklenebilir.



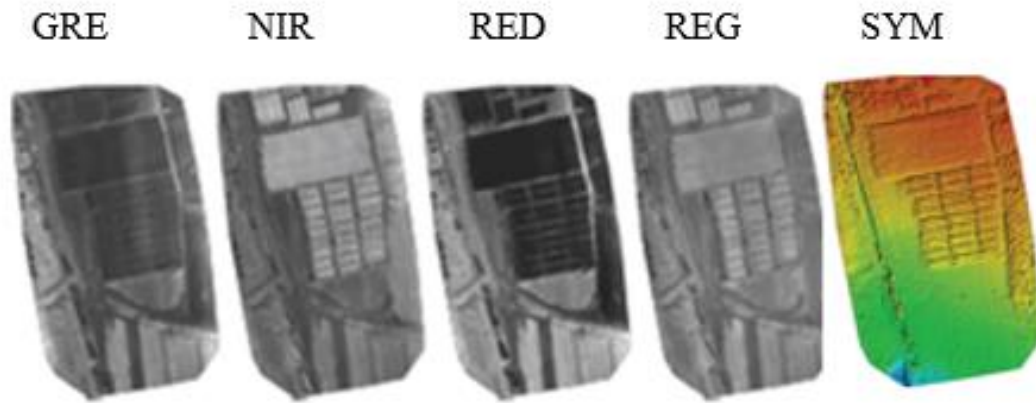
Şekil 3.9. Bitki sağlığı ve Verim takibinde kullanılan a)İHA, b) multispektral kamera, c) otomatik pilot uçuş planı ve d) görüntülerden elde edilen NDVI görüntü

Arazide İHA uçuşundan önce bir takım cihaz ayarları ve komutlar amaca uygun olarak yapılmıştır. Bunlar; İHA'nın uçuş koordinatları, uçuş haritası, uçuş yüksekliği ve yer örnek mesafesinin kontrolünü sağlamaktadır. Çalışma alını ve deneme desenine göre uçuş planı ayarlanır. Daha sonra cihazın kalibrasyonu sağlanarak uçuş gerçekleştirilir (Şekil 3.10.). Bu çalışmada İHA uçuşu 22.08.2022 tarihinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.10. Uçuş planının oluşturulması ve cihaz kalibrasyonunun yapılması

Bu çalışmada ayarlanan uçuş yüksekliği 80 m'dir. Uçuş işlemi sırasında multispektral kamera sayesinde spektral yansımalar sonucu farklı bantlarda görüntüler elde edilir (Şekil 3.11.). Alınan bu görüntüler cihazda bulunan hafıza kartında daha sonra işlenmek üzere tutulur. Bu görüntüler çeşitli yazılımlarda işlenerek SYM gibi ihtiyaca uygun haritalar elde edilebilmektedir. (Şekil 3.11.) .



Şekil 3.11. İHA tarafından üretilen farklı banttaki görüntüler ve Sayısal Yüzey Modeli (SYM)

3.2.5. Bitki verim parametrelerinin ölçülmesi

Bu aşamadaki çalışmaların temel amacı, deneme alanından alınan bitki örneklerinin ön hazırlık işlemi yapılarak çeşitli parametrelere göre ölçümlerinin alınmasıdır. Bu amaç doğrultusunda koza oluşum döneminde her parselden üçer adet alınan bitkilerin bitki boyu, koza sayısı, koza ağırlığı, yaş ağırlık ve kuru ağırlık olmak üzere bitki ölçümleri alınarak oluşturulan veriler analize uygun hale getirilmiştir.

Laboratuvara alınan bitki örnekleri ölçüme hazır hale getirildikten sonra bitki boyu uzunluk ölçüm aletleriyle santimetre cinsinden yapılmaktadır. Koza sayıları teker teker sayımları alınmak suretiyle adet olarak gerçekleştirilir. Koza ağırlığı, bitki yaş ağırlığı ve bitki kuru ağırlığı ise hassas terazilerde tartılarak gram bazında ölçülmüştür.

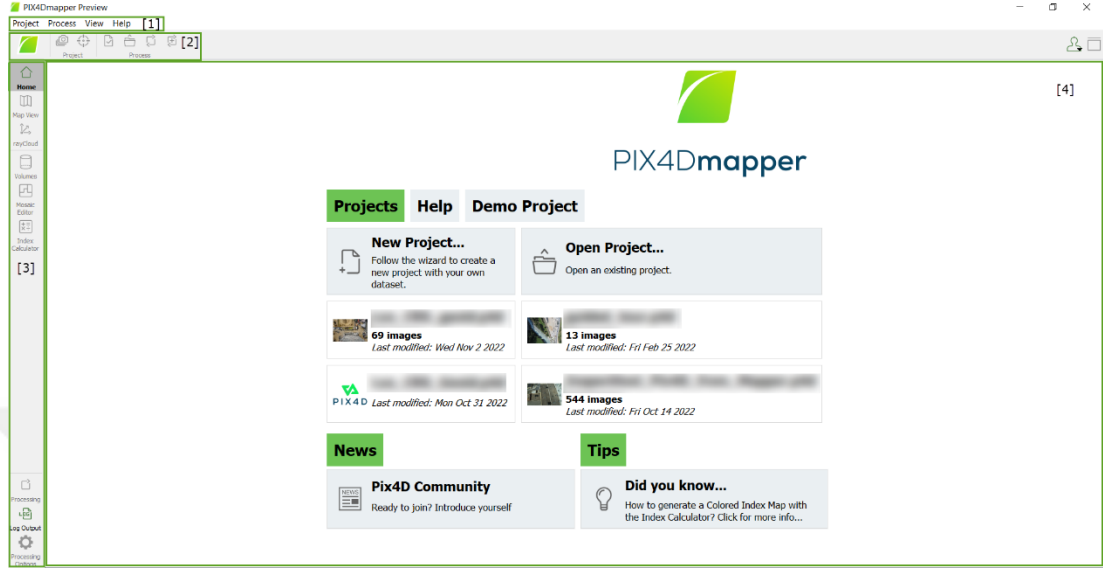
Kuru ağırlık elde edebilmek amacıyla etüv kullanılmıştır. Yaş olan bitkiler öncelikle bir süre oda koşullarında beklemeye maruz bırakılmıştır. Bu şekilde su oranı bir miktar düşen bitki numunesi etüvde de 70 santigrat derecede 24 saat süreyle ısıtılarak işlem görerek kurutulması sağlanmıştır.

Çeşitli parametrelere göre ölçümleri yapılan bitkilerden oluşturulan veriler daha sonra diğer verilerle ilişkilendirmek üzere ilgili yazılımlarda analiz edilecektir.

3.2.6. Görüntü işleme çalışması

İHA tabanlı elde edilen verilerin analize uygun şekle gelebilmesi için öncelikle görüntü işleme aşamasından geçmesi gerekmektedir. Bu amaca hizmet eden birçok yazılım mevcuttur. Bu çalışmada kullanılan görüntü işleme yazılımı Pix4D Mapper yazılımıdır (Şekil 3.12.). Pix4D Mapper, yüksek kaliteli 3D haritalar ve modeller oluşturmak için kullanılan bir fotogrametri ve görüntü işleme yazılımıdır. Bu yazılım, havadan veya yerden elde edilen fotoğrafları kullanarak detaylı haritalar, nokta bulutları ve 3D modeller oluşturmak için kullanılır. Pix4D Mapper, inşaat, arazi

haritalama, madencilik gibi alanların haritalanması yansira tarımsal çalışmalar için başta NDVI olmak üzere çeşitli bitki endeksleri üretmektedir (PIX-PRO, 2024).



Şekil 3.12. Pix4D Mapper yazılımının arayüzü (PIX-PRO, 2024)

Pix4D, özellikle İnsansız Hava Araçları ile elde edilen görüntülerin Şekil 3.13'te de gösterildiği gibi girilmesini, işlenmesini, analiz edilmesini ve paylaşılmasını sağlayan bir yazılımdır.



Şekil 3.13. .Pix4D Mapper iş akış şeması (PIX-PRO, 2024)

Pix4D Mapper yazılımı kullanıcı girişi ile başlamaktadır. İHa aracılığıyla üretilen veri dosyası bu yazılıma aktarılır. Daha sonra bu yazılımda veriler ilenerek nokta bulutu oluşturma, mesh model oluşturma, SYM, SAM, otomozaik işlem ve

indeks haritası gibi bir dizi çıktılar elde edilerek oluşturulan bu ikincil veriler analize uygun hale getirilir.

3.2.7. NDVI değerlerinin hesaplanması

Vejetasyon indeksleri, bitki örtüsünün yeşillik, sağlık, yoğunluk ve büyüme durumunu belirlemek için kullanılan ölçümlerdir. Bu indeksler genellikle uydu görüntüleri veya diğer uzaktan algılama teknikleriyle elde edilen verilerden türetilir. Bunlar arasında Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI), bitki örtüsünün yeşillik ve sağlığını ölçmek için kullanılan en yaygın vejetasyon indeksidir (Deng ve ark., 2018).

En basit ifadeyle Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), bir uydu görüntüsünde yakalanan bitki örtüsünün yeşilliğini ve yoğunluğunu ölçer. Sağlıklı olan bir bitki örtüsünde, biri görünür kırmızı ve diğeri ise yakın kızılötesi olacak şekilde her iki bant farkının hesaplanmasıyla elde edilen çok karakteristik olan bir spektral yansıma eğrisi oluşmaktadır (Deng ve ark., 2018).

NDVI formülü Denklem 3.1’de gösterildiği gibidir (Motohka ve ark., 2010):

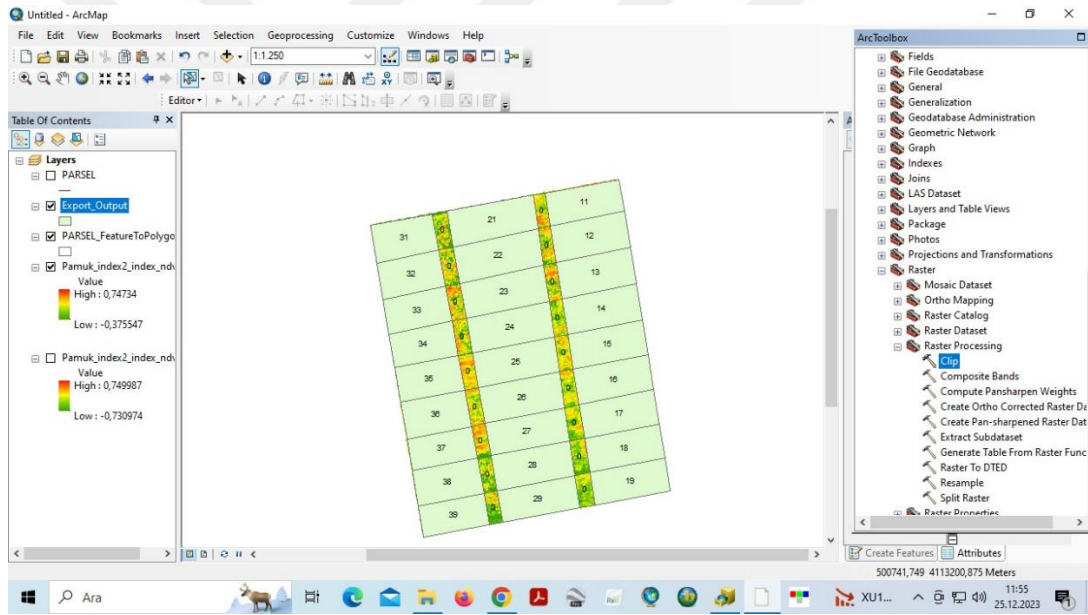
$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (3.1)$$

Burada: NIR, yakın kızılötesi (Near Infrared) banttan alınan piksel değerini temsil eder. Red, görünür kırmızı (Red) banttan alınan piksel değerini temsil eder (Motohka ve ark., 2010).

Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI), bitki örtüsünün yeşilliğini ve yoğunluğunu ölçmek için kullanılan bir metriktir. Görünür kırmızı ve yakın kızılötesi spektrum arasındaki farkı hesaplayarak bitki sağlığını belirler. NDVI değeri genellikle -1 ile 1 arasında değişir; negatif değerler genellikle su ve kar gibi unsurları, pozitif değerler ise sağlıklı bitki örtüsünü temsil eder. NDVI'nin yüksek değerleri, yoğun ve

sağlıklı bitki örtüsünü, düşük değerleri ise azalan veya stres altındaki bitki örtüsünü gösterir (Deng ve ark., 2018).

Denemedeki bütün parsellerin coğrafi referansları baz alınarak poligonlar oluşturulup bu parsellerin NDVI değerlerinin elde edilmesi için ArcGIS Pro 3.2 yazılımı kullanılmıştır. ArcGIS Pro, Esri tarafından geliştirilen ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) için profesyonel bir haritalama ve analiz yazılımıdır. Bu yazılım, CBS kullanıcılarına 2D ve 3D haritalama, veri analizi, veri yönetimi ve veri görselleştirme gibi birçok özellik sunar. Ayrıca ArcGIS Pro, kullanıcıların coğrafi verileri etkili bir şekilde yönetmelerine, analiz etmelerine ve haritalamalarını yapmalarına olanak tanır (ESRI, 2024).



Şekil 3.14. ArcGIS pro yazılımı arayüzü (ESRI, 2024)

ArcGIS Pro yazılımında öncelikle haritanmış parseller tek tek poligon oluşturularak sınırları belirlenir. Daha sonra bu poligonlar arasında kalan kısımların NDVI değerleri oluşturulur (Şekil 3.15.).

3.2.8. İstatistksel analiz süreci

Tüm analizler için Jamovi (v. 2.3) kullanılmıştır (The Jamovi Project, 2022). Verilere ait normal dağılım baz alındığında çoğunun normal dağıldığı gözlemlenmiştir ($p>0.05$). Bunun için pearson korelasyon analizi ve çoklu doğrusal regresyon analizleri kullanılmıştır. Tanımlayıcı istatistikler, n, ortalama, standart hata, medyan, standart sapma, minimum ve maksimum olarak sunulmuştur. Tüm testler $p<0.05$ önem düzeyinde uygulanmıştır (R Core Team , 2021).

Korelasyon analizi, istatistiksel bir teknik olup iki değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılır. Korelasyon, bu iki değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve gücünü belirler. Pearson Korelasyon Katsayısı, iki sürekli değişken arasındaki lineer ilişkiyi ölçer. Değerler -1 ile +1 arasında olabilir. +1, tam pozitif ilişkiyi; -1, tam negatif ilişkiyi; 0 ise ilişki olmadığını gösterir.

4. ARAşTIRMA BULGULARI ve TARTIşMA**4.1. Bitki lmlerine İlişkin Veriler**

Her parselden er adet alınan bitkilerin bitki boyu, koza sayısı, koza ağırlığı, yaş ağırlık ve kuru ağırlık olmak üzere bitki ölçümleri alınarak oluşturulan veriler analize hazır hale getirilmiştir. Elde edilen bitki lmlerine ilişkin sonuçlar izelge 4.1.'de verilmiştir.



Çizelge 4.1. Bitki ölçümlerine ilişkin veriler

Parsel No	Bitki Boyu (cm)	Koza Sayısı	Koza Ağırlığı (g)	Yaş Ağırlık (g)	Fırın Kuru Ağırlık (g)
1	103,80	8,67	52,90	181,16	66,14
2	98,40	9,00	50,55	169,45	67,64
3	111,23	9,00	57,67	226,72	80,44
4	92,43	7,67	43,68	123,42	55,67
5	75,37	9,33	99,19	89,20	66,90
6	81,47	6,00	39,68	110,17	47,40
7	83,53	2,67	20,65	70,03	26,31
8	95,55	3,33	28,37	133,55	45,13
9	95,70	6,67	39,41	194,82	59,69
10	107,08	11,00	79,11	189,29	71,71
11	111,33	11,67	94,82	196,11	95,17
12	118,53	13,67	115,33	257,08	128,26
13	98,60	12,67	112,66	182,61	102,84
14	77,00	12,00	87,75	80,48	61,18
15	75,90	6,33	52,86	88,65	37,48
16	98,87	7,33	44,48	116,34	44,11
17	87,50	9,67	63,87	126,12	61,41
18	89,03	5,33	30,94	101,79	41,34
19	118,67	15,33	104,55	295,53	115,93
20	128,10	9,33	71,99	216,91	80,90
21	119,90	18,00	169,92	331,43	267,45
22	104,93	5,67	39,67	131,93	51,70
23	106,07	9,33	72,23	154,51	75,04
24	81,17	6,00	30,19	80,35	28,50
25	103,67	12,33	96,19	213,04	100,08
26	93,50	8,00	62,94	127,78	57,88
27	104,07	9,00	73,48	184,43	93,06

4.2. Pamuk Verimine İlişkin Veriler

Şekil 4.2.'de hasat sonrası elde edilen pamuk verimleri gösterilmiş olup bu verimler bölge ortalaması civarında veya biraz üzerinde seyretmektedir (Karacadağ Kalkınma Ajansı, 2024).

Çizelge 4.2. Pamuk verimine ilişkin veriler

Parsel No	Verim (kg/da)
1	570,9
2	680,1
3	831,3
4	546,9
5	520,9
6	494,7
7	684,5
8	575,4
9	741
10	533,1
11	512,7
12	450,4
13	442,9
14	497,2
15	520,9
16	626,6
17	755,9
18	671,9
19	717.3
20	762.9
21	509.3
22	551.4
23	577.4
24	547.4
25	531.6
26	495.2
27	583.2

4.3. Klorofil Ölçüm (SPAD) Verileri

Klorofil ölçer SPAD 502 (Minolta Camera Co., Osaka, Japonya), yapraktaki klorofil konsantrasyonu ile orantılı olan SPAD adı verilen boyutsuz birimler sağlar. Her parselde rastgele seçilen 30 bitkiden en üstteki tamamen genişletilmiş yaprak üzerinde okumalar yapılmıştır. Doğrudan yaprağın orta damarında olabilecek okumalardan kaçınılmıştır. Klorofil ölçüm sonuçları Çizelge 4.3.'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. Çizelge Klorofil ölçüm (SPAD) verileri

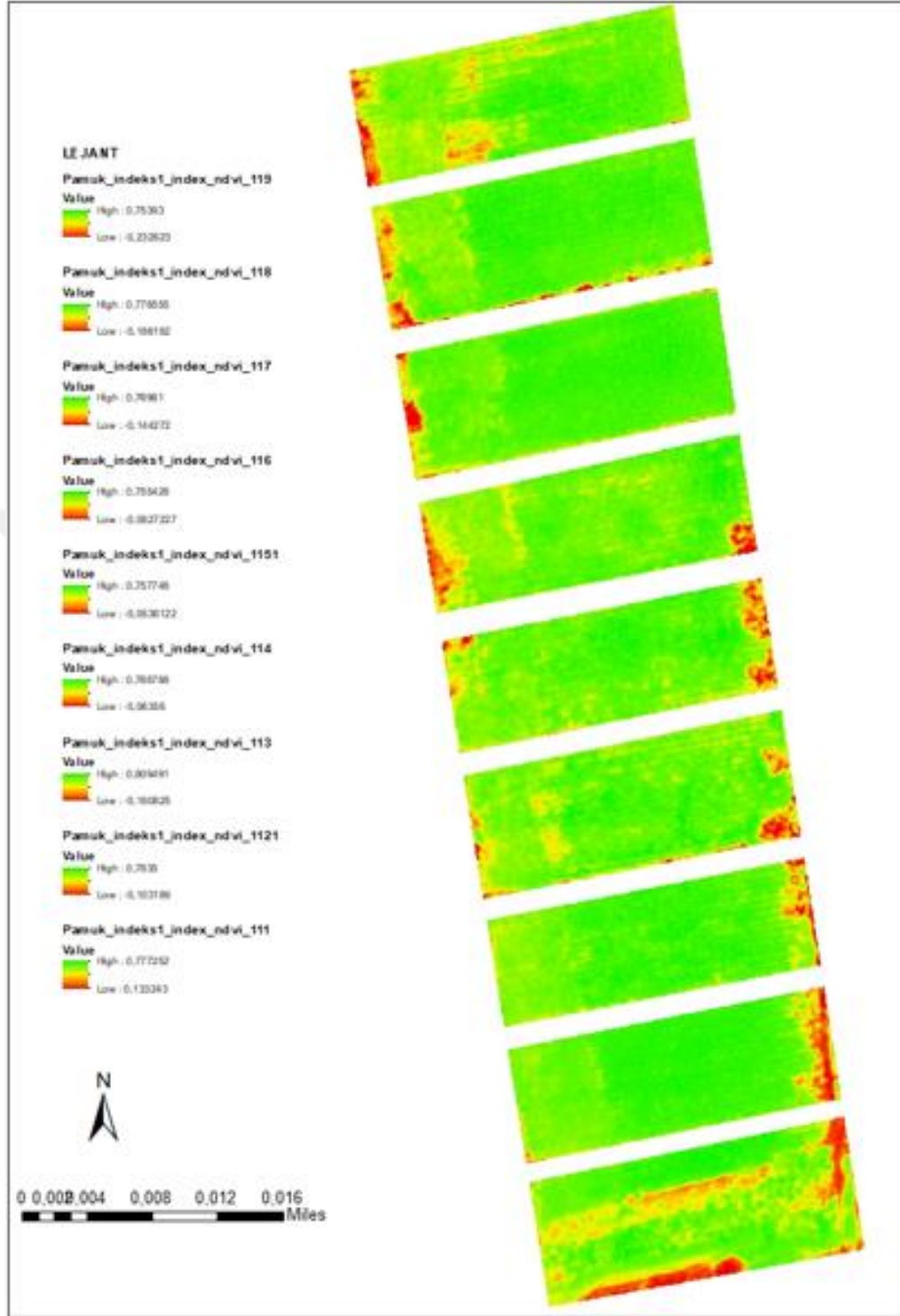
Parsel No	SPAD
1	44
2	44,8
3	46,4
4	47,4
5	47,4
6	41,8
7	44,1
8	42,7
9	45,5
10	55,1
11	54,9
12	53
13	52
14	51,9
15	40
16	52,5
17	50,8
18	49,7
19	54,2
20	53,4
21	51,5
22	55,7
23	54,6
24	52,9
25	54,6
26	53,7
27	52,9

4.4. NDVI Analizlerine İlişkin Veriler

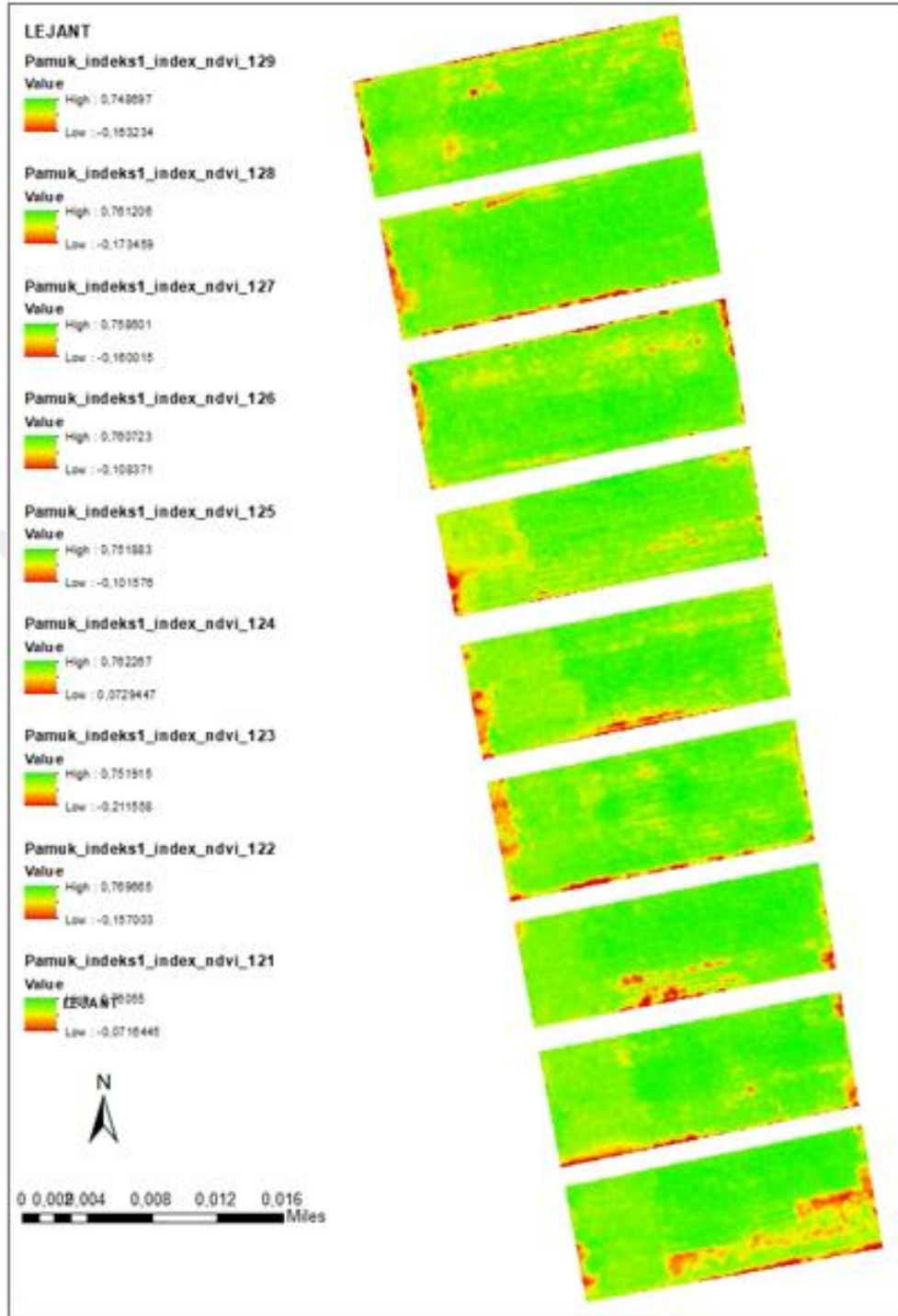
İHA görüntülerinden elde edilen farklı bant özelliğindeki görüntülerin çeşitli yazılımlarda işlenmesi sonucu NDVI değerleri (Çizelge 4.4.) ve NDVI indeks haritaları oluşturulmuştur. NDVI indeks haritaları, uzaktan algılama ölçümlerini analiz etmek ve gözlemlenen hedefin canlı yeşil bitki örtüsü içerip içermediğini değerlendirmek için kullanılabilen basit bir grafik göstergedir. Deneme alanı parsellerine ait NDVI haritaları aşağıda verilmiştir (Şekil 4.1., Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.).

Çizelge 4.4. NDVI analizlerine ilişkin veriler

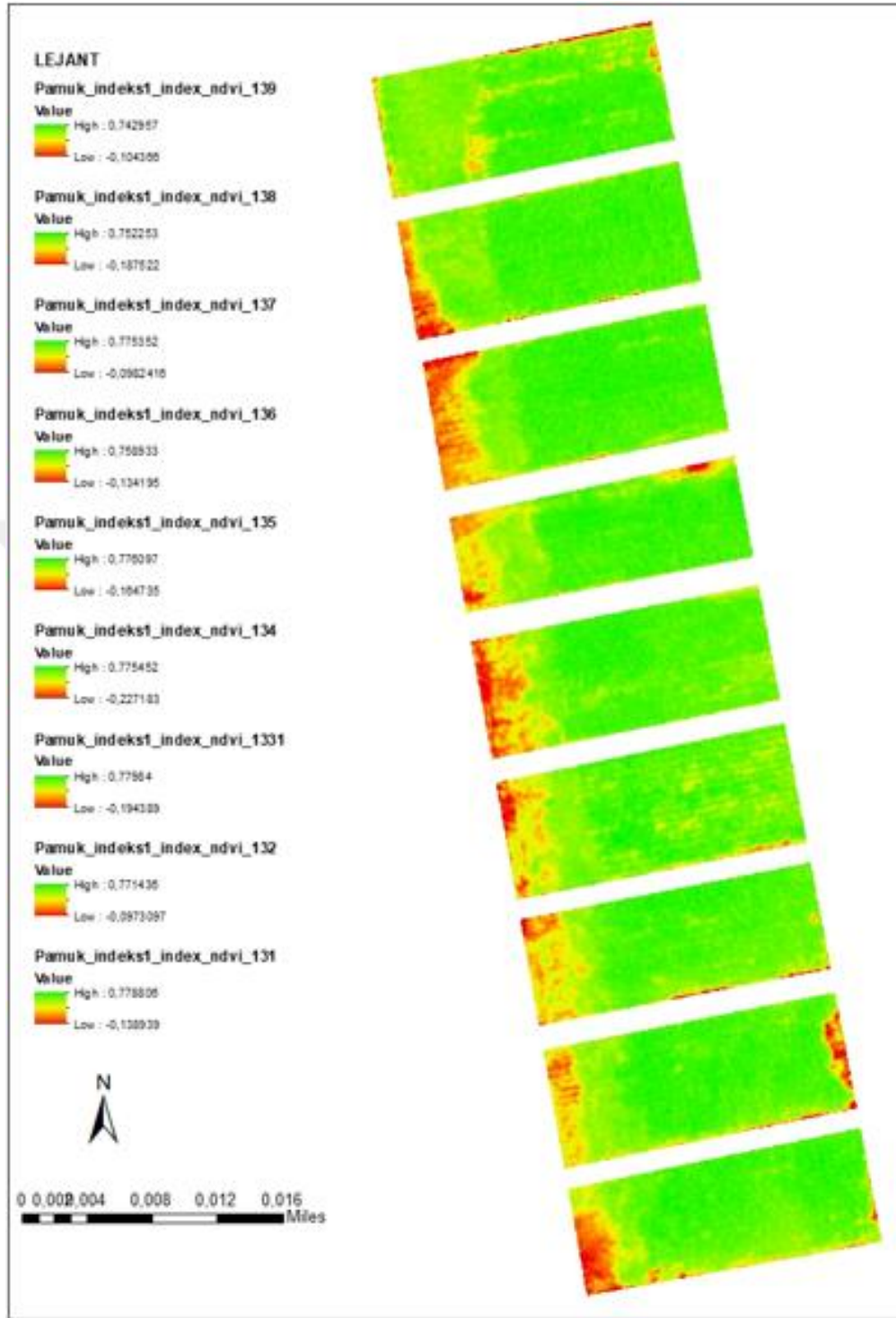
Parsel No	Pixel Sayısı	Min	Max	Toplam Değer	Ortalama	Standart Sapma
1	73270	0,13	0,78	46784,52	0,64	0,09
2	78694	0,10	0,78	50997,00	0,65	0,11
3	78895	0,18	0,81	52796,54	0,67	0,12
4	71365	0,06	0,77	43312,28	0,61	0,11
5	69303	0,05	0,76	42554,06	0,61	0,11
6	77467	0,08	0,76	46855,47	0,60	0,10
7	66432	0,14	0,77	42950,20	0,65	0,11
8	69819	0,19	0,78	43901,29	0,63	0,17
9	79259	0,23	0,75	36582,34	0,46	0,23
10	74414	0,07	0,76	46450,80	0,62	0,09
11	76801	0,16	0,77	48468,98	0,63	0,13
12	77753	0,21	0,75	47448,98	0,61	0,10
13	65108	0,07	0,76	42262,82	0,65	0,07
14	69157	0,10	0,75	40229,31	0,58	0,12
15	72966	0,11	0,76	42687,47	0,59	0,12
16	63376	0,16	0,76	38454,47	0,61	0,14
17	67675	0,17	0,76	40264,21	0,59	0,13
18	69492	0,16	0,75	37199,35	0,54	0,18
19	66012	0,14	0,78	41466,62	0,63	0,11
20	66573	0,10	0,77	41964,80	0,63	0,14
21	71458	0,19	0,78	42787,79	0,60	0,20
22	55162	0,23	0,78	33004,82	0,60	0,17
23	65803	0,16	0,78	38002,80	0,58	0,20
24	67210	0,13	0,76	37636,00	0,56	0,14
25	60542	0,10	0,78	37976,32	0,63	0,63
26	67237	0,19	0,75	39701,17	0,59	0,15
27	63572	0,10	0,74	35941,31	0,57	0,18



Şekil 4.1. Parsellere ait NDVI haritası (1-9. parseller)



Şekil 4.2. Parsellere ait NDVI haritası (10-18. parseller)



Şekil 4.3. Parsellere ait NDVI haritası (19-27. parseller)

4.5. Elde Edilen Verilere İlişkin İstatiksel Analiz Sonuçları

Tüm analizler için Jamovi (v. 2.3) kullanılmıştır (The jamovi project, 2022). Verilere ait normal dağılım baz alındığında çoğunun normal dağıldığı gözlemlenmiştir ($p>0.05$). Bunun için pearson korelasyon analizi ve çoklu doğrusal regresyon analizleri kullanılmıştır. Tanımlayıcı istatistikler, n, ortalama, standart hata, medyan, standart sapma, minimum ve maksimum olarak sunulmuştur. Tüm testler $p<0.05$ önem düzeyinde uygulanmıştır (R Core Team , 2021).

4.5.1. Tanımlayıcı İstatistikler

Tanımlayıcı istatistikler, veri setinin özetlenmesi ve anlaşılması için kullanılan istatistiksel yöntemlerdir. Bu istatistikler, veri setinin merkezi eğilimi, değişkenliği, dağılımı ve şekli hakkında bilgi sağlar. Shapiro-Wilk testi, bir veri setinin normal dağılıma sahip olup olmadığını test etmek için kullanılan istatistiksel bir testtir. Bu test, gözlemlenen verilerin normal dağılıma ne kadar uygun olduğunu değerlendirmek için kullanılır (Çizelge 4.5.).

Çizelge 4.5. Verilere ait anımlayıcı istatistikler

	n	Ort.	S. Hata	Medyan	S. Sapma	Min	Max	W	Shapiro-Wilk
									p
Bitki Boyu (cm)	27	98.57	2.76	98.60	14.33	75.37	128.10	0.97	0.66283
Koza Sayısı	27	9.07	0.68	9.00	3.56	2.67	18.00	0.97	0.71215
Koza Ağırlığı (g)	27	67.96	6.550	62.94	34.04	20.65	169.92	0.93	0.05777
Yaş Ağırlık (g)	27	161.96	12.87	154.51	66.88	70.03	331.43	0.94	0.13244
Fırın Kuru Ağırlık (g)	27	75.16	8.89	66.16	46.19	26.31	267.45	0.72	7.87e-6
SPAD	27	49.91	0.91	51.90	4.70	40.00	55.70	0.89	0.01245
NDVI	27	0.60	0.01	0.61	0.04	0.46	0.67	0.89	0.00835
Verim (kg/da)	27	590.11	20.04	551.40	104.18	442.90	831.30	0.92	0.03145

4.5.2. Korelasyon analizi

Korelasyon analizi, istatistiksel bir teknik olup iki değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılır. Bütün veriler arasındaki korelasyon tablosu Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Tüm verilere ait korelasyon tablosu

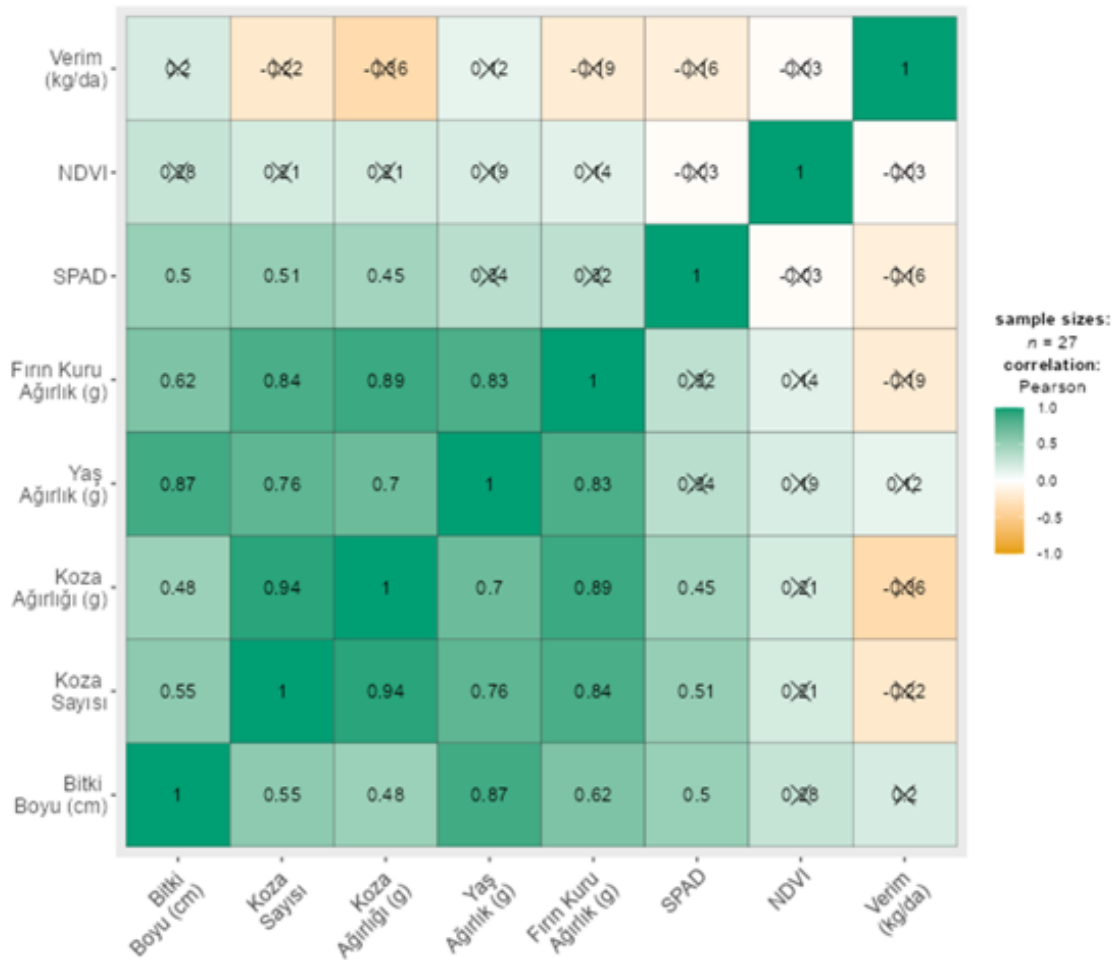
		Bitki Boyu (cm)	Koza Sayısı	Koza Ağırlığı (g)	Yaş Ağırlık (g)	Fırın Kuru Ağırlık (g)	SPAD	NDVI	Verim (kg/da)
Bitki Boyu (cm)	Pearson's r	—							
	p-değeri	—							
	n	—							
Koza Sayısı	Pearson's r	0.551**	—						
	p-değeri	p<0.05	—						
	n	27	—						
Koza Ağırlığı (g)	Pearson's r	0.477*	0.943***	—					
	p-değeri	p<0.05	p<0.05	—					
	n	27	27	—					
Yaş Ağırlık (g)	Pearson's r	0.871***	0.764***	0.696***	—				
	p-değeri	p<0.05	p<0.05	p<0.05	—				
	n	27	27	27	—				
Fırın Kuru Ağırlık (g)	Pearson's r	0.619***	0.842***	0.885***	0.833***	—			
	p-değeri	p<0.05	p<0.05	p<0.05	p<0.05	—			
	n	27	27	27	27	—			
SPAD	Pearson's r	0.495**	0.511**	0.452*	0.336	0.324	—		
	p-değeri	p<0.05	p<0.05	p<0.05	0.0865	0.0992	—		
	n	27	27	27	27	27	—		
NDVI	Pearson's r	0.283	0.207	0.207	0.194	0.136	-0.028	—	
	p-değeri	0.15282	0.30108	0.3004	0.331	0.4993	0.89	—	
	n	27	27	27	27	27	27	—	
Verim (kg/da)	Pearson's r	0.201	-0.221	-0.359	0.119	-0.185	-0.156	-0.03	—
	p-değeri	0.31377	0.26719	0.066	0.5558	0.3546	0.437	0.88	—
	n	27	27	27	27	27	27	27	—

*, p<0.05; **, p<0.01; ***, p<0.001

Bitki boyu, koza sayısı ($r = 0.551$, $p < 0.05$) ve yaş ağırlık ($r = 0.871$, $p < 0.001$) ile güçlü pozitif korelasyona sahiptir. Koza ağırlığı, yaş ağırlık ($r = 0.696$, $p < 0.001$) ve fırın kuru ağırlık ($r = 0.885$, $p < 0.001$) ile güçlü pozitif korelasyona sahiptir. Yaş ağırlık, fırın kuru ağırlık ($r = 0.833$, $p < 0.001$) ile güçlü pozitif korelasyona sahiptir. Aşağıda korelasyon grafikleri verilmiştir (Şekil 4.4).

Korelasyon matrisi, farklı değişkenler arasındaki ilişkinin gücünü ve yönünü belirlemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Matristeki her hücre, iki değişken arasındaki korelasyon katsayısını (Pearson korelasyon katsayısı) gösterir. Bu katsayılar -1 ile +1 arasında değerler alır; +1 mükemmel pozitif korelasyonu, -1 mükemmel negatif korelasyonu ve 0 ise hiçbir korelasyon olmadığını gösterir.

Şekil 4.5'te gösterilen matriste yeşil renkli hücreler pozitif korelasyonu, turuncu renkli hücreler negatif korelasyonu gösterir. Renk tonunun yoğunluğu korelasyonun şiddetini ifade eder. Sağ üst köşede "sample sizes: A = 27 correlation: Pearson" ifadesi, analizde 27 örnek kullanıldığını ve Pearson korelasyon katsayısının kullanıldığını belirtir. Ayrıca sağ tarafta bir renk skalası bulunmakta ve bu skala korelasyon katsayılarının şiddetini görselleştirmektedir.



Şekil 4.4. Pearson r değerlerinin ısı haritası (X: $p < 0,05$ 'te anlamlı değil)

Bitki ölçümleri (bitki boyu, koza sayısı, koza ağırlığı, yaş ağırlık ve kuru ağırlık) arasında güçlü bir korelasyon bulunmaktadır. Freeman ve ark. (2007), Oklahoma'daki üç lokasyonda mısır bitkisi için yaptıkları 3 yıllık bir çalışmada üreme büyümesinden önce toplanan bireysel bitki boyu ölçümünün, çalışmanın altı yılı boyunca bitki biokütlesinin iyi bir göstergesi olduğunu ($r^2 = 0,81$) bildirmiştir. Zhou ve Yin (2014) ise 2008-2010 yılları arasında toprak işlemez pamuk üzerinde bir tarla deneyinde pamuk verimini tahmin etmede bitki boyunun NDVI' dan daha güvenilir olduğunu belirtmektedir. Bununla beraber Feng ve ark. (2018), Gopro kamerasıyla donatılmış bir İHA ile, pamuk çiçeklenme dönemi sırasında pamuk verim ve bitki boyu arasındaki Pearson korelasyon katsayılarını %66 ila %96 aralığında bulmuşlardır. Buradan bitki ölçüm zamanının verim tahmini açısından belirleyici faktör olduğu anlaşılmaktadır.

SPAD değeri, diğer bitki ölçümleri (bitki boyu, koza sayısı, koza ağırlığı, yaş ağırlık ve kuru ağırlık) ile orta düzey pozitif korelasyona sahip olduğu görülmektedir.

NDVI değeri ile diğer değişkenler arasında ise zayıf veya anlamlı olmayan korelasyonlar bulunmaktadır. Aslan, (2019) da sert buğday üretiminde çiçeklenme öncesinde NDVI ölçümleri ile eşzamanlı ölçülen SPAD değerleri arasında zayıf bir korelasyon bulmuştur.

4.5.3. Bitki ölçümleri ile verim arasındaki ilişki

Bitki özellikleri ile verim arasındaki ilişkiyi gösteren doğrusal regresyon analizi (Çizelge 4.7.) bitki özellikleri (bitki boyu, koza sayısı, koza ağırlığı, yaş ağırlığı ve fırın kuru ağırlık) ile pamuk verimi arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla kullanılmıştır.

Çizelge 4.7. Bitki özellikleri ile verim arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon ANOVA sonuçları

Toplam Model Testi						
Model	R	R ²	F	df1	df2	p-değeri
1	0.641	0.411	2.933	5	21	0.0367

Tahminci	Tahmin	Std Hata	t-değeri	p-değeri
Sabit	587.269	197.3	2.977	0.0072
Bitki Boyu (cm)	-0.355	2.748	-0.129	0.89851
Koza Sayısı	12.432	18.112	0.686	0.49996
Koza Ağırlığı (g)	-3.556	2.124	-1.674	0.10895
Yaş Ağırlık (g)	1.103	0.926	1.191	0.24696
Fırın Kuru Ağırlık (g)	-0.158	1.175	-0.135	0.89409

R: korelasyon katsayısı, R kare: belirleme katsayısı, F: F testi kritik değeri, df1: gruplar arası serbestlik derecesi, df2: grup içi serbestlik derecesi, P değeri: önem düzeyi (p<0.05 ise model anlamlı; p>0.05 ise model anlamlı değildir)

Yapılan regresyon analizinin sonuçlarına göre, modelin genel uyumunu değerlendiren ANOVA testi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($F(5,21) = 2.933$, $p = 0.0367$). Modelin R-kare değeri 0.411 olarak hesaplanmıştır, bu da modeldeki varyansın %41.1'inin bağımsız değişkenlerce açıklandığını göstermektedir.

Model katsayıları incelendiğinde, bitki boyunun ($\beta = -0.355$, $p = 0.898$), koza sayısının ($\beta = 12.432$, $p = 0.499$), koza ağırlığının ($\beta = -3.556$, $p = 0.108$), yaş ağırlığının ($\beta = 1.103$, $p = 0.246$) ve fırın kuru ağırlığının ($\beta = -0.158$, $p = 0.894$) verim üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olan değişken tespit edilememiştir. Bunun muhtemel sebebi veri sayısının azlığı olarak düşünülmektedir.

4.5.4. SPAD ve NDVI ile verim arasındaki ilişki

SPAD ve NDVI'nin verim üzerindeki etkisine ait doğrusal regresyon analizi incelendiğinde (Çizelge 4.8.) veri setindeki SPAD ve NDVI değerleri, bitki verimini tahmin etmek için kullanılmıştır. Doğrusal regresyon analizi, SPAD ve NDVI'nin bitki verimine olan etkisini belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizi sonuçları, ANOVA testi ile değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.8. SPAD ve NDVI ile verim arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon ANOVA sonuçları

Toplam Model Testi						
Model	R	R ²	F	df1	df2	p
1	0.16	0.026	0.314	2	24	0.733

Tahminci	Tahmin	Std Hata	t-değeri	p-değeri
Sabit	816.052	382.494	2.134	0.0433
SPAD	-3.475	4.465	-0.778	0.444
NDVI	-86.941	503.209	-0.173	0.8643

R: korelasyon katsayısı, R kare: belirleme katsayısı, F: F testi kritik değeri, df1: gruplar arası serbestlik derecesi, df2: grup içi serbestlik derecesi, P değeri: önem düzeyi (p<0.05 ise model anlamlı; p>0.05 ise model anlamlı değildir)

Yapılan regresyon analizinin sonuçlarına göre, modelin genel uyumunu değerlendiren ANOVA testi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (F(2,24) = 0.314, p = 0.733). Analiz sonuçlarına göre, kullanılan modelin toplam varyansın sadece %2,6'sını açıklayabildiği görülmüştür (R² = 0.026).

Bağımsız değişkenler incelendiğinde, SPAD değeri arttıkça bitki veriminin ortalama olarak 3.475 kg/da azaldığı görülmüştür. Ancak, bu katsayı istatistiksel olarak anlamlı değildir (p = 0.4440). Debaeke ve ark. (2006), üç yıllık bir saha deneyinde, buğdayda N sınırlayıcı bir faktör olduğunda, antezde (tozlanma dönemi)

ölçülen SPAD ölçümünün tane verimini ve protein içeriğini doğru bir şekilde tahmin ettiğini ve SPAD ölçümünün, buğday aşırı gübrelendiğinde bu değişkenleri tahmin etmek için kullanılamayacağı sonucuna varılmıştır. Zhou ve Yin (2018), erken döneminden orta çiçeklenme dönemine kadar SPAD okumasının, pamuk verimi tahmini için etkili olduğunu bildirmiştir. Aslan, (2019) ise sert buğday üretiminde çiçeklenme öncesi dönemde elde edilen SPAD okumaları ile tane proteini ($p<0.005$) ve tane verimi ($P<0.001$) arasında orta seviyede bir ilişki bulmuştur. Buradan, bitki vejetasyon sürecinin her aşaması için alınacak SPAD ölçümlerinin verim tahmini açısından değerlendirilemeyeceği anlaşılmaktadır.

Bağımsız değişkenler incelendiğinde, NDVI değeri arttıkça bitki veriminin ortalama olarak 86.941 kg/da azaldığı görülmüştür. Benzer şekilde, bu katsayı da istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p = 0.8643$). Gutierrez ve ark. (2012), üç pamuk çeşidi ve 2009 ve 2010 yılları arasındaki çalışmada pamukta çiçeklenme döneminde belirlenen spektral indisler ile lif verimi arasında önemli korelasyonlar gözlemlenmiştir. Dolayısıyla yansıma indislerinin çiçeklenme döneminde pamuk lif verimini tahmin etmek için daha etkin kullanılabileceği kanısına varmıştır. Bununla beraber NDVI yerine SR, NIR ve RVI kullanıldığında verim tahmininin doğruluğunun önemli ölçüde artabileceğini öne sürmektedirler. Yine Zhou ve Yin (2018), pamukta 33 yıllık uzun vadeli bir tarla denemesinde erken dönemde alınan NDVI değerlerinin, pamuk verimi tahmini için etkili olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde Siegfried (2021) de dört büyüme sezonu boyunca (2017-2020) yaptığı çalışmada pamuk verimi ile İHA çok spektralli ve termal kızılötesi görüntülerden türetilen NDVI verileri ile pamuk verimi arasındaki korelasyonun çiçeklenme döneminde en yüksek düzeye ulaştığını bildirmiştir. Eminoğlu, (2019) ise mısırdaki 5 vejetasyon dönemi boyunca 5 uçuştan elde ettiği NDVI değerlerinin her ne kadar ilk dört dönemde biokütle ve verimle güçlü korelasyon oluşturmuş olsa da hasat öncesi dönemdeki NDVI ile biokütle ve verim arasındaki ilişki orta düzeye gerilemiştir. Bu sonuç, NDVI değerlerinin vejetasyonun her döneminde verim tahmini açısından olumlu sonuç vermediğini göstermektedir. Mkhabela ve ark. (2005), yaptıkları bir araştırmaya göre, NDVI değerlerinin ülkenin büyük bir alanında mısır verimi tahmini kapsamında etkin bir şekilde değerlendirilebileceğini ve kabul edilebilir bir tahminine yönelik en isabetli

zamanın, en az hasattan 2 ay öncesinde yapılması gerektiğini bildirmişlerdir. Kayahan, (2023) silajlık mısırdaki NDVI değerleri ile verim ölçümleri arasında yaptığı karşılaştırmada en yüksek ilişkiyi $R^2=0.945$ olacak şekilde çiçeklenme zamanında aldığı verilerle elde ettiğini bildirmiştir. Araştırmacıların elde ettiği sonuçlara bakıldığında mısırdaki çiçeklenme zamanı elde edilen NDVI ölçümlerinin verim tahmini için kullanılabilirliği gücü daha yüksektir. Bu durum sadece NDVI için geçerli değildir. Kaya ve Polat (2023), 2015-2018 yılları arasında Landsat-8 ve Sentinel-2 uydu verilerini kullanarak buğday verim araştırma sonucunda vejetasyon indeks değerleri ile gerçek verim değerleri arasında en yüksek korelasyon katsayısını çiçeklenme döneminde bulunmuşlardır. Burada en yüksek korelasyonlar MSAVI ve GNDVI için çiçeklenme aşamasında, NDVI için çiçeklenme öncesi aşamada ve SAVI için çiçeklenme sonrası aşamada görülmüştür. Orhan (2024), buğday için yaptığı çalışmada 4 dönemde okunulan NDVI değerleri ile tane verimi değerleri arasında negatif bir ilişki tespit etmiştir. Sonuç olarak NDVI indeksi bitki materyaline ve alınan zamana göre verim tahmini açısından farklı tepkiler verebilmektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Hassas tarım yönetimi ve bitki yetiştirme programları için, İHA teknolojisinin kullanımı ve, verim ile ilgili verilerinin toplanması önemlidir. Geleneksel verim verilerinin küçük ölçeklerde toplanması işgücü yoğundur. İHA teknolojisinin kullanılması, işgücü gereksinimlerini azaltırken verim değişkenliğini etkili bir şekilde ölçmeye yardımcı olabilir. Pamuk gelişimi ve verimliliğinin insansız hava aracı verileri ile analiz edilmesi, tarım alanında önemli bir araştırma konusudur. İHA'lar, tarım sektöründe kullanılan verimli ve etkili araçlardır. Pamuk gibi tarım ürünlerinin gelişimi ve verimliliği, tarımın en önemli unsurlarından biridir.

Bu çalışmada temel amaç; pamuk bitkisinde vejetasyon dönemi boyunca tek dönem bitki, SPAD ve İHA tabanlı NDVI verileri ile hasat sonu pamuk verimi arasındaki ilişkileri analiz ederek bu verilerin sezon içerisinde pamuk verimi tahmininde değerlendirilip değerlendirilemeyeceğini araştırmaktır.

Bu çalışma; uzaktan algılama tekniği kullanılarak pamuk veriminin analizine yönelik yapılmıştır. Çalışmada; öngörülen bitkiler yetiştirilmiş, bu bitkilerden örnekler alınarak bir dizi parametre ölçümleri yapılmış, arazi ortamında klorofil ölçer (SPAD) kullanılarak bitkilerden klorofil ölçümleri alınmış, İnsansız Hava Aracı ile multispektral veriler elde edilmiş, elde edilen veriler ilgili yazılımlarda işlenerek analize uygun ikincil veriler (NDVI) oluşturulmuş, hasat sonu verim hesaplanmış ve nihayet bütün bu veriler arasındaki ilişkiler istatistiksel açıdan ilişkilendirilerek tanımlayıcı analizler, regresyon analizleri ve korelasyon analizlerine ilişkin sonuçlar elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre bitki ölçüm parametreleri arasında (bitki boyu, koza sayısı, koza ağırlığı, yaş ağırlık ve kuru ağırlık) güçlü bir korelasyon tespit edilmiştir. Bu beklenen bir sonuç olmakla beraber elbette tek başına verim tahmini konusunda bir fikir vermemektedir.

SPAD ile bitki ölçüm parametreleri arasında orta düzeyde, NDVI ve verim ile de negatif bir ilişki gözlemlenmiştir. Benzer şekilde NDVI ile bitki ölçüm parametreleri arasında zayıf düzeyde, SPAD ve verim ile de negatif bir ilişki söz konusudur. Verim ise diğer bütün parametrelerle zayıf veya negatif bir korelasyon göstermiştir.

İHA, SPAD, bitki ölçüm parametreleri ve verim bileşenleri kullanılarak daha önce gerek pamuk gerekse farklı bitkiler üzerinde yapılan çalışmalarda genellikle olumlu sonuçlar alındığı görülmekle beraber verim tahmininde olumsuz sonuçlanan bazı çalışmalar bulunmaktadır ve başarılı bir verim tahmini için verilerin özellikle bitki çiçeklenme döneminde alınmasının daha isabetli olduğu bildirilmektedir.

Sonuç olarak bu çalışmada pamukta tek dönem (koza oluşum dönemi) İHA, SAPAD ve bitki ölçüm verileri ile hasat sonu pamuk verimi arasındaki ilişki analiz edilmiş ve bu yöntemin pamukta sezon içi verim tahmininde etkili olmadığı görülmüştür. Verilerin elde edilme zamanı, miktarı ve sıklığının verim tahmininde etkili olabilecek şekilde optimize edilmesi ve veriler arasında kalibrasyonun sağlanması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- ASLAN, A. 2019. Buğdayda bitki azot durumunun portatif klorofil ölçüm cihazı (SPAD) ve alçak irtifa insansız hava aracı (DRONE) ile belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Şanlıurfa: Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- CHEN, L., WU, G., CHEN, G., ZHANG, F., HE, L., SHI, W., and SUN, Y. 2011. Correlative analyses of LAI, NDVI, SPAD and biomass of winter wheat in the Suburb of Xi'an. *In 2011 19th International Conference on Geoinformatics* (s. 1-5). Shanghai, China: IEEE.
- DA SILVA ANDREA, M. C., DE OLIVEIRA NASCIMENTO, J., MOTA, F., and DE SOUZA OLIVEIRA, R. 2023. Predictive framework of plant height in commercial cotton fields using a remote sensing and machine learning approach. *Smart Agricultural Technology*, 4, 100154.
- DAPONTE, P., DE VITO, L., GLIELMO, L., IANNELLI, L., LIUZZA, D., PICARIELLO, F., & SILANO, G. 2019. A review on the use of drones for precision agriculture. *In IOP conference series: earth and environmental science*, Vol. 275, No. 1, p. 012022.
- DEBAEKE, P., ROUET, P., and JUSTES, E. 2006. Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to durum wheat. *Journal of plant nutrition*, 29(1), 75-92.
- DENG, L., MAO, Z., LI, X., HU, Z., DUAN, F., and YAN, Y. 2018. UAV-based multispectral remote sensing for precision agriculture: A comparison between different cameras. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 146, 124-136.
- DUVEILLER, G., and CESCATTI, A. 2016. Spatially downscaling sun-induced chlorophyll fluorescence leads to an improved temporal correlation with gross primary productivity. *Remote Sensing of Environment*, (182), 72-89.
- EDALAT, M., NADERI, R., and EGAN, T. P. 2019. Corn nitrogen management using NDVI and SPAD sensor-based data under conventional vs. reduced tillage systems. *Journal of Plant Nutrition*, 42(18), 2310-2322.
- EMİNOĞLU, M. A. 2019. Mısırdaki verim ve bazı verim değişkenlerinin NDVI kameralı alçak irtifa insansız hava aracı kullanılarak tahmin edilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- FENG, A., SUDDUTH, K., VORIES, E., ZHANG, M., and ZHOU, J. 2018. Cotton yield estimation based on plant height from UAV-based imagery data. *In 2018 ASABE Annual International Meeting*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- FREEMAN, K. W., GİRMA, K., ARNALL, D. B., MULLEN, R. W., MARTIN, K. L., TEAL, R. K., and RAUN, W. R. 2007. By-plant prediction of corn forage biomass and nitrogen uptake at various growth stages using remote sensing and plant height. *Agronomy Journal*, 99(2), 530-536.
- FREG, A., ZHOU, J., VORIES, E. D., SUDDUTH, K. A., and ZHANG, M. 2020. Yield estimation in cotton using UAV-based multi-sensor imagery. *Biosystems Engineering*(193), 101-114.

- GEBREMEDIN, A., BADENHORST, P., WANG, J., GIR, K., SPANGENBERG, G., and SMITH, K. 2019. Development and validation of a model to combine NDVI and plant height for high-throughput phenotyping of herbage yield in a perennial ryegrass breeding program. *Remote Sensing*, 11(21), 2494.
- GOOGLE EARTH, 2024, <https://earth.google.com/web/@37.16236813,39.0067445,489.36140994a,2190.44315764d,35y,-161.1319907h,42.50359156t,0r/data=OgMKATA>, Erişim Tarihi: 15.03.2024
- GUO, Z., WHITE, B., and MUGERA, A. 2014. Wheat yield prediction and its effects on price risk hedging in Western Australia. *Paper presented at the econometric society Australasian meeting and Australian conference of economists*. Hobart, Australia.
- GUTIERREZ, M., NORTON, R., THORP, K. R., and WANG, G. 2012. Association of spectral reflectance indices with plant growth and lint yield in upland cotton. *Crop Science*, 52(2), 849-857.
- GÜNDOĞAN, R., GÜNAL, E., ŞENBAYRAM, M., KILIÇ, O. M., ve GÖKMEN, V. 2021. Farklı dozdaki katı ve sıvı hayvan gübresi uygulamalarının buğday gelişimine etkisinin bitki indeksleri ile belirlenmesi. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural and Medical Sciences*, 8(19), 123_136-123_136.
- GÜZEL, A. 2020. Şanlıurfa İli Doğal Coğrafya Özellikleri. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 3(71), 202-208.
- HUANG, Y., BRAND, H. J., SUI, R., THOMSON, S. J., FURUKAWA, T., and EBELHAR, M. W. 2016. Cotton yield estimation using very high-resolution digital images acquired with a low-cost small unmanned aerial vehicle. *Transactions of the ASABE*, 59 (6), 1563-1574.
- JI, J., LI, N., CUI, H., LI, Y., ZHAO, X., ZHANG, H., and MA, H. 2023. Study on monitoring SPAD values for multispatial spatial vertical scales of summer maize based on UAV multispectral remote sensing. *Agriculture*, 13(5), 1004.
- JIANG, J., JOHANSEN, K., STANSCHESKI, C. S., WELLMAN, G., MOUSA, M. A., FIENE, G. M., and MCCABE, M. F. 2022. Phenotyping a diversity panel of quinoa using UAV-retrieved leaf area index, SPAD-based chlorophyll and a random forest approach. *Precision Agriculture*, 23(3), 961-983.
- JOHNSON, R. M., DOWNER, R. G., BRADOW, J. M., BAUER, P. J., and SADLER, E. J. 2002. Variability in cotton fiber yield, fiber quality, and soil properties in a southeastern coastal plain. *Agronomy Journal*(94 (6)), 1305-1316.
- KAYA, Y., and POLAT, N. 2023. A linear approach for wheat yield prediction by using different spectral vegetation indices. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(1), 52-62.
- KAYAHAN, N. 2023. Uzaktan algılama kullanılarak silajlık mısır veriminin tahminlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- KELLY, J., CRAIN, J. L., and RAUN, W. R. 2015. By-plant prediction of corn (*Zea mays* L.) grain yield using height and stalk diameter. *Communications in soil science and plant analysis*, 46 (5), 564-575.
- LILLESAND, T., KIEFER, R. W., and CHIPMAN, J. 2015. *Remote sensing and image interpretation* (7 b.). John Wiley and Sons.

- LUKAS, V., NOVÁK, J., NEUDERT, L., SVOBODOVA, I., RODRIGUEZ-MORENO, F., EDREES, M., and KREN, J. 2016. The combination of UAV survey and landsat imagery for monitoring of crop vigor in precision agriculture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*(41), 953-957.
- MAJA, J., CAMPBELL, T., NETO, J. C., and ASTILLO, P. 2016. Predicting cotton yield of small field plots in a cotton breeding program using UAV imagery data. In *Autonomous Air and Ground Sensing Systems for Agricultural Optimization and Phenotyping*, Vol. 9866, pp. 39-45.
- MARIN, D. B., FERRAZ, G., GUIMARAES, P., SCHWERZ, F., SANTANA, L. S., BARBOSA, B., and ROSSI, G. 2021. Remotely piloted aircraft and random forest in the evaluation of the spatial variability of foliar nitrogen in coffee crop. *Remote Sensing*, 13(8), 1471.
- METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, 2024. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=SANLIURFA> Erişim tarihi: 15 Mart 2024.
- 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(10), 2369-2387.
- MUHARAM, F. M., BRONSON, K. F., MAAS, S. J., and RITCHIE, G. L. 2014. Inter-relationships of cotton plant height, canopy width, ground cover and plant nitrogen status indicators. *Field Crops Research*, 169, 58-69.
- NASI, R., VILJANEN, N., KAIVOSOJA, J., ALHONOJA, K., HAKALA, T., MARKELIN, L., and HONKAVAARA, E. 2018. Estimating biomass and nitrogen amount of barley and grass using UAV and aircraft based spectral and photogrammetric 3D features. *Remote Sensing*, 10(7), 1082.
- NIU, Q. L., FENG, H. K., ZHOU, X. G., ZHU, J. Q., YONG, B. B., and LI, H. Z. 2021. Combining UAV visible light and multispectral vegetation indices for estimating SPAD value of winter wheat. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach*, 52, 183-194.
- ORHAN, M. Y. 2024. Şanlıurfa sulu koşullarda ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerinde optik sensöre dayalı mevsim içi azotlu gübre kalibrasyonu. *Yüksek Lisans Tezi. Şanlıurfa: Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- ÖZTÜRK, H. 2021. Harran Ovasında tarla ölçeğinde mesafeye bağlı değişimin jeostatistiksel yöntemlerle. (*YÖK Tez No: 682490*), 78. Şanlıurfa: Yüksek Lisans Tezi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- PARROT BLUEGRASS, . https://www.parrot.com/assets/s3fs-public/2021-09/bd_bluegrass_products_sheet_en_210x297_2018-03-01.pdf
- PARROT SEQUOIA. https://www.parrot.com/assets/s3fs-public/2021-09/sequoia-userguide-en-fr-es-de-it-pt-ar-zn-zh-jp-ko_1.pdf Erişim tarihi: 15 Mart 2024.
- PENDLETON, B., FRAME, W., COLLINS, G., and HOLSHOUSER, D. 2022. Using UAVs and NDVI Readings to Predict Grower N Rates in North Carolina Cotton. *Crop and Soil Environmental Sciences*.
- PIX-PRO, 2024. <https://www.pix-pro.com/> Erişim tarihi: 15 Mart 2024.
- PSIROUKIS, V., PAPADOPOULOS, G., KASIMATI, A., TSOULIAS, N., and FOUNTAS, S. 2023. Cotton Growth Modelling Using UAS-Derived DSM and RGB Imagery. *Remote Sensing*, 15(5), 1214.

- R CORE TEAM, 2021. R: A Language and environment for statistical computing. (Version 4.1) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from MRAN snapshot 2022-01-01). .
- ROUZE, G., NEELY, H., MORGAN, C., KUSTAS, W., and WIETHORN, M. 2021. Evaluating unoccupied aerial systems (UAS) imagery as an alternative tool towards cotton-based management zones. *Precision Agriculture*, 22(6), 1861-1889.
- SHAW, G., and MANOLAKIS, D. 2002. Detection algorithms for hyperspectral imaging applications. *IEEE Signal Processing Magazine*, 19(1), 29-43.
- SHU, M., FEI, S., ZHANG, B., YANG, X., GUO, Y., LI, B., and MA, Y. 2022. Application of UAV multisensor data and ensemble approach for high-throughput estimation of maize phenotyping traits. *Plant Phenomics*, 47, 777-780.
- SIEGFRIED, J. A. 2021. Unmanned Aerial Remote Sensing for Estimating Cotton Yield. *PhD Thesis*. Texas A&M University.
- SINKA, L., ZSEMBELI, J., RAGÁN, P., DUZS, L., and HÁJOS, M. T. 2021. Effect of different seedling growing methods on the SPAD, NDVI values and some morphological parameters of four sweet corn (L.) hybrids. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*, 67(4), 177-190.
- THE JAMOVI PROJECT, 2022. jamovi. (Version 2.3) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>. .
- TREVISAN, R. G., DE SV JUNIOR, N., PORTZ, G., EITELWEIN, M. T., and MOLIN, J. P. 2015. Use of crop height and optical sensor readings to predict mid-season cotton biomass. In *Precision agriculture'15*, pp. 103-110. Wageningen Academic.
- TURNER, P. L. 2008. Indirect measurement of crop plant height. Stillwater, Oklahoma. *Master of Science*. Oklahoma State University.
- WÓJTOWICZ, M., WÓJTOWICZ, A., and PIEKARCZYK, J. 2016. Application of remote sensing methods in agriculture. *Communications in biometry and crop science*(11(1)), 31-50.
- XIE, T., LI, J., YANG, C., JIANG, Z., CHEN, Y., GUO, L., and ZHANG, J. 2021. Crop height estimation based on UAV images: Methods, errors, and strategies. *Computers and Electronics in Agriculture*, 185, 106155.
- XU, R., LI, C., and PATERSON, A. H. 2019. Multispectral imaging and unmanned aerial systems for cotton plant phenotyping. *PloS one*, 14(2), e0205083.
- XU, W., CHEN, P., ZHAN, Y., CHEN, S., ZHANG, L., and LAN, Y. 2021. Cotton yield estimation model based on machine learning using time series UAV remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 104, 102511.
- XU, W., YANG, W., CHEN, S., WU, C., CHEN, P., and LAN, Y. 2020. Establishing a model to predict the single boll weight of cotton in northern Xinjiang by using high resolution UAV remote sensing data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 179, 105762.
- XUE, J., and SU, B. 2017. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of sensors*, 1-17.
- YANG, C. 2018. High resolution satellite imaging sensors for precision agriculture. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*(5(4)), 393-405.

- YIN, X. H., MCCLURE, A., and TYLER, D. 2010. Relationships of plant height and canopy NDVI with nitrogen nutrition and yields of corn. *Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science: Soil solutions for a changing world* (s. 40-42 ref. 8). Brisbane, Australia: Division Symposium 3.1 Precision techniques for land use.
- YIN, X., and MCCLURE, M. A. 2013. Relationship of corn yield, biomass, and leaf nitrogen with normalized difference vegetation index and plant height. *Agronomy Journal*, 105(4), 1005-1016.
- ZHANG, J., FANG, H., ZHOU, H., SANOGO, S., and MA, Z. 2014. Genetics, breeding, and marker-assisted selection for Verticillium wilt resistance in cotton. *Crop Science*(54 (4)), 1289-1303.
- ZHOU, G., and YIN, X. 2014. Relationship of cotton nitrogen and yield with normalized difference vegetation index and plant height. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 100, 147-160.
- ZHOU, G., and YIN, X. 2018. Assessing nitrogen nutritional status, biomass and yield of cotton with NDVI, SPAD and petiole sap nitrate concentration. *Experimental Agriculture*, 54(4), 531-548.