

## FARKLI DOZDAKİ KATI VE SIVI HAYVAN GÜBRESİ UYGULAMALARININ BUĞDAY GELİŞİMİNE ETKİSİNİN BİTKİ İNDEKSLERİ İLE BELİRLENMESİ

### ASSESSMENT FOR THE EFFECTS OF DIFFERENT DOSES OF SOLID AND LIQUID ANIMAL MANURE APPLICATIONS ON WHEAT GROWTH BY VEGETATION INDICES

**Recep GÜNDOĞAN** 

Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Besleme ve Toprak Bilimi, Şanlıurfa, Türkiye

**Elif GÜNAL** 

Serbest Araştırmacı, Şanlıurfa, Türkiye

**Mehmet ŞENBAYRAM** 

Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Besleme ve Toprak Bilimi, Şanlıurfa, Türkiye

**Orhan Mete KILIÇ** 

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Tokat, Türkiye

**Veysel GÖKMEN** 

Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Besleme ve Toprak Bilimi, Şanlıurfa, Türkiye

*Geliş Tarihi / Received: 14.11.2021*  
*Kabul Tarihi / Accepted: 16.12.2021*

*Araştırma Makalesi/Research Article*  
*DOI: 10.38065/euroasiaorg.919*

#### ÖZET

Bu çalışmada, farklı dozlardaki taze ve yanmış katı ve sıvı hayvan gübresi uygulamalarının buğday bitkisi gelişimine etkileri, insansız hava aracından (IHA) elde edilen görüntülerden üretilen bitki indeksleri ile incelenmiştir. Bu amaçla farklı uygulamaların yer aldığı deneme alanındaki parsellerde dane dolum dönemindeki bitkinin yaş ağırlıkları ile aynı parsellerde IHA'dan elde edilen görüntülerden Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Normalize Edilmiş Fark Kırmızı Kenar İndeksi (NDRE), Kırmızı Kenar Klorofil İndeksi (CIRE) ve Toprağa-Göre Düzenlenen Bitki İndeksi (SAVI) hesaplanmıştır. Çalışma, Harran Üniversitesi Osmanbey yerleşkesinde, Ziraat Fakültesi araştırma ve uygulama arazilerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, kırmızı (R-660 nm), yeşil (G-550 nm), yakın kızıl ötesi (NIR-790 nm) ve kırmızı kenar (RedEdge-735 nm) spektrumda yansıma kayıt edebilen bir kameranın monte edildiği IHA ile görüntüler alınmıştır. Uygulamalarda doz artışı ile birlikte bitki yaş ağırlığı önemli düzeyde artarken, tüm bitki indeks değerleri de önemli düzeyde artmıştır. Düşük doz uygulamalarında bitkinin yaş ağırlığı herhangi bir uygulamanın yapılmadığı kontrol parselleri ile benzer idi. Bununla birlikte, düşük dozlardaki bitki indeksi değerleri kontrol parseline ait bitki indeksi değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Dane dolum dönemi yaş ağırlığının tahmininde en güvenilir sonuç ( $R^2= 0.70$  ve  $P<0.01$ ), NDVI değerleri ile oluşturulan regresyon modeli ile elde edilmiştir. İkinci derecen bir polinomial eşitlik kullanılarak bu dönemdeki bitkinin yaş ağırlığının %70 doğrulukla tahmin edilebileceği anlaşılmıştır. Sonuçlar, alçak uçuş özelliği ve yüksek çözünürlüklü kamerası olan IHA'lar ile bitki gelişiminin izlenebileceğini ve verim tahmininin başarılı bir şekilde yapılabileceğini göstermiştir. Bu dönemdeki bitkinin yaş ağırlığı, ikinci derecen bir polinomial eşitlik kullanılarak %70 doğrulukla tahmin edilebilmiştir. Sonuçlar, alçak uçuş özelliği ve yüksek çözünürlüklü kamerası olan IHA'lar ile bitki gelişiminin izlenebileceğini ve verim tahmininin başarılı bir şekilde yapılabileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İnsansız hava aracı, buğday, bitki indeksi, NDVI, NRDE, CIRE, SAVI

#### ABSTRACT

In this study, the effects of fresh and aged solid and liquid animal manure applied at different doses on plant growth were investigated using the vegetation indices derived from the images obtained from an unmanned aerial vehicle (UAV). For this purpose, the fresh weight of wheat plants were determined during the grain filling period for each of the treatment. In addition, Normalized

Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Red Edge Index (NDRE) and Red Edge Chlorophyll Index (CIRE) and the Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) derived from the UAV images were calculated for the different treatments. The study was carried out in the research and application fields of the Agricultural Faculty in Harran University Osmanbey campus. The images were taken with an UAV mounted a camera capable of recording reflection in the red (R-660 nm), green (G-550 nm), near infrared (NIR-790 nm) and red edge (RedEdge-735 nm) spectrum. The results showed that the plant fresh weight and all vegetation indices increased significantly with the increase in application doses. The fresh plant weight in low doses was similar to the control plots where neither manure nor a fertilizer applied. However, average plant index values at low doses were higher than the plant index values of the control plot. The most reliable result ( $R^2= 0.70$  and  $P<0.01$ ) in the estimation of wheat wet weight at grain filling period was obtained with the regression model obtained using NDVI values. The fresh weight of wheat plants in this period could be estimated with 70% accuracy using a quadratic polynomial equation. The results showed that plant growth can be monitored and yield estimation can be successfully carried out using an UAVs with low altitude flight capability and high resolution camera.

**Keywords:** Unmanned aerial vehicle, wheat, vegetation index, NDVI, NRDE, CIRE, SAVI

## 1. GİRİŞ

Ürünün biyokütlesini ve tahıl verimini ölçmek için geleneksel olarak uygulanan yöntemler, yoğun emek ve uzun zaman gerektirdiğinden geniş arazilerde uygulanması oldukça zordur. Son zamanlarda, ürün biyokütlesinin ve veriminin izlenmesine yardımcı olacak birçok yeni teknoloji geliştirilmiştir (Yue ve ark., 2021). Sürekli gelişmekte olan uzaktan algılama teknolojisinin, tarımsal ürünlerin izlenmesinde uygun ve etkili bir araç olduğu farklı ekolojilerde ve farklı ürünler için yapılan çalışmalarda kanıtlamıştır. Bununla birlikte, uydu verilerinin zamansal ve mekansal çözünürlüğü arasındaki dengenin yanı sıra atmosferin açık olmadığı zamanlarda yüksek çözünürlüklü veri elde edilememesi, hassas tarım uygulamalarında uydu görüntülerinin kullanımını sınırlandırmaktadır. Yüksek mekansal çözünürlüğe sahip bazı gelişmiş uydu sensörleri ile daha detaylı veri elde etmek mümkün olmasına karşın, bu verilerin yüksek maliyetleri kullanımlarını zorlaştırmaktadır (Schut ve ark., 2018). Bununla birlikte, çoklu görüntüleme sensörleri, oto pilotlar ve küresel konumlandırma sistemleri ile donatılmış insansız hava araçları (İHA) ile yapılan uzaktan algılama, geleneksel uydu tabanlı uzaktan algılamanın yerini hızla almaktadır. İHA destekli uzaktan algılama, daha düşük uçuş yüksekliği ve yüksek çözünürlüklü veriler elde edilebilmesi nedeniyle özellikle bireysel alanların çok daha hassas bir şekilde izlenmesini mümkün kılmaktadır (Hunter ve Daughtry, 2017). İnsanlı uçakların yer aldığı sistemlerle karşılaştırıldığında dijital kameralar, multispektral, hyperspektral ve termal sensörlerin monte edilebildiği, İHA tabanlı sistemler daha küçük, daha hafif ve satın alma ve işleme daha az maliyetlidir (Manfreda ve ark., 2018).

Hasat öncesinde yapılacak doğru verim tahmini, bitki besleme ve zararlılarla mücadele döneminde bitkisel üretimin etkin yönetimi, elde edilecek ürünler ile ilgili politika oluşturma, bölgesel ticaret ve gıda güvenliğinin temini gibi birçok konuda yararlıdır (Han ve ark., 2020). Geleneksel verim tahmini, tarla içerisinde belirli alanlarda yapılacak ölçümlere dayalı, uzun zaman gerektiren maliyetli bir işlem olmasına rağmen; uzaktan algılama teknolojisi, küçük ölçekli arazilerden geniş arazilere kadar zamanında ve tahribatsız verim tahmini yapmayı mümkün kılmaktadır (Schut ve ark., 2018). İnsanoğlunun temel besin kaynaklarından biri olan buğday, küresel gıda güvenliği açısından dünyanın en önemli tahıl ürünlerinden biridir. Bu nedenle, günümüze kadar, farklı tipte uzaktan algılama sensörlerinden elde edilen bitki örtüsü indeksleri kullanılarak buğdayın tane verimini tahmin etmek için çok sayıda araştırma yapılmıştır (Zeng ve ark., 2021).

Spektral yansımının bitki özellikleri ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Mevsimsel güneş açısı farklılıkları, toprak arka plan yansımaları ve atmosferik etki gibi kafa karıştırıcı faktörleri en aza indirmek için bir normalizasyon prosedürü kullanılır. Bu nedenle, görünür ve yakın kızılötesi (NIR) bantlardan elde edilen basit oran (SR) ve normalleştirilmiş farklılık bitki örtüsü indeksi (NDVI) gibi

bitki örtüsü indisleri, 30 yıldan fazla bir süredir vejetasyon özelliklerinin mekânsal ve zamansal değişikliklerini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhou ve ark., 2021). Vejetasyon indeksleri ile ürün özellikleri arasındaki ampirik ilişkilerden yararlanılarak, buğday (Fu ve ark., 2021), mısır (Olson ve ark., 2019; Yang ve ark., 2021), şeker pancarı (Olson ve ark., 2019), çeltik dahil olmak üzere çeşitli ürünler için doğrusal regresyona dayalı ürün verimi ve kalitesine ait tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bitki örtüsü indekslerine dayalı bu geleneksel yaklaşımın en önemli avantajları, basitliği ve hesaplamalarının kolaylığıdır.

Buğdaygillerde verim ile üründen olan yansıma değerleri arasında doğrudan bir ilişki olmadığından, verim ile ilgili tahminler ancak diğer biyofiziksel parametrelerin tahmin edilmesi ile mümkün olabilmektedir (Zhou ve ark., 2021). Bitki sağlığı, yeterli beslenme ve bitki stresi için doğrudan bir gösterge olduğundan klorofil konsantrasyonu son derece önemli bir biyokimyasal parametredir (Zarco-Tejeda ve ark., 2004). Azot beslenme durumunu tahmin etmek için yaprak klorofil içeriğini ölçen Spad metre gibi klorofil ölçen cihazların kullanımı araştırmacılar arasında oldukça yaygındır (Debaeke ve ark., 2006; Yue et al., 2020). Üç yıllık bir tarla denemesinde, beş makarnalık buğday çeşidinde bitki azotu (N) durumunu normalize edilmiş SPAD indeksi ve azot besleme indeksi ile karşılaştıran Debaeke ve ark. (2020), yüksek dozda N uygulanmış arazilerde SPAD indeksinin tahılların protein içeriğini belirlemede yetersiz olduğunu ancak özellikle yetersiz N uygulanmış arazilerde etkin bir şekilde kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Ölçüm yapılan noktalarda N eksikliğinin belirlenmesinde başarılı olmasına rağmen, daha geniş arazilerde arazinin tamamında ölçüm yapmak uzun zaman ve maliyet gerektireceğinden mekânsal değişikliğin tespiti mümkün olmamaktadır. Bu durumda yersel ölçümlere bir alternatif, hem mekânsal hem de zamansal değişimlerin takip edilmesinde görüntü tabanlı uzaktan algılama teknolojisi oldukça etkilidir. Bu nedenle, tarla bitkilerinde mekânsal ve zamansal olarak N'un takip edilmesi ve zamanında müdahale edilebilmesi adına son yıllarda İHA tabanlı uzaktan algılama teknolojisi ön plana çıkmaktadır (Maresma ve ark., 2016).

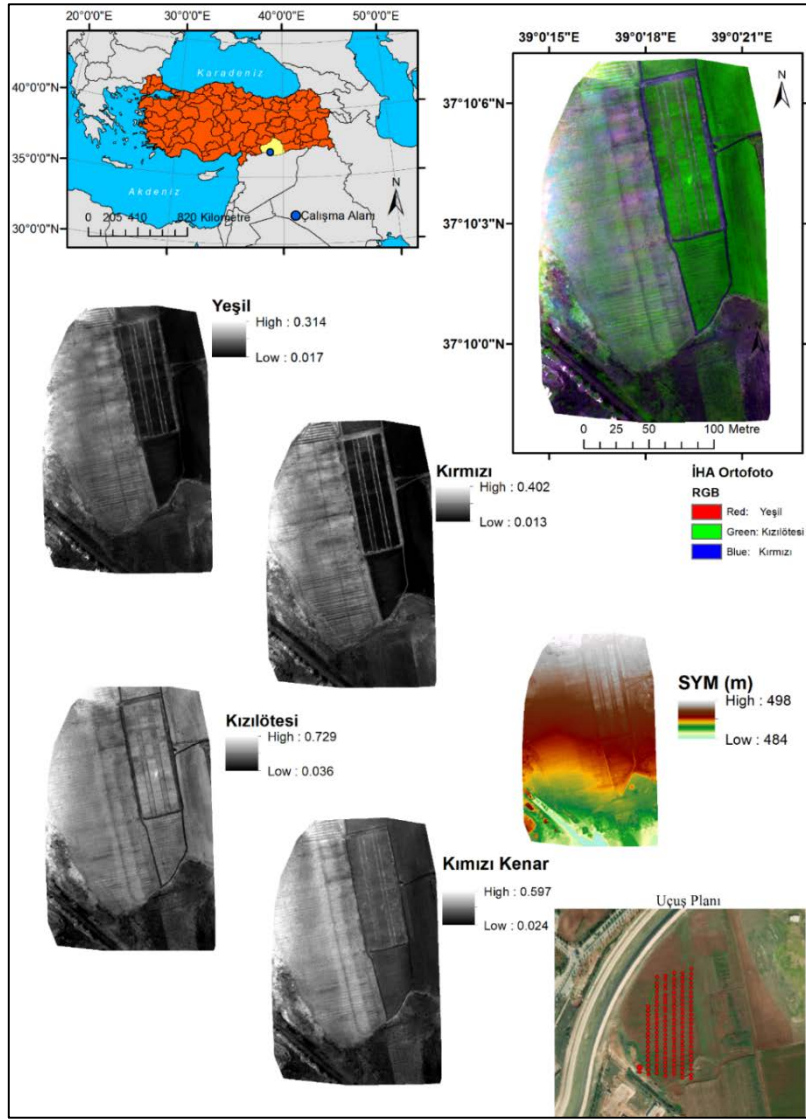
Türkiye'de ürünlerin durumunu izlemek için İHA kullanımı yeterli çalışmalar yapılmadığından dolayı hala çok yaygın değildir. Bu nedenle, bu çalışmada, buğdayın dane süt dolum dönemindeki yaş ağırlığı ile bir İHA üzerine monte edilmiş multispektral kameradan elde edilen bitki örtüsü indisleri arasındaki ilişki incelenmiştir.

## **2. MATERYAL VE YÖNTEM**

### **2.1. Materyal**

#### **2.1.1. Çalışma Alanı Lokasyon, İklim ve Toprak Özellikleri**

Tarla denemesi Harran Ovasının kuzeyinde yer alan Harran Üniversitesi, Osmanbey Yerleşkesi içerisinde Ziraat Fakültesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Arazilerinde tesis edilmiştir. Düz düze yakın bir eğime sahip olan arazinin ortalama denizden yüksekliği 501 m olup, 39°10'20.42''D-39°00'38.92''D, 37°09'40.12''K- 37°10'02.33''K koordinatları arasında yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası ve İHA görüntülerinden elde edilen görüntüler (Ortofoto, spektral bandlar, SYM, uçuş planı)

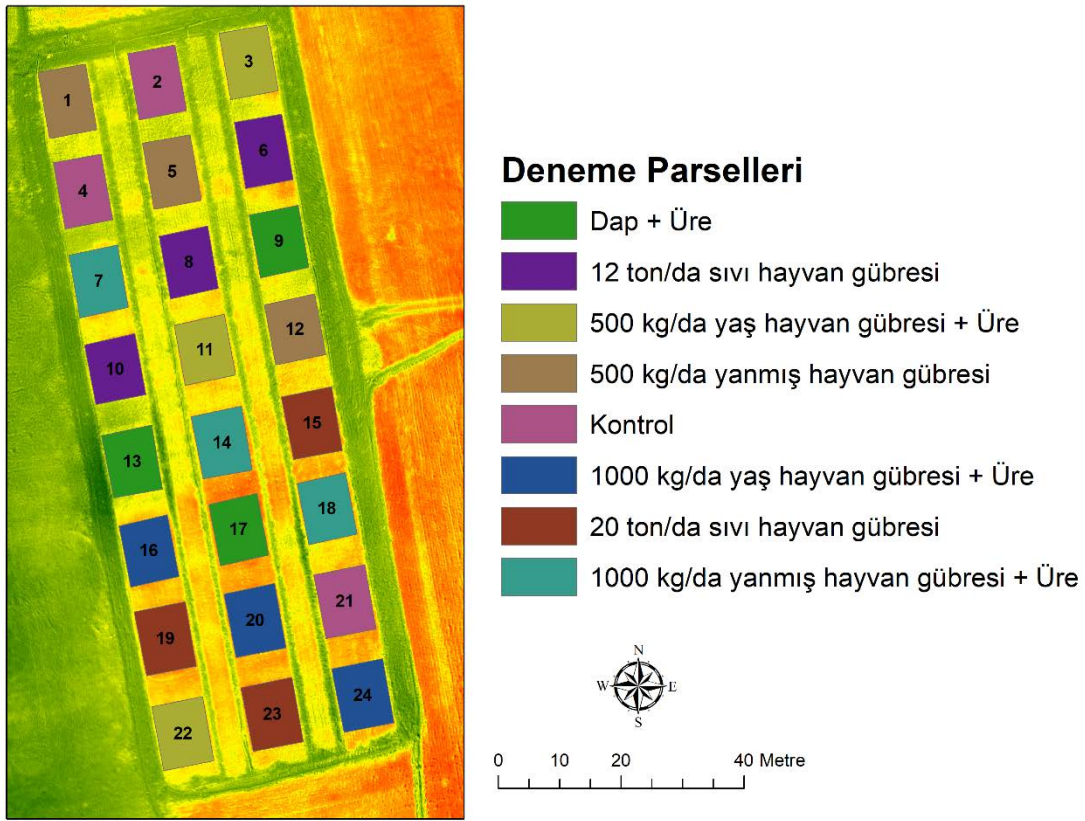
Karasal iklimin hâkim olduğu çalışma alanında, yaz ayları çok sıcak ve kurak, kış ayları ise soğuk ve yağışlıdır. Basra alçak basıncının etkisi altındaki bölgede sıcak hava kütlelerinin etkisi ile yaz ayları oldukça kurak geçmekte ve yağış miktarı önemli oranda düşmektedir. Şanlıurfa ili uzun yıllar (1929-2020) ortalama yıllık toplam yağış miktarı 463.3 mm'dir. Şanlıurfa ilinin uzun yıllar ortalama iklim verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık 18.5 °C, yaz aylarının ortalama sıcaklığı 38.7 °C ve kış aylarının ortalama sıcaklığı 5.5 °C'dir (Anonim, 2021).

Çalışma alanı topraklarının parçacık büyüklük dağılımı killi olup, hafif alkali karakterdedir. Organik madde içeriği düşük olan deneme alanı toprakları yüksek düzeyde kireç içermektedir. Deneme alanını da içine alan bir çalışmada toprakların kireç içeriklerinin %46.0 ile 54.7 arasında değiştiği bildirilmiştir (Öztürk, 2021). Tuzluluk problemi olmayan deneme alanında yarıyıllık fosfor içeriğinin ise 25.2 ile 58.6 kg ha<sup>-1</sup> arasında değiştiği ifade edilmiştir.

### 2.1.2. Deneme ve Uygulamalar

Taze ve yanmış katı hayvan gübresi, sıvı hayvan gübresi ve mineral gübrenin yer aldığı deneme, tam tesadüf blokları desenine göre kurulmuş ve her gübre uygulaması 3 tekrarlı olarak yer almıştır. Toplam 24 parselin yer aldığı denemede test edilen uygulamalar Çizelge 1'de verilmiştir.





Şekil 2. Deneme alanında yer alan uygulamaların dağılımı ve deneme deseni.

## 2.2. Yöntemler

Yaş ağırlık ölçümü için örnekleme 1 Mayıs 2020 tarihinde yapılmıştır. Bu amaçla her parselde 3 farklı noktada 0.5 x 0.5 m genişliğindeki çerçeve içerisindeki bitkiler yaklaşık 5 cm toprak üstünden kesilerek tartılmış ve yaş ağırlıklar belirlenmiş ve her parsel için ortalama değerler alınarak, uygulamaların ortalama yaş ağırlıkları hesaplanmıştır.

### 2.2.1. İnsansız Hava Aracı ve Kullanılan Kameranın Özellikleri

Deneme alanının fotoğraflarının çekiminde SenseFly eBeeX markalı İHA ve Parrot Sequioa 4.0 kamera ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3) Tamamen bilgisayar destekli otonom bir sistem olan eBeeX, RTK (Real Time Kinematic) ve CORS Network Connecting özellikleri ile eMotion ve Pix4D yazılımı ile uyumludur. İHA'nın kanat açıklığı 116 cm'dir. Kullanılan İHA, 90 dakikaya kadar uçuş süresi ile tek bir uçuşta 500 hektarlık bir alanda 3 cm çözünürlüğe kadar yüksek güvenilirlikli veriler elde edebilmektedir. Kullanılan İHA, her türlü uygulama için kullanılabilen profesyonel sabit kanatlı bir drone'dur. Tek bant çözünürlüğü 1,2 MP ve RGB çözünürlüğü 16 MP'dir.



Şekil 3. SenseFly eBeeX Dron ve Parrot Sequioa Multispectral kamera

Çalışmada kullanılan İHA, kırmızı (R-660 nm), yeşil (G-550 nm), yakın kızıl ötesi (NIR-790 nm) ve kırmızı kenar (RedEdge-735 nm) spektrumunda yansıma kayıt edebilen bir kameraya sahiptir. Kameranın sahip olduğu spektral bandlar bitki stresine bağlı olarak ortaya çıkan değişimin

gözlenmesinde ve diğer özel bitki ve toprak koşullarında yetiştirme ortamının değerlendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Uçuş Harran Üniversitesi yerleşkesinde bulunan deneme parsellerinin üzerinde tek seferde 1 Mayıs 2020 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Yer kontrol ünitesi ile uçuş öncesi planlamalar "Missionplanner" ile gerçekleştirilmiştir. Arazinin durumu, uçuş güvenliği ve kullanılan platformun algılayıcı özelliklerine bağlı olarak veri toplama yüksekliği 50 m olarak planlanmıştır. Blok alımı için çekilen fotoğrafların ön (ileri) ve yan bindirme oranları ise %80 ve %60 olarak planlanmıştır. Mission planner ara yüzüne aktarılan parametrelere göre tahmini çözünürlük 3,99 cm ve toplam 670 adet hava fotoğrafı elde edilecek şekilde uçuş gerçekleştirilmiştir. İHA'nın sahip olduğu marka uçuş kontrolcüsüne (PixHawk) uçuş bilgileri aktarılmıştır. Uçuş alanı içerisinde gerekli güvenlik önlemleri alınarak uçuş gerçekleştirilmiştir.

### 2.2.2. İHA Multispektral Görüntü Verisi Toplama ve Bitki Endekslerinin Oluşturulması

İHA ile çekilen görüntülerin işlenmesinde Pix4D 4.6.4 Mapper yazılımı kullanılmıştır (Pix4D, 2017). Elde edilen 670 adet görüntünün yer kontrol noktaları ile geometrik kalibrasyonu sağlandıktan sonra radyometrik düzeltilmesi kamera sensörünün kayıt ettiği güneş açısı derecesi ve güneş parlaklık değerleri kullanılarak yazılım tarafından otomatik yapılmış ve her bandın yansıma miktarları hesaplanmıştır (Şekil 1). Yazılım ürettiği sayısal yüzey modelini (SYM, Şekil 1) yansıma miktarlarının kalibrasyonunda kullanarak ortofoto (Şekil 1) üretimini gerçekleştirmektedir.

Pix4D yazılımı ile analizlere hazırlanan ortofoto, ArcGIS 10.5 yazılımında kareler ağı grid formatında açılmış ve yazılımın harita hesaplayıcı ekipmanı kullanılarak araştırma da kullanılacak vejetasyon indeksleri hesaplanmıştır. Araştırmada kullanılan vejetasyon indekslerine ait denklem eşitlikleri Çizelge 2 'de verilmiştir. Vejetasyon indeksleri bitkilerin elektromanyetik spektrumun görülebilir ve kızılötesi dalga boylarında kendilerine has spektral imzalarından yola çıkılarak hesaplanan denklem eşitlikleridir. Araştırmada kullanılan NDVI (Normalleştirilmiş Fark Bitki indeksi), yakın kızılötesi spektrumda yansıyan enerjinin ve kırmızı dalga boyundaki yansıyan enerjinin farklı oranına dayanarak hesaplanan ve en çok kullanılan uzaktan algılama bitki indekslerinden bir tanesidir (Hassan ve diğ., 2019). İndeks +1 ile -1 arasında değişen değerler alır ve vejetasyonun sağlıklı ve güçlü olduğu yerlerde genellikle yüksek değerler alır (Kross ve diğ., 2015). Normalleştirilmiş fark kırmızı kenar (NDRE) daha yüksek performanslarıyla ilgili olarak deneme sahasında parsellerin gelişimini incelemek için hesaplanmıştır. NDRE indeksi kızıl ötesi ve kırmızı kenar spektral bandları kullanarak Çizelge 1'deki formül eşitliği ile belirlenmiştir. NDRE indeksi NDVI'a benzer skor değerlerini almaktadır. CI<sub>RE</sub> (Klorofil Kırmızı Kenar İndeksi) bitkilerin fotosentez ile ürettiği klorofil içeriğine hassas olan bir indekstir (Gitelson ve ark., 2005). SAVI (Toprak Ayarlamalı Vejetasyon İndeksi) seyrek örtülü zeminlerde toprak parlaklıklarının etkisini ayarlamak için oluşturulan bir indekstir ve bu indekste +1 ile -1 arasında değişen değerler almaktadır (Huete ve ark. 1988).

**Çizelge 1.** Deneme parsellerinin araştırılmasında kullanılan vejetasyon indeksleri

Vejetasyon İndeksleri	Eşitlik	Referans
NDVI	$NDVI = (Nir - R)/(Nir + R)$	Tucker, (1979)
NDRE	$NDRE = (NIR - REG)/(Nir + Reg)$	Barnes ve ark. (2000)
CI <sub>RE</sub>	$CI_{RE} = (Nir/Reg) - 1$	Gitelson ve ark. (2005)
SAVI	$SAVI = 1.5(Nir - R)/(Nir + R + 0.5)$	Huete ve ark. (1988)

Nir: Yakın Kızılötesi Band; R: Kırmızı Band; REG: Kırmızı Kenar Bandı; G: Yeşil Band

### 2.2.3. İstatistiksel Analizler

Buğday verim değerleri ile üretilen vejetasyon indeksleri arasında tahmin modeli üretebilmek amacı ile doğrusal regresyon analizleri SPSS yazılımında araştırılmıştır. Model üretiminde bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında önemli seviyede bulunan doğrusal ilişkiler regresyon analizleri ile modellenenmektedir. Bu amaçla normal dağılıma sahip bağımlı değişkenler ile yüksek korelasyon sergileyen bağımsız değişkenler regresyon analizine tutulmuştur. Bağımlı değişkenin (verim) normallik testi örneklem sayısı 50'nin altında olmasında dolayı Shapiro-Wilk testiyle incelenmiştir ve önem seviyesi 0.05 den fazla bulunduğundan (0.375) bağımlı değişkenin normal dağılıma sahip olduğu belirlenmiştir (Çimen, 2016). Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiler Pearson korelasyon analizi ile belirlendikten sonra önemli bulunan korelasyonlar tahmin modeli oluşturmak için Regresyon analizine alınmıştır. Modellerin güvenilirliği ANOVA analizi ile de test edilmiştir ve regresyon kareler toplamının atık kareler toplamından fazla olan modeller ve  $R^2$  değeri 0.50 fazla olanlar başarılı olarak kabul edilmiştir.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 3.1. Bitki İndeksleri

Denemede yer alan farklı uygulamaların yer aldığı parsellere ait ortalama bitki indeksi değerleri ile buğday bitkisinin dane dolun evresinde belirlenen yaş ağırlıklarına ait ortalama değerler ile varyans analizi (ANOVA) sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Hesaplanan tüm bitki indeksleri ile yaş ağırlık değerlerinin den düşük olduğu uygulama kontroldür. Her uygulamada doz artışı ile birlikte daha fazla besin elementi uygulandığından bitki gelişimi artmış, bunun bir göstergesi olarak belirlenen indekslere ait değerler de yükselmiştir. Bitkinin yaş ağırlığı kontrol uygulamasında ortalama 4133 kg/da iken 1 ton yaş hayvan gübresi ve üst gübre olarak üre uygulandığında (toplamda 26 kg saf N /da) yaş ağırlık %95 oranında artarak 8063 kg/da'a ulaşmıştır. Yaş, sıvı ve yanmış hayvan gübresi uygulamalarının ilk dozlarında beklenmedik bir şekilde buğdayın yaş ağırlığı kontrolden daha düşük çıkmıştır. Yaş ağırlıkları daha düşük olmasına rağmen her üç uygulamadaki bitki indeksi değerleri kontrol uygulamasına kıyasla daha yüksektir. Buğday bitkisinin ihtiyacı göz önünde bulundurularak ekimle birlikte di amonyum fosfat (DAP) ve sonrasında üst gübre olarak üre verilen uygulamada da bitki indeksine ait ortalama değerler, bitki gelişiminin daha iyi olmasının etkisi ile kontrol uygulamasına kıyasla daha yüksektir. Bu uygulamadaki bitki indeksi değerleri genel olarak hayvan gübresi uygulamalarında elde edilen değerlere benzerlik göstermektedir.

**Çizelge 2.** Farklı uygulamaların yer aldığı parsellere ait ortalama vejetasyon indeksi değerleri ile uygulamalara ait ortalama yaş ağırlıklar

Uygulamalar	Bitki İndeksleri				Yaş Ağırlık ( kg/da)
	SAVI	CIRE	NDRE	NDVI	
<b>Kontrol</b>	0.44a	0.52a	0.20a	0.67a	4133a
<b>500 kg/da yaş hayvan gübresi +Üre</b>	0.53b	0.82ab	0.29ab	0.80b	4057a
<b>1000 kg/da yaş hayvan gübresi +Üre</b>	0.56b	0.91b	0.31b	0.84b	8063b
<b>12 ton/da sıvı hayvan gübresi</b>	0.52ab	0.70ab	0.26ab	0.78b	4053a
<b>20 ton/da sıvı hayvan gübresi</b>	0.56b	0.94b	0.32b	0.83b	5887ab
<b>500 kg/da yanmış hayvan gübresi +Üre</b>	0.51ab	0.68ab	0.25ab	0.77b	3747a
<b>1000 kg/da yanmış hayvan gübresi +Üre</b>	0.54b	0.83ab	0.29ab	0.80b	5817ab
<b>DAP + Üre</b>	0.54b	0.79ab	0.28ab	0.81b	6437ab
<b>ANOVA (p değeri)</b>	0.140	0.143	0.116	0.057	0.182

Deneme alanının tamamında farklı uygulamaların yer aldığı parsellerde hesaplanan bitki indeksi değerleri ile ortalama yaş ağırlık değerleri arasındaki ilişkiyi tanımlama için yapılan korelasyon testine ait sonuçlar Çizelge 3’de verilmiştir. Dane dolum döneminde belirlenen yaş ağırlık değerleri ile hesaplanan tüm bitki indeksi değerleri arasında istatistiksel olarak önemli düzeyde pozitif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bitkinin yaş ağırlığının artışı ile birlikte bitki indeksi değerlerinin de doğrusal bir şekilde arttığı anlaşılmaktadır.

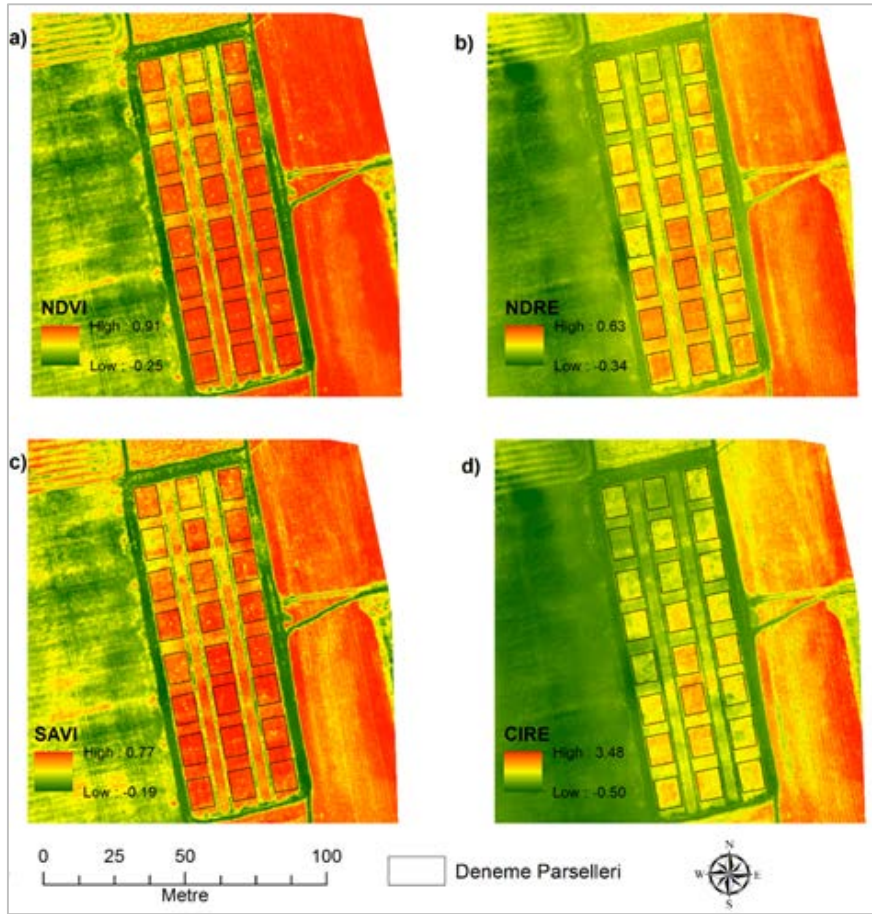
**Çizelge 3.** Bitki indeksleri ile yaş ağırlık değerleri arasındaki korelasyon katsayıları

	SAVI	CIRE	NDRE	NDVI
SAVI	1			
CIRE	0.944**	1		
NDRE	0.957**	0.997**	1	
NDVI	0.948**	0.857**	0.883**	1
Yaş Ağırlık	0.667**	0.649**	0.649**	0.718**

Deneme alanı içerisinde uygulanan farklı çeşit gübre ve doz uygulamalarının buğday bitkisinin gelişimine etkisini uzaysal olarak izlemek için hesaplanan vejetasyon indekslerinin uzaysal haritaları Şekil 4’de verilmiştir. Hesaplanan haritalar içinde NDVI -0.25 ile 0.91 arasında, NDRE -0,34 ile 0.63 arasında,  $CI_{RE}$  -0.58 ile 3.48 arasında SAVI indeksi ise -0.19 ile 0.77 arasında değişen değerler aldığı görülmektedir. Negatif değerler genellikle deneme arazisinin çevresindeki çıplak toprak yüzeyinde görülmektedir ki çıplak yüzeylerin bu değerleri vermesi beklenen durumdur (Wang ve ark., 2019). Hesaplanan indeksler de yüksek değerler ise bitki vejetasyonun yoğun olduğu alanlarda olduğu görülmektedir.

Deneme deseni içinde uygulanan farklı çeşit gübre ve doz uygulamalarının buğday bitkisinin gelişimine etkisini uzaysal olarak izlemek için hesaplanan indekslerin tüm parsellere ait ortalama indeks değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. 24 parselden hesaplanan ortalama NDVI değerlerinin 0.58 ile 0.85 arasında değişmekte ve ortalama 0.79 değerini almaktadır. Parsellerin ortalama NDRE değeri 0.16-0.36 arasında değişirken ortalaması 0.27 olarak hesaplanmıştır. SAVI indeksi ortalamalarının değişimi incelendiğinde değerler 0.38 ile 0.61 arasında değişmekte ve ortalama olarak 0.52 olarak hesaplanmıştır.  $CI_{RE}$  indeksin 24 parselden hesaplanan ortalamaları incelendiğinde en küçük değer 0.39, en yüksek değer 1.14 iken ortalaması ise 0.77 olarak hesaplanmıştır.





Şekil 4. İHA görüntülerinden hesaplanan vejetasyon indeksleri

### 3.2. Bitki Yaş Ağırlık Tahmin Modeli

Verim değerleri ile indeksler arasında hesaplanan regresyon modellerine ait özet bilgileri Çizelge 4'de verilmiştir. Üretilen modeller içinde  $R^2$  değeri en yüksek olan, NDVI değerleri kullanılarak geliştirilen model idi. Modele ait R değeri 0.72 olup, doğrusal regresyon ile elde edilen  $R^2$  değeri 0.52'dir. Ancak, NDVI değerleri kullanılarak yaş ot ağırlığı ikinci dereceden (polinomial) bir denklem ile daha başarılı bir şekilde ( $R^2=0.70$ ,  $P<0.01$ ) tahmin edilebilmiştir. Elde edilen  $R^2$  değeri, tahmin için kullanılan modelin buğday yaş ot ağırlığının %70 doğrulukla tahmin edileceğini göstermektedir. Ayrıca bu modelin regresyon kareler toplamının atık kareler toplamı değerinden fazla olması da modelin yeterince başarılı olduğunu göstermektedir (Çizelge 5). Bu durumda modele ait Şekil 4b'de gösterilen eşitlik modelinin buğday arazilerinde İHA ile alınan görüntülerle verim durumunun başarılı bir şekilde haritalanıp tahmin edilebileceğini göstermiştir. Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsünde buğday ve arpa ıslah çalışmalarının yer aldığı denemelerde İHA ile yapılan verim tahmin çalışmasında, Uyaner ve ark. (2020), NDVI değerleri ile oluşturulan modelin buğday verimini %34 ve arpa verimini ise %25 doğrulukla tahmin edebileceğini göstermiştir. Araştırmacılar, tahminde doğruluğun artırılabilmesi için yersel verilerin ve İHA görüntüsünün kardeşlenme, sapa kalkma ve çiçeklenme gibi farklı bitki gelişim dönemlerinde yapılması gerektiğini bildirmişlerdir.

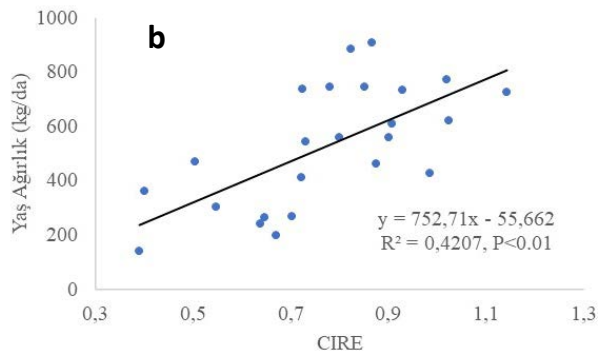
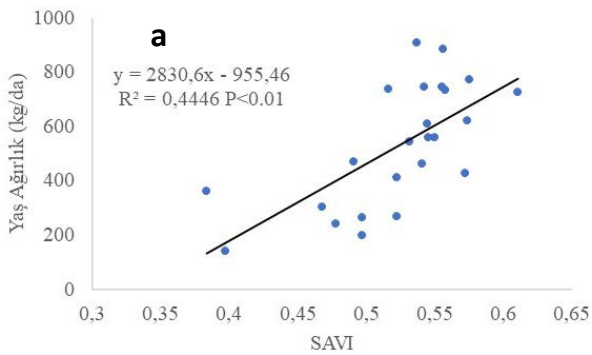
**Çizelge 4.** Vejetasyon indeksleri ile yaş ağırlık tahmini için geliştirilen regresyon modellerine ait özet bilgiler

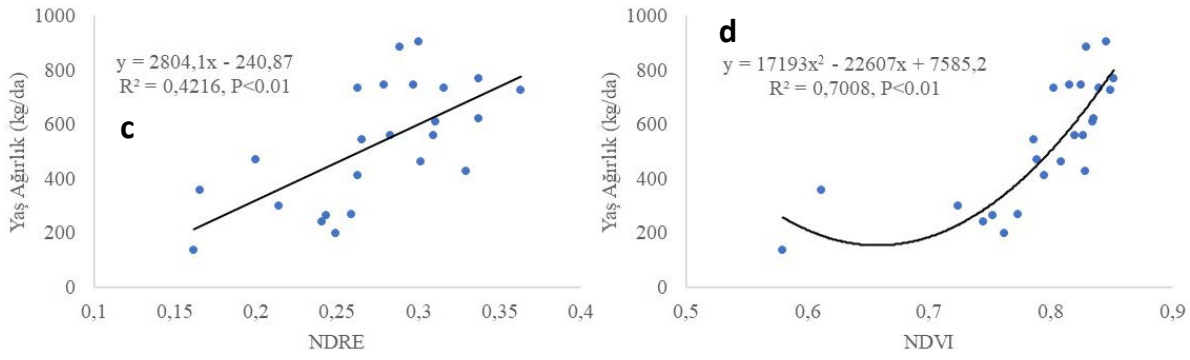
Model Özetleri					
Model	Model Tipi	R	R <sup>2</sup>	Düzeltilmiş R <sup>2</sup>	Standart hata
NDVI	Polinomial	0.72	0.70	0.70	111.21
NDRE	Doğrusal	0.65	0.42	0.40	174.47
CIRE	Doğrusal	0.65	0.42	0.39	174.61
SAVI	Doğrusal	0.67	0.45	0.42	170.97

NDVI dışındaki diğer indekslere ait modeller istatistiksel olarak önemli olmalarına rağmen ( $P<0.01$ ),  $R^2$  değerlerinin 0.50'den düşük ve ANOVA testinde atık kareler toplamının daha yüksek olması nedeniyle buğdayın yaş ağırlığının tahmininde yeterince başarılı olmadıkları şeklinde yorumlanmıştır (Çizelge 4 ve Şekil 5).

**Çizelge 5.** Vejetasyon indekslerine ait modellerin ANOVA sonuçları

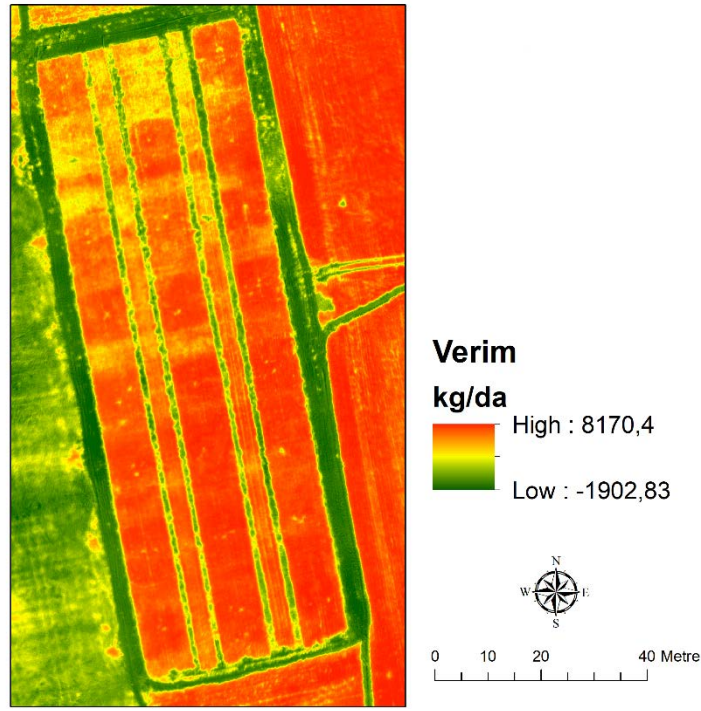
ANOVA						
Model		Kareler Top.	df	Ort. Kare	F	Önem
NDVI	Regresyon	596448.09	1	596448.09	23.375	<b>0.000</b>
	Artık	5611367.73	22	25516.71		
	Toplam	1157815.83	23			
NDRE	Regresyon	488103.97	1	488103.97	16.034	<b>0.001</b>
	Artık	669711,859	22	304414,48		
	Toplam	1157815.83	23			
CIRE	Regresyon	487066.97	1	487066.97	15.975	<b>0.001</b>
	Artık	670748.86	22	30488.59		
	Toplam	1157815.83	23			
SAVI	Regresyon	514748.67	1	514748.67	17.610	<b>0.000</b>
	Artık	643067.16	22	29230.32		
	Toplam	1157815.83	23			





Şekil 5. Bitki indeksleri ile buğday bitkisinin dane dolum dönemi yaş ağırlığı arasındaki ilişki

NDVI değerleri ile üretilen regresyon modelinde elde edilen polinomial eşitlik ile tahmin edilen bitki yaş ağırlığına ait değerler kullanılarak üretilen tahmin haritası Şekil 6'da verilmiştir. Model haritası deneme arazindeki buğday yaş ot veriminin 8170 kg/da ile -1902.83 kg/da arasında tahmin etmiştir. Negatif değerler deneme parsellerinin dışında kalan toprak yüzeylerinde görülmüştür. Doğan ve Kılıç, (2013) modellerin tahmin yeteneğinin başarılı olabilmesi için  $R^2$  0.50 üzerinde olması gerektiğini ancak çok iyi açıklıycılığa sahip olabilmek için ise en az 0.70 olması gerektiğini vurgulamaktadır. Deneme arazisinde üretilen model sahadaki toplam varsayılanı başarılı şekilde tahmin ettiği görülmektedir fakat üretilen modelin doğrusal olmayıp polinomal üretilmesi daha farklı model yaklaşımlarının denenmesi gerektiğini göstermektedir. Fu ve ark. (2020) 'de İHA görüntüleri ile buğday denemelerinde vejetasyon indeksleriyle verim belirleme amacıyla yürüttükleri araştırmalarında veim ile indeksler arasındaki modeller geliştirebilmek için farklı istatistik yaklaşımlarının başarısını test etmişlerdir. Araştırmacılar doğrusal yöntemlerden ziyade kısmi doğrusal olmayan en küçük kare regresyon (PLS), rastgele orman (RF) ve yapay sinir ağları yaklaşımlarının daha başarılı sonuçlar ürettiğini bildirmiştir. Araştırma sonuçları literatürde tahmin modeli geliştirme de en fazla kullanılan vejetasyon indeksi olan NDVI 'ın (Yang ve ark. 2021) buğday verimini tahmin etmede en başarılı bulunan indekslerden birisi olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, yüksek çözünürlüklü NDVI değerlerinin belirlenmesi için küçük İHA kullanan Guan ve ark. (2019), elde ettikleri NDVI değerlerini gübre uygulama seviyeleri ve çeltik ve buğdayın verimleri ile olan ilişkisini değerlendirmek için kullandıkları çalışmada, İHA görüntülerinden türetilen NDVI değerlerinin, çeltik ve buğday üretimi sırasında verimi tahmin etme ve gübre uygulama seviyelerini tespit etmede etkili olduğunu bildirmişlerdir.



**Şekil 6.** NDVI ile üretilen regresyon modeli ile tahmin edilen yaş ağırlık haritası

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, buğday bitkisinin azot ihtiyacının farklı dozlardaki taze ve yanmış katı hayvan gübreleri ile katı ve sıvının bulamaç şeklinde uygulanması ile karşılandığı bir denemde, multispektral bir kameranın monte edildiği bir insansız hava aracı (İHA) tarafından çekilen görüntülerden üretilen bitki indekslerinin bitkinin dane dolum dönemindeki yaş ağırlığını tahmin etme yetenekleri incelenmiştir. Bu amaçla üretilen SAVI, CIRE, NDRE ve NDVI indeksleri ile bitkinin yaş ağırlığı arasında yüksek düzeyde korelasyon ( $r>0.65$ ) olmasına rağmen, tahmin için en başarılı model ikinci dereceden bir denklemin elde edildiği NDVI değerleri ile üretilmiştir.

#### KAYNAKLAR

Anonim. (2021). Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İllere ait Mevsim Normalleri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=SANLIURFA> Erişim tarihi. 10 Ekim 2021.

Barnes, E.M.; Clarke, T.R.; Richards, S.E.; Colaizzi, P.D.; Haberland, J.; Kostrzewski, M.; Waller, P.M.; Choi, C.Y.; Riley, E.; Thompson, T.L.; et al. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data. In Proceedings of the International Conference on Precision Agriculture and Other Resource Management, Bloomington, MN, USA, 16–19 July 2000.

Çimen, M. (2016). Mühendislik verilerinde tek örnek için parametrik ve parametrik olmayan testler. İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi, 8(29), 67-77.

Debaeke, P., Rouet, P., & 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.

Dogan, H. M., & Kılıç, O. M. (2013). Modelling and mapping some soil surface properties of Central Kelkit Basin in Turkey by using Landsat-7 ETM+ images. International journal of remote sensing, 34(15), 5623-5640.



- Fu, Z., Jiang, J., Gao, Y., Krienke, B., Wang, M., Zhong, K., ... & Liu, X. (2020). Wheat growth monitoring and yield estimation based on multi-rotor unmanned aerial vehicle. *Remote Sensing*, 12(3), 508.
- Gitelson, A.A.; Andrés, V.; Verónica, C.; Rundquist, D.C.; Arkebauer, T.J. Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. *Geophys. Res. Lett.* 2005, 32, 93–114.
- Guan, S., Fukami, K., Matsunaka, H., Okami, M., Tanaka, R., Nakano, H., ... & Takahashi, K. (2019). Assessing correlation of high-resolution NDVI with fertilizer application level and yield of rice and wheat crops using small UAVs. *Remote Sensing*, 11(2), 112.
- Han, J., Zhang, Z., Cao, J., Luo, Y., Zhang, L., Li, Z., & Zhang, J. (2020). Prediction of winter wheat yield based on multi-source data and machine learning in China. *Remote Sensing*, 12(2), 236.
- Hassan, M. A., Yang, M., Rasheed, A., Yang, G., Reynolds, M., Xia, X., ... & He, Z. (2019). A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform. *Plant science*, 282, 95-103.
- Huete, A.R. A (1988). Soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens. Environ*, 25, 295–309.
- Hunt Jr, E. R., & Daughtry, C. S. (2018). What good are unmanned aircraft systems for agricultural remote sensing and precision agriculture?. *International journal of remote sensing*, 39(15-16), 5345-5376.
- Kross, A., McNairn, H., Lapen, D., Sunohara, M., & Champagne, C. (2015). Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34, 235-248.
- Manfreda, S., McCabe, M. F., Miller, P. E., Lucas, R., Pajuelo Madrigal, V., Mallinis, G., ... & Toth, B. (2018). On the use of unmanned aerial systems for environmental monitoring. *Remote sensing*, 10(4), 641.
- Maresma, Á., Ariza, M., Martínez, E., Lloveras, J., & Martínez-Casasnovas, J. A. (2016). Analysis of vegetation indices to determine nitrogen application and yield prediction in maize (*Zea mays* L.) from a standard UAV service. *Remote Sensing*, 8(12), 973.
- Olson, D., Chatterjee, A., Franzen, D. W., & Day, S. S. (2019). Relationship of drone-based vegetation indices with corn and sugarbeet yields. *Agronomy Journal*, 111(5), 2545-2557.
- Olson, D., Chatterjee, A., Franzen, D. W., & Day, S. S. (2019). Relationship of drone-based vegetation indices with corn and sugarbeet yields. *Agronomy Journal*, 111(5), 2545-2557.
- Öztürk, H. 2021. Harran Ovasında tarla ölçeğinde mesafeye bağlı değişimin jeostatistiksel yöntemlerle belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. YÖK Tez No: 682490. s. 78.
- Pix4D. (2017). Pix4Dmapper 4.1 Used Manual. Lausanne.
- Schut, A. G., Traore, P. C. S., Blaes, X., & Rolf, A. (2018). Assessing yield and fertilizer response in heterogeneous smallholder fields with UAVs and satellites. *Field Crops Research*, 221, 98-107.
- Tucker, C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8: 127–150.
- Uyaner, M., Karaşahin, M., Bilici, M., Topal, İ., Yakışır, E., & Kelleş, R. (2020). Mini İnsansız Hava Aracının Tahıl Islah Parsellerinde Verim Tahmininde Kullanılabilirliği. *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, 9(2), 280-294.
- Yue, J., Feng, H., Li, Z., Zhou, C., & Xu, K. (2021). Mapping winter-wheat biomass and grain yield based on a crop model and UAV remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 42(5), 1577-1601.

- Yue, X., Hu, Y., Zhang, H., & Schmidhalter, U. (2020). Evaluation of both SPAD reading and SPAD index on estimating the plant nitrogen status of winter wheat. *International Journal of Plant Production*, 14(1), 67-75.
- Wang, H., Mortensen, A. K., Mao, P., Boelt, B., & Gislum, R. (2019). Estimating the nitrogen nutrition index in grass seed crops using a UAV-mounted multispectral camera. *International Journal of Remote Sensing*, 40(7), 2467-2482.
- Zarco-Tejada, P. J., Miller, J. R., Morales, A., Berjón, A., & Agüera, J. (2004). Hyperspectral indices and model simulation for chlorophyll estimation in open-canopy tree crops. *Remote sensing of environment*, 90(4), 463-476.
- Zeng, L., Peng, G., Meng, R., Man, J., Li, W., Xu, B., ... & Sun, R. (2021). Wheat Yield Prediction Based on Unmanned Aerial Vehicles-Collected Red–Green–Blue Imagery. *Remote Sensing*, 13(15), 2937.
- Zhou, X., Kono, Y., Win, A., Matsui, T., & Tanaka, T. S. (2021). Predicting within-field variability in grain yield and protein content of winter wheat using UAV-based multispectral imagery and machine learning approaches. *Plant Production Science*, 24(2), 137-151.