



Sorunlu Gelişim Gösteren Bitkilerin İnsansız Hava Araçları (İHA) İle Belirlenmesi

Sinan DEMİR^{1*}, Levent BAŞAYIĞIT¹

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü – Isparta-Türkiye

*Sorumlu Yazar: demirsinan.07@gmail.com

MAKALE BİLGİSİ

Alınış tarihi: 31.12.2019

Kabul tarihi: 04.02.2020

Anahtar Kelimeler: İHA,

Sürdürülebilir Tarım, Tarımsal Dron,

Sensör, VI, NDVI, TGI

ÖZET

Günümüzde tarımsal üretimin ihtiyacı olarak ortaya çıkan çevre odaklı yaklaşımlar İnsansız Hava Araçlarının (İHA) bu amaçlara yönelik kullanımını hızla artırmıştır. İHA'lar öncelikle tarımsal üretim için gerekli verilerin sağlanmasında iyi bir araç olmuştur. Ardından diğer teknolojik ürünler ile birlikte bazı tarımsal üretim faaliyetlerinde doğrudan kullanım alanı bulmuştur.

Bu çalışmada, tarımsal üretime veri sağlamada tarım dronu ve multispektral algılama kameralarının kullanımına ait bir örnek yer almaktadır. Bu amaçla dron ve kameralar ile edinilen görüntülerden bitkilerin sağlık durumlarının belirlenmesine yönelik uygulama yapılmıştır.

Farklı bitki desenlerinin yer aldığı ISUBÜ Ziraat Fakültesi, Eğitim, Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde yürütülen çalışmada seçilen test alanı için yüksek mekânsal doğrulukta (RMSE<0.30 m) görüntülerin üretimi mümkün olmuştur. Bu görüntülerde yapılan NDVI (Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi) ve TGI (Üçgen Yeşillik İndeksi) ayrımları ile sağlıklı bitkilerin büyük doğrulukla ayırt edildiği ve acil müdahale gerektiren sorunlu alanların arazi başında belirlenebildiği sonucuna varılmıştır.

Çalışmanın, İyi Tarım Uygulamaları, Akıllı Tarım ve Tarım 4.0 uygulamalarında veri sağlama yöntemi olarak kullanıma ve geliştirilme potansiyeli olduğu sonucuna varılmıştır.

Determination of Demonstrating Problematic Growth of Plants with Use Unmanned Air Vehicle (UAVs)

ARTICLE INFO

Received: 31.12.2019

Accepted: 04.02.2020

Keywords: UAVs, Sustainable

Agriculture, Agricultural Drone,

Sensor, VI, NDVI, TGI

ABSTRACT

Environment-oriented approaches that emerged as the need for agricultural production have increased the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for these purposes. Firstly, UAVs were used as a good tool for providing the necessary data for agricultural management. Afterward, it was used for agricultural activities along with other technological products.

In this study, there was an example of the use of agricultural drones and multispectral sensors to provide data for agricultural production. For this purpose, an approach was set up to determine the health status of plants using images obtained from drones and sensors.

The research was carried out in the Education, Research and Application Farm of Agriculture Faculty, ISUBÜ. The farm included different land used/canopy cover types. In the process, the high spatial accuracy (RMSE <0.30 m) images were taken from the plants for the test plots. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and TGI (Triangular Greenness Index) index were made in these images to distinguish. As a result of the study, it was determined that healthy plants were distinguished with great accuracy. It was concluded that problematic areas requiring urgent intervention could be identified at the beginning of the land.

It was found that the study has the potential to be developed as a method of providing data in production systems require for Good Agricultural Practices (GAP), Smart Agriculture and Agriculture 4.0.

1. Giriş

Dünya nüfusunun 2050 yılında 9.6 milyar seviyesine ulaşması beklenmektedir. Bu durum tarımsal üretimin %70- 100 oranında artırılması gerektiği anlamına gelmektedir. Dünya gıda ihtiyacını karşılamadaki zorluklar göz önüne alındığında, tarımsal üretimde üretken ve kaynak verimli sürdürülebilir üretim sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir (Borlaug, 2019). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA), Avrupa Tarım Endüstrisi (AIE) ve gelişmekte olan ülkelerdeki tarım kurum ve kuruluşları mevcut tarımsal üretimin önemini

giderek artacağından dolayı sürdürülebilir tarımsal üretim modelleri benimsemek için çalışmalarına devam etmektedir (Wu et al., 2019). Ayrıca tarım sektöründeki sivil kuruluşlar tarımsal üretimdeki teknolojinin entegrasyonu üzerine çalışmalarını sürdürmektedir. Tarım ve teknolojik gelişmelerin birleştirilerek uygulanması ile tarımsal üretimdeki istenilen sürdürülebilir artışın sağlanabileceği gerçeği, her geçen gün önemini arttırmaktadır (Ray, 2017).

Uzun yıllardır askeri amaçlar için kullanılan İnsansız Hava Araçlarının (İHA) sivil kullanımlarının artması tarımsal üretimdeki kilit problemleri çözüme noktasında önemli bir

rol oynamaktadır. İnsansız hava araçları verimliliği arttırma ve gıda güvenliğini arttırma yetenekleriyle tüm üreticiler için önemli bir araç haline gelmiştir (Rango et al., 2009; Labiberte et al., 2010; Wolfert et al., 2017; Morton et al., 2019; Bacco et al., 2019).

İnsansız hava aracı son derece yüksek irtifalarda uçabilen ve çeşitli navigasyon sistemleri veya görünür (RGB), kızılötesi (NIR), termal sensörler gibi kayıt cihazları taşıyan küçük ve hafif hava araçlarına denilmektedir (Rufino and Moccia, 2005; Gade and Moeslund, 2014). Çeşitli sensörlerin kullanılması ile tarımsal üretim yapılan alanların yüksek çözünürlüklü ve düşük maliyetli görüntülerini yakalama yeteneklerinden dolayı, tarımsal amaçlı kullanım için birçok avantaj sunmaktadır. İnsansız hava araçları içerisinde en yaygın bilinen dronlardır (Turner et al., 2014).

Dronlar, tarım arazisinde bitki sağlığını belirlemek, bitkileri kayıt etmek, çiftlik varlık bilgilerini toplamak, mahsulün hastalık ve zararını değerlendirmek ve toprak nemi içeriğini belirlemek gibi birçok bilginin temini için kullanılmaktadır (Başayığıt et al., 2009; Demir and Başayığıt, 2019). Bu amaçla dron platformlarındaki kameralar ve sensörler ile havadan görüntü elde edilmekte (Cai et al., 2010; Xiongkui et al., 2017) görüntüler işlenerek (Ojha et al., 2015; Lakhiar et al., 2018; Farooq et al., 2019) toprak durumu, bitki sağlığı, gübre ve böcek ilacı etkisi, sulama ve mahsul verimi gibi değişkenler hakkında bilgi üretebilmektedir. Böylece saha koşullarında gelişmiş teşhislerin ve hızlı müdahalenin yapılmasını sağlayan entegre teknolojik çözümler geliştirilmektedir.

Dronların tarımsal takip/izleme amaçlı kullanımlarının son yıllarda büyük ilgi görmesi, uydu teknolojisine kıyasla sağladığı bazı avantajlarından kaynaklanmaktadır. Alışıl gelmiş hava araştırmalarından ayrı olarak ortaya çıkan düşük maliyet ve alınabilme hususlarının yanı sıra, dronlar, "talep üzerine" bir frekansta, bulut örtüsünün altında görüntüleme yapabilmektedir. Ayrıca, daha yüksek mekânsal çözünürlüklü görüntü alarak, yüksek detaylı veri toplanmasında mümkün kılmaktadır. Uydudan farklı olarak, dronlar çiftçilere tarım alanlarını kuş bakışı izleme imkânı sunmaktadır. Dronlar araziye daha yakın uçuş yapabilmeleri sayesinde, tarladaki mahsule zarar vermeden veri alınmasında daha fazla hassasiyet sağlamaktadır. Bu nedenle potansiyel olarak sürdürülebilir tarım sistemlerinde çok daha etkili ve yaygın olarak kullanımı

tercih edilmektedir (Zhang and Kovacs, 2012; Tripicchio et al., 2015). Dronun yakaladığı yüksek çözünürlüğe sahip görüntüler, bitki hastalıklarının tahmini, lokal zararlı istilası ve toprak nemi tayini için mevcut uydu görüntülerine cevap olarak daha çok önem arz etmektedir. Bu yüksek çözünürlüklü görüntülerden bitkilerin su içeriğini ve su tüketimini analiz etmek, ilk zararlı kaynaklarını bulmak, ekonomik zarar eşğine gelmeden müdahale etmek ve daha sonraki bitki besleme ve bitki koruma önlemlerini almak mümkün olmaktadır (Shamshiri et al., 2018; Thenkabail et al., 2018; Sabtu et al., 2018; Panagiotidis et al., 2019; Solaiman and Salaheen, 2019). Bu çalışmada dronların bitki sağlığını belirlemede kullanımına ait bir örnek yer almaktadır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Çalışma alanı

Çalışma ISUBU Ziraat Fakültesi Eğitim, Araştırma ve Uygulama Çiftliği içerisindeki araştırma parselleri içerisinde yürütülmüştür. Uygulama çiftliği Isparta-Burdur Karayolunun doğusunda, üniversite yerleşim birimleri ile Isparta Mensucat fabrikası arasında, Göller Bölgesi Teknokent ile Ziraat Fakültesi arasında kalan alanda yer almaktadır (Şekil 1). Mevcut uygulama arazisinde tarımsal üretim için sulu tarım ve kuru tarım alanları bulunmakta, geniş bir ürün deseninde uygulama ve araştırma amaçlı üretim gerçekleştirilmektedir. Çalışma alanının, uzun yıllar ortalama yıllık sıcaklığı 12,2 °C, uzun yıllar ortalama en yüksek sıcaklık 18,4 °C, uzun yıllar ortalama en düşük sıcaklık 6,1 °C, uzun yıllar ortalama yıllık güneşlenme süresi 84,9 saat ve yıllık toplam yağış miktarı 564.8 mm'dir. 50 cm toprak derinliğinde yıllık ortalama sıcaklık 13,8 °C, en düşük toprak sıcaklığı 3.3 °C ile Şubat ayında, en yüksek toprak sıcaklığı ise 25,0 °C Ağustos ayında gerçekleşmektedir (MGM, 2019).

Çalışma alanı içerisinde şeker pancarı, patates, mısır, tıbbi ve aromatik bitki parselleri ve silajlık mısır ve elma anaç üretim parselleri yer almıştır. Çiftlikte su ihtiyacı kapalı sulama sistemi ile damlama ve yağmurlama sulama şeklinde karşılanmaktadır.

Çalışma alanında Ziraat Fakültesi bölümlerinin ihtiyaçları doğrultusunda üretim deseni oluşturulmuştur. Ayrıca iklimlendirme seraları ve üretim yüksek, alçak plastik ve cam seralarda sebze üretimi yapılmaktadır.



Şekil 1. Çalışma Alanı
Figure 1. Study Area

2.2. İnsansız hava aracı (İHA) ve kameralar

Çalışmada kullanılan İHA platformu, ISUBÜ Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme bölümü Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri laboratuvarı envanterine 2017 yılında dâhil edilen DJI Phantom 4 Pro Quadcopter markalıdır (Çizelge 1). Bu dron SHGM

sisteminde kayıtlı ve Türk Hava Sahası içerisinde kullanılmaktadır.

Çalışmada İHA platformu üzerine CMOS ve Sentera Double 4K Multispektral sensörleri kullanılmıştır (DJI, 2019; Sentera, 2019). Çizelge 2’de sensörlere ait teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1. DJI Phantom 4 Pro Dron Özellikleri

Table 1. DJI Phantom 4 Pro Drone Features

Genel Özellikleri		Fiziksel Özellikleri	
Vision Positioning System (VPS)	Var	Pervane	4 Adet
Engel Algılama Sensörü	Var	Çalışma Frekansı	2.4 GHz, 5.8 GHz
Akıllı Eve Dönüş	Var	Kontrol Ünitesi	Var
GPS	Var	Led Işıklandırma	Var
3D Sensör	Var	Çapraz Uzunluk	350 mm
Dahili Kamera	Var	Dron Ağırlığı	1388 gram
Titreşim Engelleme	Var	Pil Kapasitesi	5870 mAh

Çizelge 2. Çalışmada Kullanılan Sensör Özellikleri

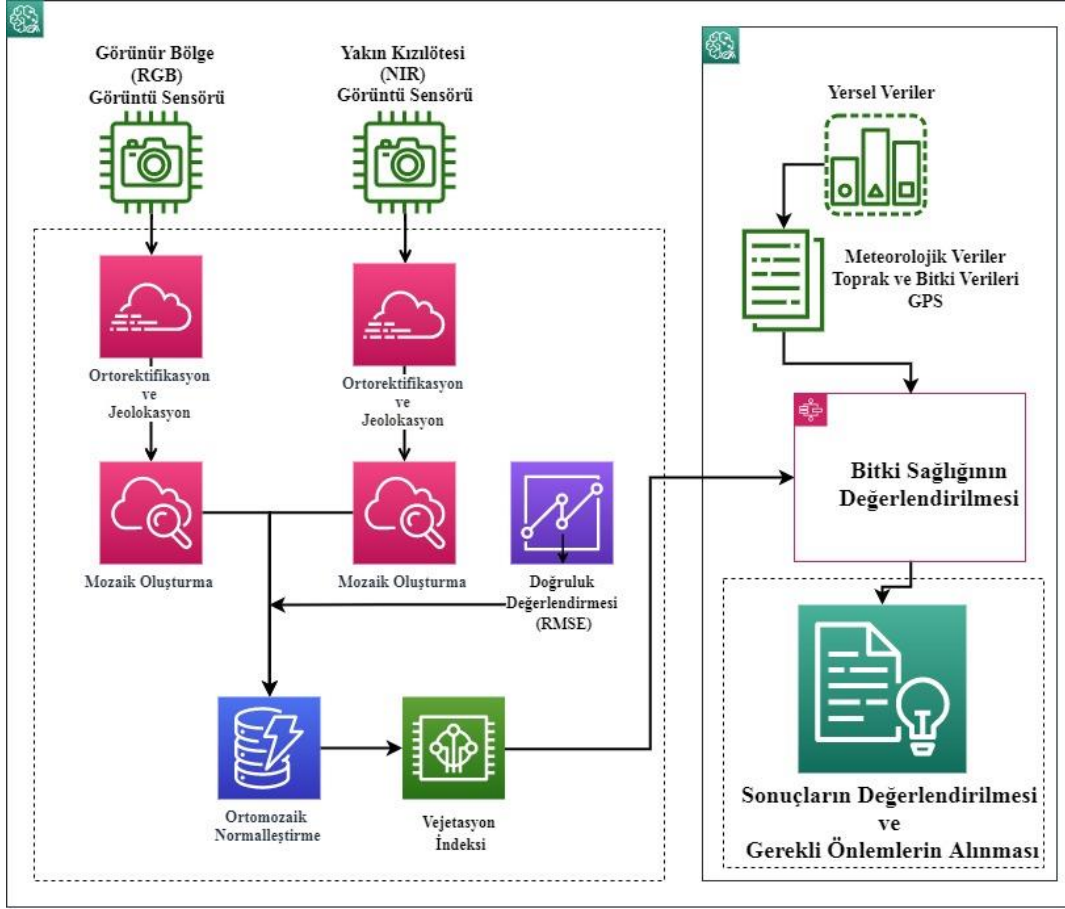
Table 2. Sensor Features Used in the Study

Sensör Türü	Megapiksel	Sensör Boyutu	Görüş Alanı	Görüntü Çözünürlüğü
CMOS (RGB)	20 MP	1” (inç)	84°	5472*3648
Sentera Double 4K (Multispektral)	12.3 MP*2	2.32”*1.61”*1.75”	60° (HFOV)	1080*720

2.3. Uçuş planlaması ve veri toplama

Bir İHA platformuyla yapılan görüntü tabanlı tarımsal uygulama çalışması, coğrafi referanslama amaçları için bir uçuş veya görev planlama ile yer kontrol noktaları (GCP’ler) ölçümünü gerektirir (Kallapur and Anavatti, 2006; Neitzel and Klonowski 2011; Jin et al., 2017). Çalışmanın bu aşaması Isparta Uygulamalı Bilimler

Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Laboratuvarı envanterinde bulunan yardımcı araçlar ve yazılımlar ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmanın uygulanması sırasında izlenen metodolojinin akışı şeması Şekil 2’de verilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Veri Toplama ve Görüntü İşleme Metodolojik Akışı
Figure 2. Data Collection and Image Processing Methodological Flow

Çalışmada uçuş planı Sentera FieldAgentTM yazılımı Apple iPad 5.Nesil tablet yüklenmiş ve otomatik uçuş planlanmıştır. Uçuş planı özellikleri Çizelge 3’de verilmiştir. Uçuş belirtilen özelliklerde gerçekleştirildikten sonra 20 adet yer kontrol noktası verisi doğruluk değerlendirmesi için RTK GNSS GPS ile alınmıştır. Çalışma alanından görüntüleme 11 Ağustos 2018 tarihinde 12:00-14:00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3. Dron Uçuş Planı Özellikleri
Table 3. Drone Flight Plan Features

Parametreler	Değerler
Uçuş Yüksekliği	200 feet (60.96 metre)
Yatay Çakışma	%60
Dikey Çakışma	%60
Mekânsal Çözünürlük	5.5 cm/piksel
Dron Uçuş Hızı	10 mph (16.09 km/sa)
Uçuş Yönü	%70
Görüntü Sayısı (RGB+NIR)	428 (214+214)

2.4. Veri işleme ve analizler

Uçuş planına göre 11 Ağustos 2018 tarihinde, dron platformu üzerinde bulunan sensörler tarafından alınan görüntülerde, tarımsal üretim için bilgi üretmek amacı ile DroneDeploy (demo), Erdas IMAGINE ve ArcGIS yazılımı kullanılarak görüntü işleme çalışmaları yapılmıştır (<https://www.dronedeploy.com/app2/projects>).

Verilerin analizinde Vejetasyon İndisleri (VI) kullanılmıştır. Vejetasyon indisi kalitatif ve kantitatif vejetasyon analizlerinde ürünlerin gelişimini ve sağlığını izlemek için çok etkili ve uygun ölçümler olarak kabul edilmektedir (Raeva et al., 2019). Bitkilerin biyofiziksel özellikleri, birimsiz radyometrik ölçüler olarak tanımlanan vejetasyon indisleri ile spektral olarak karakterize edilmektedir (Huang et al., 2018). Yaygın olarak kullanılan vejetasyon indisleri Çizelge 4’te verilmiştir. Çalışmada Çizelge 4’te belirtilen indislerin bitki sağlığı hakkında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Çizelge 4. Vejetasyon İndeksleri
Table 4. Vegetation Indices

Vejetasyon İndeksi	Kullanılan Eşitlik	Kullanım Amacı	Kaynak
Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Normalized difference vegetation index)	NDVI $= \left(\frac{(Near\ Infrared - Red)}{Near\ Infrared + Red} \right)$	Yaprak alanı (LAI) ve bitki sağlığının belirlenmesi	Rouse et al., (1974)
Normalleştirilmiş Fark Kırmızı Kenar İndeksi (Normalized Difference Red Edge Index)	NDRE $= \left(\frac{(NIR - Red\ edge)}{NIR + Red\ edge} \right)$	Toprak arka plan etkilerine karşı yapraklarda klorofil içeriğinin belirlenmesi	Gitelson and Merzlyak, (1994)
Yaprak Klorofil İndeksi (Leaf Chlorophyll Index)	LAI $= \left[\left(\frac{NIR}{GREEN} \right) - 1 \right]$	Yaprak alanı (LAI) varyasyonları içeren klorofil içeriğinin belirlenmesi	Datt et al., (2003)
Modifiye Klorofil Absorpsiyon İndeksi (Modified Chlorophyll Absorption Reflectance Index)	MCARI $= [(R_{700} - R_{670}) - 0.2(R_{700} - R_{550})](R_{700} - R_{670})$	Yaprak alanı (LAI) varyasyonları içeren klorofil konsantrasyonlarının belirlenmesi	Daughtry et al., (2000)
Üçgen Yeşillik İndeksi (Triangular Greenness Index)	TGI $= (R_{GREEN} - 0.39 * R_{RED} - 0.61 * R_{BLUE})$	Klorofil hassaslığının belirlenmesi	Hunt et al., (2013)
Görünür Atmosferik Direnç İndeksi (Visible Atmospheric Resistant Index)	VARI $= \left(\frac{(R_{GREEN} - R_{RED})}{R_{GREEN} + R_{RED} - R_{BLUE}} \right)$	Yaprak alanının (LAI) belirlenmesi	Gitelson et al., (2002)
Yeşil Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Green Normalized Difference Vegetation Index)	GNDVI $= \left(\frac{(NIR - Green)}{(NIR + Green)} \right)$	Klorofil hassaslığının kırmızı bandın olmadığı durumda belirlenmesi	Gitelson et al., (1996)
Yeşil-Kırmızı Vejetasyon Endeksi (Green-Red Vegetation Index)	GRVI $= \left(\frac{(Green - Red)}{(Green + Red)} \right)$	Yaprak alanının (LAI) belirlenmesi	Tucker, (1979)
Toprak Uyarlanmış Vejetasyon İndeksi (Soil Adjusted Vegetation Index)	SAVI $= \left(\frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red + L)} \right) (1 + L)$	Yaprak alanının (LAI) belirlenmesi	Huete, (1988)

2.5. Doğruluk değerlendirilmesi

Doğruluk değerlendirmesi, İHA görüntüsünün düzenlenmesi ile ilgili hatayı tahmin etmektedir. Her bir ortomozaik konumlanmanın hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) uzaysal doğruluğunu değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Kallapur and Anavatti, 2006; Rock et al., 2011; Gómez-Candón et al., 2014; Boon et al., 2016; Jin et al., 2017; Peppia et al., 2019). Hata kareler ortalaması kare kökü, ortomozaik görüntünün kalitesinin küresel bir göstergesini, görüntü koordinatlarının ve zemin koordinatlarının kalıntılarında dayanmaktadır. Doğrulama puanına sahip bir görüntü için RMSE aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır (ERDAS, 1999):

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(X_s - X_r)^2 (Y_s - Y_r)^2] \right]^{1/2} \quad (1)$$

Eşitlikte; X_s ve Y_s , dron sensör görüntüsünün jeo-uzamsal nokta koordinatlarıdır. X_r ve Y_r , saha seviyesinde ölçülen aynı GNSS-GPS noktasının koordinatlarıdır.

3. Bulgular ve Tartışma

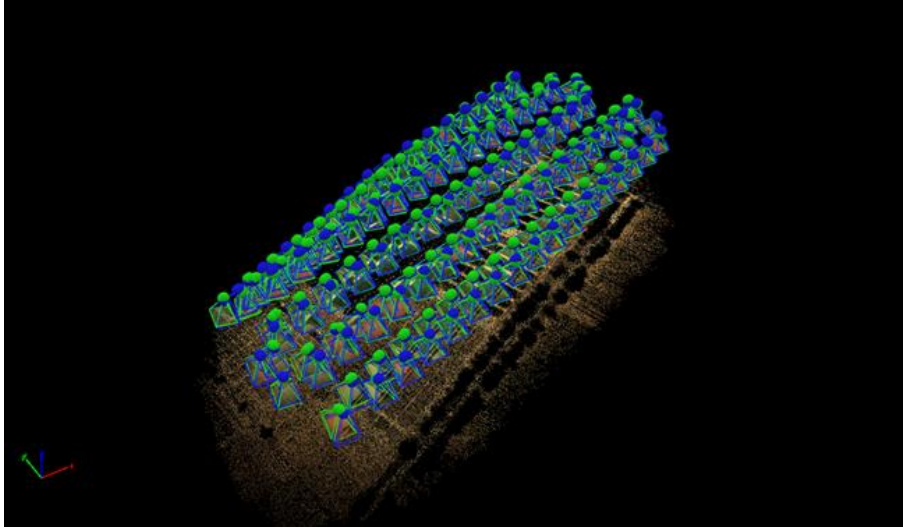
3.1. Verilerin toplanması ve görüntü kalitesinin değerlendirilmesi

İnsansız hava aracı, herhangi bir tarım ekipmanı gibi kullanılabilir araç haline gelen ileri teknoloji ürünüdür.

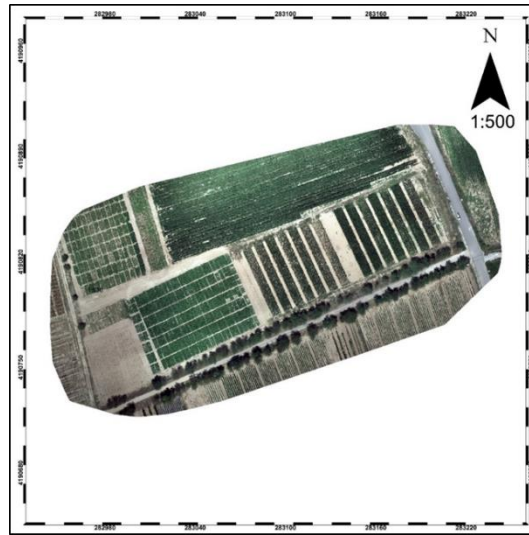
Tarım sistemlerindeki; küçük veya orta ölçekli işletmelerden veya tarladan, veri toplama ve saha izleme için etkin bir şekilde İHA kullanımı uygundur (Norasma et al., 2019). Çalışma alanına ait dron platformundaki sensörler ile uçuş hattı boyunca görüntüler toplanmıştır. Cmos sensörü ile 193, Sentera Double 4K multispektral sensör ile 193 adet görünür bölge (RGB+Red Edge) ve 193 adet yakın kızılötesi bölge (NIR) görüntü %70 bindirmeli olarak alınmıştır. Görüntüler sensörlerin Micro-SD hafıza kartlarına kayıt edilmiştir. Daha sonra görüntülerin

depolanması ve işlenmesi için özel donanımlı bilgisayar sistemine aktarılmıştır.

Bilgisayar ortamında bulunan görüntüler, DroneDeploy (Demo) yazılımı içerisinde yüklenmiş ve yer kontrol noktalarına göre rektifiye edilmiştir (Şekil 3). DroneDeploy (Demo) yöntemin işlem sırası takip edilerek çalışma alanına ait ortomozaik görüntüler oluşturulmuştur. Şekil 4'te çalışma alanının oluşturulan gerçek renk (True Colors) ortomozaik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3. Görüntülerin Uçuş Hattı Üzerindeki Konumsal Gösterimi
Figure 3. Spatial Display of Images on the Flight Line



Şekil 4. Çalışma Alanı Ortomozaik Görüntüsü
Figure 4. Study Area Orthomosaic Image

Çalışmada kullanılan vejetasyon indislerinden NDVI ve TGI arazi örtüsü ayırımında doğru ayırımı yaptığı belirlenmiştir (Çizelge 4). Yer kontrol noktaları ve her iki vejetasyon indisinin %100 doğrulukla ayırım yaptığı belirlenmiştir. Her iki indisin farklı bitki örtülerinin tespit edilmesinde yaygın ve başarılı kullanımı geçmiş çalışma sonuçları ile paralellik göstermektedir (Huete et al., 1999; Demir, 2017; Pádua et al., 2019). Vejetasyon indisleri, görünür (RGB- Red Edge), yakın kızılötesi (NIR) ve kısa

dalga kızılötesi (SWIR) dalga boylarında iki veya daha fazla bandın oranları veya farkları kullanılarak hesaplanmaktadır. Bir bitki örtüsü endeksinin en önemli avantajı, bitkilerin biyofiziksel parametreleri ile yüksek korelasyon göstermesi ve uzaktan algılama veri yorumlamasını engelleyen faktörlere karşı hassasiyeti ortadan kaldırmasıdır (Huete et al., 1999; Demir, 2017). Uydu görüntülerinde olduğu gibi dron görüntülerinde de bitki indisleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Berni et

al.,2009, Arnold et al., 2013, Garcia-Ruiz et al., 2013, Ayala-Silva and Beyl 2005; Pimstein et al., 2011; Başayığıt et al., 2015; Wójtowicz et al., 2016; Senthilnath et al., 2017). Banerjee et al. (2018) tarafından, dronun geleneksel insanlı uçaklara veya yer veri toplamalarına kıyasla düşük maliyetli bir operasyon olarak görüldüğü birçok çalışma yapılmıştır. Görünür (RGB) ve yakın kızılötesi (NIR) bantlara sahip dron (İHA) sensörlerinin, mahsul hastalıklarını tespit etmek veya mahsul örtme oranı gibi mahsul durumunu izlemek için yararlı olduğu belirtilmektedir (Lelong et al., 2008; Bachmann et al., 2013; Pádua et al., 2019). Dron (İHA) kullanılarak elde edilen multitemporal görüntülerden üretilen vejetasyon indisleri, büyümenin çok erken aşamalarından elde edilen mahsul verimi ve hasat edilecek mahsul içindeki mekânsal değişkenliği ile ilgili bilgiler sağlar ve daha sonra sahaya özel olarak en uygun yönetim stratejisini belirlemek için kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır (Stroppiana et al., 2018; Simic Milas et al., 2018; Di Gennaro et al., 2018; Vanegas et al., 2018). Çalışma sonucunda NDVI ve TGI indisleri çalışma alanının en uygun arazi örtüsünü tespit etmek ve bitki sağlığının belirlenmesi için kullanılabilmesi için arazi verileri ile çapraz kontrol edilerek belirlenmiştir.

3.2. Doğruluk değerlendirmesi

Orto rektifiye mozaığın geometrik doğruluğu, GNSS-GPS kullanılarak zemin seviyesinde toplanan 20 GCP'den yedisinin koordinatları kullanılarak değerlendirilmiştir. Öncelikle alanda ölçülen dokuz GCP'nin koordinatları, DroneDeploy yazılımı

Çizelge 5. Görüntülerin Doğruluk Değerlendirmesi

Table 5. Accuracy Assessment of Images

Sensör	X (ft-m)	Y (ft-m)	Z (ft-m)	Doğruluk RMSE*
CMOS	6.4 ft (1.95 m)	2.6 ft (0.79 m)	2.6 ft (0.79 m)	4.1 ft (1.25 m)
Sentera Double 4K	0.6 ft (0.18 m)	0.5 ft (0.15 m)	1.5 ft (0.46 m)	1 ft (0.30 m)

*RMSE (kök ortalama kare hatası) ± her görüntünün doğrulama noktalarının standart sapması (feet ve metre olarak).

3.3. Bitki sağlığının değerlendirilmesi

Görünür ışık (RGB) ve yakın kızılötesi (NIR) ışık kullanarak ürün desenini (canopy) tarayan, drone platformundaki tarımsal cihazlar, hangi bitkilerin farklı miktarlarda yeşil ışık ve yakın kızıl ötesi (NIR) ışık yansıttığını belirleyebilir. Bu bilgi, bitkideki değişiklikleri izleyen ve sağlıklarını gösteren çok spektrumlu görüntüler üretebilir. Optik alandaki yansıma, bitki sağlığının değerlendirilmesinde büyük önem taşıyan diğer özelliklerin yanı sıra klorofiller ve yaprak alanı indisi gibi yaprak pigmentlerinin değerlendirilmesi için yüksek potansiyele sahip bitkilerin biyokimyasal ve biyofiziksel özelliklerini elde etmek için kullanılmıştır (Clevers and Kooistra, 2011; Hunt et al., 2011; Hunt et al., 2013; Li et

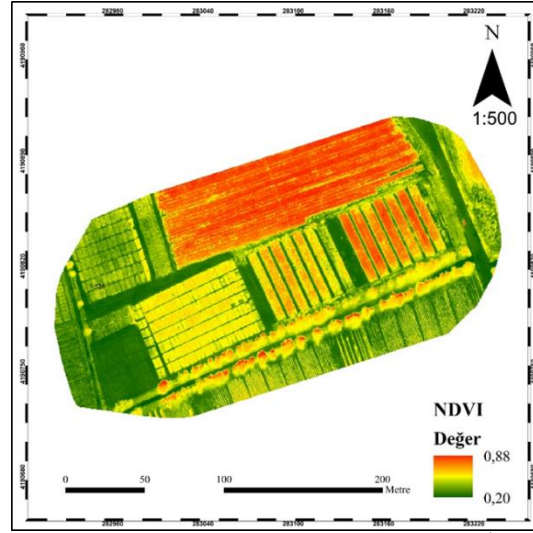
(https://www.dronedeploy.com/app2) kullanılarak mozaiklenmiş görüntüdeki koordinatları ile karşılaştırılmıştır. Son olarak, GNSS-GPS koordinatları ile mozaik görüntüdeki koordinatlar arasındaki farklar, RMSE'nin hesaplanmasında kullanılmıştır.

Çizelge 5'de CMOS (RGB) ve Sentera Double 4K (Multispektral) sensörlerine ait ortomozaik görüntülerin RMSE değerleri verilmiştir. Yüksek doğrulukta konumsal veri için iki veya daha fazla lense sahip multispektral sensörlerin kullanımı ile mümkündür (Grenzdörffer et al., 2008; Hunt et al., 2011; Mäkynen et al., 2012; Harwin and Lucieer, 2012; Rokhmana, 2015).

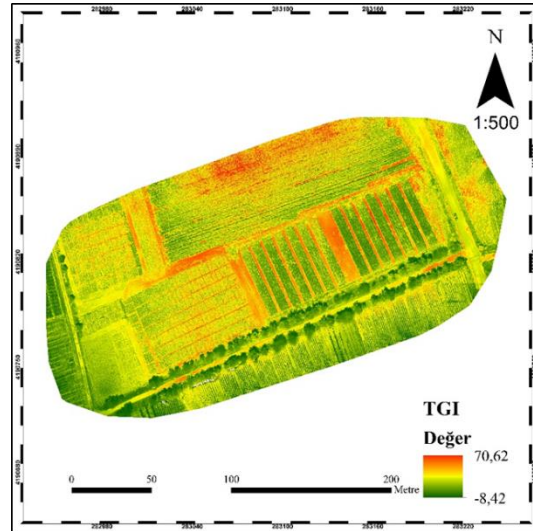
Sentera Doble 4K multispektral sensör ile 0.30 m mekânsal doğrulukta çalışma alanına ait veriler üretilmiştir. Çalışmada, tarım arazilerinin ve mahsul durumunu değerlendirmek için çift lense sahip multispektral sensör kullanımının başarı oranını arttıracak belirlenmiştir (Çizelge 5). Çalışmada hesaplanan RMSE istatistiksel sonuçları tarım sensörleri kullanımının, tarımsal uygulamalar için daha doğru sonuçlar elde edileceğini göstermiştir.

Çalışmada heterojen arazi kullanımında yüksek doğruluk elde edilmesi, tarımsal uygulamalar için dron teknolojisini ve tarımsal sensörlerin başarılı şekilde kullanılabileceği sonucunu göstermiştir. Çalışmada elde edilen yüksek mekânsal doğruluk, gıda talebinin karşılanması için gerçekleştirilen tarımsal üretimin, tüm vejetasyon döneminde tarımsal sensörler kullanılarak başarılı şekilde gerçekleştirilebileceği sonucunu göstermiştir.

al., 2014; Kavvadias et al., 2015; Malenovsky et al., 2017; Do et al., 2018; Barbeo, 2019). Çalışma alanının bitki örtüsünün sağlık durumu ve ayrımının yapılabildiği Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) ve Üçgen Yeşillik İndeksi (TGI) vejetasyon indisleri olarak belirlenmiştir. Bu iki indis RGB ve NIR bölgesinde algılanan dalga boylarını kullandığı için dron platformlarında bulunan sensörlerin başarılı şekilde kullanımını ortaya koymuştur. Çalışma alanına ait oluşturulan ortomozaik görüntü kullanılarak 0.30 metre doğrulukta elde edilen vejetasyon indisleri Şekil 5-6'da gösterilmiştir.



Şekil 5. Çalışma Alanının NDVI Vejetasyon İndisi
Figure 5. NDVI Vegetation Index of the Study Area



Şekil 5. Çalışma Alanının TGI Vejetasyon İndisi
Figure 5. TGI Vegetation Index of the Study Area

Çalışma alanına ait ortomozaik görüntüler kullanılarak oluşturulan NDVI ve TGI vejetasyon indisleri bitki sağlığı belirlemede en uygun indis olarak belirlenmiştir. NDVI indisi ile TGI indisi 5 eşit sınıfa ayrılarak sınıflanmıştır. Yer verileri ile % 80 üzerinde doğrulukla bitki örtüsü belirlenmiştir. Belirlenen sınıf aralıkları ve kapladıkları alan verileri Çizelge 6-7’de verilmiştir. NDVI vejetasyon indisi değeri 0.42 üzerinde kalan alanlar sağlıklı bitkileri, 0.29 değeri altında kalan alanlar, çıplak toprak, asfalt yol ve kurumuş bitki örtüsünü göstermektedir. TGI vejetasyon indisi değeri 10.53 ve üzerinde kalan sınıflar çıplak toprak, asfalt yol ve zayıf bitki örtüsünü, 10.53 değeri altında kalanlar sağlıklı bitki örtüsünü göstermektedir. Normaleştirilmiş Fark Vejetasyon İndisi (NDVI) değeri sıfır değeri üzerine çıkarken, Üçgen Yeşillik İndeksi (TGI) sıfıra yaklaşırken ve negatif sonuçlar bitki örtüsünün sağlık

durumu hakkında bilgi vermektedir. Her iki indisin de bitkilerin sağlık durumu hakkında karar vermek için kullanılabileceği gösterilmiştir. Bu sonuçlar ile çalışma alanının %60’lık kısım zayıf, iyi ve çok iyi bitki örtüsü sınıfları içerisinde bulunmaktadır. Çalışma alanının 11 Ağustos 2018 tarihinde alınan dron görüntüsünün, bölgenin en az yağış aldığı mevsimde olmasına rağmen sulu tarım yapıldığı için sağlıklı bitki örtüsü yüksek oranda bulunmaktadır. Bu veriler denemede su uygulamaları ile örtülmüştür. Başka bir ifadeyle görüntü alınan bölgede tarımsal sulama işlemlerinin sağlıklı şekilde yapıldığını göstermektedir. ISIBÜ, Ziraat Fakültesi, Eğitim, Araştırma ve Uygulama Çiftliği arazisi içerisinde sulama sistemleri ve denemelerin yürütüldüğü sulu tarım parselleri içerisinde, sulamanın başarısı hakkında da bilgi üretmek için İHA ve tarımsal sensörlerin kullanılması mümkündür.

Çizelge 6. NDVI İndisi Sınıflama Sonuçları
Table 6. NDVI Index Classification Results

Sınıf	NDVI Değeri	Alan (ha)	Alan %	Bitki Sağlık Durumu
1. Sınıf	0.52-0.88	0.82	19.98	Çok İyi
2. Sınıf	0.42-0.52	0.82	20.00	İyi
3. Sınıf	0.35-0.42	0.82	20.01	Zayıf
4. Sınıf	0.29-0.35	0.82	20.01	Yok
5. Sınıf	0.20-0.29	0.82	20.00	Yok

Çizelge 7. TGI İndisi Sınıflama Sonuçları
Table 7. TGI Index Classification Results

Sınıf	TGI Değeri	Alan (ha)	Alan %	Bitki Sağlık Durumu
1. Sınıf	7.32- -8.42	0.87	19.97	Çok İyi
2. Sınıf	10.53-7.32	0.87	20.01	İyi
3. Sınıf	13.39-10.53	0.87	20.00	Zayıf
4. Sınıf	17.29-13.39	0.87	20.01	Yok
5. Sınıf	17.29-0.72	0.87	20.01	Yok

Çalışma ile elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, literatürde NDVI ve TGI indislerinin bitki örtüsü ve mahsul izleme için yüksek doğrulukta veriler üretmek için kullanılabileceğinin desteklenmektedir (McKinnon and Hoff, 2017; Wahab et al., 2018). TGI, sadece görünür spektrumu kullanan bir bitki örtüsü endeksidir, böylece değiştirilmemiş kameralarla ve tüketici dronların mevcut sensörleri kullanılarak oluşturulabilirler. TGI, yaprakların klorofil (ve dolaylı olarak azot) içeriğini izlemek için geliştirilmiştir. TGI, bitki sağlığı göstergesi olarak tasarlanmamış (Hunt et al., 2013), klorofil içeriğinin belirlenmesinde kullanılması için geliştirilmiştir. Ancak dolaylı olarak klorofil içeriği, bitkilerin sağlık durumu hakkında değerlendirmeyi mümkün olduğunu göstermektedir.

4. Sonuç

Çalışma tarımsal kullanım için dron ve sensörler hakkında mevcut uygulamalar ve bunun neticesinde bir demostrasyonu niteliğinde olmuştur. Çalışmada kullanılan Sentera Double 4K multispektral sensör ile elde edilen görüntülerin mekânsal çözünürlükleri ve mekânsal doğrulukları, dron üzerinde dâhili olarak bulunan CMOS sensöründen daha iyi sonuçlar vermiştir. NDVI ve TGI vejetasyon indisleri, diğer vejetasyon indislerine göre arazi örtüsünü yer kontrol noktaları ile yapılan çapraz kontroller neticesinde, bitkilerin sağlık durumlarını belirlemede kullanılabileceği ve bitki örtüsünde sulama kaynaklı sorunların tespitinin mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır. Beslenme, hastalık zararlı gibi birden farklı kaynaktan oluşabilecek sorunların birbirinden ayırt edilmesi için benzer çalışmaların yürütülmesi gerekmektedir.

Görüntüleme ve hava teknolojilerine dayalı bu sistemlerdeki yenilikler devam ettikçe, dronların tarımda küçük alana dayalı uygulamalar için kullanımı artacaktır. Özellikle iyi tarım uygulamalarında hedeflenen çevresel duyarlılığa dayalı yaklaşımlar için bu teknolojiler en uygun araçlardır. İHA'lar birçok teknoloji ile entegre biçimde kullanılabileceği gerçeğinden hareketle tarımda kullanımının yaygınlaşması sürdürülebilir bir çevre ve gıda güvenliği için önemli fırsatlar sağlayacaktır. Bu teknolojilerin kullanımına yönelik yazılım ve donanım geliştirme yatırımları, gübre, ilaç ve tohum gibi tarımda temel girdileri oluşturan yatırımlar kadar önemlidir. Akıllı tarım ve Tarım 4.0 gibi geleceğin tarım kültürünün bu sistemlerin üzerine temelleneceği gerçeği, benzer çalışmaların hızla artırılması gerekliliğinin en önemli gereğesidir.

5. Kaynaklar

- Arnold, T., De Biasio, M., Fritz, A., and Leitner, R. (2013). UAV-based measurement of vegetation indices for environmental monitoring. In 2013 Seventh International Conference on Sensing Technology (ICST) (pp. 704-707). IEEE. doi: 10.1109/ICST.2013.6727744.
- Ayala-Silva, T and Beyl, C. A. (2005). Changes in spectral reflectance of wheat leaves in response to specific macronutrient deficiency. *Advances in Space Research*, 35(2), 305-317. doi:10.1016/j.asr.2004.09.008.
- Bacco, M., Barsocchi, P., Ferro, E., Gotta, A., and Ruggeri, M. (2019). The Digitisation of Agriculture: a Survey of Research Activities on Smart Farming. *Array*, 3, 100009. doi:10.1016/j.array.2019.100009.
- Bachmann, F., Herbst, R., Gebbers, R., and Hafner, V. V. (2013). Micro UAV based georeferenced orthophoto generation in VIS+ NIR for precision agriculture. doi:10.5194/isprsarchives-XL-1-W2-11-2013.
- Banerjee, K., Krishnan, P., and Mridha, N. (2018). Application of thermal imaging of wheat crop canopy to estimate leaf area index under different moisture stress conditions. *Biosystems Engineering*, 166, 13-27. doi:10.1016/j.biosystemseng.2017.10.012.

- Barbedo, J. G. A. (2019). A review on the use of unmanned aerial vehicles and imaging sensors for monitoring and assessing plant stresses. *Drones*, 3(2), 40. doi:10.3390/drones3020040.
- Basayigit, L., Bozkurt, Y., and Kaya, I. (2009). Determination of Grasslands Using Landsat (TM) Data and Monitoring of The Change By Years Using GIS With Special Reference to Kars Province in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 18(1), 62-97.
- Başayığıt, L., Dedeoğlu, M., and Akgül, H. (2015). The prediction of iron contents in orchards using VNIR spectroscopy. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(1), 123-134.
- Berni, J. A., Zarco-Tejada, P. J., Suárez, L., and Fereres, E. (2009). Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(3), 722-738. doi:10.1109/TGRS.2008.2010457.
- Boon, M. A., Greenfield, R., and Tesfamichael, S. (2016). Wetland assessment using unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry. doi:10.5194/isprsarchives-XLI-B1-781-2016.
- Borlaug, N. E. (2019). Applying Agricultural Science and Technology to World Hunger Problems. *Beef Cattle Science Handbook*, 20.
- Cai, G., Chen, B. M., and Lee, T. H. (2010). An overview on development of miniature unmanned rotorcraft systems. *Frontiers of Electrical and Electronic Engineering in China*, 5(1), 1-14. doi:10.1007/s11460-009-0065-3.
- Clevers, J. G and Kooistra, L. (2011). Using hyperspectral remote sensing data for retrieving total canopy chlorophyll and nitrogen content. In 2011 3rd Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS) (pp. 1-4). IEEE. doi: 10.1109/WHISPERS.2011.6080916.
- Datt, B., McVicar, T. R., Van Niel, T. G., Jupp, D. L., and Pearlman, J. S. (2003). Preprocessing EO-1 Hyperion hyperspectral data to support the application of agricultural indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(6), 1246-1259. doi: 10.1109/TGRS.2003.813206.
- Daughtry, C. S. T., Walthall, C. L., Kim, M. S., De Colstoun, E. B., and McMurtrey Iii, J. E. (2000). Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote sensing of Environment*, 74(2), 229-239.
- Demir, S. (2017). Haşhaş (Papaver Somniferum) Tarım Alanlarının Yüksek Çözünürlüklü Uydu Verileri ile Belirlenebilirliği Süleyman Demirel Üniversitesi Den Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 34 s.
- Demir, S. and Başayığıt, L. (2019). Determination of Opium Poppy (Papaver Somniferum) parcels using high-resolution satellite imagery. *Journal of the Indian society of remote sensing*, 47 (6), 977-987. doi:10.1007/s12524-019-00955-1.
- DJI, 2019. DJI drone üreticisi (Phantom Serisi), Hong Kong. <https://www.dji.com/support/product/phantom-4-pro> (Erişim tarihi: 20 Aralık 2019)
- Di Gennaro, S. F., Rizza, F., Badeck, F. W., Berton, A., Delbono, S., Gioli, B., ... and Matese, A. (2018). UAV-based high-throughput phenotyping to discriminate barley vigour with visible and near-infrared vegetation indices. *International journal of remote sensing*, 39(15-16), 5330-5344. doi:10.1080/01431161.2017.1395974.
- Do, D., Pham, F., Raheja, A., and Bhandari, S. (2018). Machine learning techniques for the assessment of citrus plant health using UAV-based digital images. In *Autonomous Air and Ground Sensing Systems for Agricultural Optimization and Phenotyping III* (Vol. 10664, p. 1066400). International Society for Optics and Photonics. doi:10.1117/12.2303989.
- ERDAS (1999). ERDAS IMAGINE 8.2. field guide. Erdas INC. Atlanta, Georgia.
- Farooq, M. S., Riaz, S., Abid, A., Abid, K., and Naeem, M. A. (2019). A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming. *IEEE Access*, 7, 156237-156271. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2949703.
- Gade, R and Moeslund, T. B. (2014). Thermal cameras and applications: a survey. *Machine vision and applications*, 25(1), 245-262. doi:10.1007/s00138-013-0570-5.
- Garcia-Ruiz, F., Sankaran, S., Maja, J. M., Lee, W. S., Rasmussen, J., and Ehsani, R. (2013). Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. *Computers and Electronics in Agriculture*, 91, 106-115.
- Gitelson, A. A., Stark, R., Grits, U., Rundquist, D., Kaufman, Y., and Derry, D. (2002). Vegetation and soil lines in visible spectral space: a concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. *International Journal of Remote Sensing*, 23(13), 2537-2562. doi:10.1080/01431160110107806.
- Gitelson, A and Merzlyak, M. N. (1994). Quantitative estimation of chlorophyll-a using reflectance spectra: Experiments with autumn chestnut and maple leaves. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 22(3), 247-252.
- Gómez-Candón, D., De Castro, A. I., and López-Granados, F. (2014). Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat. *Precision Agriculture*, 15(1), 44-56. doi:10.1007/s11119-013-9335-4.
- Grenzdörffer, G. J., Engel, A., and Teichert, B. (2008). The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 31(B3), 1207-1214.
- Harwin, S., and Lucieer, A. (2012). Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via multi-view stereopsis from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. *Remote Sensing*, 4(6), 1573-1599. doi:10.3390/rs4061573.
- Huang, Y., Reddy, K. N., Fletcher, R. S., and Pennington, D. (2018). UAV low-altitude remote sensing for precision weed management. *Weed technology*, 32(1), 2-6. doi:10.1017/wet.2017.89.
- Huete, A., Justice, C., and Van Leeuwen, W. (1999). MODIS vegetation index (MOD13). Algorithm theoretical basis document, 3, 213.
- Hunt, E. R., Daughtry, C. S. T., Eitel, J. U., and Long, D. S. (2011). Remote sensing leaf chlorophyll content using a visible band index. *Agronomy Journal*, 103(4), 1090-1099. doi:10.2134/agronj2010.0395.
- Hunt Jr, E. R., Doraiswamy, P. C., McMurtrey, J. E., Daughtry, C. S., Perry, E. M., and Akhmedov, B. (2013). A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 103-112.
- Jin, X., Liu, S., Baret, F., Hemerlé, M., and Comar, A. (2017). Estimates of plant density of wheat crops at emergence from very low altitude UAV imagery. *Remote Sensing of Environment*, 198, 105-114.
- Kallapur, A. G., and Anavatti, S. G. (2006). UAV linear and nonlinear estimation using extended Kalman filter. In 2006 International Conference on Computational Intelligence for Modelling Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents Web Technologies and International Commerce (CIMCA'06) (pp. 250-250). IEEE.
- Kavvadias, A., Psomiadis, E., Chanioti, M., Gala, E., and Michas, S. (2015). Precision Agriculture-Comparison and Evaluation of Innovative Very High Resolution (UAV) and LandSat Data. In *HAICTA* (pp. 376-386).
- Labliberte, A. S., Herrick, J. E., Rango, A., and Winters, C. (2010). Acquisition, orthorectification, and object-based classification of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for rangeland monitoring. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76(6), 661-672. doi:10.14358/PERS.76.6.661.
- Lelong, C., Burger, P., Jubelin, G., Roux, B., Labbé, S., and Baret, F. (2008). Assessment of unmanned aerial vehicles imagery for quantitative monitoring of wheat crop in small plots. *Sensors*, 8(5), 3557-3585. doi:10.3390/s8053557.
- Li, L., Zhang, Q., and Huang, D. (2014). A review of imaging techniques for plant phenotyping. *Sensors*, 14(11), 20078-20111. doi:10.3390/s141120078.
- Mäkynen, J., Saari, H., Holmlund, C., Mannila, R., and Antila, T. (2012). Multi- and hyperspectral UAV imaging system for forest and agriculture applications. In *Next-Generation Spectroscopic Technologies V* (Vol. 8374, p. 837409). International Society for Optics and Photonics. doi:10.1117/12.918571.
- Malenovský, Z., Lucieer, A., King, D. H., Turnbull, J. D., and Robinson, S. A. (2017). Unmanned aircraft system advances health mapping of fragile polar vegetation. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(12), 1842-1857. doi:10.1111/2041-210X.12833.
- Mckinnon, T., and Hoff, P. (2017). Comparing RGB-based vegetation indices with NDVI for drone based agricultural sensing. *Agribotix*. Com, 1-8.
- MGM, 2019. Türkiye İklim İstatistikleri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ISPARTA> (Erişim tarihi: 15.12.2019)
- Neitzel, F., and Klonowski, J. (2011). Mobile 3D mapping with a low-cost UAV system. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci*, 38, 1-6.

- Norasma, C. Y. N., Fadzilah, M. A., Roslin, N. A., Zanariah, Z. W. N., Tarmidi, Z., and Candra, F. S. (2019). Unmanned Aerial Vehicle Applications In Agriculture. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 506, No. 1, p. 012063). IOP Publishing.
- Ojha, T., Misra, S., and Raghuvanshi, N. S. (2015). Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 66-84.
- Pádua, L., Marques, P., Adão, T., Guimarães, N., Sousa, A., Peres, E., and Sousa, J. J. (2019). Vineyard Variability Analysis through UAV-Based Vigour Maps to Assess Climate Change Impacts. *Agronomy*, 9(10), 581. doi:10.3390/agronomy9100581.
- Panagiotidis, D., Abdollahnejad, A., Surový, P., and Kuželka, K. (2019). Detection of fallen logs from high-resolution UAV Images. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 49. doi:10.33494/nzjfs492019x26x.
- Peppas, M. V., Hall, J., Goodyear, J., and Mills, J. P. (2019). Photogrammetric assessment and comparison of DJI Phantom 4 pro and phantom 4 RTK small unmanned aircraft systems. *ISPRS Geospatial Week 2019*. doi:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-503-2019.
- Pimstein, A., Karnieli, A., Bansal, S. K., and Bonfil, D. J. (2011). Exploring remotely sensed technologies for monitoring wheat potassium and phosphorus using field spectroscopy. *Field Crops Research*, 121(1), 125-135.
- Raeva, P. L., Šedina, J., and Dlesk, A. (2019). Monitoring of crop fields using multispectral and thermal imagery from UAV. *European Journal of Remote Sensing*, 52(sup1), 192-201. doi:10.1080/22797254.2018.1527661.
- Rango, A., Laliberte, A., Herrick, J. E., Winters, C., Havstad, K., Steele, C., and Browning, D. (2009). Unmanned aerial vehicle-based remote sensing for rangeland assessment, monitoring, and management. *Journal of Applied Remote Sensing*, 3(1), 033542. doi:10.1117/1.3216822.
- Ray, P. P. (2017). Internet of things for smart agriculture: Technologies, practices and future direction. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 9(4), 395-420. doi:10.3233/AIS-170440.
- Rock, G., Ries, J. B., and Udelhoven, T. (2011). Sensitivity analysis of UAV-photogrammetry for creating digital elevation models (DEM). In *Proceedings of Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics*. Switzerland: Zurich.
- Rokhmana, C. A. (2015). The potential of UAV-based remote sensing for supporting precision agriculture in Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 24, 245-253. doi:10.1016/j.proenv.2015.03.032
- Rouse Jr, J., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Scientific and Technical Information Office, National Aeronautics and Space Administration*.
- Rufino, G., and Moccia, A. (2005). Integrated VIS-NIR hyperspectral/thermal-IR electro-optical payload system for a mini-UAV. In *Infotech@ Aerospace* (p. 7009).
- Sabtu, N. M., Idris, N. H., and Ishak, M. H. I. (2018, June). The role of geospatial in plant pests and diseases: an overview. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 169, No. 1, p. 012013). IOP Publishing, Washington D.C.
- Sentera, 2019. Sentera sensör üreticisi (Double 4K Multispektral Tarım Sensör), ABD. <https://sentera.com/introducing-multispectral-double-4k-sensor/> (Erişim tarihi: 20 Aralık 2019)
- Senthilnath, J., Kandukuri, M., Dokania, A., and Ramesh, K. N. (2017). Application of UAV imaging platform for vegetation analysis based on spectral-spatial methods. *Computers and Electronics in Agriculture*, 140, 8-24.
- Shamshiri, R. R., Hameed, I. A., Balasundram, S. K., Ahmad, D., Weltzien, C., and Yamin, M. (2018). *Fundamental research on unmanned aerial vehicles to support precision agriculture in oil palm plantations*. Agricultural Robots-Fundamentals and Application. Croatia. London.
- Simic Milas, A., Romanko, M., Reil, P., Abeyinghe, T., and Marambe, A. (2018). The importance of leaf area index in mapping chlorophyll content of corn under different agricultural treatments using UAV images. *International journal of remote sensing*, 39(15-16), 5415-5431. doi:10.1080/01431161.2018.1455244.
- Solaiman, S., and Salaheen, S. (2019). Future of Organic Farming: Bringing Technological Marvels to the Field. In *Safety and Practice for Organic Food* (pp. 291-303). Academic Press.
- Stroppiana, D., Villa, P., Sona, G., Ronchetti, G., Candiani, G., Pepe, M., ... and Boschetti, M. (2018). Early season weed mapping in rice crops using multi-spectral UAV data. *International journal of remote sensing*, 39(15-16), 5432-5452. doi:10.1080/01431161.2018.1455244.
- Thenkabail, P. S., Lyon, J. G., and Huete, A. (2018). *Advanced Applications in Remote Sensing of Agricultural Crops and Natural Vegetation*. CRC Press. doi:10.1201/9780429431166.
- Tripicchio, P., Satler, M., Dabisias, G., Ruffaldi, E., and Avizzano, C. A. (2015). Towards smart farming and sustainable agriculture with drones. In *2015 International Conference on Intelligent Environments* (pp. 140-143). IEEE. doi: 10.1109/IE.2015.29.
- Trout, T. J., and DeJonge, K. C. (2017). Water productivity of maize in the US high plains. *Irrigation Science*, 35(3), 251-266. doi:10.1007/s00271-017-0540-1.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, 8(2), 127-150. United States. Maryland.
- Turner, D., Lucieer, A., Malenovsky, Z., King, D., and Robinson, S. (2014). Spatial co-registration of ultra-high resolution visible, multispectral and thermal images acquired with a micro-UAV over Antarctic moss beds. *Remote Sensing*, 6(5), 4003-4024. doi:10.3390/rs6054003.
- Vanegas, F., Bratanov, D., Powell, K., Weiss, J., and Gonzalez, F. (2018). A novel methodology for improving plant pest surveillance in vineyards and crops using UAV-based hyperspectral and spatial data. *Sensors*, 18(1), 260. doi:10.3390/s18010260.
- Wahab, I., Hall, O., and Jirström, M. (2018). Remote Sensing of Yields: Application of UAV Imagery-Derived NDVI for Estimating Maize Vigor and Yields in Complex Farming Systems in Sub-Saharan Africa. *Drones*, 2(3), 28. doi:10.3390/drones2030028.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., and Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming—a review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.
- 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.
- Wu, J., Oueslati, W., and Li, M. (2019). Policy Options for Efficient Agricultural Land Management. *Global Challenges For Future Food And Agricultural Policies*, 1, 153.
- Xiongkui, H., Bonds, J., Herbst, A., and Langenakens, J. (2017). Recent development of unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(3), 18-30. doi: 10.3965/j.ijabe.20171003.3248.
- Zhang, C., and Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision agriculture*, 13(6), 693-712. doi:10.1007/s11119-012-9274-5.