

Article Arrival Date**16.08.2021****Article Type****Research Article****Article Published Date****20.09.2021****Doi Number:** <http://dx.doi.org/10.38063/ejons.624>**İNSANSIZ HAVA ARACI TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK AYÇİÇEĞİ (*HELIANTHUS ANNUUS*) BİTKİSİNİN KLOROFİL İÇERİKLERİNİN TAHMİN EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI****Elif GÜNAL***

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü,

ORCID:0000-0003-0624-2919

Orhan Mete KILIÇ

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

ORCID: 0000-0002-6723-1984

Şaziye DÖKÜLEN

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Tokat/Türkiye,

ORCID: 0000-0003-2767-7604

ÖZET

İnsansız hava araçlarına (İHA) monte edilen multispektral kameralar ile elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntüler tarımsal izleme faaliyetleri için önemli bir potansiyel sunar. Klorofil içeriği ayçiçeği bitkisinin büyüme durumunun takip edilmesinde önemli parametrelerden bir tanesidir. Bu çalışmada da, ayçiçek (*Helianthus annuus*) bitkisinin klorofil içeriklerinin uzaysal ve zamansal olarak izlenebilmesi için İHA'ların potansiyelinin test edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla İHA'dan alınan multispektral görüntülerden elde edilen klorofil ve vejetasyon indeksleri SPAD metre ile belirlenen klorofil ölçüm noktaları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda hesaplanan indeksler ile klorofil değerleri arasında %99 önem seviyesinde korelasyonlar tespit edilmiştir. Çok değişkenli linear regresyon modeli kullanılarak ayçiçeklerinin klorofil içerikleri $p < 0,001$ seviyesinde modellenmiştir. Elde edilen model ayçiçeklerinin klorofil varyasyonunun %28'ini ($R_{Adj}^2 = 0.28$) açıklayabilmiştir. Bu sonuçlar SPAD ölçüm sonuçları ile İHA görüntülerinin arasında geliştirilen modellerin sahadaki varyasyonu açıklamada yüksek önem seviyesinde başarılı olduğunu fakat çoğu varyasyonun yeterince başarılı açıklanamadığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Ayçiçeği, İHA, Spad metre, Tahmin, Bitki indeksi**ESTIMATING CHLOROPHYLL CONTENTS OF SUNFLOWER (*HELIANTHUS ANNUUS*) PLANTS USING UNMANNED AERIAL VEHICLE TECHNOLOGY****Abstract**

High-resolution images obtained with multispectral cameras mounted on unmanned aerial vehicles (UAVs) offer significant potential for agricultural monitoring activities. Chlorophyll content is one of the important parameters in monitoring the growing periods of sunflower plants. In this study, the potential of UAV technology to monitor spatial and temporal changes of sunflower (*Helianthus annuus*) chlorophyll content was tested. Chlorophyll and vegetation indices calculated using multispectral images taken from the UAV were compared with field chlorophyll measurements using a Spad meter. Significant ($p < 0.01$) high correlations were obtained between the calculated indices and chlorophyll values. The results revealed that the chlorophyll content of sunflower plants can reliably be modeled at $p < 0.001$ significance level using a multivariate linear regression model. The model obtained could successfully explain 28% $R_{Adj}^2 = 0.28$ of the variation in chlorophyll content of sunflowers. The results showed that the models developed between Spad measurement and UAV

images were successful in explaining the variation at a high level of importance. However, although statistically significant, the indices produced in the study could only explained 28% of the variation in chlorophyll content of sunflower plants.

Keywords: Sunflower, UAV, Spad meter, Estimation, Vegetation indices

1.GİRİŞ

Havadan anlık görüntü almada insansız hava araçları (İHA) kullanımının sağladığı fayda ve İHA teknolojisindeki sürekli gelişim, yere özgü uygulamaların yer aldığı hassas tarıma olan ilgiyi de arttırmaktadır (Singh ve ark., 2020). Yüksek çözünürlüklü verilere hızlı erişimin olması, İHA tabanlı uzaktan algılamanın en önemli üstünlüğüdür. İnsansız hava araçları, ürün izleme ve verim tahmini gibi tarımsal uygulamalarda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Buna ilaveten, İHA tabanlı uzaktan algılama teknikleri kullanılarak elde edilen yakın kızılötesi (NIR) görüntüler, su ve gübre eksikliği, hastalıklardan kaynaklanan ürün performansları ve stresleri ve bitkilerde su ve tuz gibi streslerin tespiti de kullanılmaktadır (Franke ve ark., 2008).

Ürünlerin izlemesinde İHA'ların kullanılması, önceki yöntemlere kıyasla tarla verilerinin daha kolay, hızlı ve uygun maliyetle elde edilmesini mümkün kılmıştır (Tsouros ve ark., 2019). Dijital görüntülerden ürünler hakkında bilgi edinmede kullanılan en yaygın ve basit yöntemlerden biri, hesaplanan bitki örtüsü indekslerinin kullanılmasıdır. Bitki örtüsü indeksleri, farklı dalga boylarında yansıyan ışığın hesaplamaları ile ilişkili olup, farklı bitki örtüsü indeksleri bitki örtülerine ait çeşitli özellikleri tanımlamada kullanılmaktadır (Li ve ark., 2014). Bitki indeksleri, elektromanyetik spektrumun en az iki spektral bandının farklı matematiksel kombinasyonlarını veya dönüşümlerini kullanmaktadır. Bu indeksler aynı zamanda dış faktörleri etkilerini en aza indirirken bitki özelliklerinin katkısını en üst düzeye çıkarmak için tasarlanmıştır (Tsouros ve ark., 2019). Hesaplamalarda kullanılan farklı spektral dalga bantları, farklı spektral çözünürlükler ve farklı aritmetik hesaplama formüllerinin kullanımı nedeniyle bitki örtüsü indeksleri birbirlerinden önemli düzeyde farklılık gösterebilmektedir (Rasmussen ve ark., 2016).

692

Bitki indekslerinin temel mantığı, dış etkenlerden (ör. sensör kalibrasyonu, aydınlatma, atmosfer, toprak özellikleri vb.) kaynaklanan “gürültüyü” azaltmak için farklı bantların yansımalarının birleştirilmesidir. Örneğin, kırmızıya gelen görünür radyasyon klorofil tarafından emilirken, yakın kızıl ötesi bandındaki radyasyon güçlü bir şekilde yansıtılır. Bu şekilde, görüntüdeki bitki örtüsü ile toprak kolaylıkla ayırt edilebilir. Aynı şekilde, sağlıklı ve sağlıklı bitki örtüsünün de tespit edilmesi mümkün olmaktadır (Tsouros ve ark., 2019). Son yıllarda İHA görüntüleri ile hesaplanan bitki örtüsü indeksleri kullanılarak, tahıllardaki yaprak örtüsünün haritalanması (Wilke ve ark., 2021; Torres-Sánchez ve ark., 2014), tahıllardaki klorofil içeriği (Chaudhary ve ark., 2021; Wan ve ark., 2020), yabancı otların tespiti (Che'Ya ve ark., 2021; Torres-Sánchez ve ark., 2013), bitki hastalıkları (Abdulridha ve ark., 2020; Garcia-Ruiz ve ark., 2013) gibi konularda çalışmalar yapılmıştır.

İnsansız hava araçları, bitki örtüsünün büyümesini izlemek ve verimle ilgili tahminde bulunmak için sıklıkla kullanılmaktadır (Feng ve ark., 2019; Tirado ve ark., 2020). Bitkisel üretimde bitki gelişiminin ilerlemesini sistematik olarak izleme araçlarının olmaması, tarımsal verimliliğin ve kalitenin artırılmasının önündeki en büyük engellerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu kapsamda, İHA'lar kullanılarak arazide yetiştiriciliği yapılan ürünler hakkında düzenli olarak veri toplanması ve görselleştirilmesi, bitkinin büyümesini ve tarlaya ait çeşitli parametrelerin değişkenliğini izlemek adına önemli fırsatlar sağlamaktadır (Tsouros ve ark., 2019).

Yaprak klorofil ölçerler gibi araçlarla yaprak klorofil içeriğinin tahmin edilmesi mahsullere uygulanan azotlu gübre miktarını yönetmek için kullanılabilir (Varvel ve ark., 2007). Mahsul kanopilerindeki klorofil içeriğinin uzaktan algılanması, bitki örnekleme için düşük maliyetli bir alternatif sağlamaya yardımcı olabilir (Hatfield ve ark., 2008). Bu çalışmanın amacı da, İHA

teknolojisi ile üretilen bitki ve klorofil indeksleri kullanılarak, ayçiçeği bitkisinin klorofil içeriğinin tahmin edilebilirliğinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, bir tarla denemesinde arazide Spad metre ile ölçülen değerler, üretilen bitki ve klorofil içerikleri ile karşılaştırılmış ve üretilen modeller ile tahminler yapılmıştır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Deneme Sahası ve Klorofil Ölçümü

Araştırma sahasının parselleri Nisan 2021 tarihinde düzenlenmiş ve ayçiçeği tohumları 28 Nisan 2021 tarihinde ekilmiştir. Ekim parselleri Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi deneme arazisinde $36^{\circ}28'049''$ - $36^{\circ}28'242''$ D ile $40^{\circ}19'221''$ - $40^{\circ}19'394''$ K enlem ve boylamlarında bulunmaktadır ve deneme planı Şekil 1 de verilmiştir. Deney parselleri iki farklı dikim sıklığında (75x30cm ve 45x30cm) 3 tekerrür olacak şekilde belirlenmiş ve toplam 6 parselde ekim yapılmıştır. Parsel sıralarına ise 22 farklı çeşit yağlık ayçiçeği tohumu ekilmiştir. Her parsellerin başında ve sonunda birer sıra kenar tesiri (tunca çeşit) ekimi yapılmış ve ardından her çeşit 2 sıra olacak şekilde sıraya 40 tohum ekimi yapılmıştır. Ekimle birlikte dekara 6 kg 15/15/15 NPK gübresi, tabla oluşum başlangıcında da 6 kg/da üst gübre olarak üre verilmiştir. Bitkilerin klorofil içerikleri SPAD metre (Konika Minolta, SPAD-502) kullanılarak ölçülmüştür. Parseller üzerinde SPAD ile ölçümler P64LE119, SY Granit ve Tunca çeşitlerinden alınmıştır. SPAD ölçümleri ayçiçeklerinin çiçeklenme döneminde, yetiştirme periyodunun 76. günün de üst 3 yapraklarından toplanmış ve ortalaması alınarak bitkinin SPAD değeri kayıt edilmiştir. Her çeşitten 4 adet ölçüm alınarak toplam 72 adet noktadan SPAD ölçümleri ve noktaların koordinatları hassas GNSS kinematik GPS ile kayıt edilmiştir. Kayıt edilen SPAD ölçüm verileri spektral indekslerin karşılaştırılmasında kullanılmıştır.



Şekil 1. Deneme Parselleri ve İHA ile üretilen Ortofoto

2.2. İHA Multispektral Görüntü Verisi Toplama

İHA platformu olarak DJI Phantom 4 RTK Multispectral kullanılmıştır. İHA görüntülemesi 13 Temmuz 2021 tarihinde spad ölçümleri ile aynı gün de, saat 11.30-12.20 arasında açık ve güneşli bir havada yapılmıştır. Görüntüleme de kullanılan uçuş planında uçuş yüksekliği 25 m ve uçuş hızı 5 m/sn dir. İHA kamerası özellikleri 2.12 MP, f/2,2 ve odak uzaklığı 5.74 mm dir. Görüntülemeye yan örtüş %70, ön örtüş ise %80 olarak ayarlanmıştır. Elde edilen görüntülerin çözünürlüğü 1,3 cm/px dir.. Drone üzerinde bulunan güneş ışığı sensörü, çekim boyunca güneş ışığı miktarını toplayarak görüntülerde ki yansıma değerlerinin düzenlenmesine yardımcı olmaktadır. Bütün parsellerin görüntülenmesinde 133 durak noktası kullanılmıştır. Drone üzerinde gerçek zamanlı kinematik (RTK) GPS bulunması ve ayrıca GNSS istasyonu ile beraber koordinat toplamasından dolayı yer kontrol noktalarına ihtiyaç bulunmamaktadır (Xu ve ark., 2021). Elde edilen görüntülerin yatayda ve düşeyde sapma miktarı 0.1 m olarak belirlenmiştir. Elde edilen görüntüler Pix4D Mapper yazılımında yansıma değerlerinin kalibrasyonu güneş açısı ve güneş ışığı miktarları kullanılarak belirlenmiştir ardından sahanın ortofotosu üretilmiştir. Yansıma değerleri belirlenen görüntülerden vejetasyon ve klorofil indeksleri ArcGIS 10.5 yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan vejetasyon ve klorofil indekslerinin eşitlikleri Tablo 1 de verilmiştir. Ayrıca görüntülerin Red (Kırmızı-650 nm), Green (Yeşil-560 nm), Blue (Mavi-450 nm), Red-Edge (Kırmızı Kenar-730 nm) and NIR (Kızılötesi-840 nm) dalga boylarındaki yansıma değerleride indekslerle beraber değerlendirmeye alınmıştır.

Tablo 1. Çalışma da kullanılan spektral vejetasyon ve klorofil indeks eşitlikleri ve referansları.

Spektral İndeksler	Eşitlik	Referans
Normalize edilmiş fark vejetasyon indeksi (NDVI)	$NDVI = (Nir - Red) / (Nir + Red)$	Tucker (1979)
Klorofil İndeks Kırmızı Kenar (CI-RE)	$CI-RE = (Nir / Red_{edge}) - 1$	Gitelson et al. (2003)
Klorofil İndeks Yeşil (CI-G)	$CI-G = (Nir / Green) - 1$	Gitelson et al. (2003)
Normalize edilmiş fark Kırmızı Kenar İndeksi (NDRE)	$NDRE = (Nir - Red_{edge}) / (Nir + Red_{edge})$	Gitelson and Merzlyak (1994)
Normalize Edilmiş Yeşil Kırmızı Fark İndeksi (NGRDI)	$NGRDI = (Green - Red) / (Green + Red)$	Tucker (1979)

2.3. İstatiksel Analizler ve Model Oluşturma

Ayçiçeği bitkilerinin klorofil içeriklerinin İHA görüntüleri ile belirlenebilme potansiyelinin araştırılması için korelasyon ve linear regresyon model yöntemleri kullanılmıştır. Lineer model yaklaşımlarda bir adet bağımlı değişken ile bir veya birkaç tane bağımsız açıklayıcı değişken bulunmaktadır. Araştırma da Spad ölçüm değerleri bağımlı değişken, iha görüntülerinin bandları ve geliştirilen spektral indekslerde bağımsız (açıklayıcı) değişken olarak analize tutulmuştur. Bağımlı değişkenlerin normal dağılım özelliği göstermesi gerektiğinden klorofil ölçüm sonuçlarının normal dağılım gösterip göstermediği Kolmogrov-Smirnov normallik testi ile ölçülmüştür. Önem derecesinin 0.213 çıkması verilerin normal dağılım sergilediğine işaret etmektedir. Öncelikle Pearson korelasyon analizi ile veriler arasındaki ilişkiler test edilmiş ve ardından çok değişkenli regresyon modelleri kullanılarak ayçiçeği klorofil içerikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Model de kullanılacak verilerin çoklu doğrusal bağıntı gösterip göstermediği VIF (Varyans artış faktörü) kullanılarak belirlenmiş ve VIF değeri 3'den küçük olan bağımsız değişkenler modellemeye alınmıştır. Üretilen modellerin

güvenirliği R_{Adj}^2 değerleri ve artık dağılım grafikleri kullanılarak test edilmiştir. Tüm İstatistiksel analizlerin hesaplanmasında SPSS 22 yazılımı kullanılmıştır.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Deneme parsellerinde SPAD metre ile 72 adet bitkiden ölçülen değerlerin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 2 de verilmiştir. Tanımlayıcı istatistik sonuçlarına göre spad metre ölçümleri minimum 34,5, maksimum 45,6 SPAD birimini almıştır. Ölçümlerin ortalaması ise 39,27 SPAD birimi olarak belirlenmiştir. Çarpıklık ve basıklık değerleri incelendiğinde elde edilen 0,32 çarpıklık değeri verilerin normal dağılıma sahip olduğunu göstermektedir.

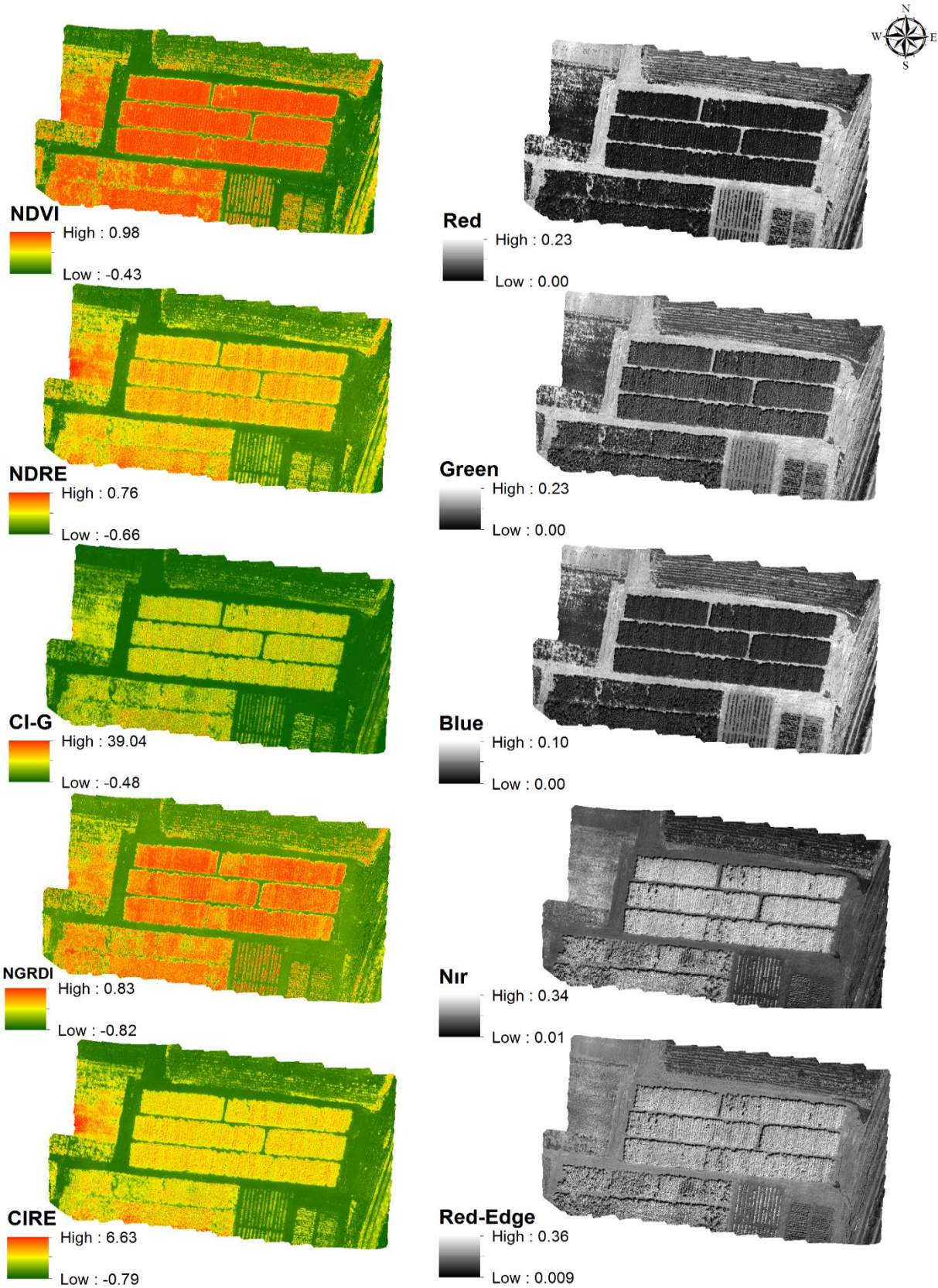
Tablo 2. SPAD metre ile ölçülen Ayçiçeği Klorofil verilerinin tanımlayıcı istatistik özeti

Tanımlayıcı İstatistik							
N	Min	Maks	Ortalama	Std. Hata	Varyans	Çarpıklık	Basıklık
72	34.5	45.6	39.27	3.05	9.23	0.324	-0.425

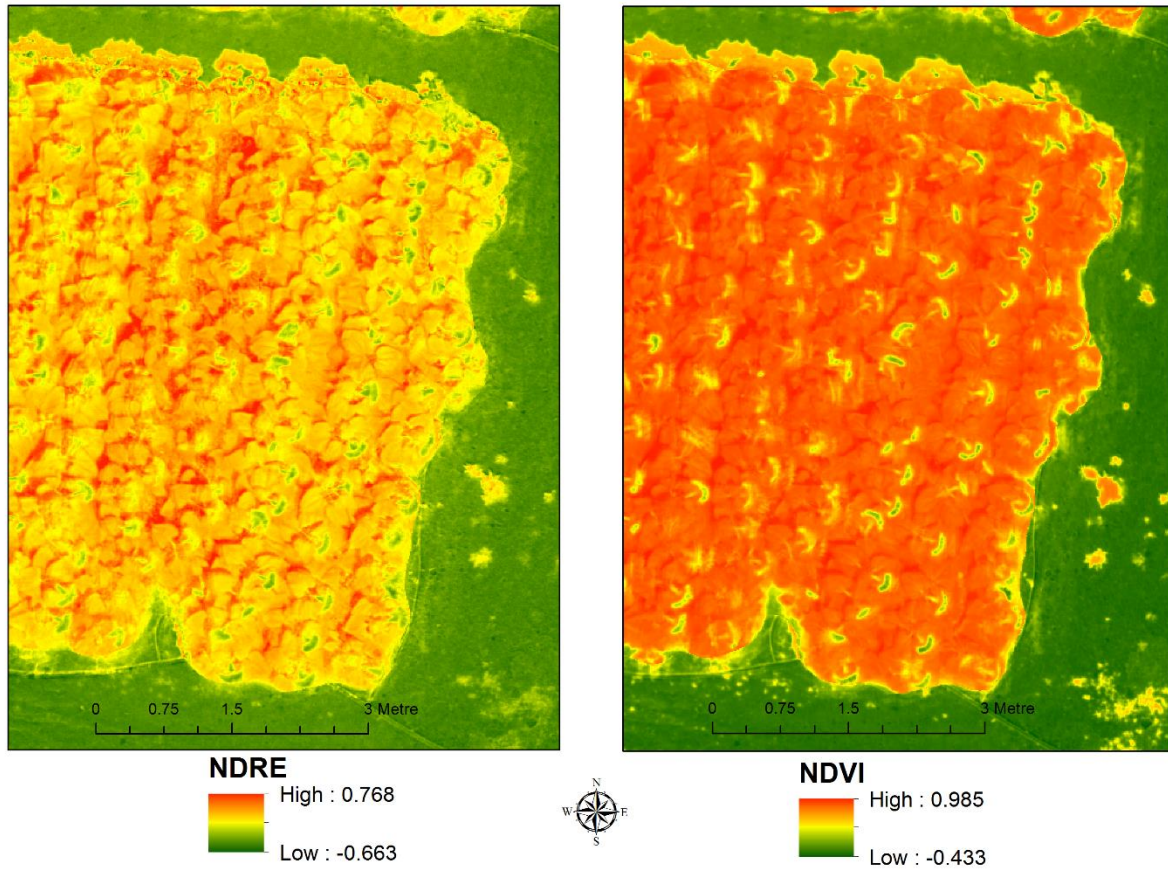
İHA ile elde edilen görüntülerin multispektral bandları ve geliştirilen spektral vejetasyon ve klorofil indeks haritaları Şekil 2 de verilmiştir. Vejetasyon indeksleri NDVI, NDRE ve NGRDI, spektral klorofil indeksleri CI-RE ve CI-G indeksleridir. Vejetasyon indekslerin +1 ile -1 arasında değişen değerler almaktadır ve bu değer +1'e yaklaştıkça vejetasyonun sağlıklı ve güçlü olduğu anlaşılmaktadır (Doğan ve ark. 2014). Hazırlanan vejetasyon indekslerinin haritaları ayçiçeği parsellerinin bulunduğu alanlarda yüksek değerler alırken, çıplak toprak yüzeyi olan alanlarda ise Tucker, (1979)' nda bildirdiği gibi düşük değerler ve hatta negatif değerler aldığı görülmektedir. Klorofil indekslerinden CI-G indeksinin CI-RE indeksinden daha yüksek değerler aldığı görülmüştür. Bu indekslerinde vejetasyon indeksleri gibi deneme parsellerinin bulunduğu ayçiçeği alanlarında yüksek değerler alırken çıplak toprak yüzeylerinde düşük değerler almıştır. Jorge ve ark., (2019) birçok avantajına rağmen NDVI indeksinin mahsullerdeki anormallikleri tespit etmek için her zaman en doğru indeks olmadığını ileri sürmektedir. Araştırmacılar, özellikle kırmızı ve NIR bantları arasında ki kırmızı kenar bandı (RED-Edge) olarak bilinen yansıma aralığındaki ayrıntılı verilerin bitki örtüsü özelliklerindeki değişikliklere karşı çok hassas olduğunu ileri sürmektedir. Bir geçiş bölgesi olan kırmızı kenar konumu, kırmızı bantta klorofil tarafından absorpsiyon ile NIR bandındaki yaprak iç yapısından kaynaklanan saçılma arasındaki sınırı işaret etmektedir. Kırmızı kenar bandındaki bu hassasiyet araştırmacılar tarafından kolaylıkla vejetasyon takibine imkan vermektedir. Pinar ve Curran (1996)' araştırmalarında kırmızı kenar yansıma avantajından yararlanarak yaprakların klorofil içeriğini başarılı bir şekilde tahmin etmişlerdir. Şekil 3'deki deneme parsellerinden elde görüntülerden oluşturulan vejetasyon indeksleri ayrıntılı incelendiğinde NDRE indeksinin gerçekten de NDVI indeksinden daha ayrıntılı olarak yaprak ayrımlarını ve vejetasyon arasındaki yansıma farklılıklarını daha keskin verdiği görülmüştür.

Ayçiçeği bitkisinin SPAD metre ile elde edilen klorofil sonuçları ile bağımsız değişkenler arasında elde edilen korelasyon katsayıları Tablo 3 de verilmiştir. Değişkenler arasında $p:0.01$ ve $p:0.05$ önem seviyesinde korelasyon bulunmuştur. En yüksek korelasyon Klorofil ve NGRDI indeksi arasında hesaplanmıştır. $p = 0.01$ önem seviyesinde -0.44 hesaplanmıştır ki bu değer klorofil ile NGRDI arasında negatif ilişkinin olduğunu göstermektedir. Bu indeksin ardından CI-RE, NDRE indeksleri ve Red-Edge bandında da $p=0.01$ önem seviyesinde sırasıyla 0.41, 0.41, -0.31 korelasyonlar bulunmuştur. $p=0.05$ önem seviyesinde ise sadece yeşil dalga boyunda -0.24 korelasyon hesaplanmıştır. Diğer değişkenler ile klorofil ölçüm sonuçları arasında önemli ilişkiler belirlenememiştir. Araştırma bulgularımız araştırma da kullanılan vejetasyon ve klorofil indeksleri arasında klorofil içeriğini tahmin etmek için en başarılı indeksin NGRDI indeksi olduğunu

göstermektedir. Jannoura ve ark., (2015) İHA ile bezelye ve yulaf bitkilerinin gelişimini vejetasyon indeksleri ile takip ettiği araştırmasında en başarılı indeksin NGRDI indeksi olduğunu ayrıca NGRDI değerlerinin, biyokütle tahmini için uygun maliyetli bir araç olduğunu ve sahaya özgü tarımsal karar verme için verim değişim haritalarının oluşturulmasında faydalanabileceğini bildirmektedir.



Şekil 2. İHA görüntülerinden geliştirilen indeksler ve çoklu spektral bandların yansıma haritaları



Şekil 3. NDRE ve NDVI indeksinin hassasiyetlerinin karşılaştırılması.

Tablo 3. Klorofil Ölçümleri ile Spektral İndeksler ve Bandlar Arasındaki korelasyon katsayıları

Korelasyon Katsayıları										
	Klorofil	NGRDI	CIRE	CIG	NDRE	NDVI	RED EDGE	RED	NIR	GREEN
Klorofil	1									
NGRDI	-0.44**	1								
CI-RE	0.41**	-0.26*	1							
CI-G	0.18	0.05	.792**	1						
NDRE	0.41**	-0.27*	1.00**	.794**	1					
NDVI	-0.09	0.62**	0.47**	.808**	.469**	1				
RED- EDGE	-0.31**	0.04	-0.52**	-.466**	-.525**	-.337**	1			
RED	0.04	-0.59**	-0.40**	-.719**	-.407**	-.911**	.643**	1		
NIR	-0.16	-0.12	0.01	-0.051	0.008	-0.105	.847**	.503**	1	
GREEN	-0.24*	-0.09	-0.67**	-.859**	-.677**	-.730**	.821**	.855**	.538**	1
BLUE	0.04	-0.53**	-0.35**	-.620**	-.349**	-.781**	.684**	.919**	.588**	.800**

Ayçiçeği klorofil içeriklerinin İHA veri seti ile belirlenebilmesi için değişkenler arasında yüksek korelasyonların bulunması gerekmektedir. Elde edilen düşük korelasyonlar ile tek değişkenli linear regresyon analizlerinin yerine çok değişkenli lineer regresyon analizi kullanılarak modellerin

açıklayıcılığının daha yüksek olması sağlanmıştır (Kalaycı, 2010). Çok değişkenli regresyon analizinde bağımsız değişkenler arasındaki çoklu doğrusallık korelasyon katsayıları ve VIF değerleri ile kontrol edilmiştir. Önem seviyesi ve korelasyonu yüksek olan NGRDI, CI-RE ve Red-Edge değişkenlerinin kendi aralarında düşük korelasyon sergilemesi ve sırasıyla VIF değerlerinin 1.09, 1.49 ve 1.39 çıkması değişkenler arasında çoklu doğrusallık probleminin olmadığını göstermiştir. Bu bakımdan çok değişkenli model için bu üç parametre bağımsız değişken olarak analize alınmıştır. Çok değişkenli regresyon analizi sonucunda elde edilen modelin denklemi Eşitlik 1’de, model özeti ile ANOVA analiz sonucu da Tablo 4 ve Tablo 5 de verilmiştir. Model özeti Red-Edge, NGRDI ve CI-RE değişkenleri ile ayçiçeği spad ölçümleri arasında $r:0.56$ oranında ilişki olduğunu göstermektedir. Bu durum çok değişkenli regresyonun modelin açıklayıcılığını artırdığını göstermiştir. Çok değişkenli regresyon analizlerinde modellerin başarı ölçütü Düzeltilmiş R^2 değerleri ile belirlendiğinden modelin başarısı düşük bulunmuştur ($R^2_{Adj} = 0.28$). Fakat anova tablosunun önem derecesi $p < 0.001$ olarak çıkması elde edilen modelin başarılı çalıştığını ve sahadaki varyasyonun % 28 ini sağlıklı açıklayabildiğini göstermektedir. Üretilen modelin Kalıntı dağılım grafiği de incelendiğinde artıkların gelişi güzel dağılım sergilemesi modelin anlamlı olduğuna işaret etmektedir (Şekil 3).

$$\text{Klorofil} = 51,95 - 31,28(\text{NGRDI}) + 12,30(\text{CI-RE}) - 37,39(\text{Red-Edge}) \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Tablo 4. Çok Değişkenli Regresyon Modeli Özeti

Model Özeti				
Model	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahminin Standart Hatası
1	0.56	0.31	0.28	2.59

Tablo 5. Varyans analizi tablosu

Model	Kareler Toplamı	Df	Ortalama kare	F	Önem derecesi
Regresyon	206.331	3	68.777	10.26	0,000
Artık	455.804	68	6.703		
Toplam	662.135	71			



Şekil 3. Regresyon kalıntı dağılım grafiği

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, ayçiçeklerinin klorofil içeriklerinin İnsansız Hava Araçları ile tahmin edilebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla ayçiçeklerinden alınan spad ölçüm sonuçları ile İHA 'dan elde edilen görüntüler arasında linear regresyon eşitlikleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Görüntüler üzerinden geliştirilen klorofil ve vejetasyon indeksleri arasında en yüksek korelasyon NGRDI indeksinde hesaplanmıştır (-0.44). Elde edilen korelasyon ayçiçeğinin klorofil içeriğini modellemede yeterli görülmediğinden NGRDI, CI-RE ve Red-Edge yansımaları ile çok değişkenli regresyon analizi denenmiş ve $p < 0.001$ seviyesinde anlamlı bir model üretilmiştir. Geliştirilen model araştırma sahasında ki ayçiçeklerindeki klorofil içeriğindeki varyasyonun yalnızca %28 ini açıklayabilmiştir. Ayrıca çalışma ile üretilen vejetasyon indeksleri incelendiğinde kırmızı kenar (Red-Edge) bandlarının vejetasyon izleme ve haritalama çalışmalarında daha avantajlı olduğunu göstermiştir. Sonuçlar tarımsal izleme de İHA'lardan alınan görüntülerin bitkilerin fizyolojik ve kimyasal özelliklerinin tespitinde hızlı ve güvenli bilgi alma araçları olabileceğini göstermektedir. Çalışmanın bir sonraki aşamasında farklı dönemlerde ve laboratuvar ortamında belirlenen yersel biyokimyasal ve biyofiziksel ölçümlerle bu gibi çalışmaların daha başarılı sonuçlar vermesi düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Abdulridha, J., Ampatzidis, Y., Roberts, P., & Kakarla, S. C. (2020). Detecting powdery mildew disease in squash at different stages using UAV-based hyperspectral imaging and artificial intelligence. *Biosystems Engineering*, 197, 135-148.
- Che'Ya, N. N., Dunwoody, E., & Gupta, M. (2021). Assessment of Weed Classification Using Hyperspectral Reflectance and Optimal Multispectral UAV Imagery. *Agronomy*, 11(7), 1435.
- Choudhary, S. S., Biswal, S., Saha, R., & Chatterjee, C. (2021). A non-destructive approach for assessment of nitrogen status of wheat crop using unmanned aerial vehicle equipped with RGB camera. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(17), 1-15.
- Doğan, H. M., Kılıç, O. M., & Yılmaz, D. S. (2014). Tokat ili bitki yoğunluk sınıflarının LANDSAT-7 ETM+ uydu görüntüleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile araştırılması. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 31 (1), 47-53. doi:10.13002/jafag686.
- Feng, A., Zhang, M., Sudduth, K. A., Vories, E. D., & Zhou, J. (2019). Cotton yield estimation from UAV-based plant height. *Transactions of the ASABE*, 62(2), 393-404.
- Franke, J., Mewes, T., & Menz, G. (2008). Airborne hyperspectral imaging for the detection of powdery mildew in wheat. In Proceedings of SPIE 7086, *Imaging Spectrometry XIII*, doi: 10.1117/12.795040.
- Gitelson, A. A., & Merzlyak, M. N. (1994). Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. Leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of Plant Physiology*, 143(3), 286–292. doi:10.1016/S01761617(11)81633-0.
- Gitelson, A. A., Gritz, Y., & Merzlyak, M. N. (2003). Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of plant physiology*, 160(3), 271-282.
- Hatfield, J.L., A.A. Gitelson, J.S. Schepers, & Walthall, C.L. (2008). Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. *Agron. J.* 100:S117–S131. doi:10.2134/agronj2006.0370c

- Jannoura, R., Brinkmann, K., Uteau, D., Bruns, C., & Joergensen, R. G. (2015). Monitoring of crop biomass using true colour aerial photographs taken from a remote controlled hexacopter. *Biosystems Engineering*, 129, 341-351.
- Kalaycı, Ş. (2010). SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri. *Asil Yayın Dağıtım*, Ankara, 426 s.
- Li, F., Mistele, B., Hu, Y., Chen, X., & Schmidhalter, U. (2014). Reflectance estimation of canopy nitrogen content in winter wheat using optimised hyperspectral spectral indices and partial least squares regression. *European Journal of Agronomy*, 52, 198-209.
- Pinar, A., & Curran, P.J. (1996). Grass chlorophyll and the reflectance red edge. *International Journal of Remote Sensing*, 17(2), 351–357. doi:10.1080/01431169608949010
- Rasmussen, J., Ntakos, G., Nielsen, J., Svensgaard, J., Poulsen, R. N., & Christensen, S. (2016). Are vegetation indices derived from consumer-grade cameras mounted on UAVs sufficiently reliable for assessing experimental plots?. *European Journal of Agronomy*, 74, 75-92.
- Singh, V., Rana, A., Bishop, M., Filippi, A. M., Cope, D., Rajan, N., & Bagavathiannan, M. (2020). Unmanned aircraft systems for precision weed detection and management: *Prospects and challenges*. *Advances in Agronomy*, 159, 93-134.
- Tirado, S. B., Hirsch, C. N., & Springer, N. M. (2020). UAV-based imaging platform for monitoring maize growth throughout development. *Plant direct*, 4(6), e00230.
- Torres-Sánchez, J., López-Granados, F., De Castro, A. I., & Peña-Barragán, J. M. (2013). Configuration and specifications of an unmanned aerial vehicle (UAV) for early site specific weed management. *PloS one*, 8(3), e58210.
- Torres-Sánchez, J., Pena, J. M., de Castro, A. I., & López-Granados, F. (2014). Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Computers and Electronics in Agriculture*, 103, 104-113.
- Tsouros, D. C., Bibi, S., & Sarigiannidis, P. G. (2019). A review on UAV-based applications for precision agriculture. *Information*, 10(11), 349.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150.
- Varvel, G.E., W.W. Wilhelm, J.F. Shanahan, & J.S. Schepers. (2007). An algorithm for corn nitrogen recommendations using a chlorophyll meter based sufficiency index. *Agron. J.* 99:701–706. doi:10.2134/agronj2006.0190
- Wan, L., Cen, H., Zhu, J., Zhang, J., Zhu, Y., Sun, D., ... & He, Y. (2020). Grain yield prediction of rice using multi-temporal UAV-based RGB and multispectral images and model transfer—a case study of small farmlands in the South of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 291, 108096.
- Wilke, N., Siegmann, B., Postma, J. A., Muller, O., Krieger, V., Pude, R., & Rascher, U. (2021). Assessment of plant density for barley and wheat using UAV multispectral imagery for high-throughput field phenotyping. *Computers and Electronics in Agriculture*, 189, 106380.
- Xu, W., Chen, P., Zhan, Y., Chen, S., Zhang, L., & 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.