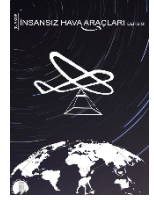




Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tiha>

e-ISSN 2687-6094



İnsansız Hava Aracı Kullanarak Toprak Neminin Mısır Tarlası Örneğinde Haritalanması

Fizyon Sönmez Erdoğan^{1*}, Mehmet Akif Erdoğan¹

¹ Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 31060, Hatay, Türkiye;
(fizyon.sonmezerdogan@mku.edu.tr; maerdogan@mku.edu.tr)



Sorumlu Yazar:
fizyon.sonmezerdogan@mku.edu.tr

Araştırma Makalesi

Alıntı: Erdoğan, F. S. & Erdoğan, M. A. (2024). İnsansız Hava Aracı Kullanarak Toprak Neminin Mısır Tarlası Örneğinde Haritalanması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 6(2), 63-71.

Geliş : 31.05.2024
Revize : 05.08.2024
Kabul : 05.11.2024
Yayınlama : 31.12.2024

Özet

Bu çalışma mısır ekili bir parsel örneğinde insansız hava aracı kullanımı, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla toprak neminin konumsal olarak tahmini amaçlamıştır. Dijital nem ölçer ile toplanan toprak nemi ölçümleri ile İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemine entegre bir multispektral sensör kullanılarak üretilen ortomozaik görüntüsü ve de bu görüntüden üretilen vejetasyon indislerinin girdi olarak kullanıldığı çoklu doğrusal regresyon yöntemi ile toprak nemi tahmini gerçekleştirilmiştir. Üretilen sekiz vejetasyon indisi içinden %90 güven aralığına gerçekleştirilen geriye adım çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda önem seviyesinde çıkan kızıl eşik ve yakın kızıl ötesi bantlar ile ARVI, NDVI, kızıl eşik EVI ve kızıl eşik SAVI katmanlarından toprak nemi tahmin denklemi (R^2 : 0,81) oluşturulmuştur. Elde edilen tahmin denklemi kullanılarak tüm tarla için toprak nemi haritalanmış ve yapılan doğruluk testine göre R^2 değeri 0,74 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuç literatürde mısır ürünü için yapılan dünyanın farklı bölgelerinden benzer birkaç çalışma ile yakın doğruluk oranları sergilemekle beraber kullanılan sensör özellikleri, görüntü alım tarihleri ve vejetasyon indis kombinasyonları farklılık göstermektedir. Tüm bu sonuçlar göstermiştir ki uzaktan algılama, coğrafi bilgi sistemleri ve insansız hava aracı teknolojilerinin birlikte kullanılmasıyla çok daha ekonomik ve hızlı bir şekilde toprak neminin konumsal olarak tahmin edilmesi ve haritalanmasını olası hale getirmiştir. Bu durum aynı zamanda daha etkin tarımsal sulama planlamasına da yol açacaktır.

Anahtar Kelimeler: Hassas tarım, toprak nemi, uzaktan algılama, vejetasyon indeksleri, insansız hava aracı.

Mapping of Soil Moisture Using an Unmanned Aerial Vehicle in a Maize Field

*Corresponding Author:
fizyon.sonmezerdogan@mku.edu.tr

Research Article

Citation: Erdoğan, F. S. & Erdoğan, M. A. (2024). Mapping of Soil Moisture Using an Unmanned Aerial Vehicle in a Maize Field. *Turkish Journal of Unmanned Aerial Vehicles*, 6(2), 63-71 (in Turkish).

Received : 31.05.2024
Revised : 05.08.2024
Accepted : 05.11.2024
Published : 31.12.2024

Abstract

This study aimed to estimate soil moisture spatially by using unmanned aerial vehicle, remote sensing and geographical information systems in a maize-cultivated parcel. The ortho-mosaic image created by a multispectral sensor integrated into the UAV system, the vegetation indices derived from this image, and the soil moisture measurements made using a digital moisture meter were utilized as inputs to predict soil moisture using a linear stepwise multiple regression method. A backward stepwise linear multiple regression at a 90% confidence interval among the eight vegetation indices that were produced led to the formation of the soil moisture prediction equation (R^2 : 0.81), which was derived from the red edge and near-infrared bands, ARVI, NDVI, red edge EVI, and red edge SAVI indices. Soil moisture was mapped for the entire field using the obtained prediction and the accuracy test revealed an R^2 value of 0.74. The sensor characteristics, image capture dates, and combinations of vegetation indexes used vary, although the result is nearly identical to the accuracy rates of multiple comparable studies from various regions of the world for maize crop in the literature. These findings demonstrate that the integration of unmanned aerial vehicle (UAV) technologies, geographic information systems, and remote sensing has enabled faster and more cost-effective spatial estimation and mapping of soil moisture. Additionally, this will result in more effective irrigation planning for agriculture.

Keywords: Precision agriculture, soil moisture, remote sensing, vegetation indices, unmanned aerial vehicle.

1. Giriş

Tarımsal üretimin temel amacı birim alandan sürdürülebilir şekilde maksimum verimi elde etmektir (Cassman vd., 2010; Pretty vd., 2018; Şenol, 2021; Uslu ve Apaydın, 2021). Verim artışı sağlamanın başlıca yollarından biri de doğru zamanda doğru yerde ve doğru miktarda yapılan uygulamaları içeren tarımsal faaliyet planlaması yapmaktır (Pinter vd., 2003; Godfray vd., 2010; Tilman vd., 2011; Mulla, 2013; Ozdogan vd., 2011).

Söz konusu planlamanın en önemli parçalarından biri ise sulama yönetimidir. Su yenilenebilir bir kaynaktır ancak bulunabilirliği değişken ve sınırlıdır (Pimentel vd., 1997; Alcamo vd., 2003; Steduto vd., 2012; Foster 2015). Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin en önemli sonuçlarından biri de su kaynaklarının azalması olarak görülmektedir (Karaman ve Gökalp, 2010; Schewe vd., 2014; Gosling ve Arnell, 2016). Ekolojik dengenin korunması ve insan topluluklarının sürdürülebilir gelişiminin sağlanması için, su kaynaklarının bugün ve gelecekteki gereksinimleri karşılayabilecek en akılcı şekilde kullanılması gerekmektedir (Wada vd., 2014; Boretti ve Rosa, 2019; Yetkin ve Aşık, 2021). Söz konusu akılcı kullanım su ile direk etkileşimli olan başta tarım olmak üzere birçok soyo-ekonomik faaliyet ve sektör için zorunluluğa dönüşmüş durumdadır.

Dünyanın toplam yüzeyi 510 milyon km² olup bunun yaklaşık %71'i sularla kaplıdır. Dünyadaki toplam su miktarı 1,4 milyar km³ olup, % 97,5'i okyanuslarda ve denizlerde tuzlu su olarak, % 2,5'i nehir ve göllerde tatlı su olarak bulunmaktadır (Karaman ve Gökalp, 2010; UNESCO, 2020). Dünya üzerindeki mevcut su varlıklarının sektör bazında kullanımı dikkate alındığında tarımsal faaliyetlerin sahip olduğu su kullanım oranının yaklaşık %70 olduğu görülmektedir (Yetkin ve Aşık, 2021). Mevcut suyun %70'ini kullanan tarım sektöründe suyun doğru miktarda kullanımı küresel anlamda suyun sürdürülebilirliği adına en belirgin farkı yaratacaktır. Tarımda suyun etkili kullanımının en önemli aşamalarından biri ise bitkinin su ihtiyacının ürün verimliliğini düşürmeden en ideal miktarda yani optimal kullanımının belirlenmesi olarak görülmekte olup bu da etkin tarımsal sulama planlamasını işaret etmektedir (Çakmak ve Gökalp, 2011; Molden vd., 2010; Gu vd., 2020).

Toprak neminin devamlılığı ortamda büyüyen bitkilerin ihtiyaç duydukları su ihtiyacının devamlılığının sağlanması, ürün kayıplarının önlenmesi ve üretimin sürekliliğinin sağlanması açısından son derece önemlidir (Mueller vd., 2012; Gaikwad vd., 2015; Han vd., 2023). Bunu sağlamak ise toprak neminin doğru ölçümü ile gerçekleştirilecek

olan periyodik izlemeyi içeren sulama planlaması ile çok daha etkin bir şekilde gerçekleştirilebilecektir. Toprak neminin tahmini ise sulama programları ve yönetimi, bitkinin su ihtiyacının karşılanması, faydalı gübre uygulamaları, su kaynaklarının verimli kullanılması gibi birçok süreç ve zirai uygulama için büyük öneme sahiptir (Çetin, 2003; Reichle vd., 2022; Liu vd., 2023). Bu kapsamda gerçekleştirilmesine ihtiyaç duyulan toprak neminin geleneksel yöntemler ile geniş araziler üzerinde gravimetrik teknikleri ve noktasal ölçüm aletleri ile ölçülmesi zaman alıcı, masraflı ve yoğun bir emek gerektiren bir iştir (Sıraç ve Acar, 2017). Bu noktada uzaktan algılama tekniklerinin kullanılmasıyla birlikte geniş araziler üzerinde daha kısa sürede daha düşük maliyetli olarak toprak nemi tahmin edilebilmektedir (Wagner vd., 1999; Entekhabi vd., 2010; Dorigo vd., 2017; Li vd., 2024).

Hassas tarım uygulamalarında İnsansız Hava Araçlarının (İHA) kullanılması, İHA teknolojileri ve bu cihazlara takılacak kameraların hafiflemesi ve gelişmesi ile ivme kazanmıştır. Yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlüğü daha elverişli hale getiren İHA teknolojisi yüksek çözünürlük ihtiyacı gerektiren tarımsal uygulamalar için avantaj sağlamaktadır (Hunt Jr vd., 2010; Teke vd., 2016; Xue ve Su, 2017; Radočaj vd., 2023). İHA tabanlı uzaktan algılama sistemlerinin geliştirilmesi, uzaktan algılama ve hassas tarımı bir adım öteye taşımıştır. Bitkileri izlemek için İHA'ların kullanılması, önceki yöntemlere kıyasla arazi verilerini kolay, hızlı ve uygun maliyetli bir şekilde elde etmek için büyük imkanlar sağlamaktadır (Akkamış ve Çalışkan, 2020; Gül vd., 2021). Özellikle İHA'lara entegre edilebilen görünür bantlara ek olarak yakın kızıl ötesi ve kızıl eşik gibi bantlardan da görüntü alabilen multispektal sensörlerin kullanılmasıyla daha yüksek yersel, radyometrik ve zamansal çözünürlüğü olan görüntülerin çok daha ekonomik ve hızlı bir şekilde temin edilebilmesi tarımsal alanlarda toprak nemi gibi yüksek yersel ve zamansal detay isteyen parametrelerin daha etkili tespitinin önünü açmaktadır (Hunt Jr vd., 2010; Zhang ve Kovacs, 2012; Toscano vd., 2024).

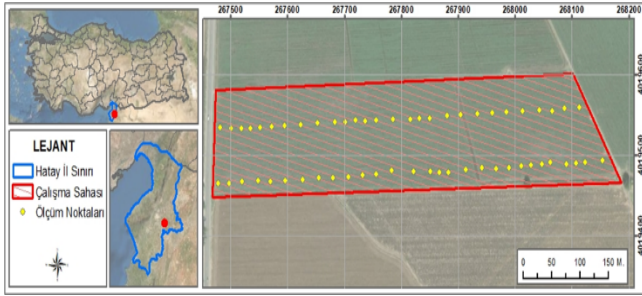
Etkin tarımsal sulama planlaması ise daha bütüncül izleme ile mümkün olmaktadır. Tarımsal sulama planlaması için yapılan geleneksel izleme yaklaşımı ya tarladan çıplak gözle yorum yapma ya da tarlanın belli noktalarına yerleştirilen toprak nemi sensörleri ile yapılmaktadır. Bu yaklaşımlar genel anlamda yüksek maliyetli, zaman alıcı, kısıtlı alana dair bilgi vermesi ve düşük doğrulukta olması nedeniyle etkin sulama yönetimi adına kısıtlı bir olanak sağlamaktadır (Mouazen ve Shi, 2021; Liu vd., 2023; Soussi vd., 2024). Ancak uzaktan algılama tekniklerinin kullanılmasıyla birlikte geniş araziler üzerinde daha kısa sürede, daha düşük maliyetli, daha

yüksek doğrulukta sonuçlar elde edilebilmektedir (Hajnsek vd., 2009). Bunu ortaya koymak adına bu çalışma ile Amik ovasında yer alan bir mısır tarlası örneğinde İHA ile alınmış uzaktan algılama görüntüleri kullanılarak toprak nemi Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında modellenerek tahmin edilmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Çalışma Alanı ve Arazi Çalışması

Çalışma alanı Hatay sınırları dahilinde yer alan Amik Ovası'nda 2020 yılında mısır ekimi yapılan bir tarım parselidir. Çalışma alanı olan mısır tarlası ovanın orta-güney kesiminde yer almakta olup 97 dekar alana sahiptir (Şekil 1).



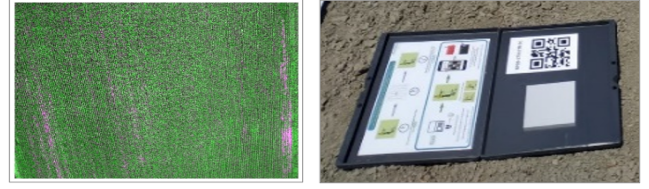
Şekil 1. Çalışma sahası ve toprak nemi ölçüm noktaları.



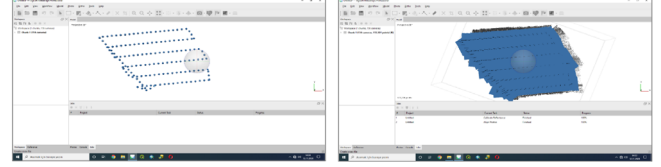
Şekil 2. Toprak Nemi ölçümü (a), DJI Phantom 4 Pro'ya entegre Micasense 3 (b).

2.2. Veri Ön İşleme

Doğrulama verisi tesadüfi olarak %70-%30 oranında eğitim ve test verilerine ayrılmıştır. Uçuş sonrası temin edilen 635 adet ham görüntü çerçeveleri (Şekil 3a) Agisoft Metashape 1.7 yazılımı kullanılarak ortomozaik görüntüye dönüştürülmüştür. Bu süreçte öncelikle olası atmosferik etkilerin giderilmesi ve uçuş anındaki ışığın şiddetinin ayarlanması için Micasense 3 ile entegre çalışan ışık sensörü tarafından görüntü alımı sırasında eş zamanlı olarak her çerçeve için kaydedilen ışık şiddeti kayıtları kullanılarak radyometrik düzeltme/kalibrasyon işlemi uygulanmıştır (Şekil 3). Buna ek olarak uçuş öncesi ışık reflektöründen kaydedilen görüntüler de kalibrasyon sürecine entegre edilmiştir.

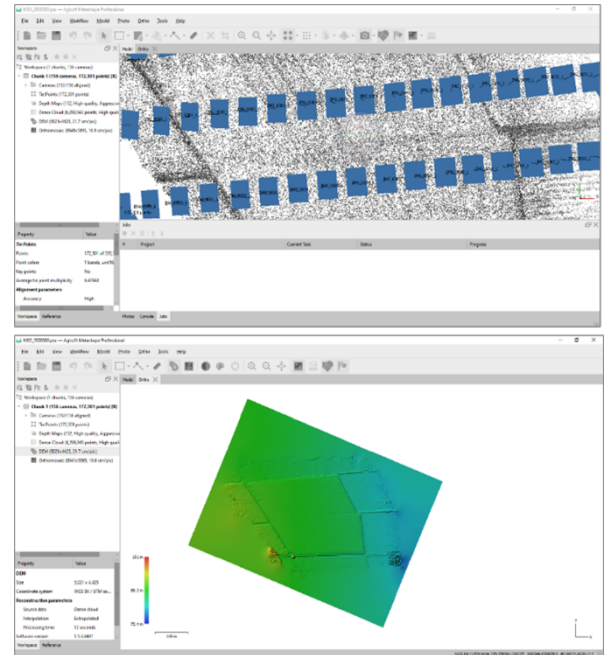


Şekil 3. Örnek bir görüntü çerçevesi (a), ışık reflektörü (b).



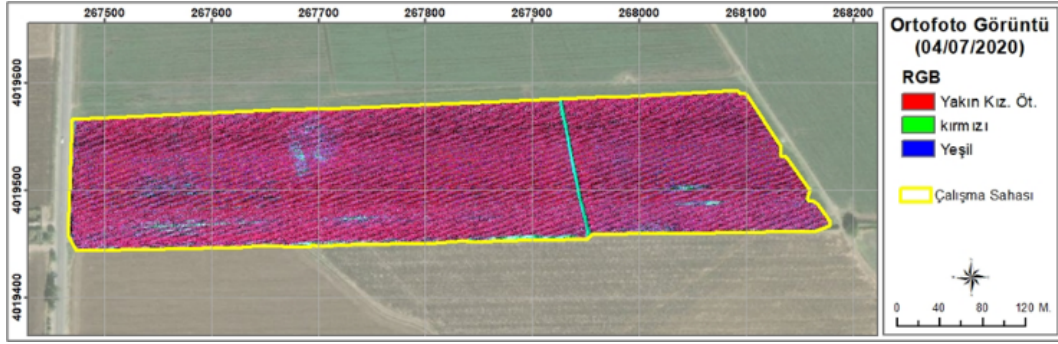
Şekil 4. Agisoft Metashape 1.7 (a) görüntü alım merkez noktaları, (b) hizalanmış görüntüler.

Konumsal olarak uyumlu hale getirilen görüntü taranıp aynı konuma ait farklı görüntüler arasındaki açı farklılıkları kullanılarak her konum için yükseklik bilgisini içeren dense cloud (nokta yükseklik bulutu) verisi üretilmiştir. Üretilen nokta bulutu verisi format dönüşümü yapılarak her konum için piksel tabanlı (raster) yükseklik verisi olan SYM (Sayısal Yüksekli Modeli) verisi üretilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Agisoft Metashape 1.7 (a) nokta bulutu üretimi, (b) SYM verisi üretimi.

Konumsal olarak uyumlu hale getirilen görüntü çerçeveleri mozaik işlemi ile konumsal olarak birleştirilerek tek bir görüntüye çevrilmiş ve sonrasında üretilen SYM verisi kullanılarak alınan alana göre kesilerek ortomozaik (yüksekliğe göre kalibre edilmiş koordinatlı) görüntü üretilmiştir (Şekil 6). Üretilen ortomozaik görüntüsünün nihai yersel çözünürlüğü 10cm/piksel olacak şekilde beş banttan (mavi, yeşil, kırmızı, KE ve YKÖ) oluşmaktadır.



Şekil 6. Üretilen İHA ortomozaik görüntüsü.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Analiz ve Modelleme

Farklı ürünler bazında tarımsal alanlarda toprak neminin hesaplanmasında girdi verisi olarak sadece NDVI (Adegok vd., 2002; Ahmad vd., 2010; Saha vd., 2018), birden çok bitki indeksi (Hosseini ve Saradjian, 2011; Ainiwaer vd., 2020) kullanılan gerçekleştirilen toprak nemi tahmin çalışmaları vardır. Ancak mısır ekili bir tarla örneğinde birden çok bitki indeksi (kızıl eşik bitki indeksleri de dahil) ile toprak neminin hesaplanarak haritalandığı ilk örnek olarak bu çalışmada; İHA ile üretilen ortomozaik görüntüsünden üretilen; Normalize Edilmiş Vejetasyon Fark İndeksi (NDVI), Geliştirilmiş Vejetasyon İndeksi (EVI), Atmosfer Dirençli Vejetasyon İndeksi (ARVI), Toprak Ayarlı Vejetasyon İndeksi (SAVI) ve bu indekslerin YKÖ bant yerin KE bant kullanılarak üretilmesiyle elde edilen varyasyonları ile birlikte Çizelge 1’de kısa açıklamaları ve denklemleri verilen sekiz adet vejetasyon indeksi kullanılmıştır (Şekil 7). Elde edilen ilgili bitki indeksleri ile mısır için daha önce farklı çalışmalarla üretilen indeksler benzer ve yakın değerler üretilmiştir (Myers vd., 2019; Barzin vd., 2020; García-Martínez vd., 2020; Hoss vd., 2020).

Doğrulama verisinden eğitim için ayrılan 42 konuma ait toprak nem yer ölçüm değerlerinin bağımsız değişken ve zonal istatistik ile merkezi bu

konumlar olan 5 metre çaplı dairelerdeki beş yansıma bant ve sekiz vejetasyon indeksi ortalama değerleri ise bağımsız değişken olarak kullanılarak geriye adım çoklu doğrusal regresyon uygulanmıştır. Elde edilen sonuca göre mavi, yeşil, kırmızı bantlar ve EVI, kızıl eşik NDVI ve ARVI katmanları istatistiksel olarak %90 güven aralığına göre önemsiz bulunarak modelden çıkarılmış ve nihayi olarak önem seviyesinde olan KE, YKÖ bantlar ile ARVI, NDVI, kızıl eşik EVI ve SAVI katmanları ile oluşan Denklem 1’deki modele ($R^2=0,81$) ulaşılmıştır. İlgili eşitlik CBS ortamında ilgili bantlara uygulanarak tarladaki anlık toprak nemi bir görüntü olarak üretilmiş ve haritaya dönüştürülmüştür (Şekil 8).

$$TN=KE*(-0.13)+YKÖ*0.11+ARVI*(-679.59)+NDVI*(-1364.84)+EVI*264.71+SAVI*1214.96+50.62 \quad (1)$$

Burada:

TN: Toprak nemi (%),

KE: Kızıl eşik değeri,

YKÖ: Yakın kızılötesi değeri,

ARVI: Atmosfer dirençli vejetasyon indeks değeri,

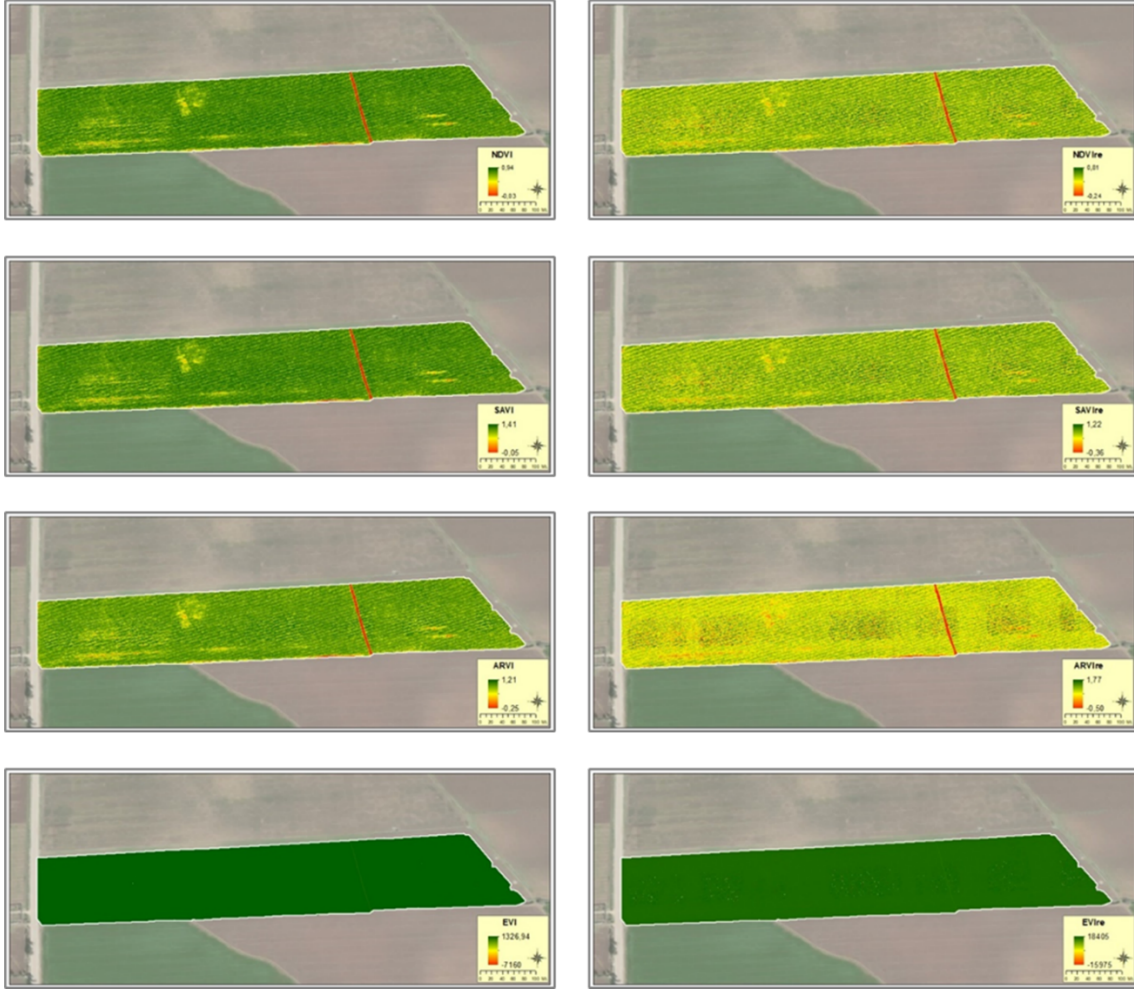
NDVI: Normalize edilmiş vejetasyon fark indeksi değeri,

EVI: Kızıl eşik geliştirilmiş vejetasyon indeksi değeri,

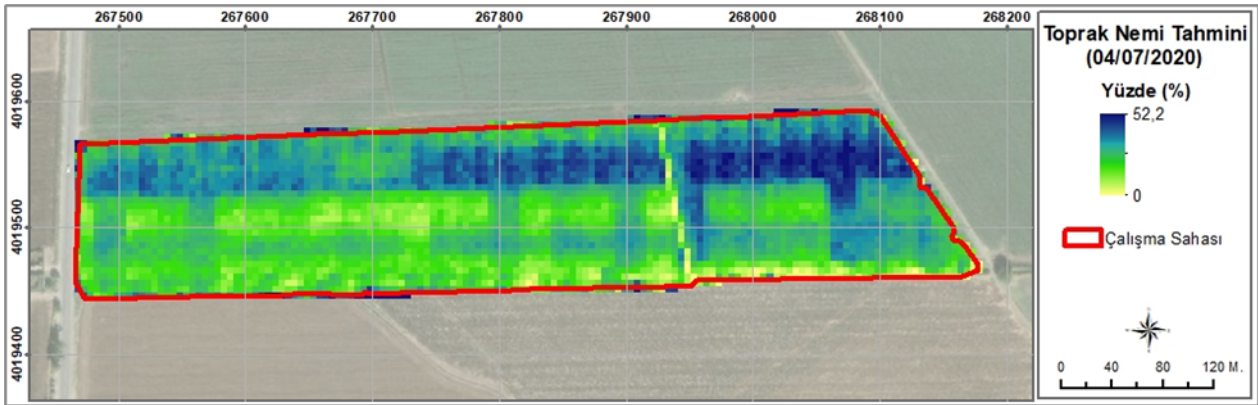
SAVI: Kızıl eşik toprak Ayarlı vejetasyon indeksi değeridir.

Table 1. Vejetasyon İndeksleri ve Açıklamaları.

Vejetasyon İndeksleri ve Açıklamaları	Denklemler
Normalize Edilmiş Vejetasyon Fark İndeksi (NDVI): Krolofilin en yüksek absorbe edildiği ve yansıtıldığı bandların normalize edilmiş oranlanması ile elde edilir. Bitki canlılığını ve yoğunluğunu ifade eder (Rouse vd., 1974; Tucker, 1979; Groten 1993).	$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$
Geliştirilmiş Vej. İndeksi (EVI): Toprak arka plan yansımalarının ve atmosferik etkilerin azaltılması için mavi bandın kullanıldığı, NDVI’ın geliştirilmiş halidir (Liu ve Haas, 1995; Matsushita vd., 2007).	$EVI = 2.5 \left(\frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + 6\rho_{RED} - 7.5\rho_{BLUE}} \right)$
Atmosfer Dirençli Vej. İndeksi (ARVI): Aerosol gibi atmosferik etkilerin giderilmesi adına kırmızı bandı mavi band ile normalize eden NDVI’ın geliştirilmiş halidir. Özellikle Çukurova gibi yüksek nemli bölgelerde daha etkin sonuçlar üretir (Kaufman ve Tanre, 1992; Huete vd., 1997).	$ARVI = \frac{\rho_{NIR} - (2\rho_{RED} - \rho_{BLUE})}{\rho_{NIR} + (2\rho_{RED} - \rho_{BLUE})}$
Toprak Ayarlı Vej. İndeksi (SAVI): Vejetasyon kapalılığının az, toprak yapısının çeşitli olduğu alanlarda kırmızı ve yakın kızılötesindeki yansıma değerlerindeki farklılığı ayarlayarak toprak etkisini ortadan kaldıran bir kombinasyondur (Huete, 1988; Rondeaux vd., 1996).	$SAVI = \frac{NIR - RED}{(NIR + RED + L)} * (1 + L)$



Şekil 7. Vejetasyon indeksleri.



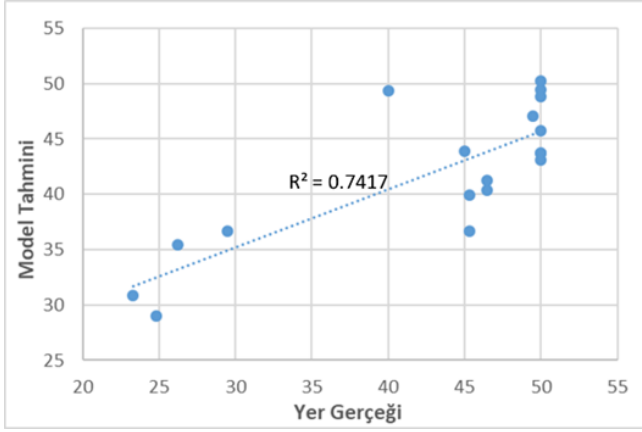
Şekil 8. Toprak nemi tahmin görüntüsü.

Mısır ekili bir tarla örneğinde toprak neminin ortomozaik bantları ve bitki indesleri üzerinden geriye adım çoklu doğrusal regresyon yöntemi ile hesaplandığı benzer bir çalışma bulunmamaktadır. Ancak Schwalbert vd. (2018) tarafından yapılan mısır rekoltesini benzer girdiler ve yöntemle hesaplandığı çalışmanın nihai dekleminde, bu çalışma ile benzer şekilde NDVI ve YKÖ açıklayıcı değişkenler olarak bulunmuştur. Zang vd. (2022) ise yaptığı çalışmada mısırın yaprak alan indeksini benzer yöntem ve veri seti ile tahmin etmeye çalışmış ve NDVI, NDVIre ve SAVIre bu çalışma ile ortak açıklayıcı değişkenler

olarak bulunmuştur. Bunlara ek olarak benzer veri seti ve yöntemle mısırdaki rekolte tahmin etmeyi amaçlayan; Gracia-Romero vd. (2017) nihai denkleminde EVI'yi, Jiang vd. (2019) ise SAVI indeksini bu çalışma ile benzer şekilde nihai açıklayıcı değişkenlerden biri olarak belirlemiştir.

Doğrulama verisinden doğruluk analizi için ayrılan 18 örnekleme sahip veri setinin konumları baz alınarak zonal istatistik uygulanarak doğrulama ve tahmin verilerini içeren bir test veri seti üretilmiştir. Bu veri seti ile tahmin ve doğrulama verileri arasındaki korelasyon hesaplanmış ve R^2 değeri 0,74 olarak

bulunmuştur (Şekil 9). Mısır özelinde torak neminin bitki indeksleri kullanılarak tahmin edildiği bir başka çalışma olmasa da benzer girdi verileri ve yöntem ile torak nemini; çalı tipi bitkilerin bulunduğu tarım alanlarında tahmin eden Liang vd. (2020) çalışmalarında doğrulukğu $R^2=0,61$ ve çok ürünli geniş bir alanda tahmin eden Qiu vd. (2019) ise $R^2=0,8$ olarak bulmuşlardır.



Şekil 9. Toprak nemi için yer gerçeği ve model tahmini karşılaştırma grafiği.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada mısır ekili alanlar için İHA üzerinde taşınan multispektral bir kamera ile elde edilen görüntü ve bu görüntü kullanılarak üretilen vejetasyon indekslerinin uzaktan algılama yardımı ve CBS ortamında bir arada değerlendirilmesiyle toprak nemi tahmini gerçekleştirilmiştir. Buna göre görünür, KE ve YKÖ bantları içeren bir görüntünün uygun sensör ve İHA kombinasyonu ile alınabileceği ve amaca uygun yeterlilikte yüksek çözünürlüklü görüntü üretilebileceği ortaya koyulmuştur. Buna ek olarak geriye adım çoklu doğrusal regresyon ile hem girdi verilerinin elenmesi suretiyle işlem yükünün azaltılması hem de görece yeterli doğrulukta toprak neminin tahmin edilebileceği görülmüştür.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde kullanılan veri setleri TÜBİTAK 1512 - BİGG Teknogirişim Sermaye Desteği Programı Aşama 2 kapsamında desteklenen 2190170 numaralı ve "AGRONE: Tarımsal İzleme Bilgi Paketi Geliştirilmesi" başlıklı proje kapsamında üretilmiş olup ilgili proje kapsamında kurulan Geodynamic Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Danışmanlık Ltd. Şti.'nin izniyle kullanılmıştır.

Yazarların Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Adegoke, J. O., & Carleton, A. M. (2002). Relations between soil moisture and satellite vegetation indices in the US Corn Belt. *Journal of Hydrometeorology*, 3(4), 395-405.
- Ahmad, S., Kalra, A., & Stephen, H. (2010). Estimating soil moisture using remote sensing data: A machine learning approach. *Advances in Water Resources*, 33(1), 69-80.
- Ainiwaer, M., Ding, J., Kasim, N., Wang, J., & Wang, J. (2020). Regional scale soil moisture content estimation based on multi-source remote sensing parameters. *International Journal of Remote Sensing*, 41(9), 3346-3367.
- Akkamış, M., & Çalışkan, S. (2020). İnsansız Hava Araçları ve Tarımsal Uygulamalarda Kullanımı. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 8-16.
- Alcamo, J., Döll, P., Henrichs, T., Kaspar, F., Lehner, B., Rösch, T., & Siebert, S. (2003). Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. *Hydrological Sciences Journal*, 48(3), 317-337.
- Barzin, R., Pathak, R., Lotfi, H., Varco, J., & Bora, G. C. (2020). Use of UAS multispectral imagery at different physiological stages for yield prediction and input resource optimization in corn. *Remote Sensing*, 12(15), 2392.
- Boretti, A., & Rosa, L. (2019). Reassessing the projections of the world water development report. *NPJ Clean Water*, 2(1), 15.
- Çakmak, B., & Gökalp, Z. (2011). İklim değişikliği ve etkin su kullanımı. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (1), 87-95.
- Cassman, K. G., Grassini, P., & van Wart, J. (2010). Crop yield potential, yield trends, and global food security in a changing climate. In *Handbook of Climate Change and Agroecosystems* (pp. 37-51). London: Imperial College Press.
- Çetin, Ö. (2003). Toprak-su ilişkileri ve toprak suyu ölçüm yöntemleri. *Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Eskişehir Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü*, Genel Yayın (258), 100.
- Dorigo, W., Wagner, W., Albergel, C., Albrecht, F., Balsamo, G., Brocca, L., & Lecomte, P. (2017). ESA CCI Soil Moisture for improved Earth system understanding: State-of-the-art and future directions. *Remote Sensing of Environment*, 203, 185-215.

- Entekhabi, D., Njoku, E. G., O'Neill, P. E., Kellogg, K. H., Crow, W. T., Edelstein, W. N., & Van Zyl, J. (2010). The soil moisture active passive (SMAP) mission. *Proceedings of the IEEE*, 98(5), 704-716.
- Foster, T., Brozović, N., & Butler, A. P. (2015). Why well yield matters for managing agricultural drought risk. *Weather and Climate Extremes*, 10, 11-19.
- Gaikwad, P., Devendrachari, M. C., Thimmappa, R., Paswan, B., Kottaichamy, A. J., Kotresh, H. M. N., & Hotiyl, M. O. (2015). Galvanic cell type sensor for soil moisture analysis. *Analytical Chemistry*, 87(14), 7439-7445.
- García-Martínez, H., et al. (2020). Corn grain yield estimation from vegetation indices, canopy cover, plant density, and a neural network using multispectral and RGB images acquired with unmanned aerial vehicles. *Agriculture*, 10(7), 277.
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., & Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812-818.
- Gosling, S. N., & Arnell, N. W. (2016). A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. *Climatic Change*, 134, 371-385.
- Gracia-Romero, A., Kefauver, S. C., Vergara-Díaz, O., Zaman-Allah, M. A., Prasanna, B. M., Cairns, J. E., & Araus, J. L. (2017). Comparative performance of ground vs. aerially assessed RGB and multispectral indices for early-growth evaluation of maize performance under phosphorus fertilization. *Frontiers in Plant Science*, 8, 2004.
- Groten, S. M. E. (1993). NDVI—crop monitoring and early yield assessment of Burkina Faso. *Remote Sensing*, 14(8), 1495-1515.
- Gu, Z., Qi, Z., Burghate, R., Yuan, S., Jiao, X., & Xu, J. (2020). Irrigation scheduling approaches and applications: A review. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 146(6), 04020007.
- Gül, S., Güzey, Y. Z., Yıldırım, H., & Keskin, M. (2021). Eye of the farmer in the sky: Drones. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3(2), 69-77. <https://doi.org/10.51534/tiha.943842>
- Hajsek, I., Jagdhuber, T., Schon, H., & Papathanassiou, K. P. (2009). Potential of estimating soil moisture under vegetation cover by means of PolSAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47, 442-454.
- Han, Y., Qiao, D., & Lu, H. (2023). Spatial-temporal coupling pattern between irrigation demand and soil moisture dynamics throughout wheat-maize rotation system in the North China Plain. *European Journal of Agronomy*, 151, 126970.
- Hoss, D. F., Luz, G. L. D., Lajús, C. R., Moretto, M. A., & Tremea, G. A. (2020). Multispectral aerial images for the evaluation of maize crops. *Ciência e Agrotecnologia*, 44, e004920.
- Hosseini, M., & Saradjian, M. R. (2011). Multi-index-based soil moisture estimation using MODIS images. *International Journal of Remote Sensing*, 32(21), 6799-6809.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295-309.
- Huete, A. R., Liu, H. Q., Batchily, K. V., & Van Leeuwen, W. J. D. A. (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59(3), 440-451.
- Hunt Jr, E. R., Hively, W. D., Fujikawa, S. J., Linden, D. S., Daughtry, C. S., & McCarty, G. W. (2010). Acquisition of NIR-green-blue digital photographs from unmanned aircraft for crop monitoring. *Remote Sensing*, 2(1), 290-305.
- Jiang, G., Grafton, M., Pearson, D., Bretherton, M., & Holmes, A. (2019). Integration of precision farming data and spatial statistical modelling to interpret field-scale maize productivity. *Agriculture*, 9(11), 237.
- Karaman, S., & Gökalp, Z. (2010). Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerine Etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(1), 59-66.
- Kaufman, Y. J., & Tanré, D. (1992). Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(2), 261-270.
- Li, N., Skaggs, T. H., Ellegaard, P., Bernal, A., & Scudiero, E. (2024). Relationships among soil moisture at various depths under diverse climate, land cover, and soil texture. *Science of The Total Environment*, 174583.
- Liang, M., Pause, M., Prechtel, N., & Schramm, M. (2020). Regionalization of coarse scale soil moisture products using fine-scale vegetation indices—Prospects and case study. *Remote Sensing*, 12(3), 551.
- Liu, H. Q., & Huete, A. (1995). A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(2), 457-465.
- Liu, K., Li, X., Wang, S., & Zhang, H. (2023). A robust gap-filling approach for European Space Agency Climate Change Initiative (ESA CCI) soil moisture integrating satellite observations, model-driven knowledge, and spatiotemporal machine learning. *Hydrology and Earth System Sciences*, 27(2), 577-598.
- Liu, Q., Wu, Z., Cui, N., Jin, X., Zhu, S., Jiang, S., & Gong, D. (2023). Estimation of soil moisture using multi-source remote sensing and machine learning algorithms in farming land of Northern China. *Remote Sensing*, 15(17), 4214.
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., & Qiu, G. (2007). Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: A case study in high-density cypress forest. *Sensors*, 7(11), 2636-2651.
- Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M. A., & Kijne, J. (2010). Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agricultural Water Management*, 97(4), 528-535.

- Mouazen, A. M., & Shi, Z. (2021). Estimation and mapping of soil properties based on multi-source data fusion. *Remote Sensing*, 13(5), 978.
- Mueller, N. D., Gerber, J. S., Johnston, M., Ray, D. K., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2012). Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, 490(7419), 254-257.
- Mulla, D. J. (2013). Twenty-five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114(4), 358-371.
- Myers, E., Kerekes, J., Daughtry, C., & Russ, A. (2019). Assessing the impact of satellite revisit rate on estimation of corn phenological transition timing through shape model fitting. *Remote Sensing*, 11(21), 2558.
- Ozdogan, M., Yang, Y., Allez, G., & Cervantes, C. (2010). Remote sensing of irrigated agriculture: Opportunities and challenges. *Remote Sensing*, 2(9), 2274-2304.
- Pimentel, D., Houser, J., Preiss, E., White, O., Fang, H., Mesnick, L., & Alpert, S. (1997). Water resources: agriculture, the environment, and society. *BioScience*, 47(2), 97-106.
- Pinter Jr, P. J., Hatfield, J. L., Schepers, J. S., Barnes, E. M., Moran, M. S., Daughtry, C. S., & Upchurch, D. R. (2003). Remote sensing for crop management. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(6), 647-664.
- Pretty, J., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., Dicks, L. V., Flora, C. B., Godfray, H. C. J., & Wratten, S. (2018). Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*, 1(8), 441-446.
- Qiu, J., Crow, W. T., Wagner, W., & Zhao, T. (2019). Effect of vegetation index choice on soil moisture retrievals via the synergistic use of synthetic aperture radar and optical remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 80, 47-57.
- Radočaj, D., Šiljeg, A., Marinović, R., & Jurišić, M. (2023). State of major vegetation indices in precision agriculture studies indexed in Web of Science: A review. *Agriculture*, 13(3), 707.
- Reichle, R. H., Ardizzone, J. V., Kim, G. K., Lucchesi, R. A., Smith, E. B., & Weiss, B. H. (2022). Soil Moisture Active Passive (SMAP) mission level 4 surface and root zone soil moisture (L4_SM) product specification document.
- Rondeaux, G., Steven, M., & Baret, F. (1996). Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 55(2), 95-107.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Spec. Publ*, 351(1), 309.
- Saha, A., Patil, M., Goyal, V. C., & Rathore, D. S. (2018). Assessment and impact of soil moisture index in agricultural drought estimation using remote sensing and GIS techniques. In *Proceedings* (Vol. 7, No. 1, p. 2). MDPI.
- Schewe, J., Heinke, J., Gerten, D., Haddeland, I., Arnell, N. W., Clark, D. B., & Kabat, P. (2014). Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3245-3250.
- Schwalbert, R. A., Amado, T. J., Nieto, L., Varela, S., Corassa, G. M., Horbe, T. A., & Ciampitti, I. A. (2018). Forecasting maize yield at field scale based on high-resolution satellite imagery. *Biosystems Engineering*, 171, 179-192.
- Şenol, C. (2021). Innovation, support, sustainability: Turkish economy and agriculture. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 44, 475-788.
- Sıraç, M., & Acar, E. (2017). Toprak nemi tahmini için Radarsat-2 verisinden çoklu saçılma katsayılarının elde edilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 8(4), 759-766.
- Soussi, A., Zero, E., Sacile, R., Trincherro, D., & Fossa, M. (2024). Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review. *Sensors*, 24(8), 2647.
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., & Raes, D. (2012). *Crop yield response to water* (Vol. 1028, p. 99). Rome, Italy: FAO.
- Teke, M., Deveci, S., Öztoprak, F., Efendioğlu, M., Küpçü, R., Demirkesen, C., Şimşek, F. F., & Bayramın, İ. (2016). Akıllı tarım fizibilite projesi: hassas tarım uygulamaları için havadan ve yerden veri toplanması, işlenmesi ve analizi. 6. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZALCBS 2016)*, 5-7 Ekim 2016, Adana.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20260-20264.
- Toscano, F., Fiorentino, C., Capece, N., Erra, U., Travascia, D., Scopa, A., & D'Antonio, P. (2024). Unmanned Aerial Vehicle for Precision Agriculture: A Review. *IEEE Access*.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150.
- UNESCO. (2020). *The United Nations world water development report 2020: Water and climate change*. UN.
- Uslu, H., & Apaydın, F. (2021). Türkiye'de tarımsal verimlilik ve alan bazlı desteklemeler üzerine ampirik bir uygulama. *Hitit Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(2), 477-499.
- Wada, Y., Gleeson, T., & Esnault, L. (2014). Wedge approach to water stress. *Nature Geoscience*, 7(9), 615-617.
- Wagner, W., Lemoine, G., & Rott, H. (1999). A method for estimating soil moisture from ERS scatterometer and soil data. *Remote Sensing of Environment*, 70(2), 191-207.

- Xue, J., & Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of Sensors*, 2017(1), 1353691.
- Yetkin, A. K., & Aşık, M. (2021). Toprak Nem İçeriğinin İzlenmesi ve Tayininde Kullanılan Yöntemler. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 484-496.
- Yüksel, D., & İnanç, A. L. (2022). Geleneksel Yöntem ve Direkt Fermantasyon ile Üretilen Maraş Tarhanalarında Biyoaktif Peptitlerin Belirlenmesi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 25(2), 357-366.

- Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*, 13, 693-712.
- Zhang, X., Zhang, K., Sun, Y., Zhao, Y., Zhuang, H., Ban, W., & Hao, Y. (2022). Combining spectral and texture features of UAS-based multispectral images for maize leaf area index estimation. *Remote Sensing*, 14(2), 331.



© Author(s) 2024.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>