

# GSJ JOURNALS SERIE C: ADVANCEMENTS IN INFORMATION SCIENCES AND TECHNOLOGIES

*Volume: 4, Issue: 2, p. 58-79, 2021*

## UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİNDEN YARARLANARAK TARIMSAL FAALİYETLERİN İZLENMESİ

### MONITORING AGRICULTURAL ACTIVITIES BY USING REMOTE SENSING TECHNIQUES

<sup>1</sup> Şelale Balambar

<sup>2</sup> Zahra Khoda Karimi

<sup>2</sup> Fatma Öztürk

<sup>2</sup> Şeyma Berk Acet

<sup>2</sup> Özge Işık Pekkan

(Received 13.07.2021 Accepted 04.11.2021) – Review Article

#### Özet

İçinde bulunduğumuz bilgi çağında, bilgiye doğrudan ulaşmanın yanı sıra bilgiyi hızlı, güvenilir ve daha az maliyetle temin etmek hedeflenmektedir. Gelişmiş uzay teknolojileri sayesinde uydular aracılığıyla yeryüzü belirli aralıklarla gözlemlenerek geçmişe dönük veri elde etmek ve yeryüzüne ilişkin değişimleri izlemek mümkün hale gelmiştir. Uydu verileri çeşitli analiz süreçlerine dahil edilmekte ve birçok alanda kullanılmaktadır. Yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip uydu görüntülerinin analizi ile bitki örtüsündeki periyodik değişimlerin takibi hızlı, güvenilir ve daha az maliyetle yapılabilmektedir. Bu analizler tarım arazilerinin izlenmesi, ürün deseni belirleme çalışmaları, zamana bağlı ürün veya bitki örtüsü değişiminin saptanması, rekolte tahminleri ve bitki sağlığının izlenmesi gibi çalışmalarda aktif şekilde kullanılmaktadır. Gelişmiş ülkeler ürün tahmini çalışmalarında ileri düzey teknolojiler kullanarak, uydu verileri sayesinde rekolte tahmini yapabilmektedir.

---

<sup>1</sup> Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Ankara, Türkiye. e253589@metu.edu.tr

<sup>2</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Eskişehir, Türkiye. zk\_karimi@eskisehir.edu.tr fatmaozturk@eskisehir.edu.tr seymaberk@eskisehir.edu.tr ozgeisikpekkkan@eskisehir.edu.

Tarım ürünlerinin rekoltesinin önceden çıkarılması, tarımsal üretim planlaması, ürün taban fiyatı ve spekülasyonların azaltılması bakımından oldukça önemlidir. Ayrıca geniş alanlar üzerinde bu yöntemlerle yapılan analizler kısa sürede yüksek doğruluklu sonuçlara ulaşmamızı sağlamaktadır. Söz konusu çalışmalar, kamunun yanı sıra üreticiyi ve özel sektörü de yakından ilgilendirmektedir. Uzaktan Algılama (UA) teknolojileri ile uygulanabilir hale gelen rekolte tahmini ve bitki sağlığının izlenmesi çalışmaları, son 30 yıldır yoğun olarak araştırılan, yaygın üretilen ve hala güncelliğini koruyan bir alandır. Bu çalışmada, ülkemizde ve dünyada UA teknolojileriyle tarım alanında bitki sağlığının izlenmesi ve ürün rekolte tahmini konusunda yapılmış çalışmalar yöntem açısından değerlendirilmiştir. Literatür taraması neticesinde konu, içerik, kullanılan yöntem açısından önemli bulunan makalelere bu çalışmada yer verilmesine karar verilerek, bu makaleler makina öğrenmesi ve bant oranlama modelleri olmak üzere iki ana başlığa ayrılarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Uzaktan Algılama, Tarımsal Alan, Rekolte Tahmini, Bitki Örtüsü, İndeksi, Spektral İmza

## **Abstract**

We live in the information age which aims to reach the information directly as well quickly, reliably and at a lower cost. Thanks to advanced space technologies, the earth is observed periodically through satellites which makes it possible to obtain historical data and monitor changes on the earth's surface. Data obtained from satellites can be used in many fields by conducting various analyses. With the analysis of the images obtained thanks to satellites with high spatial resolution, the monitoring of periodic changes in vegetation can be done quickly, reliably and at a lower cost. These analyzes are actively used in studies such as monitoring agricultural lands, determining crop patterns, detecting time-dependent crop or vegetation change, yield forecasts and monitoring plant health. In developed countries, thanks to improved technologies, crop yield forecasts are assessed by using satellite data. Obtaining the information of crop yield forecasts in advance is very important in terms of planning agricultural production, deciding minimum purchase price and reducing speculation. In addition, the analyses carried out with crop yield forecasting methods on large areas give results in a short time in a reliable way. These studies are closely related to the producer and private sector as well as the public sector. Crop yield forecasting and plant health monitoring studies, which have become applicable with Remote Sensing (RS) technologies, are an area that has been intensively researched for the last 30 years, produced publications. Due to these, crop yield forecasting and plant health monitoring studies continue to be relevant. In this study, studies in our country and around the world on monitoring plant health and crop yield estimation with RS technologies were evaluated in terms of method. As a result of the literature review, it was decided to cover articles that were important in terms of subject, content and method used in this study. Additionally, these articles were evaluated by separating them into two main topics: machine learning and band ratio models.

**Keywords:** Remote Sensing, Agricultural Area, Yield Forecast, Vegetation Index, Spectral Signature

## 1.GİRİŞ

Dünya nüfusu eğitim, ekonomi, kültür ve sağlık alanlarında yaşanan teknolojik gelişmeler sebebiyle son 2 asırda 7 kat artmıştır. Artan nüfusun temel problemi haline gelen temiz gıdaya erişim sorunu, ülkelerin tekrar tarımsal üretime ağırlık verilmesiyle çözülmeye çalışılmıştır. Günümüzde tarım alanların sürdürülebilir kullanımına yönelik politikalar üretilmekte, geliştirilen modeller tarım alanlarında izleme-değerlendirme süreçlerinin en etkili şekilde yürütülmesini hedeflemektedir. Dünyadaki bu eğilime paralel olarak, verimli topraklara sahip olması ve iklim özelliklerinin tarıma elverişli olması nedeniyle, Türkiye’de de tarım halen önemli bir yere sahiptir (Akkartal, vd., 2005).

UA genel olarak “cisimlerle direk temas etmeksizin cisimler hakkında veri toplama yöntemi” olarak tanımlanabilir. UA, yeryüzünün ve yer kaynaklarının incelenmesi amacıyla birçok alanda kullanılabilir. Tarım uygulamalarında da yoğunluklu olarak kullanılan UA teknolojileri; rekolte tahmini, ekili alan tahmini, ürün bilgi sistemi oluşturma süreçleri, sulama alanlarının tespiti, ürün veriminin artırılması ve hastalıkla mücadele uygulamaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Süslü, A. 2007). Ülkemizde de UA teknolojilerinin ilk kullanım alanı tarımsal uygulamalardır ve bu alanda yapılmış yeni çalışmalara hala ihtiyaç duyulmaktadır.

Tarımsal üretimde, iç ve dış pazar koşullarının yönlendirilmesinde üretimi yapılan bitkilerin hasat zamanı öncesi verim tahminleri çıkarılması oldukça önemlidir. Bilinen yersel ölçme teknikleriyle yapılan rekolte çalışmalarından çoğunlukla güvenilir sonuçlar elde edilememekte ve analizler uzun zamanın yanı sıra yüksek maliyet gerektirmektedir. Son yıllarda geliştirilen teknolojiler tarım alanındaki bu işlemlerin daha hızlı, güvenilir ve ucuz maliyetle yapılmasına olanak sağlamıştır. Tarımda yeni teknolojiler arasında UA ilk sırada yer almaktadır (Kayahan,2013).

Tarımsal uygulama temelli UA çalışmaları 1950’li yılların başında tarım ürünlerinin mikrodalga bölgesinde davranışlarının incelenmesiyle başlamıştır. Ardından 1972 yılında Landsat-1 uydusunun yeryüzüne dair bilgilerin ve kaynakların toplanması amacıyla uzaya fırlatılmasıyla birlikte UA teknikleri kullanılmaya başlanmıştır. Landsat uydusunun faaliyete geçmesiyle birlikte çok sayıda bitki örtüsü indeksi bulunmuştur (Cihlar vd., 1986). Tarım arazilerinin kullanılabilmesi ve gerekli verimin alınabilmesi için bu alanların belli aralıklarla kontrol edilmesi ve incelenmesi gerekmektedir.

Uydu sistemlerindeki özel algılayıcılar ile üretilen bitki indeksleri, bitkinin fenolojik evrelerinin incelenmesi ve verim tahmin modellerinin oluşturulması için önemli katkılarda bulunmaktadır. Önceki senelere ait uydu görüntüleri, geçmiş dönemlere ilişkin doğruluk tahmini çalışmalarının yapılmasını sağlamakta ve gelecek senelere yönelik tarım modelleri oluşturulmasına olanak vermektedir (Kaya ve Polat,2021).

Tarımsal ürünlerin ekili alan bilgilerinin belirlenmesi UA tekniğinin temel kullanım alanlarından birisi olmuştur. Bu amaca yönelik olarak kullanılan piksel ya da obje tabanlı sınıflandırma yöntemleri bölgesel çalışma alanları için ihtiyaca cevap verebilmektedir. Ancak ülkesel ürün deseninin haritalanması için sınıflandırma tekniklerinin kullanımı pek çok açıdan yetersiz kalmaktadır (Yılmaz, 2011). Bu nedenle ürünlerin spektral imzalarının toplanması ve bu spektral imzaların veri tabanına girilmesi; ürünlerin sınıflandırılması ve kayıt altına alınması açısından önemli düzeyde katkı sağlayacaktır (Yılmaz, 2011). Bu amaçla, parsel özelinde analizler gerçekleştirmek, parsel temelli modeller üretmek; gelecekte daha büyük alanları kapsayan projelerin üretilmesinde ve tarımsal veri tabanı oluşturulmasında çekirdek modellerin oluşturulmasını sağlayacaktır.

UA teknolojileri yardımıyla yapılan tarımsal ürün analizleri sayesinde tarım ürünlerinin tanımlanması, parsellere ilişkin bilgi elde edilmesi, ürün gelişme durumunun izlenmesi, ürüne ilişkin rekolte tahmin çalışmalarının yürütülmesi mümkündür. Ayrıca tarımsal ürünlerin verim düzeyi ile bitkinin fizyolojik özellikleri arasında bir ilişki söz konusudur. Bitkinin azot içeriği, vejetatif gelişimine bağlı olarak toprağı örtme oranı, yaprak alanı, klorofil miktarı, su miktarı, kuru madde yoğunluğu üzerinden yapılan analizlerle bitkilerin fenolojik evreleri ve sağlık durumları tespit edilebilmektedir.

Çalışmanın temel amacı UA teknolojileri ile uygulanabilir hale gelen bitki örtüsünün belirlenmesi, rekolte tahmini, bitkinin fenolojik evrelerinin takip edilmesi gibi çalışmalara örnek teşkil eden birçok araştırma çalışmasını bir arada sunmaktır.

## **2.YÖNTEM**

Bu çalışmada, UA teknolojileri aracılığıyla bitki sağlığı izleme ve rekolte tahmini konusu özelinde üretilmiş makaleler arasından yapılan literatür taraması sonucunda çeşitli makalelere yer verilmiştir. Birçok veri tabanı kullanılarak yüksek sayıda kaynağa erişilmiş fakat araştırma konusuyla uygunluğu açısından ele alındığında yayınlar arasında seçim yapılmış ve çalışmada yer verilecek yayın sayısı düşürülmüştür. Makine öğrenmesi ve spektral indekslerin kullanımına dair üretilen makaleler tek tek incelenerek, makaleler bazı kriterler (yöntem, çalışılan alan, analizi gerçekleştirilen bitki türü, kullanılan spektral indeks, kullanılan algoritma, model, veri seti, uydu görüntüsü) üzerinden değerlendirilmiş, bunlar arasından benzer araştırma desenine sahip makaleler çıkarılmıştır. Bu çalışmada, bu alanda yapılmış özgün ve yaratıcı çalışmalar sunulmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmada yer verilen makaleler çalışma alanı, analiz edilen tarım ürünü, kullanılan uydu, kullanılan yöntem, yöntemin avantajları ile dezavantajları başlıkları altında incelenerek değerlendirilmiştir. Ayrıca yayınlar makina öğrenmesi ve spektral indekslerin kullanılması yöntemleri olmak üzere iki ana başlık altında özetlenmiştir.

### 3. LİTERATÜR TARAMASI

#### 3.1. Makine Öğrenmesi ile Bitki Sağlığının İzlenmesi ve Rekolte Tahmini

Marino ve Alvino (2021) tarafından yürütülen “Vegetation Indices Data Clustering for Dynamic Monitoring and Classification of Wheat Yield Crop Traits” adlı çalışmada, ürün veriminin zamansal ve mekânsal parametrelere göre değişiminin izlenerek değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Spektral bitki indeksleri kısa sürede, düşük bütçeyle agronomi alanına katkılar sunmaktadır. Söz konusu bitki indekslerinin kullanımında karşılaşılan temel sorun analiz sonuçlarının çevresel ve ürün temelli değişkenlere bağlı olarak değişmesidir. Bu problemde yola çıkarak, 2000 yılı itibariyle çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. “Clustering Algorithms” metodu, UA teknolojilerinin çevresel değişkenlere bağlı kalmadan tahmin çalışmaları yapabilme şansını artırmıştır. Clustering Algorithms metodlarından biri olan K-Means Clustering aracılığıyla, 3 spektral indeks olan Normalize Edilmiş Bitki İndeksi (NDVI), Toprak Düzeltilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (SAVI) ve Optimize Edilmiş Toprak Düzeltilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (OSAVI) ile buğday bitki dokusu üzerine çalışılmıştır. Bu çalışmanın amacı, yüksek çözünürlüklü spektral indekslerle çalışan Clustering Algorithms üzerinden verim dinamiklerinin analiz edilmesidir. Algoritma, buğdayın fenolojik evrelerini ayrı ayrı değerlendirmiştir. Fenolojik evrelerden biri olan buğdayın çiçeklenme fazında, algoritma verileri ile en yüksek doğrulukla verim tahmini yapılmıştır. Bu çalışmayla da Cluster Method ile çevresel değişkenlere bağlı kalmadan analizler yapılabileceği önerilmektedir.

K.C., Ninsawat ve Som-ard (2021) ‘Integration Of RGB-Based Vegetation Index, Crop Surface Model and Object-Based Image Analysis Approach for Sugarcane Yield Estimation Using Unmanned Aerial Vehicle’ adlı makalesinde şeker kamışı bitkisinin verim tahmini için insansız hava aracına (İHA) monte edilmiş tüketici sınıfı kırmızı-yeşil-mavi (RGB) kameranın minimum alan veri setiyle potansiyeli değerlendirmiştir. Araştırmada kullanılan şeker kamışı çiftliği, Tayland’ın kuzey doğusunda, Udon Thani bölgesinin Pakho alt bölgesinde yer almaktadır. 4m x 4m’lik parsellerdeki bitki yüksekliği ve sap yoğunluğunun uzamsal değişkenliği haritalandırılmıştır. Verim, 4m x 4m’lik grid düzeyinde tahmin edilen İşlenebilir Sap Yüksekliği (MSH) ve sap yoğunluğu ve ağırlık modeli birleştirilerek grid düzeyinde tahmin edilmiştir. Nesne Tabanlı Görüntü Analizi (OBIA); Bitki Yüksekliği Modeli (PHM) aracılığıyla şeker kamışı alanını elde etmek için kullanılmıştır. Ekin Yüzey Modelinden (CSM) Sayısal Yükseklik Modelinin (DEM) çıkarılmasıyla elde edilen PHM, sınıflandırmanın doğruluğunu %61,98’den %87,45’e çıkarmıştır. Tahmin edilen verim (200.66 ton), gerçek hasat verimine (192.1 ton) yakın bulunmuştur. Bu çalışmada İHA ve OBIA yaklaşımından elde edilen çok yüksek çözünürlüklü RGB tabanlı görüntülerin bitki yüksekliği ve sap yoğunluğunun uzamsal değişkenliğini haritalamak ve şeker kamışı verimini tahmin etmek için önemli bir potansiyel oluşturduğunu açıklanmıştır.

Novelli ve arkadaşları (2019) “Assimilation of Sentinel-2 Leaf Area Index Data into a Physically-Based Crop Growth Model for Yield Estimation” makalesinde; rekolte

tahmininde Yaprak Yüzey Alanı (LAI) indeksi ile Entegre Çevre İklim Simülasyon Modeli (EPIC) modelini birlikte kullanarak rekolte tahmini doğruluk oranı sorgulanmıştır. Uydu verilerinde Bitki Büyüme Modelleri (CGMs) kullanılması verim tahmini süreçlerinde çeşitli olanaklar sunmuştur. LAI indeksiyle 2016-2017 yıllarına ait veriler üzerinden yapılan verim analizinde sağlıklı sonuçlar elde edilememiştir. Bunun sebebi ise LAI'nın çevresel değişkenleri dahil ederek sorgulama gerçekleştirememesidir. Bu sebeple, bu değişkenlere yönelik sorgulama yapabilen EPIC modeli LAI indeksi ile birlikte kullanılmıştır. 2016 yılı verileri LAI ve EPIC modeliyle çalıştırılmış, topraktaki nitrojen yoğunluğundaki değişim bağlı sorgulama gerçekleştirildiğinde başarılı verim tahminleri elde edilmiştir. Diğer taraftan, 2017 yılı verileri aynı sistem içerisinde analiz edildiğinde, su kıtlığı (water stress) değişkeni hem LAI hem de EPIC modeli verim tahminini olumsuz yönde etkilemiştir. Buradan yola çıkarak, LAI ve EPIC modeli birlikteliğinin, farklı parametrelerle farklı alanlarda tekrar test edilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Hatami ve Fatih (2016) "Kayısı İçin Otomatik Rekolte Tahmin Sistemi" adlı makalesinde Malatya'da bulunan kayısı bahçelerindeki yıllık kayısı miktarının otomatik belirlenebilmesi için yeni bir rekolte tahmin sistemi önermektedir. Önerilen yöntemde ise kayısı ağacı alanının doğru bir şekilde hesaplanıp, şekil analizi yaparak karakteristik özellikleri çıkarılmıştır. Çalışmada ağaç bölütleme, karakteristik özellikler çıkarma ve hasat tahmini işlemleri gerçekleştirilmiştir. 108 adet kayısı ağacına ait görüntüler kopter yardımıyla elde edilmiştir. Ardından Gaussian mixture modeli ile ağaç pikselleri modellenmiştir. Elde edilen ağaç görüntüsünden seçilen noktalar alan genişletme algoritmasına girdi oluşturmuştur. Bu sayede ağaçların alanları net olarak belirlenmiştir. Son olarak rekolte tahmini ağaçtan çıkarılan karakteristik özellikleri Yapay Sinir Ağı'na (YSA) giriş olarak verilmiştir. Önerilen yöntem ile  $R^2=0,77$  oranında başarı elde ağaç bölütleme tekniğinin diğer segmentasyon (kenar tabanlı) tekniklerine göre daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Ancak yine de ağaç mahsulü tahmini için belirlenen ağaç karakteristiklerinin doğrudan ağaç mahsulü ile doğrudan ilişkisi olmadığı tespit edilmiştir.

Doraiswamy ve arkadaşları (2003) "Crop Yield Assessment from Remote Sensing" adlı çalışmasıyla uydu görüntülerinden elde edilen verileri değişkenler üzerinden analiz ederek buğday rekolte tahmini gerçekleştirmeyi hedeflemiştir. Bu araştırma, ürün modeli Erozyon Verimlilik Etki Hesaplayıcı (EPIC) bölgesel ölçekte simülasyon uygulamaları için geliştirilmiştir. Uydu görüntüleri üzerinden elde edilen veriler, mahsulü etkileyen parametrelerinin büyüklüğünün ve değişiminin değerlendirmesini sağlamıştır. Ayrıca bu çalışma, bu parametrelerin mahsul büyüme modeline girdi olarak kullanımını araştırılmıştır. Model, Amerika'nın Kuzey Dokata bölgesinde uygulanmış ve Landsat uydusundan elde edilen görüntüler üzerinden çalıştırılmıştır. Görüntüler UTM projeksiyonuyla Land Analyzes System yazılımı kullanılarak işlenmiştir. Dijital sayımlar, yüzey yansımaları elde etmek için parlaklıklara kalibre edilmiştir. Bir diğer yöntem olarak 79 istasyondan günlük maksimum ve minimum sıcaklıklar ve yağışlar elde edilmiştir. Bu çalışmanın ilk aşamasında, Kuzey Dokata'daki

üç şehrin (Sargent, Ransom ve Richland) toplam beş iklim istasyonundan günlük hava durumu verileri elde edilmiştir. UA verilerinin model simülasyonlarını ayarlama en etkili olduğu üç optimum dönem, erken vejetatif faz, çiçeklenme ve yaşlanma olarak belirlenmiştir. Düşük çözünürlük nedeniyle yerel düzeyde bitki hastalıkları ve diğer verim azaltıcı faktörler tespit edilememektedir. Landsat üzerinden yapılan tahminler neticesinde parametrelerin modele eklenmesinin, verim tahmini çalışmasını iyileştirdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Payne ve ark. (2013), mango meyvesi üzerine yaptıklarını “Estimation of Mango Crop Yield Using Image Analysis - Segmentation Method” adlı çalışmada bölütleme yöntemi kullanarak meyvenin görüntülerini analiz ederek verim tahmini çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın amacı olan RGB görüntüsünden bir (mango) ağacının meyve sayısını tespit etmektir. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri, mango bitkisinin hasat edilmeden 3 hafta öncesi tarihli görüntüleridir. Ele alınan ilk 15 mango ağacı dört yönden görüntülenmiş olup meyveler ise görüntüler üzerinden sayılarak elde edilmiştir. Meyvelerin manuel sayımı ile hesaplanan sayıları arasında güçlü bir  $R^2$  korelasyon katsayısı olduğu belirlenmiştir. Doğrusal korelasyonda tek bir ağacın  $R^2$  değeri 0.81 ile 0.93 arasındadır (iki taraf için  $R^2 = 0,91$  ve dört taraf için  $R^2 = 0,93$ ). Devamında ele alınan 555 mango ağacı yalnızca bir yönden görüntülenmiştir. Meyve ve arka plan piksellerini bölütlemek için görüntüler üzerinden, YCbCr ve RGB renk uzayları üzerinde renkli bölütleme kullanmışlardır. RGB görüntüsünden renk ve yoğunluk görünümünü oluşturmak için fotoğrafları, RGB renk uzayının R ve G katmanları kullanılarak YCbCr renk uzayına dönüştürmüşlerdir. Bu renk uzayının da Cb katmanı (Cb; mavi renk bileşeninin farklılığı) ve Cr katmanı (kırmızı renk bileşeninin farklılığı) üzerinde analizler gerçekleştirmişlerdir. Doğrusal regresyon ile yapılan 555 meyve ağacının olduğu görüntü kümesinde korelasyon katsayısını  $R^2 = 0,74$  olarak tespit etmişlerdir. Gündüz ve gece alınan uydu görüntülerinde, gün ışığı faktörünün hesaplanan meyve sayısı doğruluk tahminini de farklılaştığı sonucuna ulaşılmıştır.

Şimşek vd. (2007), “Agrometshell Modeli Kullanılarak Türkiye’de Buğdayın Verim Tahmini” adlı çalışmalarında FAO ile Teknik İşbirliği Projesi çerçevesinde AgroMetShell kullanarak verim tahmini çalışması yapmışlardır. Uygulama kapsamında model için meteorolojik veriler, bitki katsayıları, fenolojik gözlemler, toprak özellikleri ve NDVI indeksi ile elde edilmiş görüntüler kullanmışlardır. Toplamda 265 istasyon için AgroMetShell modeli çalıştırılmış ve sulamanın yapılamadığını kabul ederek çalışmayı yürütmüşlerdir. Her istasyon bazında Su Gereksinim İndeksi (WSI) değerlerini ve grafiklerini elde etmişlerdir. NDVI indeksiyle işlenmiş görüntüler sayesinde; WSI değerlerini araziye yayıp, il bazında ortalama değerlere ulaşmışlardır. Elde edilen indeks değerleri ile TÜİK’e ait, illerin ortalama verim değerleri arasında istatistiksel analizler gerçekleştirmişlerdir. TÜİK’ten alınan istatistik verim değerleri ve AgroMetShell modelin 2005, 2006 verim tahmini değerleri kullanılarak çıktı haritalar oluşturmuşlardır. Model sayesinde tahmin edilen verim değerleri ile gerçekleşen değerler arasında  $R^2 = 0.9067$  seviyesinde bir korelasyon tespit etmişlerdir. Sonuç olarak 2005 ve 2006 yıllarında il bazında verim tahminleri yapmışlardır.



Mandal ve ark. (2018) "Sen4Rice: A Processing Chain for Differentiating Early and Late Transplanted Rice Using Time-Series Sentinel-1 SAR Data with Google Earth Engine" makalede, yoğun zaman serisi Sentinel-1 sentetik açıklıklı radar (SAR) görüntüleri kullanılarak pirincin izlenmesi ve haritalanması için birleşik bir çerçeve önerilmektedir. Sentinel uydu görüntüsüyle bu tür yoğun zaman serisiyle elde edilmiş görüntüleri işlemek için, Google Earth Engine'in bulut bilişim platformu geliştirilmiştir. Daha sonra, erken ve geç dönemlerde dikilen pirinç, belirlenen platform içinde bir kümelenme algoritması kullanılarak sınıflandırılmıştır. Önerdikleri yaklaşım, Hindistan'ın başlıca pirinç yetiştirme bölgelerinden biri olan Batı Bengal eyaletindeki üç bölgedeki (Bardhaman, Hooghly, and Nadia) farklı pirinç çeşitlerini izlemek için kullanılmıştır. Sınıflandırma doğruluğu, 2017 muson sezonu için birden fazla bloğu kapsayan 150 doğrulama noktasında değerlendirilmiştir. Bu çalışmada sınıflandırma, GEE platformunda erken vejetatif aşamaya (23 Mayıs - 15 Ağustos arası) kadar Sentinel-1 zaman serisi görüntüleri ile gerçekleştirilmiş ve sınıflandırma doğruluğu, dokuz kadran için yerinde ölçümlere dayalı olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak yoğun zaman serisi Sentinel-1 SAR verilerinin su stresini gözleme, tarım ürünü envanterinin oluşturulması ve pirincin büyüme evrelerinin izlenmesine yardımcı olduğu belirtilmiştir. Sınıflandırma doğruluğu, dokuz kadran için durum ölçümlerine dayalı olarak değerlendirilmiştir, tüm kadransların genel doğruluğu  $> \%85$  ve  $\kappa > 0.82$  olarak elde edilmiş. C-bandındaki pirincin geri saçılma yoğunluklarının dalgalanma frekansında gözlemlenirken hassasiyeti ve dinamik aralığı, pirinç nakli senaryolarının haritalanmasını sağlayan ana faktör olarak bulunmuştur. Ve son olarak bilimsel uygulamalardan operasyonel izlemeye geçiş için, GEE platformunu kullanarak bitki örtüsü büyüme aşaması belirleme yönteminin mevcut metodolojisinin, daha geniş bir ürün yelpazesine uygulanabilmesi için çeşitli mahsul türleri için araştırılması gerektiği vurgulanmıştır.

Tavus, Karataş ve Türker (2018) "Tarımsal Alanlarda Yüksek Çözünürlüklü IKONOS Uydu Görüntüsünden Nesne Tabanlı Ürün Deseni Tespiti" adlı makalesinde, IKONOS uydu görüntülerinden tarımsal ürün desenini, nesne tabanlı sınıflandırma yöntemiyle ölçmeye çalışmıştır. Yardımcı veri seti olarak ise NDVI ve gri seviye eş-oluşum matrisi kullanılmıştır. Nesne tabanlı sınıflandırma geleneksel piksel ve alt-piksel sınıflandırmalarında kullanılan tekil piksellerin tersine benzer özellikteki piksel gruplarının oluşturulması işlemidir. Sınıflandırma yöntemleri arasında sıklıkla kullanılan nesne tabanlı sınıflandırma ile segmentasyon aşamasında benzer yansıtım özelliklerine sahip pikseller gruplanır ve segmentlerin arasındaki heterojenlik en düşük seviyeye indirilir (Kalkan & Maktav, 2010). Bu çalışmada, Bursa ilinde, domates, mısır, biber, buğday, pirinç ve şeker pancarı ekili 4128 adet parsel üzerinde çalışma yürütülmüştür. Tarım ürünlerinin sınıflandırılabilmesi için kırmızı (K) ve yakın kızılötesi (YKÖ) bantlardan NDVI verisi oluşturulmuştur. Sınıflandırma çalışması neticesinde  $\%87,48$  doğruluk oranında sonuçlar elde edilmiştir. Bu da söz konusu değerlendirme süreçlerinin görüntü sınıflandırma çalışmalarında kullanılabileceğini göstermektedir.

Brinkhoff ve Ronson (2021) 'Block-Level Macadamia Yield Forecasting Using Spatio-Temporal Datasets' adlı çalışmasında UA, hava durumu ve yükseklik gibi uzamsal-zamansal veri kümelerinden türetilen girdi değişkenleri ile ayrı bahçe bloğu seviyesinde makademya fındığı veriminin erken tahminini ele almıştır. 10 bahçeye ait 101 blok için 2012–2019 yılları arası verim verileri elde edilmiştir. Test yılından önceki yıllara ait verilerle eğitilmiş modelleri kullanarak 2014–2019 arasındaki her test yılı için verim tahmin edilmiştir. Mart ve eylül ayları arasında yapılacak hasat için ocak ayında tahminler oluşturulmuştur. Ridge regresyon modeli, destek vektörü regresyonu ve karar ağacı regresyonu gibi diğer makine öğrenimi algoritmalarıyla karşılaştırıldığında daha iyi tahminler üretmiştir. Oluşturulan modele meteorolojik değişkenlerin eklenmesi, yalnızca UA değişkenlerinin kullanılmasına göre çok az gelişme sağlamıştır. 2019 tahmini blok düzeyinde ortalama karekök hatası 0,8 t/ha ve ortalama mutlak yüzde hatası %20,9 olmuştur. Bölge başına birden fazla meyve bahçesinde blok düzeyinde tahminler oluşturulduğunda, üretim tahmini hataları 2016-2019 arasında %0-15 arasında bulunmuştur. Ridge regresyon modelinin, blok düzeyinde verim tahmin haritaları sunmak için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) platformlarında kolayca uygulanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

### 3.2. Spektral İndekslerin Kullanımıyla Bitki Sağlığının İzlenmesi ve Rekolte Tahmini

Ghosh ve ark. (2018) yayınladıkları "Assesing Crop Monitoring Potential of Sentinel-2 in Aspatio-Temporal Scale" adlı makalede, Sentinel-2'nin potansiyeli, Hindistan'ın West Bengal eyaletindeki Bardhaman bölgesinde patatesin fenolojik aşamalarını izlemek için değerlendirilmiştir. Mahsul gelişimi izleme süreçleri için; NDVI, Yeşil Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (GNDVI) ve Normalize Edilmiş Fark İndeksi 45 (NDI45) kullanılmıştır. Aralık 2017-Mart 2018 tarihleri arasında yerinde yapılan ölçümler ile veriler toplanmıştır. Her alanın nominal boyutu 60 m × 60 m olarak belirlenmiş. Bu çalışma sırasında, ekin biyofiziksel parametrelerinin yerinde ölçümleri, yani patatesin farklı fenolojik aşamalarında biyokütle, bitki boyu ve toprak nemine dair veriler toplanmıştır. Bitki örtüsü indekslerinin zaman serisi analizinde değerler; mahsul olgunluğa yaklaşılmaya başladığında ve yumru gelişimi aşamasında maksimum seviyeye ulaşmıştır. Bu noktadan sonra ise değerlerde düşüş yaşanmıştır. Bitki örtüsü indeksleri arasında; GNDVI ( $r = 0.636$ ), NDVI ( $r = 0.620$ ) sırasıyla biyokütle ve Bitki Alanı İndeksi (PAI) ile en yüksek korelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir. PAI, CANEYE yazılımında dijital yarım küre fotoğrafları işlenerek ölçülmüştür. Ayrıca NDI45, PAI ve biyokütle ile karşılaştırıldığında; aralarında düşük bir korelasyon (sırasıyla PAI ve biyokütle için  $r = 0.572$  ve  $0.585$ ) olduğu görülmüştür.

Kimura ve arkadaşları (2004) "Relationships Among the Leaf Area Index, Moisture Availability, and Spectral Reflectance in an Upland Rice Field" adlı araştırmalarındaki temel amaç LAI ile spektral veriler arasındaki ilişkiyi ve gerçek bitki su tüketimi ile potansiyel bitki su tüketimi ( $ET_a / ET_p$ ) arasındaki oranı belirlemektir. Çalışma amacına yönelik çeltik bitkisinde YAI için vejetasyon indeksini (VILAI) ve klorofil için vejetasyon indeksini (VICC) hesaplamak için 550nm, 680nm, 800nm ve 980nm dalga boylarındaki

spektral yansımaya değerlerinden faydalanmışlardır. Bu indekslerin yanında ise NDVI, GNDVI, NIR/red, NIR/Green, Değiştirilmiş Yansımaya Değerinde Klorofil Absorpsiyonu indeksi (MCARI), Modifiye Edilmiş Yansımaya Değerinde Klorofil Absorpsiyonu İndeksi (TCARI), SAVI, Optimize Edilmiş Toprak Düzeltilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (OSAVI), Yeniden Düzenlenmiş Toprak Düzeltilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (MSAVI) ve bu çalışmada geliştirilen VILAI gibi spektral yansımaya indekslerinin YAI tahmininde oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir. Araştırma sonucunda gerçek bitki su tüketimi / potansiyel bitki su tüketimi ile VICC ilişkisinin belirtme katsayısı diğer indekslere göre daha yüksek değerde çıkmıştır. İki ya da üç dalga boyu ile hesaplanan indekslere nazaran dört adet görünür yakın kızıl ötesi dalga boyları ile elde edilen indekslerin gerçek bitki su tüketimi ile potansiyel bitki su tüketimi arasındaki oranı yüksek doğrulukta analiz ettiği sonucuna varılmıştır.

Zhao ve arkadaşları (2005) "Prediction Grain Protein Content of Winter Wheat Using Remote Sensing Data Based on Nitrogen Status and Water Stress" adlı araştırmalarında, azot ve su stresi altındaki buğday bitkisi için Landsat TM'den elde edilen UA verilerini kullanarak buğday bitkisindeki tane protein içeriğini tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu amaç için de dört farklı azot ve dört farklı su seviyesi verisi kullanılmıştır. Tane protein içeriği ve çiçeklenme dönemindeki azot içeriği arasında önemli derecede ilişki saptanmıştır ( $R^2 = 0.36$ ). Yaprak azot içeriği ile önemli ilişkilere sahip olan spektral indeksler, çiçeklenme döneminde tane protein içeriğinin belirlenmesinde iyi bir gösterge niteliği oluşturmuştur. Kırmızı ve yeşil bantlardaki bitki örtüsü yansımaya değerlerinden elde edilen vejetasyon indeksi ( $VI_{\text{yeşil}}$ ) ile çiçeklenme dönemindeki yaprak azot içeriği ve buğdayın tane protein içeriği arasındaki önemli olduğu düşünülen ilişkiler bulunmuştur. Tane oluşumu dönemindeki su stresi, tanedeki protein içeriğini arttırabilmektedir. Bu da yapraktaki su içeriği ile tanedeki protein miktarı arasında bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Buğday bitkisinin tane oluşum döneminde tarla spektral verileri ve Landsat TM uydu görüntülerinden su stresi izlenerek tane protein içeriğini tahmin etmek mümkün olmuştur. Bu çalışma farklı bitkiler içinde yapıldığında benzer sonuçlara ulaşılabilirliği düşünülmüştür.

Feng ve arkadaşları (2020) 'Yield Estimation in Cotton Using UAV-Based Multi-Sensor Imagery' adlı makalesinde insansız hava aracı (İHA) aracılığıyla UA teknolojisiyle pamuk verimi tahmin çalışması yapılması amaçlanmıştır. Çalışma, ABD'de, Missouri Üniversitesi Fisher Delta Araştırma Merkezi'nde bir pamuk araştırma alanında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada multi-spektral kamera ve kızılötesi kamera ile donatılmış üç ayrı İHA, iki büyüme aşamasında (çiçeklenme ve hasattan kısa bir süre önce) pamuk tarlasını görüntülemek için kullanılmıştır. Üç ayrı İHA kamerasından gelen sıralı görüntüler, ortomozaik görüntüler ve biçerdöver üzerine monte edilmiş bir verim monitörü tarafından elde edilen veriler ile Dijital Yüzey Modeli (DSM) oluşturulmuştur. NDVI, GNDVI, Üçgen Yeşillik İndeksi (TGI), CIE-LAB uzayında renk kanalı, kanopi örtüsü, Bitki Yüksekliği (PH), kanopi sıcaklığı ve Pamuk Lifi İndeksi (CFI) kullanılarak 8 görüntü özelliği çıkarılmıştır. Yüksek doğrusal korelasyona sahip özellik çiftlerini belirlemek için tüm görüntüler arasında Pearson korelasyon analizi yapılmıştır.

Modellemeden önce, UAV sensörlerinden ve verim monitöründen kaynaklanan dalgalanmaları ve ölçüm hatasını azaltmak için yapılandırılmış ham veri setini düzeltmek için yumuşatma tekniği (Phyton) kullanılmıştır. Sonuç olarak, pamuk verimi tahminini en iyi ölçen PH ve CFI ( $R^2= 0.90$ ) olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada, çiçeklenme büyüme aşamasında ve/veya hasattan kısa bir süre önce alınan İHA tabanlı görüntüler ile pamuk verimini yüksek doğrulukla tahmin edebildiği bulunmuştur.

Khiabani ve Takeuchi (2020) 'Assessment of Oil Palm Yield and Biophysical Suitability in Indonesia and Malaysia' adlı makalesinde Endonezya ve Malezya'daki palm yağı verim tahminini yapmışlardır. Gelişmiş Kara Gözlem Uydusu (ALOS), Aşamalı donanımlı L – band tipindeki sentetik açıklıklı radar (PALSAR), L-band geri saçılımının ALOS-2 mozaikleri, Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (MODIS) yansıması (MOD13Q1), MODIS Bitki Örtüsü Sürekli Alanı kanopi örtüsü ürününün (MOD44B) yıllık verileri birleştirilerek palmiye ekim alanı haritalanmıştır. Bu verilerin kombinasyonu; 2017 yılına ait Endonezya'da 10.3 milyon ha (Mha) ve Malezya'da 6.68 milyon ha (Mha) palmiye ağacı ekim alanı haritası elde edilmiştir. Tespit edilen tarlalarda 0.68 korelasyon katsayısı ve yıllık 4.7 Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) ile MODIS kanopi örtüsünün zaman serileri kullanılarak dikimden sonraki yaş tahmini yapılmıştır. Potansiyel verim MODIS'in uzamsal çözünürlüğü olan 250 m uzamsal çözünürlükle tahmin edilmiştir. Gerçek verim ALOS, PALSAR ve ALOS-2 mozaiklerinin HH-HV özelliği ile ölçülmüştür. Malezya'da yapılan ölçümlerde gerçek hasat miktarı, tahmini potansiyel rekoltelerin seviyesinde ve bu seviyenin üzerindeyken, Endonezya'da yapılan ölçümlerde gerçek hasat miktarı potansiyel rekoltenin oldukça altında çıkmıştır.

Meng ve arkadaşları (2019) 'Assessment of the Effectiveness of Spatiotemporal Fusion of Multi-Source Satellite Images for Cotton Yield Estimation' adlı makalesinde UA görüntülerinin uzamsal-zamansal çözünürlüğündeki eksikliklerinin MODIS ve Landsat gibi yüksek uzamsal ve zamansal çözünürlüklü görüntülerin birleştirilmesiyle giderilebileceğini belirtmiştir. Çalışma Kaliforniya San Joaquin Vadisi'ndeki pamuk yetiştirme mevsimi boyunca bir çiftlik tarlasında yapılmıştır. Çalışmada NDVI değerini her pikselde karşılık gelen belirli bir tarih bilgisiyle bütünleştiren Extreme Model kullanılarak yeni bir günlük MODIS NDVI ürünü (yeniden yapılandırılmış MODIS) oluşturulmuştur. Esnek mekansal zamana bağlı veri birleştirme (FSDAF) modeli, alan ölçekli uygulamalar için uydu görüntülerinin uzamsal ve zamansal etkinliğini artırmak amacıyla birleşik, yüksek çözünürlüklü zaman serisi ürünleri (birleştirilmiş MODIS ve birleştirilmiş yeniden yapılandırılmış MODIS) oluşturmak için kullanılmıştır. Daha sonra Landsat ile üretilmiş NDVI zaman serisi verileri, birleştirilmiş MODIS'ten tahmin edilen NDVI verileri ve birleştirilmiş yeniden yapılandırılmış MODIS'ten tahmin edilen NDVI verileri kullanılarak üç verim tahmin modeli oluşturulmuştur. Sonuçlara göre; birleştirilmiş yeniden yapılandırılmış MODIS için büyüme mevsimi boyunca NDVI'nın zaman eğilimi; MODIS ve birleştirilmiş MODIS'e göre Landsat üzerinden elde edilen verilerden daha benzerdir. Birleştirilmiş yeniden yapılandırılmış MODIS'ten gelen NDVI, Landsat NDVI ile en iyi korelasyonu sağlamıştır. Pamuk verimi ve piksel

düzeyinde üç veri kümesinin tümü arasındaki korelasyon, tüm görüntü tarihleri için istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Birleştirilmiş yeniden yapılandırılmış MODIS'ten tahmin edilen NDVI kullanılarak pamuk verimi tahmin modelinin doğruluğu, birleştirilmiş MODIS'ten elde edilen modele göre daha yüksek bulunmuştur. Bu çalışmada, birleştirme görüntüleri kullanılarak MODIS tabanlı verim tahmininin doğruluğu araştırılmıştır. Tarla ölçeğinde MODIS görüntülerinde NDVI kullanılarak bitki örtüsü gelişiminin izlenebileceği ve nicel modelleme geliştirilebileceği belirtilmiştir.

Gumma, Nelson ve Yamano (2019) 'Mapping Drought-Induced Changes in Rice Area in India' adlı çalışmasında Hindistan'ın temel gıda ürünü olan pirincin üretimini etkileyen kuraklığın oluşturduğu hasarı araştırmayı amaçlamışlardır. Hiper-zamansal, orta çözünürlüklü, optik UA görüntülerinden türetilen bitki örtüsü indeksi zaman serileri, geniş alanlardaki bitki örtüsündeki su stresini tespit etmek için kullanılabilir. 10 yılın yağışlı geçen (haziran-ekim) aylarından alınan görüntülerden elde edilen NDVI değerleri ile kurak geçen (2002-2003) yılların NDVI değerleri karşılaştırılmıştır. Kuraklık stresinden etkilenen pirinç alanlarını tarla örnekleme yoluyla değerlendirerek; hasarın yoğunluğuna göre şiddetli, orta ve hafif olmak üzere üç sınıfa ayırmak için spektral eşleştirme teknikleri kullanılmıştır. 2002 yılında MODIS' ten türetilen kuraklık stresinden etkilenen alan ile hasat edilen alandaki azalma ile; 2000-2001 yılları arasındaki kuraklık stresinden etkilenen alandaki azalma ve 2002-2003 yılları kuraklık stresinden etkilenen alandaki azalma arasında %84,7'lik bir korelasyon bulunmuştur. Kuraklık stresinden etkilenen pirinç alanları ile farklı pirinç ekolojilerinde pirinç hasadı yapılan alanların kuraklık stresinden dolayı azalması arasında uzamsal korelasyon bulunmuştur. Bu da kuraklık ve bunun sonuçları gibi abiyotik stresin değerlendirildiği çalışmalarda, bu tür jeo-uzamsal veri setlerinin yararlı olduğunu göstermektedir.

Liao ve arkadaşları (2018) "Using Spatio-Temporal Fusion of Landsat-8 and MODIS Data to Derive Phenology, Biomass and Yield Estimates For Corn and Soybean" adlı makalesinde, girdileri ürün öz kütlesi ve verimi olan "Basit Rekolte Algoritması" (SAFY) modelini, Landsat-8 ve MODIS görüntülerinin füzyonu ile çalışmıştır. Spatio-Temporal Fusion olarak adlandırılan bu sentez sürecinde, mekânsal ve zamansal olarak iyi durumda olan iki ayrı datanın birleştirilerek, mekânsal ve zamansal açıdan daha nitelikli görüntülerin oluşturulmasını sağlamaktadır (Zhu, Cai, Tian, Kay, & Williams, 2018). Kanada'nın Ontario kentinde soya fasulyesi ve mısır ekili parsellerden elde edilen verilerle yürütülen bu çalışma neticesinde sıcaklık değişkenleri, kuraklık, fenoloji temelli değişkenler, yaprak genişliği gibi birçok parametreleri içeren SAFY modeli ile soya fasulyesi ve mısırın verim tahmininin yapılabileceği gösterilmiştir. Bu çalışmada, analizlerin yeni parametrelerle sürekli güncellenmesinin, dinamik bir çalışma yürütülebilmesine olanak vereceği savunulmuştur. Bu özelliğiyle de SAFY modelinin, geleneksel rekolte tahmin uygulamalarına göre daha uygulanabilir bir model olduğu belirtilmiştir.

Kaya ve Polat (2021) "Bitki İndeksleri Kullanarak Buğday Bitkisinin Rekolte Tahmini" adlı makalesinde; buğday bitkisi rekolte tahmini çalışmasında, Şanlıurfa'nın Ceylanpınar ilçesinde sulu tarım yapılan buğday arazisinden 5 parsel, kuru tarım yapılan buğday arazisinden 2 parsel üzerinde analizler gerçekleştirmiştir. 2017-2018 sezonuna ait uydu görüntü verileri ve o yıllara ait verim değerleri karşılaştırılarak bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen verim tahmin modelinde söz konusu dönemlerde buğdayın çiçeklenme öncesi, çiçeklenme evresi ve çiçeklenme sonrası yansıma verilerini kullanarak, modelin doğruluğu sorgulanmıştır. 2 adet Landsat-8 ve 14 adet Sentinel-2 uydu verisi kullanılmıştır. Buğday bitkisine ait yansımaları tespit edebilmek için NDVI, MSAVI ve GNDVI bant oranları kullanılmıştır. 2017-2018 yıllarında geliştirilen sorgulama modeli ile 2018-2019 sezonunda 8 parsel üzerinde verim tahmin çalışmaları yapılmıştır. Buna göre en yüksek başarı oranı %82 ile buğdayın çiçeklenme evresinde test edilen NDVI indeksi ile elde edilmiştir.

Dedeoğlu (2020) 'Vejetasyon İndis Değerleri ile Şeker Pancarı Yaprak Azot İçeriğinin İzlenmesi' adlı çalışmasında Sentinel-2A uydu görüntülerinden üretilen Red Edge-NDVI değerleri ile üç farklı vejetasyon dönemi için şeker pancarında yaprak azotu içeriklerinin parsel bazlı olarak ilişkilendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma Konya ilinin Çumra ilçesinde yapılmıştır. 2019 yılının mayıs ile haziran aylarında örnekler alınmış ve bu tarihlerdeki uydu görüntüleri kullanılmıştır. Araştırma sonucunda şeker pancarının vejetatif gelişim ve kök oluşumu evresinde yaprak azot içerikleri ve Red Edge NDVI değerleri arasında yakın ilişki elde edilmiş, ancak şeker pancarının kök büyüme döneminde yapılan çalışmalarda bu ilişkinin azaldığı belirlenmiştir. Şeker pancarının vejetatif gelişim ve kök oluşumu döneminde Sentinel-2A uydu görüntüsü ve Red Edge spektral bandının kullanımında başarılı olunacağı belirtilmiştir.

Caf (2020) "Tarımsal Ürünlerin Uzaktan Algılama ile Tespiti" adlı makalesinde Trabzon-Sürmene'de belirlenen bir alanda, WorldView-2 uydu görüntüsü kullanılarak kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada; kontrolsüz sınıflandırma tekniği görüntü üzerindeki bina, deniz, yol, çay, orman ve fındık alanlarını tam olarak ayıramadığından tercih edilememiştir. Bu sebeple söz konusu çalışma için kontrolsüz sınıflandırma tekniğinin doğru bir yöntem olmadığı sonucuna varılmıştır. Kontrollü sınıflandırma çalışmalarında ise aynı sınıfa ait değerlerin farklı sınıflara atanması veya farklı sınıftaki değerlerin aynı sınıfta bulunması gibi hatalar ortaya çıkabilmektedir. Bu hataların oranının belirlenmesi için sınıf sayısı ve iterasyon sayısının yakınsama eşiği değerlerine etkileri incelenmiştir. Bu inceleme sonucu; sınıf sayısının yakınsama eşiği değeri üzerinde en etkili faktör olduğu tespit edilmiştir. Sınıf sayısını azaltmanın sınıflandırmadaki karışıklığı biraz daha artırdığı gözlemlenmiştir. Kontrolsüz sınıflandırmada yapılan analizlere göre; sınıf ve iterasyon sayısının artması doğruluğu olumlu etkilemiştir. Bu sınıflandırma, yeterli veri olmadığı durumlarda, arazi hakkında bilgi edinme amaçlı kullanılmaktadır. Kontrollü sınıflandırmada yapılan analizlere göre; sınıflara ait imza vektörlerinin (örnekleme noktalarının) sayısının artması doğruluğu olumlu etkilemiştir. Kontrollü

sınıflandırmada örnekleme noktalarının görüntü üzerinde homojen dağılması ve hassas seçilmesi doğruluğu olumlu olarak etkilemektedir.

Villi (2019) 'İnsansız Hava Araçlarında Çok Bantlı Kamera Entegrasyonu ve Tarımsal Uygulamaları' adlı yüksek lisans tezi kapsamında Çukurova Üniversitesi içinde bulunan tarımsal uygulama arazisinde çalışmıştır. Alanda portakal ve mısır bulunmaktadır. Bu çalışmada insansız hava aracına 5 farklı dalga boyu aralığında algılama yapan multispektral bir kamera entegre edilerek görüntüler toplanmıştır. Bitki sağlığı ve su stresi analizi için sıklıkla tercih edilen Red Edge bantlar kullanılarak NDVI analizi yapılmış görüntüler elde edilmiştir. Tarımsal alanların izlenmesinde, multispektral kayıt yapan UA uydularının mekânsal, zamansal, radyometrik ve spektral çözünürlüklerinin çoğu zaman yetersiz kaldığı ve maliyetlerinin fazla olduğu belirtilmiştir. İHA ve entegre edilen algılayıcı sensörler ile bu problemlerin önüne geçildiği belirtilmiştir. Zamansal çözünürlüğünün uydulara göre daha iyi olduğu için, İHA görüntüleri ile UA yöntemlerinin tercih edilmesi; tarım ürünlerinin anlık olarak izlenmesi ve gelişmelerinin takip edilmesi açısından önemli olduğu belirtilmiştir.

Orta Anadolu Bölgesi'nde tarımı yapılan patates ve şeker pancarı bitkilerinin fenolojik evreleri üzerine çalışan Çiçek ve Kurucu (2018) bu ürünlerin çok bantlı spektral yansıma karakteristiklerini tespit etmeyi amaçlamıştır. Çiçek ve Kurucu (2018) tarafından yürütülen çalışmada; Kayseri ve Ankara'da yer alan 210 parsel izlenmiş, bitkilerin fenolojik evrelerinin izlenmesi ile elde edilecek spektral imzaların; bitki sağlığı, rekolte tahmini gibi verilere ulaşmada önemli bir araç olduğu belirtilmiştir. Bu kapsamda, Landsat-8 ve Sentinel-2 uydularından faydalanılmıştır. Yansıma düzeyleri incelenen Red Edge, NIR ve SWIR bantların, spektral imzaların oluşturulmasında, ürün deseninin tanımlanmasında ve ürünün hangi evrede olduğunun anlaşılmasında önemli bilgiler sağladığı belirtilmektedir. Patates ve şeker pancarı bitki örtüsünün fenolojik evreleri süresince çok bantlı spektral yansıma karakteristikleri çıkarılmıştır. Buna göre iki bitkinin de dikimini takip eden günlerde tüm bantların birbirine yakın değerde olduğu, fakat yeşil dokunun arttığı ikinci ve üçüncü fenolojik dönemlerde yeşil dokuya hassas bantlarda (Red Edge 2,3,4) artış olurken, görünür bölgeye duyarlı olan bantların (SWIR) düştüğü görülmüştür.

Mustafa ve ark. (2016) "Akıllı Tarım Fizibilite Projesi: Hassas Tarım Uygulamaları için Havadan ve Yerden Veri Toplanması, İşlenmesi ve Analizi" çalışma kapsamında akıllı tarım uygulamaları için sulama ve gübreleme için modeller geliştirilmiştir. Çalışmada; buğday, arpa, çavdar, yulaf, mısır, şeker pancarı, ayçiçeği, aspir, nohut, yeşil mercimek, fasulye, yonca, erik, elma, vişne ve kiraz ürünler analiz edilmektedir. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nde gerçekleştirilen çalışmada, hiper-spektral kameralı bir drone sistemi ile görüntüler alınmıştır. Yerden veri toplama çalışmaları kapsamında; toprak nemi, spektral imza (1 m mesafeden ve ürünün yaprağına değdirilerek), yaprak alan indeksi (YAI/LAI) ve meteorolojik veriler toplanmıştır. Çalışmada Landsat-8, Sentinel-1, Sentinel-2 uyduları ve SAR uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Sonuç olarak yapılan analizler

neticesinde, kışlık bitki ekimleri için ekim ve kasım ayları, yazlık bitki ekimleri için nisan aylarının uygun olduğu belirtilmiştir.

Esetlili ve arkadaşları (2014) “Uzaktan Algılama Tekniği ile Pamuk Tarla Verimi Tahmin Doğruluğunun Arttırılmasında Kırmızı Kenar (Red Edge) Band Kullanımının Katkısı” makalesinde, Ege Bölgesi’nde (Manisa, İzmir, Muğla ve Aydın illeri) pamuk bitkisinin tarla verim bilgileri ile RapidEye uydu görüntülerinde özellikle kırmızı kenar ve yakın kızılötesi spektral bantlarındaki yansıma özellikleri aralarındaki ilişki istatistiksel olarak araştırılmıştır. Araştırmada, son 5 yılda (2010–2014) alınan RapidEye uydu görüntüleri ile bunların görüntüleme zamanında yerinde yapılan ölçümler ile tarla düzeyinde elde edilmiş verim bilgileri kullanılmıştır. Araştırma sonucunda, yakın kızılötesi yansıma verileri ile tarla verimi arasında pozitif yönde bir ilişkisi olduğu ( $R^2=0.64-0.73$ ) saptanırken, KK (Kırmızı Kenar) bandı yansıma değerleri ile verim arasında yüksek korelasyon ( $R^2=0.62-0.85$ ) olduğu görülmüştür. Bu sonuç, uydu görüntülerinden ürün rekoltesi tahminlerine yönelik bant kompoziti içerisinde yakın kızılötesi bantın yanında KK bandında kullanılması halinde verimin daha doğru tahmin edilebileceğini göstermektedir.

Do (2019) ‘Application of Remote Sensing (RS) and Geographic Information System (GIS) Technology to Determine Yield Prediction in Maize’ adlı tez çalışmasında, mısır verimi ile yüksek bir korelasyona sahip olan UA verilerinden türetilen çeşitli bitki örtüsü indeksleri gözden geçirilmiştir. Landsat-8 ve Sentinel-2 görüntülerinden NDVI, EVI, SAVI, WDRVI ve GNDVI indeksli görüntüler elde edilmiştir. Ardından Bayes Model Ortalama Alma (BMA) yöntemine dayalı olarak çalışma alanı için mısır verimi tahmin modelleri oluşturulmuştur. QGIS ve R yazılımı, mekânsal analiz ve istatistiksel veri analizi süreci boyunca kullanılmıştır. Seçilen bitki indeksleri değerlerinin analiz sonuçları, GNDVI’nin gerçek mısır verimi ile en yüksek korelasyona sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, çalışma sonucu Landsat-8 verileri için maksimum analiz değerinin gerçek mısır verimi ile büyük bir ilişkisi olduğunu da göstermiştir. Sentinel-2 görüntüsünden elde edilen analizler ortalama değerdir. Çalışmada, Landsat-8 görüntüsünden oluşturulan tahmin modelinin, Sentinel-2’den oluşturulan analizlerden daha yüksek bir doğruluğa sahip olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmayla, açık kaynaklı yazılımların mekânsal analiz, veri analizi, istatistiksel modeller oluşturma ve görsel olarak etkileşimli web uygulamaları oluşturmadaki etkinliği ve kapasitesi kanıtlanmıştır.

Duveiller ve Defourny (2010) “A Conceptual Framework to Define The Spatial Resolution Requirements for Agricultural Monitoring Using Remote Sensing” isimli çalışmalarının temel amacı; örtülü tarım arazisinin değişen mekânsal parametrelere bağlı olarak gösterdiği yansıma karakteristiklerinin modellenmesidir. Çalışmada 6 test alanı için 10 m mekânsal çözünürlüklü olan SPOT 5 uydu görüntüleri kullanılarak bu görüntülerden de kümeleme ile türetilen düşük mekânsal çözünürlükteki sentetik veriler kullanılmıştır. 6 alan için elde edilen görüntüler ile kontrollü sınıflandırma ve segmentasyon işlemleri için ürün deseni tanımlanıp ardından ekili olan alanlar için maskeleme işlemiyle sınır tanımlamaları yapılmıştır. Çalışma alanlarından Belçika



Hesbaye, Fransa Picardie ve Hollanda Flevoland'da buğday, arpa ve şeker pancarı ele alınmıştır. Dördüncü alan Nijer Fakara'da darı, beş ve altıncı alan olan Çin Hengshui'da kış buğdayı ve mısır analiz edilmiştir. Sonraki basamakta ürün tipleri için oluşturulan sınır maskelerinin altında kalan alanlar için farklı mekânsal çözünürlüklü veriler kullanılarak piksel saflık değerleri hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlarda; yüksek doğruluk derecesine sahip tahminler gerçekleştirebilmek için, mekânsal çözünürlükteki düşüşe karşılık piksel saflık derecesinde artışın gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Hedefteki ürün tipleri için kırmızı ve yakın kızılötesi kanalların kullanımı sayesinde; Hesabaye, Picardie, Flevoland, Fakara ve Chinese kesimlerinde kabul edilebilir özellikte olan en düşük mekânsal çözünürlük sırasıyla 30 m, 78 m, 90 m, 117 m ve 148 m olarak tespit edilmiştir.

Akkartal ve ark. (2005) yaptıkları "Çok Zamanlı Uydu Görüntüleri ile Bitki Örtüsü Değişim Analizi" çalışmalarında, Trakya bölgesindeki Kırklareli Lüleburgaz ilçesinin ve çevresinin 1987 ve 2003 yılları arasındaki bitki örtüsü üzerindeki değişimi, üç zamanlı Landsat ve SPOT görüntüsü ile analiz etmişlerdir. Çalışmada çok zamanlı veri seti ile ele alınan beş farklı bitki örtüsü indeksi hesaplanarak elde edilen görüntüler farklı bant kombinasyonlarıyla analiz edilmiştir. Bitki örtüsündeki yıllara bağlı değişim farklı renk tonlarıyla renkli kompozit görüntülerde kolaylıkla analiz edilebilmiştir. Bitki örtüsündeki 1987 ve 2003 seneleri arasındaki değişimler irdelenerek, çok spektrumlu uydu verilerin bitki örtüsünü analiz etmede başarılı sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Ünal ve Aydoğdu (2012) "Biyokütle ve Vejetasyon İndeks İlişkisi" adlı çalışmalarında Çankırı mera alanlarında biyokütle ve vejetasyon indeksi ilişkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada mera alanlarının gelişme ve büyüme dönemlerindeki vejetasyon indeksi değerlerinin toplamı kullanılarak oluşturulan Tümüleşik NDVI değerinin (TNDVI), uydu görüntüleri ve arazi çalışmasından elde edilen verilerle hesaplanan biyokütle değeri arasındaki ilişkisi irdelenmiştir. Regresyon analizi kullanılarak ulaşılan sonuçlar, TNDVI ve arazide ölçülen biyokütle arasındaki ilişkinin orta düzeyde olduğu sonucuna ulaşılırken; TNDVI değişkenleri ile Işık Kullanım Etkinliği (LUE) modeli kullanılarak hesaplanan biyokütle arasındaki ilişkinin yüksek düzeyde olduğu görülmüştür.

Narin (2019) tarafından hazırlanan "Sentinel-2 Uydu Görüntüleri Kullanılarak Ayçiçeği Bitkisi Fenolojik Evresinin İzlenmesi ve Verim Tahmin Çalışması" adlı çalışmada 48 adet ayçiçek parseli için NDVI, Normalize Edilmiş Bitki İndeksi- Red Edge 1 (NDVIre1) ve Basit Oran Red Edge 1 (SRre1) indeksleri ile evre takibi ve parsel bazlı verim hesabı yapılmıştır. Çalışmada 23 adet Sentinel-2 görüntüsü kullanılmış ve her görüntüde parsellerin yansıtım değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca bitki indeksleri ile verim arasındaki korelasyona bakılmış ve güvenilirlik ölçütü olarak Karesel Ortalama Hata (KOH) dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda korelasyonun en yüksek olduğu evre, çiçek tablası oluşumu evresi olduğu görülmüştür. Verim değerlerinden NDVI analizi için haziran ayı ve SRre1 için temmuz ayı gerçek verim değerlerine en yakın değerlerin elde edildiği aylar olmuştur.

Yousif (2019) “Uydu Görüntülerinden Elde Edilen Yüzey Sıcaklığı ve Vejetasyon İndeksleri ile Tarımsal Kuraklığın İzlenmesi: Menemen Sağ Sahil Sulama Alanı Örneği” adlı yüksek lisans tezinde 2015-2016 yıllarına ait 11'er Landsat-8 uydu görüntüsü üzerinden Menemen Sağ Sahili'nde tarımsal kuraklık analizi tespit çalışması yapmıştır. Yüzey Sıcaklık Analizi (LST), NDVI ve SAVI indeksleri yardımıyla indeks analiz çalışmaları gerçekleştirilmiş ve LST ile SAVI-NDVI arasındaki ilişki tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda LST ile SAVI arasında doğru orantı çıkmış ve korelasyon katsayısı her iki yıl için 0,93 olarak bulunmuştur. NDVI ve SAVI değerleri arasında ise negatif korelasyon çıkmış ve korelasyon katsayısı 2015 yılında-0.88; 2016 yılında -0.87 olduğu tespit edilmiştir.

#### 4. SONUÇ

UA teknolojileri ile tarım uygulamalarında sorun alanları tespit edilerek, bu sorunlara yönelik doğru ve güvenilir yöntemler geliştirilebilmektedir. Uydu görüntüleri ve bunların analizleri ile elde edilen sonuçlar makine öğrenmesiyle birleştirildiğinde hem zamandan hem de iş gücünden tasarruf edilerek istenilen bilgiler elde edilebilmektedir. Tarımda rekolte tahmininin spektral indeksler ve makine öğrenmesi desteğiyle yapılması, hem devletin tarımsal strateji ve politikalar geliştirmesine hem de üreticinin tarım üretimi süreçlerine destek olacaktır.

Tarımsal alanların izlenmesinde, multispektral kayıt yapan uyduların mekânsal, zamansal, radyometrik ve spektral çözünürlüklerinin çoğu zaman yetersiz kaldığı ve maliyetlerinin fazla olduğu belirtilerek birçok araştırmada zamansal çözünürlüğü uydulara göre daha iyi sonuçlar veren İHA'lar tercih edilmektedir. Bitki sağlığı izleme ve rekolte tahmini çalışmalarında genel olarak NDVI, GNDVI, SAVI, OSAVI, SR vb. gibi vejetatif indekslerin kullanıldığı görülmektedir. Landsat ve Sentinel uydu görüntülerinin ücretsiz olarak sunulması, bilimsel çalışmalarda en çok bu uydu görüntülerinin kullanılmasının sebeplerinden biridir. Sentinel uydu görüntülerinin sundukları kırmızı kenar bantları klorofil yorgunluğuna karşı daha hassas olması sebebiyle bitki sağlığı izlemede yüksek doğruluklu sonuçlar vermektedir.

İncelenen tüm makaleler yöntem açısından değerlendirildiğinde; bitki sağlığı izleme ve rekolte tahmin çalışmalarında yoğunluklu olarak makine öğrenmesi ve bant oranlama yöntemleriyle analiz çalışmalarının yürütüldüğü görülmüştür. Makine öğrenmesi ile UA teknolojilerinde çevresel değişimlere bağlı kalmadan tahmin çalışmaları yapma şansı artmıştır. Çeşitli veri tabanları, modeller, algoritmalar ile yapılan makine öğrenmesi sorgulamaları; alan özelinde parametreler belirleyerek bu parametrelerle sorgulamalar yapılabilmesine ve isteğe bağlı olarak yeni değişkenlerin algoritmaya eklenip-çıkarılabilmesine olanak vermektedir. Bu sayede çalışmalar sadece bir alana özgü kalmayıp, farklı alanlara göre de modifiye edilerek çalıştırılabilmektedir. Diğer taraftan ise makine öğrenmesi ile analiz süreçlerinin denetimi tamamen yetkin insan becerilerine bağlıdır. Bu durum da makina öğrenmesi çalışmasını sınırlandırmaktadır.

Dikkat çekici bir diğer unsur ise UA teknolojileri ile yapılan analizlerde istatikselsel modellerin de yoğunluklu kullanımınıdır. Yapılan analiz çalışmalarını neticesinde sahaya ilişkin veriler ile elde edilen analiz bulguları arasındaki ilişkinin tespit edilmesinde regresyon ve korelasyon gibi istatistiksel doğrulayıcılar tercih edilmektedir. Bir çalışmanın istatistiksel modele konu olabilmesi için belirli sayıda bağımsız/bağımlı değişkene sahip olması gerekir. UA teknolojileriyle gerçekleştirilen verim tahmini çalışmalarının birçoğunda, istatikselsel analizlerin yapılması sürecinde kullanılacak verinin nitel ve nicel özelliklerine değinilmediği görülmektedir. Bu alanda kullanılan istatikselsel modellerin sınırlılıklarının da paylaşılması, yeni araştırmaların en doğru şekilde yürütülmesinde önem teşkil etmektedir.

Analiz edilen çalışmalar arasında yer alan Türkiye örneklerinde yerli uydu görüntüleri kullanılarak yapılan uygulamalara rastlanmamıştır. Ülkemizin uydu ve yer gözlem alanında milli uydularından elde edilen görüntüleri kullanması, ülkemizin UA teknolojileri alanında yetkinliğinin artmasını sağlayacaktır. Bilimsel çalışmalarda yerli uydu görüntülerinin kullanımını teşvik edilmesi ve bunun için bu verilerin temini konusunda kolaylık sağlanması gibi destekleyici politikalar uzmanlara ve faydalanıcılara önemli kolaylık sağlayacaktır.

Sonuç olarak; ülke kaynaklarını optimum kullanımını sağlamak için UA teknolojilerinin sağladığı yararlar göz önünde bulundurularak tarım uygulamaları yeniden düşünülmelidir. Kamu ve özel sektör ortaklıklarıyla, tarım politikaları UA teknolojileriyle entegre edilerek geliştirilmelidir.

## KAYNAKÇA

- Akkartal, A., Türüdü, O. ve Erbek, F.S. (2005). Çok Zamanlı Uydu Görüntüleri ile Bitki Örtüsü Değişim Analizi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Brinkhoff, J. ve Robson, A. (2021). Block-Level Macadamia Yield Forecasting Using Spatio-Temporal Datasets. *Agricultural And Forest Meteorology*, Volume 303, 108369.
- Caf, D. (2019). Bir Durum Çalışması: Tarımsal Ürünlerin Uzaktan Algılama ile Tespiti. *Journal of Agriculture*, 80-91.
- Cihlar J., Brown R.J. ve Gindon B. (1986). Microwave Remote Sensing of Agricultural Crops in Canada, *Journal of Remote Sensing*, Vol.7, No.2.
- Çiçek, G., & Kurucu, Y. (2018). Orta Anadolu Koşullarında Yetiştirilen Patates ve Pancar Bitkilerinin Fenolojik Evrelerine Ait Çok Bantlı Spektral İmzaların Belirlenmesi. *VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu*, Eskişehir.
- Dedeoğlu, M. (2020). Vejetasyon İndis Değerleri ile Şeker Pancarı Yaprak Azot İçeriğinin İzlenmesi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 8, 69 – 76.

- Do, N. T. (2019). Application Of Remote Sensing (RS) And Geographic Information System (GIS) Technology To Determine Yield Prediction in Maize. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 88 syf.
- Doraiswamy, P. C., Moulin, S., Cook, P. W., & Stern, A. (2003). Crop Yield Assessment from Remote Sensing. *Photogrammetric engineering & remote sensing*, 69(6), 665-674.
- Duveiller, G. ve Defourny, P. (2010). A Conceptual Framework To Define The Spatial Resolution Requirements For Agricultural Monitoring Using Remote Sensing. *Remote Sensing Of Environment*, 114.
- Esetlili, M.T., Özen, F., Kandemir, B.N., Kurucu, Y. Ve Bolca, M. (2015). Uzaktan Algılama Tekniği İle Pamuk Tarla Verimi Tahmin Doğruluğunun Arttırılmasında Kırmızı Kenar (RedEdge) Band Kullanımının Katkısı. Ege Üniversitesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 52.
- Feng, A., Zhou, J., Vories, E.D., Sudduth, K.A. ve Zhang, M. (2020). Yield Estimation İn Cotton Using Uav-Based Multi-Sensor İmagery. *Biosystems Engineering*, 193, 101-114, DOI: Doi.Org/10.1016/J.Biosystemseng.2020.02.014.
- Ghosh, P., Mandal, D., Bhattacharya, A., Nanda, M. K., & Bera, S. (2018). Assessing Crop Monitoring Potential of Sentinel-2 in a Spatio-Temporal Scale. *Int. Arch. Photogram. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.-ISPRS Arch*, 42(5), 5.
- Gumma, M.K., Nelson, A. Ve Yamano, T. (2019). Mapping Drought-İnduced Changes in Rice Area in India. *International Journal Of Remote Sensing*, 40:21, 8146-8173, DOI: Doi.Org/10.1080/01431161.2018.1547456.
- Hatami, M., Fatih, M. (2016). Kayısı için Otomatik Rekolte Tahmin Sistemi. *International Artificial Intelligence Data Processing Symposium*, Malatya.
- K.C., S., Ninsawat, S. ve Som-Ard, J. (2021). Integration Of Rgb-Based Vegetation İndex, Crop Surface Model And Object-Based İmage Analysis Approach For Sugarcane Yield Estimation Using Unmanned Aerial Vehicle. *Computers And Electronics in Agriculture*, 180, 105903, DOI: Doi.Org/10.1016/J.Compag.2020.105903.
- Kalkan, K. ve Maktav, D. (2010) Nesne Tabanlı ve Piksel Tabanlı Sınıflandırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması (IKONOS Örneği). III. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, Kocaeli.
- Kaya, Y. ve Polat, N. (2021). Bitki İndeksleri Kullanarak Buğday Bitkisinin Rekolte Tahmini. *Dicle University Journal Of Engineering*, 12.
- Kayahan, N. (2013). *Uzaktan Algılama Kullanılarak Silajlık Mısır Veriminin Tahminlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Konya: Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı.
- Khiabani, P.H. ve Takeuchi, W. (2020). Assessment of Oil Palm Yield and Biophysical Suitability in Indonesia and Malaysia. *International Journal Of Remote Sensing*, Vol 41, No:22, 8520-8546, DOI: Doi.Org/10.1080/01431161.2020.1782503.

- Kimura, R., Okada, S., Miura, S. ve Kamichika, M. (2004). Relationships Among the Leaf Area Index, Moisture Availability, and Spectral Reflectance in an Upland Rice Field. *Agricultural Water Management*, Volume 69, Issue 2, Pages 83-100
- Kouadio, L., Byrareddy, V. M., Sawadogo, A. ve Newlands, N. K. (2021). Probabilistic Yield Forecasting Of Robusta Coffee At The Farm Scale Using Agroclimatic And Remote Sensing Derived Indices. *Agricultural And Forest Meteorology*, Volume 360, 108449.
- Liao, C., Wang, J., Dong, T., Shang, J., Liu, J., & Song, Y. (2019). Using Spatio-Temporal Fusion of Landsat-8 and MODIS Data to Derive Phenology, Biomass and Yield Estimates For Corn and Soybean. *Science of the Total Environment*, Volume 650, Part 2,1707-1721.
- Mandal, D., Kumar, V., Bhattacharya, A., Rao, Y. S., Siqueira, P., & Bera, S. (2018). Sen4Rice: A Processing Chain for Differentiating Early and Late Transplanted Rice Using Time-Series Sentinel-1 SAR Data with Google Earth Engine. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 15(12), 1947-1951.
- Marino, S., ve Alvino, A. (2021). Vegetation Indices Data Clustering For Dynamic Monitoring and Classification Of Wheat Yield Crop Traits. Department of Agricultural. *Environmental and Food Sciences (DAEFS)*, University of Molise, Italy
- Meng, L., Liu, H., Zhang, X., Ren, C., Ustin, S., Qiu Z., Xu, M. Ve Guo, D. (2019). Assessment of the Effectiveness of Spatiotemporal Fusion of Multi-Source Satellite Images For Cotton Yield Estimation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 44-52. DOI: Doi.Org/10.1016/J.Compag.2019.04.001.
- Mustafa, T., Devenci, S., Öztoprak, F., Efendioğlu, M., (2016). Akıllı Tarım Fizibilite Projesi: Hassas Tarım Uygulamaları için Havadan ve Yerden Veri Toplanması, İşlenmesi ve Analizi. 6. *Uzaktan Algılama ve CBS Sempozyumu*, Adana.
- Narin, Ö. G. (2019). *Sentinel-2 Uydu Görüntüleri Kullanılarak Ayçiçeği Bitkisi Fenolojik Evresinin İzlenmesi Ve Verim Tahmin Çalışması*. Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak: Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı
- Novelli, F., Spiegel, H., Sandén, T., & Vuolo, F. (2019). Assimilation Of Sentinel-2 Leaf Area Index Data Into A Physically-Based Crop Growth Model For Yield Estimation. *Agronomy Journal*.
- Payne A.B., Walsh K.B., Subedi P.P. ve Jarvis D. (2013). Estimation of Mango Crop Yield Using Image Analysis - Segmentation Method. *Computers And Electronics in Agriculture*, Volume 91.
- Ramadanningrum, D.P., Kamal, M. ve Murti, S.H. (2020). Image-Based Tea Yield Estimation Using Landsat-8 OLI And Sentinel-2B Images. *Remote Sensing Applications: Society And Environment*, 20, 100424, DOI: Doi.Org/10.1016/J.Rsase.2020.100424.

- Süslü, A. (2007). *Şereflikoçhisar İlçesindeki Tarım Arazilerinde Uzaktan Algılama Yöntemiyle Ekili Alanların Tespiti ve Rekolte Tahmini*. Yüksek Lisans Tezi, Gebze: İleri Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Şimşek, O., Mermer, A., Yıldız, H., Özaydın, K.A. ve Çakmak, B. (2007). Agrometshell Modeli Kullanılarak Türkiye’de Buğdayın Verim Tahmini. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 13.
- Tavus, B., Karataş, K., & Türker, M. (2018). Tarımsal Alanlarda Yüksek Çözünürlüklü İkonos Uydu Görüntüsünden Nesne Tabanlı Ürün Deseni Tespiti. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*.
- Teke, M., Deveci, H.S., Öztoprak, F., Efendioğlu, M., Küpçü, R., Demirkesen, C., Şimşek, F.F., Bağcı, B., Uysal, E., Türker, U., Yıldırım, E., Bayramın, İ., Kalkan, K., Demirpolat, C. (2016). "Akıllı Tarım Fizibilite Projesi: Hassas Tarım Uygulamaları İçin Havadan Ve Yerden Veri Toplanması, İşlenmesi Ve Analizi". *TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü*, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi.
- Ünal, E. ve Aydoğdu, M., (2012). Biyokütle ve Vejetasyon İndeks İlişkisi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5.
- Villi, O. (2019). *İnsansız Hava Araçlarında Çok Bantlı Kamera Entegrasyonu ve Tarımsal Uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi, Adana: Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, S. (2011). *Çok Bantlı Uydu Görüntülerinden Parsel Bazında Coğrafi Bilgi Sistemi Özellikli Ürün Deseni Katmanı Oluşturulabilirliği Üzerine Bir Araştırma*. Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Ege Üniversitesi, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı
- Yousif, K. M. (2019). *Uydu Görüntülerinden Elde Edilen Yüzey Sıcaklığı Ve Vejetasyon İndeksleri İle Tarımsal Kuraklığın İzlenmesi: Menemen Sağ Sahil Sulama Alanı Örneği*. Yüksek Lisans Tezi İzmir: Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı
- Zhao, C., Liu, L., Wang, J., Huang, W., Song, X. ve Li, C. (2005). Predicting Grain Protein Content of Winter Wheat Using Remote Sensing Data Based on Nitrogen Status and Water Stress. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 7, Issue 1, Pages 1-9
- Zhu, X., Cai, F., Tian, J., Kay, T., & Williams, A. (2018). Spatiotemporal Fusion of Multisource Remote Sensing Data: Literature Survey, Taxonomy, Principles, Applications, and Future Directions. *Remote Sensing*, 10(4), 527