

TARIMSAL UYGULAMALARDA UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN ROLÜ



Editor

Doç. Dr. ALİİHSAN ŞEKERTEKİN



BİDGE Yayınları

TARIMSAL UYGULAMALARDA UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİNİN ROLÜ

Editör: DOÇ.DR. ALİİHSAN ŞEKERTEKİN

ISBN: 978-625-372-630-0

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 22.03.2025

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



İÇİNDEKİLER

TARIMSAL UYGULAMALARDA UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİNE TEORİK VE TEKNİK BİR BAKIŞ.....	4
ALİİHSAN ŞEKERTEKİN	4
FEVZİ DAŞ	4
TARIMSAL ÜRETİM YÖNETİMİNDE UZAKTAN ALGILAMA VE CBS İLE ÜRÜN İZLEME, VERİM TAHMİNİ VE HASTALIK TESPİTİ	38
EMİRHAN ÖZDEMİR.....	38
RÜŞTÜ ÇALLI.....	38
UZAKTAN ALGILAMA VE CBS İLE TARIMSAL ALANLARDA İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ, SU YÖNETİMİ VE ARAZİ KULLANIMIN İZLENMESİ.....	84
RÜŞTÜ ÇALLI.....	84
EMİRHAN ÖZDEMİR.....	84
UZAKTAN ALGILAMA, CBS VE YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ DİJİTAL TARIM: BÜYÜK VERİ VE OTONOM SİSTEMLERLE TARIMSAL DÖNÜŞÜM	118
MİTAT CAN YILDIZ	118
FEHMİ VEZİROĞLU	118

TARIMSAL UYGULAMALARDA UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNE TEORİK VE TEKNİK BİR BAKIŞ

**ALİİHSAN ŞEKERTEKİN¹
FEVZİ DAŞ²**

Giriş

Uzaktan algılama, yeryüzündeki nesnelerin ve olayların fiziksel özelliklerini, elektromanyetik spektrumun farklı bantlarında yansıyan veya yayılan enerjiyi kullanarak analiz eden bir bilim dalıdır (Campbell & Wynne, 2011). Bu teknoloji, uydu, insanlı veya insansız hava araçları gibi platformlar aracılığıyla toplanan verileri kullanarak yeryüzüne ait bilgileri uzaktan elde etmeyi mümkün kılmaktadır (Toth & Józków, 2016). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ise mekânsal verilerin toplanması, depolanması, analiz edilmesi ve görselleştirilmesi için kullanılan bir sistemdir. CBS, coğrafi verilerin haritalanması, mekânsal analizlerin yapılması ve karar destek sistemlerinin geliştirilmesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Goodchild, 2018). Uzaktan algılama ve CBS, birbirini tamamlayan

¹ Doç. Dr., Iğdır Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Iğdır, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4715-5160, aliihsan.sekerteğin@igdir.edu.tr

² Dr. Öğr. Üyesi, Iğdır Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Iğdır, Türkiye, ORCID: 0000-0001-6484-7882, fevzi.das@igdir.edu.tr

teknolojilerdir ve birlikte kullanıldıklarında, özellikle tarım sektöründe veri analizi ve karar verme süreçlerini daha verimli ve etkin hale getirerek büyük bir potansiyel sunarlar (Huang & ark., 2018).

Uzaktan algılama ve CBS, geniş bir kullanım alanına sahip olmakla birlikte bu teknolojiler, çevre izleme, şehir planlama, afet yönetimi, ormancılık ve tarım gibi birçok alanda etkili çözümler sunmaktadır (Avtar & ark., 2019; Jha & Chowdary, 2007; Masser, 2001). Özellikle tarım sektöründe, uzaktan algılama ve CBS kullanımı, verimliliği artırmak, kaynak kullanımını optimize etmek ve sürdürülebilir uygulamaları desteklemek için büyük bir öneme sahiptir (Kingra, Majumder, & Singh, 2016; Mulla, 2013). Tarımda uzaktan algılama, bitki sağlığı izleme, toprak analizi, su yönetimi ve ürün tahmini gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Karthikeyan, Chawla, & Mishra, 2020; Pinter, Jr. & ark., 2003; Sishodia, Ray, & Singh, 2020). CBS ise tarım arazilerinin planlanması, ürün deseni analizi ve kaynak yönetimi gibi konularda kritik bir rol oynamaktadır (Ines, Gupta, & Loof, 2002; Sharma, Kamble, & Gunasekaran, 2018). Bu teknolojilerin entegrasyonu, tarım sektöründe daha doğru ve güvenilir kararlar alınmasını sağlar. Örneğin, uydu görüntüleri ile elde edilen bitki örtüsü indeksleri, CBS kullanılarak arazi kullanım haritalarıyla birleştirilebilir ve tarım arazilerinin verimliliği daha doğru bir şekilde analiz edilebilir (Panda, Ames, & Panigrahi, 2010). Bu sayede, çiftçiler ve karar vericiler, daha etkili ve sürdürülebilir tarım uygulamaları geliştirebilirler.

Uzaktan algılama ve CBS'nin tarımda kullanımının avantajları oldukça fazladır. Bu teknolojiler, geniş alanları hızlı ve etkili bir şekilde izlemeyi mümkün kılar (Rahman & ark., 2011). Özellikle uydu ve İnsansız Hava Aracı (İHA) tabanlı veri toplama yöntemleri, tarım arazilerinin düzenli olarak izlenmesini ve analiz edilmesini sağlar (Inoue, 2020). Bu sayede, bitki sağlığı, toprak nemi

ve ürün deseni gibi parametreler sürekli olarak takip edilebilir. Ayrıca, CBS kullanılarak yapılan mekânsal analizler, tarım arazilerinin verimliliğini artırmak ve kaynak kullanımını optimize etmek için kritik bilgiler sunar (Mathenge, Sonneveld, & Broerse, 2022). Örneğin, sulama planlaması için su ihtiyacı analizleri yapılabilir veya ürün tahmini modelleri geliştirilebilir (Santhi & ark., 2005). Bu sistemler, tarım sektöründe daha sürdürülebilir ve verimli uygulamaların geliştirilmesine olanak tanıyarak sektöre önemli katkılar sağlamaktadır.

Uzaktan algılama ve CBS'nin tarımda kullanımının bir diğer avantajı da erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesidir. Bu teknolojiler, bitki hastalıkları, zararlılar ve kuraklık gibi risklerin erken tespit edilmesini sağlar (Alsadik & ark., 2024; Oerke, 2020; Shaurub, 2024). Bu sayede, çiftçiler erken müdahale ederek ürün kayıplarını en aza indirebilirler. Ayrıca, CBS kullanılarak yapılan mekânsal analizler, tarım arazilerinin topografik ve karakteristik özelliklerini izlemeyi ve arazi kullanım uygunluklarını belirlemeyi mümkün kılmaktadır (Akıncı, Özalp, & Turgut, 2013; Badapalli & ark., 2025).

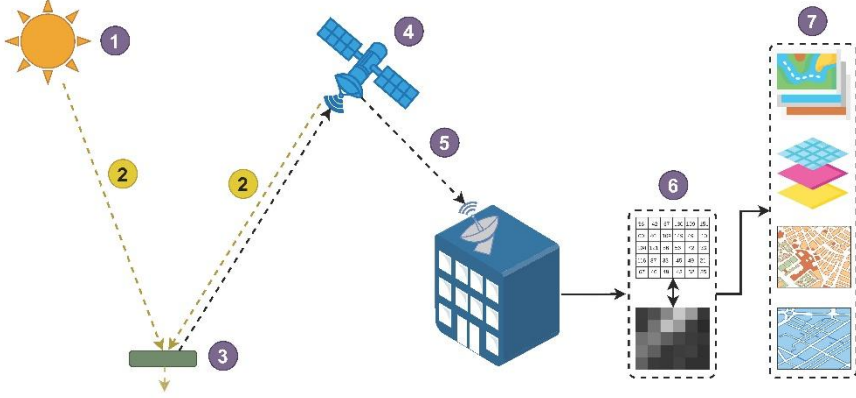
Sonuç olarak, uzaktan algılama ve CBS, tarım sektöründe büyük bir potansiyele sahiptir. Bu teknolojiler, tarım arazilerinin verimliliğini artırmak, kaynak kullanımını optimize etmek ve sürdürülebilir uygulamaları desteklemek için etkili çözümler sunar (Kingra & ark., 2016; Mathenge & ark., 2022; Mulla, 2013). Özellikle uydu ve İHA tabanlı veri toplama yöntemleri, tarım arazilerinin düzenli olarak izlenmesini ve analiz edilmesini sağlamaktadır. CBS ise mekânsal analizler yaparak tarım arazilerinin planlanması ve yönetimi için kritik bilgiler sunmaktadır. Bu teknolojilerin entegrasyonu, tarım sektöründe daha doğru ve güvenilir kararlar alınmasını sağlar ve sürdürülebilir bir geleceğin inşasına katkıda bulunur. Kitabın bu bölümünde genel olarak uzaktan algılama ve CBS hakkında teorik bilgiler sunularak bu iki

teknolojinin entegrasyonu ve veri kalitesi üzerine açıklamalar yapılacaktır.

Uzaktan Algılama Teknolojileri: Temel Prensipler ve Veri Toplama Yöntemleri

Nesnelerin veya yüzey özelliklerinin belirlenmesi ve ayrıştırılması, yüzey malzemeleri tarafından yansıtılan, saçılan veya yayılan ışınım enerjisinin tespit edilip kaydedilmesiyle gerçekleştirilir (Tomassetti, 2020). Farklı nesneler, üzerine düşen elektromanyetik spektrumun çeşitli bantlarında farklı miktarlarda enerjiyi yansıtır, yayar veya saçar. Bu durum, malzemenin özelliklerine (yapısal, kimyasal ve fiziksel), yüzey pürüzlülüğüne, enerjinin/sinyalin geliş açısına, ışınım enerjisinin yoğunluğuna ve dalga boyuna bağlıdır (Aggarwal, 2004). Uzaktan Algılama, optik, spektroskopi, fotoğrafçılık, bilgisayar, elektronik ve telekomünikasyon, uydu fırlatma gibi çeşitli disiplinlerin bir kombinasyonunu içeren çok disiplinli bir bilim dalıdır. Bu teknolojilerin tümü, Uzaktan Algılama Sistemi adıyla bilinen tek bir bütün sistem olarak entegre edilmiştir (Kumar, 2015). Uzaktan algılama sisteminde süreç, gelen enerji/ışınım ile ilgili hedefler arasındaki etkileşimi içerir. Bu süreç, Şekil 1’de gösterilen yedi unsurun yer aldığı uzaktan algılamanın temel bileşenleri olarak adlandırılan görüntüleme sistemlerinin kullanımıyla örneklendirilmiştir. Ancak, bu örnek sistemin yanı sıra, uzaktan algılamanın yalnızca yayılan ve saçılan enerjinin algılanmasını değil, aynı zamanda görüntüleme yapmayan sensörlerin (örneğin, altimetre ve GNSS uyduları) kullanımını da kapsadığı unutulmamalıdır.

Şekil 1. Uzaktan Algılama Sistemi



Şekil 1’de sunulan uzaktan algılamanın temel bileşenlerini içeren çalışma sistemi, bu teknolojinin etkin bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır ve 1’den 7’ye her bir adım aşağıdaki şekilde açıklanır (Lillesand, Kiefer, & Chipman, 2015):

- **Enerji Kaynağı veya Aydınlatma (1):** Uzaktan algılamanın ilk gereksinimi, hedefi aydınlatan veya hedefe elektromanyetik enerji sağlayan bir enerji kaynağına sahip olmaktır. Bu enerji kaynağı genellikle pasif algılayıcılar için güneş gibi doğal bir ışık kaynağıdır, ancak radar ve LiDAR gibi bazı aktif algılayıcı sistemler yapay enerji kaynakları (kendi enerji kaynakları) kullanmaktadır.
- **Işınım ve Atmosfer (2):** Elektromanyetik dalgalar, enerji kaynağından hedefe doğru yol alırken, atmosferden geçer ve atmosferdeki gazlarla etkileşime girer. Bu etkileşim, enerji hedeften sensöre doğru yol alırken ikinci kez gerçekleşebilir.
- **Hedef ile Etkileşim (3):** Enerji, atmosferden geçerek hedefe ulaştığında hem hedefin hem de ışınımın özelliklerine bağlı olarak hedefle etkileşime girer.

- **Enerjinin Sensör Tarafından Kaydedilmesi**

(4): Enerji, hedeften yansıdıktan/saçıldıktan veya yayıldıktan sonra, elektromanyetik ışınımı toplayıp kaydeden ve hedefle doğrudan temas etme-yen bir sensör tarafından algılanır.

- **Veri İletimi ve İşleme (5):** Sensör tarafından

kaydedilen enerji, genellikle elektronik formda, bir alım ve işleme istasyonuna iletilir. Burada veriler, bir veriye/görüntüye (basılı veya dijital) dönüştürülür.

- **Yorumlama ve Analiz (6):** İşlenen

veri/görüntü, hedef hakkında bilgi çıkarmak için görsel ve/veya dijital veya elektronik olarak yorumlanır ve analiz edilir.

- **Uygulama (7):** Uzaktan algılama sürecinin

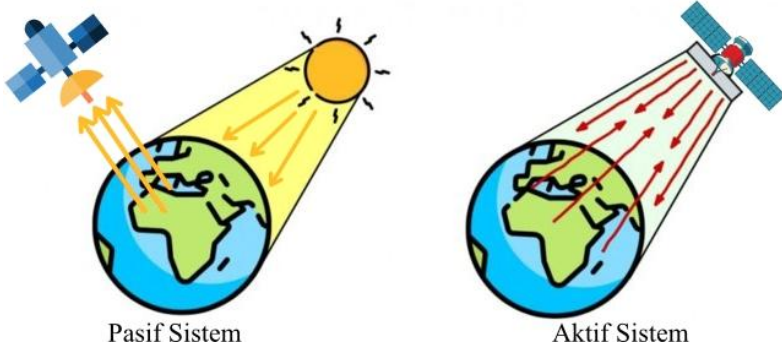
son unsuru, görüntülerden elde edilen bilgilerin hedefi daha iyi anlamak, yeni bilgiler ortaya çıkarmak veya belirli bir sorunu çözmek için uygulanmasıdır.

Uzaktan algılama sistemleri, enerji kaynağına bağlı olarak pasif ve aktif sistem olmak üzere ikiye ayrılır (Şekil 2). Pasif sistemler, dış bir enerji kaynağından gelen elektromanyetik enerjiyi kullanır ve bu enerji kaynağı genellikle güneştir.

Pasif sistemler, yeryüzünden yansıyan veya yayılan enerjiyi algılar ve kaydeder. Bu sistemler, enerji üretmezler; sadece mevcut enerjiyi algılarlar. Örneğin, optik sensörler, kızılötesi sensörler ve mikrodalga sensörler pasif sistemlerdir. Pasif sistemler, gündüz saatlerinde ve açık hava koşullarında en iyi performans gösterirler. Ancak, bu sistemler gece veya bulutlu hava koşullarında sınırlı performans gösterirler. Aktif sistemler ise kendi enerji kaynaklarını kullanarak hedefe enerji gönderir ve geri dönen sinyali algılar. Bu sistemler, enerji kaynağına bağımlı olmadıkları için gece ve gündüz,

her türlü hava koşulunda çalışabilirler. Radar ve LiDAR (Işın Algılama ve Mesafe Ölçme) sistemleri aktif sistemlere örnektir.

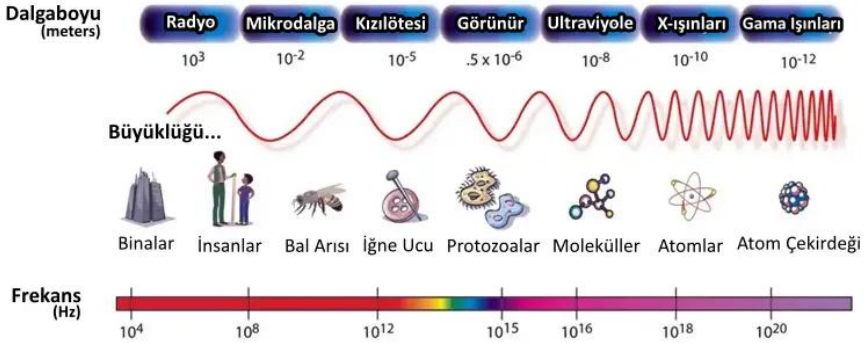
Şekil 2. Pasif ve aktif algılama sistemleri.



Uzaktan algılamanın temel prensiplerinden bir diğeri de elektromanyetik spektrum ile olan ilişkisidir. Uzaktan algılama, yeryüzündeki nesne ve olayların elektromanyetik dalgalar aracılığıyla tespit edilmesi, analiz edilmesi ve yorumlanması sürecidir. Bu süreçte, elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerindeki enerji dalgaları kullanılmaktadır (Şekil 3). Elektromanyetik spektrum, tüm elektromanyetik dalgaların frekans veya dalga boyuna göre sınıflandırıldığı bir ölçektir ve radyo dalgalarından gama ışınlarına kadar geniş bir aralığı kapsar (Joshi & Kumar, 2003). Radyo dalgaları, uzun dalga boyuna ve düşük frekansa sahip olup radyo ve televizyon yayınlarında kullanılırken, mikrodalgalar ise mikrodalga fırınlar ve radar sistemlerinde kullanılır (Chaturvedi, 2018). Kızılötesi (IR) dalgalar, ısı algılamada ve gece görüş cihazlarında kullanılırken, görünür ışık insan gözüyle görülebilen ışık aralığını kapsar (Sarawade & Charniya, 2018). Ayrıca gözlerimiz, çevremiz hakkında bilgi toplamak için görünür ışık enerjisinin bir dış kaynaktan (güneş veya herhangi bir yapay ışık kaynağı gibi) yansımaları değerlendirilerek bilgi toplayabilen mükemmel bir uzaktan algılama sensörü örneğidir. Morötesi (UV) ışınlar, sterilizasyon ve floresan lambalarda kullanılırken, X ışınları

tıbbi görüntüleme ve güvenlik taramalarında kullanılır (Figura & Teixeira, 2023). Gama ışınları ise yüksek enerjili ve iyonlaştırıcı radyasyon içerir ve tıbbi tedaviler ile nükleer enerji araştırmalarında kullanılmaktadır (Saleh & Hassan, 2024).

Şekil 3. Elektromanyetik spektrum.



Tarımsal uygulamalarda elektromanyetik spektrumun farklı bölgeleri, bitki sağlığını izleme, toprak özelliklerini belirleme, ürün tahmini ve sulama yönetimi gibi pek çok alanda etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Elektromanyetik spektrumun morötesi (UV) bölgesi (10-400 nm), özellikle bitki yapraklarının yüzey özelliklerini ve stres durumlarını belirlemek için kullanılır (Zhong & ark., 2021). Görünür bölge (400-700 nm) ise bitki gelişiminin değerlendirilmesinde kritik öneme sahiptir (Panagopoulos, Bornman, & Björn, 1990). Görünür ışığın mavi bölgesi (450-495 nm) genç bitkilerin büyümesini teşvik ederken, yeşil bölge (495-570 nm) bitkiler tarafından en az emilen kısımdır ve bu nedenle sağlıklı bitkiler yeşil görünür. Kırmızı bölge (620-700 nm) klorofil tarafından güçlü bir şekilde emildiğinden, bitki fotosentezi için hayati öneme sahiptir. Ayrıca, kırmızı kenar (700-750 nm) bandı, bitki stresini ve klorofil içeriğini belirlemek için sıklıkla kullanılmaktadır (Sims & Gamon, 2002).

Yakın kızılötesi (NIR) bölgesi (750-1400 nm), bitki biyokütlesini ve genel sağlığını değerlendirmek için en yaygın

kullanılan bölgedir (Singh & ark., 2022). Bitkiler, yapılarındaki su içeriğine bağlı olarak NIR ışığını farklı oranlarda yansıtırlar. Bitki sağlığının izlenmesinde yaygın olarak kullanılan Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) gibi indeksler, kırmızı ve NIR bandı arasındaki yansıma farkına dayanır. Kısa dalga kızılötesi (SWIR) bölgesi (1400-3000 nm) ise bitkilerin su içeriğini belirlemek, kuraklık stresini tespit etmek ve toprak bileşimini analiz etmek için kullanılır. SWIR bandı, toprak nemi, organik madde ve mineral içeriğini incelemeye oldukça etkilidir.

Termal kızılötesi (TIR) bölgesi (3-14 μm), toprak ve bitki sıcaklığını izlemek için kullanılır. Tarımsal sulama yönetiminde, TIR verileri kullanılarak bitkilerdeki su kaybı ve su stresi de tespit edilebilir (Zhou & ark., 2021). Ayrıca, TIR verileri tarımsal alanlarda mikroklimatik değişimleri anlamak için de kritik bilgiler sağlar. Mikrodalga bölgesi (1 mm - 1 m), özellikle toprak nemi ölçümünde ve bitki örtüsünün yapısal özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır (Sekertekin, Marangoz, & Abdikan, 2020). Pasif mikrodalga sistemleri (örneğin, SMOS ve SMAP uyduları), toprağın nem içeriğini ölçerken; aktif mikrodalga sistemleri ve Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) teknolojisi, bitki büyümesini izleme, yüzey pürüzlülüğünü değerlendirme ve bulut örtüsünden etkilenmeden veri toplama imkânı sunar (Abdikan & ark., 2023; Nasirzadehdizaji & ark., 2019).

Elektromanyetik spektrumun bu farklı bölgeleri, tarım yönetimi ve uygulamalarında hayati bir rol oynar. Bitki gelişimi, su yönetimi, toprak analizi ve hastalık tespiti gibi pek çok alanda kullanılan bu teknolojiler, tarımsal üretimin verimliliğini artırmanın yanı sıra doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimine de katkı sağlar. Özellikle uydu ve İHA teknolojileriyle entegre edilen bu spektral bilgiler, modern tarımın temel bileşenlerinden biri haline gelmektedir.

Uzaktan algılamada veri toplama platformları, sensörlerin yeryüzü hakkında veri toplamasını sağlayan araçlardır. Bu

platformlar, yeryüzü, atmosfer ve okyanuslardan veri toplamak için kullanılır. Üç ana tür veri toplama platformu vardır: yer tabanlı, hava tabanlı ve uydu tabanlı platformlar (Lillesand & ark., 2015). Yer tabanlı platformlar, yeryüzünde bulunan sensörlerdir. Bu platformlar, genellikle tripodlar, kuleler veya araçlar üzerine monte edilir. Yer tabanlı platformlar, yüksek çözünürlüklü veriler toplamak için kullanılır ve genellikle küçük alanlarda detaylı çalışmalar yapmak için idealdir. Örneğin, yer tabanlı LiDAR sistemleri, orman yapısını ve bitki örtüsünü incelemek için kullanılır. Hava tabanlı platformlar, atmosferde çalışan araçlardır. Bu platformlar, uçaklar, helikopterler ve İHA'lar gibi araçları içerir. Hava tabanlı platformlar, geniş alanlarda yüksek çözünürlüklü görüntüler ve veriler toplamak için kullanılır. İnsanlı ve insansız olmak üzere ikiye ayrılırlar. İnsanlı hava araçları, büyük alanlarda yüksek kaliteli görüntüler toplamak için kullanılırken, İHA düşük irtifalarda yüksek çözünürlüklü görüntüler toplamak için kullanılır. Uydu tabanlı platformlar ise yörüngede dönen uydular üzerine monte edilmiş sensörlerdir. Bu platformlar, geniş alanlarda sürekli gözlem yapma yeteneğine sahiptir. Uydu tabanlı platformlar, çevresel izleme, tarım, hava durumu tahmini ve afet yönetimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Düşük Dünya yörüngesi ve jeostatik yörünge gibi farklı yörüngelerde çalışabilirler. Bu platformlar, tarımsal verimliliği artırmak ve kaynakları daha verimli kullanmak için etkili çözümler sunmaktadır.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS): Mekansal Veri Modelleri ve Analitik Yaklaşımlar

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), mekânsal verilerin elde edilmesi, depolanması, yönetilmesi, işlenmesi, analiz edilmesi ve görselleştirilmesine yönelik entegre bir teknoloji sistemidir. CBS, çok disiplinli bir alan olup, mekânsal bilgilerin etkin bir şekilde yönetilmesine ve anlamlandırılmasına olanak tanımaktadır. Bu sistemler, hem doğal hem de yapay çevreye ilişkin verilerin

modellenmesini ve karar destek süreçlerinde etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır (Akmal, 2023).

Özellikle tarımsal uygulamalarda CBS, arazi kullanım planlaması, bitki örtüsü değişim analizi, verim tahmin modelleri, hassas tarım uygulamaları, sulama yönetimi ve toprak analizleri gibi birçok kritik alanda önemli katkılar sunmaktadır. CBS'nin sunduğu güçlü analiz yetenekleri, mekânsal verilerin dinamik olarak değerlendirilmesine ve tarımsal üretim süreçlerinin optimize edilmesine olanak tanımaktadır (Jun-feng, Chang-feng, & Hong-hui, 2003; Mathenge & ark., 2022).

Bu başlıkta, CBS'nin temel bileşenlerinden biri olan mekânsal veri modelleri ile bu modellerin çeşitli analitik yaklaşımlar kapsamında nasıl değerlendirildiği ayrıntılı bir şekilde incelenecektir. CBS kapsamında mekânsal verilerin modellenmesi, analiz edilmesi ve görselleştirilmesi için iki temel veri modeli kullanılmaktadır: Bunlar vektör veri modeli ve raster veri modelidir. Bu iki model, farklı veri yapıları ve analitik süreçler için uygun çözümler sunarak mekânsal bilgi sistemlerinin etkinliğini artırmaktadır (Winter, 1998).

Vektör veri modeli, mekânsal varlıkları nokta (point), çizgi (line) ve alan (polygon) olmak üzere üç temel geometrik yapı üzerinden temsil eder:

Nokta (Point): Belirli bir koordinat çiftine sahip tekil konumları temsil eder. Örneğin, bir şehir merkezi, bir ağaç veya bir su kuyusu gibi konumlar nokta verisi olarak kaydedilir.

Çizgi (Line): İki veya daha fazla noktanın birleştirilmesiyle oluşturulan ve uzunluğu olan ancak genişliği bulunmayan mekânsal varlıklardır. Nehirler, yollar, demiryolları ve sınırlar çizgi veri modeliyle ifade edilmektedir.

Alan (Polygon): Kapalı bir sınır oluşturan çizgiler aracılığıyla mekânsal bölgeleri tanımlar. Göller, tarım arazileri, şehir sınırları ve orman alanları poligon şeklinde temsil edilmektedir.

Vektör veri modeli, mekânsal doğruluğu yüksek ve detaylı temsil yeteneğine sahip olması nedeniyle kadastral analizler, altyapı yönetimi, ağ analizleri (örneğin en kısa yol hesaplamaları) ve nesne tabanlı mekânsal analizler için oldukça uygundur (Dong, 2008).

Vektör Veri Modelinin Avantajları aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- *Yüksek mekânsal doğruluk:* Coğrafi varlıkların keskin sınırlarla tanımlanmasını sağlar.
- *Daha az depolama alanı gereksinimi:* Raster modeline kıyasla, detay düzeyi yüksek olsa bile genellikle daha az yer kaplar.
- *Topolojik analizlere uygunluk:* Nesneler arasındaki ilişkileri (komşuluk, bağlantı, kapsama gibi) tanımlayarak gelişmiş analizlerin gerçekleştirilmesine olanak tanır.

Diğer yandan vektör veri modelinin bazı sınırlılıkları söz konusudur. Bunlar aşağıda verilmiştir:

- *Veri işleme karmaşıklığı:* Çok sayıda nesne içeren büyük veri setlerinde hesaplama süreçleri uzun sürebilir.
- *Yoğun mekânsal analizlerde sınırlamalar:* Sürekli değişen yüzeyleri modelleme (örneğin sıcaklık dağılımı) konusunda raster modele göre daha az etkilidir.

Raster veri modeli yapı olarak vektör veri modelinden daha farklıdır. Raster veri modeli, mekânsal bilgileri düzenli bir matris yapısı içerisinde hücresel formatta saklar. Her bir hücre (piksel) belirli bir mekânsal çözünürlüğe sahiptir ve tek bir değer içerir.

Raster veriler genellikle uzaktan algılama verileri (uydu görüntüleri, hava fotoğrafları), yükseklik modelleri, iklim haritaları ve arazi örtüsü sınıflandırmaları gibi sürekli değişen mekânsal özelliklerin temsilinde kullanılır (Ouchra, Belangour, & Erraissi, 2022). Raster veriler, iki temel kategoriye ayrılabilir:

Ayrık (Discrete) Veriler: Arazi kullanımı, idari sınırlar gibi belirli sınıflara ayrılmış verileri içerir. Her piksel belirli bir kategoriye karşılık gelir.

Sürekli (Continuous) Veriler: Yükseklik, sıcaklık, yağış miktarı gibi sürekli değişken verileri içerir. Piksel değerleri belirli bir ölçekte değişen fiziksel parametreleri temsil eder.

Vektör veri modeli gibi raster veri modelinin de bazı avantajları ve dezavantajları söz konusudur. Avantajlar aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- *Sürekli verileri modellemede üstünlük:* Özellikle yüzey analizleri ve uzaktan algılama çalışmalarında yaygın olarak kullanılır.
- *Basit veri yapısı:* Verilerin matris formatında saklanması, belirli işlemler için hesaplama sürecini kolaylaştırır.
- *Piksel tabanlı analizler için uygundur:* Jeostatistiksel analizler, arazi eğimi hesaplamaları ve mekânsal interpolasyon teknikleri için ideal bir yapı sunar.

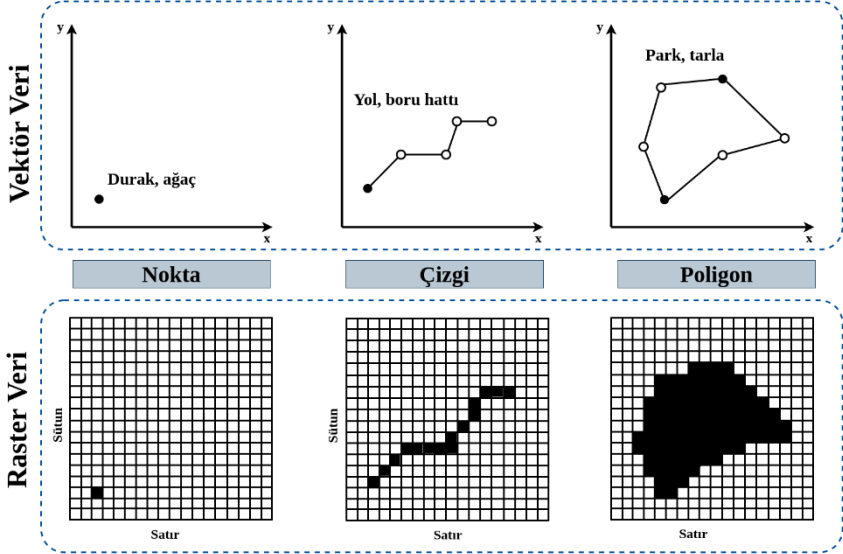
Raster veri modelinin sınırlılıkları ise aşağıdaki gibi verilebilir:

- *Depolama alanı gereksinimi yüksektir:* Çözünürlük arttıkça dosya boyutu önemli ölçüde artmaktadır.
- *Düşük mekânsal doğruluk:* Nesneler, piksellerle temsil edildiği için detay kaybı yaşanabilir.

- *Topolojik analizler için sınırlıdır:* Nesneler arası ilişkileri modelleme konusunda vektör veriye kıyasla daha az esneklik sunar.

Şekil 4'te vektör ve raster veri modellerinin yapısı gösterilmektedir.

Şekil 4. Vektör ve raster veri modeli.



Yukarıda da ifade edildiği gibi vektör ve raster veri modelleri arasında bazı benzerlikler ve farklılıklar söz konusudur. Tablo 1'de bu modellerin birçok parametresi dikkate alınarak karşılaştırılmaları verilmiştir.

Tablo 1: Vektör ve raster modellerin karşılaştırılması

Özellik	Vektör Veri Modeli	Raster Veri Modeli
Veri Temsili	Nokta, Çizgi, Alan	Piksel
Analitik Uygulama	Ağ analizleri, topolojik analizler	Sürekli yüzey analizleri, uzaktan algılama
Veri Depolama	Daha az yer kaplar	Yüksek çözünürlükte büyük dosya boyutu
Mekânsal Doğruluk	Yüksek	Piksel boyutuna bağlı olarak değişken
İşleme Kolaylığı	Karmaşık veri yapıları	Matris formatı nedeniyle hızlı işlemler
Kullanım Alanları	Şehir planlama, altyapı yönetimi, haritalama vb.	İklim analizi, arazi kullanımı, görüntü işleme vb.

Sonuç olarak, vektör ve raster veri modelleri, CBS'de farklı türdeki analizler ve uygulamalar için özel olarak kullanılmaktadır. Vektör modeli daha çok detaylı nesne temsili gerektiren uygulamalarda, raster modeli ise sürekli değişen mekânsal verilerin analizinde tercih edilmektedir. Çoğu CBS uygulamasında, her iki veri modeli bir arada kullanılarak daha kapsamlı ve hassas analizler gerçekleştirilmektedir (Wang & Pullar, 2005).

Yukarıda bahsedilen veri modelleri ile birlikte analitik yaklaşımlar ele alınmaktadır. Analitik yaklaşımlar, CBS kapsamında mekânsal verilerin derinlemesine incelenmesi, modellenmesi ve yorumlanmasına olanak tanıyan yöntemleri içermektedir. Bu bağlamda, mekânsal istatistikler, mekânsal interpolasyon teknikleri, mekânsal veri madenciliği, uzaktan algılama verileriyle bütünleştirme ve çok kriterli karar destek sistemleri gibi yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhang, 2000). Bu yöntemler, mekânsal ilişkileri ortaya çıkarmak, eksik verileri tahmin etmek, büyük veri setlerinden anlamlı desenler çıkarmak, farklı veri kaynaklarını entegre etmek ve karar alma süreçlerini optimize etmek için önemli araçlar sunmaktadır (Chakma & ark., 2022).

Mekânsal istatistikler, coğrafi veriler arasındaki ilişkileri analiz etmek, mekânsal bağımlılığı değerlendirmek ve belirli bir

bölgede gerçekleşen olayların dağılımını incelemek için kullanılan teknikleri kapsamaktadır. Nokta desen analizi, Moran's I istatistiği ve mekânsal otokorelasyon ölçütleri gibi yöntemler, coğrafi olayların rastlantısal mı yoksa belirli bir düzene göre mi dağıldığını anlamada kritik rol oynamaktadır (Cheniti, Cheniti, & Brahamia, 2021). Bu istatistiksel teknikler, kent planlaması, çevresel analizler ve epidemiyolojik çalışmalar gibi birçok alanda karar alma süreçlerini desteklemektedir (Nayak & ark., 2021).

Mekânsal interpolasyon teknikleri, sınırlı sayıda örneklem noktasından elde edilen verileri kullanarak, bu noktalar arasındaki bilinmeyen değerlere yönelik tahminler yapmak için kullanılan yöntemlerdir (Li & Heap, 2014). Kriging, ters mesafe ağırlıklı ortalama (IDW) ve splines gibi interpolasyon teknikleri, özellikle hava sıcaklığı, hava kirliliği, su kalitesi ve topografik değişkenler gibi sürekli değişkenlerin mekânsal dağılımını modellemek için tercih edilmektedir. Bu teknikler sayesinde, sahadan elde edilen sınırlı veri noktaları kullanılarak tüm çalışma alanına yönelik mekânsal kestirimler yapılabilmektedir (Abdulmanov & ark., 2021).

Mekânsal veri madenciliği, CBS ortamında büyük ölçekli mekânsal veri kümeleri içindeki örüntüleri, ilişkileri ve anormallikleri ortaya çıkarmayı amaçlayan bir yaklaşımdır. Kümeleme algoritmaları, mekânsal ilişkilendirme kuralları ve karar ağaçları gibi veri madenciliği yöntemleri, mekânsal verilerin daha etkili bir şekilde analiz edilmesine ve tahmin modellerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Özellikle şehirleşme dinamiklerinin analizi, arazi kullanım değişikliklerinin belirlenmesi ve mekânsal risk değerlendirmesi gibi alanlarda mekânsal veri madenciliği büyük bir öneme sahiptir (Pampoore-Thampi, Varde, & Yu, 2021).

Uzaktan algılama verileriyle bütünleştirme, uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları gibi uzaktan algılama teknolojileri ile CBS

verilerinin entegrasyonunu ifade etmektedir. Bu entegrasyon, arazi örtüsü sınıflandırması, doğal afet yönetimi, tarımsal verim analizi ve çevresel değişimlerin izlenmesi gibi alanlarda büyük avantajlar sunmaktadır. Uzaktan algılama verileri, yüksek çözünürlüklü mekânsal bilgi sağlayarak, coğrafi analizlerin doğruluğunu artırmakta ve mekânsal değişkenlerin zaman içerisindeki eğilimlerini belirlemeye yardımcı olmaktadır (Wiatkowska & ark., 2021).

Çok kriterli karar destek sistemleri, mekânsal karar süreçlerinde farklı kriterleri dikkate alarak optimum çözümleri belirlemek için kullanılan analitik yaklaşımlardır. Ağırlıklı doğrusal kombinasyon (WLC), analitik hiyerarşi süreci (AHP) ve bulanık mantık tabanlı analizler gibi yöntemler, karmaşık karar problemlerinde mekânsal verilerin sistematik bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır (Zarin & ark., 2021). Özellikle uygun yer seçimi analizleri, çevresel etki değerlendirmeleri ve afet yönetimi gibi alanlarda, çok kriterli karar destek sistemleri karar vericilere bilimsel ve veri odaklı bir yaklaşım sunmaktadır.

CBS kapsamında kullanılan bu analitik yöntemler, mekânsal verilerin etkin bir şekilde işlenmesi ve anlamlandırılmasında önemli olup, şehir planlaması, çevre yönetimi, doğal afet analizi, ulaşım optimizasyonu, halk sağlığı politikaları ve daha birçok alanda karar alma süreçlerinin daha verimli bir şekilde yürütülmesine katkı sunmaktadır. Bu yöntemlerin doğru bir şekilde uygulanması, mekânsal problemlerin çözümüne yönelik daha isabetli tahminler yapılmasına ve sürdürülebilir planlama stratejilerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

Sonuç olarak, CBS'nin mekânsal veri modelleri ve analitik yaklaşımlar açısından sunduğu yöntemler, mekânsal veriye dayalı problemlerin çözümünde geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Özellikle büyük veri ve yapay zekâ teknolojileri ile entegre edilen

CBS uygulamaları, mekânsal analiz süreçlerinde yeni perspektifler sunarak çok daha kapsamlı ve hassas analizlerin gerçekleştirilmesine imkân tanımaktadır (Attah & ark., 2024).

Uzaktan Algılama ve CBS Entegrasyonu: Tarımda Veri Tabanlı Karar Destek Sistemleri

Tarım sektörü, verimliliği artırmak ve doğal kaynakları daha sürdürülebilir bir şekilde yönetmek için ileri teknolojilere giderek daha fazla yönelmektedir. Uzaktan algılama ve CBS entegrasyonu, tarımsal faaliyetlerin daha etkin bir şekilde planlanmasına, izlenmesine ve yönetilmesine olanak sağlayan güçlü bir veri tabanlı karar destek mekanizması sunmaktadır (Sharada & ark., 2025). Bu entegrasyon, tarımsal üretimin her aşamasında doğru ve zamanında bilgiye dayalı kararlar alınmasını mümkün kılarak, çiftçilerin ve tarımsal yöneticilerin karşılaştığı riskleri minimize etmektedir.

Uzaktan algılama teknolojileri, tarım alanlarının geniş ölçekli analizini sağlamak için uydu görüntüleri, İHA'lar ve hiperspektral kameralar gibi çeşitli veri toplama yöntemlerini kullanmaktadır (Zhang & Zhu, 2023) . Bu teknolojiler, tarımsal üretimi etkileyen çeşitli faktörleri yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlükte değerlendirmeye olanak tanır. Bitki sağlığının izlenmesi, hastalık ve zararlı tespiti, toprak nem içeriğinin belirlenmesi, tarımsal stres faktörlerinin değerlendirilmesi ve verim tahminleri gibi kritik süreçler, uzaktan algılama verileri aracılığıyla detaylı bir şekilde analiz edilebilmektedir (Zheng & ark., 2023).

CBS, uzaktan algılama verilerinden elde edilen bilgileri mekânsal analizler ile birleştirerek tarımsal yönetim süreçlerine entegre eder. Toprak özellikleri, iklim verileri, arazi eğimi ve su kaynakları gibi çeşitli coğrafi faktörlerin modellenmesi, tarımsal faaliyetlerin daha bilinçli bir şekilde yürütülmesine yardımcı olmaktadır (Sun & ark., 2022). CBS tabanlı analizler sayesinde, hangi bölgelerde hangi ürünlerin yetiştirilmesinin daha uygun

olduğu belirlenebilir, sulama ve gübreleme programları optimize edilebilir ve iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki etkileri değerlendirilebilir.

Tarımda uzaktan algılama ve CBS entegrasyonunun bazı uygulama alanları aşağıdaki gibidir:

Bitki Sağlığı ve Verim Tahmini: Uzaktan algılama teknolojileri, sensörler yardımıyla elde edilen bitki örtüsünün gelişimini ve sağlığını değerlendiren Normalize Fark Bitki İndeksi (NDVI) gibi spektral indeksleri kullanarak tarımsal verimlilik hakkında tahminlerde bulunur. Bu analizler, CBS aracılığıyla elde edilen mekânsal verilerle birleştirildiğinde, hangi alanlarda verim düşüklüğünün olduğu belirlenebilir ve zamanında önlemler alınabilir (Hassan & ark., 2022).

Sulama Yönetimi: Uzaktan algılama sistemleri, termal görüntüleme ve mikrodalga sensörleri kullanarak tarım alanlarının toprak nem seviyelerini izleyebilir. CBS ile birleştirilen bu veriler, su kaynaklarının etkin yönetilmesine katkı sağlar ve aşırı sulama ya da kuraklık riskini azaltarak su tasarrufu yapılmasına olanak tanır (Kourgialas & ark., 2022).

Tarımsal Hastalık ve Zararlı Tespiti: Hastalıkların ve zararlı organizmaların neden olduğu bitki stresini erken aşamada belirlemek için hiperspektral görüntüler ve multispektral sensörler kullanılmaktadır (Sharada & ark., 2025). CBS aracılığıyla zararlı popülasyonlarının mekânsal dağılımı haritalandırılarak, biyolojik ve kimyasal mücadele stratejileri optimize edilebilir.

Toprak Analizi ve Arazi Kullanımı: Uzaktan algılama verileri, toprak bileşimi, organik madde içeriği ve drenaj koşulları gibi özellikleri değerlendirmek için kullanılabilir. CBS ile entegre edildiğinde, tarım alanlarının verimliliği artırılarak en uygun ekim stratejileri geliştirilir (Topuz & Deniz, 2023).

İklim Değişikliği ve Tarımsal Risk Yönetimi: Uzaktan algılama, uzun vadeli iklim değişikliği eğilimlerini analiz ederek, tarımsal üretim üzerindeki potansiyel etkileri tahmin etmeye yardımcı olur. CBS ile birleştirildiğinde, ekstrem hava olaylarının mekânsal analizleri yapılabilir ve tarımsal risk yönetim politikaları geliştirilebilir (Mathenge & ark., 2022; Raihan, 2024).

Uzaktan algılama ve CBS entegrasyonu, tarımda dijital dönüşümün temel taşlarından biri olarak öne çıkmakta ve çiftçilerin daha bilinçli, veri tabanlı ve sürdürülebilir kararlar almasını sağlamaktadır. Bu teknolojik ilerlemeler, tarımsal üretimde verimlilik artışını desteklerken, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği de güçlendirmektedir. Gelecekte yapay zekâ ve büyük veri analitiği gibi ileri teknolojilerle desteklenecek olan uzaktan algılama ve CBS tabanlı karar destek sistemleri, tarımsal üretimi daha verimli, düşük maliyetli ve iklim değişikliğine karşı dirençli hale getirecektir.

Uzaktan algılama ve CBS’de Tarımsal Uygulamalar Açısında Veri Kalitesi ve Doğruluk Değerlendirmesi

Uzaktan algılama ve CBS verilerinin kalitesi, tarımsal uygulamalarda alınacak kararların doğruluğunu ve güvenilirliğini doğrudan etkiler. Veri kalitesi, doğruluk, hassasiyet, tutarlılık, eksiksizlik ve güncellik gibi birçok parametre ile ölçülür. Doğruluk, verilerin gerçek değerlere ne kadar yakın olduğunu gösterir ve özellikle tarım arazilerinin sınırlarının belirlenmesi, bitki örtüsü analizleri ve toprak nemi tespiti gibi uygulamalarda kritik öneme sahiptir (Zhang & Kovacs, 2012). Hassasiyet ise verilerin tutarlılığını ve tekrarlanabilirliğini ifade eder. Örneğin, aynı bölgeye ait farklı zamanlarda toplanan uydu verilerinin tutarlı olması, tarımsal değişimlerin doğru bir şekilde izlenebilmesini sağlar.

Veri kalitesini etkileyen faktörler arasında sensör çözünürlüğü, atmosferik koşullar, veri işleme teknikleri ve örnekleme yöntemleri yer alır (Aasen & ark., 2018). Özellikle uydu

ve İHA tabanlı veri toplama sistemlerinde, sensör çözünürlüğü veri kalitesini doğrudan etkiler. Yüksek çözünürlüklü veriler, daha detaylı analizler yapılmasını sağlarken, düşük çözünürlüklü veriler geniş alanların hızlı bir şekilde izlenmesi için kullanılır (Li & ark., 2012). Atmosferik koşullar ise özellikle pasif sistemlerde veri kalitesini etkileyen önemli bir faktördür. Bulut örtüsü, sis ve toz gibi atmosferik etkenler, uydu görüntülerinin kalitesini düşürebilir ve bu durum, veri işleme süreçlerinde düzeltme tekniklerinin kullanılmasını gerektirir (Schowengerdt, 2006).

Veri doğruluğunun değerlendirilmesi, uzaktan algılama ve CBS uygulamalarının ayrılmaz bir parçasıdır. Doğruluk değerlendirmesi, genellikle yer ölçümleri (ground truth) ile uzaktan algılama verilerinin karşılaştırılması yoluyla yapılır. Yer ölçümleri, tarım arazilerinde yapılan toprak nemi, bitki sağlığı ve ürün verimi gibi parametrelerin doğrudan ölçülmesini içerir. Bu ölçümler, uydu veya İHA verileri ile karşılaştırılarak veri doğruluğu değerlendirilir (Morales-Barquero & ark., 2019).

Doğruluk değerlendirmesinde kullanılan yöntemler arasında hata matrisi (confusion matrix), kappa katsayısı, genel doğruluk ve karesel ortalama hata (RMSE) gibi istatistiksel metrikler kullanılır. Hata matrisi, sınıflandırma doğruluğunu değerlendirmek için kullanılır ve doğru sınıflandırılan piksellerin oranını gösterir (Khatami, Mountrakis, & Stehman, 2017). Kappa katsayısı ise sınıflandırma doğruluğunun şansa bağlı olmayan kısmını ölçer ve sıfır (0) ile bir (1) arasında değerler alır (Liu, Frazier, & Kumar, 2007). Kappa'nın bire yakın değerler alması sınıflandırma doğruluğunun yüksek olduğunu gösterir. RMSE ise sürekli verilerin (örneğin, toprak nemi veya bitki örtüsü indeksleri) doğruluğunu değerlendirmek için kullanılır ve düşük RMSE değerleri, yüksek doğruluk anlamına gelir (Hodson, 2022).

Veri kalitesi, tarımsal karar süreçlerinde kritik bir rol oynar. Özellikle hassas tarım uygulamalarında, yüksek kaliteli veriler, çiftçilere daha doğru ve güvenilir bilgiler sunar. Örneğin, sulama planlaması için toprak nemi verilerinin doğruluğu, su kaynaklarının etkili bir şekilde kullanılmasını sağlar (Adeyemi & ark., 2018). Benzer şekilde, bitki sağlığı izleme sistemlerinde kullanılan verilerin doğruluğu, hastalık ve zararlıların erken tespit edilmesine ve ürün kayıplarının en aza indirilmesine yardımcı olur (Zhang & ark., 2019).

Veri kalitesinin düşük olması, yanlış kararlara ve kaynak israfına neden olabilir. Örneğin, yanlış toprak nemi verileri, aşırı veya yetersiz sulamaya yol açabilir ve bu durum, tarımsal verimliliği olumsuz etkiler. Bu nedenle, uzaktan algılama ve CBS verilerinin kalitesinin sürekli olarak izlenmesi ve iyileştirilmesi, tarım sektöründe sürdürülebilir uygulamaların geliştirilmesi için büyük önem taşımaktadır.

Kaynakça

Aasen, H., Honkavaara, E., Lucieer, A., & Zarco-Tejada, P. J. (2018). Quantitative Remote Sensing at Ultra-High Resolution with UAV Spectroscopy: A Review of Sensor Technology, Measurement Procedures, and Data Correction Workflows. *Remote Sensing*, 10(7), 1091. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/rs10071091>

Abdikan, S., Sekertekin, A., Narin, O. G., Delen, A., & Balik Sanli, F. (2023). A comparative analysis of SLR, MLR, ANN, XGBoost and CNN for crop height estimation of sunflower using Sentinel-1 and Sentinel-2. *Advances in Space Research*, 71(7), 3045–3059. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.11.046>

Abdulmanov, R., Miftakhov, I., Ishbulatov, M., Galeev, E., & Shafeeva, E. (2021). Comparison of the effectiveness of GIS-based interpolation methods for estimating the spatial distribution of agrochemical soil properties. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101970. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2021.101970>

Adeyemi, O., Grove, I., Peets, S., Domun, Y., & Norton, T. (2018). Dynamic Neural Network Modelling of Soil Moisture Content for Predictive Irrigation Scheduling. *Sensors*, 18(10), 3408. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/s18103408>

Aggarwal, S. (2004). Principles of Remote Sensing. In *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology* (p. 427). World Meteorological Organisation.

Akıncı, H., Özalp, A. Y., & Turgut, B. (2013). Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. *Computers and Electronics in Agriculture*, 97, 71–82. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.07.006>

Akmal, K. (2023). The Role of Geographic Information Systems (GIS) in Location-Based Decision Making. *Journal Informatic, Education and Management (JIEM)*, 5(1), 26–30. Retrieved from <https://doi.org/10.61992/JIEM.V5I1.73>

Alsadik, B., Ellsäßer, F. J., Awawdeh, M., Al-Rawabdeh, A., Almahasneh, L., Oude Elberink, S., ... Al Asmar, Y. (2024). Remote Sensing Technologies Using UAVs for Pest and Disease Monitoring: A Review Centered on Date Palm Trees. *Remote Sensing*, 16(23), 4371. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/rs16234371>

Attah, R. U., Garba, B. M. P., Gil-Ozoudeh, I., & Iwuanyanwu, O. (2024). Leveraging geographic information systems and data analytics for enhanced public sector decision-making and urban planning. *Magna Scientia Advanced Research and Reviews*, 12(2), 152–163. Retrieved from <https://doi.org/10.30574/MSARR.2024.12.2.0191>

Avtar, R., Sahu, N., Aggarwal, A. K., Chakraborty, S., Kharrazi, A., Yunus, A. P., ... Kurniawan, T. A. (2019). Exploring Renewable Energy Resources Using Remote Sensing and GIS—A Review. *Resources*, 8(3), 149. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/resources8030149>

Badapalli, P. K., Nakkala, A. B., Gugulothu, S., & Kottala, R. B. (2025). Dynamic Land Degradation Assessment: Integrating Machine Learning with Landsat 8 OLI/TIRS for Enhanced Spectral, Terrain, and Land Cover Indices. *Earth Systems and Environment*, 9(1), 315–335. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s41748-024-00442-9>

Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to remote sensing* (Fifth Edit). New York: The Guilford Press.

Chakma, A., Bhowmik, T., Mallik, S., & Mishra, U. (2022). Application of GIS and Geostatistical Interpolation Method for

Groundwater Mapping. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 176, 419–428. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-981-16-4629-4_29

Chaturvedi, P. K. (2018). *Microwave, Radar & RF Engineering*. Singapore: Springer Singapore. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/978-981-10-7965-8>

Cheniti, H., Cheniti, M., & Brahamia, K. (2021). Use of GIS and Moran's I to support residential solid waste recycling in the city of Annaba, Algeria. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(26), 34027–34041. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/S11356-020-10911-Z/FIGURES/7>

Dong, P. (2008). Generating and updating multiplicatively weighted Voronoi diagrams for point, line and polygon features in GIS. *Computers & Geosciences*, 34(4), 411–421. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.CAGEO.2007.04.005>

Figura, L. O., & Teixeira, A. A. (2023). UV and X-rays. In *Food Physics* (pp. 513–522). Cham: Springer International Publishing. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-031-27398-8_13

Goodchild, M. F. (2018). Reimagining the history of GIS. *Annals of GIS*, 24(1), 1–8. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/19475683.2018.1424737>

Hassan, S. I., Alam, M. M., Zia, M. Y. I., Rashid, M., Illahi, U., & Su'ud, M. M. (2022). Rice Crop Counting Using Aerial Imagery and GIS for the Assessment of Soil Health to Increase Crop Yield. *Sensors 2022, Vol. 22, Page 8567*, 22(21), 8567. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/S22218567>

Hodson, T. O. (2022). Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not. *Geoscientific*

Model Development, 15(14), 5481–5487. Retrieved from <https://doi.org/10.5194/gmd-15-5481-2022>

Huang, Y., Chen, Z., Yu, T., Huang, X., & Gu, X. (2018). Agricultural remote sensing big data: Management and applications. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(9), 1915–1931. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61859-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61859-8)

Ines, A. V. ., Gupta, A. Das, & Loof, R. (2002). Application of GIS and crop growth models in estimating water productivity. *Agricultural Water Management*, 54(3), 205–225. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(01\)00173-1](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00173-1)

Inoue, Y. (2020). Satellite- and drone-based remote sensing of crops and soils for smart farming – a review. *Soil Science and Plant Nutrition*, 66(6), 798–810. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/00380768.2020.1738899>

Jha, M. K., & Chowdary, V. M. (2007). Challenges of using remote sensing and GIS in developing nations. *Hydrogeology Journal*, 15(1), 197–200. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10040-006-0117-1>

Joshi, A. W., & Kumar, A. (2003). What can we learn from the electromagnetic spectrum? *Resonance*, 8(3), 8–25. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/BF02835801>

Jun-feng, G., Chang-feng, L., & Hong-hui, Z. (2003). Soil spatial analysis and agricultural land use optimization by using GIS. *Chinese Geographical Science*, 13(1), 25–29. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/S11769-003-0080-X/METRICS>

Karthikeyan, L., Chawla, I., & Mishra, A. K. (2020). A review of remote sensing applications in agriculture for food security: Crop growth and yield, irrigation, and crop losses. *Journal of Hydrology*, 586, 124905. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124905>

Khatami, R., Mountrakis, G., & Stehman, S. V. (2017). Mapping per-pixel predicted accuracy of classified remote sensing images. *Remote Sensing of Environment*, 191, 156–167. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.01.025>

Kingra, P. K., Majumder, D., & Singh, S. P. (2016). Application of Remote Sensing and Gis in Agriculture and Natural Resource Management Under Changing Climatic Conditions. *Agricultural Research Journal*, 53(3), 295. Retrieved from <https://doi.org/10.5958/2395-146X.2016.00058.2>

Kourgialas, N. N., Hliaoutakis, A., Argyriou, A. V, Morianou, G., Voulgarakis, A. E., Kokinou, E., ... Soupios, P. (2022). A web-based GIS platform supporting innovative irrigation management techniques at farm-scale for the Mediterranean island of Crete. *Science of The Total Environment*, 842, 156918. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.156918>

Kumar, S. (2015). *PRINCIPLES OF REMOTE SENSING*.

Li, D., Tong, Q., Li, R., Gong, J., & Zhang, L. (2012). Current issues in high-resolution earth observation technology. *Science China Earth Sciences*, 55(7), 1043–1051. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11430-012-4445-9>

Li, J., & Heap, A. D. (2014). Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling & Software*, 53, 173–189. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.12.008>

Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation* (7th Editio). Wiley.

Liu, C., Frazier, P., & Kumar, L. (2007). Comparative assessment of the measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 107(4), 606–616. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.10.010>

Masser, I. (2001). Managing our urban future: the role of remote sensing and geographic information systems. *Habitat International*, 25(4), 503–512. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0197-3975\(01\)00021-2](https://doi.org/10.1016/S0197-3975(01)00021-2)

Mathenge, M., Sonneveld, B. G. J. S., & Broerse, J. E. W. (2022). Application of GIS in Agriculture in Promoting Evidence-Informed Decision Making for Improving Agriculture Sustainability: A Systematic Review. *Sustainability*, 14(16), 9974. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su14169974>

Morales-Barquero, L., Lyons, M., Phinn, S., & Roelfsema, C. (2019). Trends in Remote Sensing Accuracy Assessment Approaches in the Context of Natural Resources. *Remote Sensing*, 11(19), 2305. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/rs11192305>

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. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009>

Nasirzadehdizaji, R., Sanli, F. B., Abdikan, S., Cakir, Z., Sekertekin, A., & Ustuner, M. (2019). Sensitivity analysis of multi-temporal Sentinel-1 SAR parameters to crop height and canopy coverage. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(4). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/app9040655>

Nayak, P. P., Pai, J. B., Singla, N., Somayaji, K. S., & Kalra, D. (2021). Geographic Information Systems in Spatial Epidemiology. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*, 11(2), 125–131. Retrieved from https://doi.org/10.4103/JISPCD.JISPCD_413_20

Oerke, E.-C. (2020). Remote Sensing of Diseases. *Annual Review of Phytopathology*, 58(1), 225–252. Retrieved from <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-010820-012832>

Ouchra, H., Belangour, A., & Erraissi, A. (2022). Spatial Data Mining technology for GIS: a review. *2022 International Conference on Data Analytics for Business and Industry, ICDABI 2022*, 655–659. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/ICDABI56818.2022.10041574>

Pampoore-Thampi, A., Varde, A. S., & Yu, D. (2021). Mining GIS Data to Predict Urban Sprawl. Retrieved from <https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.11338>

Panagopoulos, I., Bornman, J. F., & Björn, L. O. (1990). Effects of ultraviolet radiation and visible light on growth, fluorescence induction, ultraweak luminescence and peroxidase activity in sugar beet plants. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 8(1), 73–87. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/1011-1344\(90\)85189-4](https://doi.org/10.1016/1011-1344(90)85189-4)

Panda, S. S., Ames, D. P., & Panigrahi, S. (2010). Application of Vegetation Indices for Agricultural Crop Yield Prediction Using Neural Network Techniques. *Remote Sensing*, 2(3), 673–696. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/rs2030673>

Pinter, Jr., P. J., Hatfield, J. L., Schepers, J. S., Barnes, E. M., Moran, M. S., Daughtry, C. S. T., & Upchurch, D. R. (2003). Remote Sensing for Crop Management. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(6), 647–664. Retrieved from <https://doi.org/10.14358/PERS.69.6.647>

Rahman, A., Aggarwal, S. P., Netzband, M., & Fazal, S. (2011). Monitoring Urban Sprawl Using Remote Sensing and GIS Techniques of a Fast Growing Urban Centre, India. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 4(1), 56–64. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2010.2084072>

Raihan, A. (2024). A Systematic Review of Geographic Information Systems (GIS) in Agriculture for Evidence-Based Decision Making and Sustainability. *Global Sustainability Research*, 3(1), 1–24. Retrieved from <https://doi.org/10.56556/GSSR.V3I1.636>

Saleh, H. M., & Hassan, A. I. (2024). Introductory chapter: Exploring the Multifaceted Applications of Gamma Rays in Science and Technology. In *Gamma Rays - Current Insights*. IntechOpen. Retrieved from <https://doi.org/10.5772/intechopen.1003964>

Santhi, C., Muttiah, R. S., Arnold, J. G., & Srinivasan, R. (2005). A GIS-BASED REGIONAL PLANNING TOOL FOR IRRIGATION DEMAND ASSESSMENT AND SAVINGS USING SWAT. *Transactions of the ASAE*, 48(1), 137–147. Retrieved from <https://doi.org/10.13031/2013.17957>

Sarawade, A. A., & Charniya, N. N. (2018). Infrared Thermography and its Applications: A Review. In *2018 3rd International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)* (pp. 280–285). IEEE. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/CESYS.2018.8723875>

Schowengerdt, R. A. (2006). *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing* (3rd editio). Academic Press.

Sekertekin, A., Marangoz, A. M., & Abdikan, S. (2020). ALOS-2 and Sentinel-1 SAR data sensitivity analysis to surface soil moisture over bare and vegetated agricultural fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 171, 105303. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105303>

Sharada, K., Choudhary, S. L., Harikrishna, T., Dixit, R. S., Suman, S. K., Chakravarthi, M. A., & Bhagyalakshmi, L. (2025). GeoAgriGuard: AI-Driven Pest and Disease Management with Remote Sensing for Global Food Security. *Remote Sensing in Earth*

Systems Sciences, 1–14. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/S41976-025-00192-W/TABLES/5>

Sharma, R., Kamble, S. S., & Gunasekaran, A. (2018). Big GIS analytics framework for agriculture supply chains: A literature review identifying the current trends and future perspectives. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155, 103–120. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.001>

Shaurub, E.-S. H. (2024). Remote sensing and geographic information system applications as early-warning tools in monitoring fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*: a review. *International Journal of Tropical Insect Science*, 44(5), 2241–2258. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s42690-024-01327-0>

Sims, D. A., & Gamon, J. A. (2002). Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*, 81(2–3), 337–354. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00010-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00010-X)

Singh, L., Mutanga, O., Mafongoya, P., Peerbhay, K., & Crous, J. (2022). Hyperspectral remote sensing for foliar nutrient detection in forestry: A near-infrared perspective. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 25, 100676. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100676>

Sishodia, R. P., Ray, R. L., & Singh, S. K. (2020). Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review. *Remote Sensing*, 12(19), 3136. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/rs12193136>

Sun, T., Cheng, W., Abdelkareem, M., & Al-Arifi, N. (2022). Mapping Prospective Areas of Water Resources and Monitoring Land Use/Land Cover Changes in an Arid Region Using Remote

Sensing and GIS Techniques. *Water* 2022, Vol. 14, Page 2435, 14(15), 2435. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/W14152435>

Tomassetti, L. (2020). Physics of RS. In *TORUS 2 – Toward an Open Resource Using Services* (pp. 23–46). Wiley. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/9781119720553.ch2>

Topuz, M., & Deniz, M. (2023). Application of GIS and AHP for land use suitability analysis: case of Demirci district (Turkey). *Humanities and Social Sciences Communications* 2023 10:1, 10(1), 1–15. Retrieved from <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01609-x>

Toth, C., & Józków, G. (2016). Remote sensing platforms and sensors: A survey. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 22–36. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.004>

Wang, X., & Pullar, D. (2005). Describing dynamic modeling for landscapes with vector map algebra in GIS. *Computers & Geosciences*, 31(8), 956–967. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.02.015>

Wiatkowska, B., Słodczyk, J., Stokowska, A., Bielecka, E., & Martinez-Frias, J. (2021). Spatial-Temporal Land Use and Land Cover Changes in Urban Areas Using Remote Sensing Images and GIS Analysis: The Case Study of Opole, Poland. *Geosciences* 2021, Vol. 11, Page 312, 11(8), 312. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/GEOSCIENCES11080312>

Winter, S. (1998). Bridging vector and raster representation in GIS. *GIS: Proceedings of the ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, Part F129244, 57–62. Retrieved from <https://doi.org/10.1145/288692.288704/ASSET/D13E8936-2E2A-4CE4-AFAC-C622E3B3AFFC/ASSETS/288692.288704.FP.PNG>

Zarin, R., Azmat, M., Naqvi, S. R., Saddique, Q., & Ullah, S. (2021). Landfill site selection by integrating fuzzy logic, AHP, and WLC method based on multi-criteria decision analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(16), 19726–19741. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/S11356-020-11975-7/FIGURES/5>

Zhang, Changping. (2000). Spatial Data Analysis in GIS Environment. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, 109(1), 1–9. Retrieved from <https://doi.org/10.5026/jgeography.109.1>

Zhang, Chunhua, & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693–712. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>

Zhang, J., Huang, Y., Pu, R., Gonzalez-Moreno, P., Yuan, L., Wu, K., & Huang, W. (2019). Monitoring plant diseases and pests through remote sensing technology: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 165, 104943. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104943>

Zhang, Z., & Zhu, L. (2023). A Review on Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing: Platforms, Sensors, Data Processing Methods, and Applications. *Drones 2023, Vol. 7, Page 398*, 7(6), 398. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/DRONES7060398>

Zheng, Q., Huang, W., Xia, Q., Dong, Y., Ye, H., Jiang, H., ... Huang, S. (2023). Remote Sensing Monitoring of Rice Diseases and Pests from Different Data Sources: A Review. *Agronomy 2023, Vol. 13, Page 1851*, 13(7), 1851. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY13071851>

Zhong, Z., Wang, X., Yin, X., Tian, J., & Komatsu, S. (2021). Morphophysiological and Proteomic Responses on Plants of Irradiation with Electromagnetic Waves. *International Journal of*

Molecular Sciences, 22(22), 12239. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/ijms222212239>

Zhou, Z., Majeed, Y., Diverres Naranjo, G., & Gambacorta, E. M. T. (2021). Assessment for crop water stress with infrared thermal imagery in precision agriculture: A review and future prospects for deep learning applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 182, 106019. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106019>

TARIMSAL ÜRETİM YÖNETİMİNDE UZAKTAN ALGILAMA VE CBS İLE ÜRÜN İZLEME, VERİM TAHMİNİ VE HASTALIK TESPİTİ

EMİRHAN ÖZDEMİR¹
RÜŞTÜ ÇALLI²

Giriş

Günümüzde tarımsal üretim, giderek daha karmaşık hale gelen iklim koşulları, su kıtlığı, toprak bozulması ve hastalıkların artan tehdidi nedeniyle büyük zorluklarla karşı karşıyadır (Elshaikh & Mabrouki, 2024; Gomiero, 2016). Bu zorlukları aşmak ve tarımsal sürdürülebilirliği sağlamak için veri odaklı yönetim yaklaşımları giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), tarımsal üretimi daha etkin ve verimli hale getiren modern teknolojiler arasında yer almaktadır (Katkani & ark., 2022; Trivedi & ark., 2022). Uydular, insansız hava araçları (İHA) ve sensörler aracılığıyla elde edilen veriler, tarımsal üretim süreçlerini daha iyi anlamamızı, yönetmemizi ve optimize etmemizi sağlar. Bu teknolojiler, ürün gelişim takibinden hastalık

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Iğdır Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Iğdır, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8306-834X, emirhan.ozdemir@igdir.edu.tr

² Öğr. Gör., Iğdır Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Iğdır, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4508-3316, rustu.calli@igdir.edu.tr

tespitine, toprak analizlerinden verim tahminine kadar geniş bir yelpazede kullanılarak çiftçilerin ve karar vericilerin daha bilinçli ve zamanında müdahaleler yapmasını mümkün kılar (Ranjan & Vinayak, 2020).

Tarımsal üretimin etkin yönetimi için uzaktan algılama ve CBS'nin entegrasyonu, farklı ölçeklerde mekânsal ve zamansal analizlerin gerçekleştirilmesini sağlayarak üretim süreçlerinde bilimsel temelli karar alma mekanizmalarını desteklemektedir (Şekil 1).

Şekil 1. Uzaktan algılamanın tarımsal üretim ile etkileşimi



Uzaktan algılama, bitki sağlığı, toprak nemi, besin elementi durumu ve hastalık belirtilerinin erken teşhisi gibi uygulamalarda spektral ve hiperspektral görüntüleme tekniklerini kullanarak elde ettiği verilerle tarımsal süreçlerin daha doğru ve hızlı analiz edilmesine olanak sağlar (Singh & ark., 2022; Brosinsky & ark., 2014; Tits & ark., 2013). CBS ise bu verileri coğrafi konum bilgisiyle bütünleştirerek, tarımsal faaliyetlerin planlanması ve

yönetimi için güçlü bir altyapı sunmaktadır (Kaliraj & ark., 2024). Bu bağlamda, uzaktan algılama ve CBS tabanlı analizler, sürdürülebilir tarımsal üretim politikalarının oluşturulması, tarımsal kaynak kullanım etkinliğinin artırılması ve iklim değişikliğine uyum stratejilerinin geliştirilmesi açısından kritik bir rol üstlenmektedir.

Bu çalışmada, uzaktan algılama ve CBS'nin tarımsal üretim yönetimindeki rolü detaylı bir şekilde ele alınacaktır. Öncelikle, toprak ve bitki analizleri başlığı altında, uzaktan algılama tekniklerinin toprak verimliliği ve bitki sağlığının izlenmesindeki etkinliği incelenecektir. Ardından, ürün deseni ve rekolte tahmini kapsamında, uydu ve İHA görüntüleri kullanılarak tarımsal üretimin mekansal ve zamansal değişimlerinin analizi yapılacak ve verim tahmini yöntemleri değerlendirilecektir. Devamında, hastalık ve zararlı tespiti için uzaktan algılama yöntemleri başlığında, spektral analiz ve makine öğrenmesi tabanlı modeller kullanılarak bitkisel hastalıkların erken teşhisine yönelik mevcut yaklaşımlar irdelenecektir. Son olarak, sonuç ve gelecek perspektifi bölümünde, uzaktan algılama ve CBS teknolojilerinin tarımsal üretimdeki geleceği tartışılacak ve sürdürülebilir tarımsal yönetim için öneriler sunulacaktır. Bu bağlamda çalışma, modern teknolojilerin tarım sektörüne entegrasyonu konusunda teorik bir çerçeve sunmayı hedeflemektedir.

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Toprak Verimliliği ve Bitki Sağlığı İzleme

Tarımda sürdürülebilir üretimin sağlanması ve maksimum verimin elde edilmesi için toprak verimliliğinin ve bitki sağlığının sürekli ve titizlikle izlenmesi gerekmektedir. Geleneksel yöntemlerle yapılan toprak analizleri ve bitki sağlığı değerlendirmeleri, zaman alıcı ve maliyetli olmasıyla birlikte, geniş tarım alanlarında uygulanabilirliğini kısıtlayan çeşitli zorluklar barındırmaktadır. Bu noktada, uzaktan algılama teknolojileri ve CBS, tarımsal izleme

süreçlerine yenilikçi bir bakış açısı kazandırarak, analizleri daha hızlı, hassas ve ekonomik hale getirmekte; aynı zamanda mekânsal olarak kapsamlı ve detaylı değerlendirmeler sunarak tarım yönetimini daha verimli ve etkin bir seviyeye taşımaktadır (Zhang & ark., 2020).

Toprak verimliliği, bitkilerin sağlıklı büyümesini ve optimum düzeyde gelişimini destekleyen fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin uyumlu bir bileşimi olarak tanımlanmaktadır (Sofa & ark., 2022). Verimli bir toprak, yeterli düzeyde besin elementleri, organik madde, uygun pH dengesi, optimal nem içeriği ve uygun sıcaklık koşullarına sahip olmalıdır (Voltr & ark., 2021). Bu faktörler, bitkilerin kök gelişimi, su ve besin alımı, fotosentez kapasitesi ve genel fizyolojik süreçleri üzerinde doğrudan belirleyici rol oynamaktadır (Wang & ark., 2006). Uzaktan algılama teknolojileri, tarım alanlarındaki toprak verimliliğini izleme ve değerlendirme süreçlerinde etkin bir şekilde kullanılmakta olup, spektral görüntüleme teknikleri, termal sensörler ve hiperspektral analizler aracılığıyla toprak nemi, organik madde içeriği, tuzluluk, pH seviyesi ve sıcaklık gibi kritik parametrelerin hassas bir şekilde belirlenmesini sağlamaktadır (Sekertekin & ark., 2020; Wang & ark., 2018; Gorji & ark., 2019; Zhang & ark., 2018).

Toprak nemi, tarımsal üretimde bitkilerin suya erişimini belirleyen en temel faktörlerden biridir ve bitki büyümesi, besin alımı ve genel verim üzerinde doğrudan etkilidir (Mohanty & ark., 2017). Bu nedenle, tarımsal verimliliğin artırılması ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için toprak neminin sürekli olarak izlenmesi büyük bir önem taşımaktadır. Uzaktan algılama teknolojileri, geniş ölçekli alanlarda, zamansal ve mekânsal değişimleri takip etme imkânı sunarak, toprak nemi ölçümlerinde geleneksel yöntemlere kıyasla çok daha etkin ve ekonomik bir alternatif oluşturmaktadır. Günümüzde, toprak nemi tespiti için kullanılan uzaktan algılama yöntemleri, özellikle mikrodalga

sensörleri aracılığıyla gerçekleştirilmekte olup, bu yöntemler aktif ve pasif algılama tekniklerine dayanmaktadır (Das & ark., 2019). Aktif radar sistemleri, toprak yüzeyine mikrodalga sinyalleri göndererek yansıyan sinyalleri analiz eder ve böylece yüzeyin dielektrik özelliklerinden nem içeriğini belirler. Örneğin, Sentinel-1 uydusu, C-bandındaki Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) sensörü ile her hava koşulunda yüksek çözünürlüklü (~10-20 m) toprak nemi haritaları üretebilmektedir (Shi & ark., 2025). Bu gibi yöntemler, özellikle bulutluluk veya gece-gündüz farkı gibi optik algılama sistemlerinin kısıtlamalarına karşı daha esnek bir çözüm sunmaktadır (Bousbih & ark., 2017). Pasif mikrodalga sistemleri ise, toprak yüzeyinden yayılan doğal mikrodalga radyasyonu ölçerek nem miktarını belirler. NASA'nın Soil Moisture Active Passive (SMAP) uydusu, L-bandında çalışan radyometresi sayesinde yüzey toprak nemini 10 km çözünürlükte tespit edebilmektedir (Ma & ark., 2024). Benzer şekilde, Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS (AMSR-E) ve onun güncellenmiş versiyonu AMSR-2, 6.89 GHz frekans aralığında ölçümler yaparak geniş alanlarda toprak nemi haritaları oluşturabilmektedir (Njoku & ark., 2003). Aktif ya da pasif algılama teknikleri fark etmeksizin bu teknolojilerle elde edilen toprak nemi haritaları, tarımsal sulama planlamasında, su kıtlığı yaşayan bölgelerde su kaynaklarının etkin yönetiminde ve taşkın risk analizlerinde kritik bir rol oynamaktadır.

Toprak pH'ı, bitkilerin besin elementlerini alabilmesi açısından kritik bir parametredir (Naz & ark., 2022). Toprak pH seviyesinin uygun aralıkta olması, minerallerin çözünürlüğünü ve bitkilerin bu mineralleri etkili bir şekilde alabilmesini doğrudan etkiler (Jia & ark., 2021). Yüksek pH seviyeleri (alkalilik) veya düşük pH seviyeleri (asidite), bitkilerin sağlıklı büyümesini engelleyebilir. Özellikle düşük pH seviyeleri (asidik toprak koşulları), bazı temel besin elementlerinin (örneğin, fosfor, kalsiyum ve magnezyum) bitkiler tarafından alınabilirliğini azaltırken,

alüminyum ve manganez gibi toksik elementlerin çözünürlüğünü artırarak bitki gelişimini olumsuz etkileyebilir (Ryan & ark., 2001; Marschner, 2012). Benzer şekilde, yüksek pH seviyeleri (alkali toprak koşulları) demir, çinko ve bakır gibi mikro besin elementlerinin bitkiler tarafından alınabilirliğini düşürebilir, bu da besin eksikliklerine yol açabilir (Lindsay, 1979; Fageria & ark., 2011).

Uzaktan algılama teknikleri ile doğrudan toprak pH seviyesini ölçmek mümkün olmasa da organik madde içeriği, nem durumu ve kil mineralleri gibi pH ile ilişkili değişkenlerin spektral yansıma özelliklerinin analiz edilmesiyle gerçekleştirilir (Ge & ark., 2010). Özellikle görünür (VIS), yakın kızılötesi (NIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) bantları, toprak bileşenlerinin belirlenmesinde kritik rol oynar (Liu & ark., 2020). Hiperspektral ve multi-spektral uydu görüntüleri, hava platformlarından alınan hiperspektral veriler veya İHA tabanlı sensörler ile toprak yüzeyine ait spektral bilgiler toplanarak, bu veriler yapay sinir ağları (YSA), regresyon modelleri ve makine öğrenimi algoritmaları gibi CBS tabanlı istatistiksel modelleme yöntemleriyle analiz edilir (Espinel & ark., 2024). Ayrıca, laboratuvar ortamında ölçülen referans toprak pH verileri ile uzaktan algılama verileri entegre edilerek mekânsal tahmin modelleri oluşturulur (Alshari & ark., 2023). Bu yöntem, geniş alanlarda toprak pH dağılımının hızlı ve ekonomik bir şekilde haritalanmasını sağlayarak tarımsal yönetim, ekolojik izleme ve arazi kullanımı planlamalarında önemli avantajlar sunar.

Toprak sıcaklığı, tohum çimlenmesi, kök gelişimi ve mikroorganizma faaliyetleri açısından önemli bir değişkendir (Onwuka & Mang, 2018). Toprak sıcaklığı, bitki büyümesini doğrudan etkileyen kritik bir faktör olup, besin elementlerinin çözünürlüğü, suyun toprak içindeki hareketi ve toprak biyolojisi gibi süreçlerle de yakından ilişkilidir (Sharma & Kumar, 2023). Uzaktan algılama teknikleri, geniş alanlarda toprak sıcaklığının

belirlenmesine olanak tanıyan güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır (Ponomareva & ark., 2021; Tan & ark., 2022). Termal kızılötesi (TIR) görüntüleme sistemleri, toprağın yüzey sıcaklığını belirlemede kullanılan temel araçlardan biridir (Alavi Panah & ark., 2008; Sekertekin & Bonafoni, 2020). Bu sistemler, toprağın yaydığı termal radyasyonu algılayarak yüzey sıcaklığı hakkında bilgi sağlar. Uydu platformlarına entegre edilen termal sensörler, geniş alanlarda sıcaklık değişimlerinin izlenmesini mümkün kılmaktadır. Özellikle Landsat 8 TIRS ve MODIS termal bantları, farklı zaman dilimlerinde alınan görüntülerle geniş ölçekli sıcaklık haritalarının oluşturulmasına olanak tanımaktadır (Xu & ark., 2020). Termal görüntüler, yüzey sıcaklığı tahmin modelleriyle analiz edilerek toprak sıcaklığının gün içindeki ve mevsimsel değişimleri takip edilebilir (Choe & Yom, 2020). Bunun yanı sıra, İHA ve uçak platformlarına entegre edilen yüksek çözünürlüklü termal kameralar, daha küçük alanlarda detaylı sıcaklık analizleri yapmaya imkân tanımaktadır (Basurto-Lozad & ark., 2020).

Uzaktan algılama ve CBS ile yapılan toprak ve bitki analizleri, sadece tarımsal verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda sürdürülebilir tarım politikalarının oluşturulmasında ve çevresel etkilerin minimize edilmesinde kritik bir rol oynar (Kerry & ark., 2022). Belirli bölgelerde sıcaklık rejimlerinin belirlenmesine, bitkisel üretim süreçlerinde mikroklimatik etkilerin incelenmesine ve tarımsal yönetim uygulamalarının optimize edilmesine katkı sağlar. Ayrıca, iklim değişikliklerinin tarımsal üretim üzerindeki etkileri, uzun dönemli sıcaklık değişimlerinin modellenmesiyle değerlendirilebilir. Böylece, kuraklık izleme, su yönetimi ve toprak ıslahı gibi kritik tarımsal süreçlerde daha bilinçli kararlar alınabilir.

Son yıllarda, makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmalarının tarımsal uzaktan algılama verileri ile entegrasyonu, bitki sağlığı değerlendirmelerinde büyük bir ilerleme kaydetmiştir

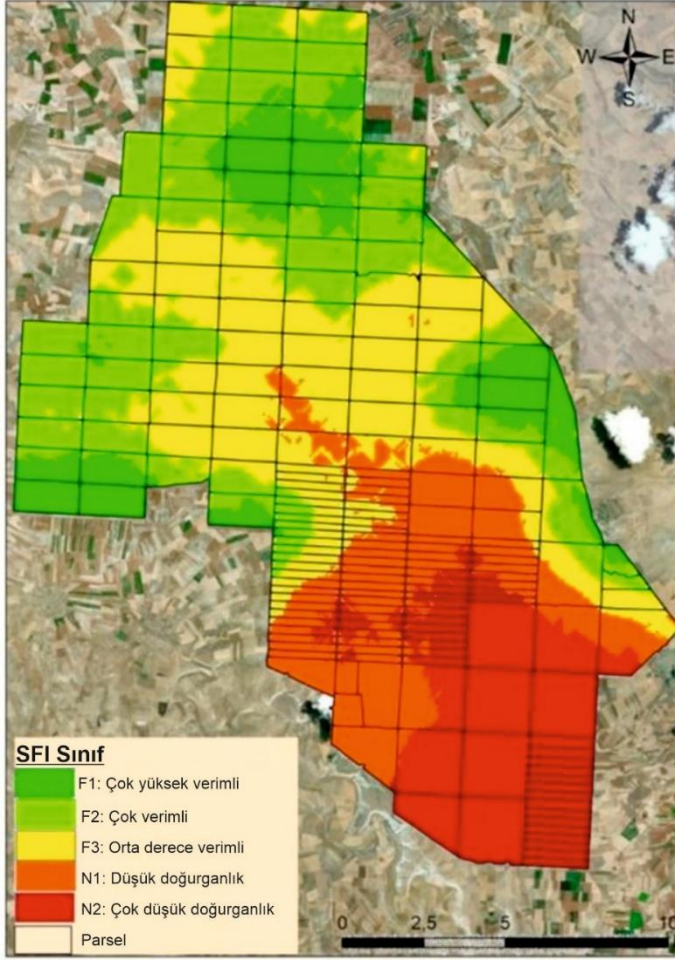
(Yuan & ark., 2024). Uydu görüntüleri, hiperspektral ve multispektral sensörler, İHA tabanlı veri toplama sistemleri ile elde edilen spektral bilgilerin analizi, yapay zekâ tabanlı algoritmaların kullanımını giderek artırmaktadır (Akram & ark., 2024). Özellikle destek vektör makineleri (SVM), rastgele orman (RF) ve derin sinir ağları (Deep Neural Networks, DNN) gibi algoritmalar, farklı spektral bantlardan elde edilen büyük veriyi işleyerek bitki sağlığı durumlarının belirlenmesinde kritik roller üstlenmektedir (Singh & ark., 2018). Uzaktan algılama verileri ile eğitilen makine öğrenmesi modelleri, bitkilerde hastalık, su stresi veya besin eksiklikleri gibi sorunları belirlemede manuel saha çalışmalarına kıyasla çok daha hızlı ve kapsamlı analizler yapabilmektedir (Cho & ark., 2024; Nikitha & ark., 2024). Hiperspektral görüntüleme ile yüzlerce farklı spektral bant üzerinden veri toplanarak bitkilerin sağlık durumu hassas bir şekilde tespit edilebilmektedir (Wei & ark., 2021). Derin öğrenme tabanlı konvolüsyonel sinir ağları (CNN), yaprak dokularındaki değişimleri ve klorofil kaybını otomatik olarak sınıflandırarak erken teşhis mekanizmaları geliştirmektedir (Palumbo & ark., 2022). Ayrıca, zaman serisi analizleri ile bitki gelişimi periyodik olarak takip edilerek, değişimler detaylı bir şekilde haritalandırılabilir (Jiménez-Ruiz & ark., 2018).

Bu yöntemler sayesinde tarımsal alanlarda büyük veri analizleri gerçekleştirilebilir ve üreticilerin daha hedeflenmiş ve verimli uygulamalar yapmasına olanak tanır. Sensör teknolojilerindeki gelişmeler ve büyük veri analiz yöntemlerinin ilerlemesi ile gelecekte daha hassas ve öngörücü tarım sistemleri geliştirilecektir. CBS tabanlı karar destek sistemleri ile bu yöntemler entegre edildiğinde, tarım arazilerinin farklı bölgelerine özgü spesifik gübreleme, sulama veya ilaçlama stratejileri geliştirilebilir. Özellikle değişken oranlı tarım uygulamaları (VRT - Variable Rate Technology), makine öğrenmesi algoritmaları ile analiz edilen uzaktan algılama verileri sayesinde optimize edilerek, hem

maliyetleri azaltmak hem de verimliliği artırmak için kullanılmaktadır. Son yıllarda, açık kaynaklı büyük veri platformları, bulut tabanlı hesaplama sistemleri ve uydu görüntü analizine yönelik geliştirilen derin öğrenme modelleri ile tarımsal uzaktan algılama alanındaki bu ilerlemeler hızlanmış, bu durum hassas tarım uygulamalarının yaygınlaşmasına büyük katkı sağlamıştır (Wang & ark., 2022; Peng & ark., 2024). Böylece hem çevresel sürdürülebilirlik sağlanabilir hem de daha verimli ve bilinçli tarımsal üretim gerçekleştirilebilir hale gelmektedir.

Tunçay & ark. (2021), toprak verimliliği üzerine yaptıkları çalışmada yarı kurak bir tarımsal ekosistemde toprak verimliliğini değerlendirmek amacıyla uzaktan algılama ve CBS tekniklerini kullanarak bir Toprak Verimlilik İndeksi (SFI) oluşturmayı hedeflemiştir. Çalışma kapsamında, toprak fiziksel, kimyasal ve verimlilik göstergelerini belirlemek için 1 km çözünürlükte toplam 281 toprak örneği alınmıştır. Bu örnekler, çalışma alanındaki toprakların besin element içeriği, organik madde miktarı, pH seviyesi, kum-kil içeriği gibi önemli verimlilik parametrelerini belirlemek için laboratuvar analizine tabi tutulmuştur. SFI sınıfları oluşturularak, bu sınıflar üç yıllık tarla verim verileri ve Sentinel-2A uydu görüntülerinden hesaplanan bitki örtüsü indeksleri ile karşılaştırılmıştır. Uydu görüntülerinden özellikle Kırmızı Kenar Optimizasyonlu Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi (RE-OSAVI) hesaplanmış ve SFI ile ilişkisi incelenmiştir. CBS teknikleri kullanılarak toprak verimliliğinin mekânsal dağılımı haritalanmış, yüksek, orta ve düşük verimli bölgeler belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, çalışma alanının %40'ının çok yüksek ve yüksek verimli topraklar, %26.7'sinin orta verimli topraklar, yaklaşık üçte birinde ise düşük ve çok düşük verimli topraklar olduğu belirlenmiştir (Şekil 2). Bu durum, tarım arazilerinin büyük bir kısmının uygun yönetim stratejileri ile daha verimli hale getirilebileceğini göstermektedir.

Şekil 2. Çalışma alanının toprak verimlilik indeksi (SFI) sınıflarının haritalanması (Tunçay & ark., 2021'den değiştirilerek)



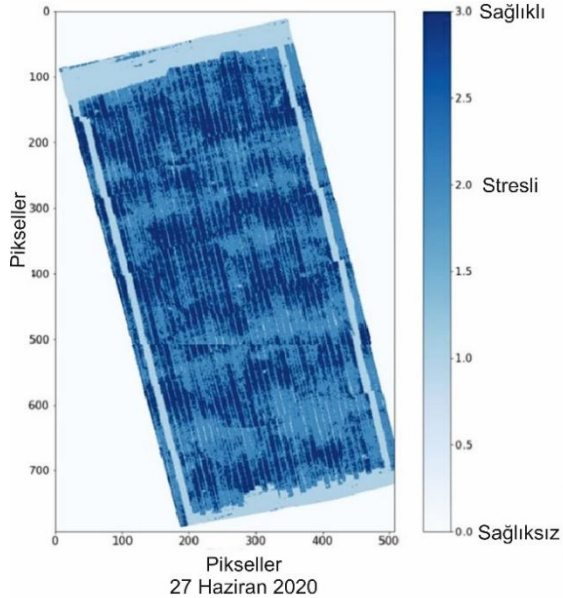
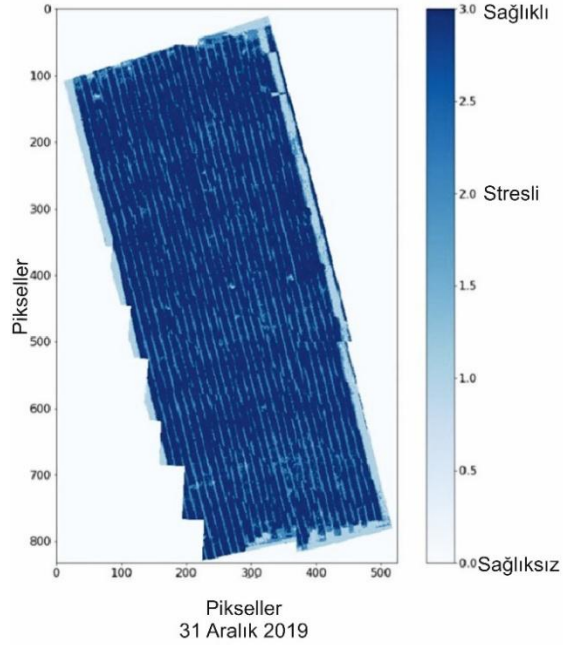
İstatistiksel analizler sonucunda, SFI ile tarımsal verim arasında güçlü bir ilişki ($r^2 = 0.88$) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, SFI ile RE-OSAVI bitki örtüsü indeksi arasında da yüksek bir korelasyon ($r^2 = 0.83$) bulunmuştur. Bu sonuçlar, uzaktan algılama ve CBS tekniklerinin toprak verimliliğini değerlendirmede güçlü bir araç olduğunu göstermektedir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, SFI'nin benzer ekosistemlerde tarımsal verimliliği değerlendirmek ve yönetmek için güvenilir bir gösterge olarak kullanılabileceği önerilmiştir. Bu bağlamda, sürdürülebilir tarım yönetimi ve toprak verimliliğinin artırılması için uzaktan algılama tabanlı modellerin yaygınlaştırılması gerektiği vurgulanmıştır.

Shafi & ark. (2020), bitki sağlığı üzerine yaptıkları çalışmada tarımsal üretimde bitki sağlığını haritalamak için düşük irtifa uzaktan algılama, Nesnelerin İnterneti (IoT: Internet of Things) ve makine öğrenimi tekniklerini bir araya getiren çok modlu (multi-modal) bir yaklaşım geliştirmeyi amaçlamıştır. Çalışma kapsamında, düşük irtifada uçan İHA'lar ile yüksek çözünürlüklü görüntüler toplanmış ve bu görüntüler çeşitli spektral bantlardaki bitki örtüsü indeksleri kullanılarak analiz edilmiştir. IoT tabanlı toprak ve hava sensörleri kullanılarak sıcaklık, nem, toprak nemi ve besin içeriği gibi parametreler ölçülmüş ve bu veriler uzaktan algılama verileriyle birleştirilmiştir. Veri analizinde, makine öğrenimi algoritmaları kullanılarak bitki sağlığını tahmin eden modeller geliştirilmiştir. Çalışmada, çok modlu veri entegrasyonu sağlanarak, farklı veri kaynaklarından elde edilen bilgilerin bir araya getirilmesiyle daha doğru tahminler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrulanarak, yöntemlerin etkinliği değerlendirilmiştir.

Çalışmada, Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) haritalarının sınırlamalarını aşmak için farklı bitki gelişim aşamalarında mekânsal bitki sağlığı haritaları oluşturulmuştur (Şekil 3).

Şekil 3. Mekânsal bitki sağlık haritaları (Shafi & ark., 2020'den değiştirilerek)



Bu haritalar, bitki sağlığını "Sağlıksız", "Stresli" ve "Sağlıklı" olmak üzere üç ana kategoriye ayırmıştır. Her bir piksel NDVI, IoT sensör verileri ve zamansal bilgiler temelinde sınıflandırılmıştır. Tarım uzmanlarının yardımıyla bu çok kaynaklı veri kümesi etiketlenmiş ve bitki sağlığı haritaları üretilmiştir.

Elde edilen yeni sağlık haritaları, NDVI haritalarına kıyasla daha ayrıntılı ve doğru bir görselleştirme sağlamıştır. NDVI haritalarında tespit edilen stresli ve sağlıksız bölgeler, yeni sağlık haritalarında daha net ve detaylı bir şekilde görülebilmektedir. Ancak, bu haritaları doğrulamak için referans veri bulunmadığından saha çalışması yapılmış ve tarım uzmanlarıyla görüşülmüştür. Elde edilen sonuçlar, çok modlu veri entegrasyonunun, yalnızca NDVI'ın dikkate alındığı bitki sağlığı haritalarına göre daha kapsamlı ve doğru bilgiler sağladığını desteklemiştir (Shafi & ark., 2020).

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Ürün Deseni ve Rekolte Tahmini

Tarımsal üretimde ürün deseni, belirli bir bölgede yetiştirilen bitkisel ürünlerin türleri, ekim alanları ve dönüşümleri ile ilgilidir. Rekolte tahmini ise belirli bir dönem sonunda elde edilecek tarımsal ürün miktarının öngörülmesini içerir. Tarımsal planlama, gıda güvenliği ve ekonomi açısından kritik bir rol oynayan bu iki kavram, geleneksel yöntemlerle belirli eksiklikler taşımaktadır (Syed & ark., 2023). Yersel gözlem ve anketlere dayalı ürün deseni ve rekolte tahmini yöntemleri, büyük alanlar için zaman alıcı ve maliyetli olmaktadır. Ayrıca, bu yöntemler yerel faktörlere ve insan kaynaklı hatalara açık olup, gerçek zamanlı ve bütüncül veri sağlama konusunda yetersiz kalmaktadır. Uzaktan algılama ve CBS, tarımsal üretimde ürün deseninin belirlenmesi ve rekolte tahmininin yapılmasında kritik bir rol oynamaktadır (Huang & ark., 2014). Uzaktan algılama, uydu ve hava görüntüleme sistemleri aracılığıyla büyük alanların sistematik ve nesnel bir şekilde izlenmesini

sağlarken, CBS ise bu verilerin analiz edilmesini, mekânsal modellerle desteklenmesini ve karar destek sistemlerine entegrasyonunu sağlar. Bu teknolojilerin kullanımı, tarımsal planlamada hassas ve gerçek zamanlı bilgiler sunarak, verimlilik ve kaynak yönetimi açısından önemli avantajlar sunar. Ürün deseni ve rekolte tahmini, aynı zamanda gıda güvenliği ve tarım politikalarının şekillendirilmesinde de kritik bir rol oynayarak, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini sağlamaya yönelik stratejik planlamalara katkıda bulunur (Prashanthi & ark., 2022). Tarım sektörünün iklim değişikliği, su kaynaklarının azalması ve arazi bozulması gibi çevresel zorluklarla karşı karşıya olduğu günümüzde, uzaktan algılama ve CBS teknolojilerinin sağladığı analizler, sürdürülebilir üretim için vazgeçilmez hale gelmiştir (Pande & Moharir, 2023).

Ürün deseni tespiti, belirli bir bölgedeki tarımsal faaliyetlerin türünü ve dağılımını belirlemek amacıyla yapılan analizler bütünüdür (Gao & ark., 2011). Bu süreç, tarım politikalarının oluşturulmasından gıda güvenliği planlamalarına, su yönetiminden iklim değişikliğinin tarım üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesine kadar birçok alanda kritik rol oynamaktadır. Geleneksel yersel gözlem yöntemlerinin yanı sıra, günümüzde uzaktan algılama ve CBS gibi modern teknolojiler ürün deseninin belirlenmesini büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır (Yurteri & Kurttas, 2022). Kullanılan ekipmanlar ve materyaller, doğrudan arazi gözlemleri ve ölçümlerinden, gelişmiş uzaktan algılama sensörleri, uydu görüntüleri, İHA'lar ve büyük veri analitiği gibi teknolojilere kadar geniş bir yelpazeye yayılmaktadır (Abisuga & de Beer, 2023).

Geleneksel yersel yöntemlerle ürün deseni tespiti, tarım uzmanları ve saha ekipleri tarafından yapılan gözlemler ve numune toplama çalışmaları ile gerçekleştirilir (Akınsunmade & Ejieji & ark., 2021). Bu süreçte, farklı bitki türlerinin morfolojik özellikleri incelenerek hangi ürünlerin hangi bölgelerde yetiştirildiği belirlenir. Bitki türlerini ayırt etmek için yaprak şekli, renk, büyüme dönemi

gibi fiziksel özellikler kullanılır. Tarımsal envanter çalışmaları kapsamında, belirli örnekleme alanlarında yapılan saha çalışmaları ile ürün çeşitliliği haritalanır (Jindo & ark., 2021). Bununla birlikte, geleneksel yöntemler geniş alanlar için oldukça zaman alıcı ve maliyetli olduğundan, modern teknolojilerin kullanımı günümüzde giderek artmaktadır.

Uzaktan algılama sistemleri, ürün deseni tespitinde en yaygın kullanılan teknolojilerden biridir. Özellikle, multispektral ve hiperspektral uydu görüntüleri farklı bitki türlerini ayırt etmek için büyük bir avantaj sağlamaktadır (Mahlayeye & ark., 2022). Landsat, Sentinel-2 ve MODIS gibi uydu sistemleri, bitkilerin farklı dalga boylarında verdikleri yansımaları analiz ederek ürün desenini belirlemeye yardımcı olur (Zhang & ark., 2022). NDVI, Geliştirilmiş Bitki İndeksi (EVI) ve Toprak Ayarlı Bitki İndeksi (SAVI) gibi bitki indeksleri kullanılarak belirli bir bölgedeki tarımsal üretim desenleri haritalandırılabilir (Jeba & ark., 2024). Örneğin, mısır, buğday ve pirinç gibi ürünlerin farklı dalga boylarındaki yansımaları, uzaktan algılama teknikleriyle ayrıştırılarak hassas bir şekilde sınıflandırılabilir (Nguyen & ark., 2012).

İHA'lar, ürün deseni tespitinde önemli bir diğer araç olarak öne çıkmaktadır (Sener & ark., 2018). Multispektral, hiperspektral ve termal kameralar ile donatılmış İHA'lar, yüksek çözünürlüklü tarımsal görüntüler elde ederek bitki türlerinin tespit edilmesini kolaylaştırmaktadır. Uydu görüntülerine kıyasla daha yüksek detay seviyesine sahip olan İHA görüntüleri, özellikle küçük ölçekli tarımsal alanlarda ve hassas tarım uygulamalarında daha doğru sonuçlar vermektedir. İHA'lar aynı zamanda bulutlu hava koşullarında uydu sistemlerine kıyasla daha esnek bir veri toplama imkânı sunmaktadır (Tsouros & ark., 2019).

Ürün deseni tespitinde kullanılan bir diğer önemli teknoloji, yer bazlı spektral sensörlerdir. Tarımsal arazilerde kullanılan

taşınabilir veya sabit spektrometre cihazları, farklı bitki türlerinin spektral yansımalarını analiz ederek sahada gerçek zamanlı veri sağlamaktadır (Awad & ark., 2019). Bu sensörler, özellikle belirli bir ürünün gelişim sürecini izlemek ve bitkilerin sağlığını değerlendirmek için kullanılır (Merrick & ark., 2022). Tarımsal araştırmalarda, spektral imza analizleri ile bitki türlerinin sınıflandırılması sağlanarak ürün deseni belirlenebilir.

CBS teknolojileri de ürün deseni analizlerinde kritik bir rol oynamaktadır (Syed & ark., 2023). Tarımsal alanlardan toplanan tüm veriler, CBS yazılımları aracılığıyla işlenerek ürün desen haritaları oluşturulur. CBS, farklı veri kaynaklarını (uydu görüntüleri, İHA verileri, saha ölçümleri) entegre ederek kapsamlı analizler yapılmasını sağlar. Örneğin, belirli bir bölgedeki iklim verileri, toprak türü ve su kaynakları gibi faktörler CBS ortamında analiz edilerek tarımsal üretim desenlerinin değişimleri zaman içinde izlenebilir (Pande, 2022).

Büyük veri analitiği ve yapay zekâ destekli sınıflandırma algoritmaları, ürün deseni tespitinde giderek daha fazla kullanılmaktadır (Madhumathi, 2017). Makine öğrenmesi yöntemleri, farklı veri setlerini kullanarak ürün desenini otomatik olarak belirleme ve sınıflandırma konusunda yüksek doğruluk sağlamaktadır (Kabir & ark., 2018). SVM, RF ve derin öğrenme tabanlı evrimsel sinir ağları (CNN) gibi algoritmalar, uzaktan algılama verilerini işleyerek ürün deseninin belirlenmesini ve zaman içindeki değişiminin analiz edilmesini sağlamaktadır (Kabir & ark., 2024).

Rekolte tahmini , tarımsal üretimin planlanması, gıda güvenliği politikalarının oluşturulması ve ekonomik projeksiyonların yapılabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Han vd. 2021). Geleneksel yöntemlerden modern uzaktan algılama tekniklerine kadar pek çok farklı veri toplama ve analiz yöntemi

kullanılarak gerçekleştirilen bu tahmin sureci, yuksek doğruluk gerektiren bir çalışmadır. Rekolte tahmini hem doğrudan arazi lmleriyle hem de uzaktan algılama sistemleriyle desteklenmektedir (Dela Torre & ark., 2021). Bu surete kullanılan ekipman ve materyaller, yersel lm cihazlarından yuksek znrlkl uydur sistemlerine, İHA verilerinden gelişmiş veri analiz yazılımlarına kadar geniş bir yelpazeye sahiptir (Perros & ark., 2021).

Arazi bazlı lmler, tarım alanlarında doğrudan yapılan gzlemler ve alınan numunelerle gerçekleştirilir (Huang & ark., 2024). Bu yntemde, biyofiziksel lm cihazları bitki boyu, yaprak alanı indeksi ve klorofil içeriği gibi bitkinin gelişim parametrelerini değerlendirmekte kullanılır (Mishra & ark., 2024). Bunun yanı sıra, belirlenen rnekleme alanlarından alınan ürün örnekleri tartılarak hektar başına verim hesaplamaları yapılır. Tartı sistemleri, hasat edilen ürün miktarını hassas bir şekilde lmek için hassas dijital veya mekanik teraziler kullanarak uygulanmaktadır. Ayrıca, toprağın nem durumu ve bitkilerin suya erişimi konusunda bilgi sağlayan toprak nem sensörleri de rekolte tahminlerinde kritik rol oynayan ekipmanlar arasındadır (Sharma & Singh, 2024). İklım koşullarının tarımsal üretim üzerindeki etkisi göz önüne alındığında, meteorolojik istasyonlar da sıcaklık, yağış, hava nemi ve güneş ışınımı gibi çevresel faktörleri erek rekolte tahminlerinin doğruluğunu artırmaktadır (Mai & ark., 2024).

Günümüzde, geniş tarım arazilerinde geleneksel yersel lmlerin yeterli olmadığı durumlarda uzaktan algılama teknolojileri ve CBS yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Uydur görüntüleri, bitki örtüsü indekslerinin hesaplanmasını sağlayarak tarım alanlarının genel durumunun belirlenmesine yardımcı olur (Bognr & ark., 2022). Sentinel-2, Landsat ve MODIS gibi uydur sistemleri, tarımsal alanların zaman içindeki değişimini analiz etmek için multispektral veriler sağlamaktadır. Özellikle, NDVI gibi

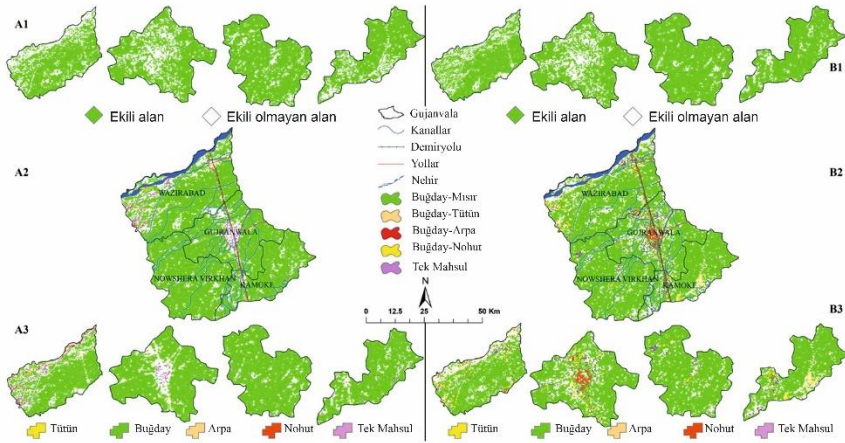
spektral veriler, bitki sağlığını, gelişim sürecini ve potansiyel verim miktarını belirlemede etkili bir yöntemdir (Wei & ark., 2018). Uydu görüntülerinin yanı sıra, İHA verileri de tarımsal rekolte tahminlerinde önemli bir yer tutmaktadır. Multispektral veya hiperspektral kameralar ile donatılmış İHA'lar, tarımsal alanları yüksek çözünürlükte tarayarak daha ayrıntılı ve güncel veriler sunmaktadır (Dorbu & ark., 2021). Bu teknolojiler, özellikle küçük ölçekli ve hassas tarım uygulamalarında daha esnek ve maliyet açısından avantajlı bir seçenek oluşturmaktadır.

Rekolte tahmininde kullanılan teknolojiler yalnızca veri toplama ile sınırlı kalmamakta, aynı zamanda büyük veri analitiği ve yapay zekâ destekli modelleme süreçleri ile de desteklenmektedir. Makine öğrenmesi algoritmaları, geçmiş verilerden öğrenerek gelecekteki verim tahminlerini daha doğru bir şekilde gerçekleştirmektedir (Shahare & Gautam, 2021). SVM, RF ve YSA gibi algoritmalar, iklim verileri, toprak özellikleri ve bitki gelişim parametreleri gibi değişkenleri kullanarak tahmin modellerini oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra, yersel ölçümler, uydu görüntüleri ve meteorolojik veriler veri füzyonu teknikleri ile birleştirilerek daha bütüncül bir tahmin süreci oluşturulmaktadır. Simülasyon modelleri de rekolte tahmini sürecinde yaygın olarak kullanılan bir diğer yöntemdir (Batool & ark., 2022). Ayrıca DSSAT ve AquaCrop gibi tarımsal simülasyon modelleri, bitki büyümesini ve verim tahminlerini, iklim değişkenleri ve toprak verileri ile ilişkilendirerek hassas tahminler yapılmasını sağlamaktadır (Dlamini & ark., 2023).

Tariq & ark. (2023), ürün deseni tahmini üzerine yaptıkları çalışmada karar ağaçları sınıflandırıcısı (Decision Tree Classifier) ve RF yöntemlerini kullanarak tarım alanlarının, ekim desenlerinin ve ekilen ürün türlerinin doğru bir şekilde haritalanmasını amaçlamıştır. Çalışmada, tarım alanlarını ve ürün desenini belirlemek için Landsat-8 ve Sentinel-2 optik uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bu görüntülerden elde edilen veriler, belirtilen algoritmalar ile

işlenmiştir. Karar ağaçları, sınıflandırma işlemini basit kurallar ve koşullarla gerçekleştirirken, RF ise birçok karar ağacından oluşan bir topluluğun sonuçlarını birleştirerek daha yüksek doğruluk sağlamaktadır. Her iki sınıflandırıcı da ekim alanları, ürün deseni gibi bilgilerin haritalanmasında kullanılmıştır (Şekil 4). Ayrıca, sınıflandırma sonuçları, doğruluk değerlendirmeleri ve istatistiksel analizlerle test edilmiştir.

Şekil 4. Sentinel-2 (sol taraf) ve Landsat-8 (sağ taraf) görüntüleri kullanılarak Karar Ağacı Sınıflandırıcı ile tarım arazisi, ürün türleri ve ekim deseninin mekânsal kapsamının karşılaştırılması (Tariq & ark., 2023'den değiştirilerek)



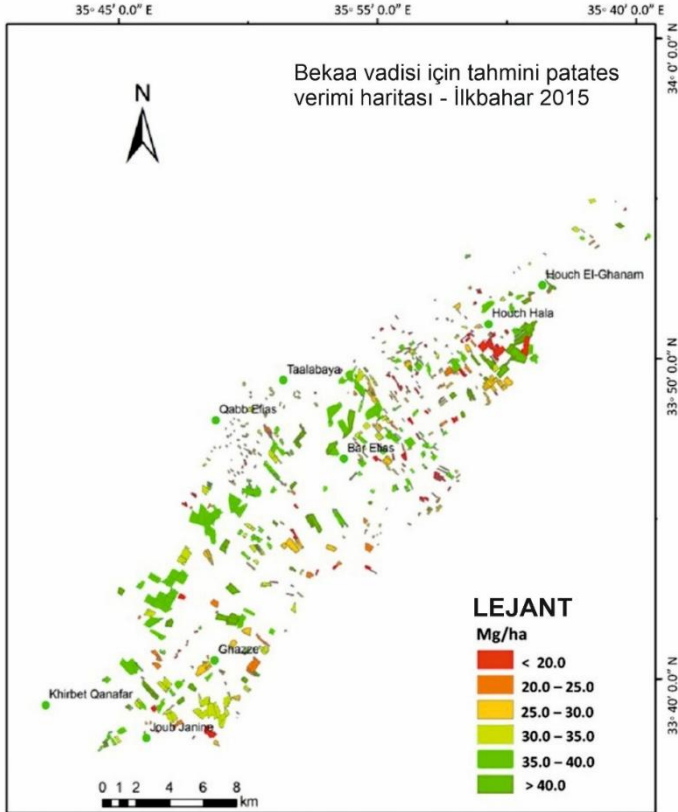
Şekil 4'te, Sentinel-2 verilerine dayalı ekili alanların çoğunlukla Gujranwala'nın kuzey ve güney-batı bölgelerinde yoğunlaştığı belirtilmiştir. Şekil 4 (A1)'de, ekili alanların genellikle merkezi bölgeler dışında tüm alanlarda bulunduğu, Wazirabad, Nowshervirkhan, Kamoke ve Gujranwala alt bölgelerinin sırasıyla %21.1, %7.38, %12.25 ve %12.26'sının ekili alan olmadığı, geri kalan kısmının ise ekili alan olduğu gösterilmektedir.

Şekil 4 (B1)'de ise, Landsat-8 verilerinden elde edilen ekili alanların dağılımı sunulmuştur. Bu verilere göre, aynı alt bölgelerin

sırasıyla %19.4, %7.72, %12.94 ve %18.92'sinin ekili alan olmadığı, geri kalan kısmının ekili alan olduğu belirtilmiştir. Landsat-8 verilerinin daha düzgün olmayan alanlarda daha yüksek doğruluk sağladığı ve ekili alan haritalama doğruluğunun, özellikle arazi yapısının etkisiyle değiştiği vurgulanmıştır. Son olarak, Sentinel-2 ve Landsat-8 verilerinin ekili alanlar açısından birbirini iyi bir şekilde eşleştirdiği ifade edilmiştir.

Awad (2019), rekolte tahmini üzerine yaptığı çalışmada tarımsal verim tahmini için uzaktan algılama verilerini ve optimizasyon tekniklerini kullanarak daha hassas bir model geliştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada MODIS uzaktan algılama verileri ile yerel çiftçi verileri kullanılmıştır. Çalışma, özellikle büyük ve homojen tarım alanları için uygun olan MODIS verilerini kullanarak, tarım alanlarının zaman içindeki değişimini izlemeyi hedeflemiştir. Ayrıca, daha yüksek çözünürlüklü verilerin eksikliği giderebilmek amacıyla yeni bir optimizasyon modeli geliştirilmiş olup bu model kullanılarak bir verim haritası oluşturulmuştur (Şekil 5).

Şekil 5. Bekaa Vadisi için yer üstü patates bitkisi verim haritası
(Awad, 2019'den değiştirilerek)



Şekil 5, Bekaa Vadisi için yer üstü patates bitkisinin 2015 ilkbahar sezonu boyunca tahmin edilen yer üstü bitki verimini (tam sezon boyunca) göstermektedir. Sonuç olarak, geliştirilen optimizasyon modeli, tarımsal verim tahminlerinde daha yüksek doğruluk sağlamıştır. Yerel çiftçilerin sağladığı verilerle yapılan karşılaştırmalar, modelin etkinliğini doğrulamıştır. Bu, yeni modelin iklim koşullarına bağlı verim tahminlerini iyileştirmede ve doğruluğu artırmada önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Hastalık ve Zararlı Tespiti

Tarımsal üretimde hastalık ve zararlılar, bitki sağlığını doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden biridir (Bolun & ark., 2023). Bitkisel hastalıklar genellikle fungal, bakteriyel veya viral patojenlerden kaynaklanırken, zararlılar böcekler, kemirgenler ve diğer organizmalar şeklinde ortaya çıkmaktadır (Tiberi & ark., 2016). Bu unsurlar, ürün verimini ve kalitesini olumsuz yönde etkileyerek ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Hastalık ve zararlı tespiti, erken teşhis ve uygun müdahale stratejilerinin belirlenmesi amacıyla yürütülen sistematik bir süreçtir.

Hastalık ve zararlı tespitinde geleneksel yöntemler genellikle yersel gözlemlere dayanır. Çiftçiler ve tarım uzmanları, bitkilerdeki renk değişimleri, yaprak deformasyonları, solgunluk gibi görsel belirtileri inceleyerek hastalık teşhisi yapmaktadır (Sharma & ark., 2023). Ancak bu yöntemlerin uygulanması, büyük ölçekli tarım alanlarında oldukça zordur. Bunun yanı sıra, hastalık belirtileri çoğu zaman gözle görülür hale geldiğinde bitkinin sağlığı üzerindeki etkileri ileri bir aşamaya ulaşmış olur ve müdahale süreçlerini geciktirerek verim kaybını artırabilir. Ayrıca, bazı hastalık ve zararlılar erken evrelerinde çıplak gözle tespit edilemeyebilir veya farklı çevresel koşullar altında benzer belirtiler gösterebilir. Bu tür sınırlamalar, tarımsal hastalık ve zararlı yönetiminde daha yenilikçi ve geniş ölçekli çözümlerin gerekliliğini ortaya koymaktadır (Guo & ark., 2020).

Uzaktan algılama ve CBS, hastalık ve zararlı tespitinde modern tarım uygulamalarını destekleyen yenilikçi teknolojiler sunmaktadır (Fousseni & ark., 2023). Geleneksel yersel gözlem yöntemleri, geniş tarım arazilerinde hastalık ve zararlı yoğunluğunu belirlemede yetersiz kalabilmekte ve zaman kaybına neden olabilmektedir. Bu bağlamda, uydu görüntüleri, İHA ve spektral

sensörler gibi uzaktan algılama teknikleri, geniş alanları hızlı ve doğru bir şekilde analiz ederek erken teşhis imkânı sunmaktadır.

Uzaktan algılama teknolojileri, bitkilerin fizyolojik durumlarını belirlemek amacıyla farklı dalga boylarında veri toplayarak hastalık ve zararlıların neden olduğu stresin tespit edilmesine yardımcı olmaktadır (Bolun & ark., 2023). Özellikle multispektral ve hiperspektral görüntüleme sistemleri, insan gözünün algılayamadığı spektral farklılıkları analiz ederek enfekte alanları erken evrede belirleyebilmektedir (Lee & Tardaguila, 2023). Hastalık veya zararlılardan etkilenen bitkiler, özellikle NIR ışığı sağlıklı bitkilere kıyasla daha düşük seviyede yansıttığından, NDVI ve Disease Water Stress Index (DWSI) gibi bitki stres indeksleri aracılığıyla tespit edilebilmektedir (Choudhary & Birman, 2023). Spektral analiz yöntemleriyle yapılan bu tespitler, bitkisel üretimde zamanında müdahaleye olanak tanımakta ve ürün kayıplarının önüne geçilmesine yardımcı olmaktadır.

Tarım alanlarında hastalık ve zararlı yoğunluğunu belirlemek için İHA yaygın olarak kullanılmaktadır (Li & ark., 2022). Yüksek çözünürlüklü optik ve termal kameralarla donatılan İHA'lar, büyük tarım arazilerinin hızlı bir şekilde taranmasını sağlayarak hastalık veya zararlı kaynaklı stres belirtilerini tespit edebilmektedir. Ayrıca, multispektral ve hiperspektral görüntüleme sistemleri, bitkilerin spektral imzalarını analiz ederek erken teşhis sürecini desteklemektedir (Olivier, 2023). Termal kameralar ise bitkilerde meydana gelen su kaybını ölçerek patojen veya zararlılar tarafından oluşturulan stresin belirlenmesini sağlamaktadır (Pradawet & ark., 2023).

Makine öğrenimi algoritmaları ve yapay zekâ tabanlı analiz sistemleri, hastalık ve zararlılar nedeniyle oluşan belirtileri otomatik olarak sınıflandırarak büyük veri setlerinin işlenmesini kolaylaştırmaktadır (Hashem & ark., 2024). Uydu görüntüleri,

İHA'lerden elde edilen veriler ve yer bazlı sensör ölçümleri, CBS kullanılarak mekânsal analizlerle birleştirilmekte ve hastalık yayılım haritaları oluşturulmaktadır. Bu entegrasyon, hastalık ve zararlı yoğunluğunun mekânsal dağılımını ortaya koyarak tarımsal yönetim süreçlerinde karar verme mekanizmasını desteklemektedir (Wang & ark., 2020).

Uzaktan algılama ile elde edilen verilerin doğruluk oranını artırmak ve yersel verilerle entegrasyonunu sağlamak, hastalık ve zararlı tespiti için güvenilirliği açısından kritik bir adımdır. Bu bağlamda, arazi çalışmaları ile uzaktan algılama verileri karşılaştırılarak model doğrulamaları gerçekleştirilmektedir (Orlandini & ark., 2020). CBS tabanlı analizler ile farklı veri setleri bir araya getirilerek tarımsal yönetim süreçlerinde kullanılabilir hale getirilmektedir. Ayrıca, makine öğrenimi ve derin öğrenme algoritmaları, büyük veri analizine dayalı olarak hastalık ve zararlı tespiti için daha hassas modellerin oluşturulmasını sağlamaktadır.

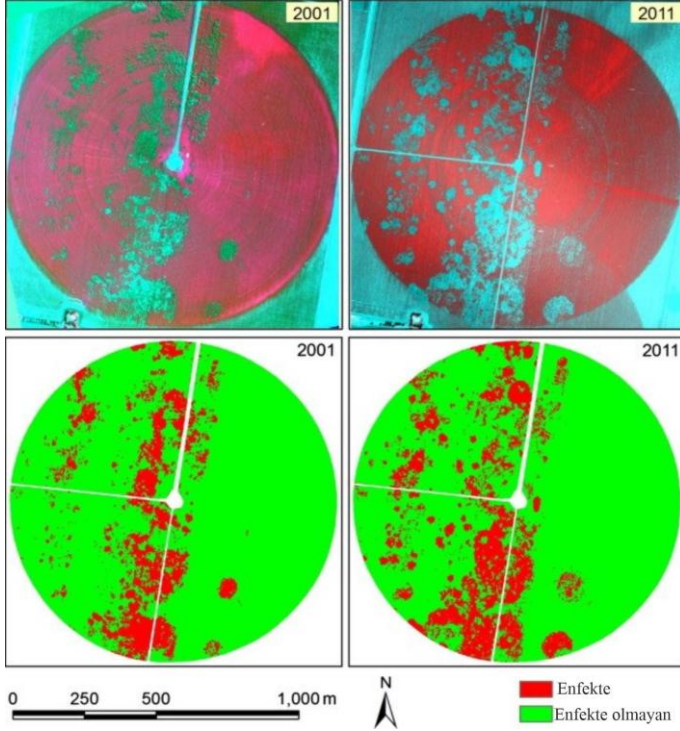
Uzaktan algılama ve CBS ile hastalık ve zararlı tespiti tarımsal üretime etkileri oldukça geniştir. Öncelikle, erken teşhis imkânı sayesinde çiftçiler, hastalık veya zararlı kaynaklı kayıpları en aza indirecek önlemleri zamanında alabilmektedir. Bu durum, kimyasal ilaç kullanımını azaltarak hem maliyetleri düşürmekte hem de çevresel sürdürülebilirliği artırmaktadır. Ayrıca, mekânsal analizler sayesinde riskli bölgeler belirlenerek daha etkili mücadele stratejileri geliştirilebilmektedir. Hassas tarım uygulamalarıyla entegre edilen bu teknolojiler, verim artışı sağlarken aynı zamanda kaynak kullanımını optimize ederek tarımsal üretimin sürdürülebilirliğine önemli katkılarda bulunmaktadır (Sishodia & ark., 2020).

Yang & ark. (2016), hastalık tespiti üzerine gerçekleştirdiği çalışmada, pamuk kök çürüklüğü hastalığının yayılma ve zaman içindeki değişimini uzaktan algılama ve hassas tarım teknolojilerini

kullanarak incelemiş, ayrıca tarımsal hastalıkların erken tespiti, izlenmesi ve yönetilmesi amacıyla bu teknolojilerin nasıl entegre edilebileceği üzerine odaklanmıştır.

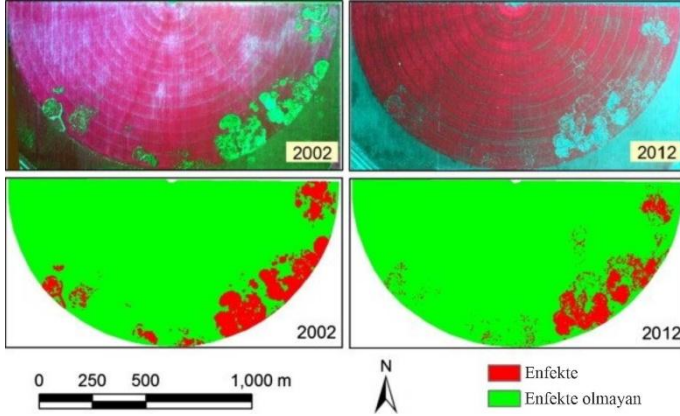
Bu çalışma, Texas'ın Edroy yakınlarındaki iki merkez pivot sulama alanında pamuk kök çürüklüğünü 10 yıllık aralıklarla incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. 2001 ve 2011 yıllarında 102 hektarlık alandan, 2002 ve 2012 yıllarında ise 97 hektarlık alandan elde edilen hava aracıyla çekilen çok spektrumlu görüntüler kullanılmıştır. Görüntüleme işlemi için farklı sistemler kullanılmıştır; 2001 ve 2002 yıllarında, yeşil, kırmızı ve yakın kızılötesi (NIR) dalga boylarında filtrelenmiş üç dijital CCD kameradan oluşan bir sistem, 2011 yılında mavi, yeşil, kırmızı ve NIR bantlarında dört yüksek çözünürlüklü CCD kamera ile veri toplanmış, 2012 yılında ise bir RGB renkli ve diğer 720 nm uzun geçiş filtresine sahip NIR kameradan oluşan iki kameralı bir sistemle görüntü alınmıştır. Pamuk kök çürüklüğünün tespit edilmesinde Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) kullanılmış ve ISODATA denetimsiz sınıflandırma yöntemiyle enfekte alanlar belirlenmiştir. Değişim tespiti analizi, yıllık sınıflandırma haritaları arasındaki değişiklikleri belirlemek amacıyla yapılmış ve enfekte alanlar etrafında tampon bölgeler oluşturulmuştur. Bu tampon bölgeler, hastalığın potansiyel yayılımını simüle etmek ve zamansal değişimi incelemek için kullanılmıştır.

Şekil 6. Güney Teksas'taki 102 hektarlık pamuk kök çürüklüğü enfekte alanı için 2001 ve 2011 yıllarına ait havadan çekilmiş renkli-kızılötesi görüntüler (üstte) ve NDVI görüntülerinden türetilen iki bölge sınıflandırma haritaları (altta) (Yang & ark., 2016'den değiştirilerek)



Görüntü sınıflandırma işlemleri ile, 2001 ve 2011 yıllarındaki enfekte alanlar tespit edilmiş ve bu alanların toplam alanın sırasıyla %13.6 ve %17.8'ini oluşturduğu bulunmuştur (Şekil 6). Görüntü sınıflandırma işlemleri ile tahmin edilen kök çürüklüğü yüzdeleri 2002'de %11,7 ve 2012'de %8,7 olarak hesaplanmıştır (Şekil 7).

Şekil 7. Güney Teksas'taki 97 hektarlık pamuk kök çürüklüğü enfekte alanı için 2002 ve 2012 yıllarına ait havadan çekilmiş renkli-kızılötesi görüntüler (üstte) ve NDVI görüntülerinden türetilen iki bölge sınıflandırma haritaları (altta) (Yang & ark., 2016'den değiştirilerek)

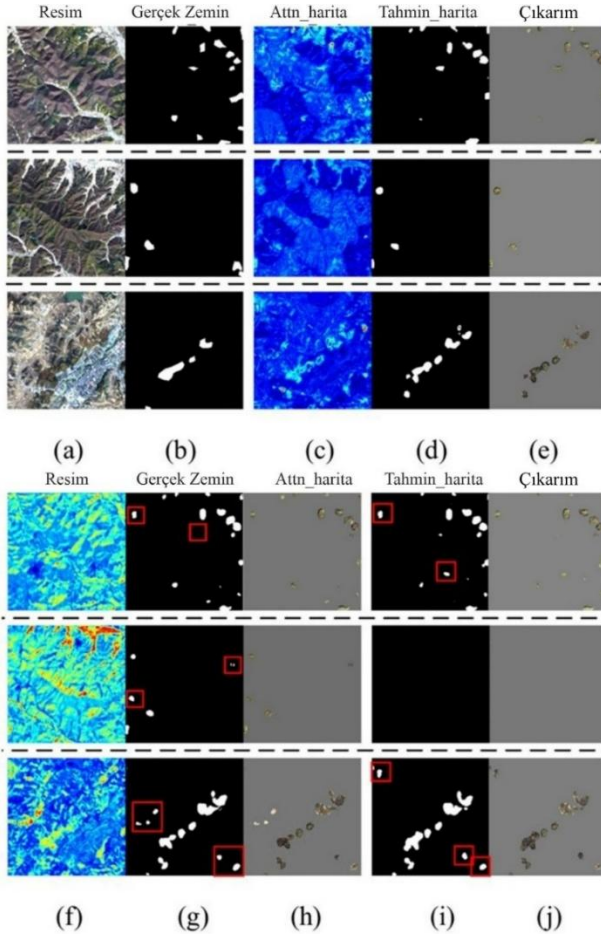


İki yıl arasındaki genel enfeksiyonların mekânsal desenleri benzer olduğu, ancak 2012'de enfekte alanların azaldığı tespit edilmiştir. Çünkü 2002'deki bazı enfekte alanlar 2012'de tam olarak belirginleşmemiştir. Ancak, pamuk kök çürüklüğünün genel olarak alandaki aynı bölgelerde meydana geldiği ve 2012'de birkaç yeni enfekte alanların olduğu gözlemlenmiştir. Bu hastalığın tekrar eden deseni, diğer birçok alanda da bulunmuştur.

Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan çoklu görüntüleme sistemleri, pamuk kök çürüklüğü enfeksiyonlarının izlenmesi ve haritalanmasında yüksek doğruluk sağlamıştır. Özellikle hava aracı görüntüleme sistemleri, daha ayrıntılı ve yerel analizler yapabilmeyi mümkün kılarken, uydu verileri de geniş alanlarda tespit yapmayı olanaklı hale getirmiştir. Bu yöntemlerin kombinasyonu, tarım hastalıklarının izlenmesinde ve yönetilmesinde güçlü bir araç olarak ortaya çıkmıştır.

Ye & ark. (2022), zararlı tespiti üzerine yaptıkları çalışmada uydu görüntülerini ve çok ölçekli U-Net modelini kullanarak çam zararlılarının tespiti için etkili bir yöntem geliştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada, çam zararlılarının tespitinde kullanılan veri seti, Landsat ve Sentinel-2 gibi uzaktan algılama uydu verilerinden oluşturulmuştur. Verilerin analiz edilmesinde, klasik görüntü işleme tekniklerinin yerine derin öğrenme yöntemleri kullanılmıştır. Bu bağlamda, çok ölçekli Attention U-NET modelinden faydalanılmıştır. Model, görüntülerdeki farklı ölçeklerdeki özellikleri analiz etmek için dikkat mekanizmalarını entegre ederek çam zararlılarının etkili bir şekilde tespit edilmesini sağlamıştır (Şekil 8).

Şekil 8. Model tarafından segmentelenmiş zararlı ile enfekte bölgeler: (a) orijinal görüntü; (b) zemin doğrulama; (c) önerilen modelin dikkat haritası; (d) önerilen model tarafından elde edilen model tahmin haritası; (e) önerilen modelin alan çıkarım sonucu; (f) dikkat U-Net modelinin elde ettiği dikkat haritası; (g) dikkat U-Net modelinin model tahmin haritası; (h) dikkat U-Net'in alan çıkarım sonucu; (i) U-Net modelinin elde ettiği model tahmin haritası; (j) U-Net modelinin çıkardığı alan (Ye & ark., 2022'den değiştirilerek).



Şekil 8’de Attention U-NET ve U-Net modellerinin sonuçlarında birkaç hatalı tespit alanı bulunmaktadır. Attention U-NET ile karşılaştırıldığında, çok ölçekli evrişim ve adaptif havuzlama eklenmesi nedeniyle, önerilen MA-U-Net’in dikkat mekanizması, ön plan bölgesindeki piksellere daha doğru bir şekilde tepki verebilir ve alakasız arka plan bölgesindeki daha fazla piksele olan tepkiyi baskılayabilir, bu da Şekil 8(c) ve 8(f)’te gösterilmektedir. Belirli eksik tespit alanları olsa da, önerilen MA-U-Net modelinin elde ettiği zararlı alanlarının segmentasyon sonucu, Attention U-NET ve U-Net modellerinin sonuçlarına göre daha doğru, bu da sonraki aşamada yanlış tespitlerden kaynaklanan ekran tarama ve teşhis çabalarını önemli ölçüde azaltabilir olduğunu göstermektedir.

Sonuç ve Gelecek Perspektifi

Günümüzde uzaktan algılama ve CBS, tarımsal üretimde verimliliği artırmak, kaynak kullanımını optimize etmek ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla önemli bir rol oynamaktadır. Uzaktan algılama teknikleri, bitki sağlığının erken teşhisi, toprak nem durumu ve hastalıkların tespiti gibi kritik konularda çiftçilere ve karar vericilere önemli bilgiler sunmaktadır. Bu teknolojiler sayesinde tarımsal araziler daha detaylı analiz edilerek, ekim planlamasından sulama yönetimine kadar birçok süreç hassas bir şekilde yürütülebilmektedir. Aynı zamanda tarımsal ilaç ve gübre kullanımını optimize ederek, ekonomik kayıpları azaltırken çevresel etkileri en aza indirmektedir. Özellikle uydu görüntüleri ve İHA ile elde edilen yüksek çözünürlüklü veriler, tarımsal faaliyetlerin izlenmesini ve değerlendirilmesini daha erişilebilir ve uygulanabilir hale getirmiştir.

Tarımsal üretimde dijitalleşme ve otomasyon süreçlerinin hız kazanmasıyla birlikte, makine öğrenmesi, derin öğrenme ve büyük veri analitikleri gibi ileri teknoloji uygulamalarının kullanımı

giderek yaygınlaşacaktır. Yapay zekâ destekli analizler, tarımsal verilerin daha etkin işlenmesini sağlayarak, verim tahminlerini daha doğru hale getirecek ve kaynak yönetiminde daha stratejik kararlar alınmasına yardımcı olacaktır. Bununla birlikte, görüntü işleme ve uzaktan algılama tekniklerinin gelişimi sayesinde tarımsal veriler daha hızlı ve yüksek doğrulukta analiz edilebilecektir. Bu da çiftçilerin, üreticilerin ve karar vericilerin tarımsal faaliyetlerini daha bilinçli bir şekilde planlamasına olanak tanıyacaktır. İleri düzey sensörler, otomatik veri toplama sistemleri ve dijital tarım platformları, ekim alanlarının durumunu gerçek zamanlı olarak takip etmeye ve müdahale süreçlerini daha etkin hale getirmeye imkân sağlayacaktır.

Gelecekte, tarımda akıllı sistemlerin daha fazla yaygınlaşmasıyla, hassas tarım uygulamaları daha entegre bir yapıya kavuşacak ve üretim süreçleri daha sürdürülebilir hale gelecektir. Tarımsal robotlar, akıllı sulama sistemleri ve otomatik veri analiz platformları sayesinde insan müdahalesi en aza indirilerek zaman ve maliyet tasarrufu sağlanacaktır. Ayrıca, tarımsal üretimde sürdürülebilirliği desteklemek amacıyla iklim değişikliğiyle mücadelede uyumlu yöntemlerin geliştirilmesi ve doğal kaynakların korunması büyük bir öneme sahip olacaktır.

Sonuç olarak, uzaktan algılama, CBS ve yapay zeka tabanlı analizler, gelecekte tarımsal yönetimi daha dinamik, hassas ve etkili bir hale getirecektir. Bu teknolojilerin yaygın kullanımıyla birlikte, çiftçilerin ve tarımsal üreticilerin karar alma süreçleri daha bilinçli ve veriye dayalı olacak, böylece gıda güvenliği, verimlilik ve çevresel sürdürülebilirlik konularında önemli ilerlemeler sağlanacaktır.

Kaynakça

Abisuga, O. A., & de Beer, D. (2023). The opportunities of additive manufacturing in the creative industries: a bibliometric analysis. *Progress in Additive Manufacturing*, 8(6), 1179-1193.

Akinsunmade, A. E., & Ejieji, C. N. (2021). Land suitability and crop pattern model using integrated pollination intelligence algorithm and remote sensing. *Earthline Journal of Mathematical Sciences*, 5(1), 1-15.

Akram, M. W., Vannucci, M., Buttazzo, G., Colla, V., Roccella, S., Vannini, A., ... & Sebastiani, L. (2024). Automating grapevine LAI features estimation with UAV imagery and machine learning. *arXiv preprint arXiv:2411.17897*.

Alavi Panah, S. K., Goossens, R., Matinfar, H. R., Mohammadi, H., Ghadiri, M., Irannegad, H., & Alikhah Asl, M. (2008). The efficiency of Landsat TM and ETM+ thermal data for extracting soil information in arid regions. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 10(5), 439-460.

Alshari, E. A., Abdulkareem, M. B., & Gawali, B. W. (2023). Classification of land use/land cover using artificial intelligence (ANN-RF). *Frontiers in Artificial Intelligence*, 5, 964279.

Awad, M. M. (2019). Toward precision in crop yield estimation using remote sensing and optimization techniques. *Agriculture*, 9(3), 54.

Awad, M. M., Alawar, B., & Jbeily, R. (2019). A new crop spectral signatures database interactive tool (CSSIT). *Data*, 4(2), 77.

Basurto-Lozada, D., Hillier, A., Medina, D., Pulido, D., Karaman, S., & Salas, J. (2020). Dynamics of soil surface temperature with unmanned aerial systems. *Pattern Recognition Letters*, 138, 68-74.

Batool, D., Shahbaz, M., Shahzad Asif, H., Shaukat, K., Alam, T. M., Hameed, I. A., ... & Luo, S. (2022). A hybrid approach to tea crop yield prediction using simulation models and machine learning. *Plants*, 11(15), 1925.

Bognár, P., Kern, A., Pásztor, S., Steinbach, P., & Lichtenberger, J. (2022). Testing the robust yield estimation method for winter wheat, corn, rapeseed, and sunflower with different vegetation indices and meteorological data. *Remote sensing*, 14(12), 2860.

Bolun, G. U. A. N., Liping, Z. H. A. N. G., Jingbo, Z. H. U., Runmei, L. I., Juanjuan, K. O. N. G., Yan, W. A. N. G., & Wei, D. O. N. G. (2023). The key issues and evaluation methods for constructing agricultural pest and disease image datasets: A review. *Smart agriculture*, 5(3), 17.

Bousbih, S., Zribi, M., Lili-Chabaane, Z., Shabou, M., Pellet, V., Bouaziz, S., & Mahfoudhi, F. (2017). Potential of Sentinel-1 Radar Data for the Assessment of Soil Moisture at High Spatial Resolution Over Agricultural Areas. *Remote Sensing*, 9(8), 484. DOI:10.3390/rs9050484

Brosinsky, A., Lausch, A., Doktor, D., Salbach, C., Merbach, I., Gwillym-Margianto, S., & Pause, M. (2014). Analysis of spectral vegetation signal characteristics as a function of soil moisture conditions using hyperspectral remote sensing. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 42, 311-324.

Cho, S. B., Soleh, H. M., Choi, J. W., Hwang, W. H., Lee, H., Cho, Y. S., ... & Kim, G. (2024). Recent Methods for Evaluating Crop Water Stress Using AI Techniques: A Review. *Sensors*, 24(19), 6313.

Choe, Y. J., & Yom, J. H. (2020). Improving accuracy of land surface temperature prediction model based on deep-learning. *Spatial Information Research*, 28, 377-382.

Choudhary, N., & Birman, S. (2023, October). Mapping of burnt areas due to stubble burning: impacts and management practices. In *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications XIV* (Vol. 12734, pp. 75-86). SPIE.

Das, N. N., Entekhabi, D., Dunbar, R. S., Chaubell, M. J., Colliander, A., Yueh, S., ... & Thibeault, M. (2019). The SMAP and Copernicus Sentinel 1A/B microwave active-passive high resolution surface soil moisture product. *Remote Sensing of Environment*, 233, 111380.

Dela Torre, D. M. G., Gao, J., & Macinnis-Ng, C. (2021). Remote sensing-based estimation of rice yields using various models: A critical review. *Geo-Spatial Information Science*, 24(4), 580-603.

Dlamini, L., Crespo, O., van Dam, J., & Kooistra, L. (2023). A global systematic review of improving crop model estimations by assimilating remote sensing data: implications for small-scale agricultural systems. *Remote Sensing*, 15(16), 4066.

Dorbu, F. E., Hashemi-Beni, L., Karimoddini, A., & Shahbazi, A. (2021). UAV remote sensing assessment of crop growth. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 87(12), 891-899.

Elshaikh, A., & Mabrouki, J. (2024). Impact of Agricultural Soil Degradation on Water and Food Security. In *Artificial Intelligence Systems in Environmental Engineering* (pp. 13-24). CRC Press.

Espinel, R., Herrera-Franco, G., Rivadeneira García, J. L., & Escandón-Panchana, P. (2024). Artificial intelligence in agricultural mapping: A review. *Agriculture*, 14(7), 1071.

Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Jones, C. A. (2011). *Growth and mineral nutrition of field crops*. CRC press.

Fousseni, F., Wouyo, A., Hodabalo, P., Diwediga, B., Novotny, I. P., Dray, A., ... & Koffi, A. (2023). GIS/Remote-Sensing-Based Assessment of Vegetation Health Related to Agroecological Practices in the Southeast of Togo.

Gao, J., Yao, Y., Zhu, V. C., Sun, L., & Lin, L. (2011). Service-oriented manufacturing: a new product pattern and manufacturing paradigm. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22, 435-446.

Ge, Y., Thomasson, J. A., & Sui, R. (2011). Remote sensing of soil properties in precision agriculture: A review. *Frontiers of Earth Science*, 5, 229-238.

Gomiero, T. (2016). Soil degradation, land scarcity and food security: Reviewing a complex challenge. *Sustainability*, 8(3), 281.

Gorji, T., Yıldırım, A., Sertel, E., & Tanık, A. (2019). Remote sensing approaches and mapping methods for monitoring soil salinity under different climate regimes. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 6(1), 33-49.

Guo, X., Zhou, H., Su, J., Hao, X., Tang, Z., Diao, L., & Li, L. (2020). Chinese agricultural diseases and pests named entity recognition with multi-scale local context features and self-attention mechanism. *Computers and Electronics in Agriculture*, 179, 105830.

Han, D., Wang, P., Tansey, K., Zhang, S., Tian, H., Zhang, Y., & Li, H. (2021). Improving wheat yield estimates by integrating a remotely sensed drought monitoring index into the simple algorithm

for yield estimate model. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 10383-10394.

Hashem, T., Joudeh, J., & Ahmad Zamil, A. (2024). Smart Farming (Ai-Generated) as an Approach to Better Control Pest and Disease Detection in Agriculture: POV Agricultural Institutions. *Migration Letters*, 21(S1), 529-547.

Huang, J., Wang, H., Dai, Q., & Han, D. (2014). Analysis of NDVI data for crop identification and yield estimation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(11), 4374-4384.

Huang, Q., Feng, J., Gao, M., Lai, S., Han, G., Qin, Z., ... & Huang, Y. (2024). Precise estimation of sugarcane yield at field scale with allometric variables retrieved from UAV Phantom 4 RTK images. *Agronomy*, 14(3), 476.

Jeba, R. P., Kirthiga, S. M., Issac, A. M., Bindhu, V. M., Srinivasan, R., & Narasimhan, B. (2024). An improved framework for mapping and assessment of dynamics in cropping pattern and crop calendar from NDVI time series across a heterogeneous agro-climatic region. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(11), 1141.

Jia, X., Zhang, P., & Wang, J. (2021). Effects of soil pH on nutrient availability in agricultural soils. *Soil Science Journal*, 186(3), 345-360.

Jiménez-Ruiz, J., de la O Leyva-Pérez, M., Vidoy-Mercado, I., Barceló, A., & Luque, F. (2018). Transcriptomic time-series analysis of early development in olive from germinated embryos to juvenile tree. *BMC genomics*, 19, 1-14.

Jindo, K., Kozan, O., Iseki, K., Maestrini, B., van Evert, F. K., Wubengeda, Y., ... & Kempenaar, C. (2021). Potential utilization

of satellite remote sensing for field-based agricultural studies. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8, 1-16.

Kabir, K. H., Aqib, M. Z., Sultana, S., & Akhter, S. (2024). Machine Learning Approaches on Crop Pattern Recognition a Comparative Analysis. *arXiv preprint arXiv:2411.12667*.

Kabir, K. H., Sultana, S., & Aqib, M. Z. (2018). Exploring Machine Learning Approaches on Crop Pattern Recognition (Doctoral dissertation, East West University).

Kaliraj, S., Adhikari, K., Dharumarajan, S., Lalitha, M., & Kumar, N. (2024). Remote sensing and geographic information system applications in mapping and assessment of soil resources. In *Remote Sensing of Soils* (pp. 25-41). Elsevier.

Katkani, D., Babbar, A., Mishra, V. K., Trivedi, A., Tiwari, S., & Kumawat, R. K. (2022). A review on applications and utility of remote sensing and geographic information systems in agriculture and natural resource management. *Int. J. Environ. Clim. Change*, 12, 1-18.

Kerry, R., Ingram, B., Ortiz, B. V., & Salvacion, A. (2022). Using Soil, Plant, Topographic and Remotely Sensed Data to Determine the Best Method for Defining Aflatoxin Contamination Risk Zones within Fields for Precision Management. *Agronomy*, 12(10), 2524.

Lee, W. S., & Tardaguila, J. (2023). Pest and disease management. In *Advanced automation for tree fruit orchards and vineyards* (pp. 93-118). Cham: Springer International Publishing.

Li, S., Feng, Z., Yang, B., Li, H., Liao, F., Gao, Y., ... & Yao, Q. (2022). An intelligent monitoring system of diseases and pests on rice canopy. *Frontiers in plant science*, 13, 972286.

Lindsay, W. L. (1979). Chemical equilibria in soils. John Wiley & Sons.

Liu, J., Xie, J., Han, J., Wang, H., Sun, J., Li, R., & Li, S. (2020). Visible and near-infrared spectroscopy with chemometrics are able to predict soil physical and chemical properties. *Journal of Soils and Sediments*, 20, 2749-2760.

Ma, H., Zeng, J., Zhang, X., Peng, J., Li, X., Fu, P., ... & Wigneron, J. P. (2024). Surface soil moisture from combined active and passive microwave observations: Integrating ASCAT and SMAP observations based on machine learning approaches. *Remote Sensing of Environment*, 308, 114197.

Madhumathi, R. (2017). Development of an Artificial Intelligence based Agriculture Distance Education Model for Prediction of Crop Price and Yield Levels in India. *Asian Journal of Distance Education*, 12(1), 69-78.

Mahlayeye, M., Darvishzadeh, R., & Nelson, A. (2022). Cropping patterns of annual crops: A remote sensing review. *Remote Sensing*, 14(10), 2404.

Mai, R., Xin, Q., Qiu, J., Wang, Q., & Zhu, P. (2024). High spatial resolution soil moisture improves crop yield estimation in the midwestern United States. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*.

Marschner, H. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic press.

Merrick, T., Bennartz, R., Jorge, M. L. S., Pau, S., & Rausch, J. (2022). Evaluation of Plant Stress Monitoring Capabilities Using a Portable Spectrometer and Blue-Red Grow Light. *Sensors*, 22(9), 3411.

Mishra, U. K., Karthikeyan, M. P., Rastogi, A., Khatun, A., Nair, R., Gupta, A., & Rabie, K. M. (2024). Crop Monitoring in Real Time in Agriculture. In *Data Driven Mathematical Modeling in Agriculture* (pp. 265-284). River Publishers.

Mohanty, B. P., Cosh, M. H., Lakshmi, V., & Montzka, C. (2017). Soil moisture remote sensing: State-of-the-science. *Vadose Zone Journal*, 16(1), 1-9.

Naz, M., Dai, Z., Hussain, S., Tariq, M., Danish, S., Khan, I. U., ... & Du, D. (2022). The soil pH and heavy metals revealed their impact on soil microbial community. *Journal of Environmental Management*, 321, 115770.

Nguyen, T. T. H., De Bie, C. A. J. M., Ali, A., Smaling, E. M. A., & Chu, T. H. (2012). Mapping the irrigated rice cropping patterns of the Mekong delta, Vietnam, through hyper-temporal SPOT NDVI image analysis. *International journal of remote sensing*, 33(2), 415-434.

Nikitha, S., Prabhanjan, S., & Sathyanarayan, A. (2024). Plant nutritional deficiency detection: a survey of predictive analytics approaches. *Iran Journal of Computer Science*, 1-19.

Njoku, E. G., Jackson, T. J., Lakshmi, V., Chan, T. K., & Nghiem, S. V. (2003). Soil moisture retrieval from AMSR-E. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(2), 215-229. DOI:10.1109/TGRS.2002.808243

Olivier, R. E. (2023). Development of an Integrated System of Solution for Decision Support of Crop Health Diagnosis: Case of a Machine Learning Enabled Unmanned Aerial Vehicle (Doctoral dissertation, University of Pretoria (South Africa)).

Onwuka, B., & Mang, B. J. A. P. A. R. (2018). Effects of soil temperature on some soil properties and plant growth. *Adv. Plants Agric. Res*, 8(1), 34-37.

Orlandini, S., Magarey, R. D., Park, E. W., Sporleder, M., & Kroschel, J. (2020). Methods of agroclimatology: modeling approaches for pests and diseases. *Agroclimatology: linking agriculture to climate*, 60, 453-488.

Palumbo, M., Pace, B., Cefola, M., Montesano, F. F., Colelli, G., & Attolico, G. (2022). Non-destructive and contactless estimation of chlorophyll and ammonia contents in packaged fresh-cut rocket leaves by a Computer Vision System. *Postharvest Biology and Technology*, 189, 111910.

Pande, C. B. (2022). Land use/land cover and change detection mapping in Rahuri watershed area (MS), India using the google earth engine and machine learning approach. *Geocarto International*, 37(26), 13860-13880.

Pande, C. B., & Moharir, K. N. (2023). Application of hyperspectral remote sensing role in precision farming and sustainable agriculture under climate change: A review. *Climate Change Impacts on Natural Resources, Ecosystems and Agricultural Systems*, 503-520.

Peng, M., Liu, Y., Khan, A., Ahmed, B., Sarker, S. K., Ghadi, Y. Y., ... & Ali, Y. A. (2024). Crop monitoring using remote sensing land use and land change data: Comparative analysis of deep learning methods using pre-trained CNN models. *Big Data Research*, 36, 100448.

Perros, N., Kalivas, D., & Giovos, R. (2021). Spatial analysis of agronomic data and uav imagery for rice yield estimation. *Agriculture*, 11(9), 809.

Ponomareva, T. V., Litvintsev, K. Y., Finnikov, K. A., Yakimov, N. D., Sentyabov, A. V., & Ponomarev, E. I. (2021). Soil temperature in disturbed ecosystems of Central Siberia: remote sensing data and numerical simulation. *Forests*, 12(8), 994.

Pradawet, C., Khongdee, N., Pansak, W., Spreer, W., Hilger, T., & Cadisch, G. (2023). Thermal imaging for assessment of maize water stress and yield prediction under drought conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 209(1), 56-70.

Prashanthi, B., AV Praveen, K., & Ch Mallikarjuna, R. (2022). A Comprehensive Literature Study on Precision Agriculture: Tools and Techniques. *International Journal of Computer Science & Network Security*, 22(12), 229-238.

Ranjan, R., & Vinayak, S. (2020). Application of remote sensing and GIS in plant disease management. *Precision Agriculture and Sustainable Crop Production*, Chourasia, HK, Acharya K., Singh, VK (eds.). Today & Tomorrow's Printers and Publishers, New Delhi-110002 (India), 509-522.

Ryan, P. R., Delhaize, E., & Jones, D. L. (2001). Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots. *Annual Review of Plant Biology*, 52(1), 527-560.

Sekertekin, A., & Bonafoni, S. (2020). Land surface temperature retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over rural areas: Assessment of different retrieval algorithms and emissivity models and toolbox implementation. *Remote sensing*, 12(2), 294.

Sekertekin, A., Marangoz, A. M., & Abdikan, S. (2020). ALOS-2 and Sentinel-1 SAR data sensitivity analysis to surface soil moisture over bare and vegetated agricultural fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 171, 105303.

Sener, M., Pehlivan, M., Tekiner, M., Alkan, C., Ozden, U. E., Erdem, T., ... & Turan, L. (2018). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based remote sensing for crop pattern mapping, Turkey.

Shafi, U., Mumtaz, R., Iqbal, N., Zaidi, S. M. H., Zaidi, S. A. R., Hussain, I., & Mahmood, Z. (2020). A multi-modal approach for

crop health mapping using low altitude remote sensing, internet of things (IoT) and machine learning. *IEEE Access*, 8, 112708-112724.

Shahare, Y., & Gautam, V. (2021). Soil nutrient assessment and crop estimation with machine learning method: A survey. In *Cyber Intelligence and Information Retrieval: Proceedings of CIIR 2021* (pp. 253-266). Singapore: Springer Singapore.

Sharma, D., Majumdar, A., Suchita, S., & Thakur, A. (2023). *GIS and Remote Sensing in Agriculture*. Integrated Publications TM New Delhi, 103.

Sharma, P. K., & Kumar, S. (2023). Soil temperature and plant growth. In *Soil physical environment and plant growth: Evaluation and management* (pp. 175-204). Cham: Springer International Publishing.

Sharma, S., & Singh, G. (2024, March). Cultivating Precision: Integrating XGBoost Imputation with Random Forest Regression for Accurate Soil Moisture Prediction. In *2024 10th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)* (Vol. 1, pp. 156-161). IEEE.

Shi, J., Yang, H., Hou, X., Zhang, H., Tang, G., Zhao, H., & Wang, F. (2025). Coupling SAR and optical remote sensing data for soil moisture retrieval over dense vegetation covered areas. *PloS one*, 20(1), e0315971.

Singh, A., Ganapathysubramanian, B., Singh, A. K., & Sarkar, S. (2018). Machine learning for high-throughput stress phenotyping in plants. *Trends in Plant Science*, 23(10), 883-898.

Singh, L., Mutanga, O., Mafongoya, P., Peerbhay, K., & Crous, J. (2022). Hyperspectral remote sensing for foliar nutrient detection in forestry: A near-infrared perspective. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 25, 100676.

Sishodia, R. P., Ray, R. L., & Singh, S. K. (2020). Applications of remote sensing in precision agriculture: A review. *Remote sensing*, 12(19), 3136.

Sofo, A., Zanella, A., & Ponge, J. F. (2022). Soil quality and fertility in sustainable agriculture, with a contribution to the biological classification of agricultural soils. *Soil Use and Management*, 38(2), 1085-1112.

Syed, N. R., Raza, A., Zubair, M., Acharki, S., Hussain, S., & Singh, S. K. (2023). 3 Crop Pattern Mapping Using. *Agriculture and Climatic Issues in South Asia: Geospatial Applications*, 23.

Syed, N. R., Raza, A., Zubair, M., Acharki, S., Hussain, S., & Singh, S. K. (2023). Crop pattern mapping using GIS and remote sensing: a case study from Multan District of Pakistan. In *Agriculture and Climatic Issues in South Asia* (pp. 23-40). CRC Press.

Tan, X., Luo, S., Li, H., Hao, X., Wang, J., Dong, Q., & Chen, Z. (2022). Investigating the effects of snow cover and vegetation on soil temperature using remote sensing indicators in the three river source region, China. *Remote Sensing*, 14(16), 4114.

Tariq, A., Yan, J., Gagnon, A. S., Riaz Khan, M., & Mumtaz, F. (2023). Mapping of cropland, cropping patterns and crop types by combining optical remote sensing images with decision tree classifier and random forest. *Geo-Spatial Information Science*, 26(3), 302-320.

Tiberi, R., Panzavolta, T., Bracalini, M., Ragazzi, A., Ginetti, B., & Moricca, S. (2016). Interactions between insects and fungal pathogens of forest and ornamental trees. *Italian Journal of Mycology*, 45, 54-65.

Tits, L., Somers, B., Stuckens, J., Farifteh, J., & Coppin, P. (2013). Integration of in situ measured soil status and remotely

sensed hyperspectral data to improve plant production system monitoring: Concept, perspectives and limitations. *Remote Sensing of Environment*, 128, 197-211.

Trivedi, A., Rao, K. V. R., Rajwade, Y., Yadav, D., & Verma, N. S. (2022). Remote sensing and geographic information system applications for precision farming and natural resource management. *Indian Journal of Ecology*, 49(5), 1624-1633.

Tsouros, D. C., Bibi, S., & Sarigiannidis, P. G. (2019). A review on UAV-based applications for precision agriculture. *Information*, 10(11), 349.

Tunçay, T., Kılıç, Ş., Dedeoğlu, M., Dengiz, O., Başkan, O., & Bayramin, I. (2021). Assessing soil fertility index based on remote sensing and gis techniques with field validation in a semiarid agricultural ecosystem. *Journal of Arid Environments*, 190, 104525.

Voltr, V., Menšík, L., Hlisnikovský, L., Hruška, M., Pokorný, E., & Pospíšilová, L. (2021). The soil organic matter in connection with soil properties and soil inputs. *Agronomy*, 11(4), 779.

Wang, D., Cao, W., Zhang, F., Li, Z., Xu, S., & Wu, X. (2022). A review of deep learning in multiscale agricultural sensing. *Remote Sensing*, 14(3), 559.

Wang, H., Inukai, Y., & Yamauchi, A. (2006). Root development and nutrient uptake. *Critical reviews in plant sciences*, 25(3), 279-301.

Wang, R., Yang, H., Wang, M., Zhang, Z., Huang, T., Wen, G., & Li, Q. (2020). Predictions of potential geographical distribution of *Diaphorina citri* (Kuwayama) in China under climate change scenarios. *Scientific Reports*, 10(1), 9202.

Wang, X., Zhang, F., & Johnson, V. C. (2018). New methods for improving the remote sensing estimation of soil organic matter

content (SOMC) in the Ebinur Lake Wetland National Nature Reserve (ELWNNR) in northwest China. *Remote Sensing of Environment*, 218, 104-118.

Wei, M., Qiao, B., Zhao, J., & Zuo, X. (2018, May). Application of remote sensing technology in crop estimation. In 2018 IEEE 4th International Conference on Big Data Security on Cloud (BigDataSecurity), IEEE International Conference on High Performance and Smart Computing,(HPSC) and IEEE International Conference on Intelligent Data and Security (IDS) (pp. 252-257). IEEE.

Wei, X., Johnson, M. A., Langston Jr, D. B., Mehl, H. L., & Li, S. (2021). Identifying optimal wavelengths as disease signatures using hyperspectral sensor and machine learning. *Remote Sensing*, 13(14), 2833.

Xu, C., Qu, J. J., Hao, X., Zhu, Z., & Gutenberg, L. (2020). Surface soil temperature seasonal variation estimation in a forested area using combined satellite observations and in-situ measurements. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 91, 102156.

Yang, C., Odvody, G. N., Thomasson, J. A., Isakeit, T., & Nichols, R. L. (2016). Change detection of cotton root rot infection over 10-year intervals using airborne multispectral imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 154-162.

Ye, W., Lao, J., Liu, Y., Chang, C. C., Zhang, Z., Li, H., & Zhou, H. (2022). Pine pest detection using remote sensing satellite images combined with a multi-scale attention-UNet model. *Ecological Informatics*, 72, 101906.

Yuan, J., Zhang, Y., Zheng, Z., Yao, W., Wang, W., & Guo, L. (2024). Grain Crop Yield Prediction Using Machine Learning Based

on UAV Remote Sensing: A Systematic Literature Review. *Drones*, 8(10), 559.

Yurteri, C., & Kurttas, T. (2022). Assessment of anthropogenic impacts and climatic factors on the shrinkage of Seyfe Lake (Central Anatolia, Turkey) during the past 35 years. *Authorea Preprints*.

Zhang, C., Kovacs, J. M., & Flores-Verdugo, F. (2020). Remote sensing of plant biophysical and biochemical properties: A perspective on retrieval models and applications. *Science of the Total Environment*, 739, 139-190.

Zhang, Y., Sui, B., Shen, H., & Wang, Z. (2018). Estimating temporal changes in soil pH in the black soil region of Northeast China using remote sensing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 154, 204-212.

Zhang, Z., Hua, L., Wei, Q., Li, J., & Wang, J. (2022). Recognition and Changes Analysis of Complex Planting Patterns Based Time Series Landsat and Sentinel-2 Images in Jiangnan Plain, China. *Agronomy*, 12(8), 1773.

UZAKTAN ALGILAMA VE CBS İLE TARIMSAL ALANLARDA İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ, SU YÖNETİMİ VE ARAZİ KULLANIMIN İZLENMESİ

RÜŞTÜ ÇALLI¹
EMİRHAN ÖZDEMİR²

Giriş

İklim değışikliği, gezegenimizin karşı karşıya olduğu en büyük çevresel, ekonomik ve sosyal tehditlerden biri olarak kabul edilmektedir. Bilimsel araştırmalar, özellikle sanayi devriminden bu yana artan insan faaliyetlerinin atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarını önemli ölçüde artırdığını ve bunun küresel sıcaklık artışına yol açtığını göstermektedir (Nguyen & ark., 2023). Bu durum, yalnızca çevresel dengeleri bozmakla kalmayıp, ekosistemler, tarım, su kaynakları ve insan sağığı üzerinde de ciddi etkiler yaratmaktadır. İklim değışikliğinin etkileri son yıllarda daha belirgin hale gelmiş, bu durum bilim dünyasında ilgili araştırmaların hız kazanmasına neden olmuştur (Dietz & ark., 2020; IPCC, 2022).

¹ Öğr. Gör., Iğdır Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Iğdır, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4508-3316, rustu.calli@igdir.edu.tr

² Dr. Öğr. Üyesi, Iğdır Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Iğdır, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8306-834X, emirhan.ozdemir@igdir.edu.tr

İklim; sıcaklık, yağış, nem, rüzgâr ve mevsim özellikleri gibi çeşitli atmosferik koşulların uzun yıllar boyunca gözlemlenen ortalama durumu olarak tanımlanabilir (Nazemosadat & ark., 2022). İklim değişikliği ise, iklimin uzun yıllar (20 yıl veya daha fazla) boyunca ortalama koşullarında meydana gelen değişimleri ifade eder. Günümüzde bu değişim, özellikle fosil yakıtların kullanımı, sanayileşme ve benzeri insan kaynaklı faaliyetler sonucu atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarının artması ve doğal sera etkisinin şiddetlenmesiyle ilişkilendirilmektedir. Bu durum, dünya yüzeyindeki ortalama sıcaklıkların artışına yol açmakta ve ekolojik dengenin bozulması gibi ciddi sonuçlar doğurmaktadır (Okka, 2022).

İklim değişikliğinin etkileri, tüm dünyada farklı şekillerde kendini göstermektedir. Artan sıcaklıklar, buzulların erimesi, deniz seviyelerinin yükselmesi ve aşırı hava olaylarının daha sık görülmesi, bu etkilerin en belirgin örnekleridir. Özellikle kutup bölgelerindeki buzulların hızla erimesi, deniz seviyelerinin yükselmesine ve kıyı bölgelerinde yaşayan milyonlarca insanın risk altında olmasına neden olmaktadır (Notz & Stroeve, 2018). Ayrıca, aşırı sıcaklıklar, kuraklık, seller ve kasırgalar gibi aşırı hava olayları ve doğal afetler, tarım üretimini olumsuz etkilemekte ve gıda güvenliğini tehdit etmektedir (Lesk & ark., 2016).

Günümüzde, kuraklığın giderek şiddetleneceği ve 2100-2200 yılları arasında daha kurak bir yüzyıl yaşanacağı öngörülmektedir. Bu durum, tarım sektörünü doğrudan etkileyerek tarımsal üretimi olumsuz etkileyebilir. İklim değişikliği araştırmaları kapsamında, modelleme süreçlerinde sera gazlarının gelecekteki atmosferik konsantrasyonlarını tahmin etmek amacıyla emisyon senaryoları geliştirilmektedir. Bu senaryolar, sera gazları ve aerosoller gibi atmosferin enerji dengesini etkileyen maddelerin ileriki yıllarda atmosferde ne ölçüde birikeceğini öngörmeye yöneliktir (Yang & ark., 2025; Filonchyk & ark., 2024).

İklim değişikliğinin yersel yöntemlerle belirlenmesi, yerel ölçekte gözlemlenen doğal ve beşer etkilerin analiz edilmesiyle mümkündür (Paz-Alberto & ark., 2021). Bu yöntemler, uzun yıllara dayanan meteorolojik verilerin incelenmesi, bitki örtüsü değişimlerinin gözlemlenmesi, su kaynaklarının durumunun takip edilmesi ve tarım alanlarında meydana gelen değişikliklerin kaydedilmesi gibi unsurları içerir (Halecki & ark., 2022). Örneğin, bir bölgede yaşanan sıcaklık artışları, yağış rejimindeki düzensizlikler veya kuraklık gibi olaylar, iklim değişikliğinin yerel etkilerini anlamak için önemli göstergelerdir. Ayrıca, buzulların erimesi, deniz seviyesindeki yükselme ve ekosistemlerdeki bozulmalar da yersel gözlemlerle tespit edilebilir. Bu veriler, bilim insanları ve yerel yönetimler tarafından iklim değişikliğine uyum sağlamak ve etkilerini azaltmak için stratejiler geliştirmede kullanılır (Romshoo& ark., 2022). Yersel yöntemler, küresel ölçekteki iklim modellerini destekleyerek, iklim değişikliğinin daha ayrıntılı değerlendirilmesine katkıda bulunur (Kumar & ark., 2021).

Yersel yöntemler, yerinde yapılan ölçümlerle yüksek doğruluk sunar ancak zaman alıcıdır ve sınırlı ölçekte çalışmaya olanak sağlar. Uzaktan algılama sensörleri ise geniş coğrafi alanları hızlı ve sürekli izleme yeteneğine sahiptir, ancak yerel detaylarda sınırlı kalabilir. İki yöntem birbirini tamamlar: yersel veriler uzaktan algılamayı doğrular, uzaktan algılama ise yersel verileri geniş alanlara yayar. Bu entegrasyon, iklim değişikliğinin çok yönlü analiz edilmesine ve daha kapsamlı değerlendirilmesine katkı sunar. (Marzouk & ark., 2021; Gabriele & ark., 2023).

İklim değişikliğinin etkilerini izlemek ve bu etkilerle mücadele etmek için doğru ve güncel verilere ulaşmak büyük önem taşımaktadır. Bu noktada, uzaktan algılama teknolojileri, iklim değişikliğinin küresel ve bölgesel ölçekteki etkilerini izlemek için kritik bir rol oynamaktadır. Uydu görüntüleri, hava durumu modelleri ve diğer uzaktan algılama araçları; sıcaklık değişimleri,

buzul erimeleri, deniz seviyesi yükselmeleri, ormansızlaşma ve tarımsal verimlilik gibi birçok parametreyi sürekli olarak gözlemleyebilmektedir (Notz & Stroeve, 2018). Bu teknolojiler, iklim değişikliğinin dinamiklerini anlamak ve geleceğe dair öngörüler geliştirmek için gerekli olan büyük veri setlerini sağlamaktadır (Zhisheng & ark., 2015). Ayrıca, uzaktan algılama; afet yönetimi, su kaynaklarının izlenmesi ve tarımsal planlama gibi alanlarda da etkili bir şekilde kullanılarak, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik stratejilerin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır (Lesk & ark., 2016; Sheffield & ark., 2018). Bu bağlamda, uzaktan algılama teknolojilerinin gelişimi ve yaygınlaşması, iklim değişikliğiyle mücadelede bilim insanları ve yerel yönetimlerin daha etkili ve verimli kararlar almasına olanak tanıyacaktır (Kumar & ark., 2015; Okka, 2022).

İklim değişikliğinin etkilerini izlemek, analiz etmek ve bu etkilere uyum sağlamak için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) büyük bir öneme sahiptir (Srivastav & ark., 2023). CBS, iklim verilerinin toplanması, işlenmesi ve görselleştirilmesi için güçlü bir araçtır. Uydu görüntüleri, meteorolojik veriler ve diğer çevresel veriler, CBS ortamında entegre edilerek iklim değişikliğinin mekansal ve zamansal etkileri haritalanabilir (Dube & ark., 2023). Örneğin, sıcaklık artışı trendleri, yağış desenlerindeki değişiklikler, buzul erimeleri ve deniz seviyesi yükselmesi gibi olgular CBS ile detaylı bir şekilde analiz edilebilir. Ayrıca, CBS, iklim değişikliğine karşı alınacak önlemlerin planlanmasında da kilit rol oynar (Wehbe & Temimi, 2021). Özellikle afet risk yönetimi, tarım planlaması, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve kentsel planlama gibi alanlarda CBS tabanlı analizler, karar vericilere kritik bilgiler sunar (Raihan & ark., 2023). İklim değişikliğiyle mücadelede CBS, veriye dayalı stratejiler geliştirilmesine ve etkili çözümler üretilmesine önemli bir katkı sağlar (Papa & ark., 2023).

Bu kitap bölümünde, uzaktan algılama ve CBS teknolojileri kullanarak tarımsal verimlilik üzerindeki iklim değişikliği etkilerinin izlenmesi, tarım arazilerinde meydana gelen değişimlerin takibi, tarımsal sulama faaliyetleri ve su kaynaklarının etkin yönetimi konuları kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Bu çalışma, söz konusu teknolojilerin tarım ve doğal kaynak yönetiminde nasıl kullanılabileceğine dair kapsamlı bir çerçeve çizmektedir.

İklim Değişikliğinin Tarım Üzerine Etkilerinin Uzaktan Algılama ve CBS ile Analizi

İklim değişikliği, dünyada yaşamın sürdürülebilirliği için gerekli olan istikrarlı iklim sisteminin oluşumundan bu yana devam eden bir süreçtir (Luschkova ark., 2022; Ciais ark., 2013). Günümüzde, insan ve doğal sistemleri etkileyen en ciddi çevresel sorunlardan biri olarak kabul edilmektedir (Masson-Delmotte ark., 2021; Torresan ark., 2008). Çevresel bozulma, dünya genelinde en büyük tehditlerden birini oluşturmaktadır (Piguet, 2022; Acheampong & Opoku, 2023). Bu tehditler, aşırı hava olayları, seller, şiddetli yağışlar, sıcak hava dalgaları ve kuraklıklar gibi çeşitli etkilerle kendini göstermektedir (Kumar ark., 2016). 20. yüzyılın sonlarında başlayan üçüncü sanayi devrimi, yenilenebilir enerjiye geçiş ve iklim değişikliği yönetimini önemli itici güçler olarak öne çıkarmıştır. Ancak, insan kaynaklı iklim değişikliğinin yol açtığı büyük felaketleri önlemek için alınan önlemler, gereken düzeyin çok gerisinde kalmaktadır (Roberts, 2015; Ptaschunder, 2019).

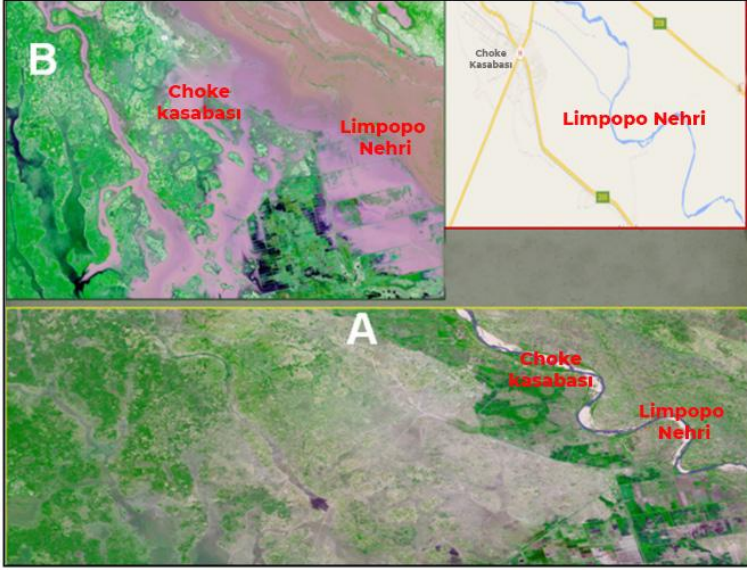
Değişen iklim senaryoları altında, tarımsal planlama ve teknolojilerin etkin kullanımı, doğru veri analizleri, tahminler ve bu bilgilerin tarımsal yönetim kararlarına entegre edilmesini gerektirmektedir. Bu süreç, sulama programlaması, bitki stres yönetimi, afetlere hazırlık ve doğal kaynakların sürdürülebilirliği gibi alanlarda kesin uzaysal-zamansal meteorolojik ve bitkisel bilgilere ihtiyaç duymaktadır (Stanberry & ark., 2024).

Sürdürülebilir tarımın temel amacı, doğal arazi kaynaklarını bitki gereksinimleriyle dengeleyerek, kaynak kullanımını optimize etmek ve uzun vadede sürdürülebilir verimliliği sağlamaktır (Verma & ark., 2022; Mukhopadhyay & ark., 2021). Küresel ısınma ve sera gazı etkisi, dünya genelinde doğal kaynakların ve tarımın sürdürülebilirliğini ciddi şekilde tehdit etmektedir. Son yıllarda, aşırı hava olaylarının sıklığında belirgin bir artış gözlemlenmiştir (Mikhaylov & ark., 2020). Küresel ısınmanın tetiklediği iklim değişiklikleri ve aşırı hava olayları, tarım sektörünü önemli ölçüde etkilemekte ve ürün veriminde yıllık dalgalanmalara neden olmaktadır (Durodola, 2019).

Hızla gelişen uzaktan algılama ve CBS gibi teknolojiler, bitki büyümesini izleme, farklı stres türlerini belirleme ve bölgesel verim tahminleri yapma açısından büyük önem taşımaktadır. Atzberger (2013) uzaktan algılama teknolojilerinin tarım alanındaki beş ana kullanım alanını belirlemiştir. Bu kullanım alanları arasında biyokütle miktarının ve ürün veriminin tahmin edilmesi, bitki sağlığının ve kuraklık kaynaklı stresin izlenmesi de yer almaktadır (Shah & ark., 2023). Ayrıca, ürünlerin fenolojik gelişim süreçlerinin analizi, ekili alanların tahmini ve tarım arazilerinin haritalanması, uzaktan algılama teknolojilerinin öne çıkan kullanım alanlarındandır. Bunun yanı sıra, arazideki bozulmaların ve arazi kullanımı/arazi örtüsü değişimlerinin tespiti ile hassas tarım ve sulama yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi de uzaktan algılama teknolojilerinin tarımda sunduğu olanaklar arasındadır. Twumasi & ark. (2017), Güney Afrika'daki taşkınların iklim değişikliği üzerindeki etkilerini görselleştirmek için uzaktan algılama ve CBS verilerini kullanmıştır (Şekil 1). Çalışmada, hasarın ve taşkın alanının mekansal boyutlarını göstermek amacıyla Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Birliği (USGS) ve NASA'nın Dünya Gözlemevi web sitelerinden alınan Dijital Yükseklik Modeli (DEM), Landsat ETM+ ve MODIS sensörlerine ait veriler kullanılmıştır. Çalışmanın

sonuçları, çalışma alanındaki sosyal ve doğal çevrelerin yanı sıra taşkın riski bölgeleri ve tarımsal alanlarda önemli hasarlar olduğunu ortaya koymuştur.

Şekil 1. Choke kasabası boyunca sular altında kalan alanlar. A) 11 Şubat 2005 selden önce ve B) 25 Ocak 2013 sel sırasında (Twumasi & ark., 2017'den değiştirilerek)



İklim değişikliğinin etkisiyle yoğun yağışlar, Limpopo Nehri'nin taşmasına ve Güney Mozambik'teki Choke şehrine ciddi hasar vermesine neden olmuştur. Bu durum, büyük tarım arazilerinin ve evlerin sular altında kalmasına ve yıkılmasına yol açmıştır.

Su Yönetimi ve Kuraklığın Uzaktan Algılama ve CBS ile Analizi

Su hem ekolojik hem de toplumsal faaliyetlerin vazgeçilmez bir unsuru ve yaşamın temel kaynağıdır. Su, dünyanın en verimli ve biyolojik açıdan zengin ekosistemlerinden birini oluşturmaktadır (Kaplan & ark., 2020). Dünya üzerindeki en değerli doğal kaynaklardan biri olan su hem küresel ölçekte hem de Türkiye'de

yoğun bir şekilde tüketilmektedir. Özellikle yarı-kurak iklim koşullarına sahip ve yağışların belirli dönemlerde yoğunlaştığı Türkiye gibi ülkelerde, su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi giderek daha kritik bir hale gelmektedir (Saeed & ark., 2021).

Artan nüfusun gıda ihtiyacı, temel doğal kaynaklar olan toprak ve su sayesinde karşılanmaktadır (Yakar & ark., 2019). Sürdürülebilir arazi ve su yönetimi, bu değerli kaynakların gelecekteki nesillere sağlıklı bir şekilde aktarılabilmesi için bir bütün olarak ele alınmalıdır. Yeryüzünün yaklaşık üçte ikisi suyla kaplı olup, ülkemiz de üç tarafı denizlerle çevrili bir coğrafyaya sahiptir. Buna ek olarak, çok sayıda akarsu, nehir, dere, göl, gölet ve baraj bulunmaktadır. Doğal yapının korunarak en verimli şekilde kullanılabilmesi için, sürdürülebilir kıyı yönetiminde öncelikle konum, yükseklik ve derinlik bilgileri güncellenmiş haritalara ihtiyaç duyulmaktadır (Ünel & ark., 2020).

Gelişen uydu teknolojisi, mekânsal ve spektral çözünürlük kapasitesindeki artışla, doğal kaynaklar hakkında yer bilimcileri ve arazi planlamacılarına yüksek doğrulukta, güncel veriler sunmaktadır. 1970'lerden bu yana uydu teknolojisinin dünyanın her bölgesini belirli zaman aralıklarında izleyebilme yeteneği, yeryüzündeki değişimleri net bir şekilde ortaya koymaktadır (Li & ark., 2024; Nelson & ark., 2022). Bu nedenle, uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak doğal kaynaklarda meydana gelen zamansal değişimler, en kısa sürede ve gerçeğe yakın bir biçimde tespit edilebilmektedir (Zolfaghari & ark., 2021). Bu bağlamda, nehirlerin, göllerin ve kıyı sınırlarının düzenli olarak izlenmesi ve bu alanlardaki değişimlerin analiz edilmesi kritik bir öneme sahiptir (Çatal & Dengiz, 2015).

Kuraklık hem doğal ekosistemler hem de insan toplumları üzerinde su kaynaklarına erişimi sınırlandırarak doğrudan etkiler

yaratan ciddi bir doğal afet ve karmaşık bir iklim olgusudur (Farahmand & ark., 2015). Bu olgu, iklim sistemlerinin normal ve tekrarlayan bir özelliği olup, uzun süreli yağış azalmalarına, gerçek ve potansiyel buharlaşma (ET) arasındaki farklılıklara, toprak nemi eksikliklerine ve benzeri etkilere yol açmaktadır (Lisonbee & ark., 2021). Kuraklık, oluşum süreçleri ve etkileri dikkate alınarak meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyoekonomik olmak üzere dört ana türe ayrılmaktadır (Arabameri & ark., 2022). Kuraklığın farklı tanımları bulunmakla birlikte, etkileri mekansal ve zamansal ölçekte değişkenlik göstermektedir. Özellikle çayır ekosistemlerinde erken dönemde otların yaşlanmasına neden olabilmekte ve çalılık ile ağaçların yaşamını tehdit edebilmektedir (Keyantash, 2021). Geleneksel olarak kuraklık olayları, yer tabanlı meteorolojik istasyon gözlemleri kullanılarak izlenmiş ve analiz edilmiştir (Zhang & ark., 2022). Uzun dönemli tarihsel veri kayıtlarına sahip bu meteorolojik gözlemler, istasyonların bulunduğu lokasyonlarda kuraklığın doğru bir şekilde izlenmesine olanak tanımaktadır (Simsek & ark., 2024). Bununla birlikte, yer istasyonlarının coğrafi dağılımı ve yoğunluğu, özellikle mekansal çözünürlük açısından gerekli bilgilerin elde edilmesinde genellikle yetersiz kalmaktadır (Bazrkar & ark., 2024).

Küresel ölçekte kuraklık tespiti yapabilmek adına Dünya gözlem uyduları, eşsiz imkanlar sunmaktadır (Bazrkar & Chu, 2022). Tarımsal kuraklık izleme çalışmalarının önemli bir kısmı, çok zamanlı uzaktan algılama verilerinin kullanımıyla gerçekleştirilmiştir (Liu & ark., 2016; Vreugdenhil & ark., 2022). Bu çalışmaların birçoğu, kuraklık dönemlerinde Normalize Bitki Örtüsü İndeksinde (NDVI) gözlemlenen düşüş ile Yer Yüzey Sıcaklığındaki (YYS) artışın birlikte değerlendirilmesine dayanmaktadır (Ghaleb & ark., 2015; Qin & ark., 2021). Bu bağlamda, uzaktan algılama verileri kullanılarak kuraklık izleme süreçlerinde çeşitli göstergeler ve parametreler önerilmiş ve bilimsel araştırmalara konu olmuştur

(Pei & ark., 2018). Söz konusu göstergeler arasında NDVI-YYIS ilişkisi, ekosistem sağlık koşullarının analiz edilerek kuraklık durumunun izlenmesinde etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Senay & ark., 2016; Zhong & Fu, 2022).

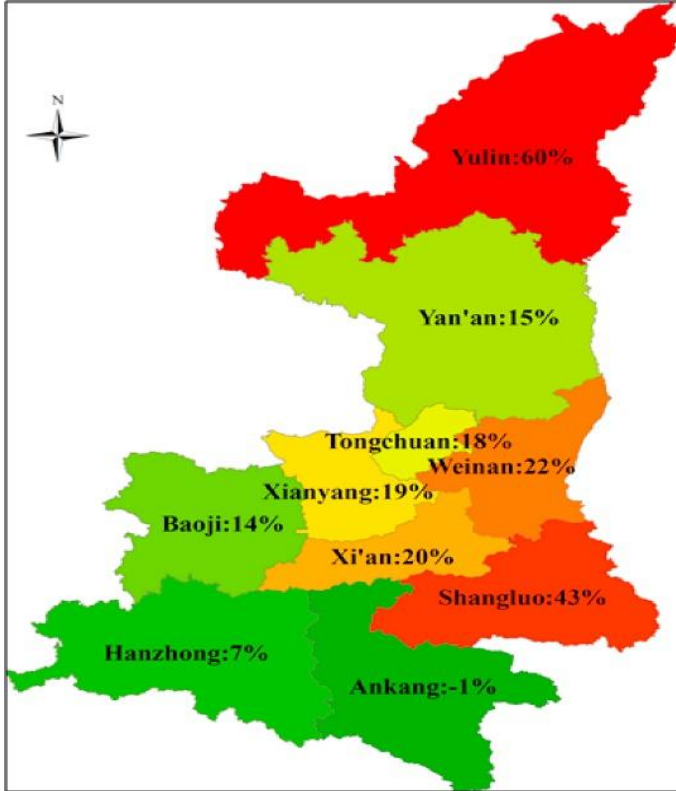
Landsat uydusunun faaliyete geçmesinden bu yana NDVI, Büyük Ovalar bölgesindeki bitki örtüsünün sağlığını izlemek ve değerlendirmek amacıyla önerilmiştir (Hu & ark., 2020; Khan & ark., 2018). Yarı kurak ve kurak alanlarda kuraklığın etkilerini belirlemek ve analiz etmek için bir gösterge olarak kullanılmaktadır. NDVI'nin tercih edilmesinin sebebi, yeşil bitki örtüsünü doğru ve güvenilir bir şekilde yansıtmasıdır (Tadesse & ark., 2017; Aşık, 2020)

Uzaktan algılama ile birlikte CBS kuraklık izleme ve yönetimi için oldukça etkili bir araçtır (Dyosi & ark., 2021). CBS ile kuraklık izleme, farklı kaynaklardan gelen verilerin (uydu görüntüleri, meteorolojik veriler, toprak nemi ölçümleri gibi) entegre edilmesiyle gerçekleştirilir (Van Ginkel & Biradar, 2021). Özellikle uydu görüntüleri, bitki örtüsü sağlığını ve toprak nemini izlemek için kullanılır. Ayrıca, kuraklığın şiddetini ve yayılımını değerlendirmek için Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI), NDVI ve Bitki Durum İndeksi (VCI) gibi çeşitli kuraklık indeksleri CBS ortamında analiz edilir. Bu veriler, kuraklık riskinin erken tespit edilmesine ve etkili önlemler alınmasına olanak tanır (Karakani & ark., 2021). CBS, kuraklığın coğrafi dağılımını haritalama, trendleri analiz etme ve karar vericilere stratejik planlama için gerekli bilgileri sunma konusunda büyük bir avantaj sağlar. Bu sayede, kuraklığın olumsuz etkileri en aza indirilebilir ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi sağlanabilir (Moussa Kourouma & ark., 2021).

Zhang & ark., (2016) tarafından yapılan çalışmada, MODIS Kuraklık şiddeti indeksinin (DSI) Kuzey Çin'deki tarımsal kuraklık izleme kapasitesi değerlendirilmiş ve kuraklığın kışlık buğday

verimi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir (Şekil 2). Çalışma sonucunda, MODIS DSI'nin şehir ölçeğinde nem koşullarını belirlemede etkili olduğu ve özellikle yağmurla beslenen bölgelerde tarımsal kuraklık şiddetiyle yüksek uyum gösterdiği tespit edilmiştir.

Şekil 2. Shaanxi Eyaletinde alt eyalet düzeyinde kışlık buğday verim kaybı (Zhang & ark., 2016)

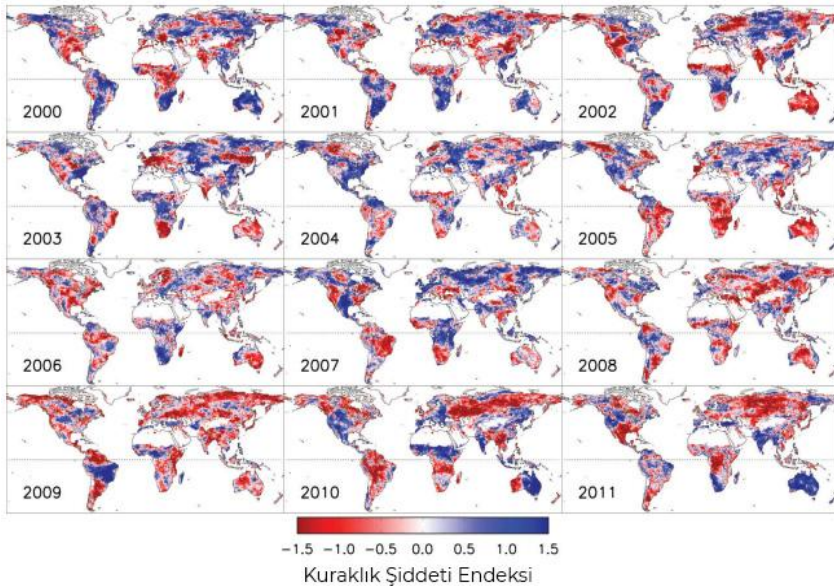


Yapılan araştırmada, en ciddi kışlık buğday verim kayıplarının, Yulin, Shangluo, Weinan, Xi'an, Xianyang ve Tongchuan bölgelerini kapsayan ve yaklaşık %20 veya daha fazla verim düşüşüne maruz kalan Orta Shaanxi'nin Guangzhong Ovası'nda yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Kuraklığın kışlık buğday verimi üzerindeki en belirgin etkilerinin başaklanma ve tane

doldurma aşamalarında ortaya çıktığı belirlenmiş, bu dönemlerin etkili kuraklık izleme ve erken uyarı sistemleri açısından kritik zaman dilimleri olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen bulgular, MODIS DSI'nin tarımsal kuraklık izleme ve yönetim stratejilerinde etkin bir araç olabileceğini göstermektedir.

Mu & ark., (2013) tarafından yapılan çalışma, uzaktan algılanan küresel kuraklık şiddeti indeksinin, bölgesel ve küresel ölçekte kuraklığın neredeyse gerçek zamanlı olarak izlenmesine olanak sağladığını ortaya koymaktadır. Kuraklık şiddeti indeksi, bitki örtüsünün su stresiyle ilgili uydu tabanlı verileri entegre ederek büyük ölçekli kuraklık olaylarını etkili bir şekilde tespit edebilmektedir (Şekil 3).

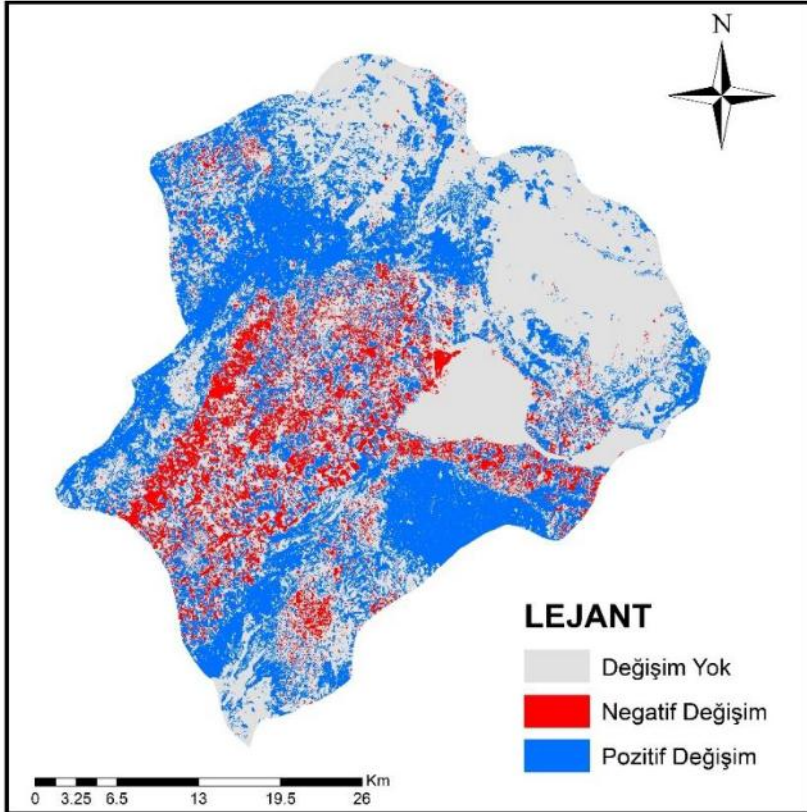
Şekil 3. 2000–2011 MODIS kaydı boyunca yıllık küresel karasal kuraklık şiddeti endeksi verileri (Mu & ark., 2013'den değiştirilerek)



Ayrıca, kuraklık şiddeti indeksinin Palmer Kuraklık Şiddeti Endeksi (PDSI) ve bitki örtüsünün net birincil üretimi ile anlamlı bir korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, kuraklık şiddeti indeksinin su kaynakları yönetimi, ekosistem izleme ve kuraklık riskinin azaltılması stratejilerinde önemli bir araç olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Çallı & ark. (2023) gerçekleştirdikleri çalışmada 2013-2023 yılları arasında Denizli'nin Çivril ilçesinde kuraklık değişim analizi gerçekleştirmişlerdir. Çalışma bölgesinde kuraklık şiddetinin genel olarak azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4).

Şekil 4. 2013-2023 VHI değişim haritası (Çallı & ark., 2023).



Analiz edilen alanın %53.41'inde herhangi bir değişim gözlenmezken, %10.98'inde kuraklık şiddetinde azalma, %35.61'inde ise artış tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, kuraklık yönetimi açısından bölgesel tarım ve ekosistem stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilecek önemli veriler sunmaktadır.

Tarımsal Arazi Kullanımının Uzaktan Algılama ve CBS ile Analizi

Arazi kullanımı ve arazi örtüsü (AKAÖ)'ndeki değişimler, küresel değişim süreçlerinin anlaşılmasında büyük önem taşır (Mohamed, & ark., 2020). İnsan kaynaklı faaliyetler ve doğal süreçlerin etkisiyle gerçekleşen bu değişiklikler, ormansızlaşma, biyolojik çeşitliliğin azalması, küresel ısınma ve sel gibi çevresel sorunların sıklığının artmasına yol açmaktadır (Abebe & ark., 2022; Gondwe & ark., 2021). Bu tür çevre problemleri, genellikle arazi kullanımındaki dönüşümlerle doğrudan bağlantılıdır. Arazi kullanımı değişikliklerine ilişkin mevcut veriler, çevresel yönetim stratejilerinin belirlenmesi ve geleceğe yönelik planlamalar için temel bir kaynak oluşturmaktadır (Mugo & ark., 2020; Batool & ark., 2019).

Nüfusun hızla artması ve sosyo-ekonomik ihtiyaçların büyümesi, arazi kullanımı ve arazi örtüsü üzerinde önemli bir baskı oluşturmaktadır. Bu baskı, arazi kullanımında plansız ve kontrolsüz değişimlere yol açmaktadır. Arazi kullanımındaki değişiklikler, çoğunlukla tarım arazileri, kentsel alanlar, meralar ve ormanlık bölgelerin yanlış yönetilmesi sonucu ortaya çıkmakta ve heyelan, sel gibi ciddi çevresel sorunlara neden olmaktadır (Nistor & ark., 2021; Alipbeki & ark., 2020).

Arazi kullanımı ve arazi örtüsü, farklı kavramlar olsalar da birbirleriyle yakından ilişkilidir. Arazi örtüsü, çıplak gözle görülebilen veya uzaktan algılanmış görüntülerle tespit edilebilen, yeryüzünü kaplayan bitki örtüsü, su kütleleri, toprak ve insan

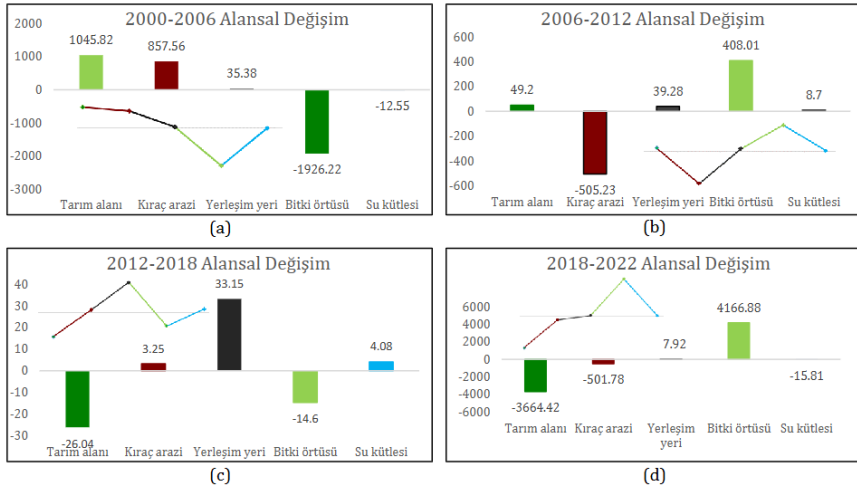
yapıları gibi unsurları içerir. Buna karşılık, arazi kullanımı doğrudan gözlemlenmesi zor olan bir olgudur ve insanların arazi örtüsünden yararlanma biçimlerini ifade eder. Aynı zamanda, arazi yönetimi uygulamalarının önemli bir parçasıdır. Son yıllarda, bu iki kavram sıklıkla birleştirilerek “Arazi Kullanımı Arazi Örtüsü (AKAÖ)” terimi altında ele alınmakta ve bilimsel çalışmalarda bu çerçevede değerlendirme yapılmaktadır (Polat & Yalçın, 2020; Üyük & ark., 2020).

Uzaktan algılama ve CBS, geniş alanlarda meydana gelen arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişikliklerinin mekânsal dağılımını doğru ve hızlı bir şekilde analiz etmek için etkili yöntemler sunar. Bu teknolojiler, arazi değişimlerinin izlenmesi, değerlendirilmesi ve yönetilmesi süreçlerinde kritik bir rol oynayarak, zamanında ve güvenilir veri sağlar (Macarringue & ark., 2022; Yasir & ark., 2020). AKAÖ bilgilerinin mekânsal dağılımını ve değişimlerini incelemek için yıllarca zemin etüt yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler masraflı, güvenilirliği sınırlı ve uzun süren yöntemlerdir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte uzaktan algılama ve CBS yazılımları yardımıyla yüksek çözünürlüklü görüntülerin işlenmesi ile pratik, güvenilir, ekonomik, tutarlı ve daha detaylı haritalandırma yöntemleri geliştirilmiştir (Polat & Yalçın, 2020).

CBS teknolojileri aracılığıyla belirlenen arazi kullanım değişikliklerinin çevresel etkileri, özellikle iklim üzerindeki sonuçları giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Arazi kullanımındaki değişimler, su dengesi, yüzey akışı ve yerel sıcaklık dağılımı gibi faktörleri doğrudan etkileyebilir ve bu da arazi kullanımı ile iklim arasındaki bağlantıyı önemli bir araştırma konusu yapmaktadır. Bunun yanı sıra, havza bölgelerindeki plansız kentleşme ve yanlış arazi kullanımı, su kaynakları, ormanlar ve tarım/mera alanları gibi doğal sınıflar üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır (Idrissou ark., 2022).

Çelik & Yakar (2023) Mersin'de kentsel gelişimin arazi örtüsü üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Yapılan çalışmada, kentsel alanlar ve bitki örtüsünde artış gözlemlenirken, tarım arazileri, çorak alanlar ve su kaynaklarında azalma tespit edilmiştir (Şekil 5).

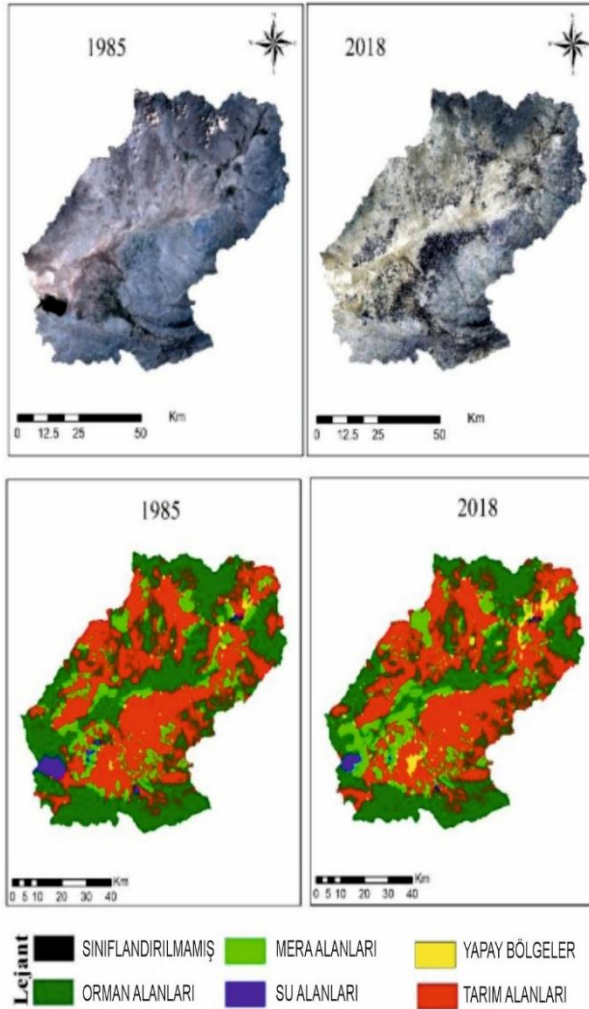
Şekil 5. (a) 2000-2006, (b) 2006-20012, (c) 2012-2018 yılları, (d) 2018-2022 yılları arasındaki alansal değişim grafikleri (Çelik & Yakar 2023).



Yapılan araştırma, 2000 ile 2022 yılları arasında 6'şar yıllık periyotlarla gerçekleştirilmiştir. İlk 6 yıllık dönemde, bitki örtüsü ve su kütlesinin azaldığı, yerleşim alanlarında ise belirgin bir artış yaşandığı gözlemlenmiştir. İkinci 6 yıllık periyotta, kıraç arazilerin azaldığı, yerleşim yerlerinin ise genişlemeye devam ettiği tespit edilmiştir. Üçüncü 6 yıllık dönemde, tarım alanları ve bitki örtüsü azalırken, kıraç araziler, yerleşim alanları ve su kütlelerinde belirgin artışlar gözlemlenmiştir. Son 6 yıllık dönemde, yerleşim alanlarının büyümeye devam ettiği, tarım arazilerinin ise azaldığı gözlemlenmiştir. Bu süreçte, insan faaliyetlerinin doğal alanlar üzerindeki etkisi belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır.

Benzer şekilde Aydın & Durduran (2021) Konya Ereğli-Bor alt havzasında arazi kullanım değişikliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada, yapay yapılar, tarım arazileri ve mera alanlarında artış kaydedilirken, ormanlık alanlar ve sulak alanlarda azalma olduğu belirlenmiştir (Şekil 6).

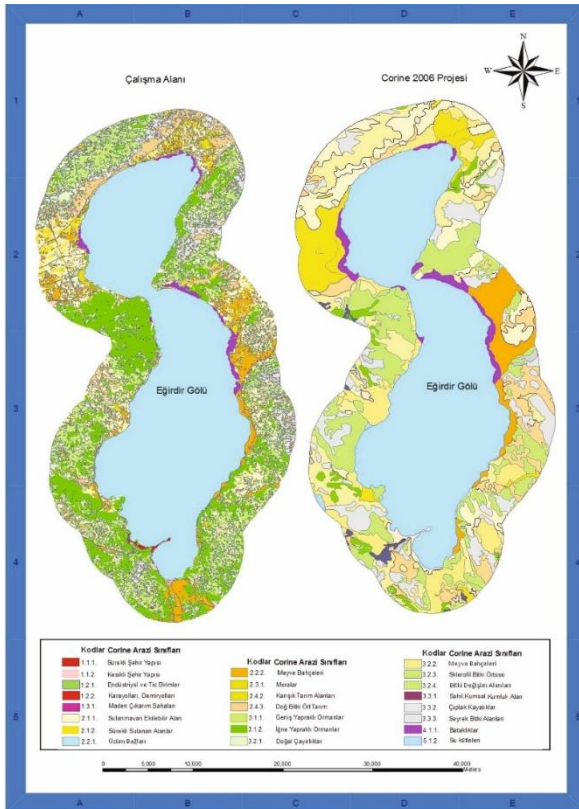
Şekil 6. Uydu görüntülerinde sınıflandırma işlemi 1985-2018 (Aydın & Durduran 2021'den değiştirilerek).



Yapılan çalışmadaki bulgular incelendiğinde orman alanlarında %4.5 ve sulak alanlarda %0.6 azalma, tarım alanlarında %1.4, mera alanlarında %1.3, yapay bölgelerde %2.5 artış gözlemlenmiştir.

Gençer & ark. (2015) tarafından gerçekleştirilen “Eğirdir Gölü Koruma Zonları CORINE Arazi Kullanım Sınıflaması” başlıklı çalışmada, Eğirdir Gölü çevresindeki koruma alanları için CORINE arazi kullanım haritası oluşturulmuştur. Çalışmada SPOT-4 uydu görüntüleri kullanılarak kontrollü sınıflandırma yöntemiyle arazi kullanım haritası hazırlanmıştır (Şekil 7).

Şekil 7. Çalışmada üretilen CORINE haritası ve CORINE 2006 haritası (Gençer & ark., 2015).



Ekinci & Pektezel (2012) “Uzaktan Algılama Teknolojileri ile Bolu İlinde Arazi Kullanımındaki Değişimin Tespiti” başlıklı çalışmalarında, Bolu ilindeki arazi kullanım değişimlerini incelemiştir. Çalışma alanının 2010 yılına ait arazi kullanım haritası Şekil 8’de verilmiştir.

--102--

Sonuç ve Öneri

İklim değışikliğı, tarım, su kaynakları ve arazi kullanımı üzerinde ciddi etkiler yaratan küresel bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, iklim değışikliğinin tarımsal verimlilik, su yönetimi ve arazi kullanımı üzerindeki etkileri, uzaktan algılama ve CBS teknolojileri kullanılarak detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Uzaktan algılama, iklim değışikliğinin dinamiklerini anlamak, kuraklık gibi doğal afetleri izlemek ve tarımsal planlamada etkili stratejiler geliştirmek için güçlü bir araç olarak öne çıkmaktadır. CBS ise mekansal verilerin analiz edilmesi, arazi kullanım değışikliklerinin izlenmesi ve çevresel etkilerin değerlendirilmesi süreçlerinde kritik bir rol oynamaktadır.

Yapılan analizler, iklim değışikliğinin özellikle tarım sektörü üzerinde ciddi bir tehdit oluşturduğunu ve verim kayıplarına neden olduğunu ortaya koymaktadır. Kuraklık, aşırı hava olayları ve su kaynaklarının azalması gibi faktörler, tarımsal üretimi olumsuz etkilemekte ve gıda güvenliğini riske atmaktadır. Ayrıca, arazi kullanımındaki kontrolsüz değışimler, ormansızlaşma, kentsel yayılma ve doğal ekosistemlerin bozulması gibi çevresel sorunları beraberinde getirmektedir. Bu durum, sürdürülebilir arazi yönetimi ve iklim değışikliğıyle mücadele stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Uzaktan algılama ve CBS teknolojileri, bu süreçte büyük bir potansiyele sahiptir. Bu teknolojiler, iklim değışikliğinin etkilerini izlemek, tarımsal verimliliğı artırmak, su kaynaklarını etkin bir şekilde yönetmek ve arazi kullanım değışikliklerini kontrol altına almak için gerekli olan veri ve analizleri sağlamaktadır. Özellikle kuraklık izleme, tarımsal planlama ve afet yönetimi gibi alanlarda bu teknolojilerin kullanımı, iklim değışikliğinin olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik stratejilerin geliştirilmesine önemli katkılar sunmaktadır.

Sonuç olarak, iklim değişikliğiyle mücadelede uzaktan algılama ve CBS teknolojilerinin etkin bir şekilde kullanılması, sürdürülebilir tarım, su yönetimi ve arazi kullanımı için vazgeçilmez bir araçtır. Bu teknolojilerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması, gelecekte karşılaşılacak çevresel ve ekonomik zorluklara karşı daha dirençli bir toplum ve ekosistem yaratılmasına yardımcı olacaktır. Bu bağlamda, karar vericiler, araştırmacılar ve uygulayıcılar arasında iş birliğinin artırılması, iklim değişikliğiyle mücadelede başarıya ulaşmak için kritik bir adım olacaktır.

Kaynakça

Abebe, G., Getachew, D., & Ewunetu, A. (2022). Analysing land use/land cover changes and its dynamics using remote sensing and GIS in Gubalafito district, Northeastern Ethiopia. *SN Applied Sciences*, 4(1), 30.

Acheampong, A. O., & Opoku, E. E. O. (2023). Environmental degradation and economic growth: Investigating linkages and potential pathways. *Energy Economics*, 123, 106734.

Alipbeki, O., Alipbekova, C., Sterenharz, A., Toleubekova, Z., Aliyev, M., Mineyev, N., & Amangaliyev, K. (2020). A spatiotemporal assessment of land use and land cover changes in peri-urban areas: A case study of Arshaly district, Kazakhstan. *Sustainability*, 12(4), 1556.

Arabameri, A., Chandra Pal, S., Santosh, M., Chakraborty, R., Roy, P., & Moayed, H. (2022). Drought risk assessment: integrating meteorological, hydrological, agricultural and socio-economic factors using ensemble models and geospatial techniques. *Geocarto International*, 37(21), 6087-6115.

Aşık, Ş. (2020). Agricultural Drought Monitoring Using Surface Temperature and Vegetation Indices from Satellite Images. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 151-160.

Atzberger, C. (2013). Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs. *Remote sensing*, 5(2), 949-981.

Aydın, T. K., & Durduran, S. S. (2021). Ereğli-Bor alt havzasında arazi kullanımı/örtüsü'nün uzaktan algılama yöntemleriyle zamansal değişimi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 8(3), 629-641

Batool, R., Sarwar, F., & Javid, K. (2019). Evaluating Spatial Patterns of Urban Green Spaces in Karachi, Pakistan through Satellite Remote Sensing Techniques: Satellite remote sensing techniques. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: A. Physical and Computational Sciences*, 56(1), 45-52.

Bazrkar, M. H., & Chu, X. (2022). Development of category-based scoring support vector regression (CBS-SVR) for drought prediction. *Journal of Hydroinformatics*, 24(1), 202-222.

Bazrkar, M. H., Han, H., Abitew, T., Park, S., Zamani, N., & Jeong, J. (2024). Application of an Ensemble Stationary-Based Category-Based Scoring Support Vector Regression to Improve Drought Prediction in the Upper Colorado River Basin. *Atmosphere*, 15(12), 1505.

IPCC (2022). *Mitigating Climate Change*. Working Group III contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.

Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., ... & Thornton, P. (2013). Carbon and other biogeochemical cycles. *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

Çallı, R., Özdemir, E., Yıldız, M. C., & Şekertekin, A. Kuraklık şiddeti haritası değişim analizi: 2013-2023 çivril/denizli gözlemi.

Çatal, A, and Orhan D. (2015) "From Being Akşehir Lake to Being Akşehir Desert: The Process and the Influential Factors." *Toprak Su Dergisi* 4.1: 18-26.

Çelik, M. Ö., & Yakar, M. (2023). Arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişikliklerinin uzaktan algılama ve cbs yöntemi ile

izlenmesi: Mersin, Türkiye örneği. Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi, 5(1), 43-51.

Dietz, T., Shwom, R. L., & Whitley, C. T. (2020). Climate change and society. *Annual Review of Sociology*, 46(1), 135-158.

Dube, T., Shekede, M. D., & Massari, C. (2022). Remote sensing for water resources and environmental management. *Remote Sensing*, 15(1), 18.

Durodola, O. S. (2019). The impact of climate change induced extreme events on agriculture and food security: a review on Nigeria. *Agricultural Sciences*, 10(4), 487-498.

Dyosi, M., Kalumba, A. M., Magagula, H. B., Zhou, L., & Orimoloye, I. R. (2021). Drought conditions appraisal using geoinformatics and multi-influencing factors. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(6), 365.

Ekinci D., ve Pektezeli Ö., 2012, Uzaktan Algılama Teknolojileri Üzerinde Bolu İlinde Arazi Kullanımındaki Değişimin Tespiti, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi, Sayı 24, Sayfa 18-37 İstanbul, 2012.

Farahmand, A., AghaKouchak, A., & Teixeira, J. (2015). A vantage from space can detect earlier drought onset: An approach using relative humidity. *Scientific Reports*, 5(1), 8553.

Filonchik, M., Peterson, M. P., Zhang, L., Hurynovich, V., & He, Y. (2024). Greenhouse gases emissions and global climate change: Examining the influence of CO₂, CH₄, and N₂O. *Science of The Total Environment*, 173359.

Gabriele, M., Brumana, R., Previtali, M., & Cazzani, A. (2023). A combined GIS and remote sensing approach for monitoring climate change-related land degradation to support

landscape preservation and planning tools: The Basilicata case study. *Applied Geomatics*, 15(3), 497-532.

Gençer, M., Bağyigit, L. ve Akgül M., 2015, Eğirdir Gölü Koruma Zonları CORINE Arazi Kullanım Sınıflaması, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(2015)26-38.

Ghaleb, F., Mario, M., Sandra, A.N., 2015. Regional landsat-based drought monitoring from 1982 to 2014. *Climate* 3, 563–577.

Gondwe, J. F., Lin, S., & Munthali, R. M. (2021). Analysis of land use and land cover changes in urban areas using remote sensing: Case of Blantyre City. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2021(1), 8011565.

Halecki, W., Stachura, T., & Fudała, W. (2022). Capacity of river valleys to retain nutrients from surface runoff in urban and rural areas (Southern Poland). *Water*, 14(20), 3259.

Hu, T., Renzullo, L. J., van Dijk, A. I., He, J., Tian, S., Xu, Z., ... & Liu, Q. (2020). Monitoring agricultural drought in Australia using MTSAT-2 land surface temperature retrievals. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111419.

Idrissou M, Diekkrüger B, Tischbein B, Op de Hipt F, Näschen K, Poméon T, Yira Y, Ibrahim B (2022) Modeling the impact of climate and land use/land cover change on water availability in an Inland Valley Catchment in Burkina Faso. *Hydrology* 9:12.

Kaplan, G., Avdan, Z., Avdan, U. ve Jovanovska, T., (2020). Monitoring Shared International Waters with Remote Sensing Data. *Resilience*, 4(1): 77-88.

Karakani, E. G., Malekian, A., Gholami, S., & Liu, J. (2021). Spatiotemporal monitoring and change detection of vegetation cover

for drought management in the Middle East. *Theoretical and Applied Climatology*, 144, 299-315.

Keyantash, J. (2021). Indices for meteorological and hydrological drought. *Hydrological aspects of climate change*, 215-235.

Khan, J., Wang, P., Xie, Y., Wang, L., & Li, L. (2018). Mapping MODIS LST NDVI imagery for drought monitoring in Punjab Pakistan. *IEEE Access*, 6, 19898-19911.

Kumar, A., Nagar, S., & Anand, S. (2021). Climate change and existential threats. In *Global climate change* (pp. 1-31). Elsevier.

Kumar, N., Yamaç, S. S., & Velmurugan, A. (2015). Applications of remote sensing and GIS in natural resource management. *Journal of the Andaman Science Association*, 20(1), 1-6.

Kumar, V., Kumar, S., Kumar, S., Singh, H., Singh, R.K., 2016. Climate Change and its impact on environment. In: *International Conference on Climate Change and its Implications on Crop Production and Food Security*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35031.52647>.

Lesk, C., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529(7584), 84-87.

Lesk, C., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529(7584), 84-87.

Li, X., Fan, X., Fan, J., Li, Q., Gao, Y., & Zhao, X. (2024). DASR-Net: Land Cover Classification Methods for Hybrid Multiattention Multispectral High Spectral Resolution Remote Sensing Imagery. *Forests*, 15(10), 1826.

Lisonbee, J., Woloszyn, M., Skumanich, M., 2021. Making sense of flash drought: definitions, indicators, and where we go from here. *J. Appl. Serv. Climatol* 2021, 1–19.

Liu, X., Zhu, X., Pan, Y., Li, S., Liu, Y., & Ma, Y. (2016). Agricultural drought monitoring: Progress, challenges, and prospects. *Journal of Geographical Sciences*, 26, 750-767.

Luschkova, D., Traidl-Hoffmann, C., & Ludwig, A. (2022). Climate change and allergies. *Allergo journal international*, 31(4), 114-120.

Macarringue, L. S., Bolfe, É. L., & Pereira, P. R. M. (2022). Developments in land use and land cover classification techniques in remote sensing: A review. *Journal of Geographic Information System*, 14(1), 1-28.

Marzouk, M., Attia, K., & Azab, S. (2021). Assessment of coastal vulnerability to climate change impacts using GIS and remote sensing: A case study of Al-Alamein New City. *Journal of Cleaner Production*, 290, 125723.

Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., ... & Zhou, B. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 2(1), 2391.

Mikhaylov, A., Moiseev, N., Aleshin, K., & Burkhardt, T. (2020). Global climate change and greenhouse effect. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 7(4), 2897.

Mohamed, M. A., Anders, J., & Schneider, C. (2020). Monitoring of changes in land use/land cover in Syria from 2010 to 2018 using multitemporal landsat imagery and GIS. *Land*, 9(7), 226.

Moussa Kourouma, J., Eze, E., Negash, E., Phiri, D., Vinya, R., Girma, A., & Zenebe, A. (2021). Assessing the spatio-temporal variability of NDVI and VCI as indices of crops productivity in Ethiopia: a remote sensing approach. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 2880-2903.

Mu, Q., Zhao, M., Kimball, J. S., McDowell, N. G., & Running, S. W. (2013). A remotely sensed global terrestrial drought severity index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(1),

Mugo, R., Waswa, R., Nyaga, J. W., Ndubi, A., Adams, E. C., & Flores-Anderson, A. I. (2020). Quantifying land use land cover changes in the Lake Victoria basin using satellite remote sensing: The trends and drivers between 1985 and 2014. *Remote Sensing*, 12(17), 2829.

Mukhopadhyay, R., Sarkar, B., Jat, H. S., Sharma, P. C., & Bolan, N. S. (2021). Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security. *Journal of Environmental Management*, 280, 111736.

Nazemosadat, M. J., Heidari, A., & Mehravar, S. (2022). Assessing Climate Change in the Middle East from the Perspective changes in Air Temperature, Relative Humidity and Vector Wind: Land, Sea and atmosphere Interactions.

Nelson, P. R., Maguire, A. J., Pierrat, Z., Orcutt, E. L., Yang, D., Serbin, S., ... & Huemmrich, K. F. (2022). Remote sensing of tundra ecosystems using high spectral resolution reflectance: opportunities and challenges. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 127(2), e2021JG006697.

Nguyen, T. T., Grote, U., Neubacher, F., Do, M. H., & Paudel, G. P. (2023). Security risks from climate change and environmental degradation: implications for sustainable land use transformation in

the Global South. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 63, 101322.

Nistor, C., Vîrghileanu, M., Cârlan, I., Mihai, B. A., Toma, L., & Olariu, B. (2021). Remote sensing-based analysis of urban landscape change in the city of bucharest, romania. *Remote Sensing*, 13(12), 2323.

Notz, D., & Stroeve, J. (2018). The trajectory towards a seasonally ice-free Arctic Ocean. *Current climate change reports*, 4, 407-416.

Notz, D., & Stroeve, J. (2018). The trajectory towards a seasonally ice-free Arctic Ocean. *Current climate change reports*, 4, 407-416.

Okka, C. T. (2022). Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak Ermenek baraj havzasında iklim değişikliği etkilerinin irdelenmesi (Doctoral dissertation, Necmettin Erbakan University (Turkey)).

Okka, C. T. (2022). Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak Ermenek baraj havzasında iklim değişikliği etkilerinin irdelenmesi (Doctoral dissertation, Necmettin Erbakan University (Turkey)).

Papa, F., Crétaux, J. F., Grippa, M., Robert, E., Trigg, M., Tshimanga, R. M., ... & Calmant, S. (2023). Water resources in Africa under global change: monitoring surface waters from space. *Surveys in Geophysics*, 44(1), 43-93.

Paz-Alberto, A. M., Camaso, E., Alberto, R. P., Juganas, D. A., Mapanao, K. M., Ponce, C. D. B., & Genaro, C. (2021). Climate change vulnerability and disaster risk assessment using remote sensing technology and adaptation strategies for resiliency and disaster risk management in selected coastal municipalities of

Zambales, Philippines. *American Journal of Climate Change*, 10(01), 85.

Pei, F., Wu, C., Liu, X., Li, X., Yang, K., Zhou, Y., Wang, K., Xu, L., Xia, G., 2018. Monitoring the vegetation activity in China using vegetation health indices. *Agric. For. Meteorol.* 248, 215–227.

Piguet, E. (2022). Linking climate change, environmental degradation, and migration: An update after 10 years. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 13(1), e746.

Polat, P., & Yalçın, F. (2020). Erzincan ili arazi kullaniminin (2000-2018 yılları arası) CORINE sistemi ile değerlendirilmesi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 25(44), 125-150.

Puaschunder, J. M. (2019). When investors care about causes: Learning from political divestiture during Apartheid and the Sudan crisis for the transition to renewable energy via green bonds. *Apartheid in South Africa: reflections and lessons*, 1-28.

Qin, Q., Wu, Z., Zhang, T., Sagan, V., Zhang, Z., Zhang, Y., ... & Zhao, C. (2021). Optical and thermal remote sensing for monitoring agricultural drought. *Remote Sensing*, 13(24), 5092.

Raihan, A., Ridwan, M., & Rahman, M. S. (2024). An exploration of the latest developments, obstacles, and potential future pathways for climate-smart agriculture. *Climate Smart Agriculture*, 100020.

Roberts, B. H. (2015). The third industrial revolution: Implications for planning cities and regions. *Work. Pap. Urban Front*, 1(1), 1-21.

Romshoo, S. A., Murtaza, K. O., Shah, W., Ramzan, T., Ameen, U., & Bhat, M. H. (2022). Anthropogenic climate change drives melting of glaciers in the Himalaya. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(35), 52732-52751.

Saeed, F. H., Al-Khafaji, M. S., & Al-Faraj, F. A. M. (2021). Sensitivity of irrigation water requirement to climate change in arid and semi-arid regions towards sustainable management of water resources. *Sustainability*, 13(24), 13608.

Senay, G.B., Friedrichs, M., Singh, R.K., Velpuri, N.M., 2016. Evaluating Landsat 8 evapotranspiration for water use mapping in the Colorado River Basin. *Rem. Sens. Environ.* 185, 171–185.

Shah, G., Bhatt, U., & Soni, V. (2023). Cigarette: an unsung anthropogenic evil in the environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(21), 59151-59162.

Sheffield, J., Wood, E. F., Pan, M., Beck, H., Coccia, G., Serrat-Capdevila, A., & Verbist, K. J. W. R. R. (2018). Satellite remote sensing for water resources management: Potential for supporting sustainable development in data-poor regions. *Water Resources Research*, 54(12), 9724-9758.

Simsek, O., Yildiz-Bozkurt, S., & Gumus, V. (2024). Analysis of meteorological drought with different methods in the Black Sea region, Turkey. *Acta Geophysica*, 72(3), 1927-1943.

Srivastav, A. L., Dhyani, R., Ranjan, M., Madhav, S., & Sillanpää, M. (2021). Climate-resilient strategies for sustainable management of water resources and agriculture. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(31), 41576-41595.

Stanberry, D., & Fletcher-Paul, L. (2024). Food Stability in the Caribbean. In *Food Security in the Caribbean: Historical Perspectives, Current Challenges, and Sustainable Solutions* (pp. 183-222). Cham: Springer Nature Switzerland.

Tadesse, T., Champagne, C., Wardlow, B. D., Hadwen, T. A., Brown, J. F., Demisse, G. B., ... & Davidson, A. M. (2017). Building the vegetation drought response index for Canada (VegDRI-Canada)

to monitor agricultural drought: First results. *GIScience & Remote Sensing*, 54(2), 230-257.

Torresan, S., Critto, A., Dalla Valle, M., Harvey, N., & Marcomini, A. (2008). Assessing coastal vulnerability to climate change: comparing segmentation at global and regional scales. *Sustainability Science*, 3, 45-65.

Twumasi, Y. A., Merem, E. C., Ayala-Silva, T., Osei, A., Petja, B. M., & Alexander, K. (2017). Techniques of remote sensing and GIS as tools for visualizing impact of climate change-induced flood in the Southern African region. *American Journal of Climate Change*, 6(2), 306-327.

Ünel, F. B., Kuşak, L., Çelik, M., Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Kıyı çizgisinin belirlenerek mülkiyet durumunun incelenmesi. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 2(1), 33-40.

Üyük, A., Uzun, A., & Çardak, Ç. (2020). Corine verileri ile değişim analizi, Denizli ili örneği. *Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 97-107.

Van Ginkel, M., & Biradar, C. (2021). Drought early warning in agri-food systems. *Climate*, 9(9), 134.

Verma, K. K., Song, X. P., Joshi, A., Tian, D. D., Rajput, V. D., Singh, M., ... & Li, Y. R. (2022). Recent trends in nano-fertilizers for sustainable agriculture under climate change for global food security. *Nanomaterials*, 12(1), 173.

Vreugdenhil, M., Greimeister-Pfeil, I., Preimesberger, W., Camici, S., Dorigo, W., Enenkel, M., ... & Wagner, W. (2022). Microwave remote sensing for agricultural drought monitoring: Recent developments and challenges. *Frontiers in Water*, 4, 1045451.

Wehbe, Y., & Temimi, M. (2021). A remote sensing-based assessment of water resources in the Arabian Peninsula. *Remote Sensing*, 13(2), 247.

Yakar, M., Ünel, F.B., Kuşak, L. & Doğan, Y. (2019). Barajlarda Hidrografik Ölçme Yöntemleri ve Üretilen Haritalar. 2. International Mediterranean Symposium, 23-25 Mayıs 2019, Mersin.

Yang, Y., Tang, Y., Sun, S., Yang, Z., Wang, S., Zhang, P., & Wang, Y. (2025). Characterization of greenhouse gas emissions and water requirement of farmland in China's main grain-producing areas under future climate scenarios. *Agricultural Systems*, 225, 104293.

Yasir, M., Hui, S., Binghu, H., & Rahman, S. U. (2020). Coastline extraction and land use change analysis using remote sensing (RS) and geographic information system (GIS) technology—A review of the literature. *Reviews on environmental health*, 35(4), 453-460.

Zhang, J., Mu, Q., & Huang, J. (2016). Assessing the remotely sensed Drought Severity Index for agricultural drought monitoring and impact analysis in North China. *Ecological Indicators*, 63, 296-309.

Zhang, Q., Miao, C., Gou, J., Wu, J., Jiao, W., Song, Y., & Xu, D. (2022). Spatiotemporal characteristics of meteorological to hydrological drought propagation under natural conditions in China. *Weather and Climate Extremes*, 38, 100505.

Zhisheng, A., Guoxiong, W., Jianping, L., Youbin, S., Yimin, L., Weijian, Z., ... & Juan, F. (2015). Global monsoon dynamics and climate change. *Annual review of earth and planetary sciences*, 43(1), 29-77.

Zhong, Z., Fu, G., 2022. Response of soil fungal species, phylogenetic and functional diversity to diurnal asymmetric warming in an alpine agricultural ecosystem. *Agric. Ecosyst. Environ.* 335, 107993.

Zolfaghari, K., Pahlevan, N., Binding, C., Gurlin, D., Simis, S. G., Verdú, A. R., ... & Duguay, C. R. (2021). Impact of spectral resolution on quantifying cyanobacteria in lakes and reservoirs: A machine-learning assessment. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 60, 1-20.

UZAKTAN ALGILAMA, CBS VE YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ DİJİTAL TARIM: BÜYÜK VERİ VE OTONOM SİSTEMLERLE TARIMSAL DÖNÜŞÜM

MİTAT CAN YILDIZ¹
FEHİMİ VEZİROĞLU²

Giriş

Günümüzde, dünya genelinde tarımsal üretim; artan nüfus, iklim değişikliği ve kaynak kıtlığı gibi zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır (Mancosu & ark., 2015). Bu bağlamda, tarım sektörünün sürdürülebilirliğini artırmak ve verimliliği optimize etmek için dijital teknolojilerin benimsenmesi büyük önem taşımaktadır (Dayıoğlu & Turker, 2021). Uzaktan algılama, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Yapay Zeka (YZ) gibi ileri teknolojiler, tarımın geleceğini şekillendirecek temel araçlar olarak öne çıkmaktadır. Bu teknolojiler, çiftçilere daha doğru, hızlı ve etkin bir şekilde karar verme süreçlerinde yardımcı olarak, üretim

¹ Öğr. Gör., Iğdır Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Iğdır, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1090-0726, mcan.yildiz@igdir.edu.tr

² Öğr. Gör., Iğdır Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Iğdır, Türkiye, ORCID: 0000-0002-0712-7640, fehmi.veziroglu@igdir.edu.tr

süreçlerinin her aşamasında yenilikçi çözümler sunmaktadır (Singh & ark., 2022).

Dijital tarım, uzaktan algılama, uydu görüntüleri, İnsansız Hava Araçları (İHA) gibi modern teknolojilerle toplanan verilerin analiz edilmesine dayanan bir süreçtir (Olson & Anderson, 2021). Bu veriler, toprak nemi seviyeleri, bitki sağlığı, hava durumu ve diğer çevresel faktörler hakkında detaylı bilgiler sunar. Bu sayede çiftçiler, doğru zamanda doğru kararları alarak tarımsal verimliliği artırabilir. CBS ise bu verileri haritalandırarak, farklı yönetim stratejileri geliştirmeye olanak tanır. Bu teknolojiler, tarım alanlarının fiziksel özellikleri ile tarımsal uygulamalar arasındaki ilişkiyi daha net bir şekilde ortaya koyar, böylece kaynaklar daha etkin kullanılır ve verimlilik artar.

YZ ve büyük veri analizi, dijital tarımın temel taşlarından biridir. Makine öğrenimi ve derin öğrenme algoritmaları, çiftçilere hem mevcut durumu değerlendirme hem de gelecekteki olası senaryoları öngörme imkanı sunar (Mohamed, 2023; Mohyuddin & ark., 2024). Örneğin, tarımsal hastalıklar, zararlı böcekler ve sulama ihtiyaçları gibi konularda YZ destekli sistemler, daha hassas ve hedeflenmiş çözümler üretir. Aynı zamanda, otonom sistemler ve tarım robotları, iş gücü ihtiyacını azaltırken çevresel etkileri de en aza indirir. Otonom traktörler ve biçerdöverler gibi teknolojiler, hassas tarım uygulamalarıyla enerji ve zaman tasarrufu sağlayarak, sürdürülebilir tarım yöntemlerinin yaygınlaşmasına katkıda bulunur (Khan & ark., 2021; Balafoutis ark., 2017).

Dijital tarım teknolojileri, tarım sektöründe verimlilik, sürdürülebilirlik ve çevresel sorumluluk alanlarında köklü değişimlere neden olmaktadır. Bu uygulamalar sayesinde kaynaklar daha verimli kullanılır, üretim maliyetleri düşer ve çevreye olan olumsuz etkiler azalır. Çiftçiler, veri odaklı kararlar alarak daha bilinçli bir şekilde üretim yaparken, tarım sektörünün ekonomik

yapısı da değişmektedir. Ayrıca, dijital tarım, genç nüfusun tarım sektörüne ilgisini artırarak, sektörün dinamiklerini değiştirir. Bu dijital dönüşüm, tarımı daha verimli, çevre dostu ve sürdürülebilir bir alan haline getirirken, gelecekteki gıda üretim sistemlerinin şekillenmesine de önemli bir katkı sağlar (MacPherson & ark., 2022; Klerkx, Jakku, & Labarthe, 2019; Rose & Chilvers, 2018).

Uzaktan Algılama ve CBS Tabanlı Akıllı Tarım ve Dijital Tarım Ekosistemleri

Akıllı tarım, geniş bir yelpazeye yayılan yenilikçi dijital tarım işletmeciliği araçlarını entegre ederek geleneksel tarım anlayışını kökten değiştirmektedir. Bu yenilikçi yaklaşım, yalnızca verimlilik ve kaliteyi artırmakla kalmayıp, aynı zamanda çevresel güvenliği sağlamak amacıyla özel olarak tasarlanmış izleme, değerlendirme ve analiz tabanlı sistemlere büyük ölçüde dayanmaktadır (Mowla & ark., 2023). Akıllı tarımın temel hedefi, israfı sistematik bir şekilde azaltmak, maksimum verimlilik sağlamak ve enerji tüketimini en aza indirmektir. Bu entegre bileşenler, hassas tarım tekniklerinden gelişmiş bitki ıslahı uygulamalarına kadar, mahsul veya hayvancılığın tüm yaşam döngüsünü etkin bir şekilde yönetmek ve kontrol etmek için tasarlanmıştır (Wolfert & ark., 2017; Martinho & Guine, 2021).

Bununla birlikte, yenilikçi dijital tarım teknolojileri, tarım paydaşlarına, tarımsal işletmeciliğin kritik sorunlarını doğrudan ele alan yeni ve daha etkili stratejiler geliştirme ve uygulama yeteneği kazandırmaktadır. Bu kritik zorluklar, üretim verimliliğini ve genel kaliteyi artırmaktan, zararlı kimyasallara bağımlılığı azaltmaya kadar geniş bir alanı kapsar. Ayrıca, bu teknolojiler, zararlılara karşı dayanıklılığı artırmanın yanı sıra, olumsuz hava koşulları ve iklim değişikliğine bağlı olaylara karşı daha dirençli tarım uygulamalarını teşvik etmektedir. Bununla birlikte, su ve diğer kritik kaynakların daha sürdürülebilir kullanımını da katkı sağlamaktadır. Bu tür

teknolojiler doğru ve stratejik bir şekilde entegre edildiğinde, tarım sektöründe çığır açacak yeni nesil tarım sistemlerine olanak tanımaktadır. Bu ileri düzey sistemler, küresel tarım sektörünün karmaşıklıklarını önemli ölçüde dönüştürme ve iyileştirme potansiyeline sahip, karmaşık ve anlaşılması zor sinerjik etkiler yaratabilmektedir (Nasirahmadi & Hensel, 2022).

Dijital İkizler paradigmasına dayalı yenilikçi ve ileri görüşlü bir yaklaşımla, dijital tarım işletmeciliğinde devrim niteliğinde bir dönüşüme doğru ilerlerken, tarım sektörünün sürekli gelişen ve dinamik pazar ortamına güçlü bir şekilde giriş yapmaya hazırlanan birçok yeni strateji, gelişmiş iş modeli ve son teknoloji platformun ortaya çıkması beklenmektedir. Bu heyecan verici gelişmeler, yerel koşullara ve farklı bölgelerdeki tarımsal uygulamalara özel olarak uyarlanmış karma uygulamalar dizisini barındıracak şekilde tasarlanmıştır (Pylianidis, Osinga, & Athanasiadis, 2021).

Tarım işletmeciliği sistemlerinin çevik bir şekilde evrimleşmesini ve kapsamlı dönüşümünü etkin bir şekilde destekleyen sağlam bir kaynak çerçevesinin geliştirilmesi büyük bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, geniş ve birbirine bağlı Nesnelerin İnterneti (IoT) ekosistemine sorunsuz bir şekilde entegre edilmiş çeşitli hizmetler de büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda, bu çerçeve dikkatle incelenmiş ve modern tarımın içsel zorluklarını ve fırsatlarını ele almak için kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır (Renting & ark., 2009).

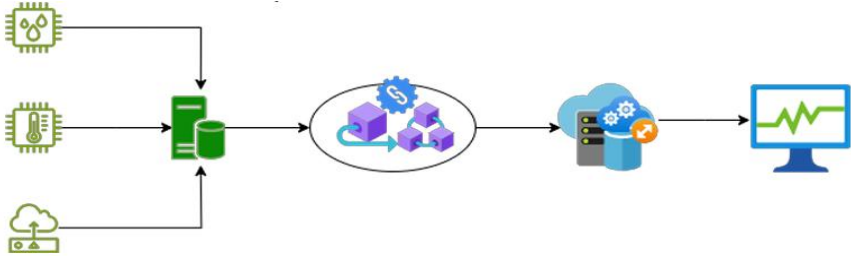
Birden fazla iç içe geçmiş ve birbirine bağlı yapılardan oluştuğu düşünülen IoT sistemi, belirli ve iyi tanımlanmış dijital tarım işletmeciliği ekosistemleriyle donatılmıştır (Tsiatsis & ark., 2018). Bu ekosistemler hem verimliliği artırmayı hem de inovasyonu teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Bu karmaşık ve detaylı yapı, çağdaş tarımsal uygulamalar ve teknolojilere uyarlanmış, akıllı ve yenilikçi yüksek kaliteli araç ve çözümlerin entegrasyonunu ve

yayılmasını kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda bu süreci önemli ölçüde geliştirir (Rose, Eldridge, & Chapin, 2015).

Tarım sektörü geliştikçe ve operasyonel süreçlerinde kritik karar alma stratejileri giderek daha fazla veri odaklı yaklaşımlar benimsedikçe, küresel tarım ve gıda teknolojisi firmalarının rolü de her geçen gün daha büyük bir önem kazanmaktadır. Bu firmalar, hızla değişen tarım işletmeciliği ortamında rekabet avantajını koruyabilmek için çığır açan, ileri düzeyde bilgi temelli yeniliklerin geliştirilmesine yönelik acil bir gerekliliğin farkına varmaktadır.

Bu kritik dönüşüm, tarımsal ortama sorunsuz bir şekilde entegre edilebilen yeni nesil IoT cihazlarının, gelişmiş sensörlerin ve çok yönlü aktüatörlerin uygulanmasını ve hayata geçirilmesini içermektedir. Bu yenilikler, çeşitli tarımsal uygulamalarda üretkenliği ve operasyonel verimliliği artırmada önemli bir rol oynayacaktır (Gubbi & ark., 2013; Singh, Berkvens, & Weyn, 2021). IoT tabanlı tarımsal karar sisteminin genel mimarisi Şekil 1’de gösterilmiştir.

Şekil 1. IoT tabanlı tarımsal karar sistemi (Ayberkin, 2024)



Sistem, IoT cihazları ve blokzincir ağından oluşan iki temel bileşene sahiptir. IoT sensörleri, tarımsal alanlardaki toprak nemi, sıcaklık ve su seviyesi gibi verileri gerçek zamanlı olarak toplar ve kablosuz ağlar aracılığıyla veri toplama birimine iletir (Ajao, 2017). Bu veriler, güvenilirliğini ve değişmezliğini sağlamak amacıyla blokzincir ağına kaydedilir. Ardından, blokzincir üzerinde saklanan

veriler bir karar destek sistemi tarafından analiz edilerek çiftçilere sulama yönetimi, verimlilik optimizasyonu ve hastalık tahmini gibi konularda rehberlik edecek çıktılar sunar. Sistem mimarisi, verilerin güvenli ve şeffaf bir şekilde işlenmesini sağlayarak tarımsal süreçleri daha verimli ve sürdürülebilir hale getirmeyi amaçlamaktadır (Kiani, & Seyyedabbasi, 2018).

Ayrıca, yeni ve geliştirilmiş IoT donanım ve yazılım çözümlerinin, IoT tabanlı tarım işletmeciliği senaryolarında sıklıkla kullanılan farklı donanım bileşenleri, cihazlar ve hizmetlerin temel organik protokolüyle başarılı bir şekilde entegre edilmesi beklenmektedir. Bu hayati entegrasyon, yalnızca teknolojik ilerlemeyi benimseyen bir geleceğin değil, aynı zamanda küresel nüfus artışının ve değişen iklim koşullarının getirdiği artan talepleri etkili bir şekilde karşılayabilen, son derece verimli ve sürdürülebilir bir tarım sisteminin oluşturulması açısından da büyük önem taşımaktadır (Sott & ark., 2021).

Tarımda Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Dijital Dönüşüm

Küresel gıda güvenliğini tehdit eden tarımsal sorunlar, özellikle gelişmekte olan ülkelerde daha belirgin hale gelmiştir. Bu bağlamda, tarımsal süreçlerin dijitalleşmesi ve "Akıllı Tarım" olarak adlandırılan dönüşüm, sürdürülebilir kalkınmayı destekleyerek tarımsal verimliliği artırma ve çiftçi gelirlerini iyileştirme potansiyeline sahiptir. Son yıllarda ağ iletişim teknolojilerindeki ilerlemeler, tarım sektörünün dijital çözümlerle entegre edilmesini mümkün kılarken, artan nüfus ve gıda talebi bu teknolojik dönüşümü zorunlu hale getirmiştir (Xu, Gu, & Tian, 2022).

IoT, tarımsal faaliyetlerde otomasyonu destekleyerek verimliliği artıran, kaynak kullanımını optimize eden ve sürdürülebilir üretim süreçlerine katkı sağlayan bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. IoT tabanlı sistemler, sensörler ve bağlantılı cihazlar aracılığıyla gerçek zamanlı veri toplama, analiz etme ve

karar alma süreçlerini geliştirmektedir. Bu sayede sulama yönetimi, toprak verimliliği izleme, mahsul durumu değerlendirme ve hayvan sağlığı takibi gibi birçok tarımsal uygulama daha etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir (Shi & ark., 2019).

Ancak, IoT'nin tarımsal uygulamalarda geniş çapta benimsenmesi önünde bazı yapısal ve ekonomik engeller bulunmaktadır. Yüksek yatırım maliyetleri, teknik bilgi eksikliği, standartlaşma sorunları ve mevzuat yetersizliği, bu teknolojilerin yaygın kullanımını sınırlayan temel faktörlerdir (Pillai & Sivathanu, 2020). Bununla birlikte, devlet destekleri, akademik araştırmalar ve özel sektör yatırımları, IoT'nin tarımda ölçeklenebilir bir modele dönüşmesini sağlayarak sektörel dönüşüm sürecini hızlandırabilir. Sonuç olarak, IoT teknolojilerinin etkin kullanımı, tarımsal verimliliği artırarak gıda güvenliğini sağlamaya ve küresel ölçekte sürdürülebilir tarım politikalarının geliştirilmesine katkıda bulunacaktır.

IoT'nin Uzaktan Algılama ve CBS ile Entegrasyonu

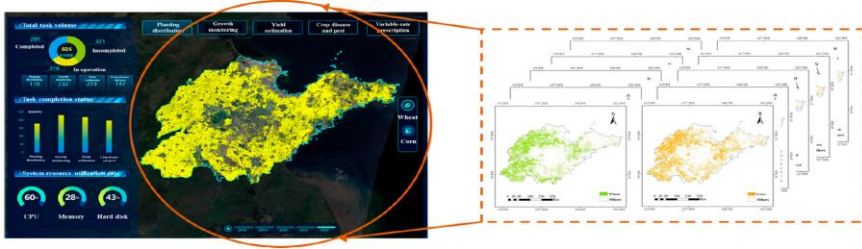
Dünya nüfusunun hızla artması, tarımsal üretkenliğin artırılmasını zorunlu kılmaktadır. Mekanizasyon, üretimi artırmanın en yaygın yollarından biri haline gelmiştir. Ancak günümüzde tarım, tek tek cihazların optimizasyonuna odaklanmak yerine, uçtan uca çözümlerin oluşturulmasına ve sahadaki makinelerin sorunsuz bir şekilde birbirine bağlanmasına dayalı bir devrim yaşamaktadır. Farklı kaynaklardan elde edilen verilerin entegre edilmesi, tarımsal faaliyetlerin verimliliğini ve üretkenliğini önemli ölçüde artırabilir. Bu durum, karar alma süreçlerini geliştirirken aynı zamanda kaynak yönetimini optimize etmeye de yardımcı olur. Ayrıca, enerji ve malzeme kullanımının genel olarak azalmasına katkıda bulunarak çevresel sürdürülebilirliği artırır (Ayaz & ark., 2019).

Tarımda sistemlerin sorunsuz veri alışverişi yapabilmesi, ortak standartlar oluşturulması ve teknolojik uyumluluğun

sağlanması, tarım makineleri üreticileri ve ilgili sektörler arasındaki iş birliğini de güçlendirebilir. Gelecekteki tarım vizyonu, farklı teknolojik yenilikleri bir araya getirerek entegre çiftçilik sistemleri oluşturmaya yöneliktir. Bu yaklaşım, farklı teknolojilerin nasıl birbirini tamamladığını ve kolektif olarak tarımsal çıktı üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğunu gösterebilir. Entegre sistemlere başarılı örnekler arasında uzaktan algılama ve CBS yer almaktadır. Bu teknolojiler, tarımda sensörler, haberleşme sistemleri ve bilgi işleme yöntemleriyle birlikte kullanılmaktadır. İdeal olarak, bu sistemler açık yapıda olmalı ve birden fazla üreticinin bileşenlerini içermelidir. Günümüzde farklı sistemlerin birbiriyle sorunsuz bir şekilde çalışması teknik açıdan zor olsa da başarılı entegrasyon örnekleri incelendiğinde, teknolojik sistemlerin bir arada çalışmasının mümkün olduğu görülmektedir.

Li & ark. (2023), modern tarımda uzaktan algılama, IoT ve YZ gibi ileri teknolojileri kullanarak akıllı tarım yönetimini geliştirmeyi amaçlamışlardır. Araştırmacılar, uzay, zaman ve nitelik boyutlarına dayalı yüksek frekanslı tarımsal üretim izleme ve yönetim modeli önererek, ürün tanıma, büyüme izleme, verim tahmini ve tarımsal hastalık takibi gibi uygulamaları ele almıştır (Şekil 2). Shandong bölgesi üzerinde test edilen bu model, uydu, İHA ve IoT teknolojilerini entegre ederek tarımsal süreçleri daha doğru ve zamanında izlemeye olanak tanımaktadır. Önerilen sistem, tarımsal veri yönetimi, izleme ve makro yönetim alt sistemlerini içerirken, çiftçilerin ve yöneticilerin kullanabileceği mobil uygulamalar ile desteklenmiştir. Yapılan analizler, sistemin tarımsal bilgi ürünlerinde %90'ın üzerinde doğruluk sağladığını göstermiştir.

Şekil 2. Shandong Bölgesi'nde Tarımsal Makro Yönetim ve Hizmet Arayüzü (Li & ark., 2023)



Sistem, kullanıcıların ürün türü, idari bölge ve zaman bazında veri sorgulamalarını yapmalarına olanak tanıırken, kapsamlı analiz, istatistik ve görsel görüntüleme gibi işlevler sunmaktadır. Aynı zamanda, hükümetin tarımsal yönetim süreçlerini destekleyerek karar alma mekanizmalarına katkıda bulunur. Tarımsal zararlı veya felaket durumlarında, ilgili hükümet birimlerine erken uyarılar sağlayarak hedeflenen acil durum yönetim kararlarının alınmasına yardımcı olur. Sonuç olarak, bu çalışma, akıllı tarımın veri odaklı yönetimine katkı sağlayarak hükümetlerin tarımsal politikalar ve gıda güvenliği konularında daha etkin kararlar almasına yardımcı olabilecek pratik bir model sunmaktadır.

CBS ve GNSS tabanlı uygulamaların birleştirilmesi, özellikle gübreleme ve mahsul koruma gibi faaliyetlerde konum bazlı doğru uygulamalar yapılmasını sağlar. CBS'nin tarımsal uygulamalara entegrasyonu, coğrafi veriler (endeksler ve değerler) kullanılarak toprak, ekin ve bitki büyümesi hakkında detaylı bilgi edinilmesine yardımcı olur. Küresel CBS sistemlerinden elde edilen ilk eğitim değerlendirmeleri, sektörlerin planlanması, topluluk düzenlemeleri ve yönetmelikler gibi mekânsal özellikleri göz önünde bulundurarak tarım tekniklerine uyum sağlanmasını da içerir. Bu sayede, toprak neminin izlenmesi, danışmanlık hizmetleri, CBS tabanlı mahsul yönetimi ve kullanıcı dostu bir ara yüz sağlayan

geniş çapta erişilebilir bir toprak algılama ağı gibi tarımsal gelişmelerin başarısı artırılabilir.

Sensörler, tarlada bir olayı tespit etme görevine sahiptir ve IoT'nin temel öğeleridir. Sunulan veriler, sensörler de dahil olmak üzere farklı kaynaklardan toplanır ve çiftçilerin müdahale için hızlı ve uygun kararlar alabilmesi amacıyla gerçek zamanlı olarak kullanılabilir. Zamanında alınan bir karar, tarım sürecini olumlu yönde etkiler. Bu gerçek zamanlı olarak kök neden analizi ve olaylar zincirinin belirlenmesi sayesinde daha kaliteli bir tarımsal üretim sağlar (Bayih & ark., 2022). Bu amaçla, doğru bir şekilde yönetilmesi ve analiz edilmesi için verilerin farklı kaynaklardan toplanması gerekmektedir.

Uzaktan Algılama ve CBS Tabanlı Otonom Tarım Sistemleri

Tarım sektörü, uzaktan algılama ve CBS tabanlı teknolojilerin entegrasyonu ile giderek daha fazla otomasyon ve dijitalleşme sürecine girmektedir. Otonom tarım sistemleri, insan müdahalesine olan ihtiyacı en aza indirerek tarımsal üretim süreçlerini daha verimli ve sürdürülebilir hale getirmeyi amaçlamaktadır. Bu sistemler, uzaktan algılama verileri ve CBS destekli analizler ile tarımsal alanları daha etkin yönetmekte; veri toplama, tohum ekimi, fide dikimi, yabancı ot temizliği ve ilaçlama gibi çeşitli tarımsal faaliyetleri optimize etmektedir (Gyamfi & ark., 2024). Tarım robotları ve sürücüsüz traktörler, bu sistemlerin temel bileşenleri arasında yer almakta olup, yüksek hesaplama gücüne sahip sensörler, GNSS teknolojisi, YZ destekli algoritmalar ve CBS tabanlı haritalama süreçleri sayesinde hassas ve etkin bir şekilde faaliyet göstermektedirler (Nagel, 2019).

Otonom tarım makinelerinin kullanımı, iş gücü verimliliğini artırırken, aynı zamanda yüksek hassasiyetle çalışarak tarımsal üretimin kalitesini yükseltmektedir. Tek görevli robotlardan, çoklu görevleri yerine getirebilen büyük ölçekli otonom araçlara kadar

geniş bir yelpazede gelişim gösteren bu makineler, özellikle yabancı ot temizliği, ilaçlama ve ekim gibi işlemlerde CBS ve uzaktan algılama teknolojilerinin sağladığı veri odaklı yaklaşımlar sayesinde başarıyla kullanılmaktadır. Bununla birlikte, arazi topografyasındaki farklılıklar, hava koşulları ve düzenleyici çerçevenin henüz tam olarak oturmamış olması, otonom tarım teknolojilerinin entegrasyonunda karşılaşılan temel zorluklar arasında yer almaktadır. Avrupa'da yürütülen çeşitli çalışmalar, bu makinelerin etkinliğini kanıtlamak ve küçük ile orta ölçekli çiftçilerin erişilebilirliğini artırmak amacıyla sürdürülmektedir (Suprem, Mahalik, & Kim, 2013; Karunathilake & ark., 2023).

Otonom tarım sistemlerinin etkinliğini artırmak için dijital tarım ekosistemleri büyük bir öneme sahiptir. IoT teknolojisi, çiftlik operatörlerine gerçek zamanlı veri sağlayarak tarımsal süreçlerin daha bilinçli yönetilmesine olanak tanımaktadır. CBS ve uzaktan algılama destekli analizler sayesinde ürün takibi, arazi uygunluk haritalaması, su yönetimi, kaynak optimizasyonu ve iş akışı otomasyonu sağlanarak tarımsal üretimde verimlilik artırılmaktadır (Georgi & ark., 2018). Özellikle İHA teknolojileri, bitki sağlığı değerlendirmesi, yabancı ot yönetimi ve tarımsal keşif gibi iş gücü yoğun görevlerin otomatikleştirilmesine katkıda bulunmaktadır (Nahiyoony & ark., 2024).

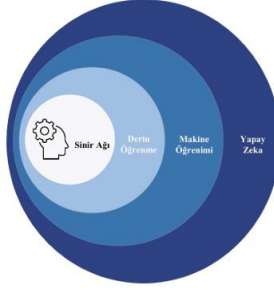
2050 yılına kadar küresel gıda talebinin %70 oranında artacağı öngörülmektedir (Karaman, 2019). Bu bağlamda, uzaktan algılama ve CBS tabanlı otonom tarım sistemleri ile dijital tarım ekosistemlerinin entegrasyonu, tarımsal verimliliği ve sürdürülebilirliği artırmada kritik bir rol oynayacaktır. Ancak, bu teknolojilerin yaygınlaşması için yüksek yatırım ve bakım maliyetleri gibi finansal engellerin aşılması gerekmektedir. Gelecekteki araştırmalar, uzaktan algılama verileri, YZ algoritmaları ve CBS tabanlı çözümleri bir araya getirerek, maliyet etkin tarımsal otomasyon sistemlerinin geliştirilmesine odaklanacaktır (Nagel, 2019).

Tarımsal Uygulamalarda Yapay Zekâ ve Büyük Veri Analitiği: Uzaktan Algılama ve CBS Perspektifi

Yapay zekâ (YZ), makineler tarafından insan zekâsı süreçlerinin özellikle bilgisayar sistemleri aracılığıyla simüle edilmesini ifade eder. YZ sistemlerini akıllı kılan birkaç temel bileşen vardır. Bunlardan ilki, bilgi edinme ve veri toplamadır. Veri aktarım formları; metin, görüntü ve video gibi çeşitli formatları içerebilir. Veriler toplandıktan sonra, algoritmalar kullanılarak analiz edilir. Algoritmalar, YZ'nin bilgiyi işleme sürecinin temel bileşenleridir. Büyük veri, basitçe büyük boyutlu veri kümeleri veya bilgi anlamına gelir. Verilerin analiz edilmeden önce işlenmesi gerekir. Fiziksel olarak, büyük veriler için büyük ölçekli bir depolama sistemine ihtiyaç duyulur (Chen & ark., 2023). Paralel hesaplama, bilgilerin işlenmesi açısından faydalıdır. Büyük veri kümeleri, makine öğrenimi tekniklerini uygulamak ve modellerin doğruluğunu artırmak için önemlidir.

Makine öğrenimi, YZ'nin bir alt dalıdır (Şekil 3) ve doğru modeller gerektiren görevlerde önemli bir başarı seviyesine ulaşmıştır. Büyük veri ve YZ, birbirlerini tamamlayarak uzun vadeli kârlar sağlayabilir. "Büyük veri analitiği" ise, büyük veri kümelerinden bilgi çıkarmayı ve ardından bu bilgilerden anlamlı sonuçlar elde etmeyi ifade eder. Büyük veri analizi, niteliksel ve niceliksel analizlerin yapılabilmesini sağlayarak YZ modellerini güçlendirir (Paramesha, Rane, & Rane, 2024).

Şekil 3. Makine Öğrenimi şeması (Gökalp, 2022)



Makine öğrenimi, disiplinler arası bir alan olarak tarımla kesişerek teknolojik yeniliklere çözüm sağlamaktadır. Günümüzün dijital dünyasında mevcut olan büyük hesaplama gücü sayesinde makine öğrenimi algoritmalarının benimsenmesi sürekli olarak artmaktadır. Bir sorunu çözmeye başlarken, üzerinde deney yapılacak aday modellerin belirlenmesi gerekir. Özellik çıkarımı (feature extraction) gerçekleştirdikten sonra, özellik seçimi dikkatle yapılmalıdır. Modellerin geniş veri kümeleri üzerinde doğru şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir (Jain & Zongker, 1997). Ayrıca, kullanılan veri setlerinin özellikleri dikkatlice seçilmeli ve anlaşılmalıdır. Çünkü birçok makine öğrenimi algoritması, belirli çalışma koşulları için özel olarak tasarlanmıştır.

Son olarak, hangi algoritmaların kullanılacağı konusunda net rehberlik sağlayan kaynaklar sunulacaktır. Böylece, kullanıcıların veri ve hedef sonuçlara bağlı olarak en uygun algoritmaları seçmeleri kolaylaşacaktır (Thilakarathne & ark., 2022).

Makine öğrenimi üç ana kategoriye ayrılır:

- **Denetimli öğrenme (Supervised Learning):** Rastgele ormanlar (Random Forests), destek vektör makineleri (Support Vector Machines) ve yapay sinir ağları (Artificial Neural Networks) gibi yöntemleri içerir. Bu yöntemler, genellikle regresyon ve

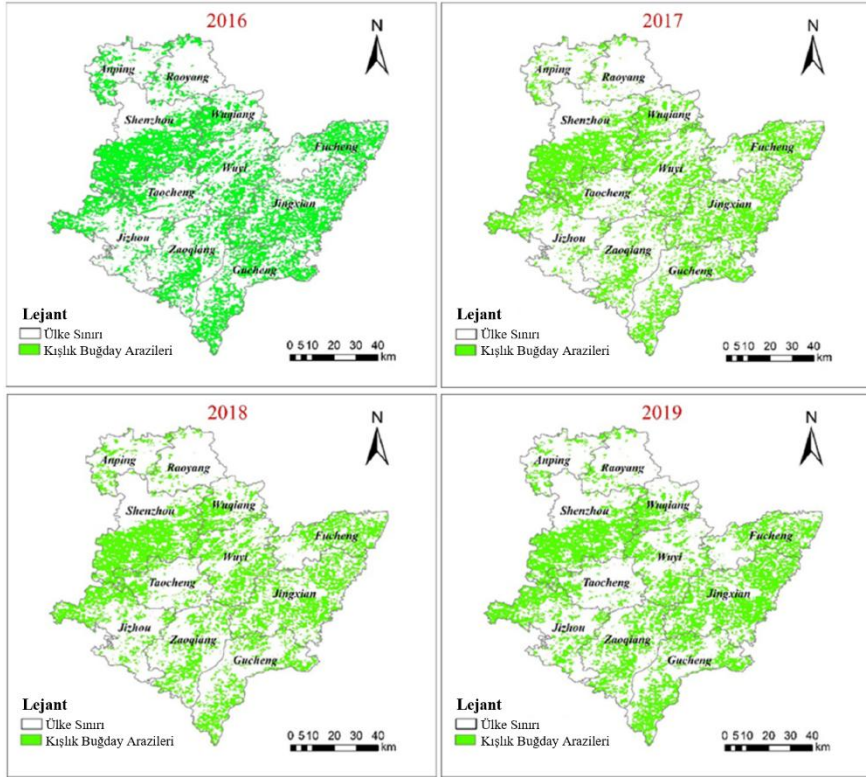
sınıflandırma işlemlerinde yaygın olarak kullanılır. Örneğin, tarımda mahsul tahmini yapmak için farklı makine öğrenimi yaklaşımları kullanılmaktadır.

- **Denetimsiz öğrenme (Unsupervised Learning):** Kümeleme yöntemleri, tarımda bitkilerdeki hastalıkların sınıflandırılmasına yönelik olarak uygulanabilir. Kümeleme yöntemleri, özellikle spektral veriyle birlikte kullanıldığında önemli içgörüler sağlamaktadır.
- **Pekiştirmeli öğrenme (Reinforcement Learning):** Makineleri, optimum doğruluğu elde edecek şekilde doğru hareketleri almaları için eğiten bir tekniktir. Tarımda pekiştirmeli öğrenmenin kullanımı henüz az olmasına rağmen, özellikle kaynak optimizasyonunda başarılı uygulamaları bulunmaktadır.

Özel algoritmaların tasarımında alan bilgisi kullanılabileceği keşfedilmiştir. Yaygın bir yanılgı, karmaşık matematiksel çözümlerin her zaman en iyi sonucu verdiğidir. Ancak en doğru çözümü elde etmek için matematik ve basitlik arasında bir denge kurulması gerekebilir (Rice, 1976).

Di & ark. (2022) yapmış oldukları çalışmada kışlık buğday veriminin erken tahmini için YZ ve tarımsal büyük veriyi kullanarak bir derin öğrenme modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır. Araştırmacılar, Bayes optimizasyonuna dayalı uzun ve kısa vadeli bellek modeli (BO-LSTM) geliştirerek, farklı veri kaynaklarını birleştirerek ürün büyüme özelliklerini çıkarmışlardır. Çalışma kapsamında incelenen dört bölgedeki (Taocheng, Jizhou, Anping ve Rao Yang) kışlık buğday yetiştiriciliğinin mekânsal dağılımı gösterilmiştir (Şekil 4).

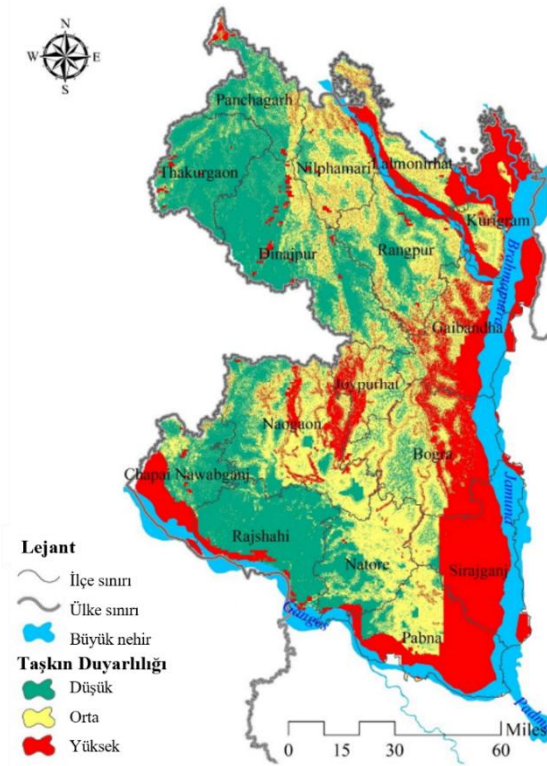
Şekil 4. Taocheng, Jizhou, Anping ve Rao Yang bölgelerindeki kışlık buğday ekili alanlarının dağınık yapısını ve ekim yoğunluğunu gösteren haritalar (Di & ark., 2022'den değiştirilerek)



Bu şekil, söz konusu bölgelerde buğday ekili alanların nispeten daha küçük ve dağınık olduğunu ortaya koyarak, kentsel yapı alanlarının ve insan etkisinin yerel iklim verileri üzerindeki olası etkilerini vurgulamaktadır. Ayrıca model, insan etkisinin daha az olduğu tarım bölgelerinde daha yüksek doğruluk sağlamıştır. Genel olarak, BO-LSTM'nin küresel ölçekte ve veri eksikliği olan bölgelerde de başarılı bir şekilde kışlık buğday verimini tahmin edebileceği, tarımsal üretim ve gıda güvenliği için faydalı bir araç olabileceği belirtilmektedir.

Yapılan bir başka çalışmada ise Sarkar & ark. (2022), veri kıtlığı olan bölgelerde, özellikle kuzeybatı Bangladeş'te, makine öğrenimi tabanlı duyarlılık analizi ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanarak sel duyarlılığı (FS) modelinin sağlamlığını artırmayı amaçlamaktadır. Tarımsal üretim alanlarının sel riskine karşı daha dirençli hale getirilmesi amacıyla araştırmada, dokuz kritik sel faktörü belirlenmiş ve AHP yöntemiyle ağırlıklandırılarak FS modeli oluşturulmuştur. Şekil 5'de AHP yöntemiyle hesaplanan ağırlıklar kullanılarak ArcGIS 10.5'te oluşturulan iyileştirilmiş Sel Duyarlılık İndeksi (FSI) haritası gösterilmiştir.

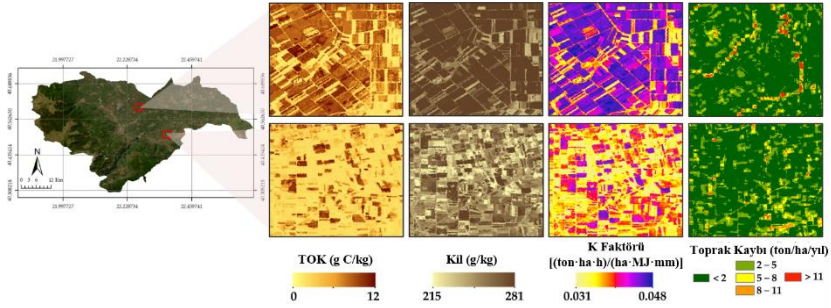
Şekil 5. İyileştirilmiş Sel Duyarlılık İndeksi (FSI) Haritası (Sarkar & ark., 2022'den değiştirilerek)



Bu haritada FSI, yüksek, orta ve düşük olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Gaibandha, Bogura, Sirajganj, Pabna, Naogaon ve Chapai Nawabganj bölgeleri yüksek sel duyarlılığına sahip alanlar olarak belirlenmiştir. Orta duyarlılığa sahip bölgeler Lalmonirhat ve Natore'de tespit edilirken, düşük sel duyarlılığına sahip bölgeler Thakurgaon, Panchagarh, Dinajpur, Rangpur, Joypurhat ve Rajshahi'de yer almaktadır. Rastgele Orman (RF) tabanlı duyarlılık analizleri (MGD, MDA ve bilgi kazanım oranı) ile en az etkili değişkenler elenmiş ve model, daha önemli faktörler (yağış, toprak tipi, eğim ve yükseklik) kullanılarak yeniden çalıştırılmıştır. Sonuçlar, en az önemli değişkenlerin çıkarılmasının modelin performansını artırabileceğini göstermiştir.

Samarinas & ark. (2024), düşük çözünürlüklü ve güncelliğini yitirmiş dijital toprak haritalarını iyileştirmek için Sentinel-2 uydu verileri, açık erişimli veri tabanları, yerinde toprak ölçümleri ve YZ tekniklerini kullanarak yüksek çözünürlüklü toprak haritaları üretmeyi amaçlamışlardır. Kuzey Yunanistan'daki Imathia Bölgesi'nde uygulanan yöntemle, Toprak Organik Karbonu (SOC) ve toprak dokusu 10 m çözünürlükte haritalanmış, XGBoost modeli ile tahminler yapılmıştır. RUSLE modeline entegre edilen verilerle, bölgenin yıllık ortalama toprak kaybı 1.76 ton/yıl/hektar olarak hesaplanmış ve dağlık sınır bölgelerinde ciddi erozyon gözlemlenmiştir. Şekil 6, birim içindeki iki farklı bölgenin detaylı bir görünümünü sunarak, SOC, kil içeriği, K-faktörü ve nihai toprak erozyonu haritasını göstermektedir.

Şekil 6. Birim içindeki iki farklı örnek alanda SOC, kil içeriği, K-faktörü ve toprak erozyonu haritaları (Samarinas & ark. 2024'den değiştirilerek)



Elde edilen 10 m çözünürlüklü görüntüler sayesinde, göstergelerin mekânsal dağılımı tarla seviyesinde bile ayrıştırılabilmektedir, bu da daha hassas analizler yapılmasına olanak tanımaktadır. Çalışma, tarımsal planlama, çevresel yönetim ve sürdürülebilir kalkınma politikalarına katkı sağlayabilecek bir yöntem sunmaktadır.

Uzaktan Algılama ve CBS ile Sürdürülebilir Tarım ve Çevresel Etki Değerlendirmesi

Günümüzde tarımsal faaliyetlerin verimliliğini artırmak ve doğal kaynakları koruyarak sürdürülebilir tarım uygulamalarını hayata geçirmek için uzaktan algılama teknolojileri yaygın olarak kullanılmaktadır. Uydu görüntüleme, İHA ve sensör teknolojileri sayesinde tarımsal alanlar daha etkin bir şekilde izlenebilir ve yönetilebilir hale gelmektedir. Aynı zamanda bu teknolojiler, çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve ekosistemlerin korunmasına yönelik çalışmalar için de kritik bir rol oynamaktadır.

Uzaktan algılama, tarımsal faaliyetlerin daha verimli hale getirilmesine katkı sağlarken aynı zamanda çevresel etkilerin minimize edilmesine yardımcı olur. Hassas tarım uygulamalarında bitki sağlığı izleme, sulama yönetimi, gübreleme ve zararlı kontrolü

gibi alanlarda etkili bir şekilde kullanılabilir. Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) gibi göstergeler bitkilerin sağlık durumlarını belirleyerek erken müdahale edilmesine imkan tanır (Yengoh & ark., 2015). Ayrıca, toprak nem seviyeleri termal görüntüleme ile izlenerek su kaynaklarının etkin kullanımı sağlanabilir.

Toprak yönetimi ve erozyon kontrolü konusunda da uzaktan algılama teknolojileri önemli bir yer tutar. Spektral analizler sayesinde toprak organik madde içeriği belirlenebilir ve sürdürülebilir tarım uygulamalarına uygun planlamalar yapılabilir. Bunun yanı sıra, zararlı ve hastalık tespiti için de uzaktan algılama teknolojileri kullanılarak, erken teşhisle verim kayıplarının önüne geçilebilir (Abd El-Ghany, Abd El-Aziz, & Marei, 2020).

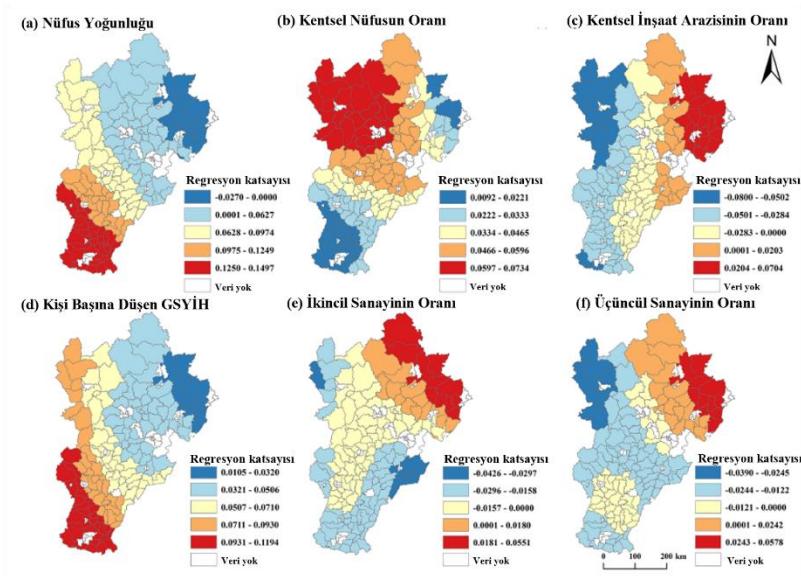
Çevresel etki değerlendirmesi sürecinde, tarımsal faaliyetlerin ekosistem üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde analiz edilebilir. Uzaktan algılama sayesinde arazi kullanımındaki değişiklikler takip edilebilir ve ormansızlaşma gibi sorunlar tespit edilebilir. Sulak alanların korunması ve su kaynaklarının verimli yönetilmesi için hidrolojik değişiklikler gözlemlenebilir. Aynı zamanda su kirliliği izleme ve karbon salınımının hesaplanması gibi çevresel izleme faaliyetleri de uzaktan algılama ile gerçekleştirilebilir (Bovensmann & ark., 2010; Li & ark., 2020).

Uzaktan algılama teknolojileri arasında en yaygın olarak Sentinel ve Landsat gibi uydu sistemleri kullanılmaktadır. MODIS ve VIIRS gibi sistemler de küresel çapta bitki örtüsü ve iklim değişikliklerini izlemek için kullanılır. İHA tabanlı sistemler ise yerel ölçekte daha detaylı veriler sağlayarak hassas tarım uygulamalarının geliştirilmesine imkan sunar. Aynı zamanda YZ ve makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak elde edilen veriler analiz edilip karar destek sistemlerine entegre edilebilir.

Hu & ark. (2022), çalışmalarında tarımsal üretim, kırsal çevre ve çiftçi refahı olmak üzere üç boyuttan oluşan bir kavramsal

çerçeve ve değerlendirme indeksi geliştirmiştir. Bu çalışma, Çin'in Beijing-Tianjin-Hebei (BTH) bölgesinde sürdürülebilir tarım ve kırsal kalkınmanın durumu ile bu üç bileşenin birbiriyle olan ilişkisini ölçmeyi amaçlamıştır. BTH bölgesi, büyük ve gelişmiş bir kent topluluğunu ve çevresindeki yoksul kırsal alanları içermektedir. Çalışmada, kentleşmenin Sürdürülebilir Tarımsal ve Kırsal Kalkınma (SARD) üzerindeki farklı etkileri coğrafi ağırlıklı regresyon yöntemiyle analiz edilmiştir (Şekil 7).

Şekil 7. BTH'deki itici faktörlere ait yerel regresyon katsayılarının mekansal dağılımı (Hu & ark., 2022'den değiştirilerek)



Elde edilen bulgulara göre, düşük SARD değerlerine sahip alanlar genellikle tarımsal üretimin düşük olduğu kuzeybatı dağlık bölgelerinde ve kırsal çevrenin geri kaldığı güneydoğu geleneksel tarım bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Yüksek SARD değerlerine sahip alanlar ise, büyük şehirlerin banliyölerinde, çiftçi refahının daha yüksek olduğu bölgelerde yer almaktadır. Çoğu bölgede çiftçi refahı, tarımsal üretim ve kırsal çevrenin gerisinde kalmaktadır.

Çalışmada ayrıca nüfus kentleşmesinin SARD üzerinde olumlu etkileri olduğu, ancak uygunsuz arazi genişlemesi ve sanayi gelişiminin kırsal alanlarda olumsuz etkiler yarattığı belirtilmiştir. Bu nedenle, uzak dağlık ve geleneksel tarım bölgelerinde çiftçilerin refahını artırmaya yönelik etkili politikalar geliştirilmesi ve uygunsuz kentleşmenin kırsal bölgelere zararını azaltacak önlemler alınması önerilmektedir. Bu tür stratejiler, BTH ve diğer büyük kentsel bölgelerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasına katkı sağlayacaktır.

Sürdürülebilir tarım politikalarının geliştirilmesi ve uygulanmasında uzaktan algılama teknolojileri çok önemlidir. Tarım ve çevre politikaları, iklim değişikliğine uyum sağlamak, doğal ekosistemleri korumak ve verimli kaynak kullanımını teşvik etmek amacıyla şekillendirilebilir. Bu teknolojiler sayesinde tarımsal faaliyetler daha bilinçli bir şekilde yönetilirken çevresel etkiler minimize edilebilir (Van der Welf & Petit, 2002).

Sonuç olarak, uzaktan algılama teknolojileri tarımsal üretimde verimliliği artırmak, su ve toprak kaynaklarının daha etkin kullanılmasını sağlamak ve çevresel etkileri azaltmak açısından kritik bir öneme sahiptir. Gelecekte, YZ ve büyük veri analitiği ile birleştirilen uzaktan algılama teknikleri, daha sürdürülebilir ve verimli tarım uygulamalarının geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Uzaktan algılama teknolojileri, tarımın sürdürülebilirliğini sağlamak için çeşitli çözümler sunmaktadır. Öncelikle, hassas tarım uygulamalarının geliştirilmesi sayesinde su, gübre ve pestisit kullanımında optimizasyon sağlanarak doğal kaynakların korunması mümkündür. Bitki sağlığının izlenmesi ve erken teşhis sistemleri ile verim kayıplarının önüne geçilirken, aynı zamanda üretim maliyetleri de düşürülebilir. Bu süreçte, uydu görüntüleme ve İHA tabanlı sistemler kullanılarak tarım arazilerindeki değişiklikler anlık

olarak takip edilebilir ve gerektiğinde müdahale edilebilir (Nahiyoon & ark., 2024).

Bunun yanı sıra, uzaktan algılama ile arazi kullanımı yönetimi de daha etkin hale gelmektedir. Tarıma elverişli olmayan alanların belirlenmesi, toprağın verimliliğinin artırılması ve erozyon kontrolü gibi konularda detaylı analizler yapılabilmektedir. Spektral görüntüleme sayesinde toprak organik madde içeriği belirlenerek uygun ekim ve gübreleme stratejileri oluşturulabilir (Chabrillat & ark., 2019). Bu sayede hem çevresel tahribat önlenmiş olur hem de sürdürülebilir üretim sağlanır.

Uzaktan algılama teknolojileri ile tarımsal üretimin çevresel etkileri daha iyi analiz edilerek ekosistemlerin korunması sağlanabilir (Wang, 2020). İklim değişikliği ile mücadelede, karbon salınımının izlenmesi, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve biyolojik çeşitliliğin korunması gibi alanlarda büyük fayda sağlanmaktadır (Shang & Xie, 2024). Gelecekte, bu teknolojilerin YZ ve büyük veri analitiği ile entegre edilmesiyle, daha verimli ve sürdürülebilir tarım modellerinin oluşturulması mümkün olacaktır.

CBS tabanlı sistemler, tarımsal faaliyetlerin bölgesel planlamasında büyük avantajlar sunar. Özellikle su kaynaklarının etkin yönetimi, iklim değişikliğine adaptasyon ve arazi kullanımı optimizasyonu gibi konularda, haritalandırma ve modelleme araçları sayesinde karar alma süreçleri daha bilinçli hale gelir. Örneğin, kuraklık riski taşıyan bölgelerde uzaktan algılama verileri kullanılarak erken uyarı sistemleri geliştirilebilir. Böylece çiftçiler, su ve gübre kullanımını ihtiyaca göre ayarlayarak hem maliyetleri düşürebilir hem de çevresel sürdürülebilirliği artırabilir.

Gelecekte, tarımsal üretimi daha dirençli hale getirmek için CBS tabanlı karar destek sistemlerinin yaygınlaştırılması kritik bir adımdır. Bu sistemler, IoT teknolojileri, büyük veri analitiği ve makine öğrenimi ile entegre edilerek, hastalık salgınlarının tahmini,

ürün rotasyon planlaması ve karbon ayak izinin azaltılması gibi hedeflere hizmet edebilir. Devletler ve özel sektör, bu teknolojileri çiftçilere erişilebilir kılmak adına teşvik mekanizmaları geliştirmeli ve veri paylaşım altyapısını güçlendirmelidir. Böylece, tarımsal sürdürülebilirlik sadece yerel değil, küresel ölçekte sağlanarak gıda güvenliği daha sağlam temellere oturtulabilir.

Kaynakça

Aasen, H., Honkavaara, E., Lucieer, A., & Zarco-Tejada, P. J. (2018). Quantitative Remote Sensing at Ultra-High Resolution with UAV Spectroscopy: A Review of Sensor Technology, Measurement Procedures, and Data Correction Workflows. *Remote Sensing*, 10(7), 1091. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/rs10071091>

Abd El-Ghany, N. M., Abd El-Aziz, S. E., & Marei, S. S. (2020). A review: application of remote sensing as a promising strategy for insect pests and diseases management. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(27), 33503-33515.

Ajao, L. A., Agajo, J., Kolo, J. G., Maliki, D., & Adegboye, M. A. (2017). Wireless Sensors Based Internet of Thing for Agro-Climatic Parameters Monitoring and Real-Time Data Acquisition.

Ayaz, M., Ammad-Uddin, M., Sharif, Z., Mansour, A., & Aggoune, E. H. M. (2019). Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk. *IEEE access*, 7, 129551-129583.

Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., Van der Wal, T., Soto, I., ... & Eory, V. (2017). Precision agriculture technologies positively contributing to GHG emissions mitigation, farm productivity and economics. *Sustainability*, 9(8), 1339.

Bayih, A. Z., Morales, J., Assabie, Y., & De By, R. A. (2022). Utilization of internet of things and wireless sensor networks for sustainable smallholder agriculture. *Sensors*, 22(9), 3273.

Bovensmann, H., Buchwitz, M., Burrows, J. P., Reuter, M., Krings, T., Gerilowski, K., ... & Erzinger, J. (2010). A remote sensing technique for global monitoring of power plant CO₂ emissions from space and related applications. *Atmospheric Measurement Techniques*, 3(4), 781-811.

Chabrillat, S., Ben-Dor, E., Cierniewski, J., Gomez, C., Schmid, T., & van Wesemael, B. (2019). Imaging spectroscopy for soil mapping and monitoring. *Surveys in Geophysics*, 40, 361-399.

Chen, T., Lv, L., Wang, D., Zhang, J., Yang, Y., Zhao, Z., ... & Tao, D. (2023). Empowering Agrifood System with Artificial Intelligence: A Survey of the Progress, Challenges and Opportunities. *arXiv preprint arXiv:2305.01899*.

Dayıoğlu, M. A., & Turker, U. (2021). Digital transformation for sustainable future-agriculture 4.0: A review. *Journal of Agricultural Sciences*, 27(4), 373-399.

Di, Y., Gao, M., Feng, F., Li, Q., & Zhang, H. (2022). A new framework for winter wheat yield prediction integrating deep learning and bayesian Optimization. *Agronomy*, 12(12), 3194.

Georgi, C., Spengler, D., Itzerott, S., & Kleinschmit, B. (2018). Automatic delineation algorithm for site-specific management zones based on satellite remote sensing data. *Precision agriculture*, 19, 684-707.

Gökalp, Ö. M. (2022). Makine öğrenmesi. *Gazi Üniversitesi, Gazi BilişimEnstitüsü, Adli Bilişim Bölümü*, 1-14.

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7), 1645-1660.

Gyamfi, E. K., ElSayed, Z., Kropczynski, J., Yakubu, M. A., & Elsayed, N. (2024, April). Agricultural 4.0 leveraging on technological solutions: Study for smart farming sector. In *2024 IEEE 3rd International Conference on Computing and Machine Intelligence (ICMI)* (pp. 1-9). IEEE.

Hu, S., Yang, Y., Zheng, H., Mi, C., Ma, T., & Shi, R. (2022). A framework for assessing sustainable agriculture and rural

development: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei region, China. *Environmental Impact Assessment Review*, 97, 106861.

Jain, A., & Zongker, D. (1997). Feature selection: Evaluation, application, and small sample performance. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 19(2), 153-158.

Karaman, R. (2019). Geçmişten günümüze gastronomi trendleri: potansiyel yerli turistlerin yenilebilir böcekler akımına yönelik algılarının ölçülmesi. Master's thesis, Balıkesir University (Turkey).

Karunathilake, E. M. B. M., Le, A. T., Heo, S., Chung, Y. S., & Mansoor, S. (2023). The path to smart farming: Innovations and opportunities in precision agriculture. *Agriculture*, 13(8), 1593.

Khan, N., Ray, R. L., Sargani, G. R., Ihtisham, M., Khayyam, M., & Ismail, S. (2021). Current progress and future prospects of agriculture technology: Gateway to sustainable agriculture. *Sustainability*, 13(9), 4883.

Kiani, F., & Seyyedabbasi, A. (2018). Wireless sensor network and internet of things in precision agriculture. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*.

Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS-Wageningen journal of life sciences*, 90, 100315.

Li, W., Dong, W., Zhang, X., & Zhang, J. (2023). A New Remote Sensing Service Mode for Agricultural Production and Management Based on Satellite–Air–Ground Spatiotemporal Monitoring. *Agriculture*, 13(11), 2063.

Li, J., Pei, Y., Zhao, S., Xiao, R., Sang, X., & Zhang, C. (2020). A review of remote sensing for environmental monitoring in China. *Remote Sensing*, 12(7), 1130.

MacPherson, J., Voglhuber-Slavinsky, A., Olbrisch, M., Schöbel, P., Dönitz, E., Mouratiadou, I., & Helming, K. (2022). Future agricultural systems and the role of digitalization for achieving sustainability goals. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(4), 70.

Mancosu, N., Snyder, R. L., Kyriakakis, G., & Spano, D. (2015). Water scarcity and future challenges for food production. *Water*, 7(3), 975-992.

Martinho, V. J. P. D., & Guine, R. D. P. F. (2021). Integrated-smart agriculture: Contexts and assumptions for a broader concept. *Agronomy*, 11(8), 1568.

Mohamed, M. (2023). Agricultural sustainability in the age of deep learning: current trends, challenges, and future trajectories. *Sustainable Machine Intelligence Journal*, 4, 2-1.

Mohyuddin, G., Khan, M. A., Haseeb, A., Mahpara, S., Waseem, M., & Saleh, A. M. (2024). Evaluation of Machine Learning approaches for precision farming in Smart Agriculture System-A comprehensive Review. *IEEE Access*.

Mowla, M. N., Mowla, N., Shah, A. S., Rabie, K. M., & Shongwe, T. (2023). Internet of Things and wireless sensor networks for smart agriculture applications: A survey. *IEEE Access*, 11, 145813-145852.

Nagel, M. (2019). Computational Contributions to the Automation of Agriculture. Senior Honors Theses, School of Engineering and Computational Sciences, Liberty University.

Nahiyoon, S. A., Ren, Z., Wei, P., Li, X., Li, X., Xu, J., ... & Yuan, H. (2024). Recent development trends in plant protection UAVs: A journey from conventional practices to cutting-edge technologies—A comprehensive Review. *Drones*, 8(9), 457.

Nasirahmadi, A., & Hensel, O. (2022). Toward the next generation of digitalization in agriculture based on digital twin paradigm. *Sensors*, 22(2), 498.

Olson, D., & Anderson, J. (2021). Review on unmanned aerial vehicles, remote sensors, imagery processing, and their applications in agriculture. *Agronomy Journal*, 113(2), 971-992.

Paramesha, M., Rane, N. L., & Rane, J. (2024). Big data analytics, artificial intelligence, machine learning, internet of things, and blockchain for enhanced business intelligence. *Partners Universal Multidisciplinary Research Journal*, 1(2), 110-133.

Pillai, R., & Sivathanu, B. (2020). Adoption of internet of things (IoT) in the agriculture industry deploying the BRT framework. *Benchmarking: An International Journal*, 27(4), 1341-1368.

Pylianidis, C., Osinga, S., & Athanasiadis, I. N. (2021). Introducing digital twins to agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 184, 105942.

Renting, H., Rossing, W. A., Groot, J. C., Van der Ploeg, J. D., Laurent, C., Perraud, D., ... & Van Ittersum, M. K. (2009). Exploring multifunctional agriculture. A review of conceptual approaches and prospects for an integrative transitional framework. *Journal of environmental management*, 90, S112-S123.

Rice, J. R. (1976). The algorithm selection problem. In *Advances in computers* (Vol. 15, pp. 65-118). Elsevier.

Rose, D. C., & Chilvers, J. (2018). Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 87.

Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (2015). The internet of things: An overview. *The internet society (ISOC)*, 80(15), 1-53.

Samarinas, N., Tsakiridis, N. L., Kalopesa, E., & Zalidis, G. C. (2024). Soil loss estimation by water erosion in agricultural areas introducing artificial intelligence geospatial layers into the RUSLE model. *Land*, 13(2), 174.

Sarkar, S. K., Ansar, S. B., Ekram, K. M. M., Khan, M. H., Talukdar, S., Naikoo, M. W., ... & Mosavi, A. (2022). Developing robust flood susceptibility model with small numbers of parameters in highly fertile regions of northwest Bangladesh for sustainable flood and agriculture management. *Sustainability*, 14(7), 3982.

Shang, M., & Xie, J. (2024). Agricultural sustainable development: Soil, water resources, biodiversity, climate change, and technological innovation. *Advances in Resources Research*, 4(2), 181-204.

Shi, X., An, X., Zhao, Q., Liu, H., Xia, L., Sun, X., & Guo, Y. (2019). State-of-the-Art Internet of Things in Protected Agriculture.

Singh, A., Mehrotra, R., Rajput, V. D., Dmitriev, P., Singh, A. K., Kumar, P., ... & Singh, A. K. (2022). Geoinformatics, artificial intelligence, sensor technology, big data: emerging modern tools for sustainable agriculture. *Sustainable agriculture systems and technologies*, 295-313.

Singh, R. K., Berkvens, R., & Weyn, M. (2021). AgriFusion: An architecture for IoT and emerging technologies based on a precision agriculture survey. *IEEE Access*, 9, 136253-136283.

Sott, M. K., Nascimento, L. D. S., Foguesatto, C. R., Furstenau, L. B., Faccin, K., Zawislak, P. A., ... & Bragazzi, N. L. (2021). A bibliometric network analysis of recent publications on digital agriculture to depict strategic themes and evolution structure. *Sensors*, 21(23), 7889.

Suprem, A., Mahalik, N., & Kim, K. (2013). A review on application of technology systems, standards and interfaces for agriculture and food sector. *Computer Standards & Interfaces*, 35(4), 355-364.

Thilakarathne, N. N., Bakar, M. S. A., Abas, P. E., & Yassin, H. (2022). A cloud enabled crop recommendation platform for machine learning-driven precision farming. *Sensors*, 22(16), 6299.

Tsiatsis, V., Karnouskos, S., Holler, J., Boyle, D., & Mulligan, C. (2018). *Internet of Things: technologies and applications for a new age of intelligence*. Academic Press.

Van der Werf, H. M., & Petit, J. (2002). Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 93(1-3), 131-145.

Wang, Y., Lu, Z., Sheng, Y., & Zhou, Y. (2020). Remote sensing applications in monitoring of protected areas. *Remote Sensing*, 12(9), 1370.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming—a review. *Agricultural systems*, 153, 69-80.

Xu, J., Gu, B., & Tian, G. (2022). Review of agricultural IoT technology. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 6, 10-22.

Yengoh, G. T., Dent, D., Olsson, L., Tengberg, A. E., & Tucker III, C. J. (2015). Use of the Normalized Difference

Vegetation Index (NDVI) to assess Land degradation at multiple scales: current status, future trends, and practical considerations. Springer.

