

Tarımda Drone Kullanımı ve Geleceği

Mehmet Metin Özgüven¹ , Ziya Altaş¹ , Derya Güven¹ , Arif Çam¹ 

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tokat

Geliş Tarihi / Received Date: 02.04.2022

Kabul Tarihi / Accepted Date: 18.06.2022

Öz

Tarım, yaşamın sürdürülebilmesi için hayati bir faaliyet alanı olmakla birlikte, tarım dışı diğer sektörlerle hammadde sağlaması, milli gelir ve istihdama katkısı nedeniyle de stratejik bir faaliyet alanıdır. Teknolojinin hızla gelişmesiyle ortaya çıkan yeni teknikler veya cihazların tarımda kullanılması tarımsal uygulamaların daha kolay ve etkin yapılabilmesini sağlamaktadır. Son yıllardaki en popüler teknolojik gelişmelerden biri olan drone'ların tarımda kullanımı yaygınlaşmakta ve yeni uygulama alanlarının da eklenmesiyle daha da popüler hale gelmektedir. Drone'ların popüler olması ve tarımda kullanımı, tarım dışı farklı disiplinlerden olanların da ilgisini çekmektedir. Farklı disiplinlerde olanların tarım konusundaki bazı teknik bilgilerinin yetersiz olmasından dolayı, drone'un tarımda kullanımı ile ilgili yanlış bilgiler veya efektif olmayan kullanımlar da oluşabilmektedir. Bu çalışmada, drone ve bileşenleri, drone'un avantaj ve dezavantajları, drone ile kullanılabilen kamera ve sensörler hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra günümüzde tarımda drone kullanım alanları örnek uygulamalar ile açıklanmış ve gelecekte tarımda drone kullanımı ile öngörüler sunulmuştur. Ayrıca drone'un tarımda kullanımı ile bazı yanlış bilgiler ve efektif olmayan kullanımlar hakkında açıklamalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: tarım, drone, multispektral kamera, hiperspektral kamera, termal kamera

Use of Drones in Agriculture and Its Future

Abstract

Agriculture is both a vital sector of activity for the sustainability of life and strategic field of activity for provides raw materials to non-agricultural sectors and contributes to national income and employment. The use of new techniques or devices in agriculture, which emerged with the rapid development of technology, makes agricultural applications easier and more effective. The use of drones in agriculture, which is one of the most popular technological developments in recent years, has become widespread and its use is increasing even more with the addition of new application areas. The popularity of drones and their use in agriculture also attract the attention of those from different disciplines other than agriculture. Due to the insufficient technical knowledge of those in different disciplines on agriculture, false information or ineffective use of drones in agriculture may occur. In this study, information is given about the drone and its components, the advantages and disadvantages of the drone, the cameras and sensors that can be used with the drone. Then, the use of drones in agriculture today is explained with sample applications and predictions are presented with the use of drones in agriculture in the future. In addition, explanations were made about the use of drones in agriculture, some misinformation and ineffective use.

Keywords: agriculture, drone, multispectral camera, hyperspectral camera, thermal camera

Giriş

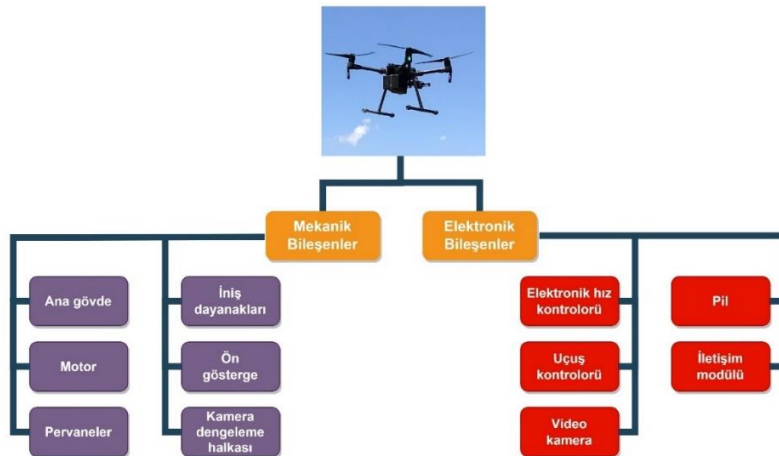
Uzaktan kumanda veya otonom olarak kendi güç sistemiyle çalışabilen, kullanım yerine göre ana gövdesine faydalı yük takılıp çıkarılabilen araçlara İnsansız Hava Araçları (İHA) denilmektedir (Özgüven, 2018). Çeşitli görevlerde kullanılabilen, kompakt yapılı İHA'lar arasında, dikey uçuş yapan araçların havada asılı kalabilme yeteneği ile yatay uçuş yapan araçların uzun menzil avantajlarını birleştiren döner-kanatlı araçlar, hareket kabiliyetleri ve çeşitli görevlere adapte edilebilme özellikleri ile dikkat çekmektedir. Dikey ve yatay uçuşu birleştiren hava araçlarının uçuş kararlılığı, enerji verimliliği ve kontrol edilebilirlik açısından uygun olması nedeniyle daha çok çift döner-rotorlu ve dört döner-rotorlu araçların tasarımı tercih edilmektedir (Çetinsoy vd., 2009). Bu araçlara drone denilmekte olup genel olarak kabul edilmiş bir tasarım olmamakla beraber, ihtiyaç duyulan teknik özelliklere bağlı olarak çeşitli tasarımlar yapılabilmektedir (Tan vd., 2015).

Yenilikçi teknolojilerden biri olan ticari İHA'ların dünyada hızla yaygınlaşması ve hızla değişen kuralları olan yeni bir sektör olması nedeniyle dünya genelinde yasal düzenleyici kanun ve yönetmelikler çıkarılmaktadır. Sensörler, GPS, atalet ölçüm birimleri ve diğer donanımların daha fazla bulunabilirliği ve daha küçük hale getirilmeleri nedeniyle İHA'ların sivil uygulamaları son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Bu teknoloji, İHA'ların altyapı bakım, tarım, madencilik, acil durum müdahalesi, kargo teslimi vb. uygulamalarla ölçü olarak metre altındaki gerçek büyüklüklerde ve otonom olarak denetleme, haritalama, araştırma ve taşımaya kadar uzanan bir yelpazede olmasını sağlamaktadır (Sebbane, 2018). Drone kullanımı arttıkça, ülkeler drone'ları havacılık düzenleme çerçevelerine dâhil etmekte ve bu mevzuatlar sürekli olarak yeniden değerlendirilmektedir. Dünyada her tür İHA için çeşitli düzenleyici standartlar uygulanmaktadır. Ulusal drone düzenlemeleri genellikle aşağıdaki birkaç unsura sahip olma eğilimindedir (Um, 2019):

- Drone ağırlığına, uçuş yüksekliğine ve nüfus yoğunluğuna vb. göre uçuşa kısıtlı bölgeler,
- Profesyonel kullanım durumunda İHA pilot lisansı,
- Profesyonel kullanım durumunda drone kaydı,
- Radyo dalgası düzenlemesi,
- Profesyonel kullanım durumunda sigorta.

Drone'un Bileşenleri ve Çalışma Prensipleri

Drone'un temel bileşenleri mekanik ve elektronik bileşenler olmak üzere ikiye ayrılmakta olup, bu bileşenler Şekil 1'de gösterilmektedir. Tüm bileşenler, drone'un herhangi bir yönde uçabilmesi, manevra kabiliyeti ve stabilitesinin sağlanması, düşük hızlarda uçabilmesi gibi birçok yönden sağladığı avantajlar ile drone'un daha hızlı, ekonomik ve daha verimli çalışmasını sağlamaktadır.



Şekil 1. Drone'un Temel Bileşenleri

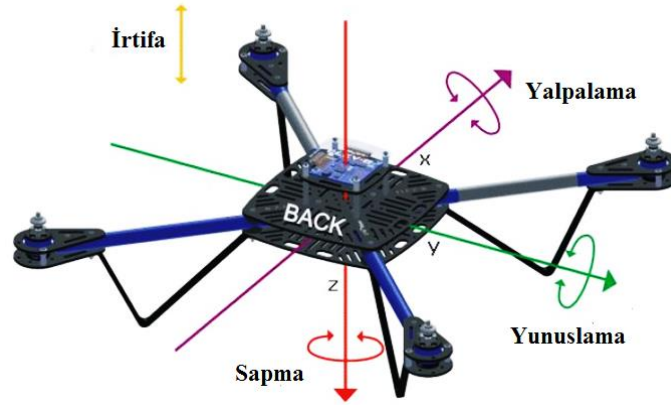
Drone tasarlanırken veya satın alınırken; drone'un kullanım amacına uygun olarak hangi malzemelere ve işlem proseslerine sahip olduğunun bilinmesi, uçuş süresi, uygun kamera seçimi, uçuş modları, kullanım kolaylığı, dayanıklılık ve yedek parça bulunabilirliği gibi hususlara dikkat edilmelidir. Bu şekilde ihtiyaç duyulan teknik özelliklere bağlı olarak çeşitli tasarımlar yapılabilmektedir. Bir drone'u oluşturan bileşenlerin temel özellikleri Tablo 1'de açıklanmıştır.

Tablo 1. Drone'un Temel Bileşenleri ve Özellikleri

Mekanik Bileşenler	Ana gövde	Tüm bileşenleri üzerinde bulunduran iskelet yapısını oluşturmaktadır.
	Pervaneler	Çoğunlukla saat yönü ve saat yönünün tersine dönerek drone'un uzaysal hareketlerini sağlamaktadır.
	Motor	Pervaneleri döndürmek için kullanılan bileşendir.
	İniş dayanakları	Drone'nun yere inmesi sırasında gimbal ve altta bulunan diğer çıkıntıların zarar görmemesi için kullanılan küçük bacaklardır.
	Ön gösterge	Uçuş sırasında operatörün kullanım kolaylığı açısından ön tarafını belirlemek için kullanılır.
Elektronik Bileşenler	Kamera dengeleme halkası (gimbal)	Üzerinde bir video kameranın monte edildiği eksenler etrafında dönebilen bir bileşendir.
	Elektronik hız kontrolörleri (ESC)	Uçuş kontrol cihazının, motorların her birini ayrı ayrı kontrol edebilmesini sağlamaktadır.
	Uçuş kontrolörü	Drone'un beyni olarak görev yapan ve tüm sistemi kontrol etmek için kullanılan parçasıdır.
	İletişim modülü	Yalpalama, yönelme ve yunuslama açıları için pervane hızlanmalarının kontrolü için kullanılır.
	Video kamera	Radyo dalgaları, Wifi, 3G/4G ve RF alıcı vericilerle görüntüleri cep telefonu ya da tablet gibi çeşitli kaynaklara gönderen farklı çözünürlüklerdeki kameralardır.
	Pil	Drone'un güç ihtiyacını sağlayan bileşendir.

Drone kullanımını sınırlayan en büyük dezavantaj pil süresinin yetersiz olmasıdır. Drone pillerinin kullanım süresi genel olarak 20-50 dakika arasında değişmektedir. Pil sorununun çözümü için enerjisini kablolu kullanım ile sağlayan drone'lar geliştirilmiştir. Bu kullanımlarında da kabloların elektrik tellerine veya ağaç gibi çevredeki engellere takılması gibi sorunlar yaşanabilmektedir. Ayrıca drone'un havada şarj edilerek kullanım süresinin uzatılmasına yönelik sistemler üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Bu sistemler de oluşturulan şarj kulelerinde indüksiyonlu bobin ile alternatif elektromanyetik bir alan oluşturulmakta ve drone üzerinde bulunan ikinci bir bobin ile de pil şarj edilmektedir.

Drone'un çalışmasında Şekil 2'de gösterildiği gibi dört temel hareket bulunmaktadır. Dikey harekette, bütün motorların hızları eşit miktarlarda değiştirilerek yerçekimi yenilip drone irtifa kazanarak yükselmektedir. Yerçekimi kuvveti ile eşitlendiğinde havada sabit kalabilmekte veya toplam kaldırma yerçekiminin altına indirilmesiyle irtifa kaybederek alçalma hareketi yapmaktadır. Yalpalama hareketinde, drone x eksenini etrafında dönmekte ve y eksenini boyunca sağ veya sola hareketini sağlamaktadır. Yunuslama hareketinde, drone y eksenini etrafında dönmekte ve x eksenini boyunca ileri veya geri hareketini sağlamaktadır. Sapma hareketinde ise pervane çiftlerinin hızlarının değiştirilmesiyle drone z eksenini etrafında saat yönüne veya tersine dönme hareketini sağlamaktadır (Turgut, 2011).



Şekil 2. Drone'un Temel Hareketleri (Etigowni vd., 2018)

Drone ile Kullanılabilen Kamera ve Sensörler

Drone'lar ile tarımsal faaliyetlerde ortomozaik haritaların oluşturulması, NDVI türetilmesi, bitki özellikleri hakkında bilgi edinilmesi, bitki hastalık ve zararlılarının tespit edilmesi, nem tahmininin yapılması, ürün su stresinin izlenmesi, 3D modelleme yapılması, arazilerin sınıflandırılması, bitki gelişiminin izlenmesi gibi bilgilerin elde edilmesi için çeşitli kamera ve sensörler kullanılabilir. En yaygın kullanılan kamera ve sensörler Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Drone ile Kullanılabilen Kamera ve Sensörler (Lopez ve Pazmany, 2019)

Enstrüman	Sensör Tipi	Mekansal Çözünürlük	Spektral Çözünürlük	Ağırlık
Görünür RGB	Pasif	Çok yüksek 1-5 cm/piksel	Düşük (3 bant)	Düşük <0,5 kg
Yakın Kızılötesi (NIR)	Pasif	Çok yüksek 1-5 cm/piksel	Düşük (3 bant)	Düşük <0,5 kg
Multispektral	Pasif	Yüksek 5-10 cm/piksel	Orta (5-12 bant)	Orta 0,5-1 kg
Hiperspektral	Pasif	Yüksek 5-10 cm/piksel	Yüksek (> 50-100 bant)	Orta 0,5-1 kg
Termal	Pasif	Orta 10-50 cm/piksel	Düşük (1 bant)	Orta 0,5-1 kg
Lazer tarayıcılar (LiDAR)	Aktif	Çok yüksek 1-5 cm/piksel	Düşük (1-2 bant)	Yüksek 0,5-5 kg
Sentetik Açıklıklı Radarlar (SAR)	Aktif	Orta 10-50 cm/piksel	Düşük (3 bant)	Yüksek >5 kg

Tablo 2 incelendiğinde, RGB, yakın kızılötesi ve multispektral gibi görüntüleme sensörlerinin pasif sensör tipinde, LiDAR, SAR gibi mesafe sensörlerinin ise aktif sensör tipinde olduğu görülecektir. Drone'da kullanılan sensörlerin faydalı yüklerinin görüntüleme sensörlerinde genel anlamda ağırlıklar orta düzeyde, mesafe sensörlerinde ise yüksek düzeydedir. Ayrıca hem görüntüleme hem mesafe sensörlerinin düşük mekânsal çözünürlükte olduğu görülmektedir. Bunların dışında drone'da sıcaklık, basınç, rüzgar, nem gibi atmosferik sensörler, gaz gibi kimyasal sensörler, ultrason, kızılötesi, radyo frekansı, GPS gibi konum sensörleri, mikrofon vb. sensörler kullanılabilir.

Görünür Işık Sensörleri (RGB)

İnsan gözünün kırmızı, yeşil ve mavi ışık bantlarına duyarlı olduğu bilinmektedir. RGB sensör, görüntüyü insan gözünün elektromanyetik spektrumdan dar bir bant olan bu RGB renklerini gördüğü şekilde yakalamaktadır. Tarım uygulamalarında drone'lar ile en çok kullanılan sensör olup, hafif ve ekonomik açıdan nispeten uygundur. RGB sensörler ile tek bir örnekte tüm alanın görüntüleri ve hava videolarının yakalandığı ortomozaik haritalar oluşturulabilmektedir. Böylelikle, daha hızlı gözlem yapılması sağlanmakta ve bir sorun olması durumunda tüm alanı etkilemeden problemin köküne inilebilmektedir

(Singh ve Singh, 2020). Ayrıca değişen hava koşullarında, tarımsal faaliyetlerin verimli ve etkili bir şekilde ayrıntılı olarak incelenmesine yardımcı olmaktadır (Maddikunta vd., 2021).

Yakın Kızılötesi (NIR) Sensörler

Yakın kızılötesi (NIR) sensörleri, insan gözünün daha az hassas olduğu 750 ila 2600 nm ışık bant aralığında bilgi toplamaktadır. Bu elektromanyetik aralığın, bitki örtüsü hakkında bilgi edinmede iyi bir korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir. Bitki örtüsü stresi, klorofil içeriği vb. bitki özellikleri hakkında bilgi toplamak için NIR'in dar bir aralığı olan kırmızı kenar (yaklaşık 680-730 nm) kullanılarak çeşitli indeksler elde edilebilmektedir. NIR sensörler tarımsal amaçla, Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Yeşil Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (GNDVI) ve Gelişmiş Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) gibi Bitki İndekslerini (VI'lar) türetmek için kullanılabilir (Mihalache vd., 2021; Milics, 2019).

Multispektral Sensörler

Multispektral sensörler tipik olarak görüntülenen sahnenin spektral yansımaları yakalamak için kullanılmaktadır. Orijinal olarak uzay tabanlı görüntüleme için geliştirilmiş bir teknolojidir ve görsel menzile sınırlı değildir. Aynı zamanda sensörün tepki aralığına bağlı olarak ultraviyole, yakın kızılötesi ve kızılötesi spektrumda da uygulanabilmektedir. Drone ile kullanılan en yaygın sensörlerden biri olan multispektral sensörler tarımda bitki gelişiminin takibi ve ürün sağlığı analizinin yapılması, vejetatif biyokütlenin hesaplanması, bitki hastalık ve zararlıları ile yabancı otların erken tespitinde kullanılabilir (Li vd., 2021; Maddikunta vd., 2021).

Hiperspektral Sensörler

Hiperspektral sensörler, hedef nesnelerin farklı ölçeklerde ayrıntılı ve yüksek oranda çözülmüş yansıtma özelliklerini oluşturan, invazif (yayılan zararlı etki) olmayan bir yöntemdir. Hedeften yansıyan ışık, iki boyutlu bir görüntünün yüksek spektral ve uzaysal çözünürlüğü ile kaydedilmektedir. Hiperspektral görüntülerde her piksel spektral imza olarak adlandırılan belirli dalga boyları için hedefin yansıtma değerlerini içeren yüzden fazla ardışık banda sahiptir. Bu sensörler tarımda lezyon tespiti, nem tahmini, asitlik seviyelerinin tahmin edilmesi, toprak yapısının belirlenmesi ve toprak kalitesinin değerlendirilmesi, alana özgü gübreleme ve bitki koruma uygulamalarında kullanılabilir (Behmann vd., 2018; Jensen, 2006).

Termal Sensörler

Termal sensörler, nesnelere tarafından yayılan kızılötesi radyasyonun algılanmasına ve sıcaklığın dijital bir radyometrik görüntüde gösterilmesine olanak sağlamaktadır. Bir hedefin termal parlaklığı, arka plandan ayırt edilebildiğinde tespit edilmesi daha kolay olmaktadır. Termal kameralar, dalga boylarıyla ilgili radyasyonları algılamakta ve bu süreçte ısı üreten gri tonlamalı görüntüye dönüştürmektedir (Allred vd., 2020). Daha sıcak görüntülerin sarı, daha soğuk görüntülerin mavi renkle sunulduğu renkli görüntüler üretebilen yöntemler de bulunmaktadır. Tarımda bitki su stresi izleme, bitki hastalığı tespiti, fenotiplenme, verim tahmini ve bitki örtüsü durumu izleme amaçlarıyla kullanılmaktadır (Maddikunta vd., 2021; Messina ve Modica, 2020).

LiDAR

LiDAR, lazer ışınlarıyla bir nesne veya bir yüzeyin uzaklığının belirlenmesini ve ölçülen alanın 3 boyutlu (3D) nokta bilgilerinin çok kısa zamanda, istenilen aralıkta ve yüksek doğrulukta elde edilmesini sağlamaktadır (Özgüven, 2018). LiDAR ile bitki tanımlama ve tespiti, yeşil alan indeksi, bitki büyüme değişkenliğinin belirlenmesi, ürün gelişiminin takibi, konumların belirlenmesi, 3D modelleme, toprak yüzey pürüzlülüğünün tahmini, otonom tarım araçlarının kontrolü, kanopi hacmi belirleme, arazi sınıflandırması gibi tarımsal uygulamalar yapılabilmektedir (Uygun vd., 2019).

Sentetik Açıklıklı Radarlar (SAR)

Sentetik Açıklıklı Radarlar (SAR) yüksek çözünürlüklü yeryüzünü görüntüleme ve hareketli alan tespitli bir radar sistemidir. SAR sistemlerinin diğer görüntüleme sistemlerine göre en önemli avantajı mikrodalga frekanslarında çalışmasıdır. Böylece her türlü hava koşullarında, aydınlatma kaynağını kendi sağlayıp gece/gündüz yüzeyin elektriksel ve geometrik özelliklerini gösteren bir görüntüleme sağlamaktadır. Tarımda toprak nemi değişkenliğinin haritalanması, yabancı otların tespit edilmesi, bitki gelişimlerinin izlenmesi, verimliliğin tahmin edilmesinde kullanılabilir (Kılıçoğlu ve Şengün, 2007; Moreira vd., 2019).

Tarımda Drone Kullanımı

Tarım, önemli bir sektör olmakla birlikte hayatın devamlılığı için zorunlu ve stratejik bir faaliyettir. Dünya nüfusunun ve kentleşmenin hızla artması nedeniyle tarımsal alanlar azalmakta ve böylece kişi başına düşen tarım arazisi ve su gibi doğal kaynaklar azalmaktadır (Özgüven ve Közkurt, 2021). Tarımsal üretimin öncelikli hedefi, bitkisel ve hayvansal üretimde ekonomik, sürdürülebilir ve üretken işletmeciliğin sağlanmasıdır. Bu amaçla tarımda çeşitli konularda teknoloji kullanılmasıyla, tarımsal işlemlerin kolaylaştırılması ve çözüm veya iyileştirme bekleyen sorunlara alternatif çözümler geliştirilmektedir (Özgüven, 2018). Tarım sektörü ekonomik, sosyal, yapısal ve iklimsel sorunlardan olumsuz etkilenmektedir. Bu sorunlardan bazıları küresel piyasa dalgalanmaları, ekonomik krizler, iklim değişikliği sonucu ortaya çıkan kuraklık, hortum ve seller, hastalıklar, tarım ürünlerinin biyoyakıt gibi alternatif kullanım alanlarının ortaya çıkması, tarımsal arazilerinin madencilik faaliyetleri gibi amaç dışı kullanılması, su gibi doğal kaynakların azalması ve genç nüfusun köylerden kentlere göç etmesi sonucu köydeki yaşlı nüfusun artması sayılabilmektedir. Bu nedenle tarımsal üretimde teknoloji kullanımı ve genetik yöntemlerle verimliliğin artırılması zorunlu hale gelmiştir (Özgüven, 2020; Özgüven vd., 2020).

Tarımsal üretimde verimliliğin ve ürün kalitesinin artırılması, bitkilerin gelişim sürecinin iyi takibine ve gerekli uygulamaların zamanında yapılmasına bağlıdır. Basit teknik yapısı ve kolay kullanımı olan drone'lar üzerine yerleştirilen sensörler ve kamera ile yüksek çözünürlükte fotoğraflar yakalanmakta ve 3 boyutlu haritaların oluşturulmasıyla tarımsal faaliyetlerde çiftçilere planlama imkânı sunmaktadır (Tan vd., 2015). Böylelikle tarımsal faaliyetlerle ilgili hem güncel veriler toplanabilmekte hem de üretimde verimlilik sağlanabilmektedir. Şekil 3'te tarımda drone kullanımının sağladığı avantaj ve dezavantajlar özetlenmiştir.



Şekil 3. Drone'un Tarımda Sağladığı Avantaj ve Dezavantajlar

Bitkilerin su istekleri çoğunlukla yağış, sıcaklık gibi meteorolojik verilere bağlı olmakla birlikte bitkiden bitkiye de farklılık göstermektedir. Örneğin mısır bitkisinin su tüketimi yetiştirilen bölge ve gelişme dönemlerine göre farklılık gösterse de genellikle ortalama 550-600 mm civarındadır. Bu değer 1 da alanda mısırın sulanması için 550-600 ton suya karşılık gelmekte ve yetiştirme sezonunda 10 kez sulama yapıldığı düşünüldüğünde her sulamada verilecek su miktarı yaklaşık 55-60 ton/da olmaktadır. Bu nedenle drone ile 1 da alanda bile bu miktarda sulamanın yapılması mümkün gözükmemektedir. Ayrıca bu konuda bilinmesi gereken önemli diğer bir konu ise sulama suyunun bitkinin kök bölgesine verilmesidir. Drone'un yerden yüksekliği ve rüzgâr gibi çevresel faktörlerin varlığı da düşünüldüğünde drone ile bu uygulamanın da yapılması mümkün görülmemektedir. Ayrıca drone ile yapılacak bir sulamanın bitki yapraklarındaki nemi arttırması sebebiyle, bitkide fungal ve bakteri hastalıklarının oluşma ihtimalini arttırmaktadır.

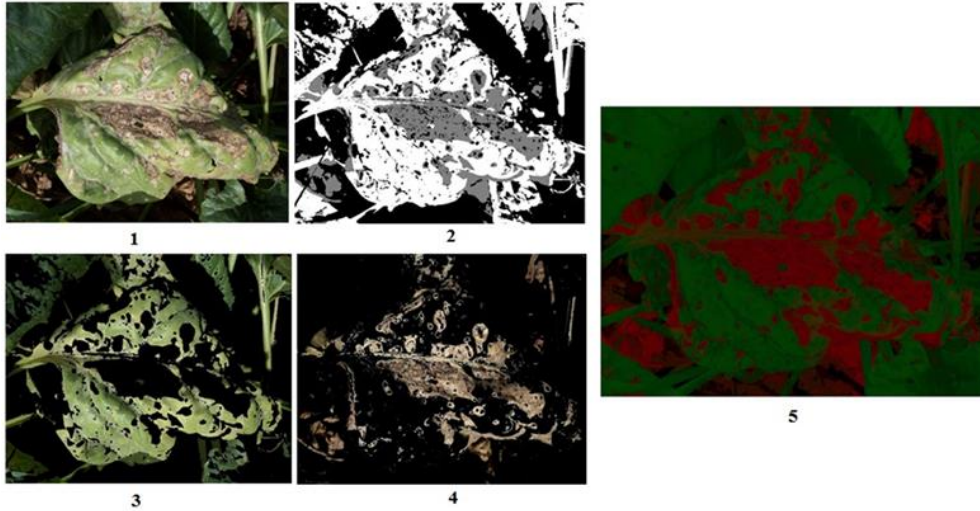
Tarımda drone kullanılmasıyla hastalık ve zararlı tespiti, pestisit ve gübre uygulamaları, yabancı ot tespiti, verim tahmini, bitki streslerinin belirlenmesi, ürün gelişiminin takibi, bitki türleri ayırma, tohum ekimi, fenolojik özelliklerin belirlenmesi, su yönetimi uygulamaları, sürü yönetimi gibi birçok konuda çalışmalar yapılmıştır. Tablo 3'te araştırmacılar tarafından drone ile yapılan bazı tarımsal çalışmalar özetlenmiştir.

Tablo 3. Drone'un Tarımda Uygulama Örnekleri

Hastalık Tespiti	Altas ve ark., 2018; Su ve ark., 2018; Kitpo ve Inoue, 2018; Altaş ve ark., 2019; Kerkech ve ark., 2020; Syifa ve ark., 2020
Pestisit ve Gübre Uygulamaları	Meivel ve ark., 2016; Yallappa ve ark., 2017; Garre ve ark., 2018; Babu ve ark., 2020; Chen ve ark., 2021
Ürün Gelişimi İzleme ve Bitkilerin Sınıflandırılması	Buters ve ark., 2019; Ore ve ark., 2020; D'Odorico ve ark., 2020; Maimaitijiang ve ark., 2020; Neumann ve ark., 2020; Matsuura ve ark., 2020; Fawcett ve ark., 2020
Yabancı Ot Tespiti	Gašparović ve ark., 2020; Parra ve ark., 2020; Skacev ve ark., 2020; Mattivi ve ark., 2021
Verim Tahmini	Reza ve ark., 2019; Stavrakoudis ve ark., 2019; Apolo-Apolo ve ark., 2020; Tao ve ark., 2020
Su Yönetimi Uygulamaları	Gago ve ark., 2015; Zhang ve ark., 2019; Dantas ve ark., 2020; Jin ve ark., 2021
Sürü Yönetimi	Sarwar ve ark., 2018; Vayssade ve ark., 2019; Li ve Xing, 2019; Andrew ve ark., 2020; Xu ve ark., 2020

Bitki Hastalık Tespiti

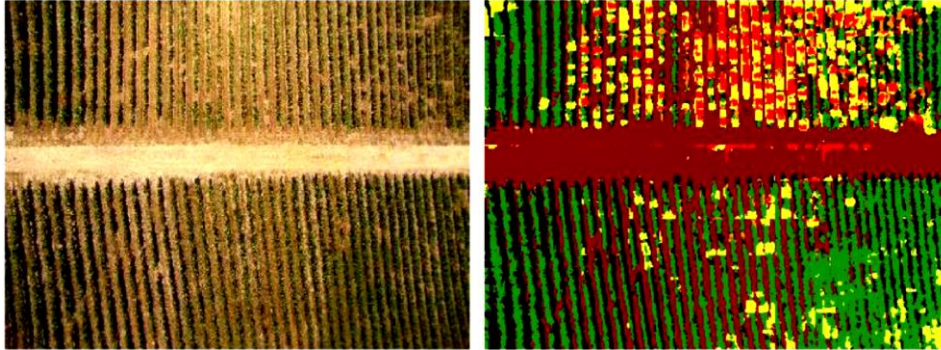
Altaş vd. (2018), yaptıkları çalışmada drone kullanılarak şeker pancarı tarlasından alınan görüntülerin geliştirilen görüntü işleme algoritmaları ile yaprak lekesi (*Cercospora beticola* Sacc.) hastalığının olup olmadığı, hastalık var ise hastalığın hangi düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Bu amaçla, araziden farklı zamanlarda ve farklı doğal aydınlanma koşullarında drone ile 30-60 cm arasındaki yüksekliklerde çekilen ve hastalığın farklı gelişim düzeylerini gösteren 12 adet görüntü MATLAB programının görüntü işleme araç kutusu kullanılarak işlenmiştir. Görüntü işleme teknikleri kullanılarak yapılan çalışma sonuçlarının uzman değerlendirmeleri ile karşılaştırıldığında gözlemlenemeyecek hassasiyette, hastalıklı alanın kesin değerini verdiği belirlenmiştir. Görüntü işleme tekniğiyle yaprak leke hastalığının tespit edilmesi Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Yaprak Leke Hastalığı

Tespiti 1: Orijinal görüntü, 2: Piksel etiketleme, 3: Yeşil segment, 4: Kahverengi segment, 5: Kontrast geliştirme (Altaş vd., 2018).

Kerkech vd. (2020) drone üzerine yerleştirilmiş RGB ve multispektral kameralardan elde edilmiş görüntüler ile bağda mildiyö hastalığı tespiti üzerine yaptıkları çalışmada, RGB ve kızılötesi görüntülerin kombinasyonuna dayanan bir yöntem ile hastalık haritaları çıkarılmıştır. Çalışmada her bir pikseli gölge, zemin, sağlıklı ve semptom olmak üzere farklı örneklere göre sınıflandırmak için derin öğrenme yöntemiyle segmentasyon uygulanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen hastalık haritaları ile bitkide %92 ve yaprakta %87 doğruluk oranı ile hastalığın tespit edildiğini bildirmişlerdir. Elde edilen bir mildiyö hastalık haritası Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Mildiyö Hastalık Haritası (Kerkech vd., 2020)

Şekil 5 incelendiğinde yeşil ile gösterilen pikseller sağlıklı alanları, kahverengi ile gösterilen pikseller toprağı (zemini), siyah ile gösterilen pikseller ise gölge alanları temsil etmektedir. Ayrıca bağ mildiyösünün semptomları RGB için sarı pikseller, kızılötesi için turuncu pikseller ve bunların kesiştiği pikseller ise kırmızı ile temsil edilmektedir.

Bitki Zararlısı Tespiti ve Pestisit Uygulaması

Chen vd. (2021) yaptıkları çalışmada meyve ağaçlarında zararlıların ve pestisit uygulanacak alanları belirlemişlerdir. Çalışmada, drone ile alınan zararlı görüntüleri, ağ üzerinden meyve bahçesine kurulan NVIDIA Jetson TX2 gömülü sistemine gönderilmektedir. TX2, zararlıların gelişim aşamalarını ve konumlarını gerçek zamanlı olarak tanımaktadır. Zararlıların konumları, en uygun pestisit pülverizasyonunun yolunu planlamak için kullanılmaktadır. Şekil 6'da zararlılar tespit edildikten sonra pestisit uygulanacak alanlar gösterilmektedir.

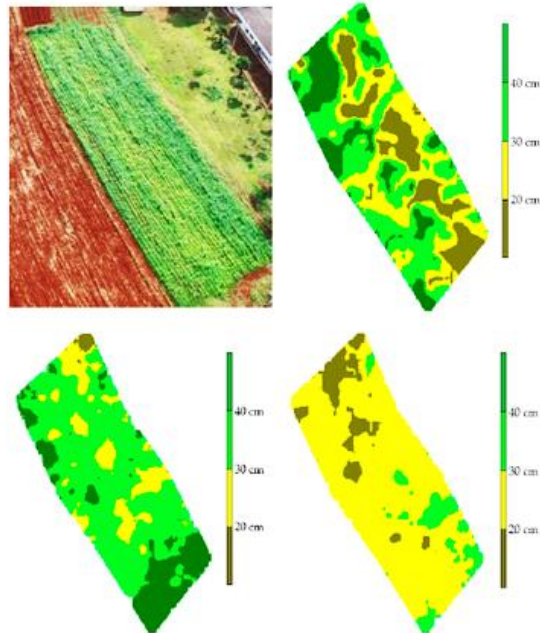


Şekil 6. Pestisit Uygulanacak Alanlar (Chen vd., 2021)

Şekil 6'da görüldüğü gibi zararlıların konumları belirlendikten sonra zararlıların bulunduğu yerden 5 metrelik bir yarıçapta pestisit uygulanması gereken alanlar sarı noktalı dairelerle işaretlenmektedir. Kırmızı yıldızlar ise, drone'un her uçuş sırasında konumlandırma ve kalibrasyonu için koordinat noktaları olarak kullanılmaktadır.

Bitki Gelişimi İzleme

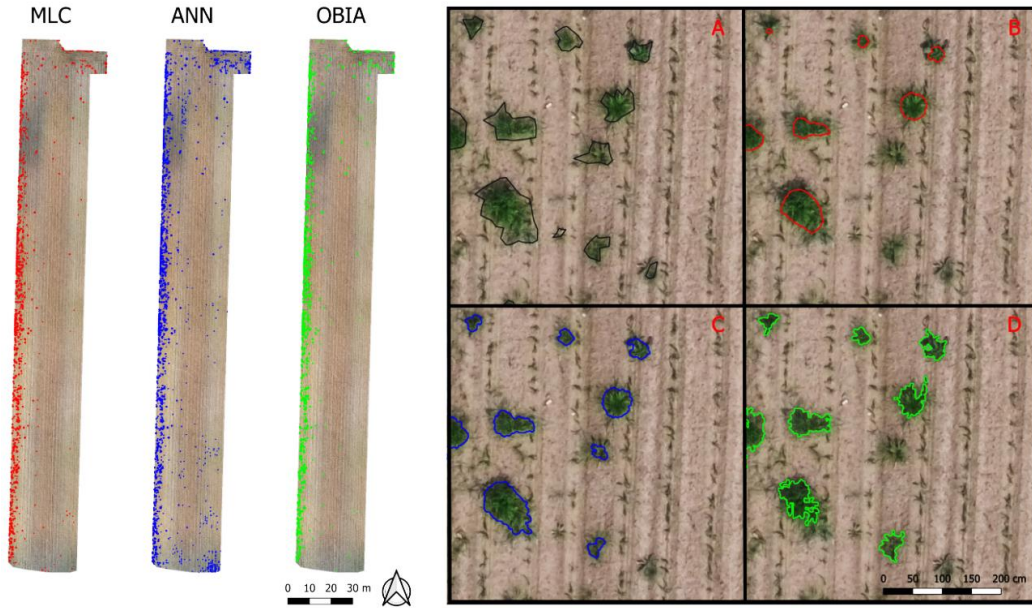
Ore vd. (2020) tarafından mısır bitkisinin büyüme tahmini için model oluşturulması ve büyüme haritasının hazırlandığı çalışmada, SAR ile donatılmış drone kullanılmıştır. SAR, aynı uçuş yolunu takip eden farklı zamanlarda iki uçuş arasındaki arazi yüksekliği yer değiştirmesi hakkında bilgi sağlamıştır. Araştırmacılar, SAR ile veri toplama işleminde öncelikle zemin ve radyometrik kalibrasyon için test alanına üç köşe reflektörü monte etmişlerdir. Ardından GNSS yer istasyonunu drone'nun başlangıç konumuna yakın bir yere yerleştirilip GNSS kaydı başlatılmış ve büyüme haritalarını oluşturmak için dairesel bir uçuş modeli seçmişlerdir. Radar açıldıktan sonra drone 120 m yükseklikten aynı dairesel uçuş rotası takip edilerek farklı tarihlerde uçurulmuştur. Bu şekilde dairesel uçuşlardan elde edilen yansıtma görüntüleri 30x30 cm örnekleme kullanılarak geri projeksiyon algoritması ile işlenmiş ve bitki büyüme haritası üretilmiştir. Üç farklı tarih aralığında elde edilen mısır bitkisi büyüme haritaları Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Mısır Bitkisi Büyüme Haritaları (Ore vd., 2020)

Yabancı Ot Tespiti

Mattivi vd. (2021) mısır bitkisinde yabancı otun mekânsal dağılımını belirlemek ve haritalamak amacıyla yaptıkları çalışmada, düşük maliyetli küçük bir ticari drone kullanmışlardır. Yer seviyesinden 35 m yükseklikten 120 coğrafi referanslı fotoğraf elde etmişlerdir. Araştırmacılar, elde edilen görüntüleri yabancı otun tespit edilmesi için üç farklı yöntemle işlemişlerdir. Bu yöntemler Maksimum Olabilirlik Sınıflandırıcısı (MLC), SAGA GIS'de uygulanan OpenCV kütüphanesinin Yapay Sinir Ağı modeli (ANN), Nesne Tabanlı Görüntü Analizi (OBIA)'dir. Şekil 8'de bu üç yöntem ile elde edilen yabancı ot haritaları gösterilmiştir. Çalışma sonucunda tarlada bulunan yabancı otlar ANN yöntemi için %99.55, MLC yöntemi için %99.50 ve OBIA yöntemi için %99.38 doğrulukla başarılı bir şekilde haritalanmıştır. Ayrıca oluşturulan haritalardan, alana özgü yabancı ot yönetimi için reçete haritası oluşturulmuştur.



Şekil 8. Solda; MLC, ANN ve OBIA Yöntemi ile Elde Edilen Yabancı Ot Haritaları ve Sağda; Haritaların Detayı

A) Referans Verileri, B) MLC, C) ANN, D) OBIA (Mattivi vd., 2021).

Şekil 8'de solda gösterilen haritalar oluşturulurken öncelikle sisteme yarı otomatik sınıflandırma yapılarak bitki, yabancı ot ve toprak referans verileri manuel olarak tanımlanmıştır. Daha sonra 3 yöntem de oluşturulan algoritmalar ile Şekil 7'de harita detaylarında gösterildiği gibi manuel işaretlenen yabancı ot referans verileri tespit edilip özellikleri çıkartılmış ve sınıflandırılmıştır.

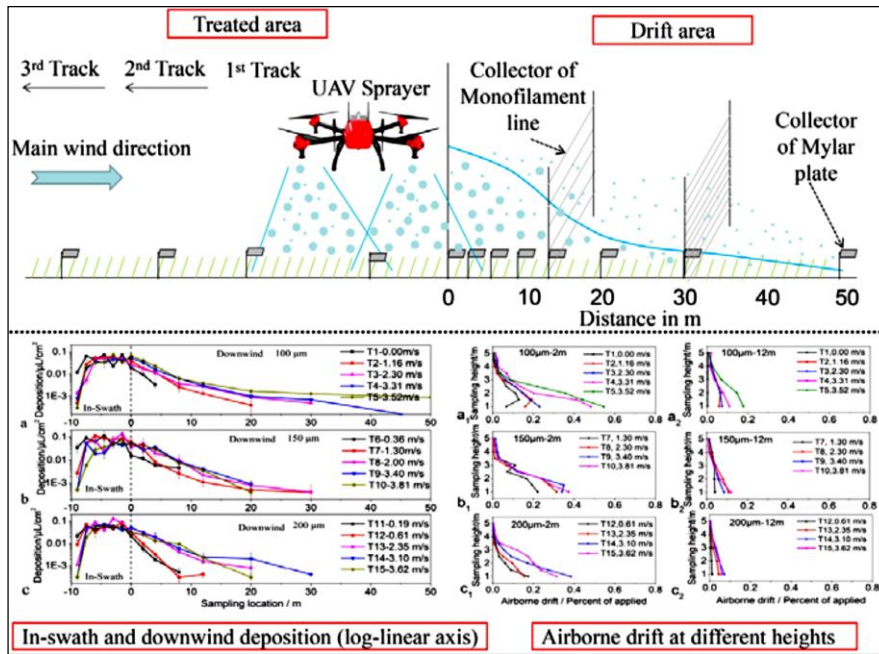
Tarımsal İlaçlama

Tarımda drone'un kullanıldığı en yaygın uygulama tarımsal ilaçlamadır. Günümüzde geliştirilen ilaçlama drone'ları ve yapılan tarımsal ilaçlama uygulamalarında önemli bazı eksikliklerin olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle aşağıda belirtilen konuların ilaçlama drone'u geliştirilmesinde ve sahadaki ilaçlama uygulamalarının başarılı ve etkin yapılabilmesi için dikkate alınmasının gerekli olduğu düşünülmektedir:

- İlaçlama için bilinmesi gereken temel kural, hastalık, zararlı ve yabancı otların mücadelede ilaçlama yapılan yüzeye etkili dozlarda ilacın temas etmesinin sağlanmasıdır. Bu nedenle başta ilaç damlacık çapı olmak üzere ilaç normu, damla çapı, damla sıklığı, damla değme açısı ve kaplama oranı önemlidir,
- Gerekli miktarda ilacın uygulanabilmesi için meme sayısı, meme tipi, püskürtme deseni (içi boş konik, içi dolu konik ve düz yelpaze hüzmeli), meme aralıkları, meme eğim açısı, hüzmeye açısı, çalışma basıncı ve ilaçlama sırasındaki meme yüksekliğinin uygun olması sağlanmalıdır,

- İlaçlama dağılım düzgünlüğünün homojen yapılması ve ilaçlama dozlarının ilaçlama boyunca sabit kalması sağlanmalıdır,
- İlaçlama zamanı, atmosferik koşullar ve ilerleme hızı ilaçlama başarısı için önemlidir. Bu nedenle rüzgârsız havada ve günün serin saatleri olan sabah erken saatlerde veya öğleden sonra akşama doğru yapılmalıdır. İlaçlamaya başlamadan önce uygun ilaçlama hızı belirlenmelidir.

Wang vd. (2020) tarımsal ilaçlamada küçük ve çok küçük çaplı damlacıklar kullanan düşük hacimli İHA uygulamaları kullanım kolaylığı ve yüksek verimli çalışmasından dolayı yaygın kullanılmaya başlandığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar, İHA uygulamalarıyla ilaçlama sırasında ilaç sürüklenmesi olup olmadığının belirlenmesi ve gerçek tarla koşullarında farklı rüzgar hızlarına maruz kalan santrifüj memelerle donatılmış ticari bir kuadkopter'den 100, 150 ve 200 μm 'lik üç farklı hacim medyan çapının sürüklenme potansiyelini karşılaştırmak için bir çalışma yapmışlardır (Şekil 9). Çalışma sonucunda, sürüklenme miktarının rüzgar hızının artması ve medyan çapının azalmasıyla arttığı, tarla testlerinde 12 m rüzgar yönündeki sürüklenmenin kaplaması, ot namlusu bölgesi içindeki ortalama kaplama ile karşılaştırıldığında bir miktar azaldığının bulunduğu, 50 m rüzgar yönüne doğru neredeyse tüm ilaçların sürüklenme kaplaması, 0.0002 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ 'lik algılama sınırlarından daha düşük bulunduğunu bildirilmiştir.

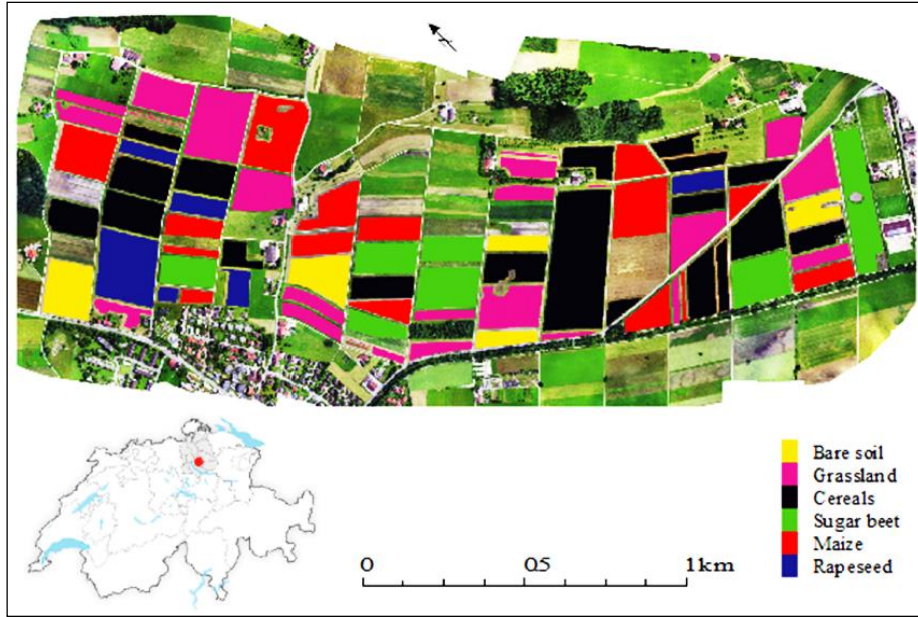


Şekil 9. İHA ile Tarımsal İlaçlamada Sürüklenmenin Belirlenmesi Çalışmasının Sonuçları (Wang vd., 2020)

İnan ve Karcı (2021), yaptıkları çalışmada drone ile tarımda ağaç ilaçlama üzerine yeni bir yöntemin geliştirilmesini ve uygulanmasını amaçlamışlardır. Önerilen yöntemde drone'dan alınan görüntüler Python ortamına aktarılarak OpenCV Kütüphanesi yardımıyla Warp Perspective işlemi uygulanmıştır. Bu işlemin sonunda perspektif görüntüler elde edilmiştir. Bu görüntüler üst üste bindirilerek ResNet 50 evrişimli sinir ağına (CNN) sahip DeepForest kütüphanesi yardımıyla ağaçların tespiti sağlanmıştır. Elde edilen ağaç skorlarına göre ağaçların bulunduğu yerler dikdörtgen bir alan içine alınarak orta nokta tespitleri yapılmıştır. Orta noktaları tespit edilmiş ağaçlara bir isimlendirme verilerek, ağaçların birbirlerine göre komşulukları tespit edilmiştir. Tespit edilen komşuluklara göre bu ağaçların kapsama ağacı (spanning tree) oluşturularak algoritmaya parametre olarak verilip ağacın (Kmax) baskınlık değerleri tespit edilmiştir. Bu baskınlık değerine göre optimum bir rota planlaması çıkarılarak drone'a hangi ağaçtan başlayıp, sırasıyla hangi ağaçlar üzerinden gezinti yapılacağına karar vermesi sağlanmıştır.

Bitkilerin Sınıflandırılması

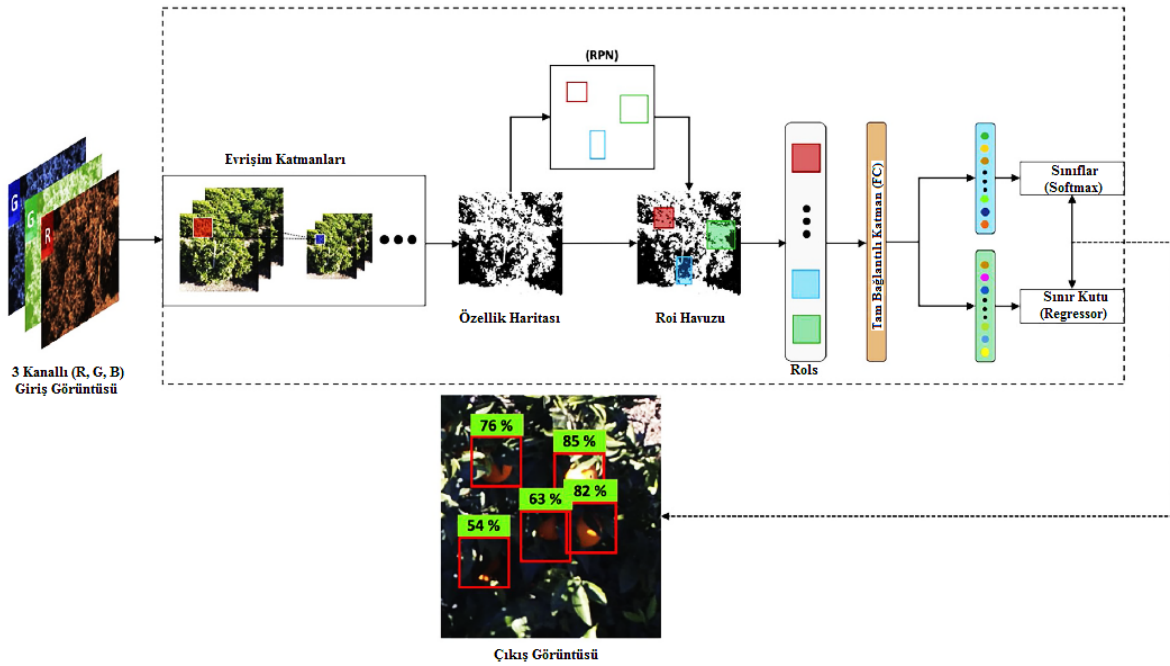
Böhler vd. (2020), İHA kullanılarak elde edilen yakın kızılötesi (NIR) Kırmızı Yeşil Mavi (NIR-RGB) bant veri setlerinden elde edilen spektral ve dokusal özellikleri ve Airborne Prism Experiment (APEX) tarafından edinilen 2 m uzamsal çözünürlüğe sahip 399 nm ile 2431 nm arasında 173 spektral bant kullanılan bir görüntüleme spektroskopisi (IS) veri seti içeren bir çalışma yapmışlardır (Şekil 10). Çalışmada bitkilerin ayırt edilebilmesi için bu veri kümelerinin hem tek başına hem de kombinasyonun kullanıldığı, rastgele orman temelli bir yöntem ile analiz edildiği ve özellik faktör yüklemesine dayalı farklı bant azaltma yöntemlerinin analiz edildiği bildirilmiştir. Çalışma sonunda en doğru bitki ayırma sonuçlarının, hem IS veri kümesi hem de iki birleştirilmiş veri kümesi kullanılarak, %92'lik bir ortalama doğruluk ile elde edildiği, IS özellikleri sayısının (yani dalga boylarının) azalması durumunda, doğruluğun ek NIR-RGB doku özellikleri kullanıldığında %90 olduğu sonucunun elde edildiği rapor edilmiştir.



Şekil 10. İHA'ya Takılan RGB Kamera ve IS ile Elde Edilen Veri Setlerinin Üst Üste Bindirilmesi ile Bitkileri Sınıflandırıldığı Çalışma Alanı (Böhler vd., 2020)

Meyve Verim Tahmini

Apolo-Apolo vd. (2020) tarafından portakal veriminin tahmini için yapılan çalışmada, derin öğrenme tekniklerini kullanarak ağaçlardaki meyvelerin boyutunun tespit edilmesi, sayılması ve tahmin edilmesi için otomatik bir görüntü işleme metodolojisi geliştirilmiştir. Bu amaçla bir turuncgil bahçesinden rastgele seçilen beşerli gruplar halinde toplam 20 ağaçtan drone ile görüntüler alınmıştır. Hasattan iki hafta önce drone düşük irtifada ağaç sıraları arasında uçurularak sol ve sağ taraftan birer tane olmak üzere ağaç başına iki fotoğraf çekilmiştir. Araştırmacılar elde edilen görüntülerdeki portakalları algılamak için Faster R-CNN modelini eğitmişlerdir. Şekil 11'de meyve verim tahminde kullandıkları Faster R-CNN mimarisi gösterilmiştir. Çalışma sonucunda görsel sayım ile modelin meyve tespiti arasında ortalama %6.59 standart hata (SE) elde edildiğini ve eğitilmiş modelin F1-puanı (F1) %89'dan daha büyük değer sergileyerek yüksek düzeyde doğrulukla tahmin ettiği bildirilmiştir.

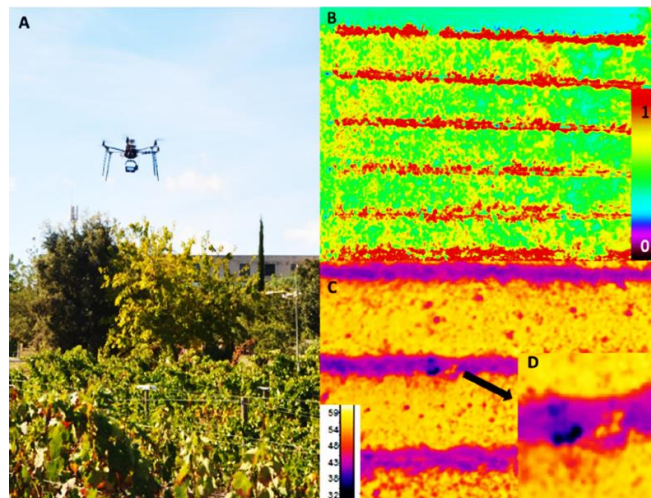


Şekil 11. Faster R-CNN Mimarisi (Apolo-Apolo vd., 2020)

Şekil 11’de gösterilen mimari modelde ilk olarak bir portakal ağacının RGB görüntüsü sisteme girilmektedir. Daha sonra Faster R-CNN, bir CNN kullanılarak görüntüden özellik haritaları çıkarılmakta ve ardından bu haritaların, nesne önerilerinin döndürüldüğü bir bölge teklif ağı (RPN) üzerinden geçirilmektedir. Son olarak haritalar sınıflandırılmakta ve portakalları çevreleyen sınırlayıcı kutular ile tahmin gerçekleştirilmektedir.

Su Stresi Yönetimi

Gago vd. (2015) tarafından bağ alanlarında su stresi yönetimi için yapılan çalışmada, drone ile bir bağdan NDVI, TCARI/OSAVI (Normalleştirilmiş Yansıma İndeksinde Dönüştürülmüş Klorofil Absorpsiyonu/Optimize Edilmiş Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi) ve PRI_{norm} (Fotokimyasal Yansıma İndeksi) gibi çeşitli yansıtma indeksleri elde edilmiştir. Bu yansıtma indekslerin su potansiyeli ve stoma iletkenliği gibi su stresi göstergeleriyle ilgili pozitif korelasyonlar gösterdiği bildirilmiştir. Araştırmacılar kuraklığın stomaların kapanmasını teşvik ettiğini bu yüzden bitkinin terlemesi ve buharlaşmayla da soğuması azalırken yaprak sıcaklığının arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca bu gibi durumlarda su stresini tespit etmek için termal görüntülerden faydalanılabileceğini raporlamışlardır. Şekil 12’de çalışmada kullandıkları NDVI ve termal görüntü kalibrasyonu ile su stresinin belirlenmesi gösterilmiştir.

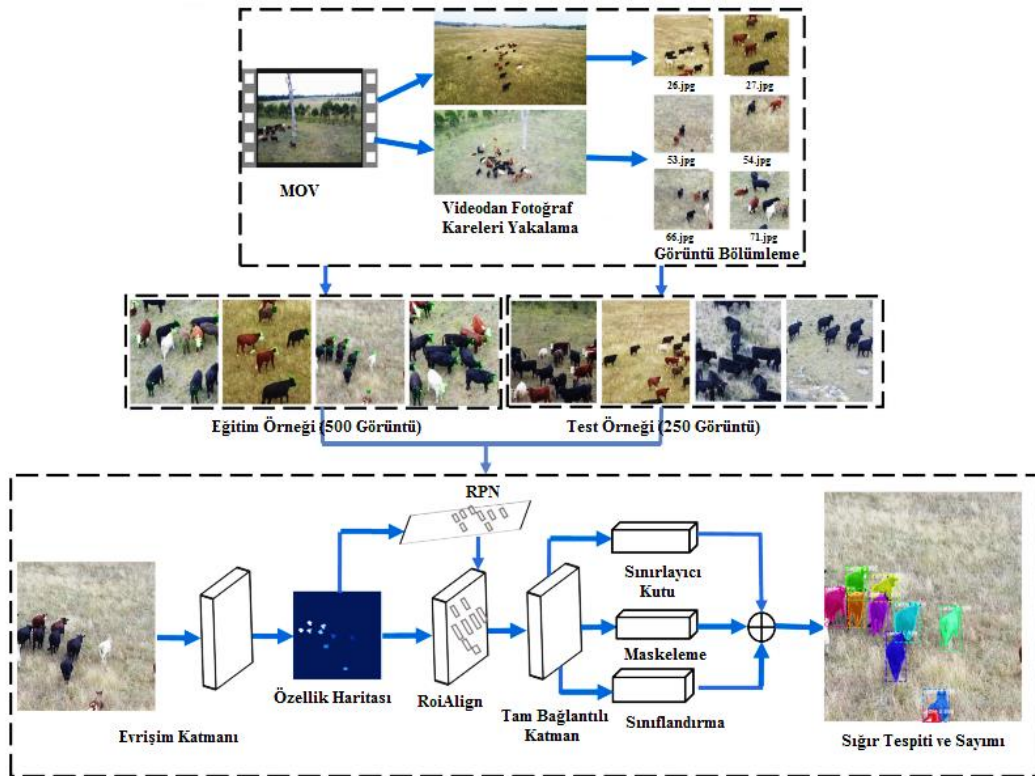


Şekil 12. Su Stresinin Belirlenmesi (Gago vd., 2015)

Şekil 12 A'da çalışmada kullanılan drone ve bağ alanından bir görüntü ve Şekil 12 B'de ise NDVI kamera ile alınan renkli mozaik görüntü verilmiştir. Şekil 12 B'de gösterilen kırmızı renkler sıralar ve sarı renkler sıra aralarıdır. Şekil 12 C'de termal kamera kalibrasyonu sonucu elde edilen termal görüntü kompozisyonu, Şekil 12 D'de ise parlak ve koyu renklerde görülebilen kuru ve ıslak yaprak referanslarının detayı gösterilmektedir.

Sürü Yönetimi

Xu vd. (2020) yaptıkları çalışmada, bir kuadkopter kullanarak çiftlik hayvanlarının tespit edilmesi ve sayılması için Mask R-CNN uygulaması kullanmışlardır. Çalışmada, veri setlerinin oluşturulması için kullanım kolaylığı göz önünde bulundurularak sığırların açık alanda videoları çekilmiş ve MOV formatında kaydedilmiştir. Videolardan fotoğraf kareleri yakalanarak çok sayıda görüntü elde etmişlerdir. Daha sonra derin öğrenme modeli olan Mask R-CNN uygulamasıyla görüntüleri işlemişlerdir. Sığır bulma ve sayma algoritmasının yapısı Şekil 13'te gösterilmektedir.



Şekil 13. Sığır Bulma ve Sayma Algoritmasının Yapısı (Xu vd., 2020)

Şekil 13'te gösterilen mimari incelendiğinde, 500 görüntü eğitim aşamasında kullanılarak sisteme öğretilmiştir. Araştırmacılar, sistemi 250 görüntü ile test ederek başarı performansını belirlemişlerdir. Deneysel sonuçların meralardaki sığırları saymada %94 ve besi alanlarında %92 doğruluk gösterdiğini bildirmişlerdir. Bu sonuçlar doğrultusunda Mask R-CNN'nin bir kuadkopter kullanarak çiftlik hayvanlarını tespit etme ve sayma yöntemi olarak gerçek yetiştiricilik ortamlarında kullanılabileceğini raporlamışlardır.

Tarımda Drone Kullanımının Geleceği ve Sonuç

Son yıllarda drone'ların popüler olması ve tarımda kullanılmalarının artması, tarım dışı farklı disiplinlerden olanların da ilgisini çekmektedir. Tarımsal uygulamalar hakkında bazı teknik bilgilerin yetersiz olması, drone'un tarımda kullanımı ile ilgili bazı yanlış bilgilerin ortaya çıkmasına veya efektif olmayan kullanımların olmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle drone ile etkin tarımsal uygulamaların yapılabilmesi için tarımsal teknik alt yapı hakkında da bilgi sahibi olunmalıdır. Ayrıca drone geliştirilmesi ve saha uygulamalarının yapılması konusunda yerli olarak teknoloji üretme ve servis hizmeti sunma

düzeğimiz henüz istenen seviyede değildir. Ancak bu alanda ulusal ve uluslararası pazarda yüksek satış potansiyeli bulunmaktadır. Bu amaçla özellikle genç girişimciler ve araştırmacıların ar-ge projeleri ve markalaşma yatırımları teşvik edilerek desteklenmelidir. Günümüzde artan teknik imkanlar ve drone tasarımı için gerekli donanımların çeşitliliği ile bu donanımlara olan kolay ulaşım drone'ların daha da gelişmesini ve popülerliğinin sürmesini sağlamaktadır. Ayrıca drone'lara olan ilginin ve talebin artması piyasaya yeni marka ve modellerin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Böylece tarımsal alanda yeni bir pazar fırsatı ve altyapısı oluşmaktadır.

Çok yakın bir gelecekte 5G teknolojisinin devreye girmesiyle tüm kırsal alanlar dâhil her yerde internete ulaşım olacaktır. Öte yandan otonom ve akıllı özellikte drone'lar, robotlar ve akıllı makineler konusunda da önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Drone'lar, robotlar ve diğer akıllı makineler birbirleriyle gerçek zamanlı iletişim kurabilecek ve görevlerini koordinasyon, iş birliği veya dayanışma içinde birlikte gerçekleştirebileceklerdir. Bu sayede gerçek zamanlı iletişim ile dronelar, robotlar ve akıllı makineler birbirlerinin nerede olduğunu ve ne yaptıklarını bilerek birlikte çalışmaları mümkün olacaktır. Ayrıca görüntü işleme, makine öğrenmesi, derin öğrenme ve yapay zekâ tekniklerinde görülen artan iş yapma kapasiteleri tarımda gelişmiş uzman sistemlerin geliştirilmesini sağlamaktadır. Uzman sistemler ile çeşitli tarımsal uygulamalar insan müdahalesi olmadan otomatik olarak gerçekleştirilebilmektedir. Bütün bu gelişmelerin sonucunda gelecekte örneğin bitki hastalıklarının tespiti tarlada veya bahçede otonom olarak dolaşacak drone'lar ve robotlardan elde edilen görüntülerin gerçek zamanlı değerlendirilmesiyle yapılacak ve ardından uzman sistem ilaçlama drone'ları veya robotları veya akıllı makineleri belirlenen alanlara ilaçlama için gönderecektir. Bu öngörüler hayal değildir ve bazı uygulamalar kısmen gerçekleşmiştir.

Yazar Katkısı

Yapılan bu çalışmanın başlangıcından sonuna kadar olan tüm süreçte yazarlar birlikte yazdı, okudu ve onayladı.

Etik

Bu makalenin yayınlanmasıyla ilgili herhangi bir etik sorun bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

ORCID

Mehmet Metin Özgüven  <https://orcid.org/0000-0002-6421-4804>

Ziya Altaş  <https://orcid.org/0000-0001-9900-0606>

Derya Güven  <https://orcid.org/0000-0001-5363-5366>

Arif Çam  <https://orcid.org/0000-0002-8067-0826>

Kaynaklar

Allred, B., Martinez, L., Fessehazion, M. K., Rouse, G., Williamson, T. N., Wishart, D., Koganti, T., Freeland, R., Eash, N., Batschelet, A. ve Featheringill, R. (2020). Overall results and key findings on the use of uav visible-color, multispectral, and thermal infrared imagery to map agricultural drainage pipes. *Agricultural Water Management*, 232, 106036. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106036>

Altas, Z., Ozguven, M. M. ve Yanar, Y. (2018). Determination of sugar beet leaf spot disease level (*Cercospora beticola* sacc.) with image processing technique by using drone. *Current Investigations In Agriculture and Current Research*, 5(3), 621-631. <https://doi.org/10.32474/CIACR.2018.05.000214>

- Altaş, Z., Özgüven, M. M. ve Yanar, Y. (2019, Nisan, 24-27). *Bitki hastalık ve zararlı düzeylerinin belirlenmesinde görüntü işleme tekniklerinin kullanımı: Şeker pancarı yaprak leke hastalığı örneği* [Sözlü sunum]. International Erciyes Agriculture Animal & Food Sciences Conference, Kayseri, Türkiye.
- Andrew, W., Greatwood, C. ve Burghardt, T. (2020). Fusing animal biometrics with autonomous robotics: Drone-based search and individual id of friesian cattle. *Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV) Workshops*, 38-43. https://openaccess.thecvf.com/content_WACVW_2020/papers/w2/Andrew_Fusing_Animal_Biometrics_with_Autonomous_Robotics_Drone-based_Search_and_Individual_WACVW_2020_paper.pdf
- Apolo-Apolo, O. E., Martínez-Guanter, J., Egea, G., Raja, P. ve Pérez-Ruiz M. (2020). Deep learning techniques for estimation of the yield and size of citrus fruits using a UAV. *European Journal of Agronomy*, 115, 126030. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126030>
- Babu, S. J., Shyam, M., Sivakumar, A., Vignesh, R. S. ve Yogapriya J. (2020). Ergonomic heavy-lift pesticide dispeller drone instilled with an intelligent atomizer to achieve optimal spray and improved pest control. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 7 (4). https://www.ejmcm.com/article_1825_555a87f707d98b4aa087cc961699a2a2.pdf
- Behmann, J., Acebron, K., Emin, D., Bennertz, S., Matsubara, S., Matsubara, S., Bohnenkamp, D., Kuska, M. T., Jussila, J., Salo, H., Mahlein, A. ve Rascher, U. (2018). Specim iq: Evaluation of a new, miniaturized handheld hyperspectral camera and its application for plant phenotyping and disease detection. *Sensors* 18, 441. <https://doi.org/10.3390/s18020441>
- Böhler, J. E., Schaepman, M. E. ve Kneubühler, M. (2020). Crop separability from individual and combined airborne imaging spectroscopy and uav multispectral data. *Remote Sensing*, 12(8), 1256. <https://doi.org/10.3390/rs12081256>
- Buters, T. M., Belton, D. ve Cross, A. T. (2019). Multi-sensor uav tracking of individual seedlings and seedling communities at millimetre accuracy. *Drones*, 3 (4), 81. <https://doi.org/10.3390/drones3040081>
- Chen, C. J., Huang, Y. Y., Lu, Y. S., Chen, Y. C., Chang, C. Y. ve Huang, Y.M. (2021). Identification of fruit tree pests with deep learning on embedded drone to achieve accurate pesticide spraying. *IEEE Access*, 9, 21986 - 21997. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3056082>
- Çetinsoy, E., Sırımoğlu, E., Öner, K. T., Ayken, T., Hançer, C., Ünel, M., Akşit, M. F., Kandemir, İ. ve Gülez, K. (2009). Yeni bir insansız hava aracının (suavi) prototip üretimi ve algılayıcı-eyleyici entegrasyonu. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı 2009 (TOK'09)*, İstanbul, Türkiye. <https://research.sabanciuniv.edu/id/eprint/12663/1/88.pdf>
- Dantas, R. A. S., Neto, M. V. G., Zyrianoff, I. D. ve Kamienski, C. A. (2020). The swamp farmer app for IoT-based smart water status monitoring and irrigation control. *2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor)*, 20258013. <https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor50201.2020.9277588>
- D'Odorico, P., Besik, A., Wong, C. Y. S., Isabel, N. ve Ensminger, I. (2020). High-throughput drone-based remote sensing reliably tracks phenology in thousands of conifer seedlings. *New Phytologist* 226, 1667–1681. <https://doi.org/10.1111/nph.16488>
- Etigowni, S., Hossain-McKenzie, S., Kazerooni, M., Davis, K. Ve Zonouz, S. (2018). Crystal (ball): I look at physics and predict control flow! just-ahead-of-time controller recovery. *Proceedings of the 34th Annual Computer Security Applications Conference*, 553–565. <https://doi.org/10.1145/3274694.3274724>

- Fawcett, D., Bennie, J. ve Anderson, K. (2020). Monitoring spring phenology of individual tree crowns using drone-acquired ndvi data. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 7(2), 227-244. <https://doi.org/10.1002/rse2.184>
- Gago, J., Douthe, C., Coopman, R. E., Gallego, P. P., Ribas-Carbo, M., Flexas, J., Escalona, J. ve Medrano, H. (2015). UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. *Agricultural Water Management*, 153, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.020>
- Garre, P. ve Harish, A. (2018). Autonomous agricultural pesticide spraying uav. *Materials Science and Engineering*, 455, 012030. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/455/1/012030>
- Gašparović, M., Zrinjski, M., Barković, D. ve Radočaj, D. (2020). An automatic method for weed mapping in oat fields based on uav imagery. *Computers and Electronics in Agriculture* 173,105385. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105385>
- İnan, M. ve Karcı, A. (2021). Tarımda ağaç ilaçlamanın drone'larla yapılmasında yeni bir yöntemin geliştirilmesi ve uygulanması. *Computer Science*, 6(2), 72-89. <https://dergipark.org.tr/en/pub/bbd/issue/62530/928229>
- Jensen, J. R. (2006). *Remote sensing of environment: An earth ressource perspective*. Pearson.
- Jin, H., Köppl, C. J., Fischer, B. M. C., Rojas-Conejo, J., Johnson, M. S., Morillas, L., Lyon, S. W., Durán-Quesada, A. M., Suárez-Serrano, A., Manzoni, S. ve Garcia, M. (2021). Drone-based hyperspectral and thermal imagery for quantifying upland rice productivity and water use efficiency after biochar application. *Remote Sensing*, 13(20), 1866. <https://doi.org/10.3390/rs13101866>
- Kerkech, M., Hafiane, A. ve Canals, R. (2020). Vine disease detection in uav multispectral images using optimized image registration and deep learning segmentation approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 174, 105446. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105446>
- Kılıçoğlu, A. ve Şengün, Y. S. (2007). İnterferometrik yapay açıklıklı radar tekniğinin jeodezide kullanılması. *Harita Dergisi*, 72(133), 53-62. <https://www.acarindex.com/harita-dergisi/interferometrik-yapay-aciklikli-radar-tekniginin-jeodezide-kullanilmasi-239529>
- Kitpo, N. ve Inoue, M. (2018). Early rice disease detection and position mapping system using drone and iot architecture. *2018 12th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC)*, 18888153. <https://doi.org/10.1109/SEATUC.2018.8788863>
- Li, X. ve Xing, L. (2019). Reactive deployment of autonomous drones for livestock monitoring based on density-based clustering. *2019 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 19283603. <https://doi.org/10.1109/ROBIO49542.2019.8961763>
- Li, H., Li, G., Ye, Y. ve Lin, L. (2021). A high-efficiency acquisition method of led-multispectral images based on frequency-division modulation and rgb camera. *Optics Communications*, 480, 126492. <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2020.126492>
- Lopez, J. J. ve Pázmány, M. M. (2019). Drones for conservation in protected areas: Present and future. *Drones*, 3(1), 10. <https://doi.org/10.3390/drones3010010>
- Maimaitijiang, M., Sagan, V., Sidike, P., Daloye, A. M., Erkbol, H. ve Fritschi, F. B. (2020). Crop monitoring using satellite/uav data fusion and machine learning. *Remote Sensing*, 12, 1357. <https://doi.org/10.3390/rs12091357>
- Maddikunta, P. K. R., Hakak, S., Alazab, M., Member. S., Bhattacharya, S., Gadekallu, T. R., Khan, W. Z. ve Pham, Q. (2021). Unmanned aerial vehicles in smart agriculture: Applications, requirements, and challenges. *IEEE Sensors Journal*, 21(16), 17608-17619. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3049471>
- Matsuura, Y., Heming, Z., Kawai, S. ve Nobuhara, H. (2020). High-precision/throughput growth measurement of crops by drone with stereo matching based on rtk-gnss and single camera. 2020

- IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), 20300745. <https://doi.org/10.1109/GCCE50665.2020.9292033>
- Mattivi, P., Pappalardo, S. E., Nikolic, N., Mandolesi, L., Persichetti, A., Marchi, M. D. ve Masin, R. (2021). Can commercial low-cost drones and open-source gis technologies be suitable for semi-automatic weed mapping for smart farming? A case study in ne Italy. *Remote Sensing*, 13(10), 1869 <https://doi.org/10.3390/rs13101869>
- Meivel, S., Maguteeswaran, R., Gandhiraj, N. ve Srinivasan, G. (2016). Quadcopter uav based fertilizer and pesticide spraying system. *International Academic Research Journal of Engineering Sciences*. 1(1),8-12. <http://acrpub.com/article/publishedarticles/24102016IARJES343.pdf>
- Messina, G. ve Modica, G. (2020). Applications of uav thermal imagery in precision agriculture: state of the art and future research outlook. *Remote Sensing*, 12, 1491. <https://doi.org/10.3390/rs12091491>
- Mihalache, D. B., Vanghele, N. A., Petre A.A. ve Matache, A. (2021). The use of drones in modern agriculture. *Annals of the University of Craiova-Agriculture, Montanology, Cadastre Series*, 50 (2), 349-354. <https://anale.agro-craiova.ro/index.php/aamc/article/view/1133/1065>
- Milics, G. (2019). Application of uavs in precision agriculture. Palocz-Andresen, M., Szalay, D., Gosztom, A., Sípos, L., Taligás, T. (Ed.) *International Climate Protection* (s. 93-97) içinde. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03816-8_13
- Moreira, L., Castro, F., Góes, J. A., Bins, L., Teruel, B., Fracarolli, J., Castro, V., Alcântara, M., Oré G, Luebeck, D., Oliveira, L. P., Gabrielli, L. ve Hernandez-Figueroa, H. E. (2019). A drone-borne multiband dınsar: results and applications. *2019 IEEE Radar Conference (RadarConf)*. 1,6. <https://doi.org/10.1109/RADAR.2019.8835653>
- Neumann, C., Behling, R., Schindhelm, A., Itzerott, S., Weiss, G., Wichmann, M. ve Muller, J. (2020). The colors of heath flowering-quantifying spatial patterns of phenology in calluna life-cycle phases using high-resolution drone imagery. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 6(1), 35–51. <https://doi.org/10.1002/rse2.121>
- Ore, G., Alcântara, M. S., Góes, J. A., Oliveira, L. P., Yepes, J., Teruel, B., Castro, V., Bins, L. S., Castro, F., Luebeck, D., Moreira, L. F., Gabrielli, L. H. ve Hernandez-Figueroa, H. E. (2020). Crop growth monitoring with drone-borne dınsar. *Remote Sensing*, 12, 615. <https://doi.org/10.3390/rs12040615>
- Ozguven, M. M. (2018). The newest agricultural technologies. *Current Investigations in Agriculture and Current Research*, 5(1), 573-580. <https://doi.org/10.32474/CIACR.2018.05.000201>
- Özgüven, M. M. (2018). *Hassas tarım*. Akfon Yayınları.
- Özgüven, M. M. (2020). Tarımda dijital dönüşüm ve akıllı makineler. *Yeni Türkiye Dergisi*, Tarım Politikaları Özel Sayısı, 114(2), 105-132
- Özgüven, M. M., Türker, U., Akdemir, B., Çolak, A., Acar, A. İ., Öztürk, R. ve Eminoğlu, M. B. (2020). Tarımda dijital çağ. *Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi*, 55-74. http://www.sonerkazaz.com/wp-content/uploads/1_Dunyada-ve-Turkiyede-Sus-Bitkileri-Sektoru-2020.pdf
- Özgüven, M. M. ve Közkurt, C. (2021, Şubat, 22-25). Agricultural robots and smart agricultural machinery. *International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies* [Sözlü sunum]. Bandırma, Türkiye.
- Parra, L., Marin, J., Yousfi, S., Rincón, G., Mauri, P. V. ve Lloret, J. (2020). Edge detection for weed recognition in lawns. *Computers and Electronics in Agriculture*, 176, 105684. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105684>

- Reza, M. N., Na, I. S., Baek, S.W. ve Lee, K. H. (2019). Rice yield estimation based on k-means clustering with graph-cut segmentation using low-altitude uav images. *Biosystems engineering* 177, 109-121. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.09.014>
- Sarwar, F., Griffin, A., Periasamy, P., Portas, K. ve Law, J. (2018). Detecting and counting sheep with a convolutional neural network. *2018 15th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS)*. 1-6, 18455885. <https://doi.org/10.1109/AVSS.2018.8639306>
- Sebbane, Y. B. (2018). *Intelligent autonomy of uavs, advanced missions and future use*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Singh, N. ve Singh, A. N. (2020). Odysseys of agriculture sensors: Current challenges and forthcoming prospects. *Computers and Electronics in Agriculture*, 171, 105328, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105328>
- Skacev, H., Micovic, A., Gutic, B., Dotilic, D., Vesic, A., Ignjatovic, V., Lakicevic, S., Jakovljevic, M. M. ve Zivkovic, M. (2020). On the development of the automatic weed detection tool. *IEEE Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC)*. 123-126. <https://doi.org/10.1109/ZINC50678.2020.9161802>
- Stavrakoudis, D., Katsantonis, D., Kadoglidou, K., Kalaitzidis, A. ve Gitas, I. Z. (2019). Estimating rice agronomic traits using drone-collected multispectral imagery. *Remote Sensing*, 11, 545. <https://doi.org/10.3390/rs11050545>
- Su, J., Liu, C., Coombes, M., Hu, X., Wang, C., Xu, X., Li, Q., Guo, L. ve Chen, W, H. (2018). Wheat yellow rust monitoring by learning from multispectral uav aerial imagery. *Computers and Electronics in Agriculture* 155, 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.017>
- Syifa, M., Park, S. J. ve Lee, C. W. (2020). Detection of the pine wilt disease tree candidates for drone remote sensing using artificial intelligence techniques. *Engineering*, 6(8), 919–926. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.07.001>
- Tan, M., Özgüven, M. M. ve Tarhan, S. (2015, Eylül,2-5). Drone sistemlerin hassas tarımda kullanımı. *29. Tarımsal Mekanizasyon Kongresi ve Enerji Kongresi [Sözlü Sunum]*, Diyarbakır, Türkiye.
- Tao, H., Feng, H., Xu, L., Miao, M., Yang, G., Yang, X. ve Fan, L. (2020). Estimation of the yield and plant height of winter wheat using uav-based hyperspectral images. *Sensors*, 20, 1231. <https://doi.org/10.3390/s20041231>
- Turgut, M. N. (2011). Dört rotorlu insansız hava aracının modellenmesi ve simülasyonu. [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Um, J. S. (2019). *Drones as cyber-physical systems*. Springer Nature.
- Uygun, T., Özgüven, M. M. ve Altaş, Z. (2019, Nisan, 24-27). Lidar (Light detection and ranging) sensörlerin tarımda kullanımı. *International Erciyes Agriculture, Animal & Food Sciences Conference [Sözlü sunum]*. Kayseri, Türkiye.
- Vayssade, J. A., Arquet, R. ve Bonneau, M. (2019). Automatic activity tracking of goats using drone camera. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 767–772. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.05.021>
- Wang, G., Han, Y., Li, X., Andaloro, J., Chen, P., Hoffmann, W., Han, X., Chen, S. ve Lan, Y. (2020). Field evaluation of spray drift and environmental impact using an agricultural unmanned aerial vehicle (uav) sprayer. *Science of the Total Environment*, 737, 139793. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139793>
- Xu, B., Wang, W., Falzon, G., Kwan, P., Guo, L., Chen, G., Teit, A. ve Schneider, D. (2020). Automated cattle counting using mask r-cnn in quadcopter vision system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 171, 105300. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105300>

- Yallappa, D., Veerangouda, M., Maski, D., Palled, V. ve Bheemanna, M. (2017). Development and evaluation of drone mounted sprayer for pesticide applications to crops. *2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, 1-7. <https://doi.org/10.1109/GHTC.2017.8239330>
- Zhang, L., Zhang, H., Niu, Y. ve Han, W. (2019). Mapping maizewater stress- based on uav multispectral remote sensing. *Remote Sensing*, 11, 605. <https://doi.org/10.3390/rs11060605>